

Nr. 27

# Mitteilungen



Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland

Ursachen – Wirkungen – Folgen

Koblenz, Oktober 2006



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort .....</b>	<b>13</b>
<b>1 Anlass und Ziel der Untersuchung.....</b>	<b>15</b>
<b>2 Meteorologische Ursachen .....</b>	<b>18</b>
2.1 Großwetterlagen.....	18
2.2 Situation in Europa .....	18
2.2.1 Niederschläge.....	18
2.2.2 Temperaturen.....	21
2.3 Situation in Deutschland.....	22
2.3.1 Niederschläge.....	22
2.3.2 Temperaturen.....	37
2.3.3 Zusammentreffen von Niederschlags- und Temperaturanomalien.....	38
2.3.4 Verdunstung.....	38
2.3.5 Klimatische Wasserbilanz.....	42
<b>3 Niederschläge 2003 im Vergleich mit langen Messreihen .....</b>	<b>50</b>
3.1 Zielsetzung und Methoden.....	50
3.2 Vergleich der Niederschläge 2003 mit denen längerer Messreihen.....	51
3.3 Vergleich der Niederschlagsanalysen des DWD mit den Ergebnissen für 42 Stationen.....	55
<b>4 Abflüsse 2003 im Vergleich mit langen Messreihen .....</b>	<b>62</b>
4.1 Zielsetzung und Messdaten.....	62
4.2 Datenaufbereitung und Datenanalyse .....	66
4.3 Vergleich der Abflüsse 2003 mit denen der Messreihe 1961 – 2002 .....	67
4.3.1 Jahresgang der Abflüsse .....	67
4.3.2 Mittlere Abflüsse .....	77
4.3.3 Niedrigwasserabflüsse .....	85
4.3.4 Häufigkeit der Niedrigwasserabflüsse NM7Q (2003) .....	86

4.4 Vergleich der Niedrigwasserperiode 2003 mit Ergebnissen aus längeren Messreihen .....	93
4.4.1 Mittlere und niedrige Abflüsse .....	94
4.4.2 Häufigkeit der Niedrigwasserabflüsse NM7Q (2003) .....	94
4.4.3 Extreme Niedrigwasserereignisse in der Vergangenheit .....	95
<b>5 Langfristige Änderungen von Niederschlägen und Abflüssen .....</b>	<b>96</b>
5.1 Zielsetzung und Methoden.....	96
5.2 Langfristige Änderungen von Niederschlägen.....	97
5.2.1 Niederschlagstrends .....	97
5.2.2 Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen.....	106
5.2.3 Mittelwerte für Teilreihen.....	114
5.3 Langfristige Änderung von Abflüssen .....	116
5.3.1 Trends für mittlere Abflüsse .....	116
5.3.2 Trends für Niedrigwasserabflüsse NM7Q und NM30Q .....	125
5.3.3 Vergleich der Trendänderungen für Niedrigwasserabflüsse NM7Q und für mittlere Abflüsse .....	137
5.3.4 Vergleich der Abflusstrends mit den Niederschlagstrends .....	138
5.3.5 Mittelwerte für Teilreihen.....	142
5.3.6 Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen.....	145
<b>6 Ergebnisse zum Trockenjahr 2003 aus anderen Studien .....</b>	<b>152</b>
6.1 Fließgewässer (Abflussmengen).....	152
6.1.1 Berichte aus Deutschland.....	152
6.1.2 Berichte aus Nachbarstaaten .....	154
6.2 Seen.....	157
6.3 Grundwasser und Quellen (Wasserstände und Abflüsse) .....	160
6.4 Speicher und ihre Bewirtschaftung .....	162
6.4.1 Anlagen in Bayern (LfW BY 2004).....	162
6.4.2 Ruhrverband (Ruhrverband 2004) .....	163
6.4.3 Wasserverband Eifel-Rur (WV Eifel-Rur 2004) .....	163
6.4.4 Wupperverband (Wupperverband 2004) .....	165
6.4.5 Edertalsperre (NLWK 2004).....	165
6.4.6 Westharz-Talsperren (NLWK 2004) .....	165
6.4.7 Anlagen in Sachsen (LTV SN 2004) .....	165
6.4.8 Brandenburg (LUA BB 2004) .....	167
6.5 Wasserbeschaffenheit und Auswirkungen auf Ökosysteme .....	167
6.5.1 Fließgewässer.....	168
6.5.2 Seen und Speicher.....	172
6.5.3 Grundwasser .....	173
6.6 Verdunstung und Bodenfeuchte.....	173

<b>7 Ökonomische Folgen der Trockenperiode 2003</b> .....	<b>175</b>
7.1 Einleitung.....	175
7.2 Landwirtschaft.....	176
7.3 Binnenschifffahrt.....	180
7.4 Energieerzeugung.....	183
7.4.1 Konventionelle Wärmekraftwerke.....	184
7.4.2 Wasserrechtliche Ausnahmegenehmigung.....	186
7.4.3 Strom aus Wasser- und Windkraft.....	189
7.4.4 Entwicklung des Stromgroßhandels im Jahr 2003.....	189
7.4.5 Fazit Energie.....	190
7.5 Trinkwasserbereitstellung.....	191
7.6 Gesundheit.....	191
7.7 Fazit der ökonomischen Auswirkungen der Trockenperiode 2003.....	194
7.8 Literaturverzeichnis zu Kapitel 7.....	197
<b>8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b> .....	<b>200</b>
<b>9 Literaturverzeichnis zu Kapitel 1 bis 6</b> .....	<b>209</b>

# Verzeichnis der Bilder

Bild 2.1	Typische Großwetterlagen während der Trockenperiode 2003 .....	19
Bild 2.2	Niederschlagsabweichungen in Europa in mm pro Monat im meteorologischen Jahr 2003 und in den Jahreszeiten gegenüber 1961 - 1990 .....	20
Bild 2.3	Abweichung der mittleren Lufttemperatur in °C in Europa, Monate Juni – August 2003 gegenüber Mittelwerten 1961 – 1990 .....	22
Bild 2.4	Niederschlagshöhen in mm, hydrologisches Jahr 2003 .....	25
Bild 2.5	Niederschlagshöhen in mm, Winterhalbjahr 2003 .....	26
Bild 2.6	Niederschlagshöhen in mm, Sommerhalbjahr 2003 .....	27
Bild 2.7	Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, hydrologisches Jahr .....	28
Bild 2.8	Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, Winterhalbjahr .....	29
Bild 2.9	Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, Sommerhalbjahr .....	30
Bild 2.10	Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, Frühling .....	31
Bild 2.11	Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, Sommer .....	32
Bild 2.12	Monatsmittel der Niederschläge 1901 – 2002 und 2003 für ausgewählte Stationen.....	33
Bild 2.13	Temperaturabweichungen in K, Sommer 2003 gegenüber Mittel 1960 - 1990 .....	37
Bild 2.14	Thermopluviogramme: monatliche Abweichungen 2003 gegenüber 1961 – 1990 .....	39
Bild 2.15	Grasreferenzverdunstung in mm, Sommerhalbjahr 2003 .....	40
Bild 2.16	Grasreferenzverdunstung Sommerhalbjahr 2003 in Prozent des Mittels 1961 – 1990 .....	41
Bild 2.17	Klimatische Wasserbilanz in mm, hydrologisches Jahr 2003 .....	44
Bild 2.18	Klimatische Wasserbilanz, Abweichungen in mm für hydrologisches Jahr 2003 gegenüber Mittel 1961 – 1990 .....	45
Bild 2.19	Klimatische Wasserbilanz in mm, Winterhalbjahr 2003 .....	46
Bild 2.20	Klimatische Wasserbilanz, Abweichungen in mm für Winterhalbjahr 2003 gegenüber Mittel 1961 – 1990 .....	47
Bild 2.21	Klimatische Wasserbilanz in mm, Sommerhalbjahr 2003 .....	48
Bild 2.22	Klimatische Wasserbilanz, Abweichungen in mm für Sommerhalbjahr 2003 gegenüber Mittel 1961 – 1990 .....	49

Bild 3.1	Lage der untersuchten Niederschlagsstationen .....	52
Bild 3.2	Verhältnismerte $N(2003)/N_m$ (1901 – 2002), hydrologisches Jahr .....	56
Bild 3.3	Verhältnismerte $N(2003)/N_m$ (1901 – 2002), Winterhalbjahr .....	57
Bild 3.4	Verhältnismerte $N(2003)/N_m$ (1901 – 2002), Sommerhalbjahr .....	58
Bild 3.5	Verhältnismerte $N(2003)/N_m$ (1961 – 2002), hydrologisches Jahr .....	59
Bild 3.6	Verhältnismerte $N(2003)/N_m$ (1961 – 2002), Winterhalbjahr .....	60
Bild 3.7	Verhältnismerte $N(2003)/N_m$ (1961 – 2002), Sommerhalbjahr .....	61
Bild 4.1	Lage der untersuchten Abflussmessstellen (Pegel) .....	65
Bild 4.2	Monatsmittel der Abflüsse für ausgewählte Pegel (Max, Min, Mittel der Reihe 1961 – 2002 und Jahr 2003) .....	69
Bild 4.3	Verhältnismerte $MQ(2003)/MQ$ (1961 – 2002), hydrologisches Jahr .....	78
Bild 4.4	Verhältnismerte $MQ(2003)/MQ$ (1961 – 2002), Winterhalbjahr .....	79
Bild 4.5	Verhältnismerte $MQ(2003)/MQ$ (1961 – 2002), Sommerhalbjahr .....	80
Bild 4.6	Verhältnismerte $NQ(2003)/MNQ$ (1961 – 2002), hydrologisches Jahr .....	87
Bild 4.7	Verhältnismerte $NQ(2003)/MNQ$ (1961 – 2002), Winterhalbjahr .....	88
Bild 4.8	Verhältnismerte $NQ(2003)/MNQ$ (1961 – 2002), Sommerhalbjahr .....	89
Bild 4.9	Wiederholungszeitspanne $T_n$ in Jahren an den untersuchten Pegeln, NM7Q, Reihe 1961 – 2002 .....	92
Bild 5.1	Niederschlagstrends für die untersuchten Teilreihen, jährliche Änderung in % vom Mittelwert, Mittelwerte für 42 Stationen .....	98
Bild 5.2	Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes), Reihe 1901 - 2002, hydrologisches Jahr .....	100
Bild 5.3	Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes), Reihe 1901 - 2002, Winterhalbjahr .....	101
Bild 5.4	Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes), Reihe 1901 - 2002, Sommerhalbjahr .....	102
Bild 5.5	Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes), Reihe 1961 - 2002, hydrologisches Jahr .....	103
Bild 5.6	Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes), Reihe 1961 - 2002, Winterhalbjahr .....	104
Bild 5.7	Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes), Reihe 1961 - 2002, Sommerhalbjahr .....	105
Bild 5.8	Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes] mit signifikanten Gebieten, Reihe 1891 – 1990, hydrologisches Jahr .....	107
Bild 5.9	Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes] mit signifikanten Gebieten, Reihe 1891 – 1990, Winterhalbjahr .....	108
Bild 5.10	Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes] mit signifikanten Gebieten, Reihe 1891 – 1990, Sommerhalbjahr .....	109
Bild 5.11	Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes] mit signifikanten Gebieten, Reihe 1961 – 1990, hydrologisches Jahr .....	110
Bild 5.12	Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes] mit signifikanten Gebieten, Reihe 1961 – 1990, Winterhalbjahr .....	111
Bild 5.13	Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes] mit signifikanten Gebieten, Reihe 1961 – 1990, Sommerhalbjahr .....	112

Bild 5.14	Vorzeichen der Trends für die mittleren Abflüsse 1961 – 2002, Winterhalbjahr, Sommerhalbjahr, Jahr .....	118
Bild 5.15	Jährliche Trends in % des jeweiligen Mittelwertes, 1961 – 2002, MQ-Winterhalbjahr ....	120
Bild 5.16	Jährliche Trends in % des jeweiligen Mittelwertes, 1961 – 2002, MQ-Sommerhalbjahr .....	121
Bild 5.17	Jährliche Trends in % des jeweiligen Mittelwertes, 1961 – 2002, MQ-hydrologisches Jahr .....	122
Bild 5.18	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Rhein-Pegel .....	126
Bild 5.19	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Neckar, Main, Mosel .....	127
Bild 5.20	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Donau-Pegel .....	128
Bild 5.21	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Iller, Lech, Isar .....	129
Bild 5.22	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Naab, Regen, Ilz .....	130
Bild 5.23	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Weser-Pegel .....	131
Bild 5.24	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Werra, Fulda, Aller, Leine .....	132
Bild 5.25	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Elbe-Pegel .....	133
Bild 5.26	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Zwickauer Mulde, Zschopau, Saale .....	134
Bild 5.27	Jährlicher Trend in % des jeweiligen Mittelwertes 1961 – 2002 für NM7Q .....	136
Bild 5.28	Trendänderungen in % pro Jahr (1961 – 2002), Mittelwerte für große Regionen .....	139
Bild 5.29	Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen, Niederschläge und mittlere Abflüsse .....	141
Bild 5.30	Vergleich der Änderung der Mittelwerte 1921/1960 gegenüber 1961/2002 mit den Trendänderungen 1921 - 2002 .....	144
Bild 6.1	Jährlichkeit T der Niedrigwasserabflüsse NM7Q für 2003, ausgewählte Messstationen der Schweiz .....	155
Bild 6.2	Häufigkeiten des Niedrigwasserereignisses 2003 (NQ, NM30Q) für ausgewählte Pegel in Tschechien .....	157
Bild 6.3	Wasserstände des Bodensees (Pegel Konstanz), Jahresgang 2003, NW-Jahreswerte 1940 – 2003 .....	158
Bild 6.4	Wasserstände Starnberger See (Starnberg) 2003 – 2004 .....	159
Bild 6.5	Grundwasserstände und Quellschüttungen für ausgewählte Messstellen in Baden-Württemberg 2002 – 2003 .....	161
Bild 6.6	Talsperren des Ruhrverbandes (Stauinhalte) und unbeeinflusster Abfluss der Ruhr, 2003 .....	164
Bild 6.7	Wasserstands- und Stauinhaltsverlauf der Edertalsperre, Januar 2003 – März 2004 .....	166
Bild 6.8	Stauinhaltslinien der Westharz-Talsperren 2002 – 2003 .....	168

Bild 6.9	Wassertemperaturen im Rhein bei Karlsruhe 2003 im Vergleich mit Reihen 1968 – 2002 .....	169
Bild 7.1	Bodenfeuchte in % nFK im Zeitraum von 1962 - 2003, Sandboden, Wintergetreide; Mittelwert 1. Juni bis 30. Juni, über alle Bundesländer .....	178
Bild 7.2	Monatliche Mittelwerte der Bodenfeuchte in % nFK 2003 .....	179
Bild 7.3	Umweltintensität des Güterverkehrs nach Verkehrsträgern .....	182
Bild 7.4	Energiemix der allgemeinen deutschen Stromversorgung in 2003 .....	184
Bild 7.5	EEX-Monatswerte im Jahr 2002 und 2003 .....	190
Bild 7.6	Verlauf der variablen Schwellenwerte und der gefühlten Temperatur für das Jahr 2003 in Karlsruhe .....	192
Bild 7.7	Mittlere Abweichung vom Erwartungswert und 95 % Konfidenzintervall der Gesamtmortalität während unterschiedlicher Stufen thermischer Belastung .....	193

# Verzeichnis der Tabellen

<b>Tabelle 2.1</b>	Klimatische Wasserbilanz 2003 für deutsche Flussgebiete.....	42
<b>Tabelle 3.1</b>	Mittlere Niederschlagssummen für verschiedene Zeitreihen und Verhältniswerte N (2003)/N <sub>m</sub> (Reihe) .....	53
<b>Tabelle 4.1</b>	Untersuchte Pegelstellen (Übersicht) .....	63
<b>Tabelle 5.1</b>	Trendanalysen der Niederschläge, Ergebnisse für die verschiedenen Zeitreihen Änderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes .....	98
<b>Tabelle 5.2</b>	Änderung der Niederschlagstrends für Flussgebiete in Deutschland .....	106
<b>Tabelle 5.3</b>	Vergleich der mittleren Trendänderungen der Niederschläge nach RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) mit den Mittelwerten aus den 42 Stationen für Deutschland	113
<b>Tabelle 5.4</b>	Trendänderung der Niederschläge, Mittelwerte aus KLIWA und aus 22 Stationen	114
<b>Tabelle 5.5</b>	Änderungen der mittleren Niederschläge aus den Reihen 1901 – 1960 und 1921 – 1960 gegenüber den Werten der Reihe 1961 – 2002 .....	115
<b>Tabelle 5.6</b>	Trendanalysen der mittleren Abflüsse 1961 – 2002, Änderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes .....	117
<b>Tabelle 5.7</b>	Trendanalysen der NM7Q und NM30Q (1961 – 2002), Änderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes .....	135
<b>Tabelle 5.8</b>	Mittlere Trendänderungen in % pro Jahr für Niederschläge N 1961 – 1990 (RAPP UND SCHÖNWIESE 1996) und mittlere Abflüsse MQ (aus 130 Pegeln) .....	142
<b>Tabelle 5.9</b>	Abweichungen der Mittelwerte von Abflussreihen Q (1961 – 2002) gegenüber Q (1921 – 1960) in % von Q (1921 – 1960) .....	143
<b>Tabelle 5.10</b>	Datengrundlagen für die angegebenen Untersuchungen .....	146
<b>Tabelle 5.11</b>	Durchgeführte Analysen und Ergebnisse der angegebenen Untersuchungen .....	146
<b>Tabelle 5.12</b>	Lineare Trends für Abflusshöhen (Q) und Gebietsniederschläge (P), Anstiegswerte in mm/a, Zeitreihe 1971 - 2000 .....	151
<b>Tabelle 7.1</b>	Güterbeförderung in der Binnenschifffahrt nach Hauptverkehrsbeziehungen in 1000 Tonnen .....	181
<b>Tabelle 7.2</b>	Leistungsrückgänge einiger konventioneller Kraftwerke in Deutschland im Sommer 2003 .....	185
<b>Tabelle 7.3</b>	Kraftwerke und deren wasserrechtliche Erlaubnis und die dazugehörigen Ausnahmeregelungen .....	187
<b>Tabelle 7.4</b>	Todesursachenstatistik T67 .....	193
<b>Tabelle 7.5</b>	Zusammenfassende Darstellung der Auswirkungen der Trockenperiode 2003 .....	196

## Verzeichnis der angefügten Dokumente auf CD

- Anhang 3.1:** Liste der untersuchten Niederschlagsmessstellen
- Anhang 3.2:** Mittlere Niederschläge für verschiedene Zeitreihen und für 2003 sowie für verschiedene Jahresabschnitte
- Anhang 3.3:** Mittlere Niederschläge für Zeitreihen 1901 – 2002, 1961 – 2002 und für 2003, hydrologisches Jahr, Winter- und Sommerhalbjahr
- Anhang 3.4:** Verhältniswerte  $N(2003)/N_m(1901 - 2002)$ ,  $N(2003)/N_m(1961 - 2002)$ , hydrologisches Jahr, Winter- und Sommerhalbjahr, Monate Juni, Juli und August
- Anhang 4.1:** Liste der untersuchten Pegelstellen
- Anhang 4.2:** Aufbereitung und Analyse der Abflussdaten für weitere Bearbeitungen  
Beispiel Weser (Pegel Hann. Münden)
- Anhang 4.3:** Zusammenfassung der Analysenergebnisse nach Anhang 4.2 für 159 Pegel
- Anhang 4.4:** Verhältniswerte  $Q(2003)/Q(1961 - 2002)$  für MQ, MNQ, NQ, hydrologisches Jahr, Winter- und Sommerhalbjahr, 159 Pegel
- Anhang 4.5:** Wiederholungszeitspanne  $T_n$  (Jahre) von NM7Q (2003) für verschiedene Zeitreihen, 159 Pegel
- Anhang 5.1:** Lineare Trends der Niederschlagssummen, hydrologisches Jahr, Winter- und Sommerhalbjahr für verschiedene Zeitreihen
- Anhang 5.2:** Niederschläge – Mittelwerte für verschiedene Teilreihen, hydrologisches Jahr, Winter- und Sommerhalbjahr
- Anhang 5.3:** Ergebnisse der Trendberechnungen für mittlere Abflüsse des hydrologischen Jahres sowie des Winter- und Sommerhalbjahres
- Anhang 5.4:** Ergebnisse der Trendberechnungen NM7Q
- Anhang 5.5:** Ergebnisse der Trendberechnungen NM30Q
- Anhang 5.6:** Mittelwerte für Teilreihen 1961 – 2002 gegenüber 1901 – 1960 und 1921 – 1960 sowie zugehörige Abweichungen MQ und MNQ, Winter- und Sommerhalbjahr, Gesamtjahr



# Vorwort

Eine lang anhaltende Periode mit geringen Niederschlägen und hohen Temperaturen hat 2003 dazu geführt, dass in weiten Teilen Deutschlands die Abflüsse in den Gewässern auf ungewöhnlich niedrige Werte zurückgingen. Darüber ist seinerzeit auch in den Medien viel berichtet und geschrieben worden. Da aber keine „medienwirksamen“ Gefahren oder Schäden auftraten, ist das Ereignis schnell wieder in Vergessenheit geraten. Dabei sind durchaus volkswirtschaftliche Schäden in erheblichen Ausmaß entstanden, ohne dass die Bevölkerung davon direkt betroffen war. Dazu kommt die Befürchtung, dass solche Situationen in Folge klimatischer Veränderungen in Zukunft häufiger auftreten könnten.

All das war Anlass, über Ursachen, Ablauf und Folgen der Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland eine umfassende Dokumentation zu erstellen. Grundlage einer deutschlandweiten Dokumentation waren die Berichte der Bundesländer und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zur Niedrigwasserperiode 2003. Da diese aufgrund unterschiedlichen Herangehens nicht einfach zusammenfassbar waren, mussten eine einheitliche Methodik und darauf aufbauend zusätzliche Recherchen und Auswertungen durchgeführt werden. Zu diesem Zweck schloss die BfG mit der Technischen Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, im Januar 2005 eine Verwaltungsvereinbarung ab.

Ein Niedrigwasser ist ein natürliches Ereignis. Es entsteht durch die Überlagerung von meteorologischen und hydrologischen Ereignissen und Bedingungen. Eine Trockenperiode ist ein Zeitraum, in dem die Wasservorräte durch Ausschöpfung reduziert werden und Wassermangel hinsichtlich des Wasserbedarfs der Gesellschaft oder der Natur auftritt. Es handelt sich um ein Ereignis mit einer langen Entwicklungsphase. Die meteorologische Ursache „Trockenperiode“ kann dabei zeitlich weit vor der hydrologischen Wirkung „Niedrigwasserperiode“ liegen, da der natürliche Niedrigwasserdurchfluss aus dem Grundwasser gespeist wird und hierbei erhebliche Verzögerungszeiten auftreten können.

Trotzdem kann das hydrologische Ereignis Niedrigwasser nicht vom meteorologischen Ereignis getrennt werden. Auch der ökosystemar-landwirtschaftliche Begriff „Dürre“ deutet darauf hin, dass wir es mit einer komplexen Naturerscheinung zu tun haben, die nur von

unterschiedlichen Ausgangspunkten betrachtet wird. Folglich sind die Auswirkungen des Ereignisses 2003 nur schwer den einzelnen Erscheinungsformen zuzuordnen.

Die hiermit vorgelegte Dokumentation der Niedrigwasserperiode beinhaltet folgerichtig auch die Darstellung der meteorologische Ursachen und damit das Ereignis Trockenperiode. Das Kapitel 7 heißt nicht umsonst „Ökonomische Folgen der Trockenperiode 2003“, um der Problematik der eindeutigen Trennung von Trocken- und Niedrigwasserperiode zu entgehen, die nicht möglich ist.

Der besondere Wert der Arbeit liegt neben der Entwicklung einer Untersuchungsmethodik in der Einordnung des Ereignisses in die Geschichte der hydrologischen Beobachtungen und in der Darstellung regionaler Unterschiede. Das betrifft sowohl die meteorologischen Ursachen als auch die Niedrigwasserstatistik.

Die Auswertungen zeigen, dass die Niedrigwasserperiode 2003 in den meisten Flussgebieten Deutschlands so außergewöhnlich nicht war. Sie zeigen aber auch, dass viele Schäden durch Ausgleichsmaßnahmen der Volkswirtschaft vermieden werden können. Da andererseits die Wahrscheinlichkeit des Auftretens strengerer Niedrigwasserperioden hoch ist, muss auf den Erhalt der Kapazitäten für Ausgleichsmaßnahmen gedrungen werden.

Koblenz, im Oktober 2006



Volkhard Wetzel  
Direktor und Professor  
Leiter der Bundesanstalt für Gewässerkunde

# 1 Anlass und Ziel der Untersuchung

Im Sommer 2003 ist in großen Teilen Europas eine ungewöhnlich lange Periode mit z. T. sehr hohen Temperaturen und geringen Niederschlägen aufgetreten. Auch Deutschland war davon stark betroffen. Über das Ereignis ist seinerzeit in den Medien viel berichtet worden, wobei der Begriff „Jahrhundertsommer“ schnell bei der Hand war. Für die Bevölkerung standen vor allem Einschränkungen beim Wohlbefinden bis hin zur Zunahme von Herz-Kreislauf-Problemen (auch mit einer Zunahme von Todesfällen) im Mittelpunkt der Wahrnehmungen.

Für die Wasserwirtschaft waren die gravierendsten Folgen der langen Dürreperiode das Absinken der Abflüsse und Wasserstände in den Fließgewässern sowie der Wasserstände in Seen und im Grundwasser. Das traf mit einem erhöhten Wasserbedarf vor allem der privaten Haushalte zusammen. Engpässe in der Wasserversorgung traten aber nur vereinzelt und in sehr geringem Umfang auf. Neben hohen Schäden vor allem für die Landwirtschaft kam es zu Einschränkungen insbesondere bei der Schifffahrt und der Energieerzeugung. Die volkswirtschaftlichen Schäden waren insgesamt erheblich und denen einzelner großer Hochwasserereignisse der jüngsten Vergangenheit durchaus vergleichbar. Ein besonderes Gewicht hat die Trockenperiode 2003 in den Augen der Öffentlichkeit aber vor allem vor dem Hintergrund der Diskussion um mögliche Klimaänderungen durch Emission von Treibhausgasen erhalten. Damit verknüpft ist die Besorgnis, dass Ereignisse dieser Art in Zukunft häufiger und verstärkt auftreten könnten.

Alle diese Gesichtspunkte legen es nahe, die Trockenperiode 2003 im Hinblick auf ihre meteorologischen Ursachen und die Folgen für die Wasserwirtschaft gründlich zu analysieren und zu dokumentieren. Dazu hat die Arbeitsgruppe HW-3.1 „Niedrigwasser“ der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) ein Konzept erarbeitet. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) hat sich bereit erklärt, die Erhebungen und Untersuchungen finanziell zu fördern. Die Bearbeitung erfolgte federführend durch das Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Kaiserslautern (Prof. Dr.-Ing. Gero Koehler) gemeinsam mit der BfG und mit Zuarbeit durch den Deutschen Wetterdienst (DWD).

Vor Beginn der eigenen Erhebungen wurde eine Umfrage bei den zentralen wasserwirtschaftlichen Dienststellen des Bundes und der Länder sowie bei großen Wasserverbänden und Talsperrbetreibern nach eventuell dort vorhandenen Analysen und Berichten zu dem Ereignis durchgeführt. Eine erste deutschlandweite Betrachtung wurde von der BfG vorgenommen (BELZ et al. 2004). Daneben wurde eine größere Zahl regionaler Berichte erfasst und ausgewertet.

Danach liegen Berichte von folgenden Institutionen vor:

- > Dienststellen des Bundes  
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Deutscher Wetterdienst
- > Dienststellen der Länder  
Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen,  
Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Brandenburg, Berlin, Thüringen
- > Verbände  
Wupper-, Ruhr-, Eifel-Rur-, Erft-Verband, Landestalsperrenverwaltung Sachsen
- > Ausland  
Schweiz, Österreich, Tschechien

Die Berichte enthalten eine Vielzahl von Analysen und Informationen, aber natürlich örtlich begrenzt und z. T. auch mit bestimmten Schwerpunkten je nach Interessenlage. Dazu sind die Datengrundlage, Analysenmethoden und Darstellungsart meist sehr unterschiedlich. Um flächendeckende und untereinander vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, waren deshalb eigene Untersuchungen auf einheitlicher Datenbasis und mit gleichen Methoden erforderlich. Diese Analysen und ihre Ergebnisse bilden die Grundlage des hier vorgelegten Berichtes. Schwerpunkte sind die Niederschläge und Abflüsse in oberirdischen Gewässern im Jahr 2003 im Vergleich zu den Werten längerer Messreihen.

Im Kap. 2 werden zunächst die meteorologischen Ursachen allgemein in Europa und dann in Deutschland dargestellt. Dieser Teil beruht fast ausschließlich auf Ergebnissen, die der Deutsche Wetterdienst dafür zur Verfügung gestellt hat.

Im Kap. 3 werden eigene, ergänzende Auswertungen von Niederschlägen durchgeführt, deren Daten vom DWD zur Verfügung gestellt wurden. Weil bei den Analysen des DWD im Kap. 2 als Vergleich zum Jahr 2003 immer die Reihe 1961 – 1990 verwendet wurde, sollten anhand ausgewählter längerer Messreihen (42 Stationen mit Daten ab 1901 oder früher bis 2002) diese Ergebnisse überprüft bzw. ergänzt werden (Niederschlagssummen des Winter- und des Sommerhalbjahres sowie des gesamten hydrologischen Jahres).

Für die eigentliche Analyse der Abflüsse 2003 und den Vergleich mit den Werten längerer Reihen im Kap. 4 wurden insgesamt 159 Pegel aus ganz Deutschland ausgewählt. Als Vergleichsreihe diente vor allem die Reihe von 1961 – 2002. Bei einer größeren Zahl von Pegeln war auch ein Vergleich mit längeren Reihen möglich. Die Abflussdaten wurden von der BfG und den zuständigen Dienststellen der Länder zur Verfügung gestellt. Es wurden MQ- und MNQ-Werte für Winter- und Sommerhalbjahr sowie das gesamte hydrologische Jahr untersucht, dazu Niedrigwasserabflüsse NMxQ mit  $x = 7$  d und 30 d.

Um die Trockenperiode 2003 vor dem Hintergrund der langfristigen Entwicklung von Niederschlägen und Abflüssen in Deutschland noch besser beurteilen zu können, wurden schließlich Trendanalysen für die vorher untersuchten Kenngrößen durchgeführt und eine regionale Zuordnung von Änderungen versucht (Kap. 5).

Zu weiteren wasserwirtschaftlichen Aspekten der Trockenperiode 2003 (Seen und Speicher, Quellen und Grundwasser, Wasserbeschaffenheit und Lebensgemeinschaften, Verdunstung und Bodenfeuchte) wurden keine eigenen Erfahrungen und Analysen durchgeführt. Das Kap. 6 enthält dazu die Informationen, die sich aus den vorliegenden Berichten anderer Institutionen entnehmen ließen.

Schließlich wird im Kap. 7 noch auf die ökonomischen Folgen der Trockenperiode 2003 eingegangen. Dabei handelt es sich um einen eigenständigen Beitrag des Lehrstuhls für Volkswirtschaftslehre und Wirtschaftspolitik II (Prof. Dr. Michael von Hauff und Dipl.-Volkswirtin Katharina Kluth) auf der Basis der verfügbaren Informationen. Eigene Erhebungen und Analysen waren auch hier aus Zeit- und Kostengründen leider nicht möglich.

## 2 Meteorologische Ursachen

### 2.1 Großwetterlagen

Die in weiten Teilen Europas ungewöhnlich niederschlagsarme und heiße Wetterperiode vor allem zwischen Mai und August 2003 wurde wesentlich durch das überdurchschnittliche Auftreten von drei Großwetterlagen verursacht:

Die Großwetterlage 5 (SW antizyklonal) trat verstärkt am Anfang der Trockenperiode auf. Danach prägte die Großwetterlage 10 längere Zeit das Wettergeschehen mit einer stabilen Brücke des Azorenhoches bis nach Russland. Das ausgedehnte Hoch lenkte Tiefdruckgebiete, die Niederschläge bringen könnten, nördlich an Mitteleuropa vorbei (siehe Bild 2.1 a) aus der Zeit vom 12. - 17.06.2003).

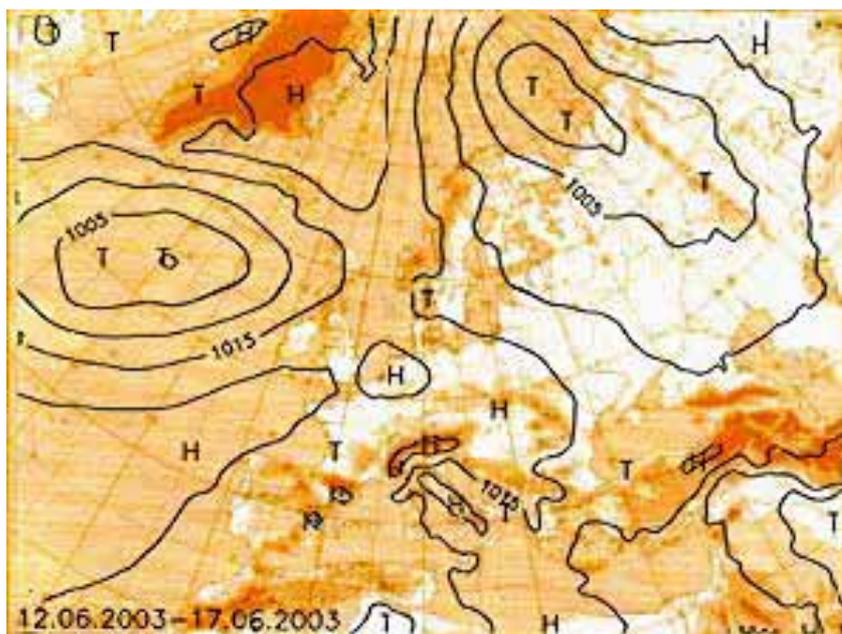
Vor allem in der ersten Augushälfte trat die Großwetterlage 14 auf, bei der ein Hochdruckgebiet westlich von Norwegen bis nach Mitteleuropa reichte und die Tiefdruckgebiete vom Atlantik abblockte (siehe Bild 2.1 b) aus der Zeit vom 22.07. - 07.08.2003). Diese Konstellation führte zu den extremen Temperaturwerten während der Trockenperiode.

Diese drei Großwetterlagen waren zusammen an ca. 40 % der Tage von April bis September 2003 zu verzeichnen und damit etwa dreimal häufiger als im langjährigen Mittel (FINK et al. 2004).

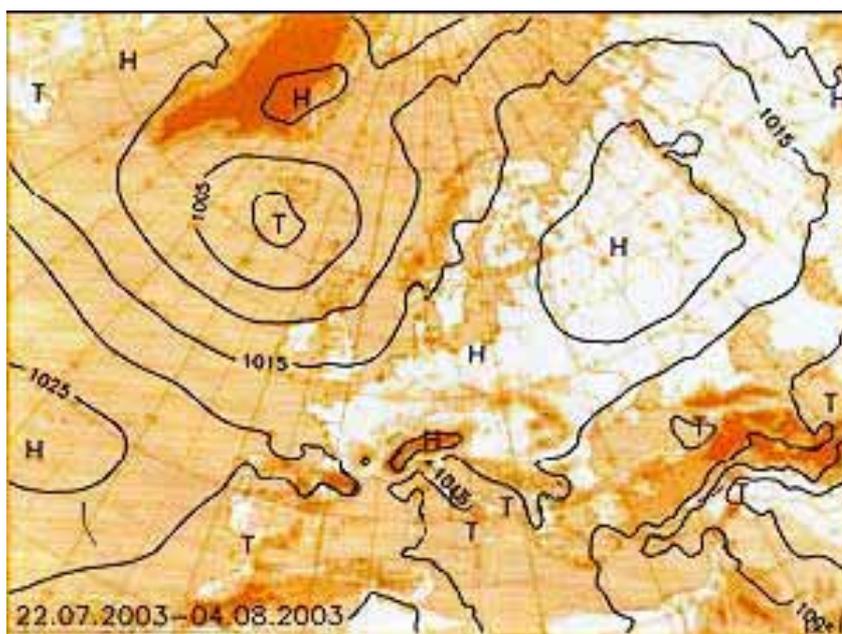
### 2.2 Situation in Europa

#### 2.2.1 Niederschläge

Eine ausführliche Darstellung der Niederschlagsverteilungen in Europa für das meteorologische Jahr 2003 (Dezember 2002 bis November 2003) und die einzelnen Jahresabschnitte wurde vom Deutschen Wetterdienst veröffentlicht (RUDOLF in DWD 2004). Auf diese Ergebnisse wird im Folgenden zurückgegriffen. Es handelt sich um Angaben zu Niederschlagsanomalien (Defizite oder Überschüsse gegenüber den entsprechenden Werten der Jahresreihe 1961 – 1990) für die jeweils angegebenen Zeitabschnitte [mm/Monat]. Ein Defizit von 25 mm/Monat bedeutet z. B. ein Jahresdefizit von 300 mm/a.



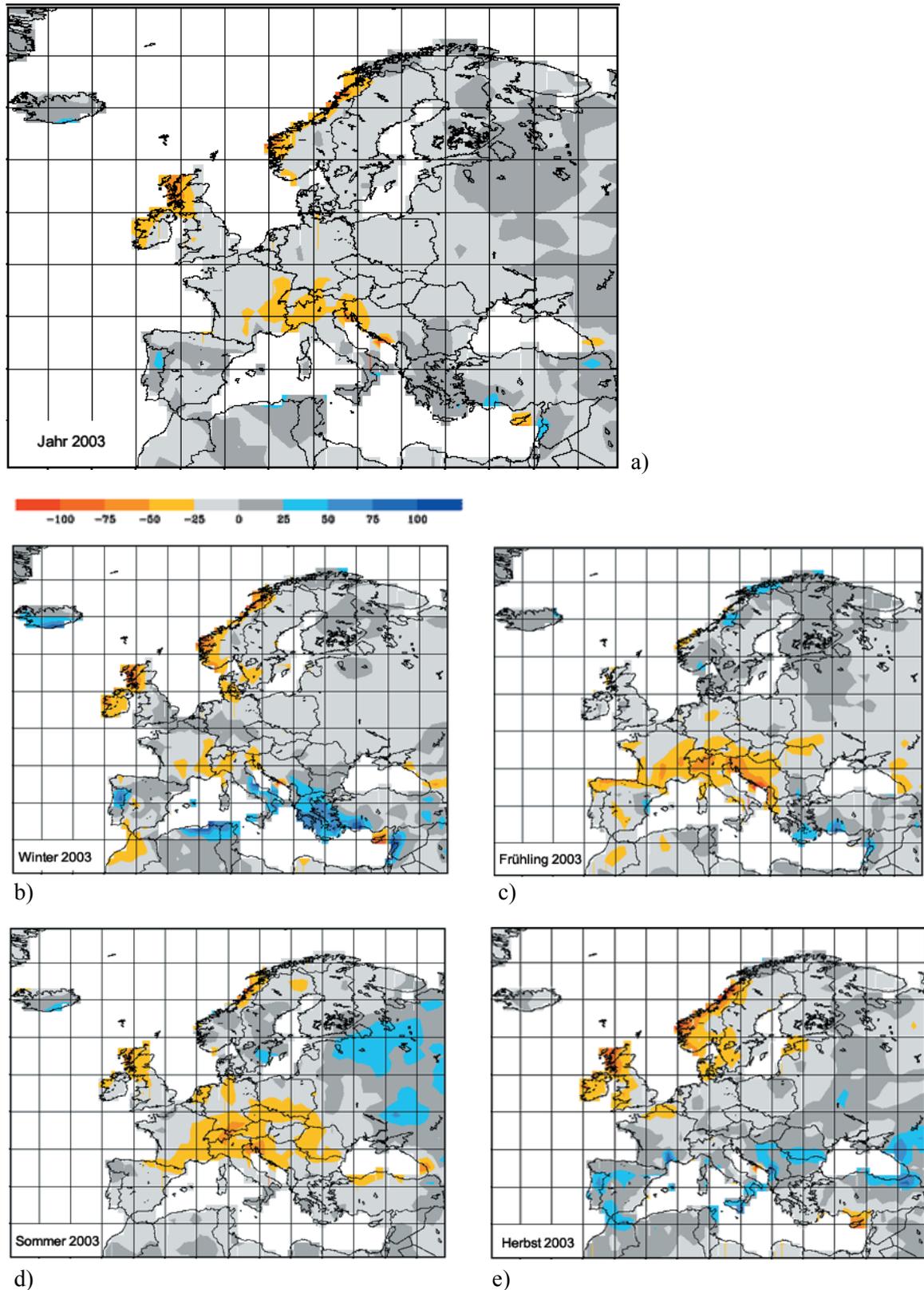
a) GWL 10 12. - 17.06.2003



b) GWL 14 22.07. - 04.08.2003

**Bild 2.1** Typische Großwetterlagen während der Trockenperiode 2003  
(Quelle: DWD)

Bild 2.2 a) zeigt die räumliche Verteilung dieser Anomalien für das gesamte meteorologische Jahr 2003. Man erkennt weit überwiegend Defizite zwischen 0 und 25 mm/Monat. Im Alpenbereich, in Teilen von Schottland und Irland sowie an der norwegischen Küste betragen die Defizite zwischen 25 und 50 mm/Monat. Die zugehörigen prozentualen Defizite in Mitteleuropa reichen bis etwa -50 %.



**Bild 2.2** Niederschlagsabweichungen in Europa in mm pro Monat im meteorologischen Jahr 2003 und in den Jahreszeiten gegenüber 1961 – 1990 (aus DWD 2004)

Die Situation in Bezug auf die einzelnen Jahreszeiten (Winter: Dezember, Januar, Februar; Frühling: März, April, Mai; Sommer: Juni, Juli, August und Herbst: September, Oktober, November) zeigen die Bilder 2.2 b), c), d) und e).

Im Winter 2002/03 ist die räumliche Verteilung der Defizite ähnlich wie im Gesamtjahr. Im Frühling und Sommer 2003 ist eine langgestreckte Zone besonders großer Niederschlagsdefizite von den Pyrenäen über Südfrankreich, Süddeutschland, Schweiz, Österreich und Norditalien und einigen nördlichen Balkanländern zu erkennen. Im Sommer sind auch die Tschechische Republik, die Slowakei und Teile von Rumänien betroffen. Die Defizite betragen teilweise mehr als 50 mm/Monat. Im Herbst 2003 schließlich stehen hohen Defiziten in Teilen von Großbritannien und den skandinavischen Ländern größere Überschüsse in den Mittelmeerländern und auf dem Balkan gegenüber. Im übrigen Mitteleuropa sind in dieser Zeit meist „nur“ Defizite von bis zu 25 mm/Monat aufgetreten.

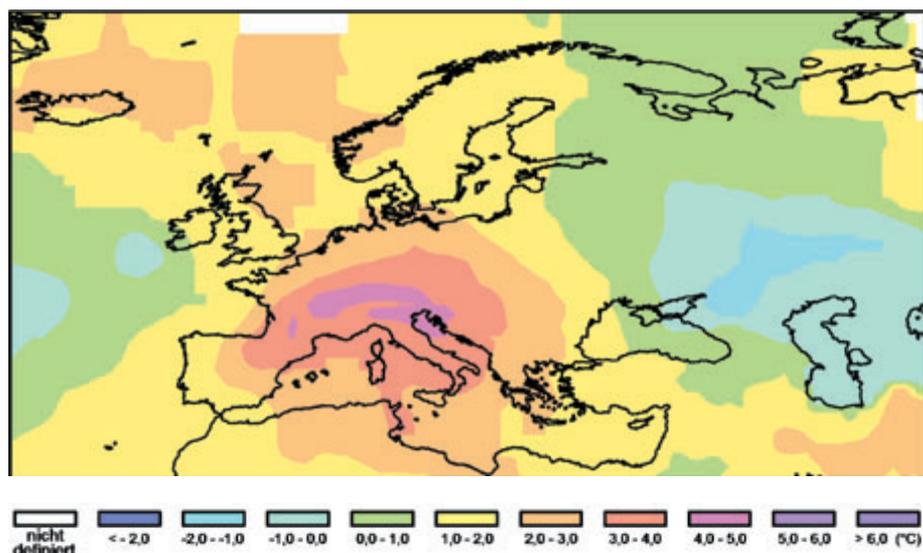
Die Darstellung der Situation nach DWD (2004) für einzelne Monate zeigt vor allem für Februar, März, Juni und August besonders großflächige Niederschlagsdefizite in einem breiten Streifen von Großbritannien bis zum Schwarzen Meer mit örtlichen Werten von mehr als -75 mm/Monat.

Trotz dieser insgesamt negativen Bilanz für die Niederschläge (Defizite gegenüber den langjährigen Mittelwerten) hat es kurzzeitig und örtlich verteilt auch Einzelergebnisse mit hohen Niederschlägen und in deren Folge auch Hochwasserereignisse mit großen Schäden gegeben. Im Bericht des Deutschen Wetterdienstes (RUDOLF in DWD 2004) werden eine Vielzahl solcher Ereignisse aus ganz Europa genannt. In Deutschland waren Ende Dezember 2002/Anfang Januar 2003 vor allem Mosel, Mittelrhein, Werra, Saale, Unstrut, Fränkische Saale und Main betroffen. Sogar im Monat August mit im Durchschnitt sehr geringen Niederschlägen kam es in Deutschland infolge regionaler Starkniederschläge zu örtlichen Problemen durch Überschwemmungen, Hagel und Erosion.

### **2.2.2 Temperaturen**

Der Sommer 2003 ist durch lang andauernde, großflächig auftretende und ungewöhnlich hohe Temperaturen gekennzeichnet. Bild 2.3 aus RUDOLF (in DWD 2004) zeigt die mittleren Abweichungen (Anomalien) der Sommermonate Juni bis August 2003 gegenüber den Mittelwerten der Periode 1961 – 90 für Europa. Die größten Abweichungen (+4 bis +5° C) finden sich in einem Streifen von Südfrankreich über den Alpenraum bis zur Adria. Aber auch im übrigen Zentraleuropa traten noch Abweichungen von +2 bis +4° C auf. Nach LUTERBACHER et al. (zitiert bei RUDOLF, DWD 2004) ist das Jahr 2003 (Dezember 2002 bis November 2003) als das wärmste Jahr seit 500 Jahren einzustufen. In der Schweiz (BUWAL 2004) waren das Sommerhalbjahr 2003 das wärmste Halbjahr und der Juni 2003 der wärmste Monat seit Beginn der regelmäßigen Messungen 1865.

Die höchsten Tagestemperaturen traten vor allem in der ersten Augushälfte auf (bis zu 41,5 °C). An einzelnen Stationen in Deutschland, Frankreich und in der Schweiz (aber z. B. auch in England) wurden die bisher gemessenen Höchstwerte erreicht oder überschritten.



**Bild 2.3** Abweichung der mittleren Lufttemperatur in °C in Europa  
Monate Juni – August 2003 gegenüber Mittelwerten 1961 – 1990  
(aus DWD 2004)

## 2.3 Situation in Deutschland

### 2.3.1 Niederschläge

Die Beschreibung des Niederschlagsgeschehens 2003 im Kap. 2.2.1 für Europa und die zugehörigen Karten mit den Abweichungen gegenüber den Mittelwerten 1961 – 90 (Bild 2.2) geben schon einen Überblick über die Situation in Deutschland: Defizite im gesamten Jahr, besonders im Sommer (Juni – August) und in Süddeutschland stärker ausgeprägt als im Norden und Osten. Für eine differenziertere Analyse wurden vom Deutschen Wetterdienst vergleichbare Darstellungen mit Niederschlagsanomalien gegenüber den Mittelwerten 1961 – 1990 für einzelne Monate, Jahreszeiten, Halbjahre und das Gesamtjahr in Kartenform zur Verfügung gestellt sowie getrennte Auswertungen für hydrologische Einheiten (Flussgebiete) durchgeführt.

Der mittlere Jahresniederschlag für das hydrologische Jahr 2003 (November 2002 bis Oktober 2003) betrug danach 699 mm, etwa zu gleichen Teilen auf das Winter- und das Sommerhalbjahr verteilt (346 mm bzw. 353 mm). Für die wichtigsten Flussgebiete in Deutschland (jeweils deutscher Anteil) ergeben sich aber deutliche Unterschiede für das hydrologische Jahr:

Donaugebiet	889 mm
Rheingebiet	788 mm
Emsgebiet	743 mm
Wesergebiet	692 mm
Elbegebiet	549 mm
Odergebiet	426 mm

Darin zeigt sich auch in diesem niederschlagsarmen Jahr die typische regionale Verteilung der Niederschlagshöhen in Deutschland mit großen Werten in Süd- und Westdeutschland (Alpen, Schwarzwald, Sauerland) und kleinen Werten im Rhein-Main-Gebiet und in Ostdeutschland (Bild 2.4). Die Abweichungen gegenüber den Mittelwerten der Reihe 1961 – 1990 waren 2003 aber anders verteilt (Bild 2.7): hohe Defizite (zwischen 49 und 25 %) vor allem im Süden und im Osten, geringe bis keine Defizite im Westen und Norden. Die Bilder 2.5 und 2.8 zeigen auch die entsprechenden Verteilungen für das hydrologische Winterhalbjahr (November 2002 – April 2003) und für das Sommerhalbjahr (Mai – Oktober 2003). Im Winterhalbjahr sind meist nur geringe Defizite oder Überschüsse zu verzeichnen. Größere Defizite beschränken sich auf den äußersten Nordosten. Im Sommerhalbjahr traten fast überall Defizite auf. Räumliche Verteilung und Größe der Defizite ähneln der Darstellung für das Gesamtjahr.

Betrachtet man die einzelnen Monate, zeigen sich im November und Dezember 2002 sowie im Januar 2003 größere Überschreitungen der Mittelwerte („Überschüsse“). In diesen Monaten kam es in einigen Regionen Deutschlands zu Starkregenereignissen und in der Folge zum Auftreten von Hochwasser vor allem Anfang Januar am Mittelrhein und seinen Zuflüssen Mosel und Main sowie im Gebiet von Werra, Saale und Unstrut. Die Scheitelabflüsse hatten am Mittelrhein und seinen Zuflüssen Wiederholungszeitspannen von  $T_n \approx 10 - 20$  a (LfW 2004) und waren an anderen Gewässern z. T. als noch seltener einzustufen.

Nach diesem niederschlagsreichen Beginn des hydrologischen Jahres waren aber von Februar bis September 2003 fast nur noch Niederschlagsdefizite gegenüber der Reihe 1961 – 1990 zu verzeichnen. Zunächst fielen im Februar und März in einzelnen Regionen Deutschlands weniger als 26 % des durchschnittlichen Niederschlags. Vergleichsweise am geringsten waren die Defizite in den Monaten Mai und Juli sowie September. Juni und August waren wiederum sehr niederschlagsarm. Im Oktober traten wieder größere Niederschläge auf, die im Monatsmittel in einzelnen Regionen erneut zu einem Überschuss führten.

Die Bilder 2.10 und 2.11 zeigen außerdem die besonders durch Niederschlagsdefizite betroffenen Monate März, April, Mai (meteorologischer Frühling) und die Monate Juni, Juli, August (meteorologischer Sommer). Zusammen mit dem Februar 2003 handelt es sich um eine sieben Monate dauernde Trockenheit mit großräumigen Niederschlagsdefiziten überwiegend zwischen 25 und 50 %, örtlich bis 75 %.

Zur weiteren Charakterisierung der Niederschlagsverhältnisse 2003 wurden außerdem für 42 ausgewählte Stationen mit langen Reihen ohne Messwertlücken die Monatssummen analysiert. Die Ausgangsdaten wurden vom DWD zur Verfügung gestellt. Die Lage der Messstellen ist in Bild 3.1 dargestellt. Aus den langen Reihen wurden die mittleren, kleinsten und größten Monatssummen bestimmt und den Werten von 2003 gegenübergestellt.

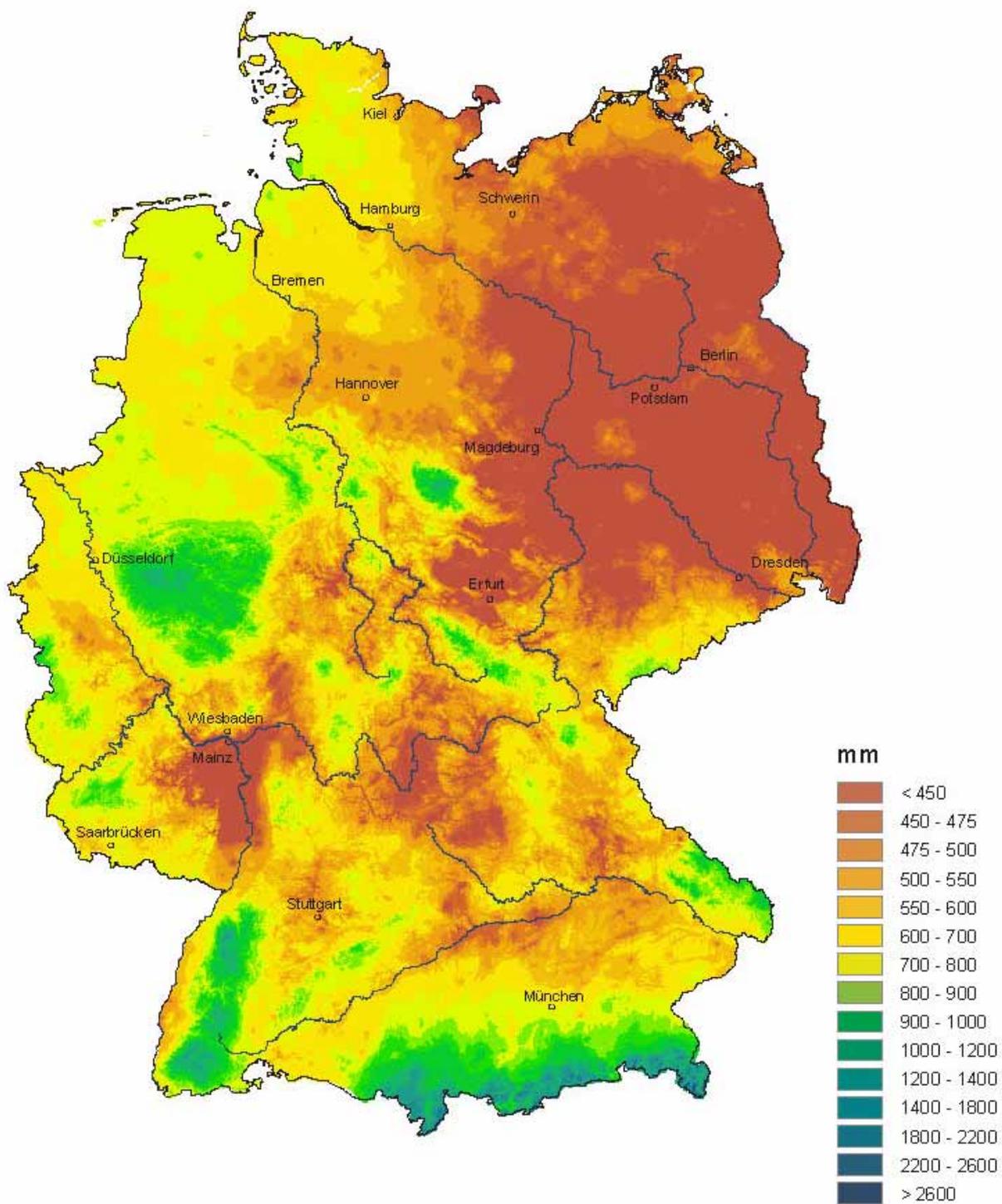
Bild 2.12 zeigt beispielhaft die Ergebnisse als Grafiken für 12 Stationen, der Vergleichbarkeit wegen einheitlich für die Reihe 1901 – 2002.

Einige Erläuterungen zu den Jahresgängen der Niederschläge für die ausgewählten Messstellen:

- > Die Stationen Kusel, Münsingen, Ergoldsbach und Bayr. Eisenstein sind Beispiele für den typischen Verlauf 2003 mit kleineren Überschüssen gegenüber der langjährigen Reihe im Winter- und größeren Defiziten im Sommerhalbjahr.
- > Bei Görlitz und Potsdam sind große Defizite im Sommerhalbjahr, aber auch deutliche Defizite im Winterhalbjahr aufgetreten.
- > Erlangen und Osterrode sind Beispiele für besonders große relative Unterschiede zwischen den beiden Halbjahren. Bei Jever und Murnau dagegen sind diese Unterschiede besonders klein.
- > Einzelne Besonderheiten zeigen darüber hinaus Rostock (mit großen Defiziten im Winter und fast ausgeglichener Bilanz im Sommerhalbjahr) sowie Krefeld (mit deutlichen Überschüssen in beiden Halbjahren)

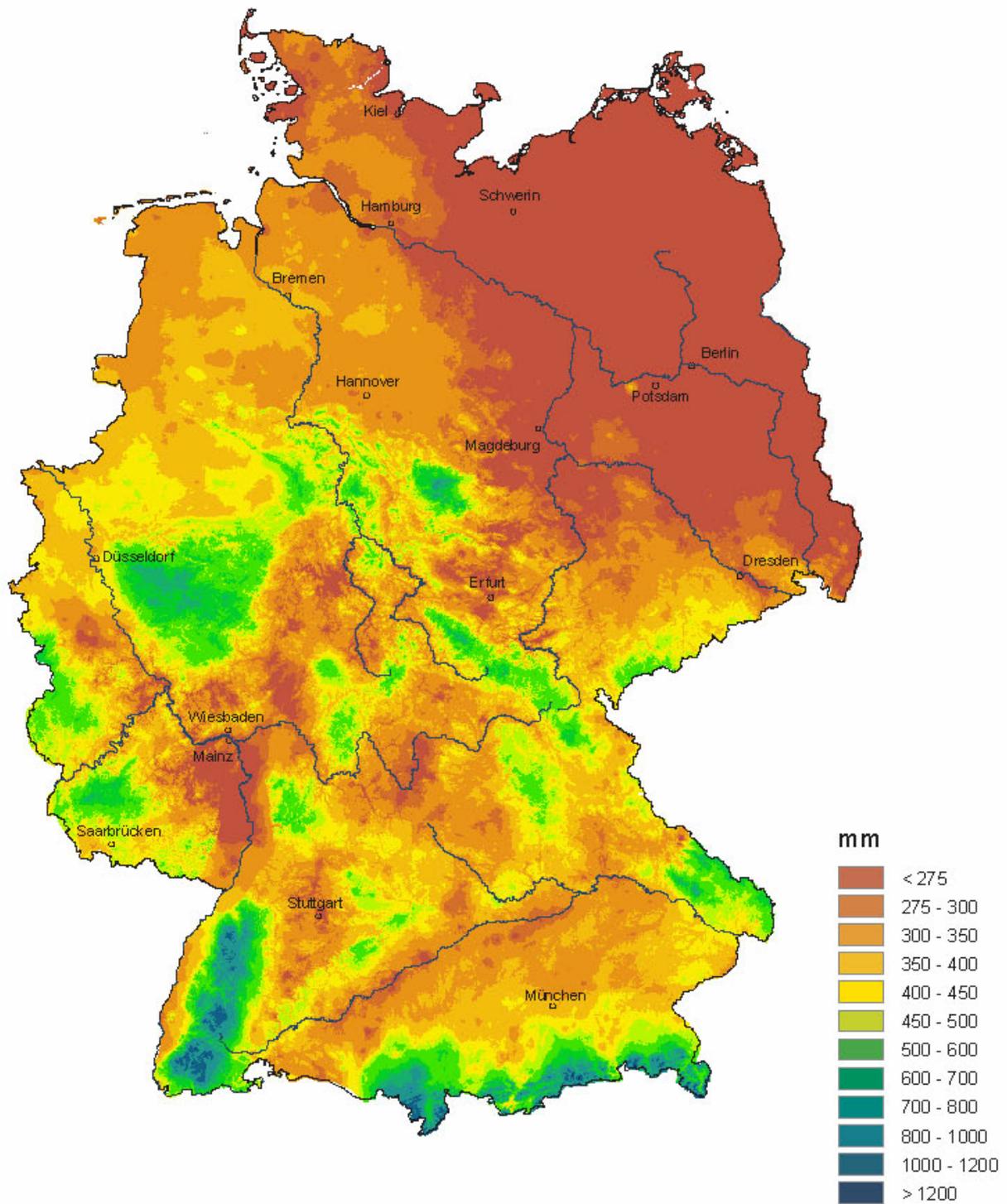
Das Niederschlagsminimum im Winterhalbjahr ist bei den meisten Stationen im Februar aufgetreten, im Sommerhalbjahr im August. Die bisher niedrigsten Monatssummen der langen Reihe wurden 2003 nur selten unterschritten (siehe Beispiel Görlitz).

Weitere Analysen der Niederschlagsdaten aller 42 verwendeten Stationen werden in den Kap. 3 und 5.2 ausführlich dargestellt.



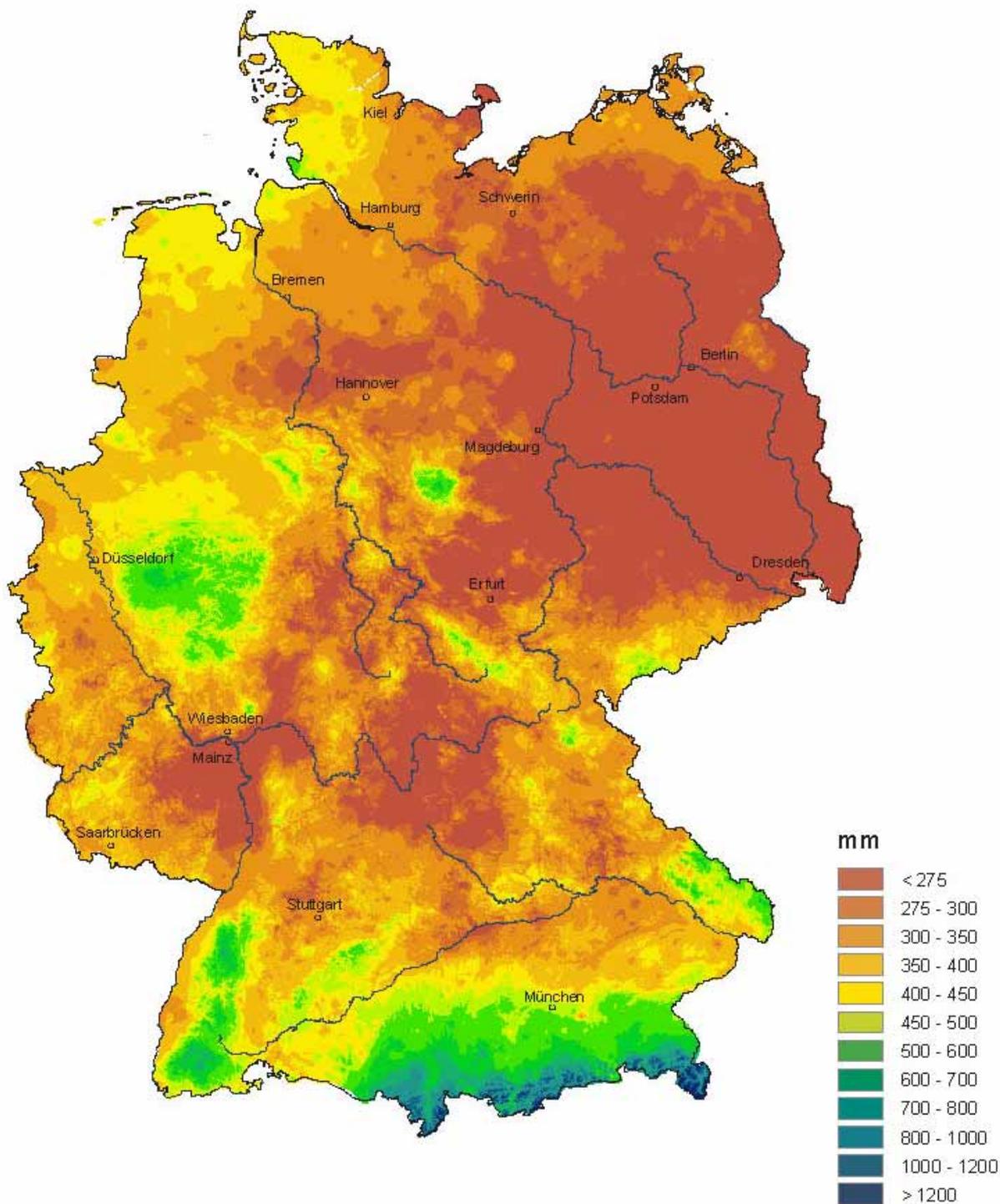
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.4** Niederschlagshöhen in mm, hydrologisches Jahr 2003 (Quelle: DWD)



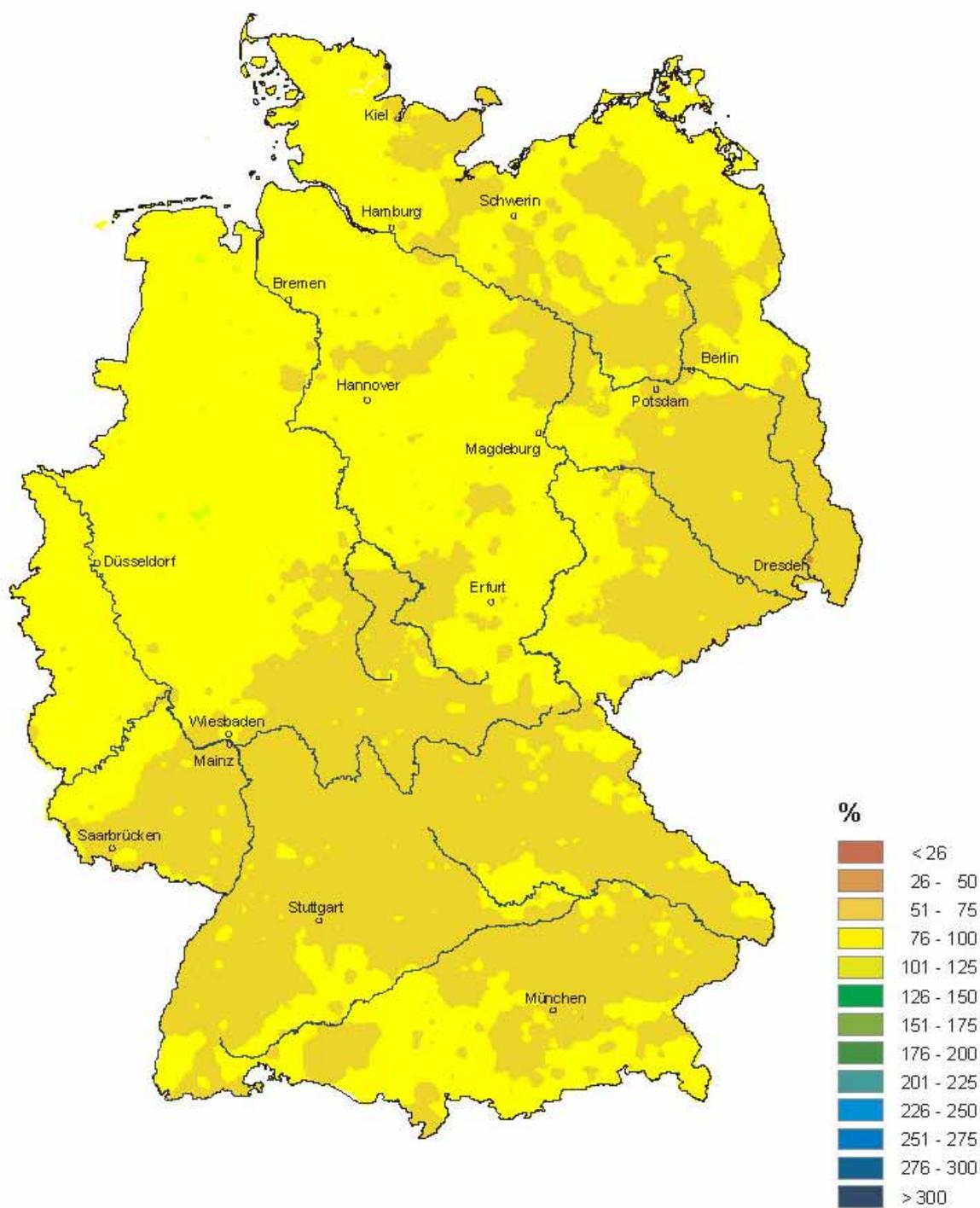
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.5** Niederschlagshöhen in mm, Winterhalbjahr 2003 (Quelle: DWD)



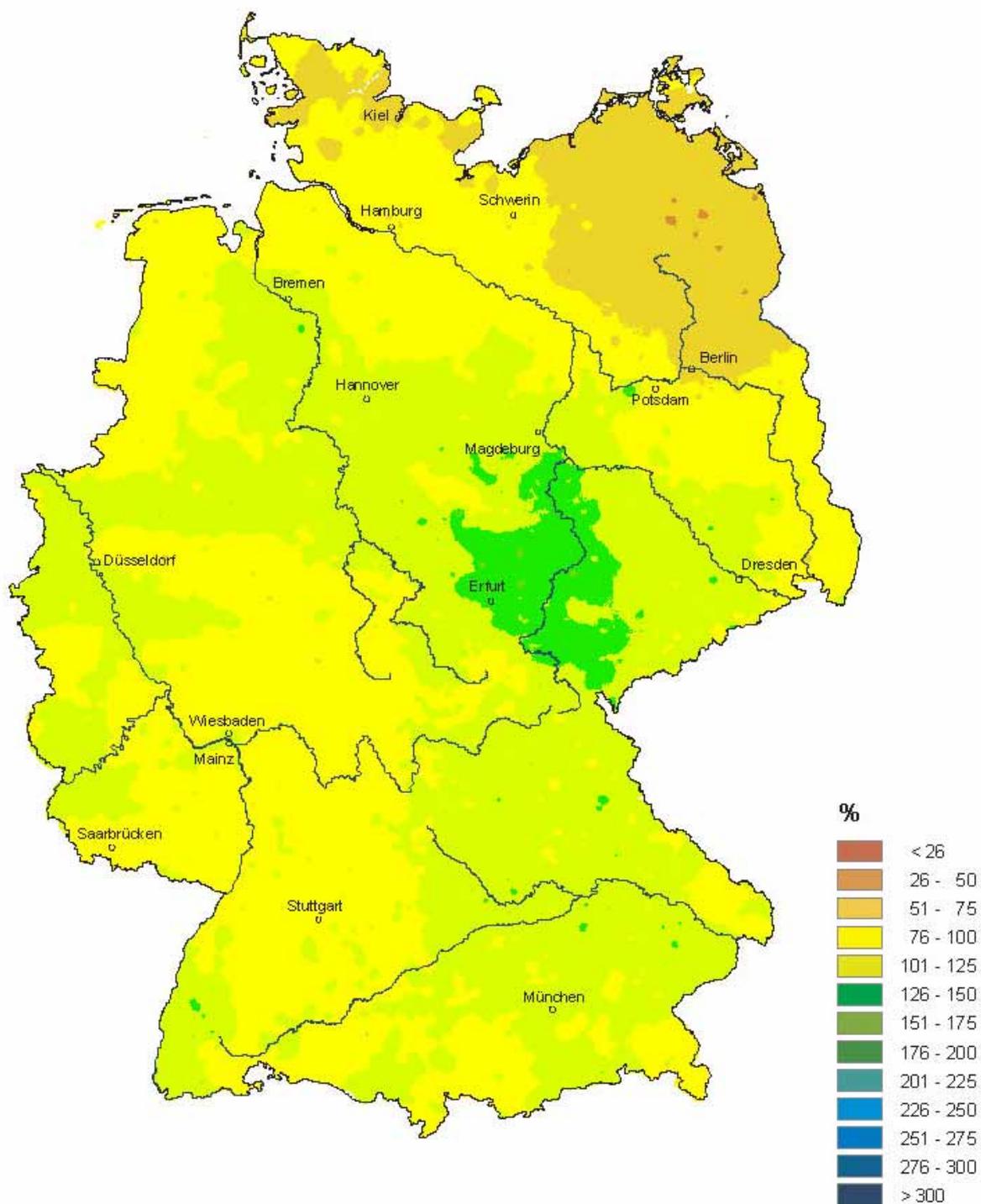
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.6** Niederschlagshöhen in mm, Sommerhalbjahr 2003 (Quelle: DWD)



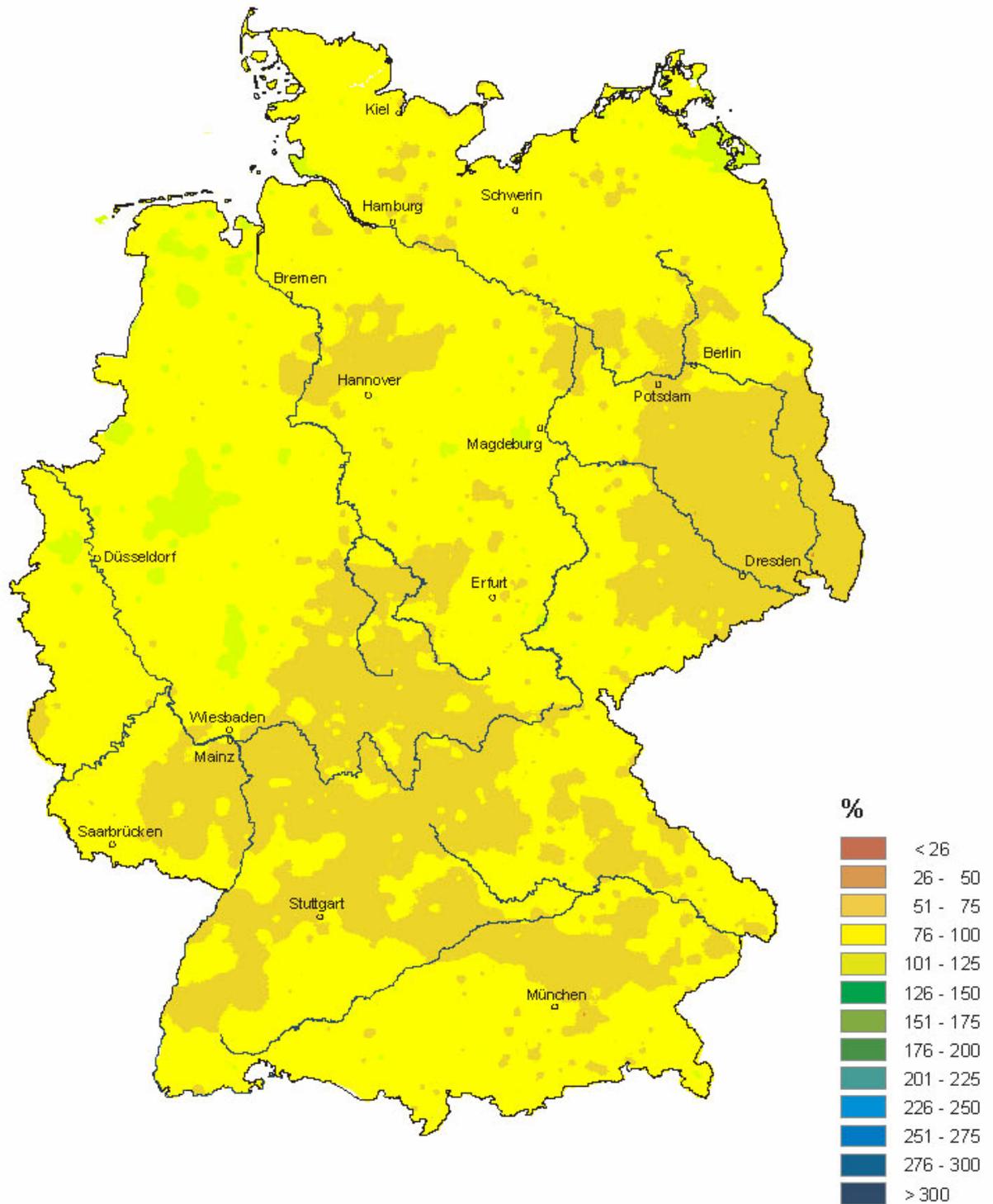
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.7** Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, hydrologisches Jahr (Quelle: DWD)



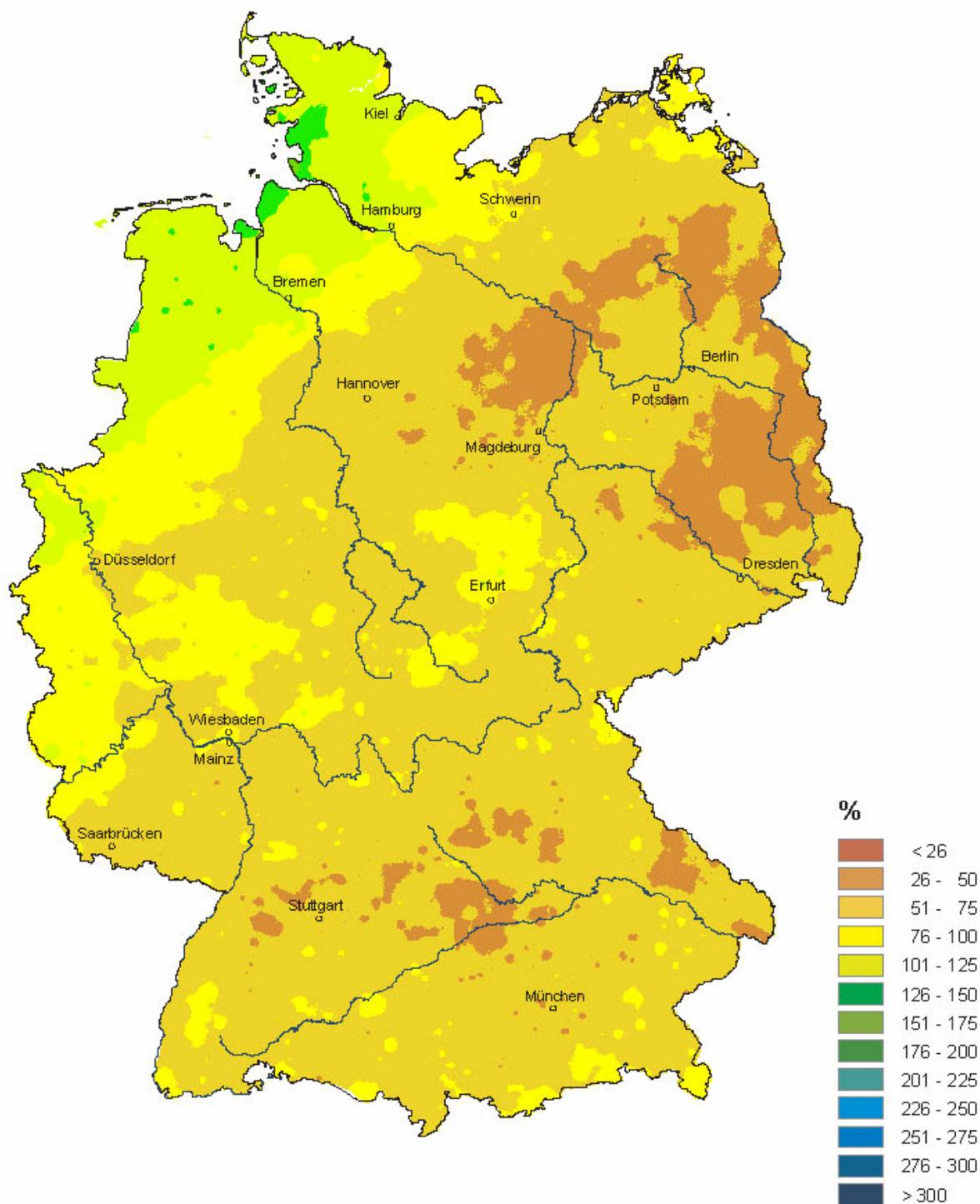
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.8** Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, Winterhalbjahr  
(Quelle: DWD)



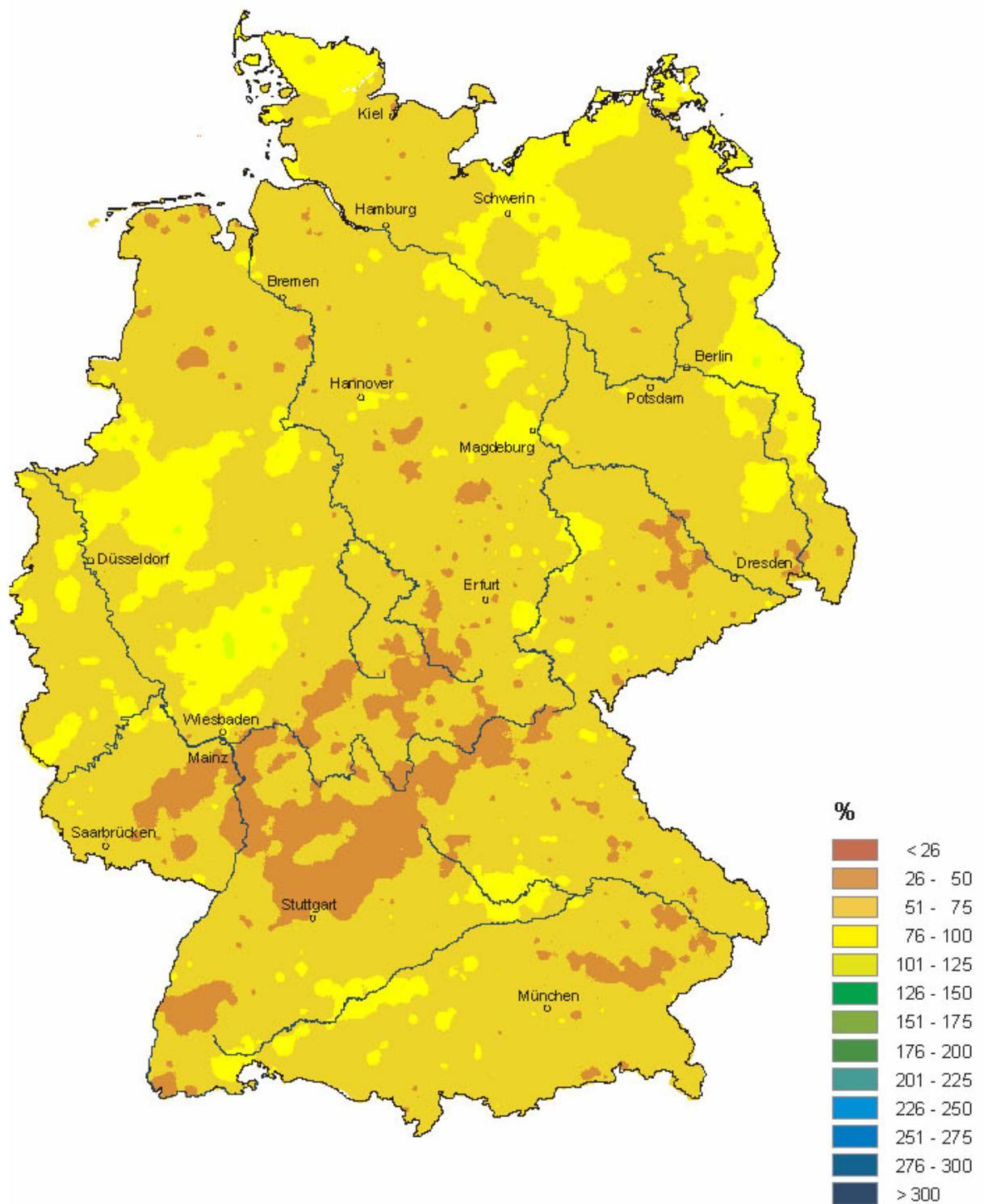
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.9** Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, Sommerhalbjahr (Quelle: DWD)



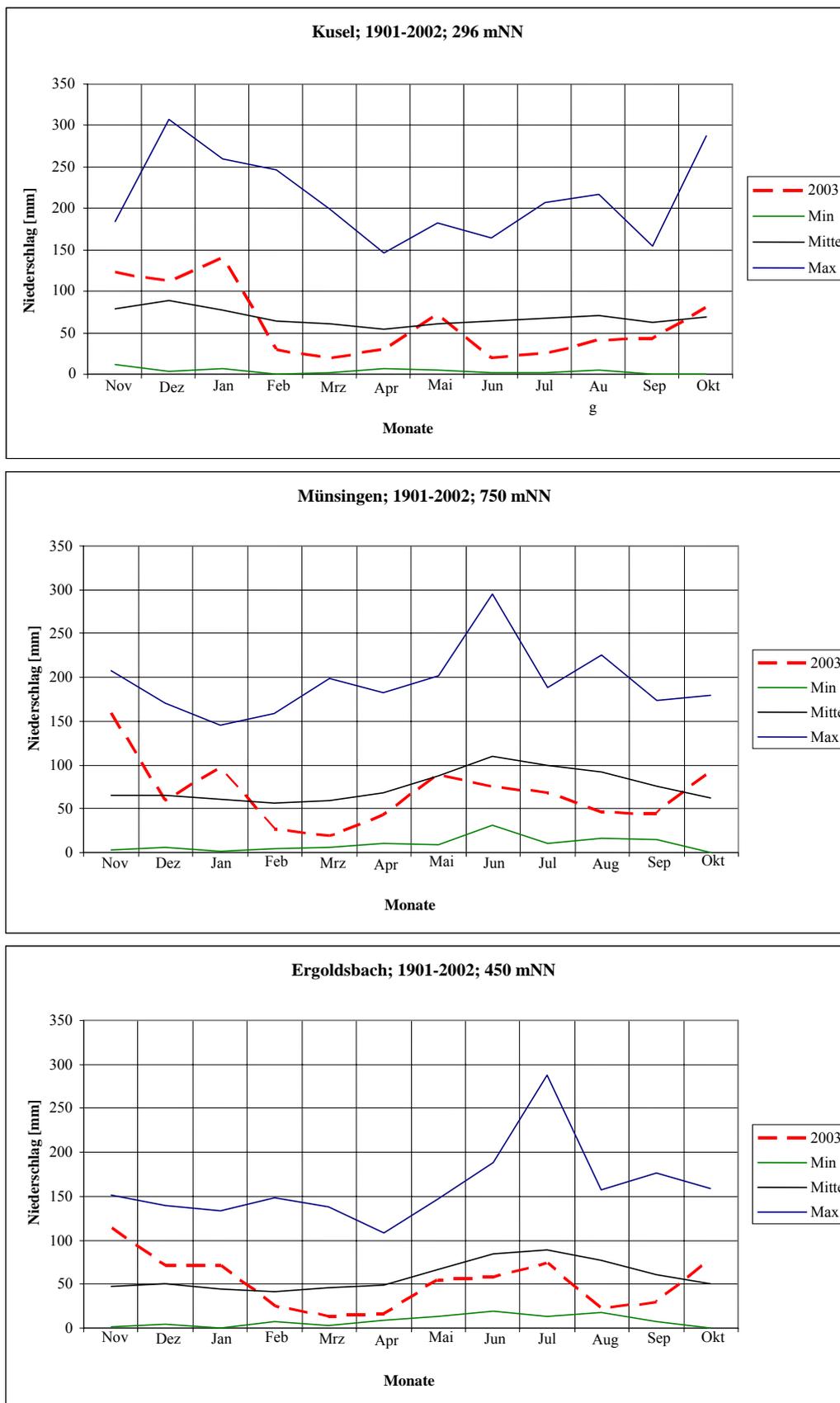
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.10** Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, Frühling  
(Quelle: DWD)

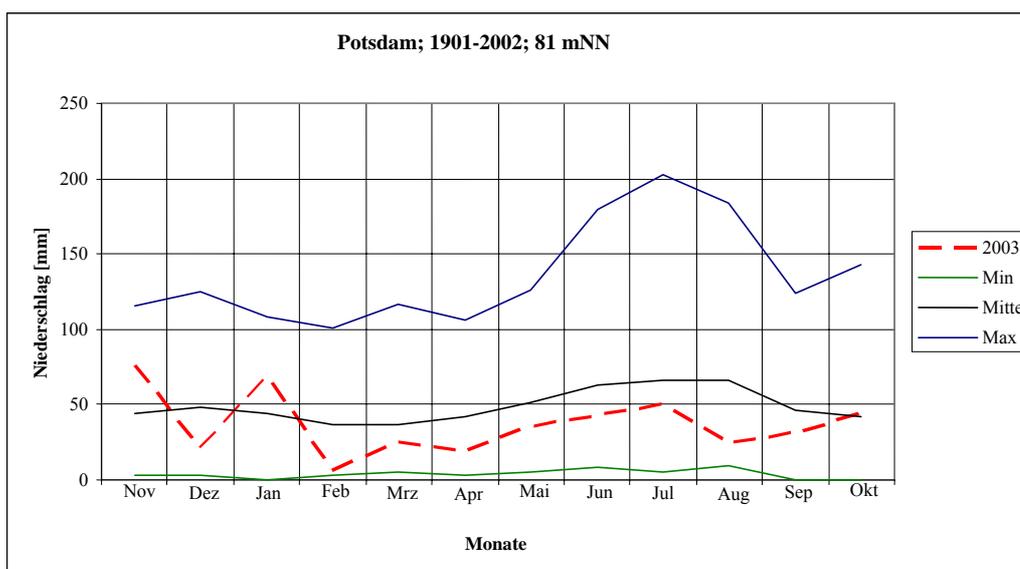
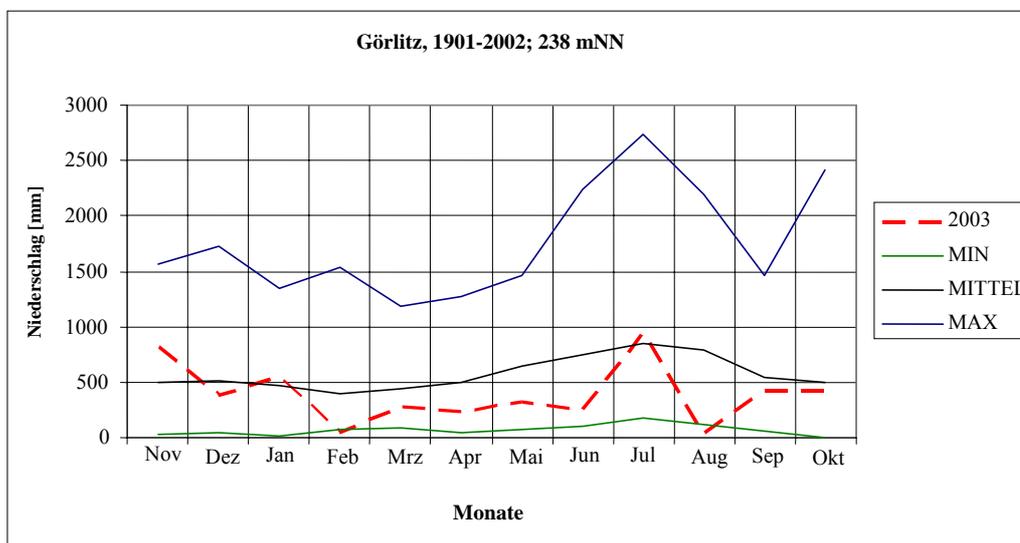
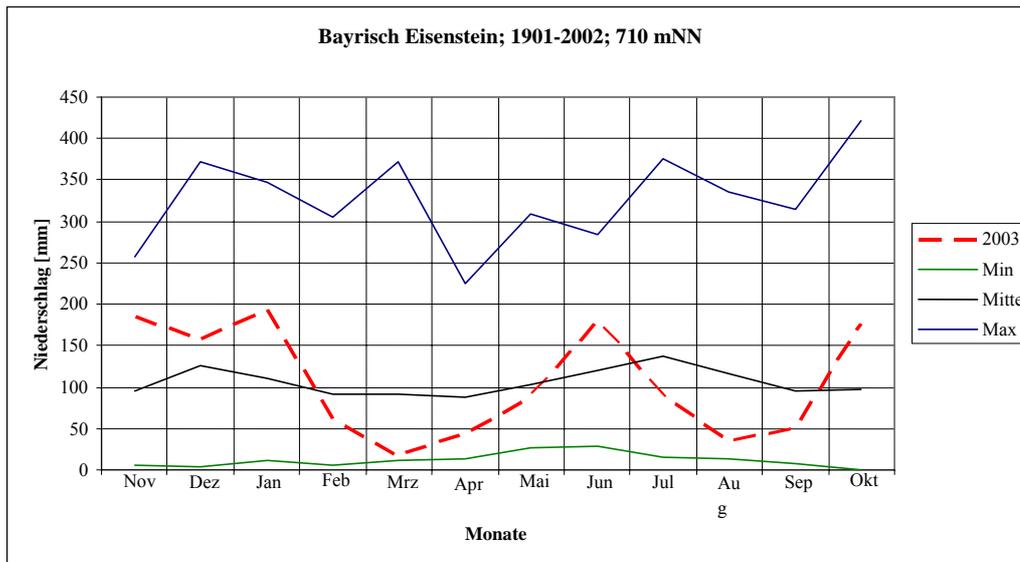


Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

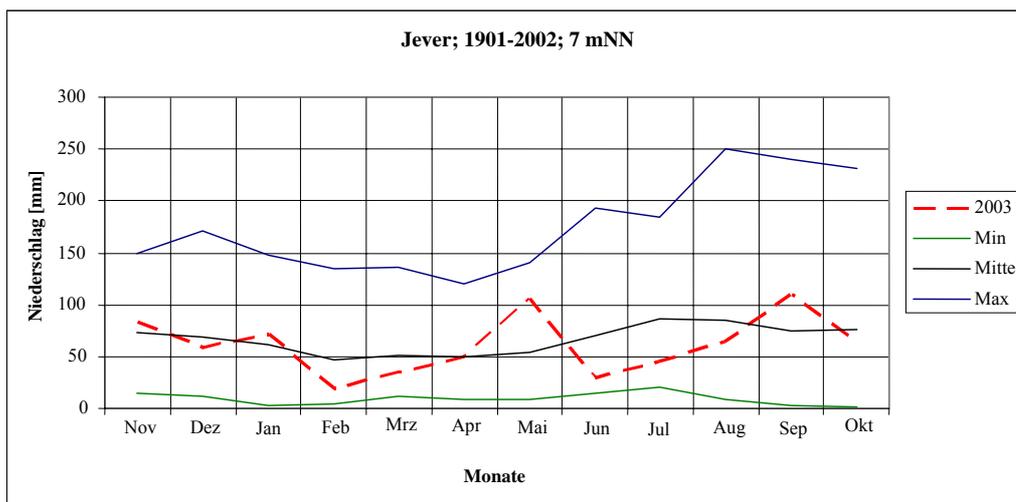
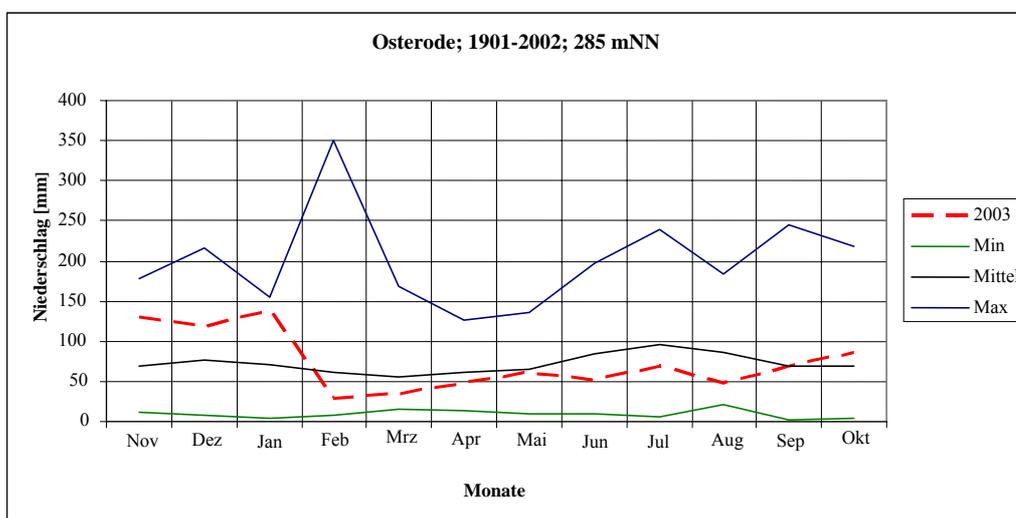
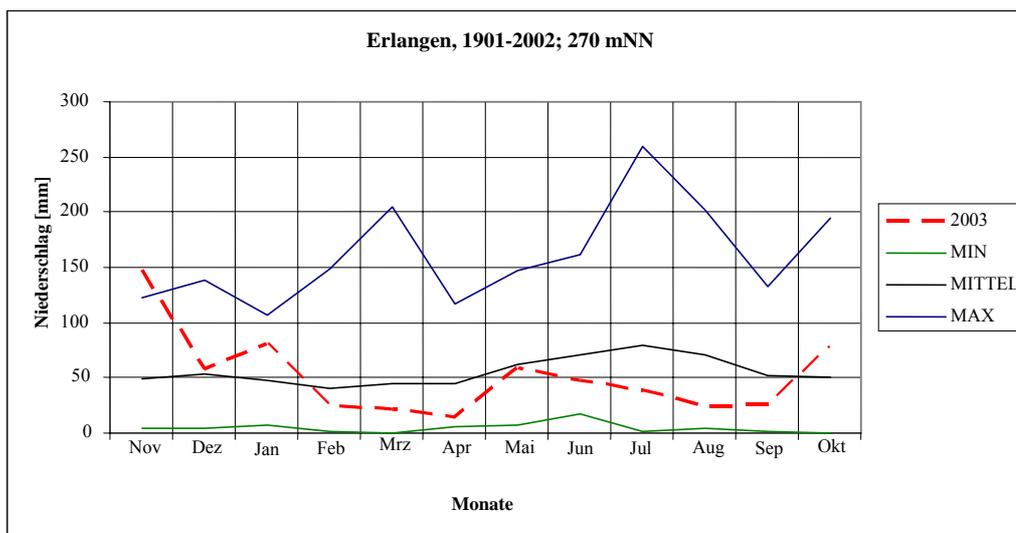
**Bild 2.11** Niederschlagshöhe 2003 in Prozent des Mittelwertes 1961 – 1990, Sommer  
(Quelle: DWD)



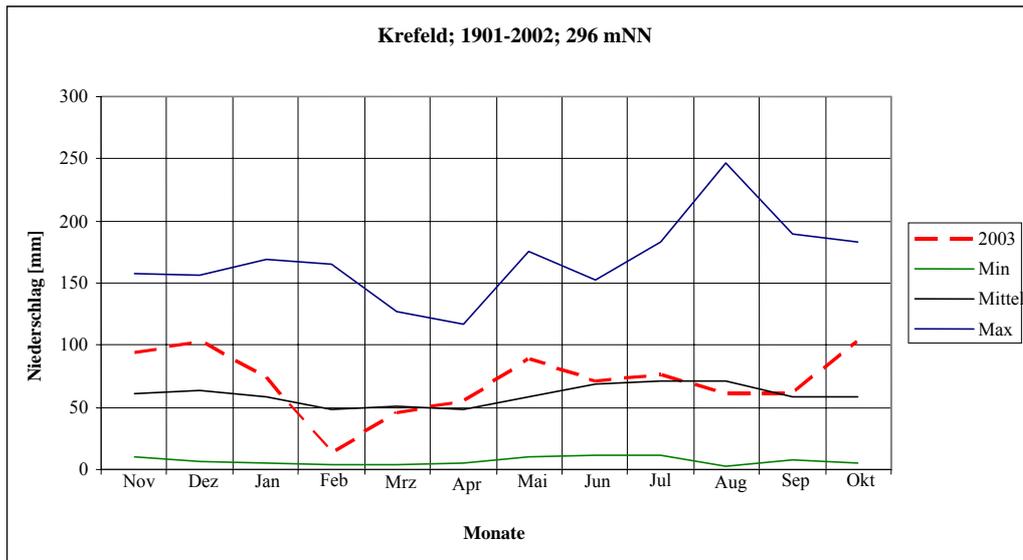
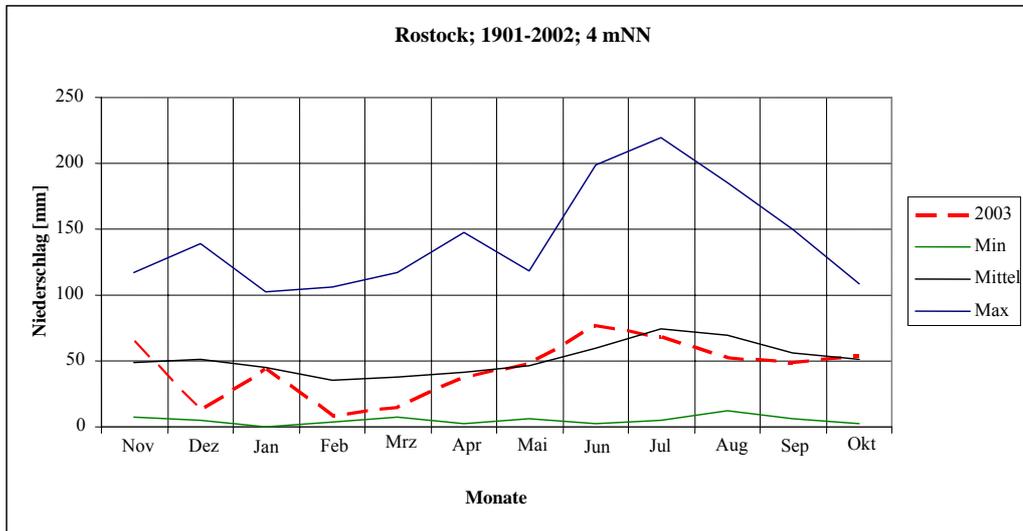
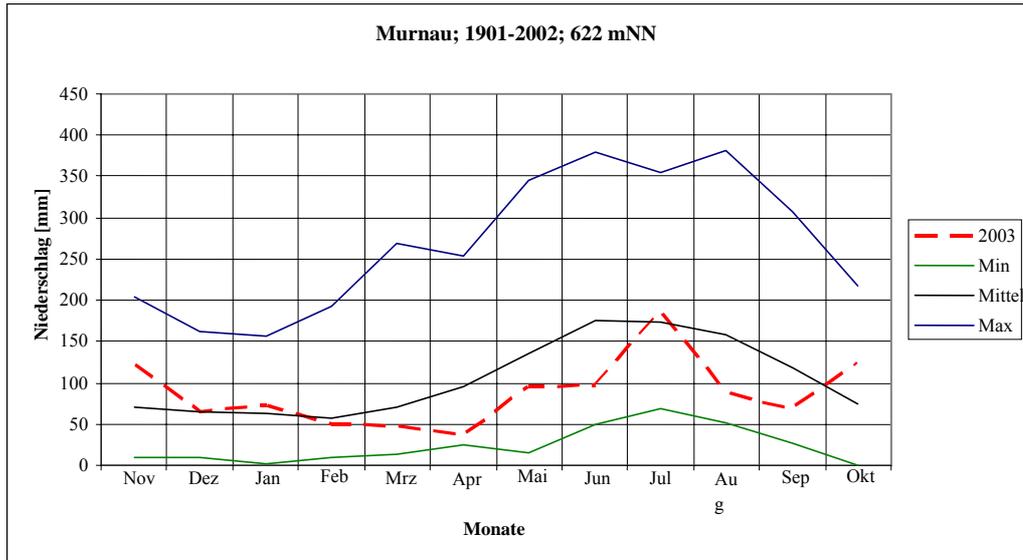
**Bild 2.12** Monatsmittel der Niederschläge 1901 – 2002 und 2003 für ausgewählte Stationen



**Bild 2.12 (Forts.)** Monatsmittel der Niederschläge 1901 – 2002 und 2003 für ausgewählte Stationen



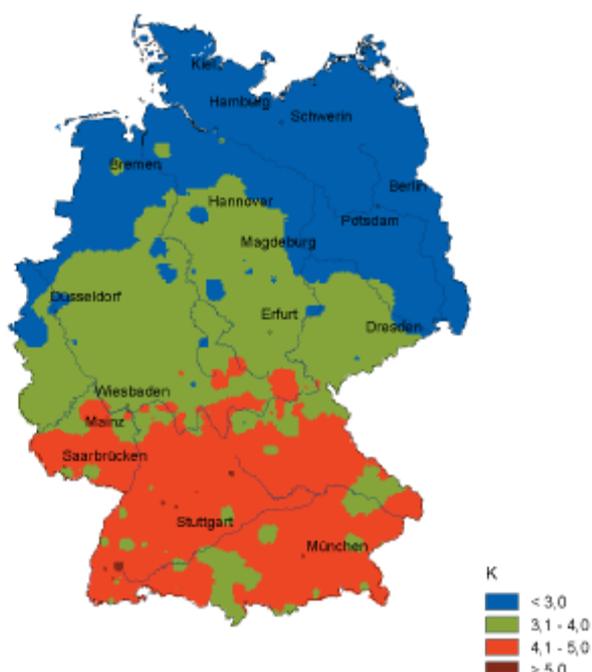
**Bild 2.12 (Fortsetzung)** Monatsmittel der Niederschläge 1901 – 2002 und 2003 für ausgewählte Stationen



**Bild 2.12 (Fortsetzung)** Monatsmittel der Niederschläge 1901 – 2002 und 2003 für ausgewählte Stationen

### 2.3.2 Temperaturen

Wie in fast ganz Europa (siehe Kap. 2.2.2) war auch in Deutschland das Jahr 2003 gegenüber dem Mittel 1961 – 1990 zu warm, im Jahresdurchschnitt um bis zu +2 °C. Betrachtet man die Sommermonate Juni, Juli, August (Bild 2.3), beträgt die Abweichung im Süden von Deutschland +4 bis 5 °C, in der Mitte +3 bis 4 °C und im Norden +2 bis 3 °C (siehe Bild 2.13 aus MÜLLER-WESTERMEIER UND RIECKE (in DWD 2004). Nach MÜLLER-WESTERMEIER UND RIECKE waren diese drei Sommermonate – vor allem der Juni und August – extrem heiß. Es war der heißeste Juni seit 1901 und südlich von Main und Mosel seit Beginn der Messungen. In Freiburg und Konstanz waren alle Tage im Juni Sommertage mit Temperaturmaxima von mindestens 25 °C. Nach einem weniger extremen Juli (aber immer noch 1 bis 3 °C wärmer als im Durchschnitt 1961 – 1990) folgte der August mit neuen Temperaturrekorden. Im Gebietsmittel für Deutschland war es der heißeste August seit Beginn der vorliegenden Messreihen. Die Abweichungen gegenüber dem Mittel von 1961 – 1990 betragen in Süddeutschland etwa +5 bis 6 °C (in kleineren Teilflächen +6 bis 7 °C) und nahmen nach Norden auf +2 bis 3 °C ab. Das bisherige amtliche Temperaturmaximum in Deutschland (40,2 °C 1983 bei Amberg) wurde in Freiburg am 13.08. und in Karlsruhe am 09. und 13.08. eingestellt. Im Gebiet des Wasserverbandes Eifel-Rur wurden an drei Messstellen des Verbandes Temperaturmaxima von 40,7 bis 42 °C gemessen (WV Eifel-Rur 2004).



**Bild 2.13** Temperaturabweichungen in K, Sommer 2003 gegenüber Mittel 1960 – 1990 (aus DWD 2004)

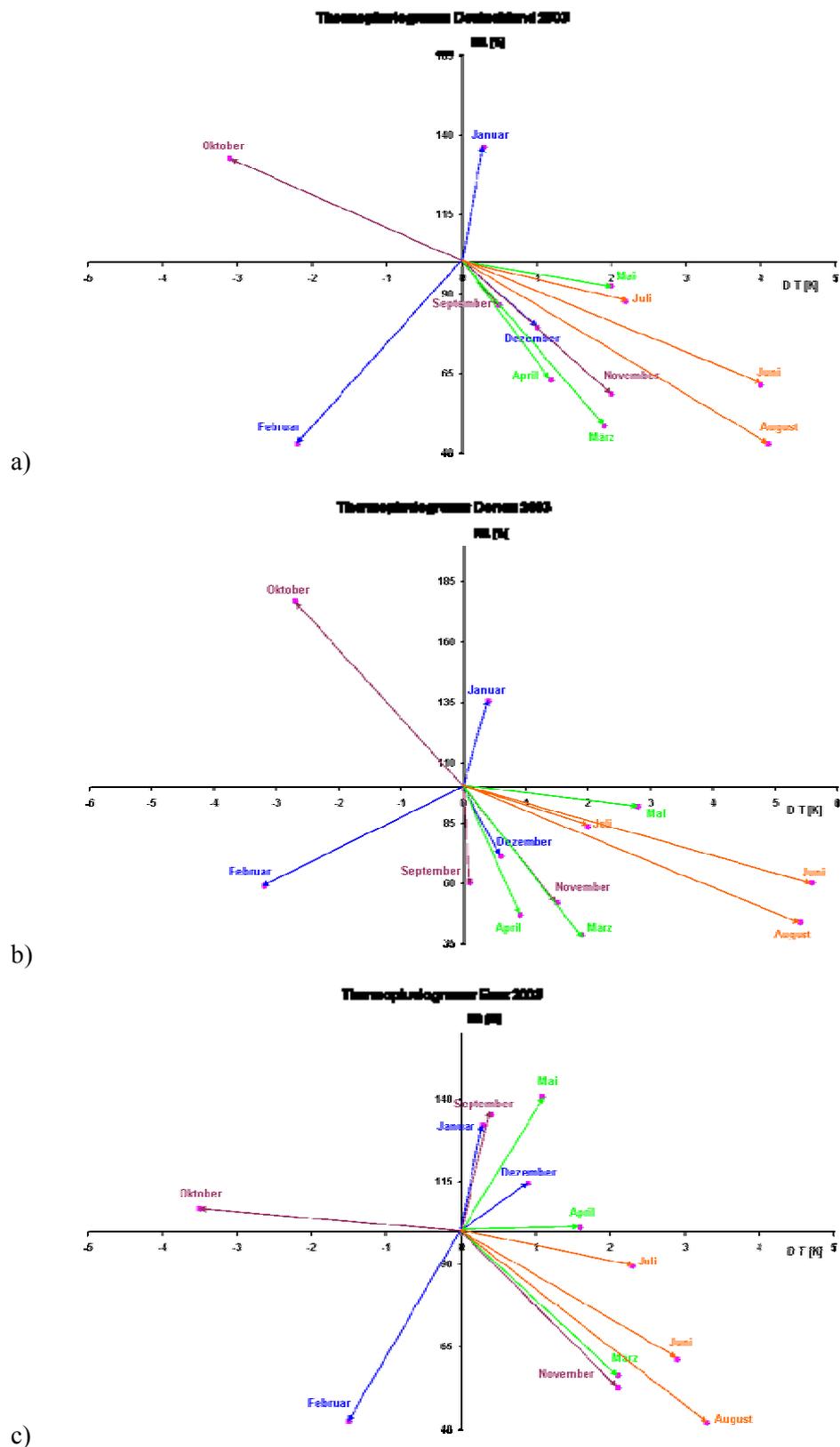
### 2.3.3 Zusammentreffen von Niederschlags- und Temperaturanomalien

Eine übersichtliche Darstellungsform von gleichzeitig aufgetretenen Anomalien der Niederschläge und der Temperaturen für bestimmte Regionen und Zeitabschnitte ist das so genannte Thermopluviogramm. Entsprechende Auswertungen für das Jahr 2003 wurden vom Deutschen Wetterdienst für die Flussgebietseinheiten in Deutschland sowie für Deutschland insgesamt vorgenommen und die daraus entwickelten Diagramme für den vorliegenden Bericht zur Verfügung gestellt. In vier Quadranten werden die positiven oder negativen mittleren Abweichungen des Niederschlags in Prozent gegenüber dem Mittelwert 1961 – 1990 sowie die entsprechenden Abweichungen der mittleren Monatstemperaturen in Kelvin eingetragen und durch Pfeile vom Koordinatenursprung aus hervorgehoben. Für ganz Deutschland ist das Thermopluviogramm des hydrologischen Jahres 2003 in Bild 2.14 a) dargestellt. Danach waren die meisten Monate zu warm und zu trocken, vor allem der Juni und August. Der Februar war dagegen deutlich zu kalt und zu trocken, der Oktober zu kalt und zu nass und der Januar der Temperatur nach durchschnittlich, aber zu nass. Das Bild ist für die deutschen Anteile der Flussgebiete Rhein, Donau (siehe Bild 2.14 b)), Weser, Elbe qualitativ sehr ähnlich. Etwas anders war die Situation in Nordwest- und Norddeutschland: Das Beispiel des Emsgebietes (Bild 2.14 c)) zeigt Abweichungen gegenüber Bild 2.14 a) in den Monaten Dezember, Mai, September (zu warm und zu nass).

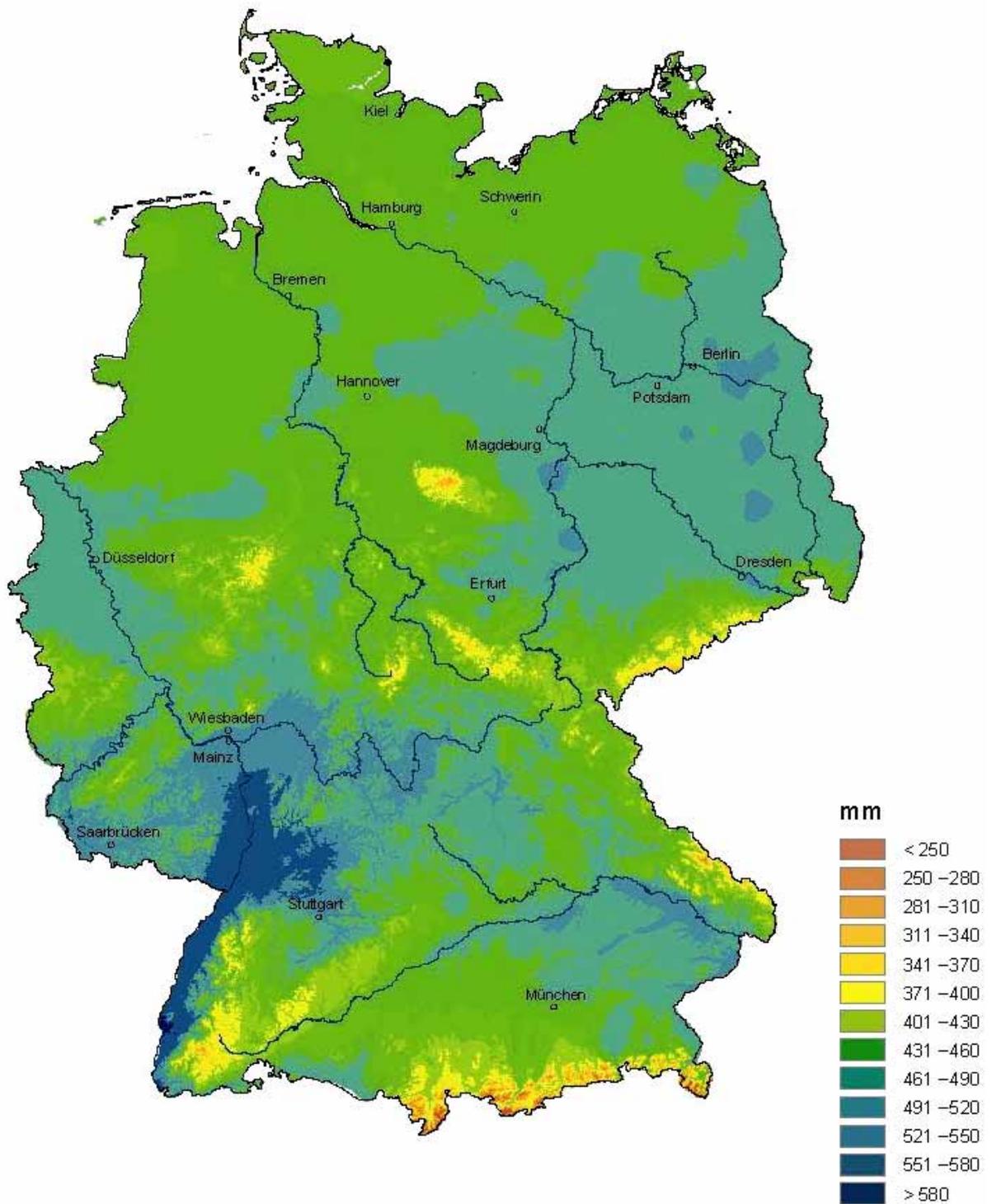
### 2.3.4 Verdunstung

Vom Deutschen Wetterdienst wird routinemäßig aus meteorologischen Daten die so genannte „Grasreferenzverdunstung“ berechnet, eine potenzielle, vom aktuellen Wasserdargebot des Bodens und vom Pflanzenbestand unabhängige Vergleichsgröße zur Beurteilung der Verdunstung. Gegenüber der realen Verdunstung wird vor allem nicht berücksichtigt, dass die Pflanzen bei abnehmender Bodenfeuchte die Transpiration reduzieren und bei völlig trockenem Boden keine Verdunstung mehr stattfindet. Die flächendeckende Berechnung dieser Verdunstung für 2003 und die Abweichungen gegenüber der Reihe 1961 – 1990 wurden vom DWD für die vorliegende Dokumentation zur Verfügung gestellt.

Die mittleren Werte der Grasreferenzverdunstung für Deutschland betragen 2003 im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober 2003) 482 mm, im Winterhalbjahr (November 2002 – April 2003) 158 mm, im Gesamtjahr 640 mm. Bezogen auf die großen Flusseinzugsgebiete (deutscher Anteil) sind die Unterschiede nicht sehr groß (616 bis 665 mm), trotzdem treten regional vor allem im Sommerhalbjahr größere Unterschiede auf: z. T. über 550 mm am Oberrhein und unter 430 mm im Küstenbereich (Bild 2.15). Der Vergleich mit den Werten der Reihe 1961 – 1990 (Bild 2.16) zeigt eine Überschreitung dieser Mittelwerte um 11 bis 20 % fast flächendeckend, wobei einzelne kleinere Regionen größere und kleinere Abweichungen aufweisen.

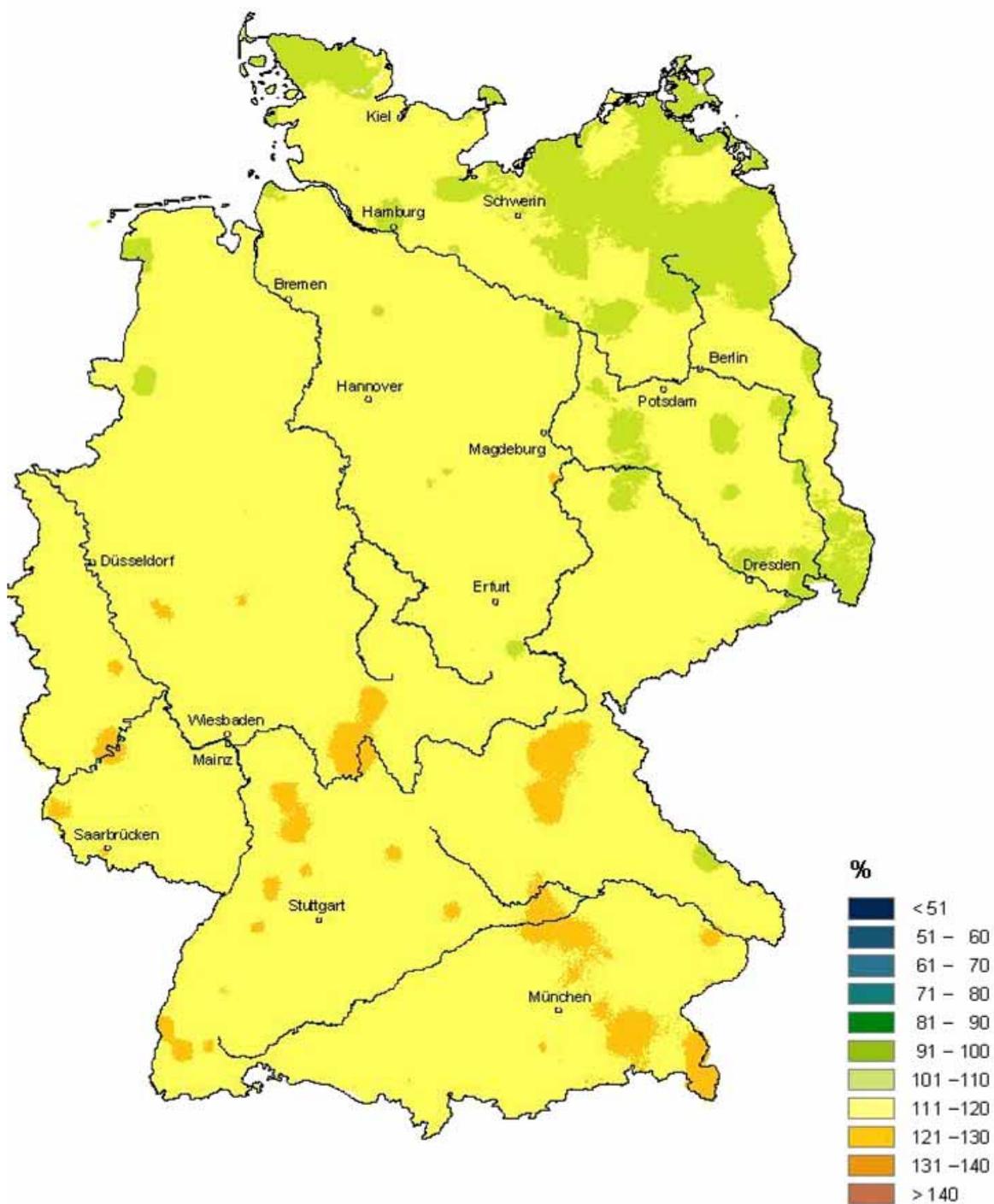


**Bild 2.14** Thermopluviogramme: monatliche Abweichungen 2003 gegenüber 1961 – 1990, RR: Niederschläge in %, DT: Temperaturen in K, Quelle: DWD  
a) Deutschland b) Donaugebiet (deutscher Anteil) c) Emsgebiet



Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.15** Grasreferenzverdunstung in mm, Sommerhalbjahr 2003 (Quelle: DWD)



Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.16** Grasreferenzverdunstung Sommerhalbjahr 2003 in Prozent des Mittels 1961 – 1990  
(Quelle: DWD)

### 2.3.5 Klimatische Wasserbilanz

Der Deutsche Wetterdienst ermittelt regelmäßig die räumliche Verteilung der so genannten klimatischen Wasserbilanz als Differenz aus Niederschlag und Grasreferenzverdunstung. Er hat die Ergebnisse für 2003 (absolute Werte, Abweichungen gegenüber der Jahresreihe 1961 – 1990) in Kartenform und als Mittelwerte für Flussgebiete für diese Dokumentation zur Verfügung gestellt.

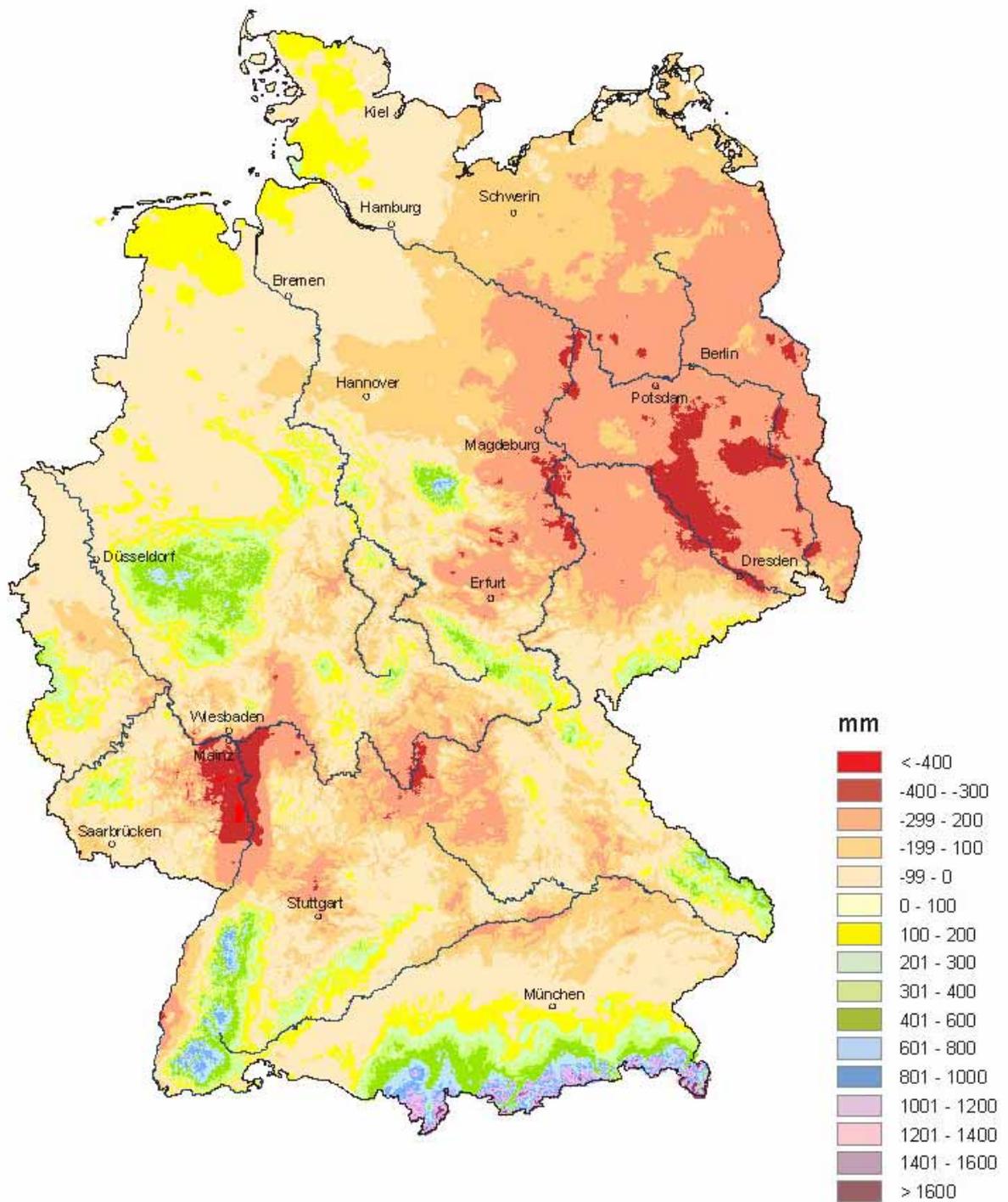
Im Prinzip ist die Differenz aus Niederschlag und Verdunstung die Abflusshöhe, aus der sich der mittlere Abfluss für die untersuchte Region und den gewählten Zeitabschnitt berechnen lässt, wenn man das Speicherglied in der Bilanzgleichung vernachlässigt. Da bei der vorliegenden Ermittlung statt der realen Verdunstung die (vereinfacht bestimmte) potenzielle Verdunstung verwendet wird, ist das Ergebnis aber nur zur qualitativen Beurteilung für die räumliche Verteilung der Abflussverhältnisse 2003 geeignet.

Für Deutschland insgesamt und die wichtigsten Flussgebiete (deutscher Anteil) ergeben sich im hydrologischen Jahr 2003 und die beiden Halbjahre folgende Werte der klimatischen Wasserbilanz (Tabelle 2.1).

**Tabelle 2.1** Klimatische Wasserbilanz 2003 für deutsche Flussgebiete  
(Quelle: DWD)

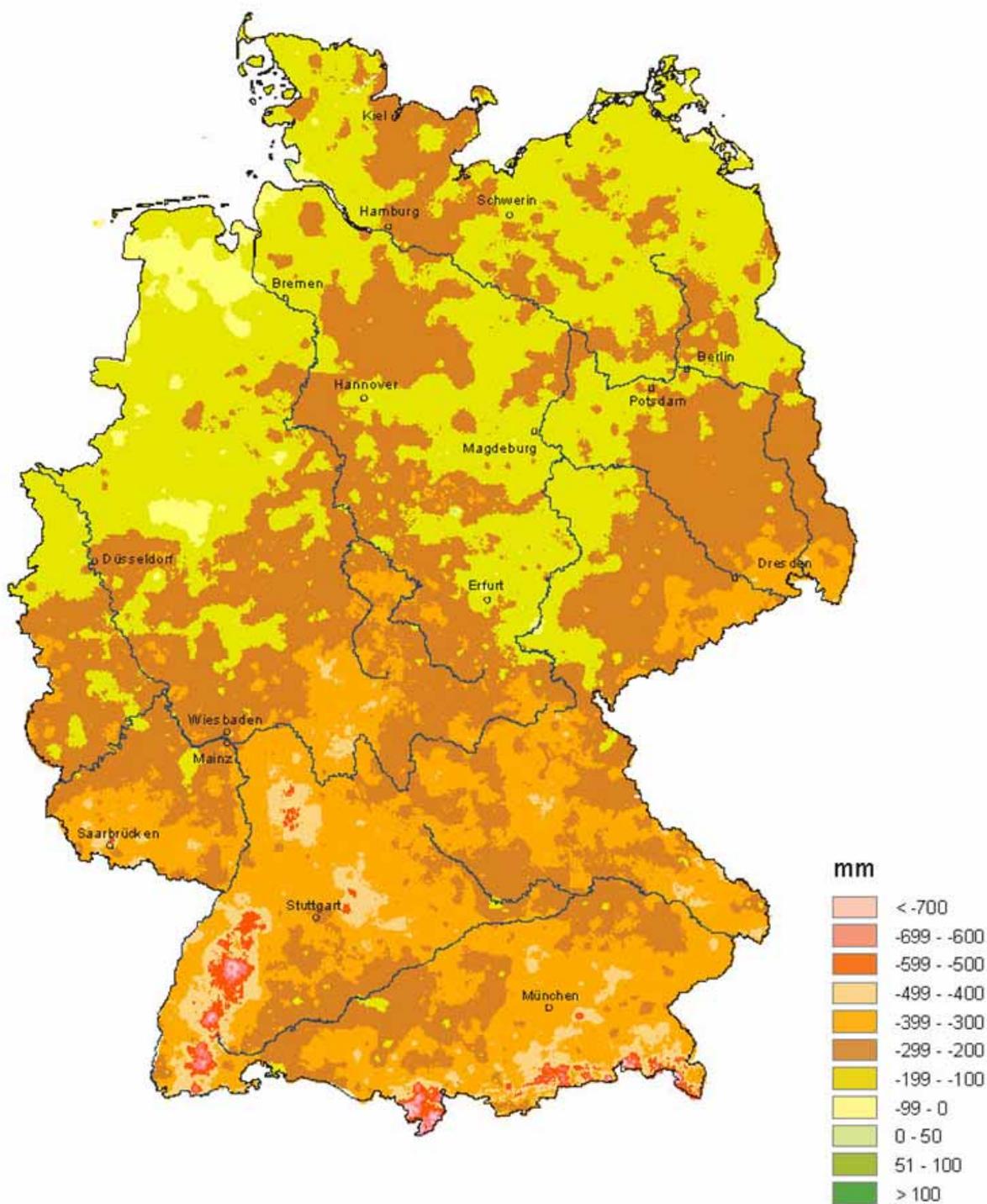
	Jahr	Winterhalbjahr	Sommerhalbjahr
Deutschland	+60 mm	+195 mm	-135 mm
Donaugebiet	+273 mm	+270 mm	+3 mm
Rheingebiet	+124 mm	+251 mm	-127 mm
Emsgebiet	+112 mm	+205 mm	-93 mm
Wesergebiet	+67 mm	+216 mm	-149 mm
Elbegebiet	-92 mm	+125 mm	-217 mm
Odergebiet	-235 mm	+21 mm	-256 mm

In weiten Teilen Deutschlands war danach im Sommerhalbjahr die Grasreferenzverdunstung (potenzielle Verdunstung) deutlich größer als der Niederschlag, im Elbe- und Odergebiet auch im Jahresmittel. Eine detailliertere Übersicht über die Verteilung solcher „Zehrgebiete“ zeigen Bild 2.15 für das Gesamtjahr sowie die Bilder 2.17 und 2.19 für das Winter- und das Sommerhalbjahr. In allen drei Darstellungen sind die Schwerpunkte mit den größten negativen Wasserbilanzen recht ähnlich: das Gebiet des nördlichen Oberrheins mit Ausstrahlungen ins Main- und Neckargebiet sowie fast ganz Ostdeutschland. Positive Jahresbilanzen traten in den Alpen und den höheren Mittelgebirgsregionen auf, außerdem im Küstenbereich der Nordsee. Die Bilder 2.16, 2.18 und 2.20 zeigen die entsprechenden Karten für die Abweichungen der Wasserbilanz 2003 gegenüber dem Mittel 1961 – 1990. Sowohl für das hydrologische Jahr als auch für die beiden Halbjahre ist keine klare räumliche Struktur zu erkennen. In der Jahresbilanz weisen Alpen und Schwarzwald die größten Unterschiede zum langjährigen Verhalten auf (um bis zu 700 mm kleinere Bilanzwerte), sonst sind die Werte 2003 im nördlichen Teil bis zu ca. 300 mm und im südlichen Teil bis zu 500 mm kleiner als im Mittel. Diese Unterschiede resultieren erwartungsgemäß vor allem aus dem Sommerhalbjahr, während im Winterhalbjahr die Bilanzwerte 2003 (außer in Nordostdeutschland) nur etwas größer oder etwas kleiner waren als im Mittel 1961 – 1990.



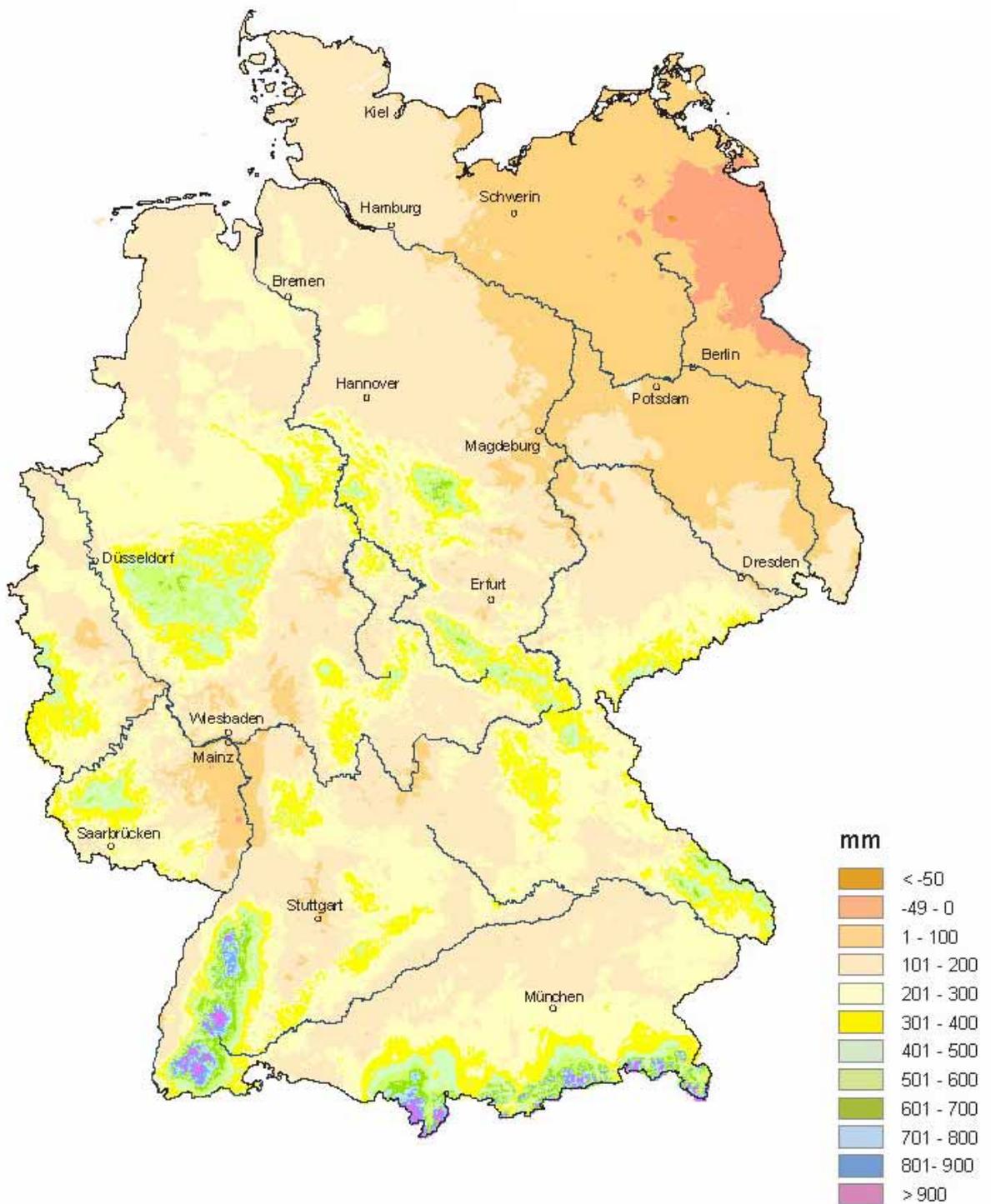
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.17** Klimatische Wasserbilanz in mm, hydrologisches Jahr 2003 (Quelle: DWD)



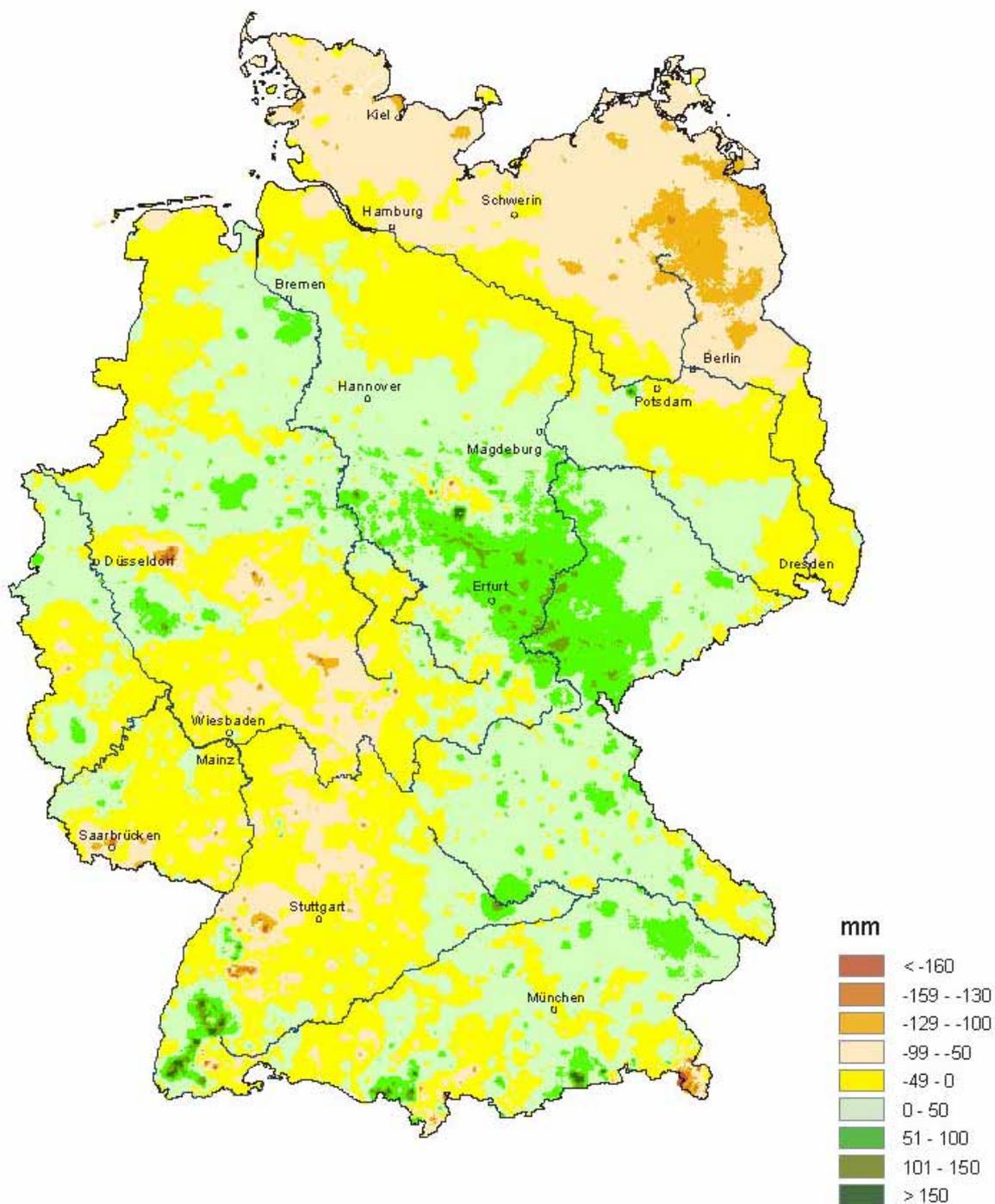
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.18** Klimatische Wasserbilanz, Abweichungen in mm für hydrologisches Jahr 2003 gegenüber Mittel 1961 – 1990 (Quelle: DWD)



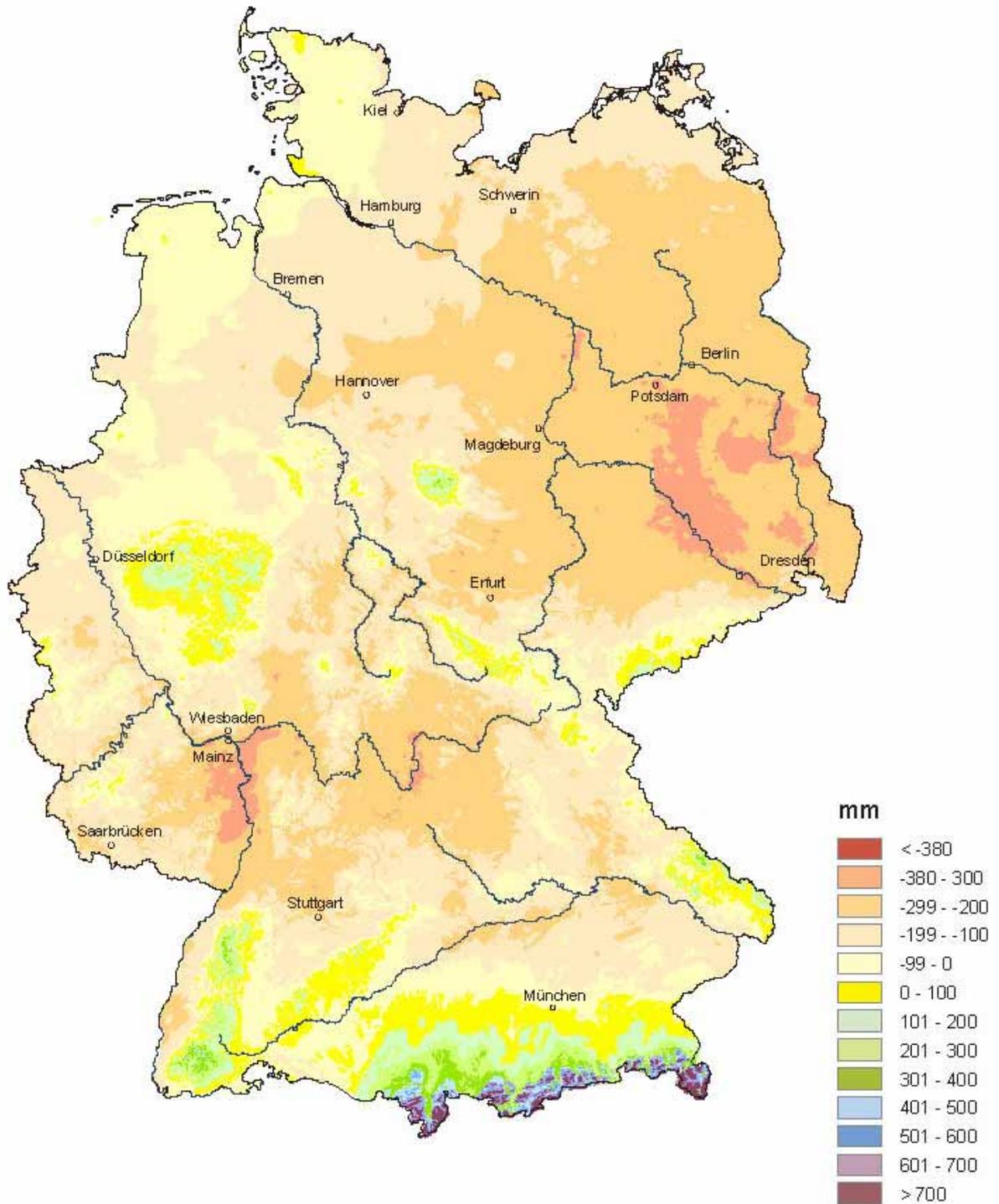
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.19** Klimatische Wasserbilanz in mm, Winterhalbjahr 2003 (Quelle: DWD)



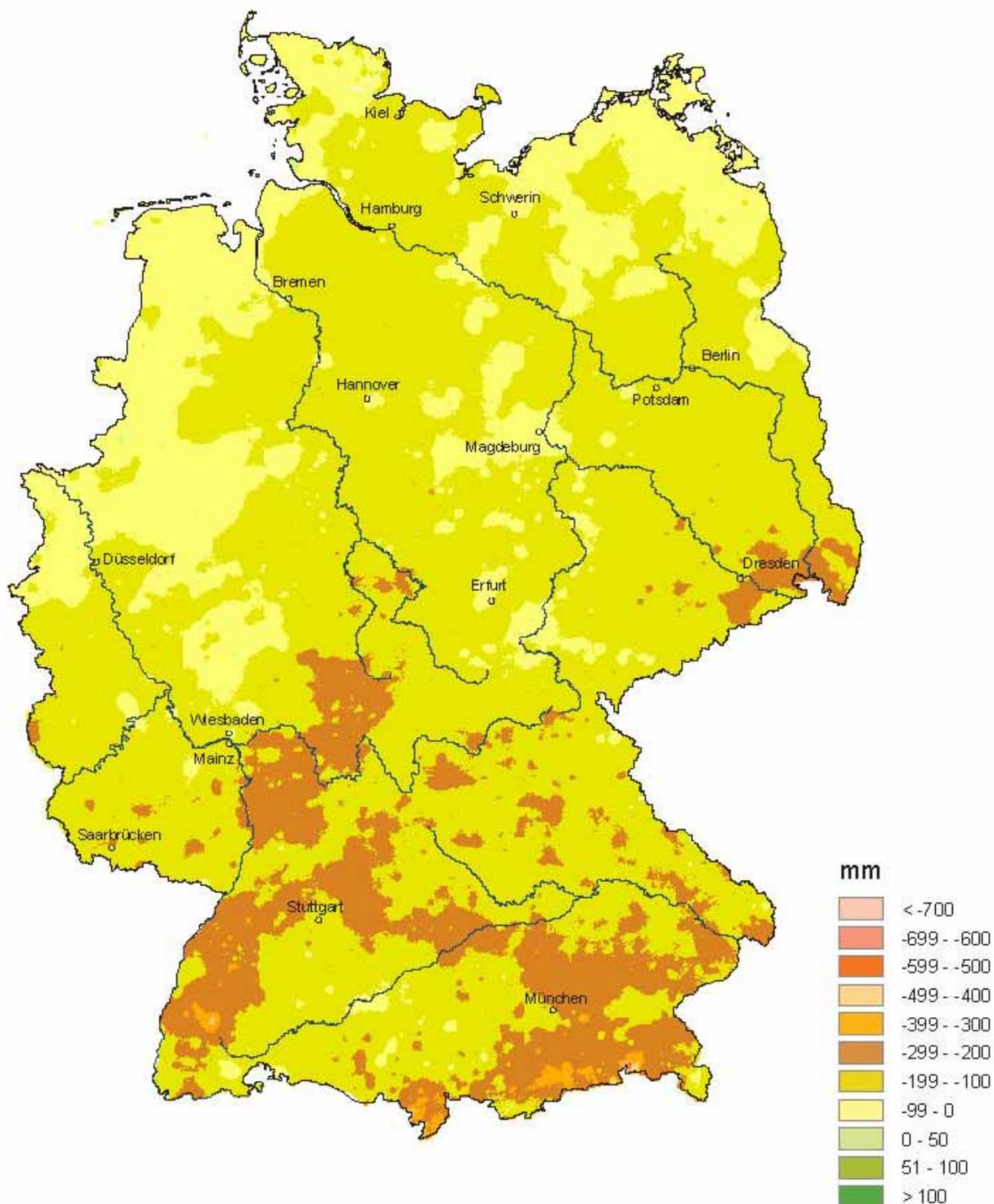
Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.20** Klimatische Wasserbilanz, Abweichungen in mm für Winterhalbjahr 2003 gegenüber Mittel 1961 – 1990 (Quelle: DWD)



Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.21** Klimatische Wasserbilanz in mm, Sommerhalbjahr 2003 (Quelle: DWD)



Copyright: Deutscher Wetterdienst 2005

**Bild 2.22** Klimatische Wasserbilanz, Abweichungen in mm für Sommerhalbjahr 2003 gegenüber Mittel 1961 – 1990 (Quelle: DWD)

## 3 Niederschläge 2003 im Vergleich mit langen Messreihen

### 3.1 Zielsetzung und Methoden

Im Kap. 2.3 wurden Ergebnisse von Analysen des DWD für Deutschland dargestellt mit flächendeckenden Angaben zum Niederschlagsverhalten im Jahr 2003 und im Vergleich mit der Messreihe 1961 – 1990. Im Rahmen der im Folgenden durchgeführten Bearbeitung der Niedrigwasserperiode 2003 wurden zusätzlich längere Niederschlagsmessreihen ausgewählter Stationen herangezogen. Ziele waren:

- > Die flächendeckenden Auswertungen des DWD sollten durch punktuellen Vergleich mit Ergebnissen von länger beobachteten Stationen ergänzt werden.
- > Die im Kap. 4 dargestellten Ergebnisse der Analyse langer Abflussmessreihen in Deutschland sollten mit denen der Niederschläge für gleiche Zeiträume verglichen werden.

Für diese Arbeiten stellte der DWD Monatssummen des Niederschlags für eine große Zahl von Messstationen mit mehr als 100 Jahren Beobachtungsdauer zur Verfügung. Leider enthielten einige von ihnen längere Lücken vor allem in den Jahren zwischen 1945 und 1949. Gerade dieser Zeitraum weist aber weit verbreitete, lang andauernde und extreme Trockenperioden auf. Solche Messreihen, auch mit längeren Lücken in anderen Zeitabschnitten, wurden nicht weiter verwendet. Einzelne kleine Datenlücken bis zu wenigen Monatswerten wurden durch Vergleich mit benachbarten Stationen geschlossen.

Für die folgenden Analysen wurden schließlich 42 Stationen ausgewählt mit lückenlosen Messreihen ab 1901 oder mit früherem Beginn: bei 12 Stationen vor 1875 und bei 3 Stationen vor 1850. Das Bild 3.1 zeigt die Lage dieser 42 Stationen. Der Anhang<sup>1</sup> 3.1 enthält eine Auflistung mit Angaben zur Höhenlage und zur Länge der Messreihen.

---

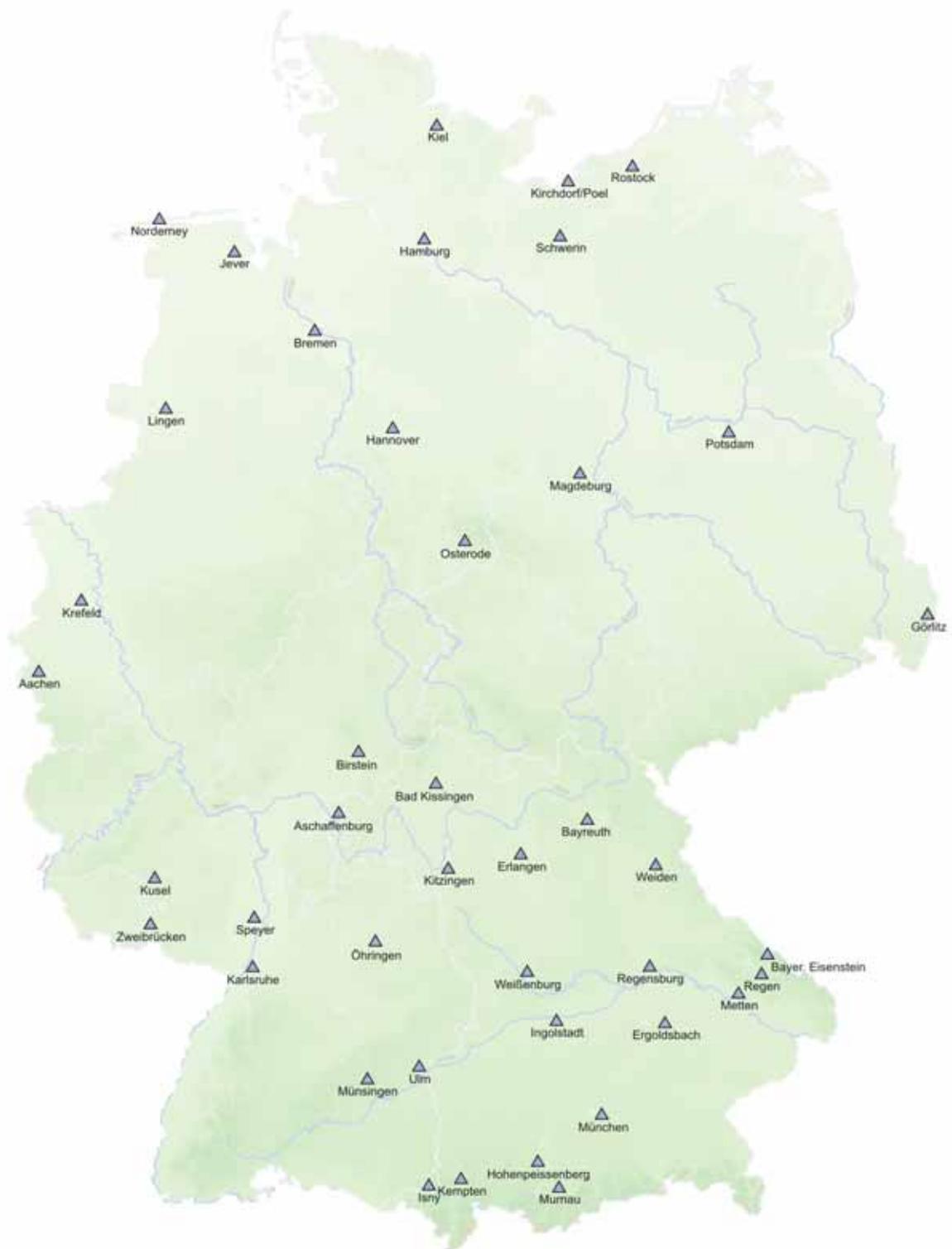
<sup>1</sup> Die Anhänge befinden sich auf der beigelegten CD.

Aus dem Bild 3.1 erkennt man, dass die Stationen räumlich leider sehr unregelmäßig verteilt sind. Es gibt eine vergleichsweise große Dichte im Süden Deutschlands und im norddeutschen Küstenbereich. Dazwischen liegen nur wenige der verfügbaren Stationen. Auf Flussgebiete bezogen liegen je etwa ein Drittel der Stationen im Rheingebiet (dort vor allem im Teilgebiet des Mains) und im Donaugebiet. Das letzte Drittel ist den übrigen Flussgebieten zuzuordnen mit Schwerpunkt im Küstenbereich von Nord- und Ostsee. Außerdem sind unter den 42 Stationen solche in den Hochlagen der Mittelgebirge (mit im Allgemeinen höheren Niederschlägen) unterrepräsentiert, aber auch solche in den niederschlagsarmen Regionen Ostdeutschlands. Flächenhafte Aussagen z. B. in Form von Gebietsmitteln der Niederschläge sind deshalb nicht möglich. Für den Vergleich der Niederschläge 2003 zu denen verschiedener langer Reihen lassen sich aber aus den Daten dieser Stationen Informationen gewinnen.

Um den Vergleich mit dem langjährigen Abflussverhalten an den untersuchten Pegelstellen im Kap. 4 sicherzustellen, wurden für Niederschläge und Abflüsse gleiche Teilreihen gebildet und analysiert: ab 1901, 1921, 1941 und 1961, jeweils bis 2002. Alle Jahreszahlen beziehen sich auf das hydrologische Jahr bzw. dessen beide Halbjahre. Soweit das Jahr 2003 mit einer dieser Reihen verglichen wurde, sollte es nicht selbst in der Reihe enthalten sein. Als Ausgangswerte für die folgenden Analysen wurden für jede Station die mittleren Niederschläge aus den 4 oder 5 Teilreihen für das hydrologische Jahr und die beiden Halbjahre sowie für die meteorologischen Jahreszeiten Winter (Dezember, Januar, Februar), Frühling (März, April, Mai), Sommer (Juni, Juli, August) sowie Herbst (September, Oktober, November) ermittelt. Diese Werte sind zusammen mit den zugehörigen Niederschlägen für 2003 im Anhang 3.2 zusammengestellt.

### **3.2 Vergleich der Niederschläge 2003 mit denen längerer Messreihen**

Der Vergleich der mittleren Jahresniederschläge für die verschieden langen Teilreihen zeigt qualitativ eine Zunahme von den langen Reihen zur Reihe 1961 – 2002. Dabei ist häufig zu beobachten, dass die Änderungen bei den längeren Reihen untereinander deutlich kleiner sind als gegenüber der Reihe 1961 – 2002. Einzelheiten zum langfristigen Niederschlagsverhalten werden im Kap. 5.1 dargestellt. Die folgenden Untersuchungsergebnisse beschränken sich deshalb meist auf den Vergleich der Reihe 1901 – 2002 (als der längsten für alle Stationen) mit der Reihe 1961 – 2002. Die mittleren Niederschlagssummen für diese Zeiträume sind im Anhang 3.3 zusammengestellt (für Winter, Sommer und Gesamtjahr). Anhang 3.4 enthält die zugehörigen Verhältnisswerte  $N(2003)/N_m(\text{Reihe})$  zusätzlich auch für den meteorologischen Sommer (Monate Juni, Juli, August). Als Zusammenfassung enthält schließlich die folgende Tabelle 3.1 die Mittelwerte aus allen 42 Stationen mit Angabe der jeweils kleinsten und größten Werte für die Reihen 1901 – 2002, 1961 – 2002 sowie zum Vergleich für die vom DWD verwendete Reihe 1961 – 1990.



**Bild 3.1** Lage der untersuchten Niederschlagsstationen  
(Kartengrundlage: DWD, verändert)

Tabelle 3.1 zeigt die schon erwähnte Zunahme der mittleren Niederschläge für die Reihe 1961 – 2002 gegenüber der für 1901 – 2002 anhand der Mittelwerte für alle 42 Stationen. Diese Zunahme ist vor allem im Winterhalbjahr festzustellen und wirkt sich auch auf das Gesamtjahr aus, während die Tendenz im Sommerhalbjahr weniger deutlich ist. Entsprechend sind die Verhältniszerte  $N(2003)/N(\text{Reihe})$  für 1901 – 2002 etwas kleiner gegenüber denen für 1961 – 2002. Das heißt, die Niederschlagsverhältnisse 2003 erscheinen im Vergleich mit der Messreihe 1901 – 2002 etwas weniger extrem als im Vergleich mit der Messreihe 1961 – 2002. Von diesem mittleren Verhalten aller 42 Stationen gibt es aber natürlich in Einzelfällen auch größere Abweichungen.

**Tabelle 3.1** Mittlere Niederschlagssummen für verschiedene Zeitreihen und Verhältniszerte  $N(2003)/N_m(\text{Reihe})$

		1901 - 2002	1961 - 2002	1961 - 1990	2003
		Niederschlagssummen [mm]			
<b>Jahr</b>	<b>Mittel</b>	798	823	815	706
	<b>Max</b>	1562	1617	1595	1465
	<b>Min</b>	512	505	496	444
<b>Winter</b>	<b>Mittel</b>	341	365	362	343
	<b>Max</b>	659	721	699	720
	<b>Min</b>	216	221	223	182
<b>Sommer</b>	<b>Mittel</b>	457	458	453	362
	<b>Max</b>	903	896	896	745
	<b>Min</b>	296	284	273	228
		Verhältniszerte $N(2003)/N_m(\text{Reihe})$			
<b>Jahr</b>	<b>Mittel</b>	0,89	0,86		
	<b>Max</b>	1,18	1,09		
	<b>Min</b>	0,68	0,68		
<b>Winter</b>	<b>Mittel</b>	1,02	0,94		
	<b>Max</b>	1,26	1,18		
	<b>Min</b>	0,70	0,66		
<b>Sommer</b>	<b>Mittel</b>	0,78	0,79		
	<b>Max</b>	1,19	1,14		
	<b>Min</b>	0,59	0,62		

Ein Vergleich mit den vom DWD flächendeckend ermittelten Niederschlagsdefiziten (bzw. –überschüssen) für 2003 gegenüber dem Mittel 1961 – 1990 (siehe Kap. 1.3) ist nur grob möglich, indem die vom DWD errechneten Gebietsmittel mit den arithmetischen Mitteln aus den Daten der 42 hier bearbeiteten Stationen verglichen werden. Für ganz Deutschland unterscheiden sich beide Angaben (wohl eher zufällig) nur wenig. Aber schon beim Vergleich für das Rheingebiet bzw. das Donaugebiet treten deutliche Unterschiede zwischen den Gebietsmitteln des DWD (1961 – 1990) und den arithmetischen Mitteln der 13 bzw. 15 in den beiden Gebieten liegenden Einzelstationen auf. Dies liegt sicher vor allem daran, dass diese Einzelstationen nicht repräsentativ sind für das jeweilige Flussgebiet.

Die Verhältniswerte  $N(2003)/N_m$  (Reihe) sind für die Reihen 1901 – 2002 und 1961 – 2002 jeweils für Gesamtjahr, Winter- und Sommerhalbjahr in den Bildern 3.2 bis 3.7 in Karten eingetragen. Zur Veranschaulichung von regionalen Unterschieden wurden Gruppen von Messstellen optisch zusammengefasst und dafür Mittelwerte des jeweils dargestellten Kennwertes gebildet. Die Darstellungen zeigen die große Bandbreite dieser Verhältniswerte. Regionale Abgrenzungen sind nur schwach zu erkennen. Bei der Vergleichsreihe 1901 – 2002 z. B. treten im Winterhalbjahr (Bild 3.3) Überschüsse (Verhältniswerte  $> 1$ ) vor allem in Bayern und angrenzenden Teilen von Baden-Württemberg auf, Defizite insbesondere im Küstenbereich und im Bereich Potsdam – Görlitz. Für die Vergleichsreihe 1961 - 2002 (Bild 3.6) ist die regionale Verteilung ähnlich. Nach den Auswertungen des DWD (Bilder 2.4 bis 2.6 im Kap. 2.3) liegen die Gebiete mit den größten Überschüssen in Teilen von Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt. Diese Regionen werden durch die ausgewählten 42 Stationen nicht erfasst, ebenso wenig die Gebiete mit den größten Defiziten nach DWD (nördliches Brandenburg und Vorpommern).

Im Sommerhalbjahr zeigen die Zahlen für die 42 Stationen in den Bildern 3.4 und 3.7 die größten Defizite im Bereich Potsdam – Görlitz und um das Rhein-Main-Gebiet. Diese Bereiche und weitere große Flächen darüber hinaus werden auch vom DWD als die mit den größten Defiziten ausgewiesen. Ähnlich ist der Vergleich für das Gesamtjahr (Bilder 3.2 und 3.5). Für die Monate Juni bis August (nicht dargestellt) wird der Vergleich zwischen beiden Auswertungen noch dadurch erschwert, dass zwischen einzelnen Stationen 2003 große Unterschiede in der Niederschlagsverteilung durch örtliche Gewitterereignisse aufgetreten sein können.

Das Ziel dieses Teils der vorliegenden Untersuchung war aber auch nicht, anhand von 42 Stationen eine regional gültige Verteilung der Defizite und Überschüsse 2003 gegenüber einer längeren Messreihe zu erarbeiten, sondern grundsätzlich die Unterschiede bei verschiedenen langen Reihen anhand ausgewählter Messstationen zu untersuchen. Darauf wird im Kap. 5.1 noch detailliert eingegangen.

### **3.3 Vergleich der Niederschlagsanalysen des DWD mit den Ergebnissen für 42 Stationen**

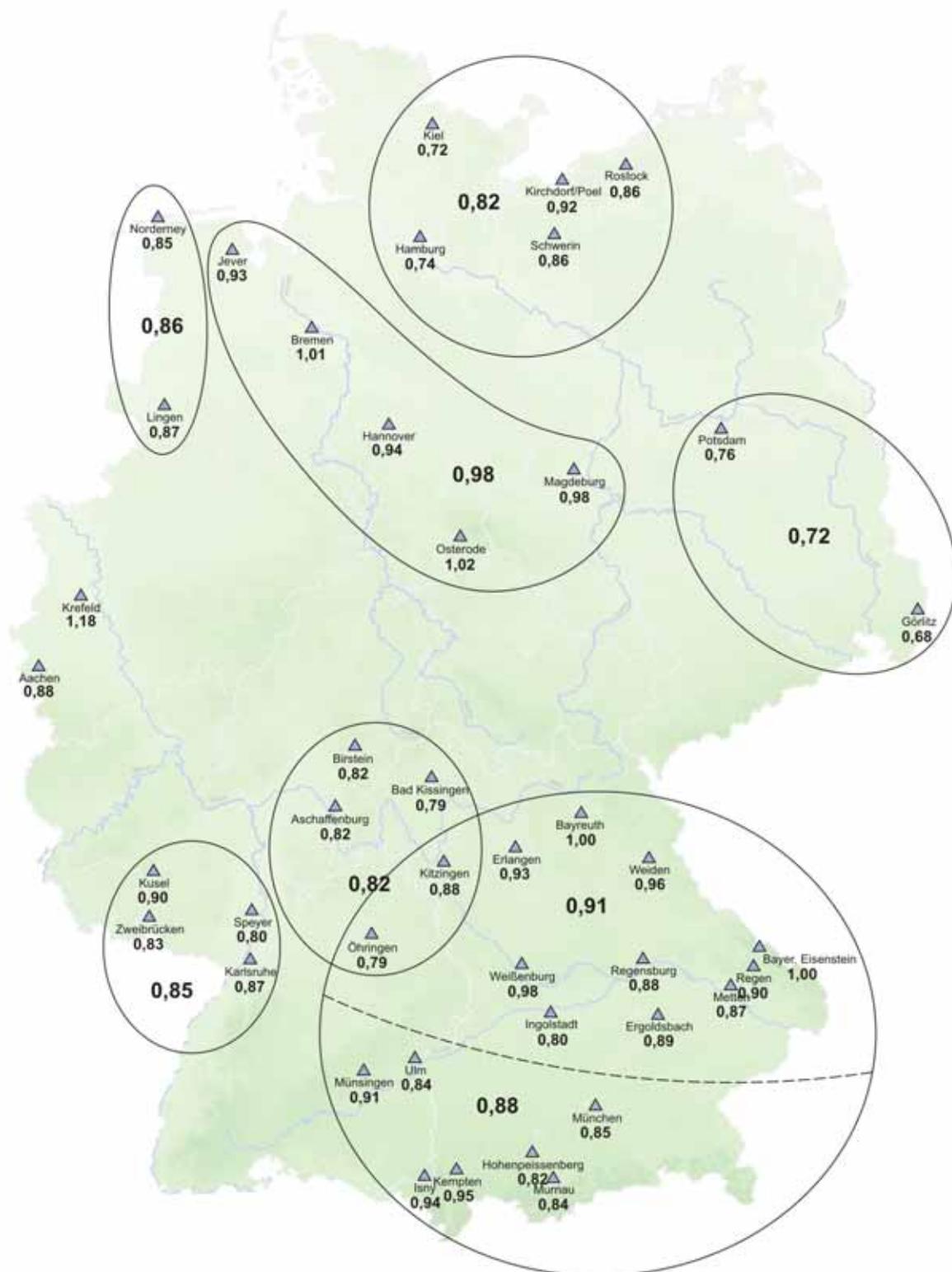
Die regionalen „Muster“, die sich aus den Ergebnissen der flächendeckenden Analysen des DWD ergeben, sollen hier mit den Ergebnissen aus den eigenen Analysen für Niederschläge an 42 ausgewählten Stationen verglichen werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Überschüsse bzw. Defizite der DWD-Analyse auf die Reihe 1961 – 1990 bezogen sind, die eigene Niederschlagsanalyse dagegen auf die Reihe 1961 – 2002. Der Vergleich der Reihen 1961 – 1990 und 1961 – 2002 anhand der Daten der 42 untersuchten Messstationen hatte allerdings keine bedeutenden Unterschiede zwischen den beiden Reihen ergeben (Tabelle 3.1).

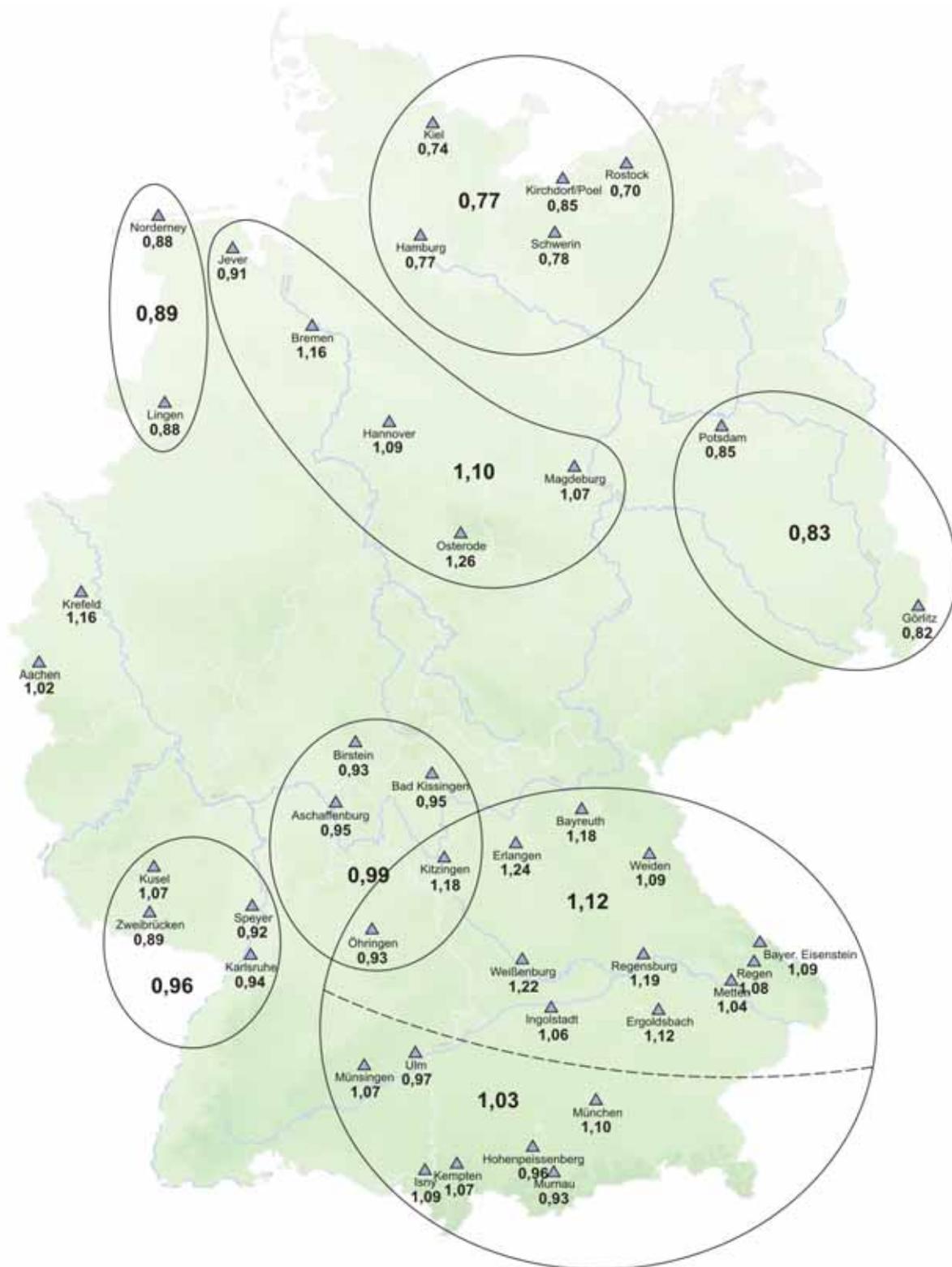
Die DWD-Analysen sind flächendeckend und räumlich hoch aufgelöst, aber die Darstellung in den Bildern 2.4 bis 2.11 erfolgt z. T. nur in wenigen groben Abstufungen. Demgegenüber beruhen die eigenen Analysen nur auf 42 Messstellen ohne fundierten regionalen Abgleich. Entsprechend schwierig ist es, auch nur qualitative Übereinstimmungen oder Abweichungen für einzelne Regionen zu identifizieren.

Der Vergleich für Sommerhalbjahr und Gesamtjahr wird dadurch eingeschränkt, dass in den DWD-Darstellungen in Deutschland fast nur zwei Klassen (für Defizite zwischen 0 und 50 %) vorkommen. Dagegen zeigen die Auswertungen der 42 Stationen Defizite von i. M. -14 % (Jahr) und -21 % (Sommer) und Maximalwerte von -32 % (Jahr) und -38 % (Sommer).

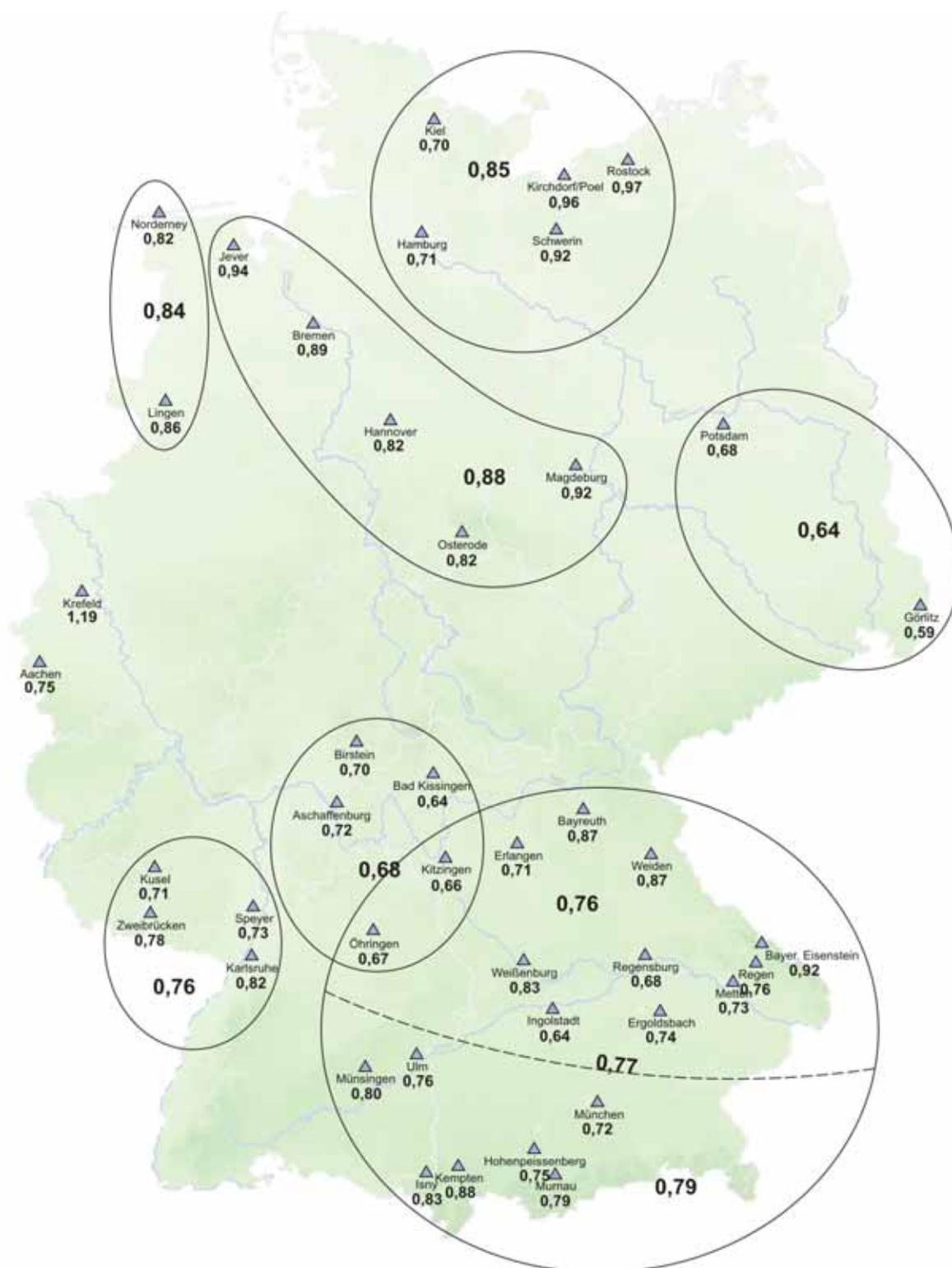
Im Winterhalbjahr umfasst die kartenmäßige Darstellung des DWD ein breiteres Spektrum über mehrere Klassen. Damit erkennt man einige qualitative Übereinstimmungen zur Auswertung der 42 Stationen, z. B. Überschüsse in Bayern sowie Thüringen und Sachsen-Anhalt neben Defiziten in Nordostdeutschland.



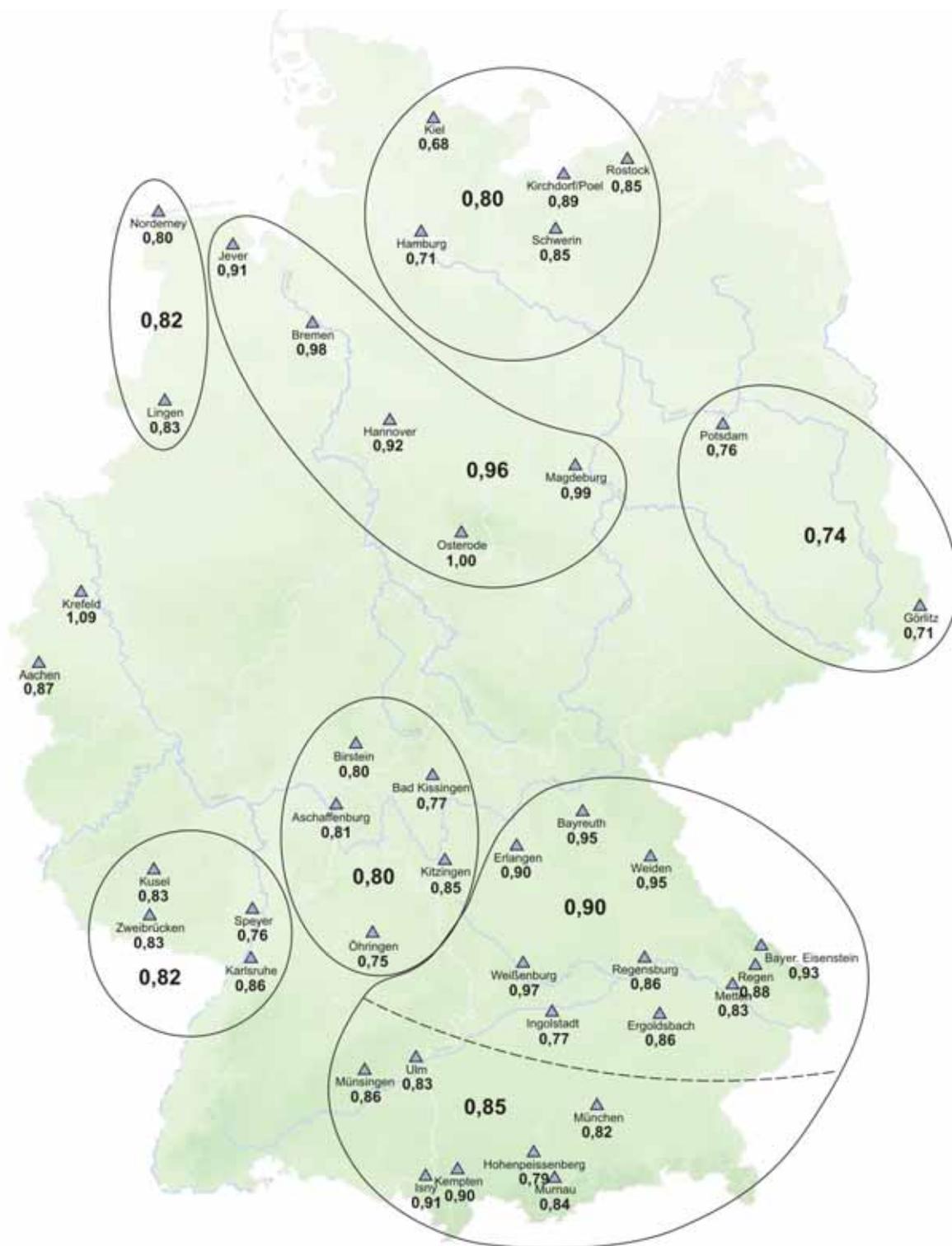
**Bild 3.2** Verhältnisswerte  $N(2003)/N_m$  (1901 – 2002), hydrologisches Jahr  
(Kartengrundlage: DWD, verändert)



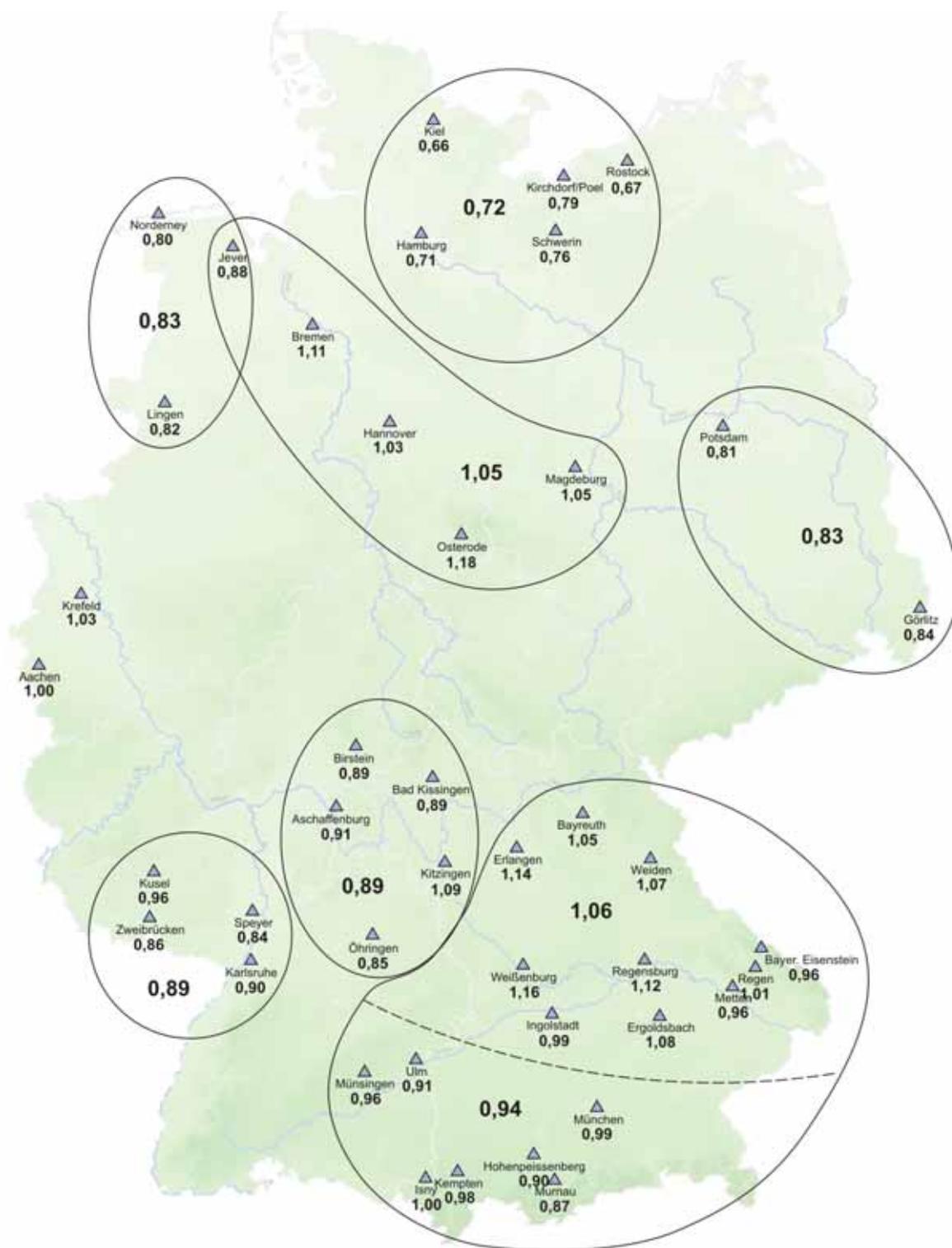
**Bild 3.3** Verhältniswerte  $N(2003)/N_m(1901 - 2002)$ , Winterhalbjahr  
(Kartengrundlage: DWD, verändert)



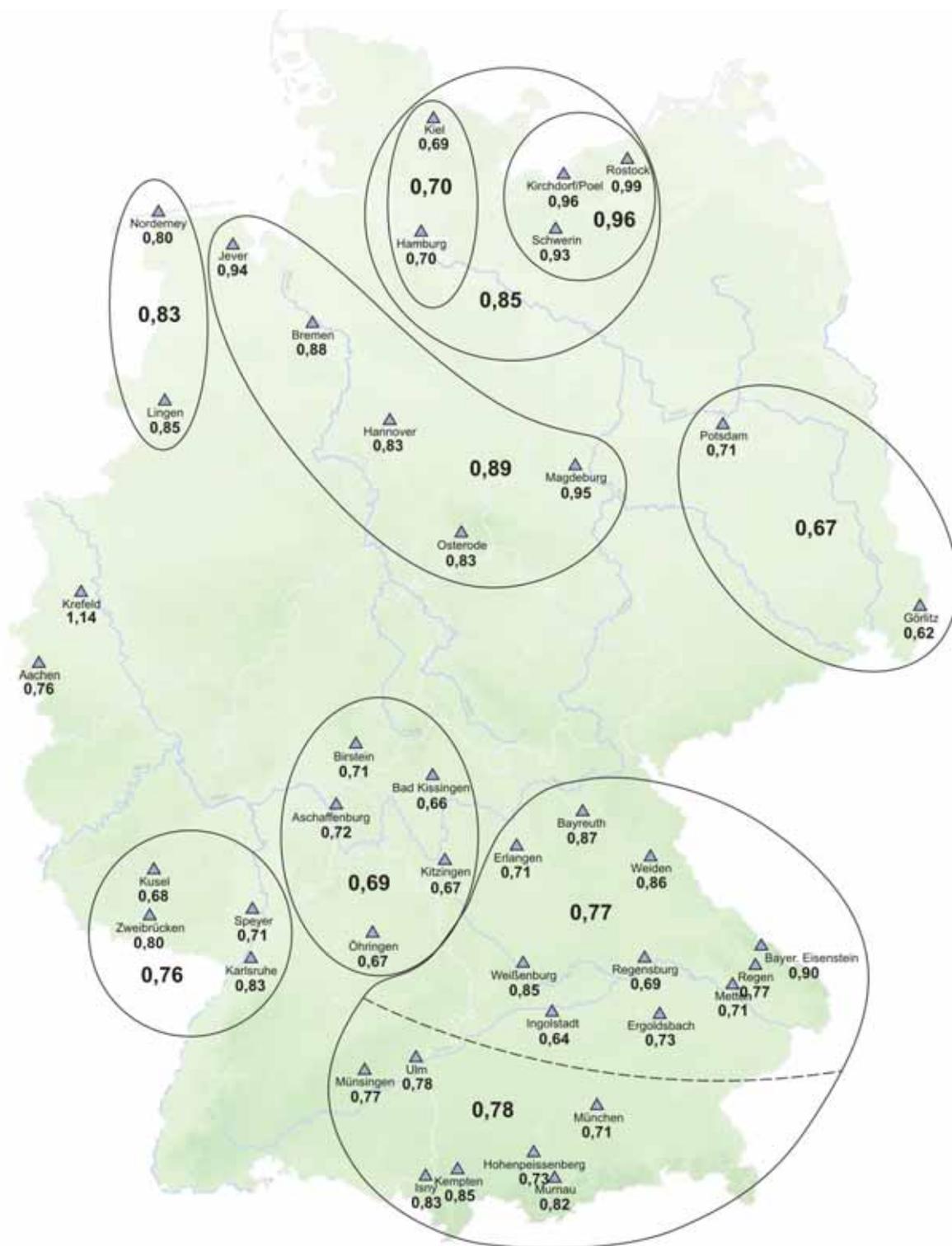
**Bild 3.4** Verhältnisswerte  $N(2003)/N_m(1901 - 2002)$ , Sommerhalbjahr  
(Kartengrundlage: DWD, verändert)



**Bild 3.5** Verhältnisswerte  $N(2003)/N_m(1961 - 2002)$ , hydrologisches Jahr  
(Kartengrundlage: DWD, verändert)



**Bild 3.6** Verhältniszerte  $N(2003)/N_m(1961 - 2002)$ , Winterhalbjahr  
(Kartengrundlage: DWD, verändert)



**Bild 3.7** Verhältniszerte  $N(2003)/N_m(1961 - 2002)$ , Sommerhalbjahr  
(Kartengrundlage: DWD, verändert)

## 4 Abflüsse 2003 im Vergleich mit langen Messreihen

### 4.1 Zielsetzung und Messdaten

Ziel der Untersuchungen ist die Analyse der Niedrigwasserperiode 2003 und ihre Beurteilung im Vergleich mit dem langfristigen Abflussverhalten für eine größere Zahl ausgewählter Pegelstellen. Solche Untersuchungen sind bereits kurz nach dieser Niedrigwasserperiode von verschiedenen Bundesländern durch deren zentrale wasserwirtschaftliche Dienststellen oder von größeren Wasserverbänden durchgeführt worden (siehe Literaturverzeichnis).

Abgesehen davon, dass für größere Teile Deutschlands keine solchen Analysen vorliegen und die verfügbaren sich zwangsläufig auf die jeweiligen Zuständigkeitsbereiche beschränken, sind die Ergebnisse auch untereinander nicht direkt vergleichbar. Zum Teil wurden nur wenige Messstellen beispielhaft dargestellt, die Messreihen sind verschieden lang und auch die Analysemethoden teilweise unterschiedlich. Ziel der hier vorgelegten Untersuchung ist eine bundesweite Analyse mit möglichst langen und vor allem den gleichen Zeitraum umfassenden Abflussmessreihen ohne Datenlücken und nach einheitlichen Methoden.

Eine Vorauswahl erfolgte nach den Angaben in den Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbüchern. Eine große Zahl von Pegelstellen wurde zwischen 1950 und 1960 eingerichtet, so dass verhältnismäßig viele Messreihen ab 1961 vorliegen. Eine weitere deutliche Zunahme von Pegelstellen war zwischen etwa 1930 und 1939 zu verzeichnen, woraus sich gemeinsame Reihen ab 1941 ergeben. Reihen mit noch weiter zurückliegendem Beobachtungsbeginn wurden unterteilt in solche ab 1901 und ab 1921. Leider weisen viele der vor dem 2. Weltkrieg beginnenden Messreihen längere Datenlücken vor allem zwischen 1945 und 1949 auf. Weil gerade in dieser Zeit bedeutende Niedrigwasser-Ereignisse aufgetreten sind, konnten diese Messreihen nur ab 1961 in die Analyse einbezogen werden. Entsprechend wurde auch verfahren, wenn zu anderen Zeiten Lücken in den Datenreihen vorhanden waren. Nur Lücken von bis zu einigen Tagen Dauer wurden durch Interpolation geschlossen.

Die Sichtung der auf diese Weise ausgewählten Messreihen ergab, dass in einzelnen Regionen und Flussgebieten überdurchschnittlich viele, in anderen nur sehr wenige geeignete Reihen zur Verfügung standen. Viele lange Messreihen finden sich vor allem in den Flussgebieten von Hoch- und Oberrhein, Main, Donau, Oberweser und oberer Elbe, dagegen nur wenige in großen Teilen Norddeutschlands. Um diese Unterschiede etwas auszugleichen, wurden einige längere Abflussreihen nicht in die folgenden Untersuchungen einbezogen, dafür mussten einige Messstellen mit kürzeren Reihen (Beginn 1962 – 1975) mit hinzugenommen werden. Insgesamt sind Gewässer mit großen Einzugsgebieten überrepräsentiert, weil an kleinen Gewässern lange Messreihen seltener sind.

In Anhang 4.1 sind die schließlich ausgewählten Pegelstellen mit Angabe der Einzugsgebietsgröße und des Beginns der verwendeten Messreihen (Abflussjahr) aufgelistet. Bild 4.1 zeigt die Lage dieser Pegel im Gewässersystem. Insgesamt handelt es sich um 159 Pegel, die sich nach Tabelle 4.1 auf die Flussgebiete verteilen.

**Tabelle 4.1** Untersuchte Pegelstellen (Übersicht)

Gebiet	Beginn der Messreihe (Abflussjahre)					$\Sigma$
	vor 1901	1901 – 20	1921 – 40	1941 – 60	1961 – 75	
Rhein	1	6	11	29	11	58
Donau	-	8	14	8	-	30
Weser	4	-	5	9	3	21
Elbe	2	4	10	10	8	34
Ems, Küste Oder	-	-	2	6	8	16
$\Sigma$	7	18	42	62	30	159

Die Abflussdaten für diese Pegel wurden als Tagesmittelwerte zum Teil von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, zum Teil von den zuständigen wasserwirtschaftlichen Dienststellen der Länder zur Verfügung gestellt.

Für gesicherte Analysen des langfristigen Abflussverhaltens von Gewässern muss vorausgesetzt werden können, dass die zugrunde liegenden Abflussmessreihen homogen sind, d. h. vor allem durch anthropogene Eingriffe nicht oder zumindest nicht nennenswert verändert wurden (ATV-DVWK 2003). Für den Einsatz statistischer Methoden zur Ermittlung von Häufigkeiten bestimmter Abflüsse ist die Homogenität der verwendeten Messreihe eine Grundvoraussetzung.

Wenn Abflüsse im Niedrig- bis Mittelwasserbereich untersucht werden sollen, sind als anthropogene Einflüsse vor allem Entnahmen und Einleitungen von Bedeutung, wenn dabei in einem Pegel-Einzugsgebiet entnommen und in ein anderes übergeleitet wird. Das ist in der Hauptsache bei überregionalen Systemen zur Trinkwasserversorgung oder zur Niedrigwasseraufhöhung der Fall. Solche Systeme sind meist verbunden mit Speichern, in denen gerade

für Niedrigwasserzeiten ein Ausgleich erreicht werden soll. In Anhang 4.1 sind zu jedem Pegel mögliche Beeinflussungen dieser Art aufgeführt, soweit sie in den Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbüchern angegeben oder sonst offensichtlich sind. Danach ist grundsätzlich eine Vielzahl von Gewässern mit den zugehörigen Messreihen betroffen. Über das Ausmaß der im Einzelfall verursachten Veränderungen des Abflussverhaltens ist damit noch keine konkrete Aussage möglich. Große Einflüsse sind z. B. durch die Talsperren im Ruhrgebiet, durch die Überleitungen aus Donau und Altmühl in das Maingebiet oder durch die Grundwasserabsenkungen im Braunkohletagebau in verschiedenen Regionen Deutschlands zu erwarten.

Grundsätzlich verringert sich die Wirkung von Eingriffen dieser Art gewässerabwärts mit der Zunahme der Einzugsgebietsgröße. Bei Speichern hängt der Einfluss vor allem vom nutzbaren Speicherraum im Verhältnis zur Einzugsgebietsgröße ab, aber auch von der Art und dem zeitlichen Ablauf der Bewirtschaftung. Im Einzelfall kann auch die Beeinflussung im Gewässer innerhalb eines Jahres wieder gegen Null gehen, wenn der Speicherraum abgewirtschaftet ist.

Vergleicht man Teilreihen eines Pegels miteinander – wie z. B. Abflusskennwerte des Jahres 2003 mit denen einer längeren Reihe im Kap. 5.3.2 oder 5.3.3 –, haben anthropogene Veränderungen nur dann einen nachweisbaren Einfluss, wenn die Gegebenheiten 2003 deutlich anders waren als im Mittel der Reihe. Das kann z. B. der Fall sein, weil ein Überleitungssystem oder ein Speicher stark abweichend vom sonstigen Reglement bewirtschaftet wurde oder weil ein solches System nur in einem Teilzeitraum der Vergleichsreihe wirksam war. Sonst können die tatsächlich vorhandenen anthropogenen Einflüsse durch zufällige Schwankungen innerhalb der Reihen oder auch durch Unsicherheiten in den Ausgangsdaten überdeckt sein.

Aus allen diesen Gründen wäre es grundsätzlich erforderlich, zum Zwecke langfristiger und vergleichender Analysen Abflussmessreihen um die anthropogenen Einflüsse zu „bereinigen“ oder für Analysen des Ist-Zustandes auf diesen Zustand hin umzurechnen. Das ist aber in den meisten Fällen nur eingeschränkt möglich, weil langfristige Daten über Entnahmen, Einleitungen sowie den Betrieb von Speichern und anderen Anlagen nicht im benötigten Umfang und mit der erforderlichen zeitlichen Auflösung zur Verfügung stehen. Außerdem ist der Aufwand schon im Einzelfall sehr groß und für eine größere Zahl von Fällen mit zum Teil komplexen Wirkungszusammenhängen in überschaubarer Zeit nicht zu bewältigen. Auf der anderen Seite würde der Ausschluss von Messstellen mit möglicher Beeinflussung der Abflüsse die nutzbare Datengrundlage drastisch verringern. Als Kompromiss bliebe die Abschätzung möglicher Auswirkungen auf der Basis von Jahres- oder Halbjahreswerten, was aber im Rahmen der hier vorgelegten Analysen wegen des immer noch sehr großen Aufwandes und der verbleibenden Unsicherheiten auch nicht durchgeführt wurde. Vielmehr wurden die vorliegenden Messreihen so verwendet, wie sie erhoben worden sind. Die Kenntnis von möglichen Beeinflussungen durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen muss dann in die Beurteilung der Ergebnisse einfließen. Darauf wird in den folgenden Kapiteln immer wieder eingegangen.



**Bild 4.1** Lage der untersuchten Abflussmessstellen (Pegel)  
(Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)

## 4.2 Datenaufbereitung und Datenanalyse

Aus den zur Verfügung stehenden 159 Abflussmessreihen wurden, soweit ihr Beginn vor 1961 lag, Teilreihen gebildet, um die zeitlichen Veränderungen zu erfassen und um Gruppen gleich langer Reihen zu bilden:

1901 – 2002  
1921 – 2002  
1941 – 2002  
1961 – 2002

Außerdem wurden die vorliegenden Reihen jeweils in ganzer Länge untersucht. Damit ergaben sich knapp 400 bearbeitete Messreihen. Das Jahr 2003, das mit seiner Niedrigwasserperiode zu bewerten war, wurde in die Vergleichsreihen nicht einbezogen.

Diese Einteilungen entsprechen denen bei der Analyse der Niederschläge (Kap. 3) und dienen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Für jede untersuchte Abflussreihe wurden die folgenden Analysen durchgeführt. Ein Beispiel mit den Ergebnissen ist im Anhang 4.2 beigefügt.

### a) Hauptzahlen des Abflusses

Für jeden Monat, das Sommer- und Winterhalbjahr sowie für das Gesamtjahr wurden NQ und MQ jedes Jahres sowie NQ, NMQ und MQ der Reihe bis 2002 ermittelt, dazu die entsprechenden Werte für das Jahr 2003. Aus den Jahres-NQ bis 2002 wurden die 10 kleinsten Werte herausgesucht und die Rangzahl des NQ (2003) ermittelt. Außerdem wurden für jeden Monat die größten, mittleren und kleinsten Werte aus der Reihe als Jahresverlauf mit den zugehörigen Werten NQ und MQ des Jahres 2003 grafisch dargestellt.

### b) Statistische Analysen

Es wurden statistische Analysen der Niedrigwasserabflüsse NM7Q und NM30Q durchgeführt. Dazu wurde das Programmsystem HyStat des Instituts für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik, Ottobrunn verwendet (IAWG 2003). Nach Ermittlung der Ausgangswerte (kleinstes arithmetisches Mittel der Abflüsse von 7 bzw. 30 aufeinander folgenden Tagen innerhalb jedes Jahres, Jahreseinteilung 01.04. bis 31.03. des folgenden Jahres) wurden verschiedene theoretische Verteilungsfunktionen an diese Stichproben angepasst. Die Ergebnislisten im Anhang enthalten der Übersichtlichkeit wegen nur die Werte aus den dreiparametrischen Verteilungen LogNormal 3, LogPearson 3 und Weibull 3 unter Verwendung der Momentenmethode zur Anpassung. Diese Vorgehensweise entspricht im Wesentlichen den Empfehlungen des DVWK (1983). Ausgedruckt wurden die Werte für  $T_n = 2$  a, 5 a, 10 a, 20 a, 50 a und 100 a. Schließlich wurde für jede untersuchte Reihe ein linearer Trend sowie die Lage des rechnerischen Sprungs berechnet und deren Signifikanz getestet (Mann-Kendall-Test für Trend, Pettitt-Test für Sprung, Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %). Für NM7Q wurden schließlich die verwendeten Reihen mit Trendgerade und Sprungstelle grafisch dargestellt.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Analysen wurden dann für jeden Pegel auf einem Blatt zusammengestellt (Anhang 4.3). Darin sind für jede Teilreihe enthalten:

- > MQ für Winter, Sommer, Jahr für die Reihe und für 2003,
- > MNQ für Winter, Sommer, Jahr sowie NQ für die Reihe, dazu zum Vergleich NQ für Sommer, Winter und Jahr für 2003.
- > Als Beispiel für die statistischen Analysen der NM7Q und NM30Q sind die Ergebnisse für Anpassung der LogPearson 3-Verteilung für  $T_n = 2$  a, 10 a und 100 a angegeben, zum Vergleich die Werte NM7Q und NM30Q für 2003. Die Werte für 2003 wurden anschließend ihrer Häufigkeit nach in die Ergebnisse für die ausgewählte Verteilungsfunktion eingeordnet (als Angabe des Bereiches zwischen zwei Werten für  $T_n$ ).
- > Außerdem enthält die Zusammenfassung noch die Ergebnisse der Trendberechnung für NM7Q (als Änderung des Abflusses in  $m^3/s$  pro Jahr) und die Angabe für den Zeitpunkt des rechnerischen Sprungs. Bei beiden Analysen ist gekennzeichnet, ob das Ergebnis bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit signifikant ist.
- > Schließlich ist der Jahresgang der MQ-Werte jedes Monats für 2003 zusammen mit den maximalen, minimalen und mittleren Monatswerten aus der Reihe 1961 – 2002 grafisch dargestellt, um die Variabilität im Jahresverlauf exemplarisch deutlich zu machen.

Diese Daten bildeten die Grundlage für die weiterführenden Untersuchungen und Analysen.

### **4.3 Vergleich der Abflüsse 2003 mit denen der Messreihe 1961 - 2002**

Die Reihe 1961 – 2002 ist für die Analyse der Abflüsse 2003 die maßgebende „Basisreihe“, weil für sie Aufzeichnungen von 139 der 159 untersuchten Pegel vorliegen. 20 Pegel mit kürzeren Reihen (Beginn Abflussjahr 1962 – 1975), die zur besseren regionalen Verteilung ausgewählt worden waren, werden im Folgenden zusammen mit den Pegeln mit vollständigen Reihen analysiert. In den Ergebnislisten im Anhang sind die entsprechenden Zahlenwerte dieser 20 Pegel kenntlich gemacht.

#### **4.3.1 Jahresgang der Abflüsse**

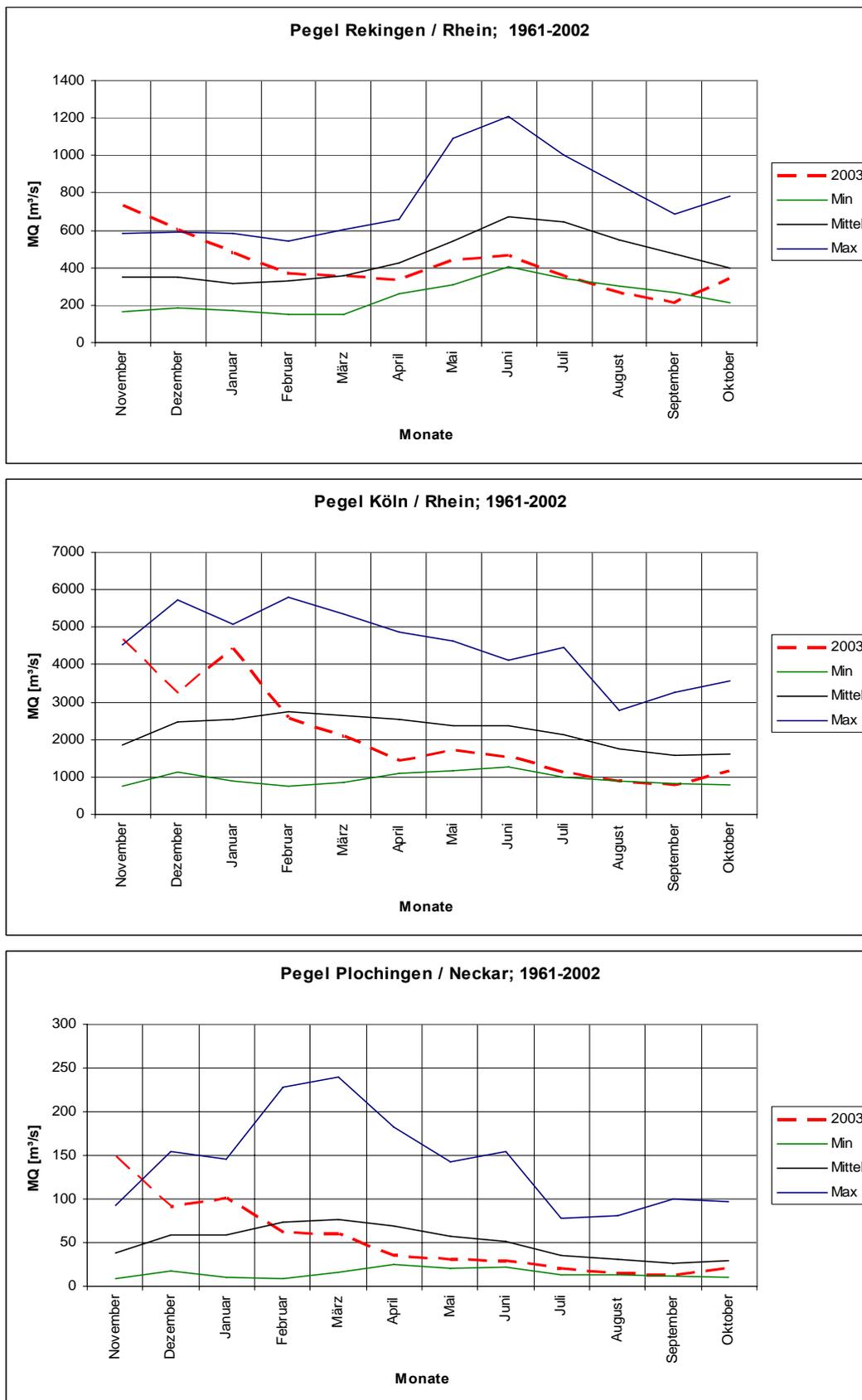
Für jeden Pegel wurden die Monatswerte NQ und MQ des Jahres 2003 den größten, kleinsten und mittleren Monatswerten für NQ und MQ der Reihe grafisch gegenübergestellt, um einen optischen Eindruck von den Besonderheiten des Jahres 2003 zu ermöglichen. Im Anhang 4.3 sind für jeden Pegel exemplarisch die entsprechenden Ganglinien für MQ der Reihe 1961 – 2002 dargestellt. Bild 4.2 zeigt ausgewählte Beispiele aus jedem der großen Flussgebiete Deutschlands.

Dabei sind vor allem Gewässer mit starkem alpinen Einfluss gesondert zu betrachten. Beispiele dazu in Bild 4.2 sind der Rhein bei Rekingen, der Lech in Landsberg und der Inn in Passau. Aber auch die anderen Rheinpegel zeigen – flussabwärts zunehmend schwächer – ein

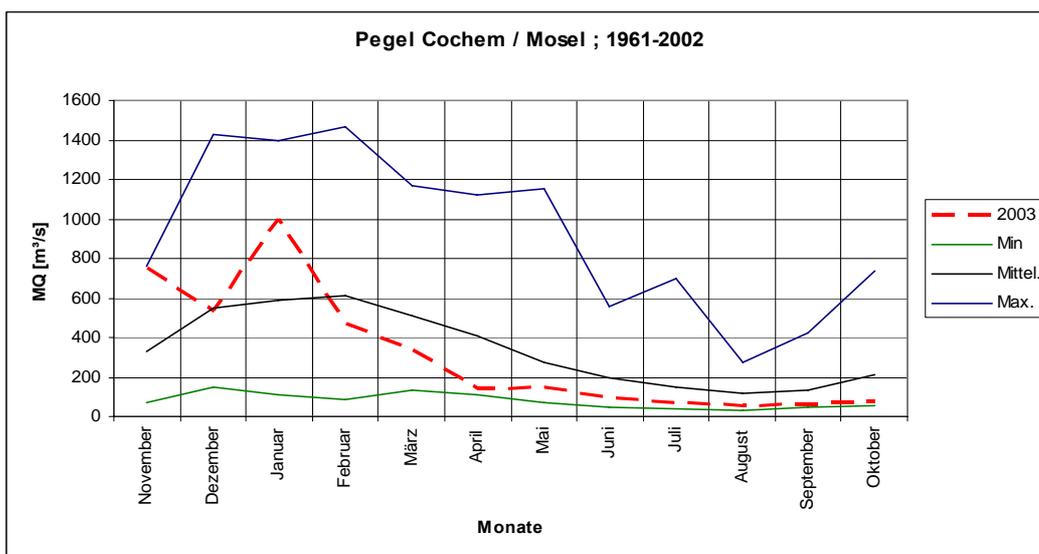
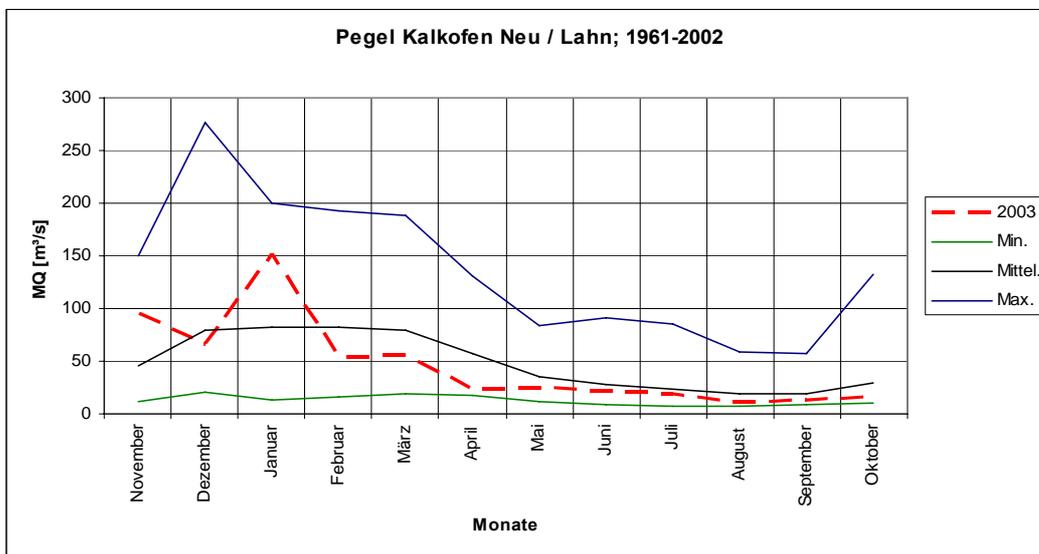
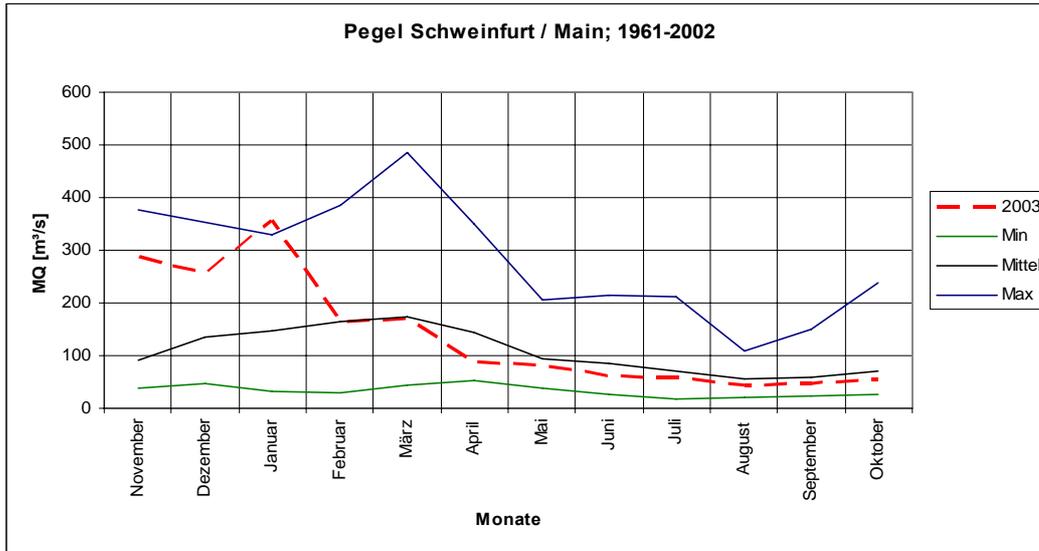
ähnliches Verhalten. Deutlich alpin beeinflusst sind außerdem die Donaupegel ab Kelheim sowie Iller, Lech, Isar und Inn mit ihren hier untersuchten Zubringern. Die Monatsabflüsse all dieser Pegel zeigen die größten Werte im Sommer (Monate Mai bis Juli/August), bedingt durch die Schneeschmelze in den Alpen, sowie die geringsten Monatsabflüsse im Winter (Monate Januar bis März), bedingt durch die Speicherung des Niederschlags als Schnee. Im Jahr 2003 war das Abflussverhalten dieser Gewässer vergleichsweise ausgeglichen mit kleinsten Abflüssen im Sommer. Diese waren zwar z. T. geringer als sonst zu dieser Zeit, aber größer als die kleinsten Monatswerte des Jahres in der Reihe 1961 – 2002 aus dem Winterhalbjahr.

Für die übrigen Gewässer ergeben sich 1961 – 2002 anhand der untersuchten Pegel Jahresgänge der Abflüsse mit großer Bandbreite: Die maximalen Monatsmittel liegen schwerpunktmäßig im Winterhalbjahr mit ausgeprägten Spitzen wie am Pegel Plochingen (Neckar) oder Kalkofen (Lahn), oder auch mit einem breiten Bereich ähnlich großer Werte bis in den Frühsommer hinein wie am Pegel Cochem (Mosel), Berg (Donau) oder Letzter Heller (Werra). Die Monatsmittel des Jahres 2003 haben dagegen meist ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes Maximum im Januar, das z. T. über dem bisherigen Maximum dieses Monats für 1961 – 2002 liegt (z. B. an den Pegeln Celle (Aller) oder Calbe (Saale)). Danach tritt fast überall eine relativ kontinuierliche Abnahme der Werte für 2003 ein, wobei meist schon im Februar der Mittelwert der Reihe 1961 – 2002 unterschritten wird. Im weiteren Verlauf nähert sich die Ganglinie 2003 mehr oder weniger stark den kleinsten Monatswerten der Reihe 1961 – 2002 an und unterschreitet diese auch in einigen Fällen (z. B. Pegel Sophienwerder (Spree)). Eine Besonderheit stellt der Pegel Eisenhüttenstadt (Oder) dar mit den größten Monatsabflüssen der Reihe 1961 – 2002 im Sommer. Dagegen zeigt sich am unterhalb der Warthe-Mündung in die Oder gelegenen Pegel Hohensaaten ein sehr ausgeglichener Verlauf dieser Abflusswerte über das ganze Jahr.

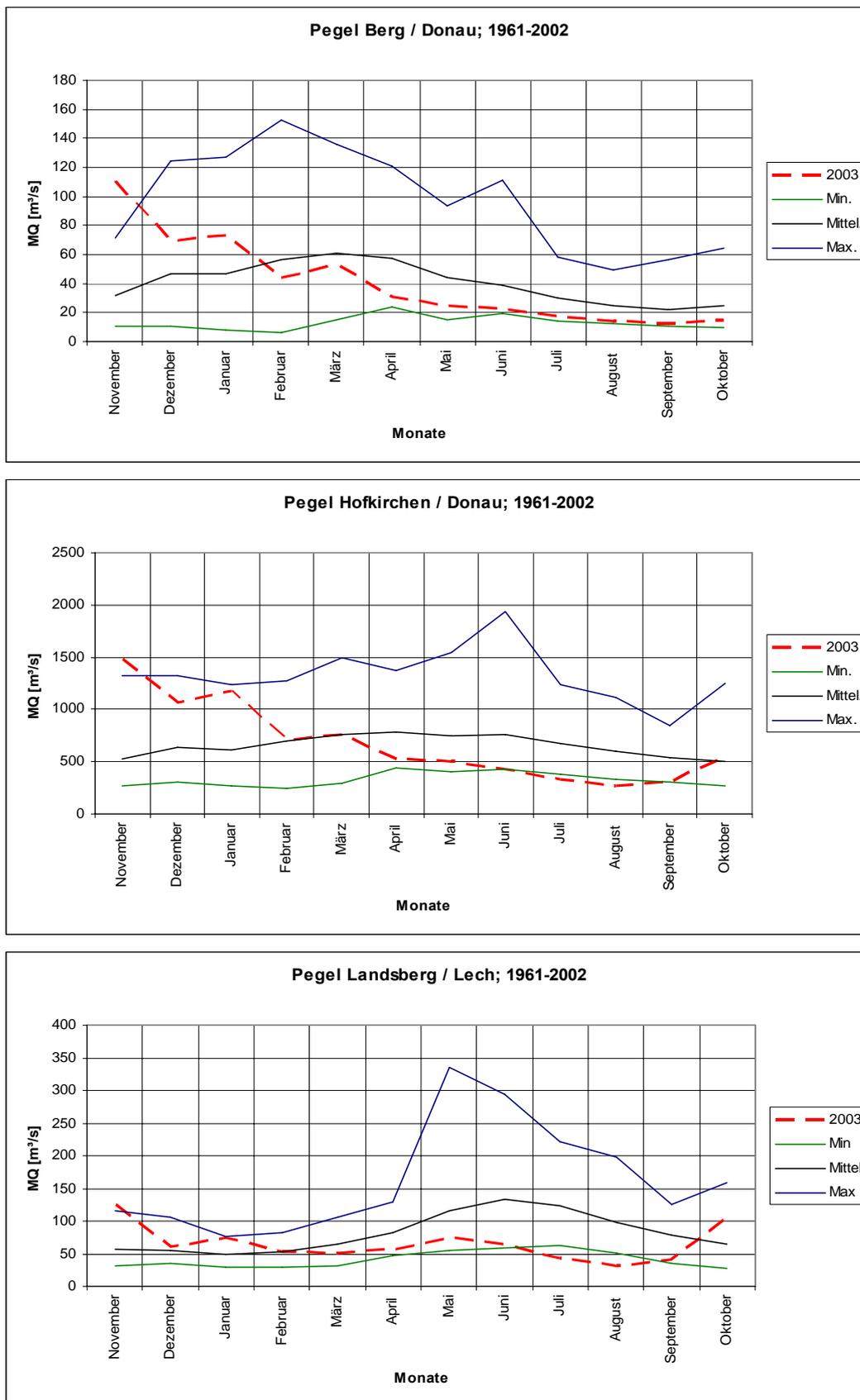
Bei einzelnen Pegeln, deren Jahresgang in Bild 4.2 nicht dargestellt ist, waren die Monatsabflüsse auch im Sommer 2003 etwa gleich oder größer als die mittleren Werte der Reihe, z. B. am Pegel Neustadt (Speyerbach), Pegel Goch (Niers) oder Pegel Niederkirch (Riß). Einige andere Pegel zeigen Besonderheiten, die sich auf anthropogene Einflüsse zurückführen lassen, z. B. Pettstadt (Regnitz) und Neumühle (Rednitz) infolge Donauwasser-Überleitung, Neubrück (Erfst) durch Einleitungen aus dem Braunkohletagebau oder Affoldern (Eder) durch den Betrieb der Edertalsperre. Bei anderen Pegeln, bei denen anthropogene Einflüsse ebenfalls eine größere Rolle spielen müssten, ist dieses anhand der Abflussganglinien 1961 – 2002 gegenüber 2003 zumindest optisch nicht klar erkennbar.



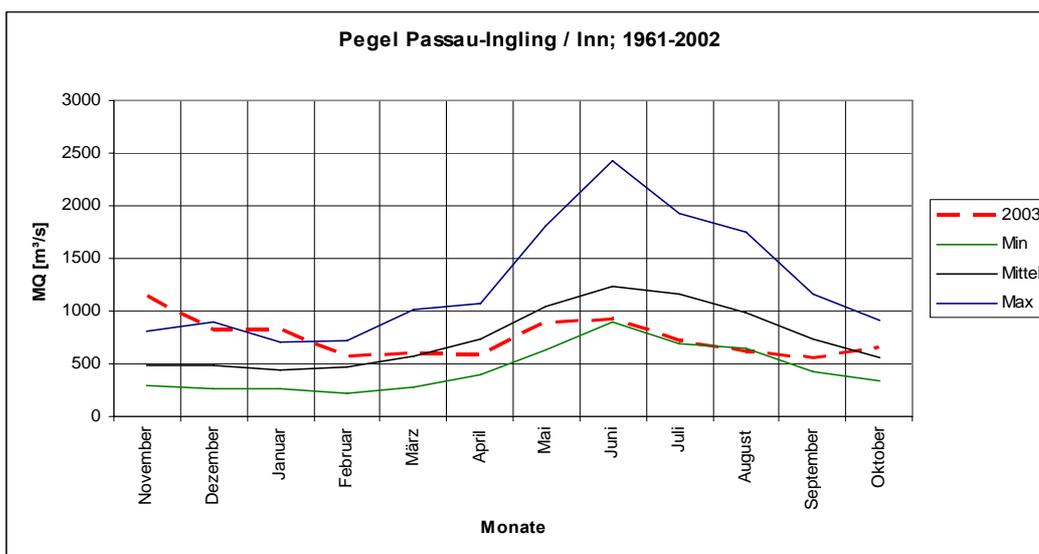
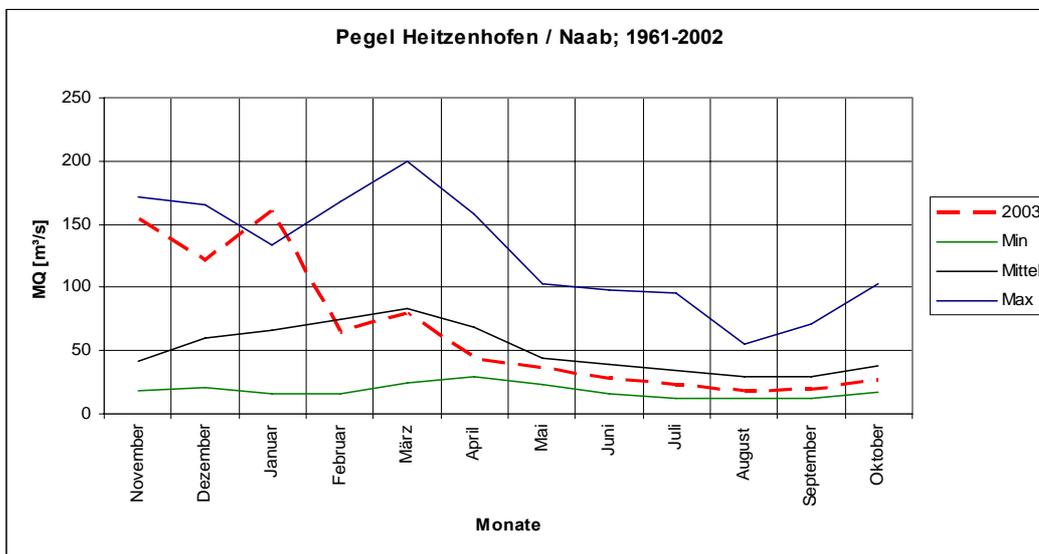
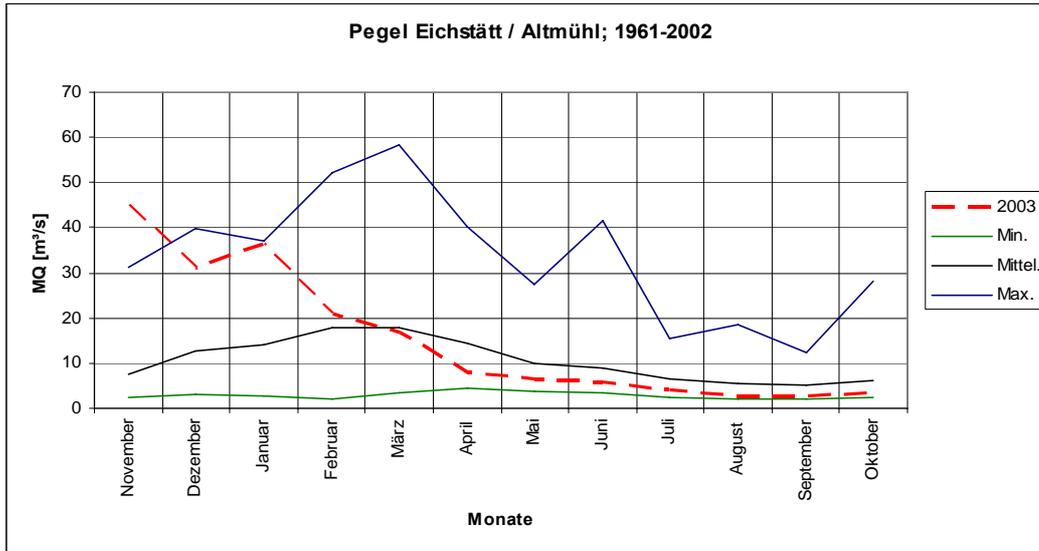
**Bild 4.2** Monatsmittel der Abflüsse für ausgewählte Pegel (Max, Min, Mittel der Reihe 1961 – 2002 und Jahr 2003)



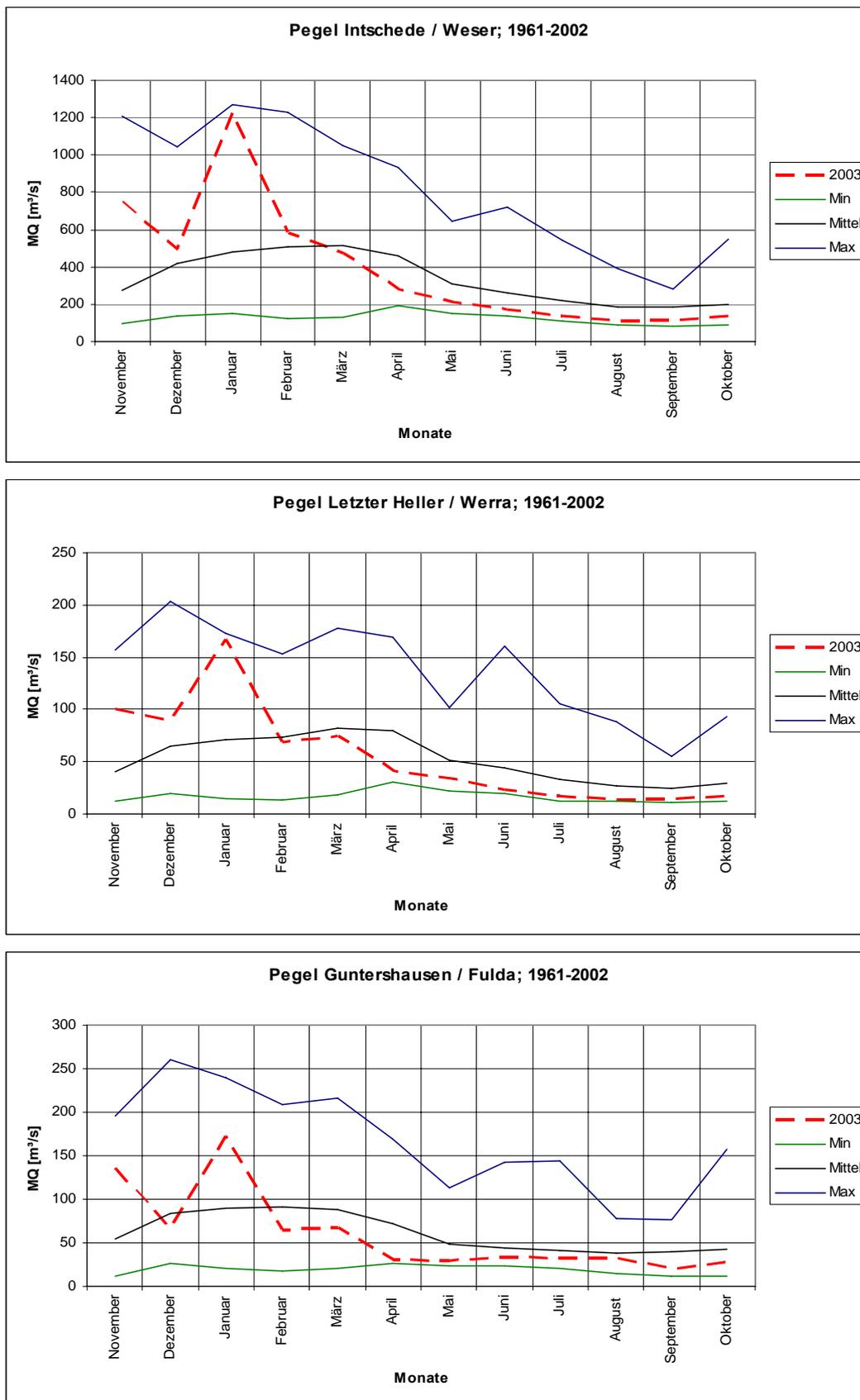
**Bild 4.2 (Fortsetzung)** Monatsmittel der Abflüsse für ausgewählte Pegel (Max, Min, Mittel der Reihe 1961 – 2002 und Jahr 2003)



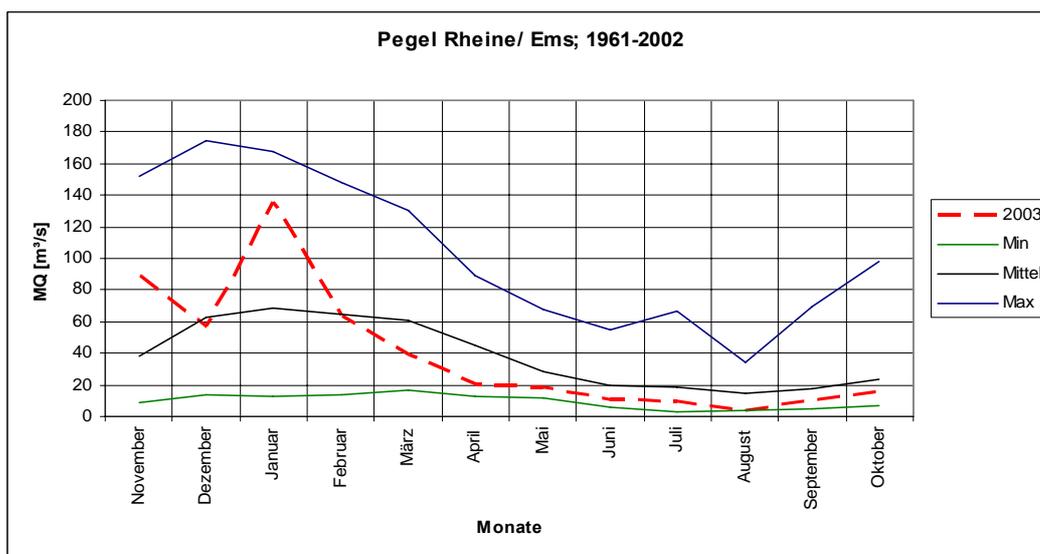
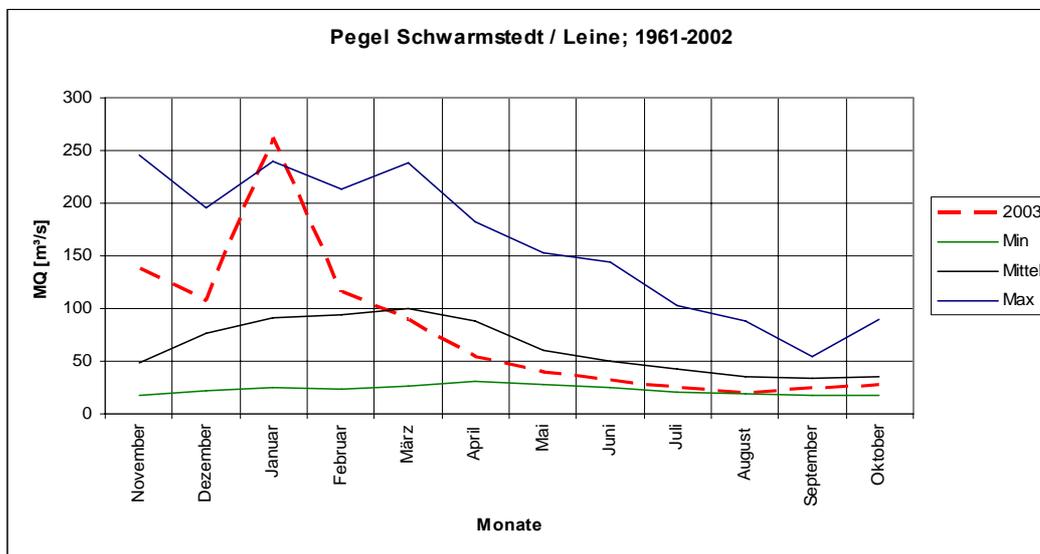
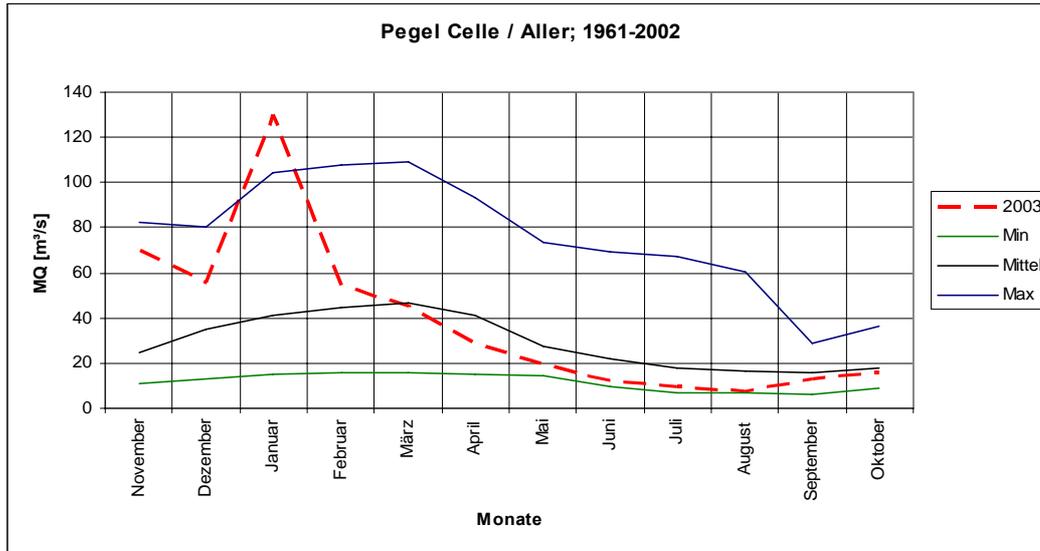
**Bild 4.2 (Fortsetzung)** Monatsmittel der Abflüsse für ausgewählte Pegel (Max, Min, Mittel der Reihe 1961 – 2002 und Jahr 2003)



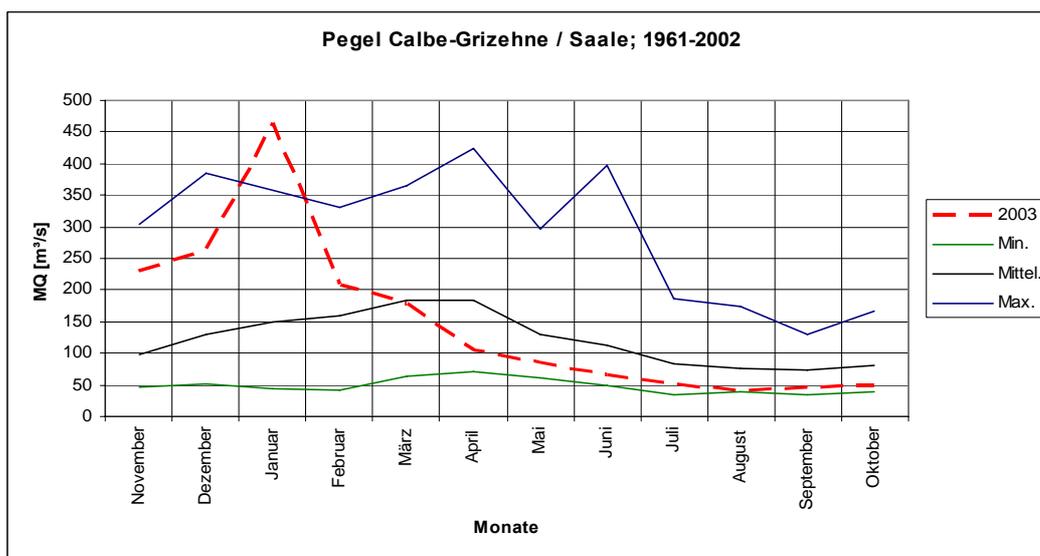
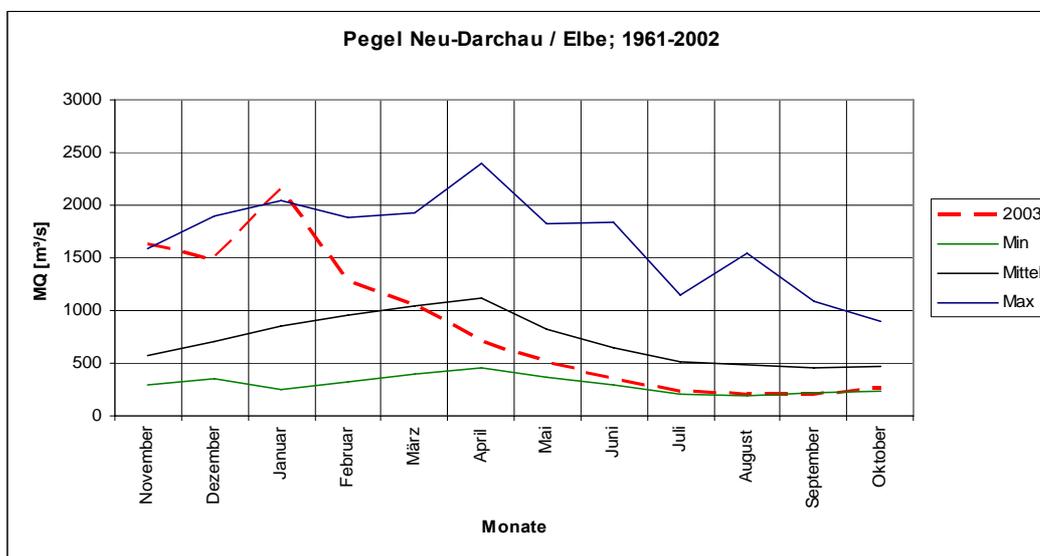
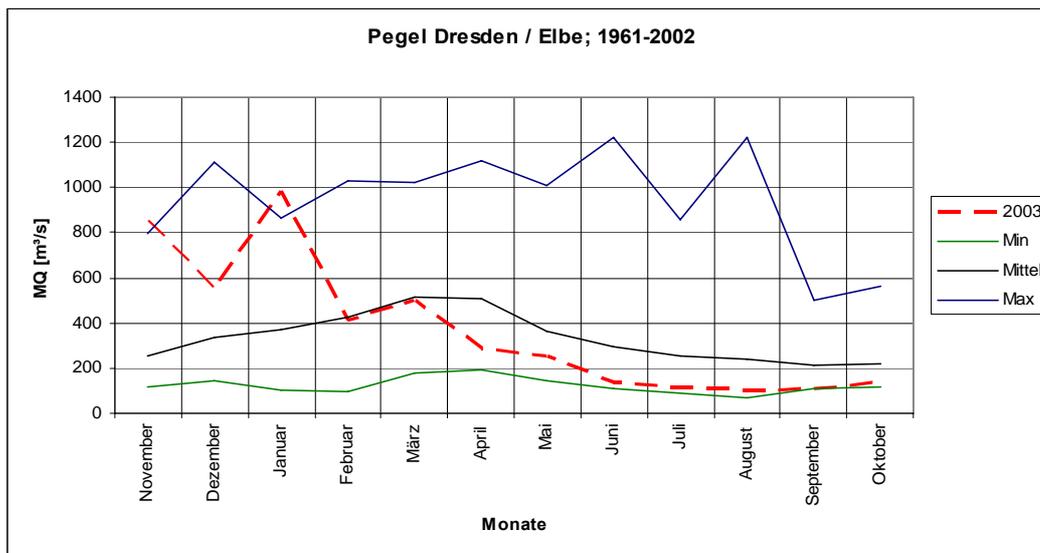
**Bild 4.2 (Fortsetzung)** Monatsmittel der Abflüsse für ausgewählte Pegel (Max, Min, Mittel der Reihe 1961 – 2002 und Jahr 2003)



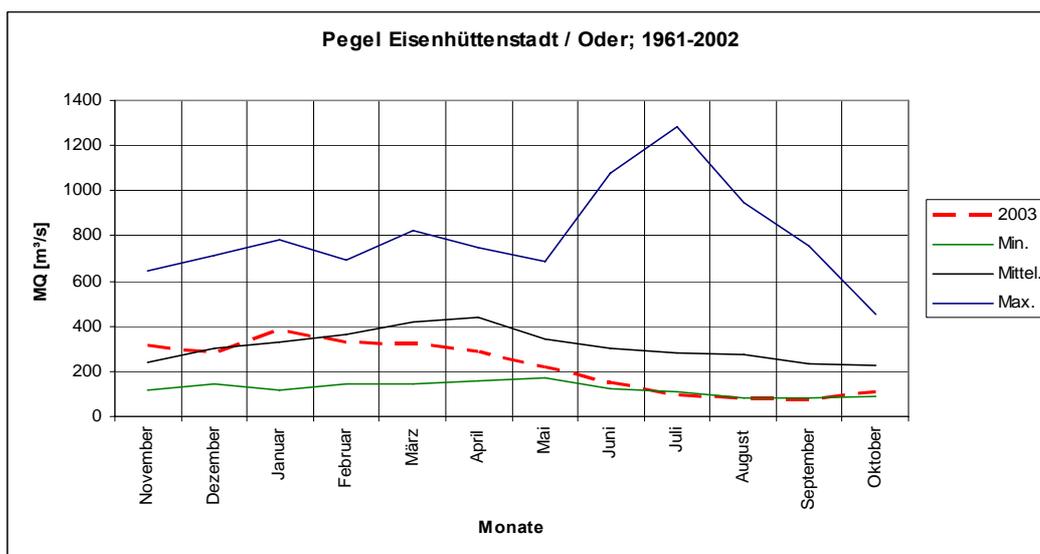
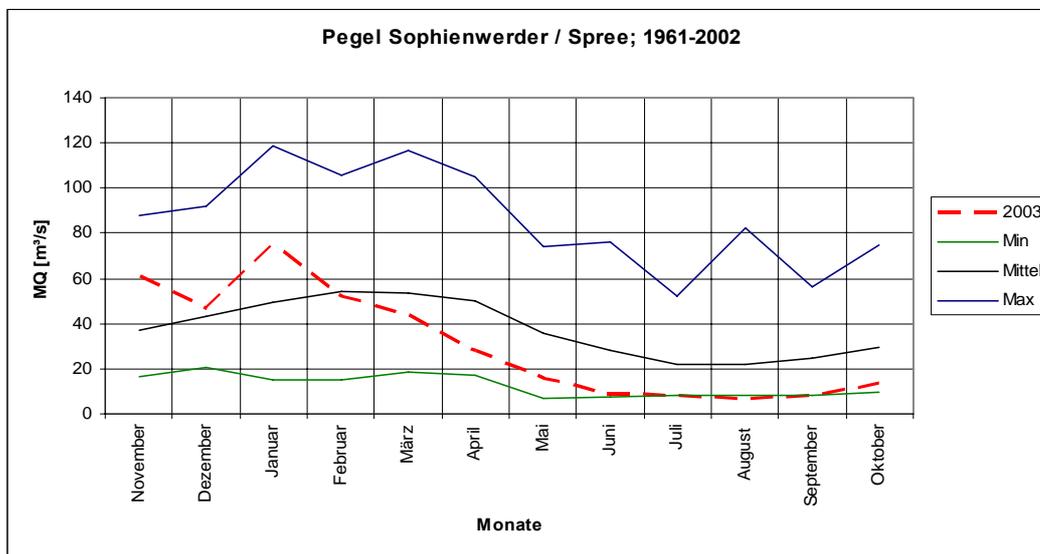
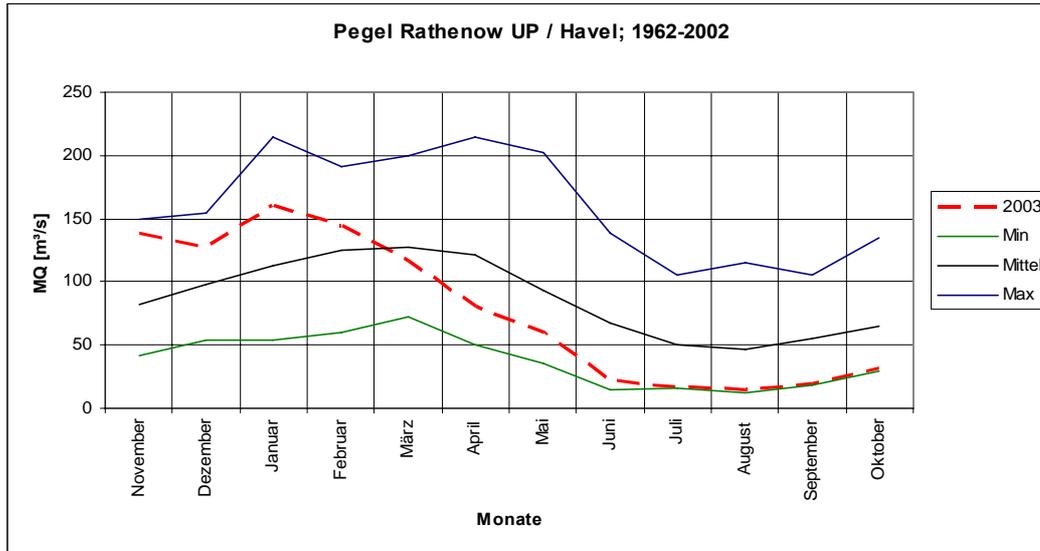
**Bild 4.2 (Fortsetzung)** Monatsmittel der Abflüsse für ausgewählte Pegel (Max, Min, Mittel der Reihe 1961 – 2002 und Jahr 2003)



**Bild 4.2 (Fortsetzung)** Monatsmittel der Abflüsse für ausgewählte Pegel (Max, Min, Mittel der Reihe 1961 – 2002 und Jahr 2003)



**Bild 4.2 (Fortsetzung)** Monatsmittel der Abflüsse für ausgewählte Pegel (Max, Min, Mittel der Reihe 1961 – 2002 und Jahr 2003)



**Bild 4.2 (Fortsetzung)** Monatsmittel der Abflüsse für ausgewählte Pegel (Max, Min, Mittel der Reihe 1961 – 2002 und Jahr 2003)

### 4.3.2 Mittlere Abflüsse

Zur Einordnung der Abflussverhältnisse 2003 in das längerfristige Abflussverhalten werden zunächst die mittleren Abflüsse verglichen. Dazu wurden Verhältniswerte  $MQ(2003)/MQ(1961-2002)$  gebildet, getrennt nach Winter- und Sommerhalbjahr sowie für das gesamte hydrologische Jahr. Diese Werte sind für alle untersuchten Pegel im Anhang 4.4 zusammengestellt (dazu andere Vergleichswerte, auf die später eingegangen wird). In den Bildern 4.3 bis 4.5 sind die Werte in Karten am jeweiligen Pegelort eingetragen, um einen Überblick über die räumliche Verteilung zu geben.

Zur Veranschaulichung von regionalen Unterschieden wurden Gruppen von Pegeln zusammengefasst und dafür Mittelwerte des jeweiligen Kennwertes gebildet. Einzelne extreme Ausreißer wurden dabei nicht berücksichtigt. Die Werte für die großen Flüsse wurden außer beim oberen Main und bei der Oder nicht einbezogen. Die Abgrenzung dieser Pegelgruppen orientiert sich zwar an Einzugsgebietsgrenzen, kann aber nicht als Regionalisierung im üblichen Sinn verstanden werden.

Im Folgenden wird statt von den Verhältniswerten meist von Defiziten oder Überschüssen gesprochen (Unterschied der Vergleichswerte zum Wert 1,0). Der mittlere Jahresabfluss  $MQ(2003)$  ist im Mittel aller untersuchten Pegel fast genauso groß wie der Wert der Vergleichsreihe 1961 – 2002. Betrachtet man die beiden Halbjahre, steht einer Überschreitung des langjährigen Mittels im Winter um ca. +25 % eine Unterschreitung im Sommer um ca. -40 % gegenüber. Diese pauschalen Aussagen haben aber angesichts der großen regionalen Unterschiede wenig Aussagekraft. Die Bilder 4.3 bis 4.5 geben davon einen Eindruck.

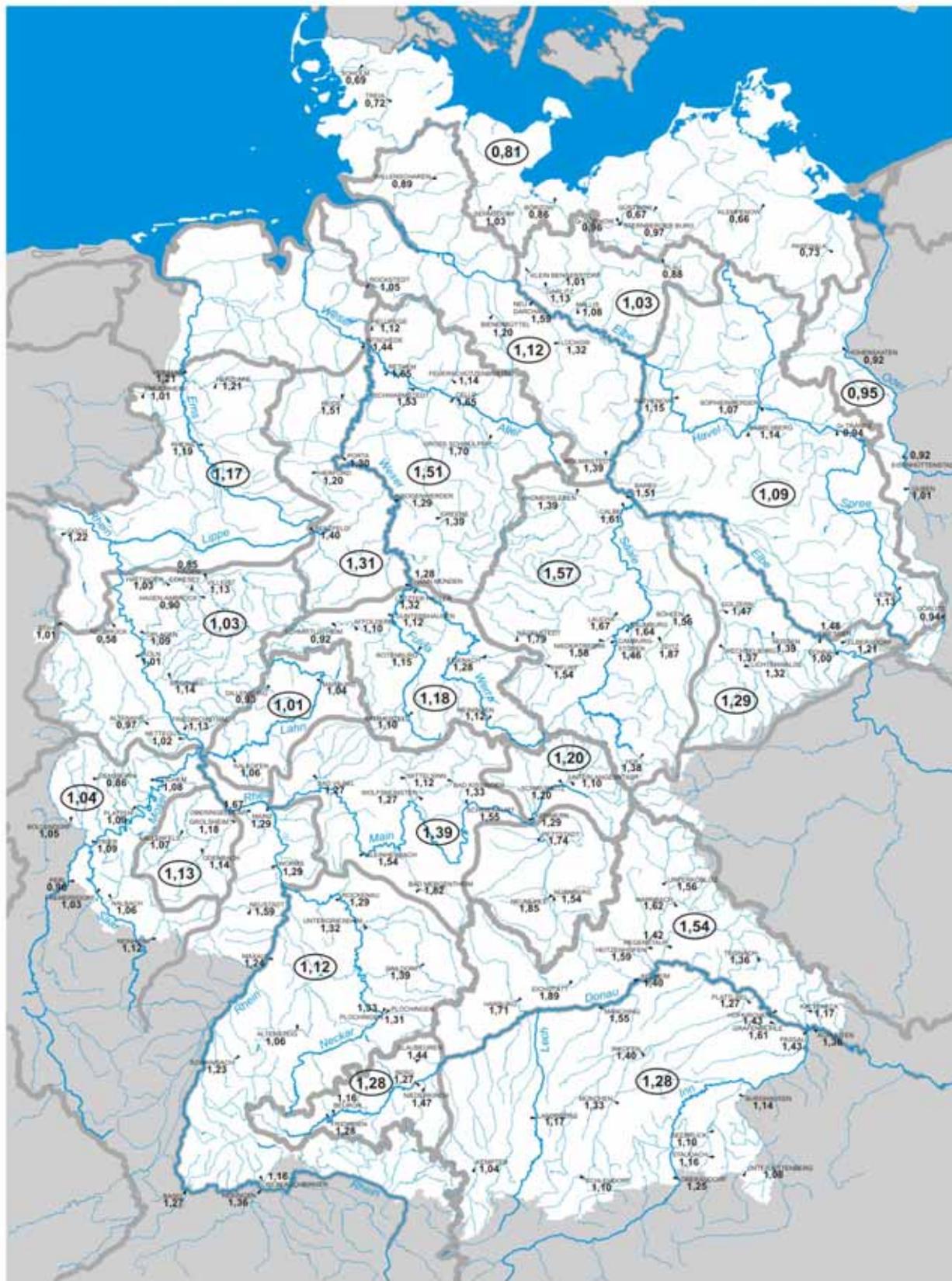
#### a) Abflussverhalten der großen Flüsse

Die großen Flüsse mit ihrem eher ausgeglichenen Abflussverhalten, das zum Teil auch von Oberläufen außerhalb Deutschlands beeinflusst wird, werden zunächst gesondert betrachtet.

- > Entlang des Rheins ist im Jahresmittel 2003 ein kleines Abflussdefizit (i. M. -6 %) zu verzeichnen, das sich aus einem Überschuss im Winter von i. M. +28 % und einem Defizit im Sommer von i. M. -37 % zusammensetzt.
- > Beim Main zeigt sich eine klare Zweiteilung des Flusses: Der Oberlauf bis zur Regnitzmündung erreicht im Jahr 2003 etwa den langjährigen  $MQ$ -Wert (Winter +25 %, Sommer -60 %). Dieser Bereich gehörte vor allem im Sommer 2003 zu den im langjährigen Vergleich abflussärmsten Gewässern in Deutschland. Dagegen werden der Mittel- und der Unterlauf von der Trockenperiode deutlich weniger betroffen (Jahr +29 %, Winter +55 %, Sommer -23 %). Bei diesem Unterschied zwischen beiden Abschnitten des Mains spielt sicher auch die Überleitung von Donau und Altmühlwasser ins Regnitzgebiet eine wichtige Rolle, die gerade im trockenen Sommer 2003 einen überproportional großen Anteil auch im Main unterhalb der Regnitzmündung gehabt haben wird.



**Bild 4.3** Verhältniszerte MQ (2003)/MQ (1961 – 2002), hydrologisches Jahr  
(Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)



**Bild 4.4** Verhältniszerte MQ (2003)/MQ (1961 – 2002), Winterhalbjahr  
(Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)



**Bild 4.5** Verhältniszerte MQ (2003)/MQ (1961 – 2002), Sommerhalbjahr  
(Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)

- > Die Mosel war 2003 (zusammen mit der Oder) diejenige unter den großen Flüssen Deutschlands mit den größten Abflussdefiziten gegenüber der Reihe 1961 – 2002. Im Jahresmittel betrug das Defizit ca. -10 %, zusammengesetzt aus einem geringen Überschuss im Winter und einem Defizit von über -50 % im Sommer. Das ist wohl dadurch zu erklären, dass das französische Gebiet links des Rheins mit dem oberen Moselgebiet 2003 zu den niederschlagsärmsten Regionen in Europa gehörte (siehe Bild 2.2) und gleichzeitig zu der Region mit den höchsten Temperaturen (siehe Bild 2.3). Bei den deutschen Nebenflüssen der Mosel waren die Verhältnisse deutlich weniger extrem als für die Mosel selbst.
  
- > Entlang der Donau waren die mittleren Abflussverhältnisse 2003 im Vergleich zur Reihe 1961 – 2002 etwa denen im Rhein vergleichbar, wenn man den Pegel Beuron im Oberlauf unberücksichtigt lässt. Er ist vor allem im Sommerhalbjahr stark von der kurz oberhalb gelegenen Donauwasser-Versinkung beeinflusst. Insgesamt wurden 2003 195 Tage mit Vollversinkung registriert gegenüber 128 Tagen im langjährigen Mittel (LfU BW 2004 a). Dieser Einfluss verliert mit zunehmender Einzugsgebietsgröße für die Abflüsse in der Donau unterhalb bald an Bedeutung.
  
- > Die Weser zeigt an allen Pegeln ein recht einheitliches Bild beim Vergleich der MQ-Werte 2003 mit denen der Reihe 1961 – 2002. Im Mittel ist für das gesamte Jahr ein Überschuss von ca. +10 % zu verzeichnen, der sich aus einem Überschuss von ca. +33 % im Winter und einem Defizit von ca. -35 % im Sommer zusammensetzt. Eine Auswirkung der Niedrigwasseraufhöhung durch die Edertalsperre ist anhand der Vergleichswerte nicht erkennbar. Dagegen deutet der Vergleich der Fuldapegel Rotenberg und Guntershausen, zwischen denen die Eder einmündet, auf eine Abnahme der Defizite im Sommerhalbjahr 2003 hin. Der Vergleich der beiden Pegel an der Eder selbst oberhalb und unterhalb der Talsperre zeigt eine deutliche Verringerung der Defizite.
  
- > Auch an der Elbe unterscheiden sich die Vergleichswerte MQ (2003)/MQ (1961 – 2002) an den einzelnen Pegeln nur wenig voneinander. Im Jahresmittel ergibt sich ein Überschuss von i. M. +14 % aus einem Überschuss im Winter von i. M. +53 % und einem Defizit im Sommer von i. M. -47 %. Grundsätzlich könnte man 2003 vor allem am Pegel Dresden geringere Defizite im Sommer erwarten als im langjährigen Mittel. Die Elbe erhält nämlich im Niedrigwasserbereich z. T. erhebliche Aufhöhungsmengen aus Speichern in Tschechien mit insgesamt ca. 2.500 Mio. m<sup>3</sup> Volumen. Da diese vor allem in den Jahren 1955 – 1975 gebaut wurden, waren sie aber auch schon in einem großen Zeitabschnitt der hier verwendeten Vergleichsreihe wirksam, was ihren rechnerischen Einfluss stark reduzieren kann. Es ist aber auch denkbar, dass die Speicher schon während des Sommers 2003 so weit abgewirtschaftet waren, dass sich ihre Wirkung auf die Elbe bei Dresden verringerte. Leider liegen dazu keine näheren Informationen vor.

- > Für die Oder als einzigem der untersuchten großen Flüsse zeigen die beiden zur Verfügung stehenden Pegel 2003 schon für das Gesamtjahr Abflussdefizite gegenüber 1961 – 2002 (-8 %), die sich aus einem deutlichen Defizit im Winter (-27 %) und einem sehr großen Defizit im Sommer (-51 %) zusammensetzen. Damit war die Oder 2003 der relativ gesehen am meisten von extremen Wetterverhältnissen betroffene große Fluss. Diese müssen durch entsprechende Verhältnisse vor allem im polnischen Teil des Gebietes (ca. 95 %) bedingt sein, über die aber leider keine weiteren Informationen vorliegen. Die Europakarte für Niederschläge (Bild 2.2) und Temperaturen (Bild 2.3) gibt darauf aber keine konkreten Hinweise.

#### b) Abflussverhalten für Teilregionen

Es wird im Folgenden versucht, regionale Besonderheiten bei den Vergleichswerten für 2003 gegenüber der Reihe 1961 – 2002 herauszuarbeiten. Angesichts der Heterogenität der verschiedenen Einzugsgebiete und der großen Schwankungsbreite von Einzelergebnissen auch benachbarter Gewässer ähnlicher Großregionen wurde auf den Einsatz geostatistischer Verfahren (z. B. Kriging) verzichtet. Für jede der untersuchten Kenngrößen (MQ für Winter, Sommer und Jahr) wurde dieselbe geografische Einteilung gewählt, die sich im Mittel als am aussagekräftigsten erwiesen hatte. Die Daten der Pegel an den vorher behandelten großen Flüssen wurden außer beim Main bis zur Regnitzmündung nicht mit einbezogen. Außerdem wurden die Ergebnisse für Regnitz und Rednitz sowie für die Erft unberücksichtigt gelassen, ebenso einzelne offensichtliche „Ausreißer“ an einzelnen Pegeln (siehe folgende Erläuterungen).

Ein merkbarer Einfluss anthropogener Veränderungen auf die Verhältniswerte aus den Abflüssen 2003 und denen der Reihe 1961 – 2002 ist aber nur dann zu erwarten, wenn die Voraussetzungen 2003 deutlich anders waren als im Mittel der Reihe (siehe Kap. 6.1).

Das ist wohl bei der Regnitz (Pegel Pettstadt) und der Rednitz (Pegel Neumühle) der Fall, wo auch im Mittelwasserbereich ab 1986 eine deutliche Erhöhung der Abflüsse durch Überleitungen aus Donau und Altmühl erfolgt ist. Die hier betrachteten Verhältniswerte für MQ und MNQ sind deshalb wohl auch deutlich höher als die am nicht durch die Überleitung beeinflussten Pegel Nürnberg (Pegnitz) und in angrenzenden Gebieten.

Ein anderer Fall mit erkennbaren Auswirkungen anthropogener Einflüsse ist die Eder mit den Pegeln Schmittlotheim oberhalb und Affoldern unterhalb der Edertalsperre, wo 2003 vor allem bei MQ (Sommer) durch Abgaben eine überdurchschnittliche Erhöhung der Abflüsse unterhalb zu einer entsprechenden Erhöhung des Verhältniswertes zur Reihe 1961 – 2002 geführt haben wird. An anderen Gewässern mit Talsperren (siehe Auflistung in Anhang 4.1) sind solche Effekte aber anhand der verwendeten Vergleichszahlen nicht plausibel erkennbar.

Das gilt auch für den Einfluss des Rückganges des Braunkohletagebaus in der Lausitz und im Raum Leipzig, wo aus den verwendeten Vergleichswerten von Pegeln am betroffenen Gewässer oder aus dem Vergleich mit benachbarten unbeeinflussten Gewässern keine eindeutigen Aussagen möglich sind. Auch bei der Erft, die durch den niederrheinischen Braunkohletagebau beeinflusst ist, treten im Sommerhalbjahr Vergleichswerte MQ (2003)/MQ (1961 – 2002) auf, die denen benachbarter Gebiete etwa entsprechen. Dagegen zeigen sich aber große Unterschiede im Winterhalbjahr und im gesamten Jahr.

Insgesamt ist die Variabilität im Verhalten auch benachbarter Gewässer so groß, dass viele eigentlich zu erwartende Unterschiede aus anthropogenen Einflüssen nicht erkennbar werden. Bei allen Vergleichen dürfen natürlich auch Datenunsicherheiten nicht vernachlässigt werden, die gerade im Niedrigwasserbereich relativ sehr groß sein können. Bei den 19 Pegeln aus den kürzeren Vergleichsreihen als 1961 – 2002 (Beginn 1962 – 1975) können auch Unterschiede zum Verhalten dieser kürzeren Reihen zu der sonst verwendeten Reihe 1961 – 2005 zu Abweichungen bei Verhältniswerten gegenüber 2003 führen.

Trotz all dieser Einschränkungen lassen sich anhand der Bilder 4.3 bis 4.5 einige deutliche regionale Besonderheiten erkennen:

- > MQ (2003)/MQ (1961 – 2002) für Gesamtjahr, Bild 4.3  
Deutliche Überschüsse 2003 finden sich vor allem bei den nördlichen Donauzuflüssen unterhalb von Ulm sowie im Wesergebiet zwischen Hann. Münden und Intschede. Bei den linken Zuflüssen zur Weser und im Emsgebiet sowie im Saalegebiet (Elbe) sind die Überschüsse etwas kleiner. Als Defizitgebiete zeigen sich die Regionen zwischen Elbe und Küste sowie das Odergebiet.
- > WiMQ (2003)/WiMQ (1961 – 2002), Bild 4.4  
Gegenüber den Jahreswerten sind im Winter mehr Regionen mit Überschüssen erkennbar. Dazu gehört jetzt das ganze Donaugebiet, wenn auch die nördlichen Zuflüsse unterhalb von Ulm weiterhin herausragen. Im Elbegebiet kommt zum Saalegebiet auch das Muldegebiet mit einzelnen angrenzenden kleinen Elbezuflüssen dazu. Die Defizitgebiete beschränken sich jetzt auf das Küstengebiet in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern sowie das Odergebiet.
- > SoMQ (2003)/SoMQ (1961 – 2002), Bild 4.5  
Bis auf Regnitz und Rednitz gibt es keine Gewässer mit Abflussüberschüssen 2003 gegenüber 1961 – 2002. Die regional ermittelten Defizite liegen zwischen etwas mehr als -20 % und fast -60 % (Verhältniswerte 0,77 bzw. 0,41). Vergleichsweise gering sind die Defizite im Donaugebiet (südliche Zuflüsse) sowie in Nordwestdeutschland (Emsgebiet, Wesergebiet zwischen Hann. Münden und Intschede, südliche Zuflüsse zur Elbe unterhalb der Havelmündung). Große Defizite treten im Havel-Spree-Gebiet, im Gebiet der Mulde sowie wiederum im Odergebiet auf, außerdem im oberen Maingebiet (bis zur Regnitzmündung).

Fasst man die Ergebnisse aus Sommer-, Winter- und Gesamtjahr zusammen, waren 2003 das Donaugebiet unterhalb von Ulm, das Wesergebiet unterhalb von Hann. Münden und im Elbegebiet das Teilgebiet der Saale vergleichsweise weniger von Abflussdefiziten betroffen. Dagegen hatten das obere Maingebiet bis zur Regnitzmündung, das Havel-Spree-Gebiet, das Odergebiet und das Küstengebiet überdurchschnittliche Defizite. Die übrigen Teilregionen liegen in einem breiten Mittelfeld.

#### c) Vergleich der Abflussanalysen mit den Ergebnissen für meteorologische Größen

Die regionalen „Muster“, die sich aus den Ergebnissen aus den MQ-Vergleichswerten ableiten, sollen hier mit den Ergebnissen aus den eigenen Analysen für Niederschläge an 42 ausgewählten Stationen (siehe Kap. 3.2) sowie mit den flächendeckenden Auswertungen des

DWD verglichen werden (Niederschläge, Grasreferenzverdunstung, klimatische Wasserbilanz, siehe Kap. 2.3.1).

Dabei ist zu bedenken, dass die Überschüsse bzw. Defizite der DWD-Analyse auf die Reihe 1961 – 1990 bezogen sind, die eigene Niederschlagsanalyse und die Abflussanalyse dagegen auf die Reihe 1961 – 2002. Der Vergleich der Reihen 1961 – 1990 und 1961 – 2002 anhand der Daten der 42 untersuchten Messstationen hatte allerdings keine bedeutenden Unterschiede zwischen den beiden Reihen ergeben.

Die DWD-Analysen sind flächendeckend und räumlich hoch aufgelöst, aber die Darstellung in den Bildern 2.4 bis 2.6 erfolgt z. T. nur in wenigen groben Abstufungen. Demgegenüber beruhen die eigenen Analysen nur auf 159 Pegeln ohne fundierten regionalen Abgleich.

Entsprechend schwierig ist es, auch nur qualitative Übereinstimmungen oder Abweichungen für einzelne Regionen zu identifizieren.

- > Vergleich der Niederschlagsanalysen DWD (1961 – 90) und der Abflussanalysen an den 159 Pegeln (1961 – 2002)  
Wegen der groben Klasseneinteilung bei den Darstellungen des DWD für Jahr und Sommer (siehe oben) sind auch hier regionale Differenzierungen beim Vergleich mit mittleren Abflüssen an den Pegeln nicht möglich. Für das Winterhalbjahr gibt es dagegen regionale Ähnlichkeiten bei der Verteilung von Überschussgebieten (Donaugebiet, Saale- und Muldegebiet, Wesergebiet zwischen Hann. Münden und Intschede) und Defizitgebieten im Küstengebiet von Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern.
- > Vergleich der Grasreferenzverdunstung nach DWD (1961 – 1990) und der Abflussanalysen an den 159 Pegeln (1961 – 2002)  
Die Darstellung des DWD (Abweichungen 2003 gegenüber Mittel 1961 – 1990) erfolgt zwar in kleinen Klassen (10 %-Schritte), für die beiden hydrologischen Halbjahre dominiert aber jeweils nur eine der zwei Klassen. Damit ist eine regionale Differenzierung zum Vergleich mit der Analyse der mittleren Sommer- oder Winterabflüsse nicht möglich.
- > Vergleich der klimatischen Wasserbilanz nach DWD (1961 – 90) mit den Abflussanalysen an den 159 Pegeln (1961 – 2002)  
Die klimatische Wasserbilanz (Niederschlag minus (potenzielle) Grasreferenzverdunstung) müsste grundsätzlich ein guter Indikator für die Abflussverhältnisse in den Fließgewässern sein. Die Vergleichswerte des DWD für 2003 gegenüber 1961 – 1990 für das Sommerhalbjahr sind aber wieder in so großen Klassenbreiten dargestellt, dass eine Klasse dominiert. Wo Differenzierungen möglich sind, entsprechen sie nicht den regionalen Verteilungen der mittleren Abflüsse. Im Winterhalbjahr sind wie bei den anderen meteorologischen Auswertungen des DWD dagegen vergleichbare Regionen mit Überschüssen und Defiziten bei der klimatischen Wasserbilanz und den Ergebnissen der Abflussauswertung zu erkennen.

Bisher sind auf der Suche nach Ähnlichkeiten in der regionalen Verteilung zwischen meteorologischen Größen und Abflüssen nur die jeweiligen Kennzahlen des Sommer- oder des Winterhalbjahres sowie des Gesamtjahres gegenübergestellt worden. Während z. B. bei der

regionalen Verteilung der Sommer-Niederschläge und -Abflüsse keine Ähnlichkeiten zu erkennen waren, sind qualitative Übereinstimmungen bei Niederschlägen und klimatischer Wasserbilanz des Winterhalbjahres mit den Abflüssen des Sommerhalbjahres erkennbar. Das ist nicht überraschend, weil zumindest beim vorherrschenden Abflussregime in Deutschland die Abflüsse auch des Sommerhalbjahres stark von den Niederschlägen des vorangegangenen Winterhalbjahres abhängen, verstärkt im Jahr 2003 mit Niederschlagsüberschüssen im Winter- und Defiziten im Sommerhalbjahr.

### 4.3.3 Niedrigwasserabflüsse

Der Vergleich von Niedrigwasserabflüssen verschiedener Zeitabschnitte ist schwieriger als der von mittleren Abflüssen. Es handelt sich um Einzelwerte, die große prozentuale natürliche Schwankungen untereinander aufweisen können und häufig auch durch kurzzeitige anthropogene Einflüsse oder durch Messunsicherheiten beeinflusst sind.

Im Anhang 4.4 sind für die untersuchten 159 Pegel zur Charakterisierung der Niedrigwassersituation 2003 einmal die Verhältniswerte  $NQ(2003)/MNQ(1961-2002)$  für Winter- und Sommerhalbjahr sowie für das Gesamtjahr zusammengestellt. Sie wurden in gleicher Weise wie die mittleren Abflüsse (Kap. 4.3.2) aufbereitet und analysiert. Außerdem wurden die  $NQ(2003)$  den  $NQ(1961-2002)$  gegenübergestellt (Anhang 4.4). Hier unterliegen beide miteinander verglichenen Werte den oben beschriebenen Einflüssen und Unsicherheiten, so dass die Verhältniswerte im Anhang 4.4 zum Teil erhebliche Sprünge von Pegel zu Pegel aufweisen. Auf eine Analyse dieser  $NQ$ -Vergleichswerte wird deshalb im Folgenden verzichtet.

Die Verhältniswerte  $NQ(2003)/MNQ(1961-2002)$  wurden wie die entsprechenden  $MQ$ -Werte im Kap. 4.3.2 in Karten an den jeweiligen Pegelstellen eingetragen, und es wurden Mittelwerte für die großen Gewässer sowie für verschiedene Regionen in Deutschland gebildet (Bilder 4.6 – 4.8). Zwischen den Einzelwerten an den Pegeln einer Teilregion treten nun erwartungsgemäß größere Schwankungen als bei den entsprechenden  $MQ$ -Werten auf. Einzelne auffällige „Ausreißer“ sind z. B. für das Sommerhalbjahr am Kocher (Pegel Gaildorf), an der Elde-Müritz (Pegel Malliß) und an der Großen Aue (Pegel Heide) festzustellen.

Die Verhältniswerte  $MQ(2003)/MQ(1961-2002)$  sind mit den Werten für  $NQ(2003)/MNQ(1961-2002)$  für Sommer- und Winterhalbjahr direkt vergleichbar. Für die Jahreswerte ergeben sich aber grundsätzlich andere Wertebereiche. Bei  $MQ$  ist der Jahreswert etwa gleich dem arithmetischen Mittel aus Winter- und Sommerhalbjahr. Bei  $MNQ$  ist der Jahreswert kleiner als der kleinere der beiden Halbjahreswerte oder kann allenfalls gleich groß sein. Unter den in Deutschland vorherrschenden Klimabedingungen treten die kleinsten Jahresabflüsse überwiegend im Sommerhalbjahr auf. So war es auch 2003: Bei etwa 2/3 aller Pegel war der August der abflussärmste Monat, bei knapp 1/3 der September. Nur bei Flüssen mit großem Hochgebirgsanteil (Alpen) sind die kleinsten Jahresabflüsse in der Regel im Winter zu erwarten. Im Jahr 2003 aber hat z. B. im Hoch- und Oberrheingebiet der Einfluss der geringen Sommerabflüsse aus den Mittelgebirgsregionen überwogen, so dass auch hier der September oder Oktober der abflussärmste Monat war. Nur bei den untersuchten Pegeln an Inn

und Salzach und am Donaupegel Achleiten unterhalb der Innmündung waren die Wintermonate vor der Niedrigwasserperiode 2003 (Februar 2003) oder danach (Dezember 2003) die mit den geringsten Abflüssen.

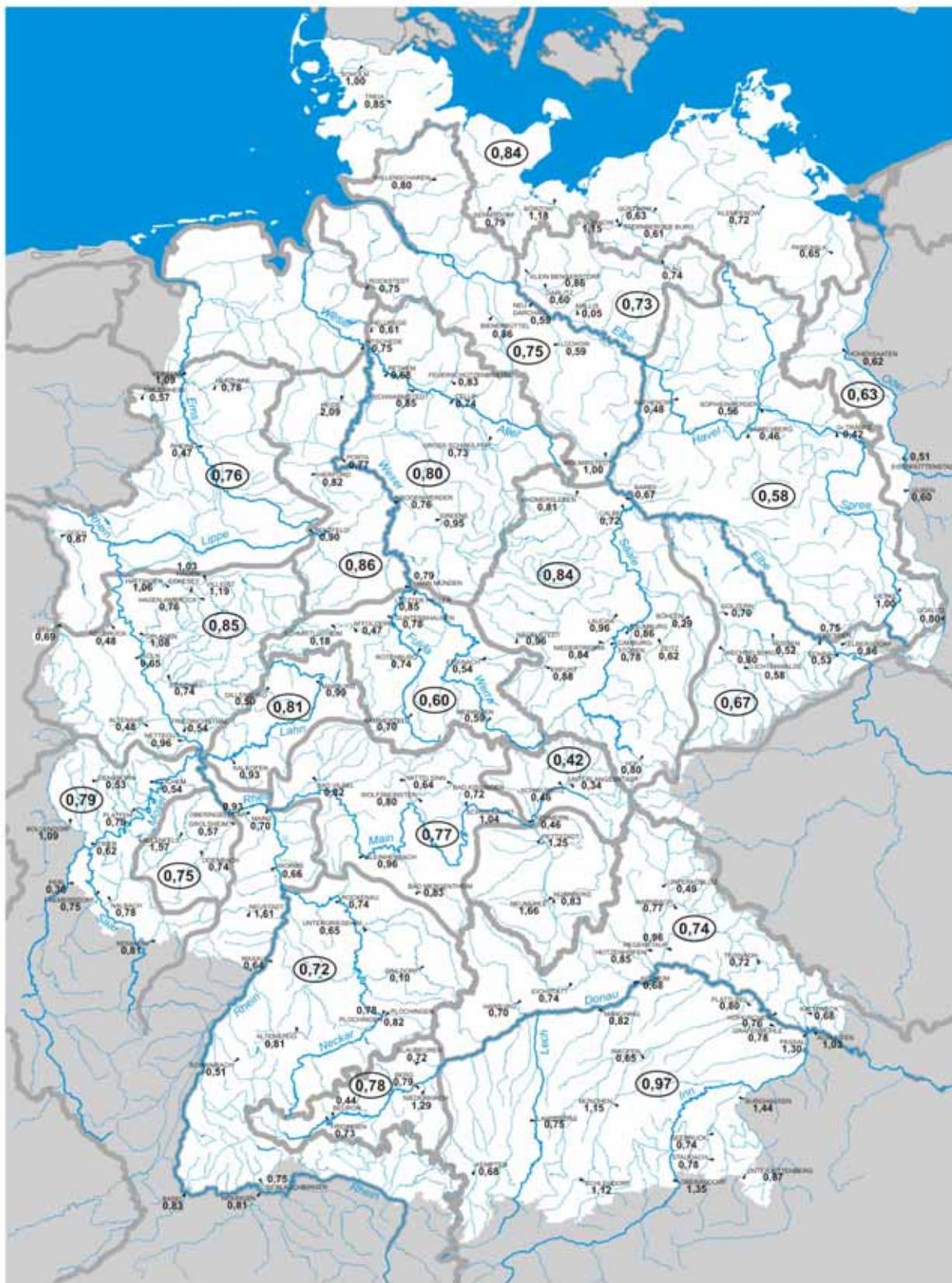
Eine überschlägliche Analyse der Vergleichswerte NQ (2003)/MNQ (1961 – 2002) ergibt zunächst als Mittel aller untersuchten Pegel für das Winterhalbjahr eine Überschreitung von WiMNQ um ca. +30 % und für das Sommerhalbjahr eine etwa gleich große Unterschreitung von SoMNQ (ca. -30 %). Auf das Jahr bezogen folgt daraus eine Unterschreitung von MNQ um ca. -20 %.

Bei den großen Flüssen in Deutschland zeigen die NQ-Vergleichswerte im Winterhalbjahr nur verhältnismäßig geringe Abweichungen gegenüber denen aus den MQ-Werten, im Sommerhalbjahr sind die Vergleichswerte für NQ im Mittel etwas kleiner, d. h. die Defizite etwas größer. Das gilt im Mittel auch für die einzelnen Pegel an den anderen Gewässern und damit auch für die in den Bildern 4.5 – 4.7 eingetragenen Mittelwerte für die gewählten Teilregionen. Diese Teilregionen zeigen größere Unterschiede untereinander, als bei den MQ-Vergleichswerten aufgetreten waren. Die durch die Trockenperiode 2003 überdurchschnittlich betroffenen Teilregionen treten aber sowohl hinsichtlich der NQ- wie auch der MQ-Vergleichswerte in ähnlicher Weise in Erscheinung wie auch die Regionen, die vergleichsweise wenig betroffen waren.

#### **4.3.4 Häufigkeit der Niedrigwasserabflüsse NM7Q (2003)**

Zur Einordnung der Niedrigwasserabflüsse 2003 hinsichtlich der mittleren Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens wurden die Kennwerte NM7Q und NM30Q herangezogen (kleinstes arithmetisches Mittel von 7 bzw. 30 aufeinander folgenden Tagesmitteln des Abflusses jedes Jahres, Jahreseinteilung 01.04. bis 31.03. des Folgejahres, siehe DVWK (1983)). Wie im Kap. 4.2 dargestellt, wurden an die jährlichen Serien dieser Kenngrößen verschiedene theoretische Verteilungsfunktionen angepasst und die Ereignisse mit  $T_n = 2, 5, 10, 20, 50$  und  $100$  a Wiederholungszeitspanne berechnet. Im Folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse durch Anpassung der LogPearson 3-Verteilung mit Momentenmethode zugrunde gelegt. Andere häufig für Niedrigwasserabflüsse verwendete Verteilungsfunktionen wie LogNormal 3- oder Weibull 3-Verteilung führen meist zu sehr ähnlichen Ergebnissen. Größere Unterschiede sind vor allem möglich bei kurzen Reihen und bei Besonderheiten der Stichprobe, wie z. B. Vorhandensein von Ausreißern, extreme Schiefe, bedeutende Inhomogenitäten usw.

Die Werte NM7Q und NM30Q des Jahres 2003 wurden mit den Ergebnissen aus den theoretischen Verteilungsfunktionen verglichen und den dort vorgegebenen Wiederholungszeitspannen durch Angabe eines  $T_n$ -Bereichs zugeordnet ( $T_n < 2$  a,  $2 - 5$  a,  $5 - 10$  a,  $10 - 20$  a,  $20 - 50$  a,  $50 - 100$  a,  $> 100$  a). Einzelne NM7Q- bzw. NM30Q-Werte fallen auch zufällig auf einen einzelnen  $T_n$ -Wert. Bei der Beurteilung dieser Einstufung ist zu beachten, dass der Abfluss-Wertebereich der einzelnen  $T_n$ -Stufen unterschiedlich ist. So ist der Unterschied der Abflüsse zwischen  $T_n = 2$  a und  $T_n = 5$  a häufig etwa doppelt so groß wie der zwischen  $T_n = 50$  a und  $T_n = 100$  a. Damit können bei seltenen Ereignissen schon kleine Unsicherheiten bei den Abflusswerten zu stark veränderten Wiederholungszeitspannen führen.



**Bild 4.6** Verhältniszerte NQ (2003)/MNQ (1961 – 2002), hydrologisches Jahr  
(Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)



**Bild 4.7** Verhältniszerte NQ (2003)/MNQ (1961 – 2002), Winterhalbjahr  
(Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)



**Bild 4.8** Verhältniszerte NQ (2003)/MNQ (1961 – 2002), Sommerhalbjahr  
(Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)

Was die Einflüsse anthropogener Eingriffe in die Abflussverhältnisse einzelner Einzugsgebiete angeht, gilt grundsätzlich das schon im Kap. 4.1 Gesagte: Eine gleichartige Änderung der NMQ-Werte innerhalb der Vergleichsreihe sowie im Jahr 2003 wirkt sich nicht auf die Wiederholungszeitspanne aus, mit der das Ergebnis 2003 in der Reihe im Mittel zu erwarten ist. Nennenswerte Auswirkungen sind dann zu erwarten, wenn die Änderungen innerhalb der Reihe über den Zeitraum stark ungleichmäßig wirksam waren (vor allem nur in einem Teilzeitraum) oder 2003 andere Besonderheiten wirksam waren als während der übrigen Zeit (wie z. B. eine sonst erfolgreiche Niedrigwasseraufhöhung, welche 2003 während der langen Trockenphase nicht möglich war).

Die ermittelten Wiederholungszeitspannen  $T_n$  für NM7Q und NM30Q sind für alle untersuchten Teilreihen jedes Pegels im Anhang 4.3 aufgeführt. Eine Zusammenfassung enthält Anhang 4.5, beschränkt auf NM7Q. Im Folgenden wird zunächst auf dieses Merkmal und die Ergebnisse für die Reihe 1961 – 2002 ausführlich eingegangen. Dabei werden auch die 20 Pegel mit etwas kürzeren Reihen (Beginn 1962 – 1975) mit einbezogen. Am Ende dieses Abschnitts werden dann die Ergebnisse für NM30Q und im Abschnitt 4.4.2 die aus längeren Teilreihen behandelt.

Einen Eindruck über die regionale Verteilung der  $T_n$ -Werte für NM7Q (2003) gibt Bild 4.9, wo diese in einer Karte am jeweiligen Pegelort eingetragen sind. Insgesamt ist bei etwa 66 % aller Pegel NM7Q (2003) als Ereignis einzustufen, das im Mittel häufiger als alle 10 Jahre einmal ( $T_n \leq 10$  a) zu erwarten ist. Die Größenordnung eines „Jahrhundertereignisses“ ( $T_n \geq 50$  a) erreicht es nur bei 7 Pegeln (ca. 4 %). Dazwischen ( $T_n = 10 - 20$  a und  $20 - 50$  a) liegen ca. 30 % der untersuchten Pegel.

Um einen etwas differenzierteren Einblick zu bekommen, werden zunächst die großen Flüsse getrennt betrachtet.

> Rhein

Im Hochrhein war NM7Q (2003) noch ein relativ häufiges Ereignis ( $T_n = 5 - 10$  a), unterhalb ist es zunehmend als seltener einzustufen (bis  $T_n = 50$  a in Köln). Das hängt wohl zunächst mit dem relativ hohen Schmelzwasserzufluss aus den Alpen zusammen, der im weiteren Verlauf durch den Einfluss der Trockenperiode aus den Mittelgebirgsregionen überlagert wird. Allerdings war ein solcher Effekt anhand der Abflussdefizite bei MQ und MNQ (Kap. 4.3) nicht erkennbar.

> Main

Hier zeigt sich die auch schon beim Vergleich von MQ und MNQ deutlich gewordene Zweiteilung: Oberhalb der Regnitzmündung war NM7Q (2003) ein seltenes Ereignis ( $T_n = 20 - 50$  a), unterhalb ein häufigeres ( $T_n = 2 - 10$  a). Das hängt wohl mit der Abflusserhöhung durch Überleitung von Wasser aus dem Donaugebiet ins Regnitzgebiet und weiter in den Main zusammen.

> Mosel

Dem Niedrigwasser 2003 ist im Oberlauf der Mosel (und auch für die Saar)  $T_n = 10 - 20$  a zuzuordnen. Im Unterlauf (Pegel Cochem) ergibt sich ein kleineres  $T_n = 5 - 10$  a. Nach den Abflussdefiziten bei MQ (Kap. 4.3.2) und NQ (Kap. 4.3.3) hätte man größere  $T_n$ -Werte erwarten können. Die Defizite waren zusammen mit denen für die Oder die größten an allen untersuchten großen Flüssen.

- > Donau  
Die  $T_n$ -Werte für NM7Q (2003) sind entlang der Donau uneinheitlich, bis Hofkirchen von  $T_n = 5 - 10$  a auf  $T_n = 10 - 20$  a zunehmend, bei Achleiten wieder auf  $T_n = 2 - 5$  a abnehmend. Das kann durch den dazwischen einmündenden Inn mit seinem alpinen Gebietsanteil bewirkt worden sein.
- > Weser  
Entlang der Weser entspricht das Niedrigwasser 2003 recht einheitlich einem Ereignis mit  $T_n = 5 - 10$  a.
- > Elbe  
Entlang der Elbe nimmt die Wiederholungszeitspanne  $T_n$  für NM7Q (2003) von Dresden ( $T_n = 5 - 10$  a) über Barby ( $T_n = 10 - 20$  a) bei Neu Darchau ( $T_n = 20$  a) leicht zu. Dafür könnte die Niedrigwasseraufhöhung durch die Talsperren in Tschechien ein Grund sein, die direkt unterhalb der Grenze (Dresden) ihre relativ größte Wirkung hat. Ein solcher Effekt war aber anhand der Abflussdefizite bei MQ und MNQ nicht erkennbar.
- > Oder  
Für die Oder war NM7Q (2003) ein seltenes Ereignis, auch wenn die  $T_n$ -Werte für die beiden Pegel ( $T_n > 100$  a,  $T_n = 20 - 50$  a) nicht einheitlich sind.

Für die übrigen größeren Gewässer mit 2 oder mehr Pegeln ergeben sich folgende  $T_n$ -Werte für NM7Q (2003), die untereinander nicht immer plausibel sind:

- >Neckar:  $T_n = 2 - 5$  a und  $5 - 10$  a
- >Lahn:  $T_n = 2 - 5$  a
- >Isar:  $T_n < 2$  a (München) und  $T_n = 20$  a (Plattling)  
(Einfluss der Niedrigwasseraufhöhung durch Sylvenstein-Speicher?)
- >Inn:  $T_n = 2 - 5$  a
- >Werra: stark unterschiedliche  $T_n$ -Werte  
( $T_n = 20$  a bei Meiningen,  $T_n = 5$  a bei Letzter Heller)
- >Fulda: Abnahme der  $T_n$ -Werte von  $T_n = 10 - 20$  a (bei Kämmerzell)  
über  $T_n = 5 - 10$  a (bei Rotenburg) auf  $T_n = 2 - 5$  a (bei Guntershausen)
- >Aller:  $T_n = 5$  a (bei Celle),  $T_n = 10 - 20$  a (bei Rethem)
- >Leine:  $T_n = 2 - 5$  a (bei Greene),  $T_n = 5 - 10$  a (bei Schwarmstedt)
- >Ems: extreme Unterschiede:  $T_n = 20 - 50$  a (bei Rheine) und  
 $T_n = 2 - 5$  a (bei Versen)
- >Saale: uneinheitlich zwischen  $T_n = 2 - 5$  a und  $T_n = 10 - 20$  a
- >Spree: uneinheitlich zwischen  $T_n = 2 - 5$  a und  $T_n = 10 - 20$  a
- >Lausitz. Neiße: extreme Unterschiede:  $T_n = 5 - 10$  a (bei Görlitz und  
 $T_n = 50 - 100$  a (bei Guben)



**Bild 4.9** Wiederholungszeitspanne  $T_n$  in Jahren an den untersuchten Pegeln, NM7Q, Reihe 1961 – 2002 (Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)

Unterschiede für einzelne Teilregionen wie bei den Defiziten für MQ und MNQ im Kap. 4.4 sind für die ermittelten  $T_n$ -Werte nur schwer zu identifizieren. In größeren Regionen, in denen NM7Q (2003) ein relativ häufiges Ereignis war, sind immer wieder einzelne Pegel enthalten, die ein seltenes Ereignis anzeigen. Beispiele sind Amper (Inkhofen), Isar (Plattling) und Ilz (Kalteneck) im Donauegebiet oder Kinzig (Schwaibach) und Kocher (Gaildorf) im Hoch- und Oberrheingebiet. Im Emsgebiet fällt der Pegel Rheine (Ems) deutlich aus dem Rahmen der übrigen Werte, in Mecklenburg-Vorpommern der Pegel Malliß (Müritz-Elde). Dabei können im Einzelfall kurzzeitige anthropogene Eingriffe oder Unsicherheiten bei der Ermittlung der Niedrigwasserabflüsse eine Rolle gespielt haben. Wie schon bei den Abflussdefiziten in den Kap. 4.3.2 und 4.3.3 zeigen sich auch deutliche anthropogene Einflüsse bei Rednitz und Regnitz (Überleitung von Donauwasser) und an der Eder oberhalb und unterhalb der Edertalsperre.

Einige regionale Übereinstimmungen bei der Beurteilung der Niedrigwasserverhältnisse ergeben sich aber trotz vieler Einschränkungen aus dem Vergleich der Abflussdefizite vor allem im Sommerhalbjahr (Bild 4.5) und den  $T_n$ -Werten im Bild 4.9. Das gilt einmal für die besonders betroffenen Regionen des oberen Maingebietes und des Odergebietes. Auf der anderen Seite werden das Emsgebiet und seine Umgebung, das Wesergebiet unterhalb Hann. Münden, das Elbegebiet unterhalb der Havelmündung und das Saalegebiet sowie die Küstenregion als wenig betroffene Gebiete ausgewiesen.

Unterschiede gibt es vor allem in Teilen des linksrheinischen Gebietes nördlich der Mosel mit großen  $T_n$ -Werten, aber eher mittleren Abflussdefiziten sowie im Havel-Spree- und im Muldegebiet, die nach den Abflussdefiziten stärker betroffen waren, aber im Mittel keine großen  $T_n$ -Werte für NM7Q aufweisen.

Alle bisherigen Ausführungen zur Häufigkeit der Niedrigwasserabflüsse 2003 bezogen sich auf eine Dauer von 7 Tagen (NM7Q). Die Ergebnisse für die Dauer von 30 Tagen (NM30Q) sind sehr ähnlich. Bei den meisten Pegeln wird NM30Q der gleichen Häufigkeitsklasse zugeordnet wie NM7Q. Bei ca. 25 % treten Abweichungen auf, die aber bis auf zwei Pegel nicht größer als eine der gewählten Häufigkeitsklassen sind. Bei 10 % ist  $T_n$  für NM30Q kleiner als für NM7Q, bei etwa 15 % ist es umgekehrt. Die erste Gruppe findet sich im Übrigen vor allem im Rhein- und Donauegebiet, die zweite Gruppe in den übrigen Flussgebieten. Angesichts dieser vergleichsweise geringen Unterschiede wird auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse für NM30Q verzichtet.

#### **4.4 Vergleich der Niedrigwasserperiode 2003 mit Ergebnissen aus längeren Messreihen**

Deutlich längere Abflussreihen als die bisher betrachtete (1961 – 2002) für eine noch aussagekräftigere Zahl von Pegeln liegen für 35 Stationen ab 1921 vor. Dabei sind zwar Pegel an den großen Flüssen mit etwa einem Drittel noch stärker vertreten als bei allen 159 Pegeln. Vergleicht man aber die Verhältniszerte  $Q(2003)/Q(1961 - 2002)$  für MQ und NQ im Anhang 4.4, ergeben sich für diese 35 Pegel nur geringe Unterschiede zu den entsprechenden Vergleichswerten für alle 159 Pegel, im Wesentlichen beschränkt auf die Werte für das Win-

terhalbjahr. Damit ist es wohl gerechtfertigt, die Ergebnisse für 35 Pegel aus der Reihe 1961 – 2002 mit denen aus der Reihe 1921 – 2002 zu vergleichen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zu verallgemeinern.

#### **4.4.1 Mittlere und niedrige Abflüsse**

Die Verhältniswerte  $MQ(2003)/MQ(1921-2002)$  sind im Durchschnitt der 35 Pegel etwas größer als die Werte  $MQ(2003)/MQ(1961-2002)$ . Das gilt für das Winterhalbjahr und das Gesamtjahr für fast alle einzelnen Pegel, im Sommerhalbjahr auch noch für etwa drei Viertel von ihnen. Das heißt, dass – bezogen auf die MQ-Werte – die Defizite im Sommerhalbjahr 2003 gegenüber der längeren Reihe ab 1921 etwas geringer sind als gegenüber der kürzeren Reihe ab 1961. Im Winterhalbjahr und im gesamten hydrologischen Jahr sind dann die Überschüsse etwas größer. Anders ausgedrückt: Die mittleren Abflüsse 1921 – 2002 sind in allen Teilreihen entsprechend geringer als die für 1961 – 2002.

Der Vergleich der Verhältniswerte  $NQ/MNQ$  (Reihe) zeigt eine etwas ausgeprägtere Erhöhung der Werte aus der Reihe 1921 – 2002 gegenüber denen aus der Reihe 1961 – 2002 für das Winterhalbjahr und das Gesamtjahr. Für das Sommerhalbjahr ist aber jetzt im Mittel aller 35 Pegel ebenfalls eine (geringfügige) Erhöhung der Verhältniswerte zu verzeichnen. Das heißt, dass die MNQ-Werte für Winterhalbjahr und Gesamtjahr 1921 – 2002 im Mittel deutlich kleiner waren als 1961 – 2002, im Sommerhalbjahr dagegen etwas größer.

Insgesamt haben damit die Abflüsse für alle untersuchten Reihen von 1921 – 2002 mehr oder weniger stark zugenommen, vor allem im Winterhalbjahr und im Gesamtjahr. Im Sommerhalbjahr stehen geringe Zunahmen bei MQ geringen Abnahmen bei MNQ gegenüber. Das deutet auf entsprechende Trends hin, die im Kap. 5 ausführlich analysiert und bewertet werden.

#### **4.4.2 Häufigkeit der Niedrigwasserabflüsse $NM7Q$ (2003)**

Es werden die Wiederholungszeitspannen  $T_n$  verglichen, welche den  $NMxQ$ -Werten des Jahres 2003 zugeordnet werden, wenn man statt der statistischen Analysen für die Reihe 1961 – 2002 die für die Reihe 1921 – 2002 zugrunde legt. Für beide Dauern ( $x = 7$  d und 30 d) zeigen sich im Mittel der 35 untersuchten Pegel kleinere  $T_n$  für die Reihe 1921 – 2002. Die Unterschiede betragen bei 60 % der Pegel eine  $T_n$ -Klasse (z. B. 5 – 10 a für 1921 – 2002 statt 10 – 20 a für 1961 – 2002) und bei 10 % mehr als eine Klasse. Beim Rest ist keine Änderung hinsichtlich  $T_n$  im angegebenen Bereich festzustellen. Das deutet noch einmal auf eine Zunahme der  $NMxQ$ -Werte hin, auf die im Kap. 5 näher eingegangen wird. Zusammen mit den Ergebnissen für die Abflüsse MQ und MNQ (Kap. 4.4.1) bedeutet das, dass die Verhältnisse 2003 weniger extrem erscheinen, wenn man die längere Reihe 1921 – 2002 anstelle der kürzeren 1961 – 2002 zum Vergleich heranzieht.

#### 4.4.3 Extreme Niedrigwasserereignisse in der Vergangenheit

Für jeden untersuchten Pegel waren im Rahmen der Standardauswertung die 10 kleinsten Jahres-NQ herausgesucht worden. Auf der Basis dieser Daten wurde untersucht, welche konkreten Niedrigwasserperioden wie oft unter diesen 10 kleinsten vertreten sind. Häufig werden zwei aufeinander folgende Jahre ausgewiesen. Dabei kann es sich um eine zusammenhängende Niedrigwasserperiode handeln, die über den Wechsel im hydrologischen Jahr (Oktober – November) hinwegreicht. Oder es sind zwei getrennte Ereignisse mit einer dazwischen liegenden Phase höherer Abflüsse, wobei aber das gesamte Niveau während der Zeit verhältnismäßig niedrig war. Im Folgenden wird auf diese Unterscheidung verzichtet. Die folgende Zusammenstellung gibt die Häufigkeit an, mit der das genannte Jahr unter den 10 kleinsten Jahres-NQ vertreten war, bezogen auf die Zahl der Pegel, für die in diesem Jahr Messdaten verfügbar waren. Häufiger als 2003 treten 6 weitere Jahre in Erscheinung, aus neuerer Zeit 1960, 1963 und 1991.

1893	5 von 7 Pegeln	71 %
1911	11 von 20 Pegeln	56 %
1921	20 von 35 Pegeln	57 %
1947	75 von 96 Pegeln	78 %
1948	53 von 98 Pegeln	54 %
1949	64 von 98 Pegeln	65 %
1950	54 von 108 Pegeln	50 %
1954	53 von 108 Pegeln	49 %
1959	62 von 131 Pegeln	47 %
1964	83 von 145 Pegeln	57 %
1976	86 von 159 Pegeln	54 %
...	...	...
2003	49 von 159 Pegeln	31 %

Die Prozentangaben sind kein Maß für die absolute Größe des Niedrigwasserabflusses in den angegebenen Jahren, sondern eher für die räumliche Ausdehnung der betroffenen Region. In jedem Fall gehört die Niedrigwasserperiode 2003 nicht zu den bedeutendsten Ereignissen innerhalb längerer Zeiträume. Als bedeutendste überregionale Niedrigwasserjahre aus dem Zeitraum ab 1941 (mit größerer Datengrundlage) sind vor allem 1947/48 und 1949/50 anzusehen, die auch bei fast allen längeren Reihen unter den 10 kleinsten Jahres-NQ sind.

## 5 Langfristige Änderungen von Niederschlägen und Abflüssen

### 5.1 Zielsetzung und Methoden

Der Vergleich von Niederschlägen und Abflüssen 2003 mit den zugehörigen Werten aus unterschiedlich langen Reihen hatte immer wieder Hinweise auf langfristige Änderungen dieser Größen in der Vergangenheit ergeben. Dieses Phänomen ist seit längerem bekannt und hat im Zusammenhang mit der Diskussion um Klimaänderungen und deren Auswirkungen in jüngerer Zeit große Bedeutung erlangt. Dementsprechend gibt es eine größere Zahl von Arbeiten zu diesem Problemkreis. Auf einige davon, die sich mit den langfristigen Veränderungen von Niederschlägen und Abflüssen in Deutschland befassen, wird im Kap. 5.2.2 bzw. 5.3.3 noch näher eingegangen. Für Niederschläge gibt es seit einiger Zeit eine flächendeckende Analyse für Deutschland (RAPP UND SCHÖNWIESE 1996) mit Angaben von Trends für zwei Zeitreihen (1891 – 1990, 1961 – 1990) und verschiedene Jahresabschnitte. Für Abflüsse dagegen beziehen sich die bisher vorliegenden Untersuchungen auf verschiedene Teilregionen, wobei unterschiedliche Merkmale und Zeitreihen zugrunde gelegt wurden. Mit den für die Analyse der Niedrigwasserperiode 2003 aufbereiteten Daten lässt sich nun durch Gegenüberstellungen eine Untersuchung vergleichbarer Kennwerte von Niederschlägen und Abflüssen durchführen, um so auch großräumige regionale Unterschiede erkennen zu können.

Zur Ermittlung langfristiger Veränderungen wurden lineare Trends für verschiedene Zeitreihen berechnet: ab 1901, 1921, 1941 und 1961, jeweils bis 2002. Außerdem wurden Mittelwerte von Teilreihen vor 1961 und ab 1961 miteinander verglichen. Um die Vergleichbarkeit der Aussage für Niederschläge und Abflüsse zu gewährleisten, wurden die Trendänderungen pro Jahr ermittelt und auf den Mittelwert der zugrunde liegenden Reihe bezogen. Auch für die Mittelwerte von Teilreihen wurde eine prozentuale Veränderung als Vergleichswert verwendet.

Die Einbeziehung der Abflüsse des Trockenjahres 2003 wäre sicher an dieser Stelle von Interesse. Da die Messwerte aber aus den vorangegangenen Untersuchungen als Reihen bis 2002 vorlagen und um eine Vergleichbarkeit aller Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zu gewährleisten, wurden weiterhin die Reihen bis einschließlich 2002 zugrunde gelegt. Bei den

meisten Pegeln war das Jahr 2003 wohl auch nicht so extrem, dass es das Ergebnis der Untersuchungen in diesem Kapitel wesentlich ändern würde.

Als Merkmalswerte wurden untersucht: für Niederschläge und Abflüsse die Summen bzw. Mittelwerte für das hydrologische Jahr sowie Winter- und Sommerhalbjahr, für die Abflüsse außerdem die jährliche Serie der NM7Q-Werte. Die Trendberechnung der Mittel- und Summenwerte erfolgte als lineare Regression ohne Signifikanztests. Diese wurden nur für die Trends der NMxQ durchgeführt (siehe Anhang 4.2). Für die folgenden Untersuchungen wurden die Ergebnisse dieser Signifikanztests nicht zusätzlich berücksichtigt.

## 5.2 Langfristige Änderungen von Niederschlägen

### 5.2.1 Niederschlagstrends

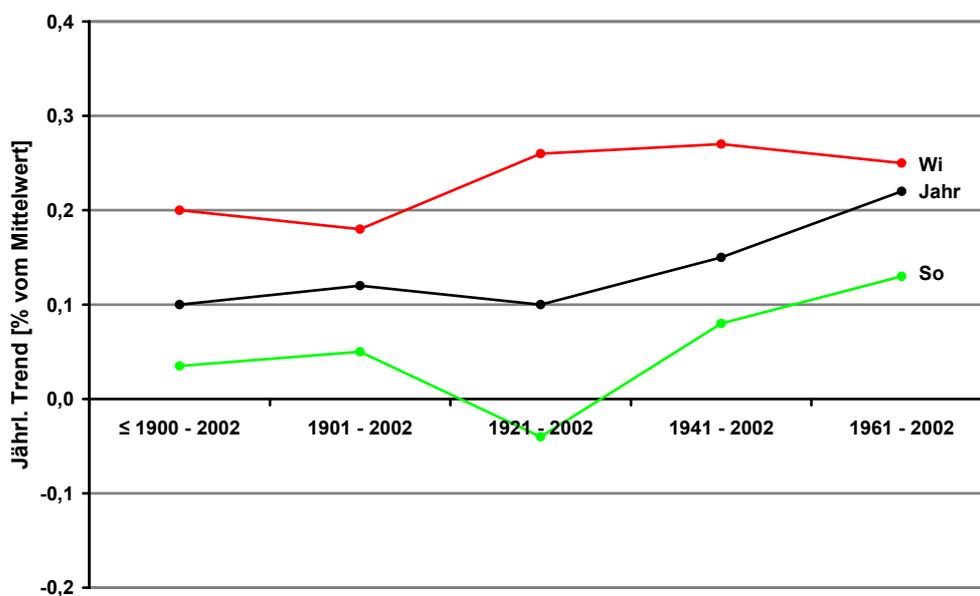
Grundlage waren die Halbjahres- und Jahressummen der Niederschläge an den 42 untersuchten Messstationen. Es wurden lineare Trends als Regressionsgeraden berechnet. Alle Ergebnisse sind als Änderung pro Jahr in Prozent des jeweiligen Mittelwertes im Anhang 5.1 zusammengestellt. Tabelle 5.1 enthält als Zusammenfassung die mittleren und maximalen Werte der 42 Stationen für die Teilreihen 1901 – 2002, 1921 – 2002 und 1961 - 2002. Dabei sind die Stationen mit positiven und negativen Trends zunächst getrennt erfasst, außerdem sind die Mittelwerte für alle Stationen („ges. Mittel“) angegeben. Im Bild 5.1 sind diese Mittelwerte für alle Teilreihen grafisch dargestellt. Die Angabe in % des Mittelwertes (anstelle von absoluten Änderungen) wurde gewählt, um später einen Vergleich mit Trendänderungen der Abflüsse zu erleichtern.

Die wichtigsten Ergebnisse aus diesen Analysen sind:

- > Für das Gesamtjahr und das Winterhalbjahr treten fast nur positive Trends auf. Vereinzelt negative Änderungen sind gegenüber den positiven gering.
- > Für das Sommerhalbjahr nimmt die Zahl negativer Trends deutlich zu, ihre Zahl und die jeweiligen Änderungen bleiben aber auch hier kleiner als bei den positiven Trends. Eine Ausnahme stellt die Reihe 1921 – 2002 dar (mehr negative als positive Trends bei etwa gleicher mittlerer Änderung).
- > Im Vergleich der Messreihen untereinander sind die Unterschiede für das Winterhalbjahr verhältnismäßig gering. Das heißt, die Änderung erfolgt über die Zeit etwa gleichmäßig. Für das Sommerhalbjahr treten größere Änderungen (Zunahmen) vor allem bei der Reihe 1961 – 2002 auf. Auch für das Gesamtjahr sind die Änderungen für diese Teilreihe am größten.
- > Vergleicht man die Änderungstendenzen für die einzelnen Teilreihen, überwiegen bei allen Reihen außer der von 1921 – 2002 die Fälle, bei denen sowohl im Winter- als auch im Sommerhalbjahr Zunahmen aufgetreten sind (60 bis 70 % der Stationen). Zunahmen im Winterhalbjahr mit gleichzeitigen Abnahmen im Sommerhalbjahr treten bei 10 bis 30 % der Stationen auf. Für die Reihe 1921 – 2002 sind die Verhältnisse etwa umgekehrt.

**Tabelle 5.1** Trendanalysen der Niederschläge, Ergebnisse für die verschiedenen Zeitreihen  
Änderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes

Trendänderungen in % pro Jahr								
			1901 - 2002		1921 - 2002		1961 - 2002	
			Anzahl	Änderung	Anzahl	Änderung	Anzahl	Änderung
Winter	+	Mittel	41	+0,20 %	41	+0,26 %	35	+0,32 %
		Max		+0,44 %		+0,56 %		+0,89 %
	-	Mittel	1	-0,10 %	1	-0,00 %	7	-0,14 %
		Max		-0,10 %		-0,00 %		-0,27 %
	ges.	Mittel	42	+0,19 %	42	+0,25 %	42	+0,25 %
Sommer	+	Mittel	30	+0,09 %	14	+0,08 %	35	+0,24 %
		Max		+0,26 %		+0,24 %		+0,78%
	-	Mittel	12	-0,04 %	28	-0,09 %	7	-0,14%
		Max		-0,09 %		-0,24 %		-0,38 %
	ges.	Mittel	42	+0,05 %	42	-0,03 %	42	+0,18 %
Jahr	+	Mittel	39	+0,12 %	36	+0,12 %	38	+0,24 %
		Max		+0,32 %		+0,29 %		+0,52 %
	-	Mittel	3	-0,03 %	6	-0,06 %	4	-0,10 %
		Max		-0,09 %		-0,10 %		-0,22 %
	ges.	Mittel	42	+0,11 %	42	+0,10 %	42	+0,22 %

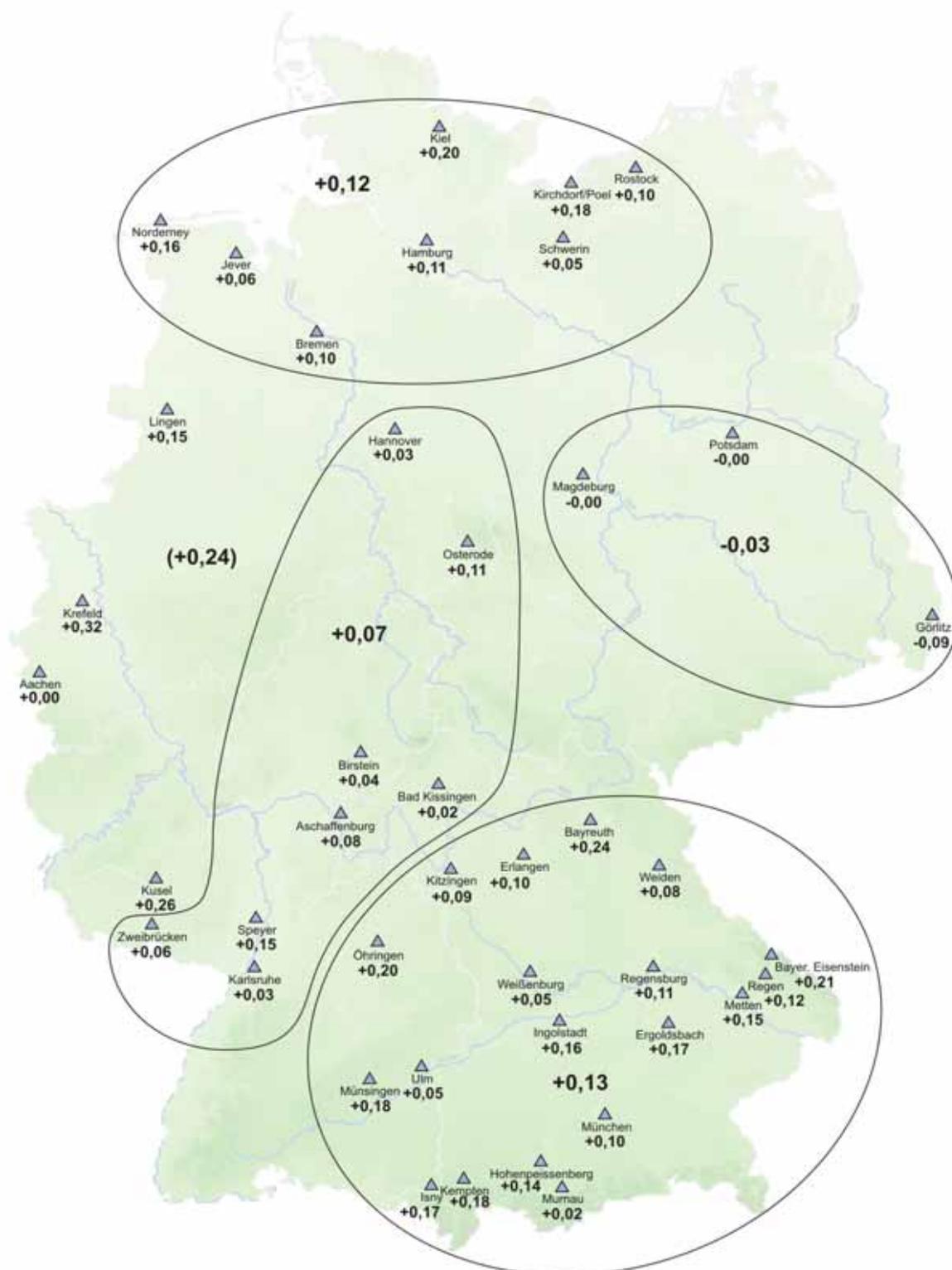


**Bild 5.1** Niederschlagstrends für die untersuchten Teilreihen,  
jährliche Änderung in % vom Mittelwert, Mittelwerte für 42 Stationen

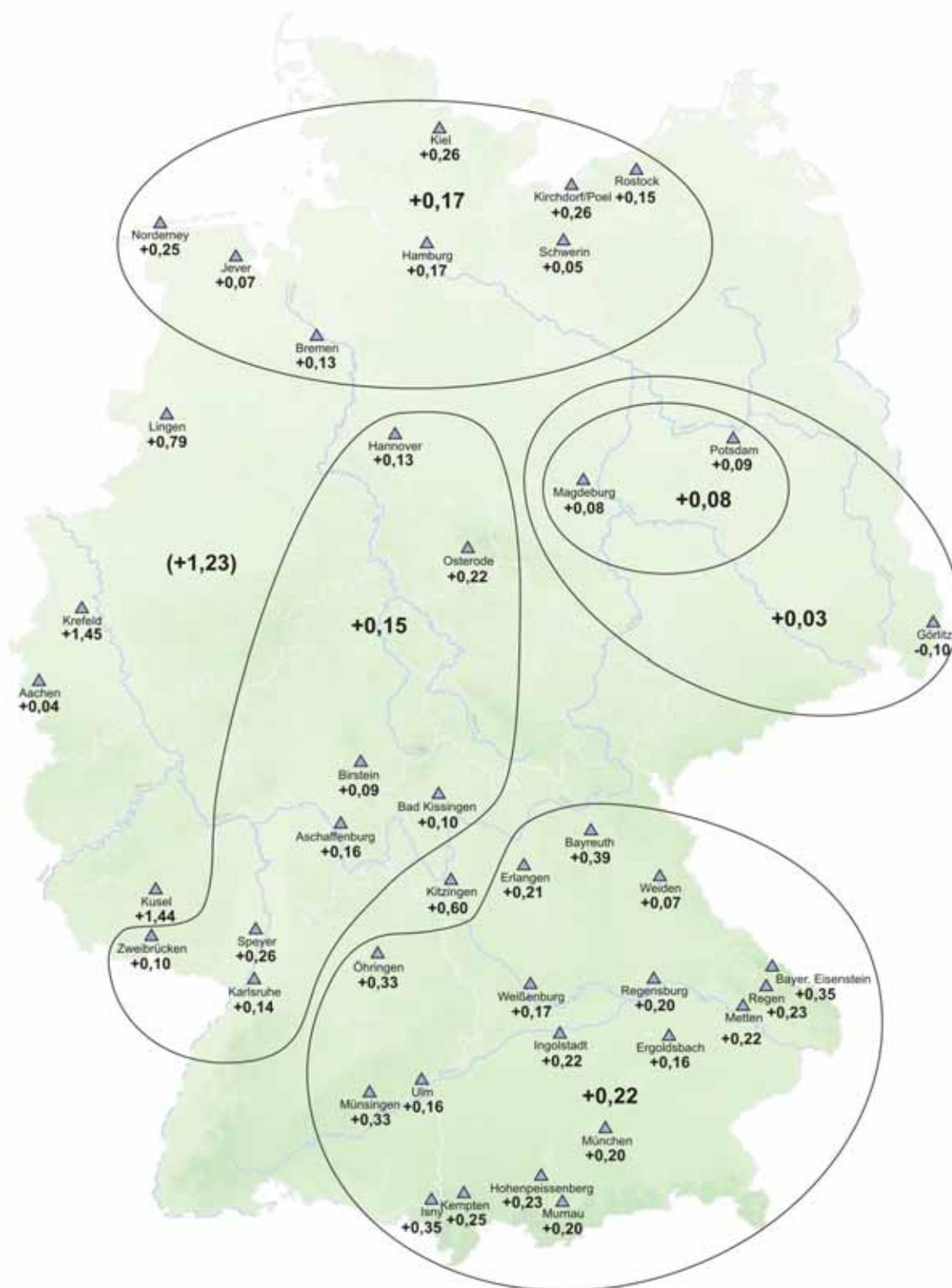
Um etwaige regionale Besonderheiten bei den ermittelten Niederschlagstrends aus den 42 untersuchten Stationen erkennen zu können, wurden die jährlichen Änderungen in % vom jeweiligen Mittelwert in Karten eingetragen: Bilder 5.2 – 5.4 für die Reihe 1901 – 2002, Bilder 5.5 – 5.7 für 1961 – 2002, jeweils getrennt für Winter, Sommer und Gesamtjahr. Um einen besseren Überblick zu ermöglichen, wurden verschiedene benachbarte Stationen zu Gruppen zusammengefasst.

Regionale Besonderheiten zeigen sich dabei eher anhand der langen Reihe, vor allem für das Winterhalbjahr und das Gesamtjahr. Hier treten im Mittel die größten Änderungen im Küstenbereich und in Bayern (mit angrenzenden Teilen Baden-Württembergs) auf, in beiden Regionen in etwa gleicher Größe. Die kleinsten und zum Teil auch negativen Änderungen finden sich in Ostdeutschland (Stationen Görlitz, Potsdam, Magdeburg). Im übrigen Deutschland ist die Dichte der verwendeten Stationen gering und deren räumliche Verteilung für regionale Analysen zu ungleichmäßig. Die errechneten Änderungen weisen teilweise große Unterschiede im Einzelnen auf, vor allem auch zwischen benachbarten Stationen wie z. B. Aachen und Krefeld oder Zweibrücken und Kusel.

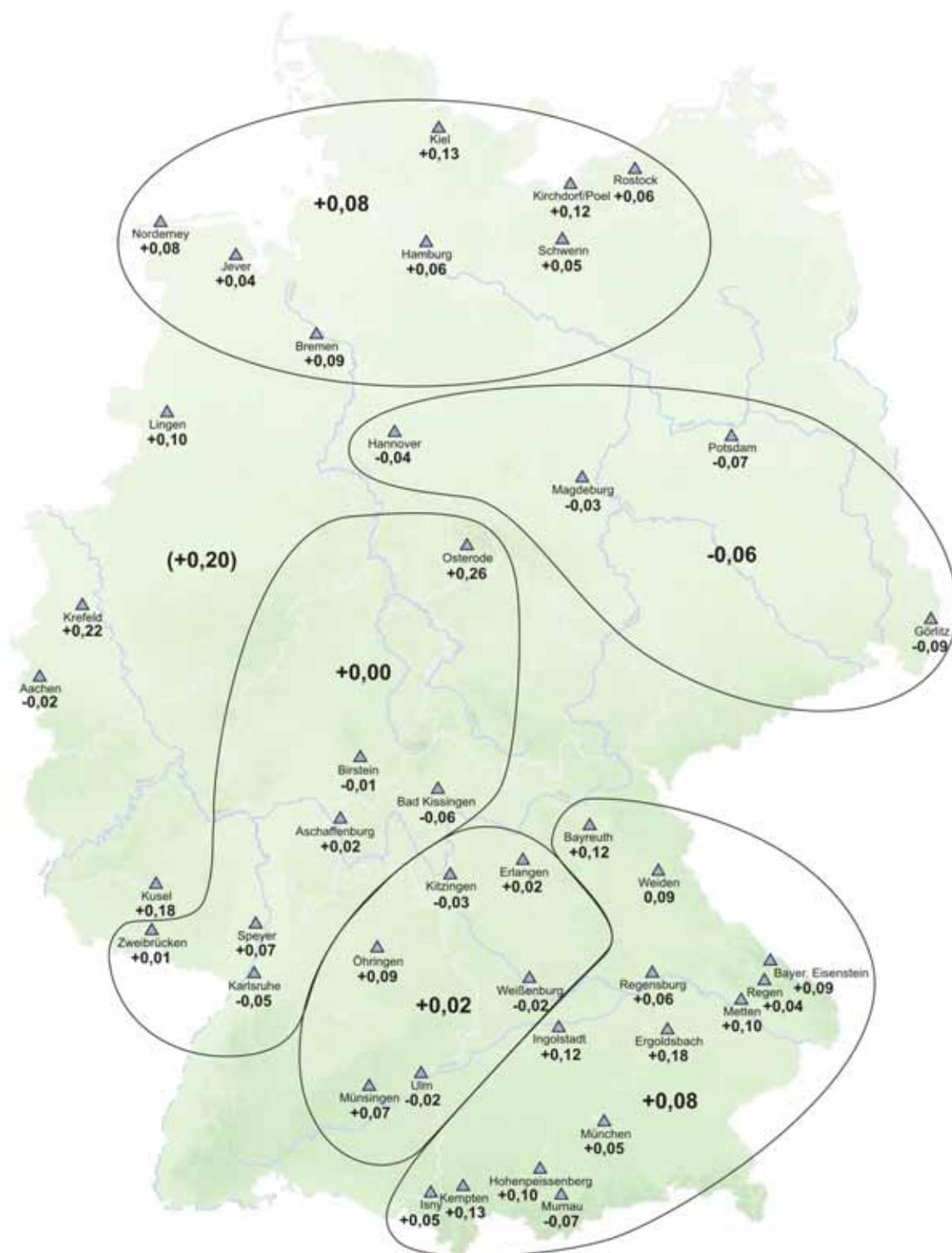
Für die Reihe 1961 – 2002 sind regionale Unterschiede der Trendänderungen nur noch schwer festzulegen, wenn auch die oben beschriebene grobe Einteilung aus der langen Reihe erkennbar bleibt. Die vorher einigermaßen einheitlichen Regionen in Bayern und im Küstenbereich weisen jetzt zum Teil größere Unterschiede für Teilregionen auf.



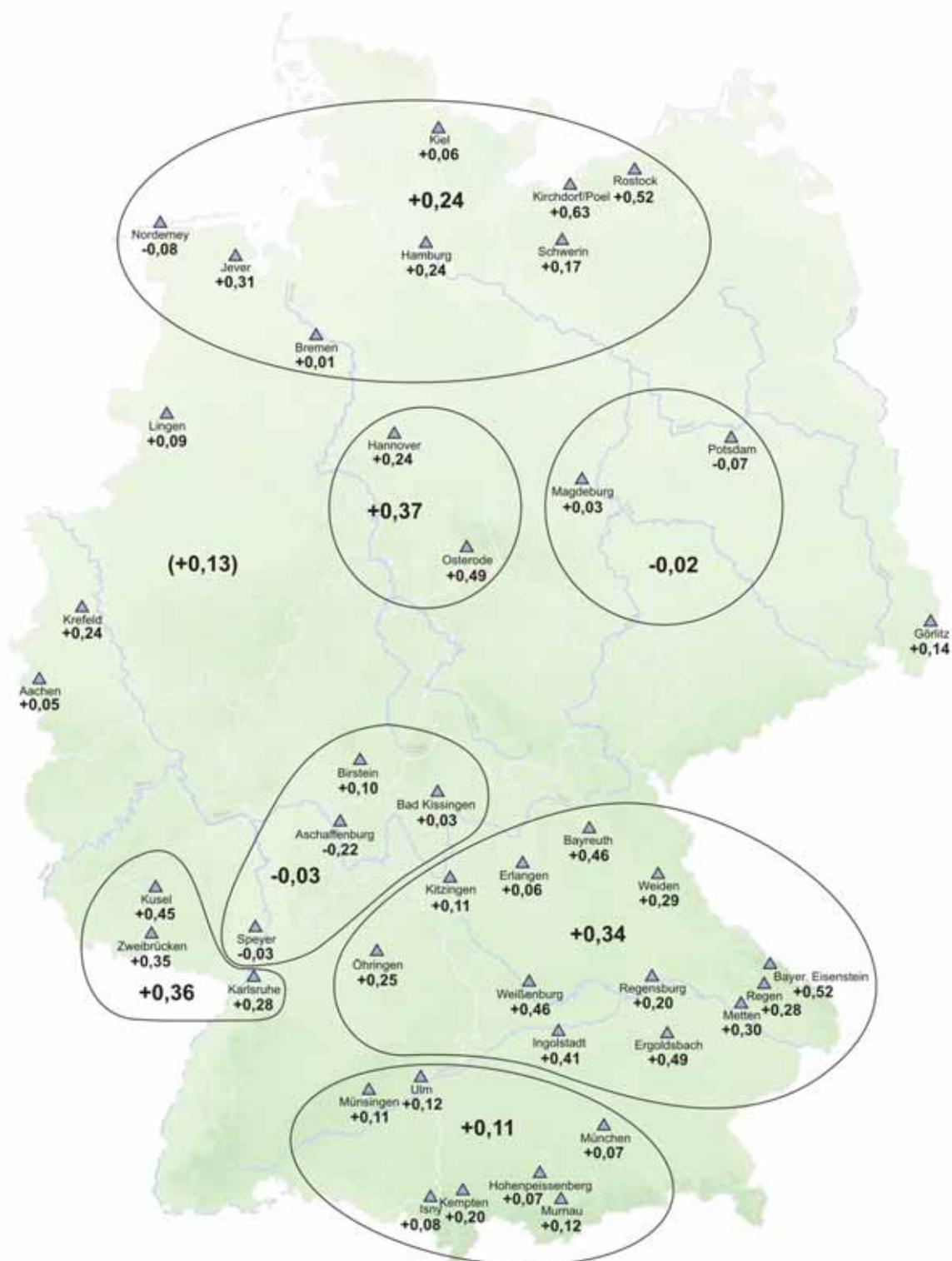
**Bild 5.2** Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes)  
Reihe 1901 - 2002, hydrologisches Jahr  
(Kartengrundlage DWD, verändert)



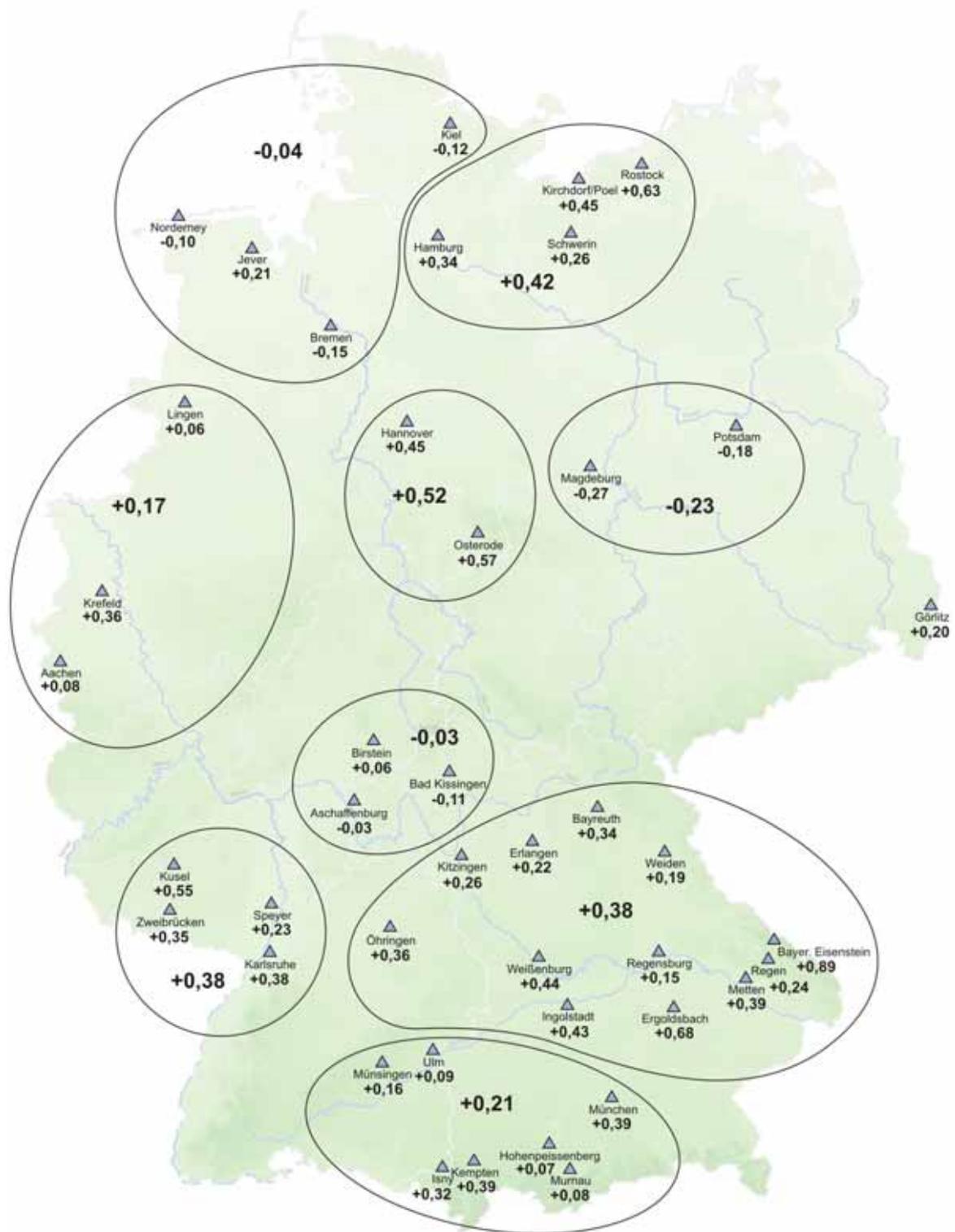
**Bild 5.3** Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes)  
Reihe 1901 - 2002, Winterhalbjahr  
(Kartengrundlage DWD, verändert)



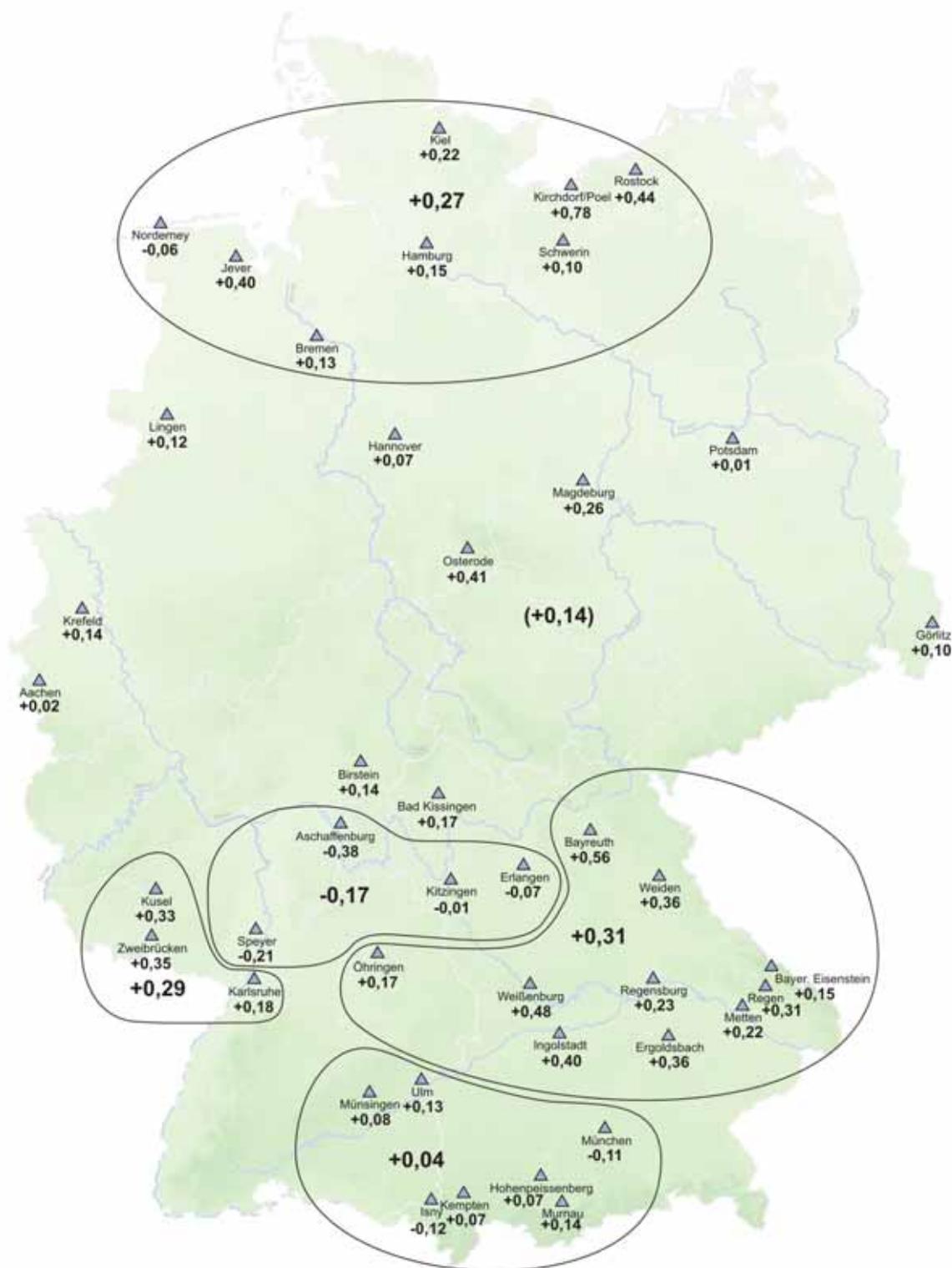
**Bild 5.4** Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes)  
Reihe 1901 - 2002, Sommerhalbjahr  
(Kartengrundlage DWD, verändert)



**Bild 5.5** Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes)  
Reihe 1961 - 2002, hydrologisches Jahr  
(Kartengrundlage DWD, verändert)



**Bild 5.6** Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes)  
Reihe 1961 - 2002, Winterhalbjahr  
(Kartengrundlage DWD, verändert)



**Bild 5.7** Niederschlagstrends (Änderung pro Jahr in % des Mittelwertes)  
Reihe 1961 - 2002, Sommerhalbjahr  
(Kartengrundlage DWD, verändert)

## 5.2.2 Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen

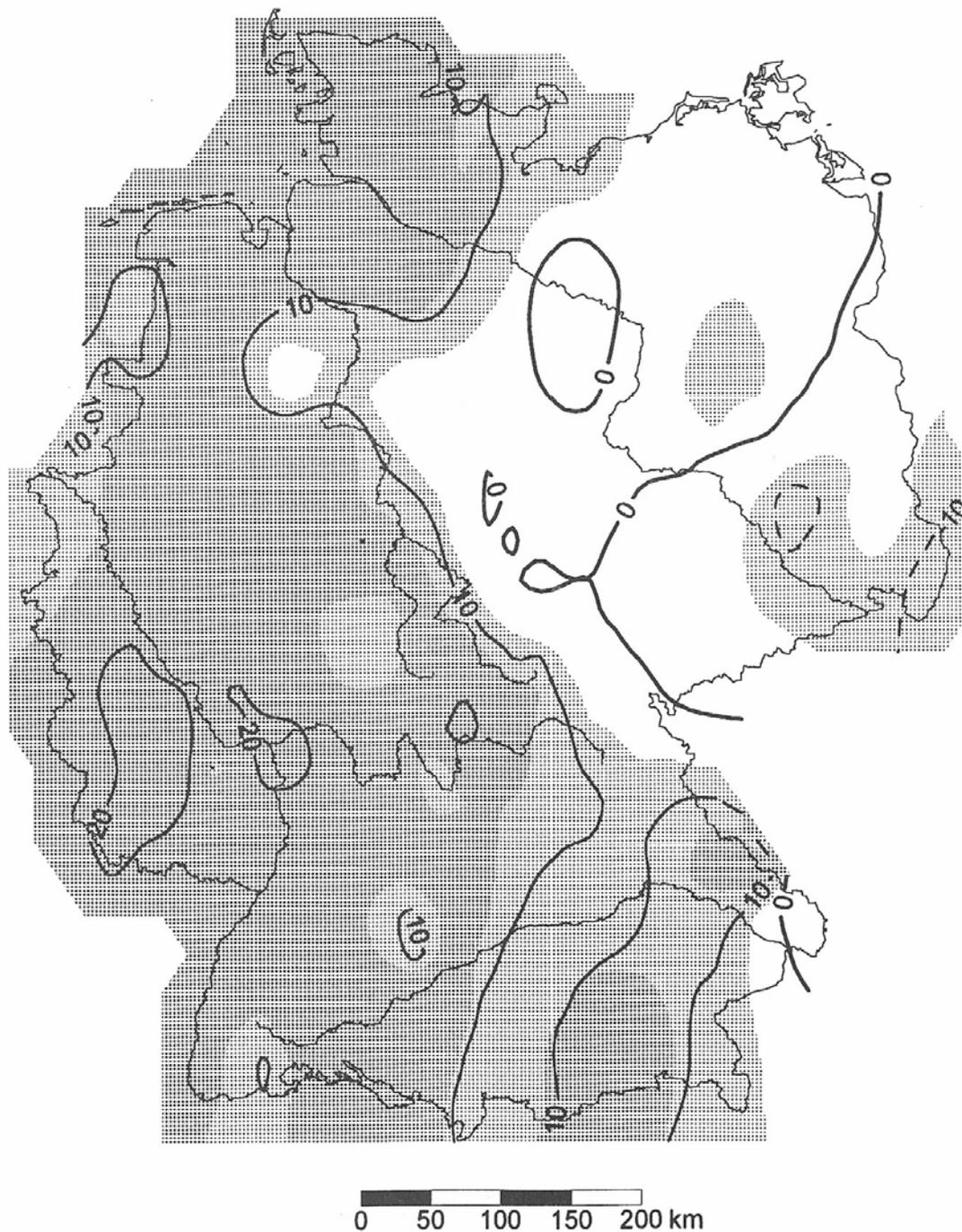
### a) RAPP UND SCHÖNWIESE (1996)

Eine flächendeckende Analyse von Niederschlagstrends für Deutschland auf breiter Datengrundlage haben RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) durchgeführt. Grundlage waren die Niederschlagsmessreihen 1891 – 1990 (100 Jahre) und 1961 – 1990 (30 Jahre). Aus den Ergebnissen der Trendberechnung für die einzelnen Stationen wurden mit Hilfe geostatistischer Methoden Karten mit Linien gleicher Trendänderung in mm und in % (bezogen auf den jeweiligen Mittelwert) abgeleitet. Die Bilder 5.8 – 5.10 (1891 – 1990) und 5.11 – 5.13 (1961 – 1990) zeigen die Karten mit den Linien gleicher prozentualer Änderungen. Die Zahlenangaben beziehen sich auf die jeweilige Reihe (also 100 bzw. 30 Jahre) und müssen zum Vergleich mit den auf 1 Jahr bezogenen Werten in den vorliegenden Untersuchungen entsprechend umgerechnet werden. Außerdem sind in Tabelle 5.2 die (auf 1 Jahr umgerechneten) Trendänderungen nach RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) für große Flussgebietseinheiten angegeben.

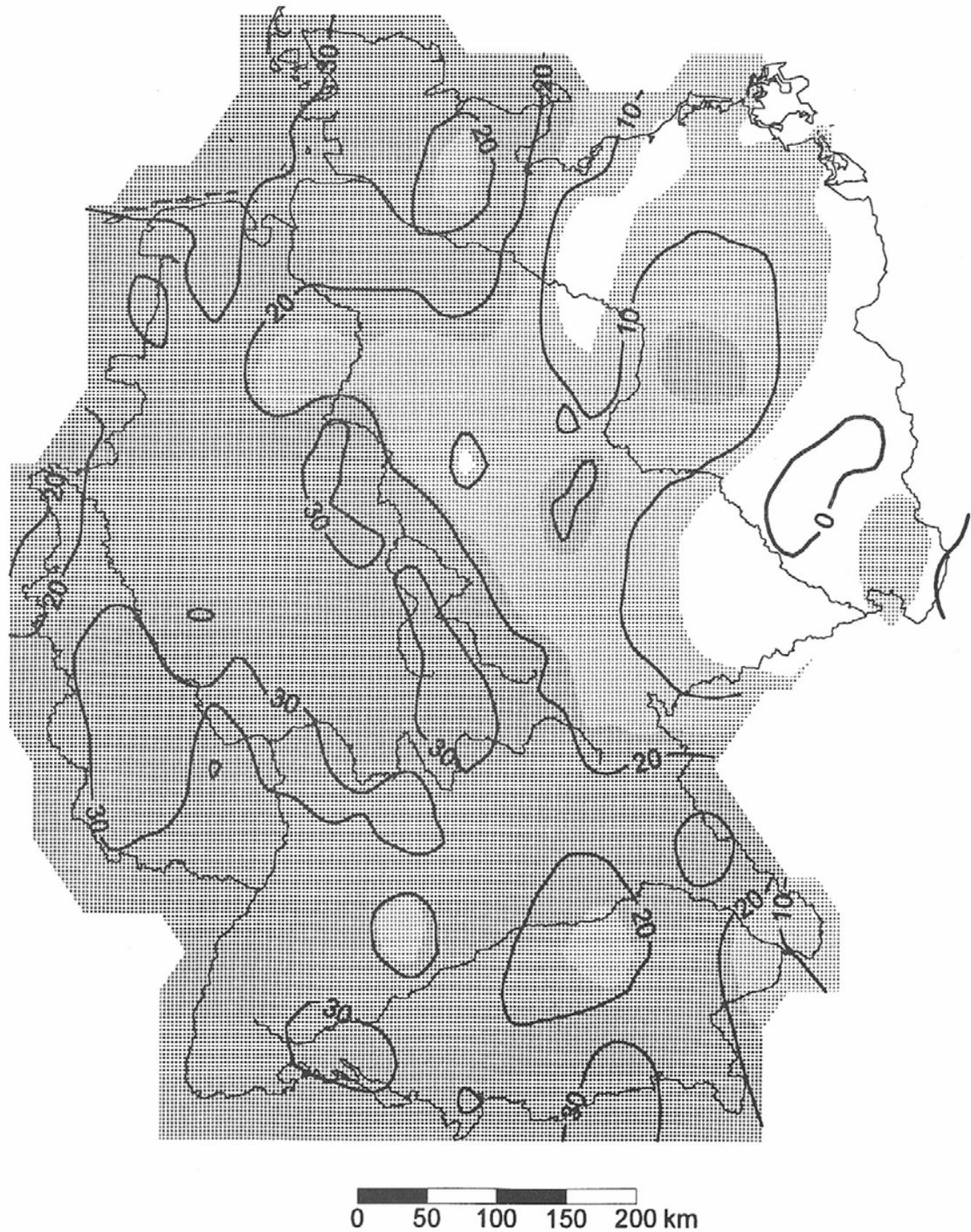
**Tabelle 5.2** Änderung der Niederschlagstrends für Flussgebiete in Deutschland nach RAPP UND SCHÖNWIESE (1996)

Flussgebiet	Änderung der Niederschlagstrends in % pro Jahr					
	1891 - 1990			1961 - 1990		
	So	Wi	Jahr	So	Wi	Jahr
Deutschland	+0,00	+0,19	+0,09	-0,13	+0,27	+0,10
Elbe/Oder mit Küste	-0,05	+0,11	+0,02	-0,27	+0,20	-0,00
Weser/Ems mit Küste	+0,01	+0,22	+0,11	-0,27	+0,23	+0,07
Rhein ab Bingen	+0,07	+0,27	+0,16	-0,03	+0,37	+0,20
Rhein bis Bingen	+0,05	+0,26	+0,14	+0,17	+0,30	+0,23
Main	+0,04	+0,27	+0,14	-0,00	+0,40	+0,20
Donau	+0,02	+0,23	+0,10	-0,00	+0,40	+0,13

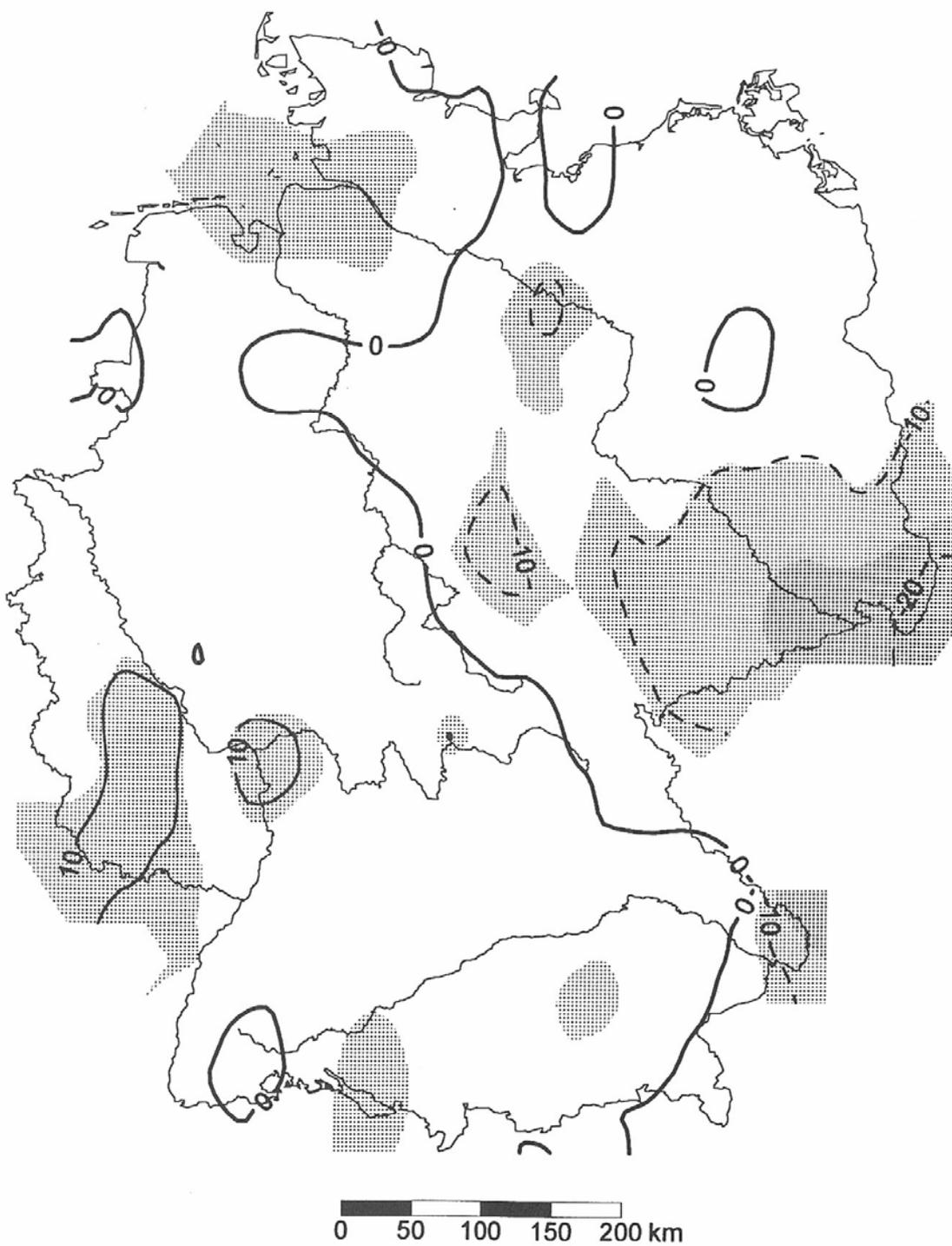
Der optische Vergleich der Ergebnisse nach den Karten von RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) und den Zahlenwerten in Tabelle 5.2 mit den Ergebnissen aus der Analyse der 42 Stationen zeigt einige qualitative Übereinstimmungen hinsichtlich überdurchschnittlicher Zunahmen im Küstenbereich und in Teilen von Bayern sowie hinsichtlich der besonders kleinen Zunahmen (z. T. auch Abnahmen) der Werte in Ostdeutschland. Daneben zeigen sich auch regionale Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen aus beiden Studien, z. B. im Rhein-Main-Gebiet oder in Südbayern.



**Bild 5.8** Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes] mit signifikanten Gebieten (gerastert), Reihe 1891 – 1990, hydrologisches Jahr aus RAPP UND SCHÖNWIESE (1996)



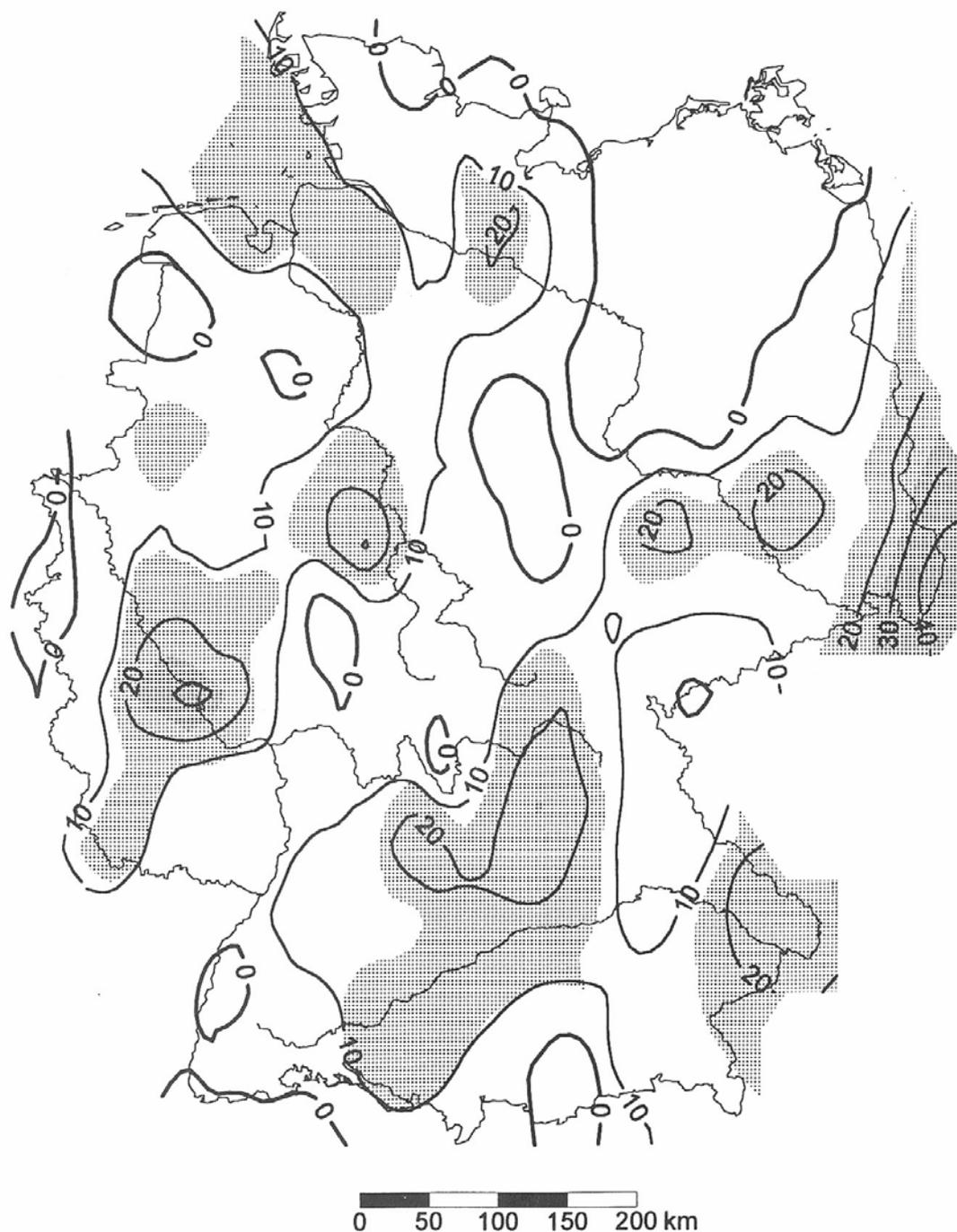
**Bild 5.9** Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes]  
mit signifikanten Gebieten (gerastert), Reihe 1891 – 1990, Winterhalbjahr  
aus RAPP UND SCHÖNWIESE (1996)



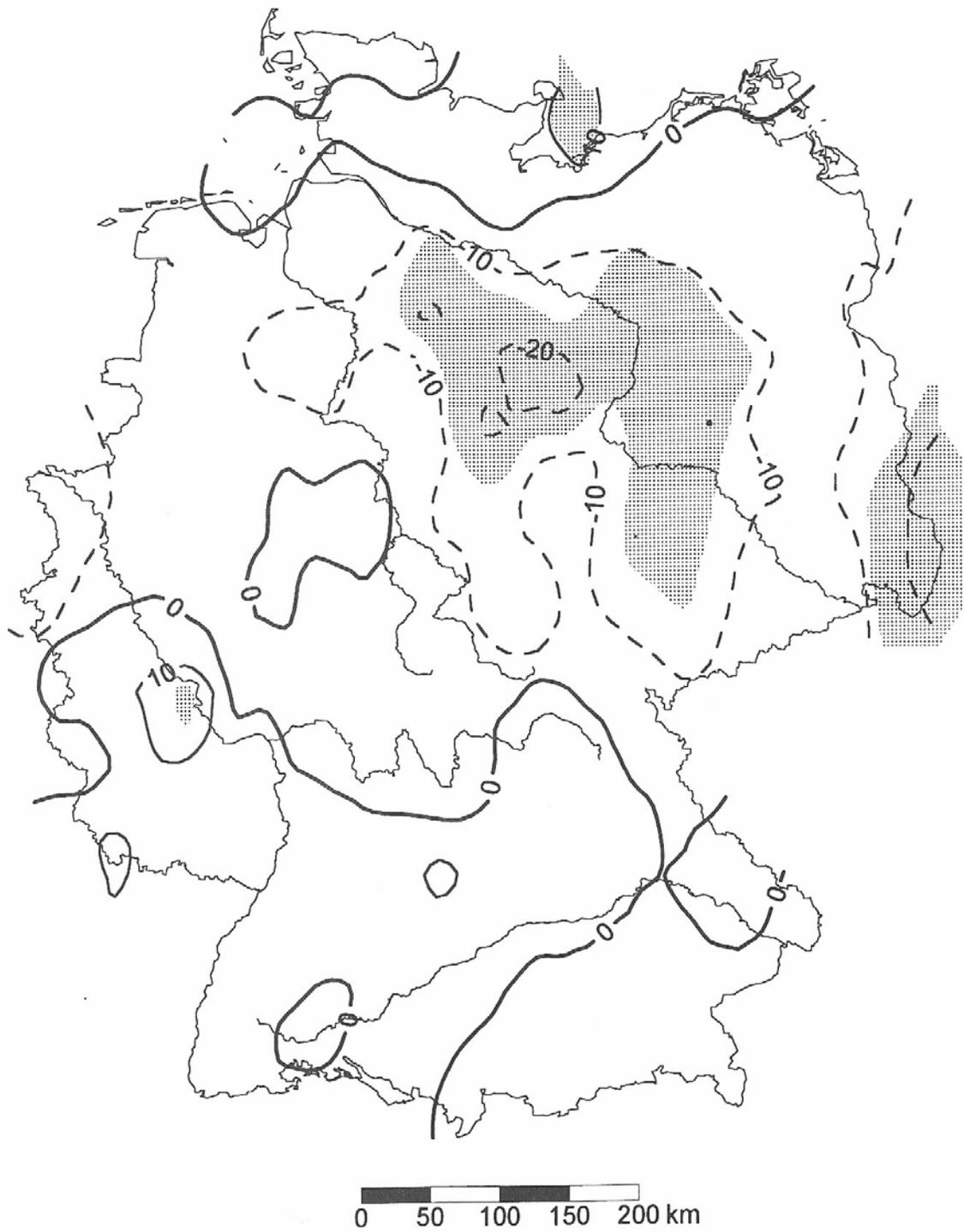
**Bild 5.10** Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes] mit signifikanten Gebieten (gerastert), Reihe 1891 – 1990, Sommerhalbjahr aus RAPP UND SCHÖNWIESE (1996)



**Bild 5.11** Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes]  
mit signifikanten Gebieten (gerastert), Reihe 1961 – 1990, hydrologisches Jahr  
aus RAPP UND SCHÖNWIESE (1996)



**Bild 5.12** Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes]  
mit signifikanten Gebieten (gerastert), Reihe 1961 – 1990, Winterhalbjahr  
aus RAPP UND SCHÖNWIESE (1996)



**Bild 5.13** Niederschlag, relativer Trend [% des Mittelwertes] mit signifikanten Gebieten (gerastert), Reihe 1961 – 1990, Sommerhalbjahr aus RAPP UND SCHÖNWIESE (1996)

Gründe für solche Unterschiede können sein:

- > unterschiedliche Ausgangsdaten (Zahl und örtliche Verteilung der Messstationen, Länge der Reihen),
- > unterschiedliche Analysemethoden,
- > Nivellierung von Unterschieden bei benachbarten Stationen durch den regionalen Ausgleich bei RAPP UND SCHÖNWIESE (1996).

Um trotzdem einen überschlägigen quantitativen Vergleich zwischen den Ergebnissen von RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) und denen aus der Analyse der hier verwendeten 42 Stationen zu ermöglichen, sind in Tabelle 5.3 die Gebietsmittel von RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) für Deutschland den Mittelwerten aus den 42 Stationen für verschiedene Zeitreihen gegenübergestellt. Danach sind gute Übereinstimmungen bei den langen Reihen festzustellen. Bei den kürzeren Reihen treten dagegen größere Unterschiede vor allem im Sommerhalbjahr auf (-0,13 % nach RAPP UND SCHÖNWIESE gegenüber +0,18 % aus den 42 Stationen).

**Tabelle 5.3** Vergleich der mittleren Trendänderungen der Niederschläge nach RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) mit den Mittelwerten aus den 42 Stationen für Deutschland

	Reihe	Winter	Sommer	Jahr
Änderung in % pro Jahr				
RAPP UND SCHÖNWIESE	1961 - 1990	+0,27	-0,13	+0,10
(aus Tabelle 5.2)	1881 - 1990	+0,19	+,-0,00	+0,09
Analyse für 42 Stationen	1961 - 2002	+0,25	+0,18	+0,22
(aus Tabelle 5.1)	1901 - 2002	+0,19	+0,05	+0,11

Dieser Wert von +0,18 % pro Jahr geht aber fast auf 0 zurück, wenn man die Reihe 1961 – 1990 anstelle der von 1961 – 2002 zugrunde legt. Das bestätigt die von verschiedenen Autoren gemachte Erfahrung (z. B. in ATV-DVWK 2003) über den großen Einfluss der gewählten Zeitreihe auf das Ergebnis von Trendanalysen, vor allem bei kurzen Reihen.

b) Projekt KLIWA (2003)

Von den Ländern Bayern und Baden-Württemberg werden seit einigen Jahren gemeinsame Untersuchungen zum Thema „Klimawandel und Wasserwirtschaft“ (Projekt „KLIWA“) durchgeführt. In Heft 7 der dazu erschienenen Veröffentlichungen wurde vom Deutschen Wetterdienst das „Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern“ untersucht (KLIWA 2003). Als Ausgangsdaten dienten allerdings nicht die gemessenen Niederschläge an einzelnen Stationen, sondern daraus abgeleitete Werte für Gitterpunkte eines Netzes mit ca. 7 x 7 km Maschenweite. Diese Werte wurden für die Reihe 1931 – 1997 aus den Messwerten unter Berücksichtigung verschiedener Effekte (Höhenlage,

Luv-Lee-Effekte usw.) berechnet, wobei die Messwerte vorab um systematische Fehler der Niederschlagsmessung korrigiert wurden. Aus den so erhaltenen Zeitreihen für die Gitterpunkte wurden Gebietsmittel für 33 Teilgebiete des Untersuchungsraumes berechnet und diese auf linearen Trend und andere Kennwerte hin untersucht. Dabei wurden neben den Jahressummen die Werte des meteorologischen Sommers (Monate Juni, Juli, August) und des meteorologischen Winters (Monate Dezember, Januar, Februar) getrennt behandelt.

Wegen dieser Unterschiede in den Ausgangsdaten und Zeitreihen ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse aus KLIWA mit denen aus den hier vorgelegten Untersuchungen schwer möglich. Trotzdem werden in Tabelle 5.4 die Mittelwerte der jährlichen Trendänderungen aus KLIWA für die beiden bearbeiteten Bundesländer den Mittelwerten von 22 Stationen gegenübergestellt, die von den insgesamt 42 untersuchten Stationen in diesen beiden Ländern liegen. Daraus lassen sich trotz allem qualitativ ähnliche Aussagen ableiten wie vorher beim Vergleich mit den Ergebnissen nach RAPP UND SCHÖNWIESE (1996): bessere Übereinstimmung im Winter, schlechtere im Sommer.

**Tabelle 5.4** Trendänderung der Niederschläge, Mittelwerte aus KLIWA und aus 22 Stationen

	Trendänderungen in % pro Jahr		
	Dez. – Feb.	Juni – Aug.	Jahr (Dez. – Nov.)
aus KLIWA			
1931 - 1997	+0,25	-0,11	+0,07
aus 22 Stationen	Wi-Halbjahr	So-Halbjahr	Jahr (Nov. – Okt.)
1921 – 2002	+0,29	+0,06	+0,09
1941 – 2002	+0,29	+0,10	+0,18

### 5.2.3 Mittelwerte für Teilreihen

Rechnerisch ermittelte Trends sind häufig dadurch bedingt, dass zwei Teilreihen mit unterschiedlichen Mittelwerten vorliegen, die jede für sich keinen oder einen deutlich kleineren Trend aufweisen als die Gesamtreihe (DVWK 2003). Das hat sich auch bei etlichen der im Kap. 5.3.2 beschriebenen Trendanalysen für die Abflüsse an den untersuchten Pegeln gezeigt. Dort haben statistische Sprunganalysen Teilungspunkte für zwei unterschiedliche Teilreihen ergeben, die bei den längeren Abflussmessreihen für etwa 2/3 der Pegel zwischen 1955 und 1965 liegen. Es bietet sich deshalb an, die Mittelwerte der hier untersuchten Niederschlagsreihen für 1961 – 2002 denen der Reihen 1901 – 1960 und 1921 – 1960 gegenüberzustellen. In gleicher Weise wird später auch bei den Abflussmessreihen vorgegangen (Kap. 5.3.4). Die Ergebnisse für alle 42 untersuchten Stationen sind im Anhang 5.2 zusammengestellt, getrennt nach Winter- und Sommerhalbjahr sowie für das Gesamtjahr. Tabelle 5.5 enthält eine Zusammenfassung der mittleren und maximalen Abweichungen zwischen  $N_m$  (1961 – 2002) und  $N_m$  (1901 – 1960) bzw.  $N_m$  (1921 – 1960) in Prozent von  $N_m$  der Reihen bis 1960. Dabei sind die Stationen mit positiven und negativen Änderungen zunächst getrennt erfasst, außerdem

sind die Mittelwerte für alle Stationen („ges. Mittel“) angegeben. Die Ergebnisse sind natürlich denen aus den ermittelten Trendänderungen (siehe Tabelle 5.1) qualitativ ähnlich. Die Mittelwerte für 1961 – 2002 sind im Winterhalbjahr gegenüber denen für 1901 – 1960 um 12 % größer, im Sommerhalbjahr etwa gleich groß und im Gesamtjahr etwa 5 % größer. Für die Reihe 1921 – 1960 sind die prozentualen Abweichungen gegenüber der Reihe 1961 – 2002 im Winter und im Gesamtjahr etwa gleich, Unterschiede treten im Sommerhalbjahr auf. Diese Angaben beziehen sich auf die Mittelwerte aus allen 42 Stationen. Im Einzelfall treten natürlich große Unterschiede auch zwischen nahe beieinander liegenden Stationen auf. Soweit regionale Gemeinsamkeiten erkennbar sind, entsprechen sie erwartungsgemäß denen aus den Trendänderungen in den Bildern 5.2 – 5.7: für Winter und Gesamtjahr größere Abweichungen in Bayern und angrenzenden Teilen Baden-Württembergs sowie im Küstengebiet, kleine (z. T. negative) Abweichungen im östlichen Teil (Stationen Magdeburg, Potsdam, Görlitz); im Sommerhalbjahr geringere, regional uneinheitliche Abweichungen.

Teilt man die Stationen nach ihren Abweichungstendenzen für Sommer und Winter ein, weisen beim Vergleich der Reihen 1961 – 2002 mit denen von 1901 – 1960 fast drei Viertel eine deutliche Zunahme im Winter (> 5 %) verbunden mit geringen Änderungen im Sommer auf. Beim Vergleich mit der Reihe 1921 – 1960 steigt dann die Zahl von Stationen, bei denen eine Zunahme im Winter über +5 % mit einer Abnahme im Sommer über -5 % zusammentrifft. Auch diese Tendenzen waren schon aus den Trendanalysen (Kap. 5.2.1) erkennbar.

**Tabelle 5.5** Änderungen der mittleren Niederschläge aus den Reihen 1901 – 1960 und 1921 – 1960 gegenüber den Werten der Reihe 1961 – 2002

		1901 - 1960		1921 - 1960			
		Anzahl	Änderung	Anzahl	Änderung		
<b>Winter</b>	+	Mittel	41	+12 %	40	+13 %	
		Max		+25 %		+28 %	
	-	Mittel	1	-5 %	2	-3 %	
		Max		-5 %		-4 %	
	<b>ges.</b>		Mittel	42	+12 %	42	+12 %
	<b>Sommer</b>	+	Mittel	20	+4 %	12	+3 %
Max				+9 %		+6 %	
-		Mittel	22	-3 %	30	-5 %	
		Max		-8 %		-9 %	
<b>ges.</b>		Mittel	42	+0	42	-3 %	
<b>Jahr</b>		+	Mittel	38	+6 %	34	+5 %
	Max			+15 %		+14 %	
	-	Mittel	4	-2 %	8	-2 %	
		Max		-7 %		-6 %	
	<b>ges.</b>		Mittel	42	+5 %	42	+4 %

## 5.3 Langfristige Änderung von Abflüssen

### 5.3.1 Trends für mittlere Abflüsse

In gleicher Weise wie für die Niederschläge (Kap. 5.2.1) wurden Trendanalysen für die mittleren Abflüsse des hydrologischen Jahres sowie des Winter- und Sommerhalbjahres durchgeführt (Regressionsgeraden ohne Signifikanztests). Je nach Länge der Messreihen wurden Teilreihen ab 1961, 1941, 1921 und 1901 bis 2002 untersucht sowie die jeweiligen Gesamtreihen. Die Ergebnisse von Reihen, die erst nach 1961 beginnen, sind im Folgenden mit denen von 1961 – 2002 zusammengefasst. Die ermittelten Trendänderungen pro Jahr in  $\text{m}^3/\text{s}$  sowie in % des jeweiligen Mittelwertes sind für alle ca. 380 untersuchten Zeitreihen im Anhang 5.3 zusammengestellt. Tabelle 5.6 enthält eine Zusammenfassung nach den großen Flussgebieten für den Zeitraum 1961 – 2002 mit Angaben der mittleren und maximalen Werte aus den positiven und den negativen Trendänderungen sowie des gesamten Mittelwertes für jedes Flussgebiet.

#### a) Ergebnisse für die Reihen ab 1961 bis 2002

Betrachtet man die Tendenzen der Veränderungen 1961 – 2002 für Winter- und Sommerhalbjahr und das gesamte hydrologische Jahr für alle 159 Pegel, lassen sich vier Typen unterscheiden:

- > Zunahme in allen drei Reihen („Typ +/+/+“),
- > Zunahme im Winterhalbjahr, geringere Abnahme im Sommerhalbjahr, damit auch Zunahme für das gesamte Jahr („Typ +/-/+“),
- > Zunahme im Winterhalbjahr, größere Abnahme im Sommerhalbjahr, damit Abnahme für das gesamte Jahr („Typ +/-/-“),
- > Abnahme in allen drei Reihen („Typ -/-/-“).

Abnahme im Winterhalbjahr bei gleichzeitiger Zunahme im Sommerhalbjahr kommt nur bei vier Pegeln vor.

Im Bild 5.14 sind diese vier Trendtypen in der Gewässerkarte an den jeweiligen Pegelstellen kenntlich gemacht. Man erkennt eine verhältnismäßig deutliche regionale Verteilung. In den Einzugsgebieten von Donau, Oberrhein, Main, Nahe und Mosel sowie am Rand des Erzgebirges treten fast nur die Typen +/+/+ und +/-/+ auf (Zunahme im Winter und für das Jahr mit gleichzeitiger Zunahme oder geringfügiger Abnahme im Sommer). Zwischen Weser und Oder dominiert der Typ -/-/- (Abnahme in allen drei Reihen). Dazwischen überwiegt in einem Streifen vom Mittelrhein über Werra- und Fuldagebiet und Teile des Saalegebietes der „Übergangstyp“ +/-/-.

**Tabelle 5.6** Trendanalysen der mittleren Abflüsse 1961 – 2002,  
Änderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes

Flussgebiete			MQ Wi-Halbjahr		MQ So-Halbjahr		MQ Jahr	
			Anzahl	Trend	Anzahl	Trend	Anzahl	Trend
Rhein	+	Mittel	52	+0,52 %	17	+0,20 %	42	+0,35 %
		Max		+1,28 %		+0,54 %		+1,11 %
	-	Mittel	1	-0,28 %	36	-0,44 %	11	-0,08 %
		Max		-0,28 %		-1,46 %		-0,32 %
	ges.	Mittel	53	+0,51 %	53	-0,24 %	53	+0,26 %
Donau	+	Mittel	30	+0,64 %	10	+0,28 %	29	+0,32 %
		Max		+1,39 %		+1,01 %		+1,24 %
	-	Mittel	-	-	20	-0,15 %	1	-0,00 %
		Max		-		-0,34 %		-0,04 %
	ges.	Mittel	30	+0,64 %	30	-0,01 %	30	+0,31 %
Weser Ems Küste	+	Mittel	21	+0,29 %	5	+0,31 %	11	+0,20 %
		Max		+0,84 %		+0,49 %		+0,66 %
	-	Mittel	12	-0,34 %	28	-0,61 %	22	-0,27 %
		Max		-1,09 %		-1,42 %		-1,22 %
	ges.	Mittel	33	+0,06 %	33	-0,47 %	33	-0,12 %
Elbe Oder	+	Mittel	16	+0,29 %	4	+0,15 %	10	+0,18 %
		Max		+0,60 %		+0,22 %		+0,41 %
	-	Mittel	19	-0,33 %	31	-0,66 %	25	-0,43 %
		Max		-1,34 %		-1,74 %		-1,49 %
	ges.	Mittel	35	-0,05 %	35	-0,56 %	35	-0,26 %
Gesamt	+	Mittel	119	+0,48 %	36	+0,23 %	92	+0,31 %
		Max		+1,39 %		+1,01 %		+1,24 %
	-	Mittel	32	-0,33 %	115	-0,49 %	59	-0,30 %
		Max		-1,34 %		-1,74 %		-1,49 %
	ges.	Mittel	151	+0,31 %	151	-0,32 %	151	+0,07 %



**Bild 5.14** Vorzeichen der Trends für die mittleren Abflüsse 1961 – 2002  
Winterhalbjahr, Sommerhalbjahr, Jahr

Betrachtet man die zahlenmäßigen Trendänderungen (in % pro Jahr, bezogen auf den jeweiligen Mittelwert) getrennt für Winterhalbjahr, Sommerhalbjahr und hydrologisches Jahr, wird das Ergebnis deutlich differenzierter. In den Bildern 5.15 (Winter), 5.16 (Sommer) und 5.17 (Jahr) sind die jährlichen Trendänderungen in Gewässerkarten am jeweiligen Pegelort angegeben. Um einen groben Überblick über die regionale Verteilung zu erleichtern, wurden für Teilregionen Mittelwerte gebildet und zusätzlich eingetragen. Diese Teilregionen orientieren sich an Flusseinzugsgebieten und sind mit denen im Kap. 4.4 verwendeten identisch, auch wenn im Einzelnen andere Festlegungen zu Teilregionen mit etwas geringeren Streuungen der Einzelwerte geführt haben könnten. In den meisten Fällen sind die internen Streuungen deutlich größer als die zwischen benachbarten Teilregionen.

Bei diesen Mittelwertbildungen wurden die Pegel an den großen Flüssen Rhein, Main unterhalb Rednitz-Mündung, Mosel, Weser und Elbe nicht mit einbezogen. Außerdem wurden einzelne Pegel mit extremen Trendänderungen nicht berücksichtigt, weil diese vermutlich durch anthropogene Einflüsse hervorgerufen sind. Aus dem gleichen Grund wurde für das Regnitzgebiet kein Mittelwert gebildet. An den unterhalb von Speichern im Gebiet gelegenen Pegeln ist ein Einfluss in den Trendänderungen nicht eindeutig erkennbar, auch nicht an der Eder zwischen den Pegeln Schmittlotheim oberhalb und Affoldern unterhalb der Edertalsperre. Entlang der Spree zeigt sich für alle drei Reihen eine große Zunahme der negativen Trendänderungen zwischen den Pegeln Lieske und Große Tränke bzw. Sophienwerder, mit Auswirkungen auch auf den Havelpegel Rathenow. Das lässt sich durch die Verringerung der Sumpfungswassermengen aus dem Braunkohletagebau seit etwa 1990 erklären. Allerdings treten ähnlich große negative Trends auch bei den Pegeln Babelsberg (Nuthe), Pasewalk (Uecker) und Tollense (Klempenow) auf.

Von diesen und verschiedenen anderen Besonderheiten an einzelnen Pegeln abgesehen erkennt man für das Winterhalbjahr (Bild 5.15) am ehesten eine grobe regionale Verteilung der Trendänderungen. Große positive Trends treten in Süddeutschland einschließlich Main- und Moselgebiet auf, z. T. große negative Trends in den Gebieten von Havel und Spree, Mittel- und Unterelbe, Oder und im durch Messstellen erfassten Küstengebiet. Die Gebiete dazwischen bilden z. T. einen Übergang oder sind nicht klar zuzuordnen. Diese großflächigen regionalen Besonderheiten entsprechen etwa denen nach Bild 5.14 für die „Trendtypen“.

Für die Trends der mittleren Abflüsse des Sommerhalbjahres (Bild 5.16) sehen die regionalen Verteilungen z. T. anders aus als im Winterhalbjahr. Mit geringen negativen Trends hebt sich auch hier ein großer Teil Süddeutschlands ab, diesmal ohne Main-, Nahe- und Moselgebiet. Dort und in großen Teilen des übrigen Deutschlands treten meist große negative Trends auf, vor allem im Havel-Spree- und im Saalegebiet.

Die Trends für das gesamte hydrologische Jahr (Bild 5.17) zeigen wieder eine regionale Verteilung, die mehr derjenigen des Winterhalbjahres ähnelt.



**Bild 5.15** Jährliche Trends in % des jeweiligen Mittelwertes, 1961 – 2002, MQ-Winterhalbjahr  
(Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)



**Bild 5.16** Jährliche Trends in % des jeweiligen Mittelwertes, 1961 – 2002, MQ-Sommerhalbjahr (Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)



**Bild 5.17** Jährliche Trends in % des jeweiligen Mittelwertes, 1961 – 2002, MQ-hydrologisches Jahr (Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)

Für die großen Flüsse in Deutschland lassen sich die Ergebnisse aus den Trendanalysen der mittleren Abflüsse 1961 – 2002 so zusammenfassen:

- > Rhein: Die Trendänderungen für die Pegel des Rheins schwanken verhältnismäßig wenig: im Winterhalbjahr zwischen +0,33 % und +0,50 % (i. M. +0,43 %), im Sommerhalbjahr zwischen +0,10 % und -0,08 % (i. M. +0,03 %) und für das gesamte Jahr zwischen +0,12 % und +0,29 % (i. M. +0,22 %). Die Pegel an den großen Rheinzufüssen Main und Mosel zeigen dagegen untereinander z. T. große, nicht ohne weiteres erklärbarere Unterschiede bei den Trendänderungen.
- > Donau: Die beiden Pegel an der oberen Donau zeigen untereinander und zu den unterhalb gelegenen Pegeln z. T. deutliche Differenzen bei den Trendänderungen. Die unteren, durch alpine Zuflüsse geprägten Pegel Kelheim, Hofkirchen und Achleiten unterscheiden sich dann untereinander in ihren Trends nur wenig: im Mittel +0,52 % pro Jahr im Winterhalbjahr, -0,01 % im Sommerhalbjahr und +0,24 % für das Gesamtjahr.
- > Weser: Die Pegel Hann. Münden, Porta und Intschede zeigen sehr ähnliche Trendänderungen mit i. M. +0,25 % pro Jahr für das Winterhalbjahr, -0,63 % für das Sommerhalbjahr und -0,05 % für das Gesamtjahr. Der Pegel Bodenwerder zwischen Hann. Münden und Porta fällt dagegen mit -0,03 % (Winter, +0,04 % (Sommer) aus diesem Rahmen. Bezogen auf das Gesamtjahr ergibt sich dann trotzdem wieder ein gleich großer Wert (-0,05 %) wie im Mittel bei den anderen Pegeln.
- > Elbe: Entlang der Elbe ist bei allen drei Reihen ein deutlicher Unterschied zwischen dem Pegel Dresden auf der einen und den unterhalb gelegenen Pegeln Barby und Neu Darchau auf der anderen Seite festzustellen. Im Winterhalbjahr nimmt der jährliche Trend von +0,55 % bei Dresden auf +0,09 % bzw. -0,01 % ab, im Sommerhalbjahr von -0,26 % auf -0,60 % bzw. -0,72 % und für das gesamte hydrologische Jahr von +0,18 % auf -0,18 % bzw. -0,29 %. Das ist durch die Niedrigwasseraufhöhung aus den Talsperren in Tschechien zu erklären, die seit etwa 1975 voll wirksam ist. Ihr Einfluss ist am Pegel Dresden am größten und nimmt dann flussabwärts ab.
- > Oder: Die beiden Oderpegel oberhalb und unterhalb der Warthe-Mündung zeigen im Winterhalbjahr mit Trendänderungen von -0,19 % bzw. -0,27 % noch eine etwas größere Differenz. Im Sommer sind die Trendänderungen fast gleich (-0,33 % bzw. -0,31 %), ebenso für das Gesamtjahr (-0,25 % bzw. -0,29 %).

#### b) Ergebnisse für längere Reihen

Mit zunehmender Länge der Messreihen geht die Zahl der für eine Untersuchung verfügbaren Pegel schnell zurück und es verbleiben zunehmend Pegel an den großen Flüssen. Damit sind auch grobe regionale Analysen nicht mehr sinnvoll. Eine Auswertung nach Trendtypen für die insgesamt noch 93 Pegel mit Reihen 1941 – 2002 (eingeschlossen auch einige Pegel mit

Beginn 1946/47) zeigt prozentual mehr Pegel mit Zunahmen in beiden Halbjahren und im Gesamtjahr (Typ +/+/) als für 1961 – 2002. Bei über 30 Pegeln ändert sich im Sommerhalbjahr sogar der negative Trend für die Reihe 1961 – 2002 in einen positiven Trend für 1941 – 2002. Das führt bei 15 dieser Pegel auch zu einer entsprechenden Trendumkehr für das Gesamtjahr. Auffällige Änderungen der Trendrichtung ergeben sich bei den beiden Oderpegeln, der Aller bei Celle und Saale bei Calbe. Für die Reihe 1961 – 2002 treten dort für Winter, Sommer und Jahr negative Trends auf (Typ -/-/), für die Reihe 1941 – 2002 sind alle drei Trends positiv (Typ +/+/). Bei sechs weiteren Pegeln östlich der Elbe bleibt es aber bei der Zuordnung zu Typ -/-/.

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse in den Bildern 5.18 bis 5.26 beschränken sich auf einzelne Pegel mit längeren Beobachtungsreihen. Neben den Trendänderungen für die mittleren Abflüsse sind auch die der NMxQ-Werte dargestellt. Darauf wird im Kap. 5.3.2 näher eingegangen. Weitere Ergebnisse können den Tabellen im Anhang 5.3, 5.4 und 5.5 entnommen werden.

Bild 5.18 zeigt die jährlichen Trendänderungen in % des jeweiligen Mittelwertes für Winter- und Sommerhalbjahr sowie das gesamte hydrologische Jahr und für die verschiedenen langen Zeitreihen am Beispiel der Rheinpegel. Im Winter ist eine recht gleichmäßige Zunahme der Trendänderung festzustellen, im Sommer und für das Jahr ein Maximum für die Reihe 1941 – 2002. Die Entwicklung erfolgt für alle 6 Pegel sehr ähnlich. Für die wichtigsten Rheinzulüsse Neckar (Pegel Plochingen), Main (Pegel Schweinfurt) und Mosel (Pegel Cochem), siehe Bild 5.19, ändern sich die Trendwerte von Zeitreihe zu Zeitreihe z. T. sehr stark (vor allem im Sommer) mit einer etwa doppelt so großen Bandbreite wie am Rhein selbst.

Entlang der Donau (Bild 5.20) unterscheidet sich der Verlauf der Trendänderungen für die obere Donau (Pegel Beuron und Berg) deutlich von dem durch Alpenzuflüsse geprägten Bereich unterhalb. Für die Alpenzuflüsse sind im Bild 5.21 Iller, Lech und Isar beispielhaft dargestellt. Sie zeigen weniger Änderungen des Trends für die verschiedenen Zeitreihen als die nördlichen Donauzuflüsse Naab, Regen und Ilz im Bild 5.22. Gemeinsam ist allen dargestellten Gewässern die deutliche Zunahme der Trendänderung 1961 – 2002 gegenüber 1941 – 2002, was sich auch für die Donau selbst (Bild 5.20) bemerkbar macht.

Die Weser (Bild 5.23) zeigt dagegen eine Abnahme der Trendänderungen von 1961 – 2002 gegenüber 1941 – 2002 mit stark negativen Trends im Sommer. Dabei weicht das Verhalten am Pegel Bodenwerder etwas von den anderen drei Weser-Pegeln ab. Die wichtigsten Nebenflüsse der Weser (Werra, Fulda, Aller, Leine) im Bild 5.24 zeigen qualitativ einen sehr ähnlichen Verlauf der Trendänderungen wie die Weser selbst.

Der Verlauf der Trendänderungen entlang der Elbe in Bild 5.25 zeigt einmal die Sonderstellung für den Pegel Dresden gegenüber den Pegeln Barby und Neu Darchau vor allem für die Reihe 1961 – 2002. Als möglicher Grund wurde schon vorher auf den Einfluss der Speicher in Tschechien hingewiesen. Aber auch die Zuflüsse aus dem Muldegebiet im Bild 5.26 (Zwickauer Mulde, Zschopau) zeigen ein ähnliches Verhalten wie der Pegel Dresden. Die Abnahme der Trendänderung in der Elbe unterhalb von Dresden hin zu negativen Trends

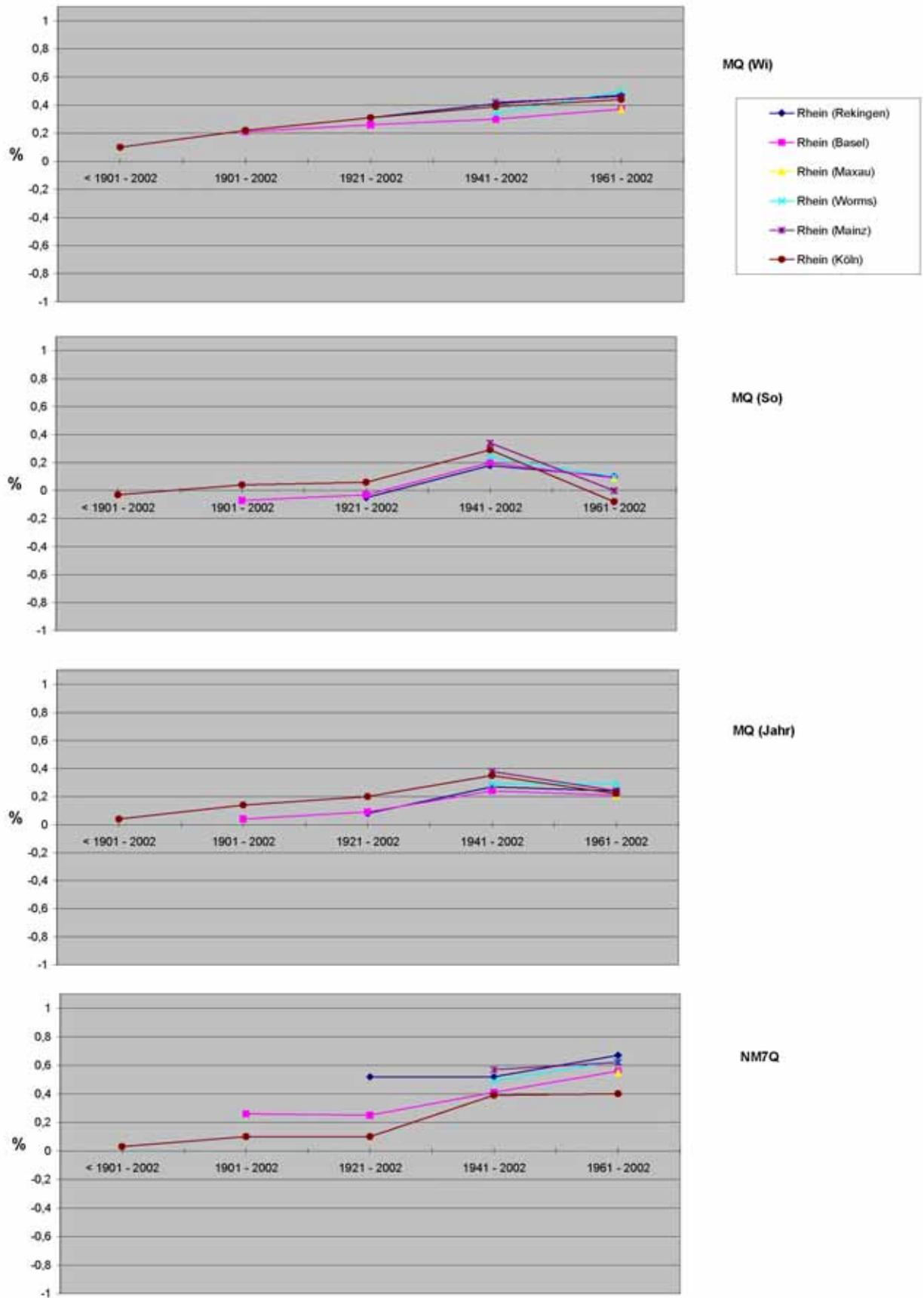
1961 – 2002 gegenüber längeren Reihen wird durch die Saale und wohl auch durch den Zufluss von Havel und Spree verursacht. Für die Saale sind die Trendänderungen am Pegel Naumburg exemplarisch im Bild 5.26 dargestellt, für die Havel und die Spree gibt es leider keine längeren lückenlosen Messreihen zum Vergleich.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der hier durchgeführten Trendberechnungen die allgemein bekannte Abhängigkeit der Ergebnisse von dem zugrunde liegenden Analysenzeitraum, umso mehr, je kürzer dieser ist. Auf einige allgemeine Tendenzen wird später noch einmal eingegangen, vor allem durch Vergleich der Trends für Niederschläge und Abflüsse im Kap. 5.4.

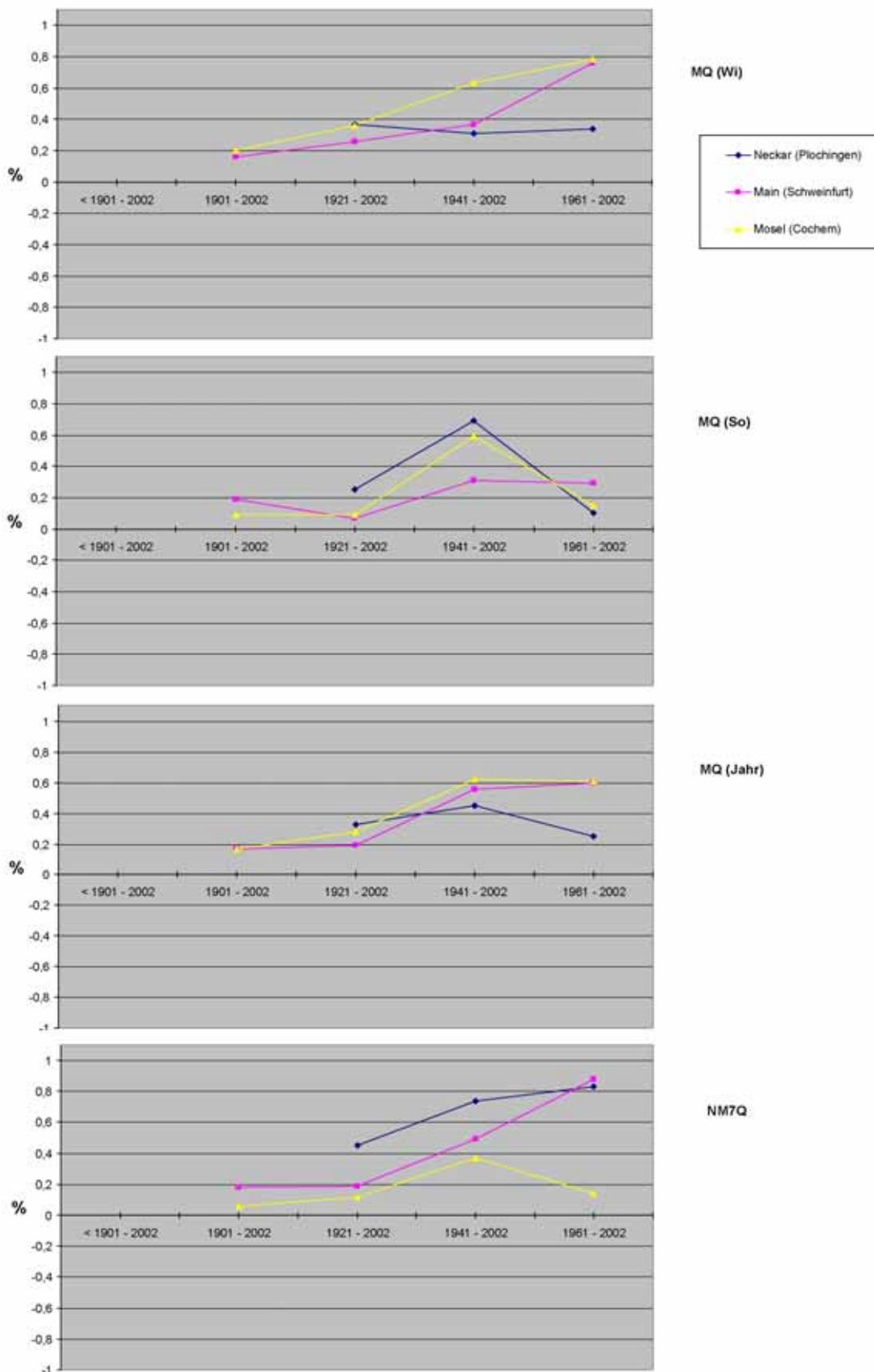
### **5.3.2 Trends für Niedrigwasserabflüsse NM7Q und NM30Q**

Auch für die Niedrigwasserabflüsse NM7Q und NM30Q (kleinste arithmetische Mittelwerte der Tagesabflüsse während 7 bzw. 30 aufeinander folgenden Tagen jedes Jahres) wurden lineare Trends berechnet sowie deren Signifikanz bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit überprüft (siehe auch Kap. 4.2). Eine getrennte Berechnung für Halbjahre wurde entsprechend DVWK-Regel 120 (DVWK 1983) nicht vorgenommen. Die Ergebnisse sind für alle bearbeiteten Pegel und Zeitreihen (1961 – 2002, 1941 – 2002 usw.) im Anhang 5.4 (für NM7Q) und im Anhang 5.5 (für NM30Q) zusammengestellt. Tabelle 5.7 enthält eine Zusammenfassung nach den großen Flussgebieten für den Zeitraum 1961 – 2002 mit Angaben der mittleren und der maximalen Werte aus den positiven und den negativen Trendänderungen sowie des gesamten Mittelwertes für jedes Flussgebiet. Sowohl aus den Angaben für die einzelnen Pegel als auch aus den Werten in Tabelle 5.7 erkennt man erwartungsgemäß vergleichsweise geringe Unterschiede bei den Trendänderungen für NM30Q gegenüber NM7Q. Die Gesamtmittelwerte für die Flussgebiete nehmen bei längerer Niedrigwasserdauer etwas zu, die Schwankungsbreite der Werte für jedes Flussgebiet nimmt etwas ab.

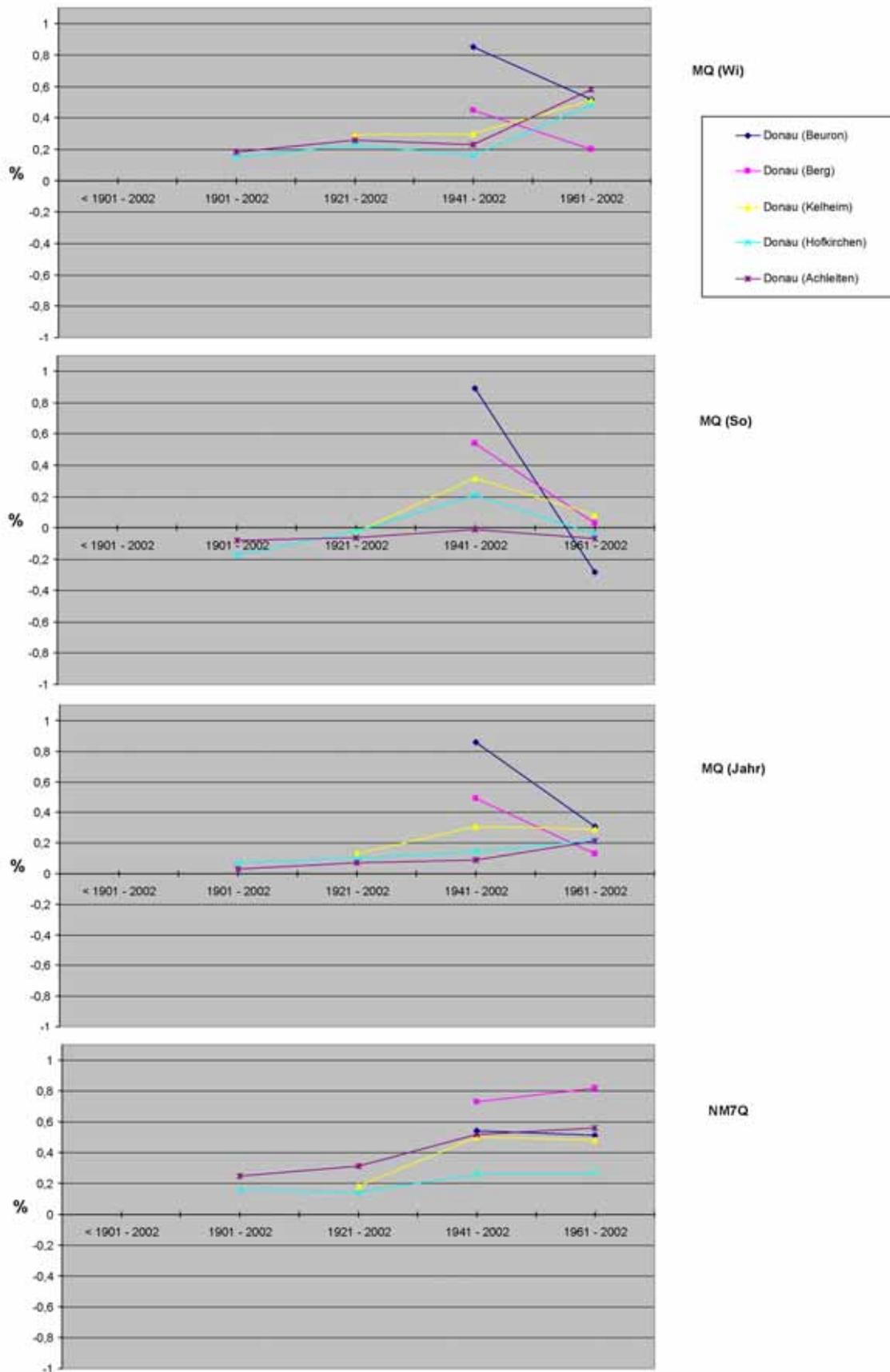
Einen Überblick über die regionale Verteilung der Trendänderungen gibt Bild 4.27 für NM7Q, wo in gleicher Weise wie bei den Trends der mittleren Abflüsse die Einzelwerte aller Pegel und die Mittelwerte für Teilregionen in einer Gewässerkarte dargestellt sind. Auf eine entsprechende Abbildung NM30Q wurde wegen der schon beschriebenen geringen Unterschiede verzichtet.



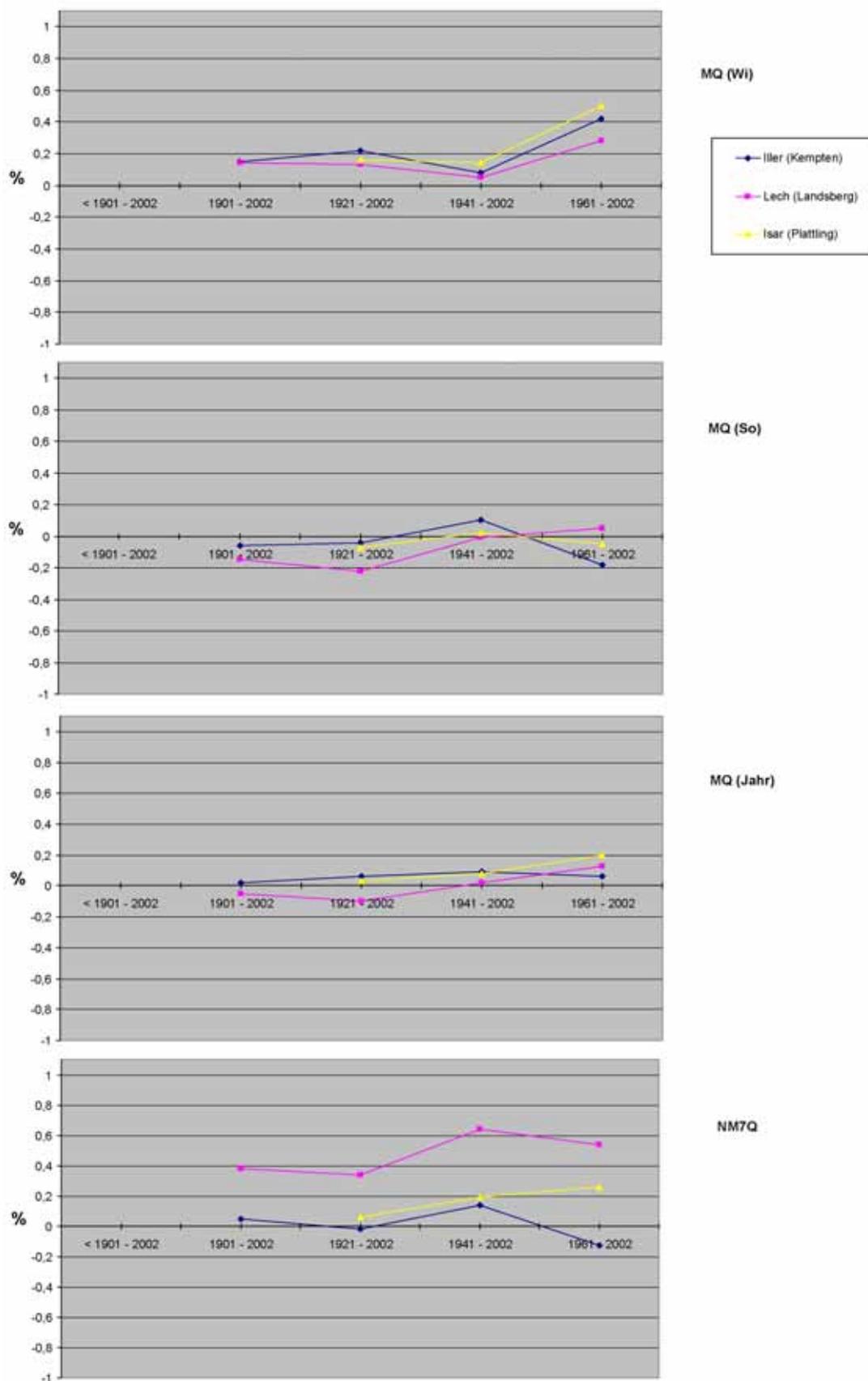
**Bild 5.18** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Rhein-Pegel



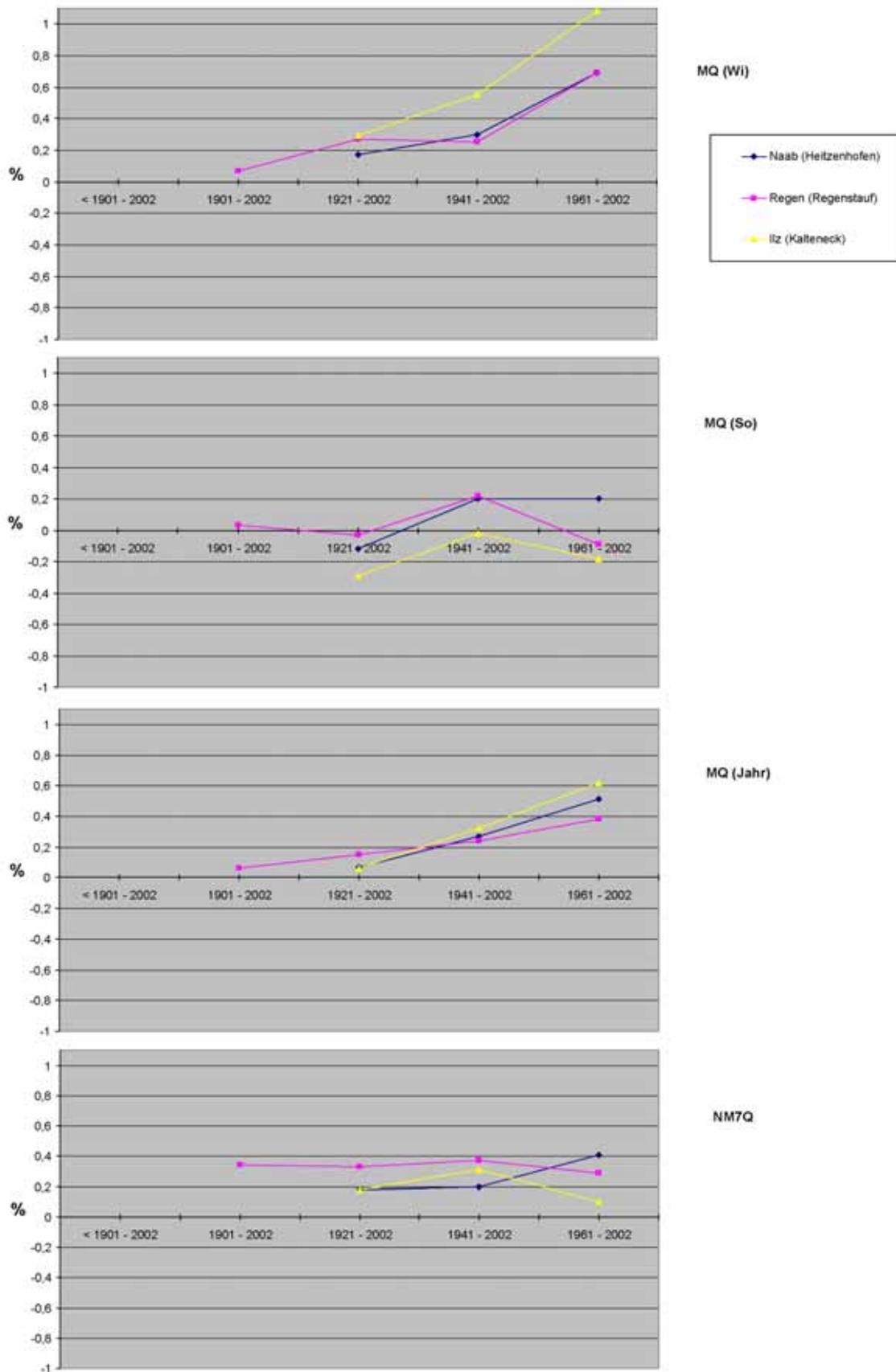
**Bild 5.19** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Neckar, Main, Mosel



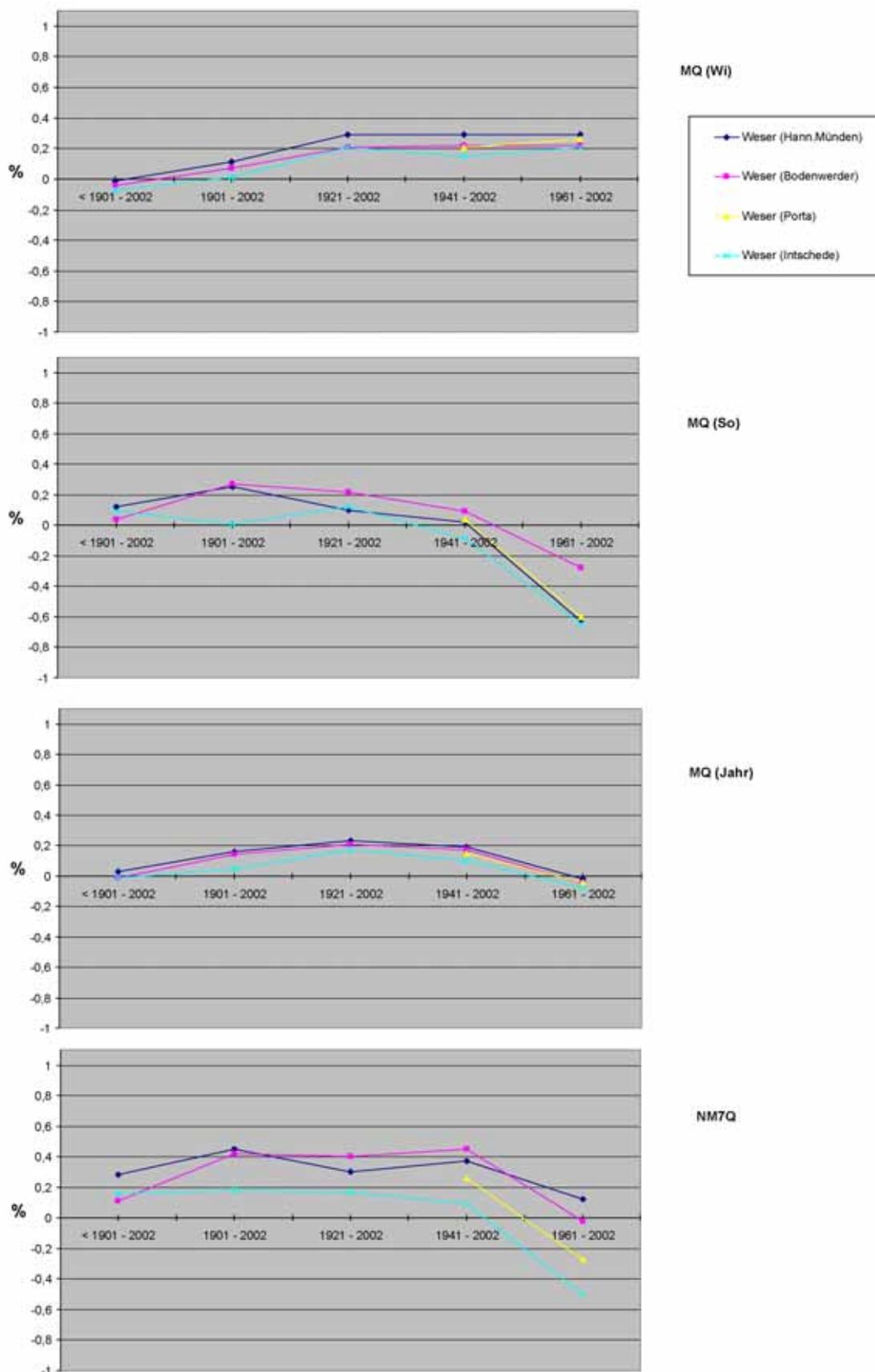
**Bild 5.20** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Donau-Pegel



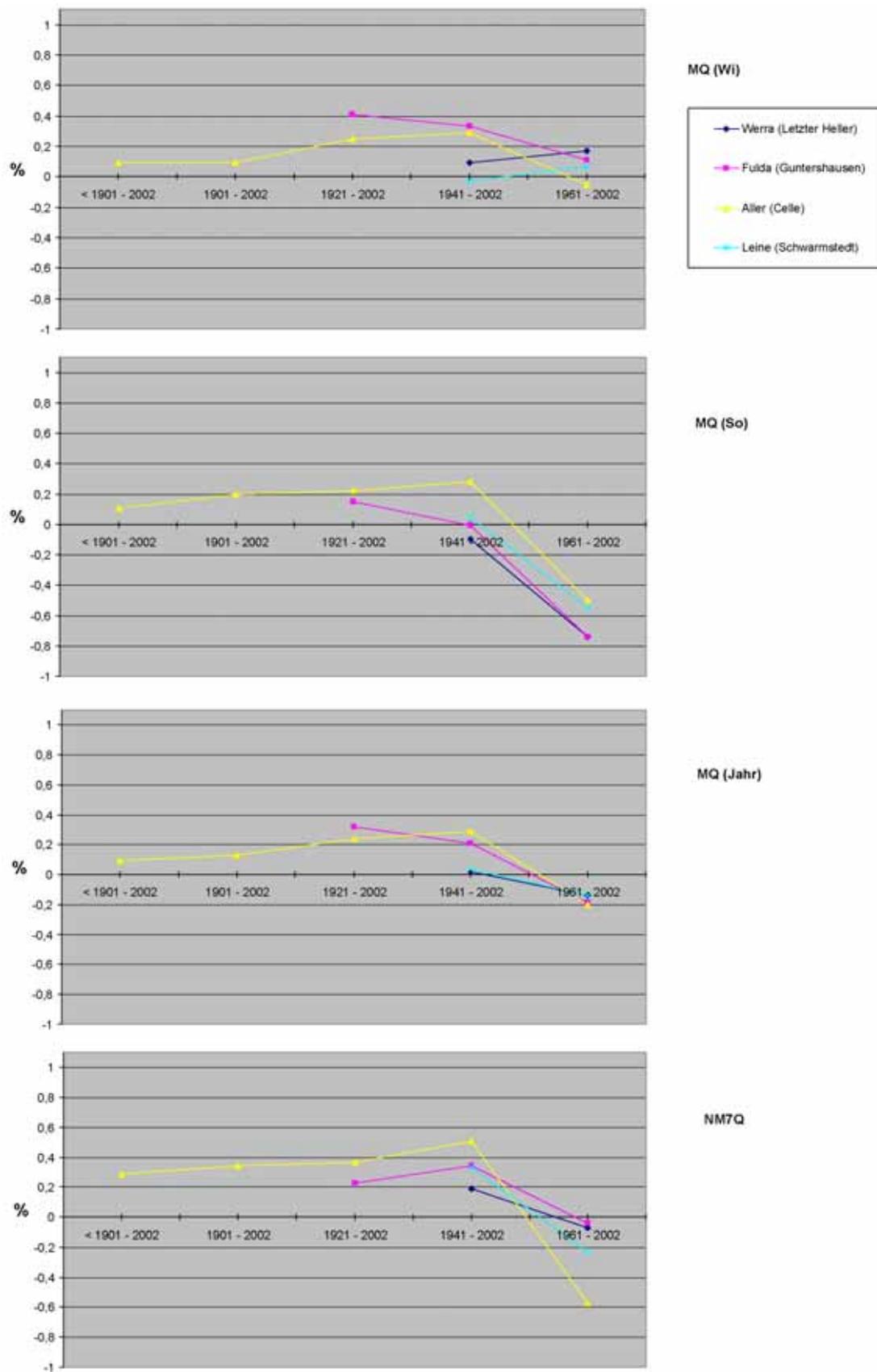
**Bild 5.21** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Iller, Lech, Isar



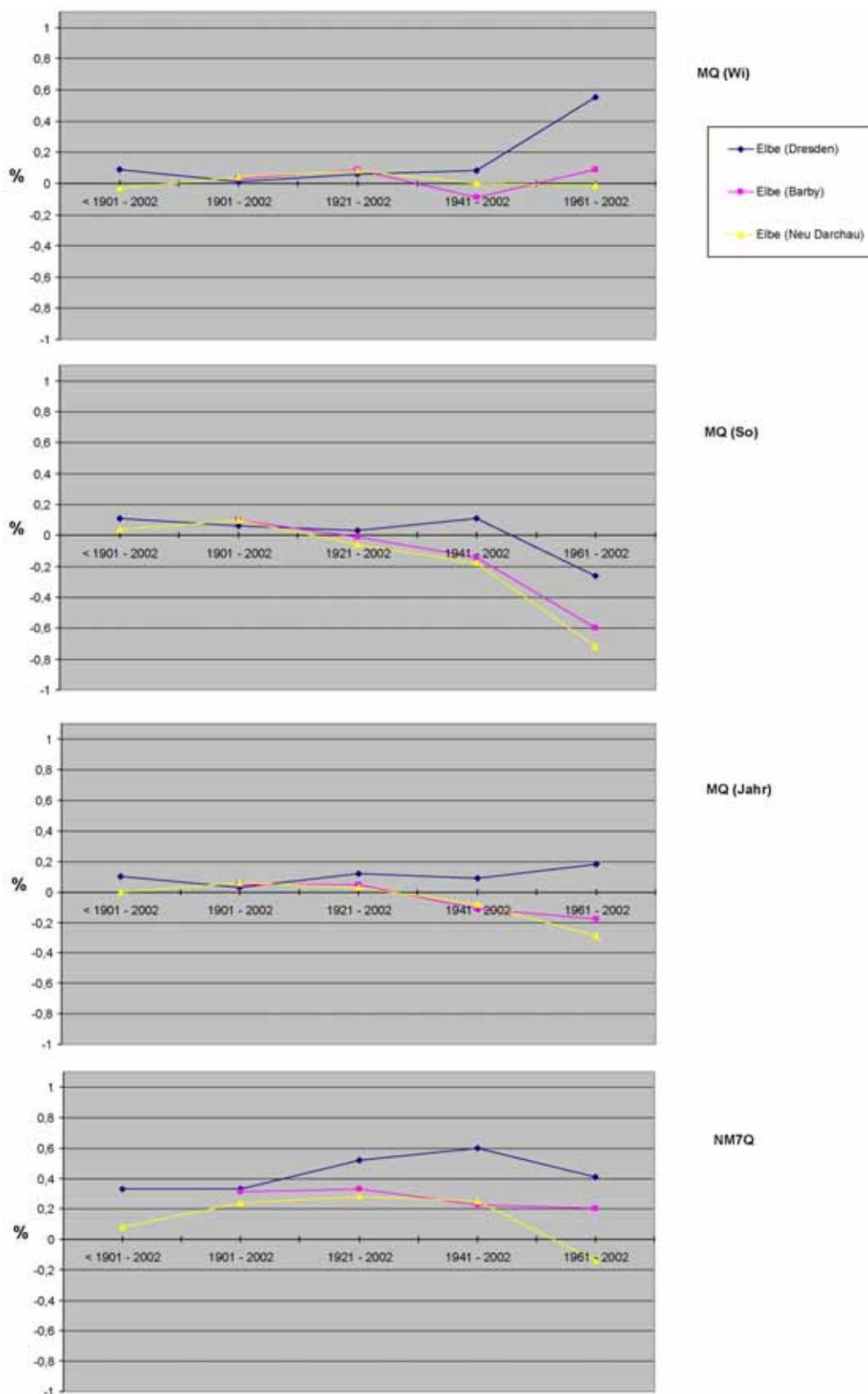
**Bild 5.22** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Naab, Regen, Ilz



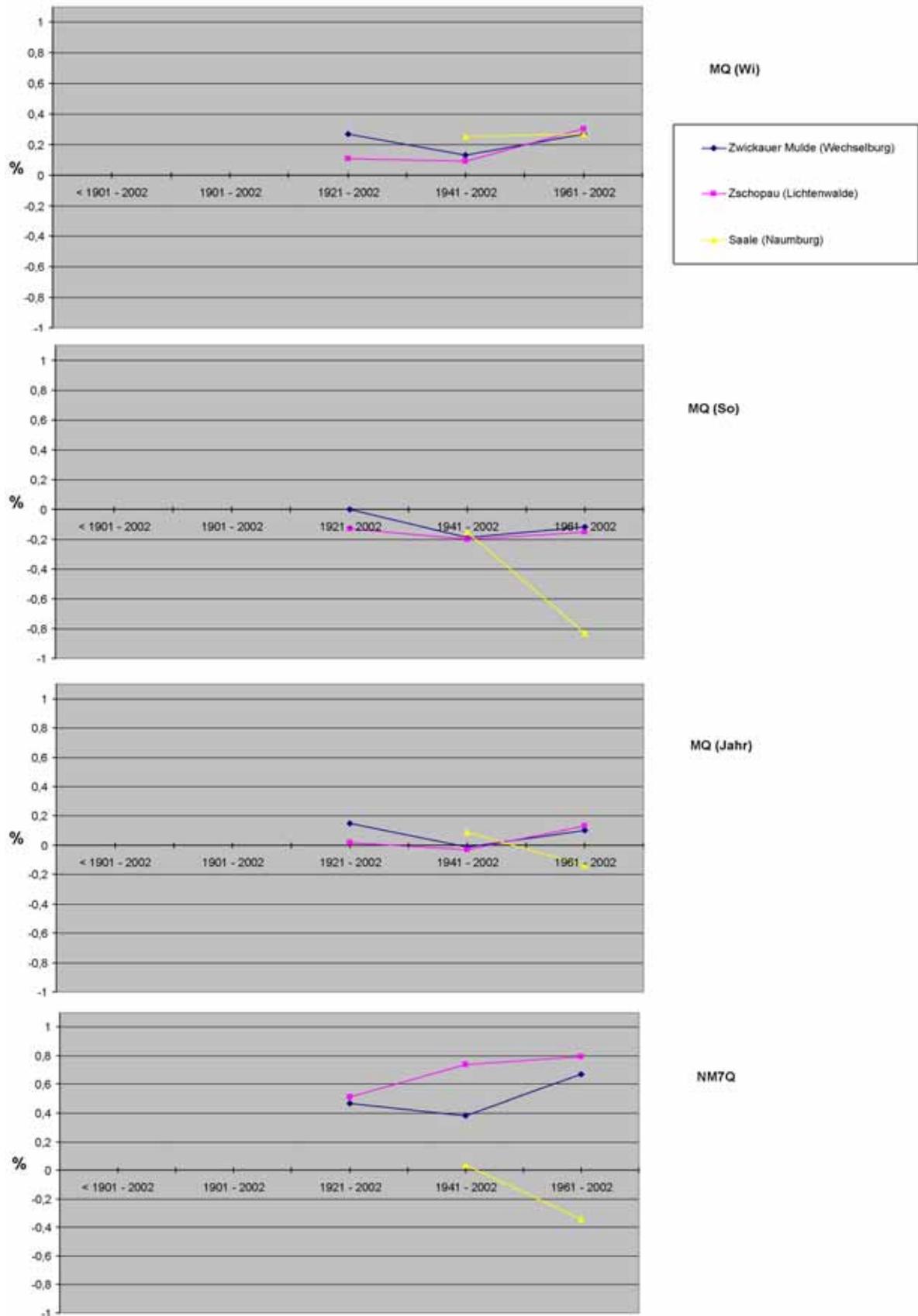
**Bild 5.23** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Weser-Pegel



**Bild 5.24** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Werra, Fulda, Aller, Leine



**Bild 5.25** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Elbe-Pegel



**Bild 5.26** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen und Abflusskennwerte, Zwickauer Mulde, Zschopau, Saale

**Tabelle 5.7** Trendanalysen der NM7Q und NM30Q (1961 – 2002)  
Änderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes

Flussgebiete			NM7Q		NM30Q	
			Anzahl	Trend	Anzahl	Trend
Rhein	+	Mittel	31	+0,44 %	32	+0,51 %
		Max		+0,90 %		+1,00 %
	-	Mittel	22	-0,43 %	21	-0,29 %
		Max		-1,09 %		-0,74 %
	ges.	Mittel		+0,08 %	53	+0,19 %
Donau	+	Mittel	28	+0,55 %	30	+0,61 %
		Max		+1,61 %		+1,48 %
	-	Mittel	2	-0,07 %	-	-
		Max		-0,31 %	-	-
	ges.	Mittel	30	+0,51 %	30	+0,61 %
Weser Ems Küste	+	Mittel	10	+0,30 %	8	+0,28 %
		Max		+0,81 %		+0,66 %
	-	Mittel	23	-0,47 %	25	-0,43 %
		Max		-2,07 %		-1,63 %
	ges.	Mittel	33	-0,24 %	33	-0,26 %
Elbe Oder	+	Mittel	16	+0,49 %	14	+0,45 %
		Max		+1,07 %		+0,87 %
	-	Mittel	19	-0,66 %	21	-0,61 %
		Max		-2,69 %		-2,31 %
	ges.	Mittel		-0,13 %	35	-0,19 %
Gesamt	+	Mittel	85	+0,47 %	84	+0,51 %
		Max		+1,61 %		+1,48 %
	-	Mittel	66	-0,50 %	67	-0,44 %
		Max		-2,69 %		-2,31 %
	ges.	Mittel	151	+0,05 %	151	+0,09 %



**Bild 5.27** Jährlicher Trend in % des jeweiligen Mittelwertes 1961 – 2002 für NM7Q  
(Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland, verändert)

### 5.3.3 Vergleich der Trendänderungen für Niedrigwasserabflüsse NM7Q und für mittlere Abflüsse

Bei einem solchen Vergleich ist zunächst einmal das Abflussregime des betrachteten Gewässers zu beachten. Bei alpin beeinflussten Gewässern treten Niedrigwasserabflüsse überwiegend im Winter auf, so dass ein Vergleich von NM7Q mit MQ (Winter) nahe liegt. Bei Mittelgebirgsgewässern mit Niedrigwasser überwiegend im Sommer oder Herbst ist ein Vergleich mit MQ (Sommer) sinnvoll. Bei größeren Flüssen und Gewässern im Flachland mit großen Grundwasserspeichern wird das Niedrigwasser des Sommers aber wesentlich von den Niederschlägen des Winters und damit auch von dessen MQ beeinflusst.

Solche grundlegenden Unterschiede lassen sich aber aus einem Vergleich der Trends der NM7Q-Werte (Bild 5.27) und der MQ-Werte (Bilder 5.15 bis 5.17) kaum erkennen. Am ehesten ist dies bei den Rheinzufüssen unterhalb der Mainmündung möglich, wo die mittleren Trends der NM7Q etwa mit denen von MQ (Sommer) übereinstimmen. Im Donau- und Oberrhein-Gebiet dagegen treten im Mittel ähnlich große positive Trends der NM7Q und der MQ (Winter) auf, sowohl bei den alpin beeinflussten Gewässern als auch bei denen des Mittelgebirges. In großen Teilen Nordostdeutschlands wiederum sind sehr ähnliche Trends bei NM7Q und allen MQ-Teilreihen festzustellen. Für andere Regionen ist das Bild noch differenzierter, ohne dass plausible Zusammenhänge erkennbar sind. So sind z. B. die mittleren Trends im Muldegebiet für NM7Q stark positiv, für MQ (Winter) und MQ (Jahr) nur schwach positiv und für MQ (Sommer) stark negativ. Im benachbarten Saalegebiet entsprechen die Trends von NM7Q dagegen am ehesten denen von MQ (Winter).

Trägt man die mittleren Trendänderungen NM7Q zusammen mit denen der verschiedenen MQ für alle Teilregionen grafisch auf (auf diese Darstellungen wurde hier verzichtet), erhält man zwar bei allen drei Vergleichen sinnvolle Tendenzen, aber mit sehr großen Streubereichen. Relativ am deutlichsten ist der Zusammenhang zwischen den Trends von NM7Q und MQ (Sommer).

Ähnlich uneinheitlich wie die Trendänderungen zwischen Niedrig- und Mittelwasserabflüssen für die Messreihe 1961 – 2002 sind auch die Ergebnisse aus dem Vergleich verschiedener Zeitreihen (siehe Bilder 5.18 – 5.26). Die Änderungen der Trends zwischen der Reihe 1921 – 2002 gegenüber denen der Reihe 1941 – 2002 finden sich häufig in ähnlicher Weise sowohl bei den NM7Q- als auch bei den MQ-Werten. Beim Vergleich der Reihen 1941 – 2002 mit den Reihen 1961 – 2002 dagegen gibt es teilweise Diskrepanzen. So nehmen z. B. für die Pegel der oberen Donau (Pegel Beuron und Berg) die Trends für alle MQ-Reihen deutlich ab, für NM7Q steigen sie leicht. Umgekehrt ist es z. B. am Lech (Pegel Landsberg). Diese größeren Schwankungen der Ergebnisse aus der Reihe 1961 – 2002 gegenüber denen aus den längeren Reihen sind sicher vor allem durch die größere statistische Unsicherheit bei den kürzeren Reihen bedingt.

Weil die direkte Verknüpfung von Trends der Niedrigwasserabflüsse NM7Q (oder NM30Q) mit denen der Mittelwasserabflüsse auf der Basis der vorliegenden Daten nicht möglich erscheint, wird eine getrennte, weiter generalisierende Gegenüberstellung vorgenommen werden. Die vorangegangenen Analysen hatten immer wieder Ähnlichkeiten für die Trends verschiedener größerer Regionen in Deutschland ergeben. Als sinnvoll hat sich schließlich die

im folgenden Bild 5.28 verwendete Abgrenzung von 5 Regionen (I bis V) erwiesen. Die Trendänderungen der bereits für die Bilder 5.15 bis 5.17 und 5.27 verwendeten 130 Pegel (ohne die Pegel an den großen Flüssen und ohne einige stark anthropogen beeinflusste Pegel) wurden für die gewählten größeren Regionen gemittelt und in die Karten in Bild 5.28 eingetragen. Für die Trendänderungen bei MQ (Winter) und MQ (Jahr) unterscheiden sich die Werte in Region I und II verhältnismäßig wenig bzw. gar nicht. Bei MQ (Sommer) haben die mittleren Trendänderungen der Regionen III, IV und V vergleichbare Werte. Bei den Trendänderungen für NM7Q zeigt dagegen innerhalb der Region II das Teilgebiet der oberen Saale und Mulde ein deutlich anderes Verhalten als der übrige, größere Teil dieser Region.

### 5.3.4 Vergleich der Abflusstrends mit den Niederschlagstrends

Das hier verwendete Netz von 42 Stationen in Deutschland ist für regional gültige Aussagen über Niederschlagstrends leider kaum geeignet. Die Stationen sind vor allem sehr ungleichmäßig verteilt und nicht repräsentativ für die unterschiedlichen meteorologischen Verhältnisse.

Betrachtet man dennoch die Einzelwerte der Trends von Niederschlägen und Abflüssen, ist auffällig, dass die Schwankungsbreite innerhalb der Messstellen bei den Niederschlägen deutlich kleiner ist als bei den Abflüssen. Die maximalen positiven bzw. negativen Trendänderungen für die Reihe 1961 – 2002 betragen bei den Niederschlägen (siehe Tabelle 5.1)

im Winterhalbjahr	+0,89 % bzw. -0,27 %
im Sommerhalbjahr	+0,78 % bzw. -0,38 %
und im Jahr	+0,52 % bzw. -0,22 %.

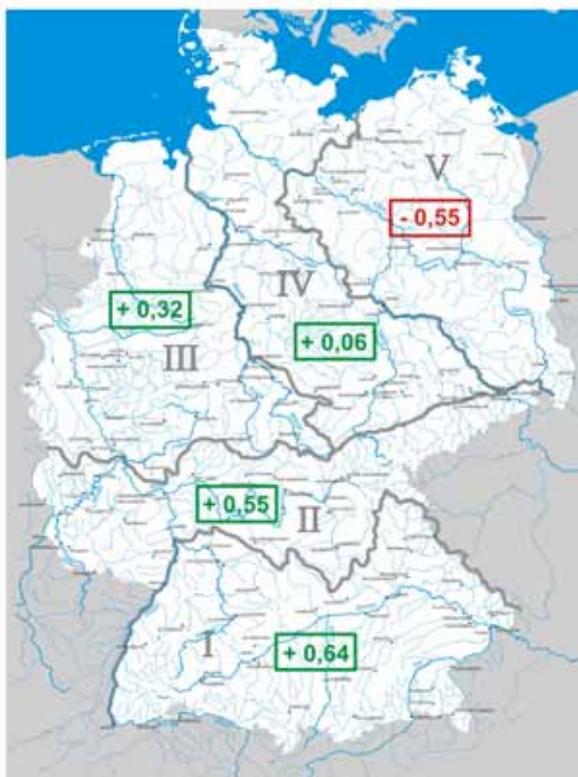
Die entsprechenden Werte aus den 130 Pegeln in Tabelle 5.6 betragen für die mittleren Abflüsse

im Winterhalbjahr	+1,39 % bzw. -1,34 %
im Sommerhalbjahr	+1,01 % bzw. -1,74 %
und im Jahr	+1,24 % bzw. -1,49 %.

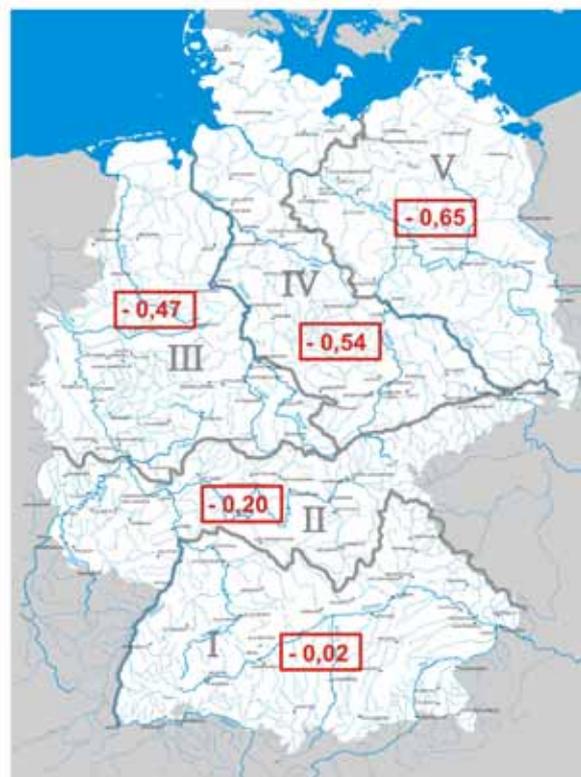
Das kann verschiedene Ursachen haben:

- > Unterschiedliche Einzugsgebiete reagieren je nach Speicherfähigkeit unterschiedlich auf Niederschlagsänderungen.
- > Einzelne große Trendänderungen bei den Abflüssen können durch anthropogene Einflüsse (Speicher, Überleitungen usw.) verursacht oder verstärkt worden sein.
- > Abflüsse enthalten größere Messunsicherheiten als Niederschläge, vor allem im Niedrigwasserbereich.

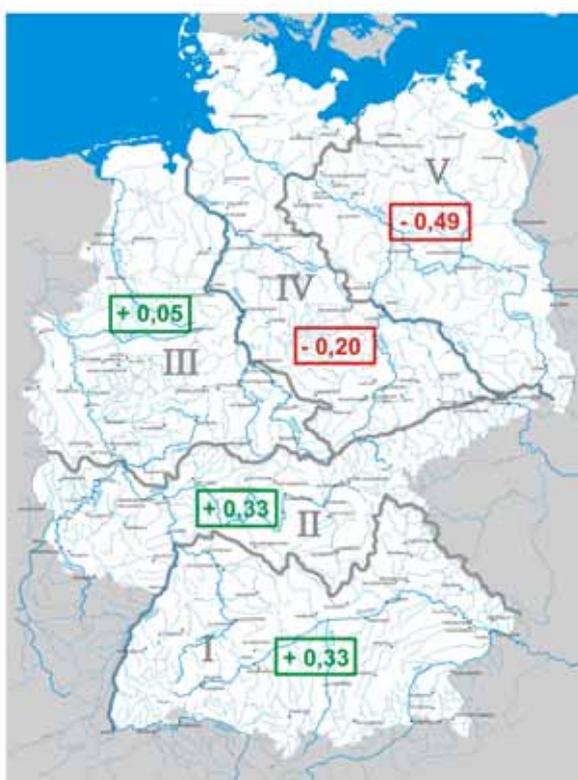
a)



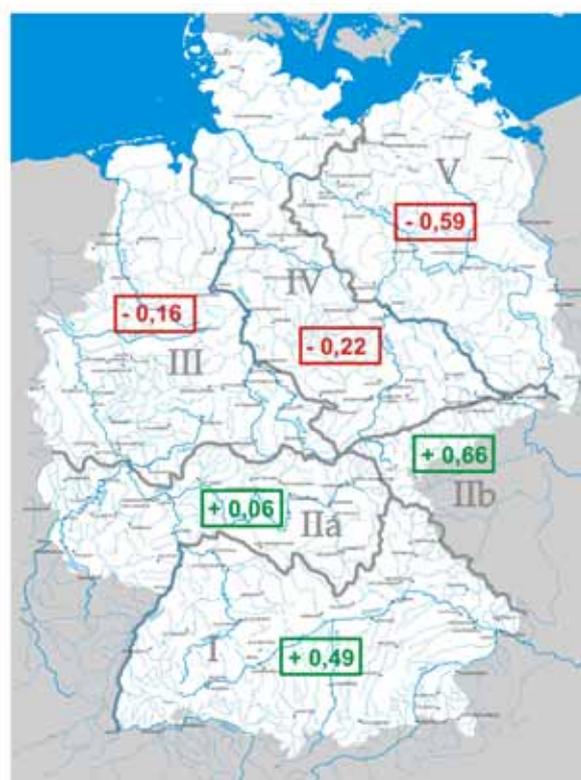
b)



c)



d)

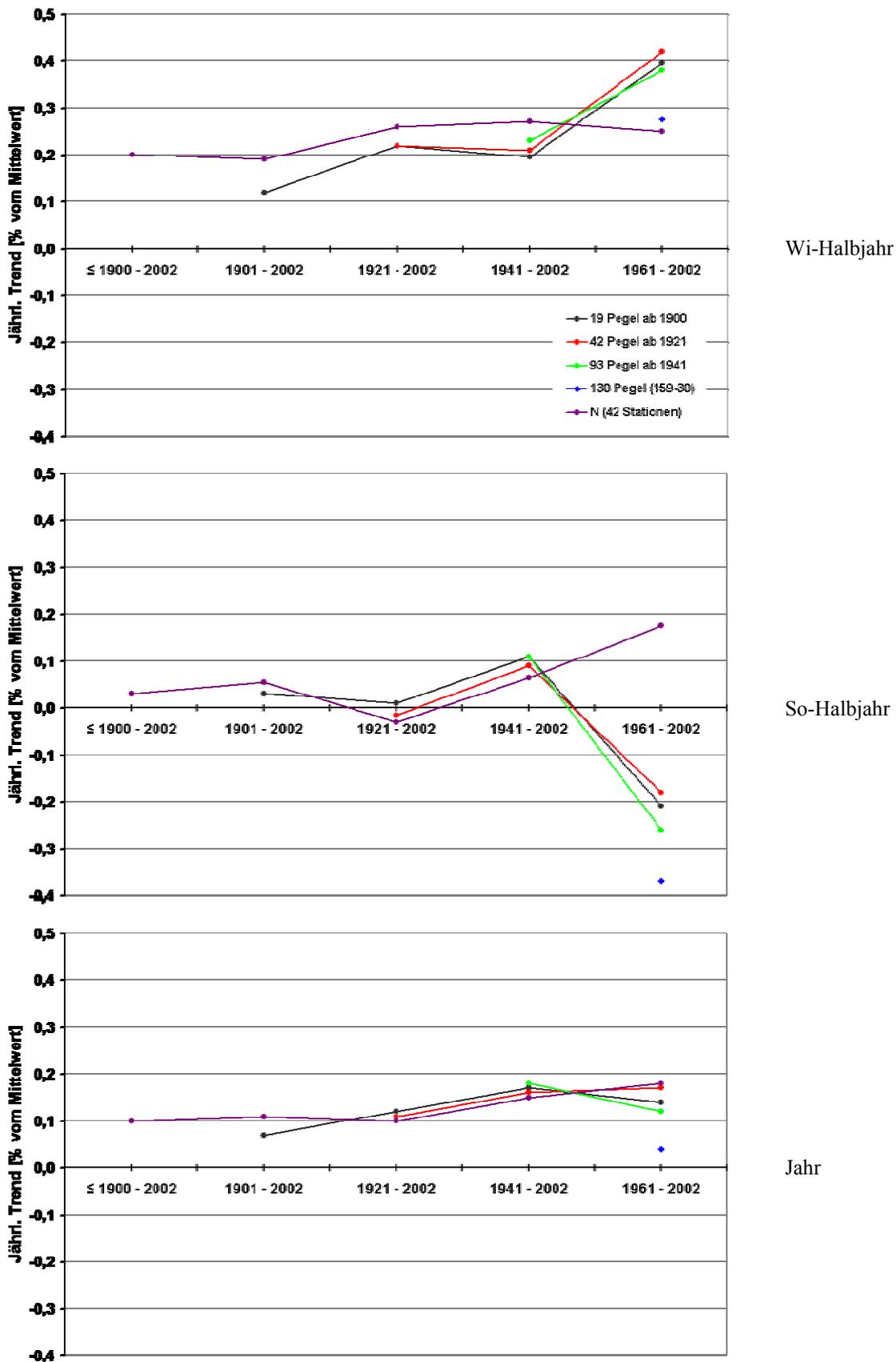


**Bild 5.28** Trendänderungen in % pro Jahr (1961 – 2002), Mittelwerte für große Regionen  
a) MQ (Winter), b) MQ (Sommer), c) MQ (Jahr), d) NM7Q

Diese geringere Bandbreite der Trendänderungen bei den 42 untersuchten Niederschlagsmessstellen trägt dann bei der Bildung von Mittelwerten für bestimmte Teilregionen mit dazu bei, dass Unterschiede weiter nivelliert werden. So erhält man für die Regionen I bis V nach Kap. 5.3.3 Mittelwerte der Trendänderungen für 1961 – 2002, die für Winter, Sommer und das Jahr durchweg positiv sind und in der regionalen Verteilung kaum Ähnlichkeit mit den entsprechenden Trendänderungen der Abflüsse aufweisen.

Angesichts dieser Sachlage ist es doch überraschend, dass die Trendänderungen von Niederschlägen und mittleren Abflüssen als Mittel aller verfügbaren Stationen und Pegelstellen zumindest für die längeren Datenreihen sehr gut übereinstimmen. Das zeigt Bild 5.29 für die untersuchten Messreihen: bei den Niederschlägen aus 42 Stationen (vor 1901: 39 Stationen), bei den Pegeln aus einer unterschiedlichen Zahl von Pegeln. Für die Reihe 1961 – 2002 tritt dann eine deutlich sichtbare Abweichung der Trends für die Niederschläge gegenüber denen für die Abflüsse im Winter- und Sommerhalbjahr auf, was sich für das gesamte Jahr wieder ausgleicht. Diese Besonderheit für das Sommerhalbjahr war auch schon im Vergleich der Niederschlagstrends mit den Ergebnissen von RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) aufgefallen (siehe Kap. 5.2.2).

Zum Abschluss dieser Versuche, Niederschlagstrends und Abflusstrends miteinander zu vergleichen, werden noch die Ergebnisse für die Niederschlagstrends von RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) herangezogen. Nach den in diesen Bericht übernommenen regionalen Verteilungen im Kap. 5.2.2 (Bilder 5.8 bis 5.13) erkennt man für die Reihe 1891 – 1990 eine Grenzlinie zwischen positiven Trends im Westen und negativen Trends im Osten (mit Zunahmen in beiden Richtungen, sowohl für die beiden Halbjahre als auch für das Gesamtjahr). Diese Grenze verläuft etwa auf derjenigen zwischen den Regionen III und IV im Bild 5.28 für die Trends der Abflüsse. Für die Reihe 1961 – 1990 ist nach RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) eine ähnlich verlaufende Abgrenzung zwischen positiven und negativen Trends nur für die Jahreswerte erkennbar. Ein überschläglicher quantitativer Vergleich der Niederschlagstrends nach RAPP UND SCHÖNWIESE (1996) mit den Abflusstrends für die hier untersuchten 130 Pegel ist für große Flussgebiete möglich. Die Werte für die Niederschläge sind in Tabelle 5.2 (Kapitel 5.2.2) zusammengestellt. Für die mittleren Abflüsse wurde Tabelle 5.6 (Kap. 5.3.1) entsprechend modifiziert. Die so erhaltenen mittleren Trendänderungen für 1961 – 1990 (Niederschläge) und 1961 – 2002 (Abflüsse) sind dann in der folgenden Tabelle 5.8 einander gegenübergestellt. Man erkennt grundsätzlich vergleichbare Tendenzen mit den relativ besten Übereinstimmungen für Winterhalbjahr und Jahr und den größten Abweichungen für das Sommerhalbjahr. Außerdem ist die Spannweite der Trendänderungen bei den Abflüssen deutlich größer als bei den Niederschlägen, was sich auch im Vergleich mit den Ergebnissen aus den 42 im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Niederschlagsstationen gezeigt hatte.



**Bild 5.29** Trendänderungen pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes für verschiedene Zeitreihen, Niederschläge und mittlere Abflüsse

**Tabelle 5.8** Mittlere Trendänderungen in % pro Jahr für Niederschläge N 1961 – 1990 (RAPP UND SCHÖNWIESE 1996) und mittlere Abflüsse MQ (aus 130 Pegeln)

Gebiet		Trendänderung in % pro Jahr		
		Wi-Halbjahr	So-Halbjahr	Jahr
Rhein oberh. Main	N	+0,30	+ 0,17	+ 0,23
	MQ	+ 0,57	- 0,08	+ 0,40
Rhein unterh. Main	N	+ 0,37	- 0,03	+ 0,20
	MQ	+ 0,49	- 0,40	+ 0,22
Main	N	+ 0,40	- 0,00	+ 0,20
	MQ	+ 0,55	- 0,46	+ 0,33
Donau	N	+ 0,40	- 0,00	+ 0,13
	MQ	+ 0,63	- 0,02	+ 0,32
Weser, Ems	N	+ 0,23	- 0,27	+ 0,07
	MQ	+ 0,06	- 0,47	- 0,21
Elbe, Oder	N	+ 0,20	- 0,27	- 0,00
	MQ	- 0,05	- 0,56	- 0,26
Deutschland	N	+ 0,27	- 0,13	+ 0,10
	MQ	+ 0,31	- 0,32	+ 0,07

### 5.3.5 Mittelwerte für Teilreihen

Rechnerische Trends von längeren hydrologischen Messreihen werden häufig nicht durch eine kontinuierliche Veränderung hervorgerufen, sondern durch Teilreihen mit unterschiedlichen Mittelwerten, die jede für sich verschiedene Trends aufweisen oder auch trendfrei sein können. Über Teilreihen mit unterschiedlichen Mittelwerten gibt die Sprunganalyse Auskunft, die für die Niedrigwasserabflüsse NM7Q und NM30Q für alle Pegel und Zeitreihen durchgeführt worden ist (siehe Beispiel im Anhang 3.1). Eine Auswertung für NM7Q ergab, dass für die Reihen 1901 – 2002 und 1921 – 2002 bei etwa 2/3 aller Pegel Sprungstellen zwischen 1954 und 1966 auftreten, ohne dabei auf die Signifikanz dieser Ergebnisse zu achten. Es wurden deshalb für alle Zeitreihen ab 1901 und ab 1921 die Teilreihen bis 1960 und die ab 1961 getrennt untersucht und dazu die Mittelwerte MQ und MNQ ermittelt, jeweils für Winter- und Sommerhalbjahr sowie das Gesamtjahr. Als Kennwert der Veränderung wurden die Abweichungen  $[Q(\text{ab } 1961) - Q(\text{bis } 1960)]/Q(\text{bis } 1960)$  in % bestimmt. Die Ergebnisse sind für die insgesamt 44 Pegel ab 1921 und 19 Pegel ab 1901 im Anhang 5.6 zusammengestellt, wobei etwas kürzere Reihen mit einbezogen wurden. Im Folgenden wird nur auf das größere Kollektiv ab 1921 eingegangen. Die Abweichungen zwischen den Mittelwerten der Teilreihen ab 1961 und bis 1960 sind in Tabelle 5.9 zusammengefasst (Mittelwerte für die Pegel mit positiven bzw. negativen Abweichungen sowie Gesamtabweichungen).

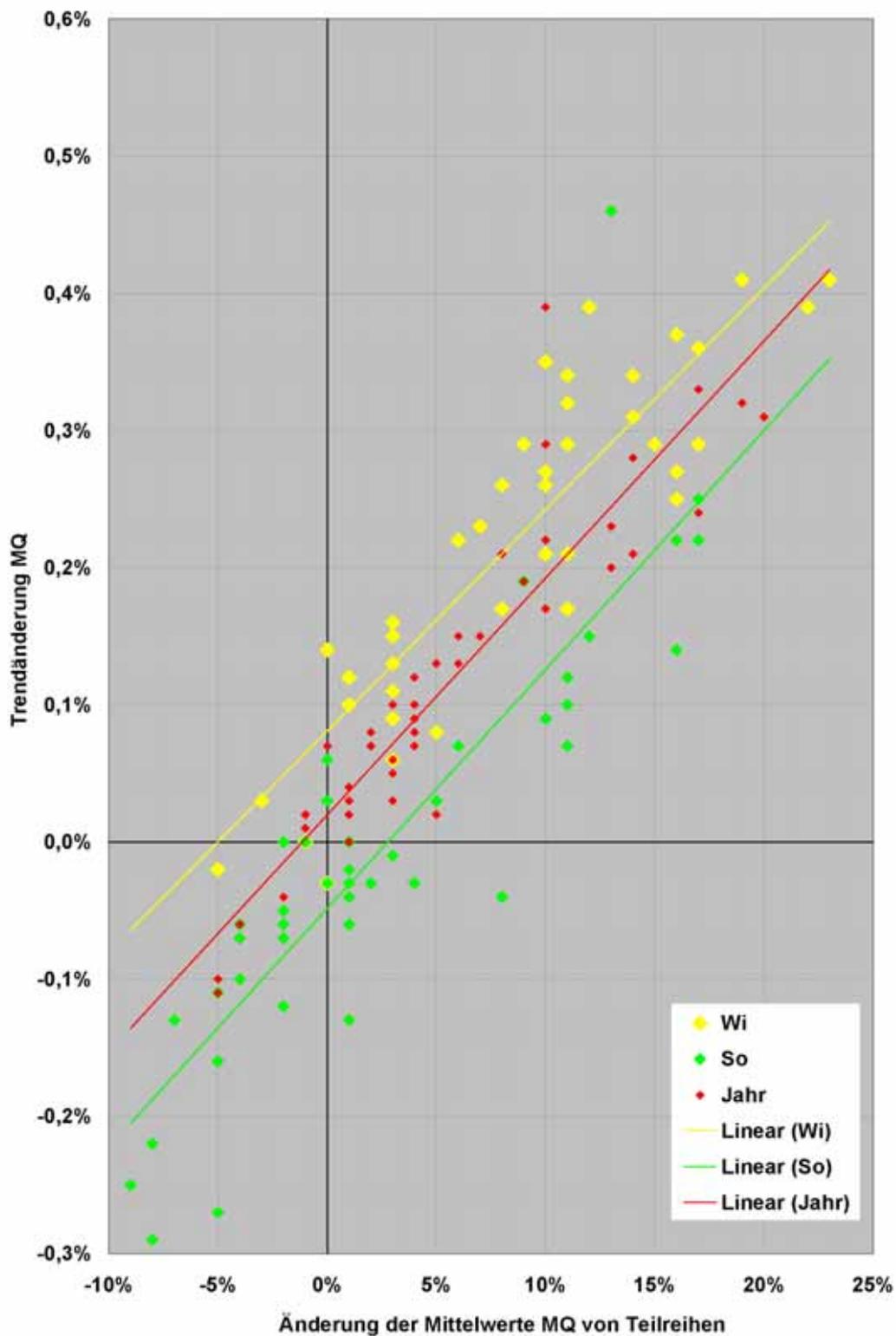
**Tabelle 5.9** Abweichungen der Mittelwerte von Abflussreihen Q (1961 – 2002) gegenüber Q (1921 – 1960) in % von Q (1921 – 1960)

<b>Abfluss</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Mittel</b>	<b>Max</b>
<b>WiMQ</b>	+ 41	+ 9,8 %	+ 23 %
	- 3	- 3,0 %	- 5 %
	ges. 44	+ 9,1 %	
<b>SoMQ</b>	+ 27	+ 6,8 %	+ 17 %
	- 17	- 4,6 %	- 9 %
	ges. 44	+ 2,4 %	
<b>MQ</b>	+ 39	+ 6,6 %	+ 20 %
	- 5	- 3,6 %	- 5 %
	ges. 44	+ 5,5 %	
<b>WiMNQ</b>	+ 38	+ 14,9 %	+ 30 %
	- 6	- 4,0 %	- 11 %
	ges. 44	+ 12,3 %	
<b>SoMNQ</b>	+ 32	+ 17,5 %	+ 43 %
	- 11	- 5,5 %	- 11 %
	ges. 43	+ 11,7 %	
<b>MNQ</b>	+ 39	+ 18,8 %	+ 50 %
	- 4	- 5,3 %	- 12 %
	ges. 43	+ 16,6 %	

Die Abweichungen zwischen den Teilreihen sind für das Winterhalbjahr und das Gesamtjahr mit wenigen Ausnahmen positiv, d. h. die mittleren Abflüsse 1961 – 2002 sind entsprechend größer als die von 1921 – 1960. Im Sommerhalbjahr ist der Anteil negativer Abweichungen größer. Das entspricht dem Ergebnis der Trendanalysen mit überwiegend positiven Trends, wenn auch dort etwas mehr negative Trends mit größeren Trendänderungen aufgetreten sind als bei den entsprechenden Abweichungen in Tabelle 5.9.

Grundsätzlich ist zwischen beiden Änderungsmaßen ein enger Zusammenhang zu erwarten, umso mehr, je häufiger die ermittelte Sprungstelle aus der Reihe 1921 – 2002 mit dem gewählten Teilungspunkt 1960/61 zusammenfällt. Ein quantitativer Vergleich ist für die 44 Pegel mit Reihen ab 1921 anhand der Abweichungen für MQ (Winter, Sommer, Jahr) aus Anhang 5.6 und den zugehörigen Trendänderungen aus Anhang 5.3 möglich. Bild 5.30 zeigt die grafische Gegenüberstellung. Man erkennt deutlich den erwarteten Zusammenhang bei verhältnismäßig großer Streuung der Einzelwerte. Auch zeigen sich Unterschiede für die Halbjahre und das Gesamtjahr sowie einzelne regionale Besonderheiten.

Ein entsprechender Vergleich der MNQ-Werte war nicht möglich, weil für diese keine Trendberechnungen durchgeführt worden waren. Ein Versuch, ersatzweise eine Beziehung zwischen den Abflussänderungen für MQ- und zugehörige MNQ-Werte der Teilreihen zu finden, führte zu keinen verwertbaren Ergebnissen. Neben einer sehr großen Streuung der Einzelwerte treten auch bei etlichen Pegeln gleichzeitig größere negative Änderungen für die MQ-Werte und große positive Änderungen für die zugehörigen MNQ-Werte auf.



**Bild 5.30** Vergleich der Änderung der Mittelwerte 1921/1960 gegenüber 1961/2002 mit den Trendänderungen 1921 – 2002

### 5.3.6 Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen

Zur langfristigen Änderung von Mittel- und Niedrigwasserabflüssen oder daraus abgeleiteten Kennwerten gibt es eine große Zahl von Untersuchungen. Im Folgenden werden nur solche Arbeiten kurz dargestellt, die sich auf die Verhältnisse in Deutschland beziehen. Die Zusammenstellung ist möglicherweise nicht vollständig, weil einzelne Untersuchungen durch wasserwirtschaftliche Dienststellen durchgeführt oder von diesen veranlasst sein können und deren Ergebnisse nicht allgemein zugänglich sind.

#### a) Verschiedene Untersuchungen aus dem Zeitraum 1993 – 2001

Hier werden insgesamt solche Arbeiten zusammengefasst, die bereits von der DWA-Arbeitsgruppe „Niedrigwasser“ im ATV-DVWK-Arbeitsbericht „Anthropogene Einflüsse auf Niedrigwasserabflüsse“ (ATV-DVWK 2003) ausgewertet und vergleichend gegenübergestellt worden waren. Die dazu erstellten Tabellen 3.1 und 3.2 aus ATV-DVWK (2003) sind hier als Tabellen 5.10 und 5.11 übernommen worden.

Untersucht wurden vor allem Niedrigwasserabflüsse  $NM_xQ$  für verschiedene Dauern  $x$ , aber auch mittlere Jahresabflüsse  $MQ$  und Kennwerte zu Dauer und Defizit von Niedrigwasserereignissen. Anzahl und Länge der verwendeten Zeitreihen waren sehr unterschiedlich. Etliche der untersuchten Pegel sind auch Gegenstand der vorliegenden Analysen im Kap. 5.3, allerdings mit anderen Zeitreihen. Es erfolgten im Allgemeinen Homogenitätstests, Sprunganalysen und Trendberechnungen (linearer Trend).

Die Trendanalysen der Abflüsse ergeben überwiegend positive Änderungen, soweit nach Jahreszeiten unterschieden wurde, vor allem im Winterhalbjahr. Die mittleren Zunahmen nach den verschiedenen Untersuchungen betragen (nach den Angaben in den Tabellen 5.10 und 5.11 auf ein Jahr umgerechnet) ca. 0,1 % bis 0,5 % pro Jahr.

Bei den Ergebnissen der Sprunganalyse überwiegen die Jahre 1963 – 65, aber auch andere Sprungstellen treten z. T. gehäuft auf. Die Untersuchungen von HISDAL et al. zu Niedrigwasserdauern und Defiziten ergaben überwiegend negative Trends, weil diese Kenngrößen mit zunehmenden Abflüssen abnehmen. In dieser Arbeit wurden auch Ausweisungen von Teilregionen mit unterschiedlichen Trends versucht, die aber zu keinem schlüssigen Ergebnis führten.

Insgesamt führt der Vergleich der vorliegenden Untersuchungen mit den in ATV-DVWK (2003) beschriebenen Arbeiten zu einzelnen qualitativen Übereinstimmungen, für quantitative Aussagen ist die Datengrundlage aber zu uneinheitlich.

**Tabelle 5.10** Datengrundlagen für die angegebenen Untersuchungen  
(aus ATV-DVWK 2003)

<b>Autor</b>	<b>Flussgebiete</b>	<b>Einzugsgebietsgrößen</b>	<b>Zeiträume</b>
SCHUMANN 1993	24 Pegel an den Flüssen Weser, Ems, Rhein und Rheinzuflüsse, Donau, Elbe	2000 km <sup>2</sup> bis 144000 km <sup>2</sup>	14 Reihen von 1931 bis 1988, zusätzlich 10 Reihen mit mehr als 100 Jahren
LUFT 1995	13 Pegel der oberen Donau und ihrer Nebenflüsse	133 km <sup>2</sup> bis 7580 km <sup>2</sup>	Beobachtungsbeginn bis 1992, 60 bis 70 Jahre
LANGE 1997	12 Pegel an den Flüssen Salzach, Saalach, Aller, Donau, Weser, Iller, Rhein, Lech, Elbe, Inn, Ems	940 km <sup>2</sup> bis 144000 km <sup>2</sup>	Beobachtungsbeginn bis 1995/1996, mindestens 95 Jahre
FINKE, DORNBLUT 1998	5 Pegel an der Elbe	53000 km <sup>2</sup> bis 133000 km <sup>2</sup>	1936 bis 1995
WILLEMS, KLEEBERG 1999	8 Pegel am Rhein, 2 Pegel an Rheinzufüssen	34550 km <sup>2</sup> bis 160800 km <sup>2</sup> am Rhein, 3995 km <sup>2</sup> bzw. 27088 km <sup>2</sup> an Zufüssen	1890 bis 1995 bei Rheinpegeln
HISDAL, STAHL, TALLAKSEN, DEMUTH 2001	262 Pegel in den Einzugsgebieten Rhein, Donau, Elbe	7,6 km <sup>2</sup> bis 986 km <sup>2</sup>	1962 – 1990, 262 Pegel 1962 – 1995, 228 Pegel 1930 – 1995, 38 Pegel 1911 – 1995, 1 Pegel

**Tabelle 5.11** Durchgeführte Analysen und Ergebnisse der angegebenen Untersuchungen (aus ATV-DVWK 2003)

<b>Autor</b>	<b>Variablen</b>	<b>Angewandte Methoden</b>	<b>Ergebnisse</b>
SCHUMANN 1993	NMxQ (x=15,30, 60d)  MQ	<b>Sprunganalysen:</b> Prüfung auf signifikante Unterschiede von Mittelwert, Standardabweichung und empirischer Verteilung von Teilreihen bei sukzessive verschobenem Teilungspunkt zwischen den beiden Teilreihen	NMxQ: Sprungstellen bei kürzeren Reihen überwiegend in den Jahren 1963/64; Zunahme der Teilreihenmittelwerte bei 23 von 24 Reihen, bei der Hälfte signifikant; Zunahme beträgt dabei im Mittel 22 % bei kürzeren und 12 % bei längeren Reihen MQ: Ähnlich wie NMxQ, Sprungstellen aber überwiegend 1978/79
LUFT 1995	MQ	<b>Sprunganalysen:</b> Summenlinienverfahren	12 von 13 Reihen mit Sprüngen in den Jahren 1964/65
		<b>Trendanalysen:</b> Lineare Regression, Signifikanztest nach Mann-Kendall	12 von 13 Reihen mit positiven Vorzeichen des Steigungskoeffizienten, signifikant ansteigende Trends bei 2 Reihen; Zunahme im Mittel ca. 12 % innerhalb des Berechnungszeitraumes
LANGE 1997	NMxQ (x=7,30d)	<b>Homogenitätsanalysen:</b> Test von Wallis-Moore und Mann-Whitney, Prüfung der Gleichheit von empirischen Verteilungen der Teilreihen	Je nach Test 5 – 40 % der Reihen nicht homogen
		<b>Sprunganalysen:</b>	Sehr unterschiedliche Ergebnisse zum Zeitpunkt des Sprungs, keine Angaben zu Signifikanzen
		<b>Trendanalysen:</b> Lineare Regression, Signifikanzprüfung über t-Test des Steigungskoeffizienten, Trendtests nach Mann-Kendall und Cox-Stuart sowie T/R-Verhältnis	Bei Trendtests nach Mann-Kendall und Cox-Stuart und dem t-Test des Steigungskoeffizienten jeweils ca. 50 % der Reihen trendbehaftet, bei T/R-Verhältnis 12 %; Zunahmen im Mittel ca. 24 % bis maximal 50 % innerhalb des Berechnungszeitraumes

Autor	Variablen	Angewandte Methoden	Ergebnisse
FINKE, DORNBLUT 1998	NMxQ (x=1,7,14,30d)	<b>Homogenitätsanalysen:</b> Prüfung mit Abbe-Test sowie auf signifikante Unterschiede von Median und empirischer Verteilung von Teilstichproben	Sämtliche Reihen nicht homogen bei Abbe-Test (setzt Normalverteilung voraus), jeweils ca. 90 % der Reihen homogen bei den beiden anderen Tests
		<b>Trendanalysen:</b> Lineare Regression, Signifikanzbeurteilung durch T/R-Verhältnis und Vorzeichentest	Keine signifikanten Trends bei Beurteilung anhand des Trend / Rausch-Verhältnisses, ca. 50 % trendbehaftet bei Beurteilung aufgrund des Vorzeichentests; Zunahme beträgt im Mittel ca. 7 %, maximal 24 %
WILLEMS, KLEEBERG 1999	NMxQ, (x=7,10,30d) jeweils für Sommer, Win- ter und Ge- samtjahr	<b>Homogenitätsanalysen:</b> Test von Mann-Whitney	z. B. NM7Q: ca. 2/3 der Reihen homogen
		<b>Sprunganalysen:</b> Prüfung mit Verfahren von Bernier	z. B. NM7Q: Signifikante Sprünge vor allem im Winterhalbjahr, dabei Sprünge bei 4 von 8 Pegeln in den 20er-Jahren
		<b>Trendanalysen:</b> Lineare Regression sowie robuste Trendgeradenschätzung, Signifikanzprüfung durch T/R-Verhältnis	z. B. NM7Q: Je nach Verfahren im Winterhalbjahr bis zu 7 von 8 Rheinpegeln mit signifikant ansteigenden Trends, im Gesamtjahr bei 2 von 8 Reihen signifikante Anstiege, im Sommerhalbjahr ein signifikant fallender Trend; bei den signifikanten Trends im Winter Zunahme um im Mittel 33 %, maximal 51 %
HISDAL, STAHL, TALLAKSEN, DEMUTH 2001	AMD <sup>1</sup> ACD <sup>2</sup> AMV <sup>3</sup> ND <sup>4</sup>	<b>Trendanalysen:</b> Signifikanzprüfung nach Mann-Kendall und Resampling Test	In den meisten Einzugsgebieten liegt kein signifikanter Trend vor, jedoch finden sich regionale Muster von wenigen Pegeln mit positiven oder negativen Trends, unabhängig von der Zeitperiode.  Periode 1962 – 1990: AMV negative Trends (Bayerische Alpen, Bayerischer Wald, Erzgebirge, Spessart) ND keine bis negative Trends im Taunus u. Harz  Periode 1962 – 1995: AMV negative Trends im Bayerischen Wald und Erzgebirge, in den übrigen Regionen kein Trend feststellbar, positive Trends in Niedersachsen.  Periode 1930 – 1995: AMV positive Trends im Schwarzwald, Odenwald und bayerische Alpen, negative Trends im Erzgebirge.

<sup>1</sup> AMD: jährliche maximale Dürredauer in Tagen (vergleichbar maxD)

<sup>2</sup> ACD: kumulierte Dauern aller Dürreereignisse in Tagen (vergleichbar  $\Sigma D$ )

<sup>3</sup> AMV: jährliches Defizitvolumen standardisiert über den mittleren saisonalen Abfluss in Tagen

<sup>4</sup> ND : Anzahl der Dürreereignisse pro Jahr.

Die hydrologischen Dürreparameter (AMD, ACD, AMV, ND) wurden nach dem Schwellenwertkonzept von Yevjevich (1967) ermittelt.

b) Projekt KLIWA (2000)

Im Rahmen des Projektes KLIWA („Klimaveränderungen und Wasserwirtschaft“) der Länder Baden-Württemberg und Bayern wurde unter anderem auch das „Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern“ (KLIWA 2000) untersucht. Zum Vergleich mit den hier durchgeführten Analysen für 130 Pegel sind aus dem KLIWA-Bericht die Trendanalysen für mittlere jährliche Abflüsse (linearer Trend) von Interesse. Dazu wurden einmal unterschiedlich lange Messreihen von 117 Pegeln herangezogen. Zum Vergleich besser geeignet sind die Ergebnisse von 94 Messreihen mit einheitlichem Beginn 1982 und Ende zwischen 1995 und 1998. Darunter sind auch fast alle der in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Pegel aus dieser Region. Die berechneten Trendänderungen aus KLIWA (2000) wurden getrennt für die Teilgebiete Donau, Main (mit bayerischem Maingebiet) und Oberrhein (mit Neckar) gemittelt und den entsprechenden Mittelwerten aus der hier vorliegenden Untersuchung gegenübergestellt. Danach zeigen sich in beiden Auswertungen nur geringe Unterschiede zwischen den drei Teilregionen. Die Zahlenwerte (+0,03 % bis +0,09 % nach den KLIWA-Unterlagen, +0,13 % bis +0,23 % nach den eigenen Analysen) differieren in ihrer Größe vermutlich wegen der unterschiedlichen Datenreihen (1932 bis 1995/98 gegenüber 1961 – 2002). Aus dem gleichen Grund weisen wohl auch nach KLIWA prozentual mehr Reihen negative Trends auf als nach den eigenen Analysen.

Neben den Ergebnissen der Trendberechnungen ist auch noch auf Bruchpunktanalysen hinzuweisen, die im Rahmen der KLIWA-Untersuchungen (KLIWA 2000) durchgeführt wurden. Der Bruchpunkt ist derjenige Punkt mit dem größten Unterschied in den Steigungen der Trendgeraden bis zu diesem Punkt bzw. nach diesem Punkt. Dagegen verwendet die Sprunganalyse den Unterschied zwischen den Mittelwerten vor und nach dem Sprungpunkt als Kriterium. Für die Reihen ab 1932 liegen die rechnerischen Bruchpunkte bei knapp 30 % der Pegel zwischen 1960 – 1965, also auch im Bereich mit den meisten Sprungstellen nach den eigenen Untersuchungen (siehe Kap. 5.3.5), aber mit einer größeren Streuung über diesen Bereich hinaus.

c) Niedrigwasserstatistik ausgewählter Flussgebiete im südlichen Niedersachsen (NLWK 2004)

Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (NLWK), Betriebsstelle Süd hat im Zusammenhang mit der Beurteilung des Niedrigwassers 2003 statistische Analysen für 15 Pegel aus seinem Zuständigkeitsbereich durchgeführt. Die untersuchten Gewässer sind Teile der Oberaller mit den südlichen Zuflüssen Oker, Fuhse, Leine (mit Innerste) und einigen kleinen Zuflüssen zur Weser. Die Einzugsgebiete sind 40 bis 3.460 km<sup>2</sup> groß, die Abflussmessreihen 37 bis 78 Jahre lang (bis einschließlich 2003).

Die statistische Analyse der Niedrigwasserabflüsse erfolgt für NM7Q. Bei 12 der 15 Pegel treten negative Trends auf. Die auf den jeweiligen Mittelwert bezogenen jährlichen Trendänderungen ergeben als Mittelwert aller Pegel etwa -0,5 %. Im Kap. 5.3.2, Bild 5.27 war dagegen für eine etwas größere Region aus 7 Pegeln, Reihe 1961 – 2002 mit -0,43 % eine deutlich größere mittlere Trendänderung ermittelt worden.

d) Langzeitverhalten von Niedrigwasser im Havelgebiet und in der Elbe  
(FINKE UND KRAUSE 2005)

Die Abflüsse im Havelgebiet sind zum großen Teil stark anthropogen beeinflusst (Sümpfungswasser aus dem Braunkohletagebau, Wasserentnahmen, Steuerung des Gewässersystems im Großraum Berlin usw.). Diese Einflüsse haben sich z. T. in den letzten 15 Jahren stark verändert. FINKE UND KRAUSE (2005) untersuchen diese Einflüsse anhand von Niedrigwasserkenngrößen und deren Veränderung während der Messzeit. Die Einzelergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind in einem BfG-Bericht (FINKE et al. 2004) ausführlich dargestellt. Neben den Niedrigwasserabflüssen  $NM_xQ$  mit  $x = 1, 5, 20$  und  $30$  d Dauer werden auch Unterschreitungsdauern und Abflussdefizite nach DVWK (1992) untersucht. Grundlage sind die Abflussdaten von 12 Pegeln des Havelgebietes und zwei daraus abgeleitete Zuflusssummen. Die Einzugsgebietsgrößen betragen bei 2 Pegeln  $153 \text{ km}^2$  und  $276 \text{ km}^2$ , die übrigen liegen zwischen ca.  $1.800 \text{ km}^2$  und  $10.100 \text{ km}^2$ . Die Länge der Messreihen beträgt zwischen 33 und 58 Jahren (meist bis zum Jahr 2000). Zum Vergleich mit den Pegelreihen des Havelgebietes werden 5 Pegel entlang der Elbe mit herangezogen (von Dresden bis Neu Darchau mit Messreihen von 70 bis über 100 Jahren). 3 der Elbepegel und 3 Pegel aus dem Havelgebiet sind auch unter den untersuchten Pegeln der vorliegenden Analysen (Kap. 5.3.2). Im Folgenden wird nur auf die Ergebnisse der Abflussanalysen selbst ( $NM_xQ$ ) eingegangen: Prüfung auf Homogenität, linearer Trend für die Gesamtreihe, Sprunganalyse, getrennte Trends für die Teilreihen vor und nach der Sprungstelle (soweit als signifikant ausgewiesen).

Nach der ausführlichen Darstellung der Einzelergebnisse in FINKE et al. (2004) lassen sich folgende Aussagen ableiten (hier beschränkt auf die Kenngröße  $NM_{30Q}$ ): Für die Elbepegel ergeben sich dort sehr ähnliche Ergebnisse wie in der hier vorliegenden Analyse: Sprünge 1954 bis 1964 und positive Trends zwischen etwa  $+0,35 \%$  (Dresden) und  $+0,1 \%$  (Neu Darchau). Für die Abflussmessreihen im Havelgebiet zeigen dagegen die 14 von FINKE et al. (2004) untersuchten Reihen eine noch größere Bandbreite im Abflussverhalten als die 5 in der vorliegenden Analyse (3 davon sind in beiden Auswertungen enthalten). Gemeinsam ist beiden Analysen die überwiegende Zahl negativer Trends. Bei FINKE et al. (2004) sind es 11 von 14 mit Trendänderungen von  $-1,0$  bis  $-4,4 \%$  pro Jahr. Bei den hier untersuchten Pegeln weisen 4 von 5 Pegeln negative Trends mit Trendänderungen zwischen  $-1,3 \%$  und  $-2,4 \%$  auf. Ein großer Teil dieses Trendverhaltens ist sicher auf die z. T. starken anthropogenen Einflüsse zurückzuführen, ein Teil aber auch auf Niederschläge mit ebenfalls negativem Trend, wie auch andere Pegel der Region (Küstengebiet, Oder, siehe Kap. 5.3.2) zeigen.

e) Niedrigwasserabflüsse im Rheingebiet im 20. Jahrhundert (BELZ 2005)

Es werden zunächst  $NM_{7Q}$ - und  $NM_{21Q}$ -Werte für 2 Pegel am Rhein, 2 Pegel an der Elbe und je 1 Pegel an Donau, Weser, Ems und Oder für die Reihe 1944 – 2003 statistisch analysiert (siehe auch BELZ et al. 2004). Es werden durchweg positive Trends festgestellt. Für das Rheingebiet erfolgen zusätzliche Analysen für 7 Pegel entlang des Rheins und je 1 Pegel an Mosel und Main ( $NM_{7Q}$ , Reihe 1901 – 2000). Bis auf die Mosel (Pegel Trier) sind alle Trends steigend. Zum Vergleich werden die zugehörigen Gebietsniederschläge untersucht, die alle einen steigenden Trend aufweisen. Eine weitere Trendanalyse für 11 Pegel an Rhein-

zuflüssen (NM7Q, Reihe 1951 – 2000) zeigt 7 positive und 3 negative Trends, ungleichmäßig über das Rheingebiet verteilt. Angaben über die Steigungsmaße der berechneten Trendgeraden werden nicht gemacht.

f) Niedrigwasserabfluss im Sommer 2003 an Fließgewässern Thüringens (HAUPT 2004)

Es werden die Niedrigwasserabflüsse von 28 Pegeln an thüringischen Gewässern mit zugehörigen Einzugsgebietsgrößen zwischen 12,5 km<sup>2</sup> und 4.174 km<sup>2</sup> statistisch untersucht (NMxQ mit  $x = 7, 15, 30, 60$  und 90 Tagen, Länge der Reihen 23 bis 84 Jahre, bis 2003). Hinsichtlich der Trends werden nur Angaben zu signifikanten Ergebnissen gemacht. Danach ist z. B. bei NM7Q an 3 Pegeln ein steigender und an 4 Pegeln ein fallender signifikanter Trend vorhanden. Bei den übrigen 21 Pegeln ist der Trend nicht signifikant oder seine Bestimmung war nicht möglich.

g) Niederschlags- und Abflusstrends in Mecklenburg-Vorpommern (MEHL et al. 2004)

Grundlage der Untersuchungen sind Daten von 11 Niederschlagsstationen (Reihe 1951 – 2000) sowie von 17 Pegeln an Fließgewässern ( $A_{E0}$  zwischen 5,5 und 777 km<sup>2</sup>, Reihe 1971 – 2000) in Mecklenburg-Vorpommern. Die Trendberechnungen erfolgen z. T. für jeden Monat des Jahres, meist aber für das hydrologische Winter- und Sommerhalbjahr sowie das Gesamtjahr.

Zunächst werden Niederschlagstrends mit den Ausgangsdaten für verschiedene Teilreihen von 30 Jahren und die Gesamtreihe von 50 Jahren berechnet. Für die Reihe 1971 – 2000 werden im Winterhalbjahr und im Gesamtjahr ausschließlich positive Trends nachgewiesen. Im Sommerhalbjahr sind die Trends immer noch bei 8 Stationen positiv und bei 3 Stationen negativ. Das ändert sich aber von Zeitreihe zu Zeitreihe z. T. stark. Für die Reihe 1951 – 2000 sind im Winter nach wie vor alle Trends positiv. Im Sommer haben jetzt aber 10 Stationen einen negativen Trend, womit die Zahl der positiven Trends im Gesamtjahr auf 5 zurückgeht. Hier zeigt sich einmal mehr die sehr große Abhängigkeit des Ergebnisses von Trendberechnungen von der verwendeten Messreihe, besonders bei kurzen Reihen.

Zum Vergleich mit den Trends der Abflussreihe für die untersuchten 17 Pegel werden aus den (vorher um mittlere Messfehler korrigierten) Niederschlagswerten 1971 – 2000 aus den Stationswerten Gebietsmittel für die Pegel-Einzugsgebiete gebildet. Dazu werden zuvor für ein Gebietsraster die Werte an den Rasterpunkten mit Hilfe von Entfernungsgewichten bestimmt. Die Gebietsmittel der Niederschläge und die Abflüsse an den Pegeln werden einer Trendberechnung unterzogen und die Ergebnisse gegenübergestellt (Tabelle 5.12 aus MEHL et al. 2004).

Man erkennt überwiegend negative Trends der Abflüsse an den Pegeln für beide Halbjahre und für das Gesamtjahr bei gleichzeitig fast ausschließlich positiven Trends der Niederschläge. Als mögliche Erklärungen dieses Phänomens werden erhöhte Verdunstung durch Zunahme der Temperaturen in den letzten Jahrzehnten oder anthropogene Einflüsse (Bewässerung in der Landwirtschaft, Zunahme von Bewaldung) genannt.

Das in der allgemeinen Tendenz gleiche Phänomen für diese Region hat sich auch bei den Trendanalysen der Reihe 1961 – 2002 nach Kap. 5.1.1 und Kap. 5.2.1 ergeben: positive Niederschlagstrends bei überwiegend negativen Abflusstrends für Winter, Sommer und Jahr.

**Tabelle 5.12** Lineare Trends für Abflusshöhen (Q) und Gebietsniederschläge (P)  
Anstiegswerte in mm/a, Zeitreihe 1971 – 2000, nach MEHL et al. 2004

Pegelname	Gewässer	A <sub>E0</sub> (km <sup>2</sup> )	Winterhalbjahr		Sommerhalbjahr		Jahr	
			Q	P	Q	P	Q	P
Börzow	Stepenitz	440	-0,59	1,99	-0,89	0,97	-1,47	2,95
Groß Görnow	Warnow	777	0,32	2,02	-0,37	0,74	-0,04	2,75
Langenbrütz	Warnow	352	-0,36	1,67	-0,55	0,42	-0,91	2,07
Rönkenhof	Warnow	248	0,38	1,54	0,00	0,31	0,37	1,85
Klueß	Lößnitz	187	0,41	1,78	-0,57	0,82	-0,16	1,72
Sternberger Burg	Mildenitz	524	0,02	1,38	-0,70	0,39	-0,67	1,77
Kluis	Duvenbach	60,6	1,33	1,82	-0,09	1,62	1,24	2,69
Sagard	Sagarder Bach	15,6	0,56	1,38	-0,56	1,09	0,02	2,45
Lodmannshagen	Mühlgraben	36,8	-0,81	1,41	-0,19	2,21	-1,01	3,60
Ziddorf	Westpeene	15,8	-3,65	1,52	-3,12	0,87	-6,76	2,38
Grimmen	Poggend. Trebel	61,5	-0,10	1,37	-0,20	0,61	-0,30	1,97
Zirzow	Malliner Wasser	302	-0,22	1,32	-0,61	0,30	-0,83	1,59
Burg Stargard	Lindebach	123	-0,70	1,00	-1,08	-0,08	-1,79	0,91
Gehren-Wald	Knüppelbach	5,52	-0,39	1,38	-0,25	0,10	-0,64	1,47
Löcknitz	Randow	329	-0,95	1,72	-0,30	1,75	-1,24	3,47
Garlitz	Sude	713	1,22	2,34	0,30	1,69	1,54	4,03
Kl. Bengerstorf	Schaale	414	0,30	2,41	0,12	1,47	0,44	3,89

## 6 Ergebnisse zum Trockenjahr 2003 aus anderen Studien

### 6.1 Fließgewässer (Abflussmengen)

#### 6.1.1 Berichte aus Deutschland

Zum Niedrigwasserjahr 2003 wurden von etlichen wasserwirtschaftlichen Dienststellen des Bundes und der Länder, von Dienststellen benachbarter Staaten sowie von Wasserverbänden und Talsperrenbetreibern Dokumentationen erstellt und Bewertungen vorgenommen. Dabei wurden auch Abflüsse an ausgewählten Pegeln untersucht und dargestellt. Die folgende Zusammenstellung gibt dazu eine Übersicht.

- a) Wasserwirtschaftliche Dienststellen des Bundes und der Länder
  - > Bundesanstalt für Gewässerkunde,  
Jahresbericht 2003 (BfG 2004)  
Veröffentlichungen von BELZ et al. (2004), BELZ (2005)  
Aussagen zu Abflüssen 2003 für ausgewählte Fließgewässer in diesen Berichten wurden im Kap. 5.3.6 dargestellt.
  - > Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg  
Das Niedrigwasserjahr 2003 (LfU BW 2004 a)  
Exemplarische Darstellung der Abflussverhältnisse für 4 ausgewählte Pegel.
  - > Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft  
Wasserwirtschaftlicher Bericht Trockenperiode 2003 (Kurzfassung) (LFW BY 2004)  
Angaben von NQ, NMQ, MQ aus den Trockenjahren 1947, 1976, 2003 für 37 Fließgewässer in Bayern, dazu NM7Q (2003) mit Angabe der Häufigkeit.
  - > Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin  
Das Trockenjahr 2003 im Land Berlin (Senat Berlin 2004)  
Ganglinien der Tagesmittel des Abflusses 2003 im Vergleich zu Monatsmitteln 1991 – 2002 für 14 Messstellen.

- > Landesumweltamt Brandenburg  
Umweltdaten aus Brandenburg 2003, Kap. 3 Wasser (LUA BB 2004)  
Ganglinien der Tagesmittel des Abflusses für 2003 im Vergleich zu Monatsmitteln von längeren Reihen für 7 ausgewählte Pegel.
  - > Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen  
Jahresbericht 2003: Das hydrologische Jahr 2003 und das außergewöhnliche Niedrigwasser des Rheins im Sommer 2003 (LUA NW 2004)  
Ganglinien 2003 für je 1 Pegel an Rhein, Ems und Erft.
  - > Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz  
Sommer 2003 – Ein wasserwirtschaftlicher Bericht zur Hitzeperiode im Jahr 2003 (LfW RP 2004)  
Tabellen mit Monatsabflüssen 2003 im Vergleich zu 1973 – 1999 (MQ und NQ, Mai – September) für 17 Pegel, Ganglinien für 4 Pegel, Wasserstände für 6 Pegel an Wasserstraßen.
  - > Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein  
Niedrigwasserbericht Sommer 2003 (LANU SH 2003)  
Die Untersuchungen beschränken sich auf Wasserstände (wegen Problemen bei der Abflussermittlung durch Verkrautung, Tideeinfluss).  
Einordnen der NW (2003) im Spektrum NNW – MNW für 187 Pegel, Ganglinien W Mai – September 2003 für ca. 70 Pegel, Unterschreitungshäufigkeit von W für 7 Pegel.
  - > Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie  
Veröffentlichung HAUPT 2004, siehe Kap. 5.3
- b) Wasserverbände und Talsperrenbetreiber
- > Wasserverband Eifel-Rur  
Sicherheitsberichte für 5 Talsperren (WV Eifel-Rur 2004)  
Für jede Talsperre Zuflussmengen 2003 (Tagesmittel) im Vergleich mit langjähriger Reihe (Monatsmittel).
  - > Erftverband  
Jahresbericht 2003 (Erftverband 2004)  
Mittlere Abflüsse Sommer 2003 im Vergleich mit langen Reihen für 3 Pegel, Ganglinie des Jahres-MQ 1955 – 2003 für Erft (Neubrück).
  - > Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen  
Geschäftsbericht 2003 (LTV SN 2004)  
Jahreszuflüsse 2003 zu 19 Speichern in % des langjährigen Mittels.
  - > Ruhrverband  
Jahresbericht 2003 „Ruhrwassermenge“ (Ruhrverband 2004)  
Monatsmittel des Abflusses 2003, 2002, 1927 – 2002 für Ruhrmündung (unbeeinflusst), gemessene Abflüsse Pegel Villigst und Hattingen, Ganglinien und Tabellen Tagesmittel Q (2003) für Pegel Villigst und Hattingen.

- > Wupperverband  
Jahresbericht 2003, Teil „Wasserwirtschaft – Gewässer“ (Wupperverband 2004)  
Ganglinie Tagesmittel des Abflusses 2003 für Wuppertal, Monatsmittel des Abflusses  
2003 im Vergleich zum langjährigen Mittel für Einzugsgebiet der Bever-Talsperre.

Auf die Analysen in diesen Berichten zu Abflussmengen in den Fließgewässern wird im Folgenden nicht weiter eingegangen. Sie sind eine gute Ergänzung der eigenen Untersuchungen anhand der ausgewählten 159 Pegel, wenn sie auch zum großen Teil auf der Basis anderer Zeitreihen und z. T. mit anderen Methoden erfolgten. Die Berichte dienen aber in den folgenden Kapiteln als Quelle zu anderen Aspekten der Niedrigwasserperiode 2003, für die keine eigenen Erhebungen durchgeführt wurden.

Ein wenig beachtetes Phänomen in allen vorliegenden Berichten ist das Trockenfallen bei kleinen Fließgewässern im Verlauf der Niedrigwasserperiode 2003, worauf nur vereinzelt hingewiesen wird. Umfang und Häufigkeit solcher Erscheinungen hängen von der Lage und Speicherfähigkeit der Grundwasser führenden Schichten im jeweiligen Einzugsgebiet ab. Im Bericht LfU BW (2004 a) wird über das Trockenfallen von Gewässerabschnitten in der Oberreinebene berichtet (z. B. der Draissam unterhalb von Freiburg mit einem Einzugsgebiet von ca. 300 km<sup>2</sup>). In der Schweiz (BUWAL 2004) hat eine Umfrage bei den Kantonen ergeben, dass 2003 in 352 Fischgewässern 245 km trocken gefallene Abschnitte aufgetreten sind. Diese Angabe ist aber ohne nähere Informationen nur schwer zu beurteilen und sicher nicht ohne weiteres auf andere Regionen übertragbar.

Eine Besonderheit für das Trockenfallen eines Gewässers stellt die so genannte Donauversinkung oberhalb von Tuttlingen dar, wo jedes Jahr größere Zuflussmengen über längere Zeit vollständig in den verkarsteten Untergrund gelangen und vor allem in der Aachquelle etwa 10 km südlich wieder zu Tage treten. Nach LfU BW (2004 a) betrug die Dauer der Vollversinkung 2003 195 Tage gegenüber dem Mittelwert von 128 Tagen für den Zeitraum 1884 – 2003. Es war die längste Vollversinkungsphase seit 1960. Allerdings traten z. T. deutlich längere Perioden in den 30er- und 40er-Jahren auf.

### **6.1.2 Berichte aus Nachbarstaaten**

Große Teile des Oberlaufs der deutschen Ströme liegen in benachbarten Staaten: vom Rheineinzugsgebiet bis zur holländischen Grenze ca. 43 %, vom gesamten Elbegebiet ca. 35 % und vom Odergebiet sogar 95 %. Dazu kommen die Oberläufe der südlichen Zuflüsse zur Donau aus Österreich. Zur Analyse der Niedrigwasserperiode 2003 wären deshalb Informationen auch aus diesen Teilen der genannten Flüsse wichtig. Dazu liegen Berichte aus der Schweiz, aus Österreich und aus Tschechien vor, leider aber nicht aus Polen für die Oder.

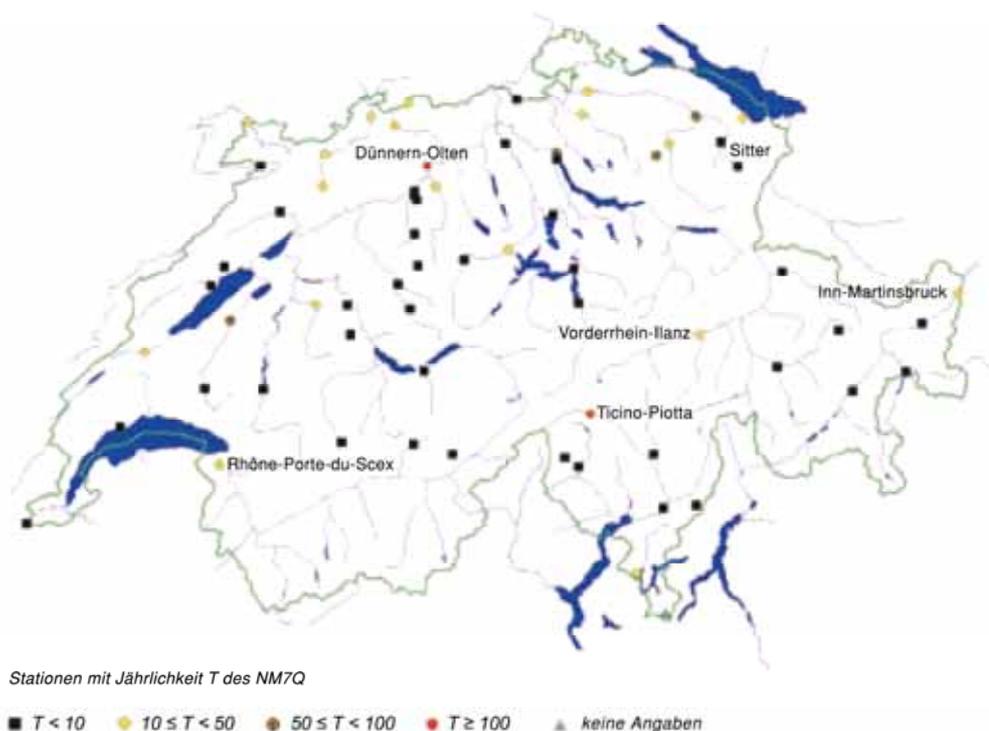
- a) Niedrigwasserabflüsse 2003 im schweizerischen Teil des Rheingebietes (BUWAL 2004)

Die Schweiz hat mit diesem Bericht eine sehr informative und umfangreiche Dokumentation zu allen Aspekten der Trockenperiode 2003 erstellt (Meteorologie, Gletscher, Hydrologie der Oberflächengewässer, Zustand der Oberflächengewässer, Grundwasser, Feuchtgebiete, Wassernutzungen, Fischerei, Badegewässer, Trinkwasserversorgung, Wasserkraftnutzung und Schifffahrt). Hier wird nur auf die Abflüsse in den Oberflächengewässern des Rheineinzugsgebietes kurz eingegangen.

Nach Kap. 2.2 (Bilder 2.2 und 2.3) gehörte die Schweiz mit großen Teilen zu den von den meteorologischen Extremen 2003 am stärksten betroffenen Regionen Europas (hohe Temperaturen, geringe Niederschläge im Sommer 2003). Das hat u. a. auch zum weitaus größten Massenverlust der Schweizer Gletscher in einem Jahr seit 1980 geführt. Dadurch ist aber auf der anderen Seite für Gebiete mit größerem Gletscheranteil die Auswirkung der Trockenperiode auf die Abflüsse gemildert worden.

Im Rheineinzugsgebiet (Vorderrhein, Hochrhein, Aare, Thur, Linth und Limmat) lagen die Monats-NQ 2003 im August und September zum Teil zwischen dem Abfluss mit 5 % Unterschreitungshäufigkeit und dem bisher kleinsten gemessenen Wert, beim Vorderrhein und der Aare zwischen 5 und 25 % Unterschreitungshäufigkeit.

Außerdem wurden verschiedene Niedrigwasserkennwerte statistisch untersucht (NMxQ für  $x = 1, 7, 14$  und  $30$  d sowie maximale Unterschreitungsdauer und maximales Defizitvolumen). Danach sind den NMxQ-Werten 2003 im Vergleich zu unterschiedlich langen Messreihen folgende Wiederholungszeitspannen zuzuordnen: Rhein (Rekingen und Rheinfelden) 10 – 50 a, Vorderrhein ca. 10 a, Aare < 10 a, Thur ca. 10 a, Limmat 50 – 100 a (siehe Bild 6.1). Die Unterschiede bei den Hochrhein-Pegeln Rekingen und Basel zu den Untersuchungen im Kap. 4.3.4 ( $T_n = 2 - 5$  a bzw.  $5 - 10$  a) können auch mit den recht kurzen Vergleichsreihen (1973 – 1997) in der Schweizer Untersuchung zusammenhängen. Im Übrigen zeigen die Ergebnisse aus dem Schweizer Bericht vergleichbare Einschätzungen der Niedrigwassersituation 2003 mit Tendenz zu etwas extremeren Zuständen in der Schweiz.



**Bild 6.1** Jährlichkeit T der Niedrigwasserabflüsse NM7Q für 2003, ausgewählte Messstationen der Schweiz (aus BUWAL 2004)

b) Niedrigwasserabflüsse 2003 in Österreich (Donauzuflüsse bis Passau)  
(BM-LFUW 2004)

Der wichtigste Zufluss aus Österreich zur Donau bis Passau ist der Inn mit seinem Nebenfluss Salzach. Der vorliegende Bericht aus Österreich gliedert sich im Wesentlichen nach Bundesländern, so dass für diese Gewässer vor allem Tirol und Salzburg zu betrachten sind. Leider enthält der Bericht zur Abflusssituation überwiegend nur allgemeine Beschreibungen. Wie auch in der Schweiz werden extreme Verhältnisse z. T. durch Schmelzwasserzuflüsse gemildert. Trotzdem wurden z. B. auch am Inn 2003 die langjährigen Niedrigwasserabflüsse unterschritten. An Saalach und Salzach lagen die Werte zwischen Mittel- und Niedrigwasser. Nördlich von Salzburg fielen einige kleine Gewässer trocken. Im Übrigen waren in Österreich 2003 der Osten und Südosten des Landes (Teile des Burgenlandes, der Steiermark und von Kärnten) stärker von Niedrigwasser betroffen als die anderen Landesteile.

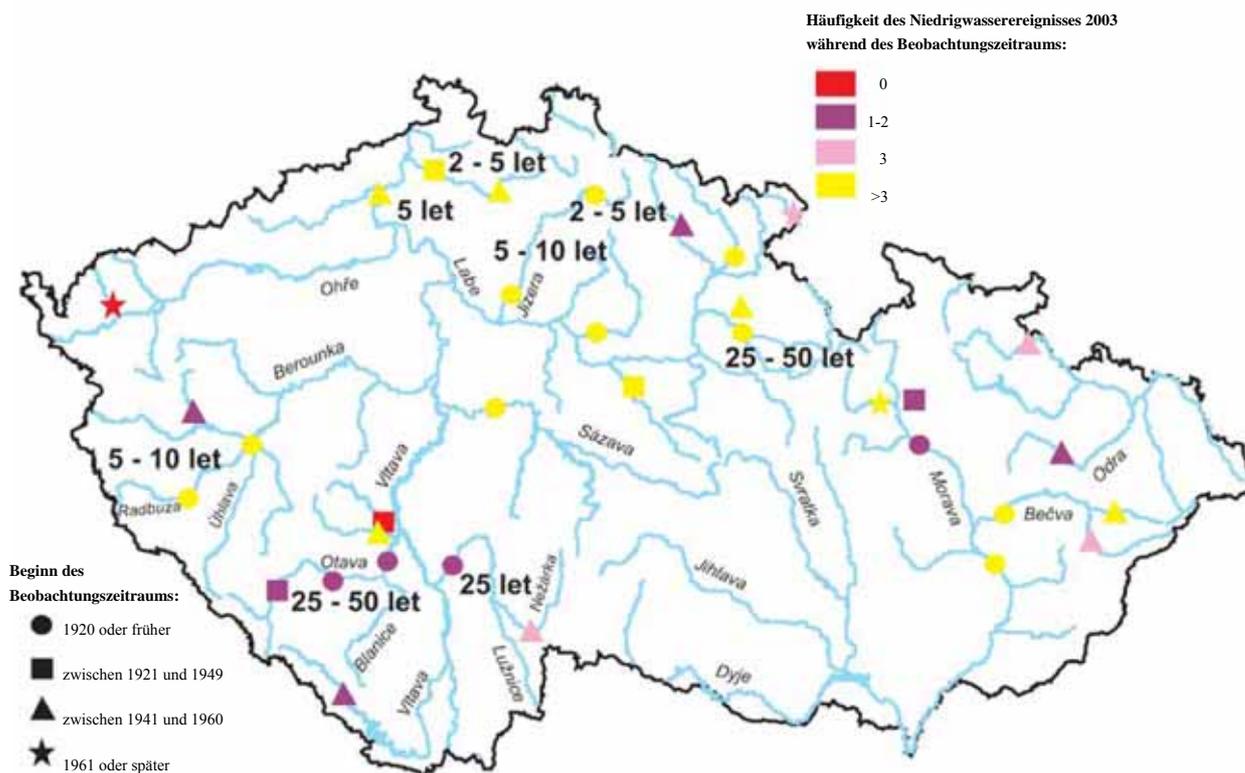
c) Niedrigwasserabflüsse 2003 in Tschechien (Elbegebiet), (HMÚ 2004, IICOVÁ 2004)

Über die Situation während der Trockenperiode 2003 in Tschechien liegen zwei inhaltlich sehr ähnliche Berichte vor. Zur Bewertung des Niedrigwassers 2003 wurden zunächst alle Pegel ermittelt, bei denen NQ (2003) kleiner war als Q (364) (1961 – 1990), d. h. kleiner als der im Mittel an einem Tag pro Jahr unterschrittene Abfluss. Im Elbegebiet waren das 22 Pegel über das Gewässersystem verteilt. Für sie wurde anhand der tatsächlich vorliegenden Reihen (Beginn zwischen 1911 und 1960) ermittelt, wie oft NQ (2003) unterschritten worden war. Die Ergebnisse sind im Bild 6.2 dargestellt. Danach war der Abfluss NQ (2003) an zwei kleineren Zuflüssen der kleinste der Messreihe, an verschiedenen Zuflüssen zur Moldau und im Riesengebirge war er bisher 1- bis 2-mal, im größten Teil des Elbegebietes aber häufiger als 3-mal (bis zu 8-mal) unterschritten worden.

Für 8 Pegel im Elbegebiet wurde eine statistische Analyse der Niedrigwasserabflüsse mit 30 Tagen Dauer (entspricht NM30Q) für die Reihe 1931 – 1990 durchgeführt und die Wiederholungszeitspannen des Wertes für 2003 ermittelt. Die Ergebnisse sind im Bild 6.2 mit eingetragen. Für den Elbepiegel Ústí nad Labem kurz oberhalb der Grenze zu Deutschland wurde  $T_n = 5$  a ermittelt, was etwa mit der Einstufung für den Pegel Dresden unterhalb der Grenze nach Kap. 4.3.4 übereinstimmt. Ähnliche  $T_n$ -Werte wurden auch für verschiedene Elbezuflüsse im nördlichen Bereich Tschechiens ermittelt, dagegen bei Zuflüssen zur Moldau (Vltava) im Süden  $T_n$ -Werte zwischen 25 und 50 Jahren.

Für 3 Pegel an kleineren Zuflüssen zur Moldau und zur Elbe selbst wurden schließlich Defizitvolumina und Unterschreitungsdauern für vorgegebene Schwellenwerte ermittelt und die Ergebnisse 2003 mit denen ab 1971 verglichen. Es ergaben sich für 2003 Unterschreitungshäufigkeiten von nur wenigen Prozent.

Im tschechischen Teil des Elbegebietes, vor allem im Gebiet von Moldau und Eger befindet sich eine größere Zahl von Talsperren, die in den Jahren 1957 bis 1969 gebaut wurden und zusammen 1800 Mio. m<sup>3</sup> Speicherraum aufweisen (FINKE et al. 2004). Sie sollten u. a. sicherstellen, dass am Pegel Dresden ein Abfluss von 100 m<sup>3</sup>/s nicht unterschritten wird. Leider liegen über den Betrieb und die Wirksamkeit dieser Anlagen während der Niedrigwasserperiode 2003 keine Informationen vor. Am Pegel Dresden wurde aber 2003 der Abfluss von 100 m<sup>3</sup>/s als Monatsmittelwert nicht unterschritten, sondern nur an insgesamt 21 Tagen im Zeitraum Juli bis September 2003 mit einem kleinsten Wert von NQ = 90 m<sup>3</sup>/s.



**Bild 6.2** Häufigkeiten des Niedrigwasserereignisses 2003 (NQ, NM30Q) für ausgewählte Pegel in Tschechien (nach HMÚ 2004, verändert)

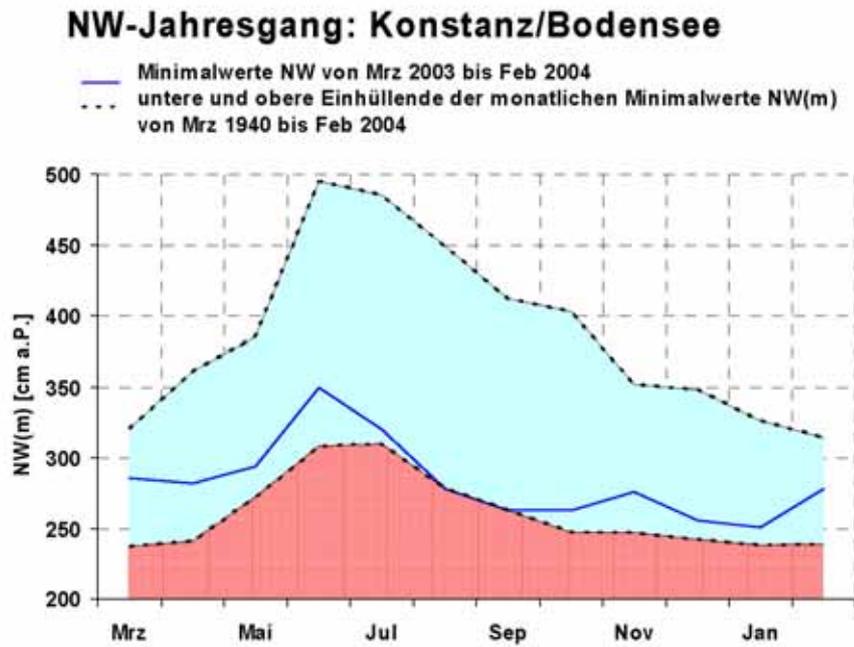
## 6.2 Seen

Über die Auswirkungen der Trockenperiode 2003 auf die Wasserstände natürlicher Seen gibt es in den vorliegenden Berichten nur wenige Informationen.

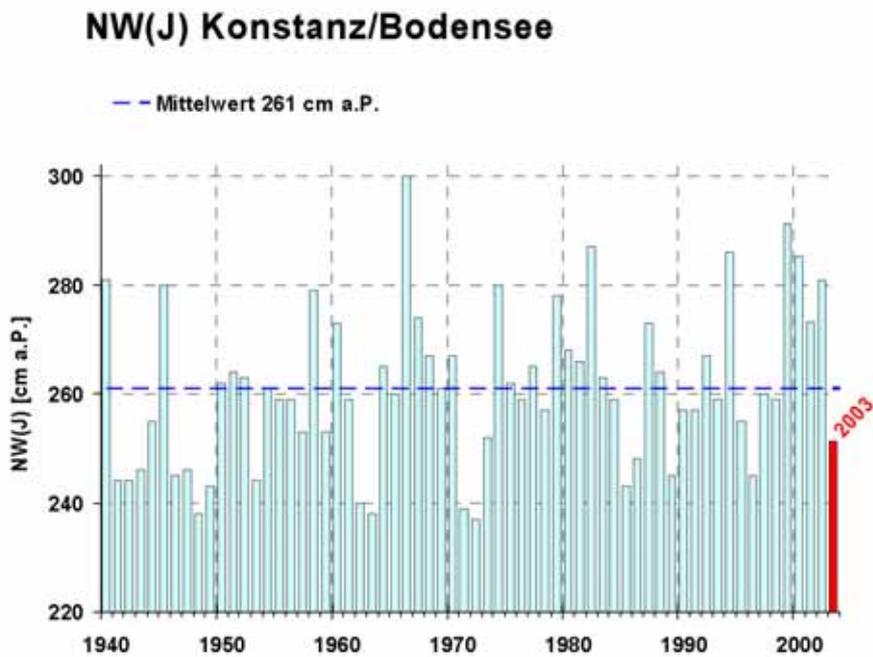
- > Bodensee  
Berichte Baden-Württemberg (LfU BW 2004 a), Schweiz (BUWAL 2004), Österreich (BM-LFUW 2004)

Bild 6.3 (aus LfU BW 2004 a) zeigt die Ganglinien der kleinsten Monatswerte des Wasserstandes für Konstanz (2003/2004 und Grenzwerte 1940 – 2004). Wegen des Regimes des Alpenrheins treten die maximalen Wasserstände im Sommer und die minimalen im Winter auf. Das war auch 2003 der Fall, wobei im August und September die kleinsten Werte der Reihe 1940 – 2004 erreicht wurden. Der kleinste Wert infolge der Trockenperiode 2003 trat aber erst im Januar 2004 auf. Dieses Jahresminimum wurde aber in der Vergangenheit schon vielfach unterschritten (Bild 6.3). Die ungewöhnlich niedrigen Wasserstände im Sommer 2003 haben vor allem im Untersee im Vergleich zum mittleren Wasserstand große Flachwasserbereiche trockengelegt (LfU BW 2004).

a)



b)



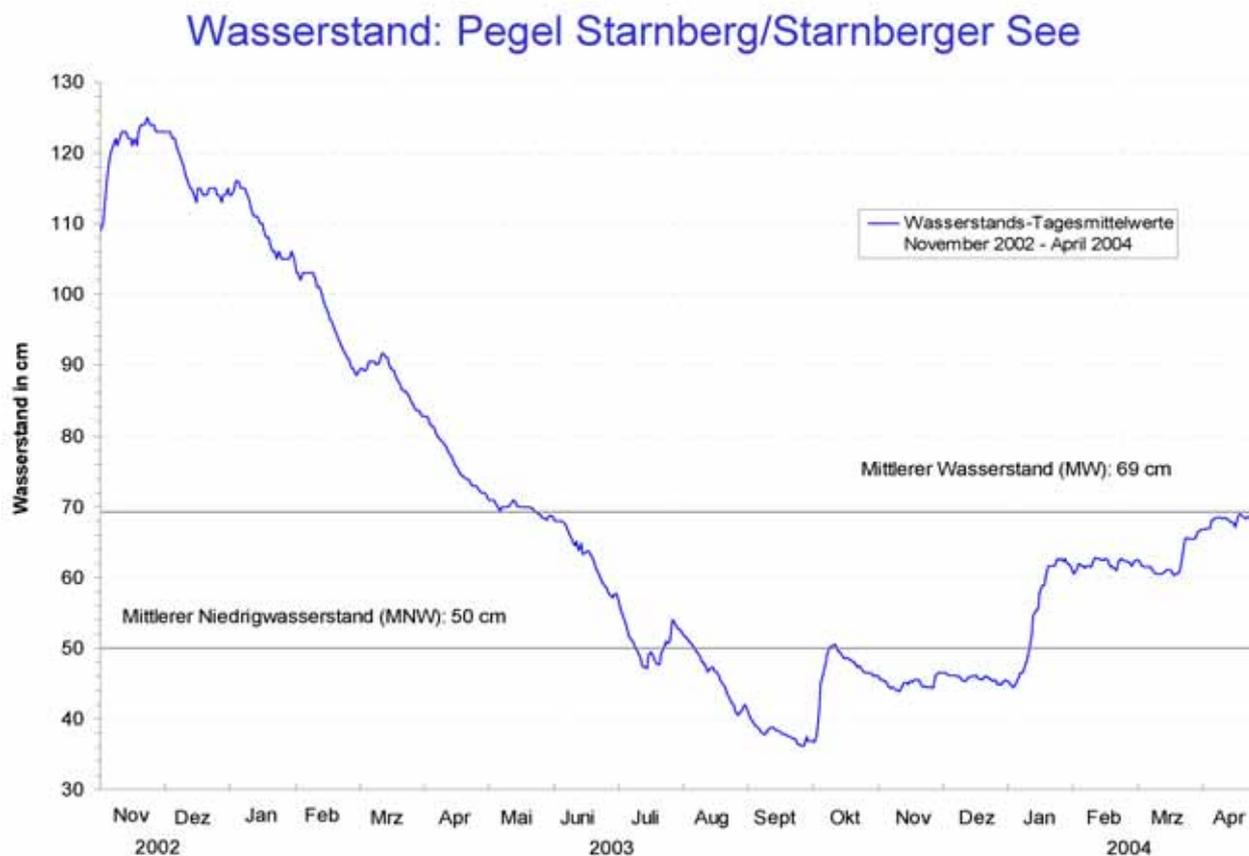
**Bild 6.3** Wasserstände des Bodensees (Pegel Konstanz)  
a) Jahresgang 2003  
b) NW-Jahreswerte 1940 – 2003  
(aus LfU BW 2004 a)

> Oberbayerische Seen  
(BStM-UGV 2004)

Die nicht oder kaum durch alpine Zuflüsse geprägten oberbayerischen Seen zeigten 2003 eine verhältnismäßig kontinuierliche Abnahme der Wasserstände vom Höchstwert Dezember 2002 bis zum Minimum im August oder September 2003, für das Beispiel Starnberger See um ca. 90 cm (Bild 6.4). Für 7 Seen wurden die Wasserstände am 11.08.2003 den kleinsten Werten (NW) und den mittleren Niedrigwasserständen (NMW) aus den Sommerhalbjahren seit 1970 gegenübergestellt. Die Werte vom 11.08.2003 lagen danach zwischen MNW (Tegernsee) und NW (Ammersee), wobei der Unterschied zwischen MNW und NW bei allen 7 Seen nur maximal 22 cm beträgt.

Zu weiteren natürlichen Seen in Deutschland (z. B. in Norddeutschland) liegen keine Berichte der zuständigen Dienststellen vor oder es sind in diesen Berichten dazu keine konkreten Aussagen gemacht worden. Hinweise zu bewirtschafteten Seen (im Havelgebiet) werden im Kap. 6.4 „Speicher“ wiedergegeben, zur Frage der Eignung als Badegewässer (Flussseen des Spree-Systems in Berlin) im Kap. 6.5 „Wasserbeschaffenheit“.

Darüber hinaus enthält der Bericht aus Österreich (BM-LFUW 2004) noch Angaben zu den Wasserständen des Neusiedler Sees und der Bericht aus der Schweiz (BUWAL 2004) Angaben zu 5 Seen der Nord- und Südschweiz.



**Bild 6.4** Wasserstände Starnberger See (Starnberg) 2003 – 2004  
(aus BStM-UGV 2004)

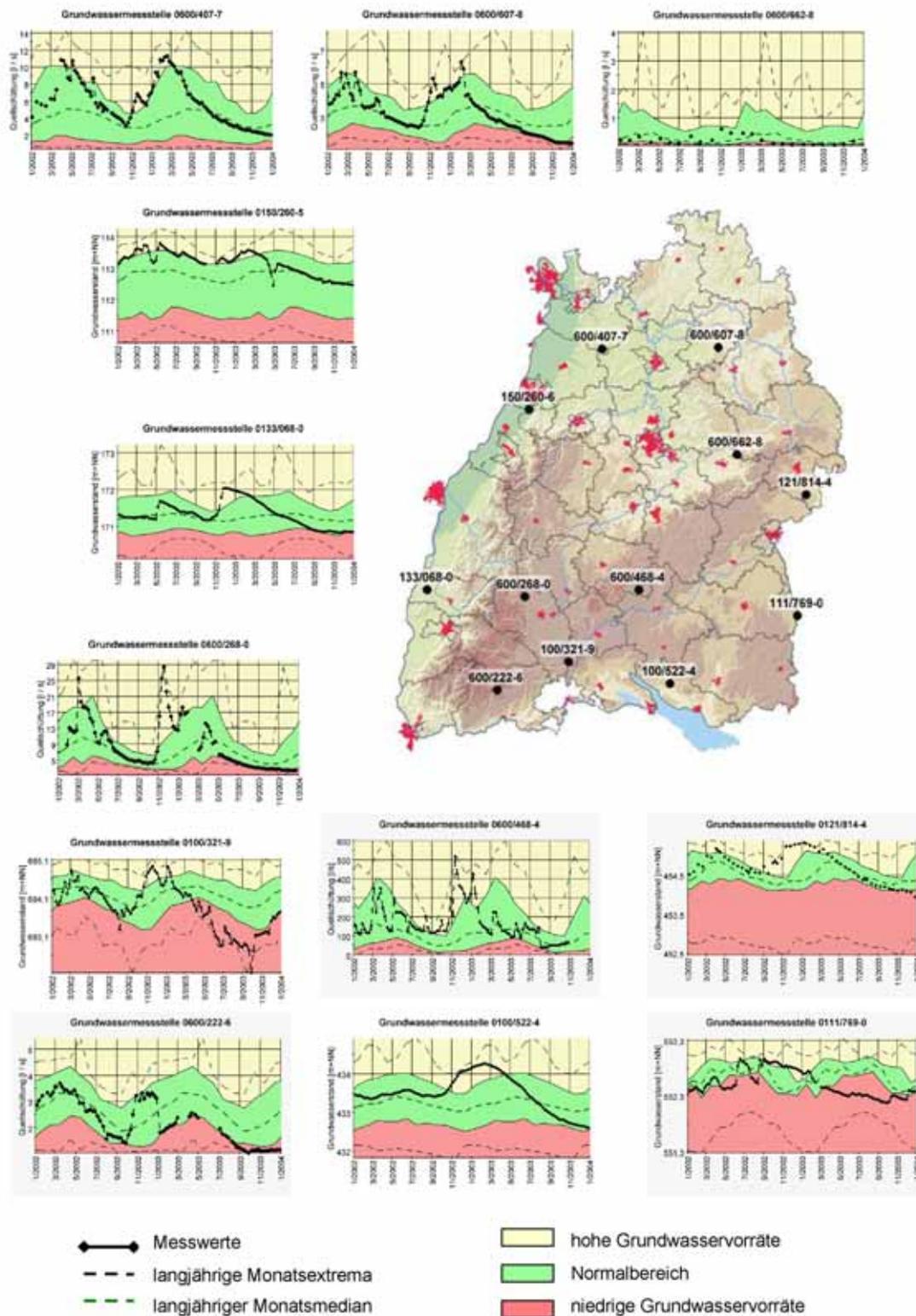
### 6.3 Grundwasser und Quellen (Wasserstände und Abflüsse)

Da der überwiegende Teil des Wassers für die öffentliche Versorgung in Deutschland aus dem Grundwasser erfolgt, enthalten die vorliegenden Berichte wasserwirtschaftlicher Dienststellen über die Trockenperiode einige Informationen zur Situation des Grundwassers in dieser Zeit. Dabei wird vereinzelt auch auf Quellen als natürliche Grundwasseraustritte eingegangen.

Einen guten Überblick für Baden-Württemberg enthält die Dokumentation LfU BW (2004 b) am Beispiel von 6 Grundwasser- und 6 Quellschüttungsstellen. Aus ihr wurde Bild 6.5 mit den zugehörigen Ganglinien für 2002 und 2003 entnommen. Bei allen diesen Messstellen zeigt sich eine Auffüllung des Grundwasserleiters bzw. Aufhöhung der Quellschüttung durch die hohen Niederschläge Ende 2002 bis Anfang 2003. Dadurch werden meist Werte erreicht, die über den Mittelwerten der Vergleichsreihen, zum Teil im Bereich der maximalen Werte liegen. Danach erfolgt ein mehr oder weniger kontinuierlicher Rückgang während der Trockenperiode 2003, der z. T. bis Anfang 2004 reicht. Die Quellschüttungen gehen auf 20 % bis zu 5 % des Jahresmaximums zurück. Die Grundwasserstände sinken um ca. 0,5 bis 1,8 m. Lysimetermessungen an verschiedenen Stellen in Baden-Württemberg zeigen von März an, zum Teil bis Dezember 2003 keine Grundwasserneubildung. Welche minimalen Werte am Ende dieses Prozesses erreicht werden, hängt vom Füllungszustand zu Beginn und von der Speicherfähigkeit des Grundwasserleiters ab. Eher mittlere Verhältnisse herrschten Ende 2003 an den Grundwassermessstellen in der Rheinebene (vor allem 0150/206-5) oder in der Illerniederung (0111/769-0). Hier verlaufen die Veränderungen auch stark gedämpft. Geringe Werte gegen Ende 2003 und große Schwankungen treten bei einigen Quellen auf, z. B. im Jura (0600/468-4) oder im Granit (0600/222-6).

Aus Bayern gibt es einen ausführlichen Bericht zur Situation des Grundwassers 2003/2004 (BStM-UGV 2004), der ebenfalls Ganglinien einer großen Zahl von Messstellen aus quartären, oberflächennahen Grundwasserleitern enthält. Genauer dargestellt werden die Unterschiede anhand einer Messstelle aus der Schotterebene bei München, aus einem Talaquifer am Alpenrand, einer Quellschüttung im Kristallin und aus einer Muschelkalkregion. Dabei werden die schon oben beschriebenen Besonderheiten deutlich. In der Münchener Schotterebene sind von Januar bis September Grundwasserabsenkungen von 5 m im Süden bis 0,5 m im Norden aufgetreten, was insgesamt einem Grundwasserdefizit von über 60 Mio. m<sup>3</sup> entspricht. Im Zentrum des Gebietes lag der niedrigste Grundwasserzustand aber nur geringfügig unter dem langjährigen Mittel.

Auch der Bericht aus Rheinland-Pfalz (LFW RP 2004) zeigt am Beispiel von 2 Grundwasser- und 1 Quellschüttungsstelle (alle aus Festgesteinsbereichen) ähnliche Verläufe wie vorher beschrieben. Die Minimalwerte Ende 2003 liegen unter den vieljährigen Mittelwerten; es kann aber nicht von einem Extremjahr gesprochen werden.



**Bild 6.5** Grundwasserstände und Quellschüttungen für ausgewählte Messstellen in Baden-Württemberg 2002 – 2003 (aus LfW BW 2004 b)

Aus Norddeutschland liegen Informationen zur Beurteilung der Grundwasserstände 2003 nur aus Brandenburg vor (LUA BB 2004). Anhand von 8 über das Land verteilten Messstellen wird die langjährige Entwicklung der Jahresmittel der Grundwasserstände dargestellt. Gegenüber 2002 ist 2003 in den Neubildungsgebieten ein Absinken um ca. 25 cm erfolgt, in den Hochflächenbereichen aber z. T. ein Anstieg, weil sich wegen der großen Flurabstände die hohen Niederschläge 2002 mit großer Verzögerung bis weit in das Jahr 2003 auswirkten. Verglichen mit den Werten der langen Reihen lagen die Jahresmittel der Grundwasserstände 2003 meist etwas unter den mittleren Werten. Für 5 Messstellen wurden außerdem Trenduntersuchungen durchgeführt, wobei 4 davon einen negativen Trend von ca. 1 – 5 cm/Jahr aufweisen.

## 6.4 Speicher und ihre Bewirtschaftung

Speicher zur Trink- und Brauchwasserversorgung oder zur Niedrigwasseraufhöhung in Gewässern zogen im Trockenjahr 2003 natürlich ein besonderes Interesse auf sich. Dementsprechend gibt es dazu viele Informationen in den vorliegenden Dokumentationen dieses Ereignisses.

### 6.4.1 Anlagen in Bayern (LfW BY 2004)

- > Überleitung von Donau- und Altmühlwasser ins Regnitzgebiet (mit Rothsee und Großem Brombachsee)

Aus der Donau durfte im August/September 2003 mehrere Wochen kein Wasser entnommen werden, weil der festgelegte Grenzwert von 140 m<sup>3</sup>/s in der Donau unterschritten wurde. Durch die Speicher konnte trotzdem eine Aufhöhung am Pegel Hüttendorf von 15,2 m<sup>3</sup>/s auf 21,2 m<sup>3</sup>/s sichergestellt werden. In den Monaten Juli – September 2003 wurden aus dem insgesamt zur Aufhöhung vorgesehenen Volumen von 65 Mio. m<sup>3</sup> 56,5 Mio. m<sup>3</sup> abgegeben.

- > Sylvenstein-Speicher

Zur Niedrigwasseraufhöhung in der Isar stehen ca. 40 Mio. m<sup>3</sup> Volumen bereit. Der Mindestabfluss in Bad Tölz von 20 m<sup>3</sup>/s konnte durchgehend eingehalten werden (Zuschuss von bis zu 43 %). Dazu wurden 76 % des dafür vorgesehenen Speicherraums in Anspruch genommen.

- > Rottachsee

Es stehen 20 Mio. m<sup>3</sup> zur Aufhöhung in der Iller und der Donau bei Neu-Ulm zur Verfügung. Die Zielwerte für die Abflüsse wurden in der Donau mit geringfügigen Einschränkungen eingehalten. Für die Iller wurde zur Absenkung der Wassertemperatur etwa 3 Wochen lang Wasser abgegeben.

- > Förnitzalsperre

Zur Verbesserung der Niedrigwasserhaushalte der Sächsischen Saale stehen 10 Mio. m<sup>3</sup> Volumen bereit. Das Aufhöhungsziel konnte mit Einsatz von 4,2 Mio. m<sup>3</sup> sichergestellt werden.

> Trinkwassertalsperre Mauthaus

Zur Versorgung von Oberfranken stehen 14,9 Mio. m<sup>3</sup> Volumen zur Verfügung. Soweit möglich, soll auch eine Niedrigwasseraufhöhung in der Rodach erfolgen (2003 bis zu 40 %). Für diese beiden Zwecke wurden in den Monaten Juli – September 2003 4,35 Mio. m<sup>3</sup> bereitgestellt (Absenkung auf 63 % der maximalen Füllung).

> Trinkwassertalsperre Frauenau

Zur Trinkwasserversorgung weiter Teile des Bayerischen Waldes und zur Niedrigwasseraufhöhung des Kleinen Regens stehen ca. 15 Mio. m<sup>3</sup> zur Verfügung. Von Juli – September 2003 wurden knapp 3 Mio. m<sup>3</sup> abgegeben (Absenkung auf 63 % der maximalen Füllung).

#### **6.4.2 Ruhrverband (Ruhrverband 2004)**

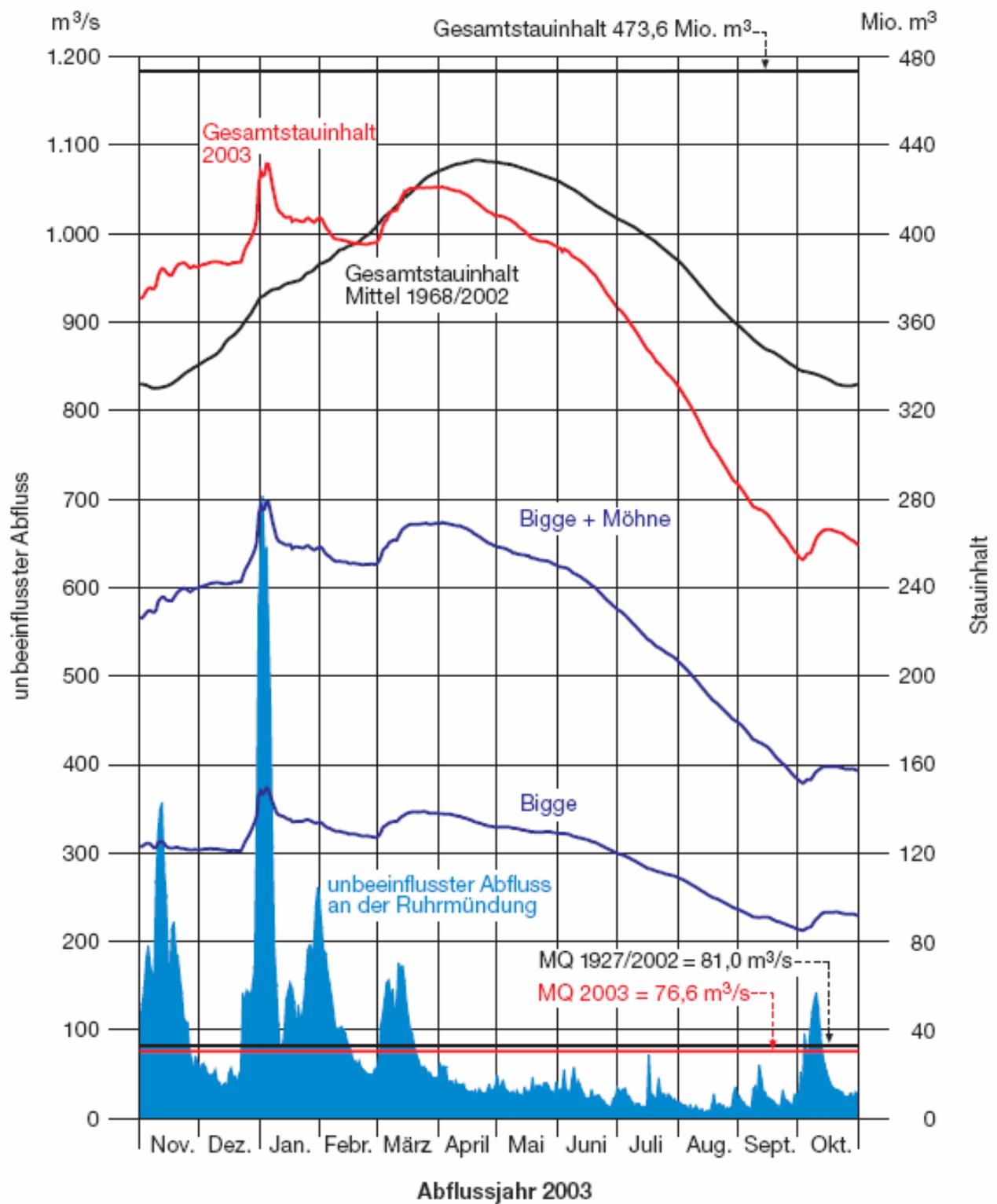
Der Ruhrverband betreibt 6 Talsperren mit insgesamt ca. 474 Mio. m<sup>3</sup> Stauraum zum Ausgleich für die Entnahmen aus dem Ruhrtal für die öffentliche Wasserversorgung. Der Ausgleich war 2003 von Anfang Mai bis Ende September erforderlich, insgesamt an 17 % mehr Tagen als im langjährigen Mittel und mit maximal 22,3 m<sup>3</sup>/s Zuschuss (bezogen auf die Mündung in den Rhein). Ohne diese Mengen wäre die Ruhr im August etliche Male trocken gefallen. Für die obere Ruhr (Pegel Villigst) war der Aufhöhungsbedarf relativ gesehen noch größer.

Die Aufhöhungsziele konnten 2003 ohne Probleme eingehalten werden (siehe Bild 6.6). Von einer maximalen Füllung der Talsperren im Januar 2003 mit zusammen ca. 430 Mio. m<sup>3</sup> sank das Volumen bis Ende September auf ca. 252 Mio. m<sup>3</sup>, d. h. auf 53 % des verfügbaren Stauraums, für die einzelnen Talsperren auf Werte zwischen 40 % und 64 %.

#### **6.4.3 Wasserverband Eifel-Rur (WV Eifel-Rur 2004)**

Der Wasserverband Eifel-Rur betreibt Speicher zur Trinkwasserversorgung und gleichzeitig zum Niedrigwasserausgleich für die Gewässer unterhalb. Das im Sommerhalbjahr nutzbare Speichervolumen beträgt ca. 260 Mio. m<sup>3</sup>, davon entfallen ca. 180 Mio. m<sup>3</sup> auf die Rurtalsperre Schwammenauel.

Die Talsperren waren durch die hohen Zuflüsse im Winter 2002/2003 fast alle bis auf den Hochwasserschutzraum gefüllt und erreichten im März/April 2003 die höchsten Füllungsgrade zwischen etwa 80 % und über 90 %. Das war z. T. deutlich mehr als im langjährigen Mittel zu dieser Zeit. Im Verlauf des Sommers 2003 nahmen die Zuläufe zu den Talsperren stark ab, lagen aber bei der Rurtalsperre über den bisherigen kleinsten Werten der Vergangenheit. Trotzdem war es ohne Probleme möglich, die vereinbarten Trinkwasserabgaben einzuhalten bzw. im Juni bis August noch etwas zu erhöhen. Auch die angestrebten Niedrigwasseraufhöhungen unterhalb der Talsperre konnten eingehalten werden. Die Füllmengen Ende Oktober 2003 betragen bei zwei der Talsperren (darunter die Rurtalsperre) noch etwas über 60 %, bei den anderen beiden ca. 25 – 30 % des verfügbaren Volumens.



**Bild 6.6** Talsperren des Ruhrverbandes (Stauinhalte) und unbeeinflusster Abfluss der Ruhr, 2003 (aus Ruhrverband 2004)

#### **6.4.4 Wupperverband (Wupperverband 2004)**

Der Wupperverband betreibt 4 Talsperren zur Niedrigwasseraufhöhung in der Wupper mit insgesamt ca. 54 Mio. m<sup>3</sup> Speichervolumen sowie die Talsperre Gr. Dhün mit 80 Mio. m<sup>3</sup> Volumen, davon 42 Mio. m<sup>3</sup> für die Trinkwasserversorgung. Für die Niedrigwasseraufhöhung auf  $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  in Wuppertal mussten 2003 an 260 Tagen ca. 50 Mio. m<sup>3</sup> abgegeben werden. Die dazu vorgesehenen 4 Talsperren hatten im März 2003 mit 42 Mio. m<sup>3</sup> etwa 78 % ihres maximalen Volumens erreicht. Am Ende der Trockenperiode 2003 betrug das Gesamtvolumen noch etwa 18 Mio. m<sup>3</sup> (ca. 33 %), für die einzelnen Talsperren lagen die Werte zwischen 15 % und 63 %.

Aus der Talsperre Gr. Dhün sind 2003 insgesamt ca. 35 Mio. m<sup>3</sup> abgegeben worden, so dass die Füllung Ende September noch etwa 63 % des Nutzvolumens betrug.

#### **6.4.5 Edertalsperre (NLWK 2004)**

Die Edertalsperre mit einem Gesamtstauraum von ca. 218 Mio. m<sup>3</sup> und einem Nutzvolumen bis ca. 182 Mio. m<sup>3</sup> dient der Niedrigwasseraufhöhung in der Oberweser und der Speisung des Mittellandkanals bei Minden. Bis März 2003 war das nutzbare Volumen durch die hohen Zuflüsse des Winters 2002/2003 gefüllt. Ab Mai begann das planmäßige Abwirtschaften, bis Ende August etwa 40 Mio. m<sup>3</sup> erreicht waren. Danach wurde bis Mitte Dezember nur noch bis auf ca. 20 Mio. m<sup>3</sup> weiter abgesenkt (siehe Bild 6.7). Über Folgen für die Bewirtschaftungsziele wird nicht berichtet. Das Ereignis wird von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung als ca. 15- bis 20-jährliches Ereignis eingestuft.

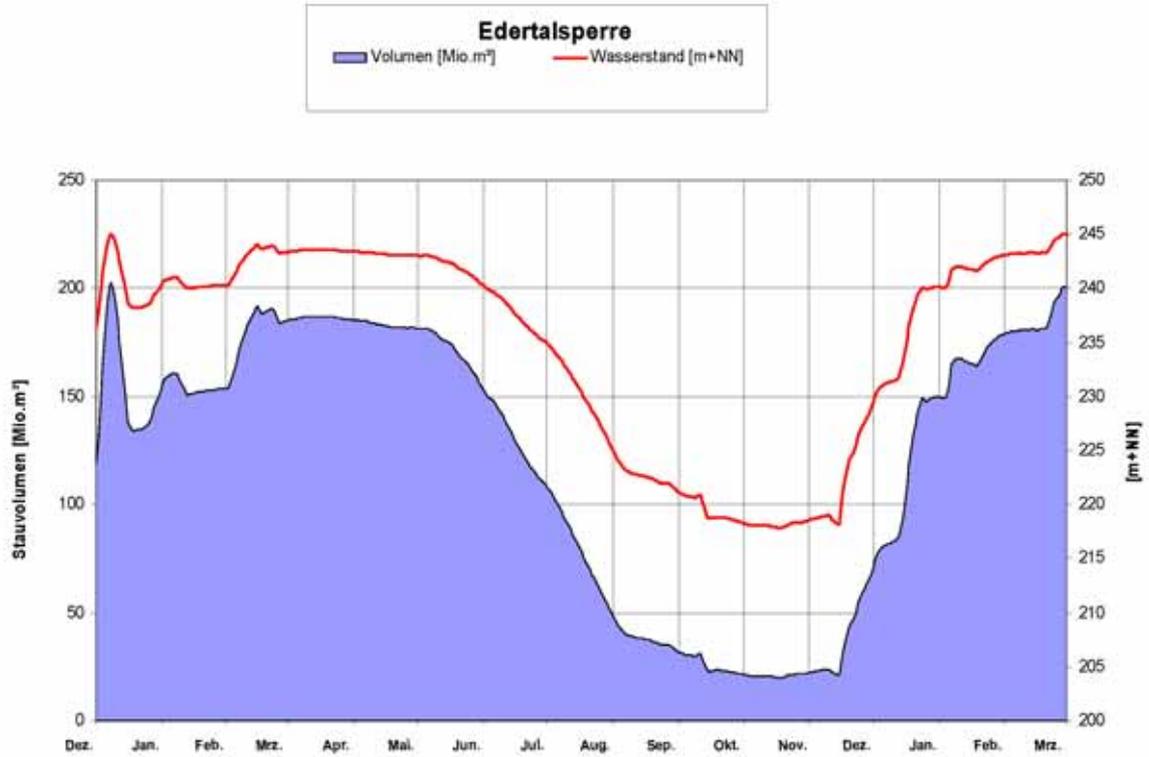
#### **6.4.6 Westharz-Talsperren (NLWK 2004)**

Die insgesamt 6 Talsperren der Harzwasserwerke weisen ca. 182 Mio. m<sup>3</sup> Gesamtstauraum auf und dienen der Wasserversorgung einer größeren Region. Bild 6.8 zeigt die zeitliche Veränderung der Volumina aller Talsperren für 2003. Die Füllung im Winter 2002/2003 mit bis zu 160 Mio. m<sup>3</sup> war höher als im Mittel 1975 – 2000. Die überdurchschnittlichen Abgaben führten bis Dezember 2003 auf einen Bestand von ca. 70 Mio. m<sup>3</sup> (entspricht 38 % des Gesamtvolumens).

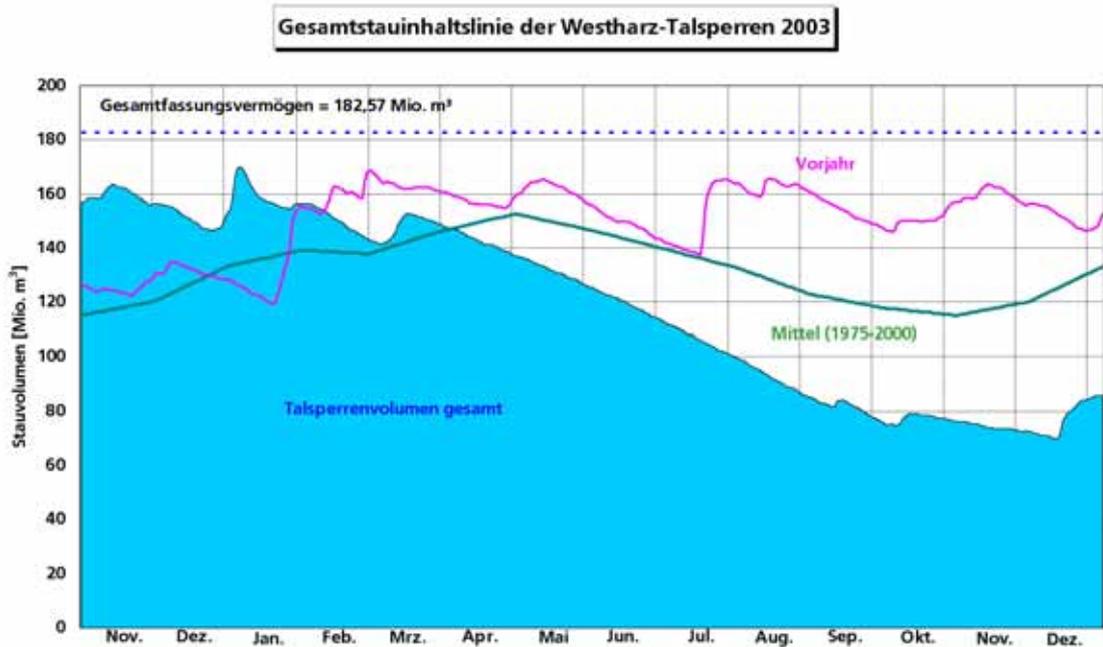
#### **6.4.7 Anlagen in Sachsen (LTV SN 2004)**

Die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen betreibt 115 Stauanlagen (einschließlich Vorsperren und Vorbecken) mit zusammen ca. 508 Mio. m<sup>3</sup> Speicherraum. Davon sind 33 große Anlagen (Talsperren). Im Bericht 2003 sind für 19 Anlagen die Zuflüsse 2003 in Prozent des langjährigen Mittels angegeben, im Erzgebirge zwischen ca. 40 % und 60 %, sonst zwischen 60 % und 100 %.

50 Mio. m<sup>3</sup> dienten im Jahr 2003 der Wasserkraftnutzung und 45 Mio. m<sup>3</sup> der Niedrigwasseraufhöhung (Talsperre Eibenstock für Zwickauer Mulde und Talsperre Pöhl für Weiße Elster). 100 Mio. m<sup>3</sup> wurden als Rohwasser für die Trinkwasserversorgung abgegeben. Als Mittelwerte für 33 Speicher wird angegeben, dass im Mai 2003 die Füllung fast 90 % betrug und bis November und Dezember auf fast 64 % zurückging. Im Mittel der Jahre 1994 – 2003 war der Rückgang im Laufe des Jahres geringer, auf ca. 80 % des verfügbaren Volumens. Gleichzeitig ist aber die Rohwasserabgabe der Trinkwassertalsperre von ca. 150 Mio. m<sup>3</sup> auf ca. 100 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr zurückgegangen.



**Bild 6.7** Wasserstands- und Stauinhaltsverlauf der Edertalsperre, Januar 2003 – März 2004 (aus NLWK 2004)



**Bild 6.8** Stauinhaltslinien der Westharz-Talsperren, 2002 – 2003 (aus NLWK 2004)

### 6.4.8 Brandenburg (LUA BB 2004)

Zur Niedrigwasseraufhöhung der Spree dienen die Talsperre Spremberg (Brandenburg) und die in Sachsen gelegenen Talsperren Bautzen und Quitzdorf sowie der Speicher Lohsa.

Zusammen stehen 53,5 Mio. m<sup>3</sup> Betriebsstauraum zur Verfügung. Ziel ist die Aufrechterhaltung eines Mindestabflusses zur Erhaltung des Spreewaldes und für die Nutzungen im Großraum Berlin. Dazu wird am Pegel Leibsch  $Q_{\min} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$  angestrebt. Ab Mai 2003 wurde zunächst versucht, den Zuschussbedarf durch die Talsperre Spremberg abzudecken. Ab Juni bis Ende September wurden zusätzlich 25 Mio. m<sup>3</sup> vor allem aus der sächsischen Talsperre Bautzen zur Talsperre Spremberg abgegeben, so dass deren Abgabe erhöht werden konnte. Trotzdem war diese Anfang September abgewirtschaftet, ohne dass das Aufhöhungsziel am Spreepegel Leibsch eingehalten werden konnte. Dort sank der Durchfluss zeitweise bis auf 1 m<sup>3</sup>/s. Die Gesamtbilanz umfasst nach LUA BB (2004) verschiedene Zuflüsse und Verluste (wobei die Flutung der Tagebaurestlöcher ab April 2003 bereits eingestellt worden war).

Abfluss der unbeeinflussten Gebiete	+3 m <sup>3</sup> /s
Grubenwasser des aktiven Bergbaus	+10 m <sup>3</sup> /s
Niedrigwasseraufhöhung der Talsperren	+4 m <sup>3</sup> /s
Nutzungsverluste durch Kraftwerke	-3 m <sup>3</sup> /s
Übrige Nutzungsverluste	-3 m <sup>3</sup> /s
Zehrverluste Spreewald (Verdunstung)	-5 m <sup>3</sup> /s
Infiltration im Grubenwasserabsenkungsbereich des Bergbaus	-5 m <sup>3</sup> /s
<hr/>	
Resultierender Durchfluss Pegel Leibsch	1 m <sup>3</sup> /s

Weitere Speicher im Land Brandenburg sind 5 bewirtschaftete Seen, die mit den Havelgewässern in Verbindung stehen. Dazu sind Staulamellen von 40 – 50 cm mit einem Gesamtvolumen von ca. 14 Mio. m<sup>3</sup> vorgesehen, um die Mindestanforderungen für die Schifffahrt zu erfüllen. Außerdem existieren Speicher im Rhin- und im Dossegebiet für die Verbesserung der landwirtschaftlichen Nutzungen in diesen Gebieten mit negativer Wasserbilanz (Zehrgebiete). Alle diese Speichermöglichkeiten mussten 2003 voll genutzt werden, wobei z. B. in der Havel zeitweilig negative Abflüsse auftraten (Umkehrung der Fließrichtung). Abhilfe schaffte eine zeitweilige Überleitung von Elbewasser über den Elbe-Havel-Kanal.

## 6.5 Wasserbeschaffenheit und Auswirkungen auf Ökosysteme

Bei den ungewöhnlich hohen und über längere Zeit andauernden Lufttemperaturen im Zusammenwirken mit den geringen Abflüssen hätte man weit verbreitete und schwerwiegende Folgen für die Beschaffenheit der Gewässer und damit auch für ihre Funktion als Lebensraum für Tiere und Pflanzen erwarten können. Tatsächlich sind auch an einzelnen Gewässern und Gewässerabschnitten allein infolge der stark erhöhten Wassertemperaturen kritische Werte für bestimmte Tierarten (Fische, Muscheln) überschritten worden mit der Folge örtli-

chen Fisch- und Muschelsterbens. Daneben war auch das Trockenfallen von einzelnen Gewässern oder von größeren Ufer- und Flachwasserbereichen Grund für den zeitweiligen Ausfall bestimmter Populationen in diesen Bereichen.

Darüber hinaus kam es aber kaum zu Verschärfungen der angespannten Situation, wie sie z. B. durch erhöhte Konzentrationen von Sauerstoff zehrenden Stoffen, von Nährstoffen oder von anderen Schadstoffen hätten entstehen können. Solche Belastungen sind 2003 im Allgemeinen im Rahmen der bisher üblichen Werte geblieben oder lagen z. T. sogar noch darunter. Der hauptsächliche Grund ist, dass durch die geringen Niederschläge auch geringere Einträge aus Siedlungen und landwirtschaftlich genutzten Flächen erfolgten. Neben der Verringerung der direkten Einleitungen aus Regen- und Mischwasserkanalisationen kam es auch zu einer Verringerung der Ablauffrachten aus Kläranlagen infolge verringerter Mischwasserzuflüsse und erhöhter Reinigungsleistung durch höhere Betriebstemperaturen. Die geringen Niederschläge führten außerdem zu einem geringeren Eintrag von Nährstoffen aus der Düngung landwirtschaftlicher Flächen während dieser Zeit.

Die folgenden Zusammenstellungen über die Beschaffenheit der Gewässer im Sommer und Herbst 2003 und einzelne Auswirkungen auf Gewässerbiozönosen und Nutzungen beruhen auf den Berichten der wasserwirtschaftlichen Dienststellen und Verbände zu diesem Ereignis.

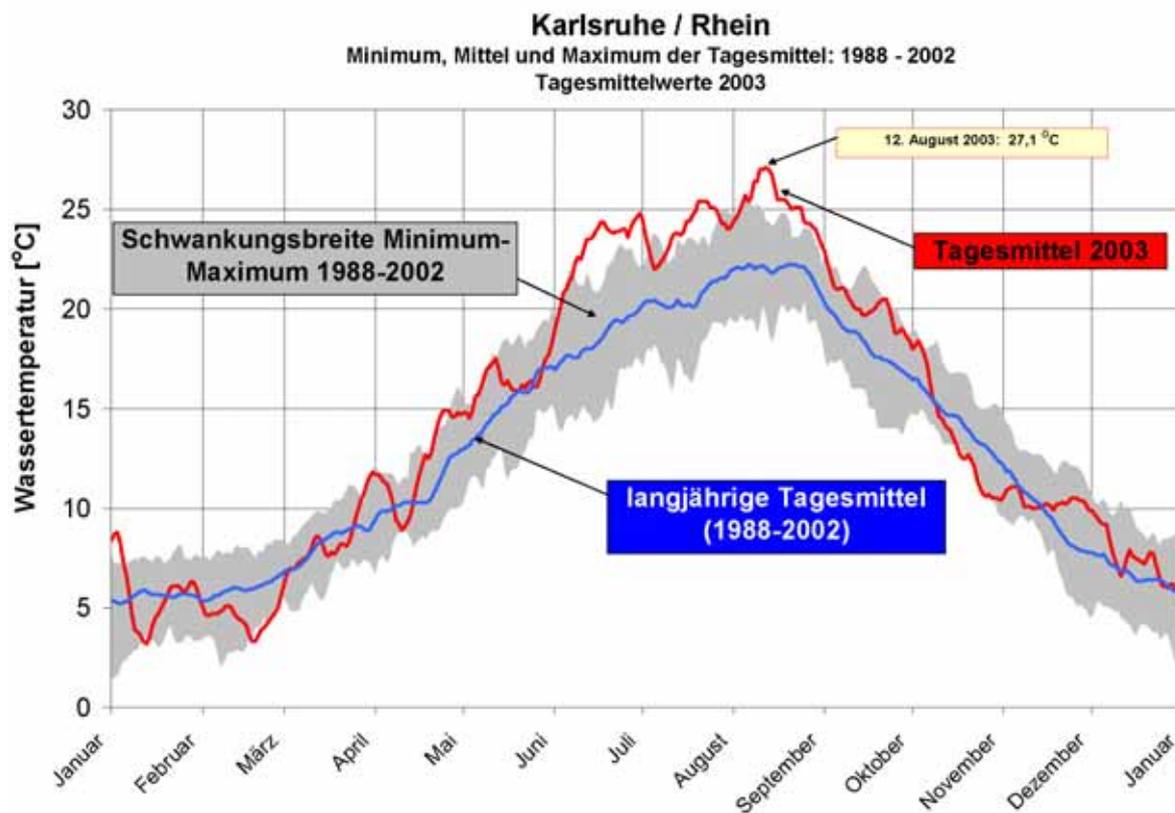
### 6.5.1 Fließgewässer

#### a) Rheineinzugsgebiet

Die meisten Informationen zur Gewässerbeschaffenheit liegen vom Rhein und seinen Nebengewässern vor: aus der Schweiz (BUWAL 2004), von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG 2004) sowie von den Bundesländern Baden-Württemberg (LfU BW 2004 a), Rheinland-Pfalz (LfW RP 2004) und Nordrhein-Westfalen (LUA NW 2004).

Im August erreichten die Wassertemperaturen der Fließgewässer im Rhein und seinen wichtigsten Zuflüssen die höchsten Werte seit langer Zeit. Das betrifft sowohl Monatsmittelwerte und Tagesmaxima als auch die Dauer der Überschreitung bestimmter Grenzwerte. Ein Beispiel für den Jahresgang der Tagesmittel im Rhein bei Karlsruhe 2003 im Vergleich mit der Reihe 1968 – 2002 zeigt Bild 6.9 aus LfU BW (2004 a). Ähnlich sind die Verhältnisse auch in anderen Rheinabschnitten und an großen Nebengewässern. In verschiedenen der o. g. Berichte werden als maximale Temperaturen angegeben:

Rhein	Karlsruhe	27,1 °C
	Worms	29,0 °C
	Koblenz	27,1 °C
Neckar	Rockenau	28,6 °C
Main	Kleinostheim	25,5 °C
Mosel	Fankel	29,1 °C
Saar	Mettlach	30,2 °C



**Bild 6.9** Wassertemperaturen im Rhein bei Karlsruhe 2003 im Vergleich mit Reihen 1968 – 2002 (aus LfU BW 2004 a)

Die Versorgung mit Sauerstoff war trotz der hohen Temperaturen meist ausreichend. Die Sauerstoffminima lagen im Rhein um 7 mg/l. Auch in der staugeregelten Mosel wurden 4 mg O<sub>2</sub>/l nicht unterschritten, wohl aber in der Saar (1 – 2 mg O<sub>2</sub>/l). Hier wurde zeitweise durch Wehrbetrieb eine massive Stützung der Sauerstoffgehalte vorgenommen.

In vielen Fällen führten die hohen Wassertemperaturen zu einem starken Algenwachstum mit Sauerstoffübersättigungen. Wenn dann Schlechtwetterphasen auftraten, kam es zum Absterben von Algen mit Sauerstoffzehrung. So wurde im Neckar zeitweise eine kritische Konzentration von 4 mg O<sub>2</sub>/l unterschritten. Dem wurde durch gezielten Betrieb der Wehre entgegengewirkt.

Was die wichtigsten stofflichen Belastungen anbelangt, werden im Allgemeinen 2003 keine signifikanten Änderungen gegenüber den vorangegangenen Jahren festgestellt, wenn man von dem einen oder anderen speziellen Problem an einzelnen kleineren Nebengewässern absieht. Verschiedentlich wird aber eine Erhöhung der Konzentration konservativer Inhaltsstoffe (z. B. Salz) infolge der geringeren Wasserführung festgestellt.

## Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften in den Gewässern

In vielen Gewässern kam es infolge der erhöhten Wassertemperaturen im Sommer 2003 zu einer Zunahme des Phytoplanktons und von Makrophyten. Im Rhein bei Kleve nahmen vor allem Kieselalgen stark zu (LUA NW 2004). Neben dem Einfluss der Algenbildung auf den Sauerstoffhaushalt im Gewässer (siehe oben) kam es am Hochrhein auch zu einer „biogenen Entkalkung“ durch starkes Algenwachstum bei hohen Temperaturen mit Kalkausscheidungen (milchige Verfärbung, Schaumbildung, siehe BUWAL 2004).

Beim Makrozoobenthos wurden in Baden-Württemberg (LfU BW 2004 a) durch Sonderuntersuchungen an 25 ausgewählten Gewässerabschnitten 2003 und (zur Kontrolle) 2004 dessen Zusammensetzung analysiert. Es ergaben sich keine eindeutigen Verschlechterungen der Saprobienindices für 2003. Die Ergebnisse 2003 und 2004 lagen im Bereich der üblichen Schwankungen. Generell zeigte sich eine gewisse längszonale Veränderung der Artengemeinschaft von sommerkalten zu sommerwarmen Verhältnissen mit vermehrtem Auftreten von Arten, die an geringe Strömungen und höhere Temperaturen angepasst sind. In einigen Gewässern des bayerischen Voralpenlandes wurde im Sommer 2003 eine Reduzierung der Artenvielfalt des Makrozoobenthos beobachtet (LfW BY 2004).

## Besondere Erscheinungen während des Sommer 2003

### > Trockenfallen von Gewässern

Soweit es sich um das Trockenfallen von Böschungen und Flachwasserbereichen handelt (z. B. im Bereich der Bühnenfelder bei den großen Flüssen), sterben zunächst Arten, die dem Wasserstand nicht oder nicht schnell genug folgen können. Auf den trockenengefallenen Flächen breiten sich andere Arten (z. B. einjährige Pflanzen) aus (BfG 2004). Bei vollständigem Trockenfallen ganzer Gewässerabschnitte ist der größte Teil der Lebensgemeinschaften betroffen. Die Untersuchungen in Baden-Württemberg (LfU BW 2004 a) haben aber bis 2004 eine schnelle Wiederbesiedelung ergeben.

In einzelnen Gewässern ohne ausreichende Rückzugsmöglichkeiten für Fische kam es zu Fischsterben. Nähere Informationen dazu enthält nur der Bericht aus der Schweiz (BUWAL 2004). Dort wurden an insgesamt 155 Gewässern über 80.000 tote Fische gemeldet. Etwa 120.000 Fische wurden außerdem im Rahmen von Notabfischungen umgesetzt. Über Probleme mit trockenfallenden Gewässern wird auch aus Baden-Württemberg berichtet, wobei neben Fischen auch Flussmuscheln betroffen waren. Auch hier wurden Umsetzungsmaßnahmen für Fische vorgenommen, in Bayern z. T. auch für Großmuscheln (LfW BY 2004).

### > Aalsterben

Im Sommer 2003 starben im Untersee des Bodensees und in einzelnen Rheinabschnitten in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen Aale in größerem Umfang. Hauptursache war wahrscheinlich eine Infektionskrankheit („Rotseuche“), die sich bei den durch hohe Wassertemperaturen und durch andere Stressfaktoren geschwächten Fischen in größerem Umfang verbreiten konnte. Aber auch die hohen Temperaturen allein (im Bodensee-Untersee bis 30 °C) lagen z. T. oberhalb des Toleranzbereichs für diese Fische.

- > Äschensterben im Hochrhein  
Die letale Wassertemperatur für Äschen liegt bei etwa 26 – 27 °C. Diese Werte wurden in ihrem Verbreitungsgebiet im Hochrhein z. T. erreicht oder überschritten. Man geht dort von weit mehr als 50.000 verendeten Äschen aus, wahrscheinlich hat nur ein kleiner Teil des Bestandes überlebt (LfU BW 2004 a).
  
- > Muschelsterben im Rhein  
Betroffen war eine bestimmte Art der Körbchenmuschel im Bereich Worms, im Abschnitt Mainz – Rüdesheim sowie in Nordrhein-Westfalen.  
Ursachen für das z. T. massenhafte Absterben sind vermutlich die hohen Temperaturen und das Trockenfallen einzelner Lebensbereiche. Auch die hohe Populationsdichte 2003 kann einen Einfluss gehabt haben. Ähnliche Erscheinungen sind im rheinland-pfälzischen Rheinabschnitt schon 1996 und 1997 aufgetreten (LfW RP 2004).

#### b) Andere große Flüsse in Deutschland

Der Bericht der BfG (2004) enthält neben Informationen zum Rhein und seinen großen Nebenflüssen auch einige Angaben zur Gütesituation in anderen großen Flüssen Deutschlands. Für einzelne Messstationen an Donau, Weser, Elbe und Oder werden Wassertemperaturen und Sauerstoffgehalte angegeben. Ähnlich wie am Rhein traten dort im August 2003 sehr hohe Temperaturen auf, ohne dass kritische Sauerstoffkonzentrationen unterschritten wurden. In der Mittelweser traten aber O<sub>2</sub>-Konzentrationen unter 4 mg O<sub>2</sub>/l auf, außerdem in den Ästuaren von Ems, Weser und Elbe, wo 4 mg O<sub>2</sub>/l über längere Zeit unterschritten wurden bis hin zu Werten von unter 2 mg O<sub>2</sub>/l.

In der Donau wurden von der Wasserwirtschaftsverwaltung Bayerns (LfW BY 2004) spezielle Untersuchungen zur trophischen Situation zwischen Kelheim und Passau durchgeführt. Ergebnisse werden nicht genannt.

#### c) Untersuchungen in Berlin und Brandenburg

Der Bericht des Landes Berlin (Senat Berlin 2004) zum Trockenjahr 2003 enthält die Ergebnisse der Analysen von Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt und –sättigung sowie von 8 Inhaltsstoffen für mehrere Messstellen entlang der Spree und einiger Kanäle. Dabei werden jeweils die Ergebnisse 2002 denen von 2003 gegenübergestellt. Ein Teil der Werte für die Spree ist aber dadurch beeinflusst, dass 2003 eine größere Kläranlage außer Betrieb genommen wurde, so dass sich der Abwasseranteil am Spree-Gesamtabfluss im betroffenen Bereich etwa halbiert hat.

Insgesamt zeigen sich 2003 keine angespannten Verhältnisse der Gütesituation, z. T. war 2003 sogar eine gewisse Verbesserung zu verzeichnen. Der Grund ist (wie schon bei der Einleitung zu diesem Abschnitt dargestellt) der geringere Eintrag aus Regen- und Mischwasserkanalisationen infolge der langen Trockenheit. Die Flora in den Fließgewässern zeigt 2003 eine verhältnismäßig geringe Algendichte in der Spree, aber z. T. hohe Gehalte in der Dahme und der Havel (Blau- und Kieselalgen).

Im Bericht des Landes Brandenburg zum Jahr 2003 (LUA BB 2004) werden die gemessenen Ganglinien von 1991 – 2003 für Chlorophyll a, Nitrat, Ammonium und Gesamtphosphor für 1 Pegel an der Spree und 3 Pegel an der Havel dargestellt. Außerdem wird für diese Stoffe eine Einstufung nach LAWA-Kriterien in Güteklassen vorgenommen. Danach sind 2003 gegenüber den unmittelbar vorangegangenen Jahren keine deutlichen Veränderungen erkennbar, am ehesten noch eine Erhöhung der Chlorophyll-Werte 2003 an der unteren Havel.

### **6.5.2 Seen und Speicher**

Die maximalen jährlichen Wassertemperaturen des Bodensees in der Seemitte (Tiefe 0,5 m) lagen seit 1961 zwischen 18 °C und 24 °C. Sie wurden 2003 mit maximal 24,2 °C etwas überschritten. In 20 m Tiefe traten nur kurzfristig Werte etwas über 10 °C auf (LfU BW 2004 a). Es wird aber ausdrücklich festgestellt, dass 2003 keinerlei Beeinträchtigungen der Wasserqualität aufgetreten seien, sowohl für die Trinkwasserentnahme als auch für die Nutzung als Badegewässer. Zu den Wassertemperaturen oberbayerischer Seen werden im Bericht LfW BY (2004) für Ammersee und Chiemsee Angaben gemacht. Danach wurden 2003 die höchsten Werte der letzten 10 Jahre im Ammersee um ca. 1 °C überschritten und im Chiemsee um ca. 1,5 °C unterschritten. Darüber hinaus fehlen in den vorliegenden Berichten Hinweise oder Ergebnisse zu natürlichen Seen Süddeutschlands. Aus Norddeutschland liegen Messergebnisse nur für die Berliner Seen vor (Senat Berlin 2004), in ähnlicher Weise aufbereitet wie die Ergebnisse für die Fließgewässer (siehe Kap. 6.5.1 c)). Danach sind z. B. am Großen Müggelsee 2003 weniger Blaualgen aufgetreten als 2002. Auch im Wannsee und Tegeler See waren relativ weniger Blaualgen. Dafür sind z. T. andere Algenarten vermehrt aufgetreten. Im Tegeler See wurde wegen der angespannten Sauerstoffsituation ab 4 m Tiefe eine gezielte Belüftung vorgenommen.

Eine Vielzahl von Einzelinformationen enthalten die vorliegenden Berichte über die Güteverhältnisse an künstlichen Speichern, weil z. T. davon die Nutzung vor allem für Trinkwasser oder aber als Badegewässer abhängt.

Aus Bayern (LfW BY 2004) wird berichtet, dass es wegen zu hoher Wassertemperaturen im Rottachsee zu einem Fischsterben kam. Am Großen Brombachsee trat erstmals eine starke Verkrautung der Badestrände auf, an vielen Badeseen in Niederbayern starke Algenentwicklungen.

Von insgesamt 73 Badegewässern (Stillgewässern) in Rheinland-Pfalz mussten 2003 für zwei Gewässer wegen Massenentwicklungen von Blaualgen vorübergehend Badeverbote ausgesprochen werden. Überschreitungen von Grenz- und Leitwerten wurden 2003 nicht häufiger festgestellt als in den vorangegangenen Jahren (LfW RP 2004).

Von den westdeutschen Talsperrenverbänden liegen nur vom Wupperverband Hinweise auf den Gütezustand seiner Talsperren vor. Für die Lingese-Talsperre konnte 2003 ein früheres Badeverbot aufgehoben werden. In der Wuppertalsperre kam es zu einer Massenentwicklung von Blaualgen, im Flachsee Bayernburg entwickelte sich Wasserpest stark.

In den Trinkwassertalsperren in Sachsen (LTV SN 2004) war die Rohwasserqualität 2003 ausreichend. Im Sommer 2003 kam es durch Algenentwicklung und anschließende Zersetzung z. T. zu Sauerstoffzehrung, der bei 7 Speichern durch technischen Sauerstoffeintrag begegnet wurde. Die Rohwassertemperatur war mit über 15 °C bei drei Anlagen und über 20 °C bei einer Anlage recht hoch. Bei den für Badenutzung freigegebenen Talsperren kam es wegen starker Algenentwicklung in einem Fall zu einem Badeverbot (Talsperre Pirk), bei drei anderen zu einer Empfehlung, nicht zu baden. Algenmatten im Uferbereich führten z. T. zu Geruchs- und Geschmacksbelästigungen.

### 6.5.3 Grundwasser

Zur Grundwasserqualität enthalten die vorliegenden Berichte zum Trockenjahr 2003 kaum Informationen, wenn, dann fast ausschließlich zum Nitratgehalt.

Nach den Ergebnissen des Grundwasserüberwachungsprogramms Baden-Württemberg 2003 (LfU BW 2004 b) für 220 Messstellen ist die Nitratbelastung 2003 im Mittel um 1 mg/l gegenüber 2002 gesunken, wobei bei 40 % Zunahmen und bei 54 % Abnahmen eintraten. Die Ergebnisse liegen im langfristigen Trend, der eine mittlere Abnahme der Nitratkonzentrationen von 1994 bis 2003 um 12 bis 14 % aufweist. Für die 2003 ebenfalls durchgeführten Analysen auf verschiedene Pflanzenschutzmittel werden keine konkreten Vergleichszahlen aus früheren Jahren genannt.

Auch in Bayern zeigt sich landesweit eine Tendenz zu kleineren Nitratwerten (LfW BY 2004). In 2 m Tiefe stiegen aber 2003 infolge der Trockenheit die Nitratwerte zunächst an. Das wurde in ähnlicher Weise auch in der Schweiz beobachtet, wobei nach den ersten größeren Regenfällen im Herbst 2003 eine Auswaschung mit Erhöhung der Nitratwerte im Grundwasser auftrat.

## 6.6 Verdunstung und Bodenfeuchte

Die hohen Temperaturen und Strahlungsintensitäten im Sommer 2003 haben zu großen Werten für die potenzielle Verdunstung geführt. Der DWD hat dazu flächendeckende Berechnungen der Grasreferenzverdunstung für Deutschland durchgeführt und im Vergleich zu den Mittelwerten 1961 – 1990 in Karten dargestellt (siehe Bild 2.10 im Kap. 2). Die realen Verdunstungen waren wesentlich geringer, weil die Bodenfeuchte in der durchwurzelten Zone stark abnahm. Über diese Zusammenhänge und die Folgen für die landwirtschaftliche Nutzung berichtet LÖPMEIER im Rahmen von zwei Beiträgen im Klimastatusbericht 2003 des DWD (DWD 2004). Danach betrug die potenzielle Verdunstung nach PENMAN für leichte Böden mit Zuckerrüben im Mittel aller Bundesländer für Juli bis August etwa 370 mm, die reale Verdunstung dagegen nur ca. 115 mm. Das war die größte Differenz seit Vorliegen solcher Auswertungen 1962. Die Bodenfeuchte als Mittelwert Juli und August 2003 über verschiedene Bodenarten und angebaute Feldfrüchte für ganz Deutschland ging auf unter 30 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) zurück. Das war nach 1976 mit ähnlichen Verhältnissen der kleinste Wert seit 1961. Bei Sandböden sanken die entsprechenden Werte auf bis zu 13 % nFK (Mittelwert der Reihe ca. 40 %).

Bild 7.2 im Kap. 7 aus DWD (2004) zeigt die mittleren Verhältnisse in den einzelnen Bundesländern für leichte Böden mit Wintergetreide (Juni 2003) und Mais (Juli und August). Am ungünstigsten war danach die Situation in Brandenburg und Sachsen-Anhalt, relativ am besten in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern.

Soweit möglich, haben die Landwirte versucht, die Wasserdefizite durch künstliche Bewässerung (Beregnung) auszugleichen. Dabei waren aber wegen der hohen Lufttemperaturen und aufgrund der Strahlungssituation die Verluste im Vergleich zu früheren Jahren deutlich höher. Über die wirtschaftlichen Folgen der Trockenperiode 2003 für die Landwirtschaft in Deutschland wird im Kap. 7 berichtet.

# 7 Ökonomische Folgen der Trockenperiode 2003

Bericht aus dem Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre und Wirtschaftspolitik II

(Michael von Hauff, Katharina Kluth)

## 7.1 Einleitung

Die lang anhaltenden, sehr hohen Lufttemperaturen und die geringen Niederschläge in weiten Teilen von Deutschland und Europa von Juni bis August 2003 hatten zahlreiche Schäden in den betroffenen Volkswirtschaften zur Folge. Alleine die durch Dürre in der Landwirtschaft und Waldbrände verursachten Schäden werden durch die Versicherungsunternehmen auf ca. 13 Mrd. US\$ geschätzt (Münchener Rück 2004). Ziel dieses Beitrages ist es, die ökonomischen Folgen der Dürre darzustellen und zu quantifizieren. Dennoch darf nicht übersehen werden, dass die Monetarisierung der Schäden der Trockenperiode nicht im gleichen Maße erfolgen kann wie beispielsweise die des Elbehochwassers im Jahr 2002. Insbesondere Datenmaterial der Versicherungsgesellschaften kann nur bedingt Hinweise auf die tatsächlichen volkswirtschaftlichen Schäden liefern. Im vorliegenden Beitrag wird daher nur an einzelnen Stellen eine genaue Quantifizierung des Hitzeschadens erfolgen, da insbesondere weiter reichende Folgen wie beispielsweise Nachfrageverschiebungen, wie sie im Bereich der Binnenschifffahrt beobachtet werden konnten, nicht immer eindeutig zurechenbar sind. Die Vielzahl der möglichen Einflussfaktoren behindert die genaue Einordnung. Im weiteren Verlauf werden die ökonomischen Effekte des Hitzesommers anhand ausgewählter Sektoren dargestellt. Im Kap. 7.2 wird betrachtet, welche Auswirkungen hohe Temperaturen und geringe Niederschläge auf die Landwirtschaft hatten und in welcher Höhe Ausgleichszahlungen für die deutschen Landwirte notwendig wurden. Durch die geringen Pegelstände war der Binnenschiffverkehrsverkehr nur eingeschränkt möglich. Darauf wird im Kap. 7.3 eingegangen. Im Kap. 7.4 werden die möglichen und tatsächlichen Auswirkungen einer Hitzeperiode auf die Energieerzeugung diskutiert, wobei auch die umweltschutzrechtlichen Regelungen erläutert werden. Schließlich wird im Kap. 7.5 die Trinkwasserversorgung im Sommer 2003 dargestellt und im Kap. 7.6 werden die gesundheitlichen Folgen und deren Messung bei starker Hitze aufgezeigt. Die Betrachtung der ökonomischen Folgen der Trockenperiode schließt mit einem Fazit im Kap. 7.7.

Neben diesen hier näher behandelten Folgen der Dürreperiode 2003 gibt es noch eine Reihe weiterer direkter und indirekter ökonomischer Wirkungen (z. B. Schäden an Fischbeständen, Einschränkungen bei Freizeitaktivitäten), auf die aber an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden soll.

## 7.2 Landwirtschaft

Das Jahr 2003 war in vielen Regionen für die Landwirtschaft wegen der anhaltenden Trockenheit mit erheblichen Ernteeinbußen verbunden. Insbesondere dort, wo schon 2002 im Juli und August extreme Niederschläge schwere wirtschaftliche Schäden verursacht hatten, erreichten die Folgen des Trockenjahres 2003 existenzgefährdende Ausmaße (LÖPMEIER 2003 b). Der Deutsche Bauernverband errechnete für einzelne Betriebe Ernteeinbußen infolge der Trockenheit von bis zu 80 % (DBV 2003 b), wobei insbesondere Betriebe in Ost- und Süddeutschland betroffen waren.

Vor allem die Getreideernte blieb 2003 mit 39,5 Mio. t hinter dem Vorjahresergebnis um 8,9 % zurück und die Ernte lag um 13,1 % unter dem langjährigen Durchschnitt. Ein ähnlich schlechtes Ergebnis hatte es zuletzt im Jahr 1995 gegeben. Insgesamt waren die Ertragseinbußen sehr hoch, doch uneinheitlich über das gesamte Bundesgebiet verteilt. So konnte Schleswig-Holstein eine Zunahme von 7,9 % und Niedersachsen eine Zunahme von 2,4 % bei der Getreideernte verbuchen. Am stärksten betroffen von der Hitze und Trockenheit war das Land Brandenburg mit einem Ernteergebnis von fast 40 % unter dem mehrjährigen Durchschnitt, in einzelnen Betrieben sogar mit mehr als 50 % Ausfall. In Sachsen, Sachsen-Anhalt, dem Saarland und Bayern lagen die Verluste bei über 15 % im Vergleich zum mehrjährigen Durchschnitt. Neben dem Getreide lag auch die Erntemenge von Raps und Rüben mit 3,6 Mio. t 7 % unter dem Ergebnis des Jahres 2002.

Differenziert man zwischen konventionellem und ökologischem Landbau, ist kein wesentlicher Unterschied beobachtbar. Der ökologische Landbau profitierte auf den schweren Standorten von einem tendenziell geringeren Pilzbefall, wobei jedoch die Versorgung mit Grünfutter große Probleme bereitete. Dies erklärt sich daraus, dass ökologische Betriebe überproportional viel Grünland aufweisen, das besonders stark unter der Trockenheit litt, und dass sich die hohen Kosten für den Zukauf von Futtermittel negativ auf das Betriebsergebnis auswirkten.

Insgesamt zeigten sich keine Auswirkungen für die Verbraucher durch die Ernteausfälle, da der Getreidepreis beispielsweise nur einen kleinen Anteil am Preis von Brot und Backwaren ausmacht. Auch die Preise von Gemüse blieben stabil, wobei Obst ein wenig teurer wurde (BMVEL 2003).

Erklärungen für die genannten Ertragsreduktionen im Jahr 2003 gestalten sich schwierig. Statistische Untersuchungen, welche die Erträge als Funktion der meteorologischen Bedingungen erklären, sind meist nicht auf das gesamte Bundesgebiet anwendbar, sondern stellen nur regionale Zusammenhänge her (so beispielsweise auch in der Untersuchung StartClim 2004 des österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft). Ebenso wich-

tig ist eine artenspezifische Unterscheidung der Stressauswirkungen durch Trockenheit. Getreidearten, die wegen ihrer kürzeren Vegetationsdauer eher von Frühjahrs- und von Frühsommerniederschlägen abhängig sind, litten unter der Trockenheit weniger als Mais und Wiesen, die auf die Juli- und Augustniederschläge angewiesen sind. Insbesondere Grünland ist von der Trockenheit stark betroffen gewesen.

Es ist auch nachweisbar, dass die pflanzliche Produktion, vor allem bei Gerste, Weizen und Grünland stärker durch hohe Temperaturen als durch Niederschlagsmangel limitiert wird (StartClim 2004, Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe 2003). Dies zeigt sich auch darin, dass beispielsweise beim Mais extreme Ertragsunterschiede aufgetreten sind. So brachten ausreichend mit Wasser versorgte Standorte mit schweren Böden überdurchschnittliche Erträge. Da außerdem die Trocknungskosten niedriger ausfielen, konnte bei der Ernte sehr trockener Körner der Gewinn weiter ausgebaut werden. Demgegenüber waren Maissorten mit üppiger Assimilationsfläche benachteiligt, da hier eine höhere Verdunstung stattfand. Kleinwüchsigeren Sorten sind in Jahren großer Hitze und in Trockenlagen daher im Vorteil, da der Pflanze relativ mehr Wasser für die Körnerproduktion zur Verfügung steht. Vor diesem Hintergrund lässt sich erklären, wieso die großrahmigen Sorten, die in den Jahren davor Spitzenerträge liefern konnten, von weniger massewüchsigen Sorten im Ertragsniveau eingeholt werden konnten. Doch auch eine ausreichende Bewässerung kann keine Garantie für einen optimalen Ertrag (bei massewüchsigen Pflanzen) sein, da das Wasser an die Produktionsorte geführt werden muss und bei einer Verdunstungsmenge von  $10 \text{ l/m}^2$  der intensive Wassertransport in der Pflanze erschwert wird (Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe 2003).

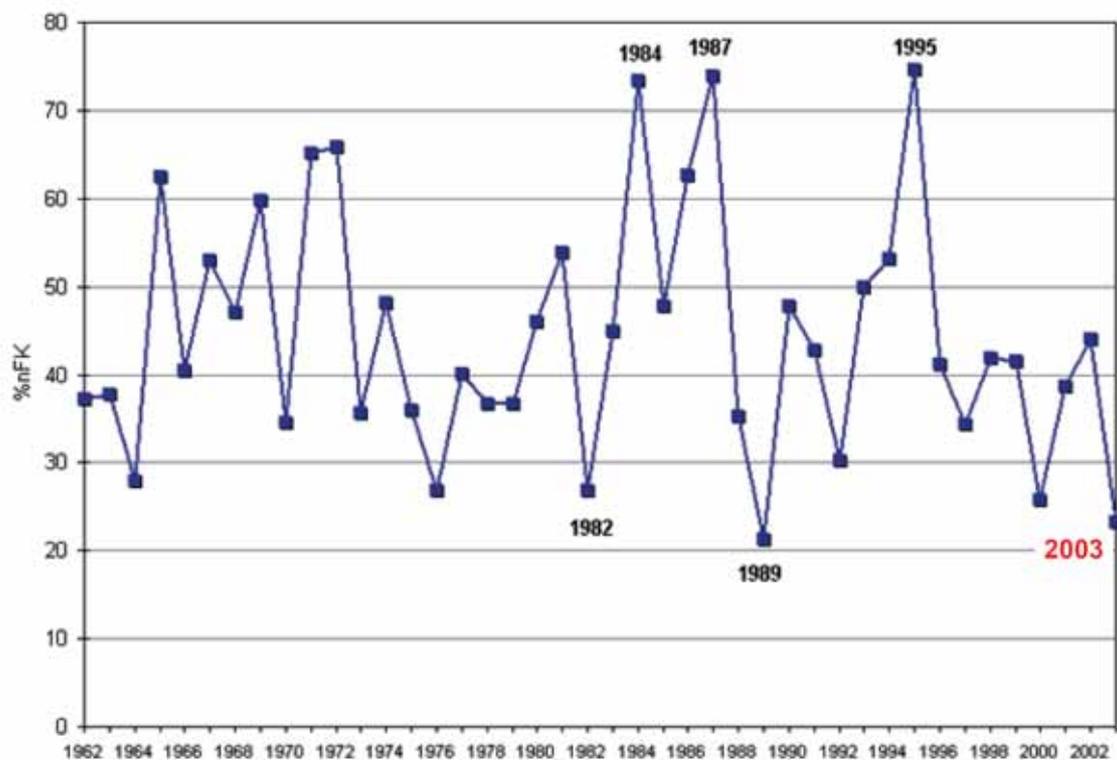
Weiterhin führen Trockenheit und Hitze nicht nur zu sehr unterschiedlichen Erträgen, sondern auch zu einer anderen Zusammensetzung der wertbestimmenden Inhaltsstoffe. Insgesamt lagen im Jahr 2003 eine überdurchschnittlich hohe Trockensubstanz und überdurchschnittlich hohe Rohproteingehalte vor, während die Energiewerte denen des Vorjahresniveaus glichen. Diese veränderte Zusammensetzung muss bei der Fütterung der zur Fleischproduktion bestimmten Tiere beachtet werden, um eine Futteroptimierung zu erreichen (Landwirtschaftskammer NRW 2003).

Ein weiterer Indikator für die Bewertung der Wirkung der Trockenheit auf die Landwirtschaft ist die Bodenfeuchte. Hier summieren sich die Einflüsse von Temperatur, Strahlung, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und Niederschlag. Die aktuelle Bodenfeuchte ist dabei abhängig von Niederschlag und Verdunstung in der Vergangenheit und von den aktuellen Niederschlägen. Auch die Bodenfeuchte muss kultur- und bodenspezifisch betrachtet werden. Sie bietet darüber hinaus den Vorteil, dass nicht nur die aktuelle Niederschlagssumme Eingang in diesen Indikator findet, sondern auch die Vorgeschichte der Witterung. Eine reine Niederschlagsbetrachtung vernachlässigt dagegen die Auswirkungen der Verdunstung und zeitliche Wirksamkeit der Niederschläge für die Kulturen.

Insgesamt erlaubt die Betrachtung der Bodenfeuchte eine kulturspezifische Betrachtung und liefert einen optimalen Indikator für die

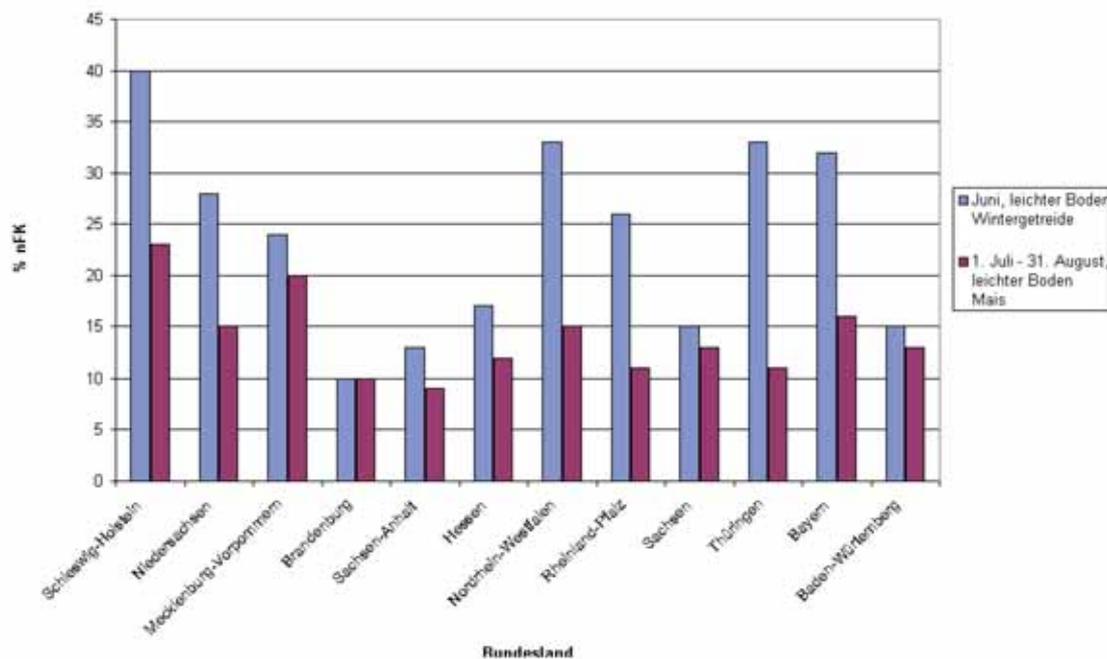
- > Wasserversorgung der Pflanzen,
- > Möglichkeit zur Bodenbearbeitung,
- > Wirkung von Herbiziden,
- > Bodenbefahrbarkeit,
- > Keimbedingungen.

Betrachtet man die Auswirkungen der Trockenperiode 2003 auf die Ausbringungsmöglichkeiten von Herbiziden, so führten die verschlechterten Ausbringungsmöglichkeiten im Frühjahr in einigen Regionen zu einer starken Verkrautung der Hackfrüchte. Auch der Abbau der Pflanzenschutzmittel nahm mehr Zeit als gewöhnlich in Anspruch. Demgegenüber wirkte sich die geringe Bodenfeuchte positiv auf die Bodenbearbeitung vor allem in Norddeutschland bei der Aussaat von Zuckerrüben aus und liefert einen Hinweis auf die z. T. noch relativ hohen Erträge.



**Bild 7.1** Bodenfeuchte in % nFK im Zeitraum von 1962 - 2003, Sandboden, Wintergetreide; Mittelwert 1. Juni bis 30. Juni, über alle Bundesländer, LÖPMEIER (2003 a), S. 164.

Bild 7.1 zeigt den gemittelten Verlauf der Bodenfeuchte in Deutschland von 1962 bis 2003, berechnet für Wintergetreide und leichte Böden. Das Jahr 2003 ist eines der Jahre mit der geringsten Bodenfeuchte. Es ist somit vergleichbar mit früheren Dürre Jahren und hebt sich deutlich vom Vorjahr 2002 ab.



**Bild 7.2** Monatliche Mittelwerte der Bodenfeuchte in % nFK 2003, LÖPMEIER (2003 a), S. 165.

Bild 7.2 zeigt Werte der Bodenfeuchte für die verschiedenen Bundesländer: für Juni 2003 (leichter Boden mit Wintergetreide) und für die Monate Juli bis August 2003 (leichter Boden mit Mais). Die regionalen Unterschiede werden dabei besonders deutlich (LÖPMEIER 2003 a).

Im gesamten Bundesgebiet wiesen die Mittelwerte der Bodenfeuchte bei Wintergetreide und Zuckerrüben sowohl auf leichten wie auch auf schweren Böden von Mai bis Ende des Jahres 2003 deutliche negative Abweichungen zum vieljährigen Durchschnittswert auf, am größten im August mit ca. 35 % nFK des vieljährigen Durchschnittswertes. Bei schweren Böden mit Zuckerrüben lagen die Bodenfeuchten noch im Dezember 2003 bei ca. 65 % nFK und damit weit unter den vieljährigen Mittelwerten. Dies ist der geringste Bodenfeuchtwert für den Monat Dezember in Deutschland seit dem Jahr 1961 (LÖPMEIER 2003 b).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass in der Landwirtschaft die sortenspezifische Dürretoleranz wesentlichen Einfluss auf den Ertrag und die Zusammensetzung der wertbestimmenden Inhaltsstoffe hat. Ein Ernteausfall lässt sich zwar im Prinzip durch eine ausreichende Bewässerung im Fall großer Trockenheit abwenden, jedoch ist bei bestimmten, massewüchsigen Maissorten trotz Bewässerungsmaßnahmen in einem solchen Trockenjahr mit einem geringeren Ertrag zu rechnen.

Erfolgt demnach eine zu starke Spezialisierung auf die massewüchsigen Pflanzen, kann dies in Jahren mit großer Trockenheit erhebliche Einkommenseinbußen für die betroffenen Landwirte nach sich ziehen. Bezogen auf die gesamte landwirtschaftliche Produktion kann angenommen werden, dass bei ausreichender Diversifikation der Sorten im Mittel die hohen Erträge in manchen Jahren die Missernten in anderen u. U. kompensieren könnten.

Insgesamt schätzt der Deutsche Bauernverband für das Jahr 2003 den Gesamtverlust durch Ernteauffälle vor allem auf dem besonders betroffenen Grünland in Deutschland auf ca. 1 Milliarde Euro (DBV 2003 a). Wegen der schwerwiegenden Auswirkungen der Dürre auf die wirtschaftliche Existenz vieler landwirtschaftlicher Betriebe stellte der Bund insgesamt 41 Mio. Euro für das Bund/Länder-Hilfsprogramm zur Verfügung. Nutznießer dieses Programms sind Betriebe, die anderenfalls wirtschaftlich nicht überleben könnten, wobei jedoch nicht die gesamten Einbußen ausgeglichen werden. Auch die landwirtschaftliche Rentenbank unterstützt dürrebeschädigte Betriebe mit Sonderkonditionen bei der Kreditaufnahme (BMVEL 2003, 2004).

### **7.3 Binnenschifffahrt**

Bei den Auswirkungen des niederschlagsarmen und heißen Sommers 2003 auf die Binnenschifffahrt sind die verschiedenen Arten von Binnenwasserstraßen zu unterscheiden:

- > frei fließende Flüsse (ohne Stauregelung durch Wehre),
- > staugeregelte Flüsse mit Wehren und Schleusen,
- > künstliche Kanäle.

In staugeregelten Flüssen und Kanälen wird der Wasserstand weitgehend unabhängig vom Abfluss konstant gehalten. Auch bei den geringen Abflüssen 2003 traten an diesen Wasserstraßen keine größeren Einschränkungen auf. Dagegen sinkt bei frei fließenden Flüssen der Wasserstand in Trockenperioden, bis nur noch mit verringerter Ladung oder gar nicht mehr gefahren werden kann. In Deutschland gehören zu dieser Gruppe von Wasserstraßen vor allem der Rhein unterhalb von Karlsruhe, ein kurzer Abschnitt der Donau sowie die Elbe, wobei der Rhein mit ca. 80 % des gesamten Frachtaufkommens in Deutschland die weitaus wichtigste Wasserstraße ist.

Bei den Leistungen der Schifffahrt ist neben dem Transport von Gütern auch die Personenschifffahrt zu sehen.

Im Folgenden wird hinsichtlich der Auswirkungen der Hitzeperiode 2003 vor allem der Güterverkehr wegen seiner volkswirtschaftlich bedeutenderen Rolle betrachtet.

Je nach Charakteristika der zu transportierenden Güter (Zeitempfindlichkeit, Gewicht etc.) und der zu bewältigenden Strecke haben die Nachfrager von Transportleistungen die Wahl zwischen verschiedenen Verkehrsträgern. Dieser intermodale Wettbewerb besteht besonders für die Landverkehrsträger Straßengüterverkehr, Eisenbahnverkehr und Binnenschifffahrt (FRITSCH et al. 1993).

Niedrige Wasserstände führen jedoch zu erheblichen Verschiebungen der Warenströme, die auch im Jahr 2003 beobachtbar waren.

Der Rhein war 9 Monate vom Niedrigwasser geprägt. Der für die Schifffahrt maßgebende Gleichwertige Wasserstand wurde in Kaub an 42 Tagen unterschritten (WSD Südwest 2003). Die Schifffahrt musste zwar noch nicht eingestellt werden, aber die Schiffe konnten nur 20 bis 30 % ihrer Kapazität ausschöpfen (BAG 2003). Die Bahn war nicht in der Lage, die mangelnden Schiffskapazitäten auszugleichen. Verspätete Zustellungen und ein schlechterer Service der Bahn waren die Folge (JAEGERS 2005). Während der Containerverkehr im ersten

Halbjahr 2003 noch kräftige Zuwächse verbuchte, mussten im Sommer die Aktivitäten reduziert und die Beförderungen sogar zum Teil für gewisse Strecken auf der Straße oder Schiene abgewickelt werden (ZKR 2003).

Abladebestimmend für die Donau ist die Strecke zwischen Straubing und Vilshofen. An dem für die Schifffahrt maßgebenden Pegel Pfelling wurde der Regulierungswasserstand an 94 Tagen unterschritten (LfW Bayern 2004). In den Jahren 2000 bis 2002 ist der Regulierungswasserstand nur an 5 Tagen unterschritten worden. Die niedrigen Wasserstände führten zu einer Verschiebung des Warenstroms vom Schiff auf die Bahn oder den LKW und zu einer Zunahme der Leichterungen in den Häfen.

Auf der Oder ruhte der Güterverkehr während der Niedrigwasserphase vollständig und auf der Elbe weitgehend (BAG 2003). Keine Auswirkungen hatte das Niedrigwasser auf die Transporte zwischen Stettin und Berlin. Sie führen über den Oder-Havel-Kanal und die Hohensaaten-Friedrichsthaler Wasserstraße. Auf der Elbe kam die Güterschifffahrt ab Mitte Juni 2003 zum Erliegen. Container von Hamburg nach Torgau konnten nur noch mit verminderter Abladetiefe über den Elbe-Seiten-Kanal bis Magdeburg befördert werden und mussten dort auf LKW umgeladen werden.

In Tabelle 7.1 werden das Transportvolumen auf deutschen Wasserstraßen im Jahr 2003 und der Vergleich mit den Vorjahresmengen dargestellt. Der Gesamtrückgang um 5,1 % ist überwiegend auf das Niedrigwasser zurückzuführen. Besonders negativ entwickelte sich der Durchgangsverkehr mit einem Sinken der entsprechenden Beförderungsmenge um 14,1 %. Der Rhein als wichtigster Transportweg in diesem Bereich war mit am stärksten von den Auswirkungen der Niedrigwassers betroffen (BAnz 2004).

**Tabelle 7.1** Güterbeförderung in der Binnenschifffahrt nach Hauptverkehrsbeziehungen in 1000 Tonnen, (BAnz 2004, S. 17289)

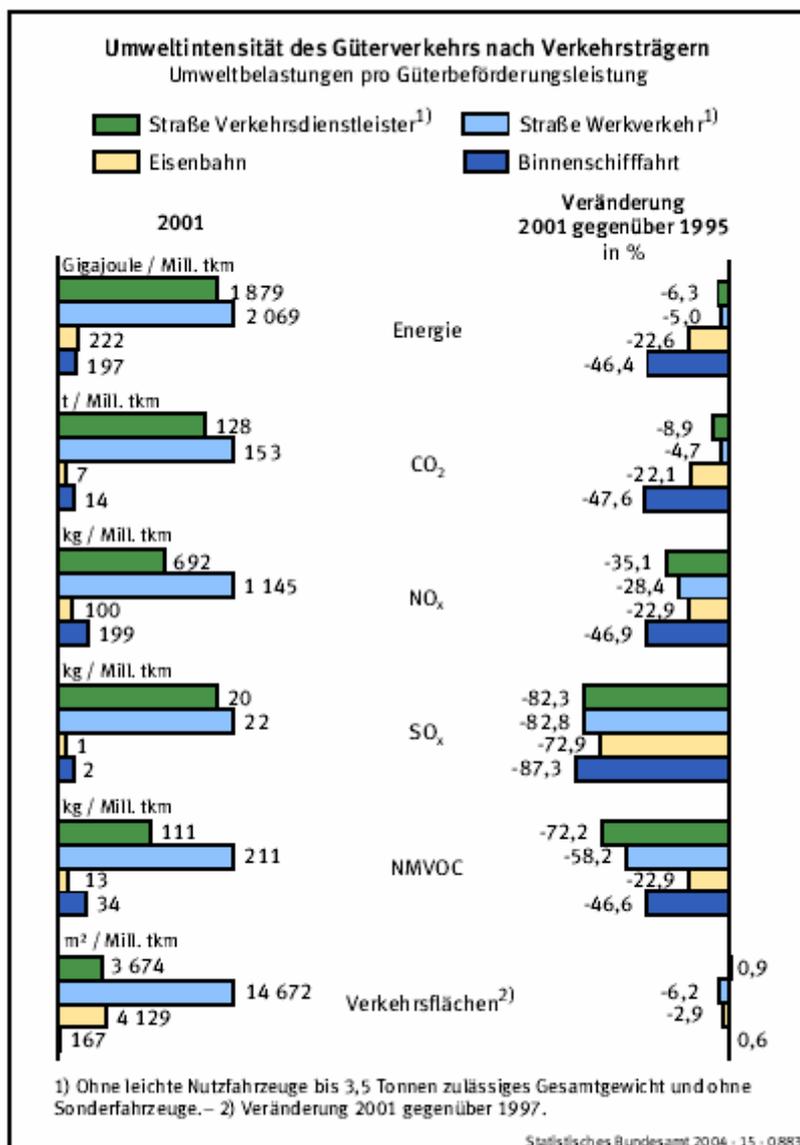
Verkehrsbeziehung	2002	2003	Veränderung zum Vorjahr in %
Insgesamt	231.746	219.999	-5,1
davon:			
Verkehr innerhalb Deutschlands	55.844	53.419	-4,3
Grenzüberschreitender Verkehr	150.922	145.111	-3,9
Durchgangsverkehr	24.981	21.469	-14,1

Nach den Transporteinbrüchen im Jahr 2003 konnte die Binnenschifffahrt im Jahr 2004 gegenüber den anderen Verkehrsträgern aufholen und befindet sich inzwischen wieder auf einem moderaten Wachstumskurs (BAnz 2005). Man kann daher davon ausgehen, dass aus der Trockenperiode 2003 keine langfristigen Wachstumsdefizite für den Bereich der Binnenschifffahrt resultieren.

Niedrigwasser muss aber auch nicht zwangsläufig mit Ertragsverlusten in der Binnenschifffahrt einhergehen. So ist zwar zu beobachten, dass Schiffe mit großem Tiefgang benachteiligt werden, auf der anderen Seite profitieren aber kleinere Schiffe, die weiterhin gut beladen werden oder vertraglich fixierte Kleinwasserzuschläge ausnutzen können. Kurzfristige Niedrigwasserperioden werden ins unternehmerische Kalkül der Binnenschiffer mit einbezogen

(Mit dieser Begründung wurde die vom BDS geforderte Niedrigwasserhilfe vom BMVBW abgelehnt. Vgl. Bonapartner 2003 a) und dürften keine finanziellen Probleme schaffen. Anders hingegen ist dies in einer Situation lang anhaltender Trockenheit zu beurteilen. Die Quantifizierung der negativen Folgen einer lang anhaltenden Niedrigwasserperiode lässt jedoch nach Aussagen des Bundesverbandes der Selbstständigen, Abteilung Binnenschifffahrt (BDS) und des Bundesverbandes der Deutschen Binnenschifffahrt (BDB) noch auf sich warten (Bonapartner 2003 b).

Den Ertragseinbußen für die Binnenschifffahrt im Sommer 2003 standen vermehrte Einnahmen von Bahn und LKW gegenüber, wobei sich volkswirtschaftlich gesehen die Transportkosten insgesamt erhöhten: schon allein durch den höheren Energieverbrauch bei LKW und Bahn gegenüber dem Binnenschiff etwa im Verhältnis 1 : 1,3 : 3. Außerdem sind durch diese Verschiebung der Warenströme erhöhte Emissionen aus Schadstoffen und Lärm entstanden. Eine Gegenüberstellung verschiedener Umweltwirkungen und deren Veränderungen 1995 – 2001 zeigt Bild 7.3 für die einzelnen Verkehrsträger.



**Bild 7.3** Umweltintensität des Güterverkehrs nach Verkehrsträgern, (Statistisches Bundesamt 2004, S. 22.)

Auch wegen der geringeren Lärmemissionen schneidet die Binnenschifffahrt gegenüber dem Straßengüterverkehr günstiger ab (BDB 2005). Da Schadstoff- und Lärmemissionen nicht oder nur unzureichend in das wirtschaftliche Kalkül der Verursacher mit einfließen, stellen sie im volkswirtschaftlichen Sinne externe Kosten dar. Externe Kosten zeichnen sich dadurch aus, dass nicht der Schadensverursacher, sondern unbeteiligte Dritte die Kosten der Schädigung tragen müssen.

Findet keine Internalisierung dieser externen Kosten durch wirtschaftspolitische Eingriffe statt, verringert sich die gesamtgesellschaftliche Wohlfahrt. In diesem Sinne stellt eine Verschiebung der Gütertransporte weg von der mit relativ geringen externen Kosten verbundenen Binnenschifffahrt, hin zu anderen Verkehrsträgern mit höheren externen Kosten einen Wohlfahrtsverlust für die Volkswirtschaft dar. Die Quantifizierung externer Effekte ist mit einer Fülle methodischer Probleme verbunden, da nicht eindeutig zu bestimmen ist, welche Nachteile zu berücksichtigen sind. So kann der Verzehr nicht erneuerbarer Energieträger zu den Schadenskategorien gezählt werden, dies ist allerdings nicht unumstritten. Zwar vergrößert sich die zukünftige Knappheit der entsprechenden Ressource, solange dies jedoch in den Marktpreisen der nicht erneuerbaren Energieträger berücksichtigt wird, würde kein externer Effekt vorliegen (FRITSCH et al.).

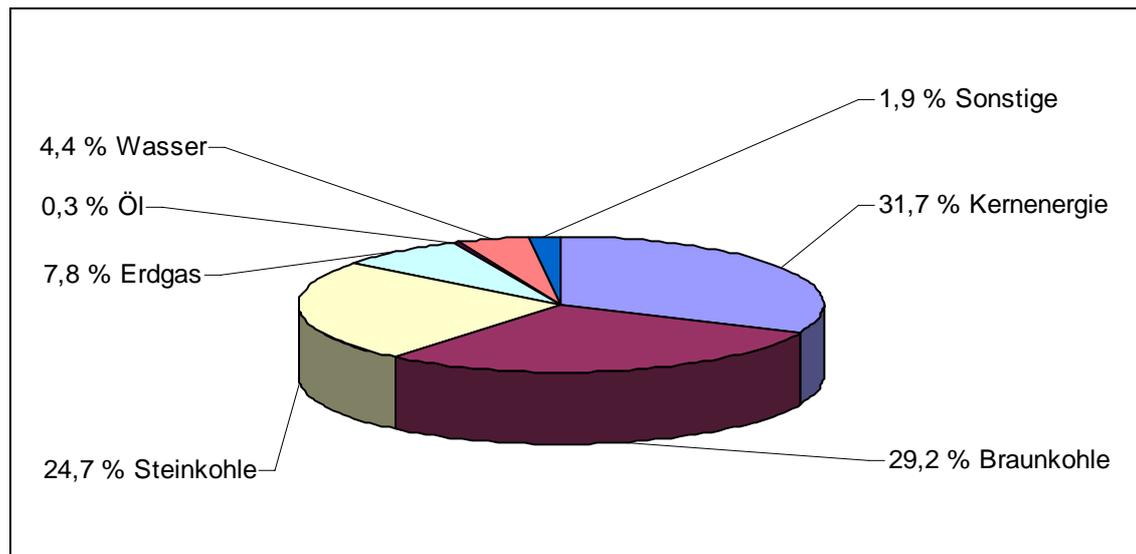
Bei der Personenschifffahrt waren die Auswirkungen der Trockenwasserperiode 2003 sehr unterschiedlich. Die Fahrgastbinnenschifffahrt mit ihren großen Schiffseinheiten und langen Reisewegen musste auf dem Rhein, der Donau und der Elbe zeitweise eingestellt werden. Kleinere Schiffe im Kurzstreckenverkehr waren wenig betroffen. Vor allem auf den schiffbaren Seen sorgte das anhaltend schöne Wetter zum Teil sogar für eine deutliche Steigerung der Fahrgastzahlen.

## 7.4 Energieerzeugung

Eine ausreichend zur Verfügung stehende Menge an Strom ist zwingende Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg einer Volkswirtschaft. Vor diesem Hintergrund kommt der Frage der Gewährleistung der Versorgungssicherheit auch in extremen Situationen und unter ungünstigen Witterungsbedingungen wie im Sommer 2003 eine besondere Bedeutung zu. Versorgungssicherheit bedeutet, für die Energienachfrage jederzeit ein ausreichendes Angebot an Energie sicherzustellen. Die heimische Produktion von Energie reicht dabei zur Deckung des Bedarfs oft nicht aus. Je vielfältiger der Energieträgermix ist und je mehr Bezugsquellen überall auf der Welt genutzt werden, desto sicherer ist die Versorgungslage (BMW 2005).

Weiterhin muss beachtet werden, dass Strom aus physikalischen Gründen stets im Moment des Verbrauchs erzeugt werden muss und nicht auf Vorrat produziert werden kann. Die Stromwirtschaft steht somit in der Pflicht, jederzeit, unabhängig von den besonderen Umständen, ausreichend Energie für die Volkswirtschaft bereitzustellen.

Wie Bild 7.4 zeigt, wird der überwiegende Teil des in Deutschland erzeugten Stroms aus nicht erneuerbaren Energieträgern gewonnen. Zunächst wird daher der für die Energieversorgungssicherheit bedeutendere Teil der konventionellen Kraftwerke und im nächsten Abschnitt die Erzeugung aus erneuerbaren Energieträgern (hier vor allem aus Wasserkraft) betrachtet.



**Bild 7.4** Energiemix der allgemeinen deutschen Stromversorgung in 2003, (VGB 2004, S.1.)

#### 7.4.1 Konventionelle Wärmekraftwerke

Mit 24,8 Milliarden m<sup>3</sup> p. a. sind die Wärmekraftwerke die größten Wassernutzer in Deutschland. Sie entnehmen fast ausschließlich Oberflächenwasser und setzen dieses überwiegend für Kühlzwecke ein (BGW 2005). Die Stromwirtschaft mit fossilen Energieträgern nutzt damit 64 % des gesamten deutschen Wasserbedarfs, wobei das zur Kühlung verwendete Wasser abzüglich eines Verlustes aus Verdunstung und um bis zu 5 °C wärmer in die Flüsse zurückgeleitet wird. Für die Produktion einer Kilowattstunde in Wärmekraftwerken werden 50 l Frischwasser verbraucht (LÖNKER 2003). Bei entsprechend geringen Abflüssen in den betroffenen Gewässern kann die Entnahme von Kühlwasser zu einer Unterschreitung kritischer Mengen und zu einer Überschreitung kritischer Temperaturen führen. Deshalb wird die Kühlwasserentnahme seitens der Genehmigungsbehörden meist begrenzt. Die Betreiber haben sich dem durch zunehmenden Einsatz von betriebseigenen Rückkühlungsanlagen angepasst. Etwa 8 % des insgesamt abgeleiteten Kühlwassers durchliefen im Jahr 1998 zuvor solche Anlagen. Vor allem die Wärmekraftwerke haben durch technologische Maßnahmen im Zeitraum von 1991 bis 2001 fast 4 Mrd. m<sup>3</sup> Wasser eingespart (Umweltbundesamt 2004 b).

Für die Beurteilung der Energieversorgungssituation in Deutschland während des Sommers 2003 müssen verschiedene Determinanten betrachtet werden. Zum einen werden hauptsächlich während der Sommermonate reguläre Revisionsarbeiten in den Kraftwerken vorgenommen, da in dieser Jahreszeit der Energieverbrauch eher gering ausfällt. Die Kapazität der deutschen Energieversorger war demnach im Vergleich zu anderen Jahreszeiten ohnehin geringer (Interview Lang, RWE Power).

Gleichzeitig stieg aber aufgrund der hohen Temperaturen der Energieverbrauch u. a. für Kühl- und Lüftungsanlagen ungewöhnlich an und ein zeitweiliger Mehrabsatz von bis zu 20 % konnte insbesondere an den sonst verbrauchsschwachen Tageszeiten verzeichnet werden. So kam es im dritten Quartal 2003 zu einer um ca. 3 % höheren Nachfrage als im Vergleichszeitraum des Jahres 2002 (VDEW 2003b, Energiehandelsgesellschaft West 2003).

In Baden-Württemberg führten die Hitzeperiode und der niedrige Wasserstand der Flüsse schließlich dazu, dass die Energieversorgung Baden-Württemberg die Bevölkerung zu einem sorgsamem und sparsamen Umgang mit Strom aufrief (EnBW 2003). Insgesamt war das Herunterregeln von Wärmekraftwerken nötig geworden, da sich die Flüsse, deren Wasser zur Kühlung benutzt wird, durch die Hitze zu stark aufgeheizt hatten und umweltschutzrechtliche Regeln nur eine gewisse Einleittemperatur zulassen (SFV 2005).

Tabelle 7.2 zeigt die Leistungsrückgänge einiger konventioneller Kraftwerke im Sommer 2003. Die Kraftwerke Obrigheim und Neckarwestheim II gingen aufgrund von Revisionsarbeiten vom Netz. Die erteilte wasserrechtliche Ausnahmeregelung verhinderte, dass weitere Kraftwerke ihre Arbeit einstellen mussten.

**Tabelle 7.2** Leistungsrückgänge einiger konventioneller Kraftwerke in Deutschland im Sommer 2003, (LÖNKER 2003, S. 22)

<b>Atom- und Kohlekraftwerke</b>	<b>Leistung gedrosselt in Prozent</b>
Brunsbüttel	-15
Unterweser	-70
Stade	-30
Brokdorf	-3
Krümmel	-40
Voerde	-50
Walsum	-50
Lünen	-50
Obrigheim	-100
Philippsburg I und II	-20
Neckarwestheim Block I	-20
Neckarwestheim Block II	-100
Isar	-50

Als Vorteil erwies sich für die deutschen Kraftwerke, dass diese überwiegend neben der Kühlung mit Wasser auch mit Umgebungsluft durch Kühltürme rückgekühlt werden. Dadurch wird ein kaltes Ende für den Dampfkreislauf zur Verfügung gestellt und man ist von der Kühlung durch ein nahes Fließgewässer unabhängig (VGB 1977). Allerdings müssen erhebliche Verluste an Kühlwasser infolge Verdunstung laufend ersetzt werden. Durch diese alternative Möglichkeit zur Rückkühlung waren deutsche Kraftwerke im Gegensatz beispielsweise zu den französischen Kraftwerken während der Hitzewelle im Vorteil. Dies zeigt sich auch in dem stärkeren Herunterdrosseln der französischen Kraftwerke bis hin zur Abschaltung einzelner Anlagen (Interview Lang, RWE Power).

Für die Kohlekraftwerke im Ruhrgebiet ergab sich neben der hohen Temperatur des zur Kühlung bestimmten Flusswassers durch die niedrigen Pegelstände ein weiteres Problem. Da die geringe Wassertiefe keine volle Beladung der Binnenschiffe zuließ, konnte weniger Kohle zur Verstromung geliefert werden (LÖNKER 2003).

### **7.4.2 Wasserrechtliche Ausnahmegenehmigung**

Die Kühlung der Kraftwerke über die Fließgewässer wird durch umweltschutzrechtliche Bestimmungen eingeschränkt. So darf das abgegebene Kühlwasser eine bestimmte Temperatur nicht überschreiten. In Deutschland begrenzen die Bundesländer die Wärmeeinleitungen wasserrechtlich. Bei allen Gewässern kommen die Grundsätze und die Kriterien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zur Anwendung. Danach darf eine Maximaltemperatur von 28 °C im Gewässer nicht überschritten werden. In Fischgewässern wird damit auch der Grenzwert der Fischgewässerrichtlinie bei Cyprinidengewässern eingehalten.

Im Jahr 2003 traten beispielsweise im Rheineinzugsgebiet Wassertemperaturen vor Einleitung von Kühlwässern von 28 °C und mehr auf, so dass eine Einleitung nicht möglich gewesen wäre. Die zuständigen Wasserbehörden reagierten, indem sie im August 2003 alle bedeutenden Wärmeeinleiter aufforderten, alle Möglichkeiten zu prüfen und auszuschöpfen, um die Wärmeeinleitungen in die Gewässer so niedrig wie irgend möglich zu halten. Für die Einleiter bedeutete dies, dass alle Rückkühlmöglichkeiten und –kapazitäten voll zu nutzen waren. So konnten z. B. bei der BASF AG durch Optimierung des Kühlwassereinsatzes und durch zusätzlichen Einsatz von Kühlwasser aus anderen Quellen nennenswerte Beeinträchtigungen bei der Produktion vermieden werden (Interview Jahn-Stahnecker).

Trotzdem wurden für andere Betreiber in kleinem Umfang und für kurze Zeiträume von den wasserrechtlichen Auflagen abweichende Ausnahmegenehmigungen zur Einleitungstemperatur erforderlich und in Einzelfällen sporadisch an wenigen Tagen in Anspruch genommen. Viele Firmen haben auch mit der Minderung der Produktion bzw. Stromerzeugung auf die Situation reagiert (IKSR 2003).

Baden-Württemberg war eines der am schwersten von der Hitzewelle betroffenen Bundesländer. Dort forderte die EnBW Anfang August 2003 das Wirtschaftsministerium auf, die wasserrechtliche Erlaubnis für die großen Kraftwerke an Rhein und Neckar zu lockern, um einen energiewirtschaftlichen Engpass in Baden-Württemberg zu verhindern. Die Ausnahmegenehmigung wurde erteilt und von anderen Bundesländern übernommen. So durften beispielsweise die Kernkraftwerke Neckarwestheim und Philippsburg eine Woche lang bis zu 30 °C anstatt wie bisher 28 °C warmes Kühlwasser in den Neckar und Rhein einleiten. Beide Kraftwerke mussten zuvor wegen mangelnden Kühlwassers ihre Leistung auf 80 % senken.

Nach den Grundlagen für die Beurteilung von Kühlwassereinleitungen, die von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser herausgegeben wurde (LAWA 1991), können kurzfristige Überschreitungen von bis zu 2 Kelvin erlaubt werden, wenn sie nicht zu nachteiligen Veränderungen führen.

Tabelle 7.3 zeigt die bis dahin geltenden Bestimmungen und die Neuregelungen, die getroffen wurden.

**Tabelle 7.3** Kraftwerke und deren wasserrechtliche Erlaubnis und die dazugehörigen Ausnahmeregelungen, (Landtag von Baden-Württemberg 2003, S. 4)

Kraftwerke und deren Wasserrechtliche Erlaubnis und die dazugehörige Ausnahmeregelung					
Kraftwerke	Parameter	in Wasserrechtl. Entscheidungen enthaltene Werte	Ausnahmeregelungen		
			vom 8.8. bis 15.8.	vom 8.8. bis 13.8.	vom 13.8. bis 18.8.
am Neckar					
Altbach	Kühlwasser: Einleitungstemperatur °C	30/35		37	
	rechn. Mischtemperatur des Gewässers °C	28			
	Verdunstungswassermengen im Niedrigwasserfall m³/d	7.200/17.300			15.000
Münster	Kühlwasser: Einleitungstemperatur °C	30/35			
	rechn. Mischtemperatur des Gewässers °C	28		30	29
GKN I + II	Kühlwasser: Einleitungstemperatur °C	I: 30/35; II: 35			
	rechn. Mischtemperatur des Gewässers °C	28	30		
	Verdunstungswassermengen im Niedrigwasserfall m³/d	I + II: 45.600	I: 55.000 II: 70.000		I: 55.000 II: 65.000/ 50.000
Heilbronn Block 7	Kühlwasser: Einleitungstemperatur °C	35			
	rechn. Mischtemperatur des Gewässers °C	28		30	28,5
	Verdunstungswassermengen im Niedrigwasserfall m³/d	12.000		24.000	24.000

Begründet wurde die Ausnahmegenehmigung dadurch, dass zum Zeitpunkt des Antrags wegen planmäßiger Revisionen Kraftwerke außer Betrieb gesetzt waren und zusätzlich Kraftwerke infolge der hohen Flusstemperaturen eingeschränkt betrieben oder abgeschaltet wurden. Wegen der Ungewissheit über die weitere Entwicklung der Temperaturen musste von einer Gefährdung für die Versorgungssicherheit ausgegangen werden. Die EnBW hätte weitere Kraftwerke aufgrund der hohen Wassertemperaturen und der infolge des Niedrigwassers eingeschränkt zur Verfügung stehenden Verdunstungswassermengen abschalten oder nur eingeschränkt betreiben können. Die entstehende Leistungsreduzierung hätte nur bis zu einem gewissen Grad durch Zukäufe außerhalb Baden-Württembergs aufgefangen werden können und es bestanden technische Grenzen (Spannungshaltung).

Im Fall weiterer Kraftwerkseinschränkungen wurden folgende Szenarien für denkbar gehalten:

- > Zusammenbruch des gesamten Transportnetzes mit dem Ausfall der Versorgung in Baden-Württemberg („black out“) sowie massiven Störungen im europäischen Verbundnetz.
- > Präventive Kundenabschaltungen im Verteilnetz zur Aufrechterhaltung der Systemicherheit im Transportnetz Baden-Württemberg. Hierzu wurden von der EnBW mit dem Wirtschaftsministerium Abschaltpläne besprochen (Landtag von Baden-Württemberg 2003).

Wie die Auflistung der im Sommer 2003 für denkbar gehaltenen Szenarien zeigt, wurde eine lokale Störung in Baden-Württemberg für möglich gehalten. Betrachtet man sich tatsächlich eingetretene Stromausfälle wie beispielsweise denjenigen in Italien am 28. September 2003,

können gerade diese lokalen Störungen weit reichende Folgen mit sich bringen. So wurde seit den 1950er-Jahren in Europa ein grenzüberschreitendes Verbundnetz der Stromversorgung aufgebaut. Dieses Verbundsystem bildet das Rückgrat für eine günstige und zuverlässige Stromversorgung, da sich mit dem koordinierten Kraftwerkseinsatz die Kostenvorteile von großen thermischen Kraftwerken und von Laufkraftwerken nutzen lassen.

Kurzzeitig kann zusätzlich Energie durch den Einsatz von Speicherkraftwerken und Gasturbinen für den Spitzenbedarf geliefert werden. Im Verbundbetrieb aller Kraftwerke müssen regional nur wenige Reservekraftwerke bereitgehalten werden und die Versorgungssicherheit kann erhöht werden. Bei Kraftwerksstörungen oder außergewöhnlichen Versorgungssituationen (wie sie im Sommer des Jahres 2003 vorlagen) lässt sich die benötigte Reserveleistung auch über größere Distanzen transportieren. Für bedeutende Energietransporte über lange Distanzen und über längere Zeitperioden ist das Übertragungsnetz jedoch nur beschränkt geeignet.

Lokale Unterbrechungen im Netz durch Blitzschlag, Stürme, Lawinen und andere nicht beeinflussbare natürliche Ereignisse können jederzeit eintreten. Deshalb haben die Netzbetreiber untereinander verschiedene Maßnahmen vereinbart, um die Ausweitung einer lokalen Störung auf das ganze Netz zu verhindern und sich gegenseitig auszuhelfen. Der Stromausfall in Italien stellt auch hierfür ein gutes Beispiel dar: Aufgrund übermäßig gestiegener Importe Italiens, die von den geplanten Mengen abwichen, und Netzstörungen im Exportland Schweiz führten schließlich zu einem reihenweisen Ausfall (kaskadenartiger Effekt) weiterer Leitungen nach Italien und schließlich zum totalen Stromausfall (Bundesamt für Energie 2003).

Wie das Beispiel zeigt, können die Abschaltung bestimmter Kraftwerke und der daran anschließende Energieimport schließlich dazu führen, dass die betroffene Region völlig vom Netz genommen wird, was mit verheerenden wirtschaftlichen Folgen für diese Region verbunden wäre. Die wasserrechtlichen Ausnahmeregelungen wurden daher zur Abwendung dieser potenziellen Folgen und eines Versorgungsnotstands erteilt. Einerseits sollten mit diesen Ausnahmegenehmigungen größere Schäden für die Bevölkerung, Industrie und Gewerbe, aber auch für die Umwelt durch den Ausfall relevanter Schutzeinrichtungen (z. B. Kläranlagen) abgewendet werden.

In den Ausnahmeregelungen wurde weiterhin festgelegt, dass durch die Landesanstalt für Umweltschutz in Rhein und Neckar ein Gewässermonitoring durchzuführen ist, um die tatsächlich eingetretenen Auswirkungen feststellen zu können. Darüber hinaus wurden die Betreiber verpflichtet, den zuständigen Wasserbehörden täglich die maßgeblichen Daten zu melden. Die tatsächliche Entwicklung und die Auswirkungen der Ausnahmen konnten so kontinuierlich überwacht werden. Die Einschätzung, dass keine ökologischen Langzeitfolgen zu befürchten waren, konnten vom Landtag bestätigt werden (Landtag von Baden-Württemberg 2003).

### 7.4.3 Strom aus Wasser- und Windkraft

Beide Energieträger haben mit jeweils ca. 4 % nur verhältnismäßig geringe Anteile an der gesamten Stromerzeugung in Deutschland. Wasser als Energieträger wird in Laufwasserkraftwerken (vor allem an den größeren Flüssen), in Speicherkraftwerken (Talsperren im Gebirge) sowie in Pumpspeicherwerken genutzt. Laufwasser- und Speicherkraftwerke waren im Sommer 2003 durch geringe Abflüsse in den Flüssen sowie geringe Zulaufmengen zu den Talsperren beeinträchtigt. Bei den 129 in Bayern betriebenen Anlagen der E.ON-Wasserkraft GmbH wurde die Regelarbeit von Januar bis Oktober 2003 um 9,5 % unterschritten (LfW Bayern 2004). Windenergieanlagen produzieren vor allem im Frühjahr und im Herbst Strom. In der Windflaute des Sommers 2003 konnten sie kaum Strom liefern (VDEW 2003 a). Gerade im Hinblick auf die Versorgungssicherheit zeigte der Sommer 2003, dass die Windenergie nicht als gesicherte Leistung betrachtet werden kann. So muss ohnehin für jedes MW aus Windkraft eine Reserveleistung von 0,85 bis 0,9 MW in Wärmekraftwerken eingerechnet werden (VDEW 2004).

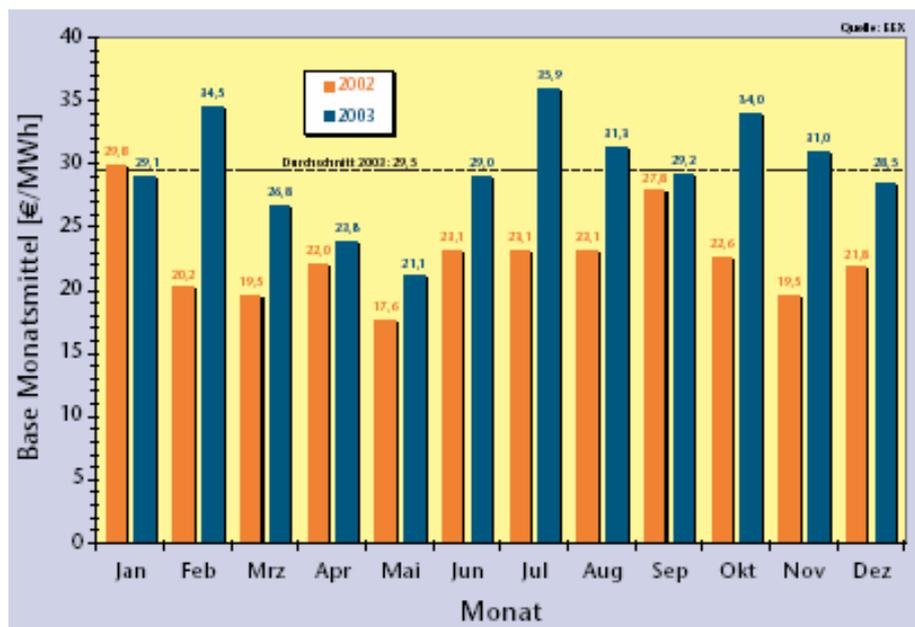
Während der Hitzewelle 2003 standen jedoch - wie bereits dargelegt - nicht nur die Windräder still, sondern auch einige Atomkraftwerke. Die Flüsse waren zu warm, das ihnen entnommene Kühlwasser ebenfalls. Da die Kernkraftwerke Grundlast-Strom liefern, ist ihr Teilausfall jedoch weit reichender als der der Windräder (BMU 2005). Auch bezogen auf die Entwicklung des Strompreises fehlte die Windenergie bei der ohnehin eingeschränkten Energieverfügbarkeit, um den Markt im Sommer 2003 zu dämpfen.

Stattdessen mussten Mittel- und Spitzenlastkraftwerke eingesetzt werden. Demgegenüber drückt die Windenergie in Zeiten hohen Energieüberschusses durch weitere Einspeisungen die Preise weiter nach unten. Die ökonomische Bilanz der Windenergie muss damit realistisch ausfallen. Zwar erhöhte sich die Stromproduktion aus Windenergieanlagen im Jahr 2003 um 16 % auf ca. 18 TWh. Dieser Zuwachs ist jedoch überwiegend dem Zubau neuer Anlagen zuzurechnen. So lag das Windaufkommen in Norddeutschland, wo die meisten Windkraftanlagen installiert sind, um 6 % unter dem Windaufkommen des Vorjahres (RAHN 2004).

### 7.4.4 Entwicklung des Stromgroßhandels im Jahr 2003

Die Preisentwicklung des Jahres 2003 auf dem Strommarkt wurde von verschiedenen Einflussfaktoren bestimmt. So trieben die Kraftwerksverfügbarkeit, die Wetterlage und der grenzüberschreitende Handel die Preise auf dem Spotmarkt in die Höhe. Besonders auf die Energieverfügbarkeit der Nachbarländer hatte die Hitzeperiode des Sommers 2003 wesentlichen Einfluss. Im Durchschnitt des Jahres 2003 wurde die Grundlast an der Leipziger Strombörse EEX mit 29,4 €/MWh gehandelt. Damit lag der Preis ca. 7 €/MWh (entspricht ca. 30 %) höher als im Vorjahr.

Wie das Bild 7.5 zeigt, wurden insbesondere in den Monaten Februar, Juli, Oktober und November höhere Preise erzielt.



**Bild 7.5** EEX-Monatswerte im Jahr 2002 und 2003, (RAHN 2004, S. 51)

Für den deutschen Großhandelsmarkt spielen insbesondere die Schweizer Spitzenlastkapazitäten aus den Wasserkraftwerken eine wichtige Rolle. Da sich die Speicherfüllmengen im Spätsommer 2003 auf dem niedrigsten Stand seit Jahren befanden und auch die Erzeugung in Laufwasserkraftwerken wegen der geringen Abflüsse reduziert werden musste, exportierte die Schweiz ca. 20 % weniger Strom als im Jahr 2002, was in einer entsprechenden Preisentwicklung abgelesen werden konnte (RAHN 2004). Auch Frankreich, das traditionell ein Stromexporteur ist, konnte im Jahr 2002 noch 76,8 Mrd. kWh ins Ausland liefern, wohingegen es im Jahr 2003 nur noch 66,1 Mrd. kWh waren. Ebenso mussten die skandinavischen Länder, die vor allem durch die eingeschränkte Produktion der Wasserkraftwerke betroffen waren, aufgrund der langen Trockenperiode auf die Käuferseite wechseln. Deutschland bezog im Jahr 2003 im Rahmen des europäischen Stromverbunds 9.300 MW, gleichzeitig exportierten die deutschen Stromversorger 5.900 MW ins Ausland, so dass per Saldo 3.400 MW Importe in die Bilanz einfließen (VDEW 2004).

Es wäre jedoch falsch, allein die Hitzewelle des Jahres 2003 hierfür verantwortlich zu machen. Vielmehr wirkten auch die internationalen Rohstoffmärkte als Preistreiber (RAHN 2004).

### 7.4.5 Fazit Energie

Im Sommer 2003 trieben die lang anhaltende Trockenperiode und eine geringe Stromproduktion aus Wasserkraftwerken und Windenergieanlagen die Preise an den europäischen Strombörsen nach oben. Aufgrund der ungewöhnlichen Hitze stieg der Energiebedarf der Konsumenten beispielsweise durch den vermehrten Einsatz von Klimaanlage. Demgegenüber war das Angebot aufgrund der in den Sommermonaten üblichen Revisionsarbeiten beschränkt. Hinzu kamen die Auswirkungen der Hitzewelle. So waren einige Kernkraftwerke und konventionelle Kraftwerke gezwungen, wegen der hohen Temperaturen des zur Kühlung be-

stimmten Flusswassers oder wegen niedriger Pegelstände ihre Leistung zu reduzieren. Der Strommarkt bewies damit seine Wettersensibilität, die sich insbesondere im sich vergrößernden Preisabstand zwischen Grund- und Spitzenlast zeigte (Dieser Abstand vergrößerte sich von 8 €/MWh auf 13 €/MWh.).

Die Energieversorgungssituation Deutschlands war bei weitem nicht so angespannt wie die einiger Nachbarländer, so dass sich insgesamt festhalten lässt, dass die deutschen Kraftwerke während der Hitzeperiode 2003 weiterhin die Versorgungssicherheit gewährleisteten. Unterstützt wurden sie durch die zuständigen Umweltministerien, die flexibel mit der Erteilung wasserrechtlicher Ausnahmegenehmigungen reagierten. Die ökologischen Folgeschäden scheinen nach den bisher vorliegenden Informationen verhältnismäßig gering zu sein.

## 7.5 Trinkwasserbereitstellung

Deutschland ist ein wasserreiches Land: Im langjährigen Mittel stehen pro Jahr 182 Mrd. m<sup>3</sup> zur Verfügung. Die Wasserentnahme über alle Nutzer beträgt ca. 38 Mrd. m<sup>3</sup>. Lediglich 21 % des jährlichen Wasserdargebots werden dem Wasserkreislauf entnommen und nach Gebrauch (abzüglich geringer Verluste) wieder zugeführt. Die öffentliche Wasserversorgung nutzt dabei nur 3 % des jährlichen Wasserdargebots (BGW 2005 a). 2001 wurden über 68 Millionen Personen, etwa 84 % der Einwohner Deutschlands, mit 4 212 Mio. m<sup>3</sup> Trinkwasser aus zentralen Anlagen versorgt. Das Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung kam zu 74 % aus Grundwasser, zu 17 % aus Oberflächenwasser und zu 9 % aus sonstigen Quellen, z. B. Uferfiltrat (Umweltbundesamt 2004 a).

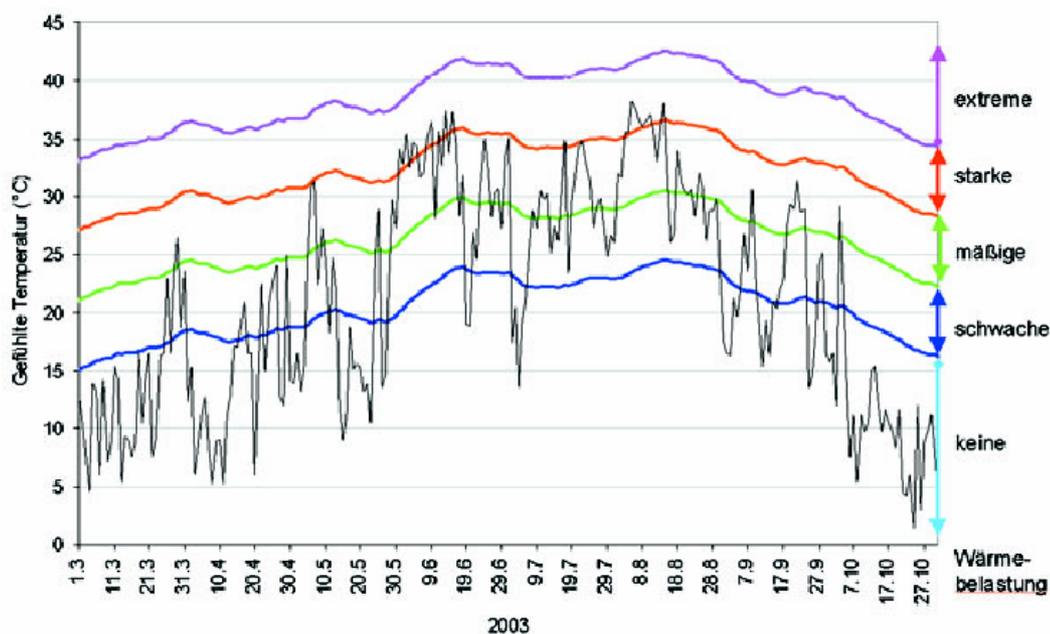
Eine geringe Grundwasserneubildungsrate wie im Jahr 2003 bereitet bei überwiegender Quellwassernutzung Probleme, insbesondere bei relativ kleinen Quellwassereinzugsgebieten. Demgegenüber ist die Entnahme aus dem Grundwasserreservoir besser vor trockenheitsbedingten Ausfällen geschützt. So lagen in Bayern bis Ende August 2003 die Grundwasserstände überwiegend im langjährigen Mittel. Dies kann auch darauf zurückgeführt werden, dass die natürlichen Wasserspeicher und somit auch das Grundwasserreservoir am Anfang des Jahres 2003 durch das vorausgegangene, sehr feuchte Jahr voll gefüllt waren (LfW Bayern 2004). Auch die Trinkwassergewinnung aus den Talsperren war nicht gefährdet. Die Talsperren halten möglichst Reserven für zwei Trockenjahre vor (FAZ 2003 a). Zu Versorgungsengpässen kam es daher nur regional in Mittelgebirgslagen, z. B. im Bayerischen Wald in kleineren Gemeinden, die Quellwassernutzung betreiben (LfW Bayern 2004).

Insgesamt war die Trinkwasserversorgung im Jahr 2003 somit gesichert. Gründe hierfür sind neben der günstigen Ausstattung mit der Ressource auch ein nachhaltiger Gewässerschutz, ein vernünftiger Wasserverbrauch und eine an zukünftigen Bedürfnissen ausgerichtete Investitionspolitik der Versorgungsunternehmen (BGW 2005).

## 7.6 Gesundheit

Um die Auswirkungen der Hitzeperiode auf die Gesundheit betrachten zu können, werden zunächst die Bewertungsmethoden für ein solches Ereignis dargestellt. Im Anschluss daran erfolgt die Betrachtung der Folgen für Deutschland.

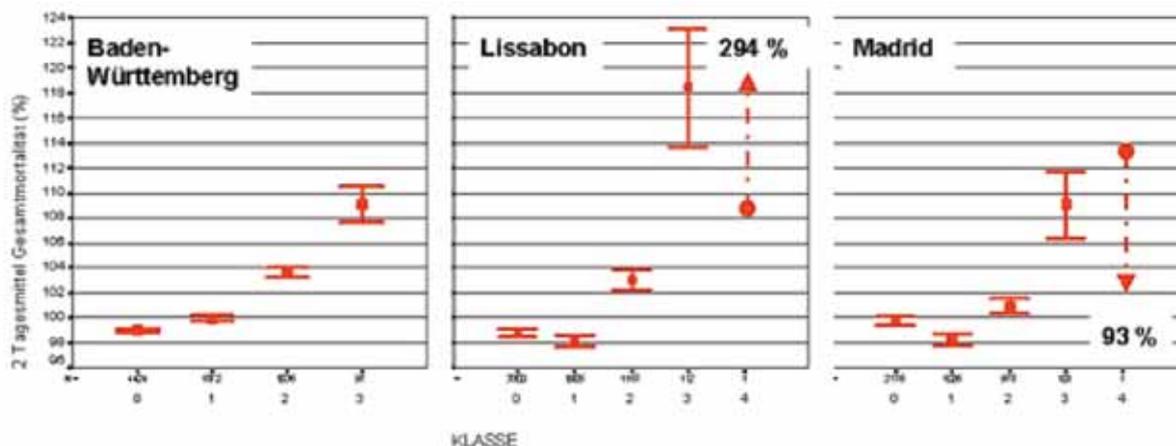
Ein Gleichgewicht von Wärmeproduktion und Wärmeabgabe beim Menschen ist Voraussetzung für optimale physiologische Funktionen. Insbesondere beim gesunden Menschen arbeitet das Thermoregulationssystem sehr effektiv und passt den Organismus selbst an extreme Bedingungen der Wärmeabgabe an. Es existiert keine allgemein akzeptierte Definition einer Hitzewelle, jedoch müssen die Überschreitung von Schwellenwerten, die Dauer dieser Überschreitung, die Änderungsgeschwindigkeit und der Zeitpunkt innerhalb der Saison (Akklimation) betrachtet werden. Allein die bloße Betrachtung der Überschreitung eines absoluten Schwellenwertes genügt nicht. So konnte für Europa mit Hilfe der Mortalitätsdaten nachgewiesen werden, dass eine Hitzewelle gleicher Intensität im Frühsommer mehr Menschenleben kostet als im Spätsommer, wenn die Menschen bereits akklimatisiert sind. Der Deutsche Wetterdienst verwendet einen thermischen Index, der auf einem absoluten Schwellenwert aufbaut, der gefühlten Temperatur (VDI 1998), und außerdem einen relativen Anteil enthält, der die kurzfristigen Akklimationsprozesse an das regionale Klima widerspiegelt. Das Bild 7.6 zeigt den Verlauf verschiedener Schwellenwerte der Wärmebelastung für den Sommer 2003 in Karlsruhe. Obwohl dieser Sommer ungewöhnlich heiß war, gab es keine Situationen extremer Wärmebelastung, denn die Luftfeuchtigkeit fiel meist sehr gering aus. Extrem hohe gefühlte Temperaturen treten immer bei hohem Wasserdampfgehalt auf, da die Verdunstung des bei hohen Temperaturen abgegebenen Schweißes massiv behindert wird.



**Bild 7.6** Verlauf der variablen Schwellenwerte und der gefühlten Temperatur für das Jahr 2003 in Karlsruhe. (KOPPE et al. 2003, S. 155)

Trotzdem kann es auch in Situationen mit „nur“ starker Wärmebelastung in Baden-Württemberg zu einem signifikanten Anstieg der Mortalität kommen, wie Bild 7.7 zeigt. Zum Vergleich sind auch entsprechende Ergebnisse für Lissabon und Madrid dargestellt. Die thermische Belastung wird in diesen Diagrammen eingeteilt mit:

- 0: Komfortbereich, 1: leichte Wärmebelastung, 2: mäßige Wärmebelastung,
- 3: starke Wärmebelastung, 4: extreme Wärmebelastung.



**Bild 7.7** Mittlere Abweichung vom Erwartungswert und 95 % Konfidenzintervall der Gesamtmortalität während unterschiedlicher Stufen thermischer Belastung. (Koppe et al. 2003, S. 158)

Das Bild 7.7 zeigt, dass an Tagen mit starker und extremer Wärmebelastung eine signifikante Erhöhung der Mortalität festzustellen ist und das über alle betrachteten Gebiete (Baden-Württemberg, Lissabon, Madrid). Die Unterschiede in den drei Diagrammen deuten darauf hin, dass wohl weitere, vor allem sozioökonomische Faktoren eine Rolle spielen.

Im Jahr 2003 führte die Hitzewelle in den mittleren Breiten Westeuropas zwar zu Rekordtemperaturen und einer extrem langen Dauer von heißen Tagen, jedoch war die gefühlte Temperatur wegen der trockenen Luft (erleichterter latenter Wärmefluss), anders als im Westen Frankreichs oder im Mittelmeerraum, kaum höher als die Lufttemperatur. Diesem Umstand dürfte es zu verdanken sein, dass die Mortalität in Deutschland 2003 nicht das Ausmaß anderer Länder angenommen hat.

So wird geschätzt, dass in Frankreich 14.800 Menschen Opfer der Hitzewelle wurden. Für Deutschland liegen Daten aus Baden-Württemberg vor, die belegen, dass über 16 Tage verteilt im Mittel ca. 180 Personen mehr verstarben als erwartet (KOPPE et al. 2003). Die Todesursachenstatistik des Statistischen Bundesamtes (Tabelle 7.4) wiederum weist lediglich 41 Personen aus, deren Todesursache auf Hitze und Sonnenlicht (T67) zurückzuführen ist.

**Tabelle 7.4** Todesursachenstatistik T67, Statistisches Bundesamt, GBE (2005), S 1.

Jahr	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Anzahl der Personen, die durch Schäden durch Hitze und Sonnenlicht starben	16	10	14	3	8	41

Die Zahl dieser Hitzschlagopfer ist aber im Jahr 2003 gegenüber den Vorjahren deutlich gestiegen. Darüber hinaus können auch andere Todesursachen wie Herz-/ Kreislaufkrankungen infolge der Hitze vermehrt aufgetreten sein, die jedoch so in der Statistik nicht geführt werden (Interview Schelo).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Quellen wie die der Münchener Rück (2004), S. 25 beziffern die Hitzetoten mit 3.500, wobei vermutlich auch Herz- und Kreislaufkrankungen hinzugezählt werden. Hier ist jedoch auf das Problem der tatsächlichen Zurechenbarkeit hinzuweisen.

Die Hitzebelastung trifft zumeist Personen mit eingeschränkter Anpassungskapazität aufgrund mangelhafter Fitness. Das sind vor allem ältere Menschen mit häufig durch Krankheiten geschwächtem Gesundheitszustand. Über das tatsächliche Todesrisiko entscheiden aber auch wesentlich die jeweilige Betreuung und Pflege. Dabei sind sicher auch regionale, sozio-ökonomisch bedingte Unterschiede vorhanden. Eine umfassende Literaturstudie von BASU & SAMET (2002) belegt außerdem, dass eine Zeitverzögerung zwischen dem Peak in der Temperatur und dem Anstieg der Mortalität zwischen null und drei Tagen liegt. Die Höhe des Mortalitätsanstiegs liegt je nach Sensitivität der betrachteten Gruppe zwischen 0,5 % (junge, gesunde Menschen, Landbevölkerung, guter sozialer Status) und bei 64 % (alte Menschen, geringer sozialer Status, Bettlägerigkeit, Stadtbevölkerung, Multimorbidität, alleine lebend, kein Zugang zu klimatisierten Räumen etc.) (KOPPE et al. 2003).

Die durch eine Hitzewelle verursachte höhere Mortalitätsrate ist mit erheblichem volkswirtschaftlichem Schaden verbunden. Grund hierfür ist das mit dem Menschen verbundene Humankapital. Jenseits einer ethischen Wertung werden darunter alle Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen subsummiert, die mit einer Steigerung der Produktivität verbunden sind. Die Bewertung des Humankapitals ist schwierig und umstritten. So bezieht sich dieser Begriff nur auf Tätigkeiten am Arbeitsmarkt und erfasst viele für die Volkswirtschaft sehr wichtige Leistungen wie Kindererziehung und Arbeiten im Haushalt nicht. Auch fallen Personen nicht darunter, die kein Erwerbseinkommen erzielen, wie Kinder und ältere Menschen. Wie oben bereits ausgeführt, sind aber insbesondere ältere Personen durch die Hitze betroffen, die ohnehin gesundheitlich gefährdet sind.

Über die gestiegene Mortalität hinaus gibt es Hinweise auf eine temperaturbedingte Zunahme der Verkehrs- und Arbeitsunfälle. Generell lassen sich ein Leistungsabfall und eine Einschränkung der kognitiven Fähigkeiten, d. h. Wahrnehmung, Reaktionszeit und Aufmerksamkeit beim Menschen ab einer Temperatur von 27 °C feststellen. Dies führt zu einer Häufung von Arbeitsunfällen und zum Absinken der Produktivität (Münchener Rück 2004).

## **7.7 Fazit der ökonomischen Auswirkungen der Trockenperiode 2003**

In diesem Beitrag wurden die ökonomischen Auswirkungen der Trockenperiode 2003 auf die Landwirtschaft, die Binnenschifffahrt, die Energieerzeugung, Trinkwasserbereitstellung und menschliche Gesundheit in Deutschland dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass es in jedem der ausgewählten Bereiche zu nachweisbaren wirtschaftlichen Folgen kam. Vor allem der Bereich der Energieerzeugung stellt sich in diesem Zusammenhang als besonders sensitiv dar. Zwar kam es zu keinerlei Versorgungsengpässen während der Hitzeperiode, dennoch musste geltendes Umweltschutzrecht ausgehebelt werden, um einen anderenfalls drohenden Engpass zu verhindern. Die deutschen und europäischen Energieversorgungsunternehmen müssen daher solche Ausnahmephänomene auch zukünftig in ihr Kalkül mit einbeziehen. Unter Umständen können ein ausreichend diversifizierter Energiemix und eine stärkere Dezentralisierung hierbei helfen. Es zeigte sich jedoch auch, dass die beiden bisher bedeutendsten alternativen Energieträger Wind- und Wasserkraft keine Entlastung bei einer Hitzewelle darstellen, weil sie selbst Einschränkungen erfahren.

Der landwirtschaftliche Sektor verliert zunehmend an Bedeutung für die Bruttowertschöpfung Deutschlands, so dass die Folgen der Hitze noch relativ gering mit 1 Mrd. € geschätzten Schäden ausfielen. Dennoch muss zukünftig bei einer sich verändernden Klimalage damit gerechnet werden, dass Missernten und eine Steigerung der Bewässerung zur Verteuerung deutscher Produkte und einer abnehmenden Konkurrenzfähigkeit im internationalen Vergleich führen. Eine entsprechende Sortenwahl und Spezialisierung in den einzelnen Regionen nach der Bodenbeschaffenheit kann die Folgen langfristig mildern.

Der Niedrigwasserstand führte im Binnenschiffverkehrsverkehr zu erheblichen Einbußen, wobei neben den direkten Schäden für die Binnenschiffer indirekte Schäden auch für die Umwelt durch die Verlagerung auf andere Verkehrsträger zu sehen sind.

Für den Bereich der Trinkwasserversorgung konnten nur regionale Ausfälle bei Quellwasserbezug festgestellt werden. Da der überwiegende Teil des deutschen Trinkwassers jedoch aus dem Grundwasser entnommen wird, bestanden keine nennenswerten Engpässe bei der Trinkwasserversorgung der Bevölkerung. Das lag vor allem an dem überdurchschnittlich niederschlagsreichen Jahr 2002 und dem ebenfalls nassen Winter 2002/2003. Wie die Wasserversorgung für die Bevölkerung und die Industrie bei einer Aufeinanderfolge von trockenen Jahren gewährleistet werden kann, wäre noch zu untersuchen.

Weiterhin wurden die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit betrachtet. Zwar wurde in den Medien von einer großen Anzahl Hitzetoter berichtet, die eindeutige Zuordnung zum Wettergeschehen ist aber schwierig. Ökonomisch betrachtet ist insbesondere die abfallende Leistungsfähigkeit wegen der hohen Temperaturen interessant, doch auch hier liegen keine exakten Daten vor.

Platzhalter für Tabelle 7.5

## 7.8 Literaturverzeichnis zu Kapitel 7

- BAG (2003) Bundesamt für Güterverkehr: Marktbeobachtungen, Herbst 2003, Köln
- BAnz (2004): Das Transportaufkommen in der Binnenschifffahrt im Jahr 2003. In: Bundesanzeiger Nr. 144, 04.08.2004
- BAnz (2005): Das Transportaufkommen in der Binnenschifffahrt im Jahr 2004. In: Bundesanzeiger Nr. 54, 18.03.2005
- BASU, R., SAMET, J. (2002): Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiological Evidence. *Epidemiological Reviews*, 24 (2), 190-202
- BDB (2005) Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt: Die Binnenschifffahrt: Die Eigenschaften. <http://www.binnenschiff.de>, Stand: 21.07.2005, 17:46
- BGW (2005a) Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft: Öffentliche Wasserversorgung nutzt nur 3 % der verfügbaren Wasserressourcen.  
[http://www.bgw.de/trinkwasser/marktdaten/wasserfakten\\_im\\_ueberblick/wassernutzung\\_in\\_deutschland](http://www.bgw.de/trinkwasser/marktdaten/wasserfakten_im_ueberblick/wassernutzung_in_deutschland)
- BGW (2005b) Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft: Pressemitteilung: Wasser satt trotz sommerlicher Hitze vom 28.06.2005,  
[http://www.bgw.de/de/trinkwasser/article\\_2005\\_6\\_28.html](http://www.bgw.de/de/trinkwasser/article_2005_6_28.html), Stand: 10.08.2005
- BMU (2005) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Fragen zur Windenergie und anderen erneuerbaren Energien in Deutschland, Juli 2005,  
<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/4573/20049>, Stand: 01.08.2005
- BMVEL (2003) Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Künast: Ernte 2003 – Starke Ertragseinbußen durch Dürre, aber gute Brotgetreidequalitäten und Getreidepreise, Pressemitteilung Nr. 215 vom 28.08.2003,  
<http://www.verbraucherministerium.de/index-00027B7CDF4D1F4E99966521C0A8D816.html>, Stand: 22.08.2005
- BMVEL (2003) Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Thalheim: Bund stockt Dürrehilfen auf – weitere 5 Millionen Euro für dürregeschädigte Landwirte bereitgestellt, Pressemitteilung Nr. 4 vom 07.01.2004,  
<http://www.verbraucherministerium.de/index-0007DF9382F0100682386521C0A8D816.html#04>, Stand: 22.08.2005
- BMWi (2005) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energiepolitik;  
<http://www.bmwi.bund.de/Navigation/Technologie-und-Energie/energiepolitik.html>, Stand: 03.08.2005
- Bonapartner (2003a) Bonapart Binnenschifffahrt Research: Aktuelles aus der Binnenschifffahrt, 9/2003, Köln
- Bonapartner (2003b) Bonapart Binnenschifffahrt Research: Aktuelles aus der Binnenschifffahrt, 10/2003, Köln
- Bundesamt für Energie (2003): Bericht über den Stromausfall in Italien am 28. September 2003, <http://www.energie-schweiz.ch/imperia/md/content/energiemarktetrgertechniken/elektrizitt/strompanne03/2.pdf>, Stand: 10.08.2005

- DBV (2003 a) Deutscher Bauernverband: Dürrehilfen müssen geschädigte Betriebe erreichen, Pressemitteilung vom 09.09.2003,  
[www.bauernverband.de/presseservice\\_920.html](http://www.bauernverband.de/presseservice_920.html), Stand: 04.08.2005
- DBV (2003 b) Deutscher Bauernverband: Forderungen des DBV,  
[www.bauernverband.de/konkret\\_830.html](http://www.bauernverband.de/konkret_830.html), Stand: 04.08.2005
- EnBW (2003) Energie Baden-Württemberg AG: EnBW ruft zu sparsamen Stromverbrauch auf, Pressemitteilung vom 08.08.2003, [www.enbw.com](http://www.enbw.com)
- Energiehandelsgesellschaft West (2003): Information für Stadtwerke: Mit der Hitze steigen die Strompreise, [http://www.ehw-energie.de/download/PM\\_Hitzewelle\\_1.doc](http://www.ehw-energie.de/download/PM_Hitzewelle_1.doc), Stand: 04.08.2005
- FAZ (2003 a) Frankfurter Allgemeine Zeitung: Nachrichten aus der Hitze: „Jetzt ist mal wieder richtig Sommer“ vom 06.08.2003,  
<http://www.faz.net/s/Rub21DD40806F8345FAA42A456821D3EDFF/Doc~EB3C80DCA4C6F426B962A265A356BE39B~Atpl~Ecommon~Scontent.html>, Stand: 10.08.2005
- FAZ (2003 b) Frankfurter Allgemeine Zeitung: Hitzetote: fast 11.500 Menschen in Frankreich an Hitze gestorben vom 29.08.2003,  
<http://www.faz.net/s/Rub21DD40806F8345FAA42A456821D3EDFF/Doc~EB9301197A31840D0A46EAFA14A38E2C1~Atpl~Ecommon~Scontent.html>, Stand: 04.08.2005
- FRITSCH, M.; WEIN, Th. und EWERS, H.-J. (1993): Marktversagen und Wirtschaftspolitik – mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns, München
- IKSR (2003) Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: Wärmebelastung der Gewässer im Sommer 2003 – Zusammenfassung der nationalen Situationsberichte, Bern
- JAEGERS, G. (2005): Niedrigwasser in der Tankschiffahrt, Rhine-River-Conference, Koblenz 2005
- KOPPE, Ch., JENDRITZKY, G. und PFAFF, G. (2003): Die Auswirkungen der Hitzewelle auf die Gesundheit. In: Deutscher Wetterdienst: Klimastatusbericht 2003, Offenbach, 152-162
- Landtag von Baden-Württemberg (2003): Drucksache 13/2365: Antrag der Fraktion „Grüne“ und Stellungnahme des Ministeriums für Umwelt und Verkehr, 20.08.2003
- Landwirtschaftskammer NRW (2003): Getreide mit Besonderheiten,  
[www.landwirtschaftskammer.com/fachangebot/tierproduktion/schweinehaltung/...](http://www.landwirtschaftskammer.com/fachangebot/tierproduktion/schweinehaltung/...),  
Stand: 06.07.2005
- Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe (2003): Landsortenversuche Körnermais 2003,  
[www.landwirtschaftskammer.com/Rlp/landbau/sorten/mais/kmlsv03.htm](http://www.landwirtschaftskammer.com/Rlp/landbau/sorten/mais/kmlsv03.htm), Stand: 06.07.2005
- LAWA (1991) Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser: Grundlagen für die Beurteilung von Kühlwassereinleitungen in Gewässer, 3. verbesserte Auflage, 1991
- LfW Bayern (2004) Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Wasserwirtschaftlicher Bericht Trockenperiode 2003, Kurzfassung, Mai 2004
- LÖNKER, O. (2003): Hitzefrei für Atomstrom. In: Neue Energie 9/2003, 22-23

- LÖPMEIER, F.J. (2003a): Das Trockenjahr 2003 aus agrarmeteorologischer Sicht. In: Deutscher Wetterdienst: Klimastatusbericht 2003, Offenbach, 163-169
- LÖPMEIER, F.J. (2003b): Die agrarmeteorologische Situation. In: Deutscher Wetterdienst: Klimastatusbericht 2003, Offenbach, 84-107
- Münchener Rück (2004): Topics Geo – Jahresrückblick Naturkatastrophen 2003, München
- RAHN, G. (2004): Der Stromgroßhandel im Jahr 2003, in: BWK, Bd. 56, Nr. 4, 50-53
- SFV (2005) Solarenergie-Förderverein Deutschland: Die Hitzewelle drosselt Stromproduktion der konventionellen Kraftwerke, [www.sfv.de/lokal/mails/phj/hitzewel.htm](http://www.sfv.de/lokal/mails/phj/hitzewel.htm), Stand: 01.08.2005
- StartClim 2004: Analyse von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich, Endbericht, Wien
- Statistisches Bundesamt (2004): Umweltökonomischen Gesamtrechnung 2004. Verkehr und Umwelt, Wiesbaden
- Umweltbundesamt (2004a): Umweltdaten Deutschland Online: Trinkwasser aus zentralen Versorgungsanlagen, <http://www.envit.de/umweltdaten/open.do?navigation=%2Fumweltdaten%2Fjsp%2Fcatalogue.jsp%3Fevent%3Dload%26catalogueId%3D0%26termId%3D2435>, Stand: 09.08.2005
- Umweltbundesamt (2004b): Umweltdaten Deutschland Online: Wassernutzung bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung, Stand 09.08.2005  
<http://www.envit.de/umweltdaten/jsp/document.do?event=downloadImage&ident=5531>
- VDEW (2003a) Verband der Elektrizitätswirtschaft: Stromwirtschaft sichert Versorgung, Pressemitteilung vom 09.08.2003, Berlin
- VDEW (2003b) Verband der Elektrizitätswirtschaft: Zwei Prozent mehr Strom verbraucht, Pressemitteilung vom 01.12.2003, Berlin
- VDEW (2004) Verband der Elektrizitätswirtschaft: Leistungsbilanz der Stromwirtschaft 2003/2004, VDEW-Pressekonferenz, 02.11.2004 in Berlin
- VDI (1998) Verein Deutscher Ingenieure: Environmental meteorology – Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at the regional level. Part I: Climate. VDI-Richtlinien. VDI 3787 Blatt 2. VDI-DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b, Beuth Verlag Düsseldorf
- VGB (1977) Verband deutscher Kraftwerksbetreiber und -hersteller : Technisch-wissenschaftliche Berichte „Wärmekraftwerke“: Kühlturm und Umwelt, Essen
- WSD Südwest (2003) Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest: Jahresbericht 2003, Mainz
- ZKR (2003) Zentralkommission für die Rheinschifffahrt: Pressemitteilung vom 02.12.2003, Strasbourg

### **Interviewpartner**

- Frau Petra Jahn-Stahnecker, BASF AG, E-Mail vom 28.07.2005  
Herr Lang, RWE Power Kraftwerk, Telefonat am 26.07.2005  
Frau Schelo, Statistisches Bundesamt, Telefonat am 03.08.2005

## 8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

### **Allgemeiner Verlauf der Trockenperiode 2003 (Kap. 2)**

Das hydrologische Jahr 2003 (01.11.2002 – 31.10.2003) begann zunächst in weiten Teilen Deutschlands mit überdurchschnittlichen Niederschlägen im November und Dezember 2002, die in manchen Regionen auch zu größeren Hochwasserereignissen führten. Von Februar bis September folgte dann eine lange niederschlagsarme Periode, vor allem in den Monaten Februar und März sowie Juni und August, die erst im Oktober beendet wurde. Die Temperaturen erreichten im August Werte, die an die Maximalwerte der bisherigen Beobachtungszeit heranreichten. Die Folge dieser meteorologischen Verhältnisse war ein entsprechender Verlauf der Abflüsse in den oberirdischen Gewässern. Sie gingen von einem Maximum im Januar mehr oder weniger kontinuierlich zurück und erreichten meist im August oder September ein Minimum. Etwas anders war die Situation in den alpin geprägten Gewässern, wo der Einfluss der Schneeschmelze im Sommer für eine gewisse Aufhöhung der Abflüsse sorgte.

Bei Niederschlägen und Abflüssen näherten sich die Monatsmittelwerte im Sommer 2003 sehr häufig den kleinsten Werten aus längeren Messreihen an und unterschritten diese auch in einigen Fällen.

### **Niederschläge 2003 im Vergleich zu langen Reihen (Kap. 3)**

Dazu hat der DWD eine flächendeckende Analyse der Niederschläge 2003 und der Reihe 1961 – 1990 durchgeführt, die Werte einander gegenübergestellt und als Defizite oder Überschüsse in Karten dargestellt (Bilder 2.7 – 2.9). Danach gab es 2003 große Defizite im Sommerhalbjahr vor allem in Süd- und Ostdeutschland. Im Winterhalbjahr sind überwiegend leichte Überschüsse aufgetreten. Das führt für das Gesamtjahr ebenfalls zu Defiziten, die regional ähnlich verteilt sind wie die des Sommerhalbjahres. Weitere Differenzierungen sind kaum möglich, weil die Klassenbreiten für die grafischen Darstellungen recht groß gewählt wurden.

Es wurden deshalb zur Ergänzung eigene Analysen für 42 ausgewählte langjährig beobachtete Messstationen durchgeführt. Sie ergeben für jede Station genaue Vergleichswerte

N (für 2003)/N (aus verschieden langen Reihen). Regionale Verteilungen von Defiziten oder Überschüssen sind aber wegen der geringen Zahl der Stationen und ihrer recht ungleichmäßigen räumlichen Verteilung kaum möglich. Für die Vergleichsreihe 1961 – 2002 ergeben sich im Winterhalbjahr (Bild 3.6) Verhältniswerte zwischen 1,18 (Überschuss) und 0,66 (Defizit). Mittelwerte über benachbarte Stationen zeigen Verhältniswerte von ca. 1,0 in Süddeutschland und 0,8 in Teilen von Nord- und Ostdeutschland. Im Sommerhalbjahr (Bild 3.7) sind – bis auf eine – an allen Messstellen Defizite zu verzeichnen (Verhältniswerte zwischen 0,99 und 0,62). Eine räumliche Verteilung ist aber kaum zu erkennen. Neben zwei Stationen im Gebiet von oberer Elbe und Spree zeigen auch einige Stationen im Rhein-Main-Gebiet die größten Defizite. Auch auf das Jahr bezogen (Bild 3.5) waren die Niederschläge 2003 bis auf eine Station überall kleiner als im Mittel der Reihe 1961 – 2002 (Verhältniswerte 1,00 bis 0,68). Auch dabei sind regionale Unterschiede nicht eindeutig zu erkennen.

Verwendet man als Vergleichsreihe die von 1901 – 2002 anstelle der von 1961 – 2002, werden die Verhältniswerte im Mittel aller Stationen für Winterhalbjahr und Gesamtjahr etwas größer und ändern sich für das Sommerhalbjahr kaum (Bilder 3.2 bis 3.4). Das heißt, die mittleren Niederschläge waren in der Zeit von 1961 – 2002 entsprechend etwas größer als in der Zeit von 1901 – 2002. Damit sind die Gegebenheiten 2003 als etwas weniger extrem zu beurteilen, wenn man sie mit denen der längeren Reihe vergleicht.

Zusammenfassend lässt sich zur Bewertung der Niederschlagsverhältnisse 2003 in Deutschland sagen, dass die Summe des Winterhalbjahres im Mittel etwa derjenigen aus langen Reihen entspricht. Im Sommerhalbjahr sind fast überall deutliche bis große Defizite zu verzeichnen. Da bei den meisten Stationen die Sommerniederschläge im Mittel größer sind als die des Winters, entspricht die Einordnung des Gesamtjahres 2003 eher der des Sommerhalbjahres. Deutliche regionale Unterschiede zeigen sich vor allem zwischen Bayern mit Teilen Baden-Württembergs (geringe Defizite oder Überschüsse) sowie dem Gebiet von oberer Elbe und Spree (größte Defizite). Letzteres ist aber nur durch zwei ausgewertete Stationen belegt. In den übrigen Teilen Deutschlands lässt die Zahl der Stationen und deren Verteilung weitergehende Aussagen nicht zu.

Eine Absicherung dieser Ergebnisse mit Hilfe weiterführender statistischer Analysen wurde bisher nicht versucht und war auch nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

#### **Abflüsse 2003 im Vergleich mit langen Messreihen (Kap. 4)**

Grundlage der Analysen waren Abflussdaten von 159 Pegeln in Deutschland (Bild 4.1). Bei der Auswahl wurde neben einer etwa gleichmäßigen regionalen Verteilung auf möglichst lange Messreihen ohne Lücken Wert gelegt (Beginn 1961 oder früher). Leider liegen vor allem aus Norddeutschland nicht allzu viele solcher Reihen vor, so dass z. T. auch mit etwas kürzeren Reihen vorlieb genommen werden musste. Insgesamt ergibt sich außerdem ein Übergewicht von Messreihen an größeren Gewässern. Ein grundsätzliches Problem ist, dass viele Reihen durch anthropogene Einflüsse verändert sind (Speicher im Gebiet, Überleitungen, Eingriffe zur Steuerung usw.). Eine „Bereinigung“ dieser Messreihen um solche Einflüsse war im Rahmen der vorliegenden Analysen nicht möglich. Die Einflüsse wurden bei der

Bewertung der Ergebnisse mit herangezogen. Sie waren allerdings auch aus verschiedenen Gründen nur in Einzelfällen anhand der Ergebnisse plausibel nachweisbar.

Zunächst wurden in gleicher Weise wie zuvor für die Niederschläge Abflusskennwerte des Jahres 2003 mit denen langer Messreihen verglichen. Basisreihe für die meisten Analysen war die Reihe von 1961 – 2002. Es wurden Verhältnismerte  $Q(2003)/Q(1961 - 2002)$  für MQ und MNQ des Winter- und des Sommerhalbjahres sowie des Gesamtjahres analysiert. Hier wird nur auf die Ergebnisse für MQ näher eingegangen.

Die für die einzelnen Pegelstellen ermittelten Verhältnismerte streuen auch für benachbarte Verhältnismerte im Allgemeinen so stark, dass eine Zusammenfassung (Mittelbildung) für Teilregionen nötig war, um großräumige regionale Unterschiede zu erkennen. Die Pegel an den großen Strömen zeigen meist ein etwas anderes, zwischen den einzelnen Pegelstellen einheitlicheres Verhalten.

Die MQ-Werte des Winterhalbjahres (Bild 4.4) lagen 2003 fast überall auch zum Teil deutlich über den Werten der Vergleichsreihe. Besonders hohe Überschüsse (Verhältnismerte  $> 1,5$ ) traten bei den nördlichen Zuflüssen zur Donau sowie im Aller- und im Saalegebiet auf, die größten Defizite (Verhältnismerte bis hinunter zu 0,8) in großen Teilen der Küstengebiete und im Odergebiet. Für das Sommerhalbjahr (Bild 4.5) waren überall große Defizite zu verzeichnen. Die Verhältnismerte für die festgelegten Teilregionen schwanken um 0,45 für das Gebiet des oberen Mains, für Mulde-, Havel- und Odergebiet bis hinauf zu Werten um 0,7 für die südlichen Donauzuflüsse und große Teile Norddeutschlands. Für das gesamte hydrologische Jahr (Bild 4.3) entspricht MQ (2003) im Mittel etwa MQ (1961 – 2002) mit regionalen Schwankungen der Verhältnismerte zwischen etwa 0,7 und 1,2, wobei Überschüsse und Defizite sich ähnlich verteilen wie für das Winterhalbjahr.

Zur Beurteilung der Niedrigwassersituation 2003 gegenüber den Verhältnissen einer längeren Messreihe geben statistische Analysen den besten Überblick. Dazu werden die  $NM_xQ$ -Werte für  $x = 7$  und 30 Tage Dauer ermittelt, für die jeweilige Reihe durch Anpassung einer theoretischen Verteilungsfunktion die Abflüsse verschiedener Häufigkeit (Wiederholungszeitspanne  $T_n$ ) berechnet und die Werte für 2003 darin eingeordnet. Für die Anpassung der LogPearson 3-Verteilung mit Momentenmethode und  $x = 7$  ergibt sich folgende Einschätzung des Niedrigwassers 2003 (siehe Bild 4.9):

Rhein:	$T_n = 5 - 10$ a (Hochrhein) bis $T_n = 50$ a (Köln)
Donau:	wechselnd zwischen $T_n = 2 - 5$ a und $T_n = 10 - 20$ a
Weser:	$T_n = 5 - 10$ a
Elbe:	$T_n = 5 - 10$ a (Dresden) bis $T_n = 20$ a (Neu Darchau)
Oder:	zwei Pegel, $T_n = 20 - 50$ a bzw. $T_n > 100$ a

Insgesamt ist  $NM7Q(2003)$  bei 66 % aller Pegel als ein Ereignis einzustufen, das im Mittel alle 10 Jahre einmal oder häufiger ( $T_n \leq 10$  a) zu erwarten ist. Davon ist etwa die Hälfte dem Bereich  $T_n \leq 5$  a zuzuordnen. Die Größenordnung eines „Jahrhundertereignisses“ ( $T_n \geq 50$  a) erreicht es nur bei 7 Pegeln (davon 2 im Odergebiet, die übrigen unregelmäßig über Deutschland verteilt). Dazwischen ( $T_n = 10 - 20$  a und  $20 - 50$  a) liegen ca. 30 % der untersuchten Pegel, ebenfalls ohne deutlich erkennbare regionale Schwerpunkte.

Der Vergleich der regionalen Verteilung der Verhältniswerte MQ (2003)/MQ (1961 – 2002) mit den Wiederholungszeitspannen für NM7Q zeigt kaum erkennbare Übereinstimmungen, am ehesten noch bei den MQ-Werten des Sommerhalbjahres hinsichtlich der besonders und am wenigsten betroffenen Regionen.

Verwendet man statt der NM7Q- die NM30Q-Werte (Niedrigwasser mit 30 aufeinanderfolgenden Tagen) zur Einordnung des Jahres 2003, unterscheiden sich die Ergebnisse nur wenig. Systematische Unterschiede gibt es für den Vergleich mit längeren Messreihen als mit der bisher verwendeten Reihe 1961 – 2002. Sowohl hinsichtlich der Vergleiche der MQ-Werte als auch der Häufigkeiten der NM7Q-Werte zeigt sich, dass mit den längeren Messreihen das Ereignis 2003 als weniger „extrem“ einzustufen ist als mit der Ausgangsreihe. Der Grund liegt darin, dass die Abflüsse der Reihe 1961 – 2002 im Allgemeinen größer sind als die längerer Reihen, ähnlich wie es schon bei den Niederschlägen zu erkennen war.

Die bei den meisten untersuchten Pegeln ermittelten verhältnismäßig geringen Wiederholungszeitspannen für Niedrigwasserabflüsse 2003 erscheinen vielleicht überraschend. Tatsächlich sind aber auch in der jüngeren Vergangenheit z. T. mehrfach Ereignisse dieser Größenordnung aufgetreten. Zum Nachweis wurden an allen Pegeln die Jahre herausgesucht, in denen die 10 kleinsten Jahres-NQ der jeweiligen Messreihe aufgetreten sind. Ein Vergleich aller Pegel für die Reihe 1961 – 2002 zeigt dabei besonders häufig die Jahre 1976/77 und 1991/92. Bei den langen Reihen sind die besonders kleinen Abflüsse vor allem 1921/22, 1928/29, 1934/35, 1947/48, 1949/50 und 1959/60 aufgetreten. Das Jahr 2003 gehört dabei häufig nicht zu den 10 kleinsten Jahres-NQ der Messreihe.

### **Langfristige Änderungen von Niederschlägen und Abflüssen (Kap. 5)**

In den Untersuchungen zu Kap. 4 und 5 hatten sich immer wieder Hinweise auf langfristige Veränderungen von Niederschlägen und Abflüssen ergeben. Auch aus anderen Untersuchungen sind diese Phänomene seit längerem bekannt. Es wurden deshalb auf der Basis der vorher ermittelten Daten Trendanalysen für verschiedene Teilreihen ab 1901, 1921, 1941 und 1961 (jeweils bis 2002) durchgeführt. Als Vergleichswert wurde die Trendänderung pro Jahr in % des jeweiligen Mittelwertes verwendet.

Bei den Niederschlägen wurden die Halbjahressummen für Winter und Sommer sowie das gesamte hydrologische Jahr anhand der Daten der 42 ausgewählten Messstationen untersucht. In allen Teilreihen 1961 – 2002 sind etwa 80 % der Trends positiv. Die mittlere Trendänderung aller Stationen beträgt etwa 0,2 % pro Jahr. Bei längeren Reihen wird die Zahl negativer Trends im Sommer größer. Im Mittel ist dann der Trend der Sommerhalbjahre nahe Null, im Winterhalbjahr etwa unverändert, im Gesamtjahr entsprechend nur etwa halb so groß wie bei der Reihe 1961 – 2002. Die Tendenz zu größeren Niederschlägen hat also vor allem im Sommerhalbjahr im Lauf der Zeit zugenommen. Im Winterhalbjahr ist der Trend dagegen über die Zeit etwa gleichbleibend. Eine regionale Differenzierung der Trendänderungen ist kaum erkennbar (Bilder 5.5 bis 5.7). Die größten mittleren Trendänderungen sind in Bayern und angrenzenden Teilen von Baden-Württemberg zu erkennen, die kleinsten (z. T. leicht negativen) Änderungen im oberen Elbe- und Spreegebiet. Ein Vergleich mit den für Deutschland flächendeckend ermittelten Niederschlagstrends nach RAPP UND SCHÖNWIESE (1996)

für 1891 – 1990 und 1961 – 1990 (Bilder 5.8 bis 5.13) zeigt nur wenige Ähnlichkeiten in der regionalen Verteilung und z. T. andere Vorzeichen der Trendänderung im Sommerhalbjahr bei den kürzeren Reihen. Gründe können vor allem die unterschiedlichen Datenbasis und Länge der Zeitreihen sein.

Für die Abflüsse wurden zunächst ebenfalls Trends der Halbjahres- (Winter, Sommer) und Jahresmittel berechnet und die jährlichen Trendänderungen weiter analysiert. Dabei stand die Messreihe 1961 – 2002 im Vordergrund. Im Mittel aller Pegel (ohne einige wenige Ausreißer) ist der Anteil mit negativen Trends deutlich größer als bei den Niederschlägen: ca. 20 % im Winterhalbjahr, ca. 75 % im Sommerhalbjahr und ca. 40 % im gesamten Jahr. Die mittleren Abweichungen aller Pegel betragen ca. +0,3 % pro Jahr im Winter, ca. - 0,3 % pro Jahr im Sommer und +0,1 % pro Jahr für das Gesamtjahr. Die regionale Verteilung der Einzelwerte zeigen die Bilder 5.15 bis 5.17. Entsprechende Analysen für NM7Q (1961 – 2002) führen zu ähnlichen Ergebnissen (Bild 5.27).

Da die regionalen Verteilungen der Einzelwerte keine klare regionale Zuordnung der Abflusstrends ermöglichen, wurde eine weitere Zusammenfassung der Einzelwerte zu größeren Regionen vorgenommen (Bild 5.28). Es zeigt sich jetzt im Wesentlichen ein Süd-Nord-Unterschied, wobei im Norden noch einmal eine West-Ost-Gliederung zu erkennen ist. Große positive Trendänderungen sind im Donau-, Hoch- und Oberrheingebiet zu erkennen (im Winter +0,6 %, im Sommer +0 % und im Jahr +0,3 % Trendänderung pro Jahr). Im Gebiet nordöstlich der Elbe treten im Mittel in beiden Halbjahren und im Gesamtjahr große negative Trendänderungen auf (um ca. -0,5 % pro Jahr).

Die regionale Verteilung der NM7Q-Trendänderungen (Bild 5.28) entspricht aber weder denen der MQ des Winter- noch des Sommerhalbjahres, sondern noch am ehesten denen des Gesamtjahres. Das kann damit zusammenhängen, dass die Niedrigwasserabflüsse eines Jahres zwar bei den meisten der untersuchten Pegel im Sommerhalbjahr auftreten, aber in ihrer Größe durch die Verhältnisse des vorausgegangenen Winterhalbjahres mit beeinflusst sind.

Für längere Zeiträume als dem der Abflussreihe 1961 – 2002 standen wenige Datenreihen zur Verfügung, so dass Aussagen auf der Grundlage dieser Trendanalyse unsicherer werden. Für die Pegel mit langen Reihen ab 1901, 1921, 1941 und 1961, jeweils bis 2002, ergaben sich meist wenig veränderte Trends bis zur Reihe ab 1941, aber z. T. große Änderungen für die Reihe ab 1961 (Verstärkung oder Abschwächung der positiven Trends, auch Trendumkehr, siehe Bilder 5.18 bis 5.26).

Zum Abschluss dieses Teils der Untersuchungen wurden noch die Trends der Niederschläge und der mittleren Abflüsse (jeweils Winter, Sommer und Jahr) für verschieden lange Reihen miteinander verglichen (Bild 5.29). Im Mittel für alle 42 Niederschlagsstationen und für die jeweiligen Pegel (mit unterschiedlicher Anzahl) sind die Trendänderungen bis zur Reihe 1941 – 2002 sehr ähnlich. Für 1961 – 2002 trifft das auch noch auf die Jahreswerte zu, die für Winter und Sommer differieren aber deutlich. Im Sommer ergibt sich sogar eine mittlere positive Trendänderung der Niederschläge von etwa +0,2 % pro Jahr, aber eine etwa gleich große negative Trendänderung der mittleren Abflüsse.

Neben den Trends unterschiedlicher Messreihen von Niederschlägen und Abflüssen wurden auch Mittelwerte von Teilreihen gebildet und analysiert. Auslöser waren Ergebnisse von Sprunganalysen bei der statistischen Bearbeitung der NMxQ-Reihen, wobei für längere Reihen Sprünge vor allem zwischen 1955 und 1965 nachgewiesen wurden. Deshalb wurden Mittelwerte der Teilreihen bis 1960 gebildet und die Änderungen gegenüber den Mittelwerten der Reihen 1961 – 2002 untersucht. Erwartungsgemäß sind die Ergebnisse denen aus den Trendanalysen qualitativ sehr ähnlich, so dass auf eine detaillierte Darstellung im vorliegenden Bericht verzichtet wurde.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Untersuchungen zu langfristigen Änderungen von Niederschlägen und Abflüssen in der Vergangenheit haben vorliegende Erkenntnisse im Grundsatz bestätigt, aber erweitert und modifiziert. So waren langfristige Zunahmen von Niederschlägen schon in anderen Untersuchungen festgestellt worden, mit einer verstärkten Zunahme von Niederschlägen vor allem in den letzten Jahrzehnten. Abnahmen in geringem Umfang sind auf das Sommerhalbjahr und dort auf Teile Ostdeutschlands beschränkt. Für Abflüsse existierte eine solche umfassende Analyse mit gleich langen Reihen und gleichen Methoden bisher überhaupt nicht. Die Ergebnisse werfen einige zusätzliche Fragen auf, z. B. nach der Existenz von negativen Abflusstrends in Regionen mit positiven Niederschlagstrends oder nach den gegenläufigen Entwicklungen von Trends der Reihe 1961 – 2002 bei Niederschlägen und Abflüssen. Es bestätigte sich grundsätzlich, dass bei Aussagen zu Trends große Vorsicht geboten ist, wenn die zugrunde liegenden Reihen nicht sehr lang sind. Schon die Reihen 1961 – 1990 und 1961 – 2002 können zu großen Unterschieden bei den Ergebnissen der Trendanalysen führen. Besonders bei den Abflüssen sind außerdem die Unterschiede zwischen benachbarten Pegeln (z. T. auch am gleichen Gewässer) bei gleicher Messdauer mitunter groß, ohne dass man plausible Ursachen angeben kann. Häufig spielen wohl auch Unsicherheiten bei der Ermittlung der Abflussdaten eine Rolle.

### **Andere wasserwirtschaftliche Aspekte der Trockenperiode 2003 (Kap. 6)**

Zu den im Kap. 6 behandelten Aspekten zur Trockenperiode 2003 wurden keine eigenen Recherchen angestellt, sondern nur Informationen verwendet, die in vorliegenden Berichten wasserwirtschaftlicher Dienststellen und Verbände in Deutschland enthalten sind. Soweit Untersuchungen aus Nachbarländern vorliegen (Schweiz, Österreich, Tschechien), wird die Einschätzung der Häufigkeit und Bedeutung des Ereignisses auf deutscher Seite für die entsprechenden Zuflüsse aus den genannten Ländern im Wesentlichen bestätigt.

#### **> Seen**

Quantitative Angaben liegen nur für den Bodensee und einige oberbayerische Seen vor (Bilder 6.3 und 6.4). Die Wasserstände sind 2003 stark zurückgegangen, das Minimum liegt aber über den bisher bekannten kleinsten Werten.

#### **> Grundwasser und Quellen**

Zu Grundwasserständen und Quellschüttungen 2003 liegen umfangreichere Informationen aus Baden-Württemberg und Bayern vor. Der Rückgang beider Größen und deren zeitliche Dämpfung hängen von der Anfangsfüllung der zugehörigen Grundwasserleiter im Frühjahr

2003 (diese war im Allgemeinen recht hoch) und deren Rückhaltevermögen ab. Die Werte Ende 2003 liegen häufig zwischen den mittleren und kleinsten Werten der zum Vergleich herangezogenen Reihen, manchmal auch im Bereich der kleinsten Werte.

> Speicher und deren Bewirtschaftung

Dazu liegen Informationen für 6 Speicher oder Speichersysteme aus Bayern und für Anlagen verschiedener Verbände (Talsperrenbetreiber) vor. Die Anlagen dienen der Niedrigwasseraufhöhung, der Trinkwasserbereitstellung oder mehreren Zielen. Bis auf einen dokumentierten Fall konnten alle Bewirtschaftungsziele 2003 (z. T. mit kleinen Einschränkungen) eingehalten werden (siehe Bilder 6.6 bis 6.8). In den meisten Speichern war am Ende der Trockenperiode noch eine Reserve vorhanden, z. T. auch von erheblicher Größe. Der Grund für diese positive Bilanz war vor allem der hohe Füllungsgrad der Anlage zu Beginn der Trockenperiode durch die Niederschläge im November und Dezember 2002. In einem der dokumentierten Fälle (Spree) war es 2003 nicht möglich, die angestrebten Mindestabflüsse mit Hilfe verschiedener Speicher in Brandenburg und Sachsen zu erreichen. Die betroffene Region gehört zu den Gebieten mit negativer Wasserbilanz in Deutschland (auch für mittlere Jahre ist die Verdunstung größer als die Niederschläge). Dazu kommen verschiedene anthropogene Einflüsse und Nutzungsanforderungen.

> Wasserbeschaffenheit und Auswirkungen auf Ökosysteme

Für Fließgewässer gibt es zu diesem Aspekt Informationen vor allem aus dem Rheingebiet. Zunächst sind lokale Probleme durch Trockenfallen auch von ganzen Gewässerabschnitten zu nennen, über deren Ausmaß es aber keine Angaben gibt. Für die Schweiz wird über eine große Zahl toter Fische auf solchen Strecken berichtet. Sonst war vor allem die starke Erwärmung des Wassers das Hauptproblem. Häufig wurden Werte zwischen 26 °C und 30 °C gemessen. Das führte im Hochrhein zu einem großen Äschensterben. Außerdem trat im Rhein an verschiedenen Stellen ein Muschelsterben bei einer Körbchenmuschelart auf. Aalsterben im Bodensee-Untersee und in einzelnen Abschnitten des Rheins war hauptsächlich durch eine Infektionskrankheit verursacht, die durch die hohen Wassertemperaturen begünstigt wurde.

Die Sauerstoffgehalte blieben meist oberhalb kritischer Werte, außer in einzelnen Abschnitten staugeregelter Flüsse. Die Belastung mit Kohlenstoffverbindungen, Nährstoffen und anderen Schadstoffen war eher geringer als in vorangegangenen Jahren, weil die Einträge aus Kanalisation, Kläranlagen und von landwirtschaftlichen Flächen durch die geringen Niederschläge ebenfalls verringert waren.

Bei einigen Seen und Speichern traten Probleme durch eine starke Zunahme von Algen und höheren Wasserpflanzen auf. Vereinzelt mussten Badeverbote ausgesprochen oder Rohwasser zur Trinkwassergewinnung belüftet werden.

> Grundwasser

Soweit Informationen zur Grundwasserbeschaffenheit vorliegen, hat es keine zusätzlichen Probleme durch die Trockenperiode (z. B. bei den Nitratkonzentrationen) gegeben.

> Verdunstung und Bodenfeuchte

Die dazu vorliegenden Informationen zeigen die Probleme, welche die Landwirtschaft im Sommer 2003 hatte und die z. T. zu großen Schäden in diesem Wirtschaftszweig geführt haben (siehe Kap. 7).

### **Ökonomische Folgen der Trockenperiode 2003 (Kap. 7)**

Zu diesem Themenkomplex gibt es nur wenige quantitative Informationen zu monetären Auswirkungen.

Wirtschaftlich am schwersten betroffen war sicher die Landwirtschaft, deren Schäden durch Ernteverluste 2003 auf ca. 1 Milliarde Euro geschätzt werden. Daneben führten die Niedrigwasserstände in einigen Strömen zu Ausfällen bei der gewerblichen Schifffahrt, mit einer weitgehenden Verlagerung der betroffenen Kapazitäten auf andere Verkehrsträger (mit höheren Kosten). Auch die Elektrizitätswirtschaft war durch die Trockenperiode 2003 stärker betroffen. Einmal ging die Stromerzeugung aus Wasserkraft wegen der geringeren Abflüsse zurück. Schwerwiegender aber waren Einschränkungen bei der Nutzung der Gewässer als Kühlwasser für Wärmekraftwerke. Um größere Engpässe zu vermeiden, wurden z. T. Ausnahmegenehmigungen über die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestanforderungen hinaus erteilt. Produktionseinschränkungen konnten 2003 durch Zukauf auf dem Strommarkt (zu höheren Kosten) ausgeglichen werden. Neben ökonomischen Schäden für die Kraftwerksbetreiber stellt sich aber als Erfahrung aus der Trockenperiode 2003 die Frage nach der Versorgungssicherheit bei einem längeren Andauern einer solchen Situation.

Die Trinkwasserversorgung war 2003 insgesamt gesichert. Engpässe gab es bei einigen kleinen Gemeinden vor allem in Ostbayern, die Quellwasser nutzen. Hier war zeitweise auch der Einsatz von Tankwagen erforderlich.

Schließlich sind noch die Folgen der Hitzeperiode 2003 für die menschliche Gesundheit zu nennen. Schätzungen für Frankreich gehen von 14.800 Todesfällen aus. Für Baden-Württemberg wurde ermittelt, dass 180 Personen mehr gestorben sind, als sonst in dieser Zeit zu erwarten wäre. Damit sind auch erhebliche volkswirtschaftliche Schäden verbunden, deren Ermittlung aber sehr unsicher und auch grundsätzlich umstritten ist.

## Fazit

Die Trockenperiode 2003 war meteorologisch und wasserwirtschaftlich ohne Zweifel ein ungewöhnliches Ereignis: meteorologisch hinsichtlich der ungewöhnlich hohen und lang anhaltenden Temperaturen sowie der geringen Niederschläge über etwa ein halbes Jahr, wasserwirtschaftlich hinsichtlich der daraus resultierenden geringen Abflüsse in den oberirdischen Fließgewässern, der sinkenden See- und Grundwasserspiegel und anderer Folgen. Auch wenn vor allem bei den Temperaturen z. T. Höchstwerte aus bisherigen Beobachtungsreihen erreicht wurden, war diese Periode insgesamt kein besonders seltenes wasserwirtschaftliches Ereignis. Den Niedrigwasserabflüssen  $NM_xQ$  mit  $x = 7$  d oder 30 d Dauer nach war es bei 2/3 aller untersuchten Pegel als Ereignis einzustufen, das alle 10 Jahre einmal oder öfter erreicht oder unterschritten wird. Nur bei wenigen Pegeln kann man etwa von einem Jahrhundertereignis sprechen. Im Mittel war der Osten Deutschlands stärker betroffen, der Süden geringer. Ähnliche Ereignisse sind in der Vergangenheit wiederholt aufgetreten, vor allem 1947/48 und 1949/50, aber auch in den Zeiträumen davor und danach.

Auch die Gewässer als Lebensraum für Tiere und Pflanzen waren, gemessen an den hohen Temperaturen und geringen Abflüssen, verhältnismäßig wenig beeinträchtigt, weil auch die Einleitung belastender Stoffe wegen der geringen Niederschläge verringert war. Natürlich ist das auch ein Verdienst der Anstrengungen bei der Abwasserreinigung in der Vergangenheit.

Die Trockenperiode 2003 hat erhebliche volkswirtschaftliche Schäden verursacht, von denen der Bürger aber kaum direkt betroffen war, weil einzelne Ausfälle innerhalb des wirtschaftlichen Verbundes ausgeglichen werden konnten. Die Trinkwasserversorgung aus Speichern und aus dem Grundwasser war sichergestellt. Das lag vor allem an der weitgehenden Füllung der natürlichen und künstlichen Speicherräume durch hohe Niederschläge im Winter 2002/03.

Insgesamt hat die Trockenperiode aber auch die Grenzen der Belastbarkeit des Wasserhaushaltes durch Klimaeinflüsse und Ansprüche des Menschen vor Augen geführt. Vor allem vor dem Hintergrund möglicher Klimaänderungen in den nächsten Jahrzehnten sollten deshalb Szenarien untersucht und Handlungsoptionen abgeleitet werden. Über möglicherweise mehr oder weniger durch den Rückgang von Niederschlägen und Abflüssen betroffene Regionen in Deutschland geben die hier durchgeführten Trendanalysen aus der Vergangenheit Hinweise. Die Ergebnisse sollten auch zur Validierung von gekoppelten Klima- und Wasserhaushaltsmodellen herangezogen werden.

## 9 Literaturverzeichnis zu Kapitel 1 bis 6

- ATV-DVWK (2003) Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Anthropogene Einflüsse auf Niedrigwasserabflüsse, Arbeitsbericht, Hennef.
- BELZ, J. (2005): Niedrigwasserabflüsse im Rheingebiet im 20. Jahrhundert, Veränderungen und Ursachen, Kolloquium „Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung“ in Herne, Veranstaltungen 5/2005, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Dezember 2005.
- BELZ, J., ENGEL, H., KRAHE, P. (2004): Das Niedrigwasser 2003 in Deutschlands Stromgebieten, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 48. Jahrgang, H. 4.
- BfG (2004) Bundesanstalt für Gewässerkunde: Jahresbericht 2003, Kap. 1 (Das Niedrigwasserjahr 2003), Koblenz.
- BM-LFUW (2004) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich: Trockenheit in Österreich im Jahr 2003, Ein hydrologischer Situationsbericht, Wien.
- BStM-UGV (2004) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz: Die Auswirkungen der Trockenperiode 2003 auf den Grundwasserhaushalt mit Ausblick auf den Sommer 2004, Unterlagen zur Anhörung im Bayerischen Landtag 13.05.2004.
- BUWAL (2004) Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz: Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer, Schriftenreihe Umwelt Nr. 369, Bern.
- DVWK (1983) Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau: Niedrigwasseranalyse, Teil I: Statistische Untersuchung des Niedrigwasserabflusses, DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 120
- DVWK (1992) Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau: Niedrigwasseranalyse, Teil II: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits, DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 121
- DWD (2004): Deutscher Wetterdienst, Klimastatusbericht 2003, Verlag Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- ERFTVERBAND (2004): Jahresbericht 2003, Bergheim.

- FINK, H., BRÜCHER, T., KRIEGER, A.: LECKEBUSCH, G., PINTO, J., ULBRICH, U. (2004): The 2003 European summer heatwaves and drought-synoptic diagnosis and impacts, Royal Meteorological Society (RMetS), Weather, Vol. 59, Nr. 8.
- FINKE, W., DORNBLUT, I. (1998): Statistische Niedrigwasseranalyse ausgewählter Pegel der Elbe. DGM, 42. Jahrgang, H. 5.
- FINKE, W., KRAUSE, S. (2005): Langzeitverhalten von Niedrigwasserkenngrößen von Pegeln des Havelgebietes und der Elbe, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 49. Jahrgang, H. 5.
- FINKE, W., KRAUSE, S., LAUSCHKE, C. (2004): Untersuchung des Einflusses von Klima- und Landnutzungsänderungen mittels statistischer Niedrigwasseranalyse, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht 1455, Koblenz.
- HAUPT, R. (2004): Niedrigwasserabfluss im Sommer 2003 an Fließgewässern Thüringens, eine statistische Erstbewertung, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 48. Jahrgang, H. 4.
- 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.
- HMÚ ČESKÉ REPUBLÍCKY (2004): Hydrologická Ročenka 2003, V. 1: Hydrologické hodnocení sucha v roce 2003, Prag.
- IICOVÁ, P., DAHELKA, J., NÁVOJOVÁ, H., KOURKOVÁ, H. (2004): Sucho v eských prodích v eských povodích v roce 2003 a v minulých desetiletích, Workshop 2003 Extrémní hydrologické jevy v povodích, Prag.
- IAWG (2003) Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik: Programmsystem HyStat, Benutzerhandbuch, Ottobrunn.
- KLIWA (2000) Klimaänderungen und Wasserwirtschaft, Heft 3: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern, Herausgeber LfU Baden-Württemberg, LfW Bayern, Deutscher Wetterdienst, Karlsruhe.
- KLIWA (2003) Klimaänderungen und Wasserwirtschaft, Heft 7: Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern, Herausgeber LfU Baden-Württemberg, LfW Bayern, Deutscher Wetterdienst, München.
- LANGE, N. (1997): Analyse von Niedrigwasserabflüssen an Hand langer Messreihen. Studie für den DVWK-Fachausschuss 1.3 (Niedrigwasser), unveröffentlicht, Ergänzungen durch Studienarbeiten, Universität Kaiserslautern.
- LANU SH (2004) Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein: Niedrigwasserbericht Sommer 2003, Flintbeck.
- LfU BW (2004 a) Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Das Niedrigwasserjahr 2003, Karlsruhe.
- LfU BW (2004 b) Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Grundwasserüberwachungsprogramm, Ergebnisse der Beprobung 2003.
- LfW BY (2004) Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Wasserwirtschaftlicher Bericht Trockenperiode 2003 (Kurzfassung), München.

- LfW RP (2004) Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz: Sommer 2003 – Ein wasserwirtschaftlicher Bericht zur Hitzeperiode 2003, Mainz.
- LTV SN (2004) Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen: Geschäftsbericht 2003, Pirna.
- LUA BB (2004) Landesumweltamt Brandenburg: Umweltdaten aus Brandenburg, Bericht 2003, Kap. 3 (Wasser), Potsdam.
- LUA NW (2004) Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Jahresbericht 2003, Teilbericht „Das hydrologische Jahr 2003 und das außergewöhnliche Niedrigwasser des Rheins im Sommer 2003“, Essen.
- LUFT, G. (1995): Hochwasserabfluss- und mittleres Abflussverhalten im oberen Donau-Einzugsgebiet bis Ulm. Schriftenreihe Hydrologie-Wasserwirtschaft, Ruhr-Universität Bochum, Heft 14.
- MEHL, D., STEINHÄUSER, A., KLITZSCH, S. (2004): Die Trends der mittleren Niederschlags- und Abflussverhältnisse in den Flussgebieten Mecklenburg-Vorpommerns, Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, Band 43, H. 4.
- NLWK (2004) Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz, Betriebsstelle Süd: Niedrigwasserstatistik ausgewählter Flussgebiete im Zuständigkeitsbereich der NLWK-Süd, Göttingen.
- RAPP, J. und SCHÖNWIESE, CH.-D. (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891 – 1990. Universität Frankfurt/Main, Fachbereich Geowissenschaften, Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie B, H. 5.
- RUHRVERBAND (2004): Ruhrwassermenge 2003, Essen.
- SCHUMANN, A. (1993): Der Eingriff von Veränderungen der Umweltbedingungen und sozio-ökonomischer Faktoren auf Hydrologie und Wasserwirtschaft. Schriftenreihe Hydrologie-Wasserwirtschaft, Ruhr-Universität Bochum, Heft 11.
- Senat Berlin (2004) Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin: Das Trockenjahr 2003 im Land Berlin, Berlin.
- WILLEMS, W., KLEEBERG, H.-B. (1999): Analyse von Niedrigwasserabflüssen am Rhein. Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Mitteilungen Heft 67.
- WUPPERVERBAND (2004): Jahresbericht 2003, Wuppertal.
- WV EIFEL-RUR (2004) Wasserverband Eifel-Rur: Jahresbericht 2003, Wassermengenwirtschaft, Sicherheitsberichte der Talsperren.