



Bayerisches Landesamt  
für Wasserwirtschaft

**Wasserwirtschaftlicher  
Bericht – Niedrigwasser-  
periode 2003**

Informationsberichte Heft 2/05



Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft  
(Herausgeber und Verlag) · München 2005

**Wasserwirtschaftlicher  
Bericht – Niedrigwasser-  
periode 2003**

Informationsberichte Heft 2/05

## **Informationsbericht des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft – ISSN 0176-4217**

**Heft 2/05**

**München, Juni/2005 – ISBN 3-937911-03-0**

162 Seiten, 103 Abbildungen, 9 Tabellen

- Herausgeber** Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, D-80636 München, eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz
- Autoren:** Kapitel 1: Joachim Stoermer; Kapitel 2: Dr. Wolfgang Sprenger, Dr. Jochen Bittersohl, Hans Willy, Kerstin Ashauer, Christina Schöttl, Irmgard Habberger; Kapitel 3: Inke Meyer; Kapitel 4: Birgit Wolf, Felix Liesenkötter; Kapitel 5: Karl Roth (5.1), Rudolf Kitzmann (5.2.2), Gregor Overhoff (5.3), Karla Mix-Spagl (5.4), Hauke Wessel WSA Regensburg (5.5.1), Inke Meyer; Resümee: Karl-Heinz Frei; Redaktion: Karlheinz Daamen & Jörg Neumann
- Bildnachweis:** S. 16: [www.wetter.com](http://www.wetter.com); S. 19: Joachim Stoermer, LfW; S. 85 u. 87: WWA Kempten; S. 88 u. 90: WWA Weilheim; S. 102, 103 oben: WWA Hof; S.103 unten (2 x): Dr. Paul Pongratz, Reg. v. Ofr.; S. 104 (2 x), S. 125: Dr. Gunther Seitz, Reg. v. Nb.; S. 152: Herbert Stolz

**Nachdruck und Wiedergabe – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers**

# Vorwort

Die Trockenheit und die Niedrigwasserperiode waren Topthemen der Wasserwirtschaft im Jahr 2003. Das öffentliche Interesse war insbesondere im Sommer sehr groß. Vor allem wurde nach den möglichen Auswirkungen auf die Wasserversorgung, die Ökologie, die Schifffahrt, die Wasserkraft und auf die Gletscher gefragt. Das Landesamt informierte in rund 50 Beiträgen die Medien, wöchentliche Berichte wurden ins Internet gestellt.

Noch Anfang Januar 2003 wurde das letzte große Hochwasser registriert. Dem Trockenjahr 2003 waren vier nasse Jahre mit vielen Überschwemmungen wie beim Pfingsthochwasser 1999 und beim Augusthochwasser 2002 vorausgegangen. Zu Beginn des Jahres 2003 hatten wir also noch Wasser im Überfluss. Die Grundwasserstände erreichten zum Teil Rekordhöhen.

Ab Februar zeigte die Natur ein anderes Gesicht. Es herrschten Niederschlagsdefizite in ganz Bayern vom Februar bis zum Dezember, nur der nasse Oktober fiel aus dem Rahmen. Dazu kam die Hitze insbesondere im Juni und im August. Der Deutsche Wetterdienst meldete den heißesten Sommer seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1901.

Die Wasserstände der Flüsse, Seen und des Grundwassers sanken. An vielen Orten wurde extremes Niedrigwasser festgestellt. Die Wassertemperaturen folgten den Lufttemperaturen. Im August wurden Rekordtemperaturen erreicht.

Bemerkenswert an der Niedrigwasserperiode 2003 waren weniger die statistischen Kenngrößen, die nur lokal außergewöhnliche Werte erreichten, sondern vor allem die räumliche Ausdehnung. War 1947 überwiegend das Donauebiet und 1976 vor allem das Maingebiet betroffen, so litt im Jahr 2003 nicht nur ganz Bayern sondern halb Europa unter Trockenheit.

Das außergewöhnliche Niedrigwasserereignis wird mit dieser umfassenden wasserwirtschaftlichen Dokumentation aufgearbeitet. Dieser Bericht stellt die Fakten zusammen, analysiert und bewertet das Niedrigwasser 2003.

München, im Juni 2005



Michael Becker  
Vizepräsident



# Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Witterungsverlauf von November 2002 bis April 2004</b>	<b>11</b>
1.1	Sonnenscheindauer und Lufttemperatur	18
1.2	Niederschlag	22
<b>2</b>	<b>Grund- und Bodenwasser</b>	<b>27</b>
2.1	Grundwasserstände und Quellschüttungen	27
2.1.1	Grundlagen	27
2.1.1.1	Bedeutung des Grundwassers in niederschlagsarmen Zeiten	27
2.1.1.2	Überblick zur Grundwassersituation 2003	28
2.1.1.3	Bedeutende Grundwasserleiter in Bayern	30
2.1.1.4	Jahreszeitliche Schwankungen der Grundwasserneubildung	31
2.1.1.5	Defizit in der Grundwasserneubildung	32
2.1.1.6	Typische Grundwasserreaktionen im Jahr 2003	32
2.1.2	Grundwassersituation in den quartären Grundwasserleitern	34
2.1.2.1	Flusstalfüllungen im voralpinen Bereich	34
2.1.2.2	Schotterflächen südlich der Donau	35
2.1.2.3	Großräumige Flusstalfüllungen in Nordbayern	36
2.1.2.4	Geringmächtige Flusstalfüllungen nördlich der Donau	37
2.1.3	Grundwassersituation in den tiefen Grundwasserleitern	38
2.1.3.1	Obere Süßwassermolasse (Tertiär)	38
2.1.3.2	Weißer Jura (Malmkarst)	39
2.1.3.3	Sandsteinkeuper (Trias)	40
2.1.3.4	Benker Sandstein (Trias)	41
2.1.3.5	Muschelkalk (Trias)	42
2.1.3.6	Buntsandstein (Trias)	43
2.1.4	Quellschüttungen	44
2.1.4.1	Kristallin	44
2.1.4.2	Weißer Jura (Malmkarst)	45
2.1.5	Vergleich der Trockenjahre 2003 und 1976	46
2.1.5.1	Quartäre Schotterflächen	46
2.1.5.2	Buntsandstein	49
2.1.5.3	Sandsteinkeuper	50
2.1.5.4	Weißer Jura (Malmkarst)	51
2.1.5.5	Kristallines Grundgebirge	55
2.2	Bodenwasser und Grundwasserbeschaffenheit	57
2.2.1	Bodenwasser – qualitative und quantitative Aspekte	57
2.2.1.1	Einführung	57
2.2.1.2	Messgebiet Münchner Schotterebene	57
2.2.1.3	Messgebiet Bayerischer Wald	60
2.2.1.4	Messgebiet Donau/Gäuboden	63
2.2.2	Grundwasserbeschaffenheit (Nitrat)	66
2.2.2.1	Landesweite Entwicklung	66
2.2.2.2	Exemplarische Messstellen	67
2.2.2.3	Zusammenfassung der Entwicklung der Nitratgehalte im Grundwasser	69

<b>3</b>	<b>Oberirdischer Abfluss</b>	<b>71</b>
3.1	Methodik	71
3.1.1	Verwendete Kenngrößen und ihre Definition	71
3.1.2	Nicht verwendete Kenngrößen	71
3.1.3	Bezugszeitraum	72
3.1.4	Auswahl der Pegel	72
3.1.4.1	Anthropogene Einflüsse	72
3.1.5	Wahrscheinlichkeitsanalyse	74
3.1.5.1	Vergleichszeitraum	74
3.1.5.2	Verteilungsfunktion	74
3.2	Gesamtbetrachtung	76
3.2.1	Zeitlicher Verlauf der Abfluss- und Wasserstandsganglinien von November 2002 bis Frühsommer 2004	76
3.2.2	Jährlichkeiten und Vergleich mit 1976 und 1947	78
3.2.3	Räumliche Verteilung der Jährlichkeiten	80
3.2.4	Räumliche Verteilung der Abflussspenden	82
3.3	Regionale Niedrigwasserverhältnisse	84
3.3.1	Südliche Donauzuflüsse	84
3.3.1.1	Iller	84
3.3.1.2	Donauzuflüsse mit starkem Grundwassereinfluss	85
3.3.1.3	Lech	86
3.3.1.4	Isar	88
3.3.1.5	Amper	89
3.3.1.6	Inn	91
3.3.2	Nördliche Donauzuflüsse	92
3.3.2.1	Wörnitz und Altmühl	92
3.3.2.2	Naab	92
3.3.2.3	Regen	93
3.3.2.4	Ilz	93
3.3.3	Donau	93
3.3.4	Maingebiet	94
3.3.4.1	Main oberhalb Regnitz	94
3.3.4.2	Regnitz und Regnitzzuflüsse	95
3.3.4.3	Zuflüsse zum unteren Main	96
3.3.4.4	Main unterhalb Regnitz	96
3.3.5	Sächsische Saale	97
3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	97
<b>4</b>	<b>Gewässerqualität</b>	<b>101</b>
4.1	Steuerung der Gewässerqualität durch die Witterung	101
4.1.1	Temperatur	101
4.1.2	Abfluss	101
4.2	Gewässerqualität im Überblick	101
4.3	Routinemessnetz Wassertemperaturen	105
4.4	Ergebnisse der automatischen Gütemessstationen an Main, Regnitz, Altmühl und Inn	107
4.5	Ergebnisse aus dem Landesmessnetz Fließgewässer - Routinemonitoring	109
4.5.1	Feinmaterial, Schwebstoffe	109

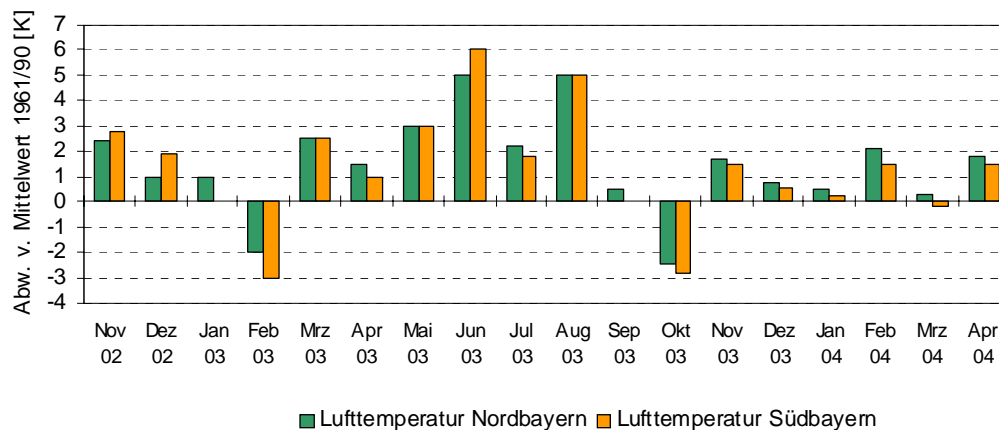


4.5.2	Sauerstoffhaushalt	109
4.5.3	Nährstoffhaushalt	110
4.5.4	Schwermetalle	110
4.5.5	Pflanzenschutzmittel	110
4.5.6	Stofffrachten	111
4.6	Ergebnisse aus dem Landesmessnetz Seen - Routinemonitoring	112
4.7	Gewässerqualität in den Regierungsbezirken	113
4.7.1	Regierungsbezirk Oberbayern	113
4.7.1.1	Naturraumbezug	113
4.7.1.2	Abiotische Auswirkungen	113
4.7.1.3	Biozönotische Auswirkungen	114
4.7.1.4	Bewertung der Ereignisse	115
4.7.1.5	Maßnahmen	115
4.7.2	Regierungsbezirk Unterfranken	116
4.7.2.1	Naturraumbezug	116
4.7.2.2	Abiotische Auswirkungen	116
4.7.2.3	Biozönotische Auswirkungen	116
4.7.2.4	Bewertung der Ereignisse	117
4.7.2.5	Maßnahmen	117
4.7.3	Regierungsbezirk Oberfranken	118
4.7.3.1	Naturraumbezug	118
4.7.3.2	Abiotische Auswirkungen	118
4.7.3.3	Biozönotische Auswirkungen	118
4.7.3.4	Bewertung der Ereignisse	119
4.7.3.5	Maßnahmen	120
4.7.4	Regierungsbezirk Mittelfranken	120
4.7.4.1	Naturraumbezug	120
4.7.4.2	Abiotische Auswirkungen	121
4.7.4.3	Biozönotische Auswirkungen.	122
4.7.4.4	Bewertung der Ereignisse	122
4.7.4.5	Maßnahmen	123
4.7.5	Regierungsbezirk Niederbayern	123
4.7.5.1	Naturraumbezug	123
4.7.5.2	Abiotische Auswirkungen	123
4.7.5.3	Biozönotische Auswirkungen	124
4.7.5.4	Bewertung der Ereignisse	125
4.7.5.5	Maßnahmen	125
4.7.6	Regierungsbezirk Oberpfalz	126
4.7.6.1	Naturraumbezug	126
4.7.6.2	Abiotische Auswirkungen	126
4.7.6.3	Biozönotische Auswirkungen	126
4.7.6.4	Bewertung der Ereignisse	127
4.7.6.5	Maßnahmen	127
4.7.7	Regierungsbezirk Schwaben	127
4.7.7.1	Naturraumbezug	127
4.7.7.2	Abiotische Auswirkungen	128
4.7.7.3	Biozönotische Auswirkungen	129
4.7.7.4	Bewertung der Ereignisse	129
4.7.7.5	Maßnahmen	129

<b>5</b>	<b>Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen</b>	<b>131</b>
5.1	Wasserversorgung	131
5.1.1	Struktur der öffentlichen Wasserversorgung	131
5.1.2	Anschlussgrad – Art der Wassergewinnung	131
5.1.3	Situation bei Quellwassernutzungen	132
5.1.4	Situation bei Grundwassernutzungen	132
5.1.5	Situation bei den Trinkwassertalsperren	133
5.1.6	Fazit und Ausblick	133
5.1.7	Vorsorge	134
5.2	Kraftwerke	135
5.2.1	Wasserkraftwerke	135
5.2.2	Weitere Kraftwerke	135
5.2.2.1	Thermische Belastung durch Kühlwasser von Kernkraftwerken 2003	136
5.2.2.2	Maßnahmen zum Schutz der Isar	136
5.2.2.3	Ausnahmegenehmigung des Landratsamtes für das Kraftwerk KKI 1	137
5.3	Speicherbewirtschaftung	138
5.3.1	Allgemeines	138
5.3.2	Talsperren zur Niedrigwasseraufhöhung	139
5.3.2.1	Überleitung Donau-Main („Neues Fränkisches Seenland“)	139
5.3.2.2	Sylvensteinspeicher	142
5.3.2.3	Rottachsee	144
5.3.2.4	Förmitztalsperre	144
5.3.3	Die Trinkwassertalsperren	146
5.3.3.1	Trinkwassertalsperre Mauthaus	146
5.3.3.2	Trinkwassertalsperre Frauenau	147
5.3.4	Resümee	148
5.4	Gewässerschutz	148
5.5	Schifffahrt	150
5.5.1	Donau	150
5.5.2	Main	153
5.6	Bewässerung	153
5.7	Zusammenfassung	153
<b>6</b>	<b>Resümee</b>	<b>155</b>
	<b>Literatur</b>	<b>157</b>
	<b>Anhang</b>	<b>159</b>

# 1 Witterungsverlauf von November 2002 bis April 2004

Das Jahr 2002 war in Bayern, u.a. bedingt durch die Starkregenereignisse im März, Juni und August 2002 (Augusthochwasser), eines der nassesten (niederschlagsreicher waren: 1965, gebietsweise 1966 und 1981) und eines der wärmsten (wärmer waren: 1934, 1994, 2000) in den letzten 100 Jahren. Südlich der Donau war es das vierte nasse Jahr in Folge (die Jahressumme des Niederschlags lag jeweils über dem 30jährigen Mittelwert) und auch in Nordbayern war bereits 2001 zu nass. Diese mehrjährige, überdurchschnittliche Niederschlagstätigkeit prägte die hydrologische Ausgangssituation Anfang 2003. Die folgenden Grafiken geben einen ersten Überblick über die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse im Zeitraum November 2002 bis April 2004 und ermöglichen den regionalen Vergleich zwischen Nord- und Südbayern. Deutlich erkennbar ist die Aufeinanderfolge von sieben zu warmen Monaten im Jahr 2003 und die außergewöhnlich heißen Temperaturen im Juni und August 2003. Die Tendenz ist für Nord- und Südbayern weitgehend gleich, aber die regionalen Witterungsunterschiede zeigen sich in der unterschiedlichen Ausprägung der Abweichung.



**Abb. 1.1** Abweichung der Lufttemperatur vom langjährigen Monatsmittel 1961/90

Primärer Auslöser der außergewöhnlichen Witterung im Jahr 2003 war die Häufung von Hochdrucklagen über Mitteleuropa. Das Azorenhoch war im Jahr 2003 meist weit nach Nordosten verschoben und bildete oft mit Hochdruckgebieten über Nordosteuropa eine stabile Hochdruckbrücke. Die Zufuhr subtropischer Warmluft und die ungehinderte Sonneneinstrahlung verstärkten die sommerliche Hitzewelle.

Das Niederschlagsgeschehen in Bayern zeigt ebenfalls einen außergewöhnlichen Verlauf, da von Februar 2003 bis September 2003 acht trockene Monate aufeinander folgten. Die vorliegenden Diagramme zeigen aber auch, dass heiße Monate nicht unbedingt auch deutlich zu trocken ausfallen müssen (Beispiel Juni 2003).

# Witterung

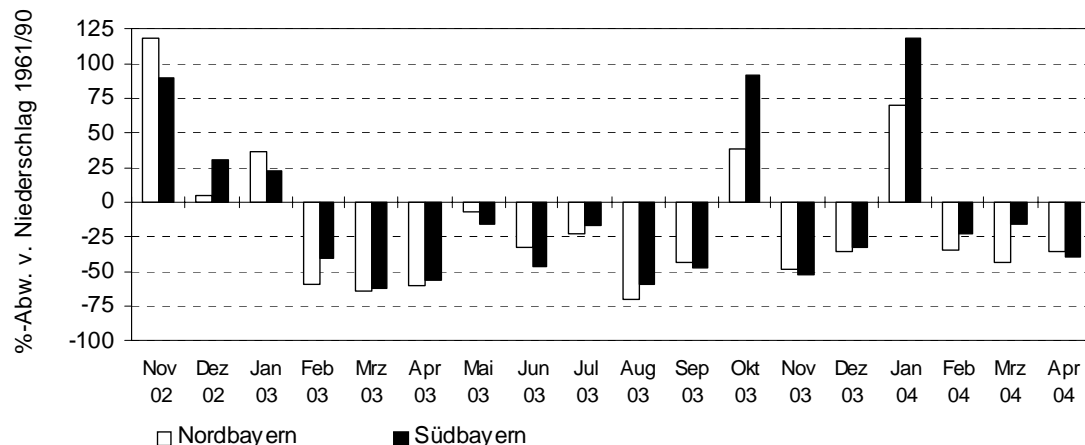


Abb. 1.2 Abweichung des Gebietsniederschlags vom langjährigen Monatsmittel 1961/90

Die tabellarische Auflistung der für Nord- und Südbayern akkumulierten, absoluten Niederschlagshöhen verdeutlicht ebenfalls die außergewöhnliche Niederschlagsverteilung. So findet sich der niederschlagsreichste Monat nicht im Sommer (langjähriges Mittel: Juni) sondern im Winter (Nov. 2002 bzw. Jan. 2004) und der trockenste Monat im März 2003 (langjähriges Mittel: Februar). In Nordbayern war das Sommerhalbjahr 2003 sogar trockener als das Winterhalbjahr 2002/2003. Die Niederschlagssumme des Kalenderjahres 2003 erreichte in Nordbayern 70 % und in Südbayern 71 % des 30-jährigen Mittels 1961/90.

Gebietsniederschlag [mm]	Nov 2002	Dez 2002	Jan 2003	Feb 2003	Mrz 2003	Apr 2003	Mai 2003	Jun 2003	Jul 2003	Aug 2003	Sep 2003	Okt 2003	Nov 2003	Dez 2003	Jan 2004	Feb 2004	Mrz 2004	Apr 2004
Nordbayern	138	79	88	22	20	24	68	60	61	24	34	78	32	50	109	36	33	38
Südbayern	144	93	88	41	27	40	94	74	106	57	50	134	37	52	146	49	59	50
	Winterhalbjahr Nov 2002 - Apr 2003		Sommerhalbjahr Mai 2003 - Okt 2003				Sommer Jun 2003 - Aug 2003			Abflussjahr Nov 2002 - Okt 2003			Winterhalbjahr Nov 2003 - Apr 2004		Kalenderjahr 2003			
Nordbayern	371		325				145			696			298		560			
Südbayern	433		515				237			948			393		799			

Tab. 1.1 Gebietsniederschlagshöhen November 2002 bis April 2004

Einen bemerkenswerten Hinweis auf die extremen Witterungsverhältnisse des Jahres 2003 lieferten auch die Alpengletscher, die durch die sommerlichen Hitzeperioden und die fehlenden Kälteeinbrüche in höheren Lagen hohe Schmelzverluste aufwiesen und bis zu 4 Meter an Höhe verloren.

Die in diesem Bericht verwendeten meteorologischen Daten stammen überwiegend vom Deutschen Wetterdienst (DWD), aber auch von den Messstellen der Bayerischen Wasserwirtschaft und sind im Folgenden zur Beurteilung der Niedrigwasserperiode entsprechend aufbereitet. Die textliche Abstufung der Abweichung vom Mittelwert 1961/90 als zu ..., deutlich zu ..., markant zu (kalt/warm, trocken/nass) erfolgt gemäß der üblichen DWD-Konvention (DEUTSCHER WETTERDIENST 2003, siehe auch Erläuterungen im Anhang).

Im Folgenden wird der Witterungsverlauf in den einzelnen Monaten näher beschrieben.

Der **November 2002** war unterdurchschnittlich sonnig, deutlich zu warm und verbreitet markant zu nass (örtlich nassester November seit Beginn der Messungen). Häufigste Wetterlage war die Westlage, die eine Vielzahl von Tiefdruckgebieten und meist milde Luft von Westen heranzuführte. In dieser Zeit dominierte meist trübes, regnerisches Wetter (Wendelstein: 44 mm am 3.11.).

Der nachfolgende **Dezember 2002** blieb unterdurchschnittlich sonnig (verbreitet in Südbayern, vereinzelt in Nordbayern), zu warm (in Südbayern örtlich deutlich zu warm) und zu nass (südlich der Donau gebietsweise deutlich zu nass). Gegen Monatsende setzten Starkniederschläge ein (Schweinfurt: 25 mm am 22.12., Teuschnitz-Wickendorf: 46 mm am 30.12.) und verursachten eine Aufsättigung der Böden. Weitere Niederschläge führten um den Jahreswechsel 2002/2003 zu einem deutlichen Anstieg der Wasserstände in Nordbayern. Nur an wenigen Tagen im Dezember hatte sich im Alpenvorland eine dünne Schneedecke gebildet.

Die Gesamtbilanz für den **Januar 2003** ergibt folgendes Bild: Die Sonnenscheindauer lag südlich der Donau unter dem Durchschnitt 1961/90 (überdurchschnittlich in Nordbayern) und es war in Nordbayern etwas zu warm sowie in ganz Bayern zu nass. Im weiteren Verlauf wurden viele Frontensysteme herangeführt, es gab ausgeprägte Luftmassenwechsel, sehr niederschlagsreiche Witterungsabschnitte (Teuschnitz-Wickendorf: 59 mm am 2.1., Bad Kissingen: 35 mm am 2.1., Nürnberg: 15 mm am 13.1., Wendelstein: 42 mm am 13.1.) und ein Winterhochwasser in Nordbayern. Im ersten und letzten Monatsdrittel wurden in Bayern verbreitet geschlossene Schneedecken beobachtet.

Der **Februar 2003** war deutlich zu sonnig (markant zu sonnig in Niederbayern und gebietsweise in Nordbayern), deutlich zu kalt (in Südbayern gebietsweise markant zu kalt) und deutlich zu trocken (Ausnahme: Gipfellagen der Alpen). Die meiste Zeit des Monats herrschte Hochdruckwetter mit geringen Niederschlägen und kontinentaler Polarluftzufuhr (Mühlendorf/Inn: -19 °C am 13.2.). Ergiebige Niederschläge, zumeist als Schnee, fielen nur am Monatsanfang (Waldhäuser/Bayer. Wald: 41 mm am 3.2., Wendelstein: 38 mm am 3.2.). In weiten Teilen Bayerns hielt sich im Februar eine geschlossene Schneedecke (München: max. 13 cm, Hof: max. 28 cm).

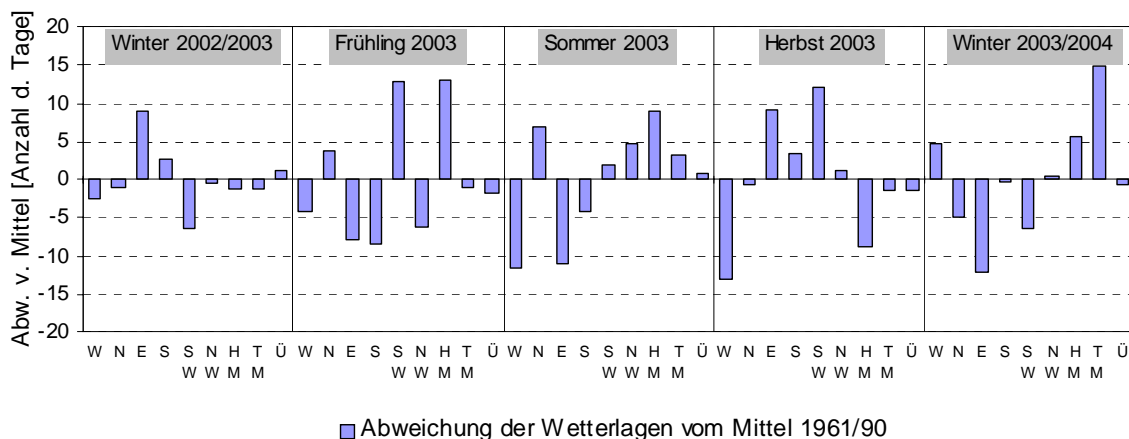
## Witterung

Als erster Frühlingsmonat zeigte sich der **März 2003** überdurchschnittlich sonnig, verbreitet deutlich zu warm und deutlich zu trocken (markant zu trocken vom Fichtelgebirge bis zum Bayerischen Wald). Auch im März stellten Hochdruckgebiete über Mitteleuropa die dominierende Wetterlage dar, und die aus Osten zugeführte trockene, kalte Kontinentalluft führte wiederum zu einer sehr niederschlagsarmen Witterungsperiode (örtlich 19-tägige Trockenperiode). Im Alpenvorland hielt sich in der ersten Monatshälfte noch eine geschlossene Schneedecke, in den tieferen Lagen Bayerns wurden zumindest noch Schneereste beobachtet.

Im **April 2003** blieb die Sonnenscheindauer über dem Durchschnitt 1961/90, die Lufttemperaturen waren vergleichsweise zu warm und es fiel deutlich zu wenig Niederschlag (gebietsweise war es in Niederbayern sogar markant zu trocken). So wurden im Nordwesten Bayerns örtlich bis zu 19-tägige Trockenperioden festgestellt (die Landwirtschaft meldete erste Trockenschäden auf den Feldern) und bei warmer Luftmassenzufuhr aus dem Mittelmeer wurden einige Tage mit Höchsttemperaturen über 20 °C beobachtet.

Der **Mai 2003** war in den östlichen Landesteilen überdurchschnittlich sonnig (sonst unterdurchschnittlich), deutlich zu warm, zu nass in Nordwestbayern und sonst zu trocken. Als häufigste Wetterlage wurden Hochdruckgebiete über Mitteleuropa verzeichnet. Dabei wurde zeitweise subtropische, feuchte Luft herangeführt und es kam zu kräftigen Regenschauern und heftigen Gewittern (Bayreuth: 45 mm am 8.5., Kempten: 16 mm am 28.5.). Die Zahl der Sommertage und heißen Tage hatte sich, verstärkt durch die subtropische Luftmassenzufuhr, weiter erhöht (München: 31,8 °C am 5.5., frühester heißester Tag seit 1781).

Der **Juni 2003** lässt sich charakterisieren als deutlich überdurchschnittlich sonnig, als markant zu warm und als deutlich zu trocken. Diese sommerliche Witterung wurde durch häufige und sehr stabile Hochdruckgebiete über Mitteleuropa und durch südwestliche Strömung begünstigt. Zwischen zwei Tiefdruckgebieten über dem Atlantik und Russland lag ein Höhenhochkeil ( $\Omega$ -Wetterlage) und bei südlicher bis südwestlicher Strömung gelangte feuchtwarme tropische bzw. subtropische Luft nach Bayern. Bei wolkenlosem Himmel, reichlicher Sonneneinstrahlung und warmer Luftmassenzufuhr kam es zu einer Vielzahl von heißen Tagen (Dillingen: 35,5 °C am 23.6., Kitzingen: 35,2 °C am 23.6., Roth: 35,2 am 12.6.). In der zweiten Tageshälfte entstanden örtlich starke Gewitter und Regenschauer (Markt Wald: 59 mm in 6 h am 5.6., Nürnberg: 54 mm am 5.6., Weiden: 25 mm am 14.6.). Die ausgiebigen Regenfälle überschwemmten Keller, Unterführungen (5.6.) und im Lkr. Bad Tölz sowie bei Oberstaufen kam es zu Murenabgängen (8.6.). Eine geringfügige Abkühlung brachte eine Westlage in der zweiten Monatshälfte, da kühlere maritime Luft herangeführt wurde und örtlich gewittrige Schauer einsetzten.

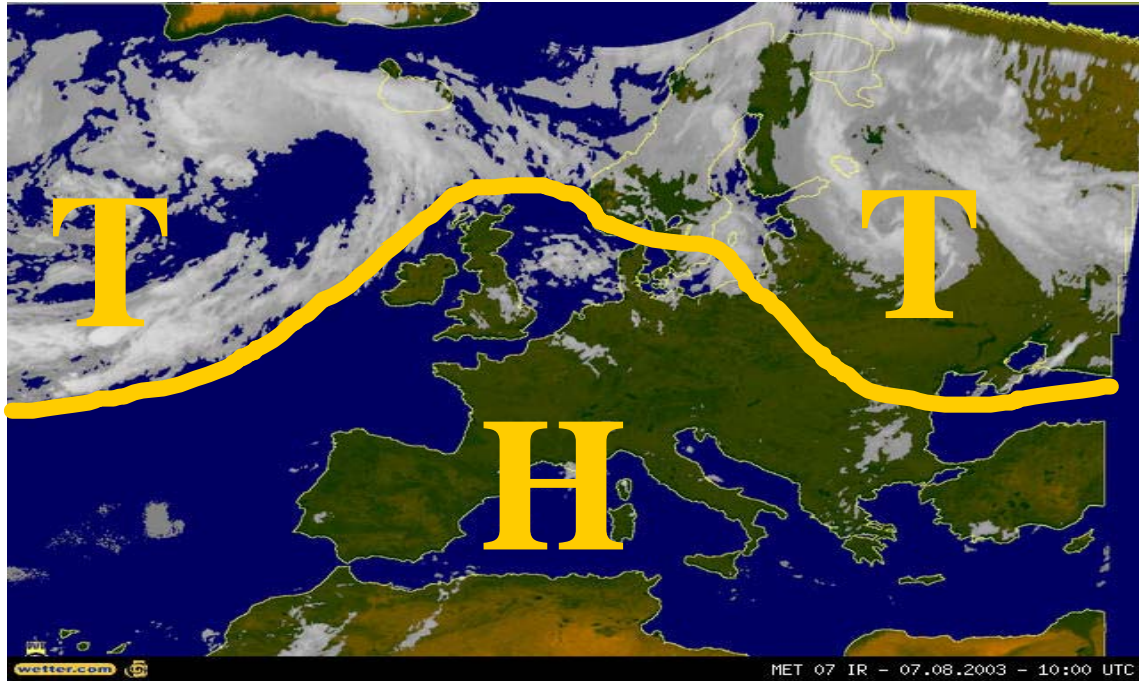


**Abb. 1.3** Wetterlagenstatistik in den Jahreszeiten.

Abkürzungen der Wetterlagen: W: Westlage, N: Nordlage, E: Ostlage, SW: Südwestlage, NW: Nordwestlage, HM: Hochdruckgebiet Mitteleuropa, TM: Tiefdruckgebiet Mitteleuropa, Ü: Übergangslage

Für den Sommermonat **Juli 2003** ergibt die Bilanz überdurchschnittlich viel Sonne (Bayer. Wald und Zugspitze: unterdurchschnittlich sonnig), verbreitet zu warme Temperaturen (Nordbayern: deutlich zu warm) und überwiegend zu wenig Niederschlag (Ulm-Augsburg-Kempton: zu nass). An den meisten Tagen des Monats waren Hochdruckgebiete wetterbestimmend, häufig wurde subtropische Luft herangeführt, es gab einige heiße Tage (Bad Kissingen: 35,2 °C am 20.7.), aber auch zeitweise kräftige, gewittrige Schauer (Traunstein: 44 mm am 17.7., Bamberg: 25 mm am 24.7., Wielenbach: 49 mm am 27.7.) und Hagel.

Der **August 2003** war überdurchschnittlich sonnig (deutlich überdurchschnittlich gebietsweise in Nordbayern und in den Alpen), markant zu warm und deutlich zu trocken (in Franken markant zu trocken). Die Hochdruckwetterlage des Vormonats setzte sich auch noch in der ersten Augusthälfte über Mitteleuropa fort (vom 1.8. bis 13.8.) sodass diese Tage in Bayern verbreitet niederschlagsfrei blieben. Dabei lag ein ausgedehnter, hochreichender Hochdruckrücken (Hoch „Michaela“) lange Zeit weitgehend ortsfest über Mitteleuropa, es war weiträumig wolkenlos und aus Südwesten wurde subtropische Luft nach Bayern gelenkt, die sich bei ungehinderter solarer Einstrahlung (ca. 14 Sonnenstunden pro Tag) weiter aufheizte. Die Tiefdruckgebiete wurden nicht wetterwirksam, da sie entlang der Frontalzone weit im Norden herumgelenkt wurden ( $\Omega$ -Höhenströmung). Das bemerkenswerte an dieser Wetterlage war die lange Andauer, die außergewöhnliche Hitzewelle und die Trockenheit (um den 11.8. Waldbrände in Mittelfranken). Die folgende Nordwestlage (14.8. bis 17.8.) beendete zunächst die Hitzeperiode. In Südbayern kam es am 18. zu heftigen Unwettern und Hagel. Flächendeckende Niederschläge setzten erst gegen Ende des Monats ein (Tiefdruckgebiete über Mitteleuropa: 29.8. bis 31.8.) und brachten Südbayern etwas mehr Regen als Nordbayern (Traunstein: 30 mm am 31.8.).



**Abb. 1.4** Infrarot-Satellitenbild vom 07.08.2003, 12:00 Uhr MESZ. Häufige Wetterlage im Sommer 2003: Blockierendes Hoch „Michaela“ über Mitteleuropa in einer W-Höhenströmung. Mit freundlicher Genehmigung durch WWW.WETTER.COM

Der **September 2003** war überdurchschnittlich sonnig, in Nordbayern zu warm (gebietsweise in Südbayern zu kalt und deutlich zu trocken (örtlich markant zu trocken). Die Südwestlage, als beständigste Wetterlage des Monats (17.9. bis 26.9.), führte meist warme, trockene Luftmassen heran und auch die häufigen Hochdruckbrücken quer über Mitteleuropa (3.9. bis 6.9., 14.9. bis 16.9.) verursachten ein nahezu niederschlagsfreies Wetter mit vielen Sommertagen (15-tägige Trockenperiode in Weiden, 20.09.: Heißer Tag verbreitet in Nordbayern). An den restlichen Septembertagen gab es entlang von mitteleuropäischen Tiefdruckzonen oder beim Durchzug von Frontensystemen verbreitet Schauer oder Starkniederschläge (Hof: 30 mm am 11.9., Bad Reichenhall: 49 mm am 11.9., Wielenbach: 24 mm am 28.9.). Der regenreichste Ort im September war Bad Reichenhall (186 mm) und markant zu trocken war es in Augsburg (12 mm).

Im **Oktober 2003** war es in Bayern verbreitet unterdurchschnittlich sonnig, deutlich zu kalt, in Nordbayern zu nass und in Südbayern deutlich zu nass (im Allgäu und in den Alpen markant zu nass). Weitgehend niederschlagsfrei blieb es nur bei Hochdruckeinfluss (12.10. bis 19.10., 25.10. bis 28.10.). An den übrigen Tagen sorgten durchziehende Frontensysteme insbesondere in Südbayern für flächendeckende und ergiebige Niederschläge (Traunstein: 34 mm am 4.10., Kempten: 48 mm am 5.10.). Es wurden keine Sommertage mehr registriert, es war erstmals seit Februar wieder deutlich zu kalt, es gab verbreitet den ersten Schneefall bis ins Flachland (6.10.) und weitere Schneefälle im letzten Monatsdrittel.



Der **November 2003** war überdurchschnittlich sonnig, zu warm (in höheren Lagen deutlich zu warm) und zu trocken (gebietsweise deutlich zu trocken). Häufige Wetterlagen waren Westlagen (1.11. bis 4.11., 14.11. bis 20.11.) und Südwestlagen (21.11. bis 26.11.), die milde Witterung, zeitweise etwas Regen und Südbayern einige Föhntage brachten (Oberstdorf: 20,1 °C am 23.11., höchster Wert seit Beginn der Messungen). Das Hochdruckgebiet im ersten Monatsdrittel (5.11. bis 13.11.) sorgte für weitgehend niederschlagsfreies und herbstliches Wetter. Zum Monatsende setzte allerdings bei südlicher Strömung verbreitet wieder Regen ein (Augsburg: 25 mm am 27.11.), der in höheren Lagen als Schnee fiel.

Im **Dezember 2003** lag die Sonnenscheindauer in Südbayern über dem Durchschnitt 1961/90 (in Nordbayern deutlich über dem Durchschnitt), es war verbreitet zu warm (im Bayerischen Wald deutlich zu warm) und überwiegend zu trocken. Die ersten Dezembertage hielt noch die südliche Strömung an und bei Föhn wurden wiederum sehr hohe Temperaturen gemessen (Garmisch-Partenkirchen: 18,6 °C am 2.12.). Die weitere trockene und warme Witterung im Dezember wurde durch Hochdruckgebiete über Mitteleuropa (4.12. bis 10.12., 24.12. bis 27.12.) begünstigt. Lediglich während einer kräftigen westlichen Höhenströmung (11.12. bis 23.12.) gab es sehr wechselhaftes Wetter, zeitweise Kaltluftzufuhr (München/Flugh.: -13,0 am 24.12.) und verbreitet Niederschlag (Würzburg: 18 mm am 13.12.). Um den 22.12. bildete sich dann im Flachland eine Schneedecke aus.

Der **Januar 2004** war verbreitet unterdurchschnittlich sonnig, geringfügig zu warm und deutlich (in Südbayern markant) zu nass. Es überwiegen Westlagen und die atlantischen Tiefdruckgebiete verursachten immer wieder Niederschläge. In weiten Teilen Bayerns hielt sich nur zu Monatsbeginn und am Monatsende eine geschlossene Schneedecke. Die stärksten Regenfälle traten im zweiten Monatsdrittel auf (Passau: 39 mm am 13.1.), fielen in die Schneebedeckung und lösten im Main- und Donaugebiet eine Tauflut aus.

Für den **Februar 2004** ergibt die Bilanz eine durchschnittliche Sonnenscheindauer (Nordbayern: unterdurchschnittlich), ein zu warmes Monatsmittel und zu wenig Niederschlag im Vergleich zu 1961/90. Zu Monatsbeginn sorgte eine südwestliche Strömung für milde Temperaturen. Anschließend gelangten Tiefdruckgebiete aus Nordwesten nach Bayern und brachten bis in die Tieflagen etwas Schnee. Nach neblig-trübem Hochdruckwetter kam es erst im letzten Monatsdrittel wieder zu leichten Schneefällen.

Im **März 2004** war die Sonnenscheindauer überdurchschnittlich, die Monatsmitteltemperatur in Nordbayern zu warm (Südbayern zu kalt) und bayernweit blieb es zu trocken. Bis zur Monatsmitte war es bei Hochdruckeinfluss winterlich kalt und es gab nur geringe Niederschläge. In der Folge wurde es bei einer Westlage deutlich wärmer und danach bildete sich ein Höhentrog über Mitteleuropa mit einem Genuatief aus.

## Witterung

Es kam zu starken Niederschlägen (Traunstein: 42 mm am 24.3.), die in Alpennähe als Neuschnee abgelagert wurden (Zugspitze: + 150 cm). Das anschließende Hochdruckwetter sorgte für Wetterberuhigung.

Die Bilanz für **April 2004**, dem letzten Monat des hydrologischen Winterhalbjahres 2003/2004, ergibt eine überdurchschnittliche Sonnenscheindauer und einen vergleichsweise zu warmen sowie zu trockenen Monatsmittelwert. Ursache dafür waren häufige Hochdruckwetterlagen. Nur an wenigen Tagen des Monats kam es zu stärkeren Niederschlägen.

### 1.1 Sonnenscheindauer und Lufttemperatur

Das Jahr 2003 war extrem sonnenscheinreich und an vielen Stationen in Deutschland wurden neue absolute Rekorde der Sonnenscheindauer festgestellt (höchster Wert in Karlsruhe: 2328 h). Auch in Bayern gab es Sonnenscheinregistrierungen von über 2200 Stunden (z.B. Straubing: 2224 h) und fast flächendeckend markante Abweichungen (größer 25 %) vom langjährigen Jahresmittel der Sonnenscheindauer (z.B.: Bayreuth: +43 %, Straubing: +37 %).

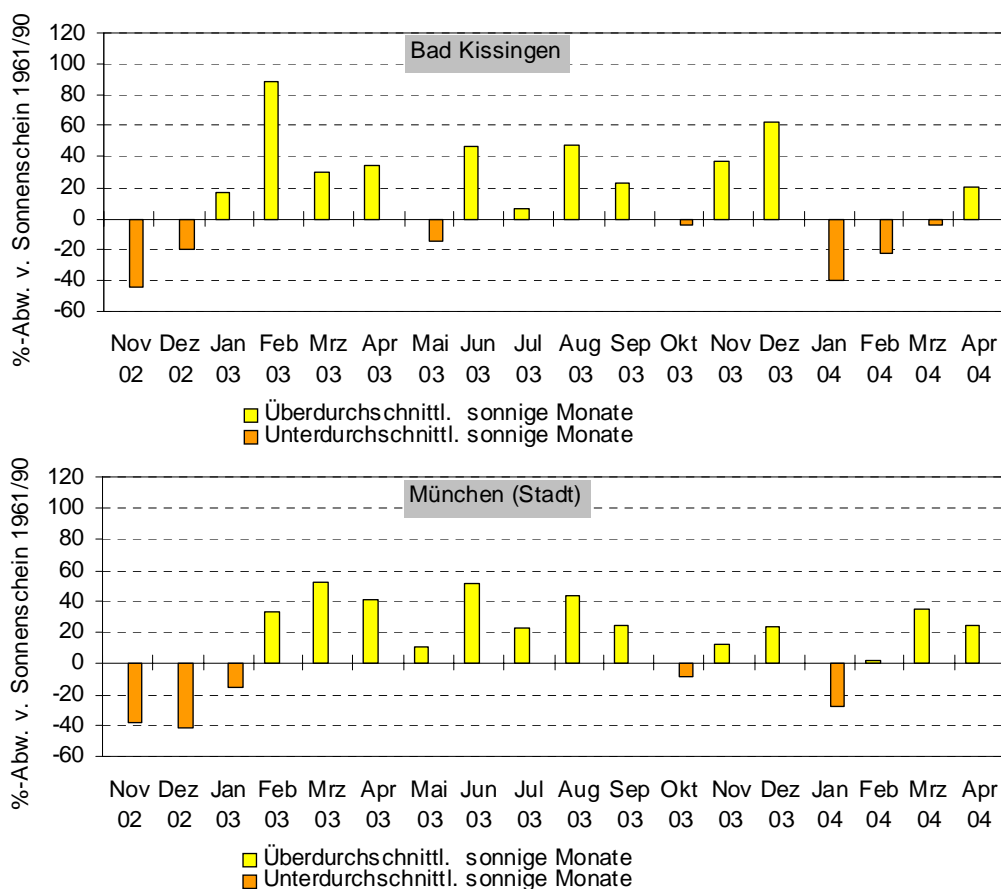


Abb. 1.5 Prozentuale Abweichung der monatlichen Sonnenscheindauer vom Mittel 1961/90

Im Folgenden werden die Daten der Stationen Bad Kissingen und München näher untersucht: Bei insgesamt 1832 Sonnenstunden war das Jahr 2003 in Bad Kissingen markant zu sonnig, allerdings wurden im Rekordjahr 1947 sogar 1979 Sonnenstunden verzeichnet. Im langjährigen Mittel von Bad Kissingen weist der Monat Juli die meisten Sonnenstunden im Jahr auf, aber 2003 schien die Sonne im Juni (294 h) und August (280 h) länger und überschritt das jeweilige 30jährige Monatsmittel um 93 bzw. 90 Stunden.

Auch in München war nicht der Juli (277 h) der Monat mit dem meisten Sonnenschein, sondern im Juni (302 h) und August 2003 (301 h) wurde überdurchschnittlich viel Sonne registriert (103 bzw. 90 h über dem 30jährigen Mittelwert). Bei insgesamt 2171 Sonnenstunden war das Jahr 2003 auch in München markant zu sonnig.

Beide Stationsdiagramme zur Sonnenscheindauer zeigen, dass 10 von 12 Monaten in 2003 statistisch zu sonnig waren und belegen die außergewöhnliche Witterung in 2003 (siehe Abb. 1.5). Die längste Sonnenscheindauer registrierte der DWD im Juni 2003 in Landsberg/Lech (331 h) und im August in Würzburg (325 h).



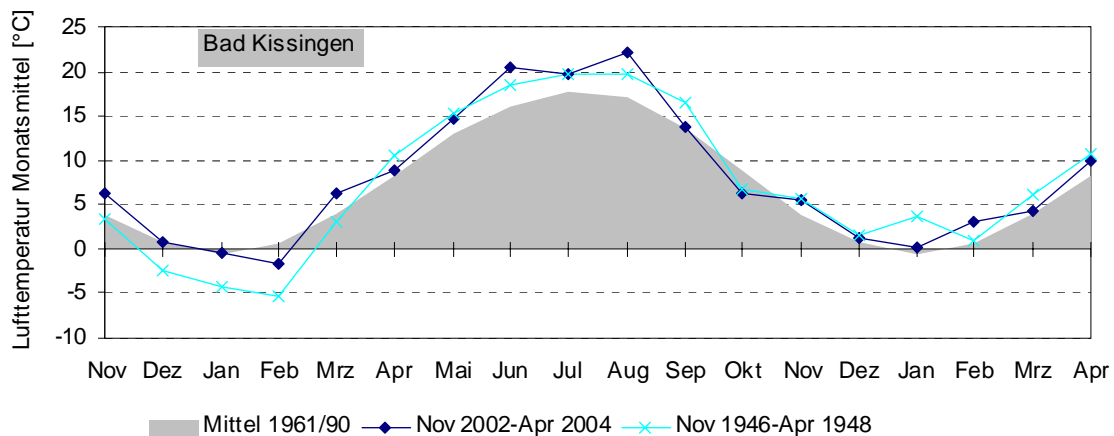
**Abb. 1.6** Sommertag in Landsberg a. Lech am 24.08.2003. (Die fast trockengefallene Wehranlage wird von Fußgängern überquert)

Aufgrund der astronomisch bedingten, geringeren Anzahl von möglichen Sonnenstunden im Winterhalbjahr, beeinflussen Veränderungen der direkten solaren Einstrahlung in den Wintermonaten die Jahressumme der Sonnenscheindauer in geringerem Maße. Die deutlichen Überschreitungen des Mittelwertes im

Februar und Dezember 2003 brachten Bad Kissingen dennoch ein Plus von 57 bzw. 19 Stunden im Vergleich zum langjährigen Mittel (München: +69 h im März 2003).

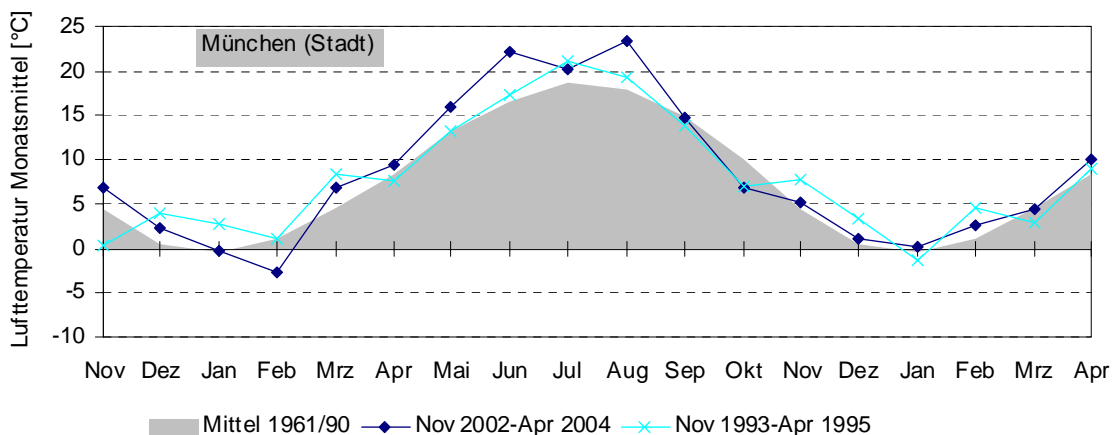
## Witterung

In den Monaten Januar bis April 2004 traten keine deutlichen Abweichungen ( $> 50\%$ ) der Sonnenscheindauer vom langjährigen Mittelwert auf. Neben der Sonneneinstrahlung beeinflusst auch die Luftmassenadvektion die Temperaturverhältnisse des jeweiligen Standorts. Deshalb werden im Folgenden auch die Ganglinien der Lufttemperatur-Monatsmittel der beiden Stationen vorgestellt.



**Abb. 1.7** Vergleich der Monatsmitteltemperaturen von Bad Kissingen

Die Abb. 1.7 zeigt, dass die Monatsmittel 2003 meist deutlich über den 30-jährigen Mittelwerten liegen (Ausnahmen: Februar und Oktober). Im bisherigen Rekordsommer 1947 wurden überdurchschnittliche Werte erst im April erreicht, aber es blieb dafür bis einschließlich September 1947 deutlich zu warm. Im Jahr 2003 ragen die Extremwerte von Juni und August hervor. So gab es im Juni 2003 eine außergewöhnlich lange Wärmeperiode, die üblichen Kälteeinbrüche (z. B. Schafskälte) fehlten und deutschlandweit war es mit  $19,3\text{ °C}$  der heißeste Juni seit 1901.



**Abb. 1.8** Vergleich der Monatsmitteltemperaturen von München (Stadt)

Auch an vielen bayerischen Stationen war es der wärmste Juni seit Beginn der Messungen. (z.B. in Oberstdorf und Garmisch-Partenkirchen), und die Monatsmitteltemperaturen erreichten Werte um 22 °C (Kahl/Main, Kitzingen, Roth, München). Im Juni und August betrug die Abweichung vom üblichen Monatsmittelwert verbreitet über 5,5 °C.

Im Winter 2003/2004 gab es lediglich im Februar 2004 eine deutlichere Abweichung vom langjährigen Temperaturmittel (längere Warmluftzufuhr aus Südwesten), die übrigen Monate waren nur geringfügig zu warm. Die Ganglinie der monatlichen Mitteltemperatur (Abb. 1.8) zeigt, dass in München alle Monate von März bis August 2003 erheblich wärmer waren als der jeweilige langjährige Mittelwert. Die Mitteltemperatur des Sommers 2003 (von Juni bis August) errechnet sich für Bad Kissingen zu 20,8 °C und für München (Stadt) zu 21,8 °C (Sommermittel Deutschland: 19,6 °C).

Auch bisherige maximale Lufttemperaturen wurden 2003 an vielen Stationen erreicht oder überschritten (40,2 °C: Gärnersdorf bei Amberg am 27.07.1981, Karlsruhe am 13.08.2003).

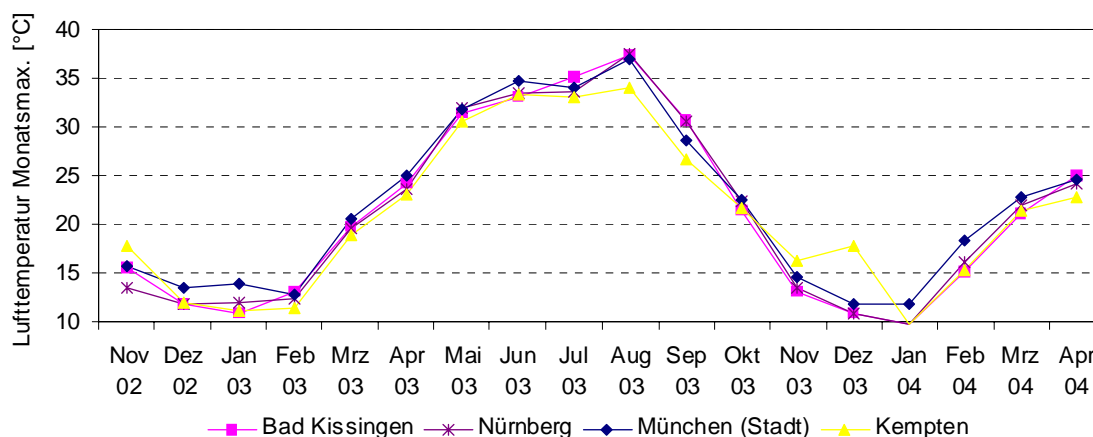


Abb. 1.9 Monatliche Maximalwerte der Lufttemperatur

In München wurden nur an vier Junitagen nicht mindestens 25 °C erreicht und der 13. August war der heißeste Tag des Sommers (München/Stadt: 37,0 °C, Bad Kissingen: 37,5 °C).

Tab. 1.2 enthält die Zahl der Sommertage (Tagesmaximum mit mindestens 25 °C) und der heißen Tage (Tagesmaximum mit mindestens 30 °C) im Vergleich zu früheren markanten Jahren. Im Jahr 2003 traten verbreitet sogar 26 Sommertage (14 heiße Tage) in Folge auf.

## Witterung

Einige Stationen meldeten im August 2003 auch die in unseren Breiten sehr seltenen sogenannten "Tropennächte" (Minima nicht unter 20 °C). In Würzburg wurden im August 6 Tropennächte registriert. In München (Stadt) gab es die wärmste Nacht am 10. August mit Minimum 22,0 °C.

Bad Kissingen		
Jahr	Sommertage [Anzahl]	Heiße Tage [Anzahl]
2003	91	32
1947	76	37
1976	65	20
München (Stadt)		
Jahr	Sommertage [Anzahl]	Heiße Tage [Anzahl]
2003	87	31
1994	57	20
1976	37	5

## 1.2 Niederschlag

Das Niederschlagsgeschehen der Jahre 2002 und 2003 war extrem gegensätzlich. So zählt das Jahr 2002 in Bayern zu den nassesten seit 1901 (niederschlagsreicher waren: 1965, 1966 in Südbayern und 1981 in Nordbayern), und das Folgejahr 2003 wurde zu einem außergewöhnlichen Trockenjahr. Bemerkenswert hinsichtlich des Niederschlags war die Häufung und die lange Andauer von Trockenperioden (Trockenperiode = Aufeinanderfolge von mindestens 11 Tagen mit Tagesniederschlagsmengen  $\leq 1$  mm). Dies wird exemplarisch anhand der Aufzeichnungen von den Stationen Würzburg und München erläutert.

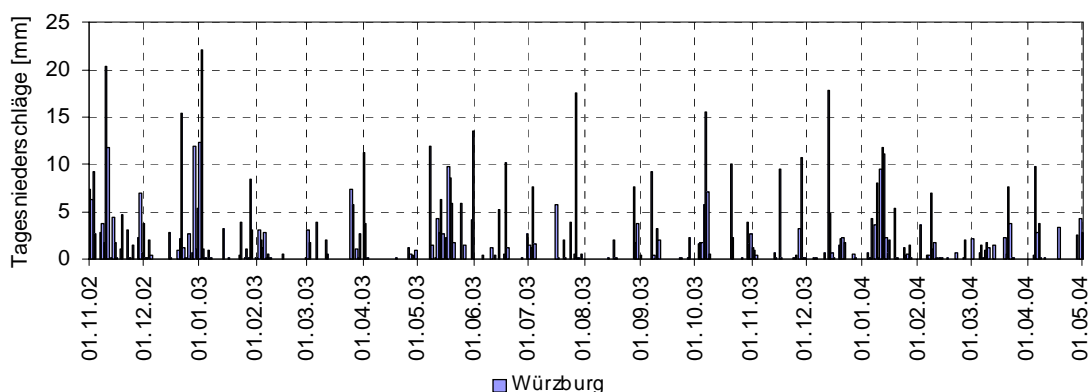


Abb. 1.10 Tagesniederschläge der Station Würzburg von Nov. 2002 bis April 2004

Im Zeitraum November 2002 bis Dezember 2003 gab es in Würzburg insgesamt 10 Trockenperioden mit bis zu 23-tägiger Dauer (Februar und April). Nur in den Monaten November 2002 bis Januar 2003, Juni 2003 und Januar bis April 2004 gab es keine Trockenperioden.

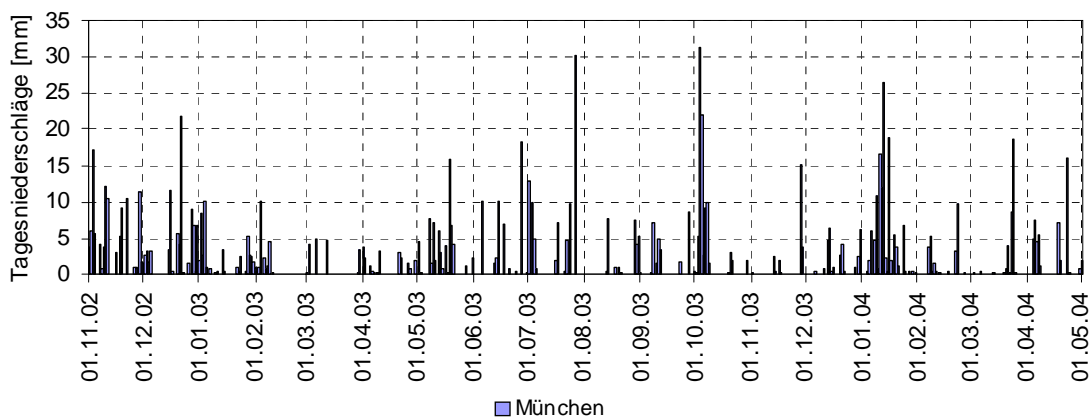


Abb. 1.11 Tagesniederschläge der Station München (Flughafen) von November 2002 bis April 2004

Bei der Station München Flughafen (Abb. 1.11) wurden in dem betrachteten Zeitraum 7 Trockenperioden mit bis zu 21-tägiger Dauer (Februar) registriert. Monate ohne Trockenperioden gab es von November 2002 bis Januar 2003, von April bis Juni 2003, von September bis Oktober 2003 und von Januar bis April 2004. Die größte Tagesniederschlagsmenge ergab eine Summe von 31 mm am 4.10.2003.

Neben der Häufung und Andauer von Trockenperioden wurde die Niedrigwassersituation im Jahr 2003 dadurch verschärft, dass ausgleichende, flächendeckende Stark- oder Dauerniederschläge fehlten. Dies zeigt sich sehr deutlich bei der monatlichen Bilanzierung (Abweichung vom Mittelwert 1961/90) und im Verlauf der Jahressummenkurve. In den großen Flussgebieten von Main und Donau lässt sich eine ähnliche Entwicklung der Flächenniederschläge erkennen (Abb.1.12).

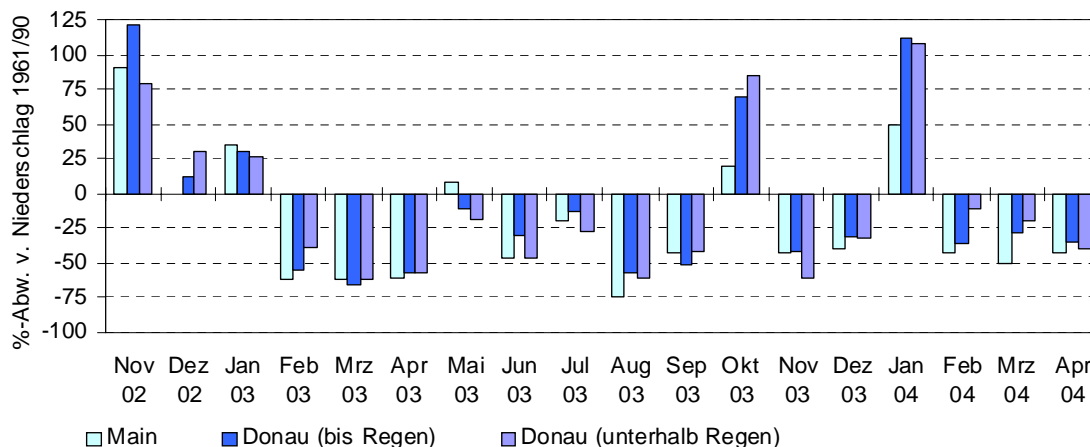
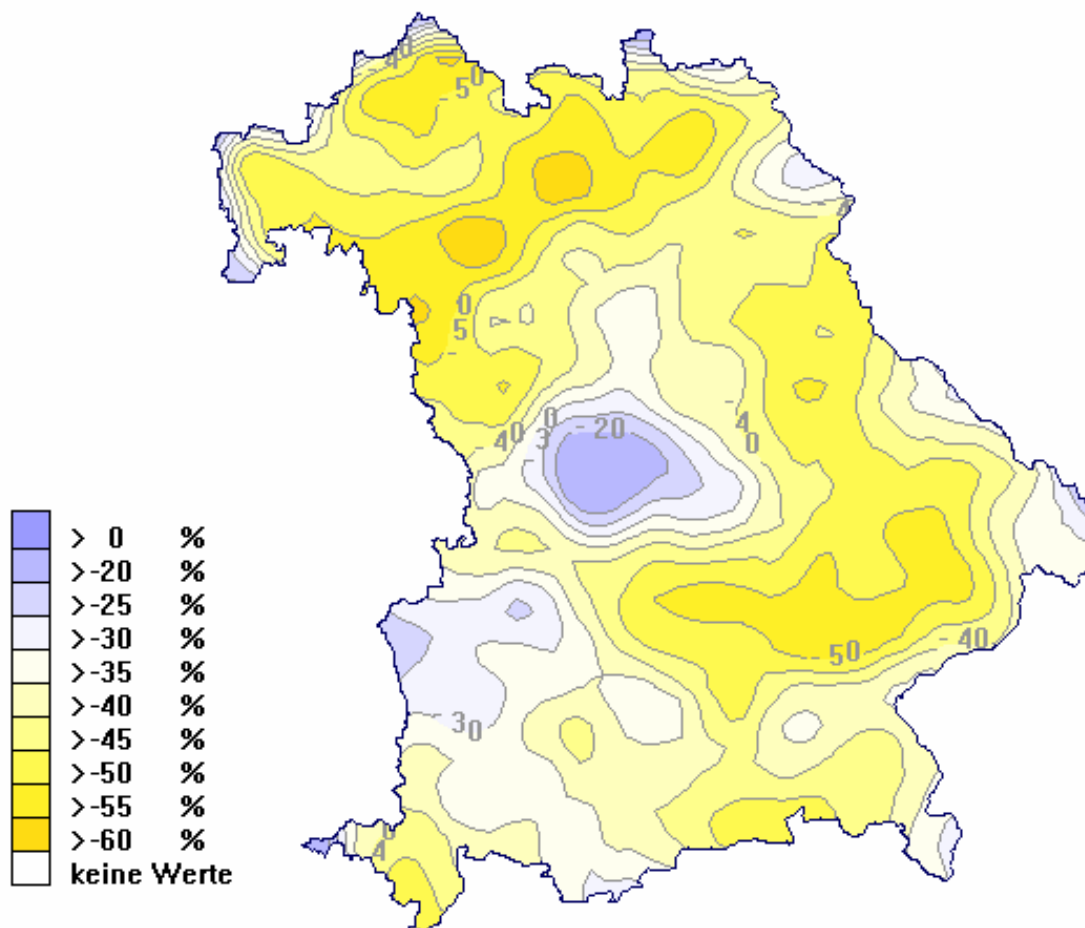


Abb. 1.12 Gebietsniederschläge der Flusseinzugsgebiete Donau und Main

## Witterung

So begann das hydrologische Winterhalbjahr zu nass und die meisten Monate in 2003 waren deutlich zu trocken. Es gab jedoch auch bemerkenswerte Unterschiede in der Niederschlags-tendenz zwischen Main und Donau, da im Mai stärkere Niederschläge in Nordbayern und im Oktober stärkere Niederschläge in Südbayern auftraten.

Im langjährigen Mittel bilden die Sommerniederschläge in Bayern den größten Anteil am Jahresniederschlag. Deshalb wirken sich Veränderungen im Sommerhalbjahr besonders stark auf die Niederschlagsbilanz aus. Die Abb.1.13 zeigt, dass es während der Sommermonate 2003 (Juni bis August) in ganz Bayern ein deutliches Niederschlagsdefizit im Vergleich zum Mittelwert 1961/90 gab. Schwerpunkte dieser deutlich zu trockenen Gebiete (Abweichungen größer als 50 %) finden sich in Niederbayern und in Unterfranken.



**Abb. 1.13** Niederschlagsdefizit im Sommer 2003 (Prozentuale Abweichung vom Mittelwert 1961/90, Hinweis: Für die bayerischen Nachbarländer waren nur wenige langjährige Datenreihen verfügbar, daher sind die Prozentangaben in den Randzonen Bayerns nicht repräsentativ)



Die folgenden Diagramme zu den Stationen Bad Kissingen und München (Stadt) verdeutlichen weitere witterungsbedingte (z.T. reliefbedingte) Unterschiede. Während in Bad Kissingen die höchsten Niederschlagsdefizite in den Monaten August, Juni, März und Februar beobachtet wurden, waren in München (Stadt) April, September, August und März außergewöhnlich trocken.

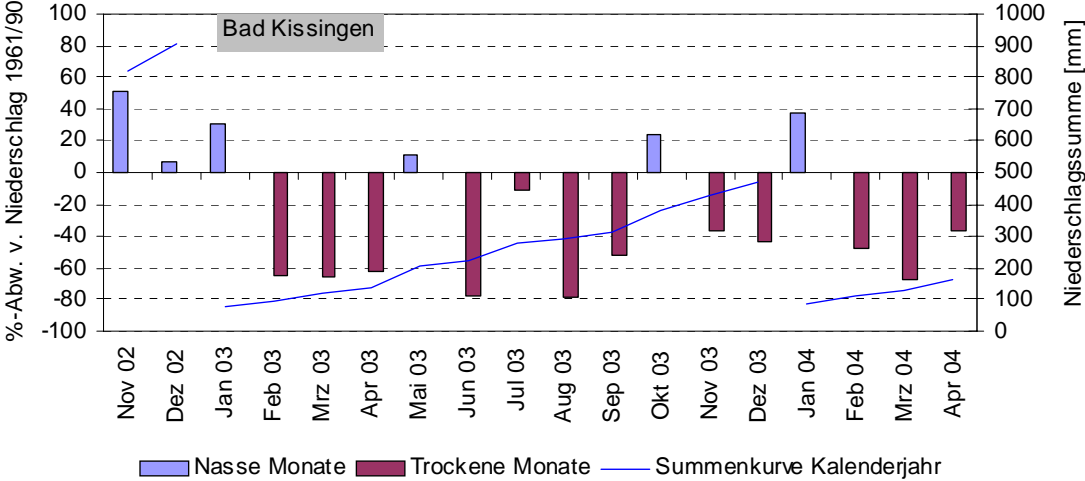


Abb. 1.14 Monatsniederschläge der Station Bad Kissingen

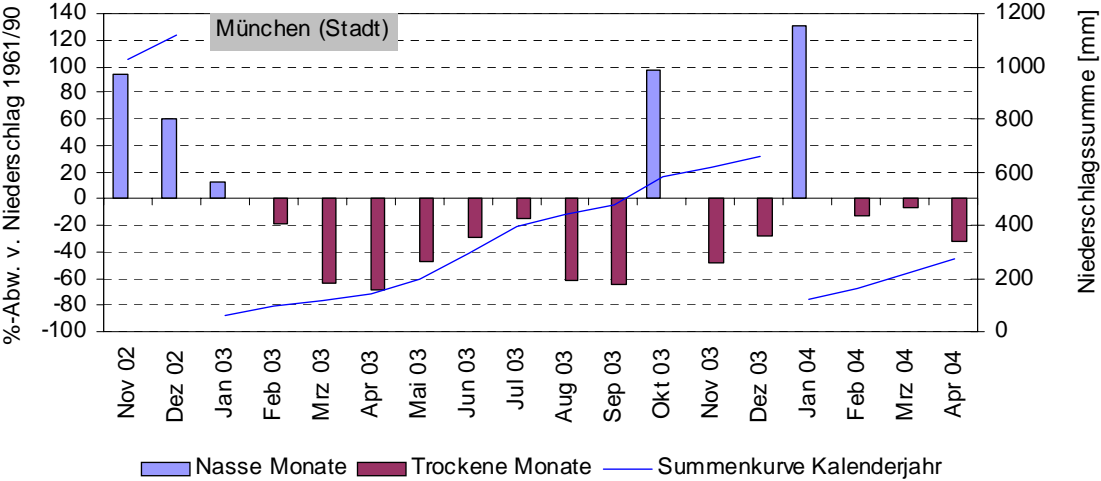


Abb. 1.15 Monatsniederschläge der Station München (Stadt)

## Witterung

Die kräftigen Oktoberniederschläge in Südbayern führten nur vorübergehend zu einer Entspannung der Niedrigwassersituation. Das Jahr 2003 blieb insgesamt deutlich zu trocken.

Der in Tab. 1.3 dargestellte Vergleich der Messstellen Bad Kissingen und München (Stadt) verdeutlicht noch einmal die außergewöhnlichen Niederschlagsverhältnisse im Jahr 2003 und die extremen Gegensätze zum Jahr 2002:

Rangfolge	Bad Kissingen		München (Stadt)	
	Sommer (Jun – Aug) [mm] (Jahreszahl)	Kalenderjahr [mm] (Jahreszahl)	Sommer (Jun – Aug) [mm] (Jahreszahl)	Kalenderjahr [mm] (Jahreszahl)
1	41 (1976)	473 (1964)	216 (1947)	<b>656 (2003)</b>
2	<b>82 (2003)</b>	<b>477 (2003)</b>	241 (1962)	733 (1972)
3	89 (1983)	485 (1976)	<b>242 (2003)</b>	778 (1969)
...	206 (2002)	901 (2002)	364 (2002)	1117 (2002)

**Tab. 1.3** Niederschlagssummen an den Stationen Bad Kissingen und München (Stadt) für ausgewählte Zeiträume

Das Jahr 2003 war an zahlreichen Stationen das trockenste seit Beginn der Aufzeichnungen und reiht sich bei den übrigen Messstellen in die Rangliste der trockensten auf den vorderen Plätzen ein.

Bezüglich der Wiederkehrzeiten der Niederschläge im Jahr 2003 hat der Deutsche Wetterdienst für den Gesamttraum Deutschland (Bezugsperiode 1901 bis 2000) folgende Werte ermittelt: „Für die Einzelmonate des Zeitraums Februar bis September ergeben sich also Wiederkehrzeiten zwischen etwa zwei (Mai) und 50 Jahren (August) und bei saisonaler Zusammenfassung Wiederkehrzeiten von neun (Frühling) bzw. 25 Jahren (Sommer). Betrachtet man aber den Zeitraum von Februar bis August, so erhält man eine geschätzte Wiederkehrzeit von 100 Jahren“ (DEUTSCHER WETTERDIENST 2003).

## 2 Grund- und Bodenwasser

### 2.1 Grundwasserstände und Quellschüttungen

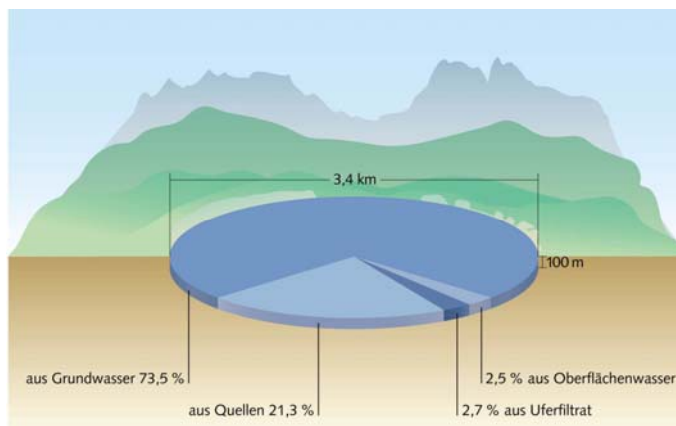
#### 2.1.1 Grundlagen

##### 2.1.1.1 Bedeutung des Grundwassers in niederschlagsarmen Zeiten

Grundwasser ist ein elementarer Bestandteil des Wasserhaushalts und beeinflusst gerade in niederschlagsarmen Zeiten nachhaltig

- die Abflusssituation an Fließgewässern, in quantitativer und qualitativer Hinsicht,
- die für die Wasserversorgung zur Verfügung stehenden Ressourcen, insbesondere in Bereichen, wo sich die Wasserversorgung auf Quelfassungen stützt.

Bei durchschnittlichen Verhältnissen entfällt von der mittleren Niederschlagshöhe in Bayern von 940 mm pro Jahr ein Anteil von 217 mm bzw. 23 % auf den Grundwasserabfluss.



**Abb. 2.1** Herkunft des Trinkwassers in Bayern (aus Spektrum Wasser 2 - Grundwasser. Der unsichtbare Schatz, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 2004)

Aus dem Grundwasser werden rund 95 % des bayerischen Trinkwassers gewonnen (Abb. 2.1). Im Jahr 2001 wurden dabei rd. 910 Mio. m<sup>3</sup> für die öffentliche Wasserversorgung gefördert. Während ausgedehnte Grundwasserleiter in den Flusstälern ausreichend Grundwasser beinhalten, können in kleinen Einzugsgebieten Engpässe auftreten. Betroffen sind vor allem kleinere Wasserversorgungen in Mittelgebirgslagen, die sich auf Quellen stützen (z. B. im Bayerischen Wald).

Die Messstellen des Landesnetzes (Grundnetz Grundwasserstand) sind prinzipiell außerhalb des unmittelbaren Einflussbereiches der Wasserversorgungen angeordnet, da sie die Grundwasserverhältnisse in den weitgehend anthropogen unbeeinflussten Bereichen wiedergeben sollen. Gebiete mit örtlich begrenzten bzw. wenig ergiebigen Grundwasservorkommen, wie die überwiegend durch Quellen geprägten Gebiete im ostbayerischen Grundgebirge und im Alpenraum, sind im Landesnetz nicht erfasst. Weitere Ausführungen zur Wasserversorgung folgen in Kapitel 5.1.

## 2.1.1.2 Überblick zur Grundwassersituation 2003

### Genereller Trend

Die Grundwasserstände zeigten seit Ende Januar 2003 generell eine fallende Tendenz, sehr ausgeprägt in den großflächigen Grundwasserleitern in Südbayern sowie in den Talschottern in Nordbayern. Die niedrigsten Werte der Grundwasserstände aus früheren Jahren wurden bei einzelnen Messstellen nahezu erreicht. Dies trifft z.B. auf die seit 1938 beobachtete Messstelle Eching nördlich von München zu (Abb. 2.7). Das mehrjährige Mittel der Grundwasserstände wurde bei der Mehrzahl der Messstellen unterschritten. Durch die Niederschläge im Oktober (in Südbayern 134 mm, Nordbayern 78 mm) sind die Grundwasserstände in den voralpinen Tälern kurzzeitig angestiegen. Bereits ab Mitte Oktober sind sie hier aber wieder kontinuierlich bis zum Jahresende 2003 gesunken (Abb. 2.7). Die Mehrzahl der Messstellen in Bayern wurde durch dieses kurzzeitige Niederschlagsereignis Anfang Oktober nicht beeinflusst, so dass sich der Abwärtstrend im Allgemeinen bis Ende 2003 weiter fortsetzte. Im Grundnetz wird die Entwicklung der Grundwasserstände in den überregional bedeutenden Grundwasserleitern Bayerns beobachtet. Diese Grundwasserleiter sind in Kapitel 2.1.1.3 näher erläutert. Hierbei ist grundsätzlich zu unterscheiden in a) oberflächennahe Grundwasserleiter (überwiegend quartäre Schotter und Flusstalfüllungen) und b) tiefere Grundwasserleiter (Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter verschiedener hydrogeologischer Einheiten).

Die aktuelle Grundwassersituation für ausgewählte Grundwassermessstellen in den Regierungsbezirken Oberbayern und Schwaben wird im Internet angeboten unter der Adresse:  
[http://www.bayern.de/lfw/daten/lgd/aktuell\\_gw/welcome.htm](http://www.bayern.de/lfw/daten/lgd/aktuell_gw/welcome.htm)

### Besondere Ausgangssituation zum Jahresanfang 2003

Anfang 2003 waren Bayernweit hohe Grundwasserstände zu beobachten, die sich durch die hohen Niederschläge im Jahr 2002 (Augusthochwasser) ergaben und örtlich zu starken Vernässungen geführt haben. Durch diese besondere hydrologische Situation wirkten sich die Absenkungen der Grundwasserstände infolge der extremen Trockenperiode 2003 nicht so gravierend aus, obwohl die Wasserstände in den oberflächennahen Grundwasserleitern im Mittel um 0,5 bis 2,5 m (teilweise sogar um 4 m) sanken.

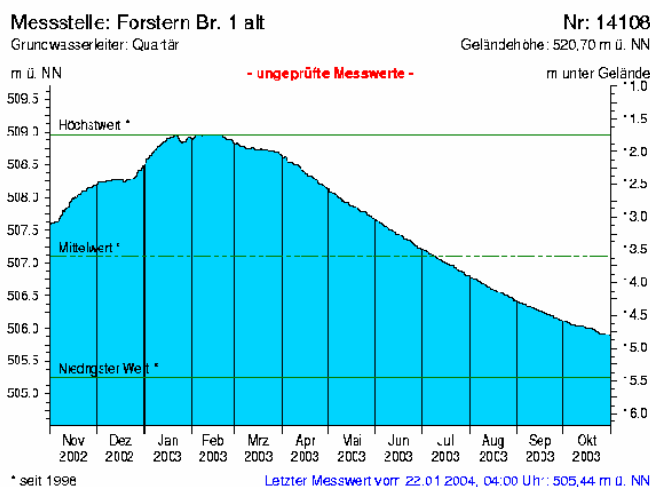


Abb. 2.2 Grundwasserabsenkung an der Messstelle Forstern

### Quantitative Auswirkungen auf die Fließgewässer

Bei hohen Grundwasserständen besteht ein hoher hydraulischer Gradient zum Fließgewässer hin. Höhere Grundwasserstände führen so unmittelbar zu einem höheren Abfluss von Grundwasser in die oberirdischen Gewässer. An der Messstelle Forstern (Abb. 2.2) betrug die Wasserspiegeldifferenz im Abflussjahr 2003 rd. 3 m, an der Messstelle Eching (Abb. 2.7) rd. 1,7 m. Im Gegensatz dazu lag die Wasserspiegeldifferenz im niederschlagsarmen Jahr 1976 an der Messstelle Eching nur bei rd. 1 m, das sind rd. 60 % der Wasserspiegeldifferenz im Abflussjahr 2003 (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1977).

Abflussanteile an der Isar in Höhe von München Stichtag: Montag, 11.08.2003	Tages- mittel	Prozent
Niedrigwasserabfluss am Pegel München $Q_{TM}$	24,6 m <sup>3</sup> /s	
+ Anteil Eisbach $Q_{TM}$	24,1 m <sup>3</sup> /s	
+ Anteil Schwabinger Bach $Q_{TM}$	4,8 m <sup>3</sup> /s	
<b>Abflusssumme in Höhe von München [<math>Q_{TM}</math>]</b>	<b>53,5 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>100 %</b>
- Anteil <b>Sylvensteinspeicher</b> $Q_{TM} = 14,5 - 4,6 \text{ m}^3$ (4,6 m <sup>3</sup> = Grundwasserzufluss zum Speicher)	9,9 m <sup>3</sup> /s	19 %
- Anteil <b>Walchensee</b> (hier $Q_{TM}$ vom Pegel Kochel)	26,1 m <sup>3</sup> /s	49 %
- Anteil d. 46 <b>kommunale Kläranlagen</b> südlich von München (ermittelt wurde die Jahresschmutzwassermenge; der Trockenwetterabfluss ist geringer)	< 0,7 m <sup>3</sup> /s	1 %
- Anteil von <b>Gletscherwasser</b>	0,0 m <sup>3</sup> /s	0 %
- Anteil von <b>Schneeschmelze</b> (ab 10.07.03 war Zugspitze schneefrei)	0,0 m <sup>3</sup> /s	0 %
- <b>Niederschlagssumme</b> (von 01.08. bis 12.08.2003)	0,0 mm	0 %
Verbleibende <b>Exfiltration aus dem Grundwasser</b>	16,8 m <sup>3</sup> /s	31 %

Tab. 2.1 Abflussanteile an der Isar in Höhe von München

Tab. 2.1 zeigt am Beispiel der Isar die verschiedenen Zuflussanteile eines Fließgewässers. Der Abflussanteil des Grundwassers in der Isar liegt bei mindestens 31 %. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass die abgeführten Wassermengen von Sylvensteinspeicher und Walchensee auch teilweise dem Grundwasserabfluss zuzurechnen sind und nur temporär zwischengespeichert werden. Der tatsächliche Anteil des Grundwasserzuflusses ist damit noch deutlich höher anzunehmen. Der Abflussanteil der 46 Kläranlagen beträgt lediglich ca. 1 % des Trockenwetterabflusses der Isar. In kleinräumigen Einzugsgebieten und unter anderen

hydrogeologischen Bedingungen, wie sie z. B. in Nordostbayern bestehen, können die Verhältnisse grundlegend abweichen, da dort der Abflussanteil der Kläranlagen erheblich höher sein kann.

### Qualitative Auswirkungen auf die Fließgewässer

Das Grundwasser bewirkte im Abflussjahr 2003 durch die erhöhte Zusickerung in die oberirdischen Gewässer eine *qualitative Verbesserung* der oberirdischen Gewässer. Bei weitgehend gleichbleibenden Güteparametern (z. B. Sauerstoffgehalt) führt der bei einer mittleren Wassertemperatur von 10°C relativ kühle Grundwasserzstrom zu einer Verbesserung der Fließgewässerbeschaffenheit. Temperaturmessungen und qualitative Auswertungen an Fließgewässern bestätigen dies (siehe Kap. 4: Gewässerqualität).

### 2.1.1.3 Bedeutende Grundwasserleiter in Bayern

In Bayern können vereinfacht 13 überregional bedeutende Grundwasserleiter unterschieden werden, die sich durch unterschiedliche geologische und hydrogeologische Eigenschaften (Durchlässigkeit, Speichervermögen) auszeichnen. Ihre regionale Verteilung ist der Karte 2.1 „Messstellen Grundwasserstand in Bayern“ (siehe Anlage) zu entnehmen.

#### **Oberflächennahe Grundwasserleiter**

Vom Alpenvorland bis zur Donau nimmt das Quartär mit seinen Lockergesteinen einen weiten Raum ein. Es ist geprägt durch Moränensedimente, Schotterflächen, Terrassensedimente und Flusstalfüllungen.

Am Ende der Eiszeiten blieben nach dem Rückzug der Gletscher Moränen zurück, an deren Rändern sich die Schotterflächen anschließen. Die älteren Schotterkörper sind von einer bis zu 10 m mächtigen Löß- und Decklehmschicht überdeckt. In den Flusstälern blieben vor allem in Südbayern die fluviatilen Sedimente als Hoch- und Niederterrassen zurück.

Nördlich der Donau finden sich quartäre Sedimente hauptsächlich in den Tälern und Auen der Fließgewässer. In Mainfranken können quartäre Ablagerungen örtlich – in Einbruchszonen des Mittleren Muschelkalks – größere Mächtigkeiten erreichen und dienen den verkarsteten Gebirgsformationen als Vorfluter.

Die quartären Porengrundwasserleiter bilden das oberste Grundwasserstockwerk. Aufgrund ihrer guten Durchlässigkeit und der Speicherkapazität sind kurzfristige Veränderungen der Grundwasserneubildung anhand der Grundwasserstände bzw. der Quellschüttungen sehr schnell zu erkennen.

#### **Tiefere Grundwasserleiter**

Südlich der Donau im sogenannten tertiären Hügelland gibt es ausgedehnte Porengrundwasserleiter, die eine Fläche von ca. 13.500 km<sup>2</sup> einnehmen. Ein zusammenhängendes Grundwasservorkommen ist hier ab einer Tiefe von ca. 50 m anzutreffen. Darüber liegende Grundwasservorkommen sind meist nur von lokaler Bedeutung. Das Hauptvorkommen befindet sich in der Oberen Süßwassermolasse, die vor ca. 20 Mio. Jahren im Alpenvorland aus den Ablagerungen von Flüssen und Seen entstanden ist.

Nördlich der Donau erstreckt sich vom Nördlinger Ries bis zum Main der Weiße Jura (Malm), ein Karstgrundwasserleiter mit einer Fläche von ca. 7.400 km<sup>2</sup> an (siehe Anhang Karte 2.1). Das Grundwasser besitzt eine zusammenhängende Grundwasseroberfläche, die teilweise weit unter das Talniveau reicht. Es bewegt sich in dem kalkigen und dolomitischen Gestein auf Klüften und Schichtfugen, die vielfach durch Verkarstung zu einem unterirdischen verzweigten Höhlensystem erweitert worden sind.

Nordwestlich der Schwäbischen und Fränkischen Alb schließt der Sandsteinkeuper an. Während im Westen das Grundwasserdargebot im Bereich des dichten Blasensandsteins gering ist, weist der Burgsandstein eine überwiegend an Gesteinsklüfte gebundene Grundwasserführung auf.

Zwischen Nürnberg und dem Altmühltal ist der Gipskeuper mit dem sogenannten Benker Sandstein aufgeschlossen. Er besitzt regional eine große Bedeutung für die öffentliche Wasserversorgung. Die Wasserführung erfolgt hauptsächlich auf Klüften und Schichtfugen (Kluftgrundwasserleiter).

Das mainfränkische Gebiet ist geprägt von Ablagerungen des Muschelkalks. Der Hauptmuschelkalk, ein meist schwach verkarsteter, einheitlicher Kluftgrundwasserleiter, bildet gemeinsam mit dem Mittleren Muschelkalk ein Grundwasserstockwerk.

Spessart und Rhön werden hauptsächlich vom Buntsandstein aufgebaut, der aufgrund eines fehlenden speichernutzbaren und durchflusswirksamen Porenvolumens seine Wasserwegsamkeit ebenfalls nur durch Klüftungen erhält. Unterer und Mittlerer Buntsandstein bilden ein zusammenhängendes Grundwasserstockwerk.

Der Osten Bayerns vom Frankenwald bis zum Bayerischen Wald ist durch kristalline Gesteine geprägt, die eine flächige Ausdehnung von ca. 11.000 km<sup>2</sup> besitzen. In diesen Festgesteinen ist die Wasserwegsamkeit auf den meist geringen oberflächennahen Kluftraum beschränkt. Darüber bilden Verwitterungszonen unterschiedlicher Mächtigkeiten die Basis für eine Vielzahl kleiner bis mittlerer Grundwasservorkommen mit Quellwasseraustritten. Grundwassermessstellen sind hier nur vereinzelt für Sonderuntersuchungen in den quartären Auen der Flusstäler eingerichtet. Aufschlüsse über die Grundwasserverhältnisse in der Fläche können Quellschüttungsmessungen geben (vgl. Kap. 2.1.4).

### **2.1.1.4 Jahreszeitliche Schwankungen der Grundwasserneubildung**

In Bayern versickern im Mittel ca. 16 % bis 28 % des Niederschlags in das Grundwasser. In der Vegetationsperiode von Mai bis Oktober entziehen die Pflanzen dem Boden erhebliche Wassermengen (Transpiration). Gleichzeitig steigt mit zunehmender Lufttemperatur die Verdunstungsrate des Bodens (Evaporation). Damit wird die Grundwasserneubildung, d. h. der in das Grundwasser versickernde Niederschlagsanteil deutlich reduziert.

Dagegen sind mit Beginn der Vegetationsruhe ab November der Wasserbedarf der Pflanzen sowie die Bodenverdunstung erheblich reduziert. In der Folge gelangen im Winterhalbjahr (November bis April) weit höhere Anteile des Niederschlags in das Grundwasser. Allerdings können im Winter die Böden gefroren sein, so dass die Niederschläge an der Erdoberfläche abfließen oder aber der Niederschlag in der Schneedecke gebunden bleibt. Dieser Effekt war von Januar bis März 2003 gegeben, so dass von den ohnehin geringen Niederschlägen in diesen Monaten nur ein geringer Anteil dem Grundwasser zusickern konnte.

Das Hydrologische Jahr berücksichtigt diese saisonalen Randbedingungen bei den Auswertungen und der Darstellung statistisch berechneter Werte. Die nachfolgenden Grundwasserstandsganglinien sind überwiegend für das Abflussjahr 2003 (vom 01.11.2002 bis 31.10.2003) dargestellt.

### 2.1.1.5 Defizit in der Grundwasserneubildung

Im Kalenderjahr 2003 wurden nur rd. 70 % der mehrjährigen mittleren Niederschlagssumme erreicht. Der negative Effekt auf die Grundwasserneubildung – und damit auf die Grundwasservorräte – wurde noch verstärkt, da die spärlichen Niederschläge von April bis Oktober 2003 von der ausgetrockneten oberen Bodenschicht und dem Pflanzenbewuchs weitgehend verdunstet wurden. Eine Bilanzbetrachtung des LfW vom Dezember 2003 kommt zu dem Schluss, dass sich im Bereich der Münchner Schotterebene (flächige Ausdehnung rd. 2.400 m<sup>2</sup>) im Kalenderjahr 2003 das Grundwasservolumen auf rd. 360 Mio. m<sup>3</sup> reduziert hat. Das Defizit der Grundwasserneubildung liegt damit über dem Wasservolumen des Tegernsees (323 Mio. m<sup>3</sup>). Bei der Berechnung des Grundwasservolumens wurde mit einem durchschnittlichen entwässerbaren Porenanteil von 15 % und einer mittleren Grundwasserabsenkung von 1,0 m gerechnet. Diese Parameter werden in Teilbereichen der Münchner Schotterebene deutlich überschritten, weshalb vermutlich von einem noch höheren Grundwasserdefizit auszugehen ist.

### 2.1.1.6 Typische Grundwasserreaktionen im Jahr 2003

Im Abflussjahr 2003 waren drei typische Grundwasserreaktionen zu beobachten.

Eine konstante Absenkungsrate der Grundwasserstände weist darauf hin, dass eine kontinuierliche Entwässerung des Grundwasserleiters erfolgt. Voraussetzung hierfür ist ein nahezu gleichbleibendes Gefälle des Grundwasserspiegels zum Vorfluter hin und das Vorliegen eines weiträumigen Grundwasservorkommens, d. h. eines großen Einzugsgebietes (siehe Abb. 2.3).

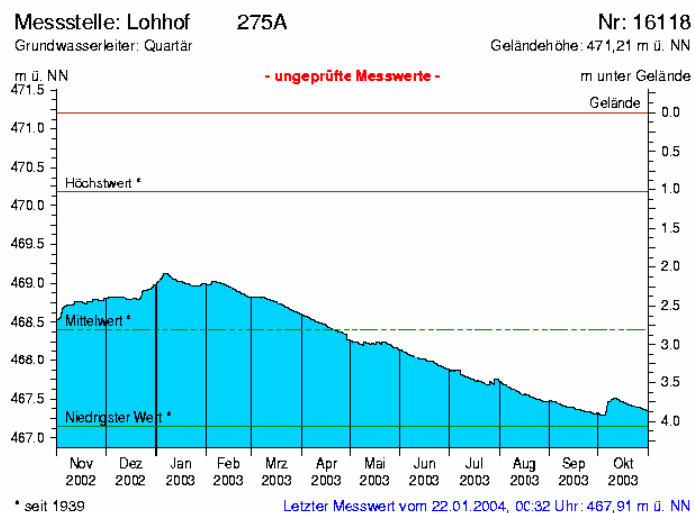


Abb. 2.3 Kontinuierliche Absenkung der Grundwasserstände in Lohhof bei München



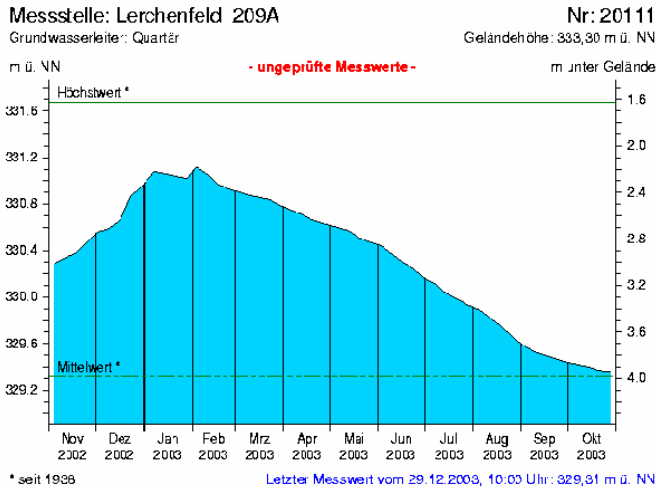


Abb. 2.4 Abflachung der Grundwasserganglinie Lerchenfeld

Eine Abflachung der Ganglinie, wie dies in Abb. 2.4 ab September 2003 zu beobachten ist, lässt die Folgerung zu, dass das Gefälle des Grundwasserspiegels zum Vorfluter deutlich abnimmt und sich langsam auf das Niveau des Oberflächenwasserspiegels einstellt. Das Grundwasservorkommen selbst muss hierdurch nicht zwingend beeinträchtigt werden, da das Dargebot primär von der Mächtigkeit des Grundwasserleiters abhängt. Grundwassernutzungen für die Wasserversorgung sind prinzipiell auf niedrige Grundwasserstände ausgelegt.

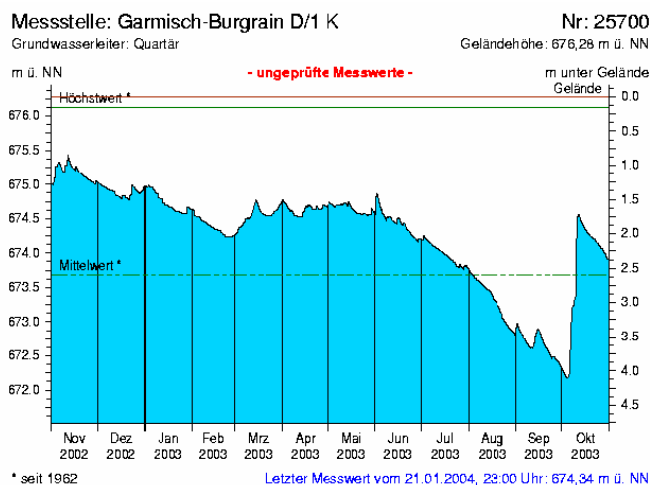


Abb. 2.5 Grundwasserstände im Loisachtal

Eine Zunahme der Absenkung der Grundwasserstände entsprechend Abb. 2.5 gibt Hinweise darauf, dass neben dem Abfluss in die Fließgewässer weitere Beanspruchungen des Grundwasserleiters bestehen. Dies kann natürlich bedingt sein durch eine erhöhte Verdunstung von Schilf- oder Moorbereichen sowie das vorübergehende Trockenfallen der Loisach. Oder es kann anthropogen bedingt sein durch Grundwasserentnahmen für die Wasserversorgung bzw. für die Beregnung landwirtschaftlicher Nutzflächen.

### 2.1.2 Grundwassersituation in den quartären Grundwasserleitern

Anhand ausgewählter Grundwasserganglinien wird die Situation in quartären Grundwasserleitern näher erläutert.

#### 2.1.2.1 Flusstalfüllungen im voralpinen Bereich

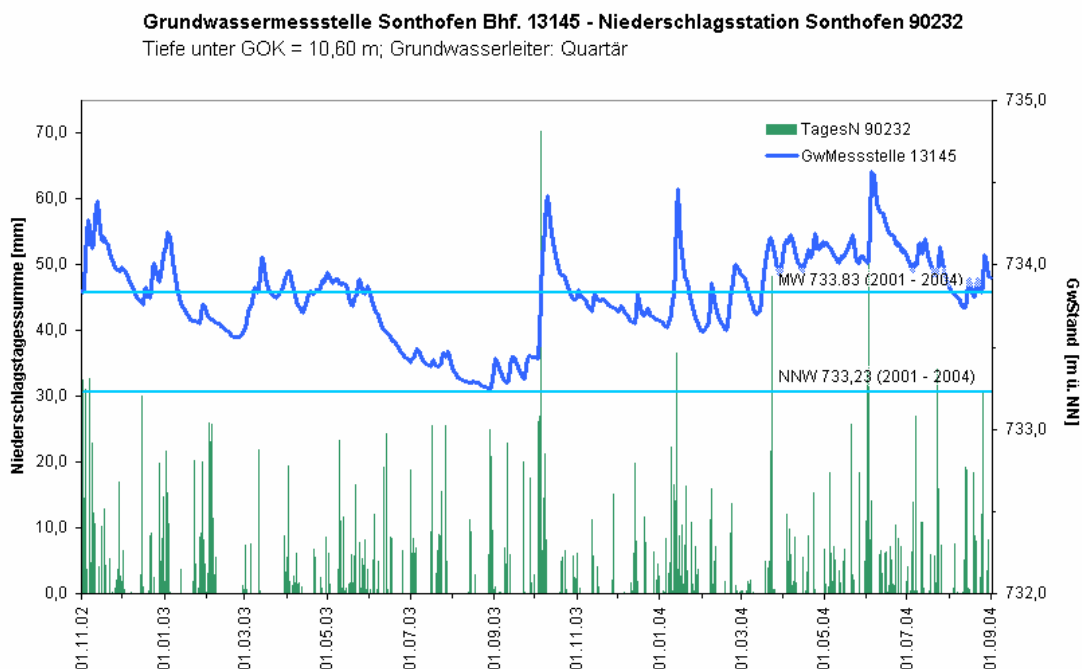


Abb. 2.6 Grundwassermessstelle Sonthofen

Die Grundwassermessstelle Sonthofen im Landkreis Oberallgäu (Abb. 2.6) befindet sich in der Flusstalfüllung der Iller, die hauptsächlich aus dem alpinen Einzugsgebiet gespeist wird. Durch die Korrespondenz mit dem Flusswasser bleiben Wasserspiegelschwankungen des Grundwassers auf etwa knapp 1,5 m begrenzt. Das Einzugsgebiet besteht aus weitgehend gering durchlässigen Sedimentgesteinen des Helvetikums und Flyschs und den Kluft- bzw. Karstgrundwasserleitern der Nördlichen Kalkalpen. Diese Gesteine können Wasser schlecht speichern, so dass die Niederschläge (z. B. Anfang Oktober 2003) aus dem Gebirge rasch in die Flusstäler einströmen. Bei Hochwasser sickert zusätzlich Flusswasser in den Grundwasserleiter ein. Niederschläge im Einzugsgebiet bewirken somit einen raschen und steilen Anstieg des Grundwasserstandes. Der Grundwasserstand sank im trockenen Sommer 2003 kontinuierlich um 60 cm ab, wobei Ende August der niedrigste seit 2001 beobachtete Wasserstand (NNW) erreicht wurde.

Die nachfolgenden Niederschläge bewirkten kurzzeitig einen steilen Anstieg des Grundwasserstandes. Nach dem Rückgang bis Jahresende war der Verlauf im Jahr 2004 durch häufigere Niederschlagszufuhr gekennzeichnet, wobei sich der Grundwasserstand bis Ende August wieder um das mehrjährige Mittel einpendelte.

### 2.1.2.2 Schotterflächen südlich der Donau

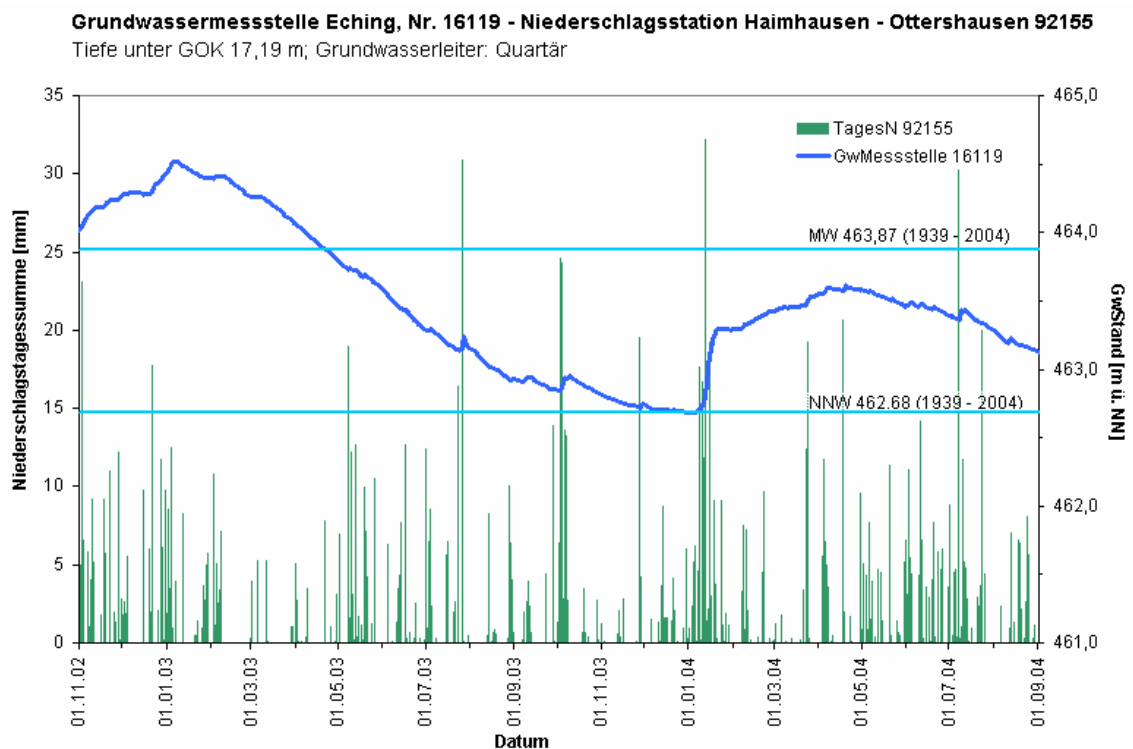


Abb. 2.7 Grundwassermessstelle Eching

Die Messstellen in den wärmeiszeitlichen Schottern südlich der Donau registrierten in der Trockenperiode einen gleichmäßigen Rückgang der Grundwasservorräte, der mit geringfügiger Unterbrechung durch die Oktoberniederschläge bis zum Jahreswechsel anhält. Ende 2003 lagen die Grundwasserstände im Bereich des mehrjährigen Mittelwertes oder darunter.

An der seit 1938 beobachteten Messstelle Eching in der Münchener Schotterebene wurde im Dezember 2003 der niedrigste jemals aufgezeichnete Grundwasserstand gemessen (Abb. 2.7). Nachfolgend lösten die Niederschläge vom Januar 2004 einen starken Anstieg in der Grundwasserneubildung aus. Abgeschwächt hält die Grundwasserneubildung infolge weiterer Niederschläge bis Mai 2004 an. Im Sommer 2004 überwiegt dann der Grundwasserabfluss, und die Grundwasserstände gehen zurück.

2.1.2.3 Großräumige Flusstalfüllungen in Nordbayern

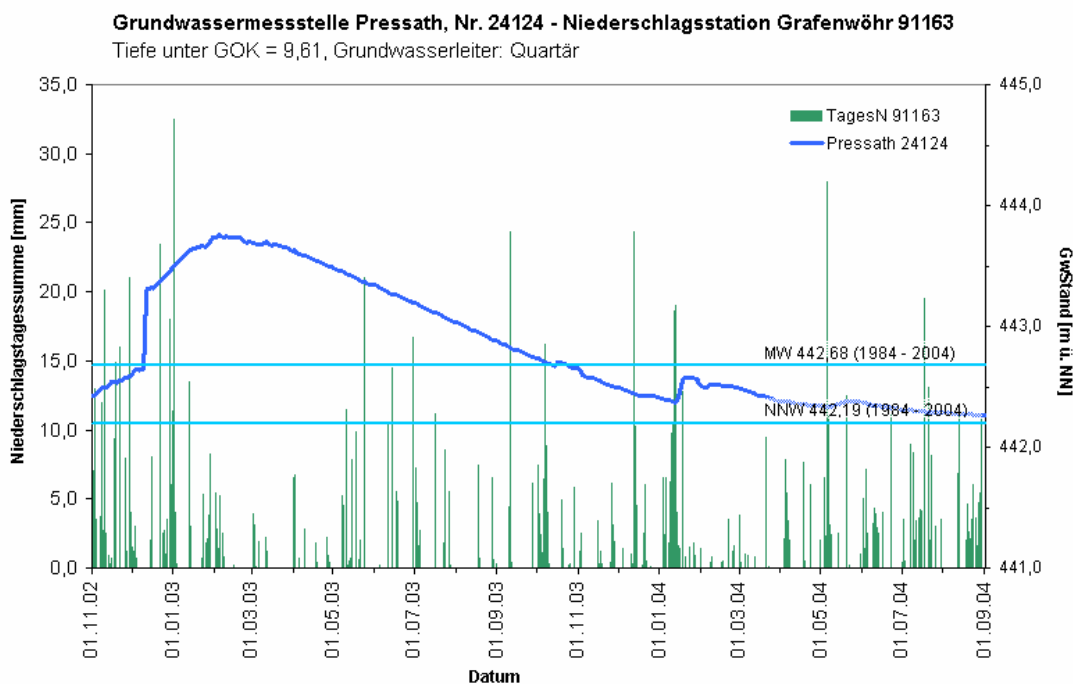


Abb. 2.8 Grundwassermessstelle Pressath

Die Messstelle Pressath (Landkreis Neustadt an der Waldnaab) liegt nördlich der Donau in mächtigen Flusstalfüllungen der Naab (Abb. 2.8). Ein gleichmäßiger Rückgang des Grundwasserstandes kennzeichnete die Trockenperiode 2003, wobei die Oktoberniederschläge eine kaum merkliche Unterbrechung bewirkten. Erst im Januar 2004 stieg der Grundwasserstand geringfügig um ca. 0,3 m an. Die nachfolgenden Niederschläge konnten den Grundwasserabfluss nur teilweise ausgleichen, so dass bis August 2004 der tiefste, seit Beobachtungsbeginn (1984) aufgezeichnete Grundwasserstand fast erreicht wurde.

### 2.1.2.4 Geringmächtige Flusstalfüllungen nördlich der Donau

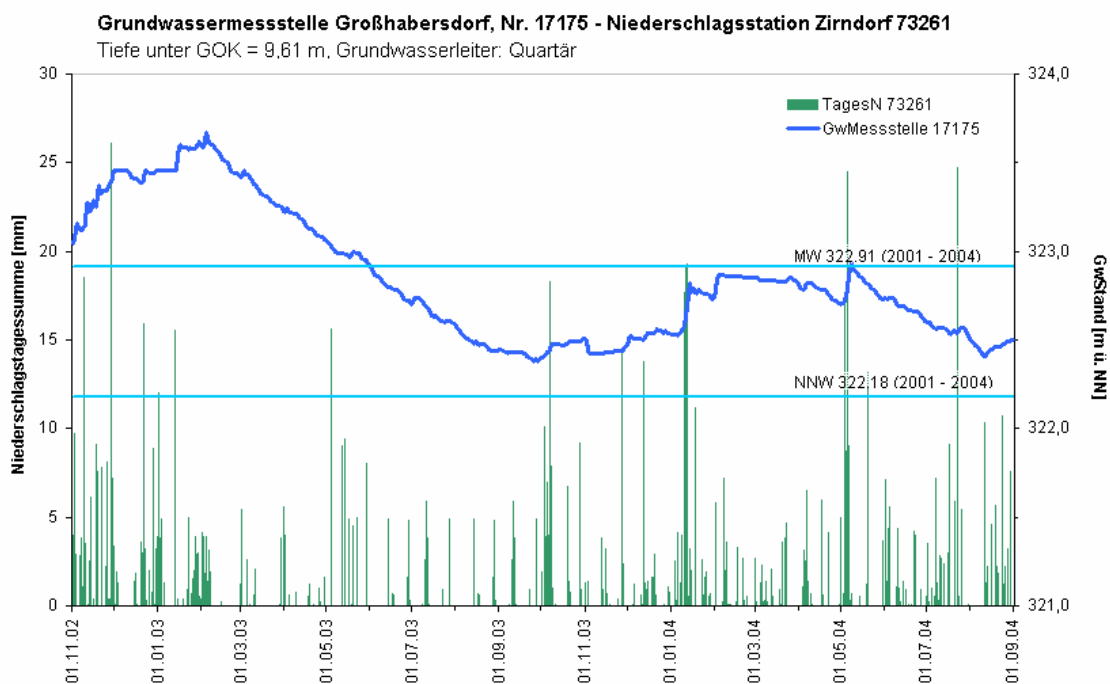


Abb. 2.9 Grundwassermessstelle Großhabersdorf

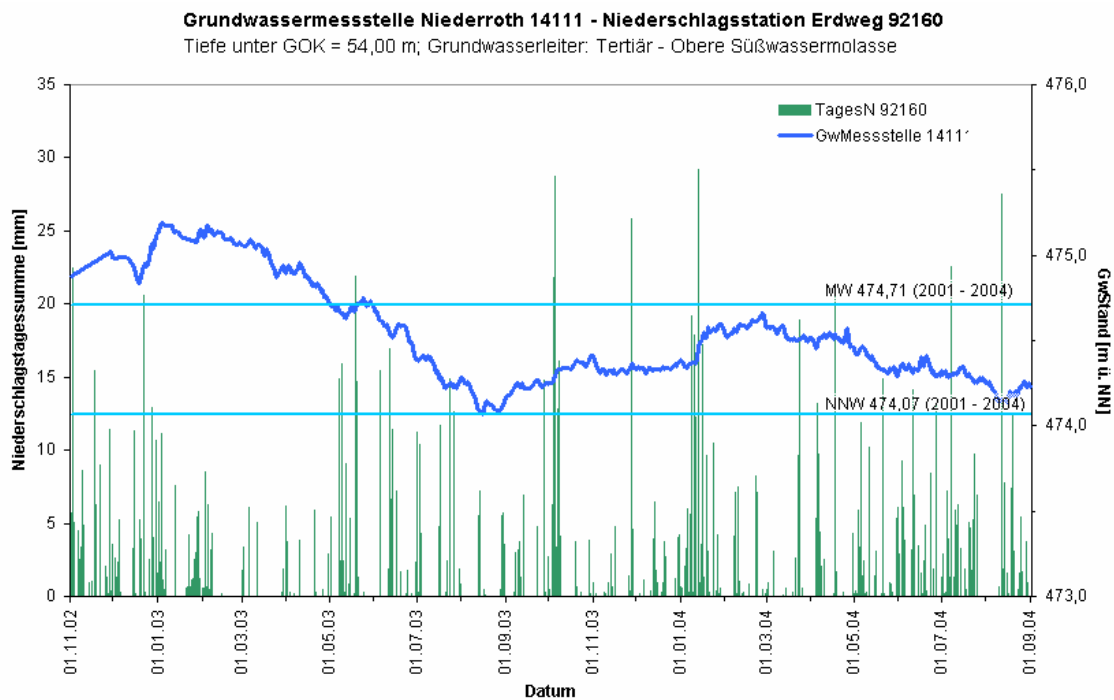
Diese Grundwassermessstellen erfassen die in ihrer Schichtstärke schwankenden quartären Tal-füllungen der Bäche und Flüsse. Wechselwirkungen des Grundwassers mit dem Fließgewässer sind verbreitet. Tabelle 2.2 (siehe Anhang) gibt einen Überblick über den Abstand der jeweiligen Messstelle zum nächstgelegenen Fließgewässer. Bei hydraulischer Anbindung wirkt das Fließgewässer stabilisierend auf den Grundwasserspiegel. Temporäre Schwankungen der Abflusshöhe werden dann auch im flussnahen Grundwasser registriert. In dieser Situation wurde der Rückgang der Grundwasserstände bereits ab Oktober 2003 infolge einer normalisierten Wasserführung in den Fließgewässern aufgefangen. Dies steht in deutlichem Gegensatz zum gleichmäßigen Absinken der Grundwasserganglinien von Messstellen in den größeren Schotterflächen.

An der Messstelle Großhabersdorf (Lkr. Fürth) wurde im Mai 2004 der mehrjährige mittlere Grundwasserstand wieder erreicht (Beobachtung seit 2001; Abb. 2.9). Nachfolgend fiel der Grundwasserstand infolge der im Sommer geminderten Grundwasserneubildung und der nachlassenden Wasserführung im benachbarten Fließgewässer deutlich ab.

### 2.1.3 Grundwassersituation in den tiefen Grundwasserleitern

Wenn überlagernde quartäre Sedimente fehlen oder nur geringmächtig ausgebildet sind, bildet sich das erste zusammenhängende Grundwasserstockwerk in den älteren geologischen Einheiten aus. Aufgrund der sehr unterschiedlichen hydraulischen Eigenschaften und Grundwasserfließregimes ist eine gleichförmige Reaktion des Grundwassers auf Niederschlagsereignisse nicht zu erwarten. Daher werden nachfolgend exemplarisch einige Ganglinien verschiedener tiefer Grundwasserleiter beschrieben. Grundlage hierfür ist die Systematik der im Kapitel 2.1.1.3 beschriebenen Grundwasserleiter. Deren räumliche Verteilung zeigt die Karte 2.1 (siehe Anhang).

#### 2.1.3.1 Obere Süßwassermolasse (Tertiär)



**Abb. 2.10** Grundwassermessstelle Niederroth und Niederschlagsstation Erdweg

Die Grundwassermessstelle Niederroth im Landkreis Dachau (Abb. 2.10) liegt im tertiären Hüggelland und erschließt mit einer Tiefe von 54 m ein Grundwasservorkommen in der Oberen Süßwassermolasse. Bemerkenswert ist die sensible Reaktion auf Niederschlagsereignisse. Auch kurzzeitige Niederschläge in den Sommermonaten bewirkten geringe Anstiege des Grundwasserstandes. Die Trockenperiode wirkte zwischen Februar 2003 (höchster Grundwasserstand) und August 2003, wobei hier der bisher niedrigste Wasserstand des knapp vierjährigen Beobachtungszeitraums registriert wurde.

Durch die stärkeren Niederschläge im Oktober 2003 und nochmals im Januar 2004 stieg der Grundwasserspiegel bis Ende Februar 2004 sukzessive bis nahe dem mehrjährigen Mittelwert an. Ab März 2004 sank der Grundwasserspiegel infolge nachlassender Grundwasserneubildung und erreichte im August 2004 nahezu den Tiefststand von August 2003.

### 2.1.3.2 Weißer Jura (Malmkarst)

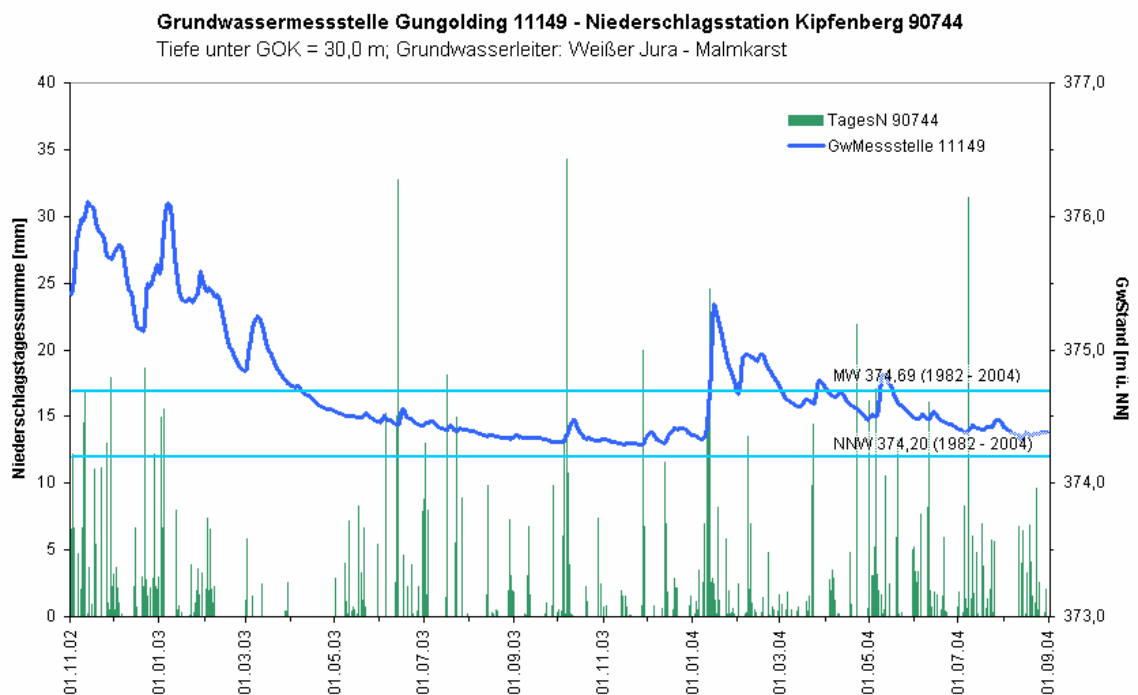
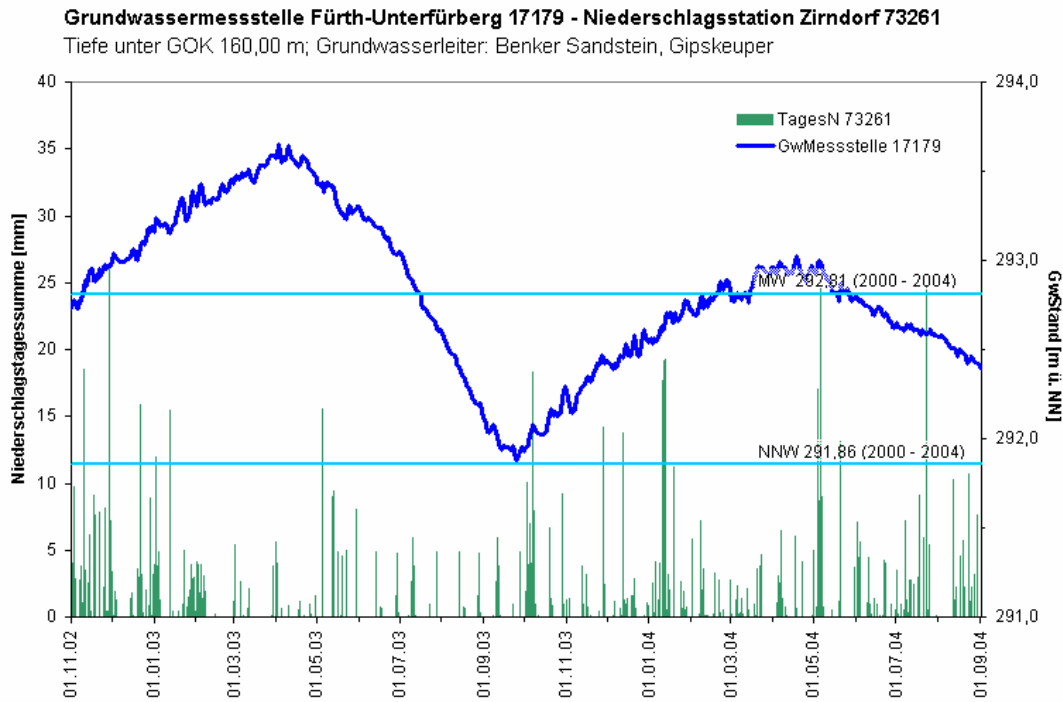


Abb. 2.11 Grundwassermessstelle Gungolding und Niederschlagsstation Kipfenberg

Die Grundwassermessstelle Gungolding, Landkreis Eichstätt (Abb. 2.11) erschließt mit einer Ausbautiefe von 30 m den Weißen Jura (Malmkarst), welcher hier das oberste Grundwasserstockwerk bildet. Der mittlere Grundwasserstand (Beobachtungszeitraum 1982 bis 2003) wurde im Januar 2003 um ca. 1,9 m überschritten. Ausgehend von diesem hohen Niveau sank der Grundwasserstand bis Ende 2003 stetig ab und lag damit nur 10 cm über dem niedrigsten Messwert seit Beobachtungsbeginn. Die Messstelle reagiert aufgrund ihrer geringen Ausbautiefe und der guten Wasserwegsamkeit des Grundwasserleiters auf kräftige Niederschlagsereignisse mit einem raschen Anstieg des Grundwasserstandes. Mit den Januarniederschlägen 2004 stieg der Grundwasserspiegel erheblich über das mehrjährige Mittel und unterbrach den allgemeinen Abwärtstrend. Bis Ende August 2004 sank der Grundwasserstand mit kleineren niederschlagsbedingten Unterbrechungen bis in die Nähe des Niedrigstwertes.

## 2.1.3.3 Sandsteinkeuper (Trias)



**Abb. 2.12** Grundwassermessstelle Fürth-Unterfürberg und Niederschlagsstation Zirndorf

Die Grundwassermessstelle Fürth-Unterfürberg, Landkreis Fürth (Abb. 2.12) erschließt mit 160 m Tiefe den Fränkischen Sandsteinkeuper westlich von Fürth. Sie zeigt einen für einen tiefen Aquifer typischen ausgeglichenen Jahresgang mit Höchstständen im Frühjahr und Tiefstständen im Spätsommer. Aufgrund der Tiefenlage des erschlossenen Aquifers, der Mächtigkeit und mäßigen Durchlässigkeit der Grundwasserüberdeckung und des weiträumigen Einzugsgebiets wurde der höchste Grundwasserstand des Abflussjahres 2003 erst im April erreicht. Anschließend sank der Grundwasserstand stetig ab und erreichte Ende September den niedrigsten Wasserstand seit Messbeginn im Jahr 2000. Bemerkenswerterweise setzt die langsame Wiederauffüllung des Grundwasserleiters zeitgleich mit den Oktoberniederschlägen ein. Im Jahr 2004 wurde der höchste Grundwasserstand wiederum im April erreicht, allerdings ca. 0,6 m unterhalb des Höchststandes von 2003.



2.1.3.4 Benker Sandstein (Trias)

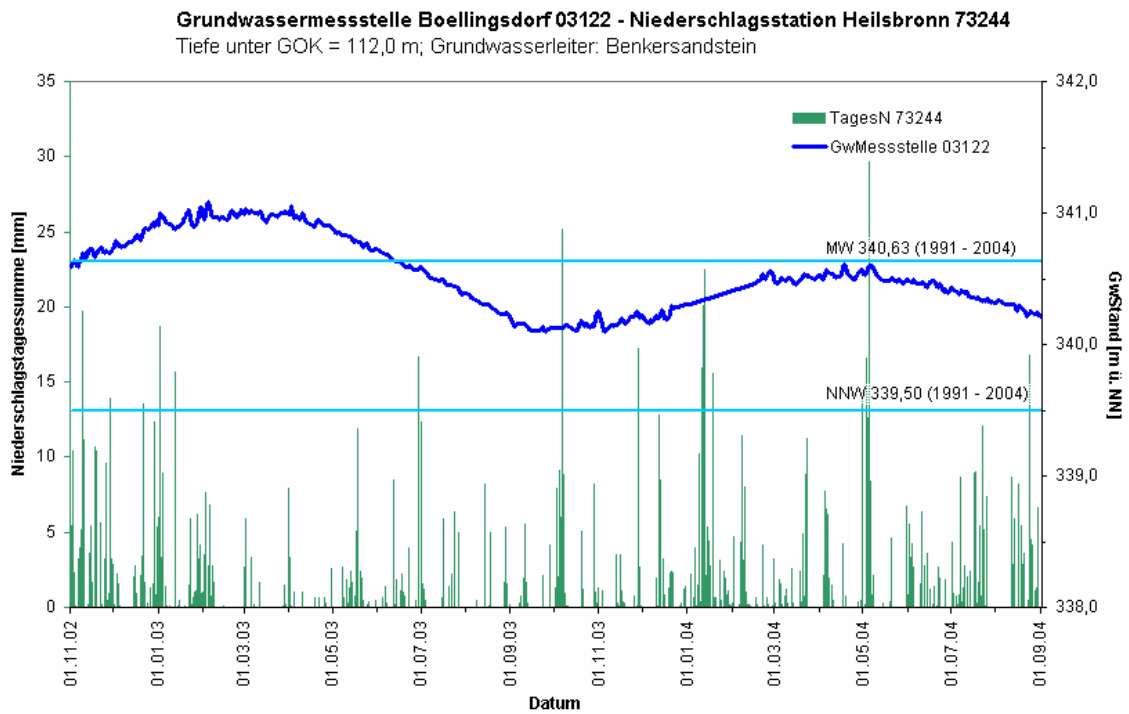


Abb. 2.13 Grundwassermessstelle Boellingsdorf und Niederschlagsstation Heilsbronn

Die Grundwassermessstelle Boellingsdorf, Landkreis Ansbach (Abb. 2.13) erschließt mit 112 m Tiefe den Benker Sandstein im Fränkischen Gipskeuper. Sie zeigt eine ähnliche, aber noch wesentlich gedämpftere Ganglinie als die Sandsteinkeuper-Messstelle Fürth-Unterfürberg (siehe Kap. 2.1.3.3 und Abb. 2.12). So betrug die Gesamtschwankung im Darstellungszeitraum weniger als 1 m. Der höchste Grundwasserstand wurde bereits im Februar 2003 erreicht, blieb aber bis Mitte April nahezu konstant. Anschließend sank er kontinuierlich bis unter das mehrjährige Mittel (Beobachtungszeitraum 1991 bis 2004) ab. Der Tiefstand von Mitte September bis Anfang November 2003 blieb deutlich über dem langjährigen Niedrigstwert. Andererseits wurde durch den nachfolgenden Anstieg bis April 2004 das mehrjährige Mittel nicht mehr überschritten.

2.1.3.5 Muschelkalk (Trias)

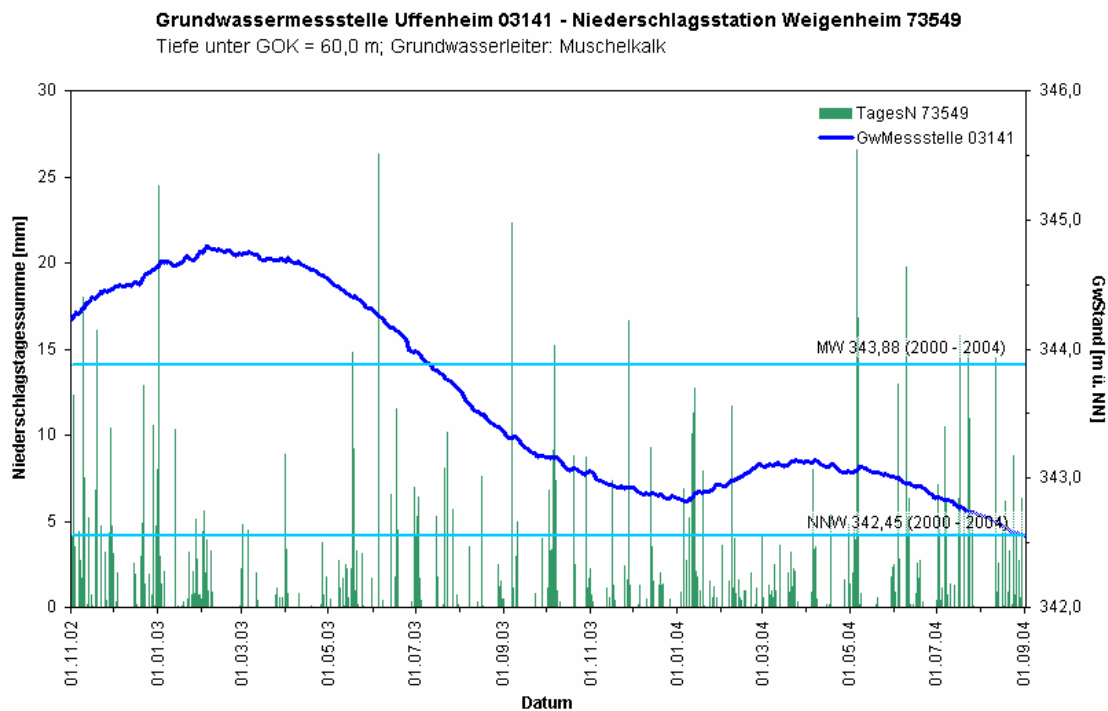


Abb. 2.14 Grundwassermessstelle Uffenheim und Niederschlagsstation Weigenheim

Die Messstelle Uffenheim, Lndkreis Neustadt/Aisch-Bad Windsheim (Abb. 2.14), befindet sich im südlichen Bereich des oberen Muschelkalkes mit einer Ausbautiefe von 60,0 m. Bei guter Speicherfähigkeit und hoher Durchlässigkeit des Grundwasserleiters ergibt sich eine ausgeglichene Grundwasserganglinie mit größerem Schwankungsbereich. Ausgangssituation ist ein Anfang Februar 2003 weit über dem mehrjährigen Mittel liegender Grundwasserstand (Beobachtung seit dem Jahr 2000). Nach dem sehr gleichmäßigen Rückgang im Verlauf der Trockenperiode wurde Anfang Januar 2004 der niedrigste Grundwasserstand erreicht. Die Grundwasserneubildung zu Jahresbeginn 2004 erzeugte einen geringen Wiederanstieg von ca. 20 cm, so dass der nachfolgende Rückgang bis August 2004 den vorerst niedrigsten Grundwasserstand seit Beobachtungsbeginn erreichte.

2.1.3.6 Buntsandstein (Trias)

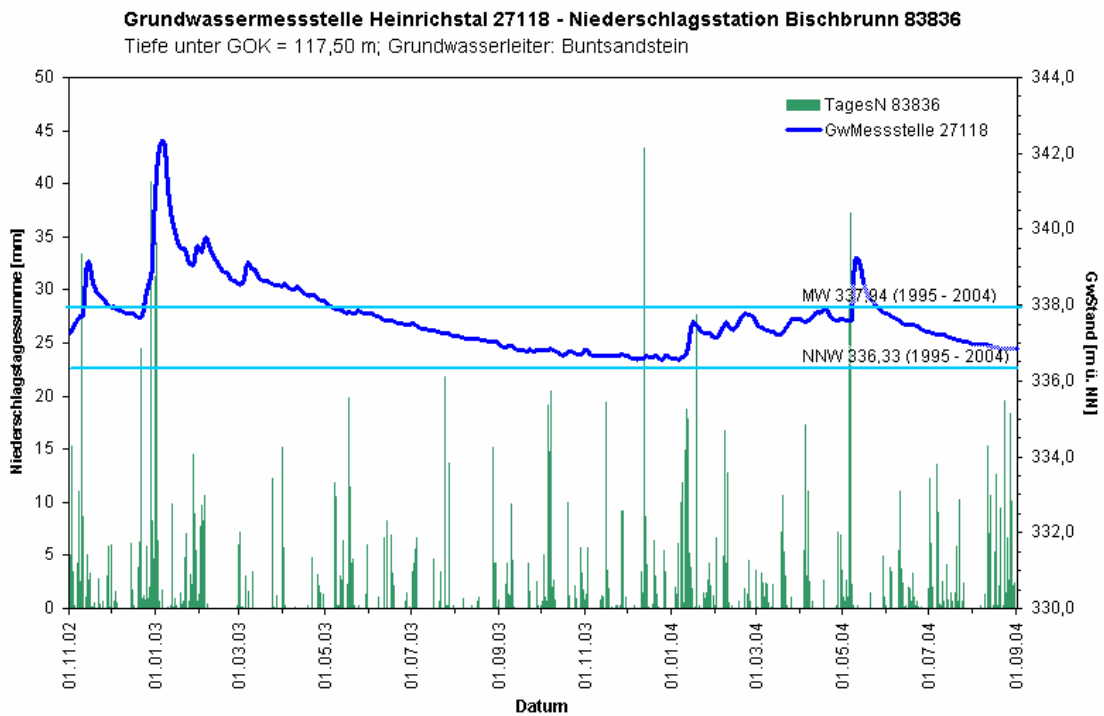


Abb. 2.15 Grundwassermessstelle Heinrichstal und Niederschlagsstation Bischbrunn

Die Grundwassermessstelle Heinrichstal, Lkr. Main-Spessart (Abb. 2.15), befindet sich im südlichen Bereich des Buntsandsteingürtels am Ostrand des Hochspessart. Die 117,5 m tiefe Messstelle zeigt einen saisonal schwankenden Grundwasserspiegel mit einzelnen ereignisabhängigen Spitzen. Diese Charakteristik geht auf eine oberflächennah aufgelockerte, meist gut durchlässige Grundwasserüberdeckung im Einzugsgebiet zurück, bedingt durch ein ausgeprägtes Kluft- und Störungssystem. Zusätzlich spielt das sehr geringe Speichervermögen des Kluftgrundwasserleiters eine Rolle. Die höchsten Niederschläge im Abflussjahr 2003 wurden Ende Dezember 2002 gemessen. Hierauf reagierte der Grundwasserspiegel mit einer Verzögerung von etwa einer Woche. Ausgehend vom kurzfristigen Höchststand im Januar 2003 führte die lange Trockenheit bis Dezember zu einem Rückgang um 5,7 m. Bezogen auf den Durchschnitt des Winters 2002/2003 fällt der Rückgang mit 3 bis 4 m weniger drastisch aus. Der niedrigste gemessene Wasserstand (NNW; Beobachtung seit 1995) wurde allerdings nicht erreicht. Kurze Starkregenereignisse wirkten sich im Sommer 2003 nicht auf den Grundwasserstand aus. Erst im Januar 2004 traten wieder merklich erhöhte Grundwasserstände auf, die mit einem Starkregenereignis im Mai ihr Maximum erreichten. Die anschließende, jahreszeitlich bedingte, kontinuierliche Abnahme hielt vorerst bis Ende August 2004 an.

## 2.1.4 Quellschüttungen

Aus den Daten des staatlichen Quellenmessnetzes werden nachfolgend zwei Beispiele aus dem Kristallin des Frankenwaldes und aus dem Weißen Jura (Malmkarst) mit typischer Quellschüttungsganglinie beschrieben.

### 2.1.4.1 Kristallin

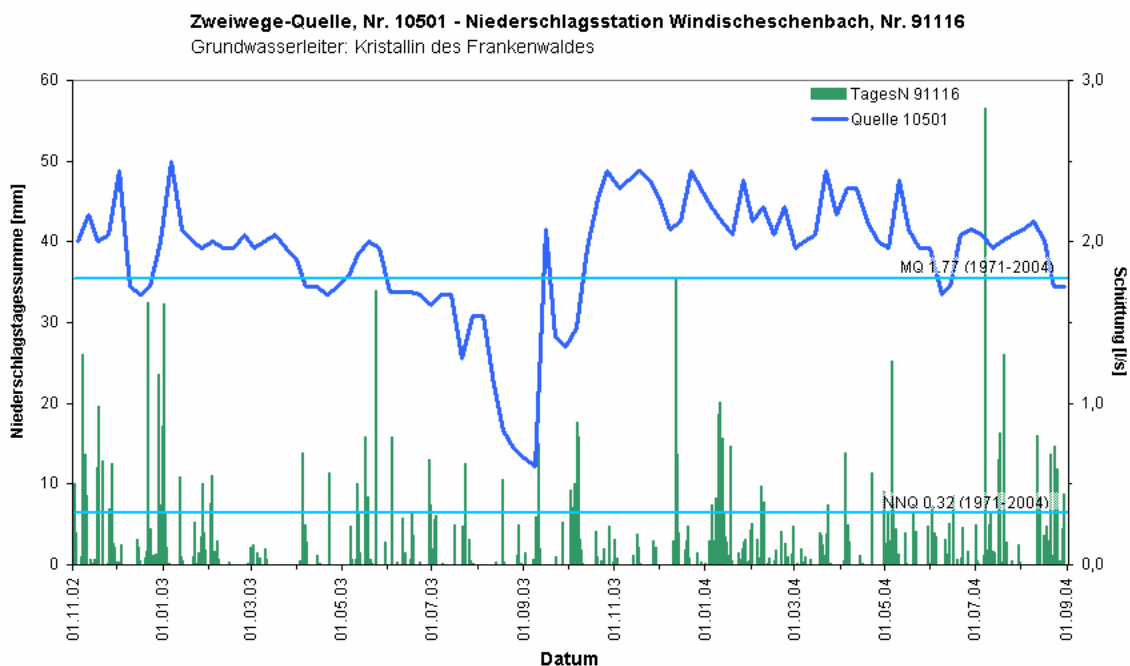
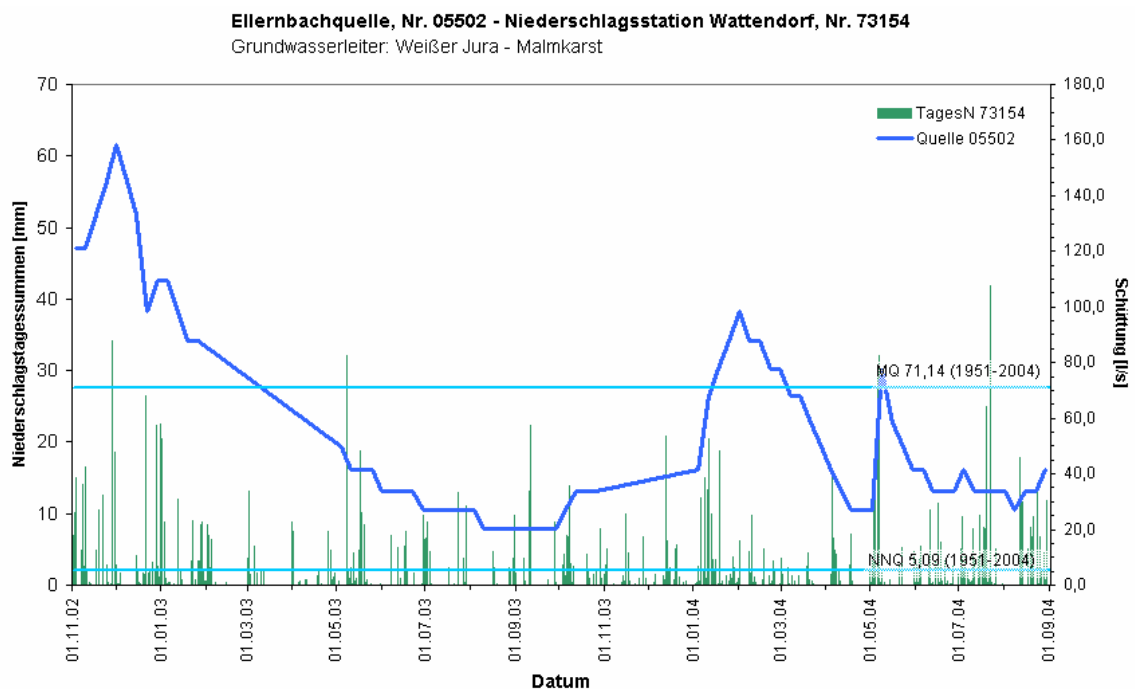


Abb. 2.16 Zweiwege-Quelle und Niederschlagsstation Windischeschenbach

Die Zweiwege-Quelle, Landkreis Kronach, befindet sich im Kristallinen Grundgebirge des nördlichen Frankenwaldes bei Ludwigsstadt. Sie zeigt – wie viele Quellen im Kristallin – nur geringe aber stark schwankende Schüttungen, wobei die tatsächlichen Extremwerte aufgrund wöchentlicher Messung zum Teil nicht erfasst werden (siehe Abb. 2.16). Die Schwankungen sind auf das geringe Speichervermögen der klüftigen Gesteine und ihrer Verwitterungszonen zurückzuführen. Dabei lassen die Schüttungen erheblich nach, wenn sich die in den Mittelgebirgen übliche Niederschlagshäufigkeit verringert. Von November 2002 bis März 2003 lag die Quellschüttung mit max. 2,5 l/s etwas über dem mehrjährigen Mittelwert von 1,76 l/s (Beobachtungszeitraum von 1971 bis 2004). Im Verlauf der Trockenperiode 2003 reagierte die Quellschüttung temporär auf kurzzeitige Niederschlagsereignisse, verringerte sich aber bis September 2003 auf 0,6 l/s. Zum Vergleich lag die Quellschüttung im August des Trockenjahres 1976 um ca. 1,4 l/s höher, wofür möglicherweise günstigere Versickerungsbedingungen im Quelleinzugsgebiet in Frage kommen.

Die niedrigste seit 1951 gemessene Schüttung von 0,32 l/s (ein untypisches Kurzzeitereignis) wurde 2003 nicht erreicht. Erst mit den Niederschlägen im Herbst 2003 stieg die Quellschüttung rapide auf max. 2,44 l/s an. Häufigere Niederschläge sorgten weiterhin für Werte über dem langjährigen Mittel, das kurzzeitig im Juni und schließlich im August 2004 unterschritten wurde.

### 2.1.4.2 Weißer Jura (Malmkarst)



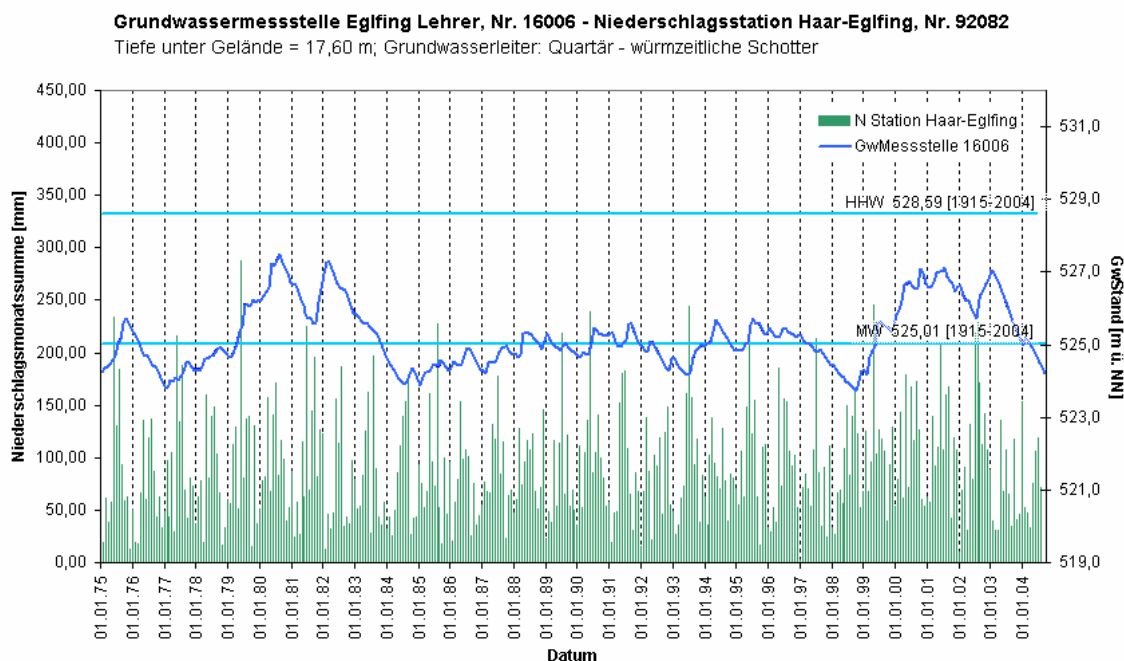
**Abb. 2.17** Ellernbachquelle und Niederschlagsstation Wattendorf

Die Ellernbachquelle, Landkreis Bamberg, befindet sich im Jura (Malmkarst) am südlichen Ausläufer der Fränkischen Alb (Abb. 2.17). Je nach Niederschlagsangebot unterliegt die Quelle starken saisonalen Schwankungen, wobei auch hier die wöchentliche Messung keine exakte Erfassung der Extremwerte zulässt. Aufgrund der hohen Niederschläge erreichte die Quelle Anfang Dezember 2002 eine sehr hohe Schüttung von 158 l/s. Die anschließend steil abfallende Schüttung ging stetig in die Trockenperiode über, lag Anfang Mai 2003 bereits um mehr als 20 l/s unter dem mehrjährigen Mittelwert (Beobachtung seit 1951) und erreichte Mitte August bis Anfang Oktober mit ca. 20 l/s den tiefsten Wert im Betrachtungszeitraum. Demgegenüber beträgt der niedrigste seit 1951 gemessene Wert nur 5 l/s. Der Wiederanstieg der Schüttung begann im Oktober 2003 und erreichte infolge der Januarniederschläge 2004 nochmals 98 l/s. Geringe Frühjahrsniederschläge ließen die Schüttung bereits bis Ende April 2004 auf 27 l/s zurückgehen. Einem kurzen und heftigen Wiederanstieg im Mai folgte bis Ende August ein erneuter Schüttungsrückgang auf vorerst 27 l/s.

### 2.1.5 Vergleich der Trockenjahre 2003 und 1976

Für den Vergleich der Grundwasserstände und Quellschüttungen in den Trockenjahren 1976 und 2003 (mit Ergänzung bis August 2004) werden die Messstellen herangezogen, die bereits im Bericht des LfW zur Trockenperiode 1976 (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1979) exemplarisch beschrieben wurden und deren Beobachtung bis heute anhält. Ferner wurden die im vorliegenden Bericht beschriebene Grundwassermessstelle Eching (Abb. 2.7), die Zweiwege-Quelle (Abb. 2.16) und die Ellernbachquelle (Abb. 2.17) mit ihren langjährigen Messreihen herangezogen. Tab. 2.5 gibt eine Übersicht aller zu vergleichenden Hauptwerte.

#### 2.1.5.1 Quartäre Schotterflächen



**Abb. 2.18** Mehrjährige Ganglinie der Grundwassermessstelle Eglfing Lehrer im Vergleich mit den Niederschlägen der Station Haar-Eglfing (Januar 1975 bis August 2004)

Für das Grundwasser in quartären Schottern wird der Zusammenhang von Grundwasserständen und Niederschlägen am Beispiel der Grundwassermessstelle Eglfing Lehrer (Münchener Schotterebene) dargestellt. In den Jahren 1975 bis 2004 pendelte der Grundwasserstand um den mehrjährigen Mittelwert (1915 bis 2004, Abb. 2.18). Geringe Niederschläge in den Jahren 1997/1998 bewirkten ein Absinken des Grundwassers auf den niedrigsten Stand seit 1977. Die lang andauernden und sehr ergiebigen Niederschlagsereignisse in den Jahren 1999 und 2002 ließen den Grundwasserstand stetig auf bis zu zwei Meter über den mehrjährigen Mittelwert ansteigen (ähnlich den Jahren 1979 bis 1984).

Der hohe Grundwasserstand von 1999 wurde infolge weiterhin überdurchschnittlicher Niederschläge im Jahr 2000 gehalten. Geringe Niederschläge Anfang 2002 führten zu einem vorübergehenden Absinken des Wasserspiegels um ca. einen Meter, doch die starken Niederschläge im Herbst 2002 bewirkten nochmals einen Anstieg auf bis zu 2,0 m über dem mehrjährigen Mittel. Dieser hohe Grundwasserstand bildete die Ausgangssituation für das folgende Trockenjahr 2003 mit seiner sehr geringen Grundwasserneubildung. Zwischen Januar 2003 und August 2004 sank der Grundwasserstand um insgesamt 2,6 m, da bis dahin die Niederschlagszufuhr leicht defizitär blieb. Der Niedrigstwasserstand des Trockenjahres 1976 (eingetreten im Januar 1977) wurde damit nicht erreicht.

Das Trockenjahr 1976 begann mit eher durchschnittlichen Wasserständen. Nach dem Tiefststand im Januar 1977 war ein stetiger Anstieg des Grundwasserstandes zu verzeichnen, der aber erst Mitte 1979 das mehrjährigen Mittel überschritt. Dagegen zehrt der Grundwasserstand nach dem Trockenjahr 2003 bei anhaltendem Rückgang immer noch von dem hohen Ausgangsniveau.

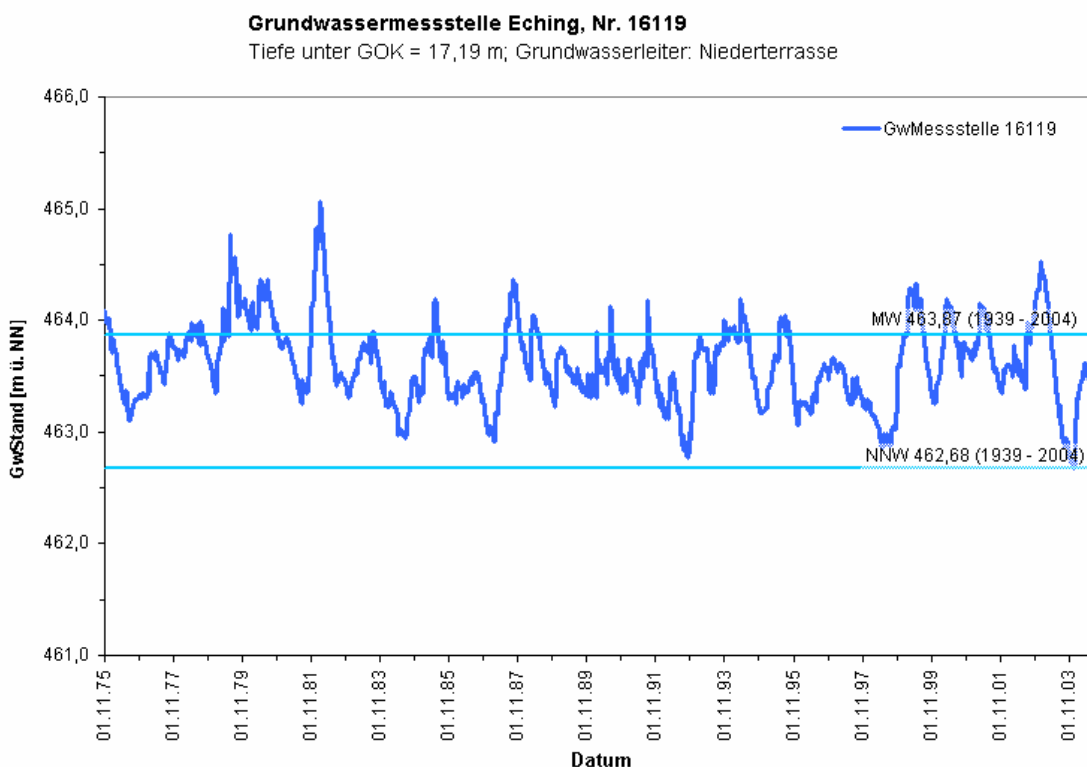
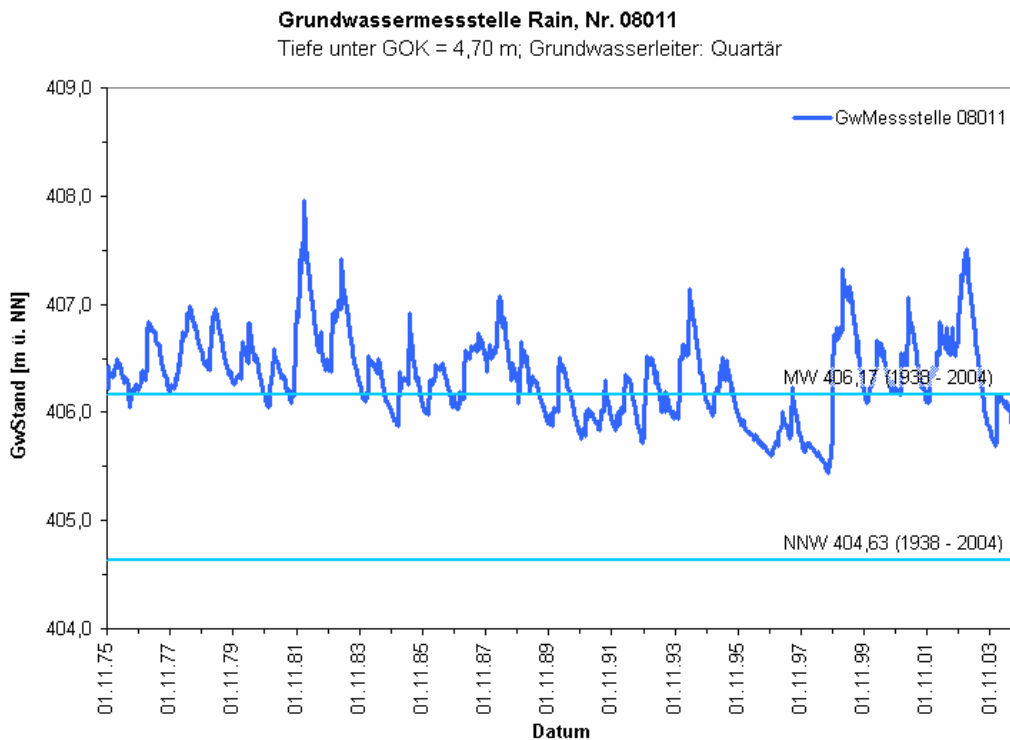


Abb. 2.19 Ganglinie der Grundwassermessstelle Eching (November 1975 bis August 2004)

Die Messstelle Eching (Abb. 2.19) liegt im Norden der Münchener Schotterebene im Abstrombereich des Grundwassers zum Dachauer Moos. Sie ist stärker von anthropogenen Eingriffen in den Grundwasserhaushalt und lokalen Einflüssen geprägt.

## Grund- und Bodenwasser

Wohl infolge anhaltender Grundwasserabsenkung wurde der mittlere Grundwasserstand (1939-2004) im Betrachtungszeitraum nicht mehr dauerhaft überschritten. In der Reihe von sechs Grundwassertiefstständen war das Trockenjahr 1976 sogar am schwächsten ausgeprägt, während im Trockenjahr 2003 der Extremwert erreicht wurde. Im Vergleich zu 1976 sank der Grundwasserstand um ca. 0,6 m tiefer ab und lag damit fast 1,2 m unter dem mehrjährigen Mittelwert (Kap. 2.1.2.2, Abb. 2.7).



**Abb. 2.20** Ganglinie der Grundwassermessstelle Rain (November 1975 bis August 2004)

An der Grundwassermessstelle Rain/Lech (Abb. 2.20) in der Hochterrasse des Lech ist die Gangliniencharakteristik ähnlich wie in der nördlichen Münchner Schotterebene. Das Trockenjahr 1976 zeigt sich nahezu unauffällig, während das Jahr 2003 mit einer Grundwasserabsenkung um 45 cm gegenüber dem mehrjährigen Mittel zumindest den Tiefstständen der Jahre 1996/97 nahe kommt (Tab. 2.5).



2.1.5.2 Buntsandstein

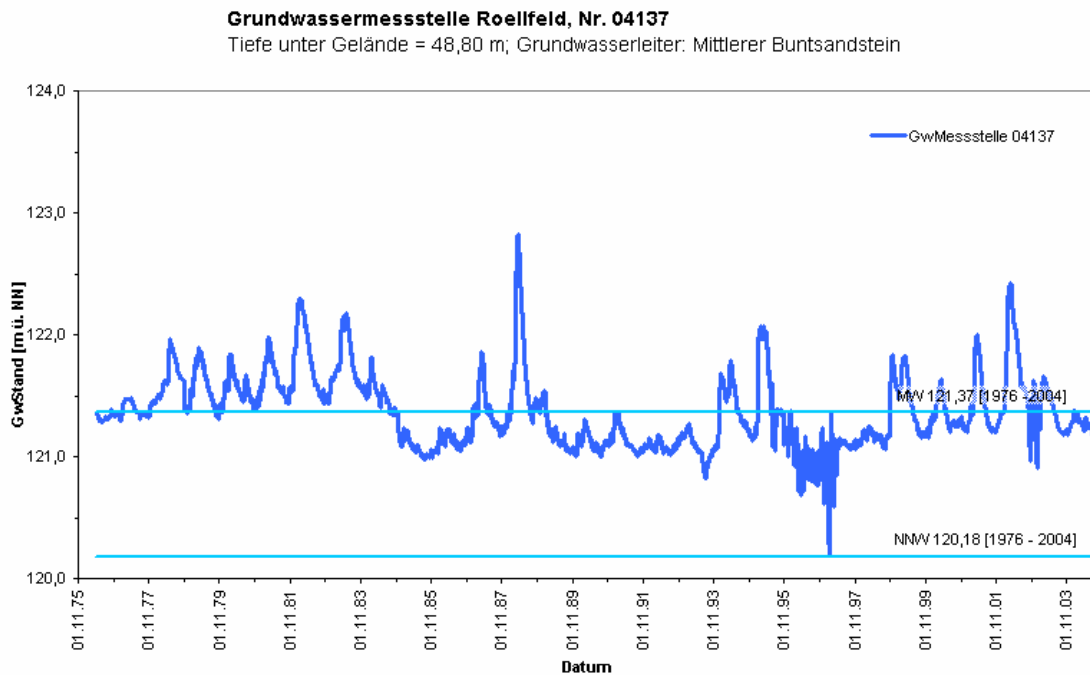
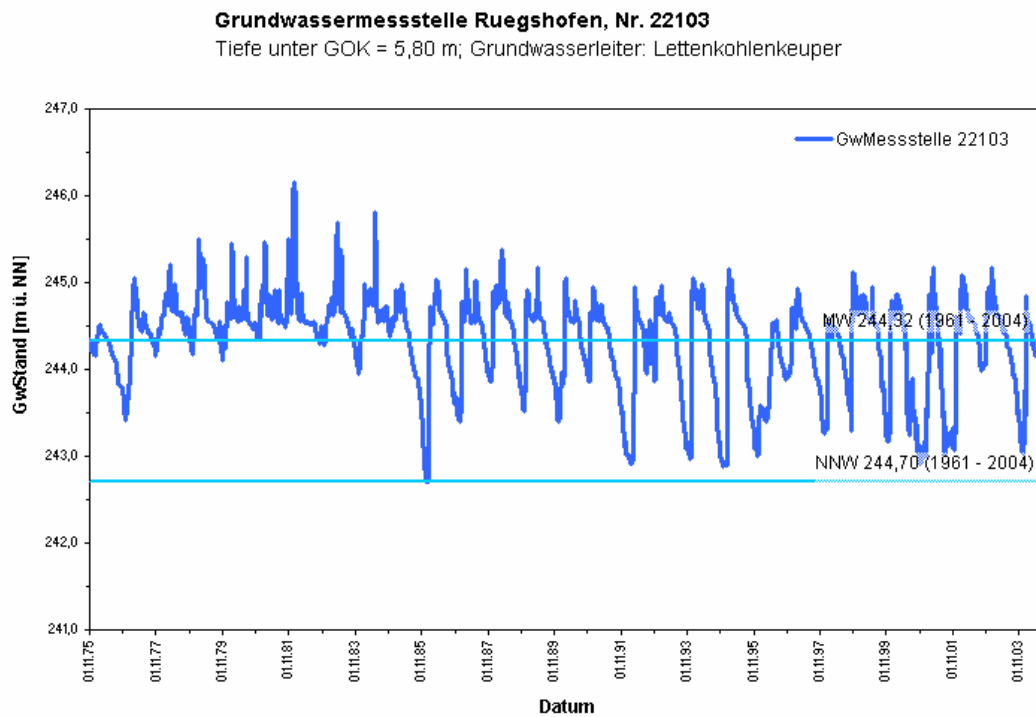


Abb. 2.21 Ganglinie der Grundwassermessstelle Roellfeld (Mai 1976 bis August 2004)

Die Grundwassermessstelle Röllfeld (Abb. 2.21) erschließt den mittleren Buntsandstein. Sie wurde während der Trockenperiode 1976 neu errichtet. Der Ganglinienverlauf wird ab 1995 unterschiedlich stark von kurzfristigen Grundwasserentnahmen überprägt. Die 1976 gemessenen Grundwasserstände wichen nur sehr geringfügig (knapp 10 cm) vom mehrjährigen Mittel ab. Auch der Rückgang infolge des Trockenjahres 2003 fiel mit bislang 25 cm geringer aus als in etlichen früheren Jahren. Als Ursache für die geringen Reaktionen der Grundwasserstände auf einzelne Trockenjahre wird das relativ große Einzugsgebiet gesehen. Tiefststände treten meist nach einer längeren Abfolge von Jahren mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen auf.

## 2.1.5.3 Sandsteinkeuper



**Abb. 2.22** Ganglinie der Grundwassermessstelle Ruegshofen (November 1975 bis August 2004)

Die Ganglinien der Grundwassermessstelle Rügshofen (Abb. 2.22) und der Quelle Hohenmühle (Abb. 2.23) im Sandsteinkeuper zeigen typische jahreszeitliche Schwankungen. Während die höchsten Quellschüttungen meist im Frühjahr (März bis Mai) registriert werden, liegen die Grundwasserstände bereits im späten Winter (Januar bis März) am höchsten. Die niedrigsten Grundwasserstände treten in der Regel – so auch in den Trockenjahren 1976 und 2003 – im November bis Dezember auf. Dabei wurde das mehrjährige Mittel um 0,9 m (1976) bzw. 1,3 m (2003) unterschritten.

Bei der Quelle Hohenmühle stellen sich die geringsten Schüttungen i.d.R. im November bis Januar ein, wobei etliche Jahre dem niedrigsten Wert von 1976 nahe kommen. Infolge schwacher Grundwasserneubildung im Vorjahr wurde im Trockenjahr 1976 die geringste Schüttung bereits im August erreicht. Auch im Folgejahr blieb die Quellschüttung sehr schwach. Demgegenüber wurde das Frühjahr 2003 mit einer extremen Schüttung eingeleitet (siebenfach über dem Mittelwert). Der nachfolgende Rückgang war bis August 2004 nicht abgeschlossen, da die Niederschläge auch nach der Trockenperiode unter dem langjährigen Durchschnitt lagen (vgl. Kap. 2.1.3). Somit blieb der in den Vorjahren übliche rasante Frühjahrsanstieg der Quellschüttung aus.

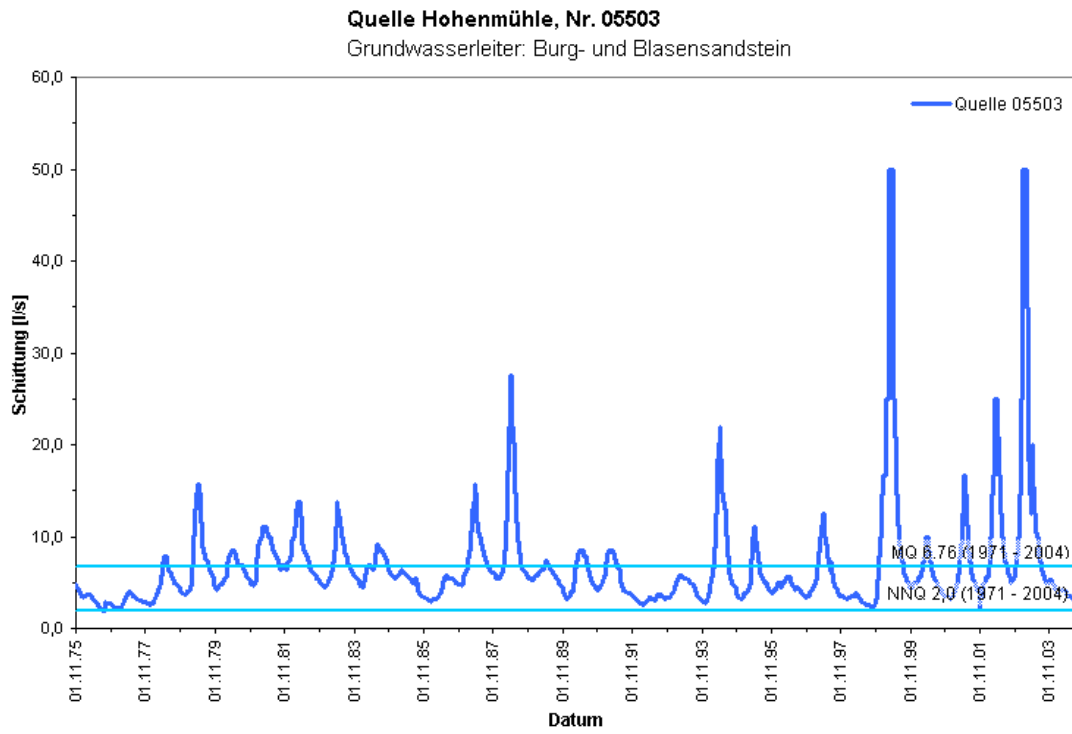
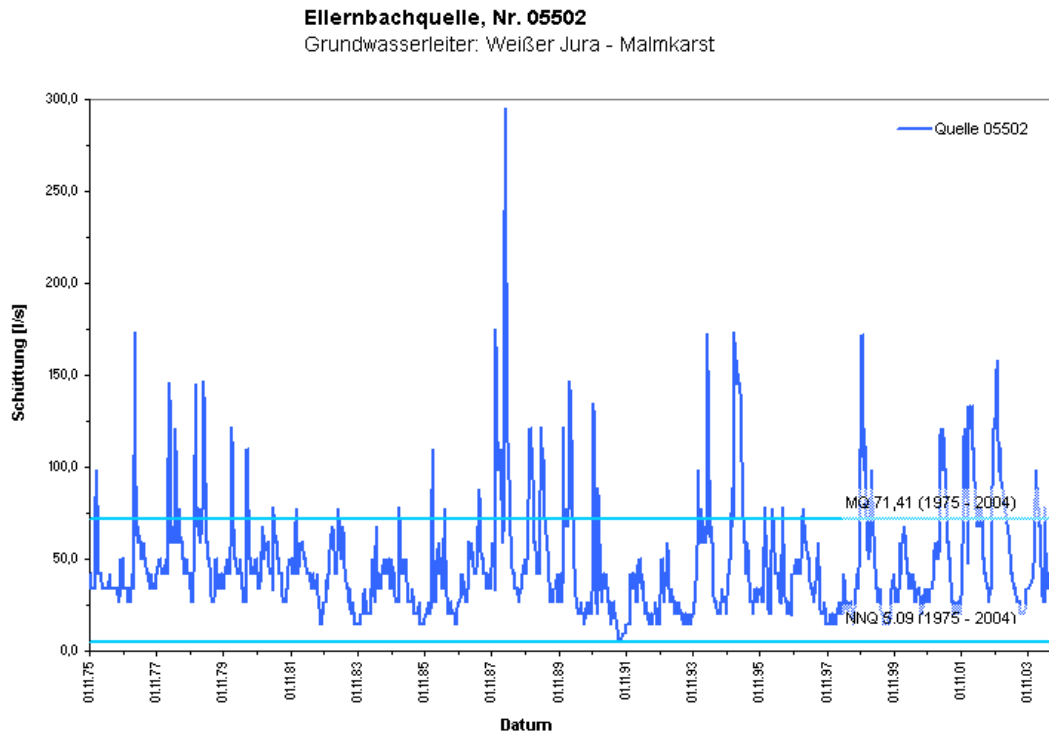


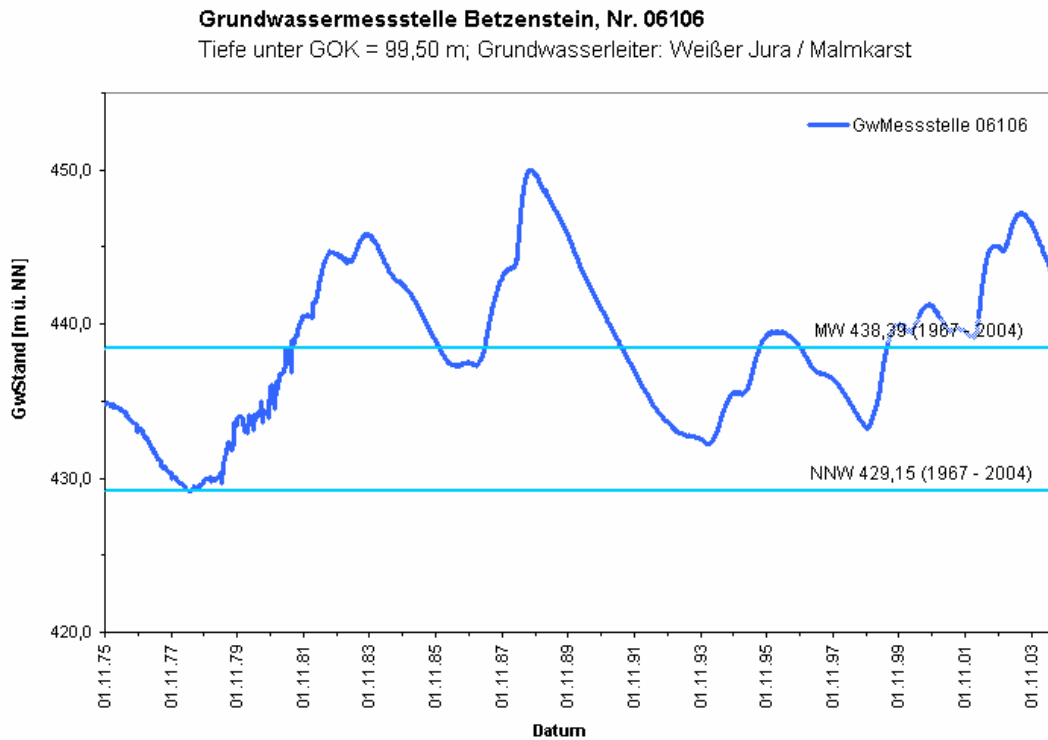
Abb. 2.23 Ganglinie der Quelle Hohenmühle (November 1975 bis August 2004)

## 2.1.5.4 Weißer Jura (Malmkarst)



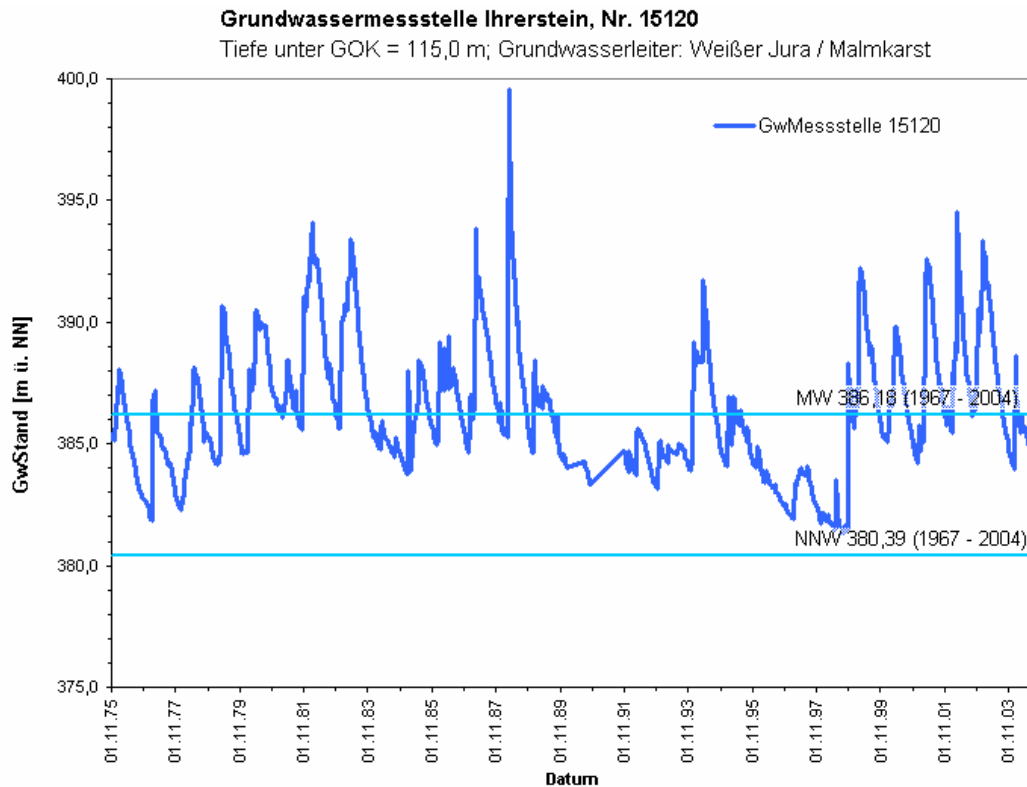
**Abb. 2.24** Ganglinie der Ellernbachquelle Rossdach (November 1975 bis August 2004)

Für das Grundwasser im Jurakarst werden drei langjährig erfasste Messstellen herangezogen, davon eine Quelle (Abb. 2.24 bis 2.26). Die Schüttungsschwankungen der Ellernbachquelle (Abb. 2.24) sind – typisch für eine Karstquelle – sehr hoch. Die Auswirkungen des Trockenjahres 2003 sind im Kapitel 2.1.4.2 beschrieben. Das Trockenjahr 1976 liegt in einer Abfolge von Jahren ohne extremen Schüttungsrückgang. Im Trockenjahr 2003 lag das Minimum um rund 6 l/s niedriger als 1976, wobei allerdings die Tiefstwerte etlicher anderer Jahre nicht erreicht wurden. Das mehrjährige Mittel (Beobachtung seit 1975) von 71,2 l/s wurde allerdings in beiden Trockenjahren mit 26,8 l/s (1976) bzw. 20,3 l/s (2003) weit unterschritten.



**Abb. 2.25** Ganglinie der Grundwassermessstelle Betzenstein (November 1975 bis August 2004)

Weitgehend unbeeinflusst von saisonalen Faktoren folgt das Karstgrundwasser an der Messstelle Betzenstein (Abb. 2.25) einem mehrjährigen Rhythmus. Eine Folge überwiegend niederschlagsreicher Jahre (vgl. auch Abb. 2.18) lässt den Grundwasserspiegel längerfristig ansteigen. So erreichte er vor dem Trockenjahr 2003 fast neun Meter über dem mehrjährigen Mittel und lag bis August 2004 immer noch um mehr als 5,6 m darüber (Beobachtung seit 1967). Da der Grundwasserstand mit erheblicher Verzögerung auf Niederschläge reagiert und diese auch 2004 unter dem Durchschnitt lagen (vgl. Kap. 2.1.3), ist vorerst ein weiterer Rückgang zu erwarten. Das Trockenjahr 1976, dem bereits ein schwacher Grundwasserhochstand im Winter 1975/76 vorausging, trug maßgeblich zum absoluten Tiefststand Mitte 1978 bei. Erst dann kehrte sich der Abwärtstrend zugunsten einer mehrjährigen Anstiegsphase um.



**Abb. 2.26** Ganglinie der Grundwassermessstelle Ihrlerstein (November 1975 bis August 2004)

Der Grundwasserstand an der Messstelle Ihrlerstein (Abb. 2.26) zeigt i.d.R. eine ausgeprägte Saisonalität mit steilem Anstieg im Frühjahr und kontinuierlicher Abnahme im Sommer und Herbst. Im Trockenjahr 2003 ist der Verlauf der Ganglinie durchaus typisch, wobei aber der Frühjahrsanstieg 2004 sehr viel geringer ausfiel als in den Vorjahren. Daher unterschritt der Grundwasserstand das mehrjährige Mittel auch noch im Sommer 2004 um mehr als 1,3 m. Der tiefste Grundwasserstand des Trockenjahres 1976 (Januar 1977) wurde in den Jahren 2003/2004 nicht erreicht. Der Abwärtstrend hält allerdings noch an.

2.1.5.5 Kristallines Grundgebirge

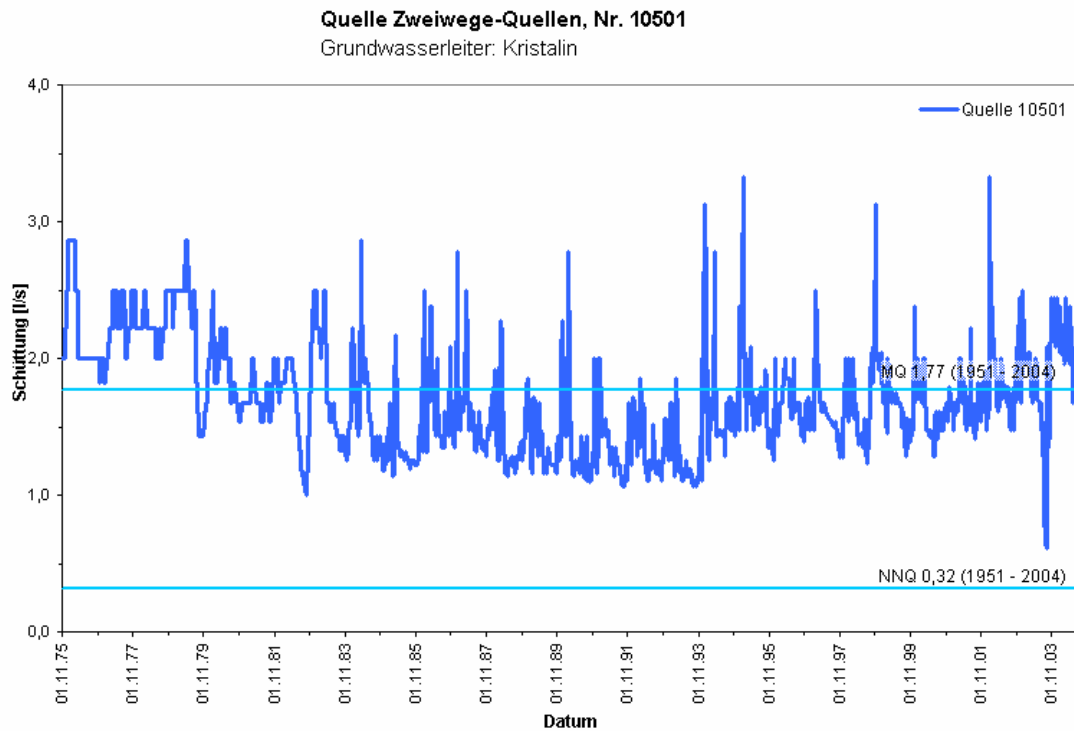
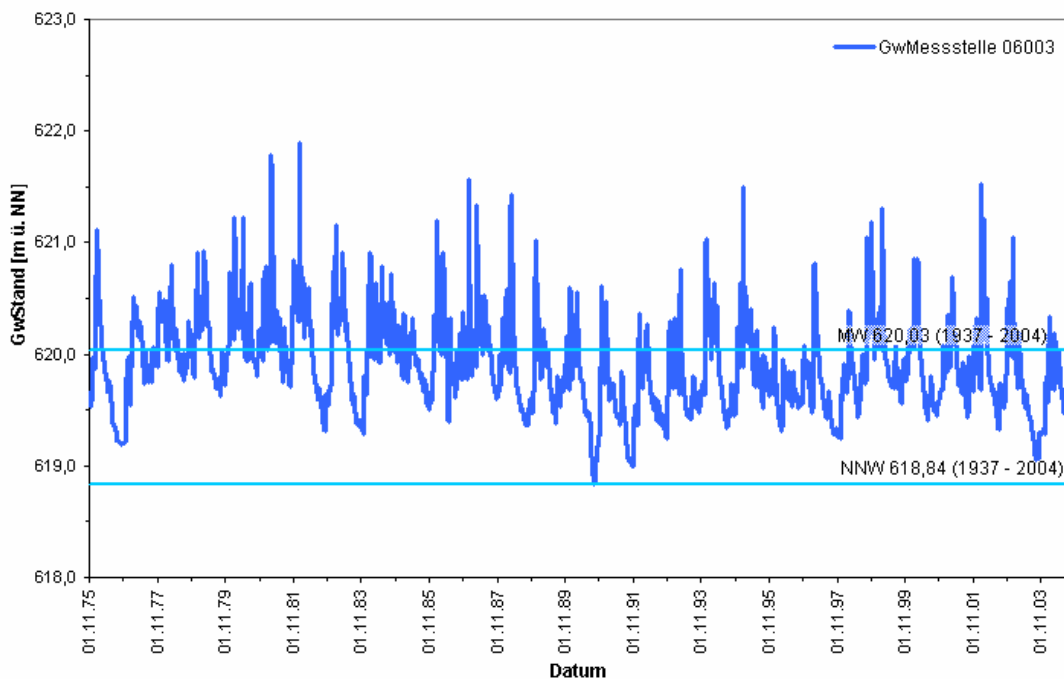


Abb. 2.27 Ganglinie der Zweiwege-Quelle (November 1975 bis August 2004)

Das Kristalline Grundgebirge wird durch die Zweiwege-Quelle im Frankenwald und die Grundwassermessstelle Weiherhöfen im Fichtelgebirge beschrieben. Die Auswirkungen der Trockenperiode 2003 an der Zweiwege-Quelle sind im Kapitel 2.1.4.1 dargestellt. Außer durch den Niederschlag wird die starke jahreszeitliche Schwankung der Schüttung langfristig von weiteren Einzugsgebietsfaktoren überlagert, die das Grundwasserdargebot aus dem feinklüftigen Grundwasserleiter (paläozoische Schiefer) steuern. Dabei fiel das Trockenjahr 1976 in eine längere Phase mit überwiegend hohen Grundwasservorräten, und die Quellschüttung sank nicht unter 2,0 l/s. Demgegenüber erreichte die Schüttung im September 2003 mit 0,6 l/s einen außergewöhnlich tiefen Wert, erholte sich aber zügig und erreichte Ende 2003 bereits wieder das mehrjährige Mittel (Beobachtung seit 1951).

**Grundwassermessstelle Weiherhoeften, Nr. 06003**  
 Tiefe unter GOK = 6,30 m; Grundwasserleiter: Tertiär



**Abb. 2.28** Ganglinie der Grundwassermessstelle Weiherhöfen (November 1975 bis August 2004)

Die Grundwassermessstelle Weiherhöfen erschließt das Grundwasser einer im Tertiär gebildeten Granitverwitterungsdecke im Fichtelgebirge. Die Grundwasserganglinie verläuft in den Trockenjahren 1976 und 2003 sehr ähnlich. Im Jahr 1976 wurde der niedrigste Grundwasserstand Anfang Oktober gemessen, im Jahr 2003 bereits Mitte September. Das mehrjährige Mittel wurde dabei um ca. 0,8 m (1976) bzw. 1,0 m (2003) unterschritten. Nach beiden Trockenjahren stieg der Grundwasserstand im Januar des Folgejahres wieder über das mehrjährige Mittel an, ohne allerdings die Höchstwerte des Vorjahres zu erreichen (Beobachtung seit 1937).



## 2.2 Bodenwasser und Grundwasserbeschaffenheit

### 2.2.1 Bodenwasser – qualitative und quantitative Aspekte

#### 2.2.1.1 Einführung

Die Neubildung von Grundwasser erfolgt überwiegend durch Infiltration von Niederschlagswasser in den Boden und weitere Durchsickerung der das Grundwasser überdeckenden Schichten. Mit dem Sickerwasser werden eingetragene und im Untergrund gelöste Stoffe zum Grundwasser transportiert. Zur Unterstützung des vorsorgenden Grund- und Trinkwasserschutzes, werden die Zusammenhänge in sieben Messgebieten exemplarisch untersucht (siehe <http://www.bayern.de/-lfw/technik/gkd/lmn/intensivmess/welcome.htm>). Anhand der Daten aus drei Gebieten sollen die Reaktionen des Bodenwassers in der Trockenphase 2003 und die Auswirkungen auf das Grundwasser dargestellt werden. Die Messstandorte repräsentieren zum einen die Schotterflächen südlich der Donau und des Donautals mit ihren ergiebigen Grundwasservorkommen, zum anderen die an Quellen reichen kristallinen Gesteine im Bayerischen Wald.

Bleibt der Niederschlag aus und entziehen die Pflanzen dem Boden die gespeicherte Feuchtigkeit, so trocknet er aus. Zunehmende Austrocknung kann physikalisch als zunehmende Bodensaugspannung (gemessen in Hektopascal, hPa) registriert werden. Umgekehrt bezeichnet eine abnehmende Saugspannung die Wiederbefeuchtung, letztlich bis zur Bildung von freiem Sickerwasser, das der Grundwasserneubildung dient. Wir beobachten die Bodensaugspannung in verschiedenen Tiefen und parallel hierzu die Beschaffenheit des Sickerwassers. Jedem Bodenwassermessplatz ist eine Grundwasserbeschaffenheitsmessstelle zugeordnet. Diese zeigt die Summenwirkung des zufließenden Sickerwassers über die gesamte Länge des Grundwasserzustroms an. Nitrat ist der hier dargestellte Parameter für die Wasserbeschaffenheit. Er ist ein Indikator für Veränderungen chemisch-biologischer Prozesse in der Boden- und Sickerzone und ein maßgebliches Merkmal der Wasserqualität.

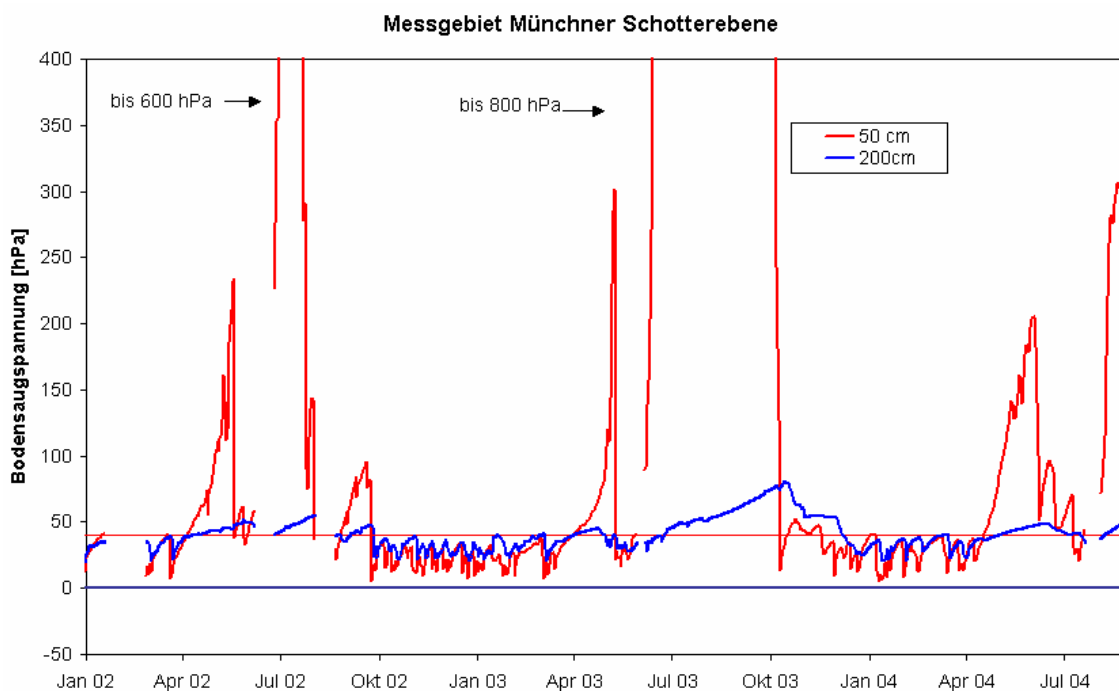
#### 2.2.1.2 Messgebiet Münchner Schotterebene

Extensiv genutztes Grünland ist die den Messstandort bestimmende Vegetation. Über dem würmeiszeitlichen Schotter (sandiger Kies) befindet sich eine ca. 0,5 m mächtige lehmig-sandige Bodendecke. Bis zur Grundwasseroberfläche ist, abhängig vom Grundwasserstand, eine 3 bis 7 m mächtige Sickerzone ausgebildet. Der letzte ausgeprägte Hochstand des Grundwassers ist die Folge kräftiger Niederschläge im Zeitraum zwischen September 2002 bis März 2003. In 50 cm Tiefe wird im Jahr 2003 eine sommerliche Bodenaustrocknung mit Saugspannungswerten bis 800 hPa registriert. Sie setzt mit Beginn der Vegetationsperiode und der Bodenerwärmung sehr rasch ein und ist mit etwa 115 Tagen ungewöhnlich lang.

## Grund- und Bodenwasser

Die gelegentlichen Sommerniederschläge reichen nicht aus, um die Bodenauflage zu durchfeuchten oder gar einen merklichen Sickerwasserfluss (Saugspannungen kleiner 40 hPa) auszulösen. In der Folge zeigt selbst der immerfeuchte Kies in 200 cm Tiefe eine ungewöhnlich lange Austrocknungsphase.

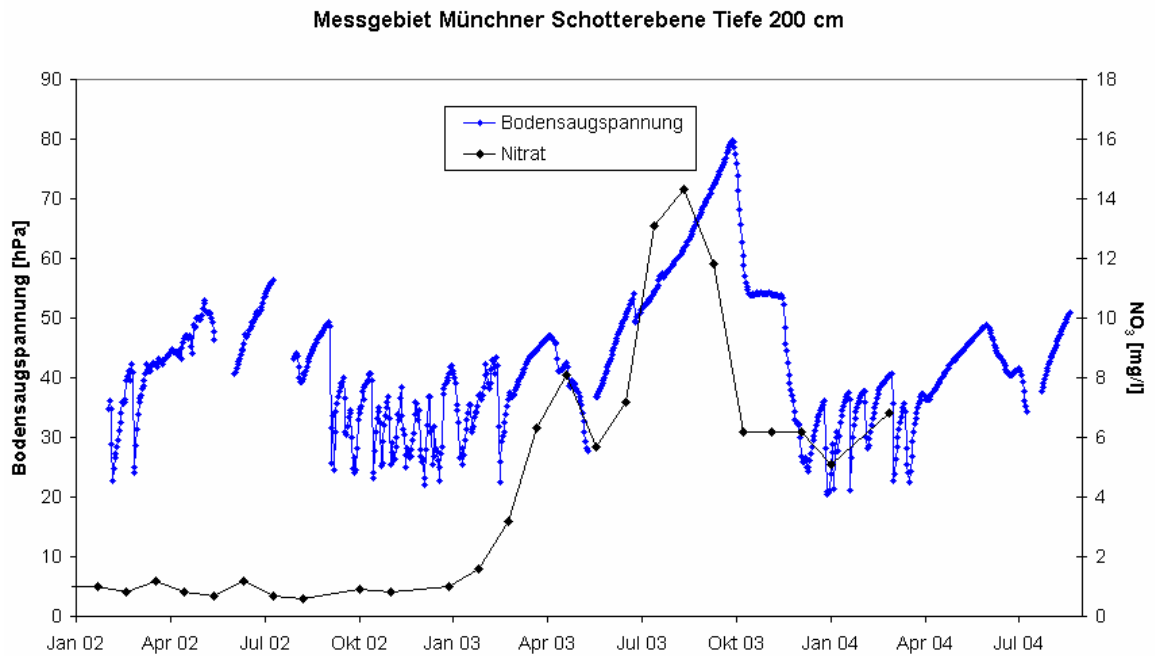
Während der Niederschlag von Anfang Oktober 2003 innerhalb einer Woche zu vollständiger Vernässung der Bodenauflage führt, reagiert das Bodenwasser in 200 cm Tiefe über ein bis zwei Monate verzögert. Erst im Dezember tritt hier in geringem Umfang Sickerwasser auf, aus dem neues Grundwasser gebildet wird. Im Jahr 2004 kommt es aufgrund kräftiger Niederschläge im Frühsommer erst Mitte August zu einer stärkeren Austrocknung des Oberbodens bis 320 hPa (Abb. 2.29).



**Abb. 2.29** Bodensaugspannung in 50 cm und 200 cm Tiefe auf der Intensivmessfläche

Das 2003 in 50 cm Tiefe registrierte Temperaturmaximum lag mit 20,9 °C um fast 2 °C über dem bislang höchsten Wert bzw. um 2,2 °C über dem Maximum von 2004 (ohne Abb.).

Ein Zusammenhang der im Sommer 2003 stark erhöhten Nitratgehalte des Bodenwassers mit den guten Zersetzungsbedingungen für organisches Substrat und mit einer stärkeren Aufkonzentrierung der Bodenwasserinhaltsstoffe ist anzunehmen (Abb. 2.30). Dagegen wird der vorausgehende Anstieg ab Januar 2003 auf verstärkte Ausspülung mobilisierbarer Nitratvorräte zurückgeführt.



**Abb. 2.30** Bodensaugspannung und Nitratkonzentration des Sickerwassers in 200 cm Tiefe auf der Intensivmessfläche

Im Grundwasser wird ein synchroner, allerdings nur leichter Spüleffekt beobachtet, wobei die wesentlich höhere Vorbelastung aus Einflüssen des landwirtschaftlichen Ackerbaus zu berücksichtigen ist (Abb. 2.31). Die Trockenphase 2003 führt in ihrer Gesamtwirkung zu einem Rückgang der Nitratgehalte im Grundwasser.

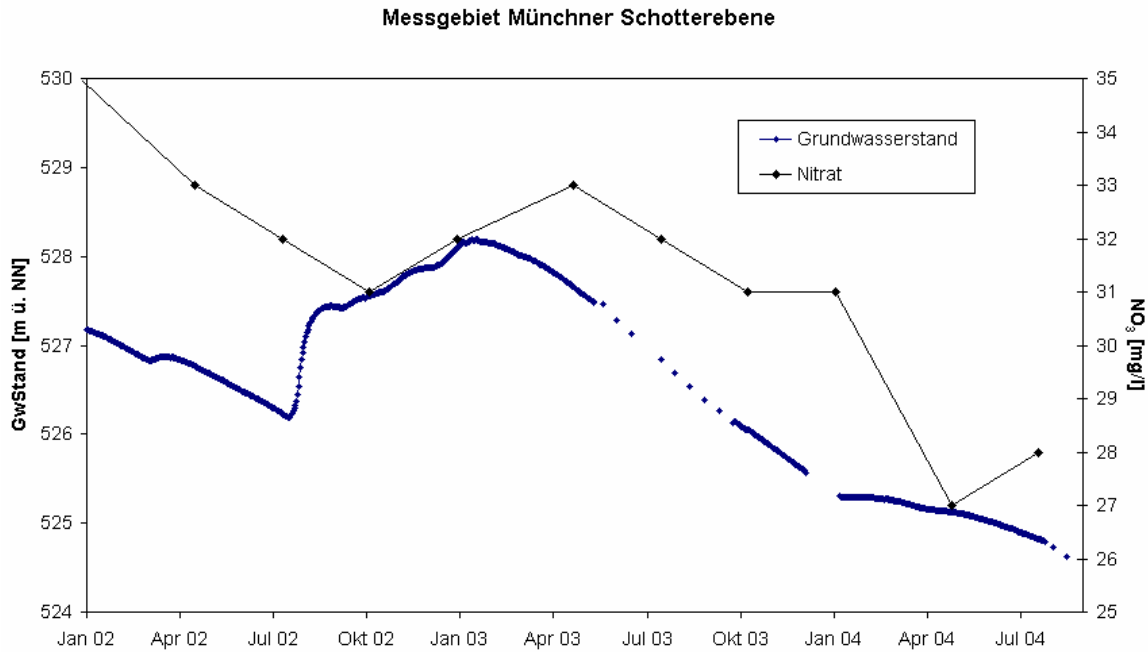
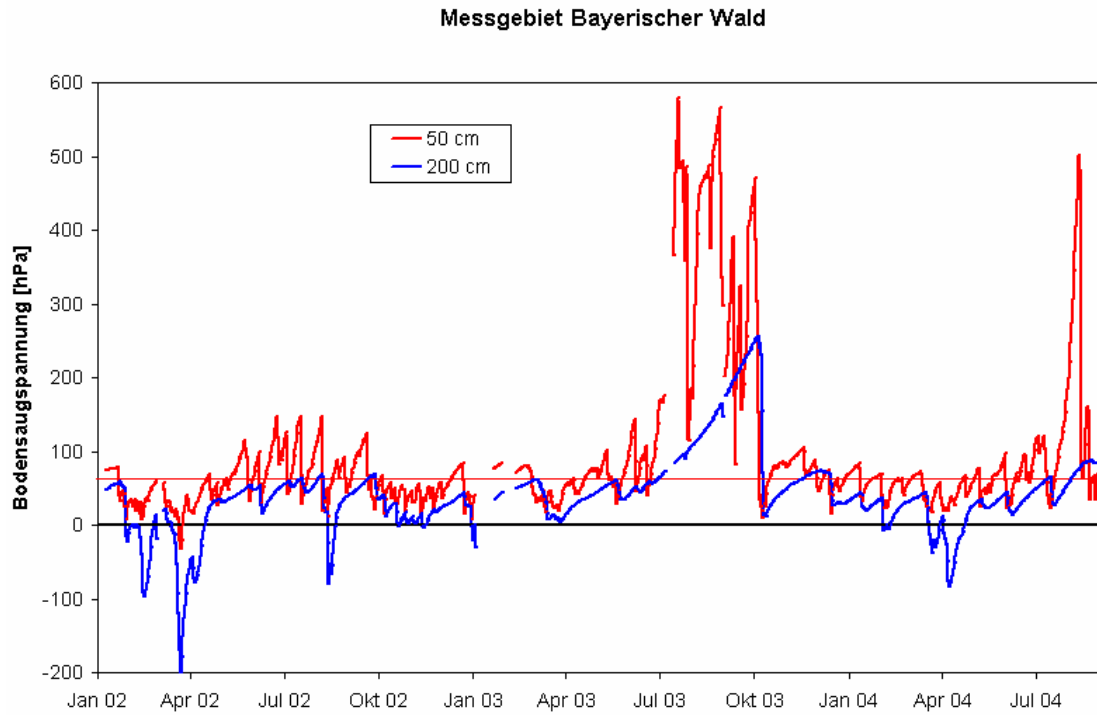


Abb. 2.31 Grundwasserstand und Nitratkonzentration im Grundwasser auf der Intensivmessfläche

### 2.2.1.3 Messgebiet Bayerischer Wald

Die Vegetation am Messstandort im Bayerischen Wald ist ein nach Absterben der Fichtenbestockung von Buchen dominierter Bergmischwald mit intensiver Waldverjüngung in der Strauchschicht. Ein tiefgründiger Lehmboden mit hohen Steinanteilen in Hanglage überdeckt die über 10 m mächtige Sedimentfolge aus periglazialen und glazialen Schutt sowie Verwitterungsmaterial des unterlagernden Granits. Hohe und zahlreiche Niederschläge führen zu häufiger Wassersättigung der Böden. Dabei kann sich hangparalleler Zwischenabfluss bilden, der am Messstandort in 200 cm Tiefe durch negative Saugspannungswerte nachgewiesen ist (Abb. 2.32). Die Bodenwasserverhältnisse im Jahr 2003 unterscheiden sich erheblich von den Nachbarjahren. Während in 2002 in 50 cm Tiefe eine Saugspannung von 200 hPa nicht überschritten wurde und auch im Sommer häufig Sickerwasser auftrat, trocknete der Oberboden im Sommer 2003 massiv aus. Vom 16. Juli bis 02. Oktober fand an 48 Tagen mit wenigen Unterbrechungen keinerlei Sickerwasserbewegung statt. Der Austrocknungsvorgang verlagerte sich bis in eine Tiefe von 200 cm, wo die Saugspannungen max. 255 hPa erreichten. Anfang Oktober wurde der Bodenwasserspeicher nach ergiebigen Regenfällen innerhalb von vier Tagen wieder aufgefüllt. Im Jahr 2004 kam es zwar in 50 cm Tiefe wiederum zu einer deutlichen Austrocknung mit Spannungswerten bis 500 hPa, die Trockenheit begann jedoch später und fiel wesentlich kürzer aus.



**Abb. 2.32** Bodensaugspannungen in 50 cm und 200 cm Tiefe auf der Intensivmessfläche

Der Temperaturverlauf in 50 cm Tiefe ist in den Jahren 2002 und 2003 hinsichtlich der Maxima vergleichbar. Der Wert von 15,6 °C wurde sowohl am 21. Juni 2002 als auch am 14. August 2003 erreicht. Das Bodenwasserdefizit des Jahres 2003 ist an solchen Standorten vermutlich weniger temperaturgesteuert (hohe Verdunstung), als überwiegend eine Folge des hohen Niederschlagsdefizits. Im Jahr 2004 lag das Maximum bei 13,8°C.

Auf Grund des hohen Stickstoffbedarfs der nachwachsenden Waldvegetation befinden sich die Nitratwerte im Bodenwasser durchgängig auf sehr niedrigem Niveau (0 – 5 mg/l). Spitzen treten zum einen im Frühjahr 2002 auf (Abschmelzen der Schneedecke) zum anderen im Sommer 2003, als Folge der verstärkten Aufkonzentrierung des Nitrats im ausgetrockneten Boden (Abb. 2.33).

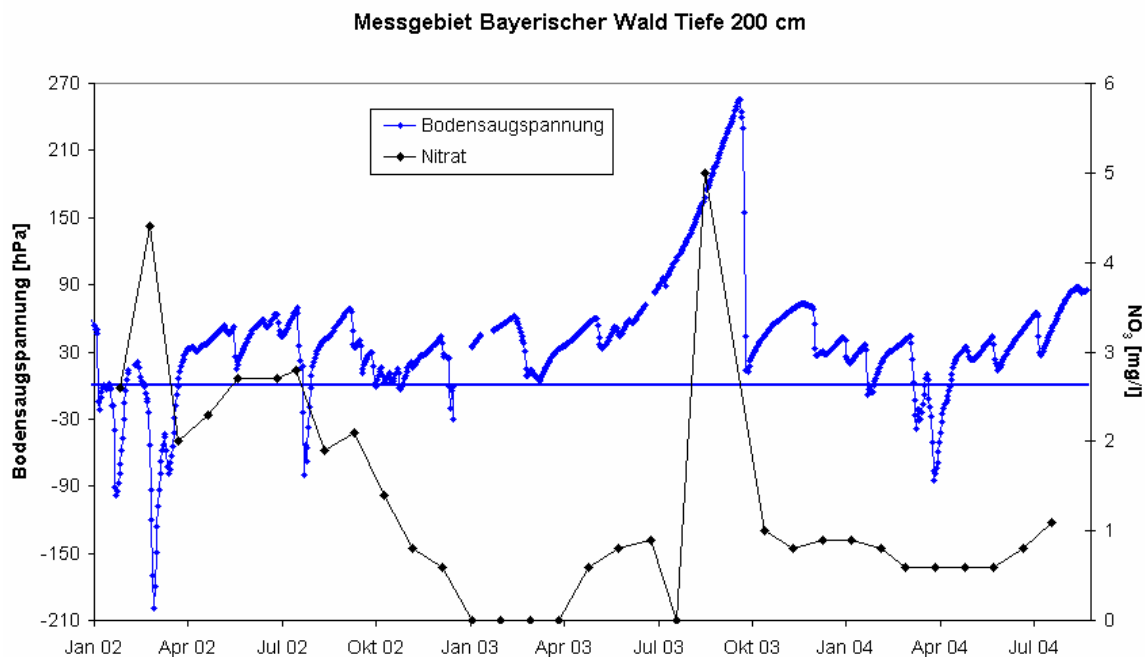
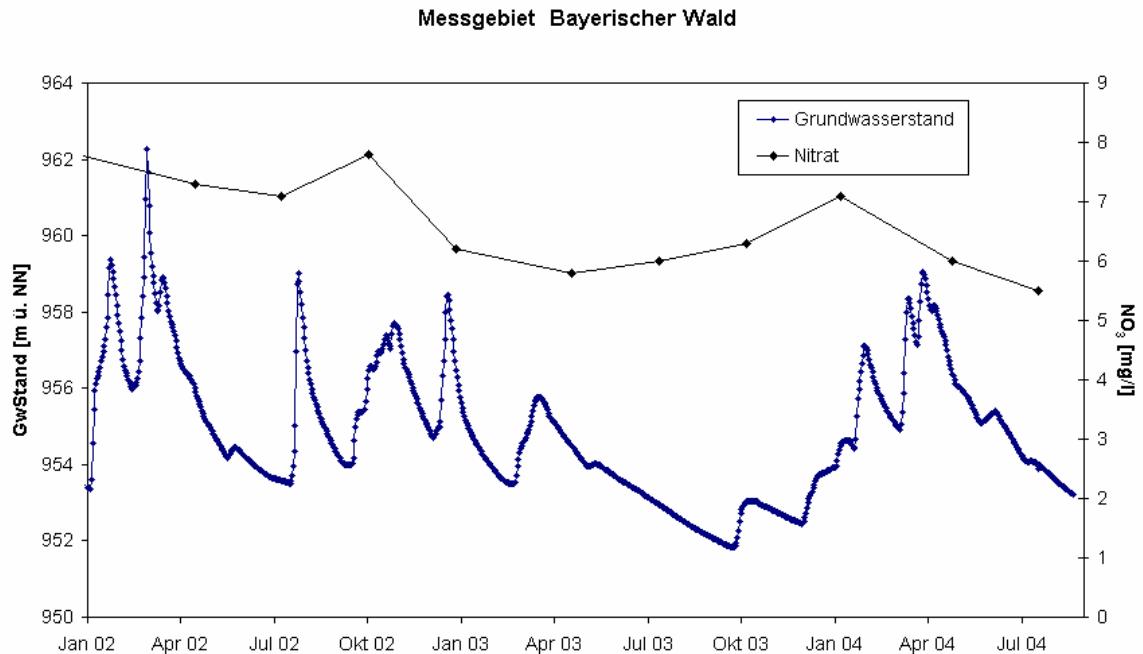


Abb. 2.33 Bodensaugspannungen und Nitratkonzentration des Sickerwassers in 200 cm Tiefe auf der Intensivmessfläche

Der Grundwasserstand reagiert auf Schneeschmelze und Niederschlagsperioden mit Anstiegen bis zu 8 m. Im Trockenjahr 2003 wird ein außergewöhnlicher Tiefstand erreicht, vergleichbar der stark nachlassenden Schüttung vieler Quellen der Region. Die Nitratgehalte sind wenig höher als im Sickerwasser und zeigen keine trockenheitsbedingten Auffälligkeiten (Abb. 2.34).



**Abb. 2.34** Grundwasserstand und Nitratkonzentration im Grundwasser auf der Intensivmessfläche

#### 2.2.1.4 Messgebiet Donau/Gäuboden

Ein fast 6 m mächtiger Lösslehm über sandig-kiesiger Hochterrasse der eiszeitlichen Donau charakterisiert den Messstandort Donau/Gäuboden. Der Flurabstand des Grundwassers liegt über 10 m. Seit 1998 werden auf einer Ackerfläche in 100, 200, 450 und 800 cm Tiefe die Bodensaugspannung und die Beschaffenheit des Sickerwassers gemessen sowie Bewirtschaftungsdaten des landwirtschaftlichen Betriebes erhoben. Im Gegensatz zu forstlichen Standorten wird der Wasser- und Stofffluss (hier Nitrat) sehr viel stärker von der kurzfristigen Bewirtschaftungsdynamik bestimmt (2002: Zuckerrüben, 2003: Brache/Zwischenfrucht, 2004: Weizen).

Der Bodenfeuchteverlauf der Jahre 2002 bis 2004 war von Januar bis Mai typischerweise durch niedrige Saugspannungen und häufige Sickerwasserphasen (Bodensaugspannungen kleiner 60 hPa) gekennzeichnet. Generell war ab April die Bildung von Sickerwasser in 100 cm Tiefe eingeschränkt. Ab Juli 2003 führten jedoch die geringen Niederschläge in Verbindung mit hohen Verdunstungsraten zu einem besonders starken Absinken der Bodenwasservorräte. Trotz Niederschlagsereignissen im Herbst 2003 wurde eine vollständige Wiederbefeuchtung des Bodens mit merklichem Sickerwasserfluss erst im Januar 2004 beobachtet. Der Bodenwasserverlust im Sommer 2004 übertrifft sogar den des Trockenjahres 2003, eine Folge der weiterhin unterdurchschnittlichen Niederschläge in Verbindung mit wasserzehrender Ackerfrucht (Abb. 2.35).

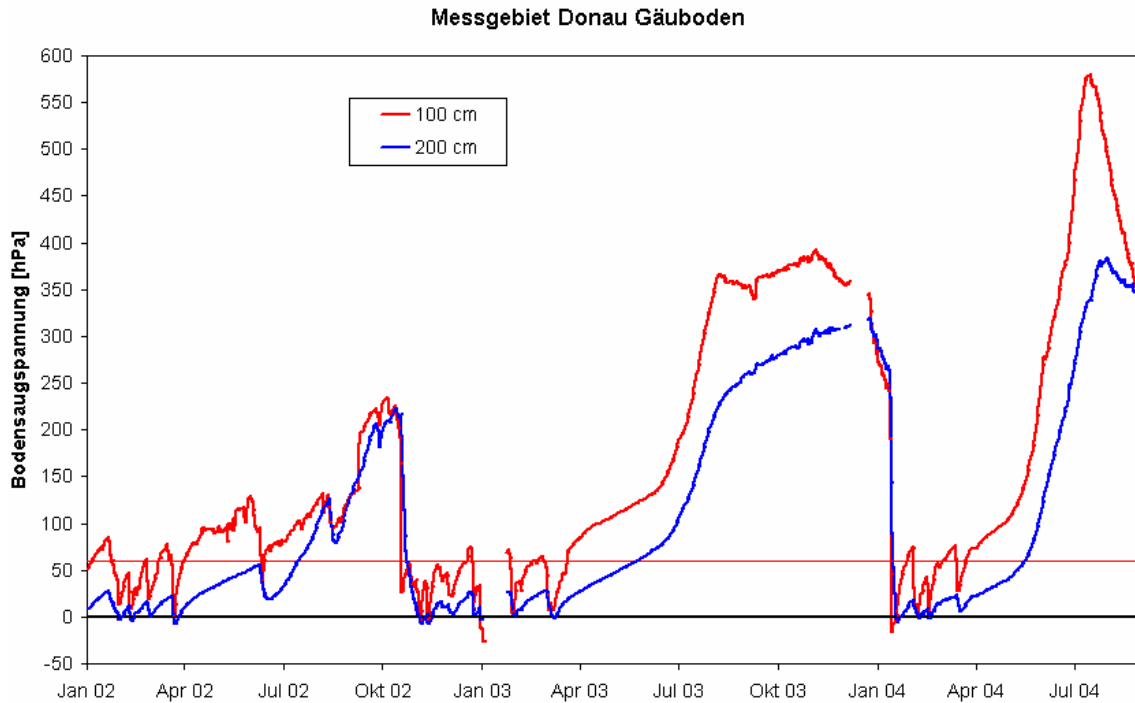


Abb. 2.35 Bodensaugspannungen in 100 und 200 cm Tiefe auf der Intensivmessfläche

Die Bodentemperaturen erreichten im heißen Sommer 2003 in 100 cm Tiefe mit 17,9 °C und in 200 cm Tiefe mit 15,0 °C jeweils ein Maximum für den beobachteten Zeitraum seit 1998. Erhebliche saisonale Schwankungen zeigen die Nitratgehalte im Sickerwasser in 200 cm Tiefe (Abb. 2.36). Sie steigen jeweils im Frühjahr erheblich an, wobei in dieser Tiefe indirekte Wirkungen der Ausbringung von Düngemitteln, der saisonalen Nitrifikation und des Entzugs von Verdunstungswasser zum Tragen kommen. Ein besonderer Einfluss der Sommertrockenheit 2003 ist nicht erkennbar. Allerdings trat mit Wiedereinsetzen der Versickerung ab Januar 2004 ein Spüleffekt auf, der zu Nitratgehalten über 15 mg/l führte.



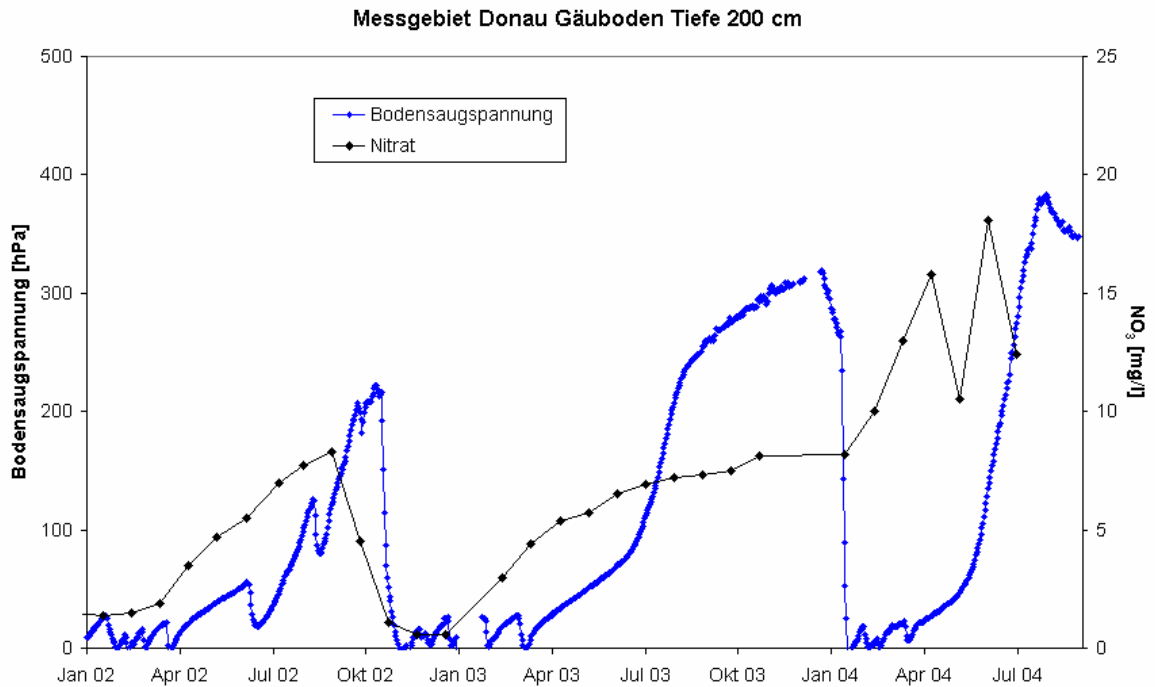


Abb. 2.36 Bodensaugspannung und Nitratkonzentration des Sickerwassers in 200 cm Tiefe auf der Intensivmessfläche

Aufgrund der defizitären Niederschläge sank der Grundwasserspiegel ab Mai 2003 kontinuierlich ab. Die hohen Nitratgehalte im Grundwasser sind die Folge intensiver Landwirtschaft im Zustromgebiet. In den letzten Jahren führen freiwillige Vereinbarungen und Kooperationsmodelle mit der Landwirtschaft zu einem allmählichen Rückgang des Nitratintrags in das Grundwasser. Trockenheitsbedingte Veränderungen wurden im Grundwasser bislang nicht registriert, da alle oberflächennahen Prozesse durch die mächtige Lehmschicht gepuffert und verzögert werden (Abb.2.37).

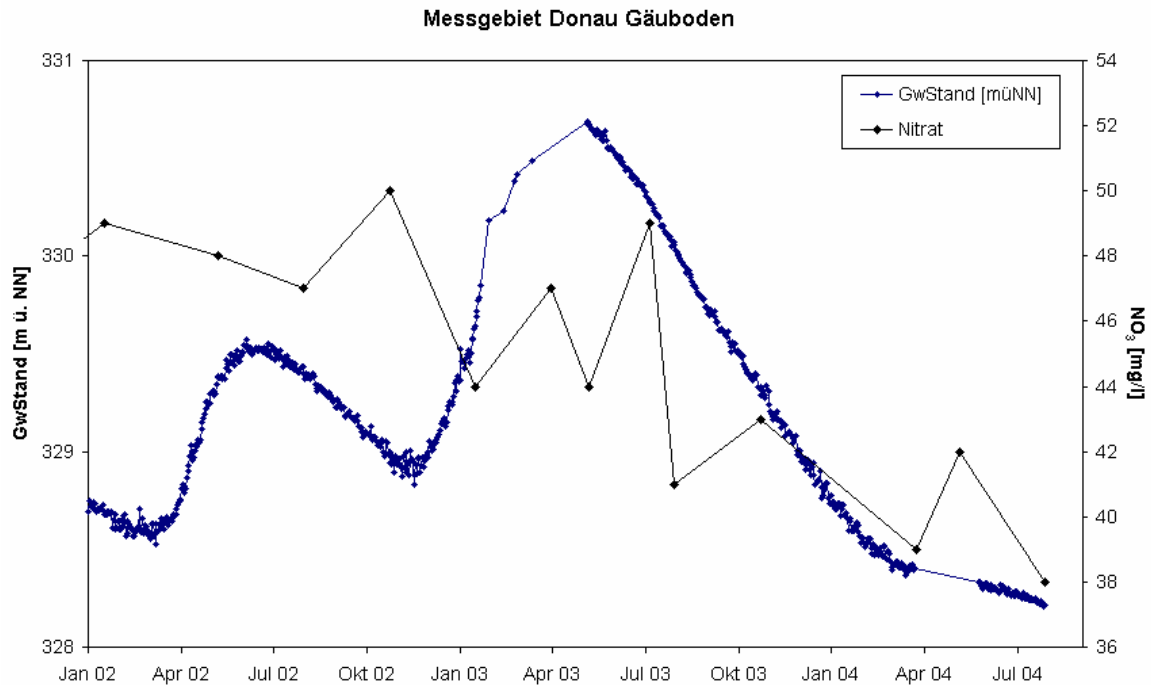
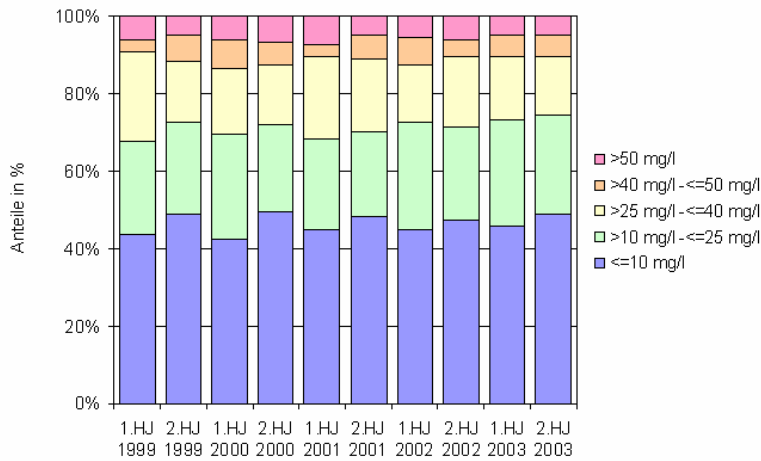


Abb. 2.37 Grundwasserstand und Nitratkonzentration im Grundwasser auf der Intensivmessfläche

## 2.2.2 Grundwasserbeschaffenheit (Nitrat)

### 2.2.2.1 Landesweite Entwicklung

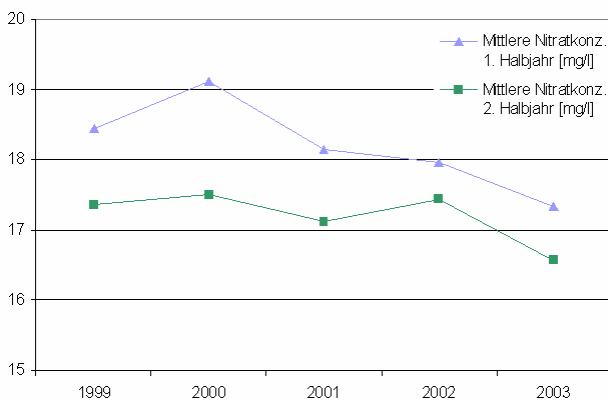
Durch Eintrag mit dem Niederschlag, Auswaschung von Stoffen aus dem Boden und Stoffaufnahme im Grundwasserleiter wird das Grundwasser mit Inhaltsstoffen angereichert. Bei kurzen Sickerwegen und hoher Durchlässigkeit der Grundwasserüberdeckung sind zeitnahe Reaktionen der Grundwasserbeschaffenheit auf Veränderungen des Stoffangebotes zu erwarten. Da allerdings zahlreiche saisonale und periodische Faktoren auf das Grundwasser einwirken, können eventuelle Auswirkungen der Sommertrockenheit 2003 nur mit Vorsicht kommentiert werden. Generell ist die Stoffzufuhr über den Niederschlag und das Bodensickerwasser zum Grundwasser durch die lange Trockenheit stark reduziert. Möglicherweise bedeutender als die unmittelbaren Wirkungen der Trockenphase sind die Auswirkungen von Sekundärphänomenen, insbesondere der Mobilisierung angesammelter Nitratvorräte nach Wiedervernässung der Böden. Weiterhin von erheblicher Bedeutung ist die Frage einer verstärkten Nährstoffmobilisierung in den Böden als Folge einer anhaltenden Bodenerwärmung.



**Abb. 2.38** Grundwasserbeschaffenheit in Bayern 1999-2003: Anteil Messstellen nach Nitrat- Konzentrationsklassen (165 Messstellen im Landesmessnetz, erstes Grundwasserstockwerk)

Trockenheitsbedingte Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit werden am Beispiel des Nitratgehaltes dargestellt. Nitrat ist ein guter Indikator für mögliche Veränderungen der grundwasserbeeinflussenden Nährstoffdynamik und eine sehr mobile Verbindung. Es wird im Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit zweimal jährlich bestimmt.

Eine landesweite klassifizierte Übersicht der Nitratgehalte zeigt für das Trockenjahr 2003 keine gravierende Abweichung von den Vorjahren (Abb. 2.38).



**Abb. 2.39** Grundwasserbeschaffenheit in Bayern 1999-2003: Entwicklung der mittleren Nitratgehalte (165 Messstellen im Landesmessnetz, erstes Grundwasserstockwerk)

Die halbjährlichen landesweiten Mittelwerte zeigen für beide Halbjahre 2003 einen schwachen Rückgang der Nitratgehalte (Abb. 2.39), verursacht durch mehrheitlich absteigende Tendenzen. Ein möglicher Trockenheits Einfluss kann durch den längerfristig abnehmenden Trend des landwirtschaftlichen Düngeneiveaus überlagert sein.

### 2.2.2.2 Exemplarische Messstellen

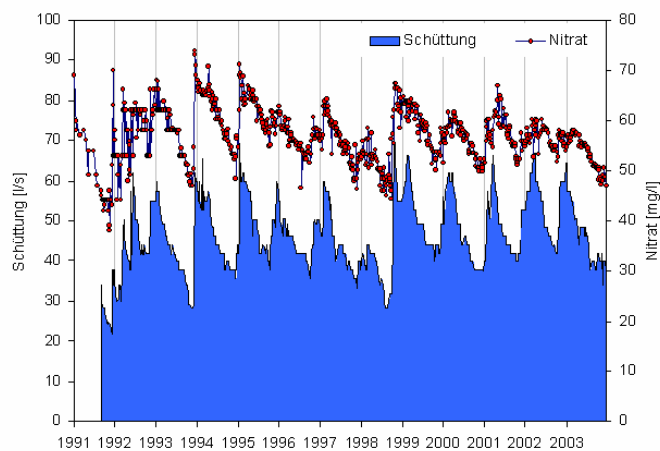
Genaueren Einblick in die Entwicklung und Dynamik der Nitratgehalte geben die langjährigen Ganglinien für drei exemplarische Messstellen, die sehr häufig untersucht wurden. Sie repräsentieren die Grundwasservorkommen, die während der Trockenphase stabile oder sinkende Nitratgehalte zeigen.

## Grund- und Bodenwasser

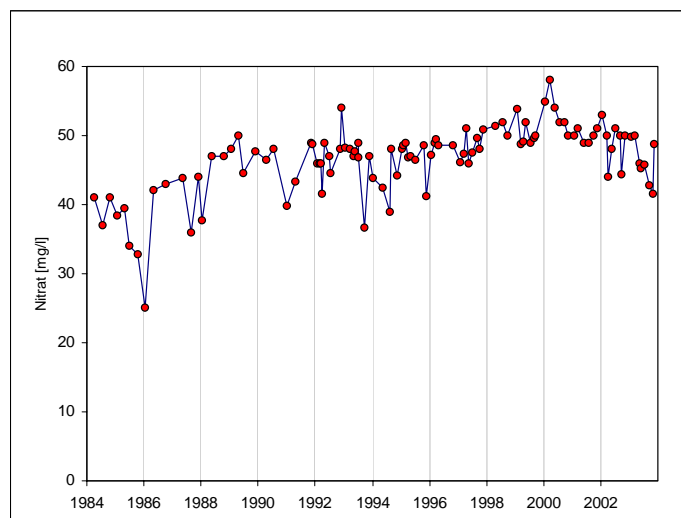
Für Nordbayern wird dies demonstriert an einer typischen Hangquelle im Unteren Muschelkalk, für Südbayern an einem Brunnen im Inn-Quartär und an einer Grundwassermessstelle in der Münchener Schotterebene. In allen Fällen sind die hohen Nitratgehalte ein Hinweis auf den Einfluss landwirtschaftlicher Nutzung bei gleichzeitig geringer bis mäßiger Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung. Die Muschelkalkquelle zeigt extreme saisonale Schwankungen des Nitratgehalts, die von mehrjährigen Schwankungen überlagert werden (Abb. 2.40). Der saisonale Maximalwert fällt mit dem steilen Anstieg der Quellschüttung nach Einsetzen der winterlichen Grundwasserneubildung zusammen.

Hierbei werden vorhandene Nitratüberschüsse mit dem Sickerwasser aus den Böden ausgewaschen. Der Nitratrückgang im Sommer läuft parallel zur nachlassenden Quellschüttung. Auch das Trockenjahr 2003 ist von diesen prinzipiellen Abläufen der Nitratdynamik geprägt. Demnach kann für die Standortbedingungen in Unterfranken keine außergewöhnliche Entwicklung nachgewiesen werden.

Der Brunnen im Inn-Quartär zeigt seit Beginn der Aufzeichnung einen Anstieg des Nitratgehaltes. Die Trendumkehr in den Jahren 1999/2000 (Abb. 2.41) ist auf eine Minderung der Bewirtschaftungsintensität im Einzugsgebiet zurückzuführen. In der Trockenperiode 2003 blieb die Nitratzufuhr gänzlich aus um mit den anschließenden Herbstniederschlägen wieder das Niveau von rund 50 mg/l zu erreichen.



**Abb. 2.40** Quelle im unteren Muschelkalk (Unterfranken): Ganglinien des Nitratgehaltes und der Quellschüttung (1991-2003)



**Abb. 2.41** Brunnen im Inn-Quartär (Oberbayern): Ganglinie des Nitratgehaltes (1984-2003)

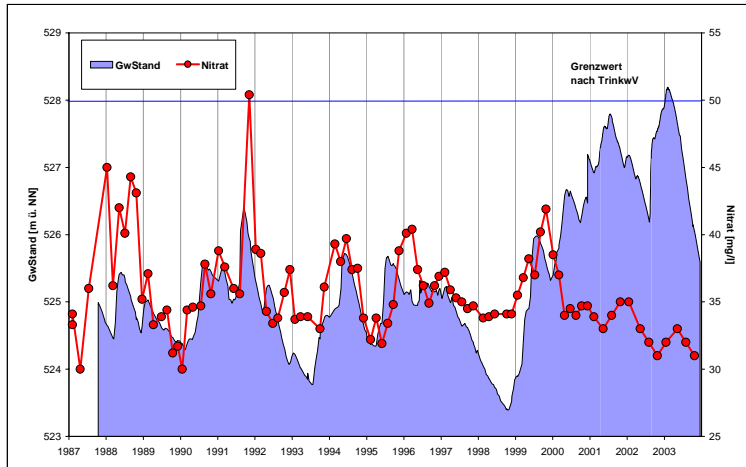


Abb. 2.42 Grundwassermessstelle im Quartär der Münchener Schotterebene (Oberbayern): Ganglinien des Nitratgehalts und des Grundwasserstands (1987-2003)

An der Messstelle im Quartär der Münchener Schotterebene (Oberbayern) wird auch der Grundwasserstand registriert (Abb. 2.42). Bis 1999 gehen hier die periodischen Grundwasseranstiege regelmäßig mit verstärkter Nitratauswaschung und entsprechenden Konzentrationsspitzen einher. Erst durch die anhaltend starke Zufuhr versickernden Niederschlagswassers bis Anfang 2003 werden die Böden soweit freigespült, dass

weitere Konzentrationsspitzen ausbleiben und ein Rückgang des Belastungsniveaus eintritt. Die Trockenperiode 2003 mit fehlendem Sickerwasserzufluss und somit fehlender Nitratzufuhr verstärkt den Nitratrückgang zunächst nur unwesentlich. Im Gegensatz zum oben genannten Beispiel aus dem Inn-Quartär erzeugt der starke Herbstniederschlag (101 mm vom 25.09.-23.10.2003) keinen spontanen Anstieg der Nitratkonzentration. Soweit eine Neubildung von Nitratüberschüssen in den Böden angenommen werden kann, reagiert das mächtige Boden/Grundwassersystem nach der „Freispülung“ in den Vorjahren offensichtlich sehr träge.

### 2.2.2.3 Zusammenfassung der Entwicklung der Nitratgehalte im Grundwasser

Während der Trockenwetterperiode 2003 geht die Nitratzufuhr zum Grundwasser in Folge ausbleibenden Sickerwassers und reduzierter Bodenbewirtschaftung zurück. Im landesweiten Durchschnitt wurde bei der Mehrzahl der Landesmessstellen ein schwacher Rückgang der Nitratgehalte nachgewiesen. Bei Grundwasservorkommen, die zeitlich verzögert oder träge reagieren, werden z.T. auch in der Trockenphase ansteigende Nitratgehalte registriert. Nitrat-Rückgänge im Sommer sind bei oberflächennahen Grundwasservorkommen häufiger, da sie meist spontan auf die nachlassende Stoffauswaschung aus den Böden reagieren. Bereichsweise haben die bis Anfang 2003 aufgetretenen hohen Versickerungsraten schon vorab zu einer Dämpfung der Nitratbelastung geführt. Sofern sich in der Trockenperiode höhere Stickstoff- bzw. Nitratüberschüsse angesammelt haben, kann deren Auswaschung ab Herbst 2003 zu Belastungsspitzen im Grundwasser führen.



# 3 Oberirdischer Abfluss

## 3.1 Methodik

### 3.1.1 Verwendete Kenngrößen und ihre Definition

Zur Analyse der Niedrigwassersituation wurden Tages- und Monatsmittelwerte des Abflusses  $Q(d)$  und  $Q(m)$  bzw. bei den Seen des Wasserstandes  $W(d)$  und  $W(m)$  für den Zeitraum November 2002 bis März 2004 ermittelt. Um den Jahresgang 2003 mit der Situation anderer Jahre vergleichen zu können, wurden auch die mehrjährigen Monatsmittelwerte der Abflussjahre 1970 bis 2000 berechnet. Die Gewässerkundlichen Hauptzahlen  $NQ^1$ ,  $NMQ^2$  und  $MQ^3$ , die sich auf die gesamte gemessene Zeitreihe beziehen, wurden den Gewässerkundlichen Jahrbüchern (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2000a, 2000b) entnommen. Außerdem wurde das niedrigste arithmetische Mittel des Abflusses/der Wasserstände an 7 aufeinanderfolgenden Tagen,  $NM_7Q/NM_7W$ , für das Wasserhaushaltsjahr 2003 (April 2003 bis März 2004) und bei den Flüssen die dazugehörige Abflussspende<sup>4</sup>  $NM_7q$  berechnet und untersucht. Als Vergleichsreihe für die Wahrscheinlichkeitsanalyse wurde der  $NM_7Q/NM_7W$  auch für die Wasserhaushaltsjahre der gesamten Zeitreihe bis 2000 ermittelt (siehe Kap 3.1.5). Die Dauer von 7 Tagen dient dazu, den Einfluss kurzfristiger, teils periodischer Störungen wie Entnahmen, Schwallbetrieb von Kraftwerken oder Ausleitungen aus Kläranlagen zu minimieren (ATV-DVWK 2001).

### 3.1.2 Nicht verwendete Kenngrößen

Weitere mögliche Kenngrößen sind die Dauer des Niedrigwasserereignisses, definiert als die Anzahl der Tage, an denen ein bestimmter Schwellenwert unterschritten wird, und die Fehlmenge oder Defizitfülle als die Wassermenge, die sich aus der Differenz zwischen dem Abfluss des Schwellenwertes und dem tatsächlichen (niedrigeren) Abfluss, aufsummiert über die Dauer, ergibt. Da bei diesen Größen für jeden Pegel ein spezifischer Schwellenwert definiert werden muss und der vorliegende Bericht einen Überblick über die Niedrigwassersituation in Bayern geben soll, wurden diese Fragestellungen nicht weiter verfolgt. Ebenfalls gebräuchlich sind die Kenngrößen  $NM_xQ$  (niedrigster Mittelwert von  $x$  aufeinanderfolgenden Tagen) für größere Zeitspannen, etwa  $x=30$  oder 180 Tage, deren vergleichende Darstellung einen Hinweis auf die Speichereigenschaften des Einzugsgebietes gibt (DYCK & PESCHKE 1995). Auf deren Auswertung wurde wegen des hohen zusätzlichen Aufwandes verzichtet.

---

<sup>1</sup>  $NQ$ ,  $NW$ : Niedrigster Wert der gesamten Zeitreihe

<sup>2</sup>  $MNQ$ ,  $NMW$ : Arithmetischer Mittelwert der kleinsten Abfluss- ( $Q$ ) oder Wasserstandswerte ( $W$ ) jeden Jahres bezogen auf die gesamte Zeitreihe

<sup>3</sup>  $MQ$ ,  $MW$ : Arithmetischer Mittelwert aller  $Q$ - bzw.  $W$ -Werte

<sup>4</sup> Abflussspende ( $q$ ) in  $l/(s \cdot km^2)$ : Quotient aus Abfluss ( $Q$ ) und der Fläche des zugeordneten Einzugsgebietes ( $A_{EO}$ )

## **Oberirdischer Abfluss**

### **3.1.3 Bezugszeitraum**

Bei Niedrigwasseranalysen werden in der Regel zuerst einzelne Jahreszeiträume untersucht und die Ergebnisse anschließend miteinander in Beziehung gebracht. Es ist daher wichtig, zusammenhängende Niedrigwasserperioden als solche zu erkennen und nicht fälschlicherweise zwei Jahren zuzuordnen. Während des Frühjahrs ist eine Niedrigwasserperiode in Bayern statistisch am unwahrscheinlichsten. Durch die Festlegung des Wasserhaushaltsjahres vom 1.4. des aktuellen bis zum 31.3. des Folgejahres (DYCK & PESCHKE 1995) als Bezugszeitraum kann eine falsche Zuordnung von Niedrigwasserperioden weitgehend ausgeschlossen werden.

### **3.1.4 Auswahl der Pegel**

Von den gewässerkundlichen Messstellen an oberirdischen Gewässern wurden ca. 70 repräsentative Fluss- und 4 repräsentative Seepiegel mit Einzugsgebietsflächen von etwa 300 bis 50000 km<sup>2</sup> ausgewählt. Auf die Verwendung von Pegeln mit kleineren Einzugsgebieten wurde verzichtet, da dort die Abflussermittlung besonders im Niedrigwasserbereich relativ größeren Unsicherheiten unterliegt. Der Abfluss an großen Strömen wie Main und Donau ist für die wasserwirtschaftliche Nutzung von größerer Bedeutung, hier überlagern sich allerdings die Niedrigwassersituationen der Nebenflüsse, was die Interpretation erschwert.

Bei der Auswahl der Pegel wurde auf verlässliche Abflussmessungen im Niedrigwasserbereich und möglichst lange Messreihen geachtet, was bei der Berechnung der Jährlichkeiten von großer Bedeutung ist (siehe auch Kap 3.2.5 Wahrscheinlichkeitsanalyse).

Für die Berechnung der Wiederkehrintervalle müssen die Daten im Niedrigwasserbereich im gesamten verwendeten Zeitraum konsistent und homogen sein. Konsistenz im Hinblick auf Daten bedeutet, dass keine Fehler durch z.B. unsichere Wasserstands-/Abflussbeziehungen, starke Verkrautung oder Stationsverlegung enthalten sind (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1979). Bei den Daten bis zum Jahr 2000 handelt es sich um geprüfte Daten, die bereits Grundlage für die Erstellung der Gewässerkundlichen Jahrbücher waren. Die Daten im Wasserhaushaltsjahr 2003 wurden für diesen Bericht auf Konsistenz und Plausibilität überprüft. Homogenität ist eine statistische Größe und besagt, dass die Daten (hier z.B. die NM<sub>7</sub>Q-Werte der Jahre 1971-2003) alle der selben Grundgesamtheit angehören, d.h. die Abflussverhältnisse dürfen sich nicht allmählich oder plötzlich ändern (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1979). Um Inhomogenitäten auszuschließen, wurden die NM<sub>7</sub>Q-Werte der Vergleichsperiode auf Trend und Sprung getestet. Pegel, die den Kriterien nicht genügen, wurden nicht berücksichtigt.

#### **3.1.4.1 Anthropogene Einflüsse**

Anthropogene Einflüsse wie Speicherbecken, Überleitungen o.ä. wirken sich sowohl bei den Abflüssen in 2003 (z.B. Niedrigwasseraufhöhung) als auch bei den Werten der Vergleichsreihen (Sprung z.B. nach Änderung der Restwassermengen oder nach Bau von Stauanlagen) aus.



Der Abfluss fast aller größeren Flüsse in Bayern ist zumindest zum Teil anthropogen beeinflusst. Jährlichkeiten können bei Abflussmessreihen solcher Flüsse nur korrekt berechnet werden, wenn die Vergleichszeitreihe nach Fertigstellung der Anlage beginnt und steuerbare Anlagen stets nach gleichen Regeln bewirtschaftet wurden. Für diesen Bericht wurden die Messreihen bei der Berechnung der Jährlichkeiten nach Möglichkeit auf die Zeit nach Beginn der Beeinflussung verkürzt. In Einzelfällen wurde von dieser Regel abgewichen. Werte für die Jährlichkeiten, d.h. Wiederkehrintervalle können bei anthropogen beeinflussten Pegeln nicht oder nur sehr bedingt auf Verhältnisse in der Zukunft übertragen werden.

Bei den folgenden Flüssen ist der Niedrigwasserabfluss durch gesteuerte Speicherseen, Stauhaltungen und Überleitungen beeinflusst. Art und Ausmaß der Beeinflussung werden in Kapitel 0 bei den Ergebnissen der jeweiligen Flussgebiete ausführlich erläutert.

- Iller: Beeinflusst durch den Rottachsee, der zur Niedrigwasseraufhöhung eingesetzt wird.
- Lech: Beeinflusst durch den Forggensee und eine Kette von Staustufen für die Wasserkrafterzeugung sowie Beeinflussung der Wertach durch den Grüntensee.
- Isar: Niedrigwasseraufhöhung durch den Sylvensteinspeicher.
- Inn: Abflüsse werden durch außerhalb Deutschlands gelegene Zu- und Ableitungen sowie Speicher beeinflusst (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2000a).
- Naab: Niedrigwasseraufhöhung an der Schwarzach durch Silbersee, Perlsee und Eixendorfer See.
- Regen: Niedrigwasseraufhöhung im Kleinen Regen durch die Trinkwassertalsperre Frauenau.
- Donau: Die anthropogene Veränderung der Donauzuflüsse wirken sich, je nach Abflussanteil des Nebenflusses am Abfluss in der Donau, zum Teil stark auf die Situation an der Donau aus.
- Regnitz: Niedrigwasseraufhöhung aus dem Donau-Main-Überleitungssystem (Main-Donau-Kanal, Rothsee und Brombachsee).
- Rodach: Die Trinkwassertalsperre Mauthaus dient neben der Rohwasserbereitstellung auch der Aufhöhung von Niedrigwasserabflüssen.
- Main: Ab der Regnitzmündung unterhalb Kemmern beeinflusst durch das Überleitungssystem.
- Sächs. Saale: Beeinflusst durch Niedrigwasseraufhöhung aus der Förmitztalsperre.

Als im Niedrigwasserbereich relativ unbeeinflusst gelten unter anderem: Zusam, Schmitter, Loisach, Mittel- und Unterlauf des Regen, Pegnitz sowie die Flüsse des oberen Main.

### 3.1.5 Wahrscheinlichkeitsanalyse

#### 3.1.5.1 Vergleichszeitraum

Für die Wahrscheinlichkeitsanalyse ist eine möglichst langjährige Messreihe wichtig, um sicherzustellen, dass die im Vergleichszeitraum gemessenen Niedrigwasserwerte (NM<sub>7</sub>Q) eine repräsentative Stichprobe aller Werte darstellt und Unsicherheiten bei der Ermittlung der Jährlichkeit, etwa durch Ausreißer oder falsche Messungen, verringert werden. Beispielsweise ist die Periode der Abflussjahre von 1970 bis 2000 als "nasse" Periode einzustufen, weil es in diesem Zeitraum bei fast allen Pegeln weniger trockene Jahre gab als im gesamten beobachteten Zeitraum. Berechnet man die Jährlichkeiten der NM<sub>7</sub>Q-Werte im Jahre 2003 anhand des Vergleichszeitraums 1970-2000, kommt man insgesamt zu höheren, zum Teil sogar doppelt so hohen Jährlichkeiten. Dieser Unsicherheit bei der Berechnung der Jährlichkeiten wird durch Verwendung möglichst langer, nach Möglichkeit mehr als 30 Jahre umfassender Messreihen und durch Einteilung der Jährlichkeiten in relativ grobe Klassen Rechnung getragen.

#### 3.1.5.2 Verteilungsfunktion

Aus den NM<sub>7</sub>Q-Werten der Vergleichszeitreihe wird zunächst die Verteilungsfunktion ermittelt. Dafür werden alle Werte der Größe nach angeordnet und in dieser Reihenfolge eine Rangzahl vergeben. Aus Rangzahl und Anzahl der Werte wird über die Plotting-Position-Formel die Unterschreitungswahrscheinlichkeit  $p(i)$  zugeordnet:

$$p(i) = \frac{i + a}{n + b}$$

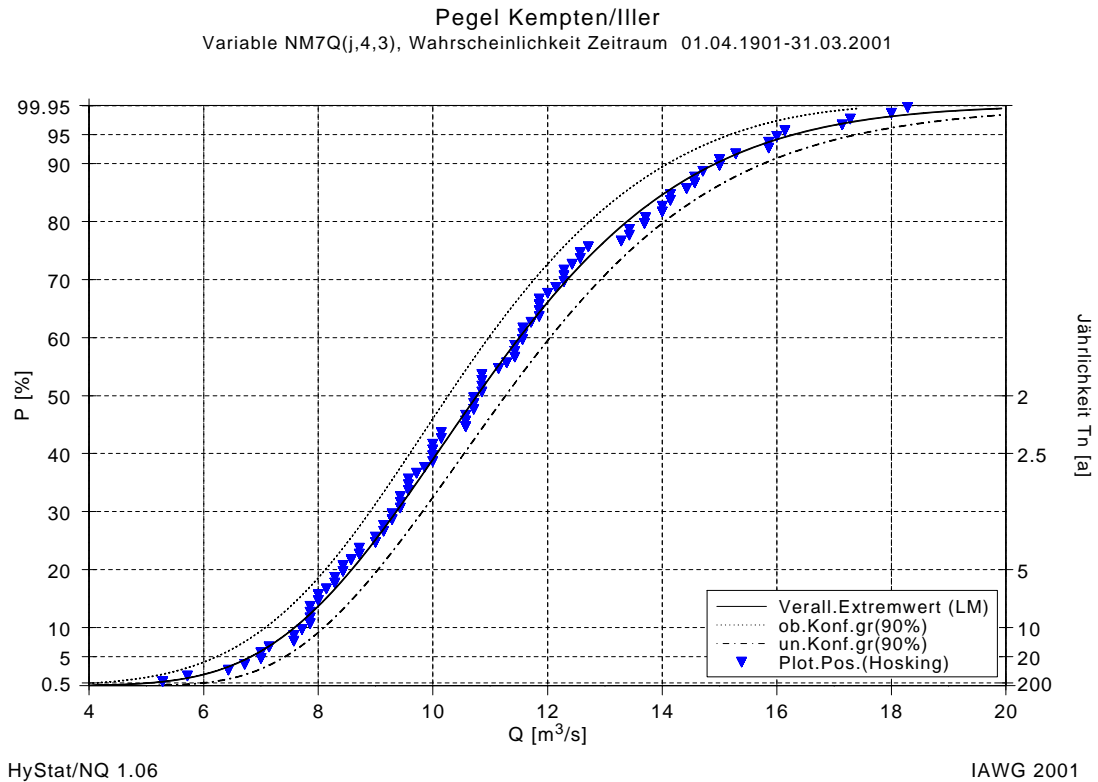
mit

$i$  = Rangzahl der nach der Größe geordneten Stichprobenelemente

$n$  = Anzahl der Stichprobenelemente (hier = 30)

$a, b$  = Parameter. Bei der hier verwendeten Plotting-Position-Formel nach Hosking ist  $a=0,35$  und  $b=0$ .

In Abb. 3.1 sind als Beispiel die NM<sub>7</sub>Q-Werte der Vergleichsreihe 1901–2001 am Pegel Kempen/Iller mit einem Dreieck dargestellt. Auf der y-Achse ist die Unterschreitungswahrscheinlichkeit  $p(i)$ , auf der x-Achse der NM<sub>7</sub>Q-Wert aufgetragen. An die Werte dieser Stichprobe wird eine Verteilungsfunktion angepasst, die in Abb. 3.1 als mittlere Linie zu sehen ist.



**Abb. 3.1** Unterschreitungswahrscheinlichkeiten der NM<sub>7</sub>-Q am Pegel Kempten/Iller. Aufgetragen sind die NM<sub>7</sub>-Q der Vergleichszeitreihe 1901-2000 über die Unterschreitungswahrscheinlichkeit (links) bzw. Jährlichkeit (rechts) und die an diese Werte angepasste Verallgemeinerte Extremwertfunktion (GEV) inklusive der Grenzen von oberem und unterem 90% Konfidenzintervall.

Es existiert eine Vielzahl von Verteilungsfunktionen, die alle empirisch ermittelt wurden. Für Niedrigwasser-Kollektive wird laut ATV-DVWK-Arbeitsblatt (ATV-DVWK 2001) die Anpassung einer logarithmierten Normal-, Extremal-3- (Weibull), oder Pearson-3-Verteilung empfohlen; die im Programm HyStat (DICK 2003) empfohlene Generalisierte (Verallgemeinerte) Extremwertverteilung zeigte jedoch die beste Anpassung und kann zudem auch für Reihen mit Abflusswerten  $<1$  angewendet werden. Sie wird daher in dieser Untersuchung verwendet.

Die generalisierte Extremwertverteilung (GEV) lautet:

$$P(x) = e^{-\left(1 - c \frac{x-a}{b}\right)^{1/c}}$$

mit

$x$  = Abflusswert in m<sup>3</sup>/s z.B. NM<sub>7</sub>Q<sub>2003</sub>

$P(x)$  = Unterschreitungswahrscheinlichkeit des Wertes  $x$

$a, b, c$  = Anpassungsparameter

## Oberirdischer Abfluss

Die Jährlichkeit  $Tn(x)$  berechnet sich aus der Unterschreitungswahrscheinlichkeit  $P(x)$  über die Beziehung:

$$Tn(x) = \frac{1}{P(x)}$$

mit

$Tn(x)$  = Jährlichkeit oder Wiederkehrintervall von  $x$

$x$  = Abflusswert in  $m^3/s$

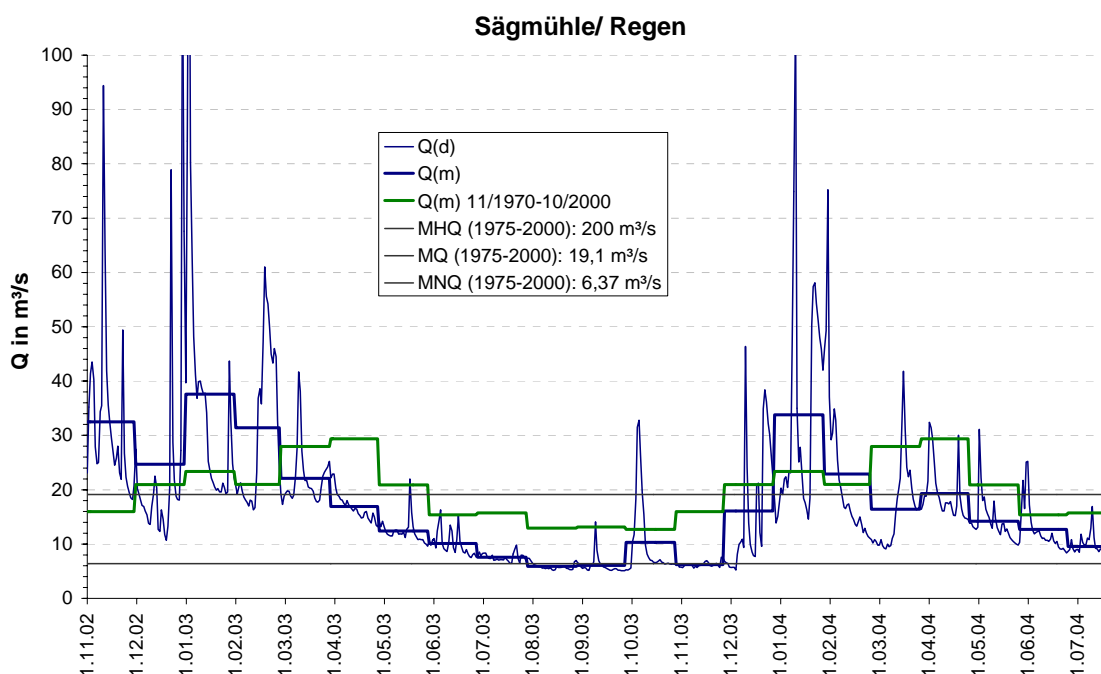
$P(x)$  = Unterschreitungswahrscheinlichkeit des Wertes  $x$

Für den Pegel Kempton ergibt sich eine GEV-Verteilungsfunktion mit den Parametern:  $a = 9,85$ ;  $b = 2,58$ ;  $c = 0,1185$  und für  $NM_7Q_{2003}$  in Höhe von  $7,35 m^3/s$  eine Jährlichkeit ( $Tn$ ) von 12,2 Jahren.

## 3.2 Gesamtbetrachtung

### 3.2.1 Zeitlicher Verlauf der Abfluss- und Wasserstandsganglinien von November 2002 bis Fröhsommer 2004

Mit Ausnahme der glazial geprägten (Inn, Salzach) und der stark durch Stauhaltungen beeinflussten Flüsse (Lech) zeigen die Ganglinien an Seen und Flüssen in Bayern von November 2002 bis Fröhsommer 2004 einen ähnlichen Verlauf. In Abb. 3.2 ist beispielhaft die Ganglinie am Pegel Sägmühle/Schwarzer Regen wiedergegeben. Dargestellt sind die Tages- und Monatsmittel sowie die mehrjährigen Monatsmittelwerte MQ und MNQ.



**Abb. 3.2** Abb. 3.2 Beispiel für einen typischen Ganglinienverlauf von November 2002 bis zum Frühjahr 2004: Tages- und Monatsmittelwerte am Pegel Sägmühle/Schwarzer Regen (blaue Linien) zusammen mit dem mehrjährigen Monatsmittelwerten (grüne Linien) und den Gewässerkundlichen Hauptzahlen MQ und MNQ. Die y-Skala der Abflüsse (Q) wurde so gewählt, dass die Situation im Niedrigwasserbereich gut erkennbar ist, dadurch können die Hochwasser im Januar und Februar 2002 (Tagesmittelwerte bis zu 149 m<sup>3</sup>/s) und im Oktober 2003 (bis 107 m<sup>3</sup>/s) nicht mehr dargestellt werden.

Das sehr niederschlagsreiche Jahr 2002 führte auch im November und Dezember noch zu Hochwasserabflüssen, und viele Pegel erreichten Werte oberhalb MHQ. Anfang 2003 lagen die Monatsmittelwerte des Abflusses deutlich oberhalb MQ. Infolge der geringen Niederschläge und der hohen Verdunstung im Frühjahr und Sommer 2003 sanken die Wasserstände und Abflüsse kontinuierlich bis Ende September, unterbrochen nur durch wenige, kürzere Niederschlagsereignisse und - bei den Einzugsgebieten mit Schneeeinfluss - einem Wiederanstieg im März/April. An ca. 80 Prozent der untersuchten Pegel traten die niedrigsten Werte des Wasserhaushaltsjahres<sup>5</sup> 2003 im Zeitraum von Mitte August bis Ende September 2003 auf. Im Oktober 2003 führte ein größeres Niederschlagsereignis wieder zu einem deutlichen Ansteigen der Abflüsse und Wasserstände, was auch in den Monatsmittelwerten aller Pegel deutlich zu erkennen ist. Die Niederschläge im Oktober beendeten die Niedrigwasserperiode jedoch nicht bei allen Pegeln: In den anschließenden, wieder relativ trockenen Monaten November und Dezember 2003 gingen Abflüsse und Wasserstände wieder zurück.

<sup>5</sup> Wasserhaushaltsjahr: Zeitraum vom 1.4. des genannten bis zum 31.3. des Folgejahres

## Oberirdischer Abfluss

Bei ca. 20 Prozent der untersuchten Pegel liegen die niedrigsten Abflüsse bzw. Wasserstände im Zeitraum November 2003 bis Anfang Januar 2004 (siehe auch Tabelle 3.1). Erst die ergiebigeren Niederschläge im Januar und Februar '04 führten bei allen Pegeln zu einer Auffüllung der Grundwasserspeicher und damit zu einer nachhaltigen Erhöhung des bei Niedrigwasser maßgeblichen Basisabflusses. Im Frühjahr 2004 lagen die Monatsmittelwerte von Abfluss und Wasserstand, trotz eines vom Niederschlag her durchschnittlich feuchten Jahres, bei fast allen Pegeln deutlich unter den mehrjährigen Monatsmittelwerten. Im Frühsommer 2004 wurden an einigen Pegeln sogar ähnlich niedrige Werte gemessen wie im Frühsommer 2003. Aufgrund der ausgeglicheneren Niederschlagsverteilung kam es im Spätsommer/Herbst 2004 jedoch nicht zu den Niedrigwasserständen wie im Jahr zuvor.

Die Ganglinien der Jahre 2002 bis 2004 zeigen deutlich, welche Rolle die Ausgangsbedingungen für die Niedrigwassersituation spielen: Die gut gefüllten Grundwasserspeicher des nassen Jahres 2002 pufferten die 2003er Trockenperiode; das Aufbrauchen der Grundwasservorräte in 2003 macht sich wiederum im durchschnittlich niederschlagsreichen Jahr 2004 noch deutlich bemerkbar.

### 3.2.2 Jährlichkeiten und Vergleich mit 1976 und 1947

Trotz der außergewöhnlich trockenen Witterung traten nur an etwa 40% der hier untersuchten Pegel Jährlichkeiten von über 10 Jahren auf, an 10% wurde ein über 30-jährliches Niedrigwasser beobachtet. Vergleicht man die  $NM_7Q$ -Werte von 2003 mit denen des Niedrigwasserjahres 1976, so hat etwa eine Hälfte der Pegel im Jahr 2003 niedrigere Abflüsse und Wasserstände, darunter alle Donaupegel und die Pegel im Ampereinzugsgebiet. Die andere Hälfte, darunter fast alle Pegel im Main einzugsgebiet sowie die grundwasserbeeinflussten Flüsse des Alpenvorlandes, hatten im Jahr 1976 niedrigere Wasserstands- und Abflusswerte (siehe Tab. 3.1). Die Niedrigwasserperiode hatte 1976 gravierendere wasserwirtschaftliche Auswirkungen weil vor allem der Norden Bayerns betroffen war, wo das Wasserdargebot wesentlich intensiver genutzt wird (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1979) als im generell niederschlags- und abflussreicheren Südbayern. Im Jahr 1947 traten mit Ausnahme der Pegel Weilheim/Ammer und Chamerau/Regen an allen Pegeln, für die Messwerte vorhanden sind, niedrigere  $NM_7Q$ -Werte auf als 2003. Allerdings reichen die Zeitreihen an vielen Pegeln nicht bis zum Jahr 1947 zurück.

Flusspegel					Gew.kundl. Hauptz.			1947	1976	2003			
Pegel nummer	Fluss	Pegelname	A <sub>EO</sub> in km <sup>2</sup>	Daten seit	NQ m <sup>3</sup> /s	MNQ m <sup>3</sup> /s	MQ m <sup>3</sup> /s	NM <sub>7</sub> Q m <sup>3</sup> /s	NM <sub>7</sub> Q m <sup>3</sup> /s	NM <sub>7</sub> Q m <sup>3</sup> /s	NM <sub>7</sub> q l/(s*km <sup>2</sup> )	Datum	Tn (NM <sub>7</sub> Q)
10035801	Donau	Dillingen	11315	1924	35,2	67,90	161	42,00	64,30	57,60	5,09	24.09.03	>5-10
10039802	Donau	Donauwörth	15037	1924	42,6	76,80	190	47,70	70,70	67,50	4,49	26.08.03	>5-10
10046003	Donau	Ingolstadt	22950	1924	62,0	130,00	312	78,60	135,00	85,40	3,72	11.08.03	>30
10053009	Donau	Kelheim	23019	1901	85,2	145,00	330	86,30	145,00	112,00	4,87	26.08.03	>10-15
10056302	Donau	Oberndorf	26448	1926	83,6	158,00	353	100,00	157,00	123,00	4,65	25.08.03	>5-10
10078000	Donau	Pfelling	37687	1926	105	204,00	456	113,00	193,00	142,00	3,77	26.08.03	>15-20
10088003	Donau	Hofkirchen	47496	1901	165	303,00	638	202,00	285,00	253,00	5,33	27.08.03	>5-10
11402001	Iller	Kempton	955	1901	4,06	9,10	47,2	5,29	12,30	7,35	7,70	25.08.03	>10-15
11405000	Iller	Wiblingen	2070	1971	1,42	7,49	56,60		5,00	11,40	5,51	11.12.04	<=5
11583303	Günz	Nattenhausen	526	1975	2,30	3,45	7,86		3,16	2,72	5,17	25.08.03	>10-15
11609000	Mindel	Offingen	951	1941	2,56	6,32	11,9	2,90	5,33	5,90	6,20	24.08.03	<=5
11809009	Wörnitz	Harburg	1578	1940	0,502	2,14	11,2	0,98	1,05	1,96	1,24	11.08.03	<=5
11924007	Zusam	Pfaffenhofen	505	1932	1,10	2,48	4,43	2,15	2,08	2,68	5,31	25.08.03	<=5
11944004	Schnutter	Achsheim	357	1967	0,980	1,47	3,04		1,13	1,45	4,06	25.08.03	<=5
12002009	Lech	Lechbruck	1708	1954	4,58	17,30	71,7		25,70	21,10	12,35	10.08.03	>5-10
12003001	Lech	Landsberg	2295	1954	14,3	27,80	81,6	20,90	31,90	23,70	10,33	12.08.03	>10-15
12006000	Lech	Augsburg u.d.W.	3800	1960	33,0	49,90	115		50,80	38,10	10,03	12.08.03	>30
12405005	Wertach	Biessenhofen	450	1963	0,910	3,16	12,6	1,65	2,67	2,04	4,53	23.08.03	>20-30
13208509	Paar	Manching Bahnbr.	1187	1926	2,60	5,12	9,32	2,93	3,91	4,84	4,08	25.08.03	<=5
13402807	Altmühl	Thann	328	1969	0,04	0,27	2,06		0,05	0,18	0,55	26.08.03	>5-10
13406105	Altmühl	Treuchtlingen	981	1941	0,280	1,14	5,63	0,32	1,14	0,78	0,79	14.08.03	>5-10
13407902	Altmühl	Beilngries o.d. Sulz	2251	1985	4,29	6,54	16,3			4,99	2,22	13.08.03	>10-15
14008006	Naab	Heitzenhofen	5432	1921	7,91	17,80	49,4	10,80	12,30	16,80	3,09	26.08.03	<=5
14101205	Waldnaab	Windischeschenbach	588	1957	0,310	1,48	6,69		0,87	0,65	1,11	12.08.03	>30
14209008	Haidenaab	Wildenau	712	1941	0,402	1,58	6,32	0,85	0,86	0,95	1,33	07.09.03	>10-15
14362005	Pfreimd	Böhmischbruck	488	1931	0,130	1,36	5,02	0,82	1,01	0,97	1,99	06.01.04	>5-10
14405200	Schwarzach	Rötz Speicherzufluss	398	1959	0,380	1,39	4,3		1,82	1,06	2,66	05.09.03	<=5
14604002	Vils	Amberg	438	1949	0,986	1,76	3,74		1,69	2,13	4,86	23.09.03	<=5
15202300	Regen	Chamerau	1357	1931	1,41	7,81	26,1	7,10	7,14	7,06	5,20	25.08.03	>5-10
15205501	Regen	Kienhof	2162	1959	5,13	11,90	34,3		8,60	9,65	4,46	26.08.03	>5-10
15212700	Schw. Regen	Sägmühle	839	1976	4,35	6,37	19,1		5,13	5,16	6,15	29.09.03	>5-10
15243001	Chamb	Furth i.W.	276	1951	0,380	0,90	2,97		0,62	0,70	2,53	23.09.03	<=5
15408000	Große Laber	Schönach	406	1954	0,259	0,88	2,26		0,37	1,12	2,76	08.08.03	<=5
16004006	Isar	Bad Tölz Kraftwerk	1554	1958	5,36	11,00	27,7		12,10	10,10	6,50	10.12.03	<=5
16006500	Isar	Freising	3088	1951	4,64	8,89	21		6,57	20,90	6,77	03.01.04	<=5
16008007	Isar	Landau	8467	1926	59,0	87,80	168	61,30	81,20	87,10	10,29	14.08.03	<=5
16404004	Loisach	Eschenlohe	467	1931	3,40	5,62	17,9	6,00	6,57	6,42	13,75	09.11.03	<=5
16602303	Amper	Stegen	989	1931	2,50	8,58	21,2	4,50	7,20	5,11	5,17	27.08.03	>20-30
16605006	Amper	Fürstenfeldbruck	1235	1921	3,40	9,32	23,4	4,05	9,06	4,78	3,87	26.08.03	>30
16607001	Amper	Inkofen	3043	1921	10,7	24,50	44,8	11,00	21,50	17,10	5,62	26.08.03	>10-15
16613004	Ammer	Weilheim	601	1926	2,60	5,46	15,5	3,20	5,08	1,68	2,80	03.01.04	>30
16686008	Glonn	Hohenkammer	392	1936	0,460	1,30	3,23	0,54	1,63	1,85	4,72	25.08.03	<=5
17406005	Ilz	Kalteneck	762	1921	2,40	4,67	15,9	2,83	4,32	3,44	4,51	26.08.03	>15-20
18000403	Inn	Oberaudorf	9712	1901	52,0	86,00	306	108,00	136,00	117,00	12,05	29.12.03	<=5
18008008	Inn	Passau-Ingling	26084	1921	195,0	275,00	740	198,00	315,00	306,00	11,73	02.01.04	<=5
18209000	Mangfall	Rosenheim	1099	1966	1,02	2,45	17,5		1,67	3,18	2,89	11.08.03	<=5
18454003	Tir.Aachen	Staudach	944	1921	7,18	11,50	35,4	9,00	10,70	9,32	9,87	10.12.03	>5-10
18481006	Traun	Hochberg	276	1969	2,28	3,27	11,1		3,93	2,55	9,26	24.08.03	>10-15
18606000	Salzach	Burghausen	6649	1901	41,5	77,40	252	45,10	94,10	86,10	12,95	03.01.04	<=5
18642003	Saalach	Unterjettenberg	940	1901	4,51	8,77	38,4	4,75	12,30	9,37	9,97	26.08.03	<=5
24010004	Main	Kemmern	4251	1931	3,10	10,20	43,7		4,86	4,37	1,03	25.09.03	>30
24022003	Main	Schweinfurt	12715	1900	11,0	34,80	105	20,10	16,50	39,80	3,13	25.08.03	<=5
24064003	Main	Kleinheubach	21505	1959	11,0	50,10	160		15,20	52,40	2,44	26.08.03	<=5
24125006	Roter Main	Unterzettlitz	501	1946	0,580	0,70	3,17	0,68	0,59	0,73	1,46	25.08.03	>5-10
24143008	Rodach	Unterlangenstadt	713	1931	0,220	1,29	10,4	0,26	0,91	0,46	0,65	12.08.03	>20-30
24163005	Ilz	Schenkenau	956	1968	0,777	2,06	9,2		1,15	1,40	1,46	10.08.03	>15-20
24201501	Regnitz	Hüttendorf	3870	1954	7,07	13,70	28,4		7,82	17,90	4,63	03.01.04	<=5
24218708	Bibert	Zirndorf	323	1964	0,076	0,58	1,62		0,17	0,37	1,14	24.08.03	>10-15
24225000	Pegnitz	Nürnberg	1192	1911	3,48	6,82	11,3	5,16	4,98	5,44	4,56	11.08.03	>5-10
24242054	Wiesent	Muggendorf	664	1957	3,98	4,51	7,06		3,07	4,95	7,45	10.08.03	<=5
24263000	Aisch	Laufermühle	954	1927	0,300	1,48	5,02	0,57	0,46	0,93	0,97	24.08.03	>5-10
24295505	Rauhe Ebrach	Vorra	300	1967	0,040	0,45	2,02		0,27	0,29	0,97	03.01.04	>10-15
24403007	Fränk. Saale	Salz	1044	1961	1,00	2,17	8,7		1,08	1,45	1,39	12.11.03	>5-10
24482003	Sinn	Mittelsinn	457	1951	0,610	1,35	5,88		0,66	0,86	1,88	25.08.03	>10-15
56001502	Sächs. Saale	Hof	521	1920	0,140	1,30	5,52	0,46	0,31	0,76	1,46	09.12.03	<=5

Seepegel					Gew.kundl. Hauptz.			1947	1976	2003			
Pegel nummer	See	Pegelname	A <sub>EO</sub> in km <sup>2</sup>	Daten seit	NW cm	MNW cm	MW cm	NM <sub>7</sub> W cm	NM <sub>7</sub> W cm	NM <sub>7</sub> W cm		Datum	Tn (NM <sub>7</sub> Q)
16602008	Ammersee	Stegen	989	1975	119	123,00	140		123,00	117,00		27.08.03	>30
16663002	Starnberg	Starnberg	312	1971	34	50,00	69		46,60	36,60		28.09.03	>30
18201008	Tegernsee	St. Quirin	211	1973	-1	11,00	33		16,00	14,80		14.08.03	<=5
18400503	Chiemsee	Stock	1388	1976	30	43,00	86,00		44,60	37,20		04.01.04	>5-10

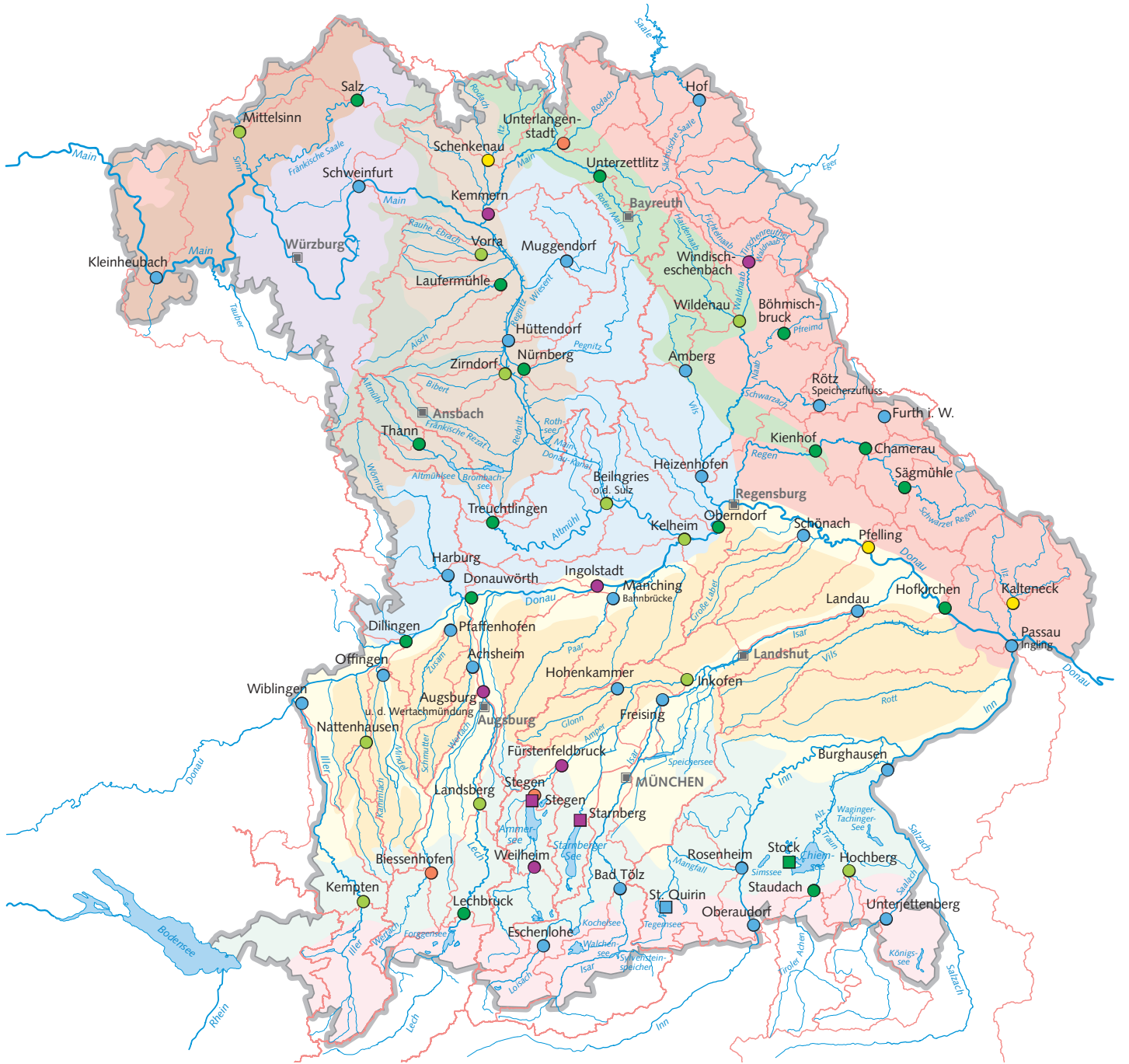
**Tab. 3.1** Untersuchte Pegel mit Einzugsgebietsgröße (A<sub>EO</sub>), Beginn der Messreihe, Gewässerkundlichen Hauptzahlen, den NM<sub>7</sub>Q- bzw. NM<sub>7</sub>W-Werten (zur Definition siehe Kap 3.1.1) im Niedrigwasserjahr 2003 und zum Vergleich in den vorangegangenen Niedrigwasserjahren 1947 und 1976 soweit vorhanden. Mit aufgeführt ist auch das Datum, an dem der NM<sub>7</sub>Q/NM<sub>7</sub>W auftrat (mittlerer Tag der 7-tägigen Periode), die Abflusspende MN<sub>7</sub>q (berechnet aus NM<sub>7</sub>Q geteilt durch die Einzugsgebietsfläche A<sub>EO</sub>) und die berechnete Jährlichkeit Tn des 2003er Niedrigwasserereignisses (zur Berechnung siehe Kap. 3.1.5).

## Oberirdischer Abfluss

### 3.2.3 Räumliche Verteilung der Jährlichkeiten

In Abb. 3.3 ist die räumliche Verteilung der Jährlichkeiten des  $NM_7Q_{2003}$  in Bayern dargestellt. Am stärksten betroffen waren die Einzugsgebiete der Amper, der Wertach, des Oberen Main, die untere Donau und einzelne Einzugsgebiete im Bayerischen und Oberpfälzer Wald.





Jährlichkeiten der NM<sub>7</sub>-Q-Werte an Flusspegeln

- ≤ 5
- > 5 – 10
- > 10 – 15
- > 15 – 20
- > 20 – 30
- > 30

Jährlichkeiten der NM<sub>7</sub>-W-Werte an Seepegeln

- ≤ 5
- > 5 – 10
- > 10 – 15
- > 15 – 20
- > 20 – 30
- > 30

Porengrundwasserleiter

- Voralpiner Moränen-Gürtel
- Schotterflächen und Flusstalfüllungen
- Tertiärhügelland

Kluftgrundwasserleiter

- Buntsandstein-Spessart
- Fränk. Gips-Keuper
- Fränk. Sandstein-Keuper
- Ostbayer. Trias-Kreide-Bruchschollenland
- Kristallines Grundgebirge

Karstgrundwasserleiter

- Mainfränk. Muschelkalk-Platten
- Schwäb./Fränk. Jura
- Alpiner Raum

— Einzugsgebiete der untersuchten Pegel

- Sitze der Bezirksregierungen

Topographische Grunddaten: Geobasisdaten  
© Bayerische Vermessungsverwaltung

0 50 km

© Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayer. Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Abb. 3.2 Jährlichkeiten der NM<sub>7</sub>-Q und NM<sub>7</sub>-W-Werte im Jahr 2003 an Flüssen und Seen in Bayern

### 3.2.4 Räumliche Verteilung der Abflussspenden

Abb. 3.4 zeigt die Abflussspenden zum Zeitpunkt der niedrigsten 7-tägigen Abflussmittel 2003. Hier ergibt sich ein völlig anderes Bild als bei der Karte der Jährlichkeiten der  $NM_{7Q}$ . Es spiegelt sich die generelle Niederschlags- und Abflussverteilung in Bayern: niedrige Abflussspenden im Norden d.h. im Main Einzugsgebiet und demgegenüber hohe Abflussspenden bei den südlichen Donauzuflüssen. Die höchsten  $NM_{7q}$  mit Spenden von über  $10 \text{ l/s*km}^2$  treten am Lech, an der unteren Isar, der Loisach sowie Inn und Salzach auf. Demgegenüber weisen 2/3 der Pegel im Main Einzugsgebiet eine 7-tägig niedrigste Abflussspende von unter  $2 \text{ l/s*km}^2$  auf. Selbst bei den Pegeln mit sehr seltenen Niedrigwasserabflüssen z.B. am Lech, Ammer/Amper und Donau ist die Abflussspende  $NM_{7q}$  der niedrigsten Abflüsse noch höher als bei den meisten Pegeln im Regnitz- und Main Einzugsgebiet.

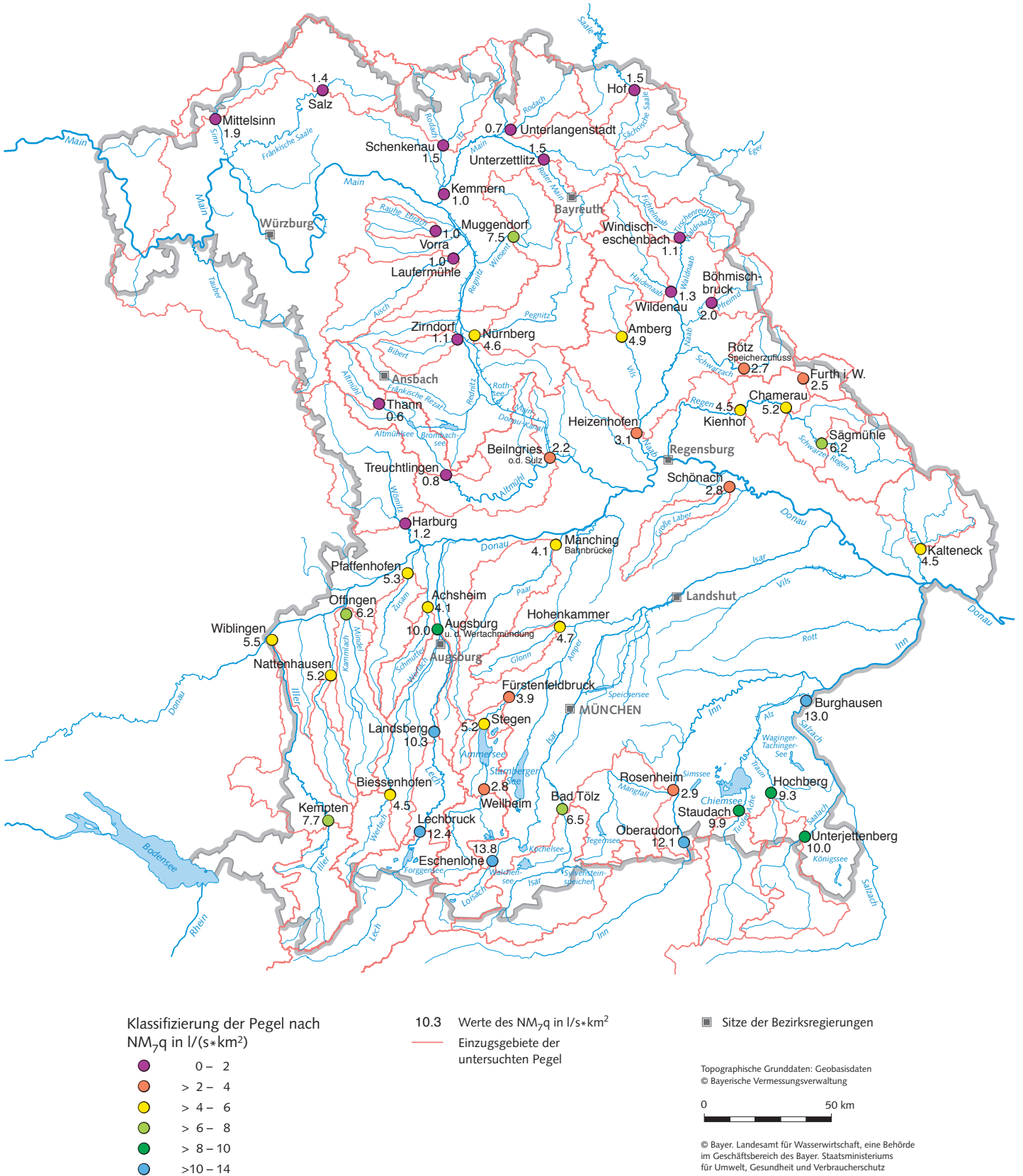


Abb. 3.6 Niedrigster 7-tägiger Mittelwert der Abflusspenden im Jahr 2003 ( $NM_{7q2003}$ )

### 3.3 Regionale Niedrigwasserverhältnisse

Nachfolgend werden die Abfluss- und Wasserstandsverhältnisse im Wasserhaushaltsjahr 2003 regional beschrieben und interpretiert. In den Grafiken werden die Abflüsse bzw. Wasserstände als Tages- und Monatsmittelwerte im Zeitraum vom November 2002 bis März 2004 und, soweit Daten vorhanden, auch darüber hinaus dargestellt. Zum Vergleich sind die mehrjährigen Monatsmittelwerte des Zeitraums 1970 – 2000 sowie MQ und MNQ der gesamten Messreihe aus den Gewässerkundlichen Jahrbüchern mit eingezeichnet. Die Skala der y-Achse wurde so gewählt, dass die Situation vor allem im Niedrigwasserbereich gut zu erkennen ist, dadurch wurden die hohen Abflusswerte z.T. abgeschnitten.

#### 3.3.1 Südliche Donauzuflüsse

##### 3.3.1.1 Iller

An der Iller wurde am Pegel Kempton ein 10-15-jährlicher Niedrigwasserabfluss erreicht, obwohl tagsüber aus dem Rottachsee 2 m³/s zugegeben wurden.

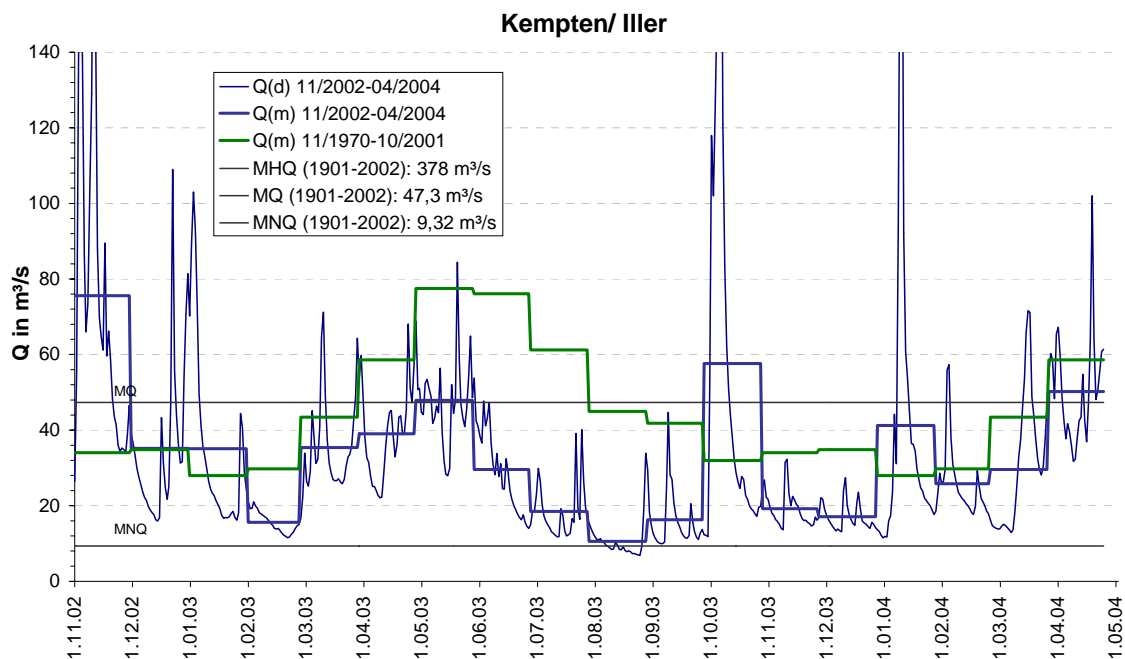


Abb. 3.5 Abflussganglinie am Pegel Kempton/Iller. Der Anstieg der Abflüsse von März bis Mai ist auf Schneeschmelze zurückzuführen.



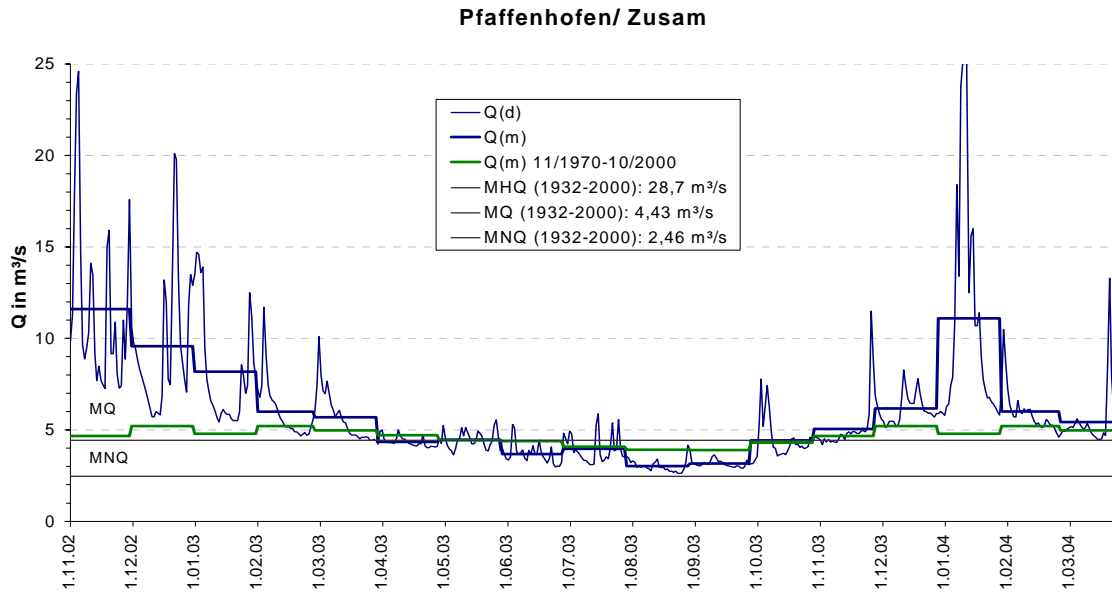
**Abb. 3.6** Niedrigwasser an der Iller bei Sonthofen oberhalb des Rottachsees. Links im Bild die freiliegenden Kiesbänke des Gleithangs.

Im Bereich der Mündung in die Donau am Pegel Wiblingen macht sich der Einfluss der ergiebigen Lockergesteins-Grundwasserleiter bemerkbar: Die Abflüsse bleiben auch im Wasserhaushaltsjahr 2003 stets über dem MNQ.

### 3.3.1.2 Donauzuflüsse mit starkem Grundwassereinfluss

Der Abfluss im südlichen Donau- und Alpenvorland wird von Grundwasserbegleitströmen des ergiebigen und gut durchlässigen Porengrundwasserleiters des Tertiärhügellandes, der Schotterflächen und Flusstalfüllungen dominiert. Da die Grundwasserspeicher durch das Nassjahr 2002 gut gefüllt waren, wurde das Niederschlagsdefizit an diesen Flüssen durch den Grundwasserzufluss abgepuffert. An Mindel, Zusam, Schmutter, Paar und Glonn wurden 2003 Jährlichkeiten unter 5 Jahren ermittelt d.h. es gab nur durchschnittliche Niedrigwasserabflüsse. An der Zusam wurde der MNQ, das mehrjährige Mittel des niedrigsten Abflusses jeden Jahres, nicht unterschritten, an der Glonn lagen die Werte im Wasserhaushaltsjahr 2003 stets deutlich darüber.

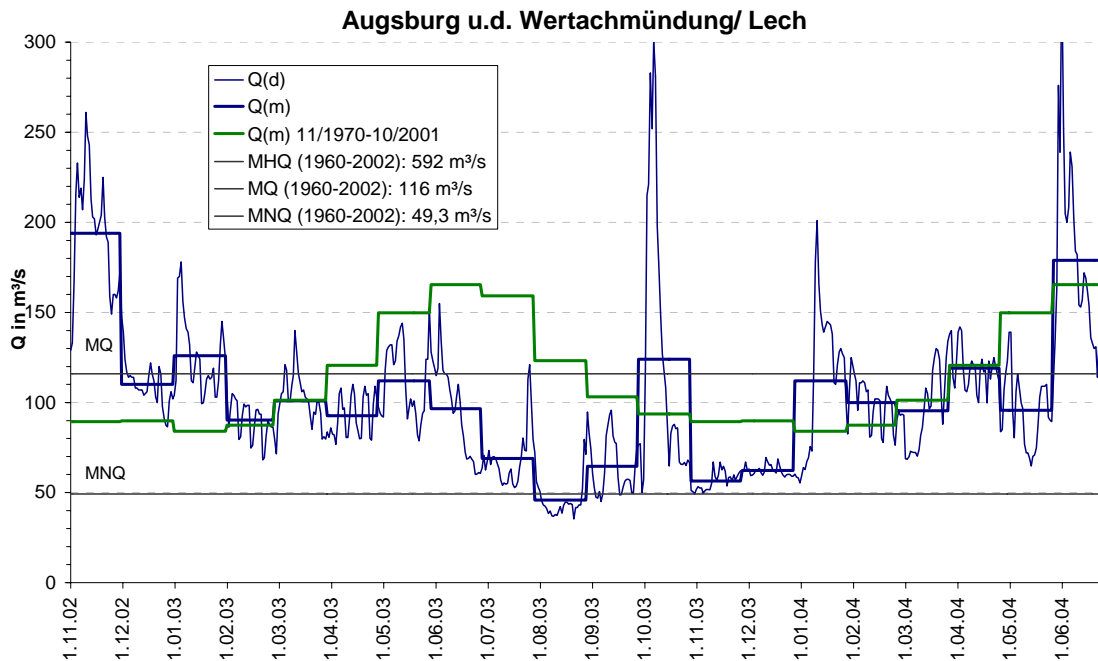
## Oberirdischer Abfluss



**Abb. 3.7** Flüsse mit einem hohen Anteil an Grundwasser sind gekennzeichnet durch einen sehr gleichmäßigen mittleren Jahresgang des Abflusses. Im Niedrigwasserjahr 2003 wurde das Niederschlagsdefizit bei diesen Flüssen durch einen hohen Grundwasserstand aus dem vorangegangenen Nassjahr 2002 abgefangen.

### 3.3.1.3 Lech

Der Lech ist durch den Forggensee und eine Kette von Staustufen für die Wasserkraftwerke in hohem Maße anthropogen beeinflusst. Die Monatsmittelwerte des Abflusses lagen im Sommer und Herbst 2003 sehr viel niedriger als die mehrjährigen Monatsmittel. Dies lässt, zusammen mit den hohen Jährlichkeiten am unteren Lech und einem 20-30-jährlichen Niedrigwasser am Pegel Biessenhofen/Wertach, auf ein ausgeprägtes Niedrigwasser an den Zuflüssen im Lecheinzugsgebiet schließen.



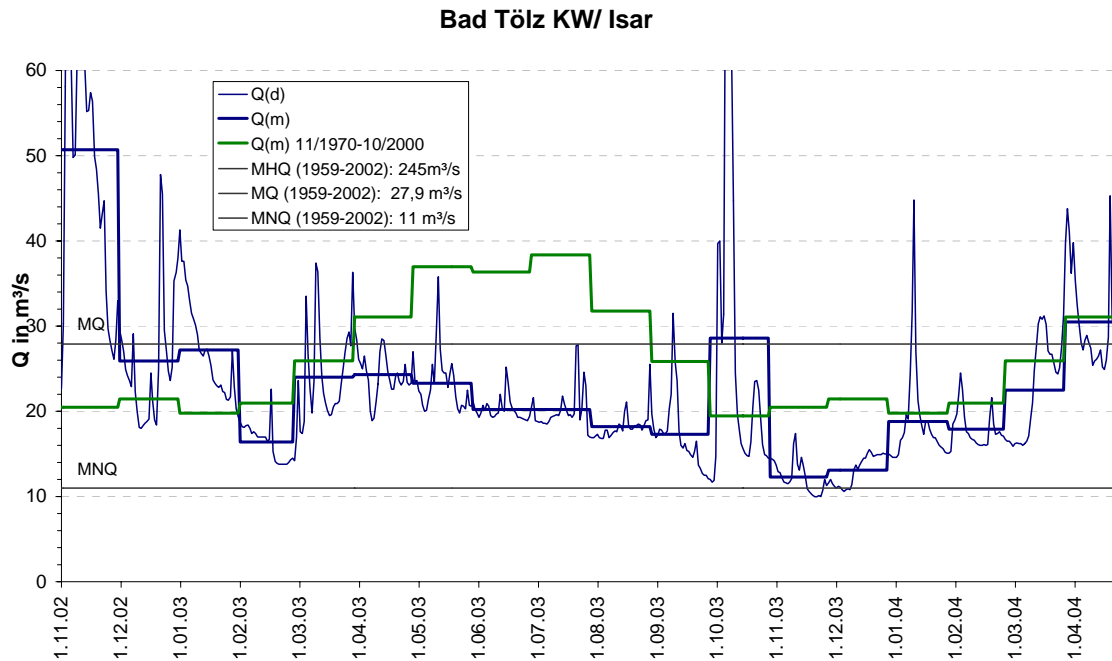
**Abb. 3.8** Abflussganglinie am Pegel Augsburg unterhalb der Wertachmündung/Lech. Die Abflussdynamik am Lech ist durch Staustufen sehr stark anthropogen geprägt, wie auch an den “Zacken” in der Ganglinie gut zu erkennen ist. Auch die niedrigsten Abflüsse im August sind wahrscheinlich durch Steuerung und Stauhaltung bedingt. Die deutlich unter den mehrjährigen Monatsmittelwerten liegenden Abflüsse von April bis September und auch im November und Dezember 2003 lassen die ausgeprägte Niedrigwassersituation erkennen



**Abb. 3.9** Niedrigwasser im Sommer 2003 am Oberlauf der Wertach (Pegel Wertach/Wertach)

Bemerkenswert sind am Lech die trotz des aussergewöhnlichen Niedrigwassers vergleichsweise hohen Abflusspenden, die zum Zeitpunkt der  $MN_7Q$  noch über  $10 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  betragen.

## 3.3.1.4 Isar



**Abb. 3.10** Abflussverlauf am Pegel Bad Tölz/Isar. Die Abflüsse sind stark durch Zuschusswasser aus dem Sylvensteinspeicher beeinflusst. Die niedrigsten Abflüsse traten erst im November 2003 auf.

Die Niedrigwasseraufhöhung aus dem Sylvensteinspeicher machte im Sommer 2003 einen großen Teil, an einzelnen Tagen bis zu 60% des Abflusses der Isar am Pegel Bad Tölz aus (siehe auch Kap. 5.3.2.2).

An den Isarpegeln Bad Tölz, Freising und Landau wurde nur durchschnittliches Niedrigwasser mit Jährlichkeiten von unter 5 Jahren beobachtet. Auch bei der relativ unbeeinflussten Loisach blieben am Pegel Eschenlohe die Abflüsse aus Schnee- und Gletscherschmelze im Jahr 2003 stets über MNQ. Die niedrigsten Abflüsse traten erst im November auf.

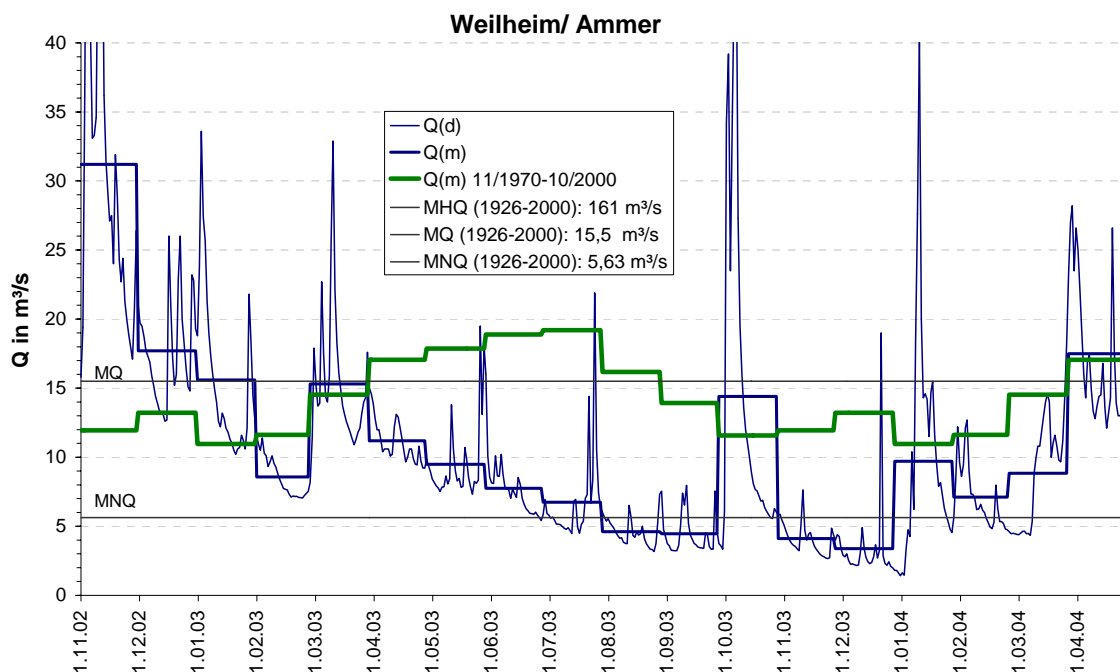


**Abb. 3.11** An der Altlach, einem kleinen Zufluss zum Walchensee mit einem Einzugsgebiet von 5,3 km<sup>2</sup> Fläche, fließt im Sommer 2003 nur noch wenig Wasser über die Vertiefung in der Mitte des Überfalls.



### 3.3.1.5 Amper

Das Einzugsgebiet der Amper war, wie auch in Abb. 3.3 zu sehen ist, am stärksten von Niedrigwasserständen betroffen. Am Pegel Weilheim/Ammer wurde 2003 der niedrigste jemals gemessene Abfluss der bis zum Jahr 1926 zurückgehenden Zeitreihe unterschritten. Auch der Ammersee fiel unter den niedrigsten Wasserstand der allerdings nur bis 1975 zurückgehenden Zeitreihe. Der Starnberger See erreichte den zweitniedrigsten Wasserstand seit Beginn der Messreihe 1971.



**Abb. 3.12** Abflüsse am Pegel Weilheim/Ammer. Die Schneeschmelze erhöht die Abflüsse im März, danach gehen die Abflüsse kontinuierlich zurück und fallen auch nach dem Niederschlagsereignis im Oktober noch auf weitere Rekord-Niedrigwasserabflüsse. Im Dezember 2003 wird auch der bisher niedrigste Tagesmittelwert des Abflusses seit Beginn der Messungen im Jahr 1926 deutlich unterschritten.

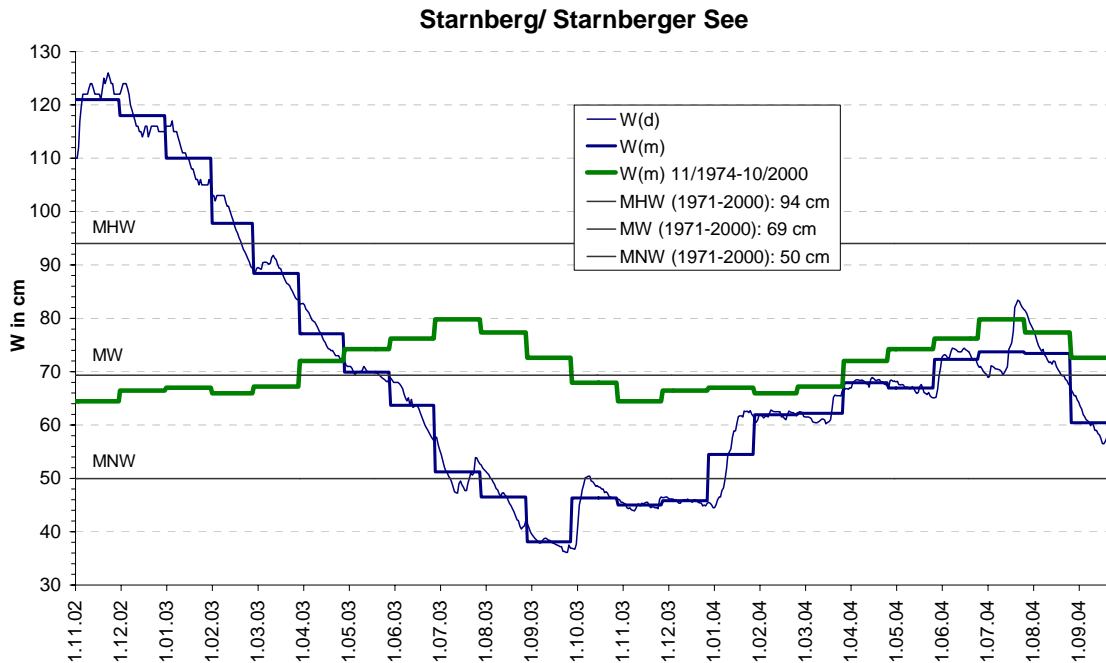
Die Schneeschmelze fand 2003 in den voralpinen Einzugsgebieten früher statt als in anderen Jahren, und der Grundwasserzufluss aus dem Grundwasserleiter des voralpinen Moränengürtels konnte die ausbleibenden Niederschläge nicht in dem Maße auffangen wie die ergiebigeren Grundwasserleiter des Tertiärhügellandes. Die Abflussspenden zum Zeitpunkt des  $MN_7Q$  liegen mit 3 bis 6  $m^3/s$  allerdings noch über denen der meisten Pegel im Maingebiet (siehe Abb. 3.4).

## Oberirdischer Abfluss

An der Amper machte sich die ausgleichende Wirkung des Ammersees in den Ganglinien bemerkbar. Nach dem Niederschlagsereignis im Oktober fielen die Abflüsse hier im Gegensatz zum Pegel Weilheim/Ammer nicht mehr unter den MNQ-Wert. Allerdings wurden Ende August 2003 auch an der Amper Niedrigwasserabflüsse mit Jährlichkeiten von 10 bis über 30 Jahren erreicht.



**Abb. 3.13** Pegel Weilheim/Ammer im Sommer 2003: Geringe Wassermengen fließen über die Schwelle am Pegel, im Vordergrund ist das freiliegende Kiesbett zu sehen.

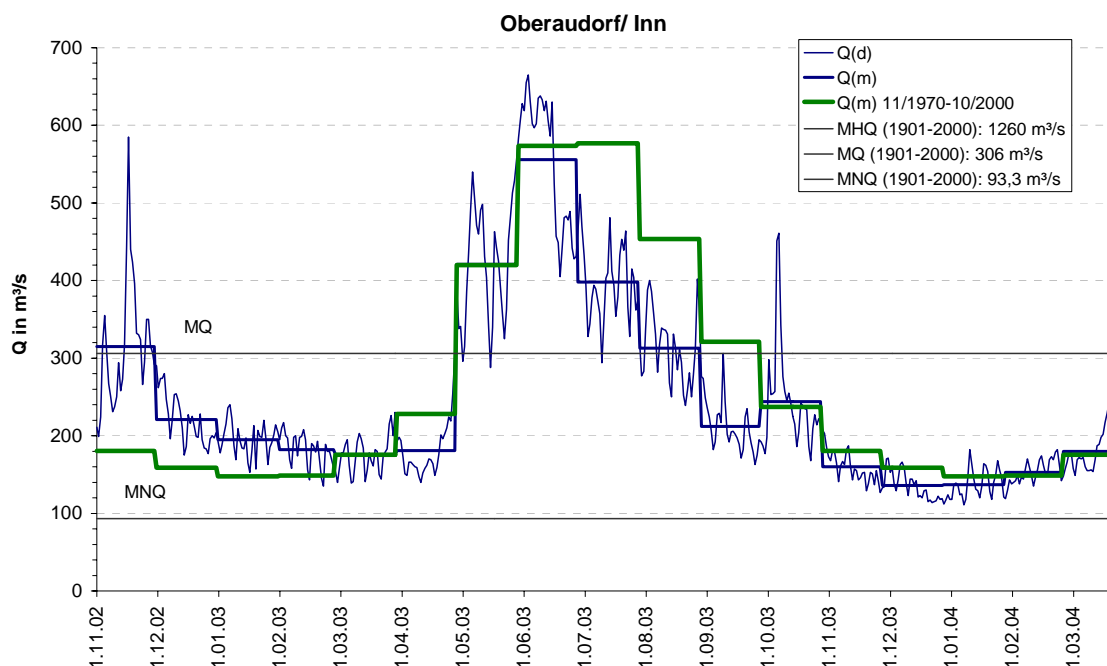


**Abb. 3.14** Wasserstandsganglinie am Pegel Starnberg/Starnberger See. Ausgehend von einem Wasserstand deutlich über MHW (Arithmetischer Mittelwert der Höchsten Abfluss- Stundenwerte jeden Jahres) im Dezember 2002 fallen die Wasserstände über einen Zeitraum von 10 Monaten nahezu kontinuierlich bis weit unter MNW (Arithmetischer Mittelwert der kleinsten Wasserstands-Tagesmittelwertes jeden Jahres). Ende September 2003 wird der bisher zweitniedrigste  $NM_7W$  der Messreihe seit 1971 beobachtet. Die Monatsmittelwerte bleiben auch zu Beginn des Wasserhaushaltsjahres 2004 noch unter den mehrjährigen Monatsmittelwerten.

### 3.3.1.6 Inn

Die Einzugsgebiete von Inn, Salzach und Saalach sind glazial geprägt, sie haben im Sommer die höchsten Abflüsse und Niedrigwasser im Winter, wenn der Niederschlag als Schnee fällt. Flussabwärts wird die Abflussdynamik aber auch vom zunehmendem Anteil des nicht-glazialen Einzugsgebietes mit geprägt.

Bedingt durch die starke Gletscherschmelze aus den österreichischen Einzugsgebietsanteilen unterschritt kein Pegel an Inn und Salzach im Jahr 2003 MNQ, die niedrigsten Abflüsse traten Ende Dezember 2003/Anfang Januar 2004 auf. Die Abflussspenden von über  $10 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  zu diesem Zeitpunkt sind im Vergleich zu anderen Pegeln sehr hoch.



**Abb. 3.15** Abflussganglinie am Pegel Oberaudorf/Inn: Die glazialen Flüsse Inn und Saalach zeigen über das Jahr eine völlig andere Abflussverteilung mit höchsten Abflüssen im Juni und Niedrigstwerten im Winter. Die Zacken in der Ganglinie stammen von Steuerungen der Kraftwerksbetreiber.

An den anderen Pegeln im Inneinzugsgebiet ist der glaziale Einfluss nicht so ausgeprägt, dennoch wurde an den Pegeln am Tegernsee und an der Mangfall 2003 MNW bzw. MNQ nicht unterschritten. Am Pegel Staudach/Tiroler Aachen und am Chiemsee sanken die Abflüsse bzw. Wasserstände Ende Dezember 2003/Anfang Januar 2004 auf 5 bis 10-jährliche Werte. Am Pegel Hochberg/Traun wurde Ende August ein 10 bis 15-jährliches Niedrigwasser beobachtet.

## Oberirdischer Abfluss

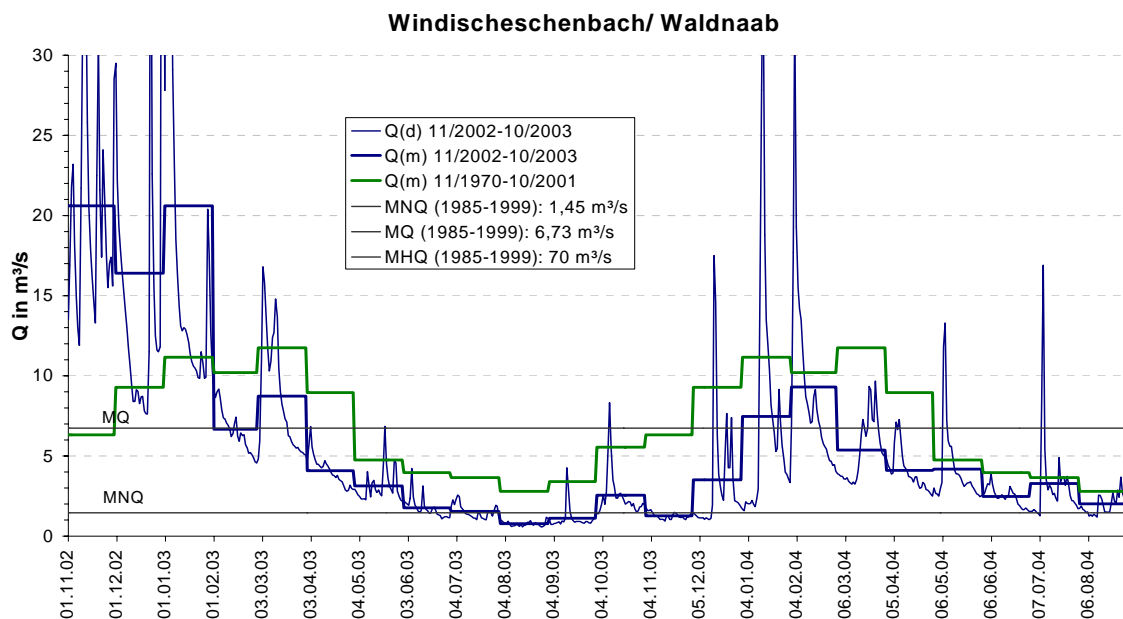
### 3.3.2 Nördliche Donauzuflüsse

#### 3.3.2.1 Wörnitz und Altmühl

An Wörnitz und Altmühl traten keine außergewöhnlichen Niedrigwasser auf, lediglich am Pegel Beilngries/Altmühl wurde ein etwa 10-jährliches Ereignis erreicht, durch die relativ kurze Messreihe (Beginn: 1985) wird die Seltenheit des 2003er Niedrigwasserereignisses hier wahrscheinlich überschätzt. Die Abflüsse der Wörnitz unterschritten MNQ kaum.

#### 3.3.2.2 Naab

Das Einzugsgebiet der Naab ist hydrogeologisch sehr heterogen, entsprechend unterschiedlich stellte sich die 2003er Niedrigwassersituation an den verschiedenen Nebenflüssen dar. Das Einzugsgebiet der Waldnaab liegt im Kristallinen Grundgebirge, das als Kluftgrundwasserleiter nur eine geringe Speicherkapazität aufweist. Am Pegel Windischeschenbach trat 2003 ein bemerkenswertes Niedrigwasser mit einer Jährlichkeit von über 30 Jahren auf. In den Einzugsgebieten von Pfreimd und Schwarzach, die der gleichen geologischen Formation angehören, trat nur ein 5 bis 10- bzw. 2 bis 5-jährliches Niedrigwasser auf. An der Schwarzach ist das vor allem auf den Einfluss der Niedrigwasseraufhöhung durch mehrere im Einzugsgebiet gelegene Seen zu erklären, ohne die das Niedrigwasser deutlicher ausgefallen wäre.



**Abb. 3.16** Abflussverlauf am Pegel Windischeschenbach/ Waldnaab. Durch den wenig ergiebigen Kluftgrundwasserleiter des kristallinen Grundgebirges gingen die Abflüsse an der Waldnaab während des monatelangen Niederschlagsdefizits auf Niedrigwasserwerte mit Jährlichkeiten von über 30 Jahren zurück. Selbst nach der Grundwasserneubildungsphase im Winter lagen die Monatsmittelwerte des Abflusses auch 2004 noch deutlich unter den mehrjährigen Monatsmittelwerten, MNQ wurde im Sommer 2004 an einigen Tagen bereits wieder unterschritten.

An der Haidenaab, deren Einzugsgebiet im Trias-Kreide Bruchschollenland liegt, wurde ein 5 bis 10-jährliches Niedrigwasser beobachtet. An der Vils, deren Einzugsgebiet zum Teil im Bereich des ergiebigen Karstgrundwasserleiters der Fränkischen Alb liegt, wurde der mehrjährige  $NM_7Q$  nicht unterschritten. Insgesamt ergab sich am Pegel Heitzenhofen an der unteren Naab ein 2 bis 5-jährliches und damit durchschnittliches Niedrigwasser.

### 3.3.2.3 Regen

Im Einzugsgebiet des Regen traten, trotz der Lage im Kristallinen Grundgebirge, das nur über vergleichsweise geringe Grundwasserspeicher verfügt, keine außergewöhnlichen Niedrigwasserstände auf. Die Abgabe der Trinkwassertalsperre Frauenau mit bis zu  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$  fiel gegenüber dem  $MN_7Q_{2003}$  von  $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$  am Pegel Sägmühle kaum ins Gewicht.

Die Ganglinie am Pegel Sägmühle/Regen ist in Abb. 3.2 in Kapitel 3.2.1 dargestellt. Bemerkenswert ist hier, wie auch an den anderen Pegeln im Regeneinzugsgebiet, dass der Abfluss nach dem Niederschlagsereignis im Oktober kaum höher liegt als im Monat davor und die Werte im Juni 2004, nach der Neubildungsphase des Winter 2003/2004, bereits wieder auf ähnlich niedrige Werte gefallen sind wie im Juni 2003. Das lässt auf ein langsames Wiederauffüllen der Grundwasserspeicher schließen.

### 3.3.2.4 Ilz

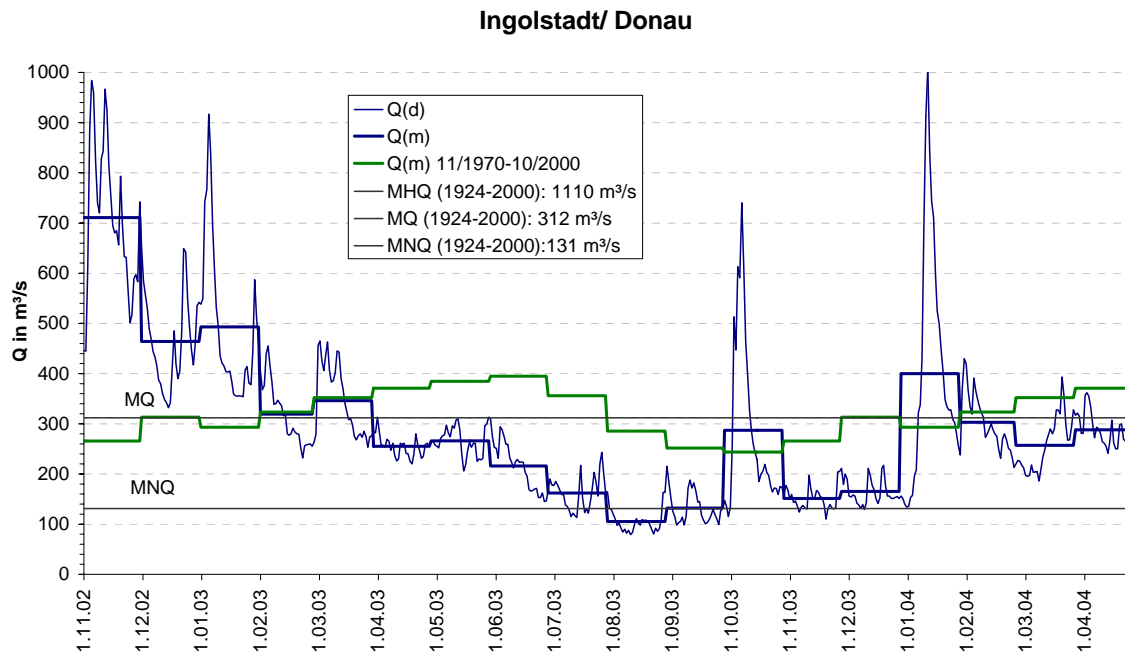
Auch die Ilz am Pegel Kalteneck hat ihr Einzugsgebiet im Kristallinen Grundgebirge, hier trat 2003 ein 10 bis 20-jährliches Niedrigwasser auf.

### 3.3.3 Donau

Entlang der Donau wird die Niedrigwassersituation von den Nebenflüssen und deren Anteil am Donauabfluss bei Mittel- oder durchschnittlichem Niedrigwasser bestimmt. Zum Donauabfluss, der beispielsweise bei Dillingen gerade einmal einen  $MNQ$  von  $68 \text{ m}^3/\text{s}$  aufweist, tragen Lech, Isar und Inn, mit einem  $MNQ$  von 50, 88 bzw.  $275 \text{ m}^3/\text{s}$  in größerem Maße bei, wohingegen die drei größten nördlichen Zuflüsse Altmühl, Naab und Regen mit einem  $MNQ$  von 7, 18 bzw.  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  weniger bedeutend sind.

Ähnlich wie die Zuflüsse aus dem Alpenvorland führte die obere Donau bei Dillingen und Donauwörth mit Jährlichkeiten von etwas über 5 Jahren kein außergewöhnliches Niedrigwasser. Das änderte sich unterhalb der Einmündung des Lech: Am Pegel Ingolstadt fielen die Abflüsse im August auf ein Niveau, wie es statistisch nur einmal in 30 Jahren auftritt.

## Oberirdischer Abfluss



**Abb. 3.17** Abflussganglinie am Pegel Ingolstadt/Donau. Ähnlich wie am Pegel Augsburg u.d.W. treten die niedrigsten Werte im August auf. Am Pegel Ingolstadt wurde 2003 ein Niedrigwasser mit einem Wiederkehrintervall von über 30 Jahren erreicht.

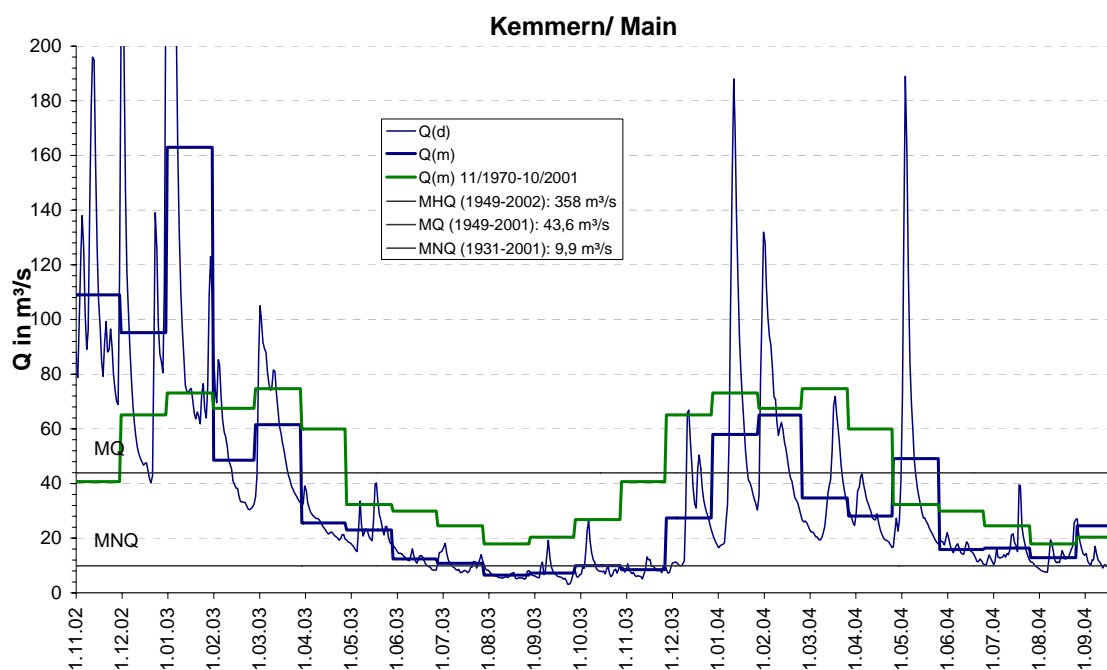
Weiter donauabwärts traten auch an den Pegeln Kelheim, Pfelling (siehe Abb. 5.14) und Hofkirchen im August 2003 bemerkenswerte Niedrigwasserabflüsse mit Jährlichkeiten zwischen 10 und 20 Jahren auf. In den Monaten Juni bis September sowie November und Dezember lagen an der schiffbaren Donau die Abflüsse unter oder nur geringfügig über dem MNQ, was vor allem für die Schifffahrt zum Problem wurde (siehe auch Kap. 5.5).

### 3.3.4 Maingebiet

#### 3.3.4.1 Main oberhalb Regnitz

Im Einzugsgebiet des Main oberhalb der Regnitzeinmündung traten 2003 an mehreren Messstellen bemerkenswerte Niedrigwasserabflüsse auf. Auch die Abflusspenden zum Zeitpunkt des  $NM_7Q_{2003}$  sind mit weniger als  $2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  sehr niedrig. Am oberen Main gab es bereits im September ein Niederschlagsereignis, das die Flüsse wieder ansteigen ließ, die Niederschläge im Oktober fielen jedoch geringer aus als in Südbayern.

Stark vom Niedrigwasser betroffen war das Einzugsgebiet der Rodach, deren Untergrund zu grossen Teilen aus Gesteinen des Kristallinen Grundgebirges gebildet wird. Am Pegel Unterlangensstadt lagen die Monatsmittelwerte von Juni bis September unter MNQ, dort trat ein 20 bis 30-jährliches Niedrigwasser auf. Auch an Itz und Rotem Main im Bereich des Ostbayerischen Trias-Kreide-Bruchschollenland wurden Niedrigwasser registriert, wie sie statistisch einmal in 15 bis 20 bzw. einmal in 5 bis 10 Jahren auftreten. Die Niedrigwasserführung der Quell- und Nebenflüsse hatte zur Folge, dass Ende September am Pegel Kemmern/Main der zweitniedrigste NM<sub>7</sub>Q seit 1931 beobachtet wurde, was einer Jährlichkeit von über 30 Jahren entspricht.



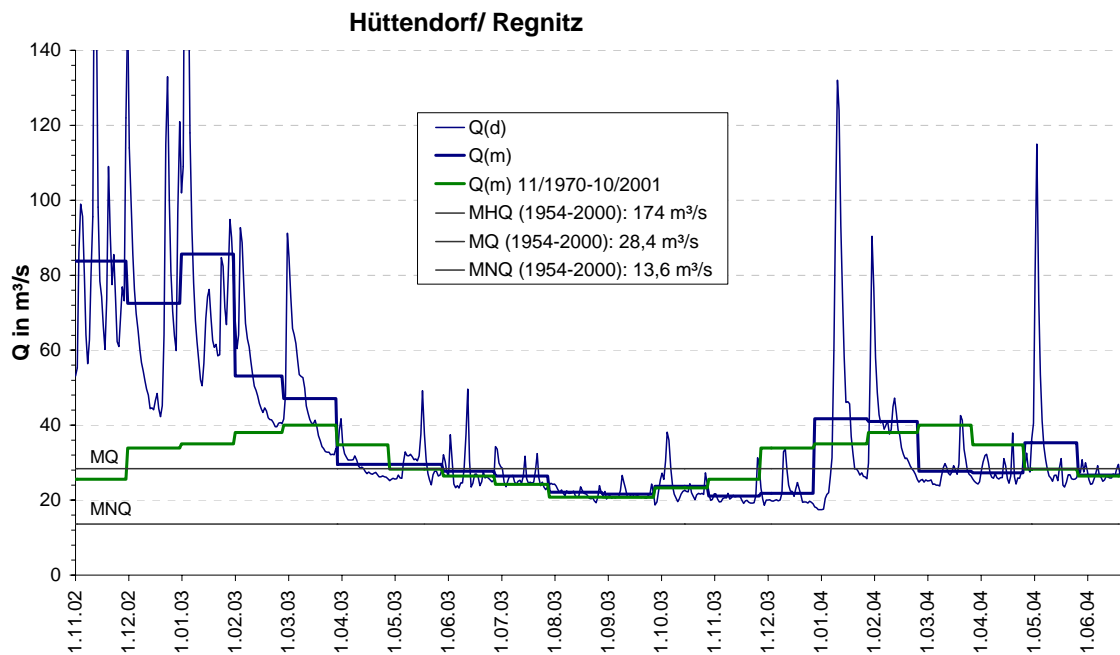
**Abb. 3.18** Abflussganglinie am Pegel Kemmern/ Main: Die Monatsmittelwerte lagen seit April 2003 unter den mehrjährigen Monatsmitteln, was Ende September zu einem Niedrigwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von über 30 Jahren führte. Auch nach der Grundwasserneubildungsphase im Winter blieben die Abfluss - Monatsmittel im Wasserhaushaltsjahr 2004 noch deutlich unter den mehrjährigen Mittelwerten.

### 3.3.4.2 Regnitz und Regnitzzuflüsse

Die rechtsseitigen Regnitzzuflüsse werden von den ergiebigen Karstgrundwasserleitern des Fränkischen Jura gespeist und führten 2003 nur durchschnittliches Niedrigwasser. Am Pegel Muggendorf/Wiesent blieben die Werte im Wasserhaushaltsjahr 2003 sogar immer über MNQ. An den linksseitigen Regnitzzuflüssen, geologisch im Fränkischen Gips- bzw. Sandsteinkeuper gelegen, fallen die Abflüsse auf 5-15-jährliche Werte.

## Oberirdischer Abfluss

Zu Niedrigwasserzeiten wird der Abfluss an der Rednitz bzw. Regnitz stark durch das Zuschusswasser aus dem Donau-Main-Überleitungssystem beeinflusst. Mit einem außergewöhnlichen Niedrigwasser wäre 2003 allerdings aufgrund der unkritischen Situation an den Regnitznebenflüssen ohnehin nicht zu rechnen gewesen.



**Abb. 3.19** Abflussganglinie am Pegel Hüttendorf/Regnitz. Der Abfluss wird durch Zuschusswasser aus dem Donau-Main-Überleitungssystem im Sommer und Herbst 2003 auf ca. 20 m³/s stabilisiert. Niedrigste Abflusswerte traten daher erst Anfang Januar auf.

### 3.3.4.3 Zuflüsse zum unteren Main

Die Abflüsse an der Fränkischen Saale und an der Sinn lagen von August bis einschließlich November 2003 knapp unter MNQ, es wurden Niedrigwasserabflüsse mit einer Jährlichkeit von 5-15 Jahren erreicht.

### 3.3.4.4 Main unterhalb Regnitz

Das Niedrigwasser des oberen Main wurde durch den Zufluss der Regnitz, deren Abfluss durch Wasser aus dem Donau-Main-Überleitungssystem aufgehört wurde, ausgeglichen. Am Main blieben die Monatsmittelwerte an den Pegeln Schweinfurt und Kleinheubach zwar etwas unter den mehrjährigen Monatsmittelwerten, MNQ wurde jedoch an beiden Pegeln im Wasserhaushaltsjahr 2003 nicht unterschritten.



### 3.3.5 Sächsische Saale

Das Einzugsgebiet der Sächsischen Saale am Pegel Hof liegt geologisch betrachtet im Kristallinen Grundgebirge, das nur ein relativ geringes Grundwasservolumen speichert. Durch Zuschusswasser aus der Förmitztalsperre von  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , was etwa der Hälfte des  $\text{NM}_7\text{Q}$  entspricht, führte die Sächsische Saale ein nur durchschnittliches, knapp 5-jährliches, Niedrigwasser.

## 3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

### **Charakteristika und räumliche Verteilung des Niedrigwassers 2003**

Die Niedrigwasserperiode des Jahres 2003 war in hydrologischer Hinsicht bemerkenswert, da sie nicht nur in einzelnen Regionen, sondern flächenhaft in ganz Bayern aufgetreten ist. Auslöser waren die in zehn von zwölf Monaten stark unterdurchschnittlichen Niederschläge und die gegenüber dem 30-jährigen Mittel (1961-90) deutlich erhöhten Lufttemperaturen. Das Niederschlagsdefizit von ca. 30% hat im Spätsommer und Herbst z.T. extreme Niedrigwasserstände der oberirdischen Gewässer bewirkt. Die in Folge der vorangegangenen Nassjahre anfänglich noch hohen (Grund)Wasserstände haben sich im Jahresverlauf stabilisierend auf den Wasserhaushalt ausgewirkt und die negativen Auswirkungen insgesamt in Grenzen gehalten.

In starkem Maße von der Trockenheit betroffen waren die Einzugsgebiete von Ammer/Amper, Wertach und Lech sowie weitere voralpine bis alpine Einzugsgebiete mit geringerem Schneeeinfluss, darüber hinaus der Obere Main, einige Einzugsgebiete im Kristallinen Grundgebirge Ostbayerns sowie die Donau unterhalb der Lechmündung. Durchschnittliche Niedrigwasserverhältnisse traten 2003 an den stark vom Grundwasser gespeisten Flüssen des Alpenvorlandes und einigen Flüssen im Bereich des karstbeeinflussten Schwäbisch-Fränkischen Jura auf. Durch die gezielte Niedrigwasseraufhöhung konnten an der Isar außergewöhnliche Abflussminima vermieden werden. Vergleichsweise gering betroffen waren die glazial geprägten Flüsse Inn und Salzach.

### **Vergleich mit dem Niedrigwasserjahr 1976**

Vergleicht man die beiden Trockenjahre 1976 und 2002 anhand des Niedrigwasserkennwertes  $\text{NM}_7\text{Q}$  miteinander, so zeigt sich, dass jeweils die Hälfte der untersuchten Pegel 1976 bzw. 2002 die absolut niedrigsten Werte aufweist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die wasserwirtschaftlichen Auswirkungen einer Niedrigwasserperiode weniger mit den absoluten Abflusswerten oder Jährlichkeiten zusammenhängen, sondern vielmehr stark von der Betroffenheit einzelner Nutzungen geprägt wird. So war im Jahr 1976 schwerpunktmäßig der nordbayerische Raum vom Niedrigwasser betroffen, wo bei niedrigeren Abflussspenden und einer intensiven Beanspruchung des Wasserdargebots die Auswirkungen gravierenderer waren als die der Niedrigwasserperiode 2003.

### **Einflussfaktoren auf die Abflussdynamik**

Neben dem Niederschlag haben sich im Niedrigwasserjahr 2003 vor allem die folgenden standortbezogenen Einflussfaktoren als maßgeblich für die Abflussdynamik herausgestellt:

## **Oberirdischer Abfluss**

### Hydrogeologie des Einzugsgebietes

Unter natürlichen Verhältnissen wird der Abfluss in Niedrigwasserperioden vor allem aus dem Grundwasser gespeist. Die hydrogeologischen Eigenschaften 'Durchlässigkeit des Grundwasserleiters' und 'Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen' stellen in diesen Zeiten die wesentlichen Einflussfaktoren auf das Abflussverhalten der Einzugsgebiete dar. So konnten z.B. die mächtigen und gut durchlässigen Lockergesteins-Grundwasserleiter des Alpenvorlandes und die Karstgrundwasserleiter des Schwäbisch-Fränkischen Jura im Jahr 2003 das extreme Niederschlagsdefizit meist auf durchschnittliche Niedrigwasserabflüsse abpuffern, während zahlreiche andere Einzugsgebiete deutlich niedrigere Werte zeigten.

### Füllungsgrad der Grundwasserspeicher

Der zeitliche Verlauf der Abflüsse und Wasserstände zwischen Ende 2002 und Anfang 2004 zeigt deutlich, dass sich die vom Füllungsgrad des Grundwasserspeichers abhängige Höhe des Grundwasserabflusses spürbar auf die Wasserführung der Gewässer ausgewirkt hat. So konnte man im Jahr 2003 feststellen, dass die hohen Wasserstände des Vorjahres zu deutlich erhöhten Trockenwetterabflüssen geführt haben, was sich im weiteren Jahresverlauf als überaus vorteilhaft für den gesamten Wasserhaushalt erwiesen hat. In diesem Zusammenhang ist außerdem bemerkenswert, dass die Grundwasserneubildung des anschließenden Winterhalbjahres 2003/04 nicht ausgereicht hat, um das aufgetretene Grundwasserdefizit wieder vollständig zu kompensieren.

### Abflüsse aus Schnee- und Gletscherschmelze

Die Abflüsse aus der Schneeschmelze können im Frühjahr und z.T. noch im Frühsommer zu einem Ausgleich der Niedrigwassersituation beitragen. Aufgrund der hohen Temperaturen erfolgte die Schneeschmelze im Jahr 2003 jedoch deutlich früher als im langjährigen Mittel, so dass auf diese Weise keine landesweite Entspannung der sommerlichen Trockenwetterverhältnisse möglich war. Eine Besonderheit stellen hier allerdings die Flüsse Inn und Salzach dar, deren Abflüsse hohe Anteile aus den abschmelzenden österreichischen Gletschern erhalten haben und 2003 vergleichsweise hohe Sommerabflüsse aufwiesen.

### Anthropogene Einflüsse

Anthropogene Einflüsse können sich in Niedrigwassersituationen kleinräumig sehr unterschiedlich auswirken und sowohl positive als auch negative Konsequenzen für den Wasserhaushalt haben. Als negativ muss vor allem der gegenüber durchschnittlichen Jahren insgesamt deutlich erhöhte Wasserbedarf genannt werden, der zudem in eine Phase geringerer Wasserverfügbarkeit fällt. Eine große wasserwirtschaftliche Bedeutung haben auch die zahlreichen Stauseen und Speicherbauwerke, vor allem dann, wenn sie gezielt zur Niedrigwasseraufhöhung eingesetzt werden. Als Beispiele sei hier auf den Sylvensteinspeicher im Oberlauf der Isar, zahlreiche kleinere Talsperren im ostbayerischen Kristallin oder das Donau-Main-Überleitungssystem hingewiesen.

### Räumliche Ausdehnung der Niedrigwasserperiode

Die regional unterschiedliche Ausprägung von Niedrigwasserperioden lässt sich anschaulich anhand der räumlichen Verteilung der ermittelten Niedrigwasserjährlichkeiten nachvollziehen. Dabei wird deutlich, dass an kleineren Flüssen auch regionale Trockenperioden extreme Niedrigwasser bewirken können, während in den großen Flussgebieten Niedrigwasser mit hohen Jährlichkeiten nur dann auftritt, wenn alle wichtigen Zuflüsse gleichzeitig eine minimale Wasserführung aufweisen. Dieser Fall konnte im Jahr 2003 z.B. an der Donau beobachtet werden, bei der erst durch den Zufluss des Inn ein spürbarer Ausgleich des bis dahin aufgetretenen Abflussdefizits erfolgt ist.



# 4 Gewässerqualität

## 4.1 Steuerung der Gewässerqualität durch die Witterung

### 4.1.1 Temperatur

Hohe Lufttemperaturen schlagen sich auch in erhöhten Wassertemperaturen nieder. Die Wassertemperatur steuert direkt und indirekt alle chemischen und biochemischen Umsätze im Gewässer. Die Reaktionen werden beschleunigt, Nährstoffe schneller metabolisiert, Biomasse verstärkt auf- und abgebaut. Dabei wird zunächst Sauerstoff produziert, später verbraucht. In Phasen starken Algenwachstums kann der pH-Wert außerdem deutlich ansteigen. Diese an sich natürlichen Prozesse können unter extremen Bedingungen zu kritischen Situationen im Gewässer führen. Besonders gefährdet sind Gewässer, die durch andere Belastungen wie Aufstau, Degradation oder Einleitungen in einem labilen Zustand sind. Auch direkte Wirkungen höherer Temperaturen sind denkbar, etwa in Form einer Artenverschiebung der Gewässerorganismen hin zu wärmeliebenden Spezies.

### 4.1.2 Abfluss

Eine Beeinträchtigung der Biozönose durch niedrigen Abfluss ist möglich, insbesondere bei Uferpflanzen und UV-empfindlichem Plankton (im Wasser schwebende Organismen), die bei geringer Wasserführung einer intensiveren Einstrahlung ausgesetzt sind und daher nur eine eingeschränkte Photosynthese leisten. In bestimmten Naturräumen können Gewässer auch ganz trocken fallen. Viele Gewässerzönosen sind aber an ein Abflussregime mit Minima in den Sommermonaten angepasst. Das Trockenfallen einzelner Bäche ist daher in der Regel nicht als ungewöhnlich oder gar als "Katastrophe" zu werten. Die verlangsamte Strömung bei geringen Abflüssen kann den Seencharakter gestauter Fließgewässer verstärken und zu starken Algenentwicklungen führen.

Bei Trockenwetterbedingungen ändert sich aber auch die Belastungssituation. Diffuse Stoffeinträge über oberflächliche Abschwemmungen, Zwischenabfluss (Interflow) und teilweise auch über den Grundwasserzustrom gehen stark zurück. Auch der Anteil der Schwebstoffe und schwebstoffgebundenen Nähr- und Schadstoffe sinkt, so dass die Gewässer zum Teil sehr klar sind. Dies führt zu einer weiteren Verstärkung der Sonneneinstrahlung und in vielen Gewässern zu verstärktem Wachstum von so genanntem Phytobenthos, also am Gewässergrund verankerten Wasserpflanzen.

## 4.2 Gewässerqualität im Überblick

Im Jahr 2003 wurde Gewässermonitoring nach den Routinemessprogrammen durchgeführt. Darüber hinaus wurden die Gewässer aber auch intensiv beobachtet und die automatischen Messstationen täglich abgerufen. An der Donau fanden weiterhin spezielle Untersuchungen zur trophischen Situation im Raum Kelheim bis Passau statt.

Trotz teilweise extremer Witterungsbedingungen kam es in der Niedrigwasserperiode kaum zu kritischen Situationen. Die mittleren und großen Gewässer waren nur wenig beeinflusst.

## Gewässerqualität

Gemeldet wurden zwar hohe Temperaturen und damit verbunden niedrige Sauerstoffgehalte und Sauerstoffsättigungen – jedoch kaum nennenswerte Belastungen. In einigen kleineren Gewässern konnte es passieren, dass der Abfluss zu einem großen Anteil aus Kläranlageneinleitungen bestand. Hier nahm die stoffliche Belastung zu. Ein Großteil der Gewässer ist jedoch durch diffuse Belastungen geprägt und erfuhr daher im Jahr 2003 eher eine Entlastung und damit eine Verbesserung der Gewässerqualität. Die Nährstoffkonzentrationen lagen z.T. deutlich niedriger als in den Vorjahren. Eine Ausnahme bildeten die erhöhten Konzentrationen an Orthophosphat in den Sommermonaten am Altmühlsee, die auf eine zulaufunabhängige Rücklösung aus dem Sediment zurückzuführen sind. Die Schwebstoffführung und damit Belastung mit gebundenen Schadstoffen war gering.

Bei den volumenreichen Seen zeigte das Fehlen von Starkregenereignissen eher Vorteile als Nachteile. Die oft nach Hochwassern auftretenden Planktonmassenentwicklungen an Stillgewässern blieben aus. Erstmals trat jedoch eine Verkräutung der flachen Badesrände am Großen Brombachsee auf. An vielen Badeseen in Niederbayern herrschte im Spätsommer starke Algenentwicklung vor. Im Norden des Regierungsbezirkes Schwaben traten in Baggerseen mit Badenutzung verschiedentlich Blaualgenblüten, im Friedberger Baggersee auch eine Dinophyceen-Blüte auf. Badeverbote mussten jedoch nicht ausgesprochen werden. An den Überleitungsseen Mittelfrankens war dagegen die Algenzusammensetzung günstiger als verschiedentlich in den Vorjahren. Hier wurden nur wenig Blaualgen nachgewiesen.

Bei niedrigen Abflüssen traten teilweise Lebensraumminimierungen für einige Arten auf. So wurden zum Teil Großmuscheln freigelegt und mussten umgesiedelt werden. Besonders sensibel sind hier die Fluss- und Bachperlmuschelgewässer Oberfrankens. In Regionen mit hohem Anteil trockengefallener Fließgewässerstrecken war man teilweise froh um die „Niedrigwasseraufhöhungen“ durch Kläranlageneinleitungen (sofern es sich um leistungsfähige Kläranlagen handelte).



**Abb. 4.1** Austrocknung eines Muschelgewässers



**Abb. 4.2** Austrocknung eines Muschelgewässers



**Abb. 4.3** Niedrigwasseraufbesserung durch Kläranlageneinleitung: Links: Roter Main oberhalb Bayreuth bei Niedrigwasserführung (August 2003) Rechts: Roter Main unterhalb Bayreuth mit Ablauf Kläranlage (August 2003)

Die gemeldeten Fischsterben waren in der Mehrzahl nicht direkt auf die Witterungssituation zurückzuführen. Lediglich im Rottachsee kam es durch die hohe Oberflächenwassertemperatur zu einem Fischsterben. Beim Aalsterben geht man davon aus, dass die hohen Temperaturen die Fische geschwächt und so indirekt zum Tod beitragen haben. Dagegen zeigten Ortseinsichten in Niederbayern beispielhaft, dass kälteliebende (Forellen) bzw. strömungsliebende Fischarten (Nasen) die Mündungsbereiche der kühleren Nebengewässer aktiv aufsuchten.

## Gewässerqualität

Eine deutlich reduzierte Makrozoobenthosbesiedlung (makroskopisch sichtbare Tiere des Gewässergrundes) fand sich im Herbst in kleinen Fließgewässern im Moränengebiet des Wasserwirtschaftsamt Weilheim. Die Regierung von Schwaben befürchtet eine Beeinträchtigung des Makrozoobenthos bei den Jurabächen – dies ist allerdings noch zu bestätigen.

Das Makrophytenaufkommen (große Wasserpflanzen) war in einigen Fließgewässern erhöht, bedingt durch die überdurchschnittliche Sonneneinstrahlung und fehlende Hochwasser, insbesondere zur Zeit der Schneeschmelze. Die Entwicklung von Plankton war dagegen besonders in den eutrophierten Gewässern Mittelfrankens sehr gering.

Bei einigen Fließgewässern war eine Fadenalgenentwicklung festzustellen, die auch zu optischen und geruchlichen Beeinträchtigungen führen konnte. Auffällig war z.B. in Mittelfranken die generelle Zunahme von Kieselalgenbelägen auf den Gewässersohlen der untersuchten Fließgewässer. In anderen Gewässern wie der Donau wurden auch benthische Blaualgen festgestellt.

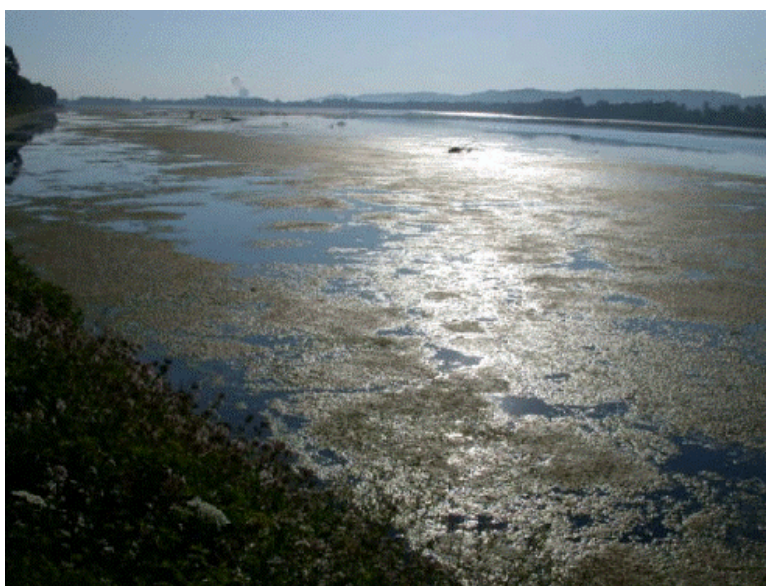


Abb. 4.4 Fadenalgen Isar Stausee Altheim



Abb. 4.5 Benthische Blaualgen Donau

Aufgrund der großen Anstrengungen im Gewässerschutz in den letzten Jahrzehnten konnten die Gewässer die Witterungsbedingungen 2003 allgemein wesentlich besser verkraften als frühere Extremsituationen wie z.B. im Sommer 1976.



Zu nennen sind hier vor allem Belastungen durch die Stoffe Ammonium, Orthophosphat und Gesamtposphat, in geringerem Umfang aber auch Nitrat, die in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich abgenommen haben. Wäre die Nährstoffsituation der Gewässer im Sommer 2003 noch die selbe gewesen wie Mitte der 70er Jahre, hätte es mit Sicherheit größere Probleme gegeben. Auch auf Grund der noch sehr hohen Wasserstände in den Flüssen und im Grundwasser Anfang 2003, die die Wasserführung bis weit in den Sommer hinein günstig gestaltet haben, blieben negative ökologische Auswirkungen sehr begrenzt und akute kritische Situationen traten nicht auf.

### 4.3 Routinemessnetz Wassertemperaturen

Das Routinemessnetz Wassertemperaturen kann zum Teil auf sehr lange Datenreihen zurückgreifen. In der Vergangenheit wurden die Wassertemperaturen an ca. 70 Messstellen täglich um ca. 8<sup>00</sup> Uhr von Beobachtern mit einem Schöpfthermometer gemessen. Seit dem Jahr 2000 erfolgte die schrittweise Umstellung der Wassertemperatur ( $T_W$ )-Messstationen auf Datenfernübertragung. Um die Kontinuität zu wahren, beziehen sich alle Werte der nachfolgenden Niedrigwasserauswertung ausschließlich auf 8<sup>00</sup> Uhr-Messwerte. An zehn nach gewässerkundlichen Gesichtspunkten ausgewählten  $T_W$ -Messstellen wurde die Niedrigwasserperiode 2003 hinsichtlich der Wassertemperaturen untersucht: sieben Stationen stammen aus dem Donau- und drei Stationen aus dem Maingebiet. Die ausgewählten Messstationen weisen lange Datenreihen auf, die zwischen 30 und 100 Jahre zurückreichen, und decken unterschiedliche Gewässertypen ab:

- Gewässer nördlich und südlich der Donau
- große und kleinere Fließgewässer / Seen
- langsam und schnell fließende Gewässer
- Gewässer alpinen und nicht alpinen Ursprungs

Die Auswertung des Abflussjahres 2003 ergab von Mai bis September an den meisten  $T_W$ -Messstellen eine deutliche Überschreitung der bisher gemessenen Monatshöchsttemperaturen. Jahreshöchsttemperaturen wurden 2003 im Juni und August erreicht. Auch gab es im Juni und August 2003 deutlich mehr Tage mit hohen Wassertemperaturen als im langjährigen Mittel. An der Messstation Schwabelweis/Donau lag z.B. der Monatsmittelwert 2003 im Juni ca. 2,5 °C, im Juli ca. 1,5 °C und im August ca. 4 °C über den langjährigen Monatsmittelwerten. Spitzenreiter der Jahreshöchsttemperaturen unter den ausgewählten  $T_W$ -Messstellen, waren die Messstation Regenstauf/Regen mit 26,7 °C am 05.08.2003, Schwabelweis/Donau und Stegen/Ammersee mit jeweils 24,9 °C am 10.08.2003 und am 09.08.2003.

Die langen Reihen der Wassertemperaturdaten weisen während der Trockenperioden 1947 und 1976 an einzelnen Tagen zum Teil höhere Wassertemperaturen auf. Allerdings fallen bei den einzelnen Messstellen die  $T_W$ -Jahreshöchsttemperaturen recht unterschiedlich aus. In einer Trockenperiode müssen nicht unbedingt  $T_W$ -Höchststände erreicht werden. Weitere Höchststände der Wassertemperatur wurden in den Jahren 1957, 1992, 1993 erreicht.

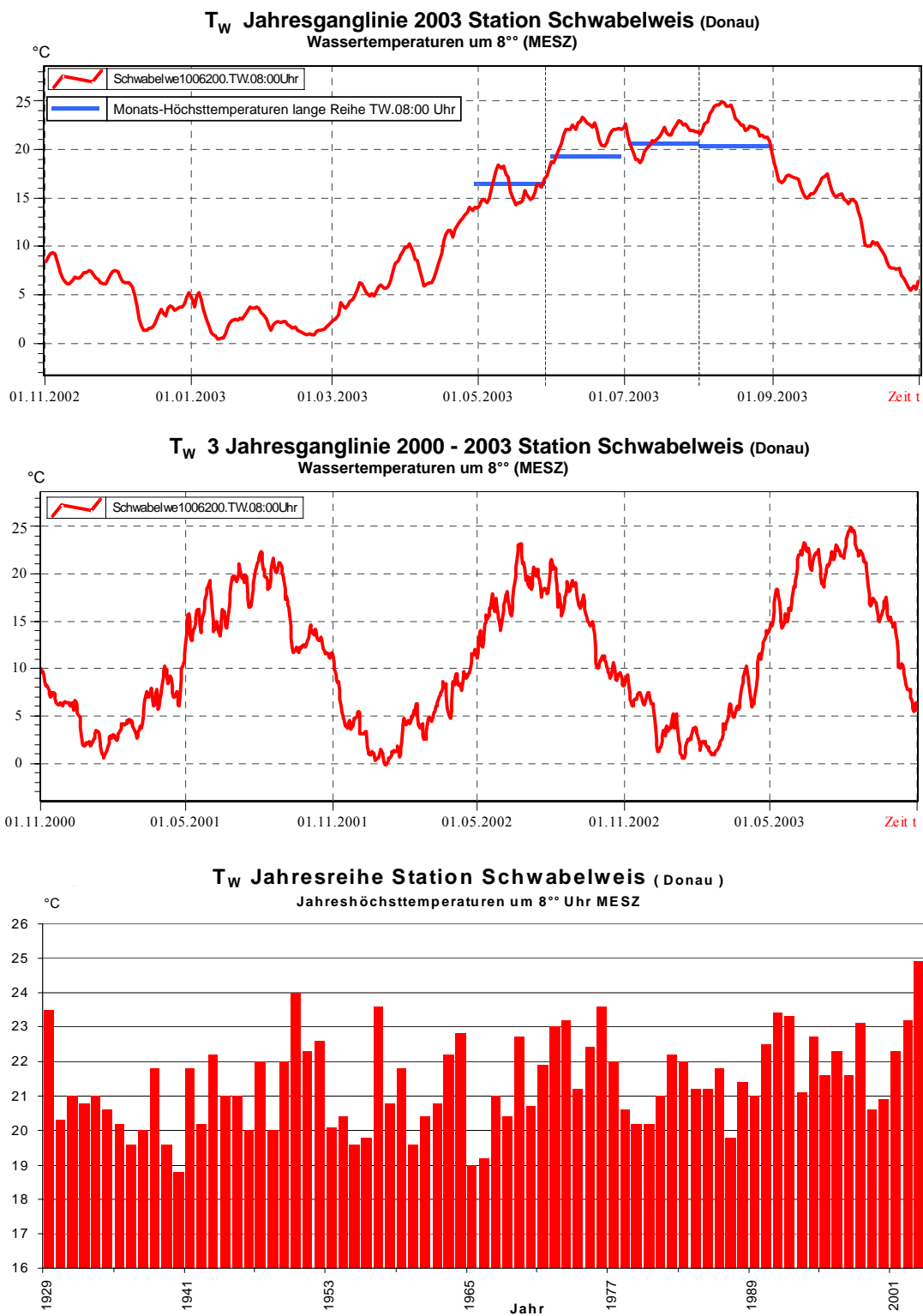


Abb. 4.6 Temperaturverlauf an der Tw-Messstation Schwabelweis. Temperaturverlauf 2003 (oben), Temperaturverlauf in den Jahren 2000-2003 (Mitte) und die Jahreshöchsttemperaturen seit 1929 (unten)

Der Temperaturverlauf im Jahr 2003 ist an den verschiedenen Gewässern erstaunlich ähnlich. Ab Anfang März stiegen die Temperaturen stetig an (Rückgang im April und Mai), mit einem ersten Höhepunkt Mitte Juni. Anfang Juli gab es eine kleine Depression, ebenso Anfang August. Ihr Temperaturmaximum erreichten alle Gewässer um den 20. August. An der alpin beeinflussten Iller fallen die Temperaturrückgänge im Verhältnis zur Jahresamplitude etwas stärker aus. Die Zeitabschnitte mit hohen Temperaturen im Juni und August sind in der Regel markant ausgeprägt, nur am Inn ist der Temperaturverlauf verwischt. Es treten immer wieder auch niedrigere Temperaturen im Wechsel auf. Dies könnte durch den Schmelzwassereinfluss der Gletscher bedingt sein. Bei Naab und Regen lagen die Augustwerte nur leicht über den Juniwerten, während dieser Anstieg bei den anderen Messstationen recht deutlich ausfiel. Im Vergleich zu den Fließgewässern zeigte der Ammersee zwei ausgeprägte Temperaturanstiege Anfang Mai und Anfang Juni. Sie bewirkten, dass bereits sehr früh im Jahr sehr hohe Temperaturen gemessen wurden. Auch hier wurde aber das Maximum im August erreicht.

#### 4.4 Ergebnisse der automatischen Gütemessstationen an Main, Regnitz, Altmühl und Inn

An einigen größeren Fließgewässern sind so genannte automatische Gütemessstationen installiert. Sie dienen operationellen Aufgaben wie z.B. dem Gewässergütedienst am Main. Viertelstündlich werden Kenngrößen zur Gewässerqualität wie Temperatur, Sauerstoff, Leitfähigkeit und pH-Wert - an einigen Stationen auch weitere Messgrößen - erhoben. Die Messwerte zeigen deutlich die Entwicklung im Gewässer während der Niedrigwasserperiode. Im Folgenden sollen die Sauerstoffwerte des Jahres 2003 näher beschrieben werden.

Der Verlauf des Sauerstoffgehaltes hängt stark vom Gewässertyp ab: am Main lagen bis Ende März 2003 gleichmäßige Bedingungen mit einer Konzentration von etwa 13 mg/l vor. In der letzten Märzwoche stiegen die biogene Aktivität und mit ihr die Sauerstoffkonzentrationen an. Die tageszeitlichen Schwankungen verstärkten sich und erreichten schließlich um die 2 mg/l, mit Tiefstwerten am frühen Morgen und Maxima am frühen Abend. Mit dem Absterben der ersten Algenpopulation endete dieser Entwicklungszyklus Anfang April, um dann direkt in einen neuen Zyklus zu münden. Die zweite Wachstumsphase fiel extremer aus mit einem stärkeren Anstieg der Sauerstoffwerte bis 18 mg/l. Danach fielen die Werte wieder auf das Ausgangsniveau zurück. Bis Juni schlossen sich noch zwei Entwicklungszyklen an. Die höchsten Sauerstoffgehalte wurden Anfang Mai erreicht (21 mg/l); die Tagesschwankung betrug 3 mg/l. Mitte Juni brachen dann die Algenpopulationen jäh zusammen – innerhalb weniger Tage fielen die Sauerstoffwerte auf 5 mg/l ab. Diese Phase ist als die kritischste für die Gewässerbiozönose anzusehen. Am Main konnte sie jedoch gut überstanden werden. Die Sauerstoffwerte stabilisierten sich, stiegen sogar in den folgenden Wochen wieder leicht an. Es musste keine Gewässergütedienstung ausgelöst werden. Zwischen August und Oktober erholte sich der Sauerstoffhaushalt stetig. Nach einer letzten kleineren Algenblüte lagen die Werte im Herbst um rund 15 mg/l und damit etwas höher als im Frühjahr 2003.

## Gewässerqualität



Abb. 4.7 Sauerstoffkonzentrationen im Jahr 2003 an der Messstation Randersacker/Main

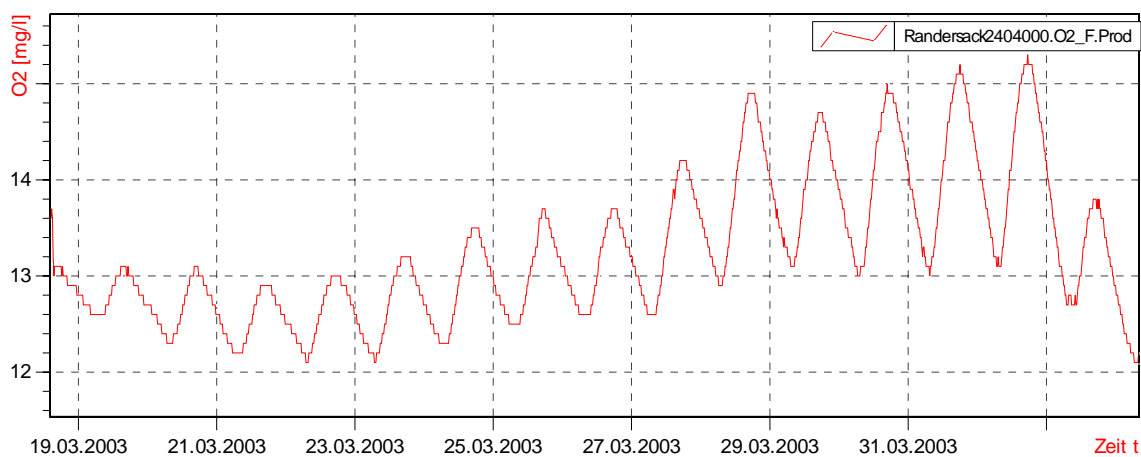


Abb. 4.8 Tagesschwankungen im Sauerstoffgehalt. Messstation Randersacker/Main, Ende März- Anfang April 2003

In der Zeitspanne der intensivsten biogenen Produktion im Juni stiegen auch die pH-Werte bis auf 9 an, verblieben aber nur kurze Zeit auf diesem Niveau. Auch an alpin geprägten Gewässern wie der Tiroler Achen traten Sauerstoffschwankungen auf. In Folge von Algenentwicklungen stiegen an der Messstation Staudach die Konzentrationen bereits Ende Februar an. Wie am Main traten regelmäßige Tagesschwankungen auf, die auch 2 mg/l übersteigen konnten. Ein starker Abfall der Sauerstoffwerte fiel hier jedoch aus, da in den Sommermonaten Schmelzwasser von den Gletschern zugeführt wurde, das einerseits kühl, andererseits sauerstoffhaltig ist. Die Sauerstoffgehalte nahmen im Jahr 2003 im Verlauf des Sommers langsam ab.

Zur Bewertung der Gewässerqualität muss der Gewässertyp berücksichtigt werden. Hohe Temperaturen und sehr niedrige Sauerstoffgehalte unter 5 mg/l wirken generell belastend auf Gewässerorganismen, jedoch können in von Natur aus kühleren, alpin geprägten Gewässern auch weniger extreme Verhältnisse die dortige Biozönose beeinflussen. Besonders empfindlich sind durch Wärmeeinleitung, Stoffbelastung oder strukturelle Veränderungen vorgeschädigte Gewässerzönosen.

Die Gütemessstationen am Main wurden – nicht zuletzt als Folge des extremen Trockenjahres 1976 – bereits in den 70er Jahren installiert. Im Jahr 1976 waren an verschiedenen Mainmessstellen über mehrere Wochen Sauerstoffgehalte von 0 mg/l gemessen worden. Seit dieser Zeit traten keine ähnlich extremen meteorologischen und hydrologischen Bedingungen auf. Die Sauerstoffgehalte der letzten 25 Jahre zeigten im Frühjahr und Sommer einen ähnlichen Verlauf wie 2003, teilweise waren sogar größere Amplituden gemessen worden und auch geringere Sommer-Minima. Dies spricht für den im Vergleich zu 1976 verbesserten Gütezustand des Mains, den auch das Extremjahr 2003 nicht wesentlich beeinträchtigen konnte. Einen maßgeblichen Anteil hat hier auch die Überleitung von Altmühl- und Donauwasser in das Regnitz- und Main Einzugsgebiet (siehe Kap. 5.3.2.1).

### 4.5 Ergebnisse aus dem Landesmessnetz Fließgewässer - Routinemonitoring

#### 4.5.1 Feinmaterial, Schwebstoffe

Im Jahr 2003 waren viele Fließgewässer außergewöhnlich klar und zeigten eine große Sichttiefe. Dies ist auf die geringen Mengen an Feinmaterial zurückzuführen. Mineralische Schwebstoffe wurden kaum eingespült, biogene Schwebstoffe nur in geringem Maße produziert. Im Routine-messprogramm wird der Anteil abfiltrierbarer Stoffe ermittelt. Dieser lag außergewöhnlich niedrig. Stoffe, die im Gewässer vorwiegend an Schwebstoffen adsorbiert auftreten, waren daher nur in geringen Mengen nachweisbar.

#### 4.5.2 Sauerstoffhaushalt

Niedrigwassersituationen können besonders den Sauerstoffhaushalt belasten. Leicht abbaubare Stoffe aus Abwassereinleitungen werden wenig verdünnt und liegen daher in größeren Konzentrationen vor. Ihr Abbau verbraucht Sauerstoff. Zusätzlich wird Sauerstoff benötigt um abgestorbenes biologisches Material, z.B. Algen, im Gewässer abzubauen (Sekundärbelastung). In warmem Wasser kann sich aber weniger Sauerstoff lösen als in kühlerem. Gleichzeitig steigt bei höheren Temperaturen die Abbauleistung und damit der Sauerstoffverbrauch. Die Kenngrößen für die organische Belastungen einerseits (BSB, TOC,  $\text{KMnO}_4$ ) nehmen daher zu Niedrigwasserzeiten zu, die Konzentrationen des Sauerstoffs ab.

## Gewässerqualität

Im Trockenjahr 1976 wurden BSB<sub>5</sub>-Werte (Biologischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen) von bis zu 22 mg/l gemessen, am Main lagen die Werte zwischen Aschaffenburg und Landesgrenze im Bereich von 6 bis 20 mg/l. Seit den 70er Jahren hat jedoch die Belastung des Mains mit organischen Stoffen drastisch abgenommen und die Selbstreinigung wieder an Bedeutung gewonnen. In Perioden niedriger Wasserführung wird Zusatzwasser aus dem Altmühl-Donau-Einzugsgebiet über die Regnitz zugeleitet. Dieses ist nur gering organisch belastet. Insgesamt hat sich die Gewässerqualität des Mains erheblich verbessert. Im Jahr 2003 wird dieser Erfolg besonders deutlich. Trotz der extremen Witterung erreichten die BSB<sub>5</sub>-Konzentrationen nur maximal Werte von 8 mg/l. An allen Main-Hauptmessstellen war über die gesamte Trockenperiode hinweg immer ausreichend Sauerstoff vorhanden, um größere Beeinträchtigungen zu vermeiden.

### 4.5.3 Nährstoffhaushalt

Die Nährstoffkonzentrationen fielen im Jahr 2003 in den meisten Fließgewässern erheblich geringer aus. Dies liegt in der deutlichen Reduzierung des Nährstoffeintrages aus diffusen Quellen begründet. Am stärksten zeigt sich dieser Effekt beim Nitrat, das im Schnitt zu 80% aus diffusen Quellen in die Gewässer gelangt. Es ist anzunehmen, dass sich das Nitrat im Boden akkumuliert hat, denn im Jahr 2004 wurden an vielen Fließgewässern Konzentrationen gemessen, die zum Teil weit über denen der letzten zehn Jahre liegen. Insbesondere die Frühjahrswerte sind sehr hoch. Dies spricht für eine Auswaschung angesammelter Nitratvorräte im Boden durch das Sickerwasser und Eintrag in die Gewässer über Zwischenabfluss (Interflow) und Grundwasser.

### 4.5.4 Schwermetalle

Der Einfluss der Niedrigwasserperiode auf die Schwermetallgehalte in den Gewässern ist uneinheitlich. Zumeist liegen die Gehalte auf dem Niveau der Vorjahre, insbesondere was den Schwermetallgehalt des Schwebstoffs anbelangt. Bei den Gesamt-Schwermetallkonzentrationen im Wasser wurde an einigen Messstellen für einige Stoffe eine Abnahme, in anderen Fällen eine Zunahme festgestellt. Die Zusammenhänge bedürfen noch einer weiteren Untersuchung. Vermutlich zeigt sich hier aber der Einfluss unterschiedlicher Eintragswege je nach Stoff und Gewässer. Einige Schwermetallgehalte sind geogen, andere anthropogen bedingt. Die Eintragspfade können diffuser (z. B. Reifenabrieb oder cadmiumhaltige Phosphordünger) oder punktueller Art sein.

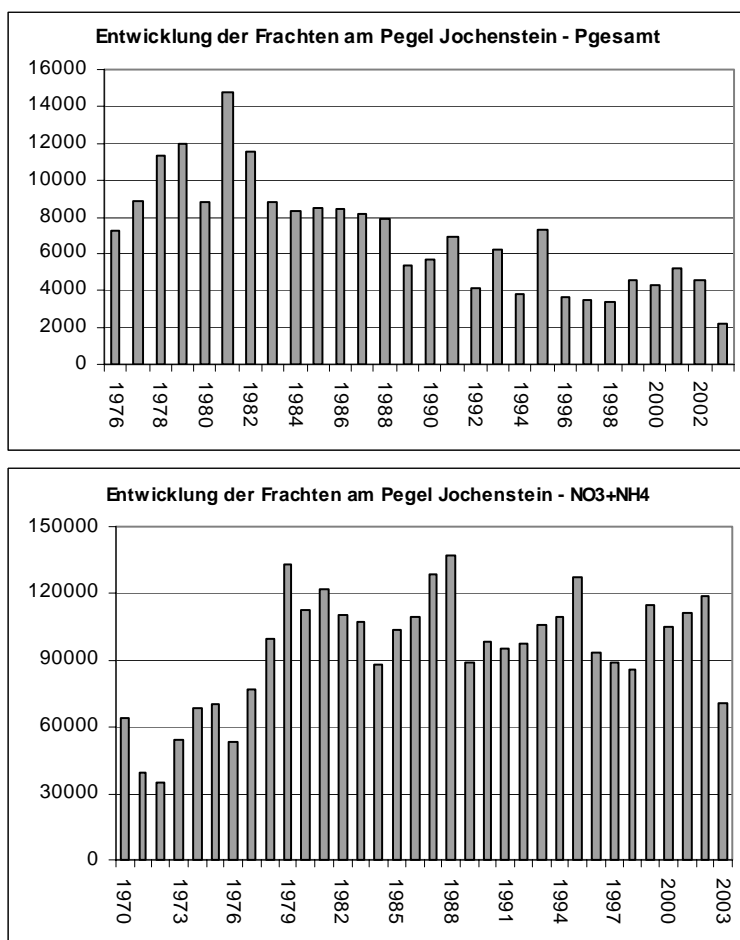
### 4.5.5 Pflanzenschutzmittel

Die Konzentrationen an Pflanzenschutzmitteln und ihrer Abbaustoffe im Gewässer waren 2003 durchweg niedriger als in den Vorjahren. Teilweise wurden nur bis Mai messbare Konzentrationen nachgewiesen. Vor allem aber in den Sommermonaten nahmen die Gehalte in den Gewässern stark ab. Die Substanz Isoproturon, die sich sonst regelmäßig zur Zeit der Herbstanwendung nachweisen lässt, war 2003 nicht zu finden. Am Main trat auch Simazin in deutlich geringeren Mengen auf.

Da die Anwendungsmenge für Herbizide unverändert war, sogar wegen der geringeren Wirksamkeit unter den trockenen Bedingungen etwas erhöht, können die geringen Konzentrationen in den Gewässern nur auf einen veränderten Anteil der Eintragspfade zurückzuführen sein. Der Anteil hoch belasteter Eintragspfade wie Abschwemmung und Drainage sowie oberflächennahes Grundwasser scheint im Jahr 2003 viel geringer gewesen zu sein als in den Vorjahren.

#### 4.5.6 Stofffrachten

Im Wasser gelöste oder suspendierte Stoffe werden mit der Strömung transportiert und letztendlich in die Meere verfrachtet. In langsam fließenden oder gestauten Fließgewässerbereichen lagern sie sich außerdem im Gewässersediment ab, können aber bei Hochwasser wieder mobilisiert werden. Im Rahmen des Routinemonitorings werden die jährlichen Nährstofffrachten berechnet und aufgezeichnet. Hintergrund ist das eutrophierende Potential, das für die Meere von den Nährstoffen ausgeht, und die Verpflichtung Deutschlands (OSPAR-Abkommen), die Nährstoffeinträge zu halbieren.



**Abb. 4.9** Mehrjährige Entwicklung der Frachten am Pegel Jochenstein/Donau am Gesamt-Phosphor (oben) und Nitrat (unten)

Im Jahr 2003 gingen vor allem die diffusen Einträge über Erosion, Abschwemmung von Wirtschaftsflächen, Drainagen zurück und damit die Hauptbelastungspfade für Nährstoffe. Die Frachten in den Fließgewässern fielen damit deutlich geringer aus.

An der Messstelle Jochenstein/Donau, an der die größte Wassermenge Bayern verlässt (Grenze Deutschland – Österreich), wurden die niedrigsten Phosphorfrachten seit Beginn der Aufzeichnungen 1976 gemessen. Auch die Stickstofffrachten lagen erstmals wieder auf dem niedrigen Niveau der 70er Jahre.

### 4.6 Ergebnisse aus dem Landesmessnetz Seen - Routinemonitoring

Für viele Seen wurden Spitzentemperaturen und Niedrigrekorde des Wasserstandes gemeldet. Auf die chemisch-physikalische Gewässerqualität der großen Seen, die im Routinemonitoring regelmäßig untersucht werden, hatten diese Bedingungen jedoch praktisch keinen Einfluss. Die Sauerstoffverhältnisse blieben stabil, die Nährstoffkonzentrationen überwiegend auf dem üblichen Niveau. Diese erfreuliche Situation ist vor allem ein Verdienst der langjährigen Bemühungen zur Verbesserung der Gewässerqualität der Seen. Die meisten Seen sind heute überwiegend durch diffuse Einträge aus der Fläche belastet. Fallen diese Einträge wie im Trockenjahr 2003 quantitativ bedeutend geringer aus, dann bedeutet dies für die Seen eher eine Entlastung. Das Beispiel des Chiemsees zeigt die Entwicklung des Chiemsees in den letzten 20 Jahren (siehe Abb. 4.10). Die Phosphorgehalte und damit das Nährstoffangebot sind ebenso rückläufig wie die Chlorophyllgehalte, die ein Maß für die Produktivität der Algen sind. Das Jahr 2003 unterscheidet sich nicht signifikant von den Vorjahren.

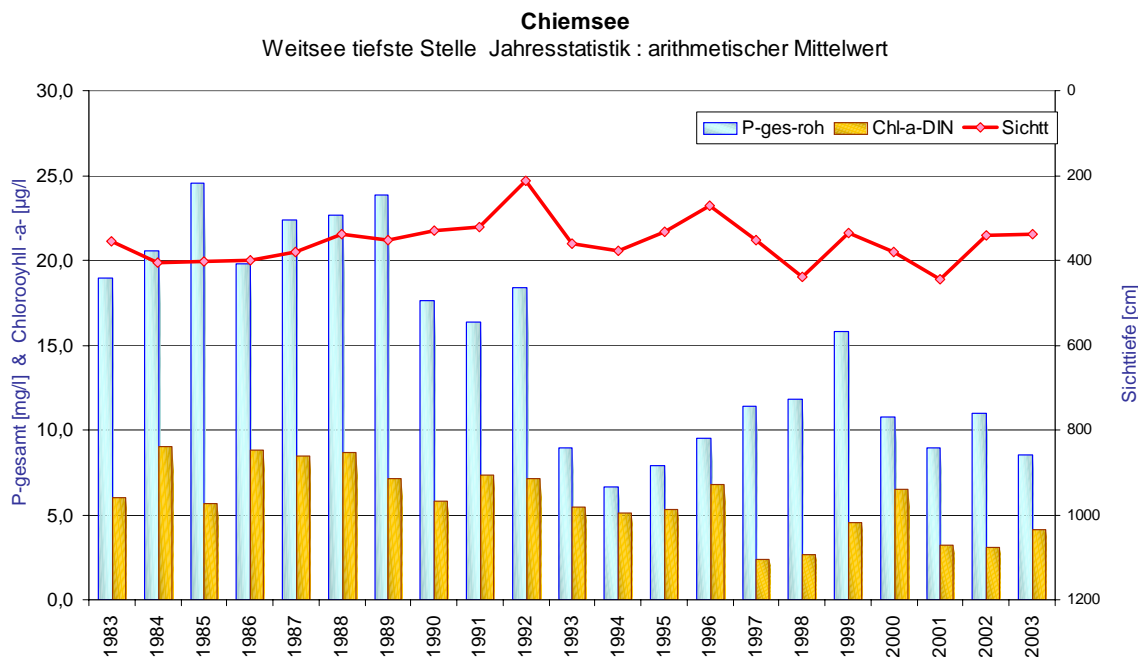


Abb. 4.10 Verbesserung der Gewässerqualität des Chiemsees: rückläufige Phosphor- und Chlorophyllgehalte



## 4.7 Gewässerqualität in den Regierungsbezirken

### 4.7.1 Regierungsbezirk Oberbayern

#### 4.7.1.1 Naturraumbezug

Von den Fließgewässerlandschaften des Amtsbezirkes Traunstein waren die Grundmoränengebiete aufgrund der Durchlässigkeit des Untergrundes besonders betroffen, ebenso im alpinen Gebiet die Wildbäche, die ausschließlich durch Niederschlags- bzw. Oberflächenwasser gespeist werden. Gleiches gilt auch für den Amtsbezirk Weilheim: so waren z.B. von den östlichen Ammer-Zuläufen unterhalb von Weilheim der Hardtbach sowie der Kinschbach über mehrere Wochen trockengefallen. Bei überwiegend grundwassergespeisten Bächen wirkten sich dagegen die Grundwasserhochstände der vorhergehenden Jahre positiv aus. Für die Gewässer des Wasserwirtschaftsamtes (WWA) München zeigten sich die gleichen Tendenzen: keine Auffälligkeiten bei den grundwassergespeisten Bächen der Münchener Schotterebene aufgrund der Normalisierung der letztjährig hohen Grundwasserstände, geringe Wasserführung mit zeitweiligem Trockenfallen der Bäche im Bereich der Jungmoräne in Teilen der Landkreise Starnberg (Rötlbach) und Ebersberg. Im Amtsbereich des WWA Ingolstadt waren die Gewässer des Donaumooses am stärksten von Austrocknungserscheinungen betroffen. Die niedrigen Wasserstände führten vor allem im Landkreis Erding zu einer Verlängerung der trockenfallenden Strecken in den Oberläufen kleinerer Bäche, die aber jeden Sommer - wenn auch in vermindertem Ausmaß - trockenfallen.

#### 4.7.1.2 Abiotische Auswirkungen

##### Fließgewässer

Bei den Fließgewässern, die 2003 regelmäßig chemisch untersucht worden sind, bestätigte sich die Lehrmeinung, dass in Fließgewässern mit ausschließlich diffuser Belastung im Sommer die Nährstoffkonzentrationen niedrig sind.

Selbst bei Gewässern mit signifikanten Kläranlageneinleitungen wie im Amtsbezirk des WWA Traunstein (Alz, Alzkanal) konnte bei 14-tägiger Probenahme keine signifikante Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen in den Sommermonaten festgestellt werden. Auch im Bereich des WWA Freising bestätigten sich die Befürchtungen nicht, dass in Folge geringerer Wasserführung bei Einleitungen von Kläranlagenabläufen kritische Belastungswerte auftreten könnten. Hingegen wurden im Amtsbereich des WWA Weilheim bei kleinen Fließgewässern mit besonders ungünstigen Verdünnungsverhältnissen deutlich erhöhte Belastungswerte als Folge von Kläranlageneinleitungen festgestellt (Beispiel: östlicher Lechzufluss Rottbach/Belastung durch Kläranlage Rott).

## **Gewässerqualität**

Es gab keine Ereignisse, die zu dramatischen Störungen im Gewässerregime (z.B. Fischsterben, extreme Sauerstoffdefizite usw.) geführt hätten. Bedingt durch die sehr hohen Temperaturen im Jahr 2003 wurden im betrachteten Zeitraum im Mittel Temperaturzunahmen zwischen 9,2 und 15,6 % registriert. Im Gegenzug ist damit die Löslichkeit von Sauerstoff um bis zu 11,7 % (O<sub>2</sub>-Sättigung bis 18,7 %) gefallen. Kritische Konzentrationen von unter 5 mg/l wurden 2003 aber auch im Einzelfall nicht gemessen. In der Donau war eine vermehrte Sedimentablagerung zu beobachten.

### **Stillgewässer**

Im Amtsbezirk des WWA Traunstein sind einige wenige kleine Seen ausgetrocknet, andere flache Seen ohne Abflussregulierung zeigten einen deutlichen Niedrigwasserstand. Von Fischteichanlagen sind einzelne Extremsituationen bekannt.

Im Ammersee, Walchensee und Kochensee wurden Höchsttemperaturen erreicht, wie sie in den letzten 20 Jahren nicht gemessen wurden (z.B. Ammersee: Mittelwert 0-10 m 22,1 °C am 18. August). Die Nährstoffkonzentrationen (Phosphor) in den Seen waren aufgrund der geringen diffusen Einträge in den Hauptzuläufen allgemein niedriger als in den Vorjahren. Im Ammersee wurde z.B. der vor dem Pfingsthochwasser bestehende Phosphorgehalt - bis dahin der niedrigste gemessene Phosphorwert im See - wieder erreicht. Kritische Sauerstoffverhältnisse wurden nicht registriert.

Die Seen im Amtsbereich Rosenheim zeigten eine verbesserte Gewässerqualität im Sommer 2003 bedingt durch die geringen Einträge aus diffusen Quellen. Die natürlichen Seen in den Amtsbereichen München und Ingolstadt sowie die grundwassergespeisten Bagger- und Badeseen verzeichneten insgesamt niedrige Wasserstände ohne besondere Auffälligkeiten. Die Wassertemperatur des Baggersees Ingolstadt stieg 2003 im Mittel des Untersuchungszeitraumes (im Vergleich zu 2001 und 2002) im Zulauf um ca. 5 %, im Ablauf um ca. 16 % an. Bedingt durch die intensive Sonneneinstrahlung und der sich daraus ergebenden Bioaktivität stieg der Sauerstoffgehalt um ca. 16 % (O<sub>2</sub>-Sättigung um 32 %) an. Die Parameter Phosphat und Nitrat haben 2003 ein Minimum erreicht. BSB<sub>5</sub> und Chlorophyll zeigten sich gegenüber den Vorjahren nicht entscheidend verändert.

### **4.7.1.3 Biozönotische Auswirkungen**

#### **Fließgewässer**

Im Amtsbezirk des WWA Traunstein wurde in einigen Fließgewässern (Traun in Traunstein, Höllenbach in Waging) ein extremes Wachstum an Fadenlagen über mehrere Wochen beobachtet. Bei einigen Donaumoosgräben im Amtsbezirk des WWA Ingolstadt wird davon ausgegangen, dass sie bei der biologischen Güteuntersuchung bei reichlich Abfluss wohl um eine Güteklasse besser abgeschnitten hätten, sonst zeigten sich keine Auffälligkeiten. Das Artenspektrum war unverändert, die Abundanzen hoch, der Saprobienindex stabil.

Kleine Fließgewässer im Moränengebiet des WWA Weilheim wiesen eine deutlich reduzierte Makrozoobenthosbesiedlung auf. Im Lech war das Makrophytenaufkommen aufgrund der geringen Schneeschmelze, der fehlenden Hochwasser sowie der stabilen Abflussverhältnisse und der damit verbundenen geringen Trübung, deutlich erhöht. Fischsterben wurden nur im Zusammenhang mit Gewässerverunreinigungen bzw. durch austrocknende Gewässerabschnitte bekannt. Kritische Situationen für die Fischpopulationen wurden aus Ausleitungsstrecken gemeldet.

### **Stillgewässer**

Bei den Stillgewässern mit deutlicher Lebensraumminimierung ist davon auszugehen, dass die Biozönose beeinträchtigt wurde. In einem Fall wurden freigelegte Großmuscheln beobachtet. Die trophische Höherbelastung, die vor allem in den Badeseen aufgrund der hohen Temperaturen erwartet wurde, ist nicht eingetreten. Auch Massenentwicklungen von Planktonorganismen wurden nicht beobachtet. Das Makrophytenaufkommen am Chiemsee war nicht wesentlich höher als in anderen Jahren. Ein Kleinsee (Höglwörther See), der in den Vorjahren einen fast flächendeckenden Bewuchs mit Makrophyten (Potamogeton) aufwies, zeigte 2003 nur ein mäßiges Laichkrautaufkommen. In verschiedenen Seen (Ammersee, Chiemsee, Waginger See, Obinger See) kam es in unterschiedlichem Umfang zu Aalsterben, wobei die Primärursache nicht eindeutig geklärt ist. Die hohen Temperaturen bewirkten aber offensichtlich eine Schwächung bzw. eine erhöhte Anfälligkeit der Tiere. Es wurden einzelne Tiere zur Untersuchung eingeschickt und in einem Fall eine Virusinfektion nachgewiesen. Andere Tiere zeigten keinen Befund.

#### **4.7.1.4 Bewertung der Ereignisse**

Bei den Fließgewässern führte die Fadenalgenentwicklung in einigen Fällen zu einer zumindest optischen und geruchlichen Beeinträchtigung. Am kritischsten war die Situation bei Fließgewässern mit ohnehin starken ökologischen Beeinträchtigungen (Ausleitungsstrecken) zu bewerten.

#### **4.7.1.5 Maßnahmen**

Auffällig war im Bereich des WWA Ingolstadt eine Zunahme von Anträgen auf Grundwasser- und Brauchwasserentnahmen aus Gewässern zur Bewässerung oder auch zur Fischhaltung. Setzt sich dieser Trend fort, verstärkt Flusswasser zur Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen zu verwenden, ist zu befürchten, dass vor allem bei kleineren Gewässern der erforderliche Mindestabfluss unter Umständen erreicht oder unterschritten wird. In gleicher Weise kann sich auch die verstärkte Grundwasserentnahme vor allem aus dem obersten Grundwasserstockwerk ungünstig auf Gewässer auswirken. Es muss geprüft werden, in welcher Weise diesem Trend entgegengewirkt werden kann. Bei vergleichbar warmen Sommern dürfte in Zukunft auch die Entnahme und Wiedereinleitung von deutlich erwärmtem Kühlwasser in die Gewässer zunehmen. Es ist zu prüfen, inwieweit dadurch das biologische Gewässerregime unter Umständen zusätzliche unzumutbare Belastungen erfährt und ob künftig nicht durch entsprechende Auflagen in Bescheiden (z.B. durch Begrenzung der Wärmefracht) stärker entgegengewirkt werden kann.

### 4.7.2 Regierungsbezirk Unterfranken

#### 4.7.2.1 Naturraumbezug

Regionale, jedoch nicht zwingend Naturraum bezogene Unterschiede konnten festgestellt werden. Zum Beispiel war die Sinn als Gewässer aus der Hoch-Rhön von Niedrigwasser stärker betroffen als die Fränkische Saale, die ebenfalls den Großraum Rhön durchfließt. Dagegen waren die wasserarmen Flachlandgewässer des Ochsenfurter Gaus oder der Mainfränkischen Platten von dem Niedrigwasser insgesamt weniger betroffen (einige hatten sogar eine bessere Wasserführung als in niederschlagsreicheren Sommern, z. B. die Wern). Anscheinend waren die hochliegenden Quellen eher betroffen als Hangfuß- oder Flachlandquellen.

#### 4.7.2.2 Abiotische Auswirkungen

Regional hatten Trockenheit und Niedrigwasser keine Auswirkungen auf den Gewässerchemismus (Nährstoffe, organische Belastung). Aufkonzentrierungen konnten nicht festgestellt werden, lediglich die Gesamtmineralisation stieg – wie im Sommer üblich – an. Die Wassertemperaturen waren in den größeren Gewässern um ca. 2 – 4 Grad höher als im Durchschnitt. Zu Sauerstoffdefiziten kam es trotzdem nicht, da keine durch Sommergewitter ausgelösten größeren Mischwasserstöße stattfanden. Auffallend niedrige Nährstoffgehalte infolge fehlender Abschwemmungen von den Feldern - wie in anderen Flussgebieten beschrieben - traten in Unterfranken nicht auf. Vereinzelt fielen einige, schon als periodisch bekannte, Bachstrecken trocken.

Auffällig war die seit August etwa bis Ende September 2003 anhaltende hohe Transparenz des Mains mit bis zu 4m Sichttiefe. Der Sauerstoffhaushalt war mit ca. 75 % bis 120 % Sättigung ausgeglichen. Minimale Sauerstoffgehalte lagen bei 5 mg/l. Ohne die Überleitung aus dem Donauebiet wären am Main höchstwahrscheinlich Nutzungseinschränkungen notwendig gewesen.

#### 4.7.2.3 Biozönotische Auswirkungen

##### Fische

Es wurden eher weniger Fischsterben als sonst gemeldet, alle waren auf organische Belastungen zurückzuführen. Lediglich ein Krebssterben war durch Austrocknen eines Kolkes bedingt. In der Fränkischen Saale wurden verstärkt geschwächte bzw. verendete Aale gefunden. Es konnte weder eine parasitäre noch eine bakterielle Ursache erkannt werden.

Im Quellbereich der Baunach gab es im Spätsommer nach einem Regen ein Fischsterben in einem Natursee mit vollständig bewaldetem Einzugsgebiet. Im Teich wurde nach dem Niederschlagsereignis ein pH-Wert von 4,5 und eine Aluminiumkonzentration von ca. 9,6 mg/l beobachtet. Der Sauerstoffgehalt war nicht im kritischen Bereich, so dass davon ausgegangen werden muss, dass das Fischsterben durch einen Versauerungsschub verursacht wurde. Der Starkregen dürfte zu hangparallelem Abfluss geführt haben, wie er für die Mittelgebirge nicht untypisch ist.

Dabei durchfließt das Sickerwasser nur den versauerten Oberboden und wird nicht in tieferen Bodenschichten neutralisiert. In Kombination mit dem niedrigen Wasserstand im Teich, kam es dann vermutlich zu den extremen Verhältnissen, wie sie früher noch nicht beobachtet wurden.

### **Trophie**

Im Main hatten sich trotz des heißen Sommers von Juni/Juli bis Ende September bei Wassertemperaturen von bis über 27 Grad keinerlei Algenblüten gebildet, obgleich der Nährstoffgehalt unvermindert hoch war. Dieses Phänomen lässt sich nicht allein durch die anfangs gute Zooplanktonentwicklung (Juni) erklären. Anzunehmen ist vielmehr, dass nach dem letzten Gewitter im Juni die Algen ausgefällt waren. Die dann sofort einsetzenden Strahlungsintensitäten waren offensichtlich so hoch, dass es im gesamten Wasserkörper zu keiner Algenentwicklung mehr kam (auch nicht auf dem Substrat in 2-3m Tiefe). Diese Entwicklung ist nicht neu, sondern zeichnete sich bereits in den letzten Jahren zunehmend ab.

In den Seen fanden keine außergewöhnlichen Algenblüten statt. Vereinzelt wurde wegen einer massenhaften Algenentwicklung vom Baden abgeraten.

### **Saprobie / Makrozoobenthos**

Bei der biologischen Gütekartierung wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Die Ausreifung der Eintagsfliegenlarven zur Subimago schien schneller abzulaufen als in anderen Jahren, was nach Literaturangaben mit den generell höheren Wassertemperaturen zusammenhängen kann. Die intensive Sonneneinstrahlung begünstigte auch die Emergenz und die Schlupfmöglichkeit vom Vormittag bis in die Abendstunden, so dass das Schlüpfen früher und innerhalb einer kürzeren Zeitspanne abgeschlossen war. Da nur wenige Arten zwei Generationen pro Jahr hervorbringen und die meisten Arten im Ei- oder Junglarvenstadium überwintern, hatte das für die Kartierungen im Spätsommer zur Folge, dass nur noch Gelege und Kleinstlarven (Jungstadien) anzutreffen waren. Ähnliches ist für die Entwicklung der Köcherfliegen zu vermuten.

#### **4.7.2.4 Bewertung der Ereignisse**

Bezüglich der Wasserqualität hat sich gezeigt, dass auf Grund der flächendeckenden Abwasseranierung im Vergleich zu früheren Jahren deutlich reduzierte Stoffeinträge vorliegen und es so trotz relativ hoher Wassertemperaturen zu keinem verstärkten Algenwachstum und /oder keiner übermäßigen Sauerstoffzehrung durch Abbauprozesse kommt.

#### **4.7.2.5 Maßnahmen**

Spezielle Maßnahmen sind im Moment nicht geplant. Um einem zu frühen Anspringen der Regenentlastungen und überhöhte Abwasserschübe nach Gewittern vorzubeugen, sollten insbesondere die flach liegenden Abwasserkanäle vor und in der Niedrigwasserzeit sorgfältig gereinigt und gespült werden.

### 4.7.3 Regierungsbezirk Oberfranken

#### 4.7.3.1 Naturraumbezug

Hinsichtlich der quantitativen Aspekte gab es die deutlichsten Unterschiede zwischen den Fließgewässern des Fichtelgebirges und des Frankenwaldes im Kristallin einerseits und der Fränkischen Schweiz im Karstbereich andererseits. Während insbesondere im nördlichen Frankenwald einige Bäche völlig ausgetrocknet sind, hatten die Flüsse im Karstgebiet den ganzen Sommer über noch eine ausreichende Wasserführung mit Abflussmengen deutlich über dem Niedrigwasserabfluss. Die Gründe hierfür liegen in den hohen Grundwasserständen des klüftigen Karstgebietes, die infolge der langanhaltenden Regenfälle im Herbst des Vorjahres weiter als sonst aufgefüllt waren.

#### 4.7.3.2 Abiotische Auswirkungen

In den Fließgewässern wurden keine signifikanten Veränderungen der Belastung durch chemische Inhaltsstoffe gemessen. Die Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchungen lagen mit wenigen Ausnahmen im Bereich der langjährigen Variationsbreite. So schwankten die BSB<sub>5</sub>-Werte im Roten Main unterhalb der Kläranlage Bayreuth während der Trockenperiode 2003 von Mai bis September nur zwischen 1,2 und 3,4 mg O<sub>2</sub>/l und waren damit vergleichbar mit dem Ablauf der Kläranlage selbst (BSB<sub>5</sub>: zwischen 1 und 4 mg O<sub>2</sub>/l). Eine Ausnahme bildeten allerdings die Wassertemperaturen, deren Maximalwerte sich z.B. in der Regnitz um 5,5 °C von 19 °C auf 25 °C erhöhten.

Auffällig war ferner die Aisch, die im August eine starke Trübung infolge eines erhöhten Algenwachstums und dadurch bedingt auch hohe Chlorophyll a-Werte aufwies.

#### 4.7.3.3 Biozönotische Auswirkungen

##### Fließgewässer

##### Saprobie:

Trotz des starken Rückgangs der Wasserführung und der damit verbundenen geringeren Verdünnung des Abwassers blieb der Einfluss auf die Gewässergüte/Saprobie erstaunlich gering. Zu tatsächlichen Güteverschlechterungen kam es nur in einigen Fällen, insbesondere bei Gewässern, die bisher im unteren Bereich der Güteklasse II rangierten und nun zur Güteklasse II-III abfielen.

##### Trophie:

In der Sächsischen Saale wurde teilweise eine starke Zunahme des Wachstums von höheren Wasserpflanzen beobachtet, was auf eine gesteigerte Photosyntheserate infolge der intensiven Sonneneinstrahlung und auf die verlangsamte Fließgeschwindigkeit zurückzuführen sein dürfte.

### **Fische:**

Die Fische haben die Trockenperiode im Sommer 2003 wesentlich besser überstanden als in früheren Jahren, weil die Gewässer bei Abwassereinleitungen wegen der hervorragenden Reinigungsleistung der Kläranlagen nur noch in geringem Umfang sauerstoffzehrende Stoffe aufnehmen mussten. Fischsterben traten nur vereinzelt dort auf, wo, wie z.B. im Frankenwald, die Gewässer oberläufe nahezu austrockneten und hohe Frachten an sauerstoffzehrenden Verbindungen aus älteren, noch nicht sanierten Kläranlagen kleiner Ortsteile aufnehmen mussten.

### **Austrocknung:**

Die größten Probleme ergaben sich dort, wo Gewässer teilweise oder sogar ganz austrockneten und die Wasserfauna nicht dem sich zurückziehenden Wasser folgen konnte. In einem Flussperlmuschelgewässer am Dreiländereck Bayern/Sachsen/Tschechische Republik mussten Flussperlmuscheln von völlig trocken gefallen Stellen in Gumpen mit ausreichendem Wasserstand umgesetzt werden. Hier zeigte sich der Vorteil von strukturreichen Bächen mit einer guten Tiefenvarianz. Ein ausgebautes Gewässer wäre vermutlich auf der ganzen Länge ausgetrocknet. Allerdings gibt zu denken, dass die Austrocknung nur im Mittellauf erfolgte, während der Oberlauf und einige Seitengewässer noch Wasser führten. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen sind übernutzte Brunnen für die Wasserversorgung, Drainagen, die Sickerwasser schneller als früher ableiten sowie Gießwasserentnahmen im stärker besiedelten Mittellauf.

### **Stillgewässer**

In den Baggerseen des Landkreises Bamberg kam es zum Teil zu Massenentwicklungen von Blaualgen, so dass von der Gesundheitsverwaltung ein Badeverbot ausgesprochen werden musste. Allerdings war es in diesen Badeseen auch in früheren Jahren schon wiederholt zu massiven Blaualgenblüten mit nachfolgenden Sauerstoffdefiziten und Fischsterben gekommen.

#### **4.7.3.4 Bewertung der Ereignisse**

Die oberfränkischen Fließgewässer und Seen haben die Trockenperiode im letzten Sommer 2003 erstaunlich gut verkraftet. Aufgrund der hervorragenden Reinigungsleistung der großen Kläranlagen konnten kritische Situationen weitgehend vermieden werden.

Aus qualitativer Sicht gibt es große Unterschiede zu 1976, weil dank der hervorragenden Reinigungsleistung der modernen Kläranlagen in den Fließgewässern die Konzentrationen an sauerstoffzehrenden organischen Verbindungen sowie an Ammonium durch Einleitungen kaum mehr erhöht werden. Im Jahre 1976 waren selbst die großen Klärwerke noch nicht in der Lage, Ammonium gezielt und wirkungsvoll zu nitrifizieren. 30 mg NH<sub>4</sub>-N/l im Kläranlagenablauf und 15 mg NH<sub>4</sub>-N/l im Gewässer waren damals keine Seltenheit, während die Werte im Sommer 2003 in den meisten Flüssen bei weniger als 0,1 mg NH<sub>4</sub>-N/l lagen. Hinzu kamen früher noch starke Gewitterregen, die wegen der fehlenden Regenrückhaltebecken zu extremen Belastungen durch Mischwassereinleitungen bei niedrigster Wasserführung in den Fließgewässern führten.

## Gewässerqualität

Während Abwassereinleitungen im Jahre 1976 noch kritische Belastungen und Fischsterben verursachten, trugen sie im letzten Jahr eher zur Sicherstellung einer „Mindestwassermenge“ ohne nennenswerte Verschlechterung der Güteverhältnisse in den Fließgewässern bei. Vom Roten Main wäre ohne das Abwasser der Stadt Bayreuth nur noch ein kleines Rinnsal übriggeblieben (siehe auch Abb. 4.3). Eine wesentliche Entspannung brachten auch Maßnahmen zur Niedrigwasseraufbesserung z.B. durch Wasserüberleitung vom Donau- ins Main Einzugsgebiet oder die konsequente Nutzung von Wasserspeichern.

### 4.7.3.5 Maßnahmen

Im Regierungsbezirk Oberfranken war als Sofortmaßnahme das Umsetzen von Flussperlmuscheln und Bachmuscheln erforderlich. Zur Sicherung einer Mindestwasserführung in der Sächsischen Saale wurde über mehrere Monate Wasser aus der Förmitztalsperre zugeführt.

Mittelfristig wäre es denkbar, den Wasserstand durch Einbringen von Steindämmen zu erhöhen. Notfallpläne für Perlmuschelgewässer könnten erarbeitet werden.

## 4.7.4 Regierungsbezirk Mittelfranken

### 4.7.4.1 Naturraumbezug

Die Gewässer des Regierungsbezirkes Mittelfranken werden im Süden und Osten vom Jura geprägt. Sie wiesen im Sommer und Herbst zu keiner Zeit Abflüsse im MNQ-Bereich auf. Hier haben Grundwasserzutritte, die noch vom regenreichen Herbst und Winter 2002/2003 profitierten, höhere Abflüsse gewährleistet.

Im Westen werden die Gewässer durch die geologischen Formationen Muschelkalk und Buntsandstein geprägt. Dazwischen überwiegt der Einfluss der Buntsandstein- und Keuperlandschaften. Das westliche Mittelfranken war von Auswirkungen der ungewöhnlichen Niederschlagsituation stärker betroffen. In diesen Gewässereinzugsgebieten wurden MNQ-Werte bereits im Juli erreicht, extreme Niedrigwasserverhältnisse wurden in Gewässern der Ordnungen I und II jedoch nicht festgestellt.

Über den Main-Donau-Kanal gelangt via Überleitung Donauwasser in das Maingebiet. Im Normalbetrieb wird durch die Überleitung in der Regnitz im Sommer ein Abfluss um  $27 \text{ m}^3/\text{s}$  (Winter ab November  $22 \text{ m}^3/\text{s}$ ) angestrebt. Durch die Trockenheit war nur eine eingeschränkte Überleitung möglich, die in der Regnitz bei Hüttendorf einen Abfluss von  $21,2 \text{ m}^3/\text{s}$  sicherstellte. Aus dem Brombachsystem wurden bis Mitte September maximal  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  abgegeben (siehe auch Kap. 5.3.2.1).



Durch die Entnahme von Wasser zur Bewässerung benachbarter landwirtschaftlicher Flächen kam es während der Trockenperiode an vielen Gewässern II. und III. Ordnung zu kritischen Verhältnissen. Besonders gravierend war die teilweise Trockenlegung der Gründlach in Nürnberg nach Umleitung in einen zentralen Pumpensumpf für „Notbewässerungen“. Etliche Kleingewässer fielen ab Juli/August auch ohne Übernutzungen trocken.

### 4.7.4.2 Abiotische Auswirkungen

#### Fließgewässer

Wesentliche Abweichungen von der langjährigen Entwicklung der Wasserqualität der westmittelfränkischen Fließgewässer infolge der extremen Abflusssituation waren 2003 nicht zu beobachten. Einzige die leicht erhöhten mittleren Wassertemperaturen fallen auf, sowie ein mäßiger Anstieg der Phosphorkonzentrationen. Letzterer liegt aber deutlich niedriger als unter der Annahme einer gleichbleibenden Fracht zu erwarten wäre. Somit kann von einem deutlich geringeren Anteil diffuser Phosphoreinträge im Sommer 2003 ausgegangen werden.

Die Arbeitsgemeinschaft "Gewässerschutz Obere Regnitz" der vier Großkommunen Nürnberg, Fürth, Erlangen und Schwabach betreibt in der Pegnitz oberhalb der Nürnberger Kläranlagen, in der Rednitz am Pegel Neumühle sowie in der Regnitz am Pegel Hüttendorf Messstationen, die die Parameter Sauerstoff, Wassertemperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Trübung, Ammonium, Nitrat und o-Phosphat online registrieren. Diese Daten zeigen, dass nach Niederschlägen die Konzentrationen für Ammonium kurzfristig bis auf knapp 1 mg/l N angestiegen und die Sauerstoffgehalte bis auf 5,5 mg/l abgesunken sind. Derartig geringe Sauerstoffwerte wurden in der Regnitz in den letzten Jahren nicht beobachtet; dies gilt in 2003 auch für die anderen Messstellen.

#### Stillgewässer

Im Juli und August wurden in den Seen des Überleitungssystems die höchsten Wassertemperaturen des Jahres gemessen: Im Großen Brombachsee wurden 25°C, im Igelsbachsee und Kleinen Brombachsee 26°C und im Rothsee 27°C nachgewiesen; im Altmühlsee wurde mit 25°C die höchste Wassertemperatur am 04.08.2003 festgestellt. Im Überleitungssystem Donau/Main konnten aufgrund der Wasserabgabe während der Niedrigwassersituation, vor allem aber wegen fehlender Einspeisungsmöglichkeiten im Frühjahr die Wasserspiegel mittlerer Niederschlagsjahre nicht gehalten werden. Sie lagen zum Jahresende im Altmühlsee bei 313,9 m (0,6 m unter Winterstauziel), beim Großen Brombachsee bei 405,5 m (5 m unter Stau- bzw. 2 m über dem Absenkziel). Dies waren die niedrigsten Wasserstände seit der Inbetriebnahme der Seen. Aus dieser Situation heraus ergaben sich jedoch keine nennenswerten Besonderheiten im Wasserchemismus, nicht zuletzt wohl auch aufgrund des Fehlens belastender Stoffeinträge aus Hochwasserereignissen. Eine Ausnahme bildeten in den Sommermonaten die erhöhten Konzentrationen an Orthophosphat am Altmühlsee, die auf Rücklösung aus dem Sediment zurückgehen. Eine Verstärkung des Algenwachstums hierdurch wurde jedoch nicht beobachtet. Der Rothsee unterschied sich während der letztjährigen Trockenphase nicht signifikant von den Vorjahren:

## Gewässerqualität

Bei den erhöhten Oberflächentemperaturen bis 27°C wurden erhebliche Nährstoff-Umsätze und Sauerstoffdefizite über Grund nachgewiesen.

### 4.7.4.3 Biozönotische Auswirkungen.

#### Fließgewässer

In Kleingewässern mit vermindertem Abfluss wurden in aller Regel weiterhin die gewässertypischen Organismen mit hohen Sauerstoffbedürfnissen gefunden. Auffällig war die generelle Zunahme von Kieselalgenbelägen auf den Gewässersohlen der untersuchten Fließgewässer.

Nur in Einzelfällen rief die Niedrigwassersituation direkte Reaktionen der Biozönose hervor. Dies wurde etwa bei Flusskrebspopulationen in trockenfallenden Gewässerabschnitten beobachtet, wo ältere Tiere offensichtlich der Situation zum Opfer fielen, während die Jungtiere sich in andere Gewässer oder Gewässerabschnitte zurückziehen konnten.

Wiederholte Beobachtungen deuten des weiteren darauf hin, dass die verringerten Fließgeschwindigkeiten und die überdurchschnittliche Sonneneinstrahlung dort, wo die Wassertiefe gering war, das Wachstum von Makrophyten begünstigte. Die fast durchweg eutrophierten mittelfränkischen Gewässer zeigten vielerorts eine deutlich erhöhte Transparenz bei verringertem Planktonalgenwachstum. Eine Besonderheit trat in der Walder Altmühl auf, wo ein größeres Vorkommen des Hornfarns *Ceratopteris pteroides* beobachtet wurde.

#### Stillgewässer

Die sommerlichen Blaualgenblüten in den bekannten Problemgewässern Vorsperre Rothsee, Dechsendorfer Weiher und Kleiner Dutzendteich entwickelten sich im gleichen Umfang wie in den Vorjahren.

Die Entwicklung in den Überleitungsseen verlief günstig. Es war kein vermehrtes Planktonwachstum festzustellen, dagegen aber teilweise eine für die Freizeitnutzung günstige Zusammensetzung der Algengroßgruppen (im Altmühlsee wurden zu keiner Zeit wesentliche Anteile von Blaualgen angetroffen.). Erwähnenswert ist das erstmalige Auftreten einer Verkräutung der flachen Badestrände am Großen Brombachsee mit den höheren Wasserpflanzen *Elodea canadensis*, *Myriophyllum spicatum*, *Ranunculus trichophyllum*, *Potamogeton trichoides*, *Potamogeton crispus*. *Najas minor* wurde im Igelsbachsee erstmalig festgestellt. Vom 06.07.2003 bis zum 26.08.2003 konnte im Großen Brombachsee *Craspedacusta sowerbii* beobachtet werden.

### 4.7.4.4 Bewertung der Ereignisse

Die zum Teil stark vorbelasteten Gewässer Mittelfrankens stellten sich im Jahr 2003 nicht schlechter als in den Vorjahren. Die Bedingungen führten zum Teil zu einer Verschiebung der Dominanz von Biokomponenten im Bereich der Wasserpflanzen: die Planktonentwicklung fiel regional geringer, die Makrophyten- und Phytobenthosentwicklung dagegen stärker aus.

### 4.7.4.5 Maßnahmen

Maßnahmen aufgrund der ungewöhnlichen Situation waren nicht veranlasst. Lediglich in einigen Fischteichanlagen waren Maßnahmen erforderlich: z. B. Wasserzufuhr zur Wasserstandsaufhöhung, Belüftung und vorzeitiges Abfischen.

## 4.7.5 Regierungsbezirk Niederbayern

### 4.7.5.1 Naturraumbezug

Grundsätzlich war der ganze Regierungsbezirk vom Niedrigwasser betroffen. Sowohl im Bayerischen Wald (knapp 40 % der Fläche) als auch im Tertiären Hügelland (60 % Flächenanteil) wurden Abflusswerte zwischen MNQ und NQ gemessen. Bei den Grundwasserständen wurden in den großen Flusstälern langjährige Sommertiefstwerte bei weiter abnehmender Tendenz erreicht.

Die in den trockenen Hochsommern abflusslosen Fließgewässer ("Gräben") des Hügellandes fielen einige Wochen früher trocken; so auch der Steinbach (rechtes Seitengewässer des Kollbachs, Landkreis Pfarrkirchen). Dagegen wurden bei den großen Hügellandbächen und den kleinen Flüssen die langjährigen Tiefstwerte nicht ganz erreicht, was auf die nach dem nassen Herbst 2002 relativ gut gefüllten Grundwasserkörper des Tertiärs (Sand, Feinkies) zurückzuführen sein dürfte. Von den großen Flüssen war die Isar aufgrund des Pufferungsvermögens des Sylvensteinspeichers weniger vom Niedrigwasser betroffen als die Donau.

Bei Gewässern mit Ausleitungsstrecken waren die Auswirkungen besonders deutlich. So mussten im Bayerischen Wald oftmals Wasserkraftanlagen abgestellt werden; Restwasserauflagen wurden in vielen Fällen nicht mehr eingehalten. Den Kreisverwaltungsbehörden wurden Anzeigen der Fischerei zugeleitet. Wasserentnahmen zur Bewässerung (Golfplatz Raßbach) oder zur Trinkwasserversorgung (Stadt Hauzenberg) führten zu Konflikten.

### 4.7.5.2 Abiotische Auswirkungen

#### Fließgewässer

Bei den chemischen Basisparametern ergaben sich sowohl für die Bäche des Bayerischen Waldes als auch für die Hügellandbäche keine signifikant höheren Konzentrationen als in einem "normalen" Jahr, was auf die niederschlagsbedingt geringeren Abschwemmungen und niedrigeren Belastungen aus Dränagen zurückzuführen sein dürfte. Erwartungsgemäß waren aber Temperatur und Sauerstoffgehalt auffällig: In der Donau konnten starke Tag-Nachtschwankungen bei der Sauerstoff-Sättigung im Zeitraum Mai/August beobachtet werden. Das Maximum betrug 140 %, das Minimum 61 %. Die Temperatur lag im Mittel um 2-3 °C höher als in den Vorjahren (max: 25 °C im August). Auch in der Isar lag die Temperatur im Mittel zwei Grad Celsius höher als in den Vorjahren, mit einem Maximum von 26 °C oberhalb Mündung.

## Gewässerqualität

Die vom Kernkraftwerk "Isar 1" beantragte und befristet genehmigte Mischtemperatur von 27 °C wurde nicht in Anspruch genommen (siehe Kap. 5.2). In der Vils wurde mit 25 °C die bislang höchste Temperatur seit 1993 gemessen.

### Stillgewässer

Einige Fischteichanlagen mussten zusätzlich technisch belüftet werden. In der Öberauer Schleife (Altarm der Donau) wurde im Sommer 2003 ein Temperaturmaximum von 29,5 °C gemessen; der Sauerstoffgehalt zeigte jedoch keine signifikanten Veränderungen gegenüber den Vorjahren.

### 4.7.5.3 Biozönotische Auswirkungen

#### Fließgewässer

Im Amtsbereich des WWA Deggendorf wurden vereinzelt kleine Fischsterben bekannt, die aber nicht zur Anzeige gebracht wurden. Im Tanner Bach (Straßen- u. Wasserbauamt Pfarrkirchen) wurde ein Fischsterben beobachtet, durch das etwa 200 Kleinfische (Mühlkoppen, Bachforellen, Schmerlen, Elritzen) betroffen waren. Hier könnte das Niedrigwasser indirekt zur hohen Ammoniumkonzentration (6,0 mg/l Ammonium bei einem pH-Wert von 7,83) beigetragen haben, da außer einem Hausabwassereinfluss keine weiteren Belastungen feststellbar waren.

Die im Zusammenhang mit der Ausnahmegenehmigung für das Kernkraftwerk "Isar 1" durchgeführten Ortseinsichten zeigten, dass kälteliebende (Forellen) bzw. strömungsliebende Fischarten (Nasen) die Mündungsbereiche der kühleren Nebengewässer aktiv aufsuchten (Wassertemperatur der Isar unterhalb Niederaichbach bis zu 25 °C). Eine Anbindung solcher Nebengewässer sollte daher als dringliche Forderung erhoben werden.

Die höchsten Chlorophyllkonzentrationen betragen in der Rott 279 µg/l (Pegel Postmünster) und 292 µg/l (Pegel Ruhstorf), in der Vils 143 µg/l (Grafenmühle). Nach der Aufzehrung des Phosphats wurden deutlich erniedrigte Chlorophyllwerte ermittelt.

In der Donau zeigte sich oberhalb Weltenburg ein starkes (benthisches) Blaualgenwachstum und in der Isar (Stausee Altheim) ein übermäßiges Wachstum von Fadenalgen. An einigen Buhnenfeldern der Donau trat Massenwachstum von Algen auf

### Stillgewässer

An vielen Badeseen, insbesondere jedoch im Stausee "Oberilzmühle" und im Badesee „Tyrnau“, herrschte im Spätsommer starke Algenentwicklung vor. So wurde in einer am 27.8.03 gezogenen Schöpfprobe von der Oberfläche des Stausees „Oberilzmühle“ ein Chlorophyll a-Gehalt von 554 µg/l ermittelt. In der Öberauer Schleife (Altarm der Donau) waren demgegenüber keine Auffälligkeiten erkennbar (s.o.). Im Amtsbereich des WWA Landshut kam es zum Phänomen der "roten Teiche", verursacht durch nicht näher bestimmte Einzeller



Abb. 4.11 "Rote Teiche", verursacht durch Einzeller

#### 4.7.5.4 Bewertung der Ereignisse

Außer dem früheren Trockenfallen kleinerer Fließgewässer waren im Vergleich zu den Jahren mit durchschnittlicher Wasserführung keine signifikanten Auswirkungen festzustellen. Die Verschlechterung der biologischen Gewässergüte in den Fließgewässern war beim Niedrigwasser 1976 viel ausgeprägter, da die punktuellen Einträge wesentlich zur Konzentrationserhöhung beigetragen haben.

Die Verbesserungen im Gewässerschutz zeigten somit deutlich ihre positive Wirkung. Insgesamt gesehen haben die Gewässer die Situation der hohen Temperaturen und geringen Wasserführung erstaunlich gut überstanden.

#### 4.7.5.5 Maßnahmen

Fachlich kommt der angesprochenen Anbindung kleiner Nebengewässer für strömungsliebende Arten wegen ihrer Refugialfunktion bei höheren Wassertemperaturen eine erhöhte Bedeutung zu. Dies sollte bei der Gewässerentwicklung stärker berücksichtigt werden. Aus der Sicht der Gewässeraufsicht könnten zukünftig wenige individuelle Messprogramme der Ämter sowie einige gezielte Ortseinsichten die Niedrigwassersituation besser dokumentieren.

### 4.7.6 Regierungsbezirk Oberpfalz

#### 4.7.6.1 Naturraumbezug

Naab und Regen sowie ihre östlichen Zuflüsse aus dem kristallinen Grundgebirge lagen unter dem langjährigen mittleren Niedrigwasser (MNQ), jedoch noch ca. 25-60 % über dem extrem trockenen Sommer von 1976. In den Oberläufen ging die Wasserführung an vielen kleinen Bächen stark zurück oder sie fielen sogar ganz trocken. Betroffen waren auch Restwasserstrecken bei Triebwerken. Verstärkt wurde dies durch unerlaubte Wasserentnahmen aus Bächen zur Speisung von Fischteichen und zur Beregnung landwirtschaftlicher Flächen. Eine Niedrigwasseraufhöhung in der Schwarzach zur Naab bzw. der Tirschenreuther Waldnaab konnte durch die Hochwasserspeicher in Eixendorf bzw. am Liebenstein erreicht werden.

Die Gewässer aus dem Jurakarst zur Naab z.B. Vils, Lauterach, Rosenbach wiesen ganzjährig Abflüsse über dem MNQ auf. Dies liegt im Wesentlichen am besseren Wasserspeichervermögen und der größeren Mächtigkeit der Grundwasserleiter des Jurakarstes im Vergleich zum kristallinen Urgestein. Besonders günstig wirkten sich die hohen Grundwasserstände der Vorjahre auf das Abflussgeschehen der Fließgewässer aus.

#### 4.7.6.2 Abiotische Auswirkungen

##### Fließgewässer

Die aus dem Bereich des kristallinen Grundgebirges gespeisten Flüsse waren mit bis zu 27 °C deutlich wärmer als die von Natur aus kalten Quellflüsse des Oberpfälzer Jura mit Temperaturen unter 15 °C. Die Gewässer waren in Abhängigkeit von der Intensität der Sonneneinstrahlung und bei langsamer Fließgeschwindigkeit deutlich stärker eutrophiert als in den Vorjahren. Durch die biogene Entkalkung stiegen die pH-Werte in kristallinen Gewässern auf Werte bis zu pH 9,0 an, während die kalkgepufferten Juragewässer im typischen Bereich um pH 8 verblieben. Die Sauerstoff-Sättigung lag in den Fließgewässern durchwegs über 75 % und stieg mancherorts in Folge Eutrophierung auf bis zu 150 % an. Kritische Verhältnisse traten kaum auf. Die Nährstoffkonzentrationen der untersuchten Fließgewässer waren trotz des Niedrigwassers allenfalls leicht erhöht. Dies lag im Wesentlichen daran, dass einerseits wegen der geringen Niederschläge die Schmutzwassermengen der Kläranlagen und andererseits die diffusen Einträge aus landwirtschaftlichen Nutzflächen (insbesondere durch Erosion) sehr stark zurückgingen.

#### 4.7.6.3 Biozönotische Auswirkungen

##### Fließgewässer

In kleinen Oberläufen konnten vereinzelt Fischsterben durch Wassermangel festgestellt werden. Im Zusammenhang mit der lang anhaltenden Niedrigwasserperiode wurden insgesamt jedoch nicht mehr Fischsterben als üblich gemeldet. Die hohen Wassertemperaturen förderten die Selbstreinigungskraft der Gewässer, ohne den Sauerstoffhaushalt zu stark zu beanspruchen.

### **Stillgewässer**

Die intensive Sonneneinstrahlung führte im Eixendorfer See, Liebenstein-, Höllenstein- und Blai-bachspeicher zu massiven Algenblüten und damit verbunden zu einer starken Sauerstoffzehrung (Sauerstoffsättigung ca. 34 %). Wegen der geringen Sichttiefe und dem Nachweis von Blaualgen-toxinen wurde ein Badeverbot am Eixendorfer See verhängt.

#### **4.7.6.4 Bewertung der Ereignisse**

Die Überwachungsergebnisse zeigen, dass die biologischen Stufen der kommunalen Kläranlagen erwartungsgemäß unabhängig von der Witterung eine sehr gute Reinigungsleistung zeigten. Diese wurde durch die hohen Wassertemperaturen und die relativ geringeren Schmutzwassermengen noch begünstigt.

#### **4.7.6.5 Maßnahmen**

Bei der öffentlichen Trinkwasserversorgung traten Dank des Verbundausgleichs keine Versorgungsengpässe auf. Die täglichen Spitzenabgaben der Wasserwerke konnten ohne Störungen bewältigt werden. Einige wenige Hausbrunnen waren im Herbst versiegt. Mit den Speichern Eixendorf und Liebenstein konnte eine gewisse Niedrigwasseraufhöhung erreicht werden.

### **4.7.7 Regierungsbezirk Schwaben**

#### **4.7.7.1 Naturraumbezug**

Im Regierungsbezirk Schwaben finden sich verschiedenste Gewässerlandschaften, von den Allgäuer Hochalpen über die großen Flussebenen bis zum Rieskessel und den Gewässern der Alb. 95 % der Fläche entwässern zur Donau, 5 % zum Bodensee und damit zum Rhein. Nach Norden zu nehmen die Jahresniederschläge von über 2.200 mm mit der Meereshöhe bis auf unter 700 mm nördlich der Donau ab. Entsprechend verringern sich die Abflussspenden von 60 l/s \* km<sup>2</sup> auf ca. 7 l/s \* km<sup>2</sup>. Die Fließgewässer südlich der Donau sind generell sommerkühl. Die Eger und Würnitz sind sommerwarm, wobei die Würnitz vom Typ her der einzige Tieflandfluss Schwabens ist.

Im Jahr 2003 war im Süden Schwabens der alpine Bereich von Niedrigwasser besonders betroffen, da hier sehr geringe Niederschläge fielen und keine Vergletscherung vorhanden ist. Dies zeigt sich auch noch in der Jahresbilanz (Raum Kempten/Oberstdorf langjähriges Mittel ca. 1.500 mm Niederschlag; 2003 nur rund 1.140 mm).

Im mittleren Bereich Schwabens profitierten die Gewässer davon, dass die Talgrundwasserleiter durch das extrem niederschlagsreiche Vorjahr gut aufgefüllt waren (bis Ende 2002 steigende Grundwasserstände). Kleinere Gewässer, die durch Schichtwässer gespeist wurden, waren viel stärker beeinträchtigt.

## Gewässerqualität

Zur Donau hin nimmt die Grundwasseranbindung der Fließgewässer und damit die ausgleichende Wirkung ab. Nördlich der Donau, in den Albausläufern, waren die Jurabäche und der Bereich des Rieses am stärksten von den Witterungsverhältnissen betroffen.

### 4.7.7.2 Abiotische Auswirkungen

#### Fließgewässer

In den Fließgewässern wurde in den Monaten Juli und August die höchsten Wassertemperaturen gemessen. Dabei wurde die Letalgrenze für an kühleres Wasser angepasste (kaltstenotherme) Arten nahezu erreicht. Die anhaltende Hitze erbrachte im sonst sommerkalten Lech im Mündungsbereich Temperaturen von 24 °C, in der Wörnitz wurden 28 °C gemessen. Die Analyse der chemischen Inhaltsstoffe wies im südlichen und mittleren Bereich Schwabens keine Beeinträchtigungen auf. Ursächlich hierfür ist der fehlende Eintrag aus der Fläche aufgrund der langen niederschlagsfreien Zeit. Die punktuellen Einleitungen waren hinreichend gereinigt. Im Norden Schwabens hatten die Fließgewässer z.T. die niedrigsten jeweils gemessenen Abflüsse. Eine große Zahl von Bächen, die bisher - soweit bekannt - noch nie trocken gefallen waren, waren teilweise bereits im Mai ausgetrocknet. Als Beispiel wäre der Ellerbach zu nennen, der mit einem Einzugsgebiet von 20 km<sup>2</sup> von Mai bis November vollständig trocken gefallen war. Hohe Temperaturen und somit erhöhte Zehrung bzw. verminderte Löslichkeit ließ die Sauerstoffkonzentration mitunter unter 4 mg/l sinken.

#### Stillgewässer

Naturgemäß kam es in den Stillgewässern zu stark erhöhten Oberflächentemperaturen, z.B. 27,5 °C am Rottach-Speicher und zu einer erhöhten Sauerstoffzehrung im Wasserkörper. Im Norden Schwabens und in der Donauaue ging der Wasserstand in den Baggerseen stark zurück. Im Jura fielen viele Fischteiche teilweise oder ganz trocken. Positiv für die Seen wirkte sich aus, dass kein Nährstoffeintrag aus der Landschaft erfolgte.

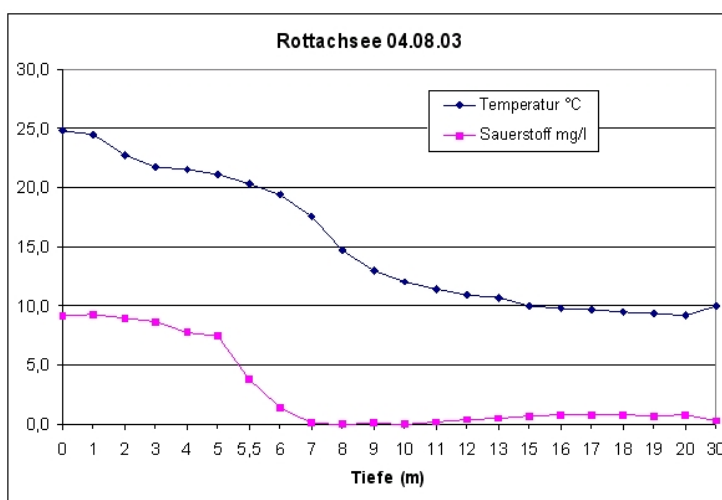


Abb. 4.12 Temperatur- und Sauerstoffprofil des Rottach-Speichers



### 4.7.7.3 Biozönotische Auswirkungen

#### Fließgewässer

In den permanent wasserführenden Fließgewässern im Süden und der Mitte Schwabens wurden keine direkten Auswirkungen auf die Biozönose festgestellt. In kleineren, trocken fallenden Gewässern wurden die Fische von den Fischereiberechtigten zum Teil in andere Gewässer umgesetzt. Die sonstige Besiedlung wird – je nach Interstitial – teilweise stark dezimiert worden sein. Im Norden fanden durch Austrocknung, geringen Abfluss und Erwärmung einige Fischsterben statt, die unter anderen Randbedingungen vermutlich nicht aufgetreten wären. Sicher wurden auch Fischsterben durch Trockenheit hingenommen und dem Amt nicht gemeldet. Trotzdem war auch in Nordschwaben die Anzahl der Fischsterben eher unterdurchschnittlich.

#### Stillgewässer

Die Niedrigwassersituation wurde durch geringe Nährstoffeinträge kompensiert, so dass nur vereinzelt verstärktes Blaualgenwachstum beobachtet werden konnte. Im Rottachsee kam es durch die hohe Oberflächenwassertemperatur zu einem Fischsterben (Felchen und Kaulbarsch, 15 Zentner), da diese Fische aufgrund von Sauerstoffschwund (siehe Abb. 4.12) nicht in tiefere und somit kühlere Bereiche abwandern konnten. Ansonsten traten im Süden und in der Mitte Schwabens keine größeren Probleme auf, vielmehr allerorts Badespaß bei meist großer Sichttiefe.

Im Norden traten in Baggerseen mit Badenutzung verschiedentlich Blaualgenblüten, im Friedberger Baggersee auch eine Dinophyceen-Blüte auf. Badeverbote mussten jedoch nicht ausgesprochen werden. Fischsterben waren selten. Insgesamt wurde nur ein Aalsterben in einem Baggersee sowie ein Fischsterben in einem Fischteich gemeldet.

### 4.7.7.4 Bewertung der Ereignisse

Der gute qualitative Zustand und fehlende Abschwemmungen haben – abgesehen von der Temperatur – nur wenig kritische Verhältnisse hervorgerufen. Die Leistungen der Abwasserreinigung zeigten sich sehr deutlich.

### 4.7.7.5 Maßnahmen

In der Iller bei Kempten kam es im August 2003 zu kritischen Temperaturverhältnissen. So stieg die Wassertemperatur von 14 °C am 01.08. bis auf 19 °C am 05.08. an. Daraufhin wurde der Iller ab dem 06.08. über die Rottach zunächst 1 m<sup>3</sup>/s Tiefenwasser mit 9 °C Wassertemperatur aus dem Rottachsee zugeführt. Vom 07.08. bis zum 29.08.2003 wurden kontinuierlich 2 m<sup>3</sup>/s eingeleitet. So konnten die Maximaltemperaturen bei 19 °C gehalten werden. Bei der Wertach, wo eine solche Dotation nicht möglich war, wurden 22 °C erreicht. Eine Wasserabgabe zur Niedrigwasserhöhung der Donau gemäß Wasserrechtsbescheid war 2003 aber nicht erforderlich.

## Gewässerqualität

Im Landkreis Dillingen wurden der trockengefallene Brunnenbach – er enthält deutschlandweit das beste Vorkommen der Bachmuschel *Unio crassus* – befeuchtet, indem Landwirte in Zusammenarbeit mit der Gemeinde fassweise Wasser in den Oberlauf gossen.

An der Donau wurde die Bayerische Elektrizitätswerke GmbH (BEW) durch das Wasserwirtschaftsamt Donauwörth dazu angehalten, „Abflussschwankungen“ in der Staustufe Donauwörth durch händische Steuerung der Turbinen zu vergleichmäßigen.

# 5 Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen

Besonderes Interesse der Öffentlichkeit galt den unmittelbaren Auswirkungen der Wassermangelsituation auf die Wasserwirtschaft, was unter anderem an den vielen Zeitungsartikeln im Sommer 2003 über Schifffahrt, Kraftwerke, Speicherbewirtschaftung und Wasserversorgung zu sehen war. Dabei hatten nicht nur die Dürreperiode und die hohen Temperaturen Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft, sondern auch die wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, wie Niedrigwasseraufhöhung aus Speicherseen und dem Main-Donau Überleitungssystem, Auswirkungen auf die quantitative und qualitative Niedrigwassersituation.

## 5.1 Wasserversorgung

### 5.1.1 Struktur der öffentlichen Wasserversorgung

Mit über 3.600 Wasserversorgungsanlagen und 10.000 Brunnen und Quellen hat Bayern nach wie vor im Vergleich zu anderen Bundesländern die größte Zahl und Vielfalt öffentlicher Wasserversorgungsanlagen, darunter auch sehr viele kleine Anlagen mit ortsnaher Wassergewinnung.

Die öffentliche Wasserversorgung ist in Bayern insgesamt mengenmäßig gesichert. Es gibt jedoch Problemgebiete in Franken und der Oberpfalz, in denen wegen der geringen Jahresniederschläge und/oder der geologischen Situation nicht genügend Wasser vor Ort gewonnen werden kann. In diesen Bereichen und auch bei allen Kleinanlagen, deren Wassergewinnung sich auf extrem kleine Einzugsgebiete stützt, wirken sich länger anhaltende Trockenperioden besonders ungünstig aus.

Für das nordbayerische Wassermangelgebiet, insbesondere den Ballungsraum Nürnberg und die größeren Städte in Franken, gibt es leistungsfähige Versorgungsachsen und Fernwasserverbünde wie z.B. die Fernwasserzuleitung aus dem Lechmündungsgebiet nach Nürnberg, über die etwa 25 Mio. m<sup>3</sup>/a von Südbayern nach Nordbayern geliefert werden. Weiterhin existieren Verbundleitungen zwischen den fränkischen Fernwasserversorgungen wie z.B. der Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum, der Fernwasserversorgung Franken, der Fernwasserversorgung Mittelmain und der Fernwasserversorgung Oberfranken. Die Wassermangelgebiete im Bayerischen Wald werden von der Wasserversorgung Bayerischer Wald (WBW) mit Trinkwasser versorgt. Neben diesem großen überörtlichen Verbund gibt es auch auf örtlicher Ebene zahlreiche Verbundleitungen zwischen Gemeinden und Zweckverbänden, die sich gegenseitig aushelfen können. Die Regel ist jedoch eine verbrauchernahe Wassergewinnung durch kommunale Wasserversorgungsunternehmen.

### 5.1.2 Anschlussgrad – Art der Wassergewinnung

Über 98 % der bayerischen Bevölkerung sind an öffentliche Wasserversorgungsanlagen angeschlossen. Rund 95 % des Trinkwassers werden aus dem Grundwasser über etwa 10.000 Brunnen und Quellen gewonnen.

## **Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen**

Die nicht an zentrale Anlagen angeschlossenen Bürger versorgen sich über rund 50.000 Hausbrunnen und Quellen. Versorgungsengpässe und Mangelscheinungen aus diesem Bereich werden in der Regel nicht bekannt. Es ist aber erfahrungsgemäß davon auszugehen, dass es gerade in diesen Bereichen in Trockenjahren zu gravierenden Versorgungsproblemen kommt.

### **5.1.3 Situation bei Quellwassernutzungen**

Insgesamt wurden im Jahr 2003 nur 70% der langjährigen mittleren Niederschlagsmengen erreicht. Die entsprechend geringe Grundwasserneubildung und längere Trockenperioden wie im Jahr 2003 bereiten überwiegend bei Quellwassernutzungen Probleme, da es sich meistens um relativ kleine Quellwassereinzugsgebiete mit geringer Pufferwirkung handelt. Hier treffen Zeiten besonders hohen Trinkwasserverbrauchs mit Zeiten stark zurückgehender Quellschüttungen zusammen. Betroffen sind daher überwiegend kleinere Gemeinden in den Mittelgebirgslagen, die sich über Quellen mit sehr kleinen Einzugsgebieten versorgen. So gab es z.B. im Bayerischen Wald, in der Rhön und in den Hassbergen im Sommer 2003 vereinzelt Aufrufe an die Bevölkerung zum Wassersparen. Zu gelegentlichen Versorgungsengpässen ist es vor allem bei Gemeinden im Bayerischen Wald gekommen. Die Situation hat sich im Herbst zwar wieder entschärft, dies war aber auch auf den jahreszeitlich bedingt rückläufigen Verbrauch zurückzuführen.

Die auch nach den Sommermonaten anhaltend unterdurchschnittlichen Niederschläge haben zu einem weiteren Rückgang der Quellschüttungen geführt. Seit Anfang Dezember 2003 wurden daher wieder vereinzelt Mangelsituationen vor allem aus dem Bayerischen Wald gemeldet, die sich bei längeren Frostperioden rasch verschärfen können.

### **5.1.4 Situation bei Grundwassernutzungen**

Wasserversorgungsanlagen, die sich auf Brunnen zur Grundwassergewinnung stützen, sind gegenüber Quellwassernutzungen wesentlich besser vor trockenheitsbedingten Ausfällen geschützt. Der Grundwasserkörper wirkt wie ein Langzeitspeicher, der über seine Pufferwirkung auch längere Trockenperioden ausgleichen kann. Das Ausmaß der Pufferwirkung ist allerdings maßgeblich von den hydrogeologischen Gegebenheiten abhängig. So haben z.B. mächtige Lockergesteinsgrundwasserleiter eine wesentlich höhere Speicherwirkung als ein Kluftgrundwasserleiter.

In der Trockenperiode bis Ende August 2003 lagen in vielen Fällen die Grundwasserstände sogar noch im Bereich der langjährigen Mittelwerte. Dies war allerdings dem glücklichen Umstand zu verdanken, dass - bedingt durch die vorhergegangenen Nassjahre - die Trockenheit auf außergewöhnlich hohe Grundwasserstände traf. Auf Grund der anhaltend geringen Niederschläge in der 2. Jahreshälfte 2003 waren die Grundwasserstände bis zum Jahresende weiter abgesunken und haben in vielen Fällen die mittleren Niedrigwasserstände erreicht. Die möglichen Entnahmen aus Trinkwasserbrunnen sind allerdings so ausgelegt, dass auch bei Niedrigwasserständen im Grundwasser, wie sie derzeit vorliegen, eine ausreichende Versorgung gewährleistet werden kann.

### 5.1.5 Situation bei den Trinkwassertalsperren

Über die Trinkwassertalsperren Frauenau und Mauthaus werden weite Teile der Wassermangelgebiete im Bayerischen Wald und Oberfranken mit zusätzlichem Trinkwasser seit mehr als 20 Jahren versorgt. Beide Trinkwassertalsperren waren Ende August 2003 noch mit mehr als 70 % ihres Speichervolumens gut gefüllt. Auch bei weiter anhaltender extremer Trockenheit wären daher keine Engpässe zu erwarten gewesen. Zudem ist der Speicherraum der Talsperren so bemessen, dass auch bei zwei aufeinanderfolgenden extremen Trockenjahren keine Versorgungsprobleme auftreten dürften.

Die Trinkwassertalsperre Mauthaus dient primär der Rohwasserbereitstellung für die Fernwasserversorgung Oberfranken. Dafür steht ein Stauraum von 14,9 Mio. m<sup>3</sup> zur Verfügung. Die mittlere jährliche Liefermenge aus der Talsperre beträgt rund 12 Mio. m<sup>3</sup>. Neben Hochwasserschutz und Stromerzeugung aus Wasserkraft dient die Talsperre auch zur Stabilisierung der Wasserführung bei Niedrigwasserabflüssen in der Rodach. In der Trockenzeit wurde von Mitte Juli bis Ende August 2003 die Gesamtwasserabgabe (Rohwasser zur Trinkwasseraufbereitung und Unterwasserabfluss zur Rodach) in einem Band von 550 – 750 l/s gefahren. Die Trinkwasserabgabe schwankte im Bereich von 400 – 640 l/s. Als höchste Tagesmenge wurden im August 53.000 m<sup>3</sup> zur Aufbereitungsanlage nach Rieblach weitergegeben.

Die Trinkwassertalsperre Frauenau versorgt weite Teile des Bayerischen Waldes bis hinaus nach Deggendorf mit zusätzlichem Trinkwasser. In Spitzenzeiten wurden täglich bis zu 40.000 m<sup>3</sup> an die Wasserversorgung Bayerischer Wald abgegeben. In der Trockenperiode Juli bis September 2003 wurde die Rohwasserabgabe zur Trinkwasseraufbereitung in einem Band von etwa 29.000 – 39.000 m<sup>3</sup> gefahren. Als höchste Tagesmenge wurden am 7. August 40.210 m<sup>3</sup> zur Aufbereitungsanlage nach Flanitz weitergegeben. Zur Aufhöhung des Niedrigwassers im Kleinen Regen hat die Talsperre dauerhaft rund 250 l/s ins Unterwasser abgegeben. Insgesamt wurden so von Anfang Juli bis Ende September rund 2,88 Mio. m<sup>3</sup> aus der Talsperre zur Verfügung gestellt. Die Höchstabgaben der Talsperren sind auch ein Hinweis darauf, dass eine Vielzahl kleiner Wasserversorger ihren Bedarf nicht mehr aus eigener Kraft decken konnten und dort ohne vermehrten Zusatzwasserbezug aus den Talsperren massive Versorgungsengpässe aufgetreten wären.

### 5.1.6 Fazit und Ausblick

Die Mischstruktur der Wasserversorgung in Bayern mit den zahlreichen ortsnahen Versorgungen, den bestehenden Verbindungen über Verbundleitungen und Verbandsanlagen, sowie hierzu unterstützend die überregionalen Fernwasserversorgungen zur Sicherstellung der Wasserversorgung in den Wassermangelgebieten Nordbayerns, hat sich in der Trockenperiode 2003 bewährt. Dabei hat sich gezeigt, dass die im Sinne der Versorgungssicherheit verfolgte Strategie der Redundanz von Wassergewinnungsanlagen ein absolutes Muss ist, um auch in solchen Zeiten – und es sind noch ungünstigere Situationen einzukalkulieren – eine einwandfreie ausreichende Versorgung der Bürger sicherstellen zu können.

## Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen

Gerade in den Wassermangelgebieten hat man frühzeitig darauf geachtet, dass sich die Versorgung nicht nur auf ein Wassergewinnungsgebiet abstützt. Auch dort, wo Trinkwassertalsperren als dominierende Wassergewinnungsanlagen vorhanden sind, wurden vorhandene Grundwassergewinnungen erhalten oder ein zusätzlicher Verbund als zweites Standbein geschaffen.

Bedingt durch die ergiebigen Niederschläge Anfang Januar 2004 hat sich die Niedrigwassersituation im Grundwasser zwar wieder etwas entschärft, in einigen Bereichen liegen die Grundwasserstände aber immer noch deutlich unter dem mehrjährigen Mittelwert. Bei anhaltendem Dauerfrost kann sich die Lage – auch unabhängig von den Niederschlägen – vor allem bei den Quellwassernutzungen dramatisch verschlechtern.

Die Bürger, die über Grundwasserbrunnen versorgt werden, können zwar auch bei länger anhaltender Trockenheit relativ beruhigt in die Zukunft schauen. Dort, wo der Versorgungssicherheit bisher nicht der entsprechende Stellenwert eingeräumt wurde, kann es aber durchaus zu lokal begrenzten Versorgungsengpässen kommen. Für die Bürger, die im Bayerischen Wald und in Oberfranken mit Trinkwasser aus den beiden Trinkwassertalsperren Frauenau und Mauthaus versorgt werden, besteht kein Anlass zur Besorgnis.

### 5.1.7 Vorsorge

Die Gemeinden und Wasserversorgungsunternehmen sollten die Niedrigwasserperiode 2003 zum Anlass nehmen, ihre Anlagen auf die notwendige Versorgungssicherheit zu überprüfen und – soweit notwendig – entsprechende Vorsorgemaßnahmen treffen, wie z.B. Speicherbehälter, Notbrunnen und Verbundleitungen überprüfen, Rohrnetzsanierungen durchführen und ggf. zusätzliche Wassererschließungen vorbereiten.

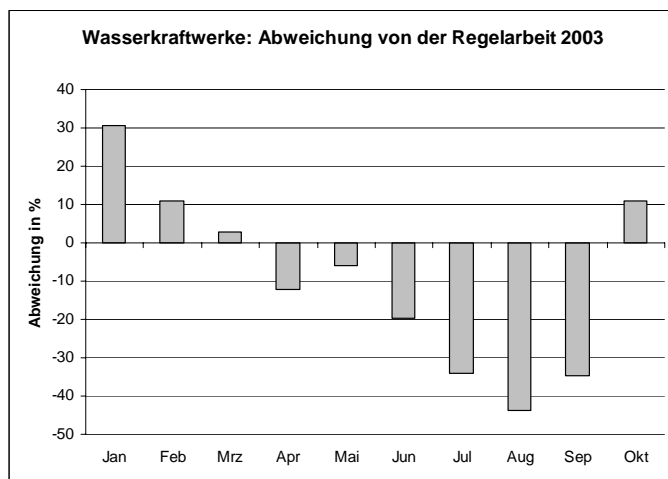
Der Freistaat Bayern hat zur generellen Zukunftsvorsorge Grundwasserreserven erkundet, die über das ganze Land verteilt sind. Zur Zeit stehen noch Reserven in Höhe von rund 160 Mio. m<sup>3</sup>/a zur Verfügung, das entspricht knapp 20 % unseres derzeitigen Trinkwasserbedarfs. Diese Gebiete sind für den Bedarf künftiger Generationen und für den Notfall mit Wasserschutzgebieten gesichert. Bei einer anhaltenden Entwicklung hin zu längeren Trockenperioden wären diese Gebiete relativ kurzfristig für die Wasserversorgung aktivierbar. Es zeigt aber auch, dass die Ausweisung von Erkundungsgebieten ein unverzichtbarer Beitrag zur Zukunftsvorsorge ist.

Kommunen und Behörden sorgen im Hintergrund ständig dafür, dass Trinkwasser in ausreichender Menge und guter Qualität vorhanden ist. Daher ist es selbstverständlich geworden, dass jederzeit klares, appetitliches und gesundes Wasser aus dem Hahn kommt. Die ständigen Anstrengungen, die dazu notwendig sind, werden von vielen Bürgern nicht wahrgenommen. Erst lang anhaltende Trockenperioden lenken den besorgten Blick auf die Trinkwasserversorgung und lassen uns darüber nachdenken, ob genügend Wasser zur Verfügung stehen wird. Die Vorsorge, die von den Kommunen und Behörden geleistet werden muss, stößt aber häufig auf heftige Widerstände von Betroffenen insbesondere bei der Ausweisung von Wasserschutzgebieten.

Trockenperioden sollten daher nicht nur daran erinnern, dass es wichtig ist, für ausreichende Wasserreserven zu sorgen, sondern diese auch gut zu schützen. Die politisch Verantwortlichen und die örtlichen Versorger sind gefordert, dem Druck gegen Schutzgebietsausweisungen standzuhalten und das Trinkwasser konsequent zu schützen. Problematisch kann es für die Trinkwasserversorgung vor allem dann werden, wenn Trinkwasservorkommen wegen Qualitätsproblemen ausfallen. Daher kommt dem Schutz der vorhandenen Brunnen und Quellen besondere Bedeutung zu.

## 5.2 Kraftwerke

### 5.2.1 Wasserkraftwerke



**Abb. 5.1** Stromerzeugung aus den Wasserkraftwerken der Firma e-on Wasserkraft in den Monaten Jan.- Okt. 2003 als Abweichung von der aus dem mehrjährigen Mittel abgeleiteten Regularbeit

Durch die geringe Wasserführung der Flüsse wurde in der Niedrigwasserperiode weniger Strom erzeugt. Bei den 129 Kraftwerken (Werkgruppen Edersee, Main, Donau, Lech, Isar und Inn) der Firma E-ON Wasserkraft GmbH wurden folgende Abweichungen von der Regularbeit<sup>6</sup> festgestellt.

Bedingt durch die hohen Abflüsse im Januar und Februar 2003 liegt die Abweichung von der Regularbeit für die Gesamtzeit von Januar bis Oktober 2003 bei nur -9,5 % (fernmündliche Auskunft der E-ON WASSERKRAFT GMBH, Landshut).

### 5.2.2 Weitere Kraftwerke

Die Einleitung von Kühlwasser aus konventionellen Wärmekraftwerken und Kernkraftwerken erwärmte die Flüsse zusätzlich. Dabei fällt die thermische Belastung bei niedrigem Abfluss und ohnehin hohen Wassertemperaturen stärker ins Gewicht und könnte deshalb zur Überschreitung zulässiger Temperaturen im Gewässer führen. Die bayerische Fischgewässerqualitätsverordnung erlaubt eine Gewässererwärmung auf maximal 28 °C. Durch die Abwärmeeinleitung wurde diese Grenztemperatur in der Niedrigwasserperiode 2003 von keinem bayerischen Wärme- bzw. Kernkraftwerk überschritten.

<sup>6</sup> Regularbeit: Festgelegter Jahresmittelwert für die Stromerzeugung bei Regelführung des Flusses, d.h. mehrjährig gemittelter Abfluss

## **Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen**

### **5.2.2.1 Thermische Belastung durch Kühlwasser von Kernkraftwerken 2003**

Im einzelnen hat sich die Situation wie folgt dargestellt:

Am Standort des Kernkraftwerkes Grafenrheinfeld stiegen die Mainwassertemperaturen an der Entnahmestelle für das Kühlwasser bis auf 26,3 °C an. Die rechnerische Aufwärmung des Mains durch die Einleitung des Kühlwassers betrug 0,1 °C. Die im Wasserrechtsbescheid zulässige Temperatur im Gewässer von 28 °C unterhalb der Einleitungsstelle wurde nicht erreicht. Temperaturbedingte Betriebseinschränkungen traten im August 2003 nicht auf.

Am Standort des Kernkraftwerkes Gundremmingen wurden vom Wasserwirtschaftsamt Krumbach am 07.08.2003 in der Donau 50 m oberstromig der Einmündung des Kühlwasserkanals eine Temperatur von 23,7 °C und 50 m unterstromig der Einmündung eine Temperatur von 23,5 °C gemessen. Hier ist zu berücksichtigen, dass die vom Kernkraftwerk im Unterwasser der Staustufe Faimingen gemessenen Temperaturen auch durch die lange Aufenthaltszeit im Faiminger Stausee beeinflusst wird. Die im Wasserrechtsbescheid zulässige Temperatur im Gewässer von 28 °C unterhalb der Einleitungsstelle wurde auch hier nicht erreicht. Temperaturbedingte Betriebseinschränkungen traten im August 2003 ebenfalls nicht auf.

Am Standort der Kernkraftwerke Isar I (KKI 1) und Isar II (KKI 2) wurden vom Wasserwirtschaftsamt Landshut am 07.08.2003 in der Isar am Einlauf von KKI 1 23,5 °C und im Unterwasser der Staustufe Gummering (7,5 km unterhalb von KKI 1) 24,6 °C sowie am 13.08.2003 in der Isar am Einlauf von KKI 1 24,1 °C und im Unterwasser der Staustufe Gummering 24,8 °C gemessen. Aufgrund dieser herrschenden extrem heißen Witterung sowie den niedrigen Isarabflüssen ist ein Anstieg der Isartemperatur an den Entnahmestellen der Kernkraftwerke auf Werte im Bereich von 25 °C und darüber hinaus nicht auszuschließen gewesen. Die derzeitige wasserrechtliche Bescheidssituation (KKI 1, 6. Änderungsbescheid vom 28.05.1999, Pkt. A II 3.1.3 sowie KKI 2, Bescheid vom 10.12.1987, Pkt. A 6.5.3.3) mit einer maximalen Isarmischtemperatur von 25 °C hätte eine Unterbindung der Wärmeeinleitung in die Isar und somit ein Abschalten beider Kraftwerksblöcke zur Folge gehabt.

### **5.2.2.2 Maßnahmen zum Schutz der Isar**

Bei niedrigen Isarabflüssen (unter 70m<sup>3</sup>/s) und/oder Isartemperaturen über 20 °C sieht der ursprüngliche Bescheid des KKI-1 vom 23.12.1976 folgende Maßnahmen zu einer Reduzierung der Wärmeabgabe und somit zum Schutz der Isar vor:



Übergang von Frischwasserkühlung auf Kühlturmeinsatz mit:

1. Ablaufkühlung
2. Ablaufkühlung mit teilweiser Kühlwasserrückführung in den Einlauf (Mischbetrieb)
3. Kreislaufkühlung (mit vollständiger Kühlwasserrückführung); hierbei müssen jedoch zusätzlich phosphorhaltige Härtestabilisierungsmittel eingesetzt werden, die gemäß Bescheid auf 4,5 mg/l bzw. 900 kg/d begrenzt sind.

Die unter 1.-3. beschriebenen Fahrweisen bewirken einen Rückgang der Wärmeabgabe an die Isar mit entsprechender Reduzierung der Stromerzeugung wobei insbesondere der Kreislaufbetrieb eine zusätzliche Reduzierung der Reaktorleistung erfordert. So erfolgte beim KKI-1, das zu dieser Zeit erstmals seit der Inbetriebnahme im Kreislaufbetrieb arbeitete, bereits eine Rücknahme der thermischen Leistung um 40%.

Die Anforderungen an die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist um das Leben von Fischen zu erhalten wird von der EU in der Richtlinie 78/658/EWG festgelegt. Mit der Bayerischen Fischgewässerqualitätsverordnung -BayFischGewV- vom 30.04 1997 wurden die Vorgaben der EU rechtlich umgesetzt.

Die Isar ist im Bereich der Kernkraftwerke, Gemeinde Ohu, Landkreis Landshut, als Cyprinidengewässer eingestuft. Die BayFischGewV (Anlage 2, Teil1) sieht für diese Gewässer folgende imperative Grenzwerte vor:

Temperatur: max. 28°C

Gelöster Sauerstoff: 50%  $\geq$  7 mg/l mit Mindestgehalt von 4 mg/l

Phosphorgehalte (P-gesamt) von 0,13 mg/l als Richtwert

### 5.2.2.3 Ausnahmegenehmigung des Landratsamtes für das Kraftwerk KKI 1

Im Hinblick auf die Sicherstellung der Energieversorgung wurde vom Landratsamt Landshut eine Ausnahmegenehmigung in Form eines jederzeit widerruflichen Wasserrechtsbescheides erlassen, der folgendes beinhaltet:

1. Die nach dem geltenden Bescheid zulässige Isarmischtemperatur von 25°C darf um bis zu 2° C überschritten werden, wenn die Isaraufwärmspanne ( $\Delta T$ ) 1°C nicht überschreitet.
2. Das Kraftwerk KKI 1 ist nur im Kreislaufbetrieb zu betreiben.
3. Die Ausnahmegenehmigung ist auf die Dauer der außergewöhnlichen meteorologischen Situation (Hitzeperiode) bzw. auf maximal 4 Wochen befristet.
4. Die Sauerstoffgehalte der Isar an der Messstelle Gummering (vorhandene Online-Messung) dürfen 6 mg/l (nach Antrag) nicht unterschreiten; weiterhin müssen 50% der Messwerte  $\geq$  8 mg/l sein.

## Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen

5. Die Ausnahme gilt nur unter dem Vorbehalt, dass keine erheblichen Schäden bei aquatischen Organismen im Bereich unterhalb der Wärmeinleitung auftreten. Das Gewässer ist auf Kosten der Antragstellerin durch ein geeignetes wissenschaftliches Büro beobachten zu lassen, das etwaige Veränderungen zu dokumentieren und zusätzlich notwendige Schutzmaßnahmen vorzuschlagen hat.
6. Dem Wasserwirtschaftsamt Landshut sind analog den bereits vorgelegten Daten täglich folgende Online-Daten bis 10.00 Uhr vorzulegen:
  - Temperatur und Entnahmemenge aus der Isar
  - Temperatur der Einleitung in die Isar
  - Isarmischtemperatur und Isaraufwärmspanne ( $\Delta T$ )
  - Sauerstoffgehalte der Messstelle Staustufe Gummering
  - Temperatur der Messstelle Staustufe Gummering
  - Isarabfluss Kraftwerk Niederaichbach
  - Tägliche Einsatzmenge an Konditionierungsmittel als P-gesamt
  - Reaktorleistung des KK I 1

Die Leistungseinschränkung von KKI-1 auf 60% und der Kühlwasserkreislaufbetrieb mittels der vorhandenen Zellenkühltürme zeigte abschließend, dass die Isarwassermischtemperatur nach der Wärmeinleitung beider Kernkraftwerke die ursprünglich erlaubte Temperatur von 25°C nicht überschritten hat.

## 5.3 Speicherbewirtschaftung

### 5.3.1 Allgemeines

Seit 1954 sind in Bayern 23 staatliche Talsperren und Rückhaltebecken mit einem Gesamtstauraum von knapp einer halben Milliarde m<sup>3</sup> gebaut worden. Dafür wurden seither über 1 Mrd. Euro investiert.

Fast 2/3 aller Anlagen verbessern bei Trockenheit den Abfluss von Bächen und Flüssen, indem sie das zuvor gespeicherte Wasser zur Überbrückung kritischer Trockenperioden gezielt und dosiert abgeben. Insgesamt stehen in den staatlichen Wasserspeichern rund 150 Mio. m<sup>3</sup> Wasser zur Abflussverbesserung der Flüsse zur Verfügung. Fast alle Wasserspeicher dienen auch dem Hochwasserschutz.

In Oberfranken und Niederbayern verbessern zwei große Trinkwassertalsperren zudem die Wasserversorgung.

Im folgenden Beitrag sind die wichtigsten Daten der betroffenen Talsperren für den Niedrigwasser-Zeitraum Juli bis September 2003 dargestellt und erläutert.

### 5.3.2 Talsperren zur Niedrigwasseraufhöhung

#### 5.3.2.1 Überleitung Donau-Main („Neues Fränkisches Seenland“)



Abb. 5.2 Systemskizze des Überleitungssystems

Das Neue Fränkische Seenland besteht aus den großen Wasserspeichern Altmühlsee, Großer Brombachsee und Rothsee sowie den Vorsperren Igelsbachsee und Kleiner Brombachsee. Die wasserwirtschaftliche Hauptaufgabe des Systems ist die Bereitstellung von Wasser für die nordbayerischen Flüsse in niederschlagsarmen Zeiten. Dafür werden etwa 65 Mio. m<sup>3</sup> gespeicherten Wassers vorgehalten. Durch die Abgabe von Zusatzwasser aus dem Rothsee (im Mittel etwa 125 Mio. m<sup>3</sup>/a) bzw. Großen Brombachsee (25 Mio. m<sup>3</sup>/a) in die unterhalb liegenden Flüsse kann in Regnitz und Main ein ausreichender Mindestabfluss

gewährleistet werden, beispielsweise am Regnitzpegel bei Hüttendorf eine Verdopplung des natürlichen Niedrigwasserabflusses von etwa 13 auf 27 m<sup>3</sup>/s. Die Systemskizze (Abb. 5.2) verdeutlicht die Funktion des Gesamtsystems. Diese Niedrigwasseraufhöhung verbessert und stabilisiert die Wasserqualität in den Flüssen und sorgt für ausreichend Wasser zur Entnahme für Kühlzwecke durch Kraftwerke und landwirtschaftliche Bewässerungen. Die Grundwasserressourcen können so zugunsten der Trinkwassergewinnung geschont werden.

Durch die Trockenheit im Zeitraum Juli - September ist der Abfluss auch in den fränkischen Flüssen stark zurückgegangen. So sank der natürliche Abfluss der Regnitz am Pegel Hüttendorf Mitte-Ende August auf 15,2 m<sup>3</sup>/s. Durch die Abgabe von Zuschusswasser aus den beiden Speichern Rothsee und Großer Brombachsee wurde die Regnitz auf mindestens 21,2 m<sup>3</sup>/s stabilisiert, zeitweise stammten bis zu 44 % des Abflusses aus dem Überleitungssystem.

## Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen

Als wesentliche Daten sind festzuhalten:

### Rothsee:

maximale Abgabemenge 10 m<sup>3</sup>/s (Anfang August)

Speicherabgabe (1. Juli – 30. September): 44 Mio. m<sup>3</sup>

Absenkung des Wasserspiegels um max. 4,47 m

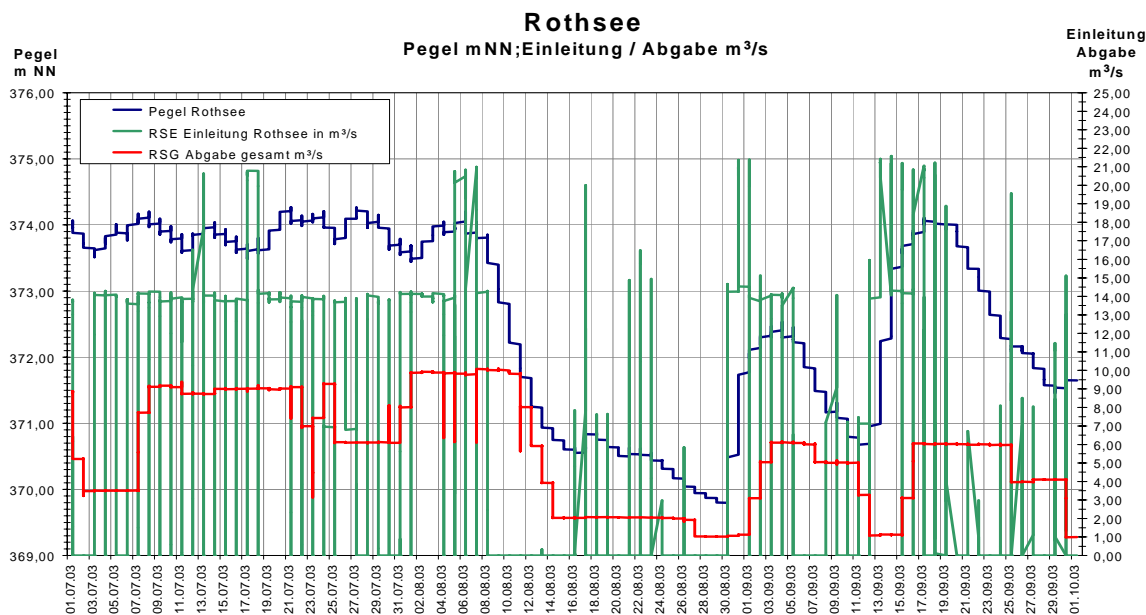
### Großer Brombachsee:

maximale Abgabemenge 4,2 m<sup>3</sup>/s (Mitte - Ende August und Mitte September)

Speicherabgabe (1. Juli – 30. September): 12,5 Mio. m<sup>3</sup>

Absenkung des Wasserspiegels um 1,93 m

Die Bewirtschaftung der Speicher Rothsee und Großer Brombachsee ist in den Abbildungen 5.3 und 5.4 dargestellt. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum aus beiden Speicher 56,5 Mio. m<sup>3</sup> zur Niedrigwasseraufhöhung abgegeben.



**Abb. 5.3** Bewirtschaftung des Rothsees von Juli bis September 2003 mit den Ganglinien für den Seepiegel (blau), Abgabemenge (rot) und Einleitung aus dem Main-Donau-Kanal (grün)

Der überwiegende Teil des Rothseewassers stammt aus Altmühl und Donau und wird nachts und am Wochenende über fünf Pumpwerke entlang des Main-Donau-Kanals zum Rothsee gepumpt, dort zwischengespeichert und je nach Bedarf Richtung Regnitz und Main abgegeben. Durch die lang anhaltende Trockenheit fiel der Abfluss in der Donau unter die Entnahmegrenze von 140 m<sup>3</sup>/s (Donauabfluss bei Kelheim, siehe Abb. 5.5), sodass im kritischen Zeitraum August/September über einige Wochen eine Entnahme aus der Donau und Wiederauffüllung des Rothsees nicht mehr möglich war. Das notwendige Zuschusswasser wurde daher durch die mittelfristige Absenkung des Rothsees und die parallele Entnahme aus dem Großen Brombachsee bereitgestellt.

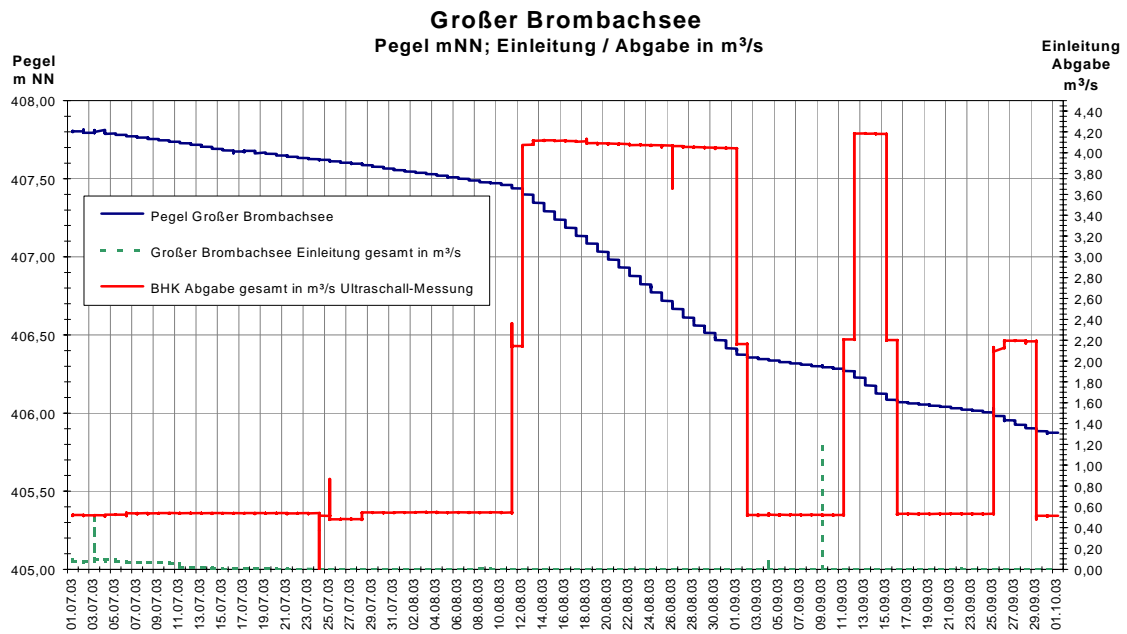


Abb. 5.4 Bewirtschaftung des Großen Brombachsees von Juli bis September 2003 mit den Ganglinien für Seepiegel (blau), Abgabemenge (rot) und Seezulauf (grün)

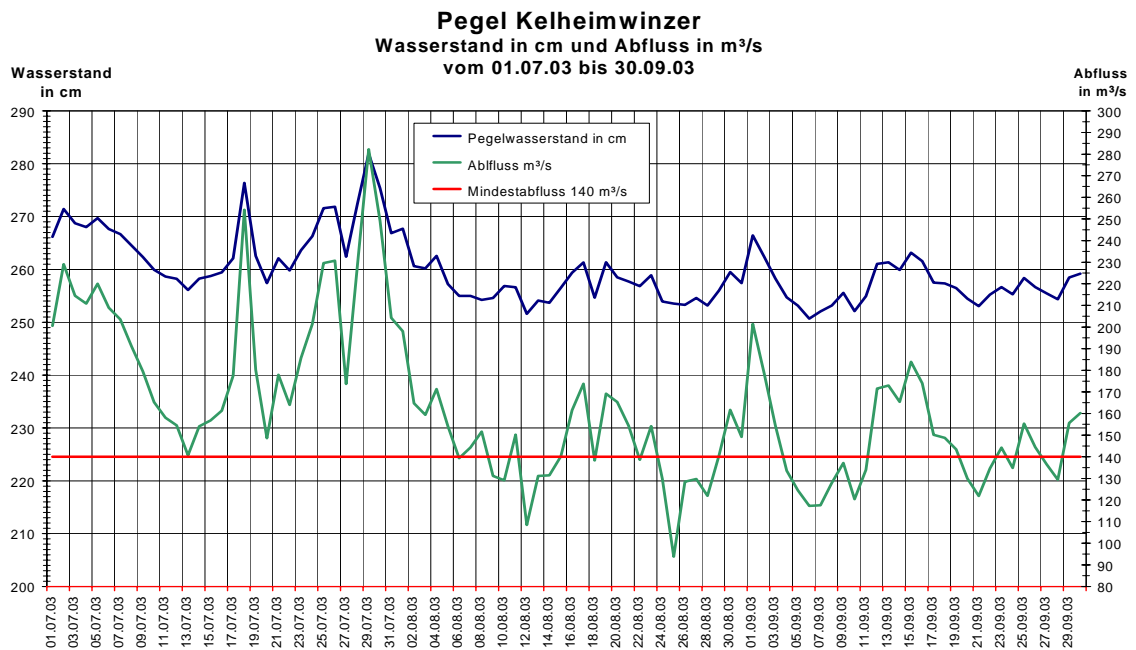
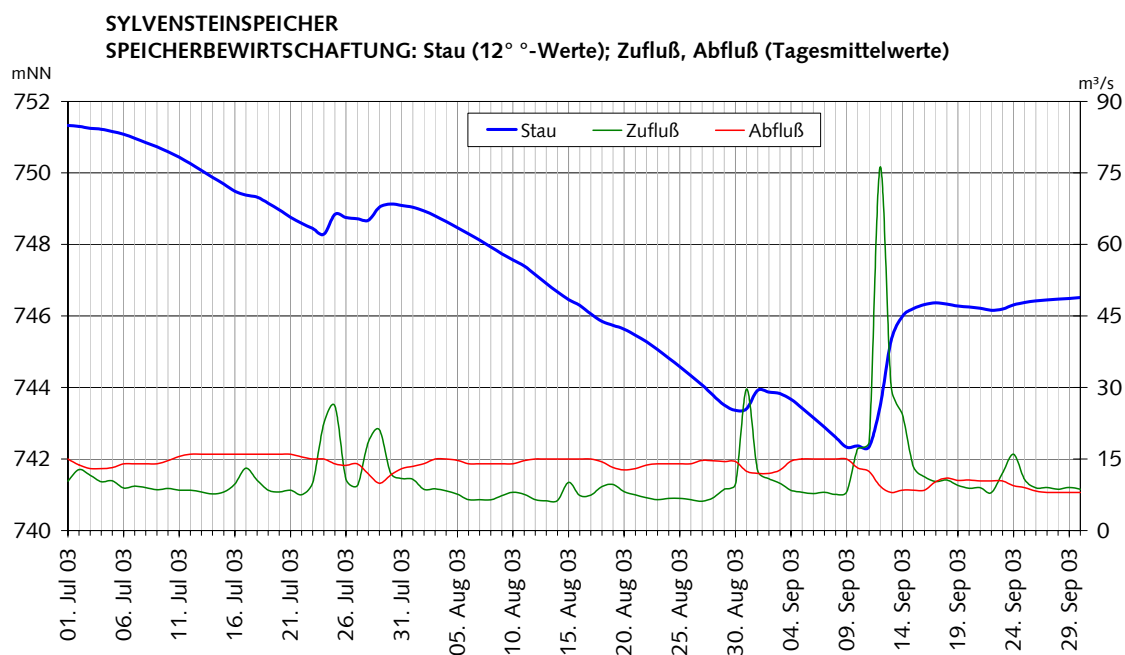


Abb. 5.5 Donauabfluss am Pegel Kelheimwinzer von Juli bis September mit den Ganglinien für Wasserstand (blau), Abfluss (grün) und Grenzwert für die Wasserentnahme (rot).

## Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen

Bei Ausschöpfung der vollen Speicherkapazität können aus dem Rothsee (ohne Nachschub aus dem Main-Donau-Kanal) insgesamt knapp 8 Mio. m<sup>3</sup> und aus dem Großen Brombachsee rund 56 Mio. m<sup>3</sup> für die Niedrigwasseraufhöhung genutzt werden.

### 5.3.2.2 Sylvensteinspeicher



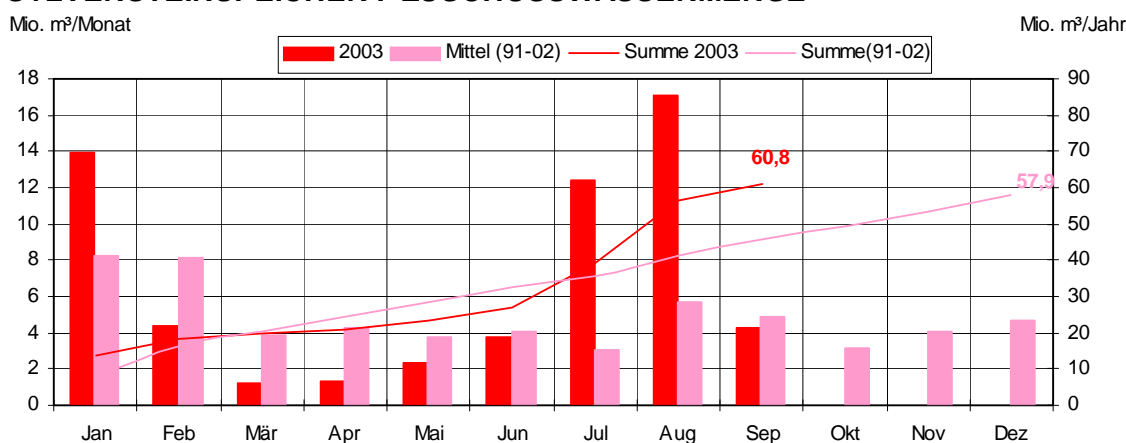
**Abb. 5.6** Bewirtschaftung des Sylvensteinspeichers von Juli bis September 2003 mit den Ganglinien für Seepiegel (blau), Abgabemenge (rot), und Seezulauf (grün).

Neben dem Hochwasserschutz dient der Sylvensteinspeicher in Trockenzeiten vornehmlich der Aufhöhung des durch Ableitungen zu den Kraftwerken Walchensee und Achensee geschmälernten Isarabflusses. Zum Ausgleich dieser Ableitungen stehen im Niedrigwasserraum (NW-Raum) des Sylvensteinspeichers rund 40 Mio. m<sup>3</sup> Wasser zur Verfügung, die für eine gezielte Abflussverbesserung in der Isar unterhalb der Talsperre sorgen. Die Speicherabgabe wird so gesteuert, dass in der Isar am Pegel Bad Tölz im Winterhalbjahr mindestens 10 m<sup>3</sup>/s und im Sommerhalbjahr mindestens 20 m<sup>3</sup>/s abfließen.

Aufgrund fehlender Niederschläge ging der Zulauf zum Sylvensteinspeicher seit Anfang Juli deutlich zurück (siehe Abb. 5.6). Über einen Zeitraum von 2 ½ Monaten musste - bis auf wenige kurzzeitige Zuflussspitzen durch lokale Niederschläge - Speicherwasser in die Isar zugesetzt werden, um den Abfluss in Bad Tölz auf mindestens 20 m<sup>3</sup>/s sicherzustellen. Trotz Abflussverbesserung durch den Speicher erreichte die Isar dort im Zeitraum Juli – September nur rund 60 % der langjährigen Monatsmittelwerte seit der Isar-Teiltrückleitung in Krün (1991).

In der etwa 3-monatigen Trockenperiode wurde Ende August 2003 mit 6,17 m<sup>3</sup>/s der niedrigste Zufluss zum Speicher gemessen, der Monatsmittelwert beim Speicherzufluss lag rund 60 % unter den Mittelwert von 1991/2002. Die Speicherabgabe lag bis Mitte September zwischen 10 und 16 m<sup>3</sup>/s. An einzelnen Tagen stammten bis zu 58 % des Speicherabflusses aus dem Raum zur Niedrigwasseraufhöhung. Insgesamt wurden von Anfang Juli bis Mitte September rund 34 Mio. m<sup>3</sup> als Zuschusswasser aus dem NW-Raum abgegeben, als Reserve standen ab Mitte September nur noch 9,7 Mio. m<sup>3</sup> zur Verfügung.

### SYLVENSTEINSPEICHER : ZUSCHUSSWASSERMENGE



**Abb. 5.7** Abgabe des monatlichen Zuschusswassers aus dem Sylvensteinspeicher von Januar bis September 2003 (rot) im Vergleich zum Zeitraum 1991-2002 (rosa).

Der außergewöhnliche Bedarf an Zuschusswasser aus dem Speicherraum ist in Abbildung 5.7 erkennbar. Im Vergleich zum Vorjahr lagen die Monatsmittelwerte im Juli und August 2003 um 400 % bzw. 350 % höher.

#### Als wesentliche Daten sind festzuhalten:

- maximale Aufhöhung des Isarabflusses durch Speicherwasser um 8,8 m<sup>3</sup>/s (Mitte Juli und Mitte August); damit wurde der natürliche Zufluss um bis zu 140 % erhöht,
- Ausnutzung des NW-Speicherraums zu 76 %,
- Absenkung des Wasserspiegels bis auf Kote 742,33 mNN, d.h. 9,67 m unter Normalstau; bis zu max. 25 cm Speicherabsenkung pro Tag,
- der Mindestabfluss in Bad Tölz von 20 m<sup>3</sup>/s wurde ständig eingehalten; zeitweise stammten bis zu 43 % des Isarabflusses in Bad Tölz aus der NW-Aufhöhung vom Sylvensteinspeicher

Ohne die seit 1990 durchgeführte Teilrückleitung der Isar in Krün (Restwasserabfluss im Sommerhalbjahr von 4,8 m<sup>3</sup>/s) hätte der Speicher bereits ab dem 12. August das tiefste Absenkziel von 736,40 mNN erreicht.

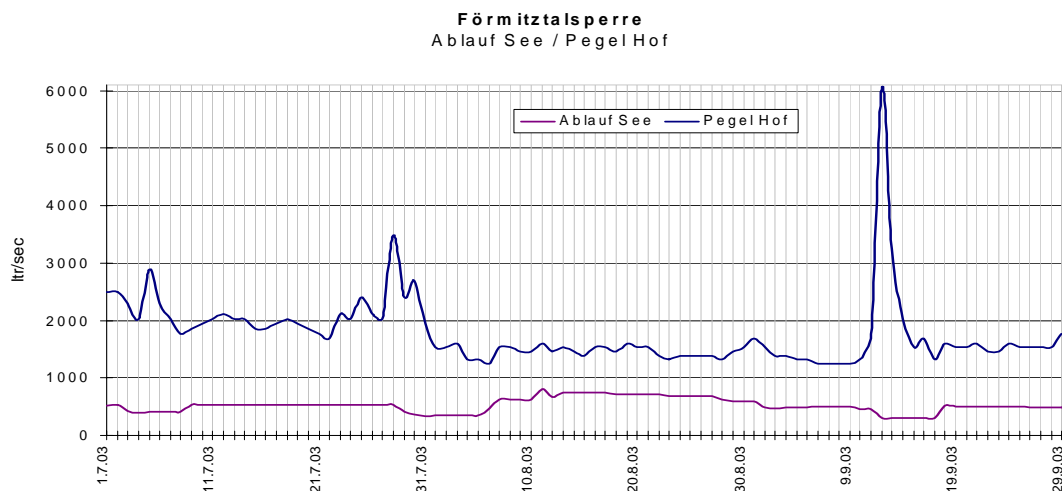
## Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen

Somit wäre in der besonders kritischen Trockenwetterphase für 27 Tage kein Zuschusswasser verfügbar gewesen. Der Speicherzufluss wäre auf den Minimalwert von 1,37 m<sup>3</sup>/s gesunken, in Bad Tölz wären dann nur noch 7 m<sup>3</sup>/s abgeflossen.

### 5.3.2.3 Rottachsee

Der Rottachsee kann durch den Ausgleich der Abflussverhältnisse für eine wesentliche wasserwirtschaftliche Strukturverbesserung an Iller und Donau sorgen. Aus seinem fast 20 Mio. m<sup>3</sup> großen Betriebsraum können über einen Zeitraum von 2 Monaten bis zu 5 m<sup>3</sup>/s an Iller und Donau abgegeben werden. Maßgebliche Steuerpegel zur Niedrigwasseraufhöhung sind der Donaupegel bei Neu-Ulm (Abfluss-Sicherung von mind. 44 m<sup>3</sup>/s) und der Illerpegel bei Kempten (Abflussstabilisierung auf 6 – 15 m<sup>3</sup>/s, je nach Temperatur). Während der Donaupegel Ende August nur an wenigen Tagen den kritischen Wert stundenweise erreichte oder geringfügig (43,1 m<sup>3</sup>/s am 24.08.03) unterschritt, schwankte der Illerabfluss bei Kempten seit Anfang August um 10 m<sup>3</sup>/s und ging zur Monatsmitte auf Minimalabflüsse knapp über 7 m<sup>3</sup>/s zurück. Um die Flusstemperatur der Iller zu senken (Anstieg in der 2. Augustwoche bis zu 19 °C) und ihre Wasserführung zu stabilisieren, wurden vom 7. – 30. August aus dem Rottachsee tagsüber 2 m<sup>3</sup>/s zugesetzt. Die Erwärmung des Wasserkörpers im Rottachsee im oberen Bereich (26 °C in 1 Meter Tiefe bzw. 20 °C in 6 Meter Tiefe) und das Abwandern kälteliebender Fische in tiefe, aber sauerstoffarme Schichten war Auslöser für ein größeres Fischsterben. Anfang August wurden etwa 15 Zentner Felchen aus dem See geborgen, Mitte August ca. 3 Zentner Weißfische. Für die gezielte Niedrigwasseraufhöhung wurden im August 1,43 Mio. m<sup>3</sup> Wasser aus dem Speicher entnommen, der Seespiegel sank um 0,62 m ab.

### 5.3.2.4 Förmitztalsperre

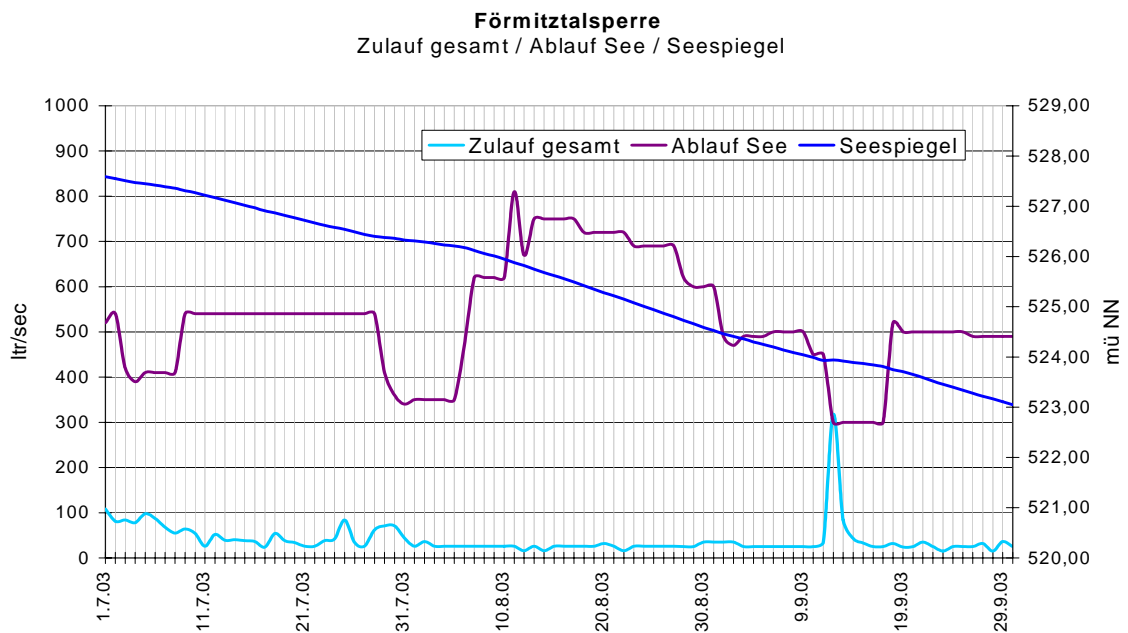


**Abb. 5.8** Saaleabfluss am Pegel Hof (dunkelblau) von Juli bis September 2003 und Niedrigwasserabgabe durch die Talsperre Förmitz (dunkellila).



Die Förmitztalsperre dient in erster Linie der Verbesserung des Niedrigwasserhaushalts der Sächsischen Saale. Im Mittel werden jährlich 4 Mio. m<sup>3</sup> Wasser zur Abflusserhöhung abgegeben. Insgesamt steht in der Talsperre ein Volumen von knapp 10 Mio. m<sup>3</sup> für die Niedrigwasseraufhöhung zur Verfügung.

Seit Ende Juni wurde mit einer Speicherabgabe von anfangs 400 l/s und Mitte August gesteigert auf bis zu 750 l/s der Abfluss der Sächsischen Saale am Pegel Hof in der besonders kritischen Zeit auf mindestens 1,40 m<sup>3</sup>/s stabilisiert. Mit dem Talsperrenwasser konnte über einen längeren Zeitraum eine Verdopplung des natürlichen Niedrigabflusses erreicht werden (Abb. 5.8). Bei kleinen Abflussspitzen in der Saale aufgrund örtlicher Niederschläge wurde die Speicherabgabe entsprechend zurückgefahren.



**Abb. 5.9** Bewirtschaftung der Förmitztalsperre von Juli- September 2003 mit den Ganglinien für den Seespiegel (dunkelblau), Abgabemenge (dunkellila) und Seezulauf (hellblau).

Der Seespiegel in der Förmitztalsperre sank im Zeitraum Juli bis Ende September um ca. 4,50 m auf Kote 523,05 mNü NN bedingt durch den oft nur geringen Zufluss von 25 l/s zum Speicher (siehe Abb. 5.9). Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 4,18 Mio. m<sup>3</sup> Speicherwasser zur Niedrigwasseraufhöhung der Saale abgegeben. Die Niedrigwasseraufhöhung musste aufgrund des niedrigen Saalepegels in Hof auch in der Folgezeit weiterhin durchgeführt werden. Dadurch sank der Speicherwasserstand auf seinen bisher niedrigsten Stand seit Bestehen der Anlage (522,08 mNü NN am 10.11.03); zum Vergleich: bisher niedrigster Seespiegel mit 522,14 mNü NN am 1.10.1990.

5.3.3 Die Trinkwassertalsperren

5.3.3.1 Trinkwassertalsperre Mauthaus

Die Trinkwassertalsperre Mauthaus dient primär der Rohwasserbereitstellung für die Fernwasserversorgung Oberfranken. Dafür steht ein Stauraum von 14,9 Mio. m<sup>3</sup> zur Verfügung. Die mittlere jährliche Liefermenge aus der Talsperre beträgt rund 12 Mio. m<sup>3</sup>. Neben Hochwasserschutz und Erzeugung von Wasserkraftstrom dient die Talsperre auch zur Stabilisierung bei Niedrigwasserabflüssen in der Rodach.

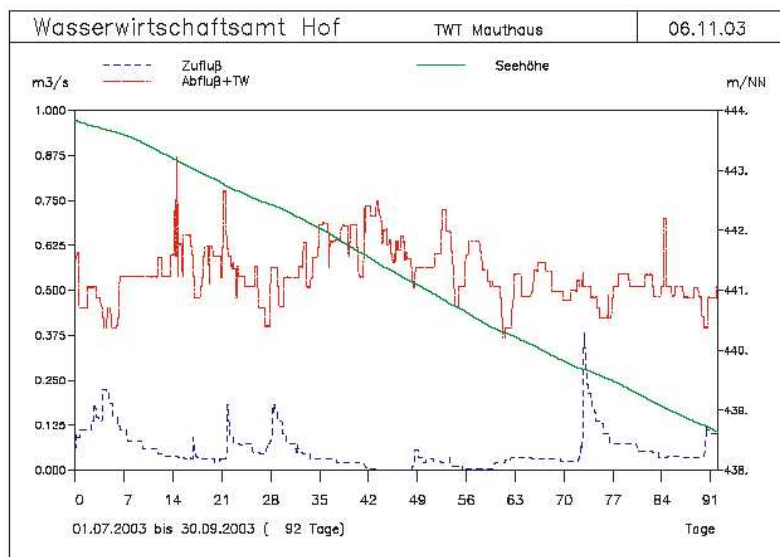
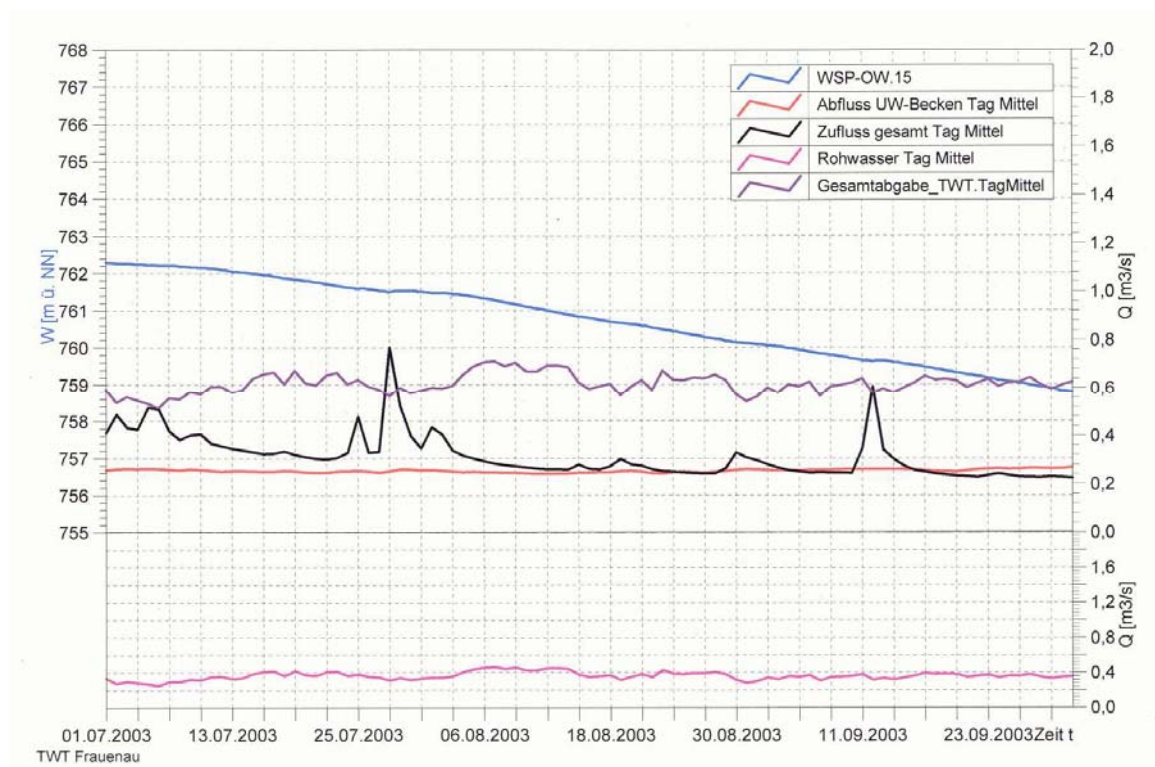


Abb. 5.10 Bewirtschaftung der Trinkwassertalsperre Mauthaus von Juli bis September 2003 mit den Ganglinien für den Seepegel (grün), Abgabemenge (rot) und Seezulauf (blau).

In der Trockenzeit wurde von Mitte Juli – Ende August die Gesamtwasserabgabe (Rohwasser zur Trinkwasseraufbereitung und Unterwasserabfluss zur Rodach) in einem Band von 550 -750 l/s gefahren. Nur an einzelnen Tagen wurde die Abgabe auf 400 l/s gedrosselt. Zur Niedrigwasseraufhöhung der Gewässer wurden bis Mitte August 70 l/s, anschließend über mehrere Tage auch bis zu 110 l/s bereitgestellt. Damit wurde der Abfluss der Rodach um rund 40 % erhöht. Die Trinkwasserabgabe schwankte im Bereich von 400 – 640 l/s. Als höchste Tagesmenge wurden im August 53.000 m<sup>3</sup> (i.M. 613 l/s) zur Aufbereitungsanlage nach Rieblach weitergegeben. Insgesamt wurden von Anfang Juli bis Ende September rund 4,35 Mio. m<sup>3</sup> aus der Talsperre zur Verfügung gestellt und der Speicherraum um 5,20 Meter gesenkt (Abb. 5.10). Ende September lag der Seepegel mit 438,64 mNN insgesamt 8,40 Meter unter seinem Stauziel und damit 2,80 m tiefer als im langjährigen Monatsmittel über die bisherigen 30 Betriebsjahre. Der Füllungsgrad des Speicherraums betrug noch 63 %. Auch im Oktober 2003 konnten die Niederschläge keine durchgreifende Verbesserung des natürlichen Wasserdargebots bringen. Zum Monatsende sank der Seepegel auf Kote 437,64 mNN (3,81 m unter dem langjährigen Monatsmittelwert).

### 5.3.3.2 Trinkwassertalsperre Frauenau

Die Trinkwassertalsperre Frauenau versorgt weite Teile des Bayerischen Waldes bis nach Degendorf mit zusätzlichem Trinkwasser. In Spitzenzeiten werden täglich bis zu 36.000 m<sup>3</sup> an die Wasserversorgung Bayerischer Wald abgegeben. Mit ca. 80 m Dammhöhe zählt der Staudamm der Talsperre zu den höchsten in Deutschland.



**Abb. 5.11** Bewirtschaftung der Trinkwassertalsperre Frauenau von Juli bis September 2003 mit den Ganglinien für Seepegel (blau), Abgabemenge gesamt (lila), davon Rohwasser (rosa) sowie Niedrigwasser (rot) und Seezulauf (schwarz)

In der Trockenperiode Juli - September wurde die Rohwasserabgabe zur Trinkwasseraufbereitung in einem Band von etwa 29.000 – 39.000 m<sup>3</sup>/Tag (rd. 335 – 450 l/s) gefahren. Nur an einzelnen Tagen wurde die Abgabe auf rund 27.000 m<sup>3</sup> gedrosselt. Als höchste Tagesmenge wurden am 7. August 40.210 m<sup>3</sup> (im Mittel 465 l/s) zur Aufbereitungsanlage nach Flanitz weitergegeben. Zur Aufhöhung des Niedrigwassers im Kleinen Regen hat die Talsperre dauerhaft rund 250 l/s ins Unterwasser abgegeben.

Insgesamt wurden von Anfang Juli bis Ende September rund 2,88 Mio. m<sup>3</sup> aus der Talsperre zur Verfügung gestellt und der Speicherraum um 5,20 Meter gesenkt (Abb.5. 11). Zum Ende der Trockenwetterphase lag der Seepegel insgesamt 8,20 Meter unter seinem Stauziel; der Speichernutzraum war am Ende der Trockenzeit - wie bei der TWT Mauthaus - noch zu 63 % gefüllt.

### 5.3.4 Resümee

Die bayerischen Talsperren haben während der langen Trockenperiode im Sommer 2003 ihre Funktionsfähigkeit bei der Niedrigwasseraufhöhung bewiesen. Durch das Zuschusswasser konnten die Ökosysteme in den Gewässern stabil gehalten werden. Aus den Talsperren mit der Funktion „Niedrigwasseraufhöhung“ (Überleitungssystem, Sylvensteinspeicher, Rottachsee, Förmitztalsperre) wurden in den Monaten Juli – September rund 96 Mio. m<sup>3</sup> abgegeben. Der gesamte verfügbare Niedrigwasser-Speicherraum der Anlagen wurde etwa zu 50 % ausgenutzt, am Sylvensteinspeicher war nur noch 24 % des Niedrigwasser-Speicherraums gefüllt.

Da die Trinkwassertalsperren für zwei aufeinander folgende Trockenjahre ausgelegt sind, waren zum Ende der Trockenheit 2003 bei beiden Anlagen mit 63 % Füllungsgrad noch genügend Reserven vorhanden. Die Versorgung der angeschlossenen Gemeinden mit Trinkwasser aus den Talsperren war zu jeder Zeit sichergestellt.

## 5.4 Gewässerschutz

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Gewässer durch Einleitungen kommunaler Kläranlagen während der Trockenwetterperiode 2003 im Vergleich mit dem gleichen Zeitraum 2002 nicht höher sondern in der Tendenz eher niedriger belastet worden sind. Wie aus den Meldungen der einzelnen Regierungsbezirke (siehe Kap. 4.7) hervorgeht, sind Dank des in den letzten Jahren verstärkten Ausbaus der Abwasseranlagen und deren ordnungsgemäßen Betrieb keine nennenswerten Probleme aufgetreten. Der vorsorgende Gewässerschutz der Kommunen und Industriebetriebe bei großzügiger Unterstützung durch den Freistaat Bayern und die Wasserwirtschaftsverwaltung sowie die hohen Ausbildungs- und Betriebsstandards beim Personal durch Aus- und Fortbildung insbesondere im Rahmen der Kanal- und Kläranlagennachbarschaften (DWA mit Unterstützung der Wasserwirtschaftsverwaltung) haben sich ausgezahlt. Vereinzelt wurde von Belastungen kleiner Gewässer durch Kleinkläranlagenabwässer berichtet. Zur Verbesserung dieser Situation stehen in den nächsten Jahren noch erhebliche Anstrengungen an.

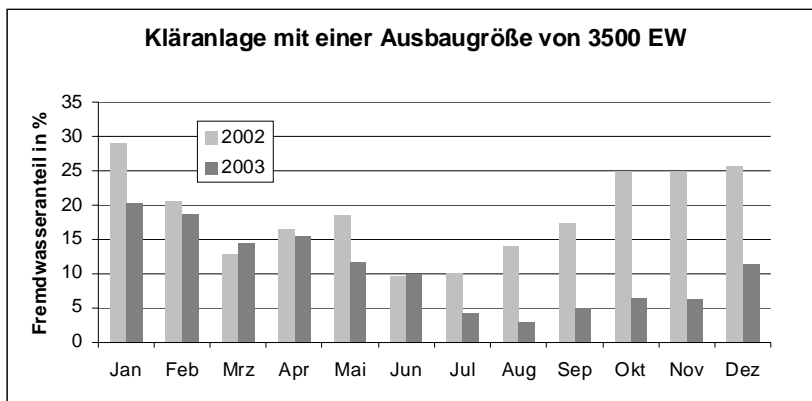
Geringere Niederschläge und niedrigere Fremdwasserzuflüsse<sup>7</sup> aufgrund gesunkener Grundwasserstände ließen ansteigende Konzentrationen der Abwasserinhaltsstoffe im Zulauf der Kläranlagen erwarten. Die Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen wurden mit Hilfe der INFO-WAS Fachanwendung UDIS-BY<sup>8</sup> für die Amtsbereiche der Wasserwirtschaftsämter überprüft. Es wurde nach Überschreitungen der Überwachungswerte im Zeitraum vom 01. Mai bis 01. Oktober 2003 im Vergleich zur gleichen Zeitspanne der beiden vorhergegangenen Jahre gefragt.

---

<sup>7</sup> Fremdwasser: Das aus dem Grundwasser oder anderen diffusen Quellen durch Undichtigkeiten ins Kanalnetz einsickernde Wasser

<sup>8</sup> Datenbank mit Informationen, technischen Daten und Überwachungswerten der Kläranlagen

Das ausgewertete Datenmaterial weist darauf hin, dass die Trockenwetterperiode die Ablaufwerte einer Anzahl von Abwasserteichanlagen beeinflusste. Hier kam es zu vereinzelt CSB-Überschreitungen. Bei kleineren und mittleren technischen Kläranlagen waren nur gelegentliche Überschreitungen zu beobachten. Die großen Kläranlagen zeigten keine Beeinflussung durch die Trockenwetterperiode.



**Abb. 5.12** Fremdwasseranteil 2002 und 2003 einer Kläranlage mit Ausbaugröße 3500 EW (Einwohnergleichwerte)

An einer technischen Kläranlage (Moos-thenning, Niederbayern) mit einer Ausbaugröße von 3500 EW soll beispielhaft der Einfluss der Trockenwetterperiode dargestellt werden. Der Fremdwasseranteil ist im Sommer 2003 stark abgesunken (siehe Abb. 5.12).

Im August hat er einen Tiefstwert von 3 % im Vergleich zum Sommer 2002 mit 10 % erreicht. Die mittlere Konzentration im Kläranlagenzulauf lag z. B. für den BSB<sub>5</sub> im Zeitraum Mai bis Oktober 2003 mit 436 mg/l deutlich höher als in dem selben Zeitraum 2002 mit 324 mg/l. Die korrespondierenden Zulauffrachten haben sich erwartungsgemäß nicht geändert. So wurde im Sommer 2002 eine gemittelte BSB<sub>5</sub>-Fracht von 367 kg BSB<sub>5</sub>/d und im Jahr 2003 von 362 kg BSB<sub>5</sub>/d ermittelt. Die mittleren Ablauffrachten betragen 9 kg BSB<sub>5</sub>/d im Sommer 2002 und für den entsprechenden Zeitraum im Jahr 2003 8 kg BSB<sub>5</sub>/d.

Im Rahmen der Untersuchungen zur Gewässergütesimulation an der Sächsischen Saale konnten während der Niedrigwasserperiode Längsschnittuntersuchungen durchgeführt werden. Anhand der beiden Parameter Leitfähigkeit und NH<sub>4</sub>-N lassen sich deutlich die Auswirkungen der Abwassereinleitung der Kläranlage Hof verfolgen (siehe Abb. 5.13). So ändert sich die Erhöhung der Leitfähigkeit nach der Kläranlage wegen des geringen Zuflusses der Nebengewässer kaum. Der vorwiegend durch Nitrifikation stattfindende Rückgang des Ammoniums benötigt über 10 km, bis die NH<sub>4</sub>-N-Konzentrationen vor der Kläranlage wieder erreicht sind. Dies bestätigt eindrucksvoll, wie sich für den Bemessungsfall (Niedrigwasser) Abwassereinleitungen auf das Gewässer auswirken.

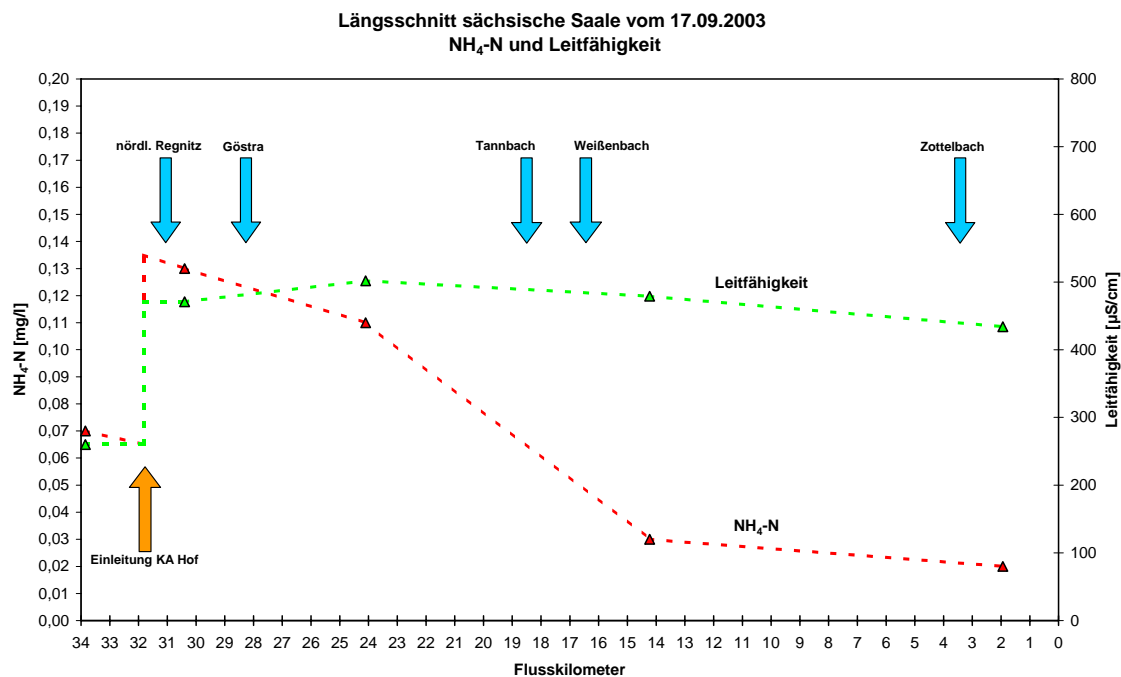


Abb. 5.13 Längsschnitt der Ammonium- Nitrat (NH<sub>4</sub>-N)- Konzentration und der Leitfähigkeit entlang der Sächsischen Saale nach Einleitung der Kläranlage Hof.

Zur Abschätzung der Auswirkungen von Abwassereinleitungen auf die Gewässergüte bieten sich Untersuchungen mit Gewässergütesimulationsmodellen an. So lassen sich bereits vor Eintritt z.B. solch extremer Niedrigwassersituationen Belastungsschwerpunkte im Gewässerverlauf identifizieren und entsprechende Gewässerschutzplanungen mit Kosten-Wirksamkeits-Untersuchungen überprüfen und optimieren.

## 5.5 Schifffahrt

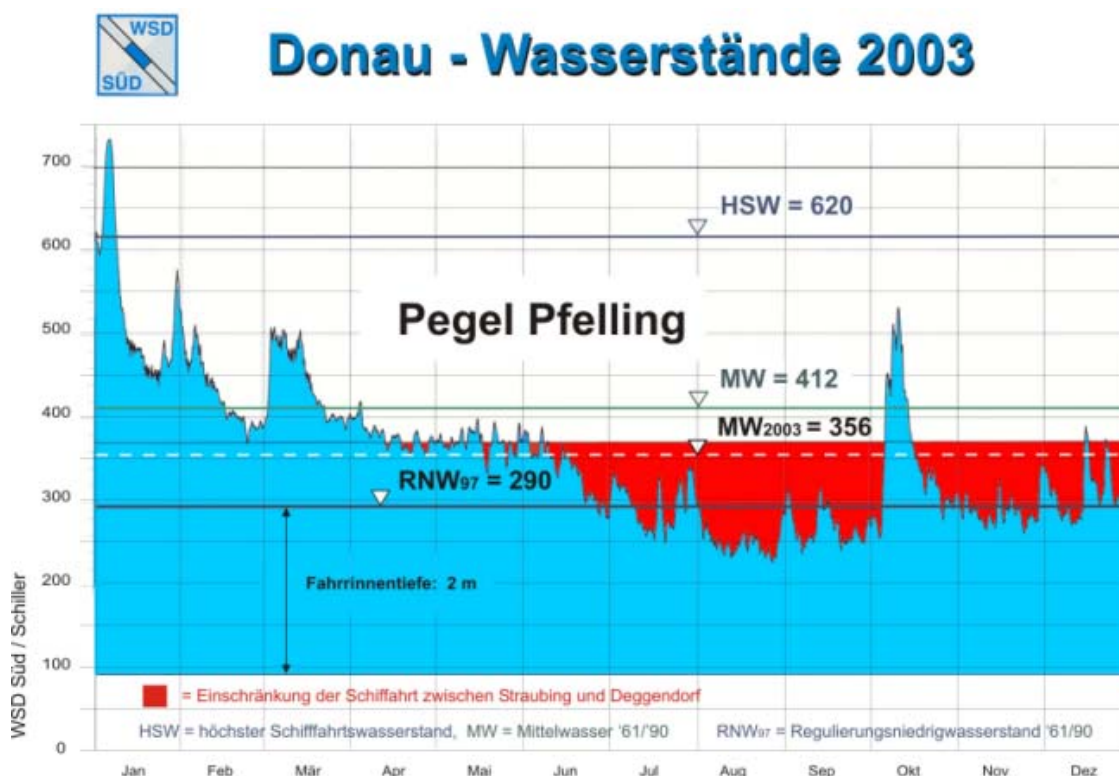
### 5.5.1 Donau

Bedingt durch die ausbleibenden Niederschläge waren an der Donau 2003 ungewöhnlich niedrige Wasserstände zu verzeichnen. Diese führten zu einer Beeinträchtigung der Schifffahrt auf der Bundeswasserstraße Donau. Vor allem das Befahren des bei Niedrigwasser abladebestimmenden Teilstückes zwischen Straubing und Vilshofen war für viele Schiffe mit Schwierigkeiten verbunden.

An der Donau wurde an den maßgebenden Pegeln der Regulierungswasserstand (RNW 97) bestimmt. Dies ist der Wasserstand, dessen Abfluss an 94% der Tage der Jahresreihe 1961/1990 erreicht beziehungsweise überschritten wurde (22 Unterschreitungstage im Jahr).

Zwischen Straubing und Vilshofen ist das WSA Regensburg bemüht, bezogen auf RNW eine Fahrrinntiefe von 2 m vorzuhalten.

Zwischen Straubing und Deggendorf ist für die Schifffahrt der Pegel Pfelling maßgebend. Der RNW am Pegel Pfelling beträgt 290 cm. Der Verlauf der Wasserstände im Jahr 2003 am Pegel Pfelling ist nachfolgend dargestellt:



**Abb. 5.14** Verlauf der Wasserstände am Pegel Pfelling mit Höchstem Schifffahrtswasserstand (HSW), Mittelwasserstand (MW), Mittelwasserstand 2003 (MW<sub>2003</sub>) und Regulierungswasserstand (RNW<sub>97</sub>).

Im Januar führte ein Hochwasser zu einer Überschreitung des HSW (Höchster Schifffahrtswasserstand) am Pegel Pfelling. Dies hatte zur Folge, dass die Schifffahrt zwischen Straubing und Deggendorf eingestellt war. Zwischen Mitte März 2003 bis Mitte Juni 2003 betrug die Wasserstände am Pegel Pfelling etwa 370 cm. Während dieses Zeitraumes waren die Fahrrinnenverhältnisse für die Schifffahrt vergleichsweise günstig. Im Juni/Juli 2003 sanken die Wasserstände unter den RNW. Im Jahr 2003 wurde der RNW am Pegel Pfelling an 94 Tagen unterschritten. In den Jahren 2000 bis 2002 wurde der RNW lediglich an 5 Tagen unterschritten.

Für den Streckenabschnitt von Deggendorf bis Vilshofen ist der Pegel Hofkirchen maßgebend. Der Verlauf der Wasserstände im Jahr 2003 ähnelt denen am Pegel Pfelling.

## Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen



**Abb. 5.15** Donau bei km 2277 unterhalb der Isarmündung

Das Foto zeigt den bergfahrenden Tankschubverband „Innovatie“ unterhalb der Isarmündung bei Donau- km 2277 am 17.08.2003 bei einem Wasserstand von 185 cm am Pegel Hofkirchen. Es sind deutlich die Buhnen zu erkennen.

Die niedrigen Wasserstände führten zu erheblichen Beeinträchtigungen der Schifffahrt, die sich in einer Verschiebung des Warenstromes ausdrückte. Güter, die ansonsten mit dem Schiff transportiert worden wären, wurden mit der Bahn oder dem LKW transportiert. Der Schiff - Schiffumschlag in einigen Häfen stieg aufgrund der vorzunehmenden Leichterungen.

Auch die Fahrgast- bzw. Fahrgastkabinenschifffahrt war trotz der vergleichsweise geringen Tiefgänge der Schiffe betroffen. Dies führte unter anderem zur Überlastung der Liegeplätze in Regensburg und Passau. Veranstalter waren gezwungen, Fahrgäste mit anderen Verkehrsmitteln zu den Bestimmungsorten zu bringen.



### 5.5.2 Main

Im Einzugsgebiet der Regnitz und unteren Mains gab es 2003 kein extremes Niedrigwasser, die Wiederkehrintervalle des 2003er Niedrigwassers lagen am Main unterhalb der Regnitzmündung unter 5 Jahren (siehe Kapitel 3), so dass es am Main nicht zu Problemen bei der Abwicklung des Schifffahrtsverkehrs kam (WASSER-UND SCHIFFFAHRTSAMT ASCHAFFENBURG, mündliche Auskunft).

### 5.6 Bewässerung

In Unterfranken, der im allgemeinen trockensten Region Bayerns, traten im Zusammenhang mit Wasserentnahmen für Bewässerungszwecke keine größeren Probleme auf (REGIERUNG VON UNTERFRANKEN, mündliche Auskunft).

Vom WWA Würzburg wurde am 12. August zeitlich befristet eine Empfehlung an die Landratsämter Würzburg, Main-Spessart und Kitzingen herausgegeben, die Wasserentnahme aus Gewässern mit Ausnahme des Mains zu untersagen bzw. einzuschränken.

### 5.7 Zusammenfassung

Insgesamt betrachtet hat das außergewöhnliche Niederschlagsdefizit 2003 (im Kalenderjahr 2003 fiel sowohl in Nord- als auch in Süd-Bayern nur ca. 70 % des mehrjährigen Mittelwertes) aufgrund der hohen Grundwasserstände zu Beginn des Jahres und verschiedenen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, mit Ausnahme der Donau- Schifffahrt nicht zu großen Problemen geführt.

Bei der Wasserversorgung aus Versorgungsanlagen mit Grundwasserbrunnen gab es in Grundwasserleitern mit hoher Speicherwirkung sowie in den durch Fernwasser versorgten Gebieten keine Probleme. In Oberfranken und im Bayerischen Wald benötigten eine Vielzahl kleinerer Wasserversorger Zusatzwasser aus den Trinkwassertalsperren Mauthaus und Frauenau. Zu Versorgungsengpässen kam es bei einigen Gemeinden im Bayerischen Wald die das Wasser ausschließlich aus Quellen mit kleinen Einzugsgebieten beziehen.

Die Wasserkraftwerke erzeugten wegen der niedrigen Abflüsse im August 40 % weniger Strom, im gesamten Zeitraum Januar bis Oktober lag die Abweichung von der Regelarbeit, wegen der relativ hohen Abflüsse Anfang des Jahres, nur bei -9,5%. Bei den bayerischen Kernkraftwerken traten temperaturbedingte Betriebseinschränkungen nur beim KK11 (Ohu) auf, das zeitweise im Kühlwasserkreislaufbetrieb gefahren werden musste und so nur 60% der normalen Leistung erzeugen konnte.

Die staatlichen Wasserspeicher wurden 2003 für die Niedrigwasseraufhöhung benötigt. Mit Hilfe des Main-Donau-Überleitungssystems wurde der Abfluss der Regnitz bei Hüttendorf auf mindestens 21 m<sup>3</sup>/s stabilisiert.

## **Wasserwirtschaftliche Auswirkungen und Maßnahmen**

Da der Abfluss der Donau bei Kelheimwinzer im August und September zeitweise unter die Entnahmegrenze von 140 m<sup>3</sup>/s fiel, wurde das Zuschusswasser durch Absenkung des Wasserspiegels des Rothsees und des Großen Brombachsees bereitgestellt. Aus dem Sylvensteinspeicher wurden von Anfang Juli bis Mitte September 34 Mio. m<sup>3</sup> als Zuschusswasser aus dem Raum zur Niedrigwasseraufhöhung abgegeben, als Reserve blieben 9,7 Mio. m<sup>3</sup>. Zeitweise waren 43% des Isar-Abflusses am Pegel Bad Tölz Zuschusswasser aus dem Sylvensteinspeicher.

Die Trockenwetterperiode führte bei größeren kommunalen Kläranlagen nicht zu Beeinträchtigungen der Reinigungsleistung, nur bei kleineren Abwasserteichanlagen kam es vereinzelt zu Überschreitungen des zulässigen CSB- Wertes.

Die ungewöhnlich niedrigen Wasserstände an der Bundeswasserstraße Donau führten zu erheblichen Problemen bei der Schifffahrt. Der Regulierungswasserstand, der Wasserstand der im mehrjährigen Mittel an 22 Tagen im Jahr unterschritten, und bei dem eine Fahrrinntiefe von 2 m vorgehalten wird, wurde im Jahr 2003 am Pegel Pfelling an 79 Tagen, am Pegel Hofkirchen an 72 Tagen unterschritten. Das führte zu einer Verschiebung des Warenstromes vom Schiff auf Güterzüge oder Lkws. Auch einige Fahrgastschiffe konnten, trotz geringem Tiefgang, nicht fahren. Am Main gab es aufgrund der weniger extremen Niedrigwasserstände keine Probleme beim Schifffahrtsverkehr.

## 6 Resümee

In den Chroniken finden sich weit weniger Berichte über Trockenereignisse als über Hochwasser. Umfangreiche Vergleiche mit anderen Trockenjahren sind daher schwierig. Immerhin hat das Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft das letzte große Trockenereignis 1976 untersucht (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1977, 1979).

Dazu bietet sich ein Vergleich an:

Die Ausgangssituation war 2003 ungleich günstiger. Während im Januar 1976 normale Wasserstände vorlagen, gab es 2003 im gleichen Monat Überschwemmungen und sehr hohe Grundwasserstände.

Die zusammenhängende Trockenperiode dauerte 1976 von Februar mit August, 2003 von Februar mit September.

Die Hitzeperiode des Sommers war 2003 mit 12 Wochen doppelt so lang wie 1976.

Während 1976 der Schwerpunkt in Nordbayern lag, waren 2003 ganz Bayern und darüber hinaus große Teile Europas betroffen.

Nie zuvor wurde eine größere mittlere Sommertemperatur gemessen als 2003 (19,6 C). Dagegen waren die 17,7 C des Jahres 1976 moderat.

Auch die Wassertemperaturen waren 2003 Bayernweit extrem hoch. 1976 wurden nur vereinzelt sehr hohe Temperaturen gemessen.

Die Situation bei der Gewässergüte war 1976 kritisch. An vielen Gewässern wurde kaum mehr Sauerstoff (O<sub>2</sub>) gemessen. 2003 blieb die Situation stabil. Der O<sub>2</sub>-Gehalt sank nirgends unter den kritischen Wert von 4 mg/l O<sub>2</sub>.

Während 1976 von vielen Fischsterben und Betriebsbeschränkungen berichtet wird, fehlen diese Auswirkungen 2003 außer bei der Schifffahrt an der Donau und der Wasserkraft fast ganz. Dies ist zum einen der günstigen Ausgangslage aufgrund der vorangegangenen Nassjahre zu verdanken, zum anderen aber auch der vorausschauenden Wasserwirtschaft der letzten 25 Jahre. Stichpunktartig sind zu nennen:

- Günstige Struktur der Wasserversorgung mit hoher redundanter Versorgung
- sehr hoher Stand der Abwassertechnik
- kaum diffuse Einträge in Gewässer
- Niedrigwasseraufhöhungen aus Talsperren und Rückhaltebecken
- Gewässerrenaturierungen
- Gewässerbewirtschaftung mit Restwasserzuteilungen

Rückblickend kann gesagt werden, dass das Jahr 2003 trotz Trockenheit, Hitze und Niedrigwasser kein Katastrophenjahr war. Die von vielen befürchteten Auswirkungen blieben weitgehend aus. Trotzdem soll die langanhaltende Trockenperiode nicht nur genutzt werden, Bilanz zu ziehen.

## Resümee

Vielmehr ist zu hinterfragen, welche anthropogenen Eingriffe sich bewährt haben und wo die Daseinsvorsorge zu verbessern ist. Manchmal müssen auch Einzelinteressen zurückstehen, wenn z.B. Brunnen und Quellen besser geschützt werden sollen.

Auch wenn das Ereignis 2003 glimpflich verlief, sind Verbesserungen möglich und notwendig:

- Verbesserte Schutzgebietsausweisungen bei der Wasserversorgung
- Einführung der Ionisierung bei Kläranlagen oberhalb von Badegewässern
- Redundante gewässerkundliche Messstellen
- Revision des Wassertemperaturmessnetzes
- Aufbau eines Quellenmessnetzes
- Automatisierung im Bereich der Gewässergüte
- Verbesserung der Schifffahrt an der Donau
- Einrichten eines Internetangebots der allgemeinen Gewässerkunde als Ergänzung zum Hochwassernachrichtendienst.

Alle Maßnahmen sind eingeleitet. Bei knappen Haushaltsmitteln gilt es, die hohe Priorität zu halten.

# Literatur

ATV-DVWK (2001): Regelwerk 2/2001: DVWK- Regel 120/1983 Teil 1: Statistische Untersuchungen des Niedrigwasser-Abflusses. ATV-DVWK, Hennef

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1977): Die Trockenperiode des Jahres 1976, LfW- Informationsberichte, Heft 1/77

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1979): Die Trockenperiode des Jahres 1976. Eine Hydrologische Monographie und eine Niedrigwasseranalyse. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 12

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2000a) Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch. Donaugebiet. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2000b) Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch. Rheingebiet, Teil II, Main. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2001): Spektrum Wasser 2: Grundwasser - Der unsichtbare Schatz. München

DEUTSCHER WETTERDIENST (2004) Klimastatusbericht 2003; Offenbach

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (1992): DIN 4049 Teil 1, Hydrologie Grundbegriffe.

DICK, T. (2003): HyStat Benutzerhandbuch. Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik, Ottobrunn

DYCK, S. & G. PESCHKE (1995): Grundlagen der Hydrologie. 5., bearbeitete Auflage. , Verlag für Bauwesen, Berlin

E-ON WASSERKRAFT GmbH, Landshut, fernmündliche Auskunft

REGIERUNG VON UNTERFRANKEN, mündliche Auskunft

WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT ASCHAFFENBURG, mündliche Auskunft



# Anhang

## Erläuterung meteorologischer Fachbegriffe

Anmerkung: In der Witterungsbeschreibung werden die meteorologischen Verhältnisse anhand der langjährigen Mittelwerte der Zeitreihe 1961 bis 1990 beurteilt. Zur leichteren Lesbarkeit sind die jeweiligen Abweichungen durch die klassifizierte Wortwahl (**zu ...**, **deutlich ...**, **markant ...**) beschrieben. Diese Einteilung beruht auf folgendem Schema (DEUTSCHER WETTERDIENST 2003, S. 28):

Abweichung der Monatswerte vom Mittel 1961/90					
Zuordnung der Wortwahl (zu, deutlich, markant) zu den entsprechenden Intervallbereichen [ ; ]					
Temperatur	Temperatur	Temperatur	Temperatur	Temperatur	Temperatur
$[-\infty \text{ K} ; -4,1 \text{ K}]$	$[-4,0 \text{ K} ; -2,1 \text{ K}]$	$[-2,0 \text{ K} ; -0,1 \text{ K}]$	$[+0,1 \text{ K} ; +2,0 \text{ K}]$	$[+2,1 \text{ K} ; +4,0 \text{ K}]$	$[+4,1 \text{ K} ; +\infty \text{ K}]$
Niederschlag	Niederschlag	Niederschlag	Niederschlag	Niederschlag	Niederschlag
$[-100 \% ; 25 \%[$	$[25 \% ; 49 \%]$	$[50 \% ; 99 \%]$	$[101 \% ; 150 \%]$	$[151 \% ; 200 \%]$	$]200 \% ; \infty \%$
Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer
$[-100 \% ; 25 \%[$	$[25 \% ; 49 \%]$	$[50 \% ; 99 \%]$	$[101 \% ; 150 \%]$	$[151 \% ; 200 \%]$	$]200 \% ; \infty \%$
<b>Markant ...</b>	<b>deutlich ...</b>	<b>zu ...</b>	<b>zu ...</b>	<b>deutlich ...</b>	<b>markant ...</b>
(zu kalt, zu trocken, unterdurchschnittl. Sonnig)	(zu kalt, zu trocken, unterdurchschnittl. sonnig)	(kalt, trocken, unterdurchschnittl. sonnig)	(warm, nass, überdurchschnittl. sonnig)	(zu warm, zu nass, überdurchschnittl. sonnig)	(zu warm, zu nass, überdurchschnittl. sonnig)
Temperatur	Temperatur	Temperatur	Temperatur	Temperatur	Temperatur
$[-\infty \text{ K} ; -1,1 \text{ K}]$	$[-1,0 \text{ K} ; -0,6 \text{ K}]$	$[-0,5 \text{ K} ; -0,1 \text{ K}]$	$[+0,1 \text{ K} ; +0,5 \text{ K}]$	$[+0,6 \text{ K} ; +1,0 \text{ K}]$	$[+1,1 \text{ K} ; +\infty \text{ K}]$
Niederschlag	Niederschlag	Niederschlag	Niederschlag	Niederschlag	Niederschlag
$[-100 \% ; 50 \%[$	$[50 \% ; 74 \%]$	$[75 \% ; 99 \%]$	$[101 \% ; 125 \%]$	$[126 \% ; 150 \%]$	$]150 \% ; \infty \%$
Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer	Sonnenscheindauer
$[-100 \% ; 75 \%[$	$[75 \% ; 89 \%]$	$[90 \% ; 99 \%]$	$[101 \% ; 110 \%]$	$[111 \% ; 125 \%]$	$]125 \% ; \infty \%$
Abweichung der Jahresswerte vom Mittel 1961/90					
Zuordnung der Wortwahl (zu, deutlich, markant) zu den entsprechenden Intervallbereichen [ ; ]					

LGD-Nr.	Name	Geologie	Tiefe [m]	Wasserwirtschaftsamt	benachbarte Gewässer
08011	Rain	Hochterrassenschotter	4,75	Donauwörth	2,7 km E Lech
13145	Sonthofen Bahnhof	Auenablagerungen	10,60	Kempton	50 m N Graben; 550 m N Iller
14108	Forstern Br. 1 alt	Moränensedimente	29,23	Freising	600 m W Schwillach
16006	Egfling Lehrer 265 B	Würmeiszeitl. Schotter	17,60	München	-
16118	Lohhof	Würmeiszeitl. Schotter	4,75	München	1,2 km E Moosach
16119	Eching 75 D	Würmeiszeitl. Schotter	17,19	München	2,3 km SE Moosach
17175	Großhabersdorf Q 12	Auenablagerungen	19,90	Nürnberg	80 m N Bibert
20111	Lerchenfeld 209 A	Würmeiszeitl. Schotter	7,09	Regensburg	1,0 km NE Lohgraben
24124	Pressath/Bürgw. 2 980	Terrassenschotter und Sande	9,61	Weiden	-
25700	Östl. Loisach D/1 K	Auenablagerungen	22,20	Weilheim	5 m S Loisach

**Tabelle 2.2:** Stammdaten von quartären Grundwassermessstellen

LGD-Nr.	Name	Geologie	Tiefe [m]	Wasserwirtschaftsamt
03122	Boelingsdorf	Benker Sandstein (Keuper)	112,00	Amberg
03141	Uffenheim	Muschelkalk	60,00	Amberg
04137	Roellfeld	Mittlerer Buntsandstein	48,80	Aschaffenburg
06003	Weierhoferfen	Tertiär	6,30	Bayreuth
06106	Betzenstein	Weißer Jura (Malmkarst)	99,50	Bayreuth
11149	Gungolding	Weißer Jura (Malmkarst)	30,00	Ingolstadt
14111	Niederroth	Tertiär (Obere Süßwassermolasse)	54,00	Freising
15120	Ihrlersstein	Weißer Jura (Malmkarst)	115,00	Landshut
17179	Fürth-Unterfürberg	Sandsteinkeuper	164,00	Nürnberg
22103	Ruegshofen	Lettenkohlenkeuper	5,80	Schweinfurt
27118	Heinrichsthal	Buntsandstein	117,50	Würzburg

**Tabelle 2.3:** Stammdaten von tieferen Grundwassermessstellen



LGD-Nr.	Name	Geologie	Wasserwirtschaftsamt
05502	Ellernbachquelle	Weißer Jura (Malmkarst)	Bamberg
05503	Quelle Hohenmühle	Burg- und Blasensandstein (Keuper)	Bamberg
10501	Zweiwege-Quelle	Kristallin des Bayerischen Waldes	Hof

**Tabelle 2.4:** Stammdaten von Quellenmessstellen

GwMessstelle (LGD-Nr.)	Geologie	Trockenjahr 1976			Trockenjahr 2003		
		HW Anfang 1976 [m ü.NN]	NW 1976/77 [m ü. NN]	HW-NW (1976/77) [m]	HW Anfang 2003 [m ü.NN]	NW 2003/04 [m ü. NN]	HW-NW (2003/04) [m]
Eching (16119)	Quartär	463,86	463,10 (24.7.76)	0,76	464,52	462,68 (29.12.03)	1,84
Eglfing (16006)	Quartär	525,38	523,74 (07.02.77)	1,64	527,09	524,33 (18.8.04)	2,76
Rain/Lech (08011)	Quartär	406,49	405,93 (26.07.76)	0,56	407,51	405,69 (05.01.04)	1,82
Röllfeld (04137)	Buntsand- stein	Neubau	121,28 (21.06.76)	--	121,67	120,90 (29.12.02)	0,77
Rügshofen (22103)	Keuper	244,51	243,42 (29.11.76)	1,09	245,17	243,03 (08.12.03)	2,14
Betzenstein (06106)	Jura	434,76	431,59 (25.04.77)	3,17	447,22	444,01 (03.05.04)	3,21
Ihrlerstein (15120)	Jura	388,08	381,86 (31.01.77)	6,22	393,35	383,96 (05.01.04)	9,39
Weierhöfen (06003)	Kristallin	621,12	619,19 (3.10.76)	1,93	621,05	619,04 (11.09.03)	2,01

Quelle (LGD-Nr.)	Geologie	HQ Anfang 1976 [l/s]	NQ 1976/77 [l/s]	HQ-NQ (1976/77) [l/s]	HQ Anfang 2003 [l/s]	NQ 2003/04 [l/s]	HQ-NQ (2003/04) [l/s]
Quelle Hohen- mühle (05503)	Keuper	3,67	2,00 (21.08.76)	1,67	50,0	3,33 (19.06.04)	46,67
Ellernbach- quelle (05502)	Jura	98,42	26,84 (12.09.76)	71,58	109,72	20,34 (10.09.03)	89,38
Zweiwege- Quelle (10501)	Kristallin	2,86	2,00 (02.08.76)	0,86	2,50	0,61 (08.09.03)	1,67

**Tab. 2.5:** Grundwasserstände und Quellschüttungen in den Trockenjahren 1976 und 2003

**Karte 2.1:** Übersichtskarte „Messstellen Grundwasser in Bayern“ (M = 1 : 1.250.000) unter [http://www.bayern.de/lfw/daten/mengen\\_qualitaet/k\\_gw\\_quant.htm](http://www.bayern.de/lfw/daten/mengen_qualitaet/k_gw_quant.htm)



### Gewässerkunde

# Messstellen Grundwasserstand in Bayern

## Staatliches Grundnetz - Stand Juli 2003

### Grundwassermessstellen (Anzahl)

- vorhanden (467)
- △ geplant (160)

Das Grundnetz ist ein weitmaschiges Netz anthropogen möglichst unbeeinflusster Messstellen zur langfristigen Beobachtung überörtlich bedeutsamer Grundwasserleiter. Die Farbe im Symbol gibt den von der Messstelle erfassten Grundwasserleiter an.

### Grundwasserleiter mit überörtlicher Bedeutung (Beobachtung im Grundnetz)

oberer Bereichsweise überdeckt	unterer unter oberem Gw.Leiter	Grundwasserleiter	
		Flusstalfüllungen	] Quartär
		Schotterflächen	
		Obere Süßwassermolasse	] Tertiär
		Ortenburger Schotter	
		Kreide-Sandstein	] Trias
		Weisser Jura (Malmkarst)	
		Burg- und Blasensandstein (Sandsteineuper)	
		Benker Sandstein (Gipskeuper)	
		Muschelkalk	
		Buntsandstein	

### Grundwasserleiter mit örtlicher Bedeutung (keine Beobachtung im Grundnetz)

	Moränen
	Alpine Gesteine (i.W. Trias bis Kreide)
	Kristallines Grundgebirge
	Sonstige Grundwasserleiter

### Gewässereinzugsgebiete

- 
- Hauptwasserscheiden

### Siedlungen

- 
- Siedlungsflächen
- 
- BAYREUTH Regierungssitze
- 
- Schweinfurt Kreisfreie Städte

### Verwaltungsgrenzen

- 
- Staatsgrenzen
- 
- Regierungsbezirksgrenzen
- 
- Landesgrenzen

Wasserwirtschaftliche Fachdaten: Informationssystem Wasserwirtschaft  
Topographische Grunddaten: Geobasisdaten des BLVA,  
<http://www.geodaten.bayern.de>

0 25 50 km

Maßstab 1 : 1 250 000

© Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen  
Lazarettstr. 67, D-80636 München, Telefon 089/9214-01  
Druck im Oktober 2003

Karten zur Wasserwirtschaft

