



SCHRIFTENREIHE UMWELT NR. 369

Gewässerschutz



Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer

Dokumentation



**SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 369**

Gewässerschutz

**Auswirkungen des
Hitzesommers 2003
auf die Gewässer**

Dokumentation

Avec résumé en français

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL, in Zusammenarbeit mit dem
Bundesamt für Wasser und Geologie
BWG und dem Bundesamt für
Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchweiz
Bern, 2004**

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL, in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für
Wasser und Geologie BWG und dem Bundesamt für
Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

*Das BUWAL und das BWG sind Ämter des Eidg.
Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation (UVEK). Die MeteoSchweiz ist ein
Amt des Eidg. Departements des Innern (EDI).*

Autoren

Stephan Bader, MeteoSchweiz
Daniel Devanthéry, BUWAL
Andreas Hertig, BUWAL
Adrian Jakob, BWG
Caroline Kan, BWG
Erich Kohli, BUWAL
Ronald Kozel, BWG
Manfred Kummer, BUWAL
Heinz Liechti, BWG
Paul Liechti, BUWAL
Robert Lukes, BWG
Philippe Marti, BWG
Christian Roulier, Service conseil Zones alluviales,
Yverdon-les-Bains
Michael Schorer, Science Com AG, Bern
Marc Schürch, BWG
Ulrich Sieber, BUWAL

Redaktion

Michael Schorer, Science Com AG, Bern

Zitiervorschlag

BUWAL, BWG, MeteoSchweiz, 2004: *Auswirkungen
des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer.*
Schriftenreihe Umwelt Nr. 369. Bern: Bundesamt für
Umwelt, Wald und Landschaft, 174 S.

Bezug

BUWAL, Dokumentation
CH-3003 Bern
Fax +41 (0) 31 324 02 16
docu@buwal.admin.ch
www.buwalshop.ch

Bestellnummer/Preis
SRU-369-D/CHF 25.– (inkl. MWSt.)

© BUWAL 2004

Ergänzende Beiträge

Brigitta Gander-Amrein, Amt für Abfall, Wasser,
Energie und Luft des Kantons Zürich
Jean-Claude Bader, Wasser- und Energiewirtschafts-
amt des Kantons Bern
Andreas Bauder, Versuchsanstalt für Wasserbau,
Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich
Michael Eugster, Amt für Umweltschutz des Kantons
St. Gallen
Regula Frauenfelder, World Glacier Monitoring
Service, Geograph. Institut der Universität Zürich
Thomas Frei, MeteoSchweiz
René Gygax, Wasser- und Energiewirtschaftsamt des
Kantons Bern
Daniel Hartmann, BUWAL
Andreas Hauser, Amt für Lebensmittelkontrolle und
Umweltschutz des Kantons Schaffhausen
Urs Kamm, Schweizerischer Verein des Gas- und
Wasserfaches (SVGW), Zürich
Sébastien Lehmann, BUWAL
Catherine Mathez, Büro für Wasser und Umwelt,
Wabern bei Bern
Jan Mazacek, Amt für Umwelt und Energie des
Kantons Basel-Stadt
Marco Moretti, WSL Sottostazione sud delle Alpi,
Bellinzona
Edwin Müller, BUWAL
Markus Nauser, BUWAL
Pius Niederhauser, Amt für Abfall, Wasser, Energie
und Luft des Kantons Zürich
Nicola Patocchi, Fondazione Bolle di Magadino,
Magadino
Lorenzo Quirici, Laboratorio cantonale, Repubblica e
Cantone Ticino
Doro Röthlisberger, Zoologisches Museum der
Universität Zürich
Susy Senn, Verband Schweizerischer Schifffahrts-
unternehmen, Horw
Paul Sicher, Schweizerischer Verein des Gas- und
Wasserfaches (SVGW), Zürich
Erich Staub, BUWAL
Martin Würsten, Amt für Umwelt des Kantons
Solothurn

Titelbilder

Von links oben nach rechts unten:
Stausee Oberaar/Grimsel BE (M. Schorer)
Auried bei Kleinbösig FR (Auenberatungsstelle)
Thur bei Uesslingen TG (Auenberatungsstelle)
Untersee bei Triboltingen TG (Fotoagentur ex-press)

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	4.1.4 Das Temperaturmessnetz	73
Vorwort	7	4.2 Die Wassertemperaturen im Jahr 2003	74
Zusammenfassung	8	4.2.1 Fliessgewässer	74
Résumé	12	4.2.2 Seen	75
Einleitung	16	4.3 Risikobezogene Temperaturklassierung	77
1 Das Jahr 2003 aus meteorologischer Sicht	19	4.3.1 Kriterien für die Klassierung	77
1.1 Winter 2002/2003 und Frühjahr 2003	19	4.3.2 Anwendung der Risikoklassierung auf das Jahr 2003	80
1.2 Der Hitzesommer 2003	22	4.3.3 Vergleich der Jahre 2003 und 2002	81
1.3 Die Trockenheit im Sommer 2003	29	4.3.4 Vergleich der Monatsmittel 2003 mit den langfristigen Periodenmitteln	83
1.4 Herbst und Frühwinter 2003	31	4.4 Chemie und Biologie	84
2 Gletscher	37	4.4.1 Chemische Inhaltsstoffe	84
2.1 Wasserhaushalt und Massenbilanz der Alpengletscher	37	4.4.2 Abwasserreinigung	85
2.2 Gletscherveränderung im Jahr 2003	38	4.4.3 Photosyntheseaktivität	86
2.3 Bilanz für den Alpenraum	40	4.4.4 Aussergewöhnliche Beobachtungen im Sommer 2003	87
3 Hydrologie der Oberflächengewässer	43	4.4.5 Besondere Phänomene	92
3.1 Datenerfassung und Datenqualität	43	5 Grundwasser	95
3.2 Auswirkungen von Hitze und Trockenheit auf die Wasserstände	45	5.1 Die Grundwasserverhältnisse in der Schweiz	95
3.3 Die Vorgeschichte im Winter 2002/2003	46	5.2 Beobachtung der Grundwasserquantität in der Schweiz	97
3.4 Die Fliessgewässer im Jahr 2003	47	5.3 Auswirkungen der Trockenheit 2003 auf Quellschüttungen	97
3.4.1 Einzugsgebiete mit glazialen Einfluss	47	5.3.1 Karstquellen mit grossem Einzugsgebiet	98
3.4.2 Einzugsgebiete ohne glazialen Einfluss	49	5.3.2 Quellen aus Lockergesteinen und aus geklüfteten Festgesteinen	99
3.4.3 Grössere Einzugsgebiete mit Mischregime oder unterhalb von Seen	52	5.4 Auswirkungen der Trockenheit 2003 auf die Grundwasserstände in Talschottern	100
3.5 Die Seen im Jahr 2003	54	5.4.1 Alpines hydrologisches Regime	100
3.6 Historische Einordnung	58	5.4.2 Hydrologische Regimes der Alpennordseite	102
3.6.1 Niedrigwasser-Kenngrössen	58	5.4.3 Hydrologisches Regime der Alpensüdseite	103
3.6.2 Vergleich der Trockenjahre 1947, 1976 und 2003	61	5.5 Langsam reagierende Grundwasserleiter	104
4 Zustand der Oberflächengewässer	71	5.6 Beobachtung der Grundwasserqualität in der Schweiz	105
4.1 Allgemeines zur Wassertemperatur	71	5.7 Zusammenfassung	105
4.1.1 Ökologische Bedeutung der Wassertemperatur	71		
4.1.2 Dynamik der Wassertemperatur	72		
4.1.3 Seetemperaturen	73		

6	Feuchtgebiete	109
6.1	Auen	109
6.1.1	Beschreibung	109
6.1.2	Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit im Sommer 2003	110
6.1.3	Zusammenfassung und Ausblick	115
6.2	Moore	116
6.2.1	Beschreibung	116
6.2.2	Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit im Sommer 2003	116
6.3	Amphibien	117
6.3.1	Beschreibung	117
6.3.2	Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit im Sommer 2003	117
6.4	Gesamtbetrachtung	118
6.5	Folgerungen	119
7	Wasserentnahmen und Wassereinleitungen	123
7.1	Ausgangslage	123
7.1.1	Die Situation in den kleinen Fliessgewässern des Mittellandes und des Juras	123
7.1.2	Gesetzliche Grundlagen	124
7.2	Wasserentnahmen durch die Landwirtschaft	125
7.2.1	Umfrage bei den Kantonen	125
7.2.2	Ergebnisse der Umfrage	126
7.3	Wasserentnahmen und Wasser- einleitungen für industrielle Zwecke	134
7.3.1	Wasserentnahmen	134
7.3.2	Wassereinleitungen (Kühlwasser)	135
7.3.3	Abwassereinleitungen	135
8	Fische und Fischerei	137
8.1	Einleitung	137
8.2	Quantitative Ergebnisse der Umfrage	138
8.3	Regionale Schadensverteilung	140
8.4	Einschränkungen und Schutz- massnahmen	140
8.5	Die Folgen für die Fischbestände	142
8.6	Folgerungen	142

9	Badegewässer	145
9.1	Einleitung	145
9.2	Ergebnisse der Umfrage	145
10	Trinkwasserversorgung	149
10.1	Die Trinkwasserversorgung in der Schweiz	149
10.2	Die Wasserversorgung im Sommer 2003	151
10.2.1	Verbrauchseinschränkungen	152
10.2.2	Die Lage im Tessin	153
10.2.3	Trinkwasserentnahmen durch die Landwirtschaft	154
10.3	Trinkwasserqualität	155
11	Produktion von elektrischer Energie	159
11.1	Landeserzeugung und Landesverbrauch	159
11.2	Elektrizitätserzeugung in Wasserkraftwerken	159
11.2.1	Laufkraftwerke	159
11.2.2	Speicherkraftwerke	160
11.3	Die Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit auf die Stromerzeugung	161
11.3.1	Wasserkraft	161
11.3.2	Kernkraft	165
11.4	Landesverbrauch und Export/Import	165
12	Schifffahrt	167
12.1	Internationale Rheinschifffahrt	167
12.2	Binnenschifffahrt	168
13	Folgerungen	171
13.1	Allgemeine Folgerungen	171
13.2	Folgerungen für einzelne Fachgebiete	172

Abstracts

This report provides an overview of how the extremely hot and dry summer of 2003 affected Switzerland's waterbodies. Having examined the causes and pattern of the weather conditions and the immediate consequences for the Alpine glaciers, it describes the effects on waterbodies themselves and on their utilization. An account is given of the impacts on the hydrology and condition of surface waters, ground-water, wetlands, water withdrawals and inflows, fish and fisheries, bathing waters, supplies of drinking water, hydropower generation and inland navigation. Wherever possible, comparisons are made with two previous dry years – 1976 and 1947. From a comprehensive view of the events, key conclusions are drawn.

Keywords:

Drought, water shortage,
water withdrawals, fisheries

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit des Jahres 2003 auf die Gewässer der Schweiz. Ausgehend von den Ursachen und dem Ablauf der Witterung sowie von den unmittelbaren Folgen für die Alpengletscher werden die Wirkungen auf die Gewässer selbst und auf ihre Nutzung beschrieben. Dargestellt werden die Auswirkungen auf die Hydrologie und den Zustand der Oberflächengewässer, das Grundwasser, die Feuchtgebiete, die Wasserentnahmen und Wassereinleitungen, die Fische und die Fischerei, die Badegewässer, die Trinkwasserversorgung, die Produktion von elektrischer Energie und die Schifffahrt. Wo möglich, werden Vergleiche mit den Trockenjahren 1976 und 1947 angestellt. Aus der Gesamtsicht der Ereignisse werden die wichtigsten Folgerungen gezogen.

Stichwörter:

Trockenheit,
Wasserknappheit,
Wasserentnahmen,
Fischerei

Le présent rapport donne une vue d'ensemble des effets de la canicule et de la sécheresse de l'été 2003 sur les eaux suisses. Le but est, à partir de l'analyse des causes et caractéristiques de cet épisode météorologique ainsi que des conséquences directes sur les glaciers alpins, de décrire les effets sur les eaux elles-mêmes et leur utilisation. Ce rapport traite des conséquences sur l'hydrologie et l'état des eaux de surface, les nappes phréatiques, les zones humides, le prélèvement et le déversement d'eau, les poissons et la pêche, les eaux de baignade, la distribution de l'eau, la production d'électricité et la navigation. Là où cela est possible, des parallèles sont établis avec les années de sécheresse 1976 et 1947. Une vision globale des événements permet de tirer les principales conclusions.

Mots-clés:

Sécheresse, pénurie d'eau,
prélèvement d'eau, pêche

Il presente rapporto fornisce una panoramica delle ripercussioni dell'estate torrida e secca del 2003 sui corsi d'acqua e i laghi della Svizzera. Partendo dall'analisi delle cause e dell'andamento delle condizioni meteorologiche nonché delle loro conseguenze dirette sui ghiacciai alpini, vengono descritti gli effetti sulle acque e sulla loro utilizzazione. Ci si concentra in particolare sulle ripercussioni in materia di: idrologia e condizioni delle acque superficiali, acque sotterranee, zone umide, prelievi d'acqua e condotte idriche, fauna ittica e pesca, acque balneabili, approvvigionamento di acqua potabile, produzione di energia elettrica e navigazione. Laddove possibile, vengono inoltre effettuati dei raffronti con i periodi di siccità del 1976 e del 1947. Il rapporto presenta infine le conclusioni più importanti che scaturiscono dall'insieme degli eventi verificatisi.

Parole chiave:

siccità, carenza d'acqua,
prelievi d'acqua, pesca

Vorwort

Das Jahr 2003 ist von der Uno zum Internationalen Jahr des Süsswassers ausgerufen worden. Aus guten Gründen: Ohne Wasser gibt es kein Leben auf unserem Planeten. Auch wenn wir selten bewusst darüber nachdenken: Wasser ist ein unverzichtbarer Teil unseres täglichen Lebens. Das Internationale Jahr des Süsswassers hat weltweit auf die zentrale Rolle dieser existentiellen Lebensgrundlage aufmerksam gemacht. Die Ökosysteme unserer Bäche, Flüsse, Seen und Feuchtgebiete verdienen Schutz.

Dass frisches Wasser nicht immer und überall in unbeschränkten Mengen zur Verfügung steht, hat uns das ausserordentlich heisse und trockene Jahr 2003 einmal mehr gelehrt. Auch in der sonst wasserreichen Schweiz wurde in Teilbereichen das Wasser zum knappen Gut.

Mit diesem Bericht dokumentieren wir die vielfachen Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit des Jahres 2003 auf die Gewässer. Wir schaffen damit eine Datengrundlage, aus der Fachleute, aber auch weitere interessierte Kreise, bei künftigen ähnlichen Ereignissen Nutzen ziehen können.

Die vorliegende Publikation enthält Beiträge, die vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, vom Bundesamt für Wasser und Geologie sowie von MeteoSchweiz gemeinsam erarbeitet worden sind. Dass daraus eine umfassende Übersicht entstanden ist, verdanken wir der Unterstützung zahlreicher kantonaler Behörden, wissenschaftlicher Institutionen und betroffener Branchenorganisationen. All jenen, die an diesem Bericht mitgewirkt haben, sprechen wir unseren Dank aus.

Bundesamt für Umwelt,
Wald und Landschaft

Dr. Ph. Roch

Bundesamt für
Wasser und Geologie

Dr. Ch. Furrer

MeteoSchweiz

D. K. Keuerleber

Zusammenfassung

Im Jahr 2003 herrschten in der Schweiz klimatische Verhältnisse, wie sie normalerweise für kontinentale Regionen fern der Ozeane typisch sind. Von Mitte April bis Ende August lagen die Lufttemperaturen fast durchwegs deutlich über dem langfristigen Mittel, und der alte Sommerhalbjahr-Wärmerekord aus dem Jahr 1947 wurde in der ganzen Schweiz überboten. Die Monate Juni und August brachten eine bisher einmalige Häufung von Hitzerekorden, darunter die höchste je in der Schweiz gemessene Lufttemperatur von 41,5°C. Begleitet wurde die Hitze durch eine auf der Alpennordseite von Februar bis September anhaltende Trockenheit; auf der Alpensüdseite dauerte sie gar von Januar bis Ende Oktober. Verbreitet fiel nur etwa die Hälfte der normalen Niederschläge. Die extreme Trockenheit des Sommerhalbjahrs 1947 wurde jedoch im Sommer 2003 nicht erreicht.

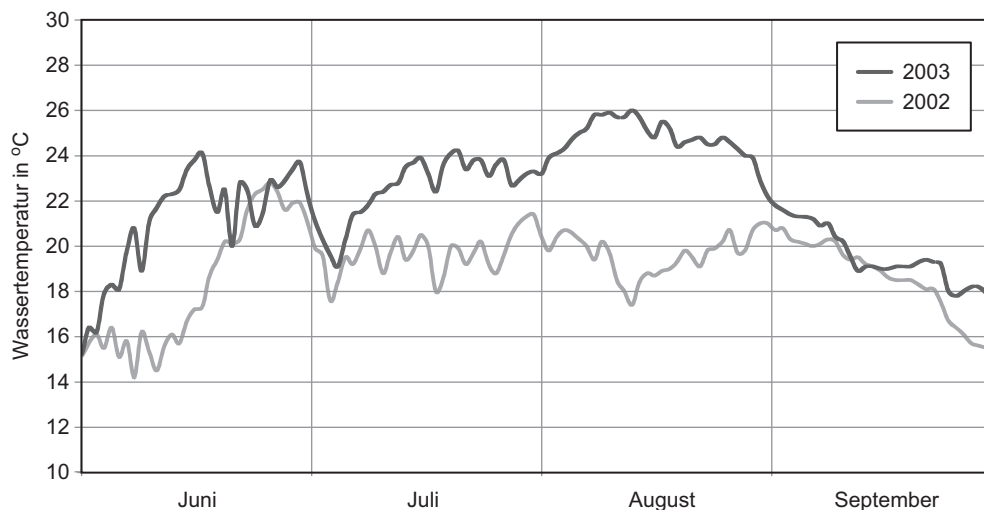
Trotz des Wasserreichtums der Schweiz hatte dieser aussergewöhnliche Witterungsablauf zahlreiche Auswirkungen auf die Gewässer und deren Nutzung.

Die kleinräumige natürliche Vielfalt der Schweiz führte dazu, dass die Wirkungen regional unterschiedlich ausgeprägt auftraten. So wiesen die Flüsse und Bäche aus unvergletscherten Einzugsgebieten teils stark verminderte Abflüsse auf. Die Niedrigwasserstatistik zeigt jedoch, dass die Wasserführung im Sommer und Herbst generell zwar tiefer war als 1976, aber nicht so extrem wie 1947. Zentren der Trockenheit der Gewässer waren der Jura, das tiefere Mittelland und das Tessin. Lokale Gewitter milderten örtlich die Trockenheit.

Umgekehrt führte die grosse Wärme im Hochgebirge zu einem ausserordentlich starken Abschmelzen des Schnees und der Gletscher. Der für 2003 geschätzte Massenverlust der Alpengletscher lag rund vier Mal höher als in den vorausgegangenen Jahren, die ohnehin zur überdurchschnittlich warmen Periode seit den 1980er Jahren gehören. Als Folge davon führten die Fliessgewässer mit hochalpinem Einzugsgebiet aussergewöhnlich viel Wasser.

Unterschiedlich wurden auch die grossen Seen von der Trockenheit betroffen. Mit Ausnahme von Lago Maggiore und Zürichsee konnte in den regulierten Seen das Niveau einigermassen gehalten werden, während in den nichtregulierten Seen (Bodensee, Walensee) die Seespiegel in die Nähe der bisherigen Tiefststände absanken.

Die starke Einstrahlung und die hohen Lufttemperaturen erwärmten die Gewässer im Sommer teils massiv, wie das nebenstehende Beispiel des Rheins unterhalb des Rheinfalls bei Schaffhausen zeigt. Im Jura und im Mittelland wurden während längerer Zeit Werte erreicht, die für kälteliebende Fische gefährlich sein können. Keine Probleme wurden hingegen durch temperatur- und trockenheitsbedingte Erhöhungen der Konzentration von chemischen Inhaltsstoffen oder durch verstärkte bakterielle Aktivitäten gemeldet. Der Betrieb der Abwasserreinigungsanlagen wurde von der ausserordentlichen Witterung eher positiv als negativ beeinflusst. Hinweise über besondere hygienische Probleme in Badegewässern als Folge der hohen Wassertemperaturen bei gleichzeitig tiefen Wasserständen und Abflussmengen liegen ebenfalls keine vor.



Tagesmittel der Wassertemperaturen im Rhein bei Rheinau (Kt. Zürich) von Juni bis September in den Jahren 2003 und 2002. Daten: Bundesamt für Wasser und Geologie

Grössere Probleme verursachten hingegen die Wasserentnahmen aus kleineren Fliessgewässern zum Bewässern der von Dürreschäden bedrohten landwirtschaftlichen Kulturen. Die geringe Wasserführung zahlreicher Gewässer führte wie in früheren Trockensommern zum Interessenkonflikt zwischen den Bedürfnissen der Bauern und dem Gewässerschutz. Die teils schwierigen Lagen wurden von den betroffenen Kantonen unterschiedlich bewältigt. In zahlreichen Kantonen wurden zu bestimmten Zeiten Einschränkungen oder Verbote für die Wasserentnahme verfügt. Vereinzelt führte dies zu Konflikten zwischen Behörden und Landwirten und zu illegalen Wasserentnahmen. Insgesamt kann jedoch davon ausgegangen werden, dass leergepumpte Bäche die Ausnahme waren.

Hart getroffen von der anhaltend heisstrockenen Witterung wurde die Fischfauna, die gleich doppelt bedroht war: von den sinkenden Wasserständen – im Extremfall bis zum Austrocknen des Bachbetts – und von den hohen Wassertemperaturen, die für bestimmte Fischarten wie Forellen oder Äschen lebensbedrohlich sein können. Eine Umfrage bei den Kantonen ergab, dass im Sommer 2003 mindestens 350 Fischgewässer mit einer Länge von insgesamt 245 Kilometern streckenweise oder ganz ausgetrocknet waren. Primär betroffen waren die Fischgewässer im Jura und im Mittelland, während die Lage in den von der Schnee- und Gletscherschmelze beeinflussten voralpinen und alpinen Fliessgewässern weniger dramatisch war. In zahlreichen Kantonen war das Fischereipersonal im Dauereinsatz, um die Fische vor dem Trockenfallen der Gewässer oder dem Temperaturstress zu retten. Dabei wurden mindestens 120'000 Fische in Gewässerabschnitte mit ausreichender Wasserführung umgesiedelt. Insgesamt wurden gegen 85'000 tote Fische eingesammelt, wobei die tatsächlichen Verluste deutlich höher gelegen haben dürften. Generell war das Austrocknen von Gewässern das grössere Problem als die hohen Wassertemperaturen. Das spektakulärste Ereignis des Sommers 2003 – das Massensterben von über 50'000 Äschen im Rhein unterhalb des Bodensees – hatte seine Ursache allerdings in den extrem hohen Wassertemperaturen. Am 12. August wurden bei Stein am Rhein in der Flussmitte in vier Metern Tiefe 25,9°C gemessen.

Besser erging es der Flora und Fauna in Feuchtgebieten wie Auen und Mooren. Obwohl auch diese Gebiete stark von der heisstrockenen Witterung betroffen waren, zeigen die vorliegenden Beobachtungen, dass diese Lebensräume wegen ihrer hohen natürlichen Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit den Extremsommer insgesamt gut abfedern konnten. Irreversible Veränderungen konnten bisher nicht festgestellt werden.

Beim Grundwasser begann das Jahr 2003 nach den intensiven Niederschlägen im Frühwinter 2002/2003 verbreitet mit aussergewöhnlich hohen Wasserständen. In den Tälern der grossen Flüsse aus dem Alpenraum profitierten die Grundwasserstände zudem von der starken Schnee- und Gletscherschmelze. In diesen Gebieten lagen die Wasserstände Ende Sommer zwar tief, aber immer noch über dem langjährigen Minimum. In den kleineren Tälern des Mittellands und im Südtessin sanken sie jedoch zum Teil auch unter die bisherigen Minima. Einen sehr starken Rückgang der Schüttung erlitten Quellen, die aus oberflächennahen Grundwasservorkommen gespeist werden.

Gut durch das Jahr 2003 kamen die grossen Trinkwasserversorgungen und jene Gemeinden, die sich an Verbundnetze angeschlossen haben. Die grossen Investitionen der letzten Jahre haben sich im Härtestest des Jahres 2003 ausbezahlt. Zudem ist der Wasserkonsum in der Schweiz seit längerer Zeit rückläufig, so dass die Verbrauchsspitzen aus dem Trockenjahr 1976 nicht mehr erreicht wurden. Verbrauchseinschränkungen mussten einzig kleine und isolierte Wasserversorgungen verfügen, die ganz oder grösstenteils von Quellen abhängen. Besonders betroffen waren der Jura und das Tessin. Signifikante witterungsbedingte Qualitätsprobleme beim Rohwasser wurden 2003 nicht beobachtet.

Gut zurecht mit den ausserordentlichen klimatischen Bedingungen des Jahres 2003 kamen auch die grossen Elektrizitätswerke. Zwar erlitten die Laufkraftwerke im Unterland wegen der geringen Wasserführung der Flüsse zum Teil deutliche Produktionseinbussen, die jedoch von den alpinen Speicherkraftwerken dank den massiven Zuflüssen aus der Schnee- und Gletscherschmelze wettgemacht wurden. Im Mittelland mussten dagegen verschiedentlich Kleinkraftwerke stillgelegt werden, da unter Einhaltung der Dotierwassermenge die Wasserführung für den Betrieb nicht mehr ausreichte. Insgesamt lag die Energieproduktion aus Wasserkraft im Jahr 2003 nur 0,8 % unter dem Mittel der vorangegangenen zehn Jahre. Die Minderproduktion fiel damit deutlich geringer aus als in den Trockenperioden der 1970er Jahre.

Zwiespältig ist die Bilanz der Schifffahrt. Wegen der rekordtiefen Wasserstände im Mittel- und Niederrhein musste im Spätsommer 2003 die Schifffahrt zwischen Basel und Rotterdam eingeschränkt werden, und auch der Ausflugsverkehr auf dem Hochrhein/Untersee blieb zeitweise mangels Wasser eingestellt. Umgekehrt bescherte das ideale Ausflugswetter den meisten Schifffahrtsunternehmen nördlich der Alpen deutlich erhöhte Passagierzahlen.

Betrachtet man die Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit im Jahr 2003 aus einer übergeordneten Sicht, so sind vor allem drei herausragende Ereignisse zu verzeichnen: das ausserordentlich starke Abschmelzen der Gletscher, die Probleme bei den Wasserentnahmen für landwirtschaftliche Bewässerungen sowie die Fischsterben und Notabfischungen. In künftigen heisstrockenen Jahren dürften sich die Probleme weiterhin vor allem auf die beiden letztgenannten Bereiche konzentrieren.

Beim gegenwärtigen Stand des Wissens drängen sich auf Bundesebene jedoch keine unmittelbaren Massnahmen auf Stufe Gesetzgebung auf.

Die Auswertung der Daten bestätigte die Bedeutung der verschiedenen Messnetze: Um ausserordentliche Ereignisse wie den Sommer 2003 einordnen zu können, sind langfristige, repräsentative Datenreihen nötig.

Résumé

En 2003, la Suisse a connu des conditions climatiques que l'on rencontre normalement dans des régions continentales éloignées de l'influence océanique. Entre mi-avril et fin août, les températures de l'air ont dépassé pratiquement tout le temps les moyennes pluriannuelles et le record de chaleur de l'été 1947 a été battu dans toute la Suisse. Les mois de juin et d'août ont été marqués par une accumulation de records inconnue jusqu'alors, parmi lesquels la température de l'air la plus élevée qui ait jamais été enregistrée en Suisse: 41,5 °C. Cette vague de chaleur s'est accompagnée d'une sécheresse qui a prévalu de février à septembre au nord des Alpes, et même de janvier à fin octobre au sud des Alpes. De manière générale, il est tombé approximativement la moitié des précipitations normales. La sécheresse de l'été 2003 n'a pourtant pas atteint l'ampleur de celle de l'été 1947.

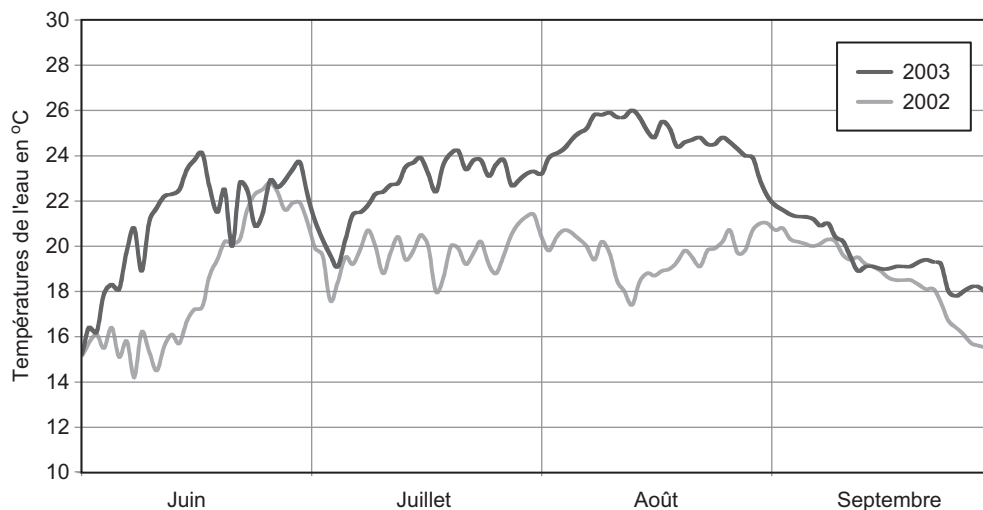
La Suisse a beau être dotée d'une richesse hydraulique, ces conditions climatiques extrêmes ont eu de multiples conséquences sur les eaux et leur utilisation.

La grande diversité topographique de la Suisse a fait que les effets de la sécheresse se sont plus ou moins fait sentir selon les régions. Les rivières et ruisseaux des bassins versants sans couverture glaciaire ont accusé en partie des baisses significatives de leur débit. Les statistiques des basses eaux montrent cependant que le débit en été et en automne a été en général plus bas qu'en 1976 sans pour autant atteindre le seuil critique de 1947. Les régions plus particulièrement touchées par l'assèchement des cours d'eau ont été le Jura, le bas Plateau et le Tessin. Des orages locaux ont atténué cette sécheresse.

Inversement, les fortes chaleurs dans les régions de haute montagne ont provoqué une fonte très importante des neiges et des glaciers. La perte de masse des glaciers alpins telle qu'évaluée pour 2003 a été environ quatre fois supérieure à celle des années précédentes, qui constituent de toute façon une période de chaleur supérieure à la moyenne depuis les années 1980. Conséquence directe: les cours d'eau avec un bassin versant de haute montagne ont drainé une quantité d'eau exceptionnelle.

Du côté des grands lacs, la sécheresse ne s'est pas non plus manifestée partout de la même manière. Lac Majeur et lac de Zurich mis à part, le niveau d'eau a pu être plus ou moins maintenu dans les lacs régulés alors qu'il a avoisiné les plus basses valeurs enregistrées jusqu'alors dans les lacs non régulés (lac de Constance, lac de Walenstadt).

En été 2003, le fort ensoleillement et les températures de l'air élevées ont réchauffé les eaux, dans certains cas de façon spectaculaire comme le montre l'exemple ci-contre du Rhin, en aval de ses chutes près de Schaffhouse. Pendant une très longue période, la température des eaux dans le Jura et sur le Plateau a atteint des valeurs qui peuvent mettre en danger la vie de certains poissons habitués aux eaux froides. Par contre, aucun problème n'a été signalé qui aurait eu pour cause une concentration plus importante de substances chimiques due aux températures excessives et à la sécheresse ou une activité bactérienne plus intense. Les conditions météorologi-



Moyennes journalières des températures de l'eau du Rhin à Rheinau (canton de Zurich) entre juin et septembre, en 2003 et 2002. Données: Office fédéral des eaux et de la géologie

ques inhabituelles ont eu un effet plutôt positif sur le fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées. Du côté de la baignade, aucun problème d'hygiène particulier n'a été rapporté suite à l'augmentation des températures de l'eau et à la baisse des niveaux d'eau et de débit.

En revanche, les prélèvements effectués dans les petits cours d'eau pour arroser les cultures agricoles menacées par la sécheresse ont posé de gros problèmes. Le faible débit de nombreux cours d'eau a donné lieu, comme lors de précédentes périodes de sécheresse estivale, à des conflits d'intérêts entre les impératifs agricoles et la protection des eaux. Les cantons touchés par la sécheresse ont réagi de manière différente face à des situations parfois critiques. Nombre d'entre eux ont pris des mesures de restriction ou d'interdiction des prélèvements d'eau. Cela a conduit, dans certains endroits, à des conflits entre agriculteurs et autorités ainsi qu'à des prélèvements illégaux. On peut tout de même dire dans l'ensemble que le pompage des ruisseaux jusqu'à l'assèchement est resté une exception.

La faune aquatique a beaucoup souffert pendant cette longue période de canicule et elle a été menacée à double titre: par la baisse des niveaux d'eau – allant parfois jusqu'à l'assèchement du lit du cours d'eau – et par les températures de l'eau élevées, qui peuvent entraîner la mort de certaines populations de poissons telles que les truites et les ombres. Selon un sondage réalisé auprès des cantons, ce sont au moins 350 rivières à poissons sur une distance de 245 kilomètres qui se sont asséchées par tronçons ou en totalité pendant l'été 2003. Les rivières les plus touchées par ce phénomène ont été celles du Jura et du Plateau. La situation a été moins catastrophique dans les Alpes et les Préalpes où les cours d'eau ont bénéficié de la fonte des neiges et des glaciers. Bon nombre de services cantonaux ont dû sans cesse intervenir pour sauver les poissons menacés par l'assèchement des cours d'eau ou l'augmentation de la température de l'eau. Ils ont ainsi transféré au moins 120'000 poissons dans des cours d'eau ayant un débit suffisant. On a retrouvé en tout quelque 85'000 poissons

morts, mais il est fort probable que les pertes réelles ont été beaucoup plus importantes. De manière générale, l'assèchement des cours d'eau a posé davantage de problèmes que la température trop élevée des eaux. Reste que l'évènement le plus spectaculaire de l'été 2003 – la mort en masse de plus de 50'000 ombres dans le Rhin, en aval du lac de Constance – est dû aux températures de l'eau extrêmement élevées. Le 12 août, à Stein am Rhein, au milieu du fleuve, la température à quatre mètres de profondeur était de 25,9°C.

La flore et la faune des zones alluviales et des marais ont été mieux loties. Ces régions n'ont certes pas été épargnées par la vague de chaleur, mais les observations dont nous disposons montrent que ces écosystèmes ont pu, dans l'ensemble, mieux résister aux assauts de la canicule grâce à leurs exceptionnelles capacités d'adaptation et de régénération. On n'a jusqu'à présent relevé aucun changement irréversible.

En ce qui concerne les nappes phréatiques, l'année 2003 a commencé en général, après les fortes précipitations du début de l'hiver 2002/2003, avec des niveaux d'eau particulièrement élevés. Dans les grandes vallées fluviales des Alpes, le niveau des nappes souterraines a en outre bénéficié de la fonte des neiges et des glaciers. Dans ces régions, le niveau des eaux était certes faible à la fin de l'été, mais n'en restait pas moins au-dessus des valeurs minimales pluriannuelles. Par contre, dans les vallées plus petites du Plateau et du Sud du Tessin, le niveau des eaux était même dans certains cas inférieur aux minima enregistrés jusqu'alors. Les sources alimentées par des réserves d'eau souterraine proches de la surface ont vu leur débit fortement diminuer.

Les grands distributeurs d'eau et les communes reliées aux réseaux interconnectés s'en sont bien sortis en 2003. Les gros investissements de ces dernières années se sont révélés payants dans le contexte de l'été 2003. Autre élément à prendre en compte: la consommation d'eau en Suisse est en baisse depuis plusieurs années si bien qu'il n'y a pas eu les pics de consommation qui avaient été atteints au cours de l'année de sécheresse 1976. Seules les communes dotées d'un système de distribution petit et isolé qui dépend entièrement ou en grande partie de sources ont dû mettre en place des mesures de restriction. Ceci a surtout été le cas dans le Jura et le Tessin. En ce qui concerne l'eau au point de captage, on n'a pas constaté de problèmes de qualité particuliers en lien avec la canicule de 2003.

Les grandes centrales électriques ont elles aussi réussi à composer avec les conditions extrêmes de l'année 2003. En raison du faible débit des rivières, les centrales au fil de l'eau situées en plaine ont certes enregistré pour certaines d'entre elles de nettes pertes de production, mais ces pertes ont été compensées par les centrales à accumulation situées en montagne et ayant bénéficié de l'apport exceptionnel d'eau de fonte. Sur le Plateau, au contraire, de petites centrales hydrauliques ont dû être arrêtées à plusieurs endroits car le régime des eaux était insuffisant compte tenu du débit de dotation. Dans l'ensemble, la production d'électricité à partir de la force

hydraulique n'a été inférieure en 2003 que de 0,8 % à la moyenne des dix années précédentes. Cette baisse de production n'a donc pas vraiment représenté un manque comme pendant les périodes de sécheresse des années 1970.

En matière de navigation, le bilan est contrasté. Les niveaux d'eau du Rhin moyen et inférieur accusant des records négatifs, il a fallu, à la fin de l'été 2003, limiter la navigation entre Bâle et Rotterdam. Il est même arrivé que la navigation touristique sur le Rhin supérieur / lac de Constance inférieur (Untersee) soit également interrompue par manque d'eau. A l'inverse, grâce au beau temps propice aux promenades sur l'eau, les compagnies de navigation du nord des Alpes ont accueilli un nombre élevé de passagers.

Si l'on considère les effets de la chaleur et de la sécheresse de 2003 d'un point de vue global, trois phénomènes majeurs se dégagent: l'exceptionnelle fonte des glaciers, les problèmes liés aux prélèvements d'eau pour l'arrosage à usage agricole, la mortalité et le sauvetage des poissons. Lors de futurs épisodes de sécheresse canicule, les problèmes devraient encore se limiter principalement aux deux derniers domaines cités.

Reste que dans l'état actuel des connaissances, aucune mesure directe de la Confédération ne s'impose au niveau législatif.

L'exploitation des données a confirmé l'importance des différents réseaux de mesure. Il faut en effet disposer de séries de données à long terme et représentatives si l'on veut établir une classification des épisodes exceptionnels comme l'a été celui de l'été 2003.

Einleitung

Das Jahr 2003 und insbesondere die Sommermonate brachten ausserordentliche Witterungsbedingungen, die sich – wie bei ähnlichen früheren Ereignissen – direkt auf die Gewässer und ihre Nutzung durch den Menschen auswirkten. Diese Wirkungen sind auf komplexe Weise miteinander verflochten, wobei sich natürliche Phänomene und menschliche Eingriffe überlagern. Drei Faktoren tragen im Wesentlichen zu dieser Komplexität bei¹:

- Extreme Witterungsperioden sind einmalige Ereignisse, die sich in ihrem zeitlichen Ablauf und in ihrer Intensität nie auf genau gleiche Art wiederholen.
- Auf dem Gebiet der Schweiz tritt sommerliche Trockenheit nicht flächendeckend auf. Die geographische Besonderheit des Landes, die kleingekammerten räumlichen Einheiten, die klimatischen Eigengesetzlichkeiten des Gebirgsraumes und die Klimascheide der Alpen führen dazu, dass sich eine grossräumige klimatische Anomalie wie jene im Jahr 2003 ausserordentlich differenziert auswirkt und die Folgen von Region zu Region unterschiedlich sind.
- Zur Vielfalt der Witterungsabläufe und der Naturräume gesellt sich die räumliche und zeitliche Dynamik des Wirtschaftsraums und der Gesetzgebung. Auf ein und dieselbe klimatische Ursache wird in verschiedenen Epochen und an verschiedenen Orten unterschiedlich reagiert. Während der sommerlichen Trockenheiten der Jahre 1947 und 1976 beispielsweise herrschten in der Schweiz andere gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedingungen als im Jahr 2003.

Ohne detaillierte wissenschaftliche Untersuchungen ist es daher kaum möglich, aus einem einzelnen Extremjahr oder aus dem Vergleich mehrerer solcher Jahre allgemeingültige Schlüsse über die Wirkungsgefüge und allfällige Schadenpotenziale zu ziehen.

Dennoch ist es sinnvoll, die Auswirkungen eines klimatischen Extremereignisses wie des Sommers 2003 zu dokumentieren. Extremereignisse haben den Vorteil, dass sonst verborgene potenzielle Probleme am ehesten sichtbar werden. Ungewöhnliche Witterungsperioden sind daher in der Vergangenheit von den Zeitgenossen jeweils umfassend dokumentiert worden. Der vorliegende Bericht steht in dieser Tradition.

Ziel dieses Berichtes ist es, die Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit im Jahr 2003 auf die Gewässer in der Schweiz zu dokumentieren. Dort, wo dies möglich und sinnvoll ist, wird das Jahr 2003 mit früheren heisstrockenen Witterungsperioden verglichen. Der vorgegebene zeitliche und finanzielle Rahmen erforderte die Beschränkung der Auswertung auf die routinemässig vom Bund erhobenen Daten. Punktuell ergänzt wurden sie durch Daten und Angaben der Kantone sowie durch weitere Beobachtungen betroffener Kreise. Neben wissenschaftlich-statistischen Auswertungen enthält dieser Bericht daher auch beschreibende Elemente, die sich der quantitativen Erfassung entziehen. Zudem wurden fallweise Auszüge

aus Medienberichten beigelegt, da diese die Befindlichkeit der breiten Öffentlichkeit illustrieren. Forschungsarbeiten wurden für die Erstellung dieses Berichts keine durchgeführt.

Dokumentiert wurden die Fakten, soweit sie kurzfristig zusammengetragen werden konnten. Eine umfassende Aufarbeitung sämtlicher Daten und Beobachtungen, die von den Kantonen und Gemeinden, den wissenschaftlichen Institutionen und den betroffenen Wirtschaftsverbänden erhoben wurden, hätte den vorgegebenen Rahmen dieses Berichts gesprengt. Die Dokumentation ist daher lückenhaft.

Trotz dieser Unschärfen bietet dieser Bericht einen umfassenden Überblick über die wesentlichsten Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit auf die Gewässer der Schweiz. Er erlaubt es den Fachleuten, allfälligen Handlungsbedarf zu identifizieren. Zudem ist er so abgefasst, dass sich auch weitere interessierte Kreise über die Ereignisse kundig machen können.

Verzichtet wurde auf die Interpretation der Daten und Beobachtungen vor dem Hintergrund der aktuellen Klimadiskussion. Zum einen sind Extremereignisse keine verlässlichen Indikatoren für Aussagen über die langfristige künftige Klimaentwicklung und einzelne Extremereignisse können nicht ursächlich der Klimaänderung zugeschrieben werden². Zum anderen müssen solche Analysen fundiert wissenschaftlich abgestützt werden, wenn sie einer kritischen Begutachtung standhalten sollen. Der vorliegende Bericht stellt daher in erster Linie Datengrundlagen für Praktiker und Forschende bereit, die sich mit den Folgen von klimatischen Extremereignissen befassen.

¹ SCHORER, M., 1992: *Extreme Trockensommer in der Schweiz und ihre Folgen für Natur und Wirtschaft*. Geographica Bernensia, Band G40. Bern: Geographisches Institut der Universität Bern.

² ORGANE CONSULTATIF SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES/BERATENDES ORGAN FÜR FRAGEN DER KLIMAÄNDERUNG (OcCC), 2003: *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern: OcCC (www.occc.ch/reports_d.html).

1 Das Jahr 2003 aus meteorologischer Sicht

Während die Schweiz normalerweise im Einflussbereich des nahen Atlantiks mit seiner ausgleichenden Klimawirkung liegt, herrschten im Jahr 2003 klimatische Verhältnisse, wie sie typisch für kontinentale Regionen fern der Ozeane sind: schnelle Wechsel von tiefen zu hohen Temperaturen und umgekehrt sowie Hitze und Trockenheit im Sommer. Insbesondere die Monate Juni und August 2003 brachten eine einmalige Anhäufung von Hitzerekorden, darunter die höchste je in der Schweiz gemessene Lufttemperatur von 41,5 °C. Eine weitere Eigenheit stellte die beinahe das ganze Jahr anhaltende Trockenheit dar. Im Sommerhalbjahr 2003 fiel verbreitet nur etwa die Hälfte der normalen Regenmengen. Der nachfolgende Bericht¹ dokumentiert das höchst ungewöhnliche Witterungsjahr in Form eines chronologischen Überblicks zu den wesentlichsten Ereignissen.

1.1 Winter 2002/2003 und Frühjahr 2003

Aussergewöhnlicher Jahreswechsel

Ein bisher einmaliges Ereignis brachte bereits der Jahreswechsel 2002/2003. Bei anhaltend frühlingshafter Witterung konnte noch vor Jahresbeginn der Blattaussbruch der Rosskastanien in der Stadt Genf beobachtet werden². Dies ist nicht nur ein absoluter Rekord in der seit 1808 geführten Beobachtungsreihe (Abb. 1.1), sondern auch ein deutliches Zeichen eines insgesamt ungewöhnlichen Witterungsablaufs.

Nach den ersten viel zu warmen Januartagen gaben sich auch die folgenden Wochen wenig winterlich. Im Flachland liess die erste weitgehend geschlossene Schneedecke des Winters bis kurz vor Januarende auf sich warten.

Winter erst im Februar

Eine scharfe Wende im Witterungsgeschehen brachte der Februar. Kurze, aber um so intensivere Schneefälle sorgten im Flachland gebietsweise mit 20 bis 30 cm für überdurchschnittliche Schneehöhen, was in der seit 1987 andauernden Phase schneearmer Winter selten ist. Den Schneefällen folgte eine stabile winterliche Hochdruck-

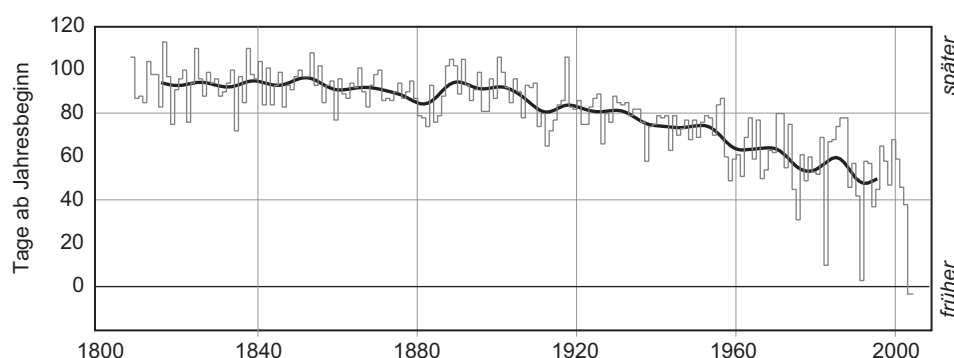


Abb. 1.1:
Termin des Blattausbruchs der Rosskastanien in Genf. Gezählt werden die Tage seit Jahresbeginn. Die Messreihe (grau) beginnt 1808. Die schwarze Kurve zeigt die über 20 Jahre gemittelte Entwicklung (Gauss-Tiefpass-Filter). Der bisher späteste Blattausbruch wurde am 23. April 1816, der früheste am 29. Dezember 2002 beobachtet³.

lage. Die Temperaturen verharrten bis gegen Monatsende auf sehr tiefem Niveau, wodurch sich der Februar zum kältesten seit 1986 entwickelte. Mit dem Hoch kam auch die Sonne: In höheren Lagen des Alpennordhangs und in Graubünden gehörte der Februar zu den vier sonnigsten in den über 100-jährigen Messreihen.

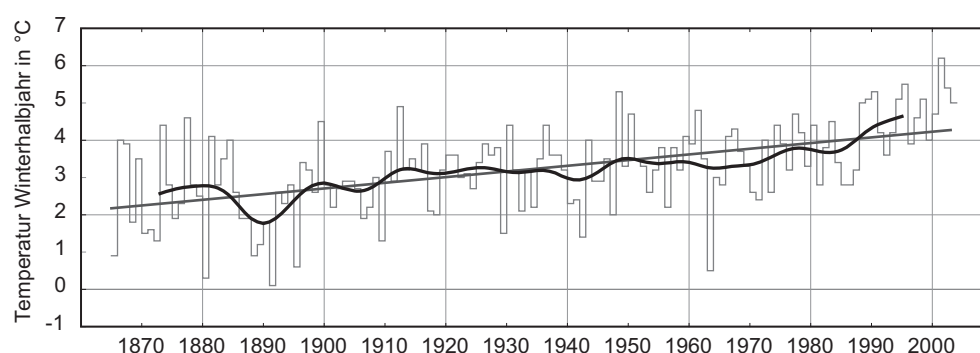
Erneut sehr warmes Winterhalbjahr

Im März meldete sich die ungewöhnliche Wärme zurück. Aus Südwesten herangeführte subtropische Meeresluft liess die Tagesmittel-Temperaturen mehrmals in Bereiche vorstossen, welche für den Mai typisch sind. Die mit der weitgehend freundlichen Witterung einhergehende ausgesprochene Niederschlagsarmut, die bereits im Februar ihren Anfang genommen hatte, war der Beginn einer zunehmenden Trockenheit, die in den Hitzemonaten Juni bis August ihren Höhepunkt erreichte.

Der warme März beendete ein weiteres überdurchschnittlich warmes Winterhalbjahr. Es setzte die ausgeprägte Warmwinterphase fort, die im Winterhalbjahr 1987/88 sprunghaft eingesetzt hat (Abb. 1.2). Dieser Temperatursprung ist von grundlegender klimatologischer Bedeutung, da er einen wesentlichen Teil zur Erwärmung der Winter seit Aufnahme der regelmässigen Messungen beiträgt, da in der Periode von 1910 bis 1970 in der Schweiz im Winterhalbjahr kein signifikanter Temperaturtrend nachweisbar ist.

Das Fehlen sehr kalter Winterhalbjahre gegen Ende des 20. Jahrhunderts macht deutlich, dass sich eine grundlegende Änderung im winterlichen Temperaturregime eingestellt hat. Bis in die 1960er Jahre traten sehr kalte Winterhalbjahre hin und wie-

Abb. 1.2:
Langjährige Temperatur-
entwicklung des Winterhalb-
jahres in den Niederungen
der Alpennordseite (Mittel der
Messstationen Basel, Bern,
Genf und Zürich). Angegeben
sind die Werte von Jahr zu
Jahr, das Mittel über 20 Jahre
(Gauss-Tiefpass-Filter) sowie
der lineare Trend (graue
Trendlinie). Deutlich ist der
Sprung in der Erwärmung im
Winterhalbjahr 1987/88 zu
erkennen. Der lineare Trend
der Erwärmung beträgt für
die dargestellte Messreihe
des Mittellandes +1,5 °C
pro 100 Jahre.



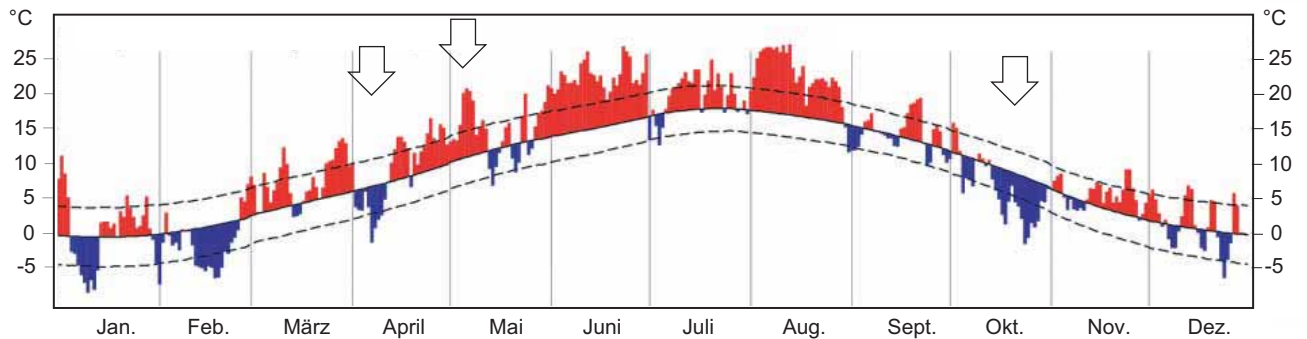


Abb. 1.3:
Verlauf der Tagesmitteltemperatur im Jahr 2003 an der Messstation Zürich im Vergleich zum langjährigen Mittel 1961–1990 (ausgezogene schwarze Linie) und zum langjährigen mittleren Schwankungsbereich (unterbrochene Linien; Standardabweichung). Gut zu erkennen sind die markanten Temperatursprünge anfangs April und in den ersten Maitagen. Die anfangs Mai erreichten Tagesmitteltemperaturen entsprechen warmen Julitagen. Der dritte extreme Temperatursprung erfolgte mit dem massiven Wintereinbruch im Oktober mit Schneefall bis in tiefe Lagen.

der auf. Seither ist dieses Muster vollständig verschwunden. Zwischen 1864 – dem Jahr der Einführung des offiziellen schweizerischen Messnetzes – und 2003 liegt der Temperaturtrend im Winterhalbjahr auf der Alpennordseite bei $+1,5\text{ °C}$ pro 100 Jahre, auf der Alpensüdseite bei rund $+1,0\text{ °C}$ pro 100 Jahre.

Markante Witterungssprünge

Durch einen massiven Luftmassenwechsel stellte die Witterung anfangs April wieder schlagartig von Frühsommer auf tiefen Winter um (Abb. 1.3). In der eingeflossenen arktischen Kaltluft sanken im Mittelland die Temperaturen vielerorts auf die für den April seltenen Minimalwerte von -3 bis -5 °C , vereinzelt sogar bis auf -8 °C . Gebietsweise vermochte sich nochmals eine Schneedecke zu bilden, örtlich mit einer Mächtigkeit von 10 bis 15 cm. Gegen Ende des Monats nahm der Reigen der Witterungssprünge seinen Fortgang, als beiderseits der Alpen lokal die ersten Sommertage (Maximum der Temperatur 25 °C oder höher) registriert wurden.

Bereits in den ersten Maitagen folgte dann der Sprung zu hochsommerlichen Bedingungen. Mit Föhnunterstützung stiegen die Maximum-Temperaturen nahe an oder leicht über die Hitzegrenze von 30 °C . Die Tagesmittel-Temperaturen erreichten Werte, wie sie normalerweise für warme Julitage typisch sind. Innerhalb von nur einem Monat erfolgte der Übergang vom Winter zum Sommer. Mit einer gleich kurzen Übergangsphase ging im Herbst der Sommer gleichsam direkt in den Winter über (Abb. 1.3). Derart schnelle und extreme Jahreszeitenwechsel sind typisch für kontinentale Klimaverhältnisse.

1.2 Der Hitzesommer 2003

Extreme Hitze im Juni

Der in Mitteleuropa häufige maritime Einfluss des nahen Atlantiks kam auch während des gesamten Sommers 2003 kaum zum Tragen. Ab Ende Mai bis Ende August lenkte das fast permanent über Europa wirkende Azorenhoch die Regen und Abkühlung verheissenden atlantischen Störungszonen weit nach Norden um (Abb. 1.4). Das Besondere an der Hitzewelle im Juni war ihre Dauer, und weniger die erreichten Maximumtemperaturen. Bereits der Juni des Vorjahres hatte vom 14. bis zum 23. eine Rekord-Hitzeperiode gebracht². Die Juni-Hitze 2003 erstreckte sich dagegen über den ganzen Monat. Die Monatsmittel-Temperaturen lagen schliesslich verbreitet 2 bis 3 °C über den bisher höchsten Juniwerten (Abb. 1.5). In vielen Regionen wurde der Juni 2003 damit als wärmster Monat überhaupt seit 1864 verzeichnet.

Der bisher wärmste Monat war vielerorts der Juli 1983. Dabei ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass im Juli der Erwartungswert deutlich höher liegt. In Genf beispielsweise beträgt die Juni-Norm 16,7 °C, die Juli-Norm 19,3 °C. Das mag verdeutlichen, wie extrem sich die Temperaturen im Juni 2003 entwickelt haben. Der heisse Juli 1983 zeigte in Genf eine mittlere Temperatur von 23,0 °C. Im Juni 2003 lag das Monatsmittel mit 24,1 °C deutlich höher. In Sitten fiel der Juni 2003

(23,1 °C) ebenfalls rund ein Grad wärmer aus als der Juli 1983 (22,2 °C). An anderen Messstationen hingegen sind die Differenzen zum Juli 1983 geringer. So war in Bern der Juni 2003 (21,7 °C) etwa vergleichbar mit dem Juli 1983 (21,5 °C).

Auf der Alpensüdseite stammt das bisher wärmste Monatsmittel aus dem Juli 1928 (25,0 °C in Lugano). Der Juni 2003 zeigte mit 24,8 °C in Lugano

Abb. 1.4:

Die Wetterlage vom 12. Juni 2003 als typisches Beispiel für den Sommer 2003. Das bis weit nach Mitteleuropa reichende Azorenhoch lenkte die Niederschlagszonen weit nach Norden um. Der schwarze Pfeil zeigt die allgemeine Strömung in der höheren Atmosphäre.

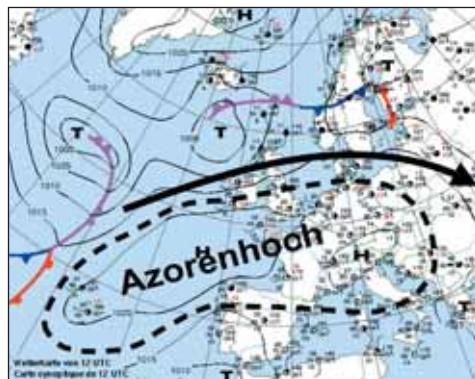
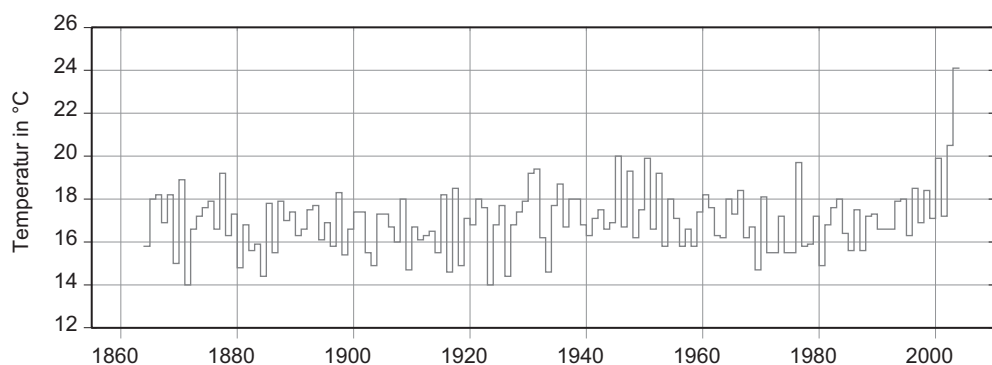


Abb. 1.5:

Verlauf der Juni-Monatsmittel-Temperatur 1864 bis 2003 für die Station Genf. Das langjährige Junimittel beträgt 16,7 °C (Norm der Jahre 1961–1990). Man beachte, dass die Juni-Temperatur in der Periode von 1864 bis 2001 offensichtlich keine Tendenz zu einer langfristigen Temperaturänderung zeigt.



einen vergleichbaren Wert. Diese Bewertung beruht auf Messreihen mit vollständig bereinigten (sogenannt homogenen) Monatswerten ab 1864. Bereinigt deshalb, weil sich in der langen Zeit seit Messbeginn aus verschiedenen Gründen in den Daten immer wieder künstliche Änderungen eingeschlichen haben, zum Beispiel durch Stationsverlegungen oder Änderungen von Messinstrumenten⁴.



Abb. 1.6:
Die Wetterlage vom 8. August 2003 als typisches Beispiel für die extreme Hitzeperiode während der ersten Augushälfte. Das die atlantischen Störungen blockierende Nordeuropa-Hoch bewirkte durch absinkende Luftbewegung über Mitteleuropa eine anhaltende Abtrocknung der Luftmassen.

Rekordhitze im August

Nach einem vergleichsweise moderaten Juli – allerdings war auch er übertemperiert, brachte aber im letzten Monatsdrittel wechselhaftes Wetter mit häufigen Schauern und zum Teil verheerenden Gewittern – folgte vom 1. bis zum 13. August 2003 die extremste Hitzeperiode in der Schweiz seit Beginn der systematischen Messungen⁵. Grund für die aussergewöhnliche Hitze war ein blockierendes Hoch über Nordeuropa (Abb. 1.6). Die atlantischen Störungen wurden – noch ausgeprägter als im Juni – weit nach Norden abgelenkt. Die mit dem Hoch verbundene absinkende Luftbewegung bewirkte zudem eine anhaltende Abtrocknung der Luftmassen über Mitteleuropa. Eine generelle Ostströmung liess in der Schweiz immer wieder Bise aufkommen; dies als markanter Gegensatz zur Erfahrung, dass vergleichbare Hitzeperioden im Allgemeinen mit südwestlichen Winden verbunden sind.

Da auch während der zweiten Augushälfte bis fast zum Monatsende sehr hohe Temperaturen an der Tagesordnung waren, ging der Rekord des wärmsten Monats vielerorts vom Juni 2003 an den August 2003 über. Vergleichbar mit der Monatsmitteltemperatur des Juni 2003 kam auch jene des August 2003 weit über die bisherigen Höchstwerte zu liegen (Abb. 1.7).

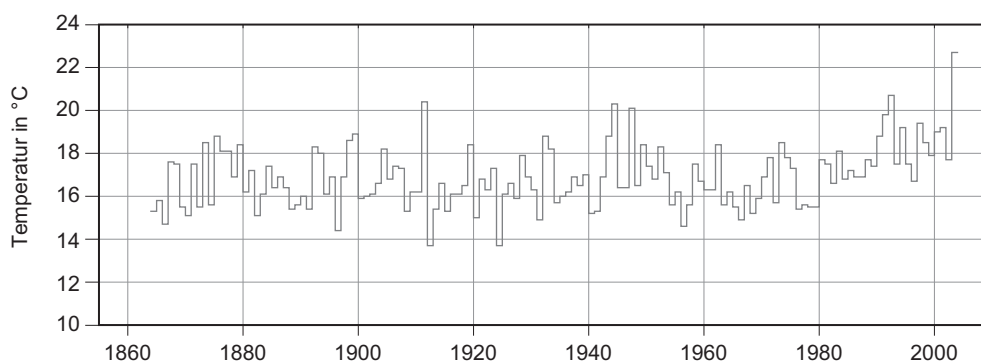
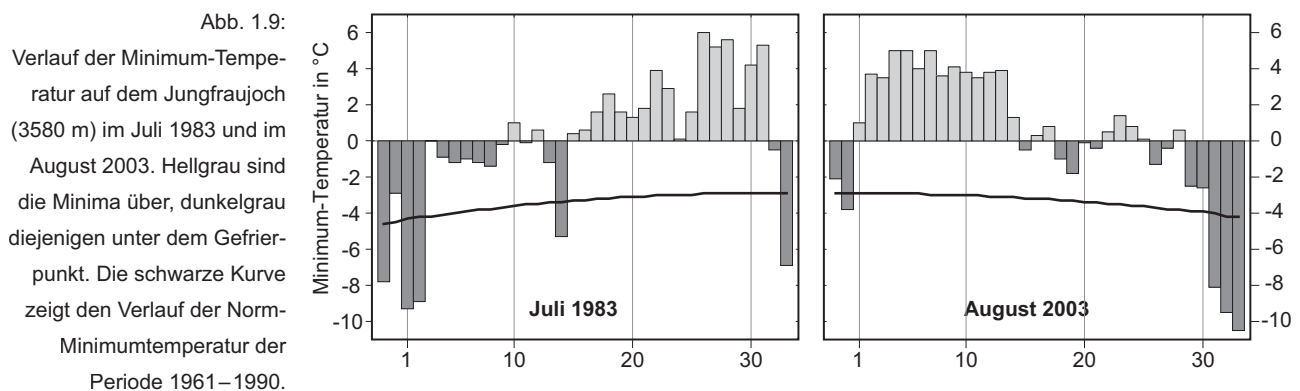
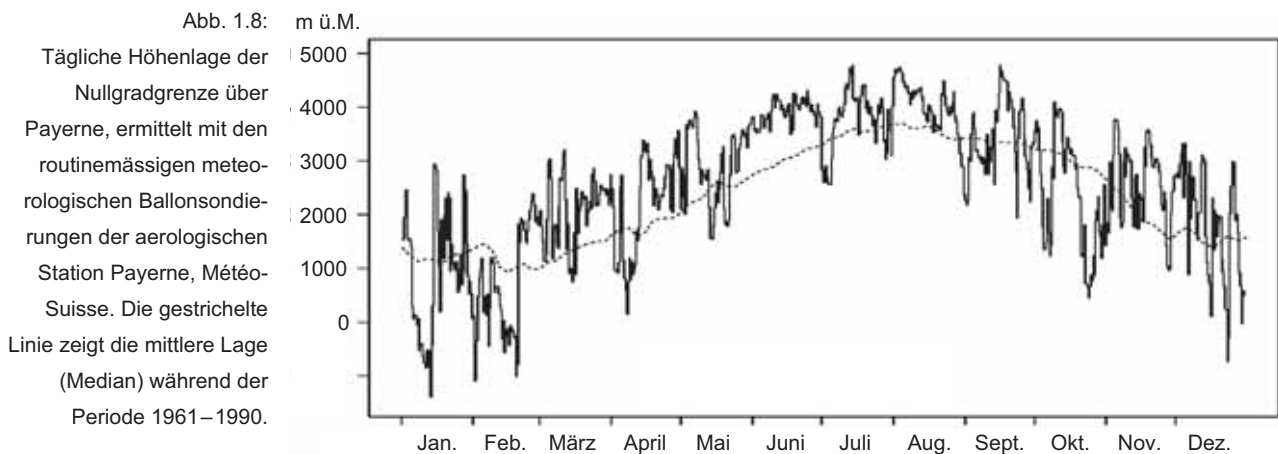


Abb. 1.7:
Verlauf der August-Monatsmitteltemperatur 1864 bis 2003 für die Station Zürich. Der August 2003 erreichte 22,7 °C. Das langjährige Augustmittel liegt bei 16,7 °C (Norm der Jahre 1961–1990).

Grosser Wärmeüberschuss in der Höhe

Die enorme sommerliche Wärme liess die Nullgradgrenze über Tage hinweg bis in die Höhe der höchsten Alpengipfel vorstossen. Am 3. August lag sie auf rund 4700 m, und bis Mitte August war sie täglich auf über 4000 m zu finden (Abb. 1.8). An der Messstation Jungfraujoch in 3580 m blieben die Temperaturen vom 1. bis zum 14. August 2003 auch nachts durchwegs über dem Gefrierpunkt (Abb. 1.9 rechts). Während 12 aufeinander folgenden Tagen, vom 2. bis zum 13. August, bewegten sich die Minimum-Temperaturen zwischen 3,5 °C und 5,0 °C. Dieses über fast zwei Wochen hinweg konstant hohe Niveau der Minimum-Temperaturen ist in grosser Höhe wohl das herausragendste Merkmal der extremen Wärme in der ersten Augushälfte 2003. Die Maximum-Temperaturen lagen in dieser Periode zwischen 6 °C und 12 °C. Insgesamt blieben die Temperaturen auf dem Jungfraujoch im August 2003 an 21 Tagen ganztags über dem Gefrierpunkt. Im heissen Juli des Jahres 1983 waren es 19 Tage gewesen, wobei 17 in Folge. Minimum-Temperaturen über 3,5 °C wurden damals an 6 Tagen registriert, allerdings nicht in einer zusammenhängenden Periode (Abb. 1.9 links). Die höchsten Temperaturen lagen bei knapp 10 °C. Sie blieben damit deutlich unter jenen vom August 2003.

Während des Hitzesommers von 1947 wurden an der Messstation Jungfraujoch noch keine Minimum- und Maximum-Temperaturen erhoben. Auf Grund der damals



deutlich tiefer liegenden Tagesmittel-Temperaturen (Juli und August) ist aber nicht davon auszugehen, dass die Minimum-Temperaturen über längere Zeit ein ähnlich hohes Niveau erreichten wie in der ersten Augushälfte 2003.

Als Folge der grossen Wärme in der Höhe kam es im Sommer 2003 zu einer markanten Erhöhung der Ausaperungsgrenze und zu einem aussergewöhnlich starken Abschmelzen der Gletscher (vgl. Kap. 2.2), mit entsprechend erhöhter Wasserführung in den alpinen Flüssen (vgl. Kap. 3.4.1).

Neuer Temperaturrekord

Die extreme Hitzewelle in der ersten Augushälfte brachte einen neuen absoluten Temperaturrekord für die Schweiz: An der Messstation Grono (382 m) im bündnerischen Misox auf der Alpensüdseite erreichte die Temperatur ein Maximum von 41,5 °C. Die extrem hohen Temperaturen am 11. August im Misox werden durch die Messstation des Kantonalen Amts für Natur und Umwelt Graubünden in Roveredo bestätigt⁶.

Am 11. August 2003 herrschten im Misox ideale Bedingungen, um sehr hohe Temperaturen zu erzeugen. Als Folge der seit Februar anhaltenden Niederschlagsarmut war der Boden, wie in vielen Regionen der Schweiz, extrem trocken. Dadurch ging praktisch keine Wärmeenergie für die Wasserverdunstung verloren. Zudem, und dies scheint wesentlich zu sein, wehte im Misox ein leichter Nordföhn, was bekanntlich generell eine Temperaturerhöhung nach sich zieht.

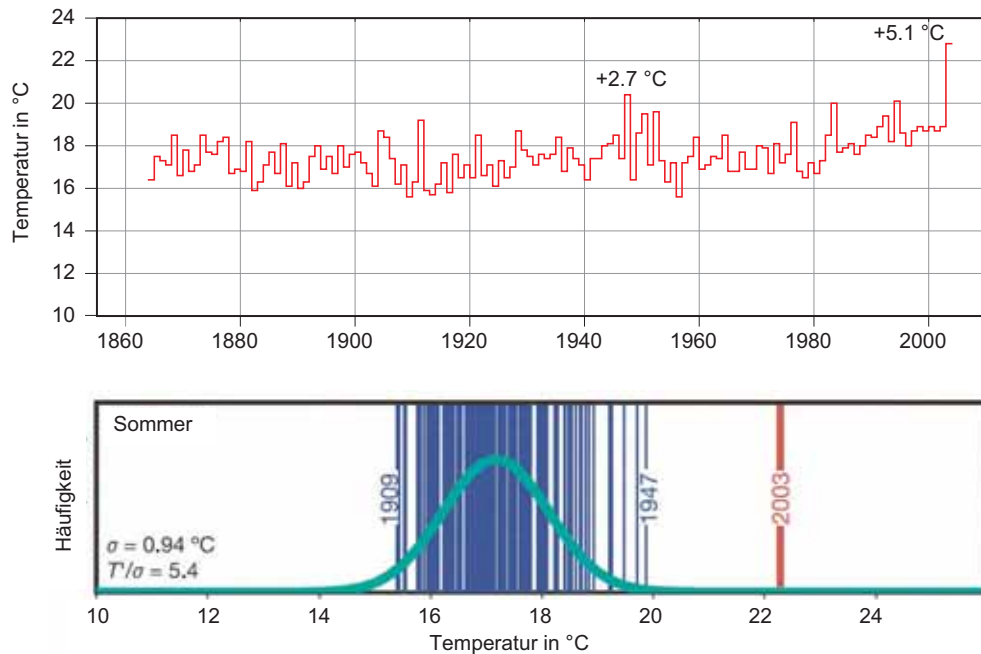
Die zuvor höchste je im offiziellen Messnetz aufgezeichnete Temperatur war am 2. Juli 1952 in Basel mit 39,0 °C registriert worden. Auf die komplexe Thematik der Vergleichbarkeit von Maximum-Temperaturen wird an dieser Stelle nicht eingegangen. Eine detaillierte Analyse ist in Vorbereitung⁷.

Sommerhitze von extremer Seltenheit

Die Temperaturen des meteorologischen Sommers (Mittel der Monate Juni bis August) lagen 4,0 °C bis 5,5 °C höher als die normalen Sommertemperaturen, und damit weit über den bisherigen Erfahrungswerten. Die heissesten Sommer in den Messreihen wurden um 2 bis 3 °C übertroffen (Abb. 1.10). Mit der Sommerhitze 2003 ist damit ein Ereignis mit einem extrem geringen Erwartungswert eingetreten. Basierend auf den warmen Sommern 1990 bis 2002, und unter Berücksichtigung aller Unsicherheiten bei der statistischen Analyse, wurde für die Temperaturabweichung des Sommers 2003 eine Wiederkehrperiode von 9000 Jahren ermittelt⁸.

Vor rund einem halben Jahrhundert ergab eine ähnliche Analyse für den Sommer 1947, auf der Berechnungsgrundlage der Periode 1864 bis 1946, eine Wiederkehrperiode von 6100 Jahren⁹. Der Vergleich mehrerer Jahre mit ausgeprägten sommerlichen Hitzewellen macht deutlich, dass die beiden Jahre 2003 und 1947 ein auffallend ähnliches Muster mit stark positiven Temperaturabweichungen zeigen, die in dieser Häufung sonst nicht zu beobachten sind (Abb. 1.11). So wird plausibel, dass

Abb. 1.10 oben:
Verlauf der Sommertemperatur (Mittel der Monate Juni bis August) in Basel 1864–2003. Die Norm der Sommertemperatur beträgt in Basel 17,7 °C. Der Sommer 2003 übertraf die Norm um 5,1 °C. Der vor 2003 extremste Sommer war jener des Jahres 1947 mit einer Abweichung von +2,7 °C.



Unten:
Verteilung der Sommertemperatur 1864–2003 in den Niederungen der Alpennordseite (Mittel der Messstationen Basel, Bern, Genf und Zürich). In grün ist die dazugehörige Gauss-Verteilung angegeben. Die Standard-Abweichung beträgt 0,94 °C. Der Sommer 2003 zeigt eine Anomalie von 5,4 Standard-Abweichungen (aus Schär et al., 2004, siehe Endnote 8).

Abklärungen zur Wiederkehrperiode der sommerlichen Extremtemperaturen von 2003 und 1947 zu enorm hohen Werten führen. Das Wesentliche solcher statistischer Analysen sind jedoch nicht die Zahlenwerte selber; vielmehr dokumentieren sie die extrem geringe Eintrittswahrscheinlichkeit der betrachteten Ereignisse.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die Hitzewellen 2003 zufällig genau mit Kalendermonaten (Juni und August) zusammenfielen, wodurch das Extreme in den Monatsmittel-Temperaturen zusätzlich gefördert wurde. In anderen Jahren stellte sich die extremste Hitze am Übergang von zwei Monaten ein, so zum Beispiel 1952 oder auch 1947 (Abb. 1.11). Durch die Aufteilung der Hitzewelle auf zwei Monate ergibt sich bei der Betrachtung von Monatsmittel-Temperaturen selbstverständlich eine gewisse Abschwächung des Ereignisses.

Der extrem geringe Erwartungswert für Sommertemperaturen wie 2003 oder 1947 schliesst nicht aus, dass in der Schweiz möglicherweise ähnliche Verhältnisse in weiter zurückliegenden Jahrhunderten ausserhalb der Messperiode aufgetreten sind⁸. Auskunft zu aussergewöhnlichen Hitze- und Dürresommern in weiter zurückliegenden Jahrhunderten geben Zusammenstellungen und klimahistorische Auswertungen schriftlicher Überlieferungen^{10,11}. Beispiele sind die Sommer 1473, 1540 oder auch 1746. Typisch für diese drei Jahre sind Berichte, wonach als Folge der extremen Trockenheit und Hitze auf der Alpennordseite Wälder sich selbst entzündeten und verbrannten. Ebenso wird davon berichtet, dass die meisten zur Trinkwasserversorgung dringend benötigten Brunnen versiegtten, und Bäche weit herum austrockneten. Im Sommer 1473 soll vielerorts über 12 Wochen hinweg kein Niederschlag gefallen sein. Aus Wassermangel musste offenbar sogar das Vieh von den Alpen geholt werden¹⁰.

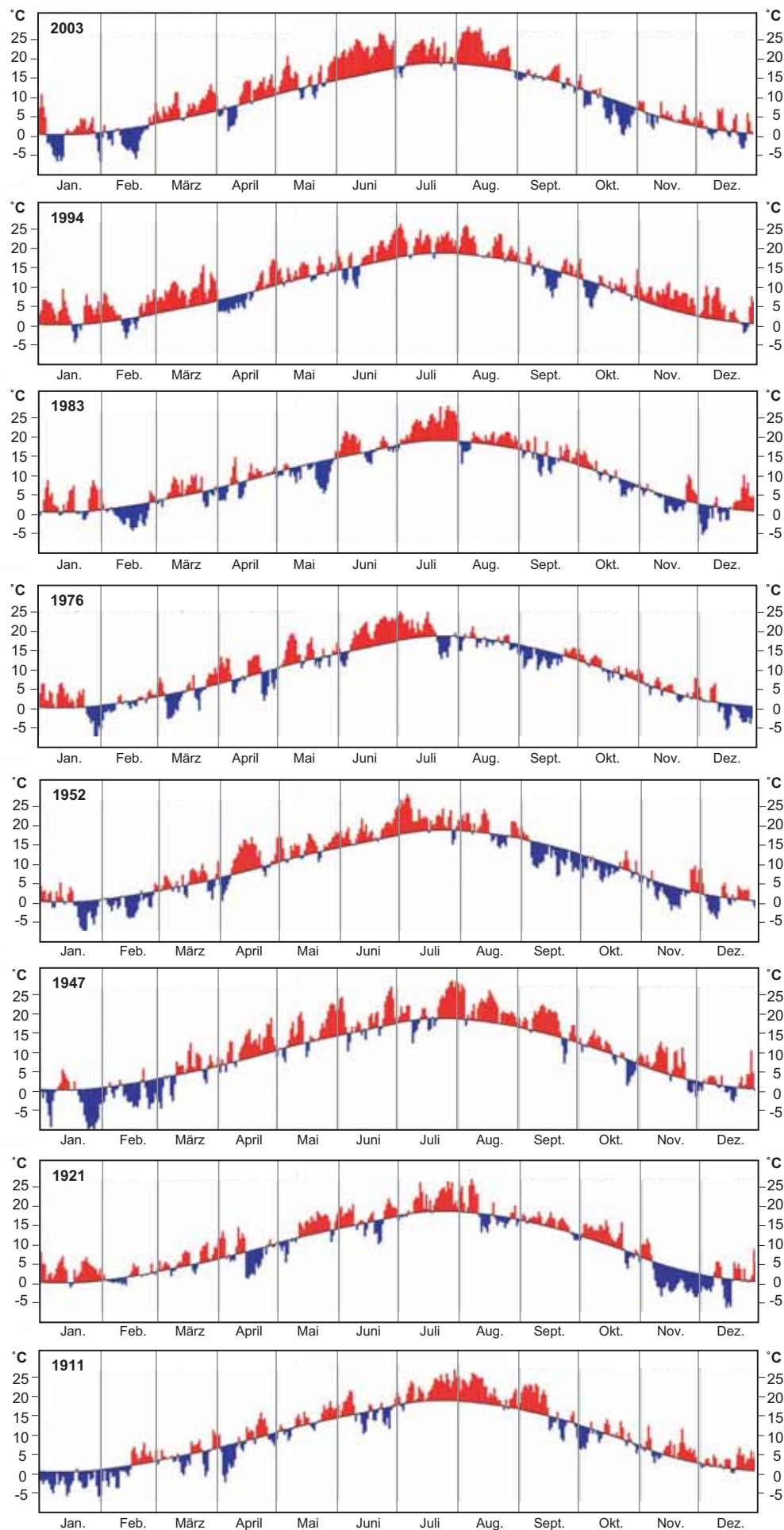


Abb. 1.11:
Verlauf der Tagensmittel-
Temperatur der Messstation
Neuchâtel für ausgewählte
Jahre mit ausgeprägten som-
merlichen Hitzewellen, im
Vergleich zum langjährigen
Mittel 1961–1990 (schwarze
Linie). Da Tageswerte nicht
homogenisiert vorliegen, ist
bei einem derartigen Ver-
gleich darauf zu achten, dass
die verwendete Messstation
im Laufe der Zeit keine gra-
vierenden Standortänderun-
gen erfuhr.

Von spezieller Ausprägung war das Jahr 1540. Die ungewöhnliche Wärme setzte bereits im Februar ein und soll bis in den Dezember hinein angedauert haben. Während des Sommers 1540 führte der Rhein offenbar so wenig Wasser, dass man an einigen Stellen zu Fuss hindurchwaten konnte. Gemäss klimahistorischer Analysen brachte das Jahr 1540 in der Schweiz die längste Dürreperiode der letzten 700 Jahre¹¹.

Gesamteuropäisch betrachtet war der Sommer 2003 offenbar bei weitem der heisseste in den vergangenen 500 Jahren. Dies ist das Resultat einer Analyse verschiedener Datenquellen und deren Zusammenführung zu einem europäischen Temperatur-Datensatz ab dem Jahr 1500¹². In der Analyse wird zudem darauf hingewiesen, dass bezüglich der Sommertemperaturen die 10-Jahresperiode 1994–2003 mit grosser Wahrscheinlichkeit die heisseste seit 1500 war.

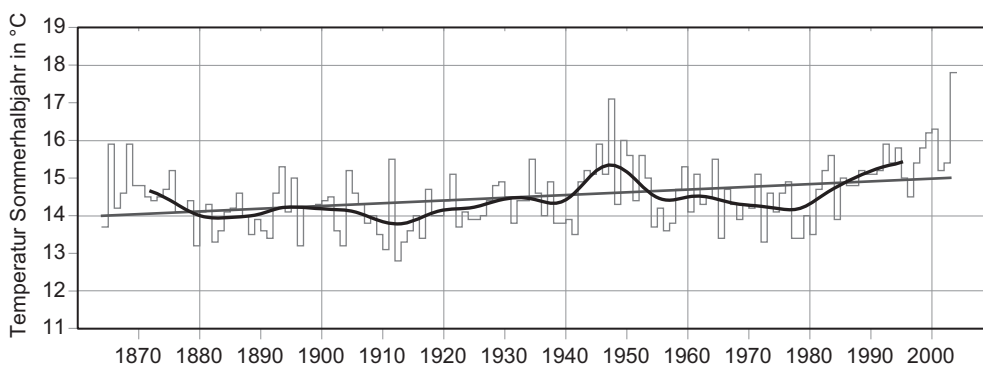
Wärmstes Sommerhalbjahr seit Messbeginn

In der Temperaturentwicklung des Sommerhalbjahres ab 1864 fiel bisher vor allem die markante Warmphase zur Mitte des 20. Jahrhunderts auf. Dominant trat dabei die extreme Wärme des Sommerhalbjahres von 1947 hervor (Abb. 1.12). Nach der anschliessenden markanten Abkühlungsphase zeigte das Sommerhalbjahr nach 1980 abermals einen schnellen Wechsel zu deutlich höheren Temperaturen. Mit der extremen Wärme des Sommerhalbjahres 2003 wurde der alte Rekord aus dem Jahr 1947 in der ganzen Schweiz deutlich überboten. Das Sommerhalbjahr 2003 war verbreitet 3,0 bis 3,5 °C wärmer als normal und zum Teil bis 1,4 °C wärmer als jenes von 1947¹³.

Der Erwärmungstrend der Sommerhalbjahre zwischen 1864 und 2003 liegt auf der Alpennordseite bei +0,7 °C pro 100 Jahre, auf der Alpensüdseite bei +0,4 °C pro 100 Jahre. Diese Trends sind etwa halb so gross wie jene der Winterhalbjahre.

Abb. 1.12:

Langjährige Temperaturentwicklung des Sommerhalbjahres in den Niederungen der Alpennordseite (Mittel der Messstationen Basel, Bern, Genf und Zürich). Angegeben sind die Werte von Jahr zu Jahr, das Mittel über 20 Jahre (Gauss-Tiefpass-Filter) sowie der lineare Trend (graue Trendlinie). Der lineare Trend der Erwärmung beträgt für die dargestellte Messreihe des Mittellandes +0,7 °C pro 100 Jahre.



1.3 Die Trockenheit im Sommer 2003

Ausgeprägte Niederschlagsarmut im ersten Halbjahr

Die Trockenheit im Jahr 2003 war nicht nur ein Phänomen des Sommers. Bereits im Februar machte sich eine ungewöhnliche Niederschlagsarmut bemerkbar, die auch in den folgenden Monaten praktisch unvermindert anhielt. Einzig im Oktober erhielten weite Gebiete der Schweiz deutlich überdurchschnittliche Niederschlagsmengen (Abb. 1.15c gibt einen Überblick auf den raumzeitlichen Ablauf des Niederschlagsgeschehens im Jahr 2003¹⁴).

Von der Trockenheit besonders stark betroffen war das erste Halbjahr 2003 (Monate Januar bis Juni). In den Niederungen der Alpennordseite (Mittel der homogenen Niederschlagsmessreihen Genf, Basel, Bern und Zürich), zeigten ab Beginn des 20. Jahrhunderts nur die ersten Halbjahre 1921, 1929 und 1944 ebenso tiefe oder etwas geringere Niederschlagssummen, während das erste Halbjahr 1976 massiv trockener war (Abb. 1.13). Auffallend ist, dass in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts (1864–1900) ausgeprägte Trockenheit im ersten Halbjahr recht häufig in Erscheinung trat.

Weniger extrem als 1947

Bezüglich des Sommerhalbjahres kann die bisher mit Abstand extremste Trockenheit nördlich der Alpen aus dem Jahr 1947 datiert werden (Abb. 1.14), was insbesondere der Landwirtschaft grosse Probleme bereitete¹⁵. Allerdings zeigte sich damals

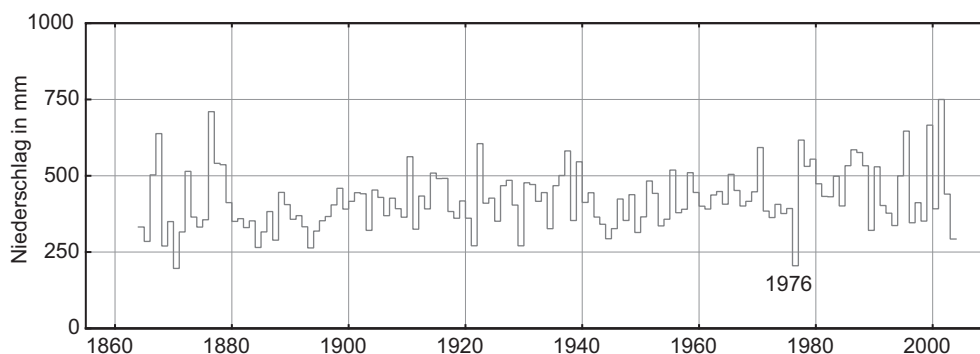


Abb. 1.13:
Niederschlagssummen des ersten Halbjahres (Januar bis Juni) 1864–2003 in den Niederungen der Alpennordseite, gemittelt über die Messstationen Basel, Bern, Genf und Zürich.

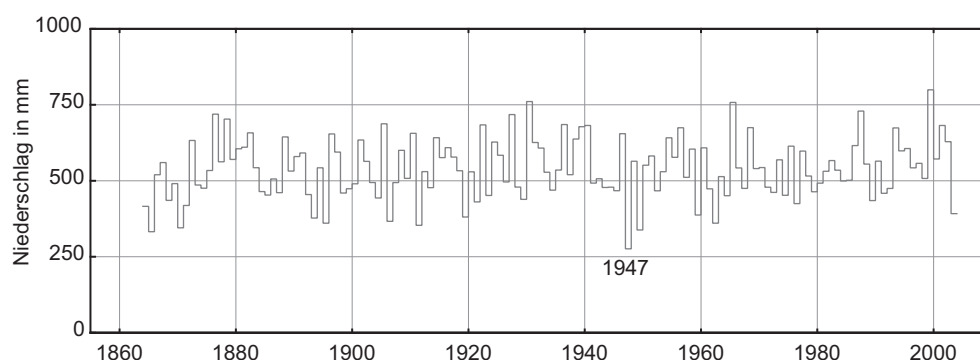
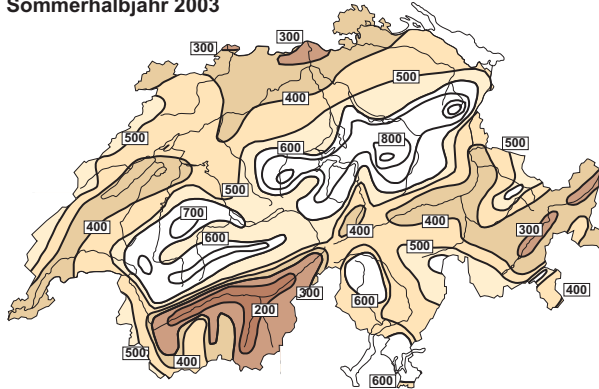


Abb. 1.14:
Niederschlagssummen des Sommerhalbjahres (April bis September) 1864–2003 in den Niederungen der Alpennordseite, gemittelt über die Messstationen Basel, Bern, Genf und Zürich.

Sommerhalbjahr 2003



Sommerhalbjahr 1947

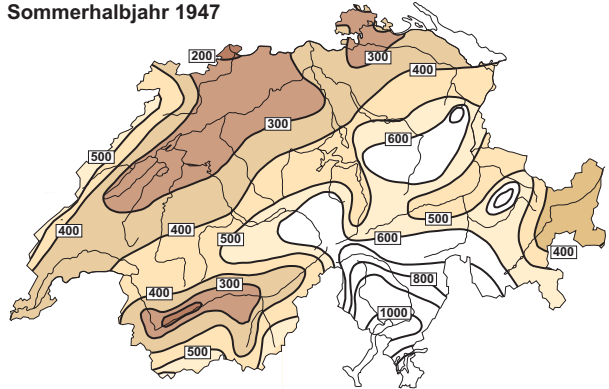


Abb. 1.15a: Niederschlagssummen in mm im Sommerhalbjahr 2003 (links) im Vergleich zum extrem trockenen Sommerhalbjahr 1947 (rechts). Gebiete mit weniger als 300 mm sind dunkelbraun eingefärbt, solche mit mehr als 600 mm sind weiss dargestellt.

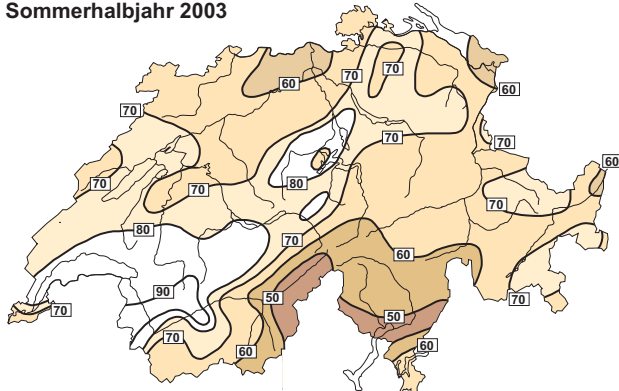
die vorauslaufende Niederschlagsarmut etwas weniger akzentuiert als im Jahr 2003, war doch der März 1947 ausgesprochen nass¹⁶. Zwischen April und September 1947 fielen im westlichen und nördlichen Flachland weniger als 300 mm Regen (Abb. 1.15a und 1.15b). Normal sind im zentralen Mittelland im Sommerhalbjahr Summen um 600 mm, an der Nordgrenze der Schweiz (Basel, Schaffhausen) solche von 450 bis 550 mm. Auch entlang des Alpennordhangs war es damals verbreitet viel trockener als im Sommerhalbjahr 2003. Normal sind hier Niederschlagssummen zwischen 700 mm und 1050 mm.

Deutlich weniger Niederschlag als 1947 fiel im Sommerhalbjahr 2003 hingegen im oberen Wallis, im Gotthardgebiet, im Tessin sowie im Bündnerland. Insgesamt ist festzustellen, dass die ausgeprägte Niederschlagsarmut im Sommerhalbjahr 2003 zwar einen weit grösseren Teil der Schweiz betraf als 1947, das Kerngebiet mit extremem Niederschlagsmangel im Sommerhalbjahr 1947 jedoch ausgedehnter war. Zudem dauerte die Trockenheit 1947 länger: In den meisten Regionen des Mittellandes blieben damals die Niederschlagssummen von April bis zum Höhepunkt der Trockenheit im Oktober während sieben Monaten ununterbrochen unter 60 Prozent der Norm. Umgekehrt wurde 1947 der Alpenraum vom anhaltenden Niederschlagsmangel weitgehend verschont.

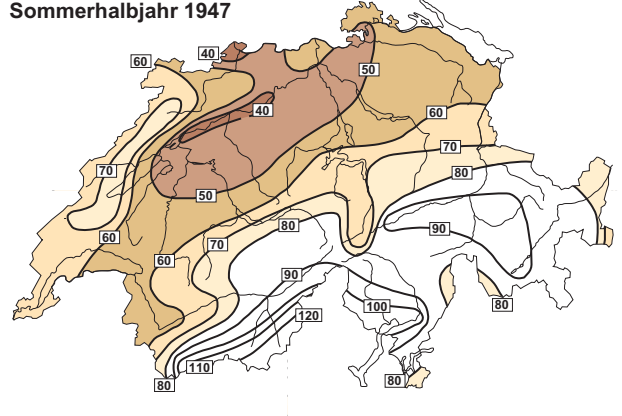
Schwere Schäden in der europäischen Landwirtschaft

Das Problem der Trockenheit darf selbstverständlich nicht auf die Niederschlagssummen reduziert werden. Gerade im Sommer können durch wenige kräftige Gewitterregen insgesamt durchaus normale Monatssummen zusammenkommen. Für die während einer ausgeprägten Trockenperiode speziell leidende Landwirtschaft sind solche einmaligen, in kurzer Zeit fallenden Regengüsse jedoch wenig hilfreich, da der ausgetrocknete Boden das Regenwasser kaum aufzunehmen vermag. Es fliesst zum grossen Teil oberflächlich ab und ist damit für die Landwirtschaft verloren. Die Wasserknappheit für die Bauern verschärft sich, wenn als Folge des extremen Niederschlagsmangels die Pegelstände der Bäche und Flüsse auf sehr niedrige Werte fallen und die Entnahme von Bewässerungswasser nicht in ausreichendem Masse möglich ist (vgl. Kap. 7.2). Ein besseres Mass für Trockenheit als die Niederschlags-

Sommerhalbjahr 2003



Sommerhalbjahr 1947



summe ist deshalb, zumindest im Mittelland, der Wasserstand respektive der Abfluss in kleineren und mittleren Bächen und Flüssen¹⁷.

Die sommerliche Trockenheit verursachte in ganz Europa schwere Schäden in der Landwirtschaft. Von Versicherungsseite werden sie auf insgesamt 10,7 Mrd. Euro (16,7 Mrd. Franken) geschätzt¹⁸. Betroffen waren vor allem Frankreich, Italien, Deutschland, Spanien, die Schweiz, Österreich, Slowenien, Belgien und die Slowakei. In der Schweiz belaufen sich die Schäden durch Trockenheit gemäss einer ersten Schätzung des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) vom September 2003 auf rund 350 Mio. Franken¹⁹.

Abb. 1.15b:
Niederschlag in Prozent der normalen Niederschlagsmenge (Normwert 1961–1990) im Sommerhalbjahr 2003 (links) im Vergleich zum extrem trockenen Sommerhalbjahr 1947 (rechts). Gebiete mit nur 50 Prozent oder weniger sind dunkelbraun eingefärbt, solche mit 80 Prozent oder mehr sind weiss dargestellt.

1.4 Herbst und Frühwinter 2003

Massiver Witterungsumschlag im Oktober

Nachdem im Laufe der zweiten Septemberhälfte in der Nordschweiz vereinzelt nochmals die Hitzegrenze von 30 °C erreicht wurde, folgte im Oktober ein abrupter Übergang zu ausgeprägt winterlichen Bedingungen (vgl. Abb. 1.3 und 1.15c). Nur knapp einen Monat nach dem letzten Hitzetag wurde im Mittelland der erste Eistag (Temperaturen ganztags unter dem Gefrierpunkt) registriert. Erneut hat damit ein Witterungswechsel von typisch kontinentalem Klimacharakter stattgefunden.

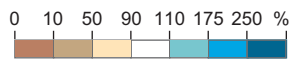
Die schnell fortschreitende Abkühlung durch wiederholte Polarlufteinbrüche führte in der zweiten Monatshälfte auf der Alpennordseite verbreitet zu Schneefällen bis ins Flachland, wobei sich hier zum Teil sogar erstmals seit rund drei Jahrzehnten eine Oktoberschneedecke zu bilden vermochte²⁰.

Interessant ist, dass sich bereits vor Jahresfrist ein ungewöhnlich früher Winter einbruch ereignet hatte. In der zweiten Septemberhälfte 2002 wurden im östlichen Mittelland Tageshöchstwerte zwischen 2 und 4 °C gemessen, sowie Schneefall bis gegen 600 m hinunter beobachtet. Eine derart tiefe Schneefallgrenze im September ist letztmals im Jahr 1931 aufgetreten².

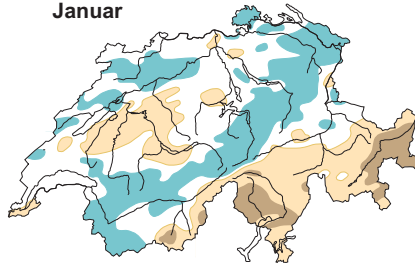
Abb. 1.15c:

Mittlerer monatlicher Niederschlag in Prozent der normalen Niederschlagsmenge (Normwert 1961–1990) für die einzelnen Monate des Jahres 2003.

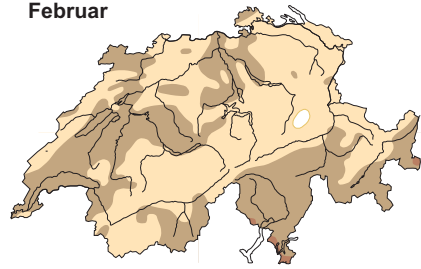
Unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen sind braun/ocker eingefärbt, überdurchschnittliche grün/blau.



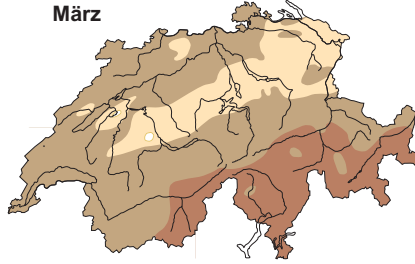
Januar



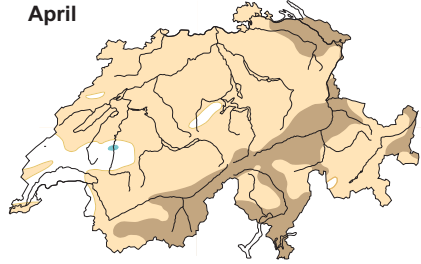
Februar



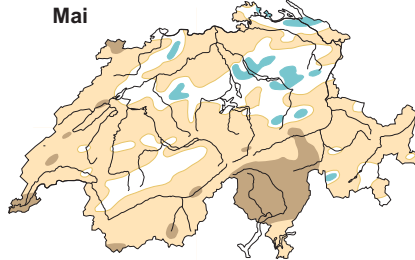
März



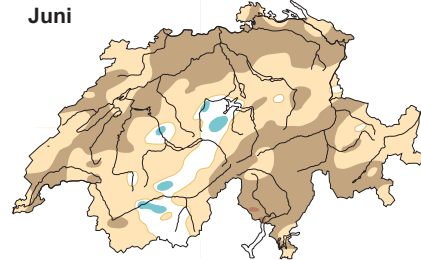
April



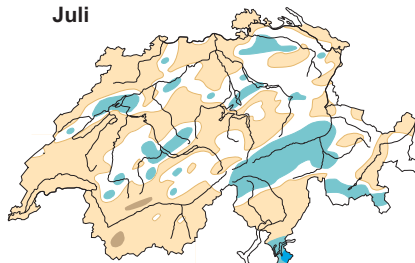
Mai



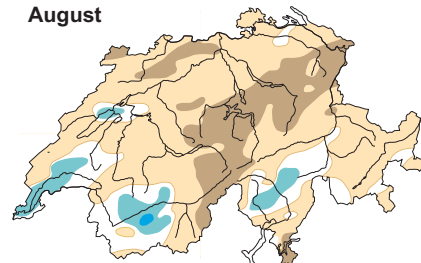
Juni



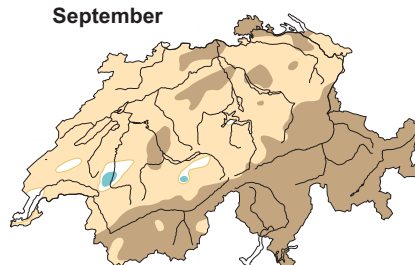
Juli



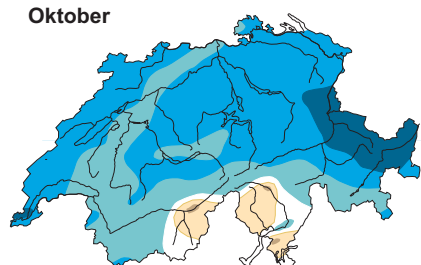
August



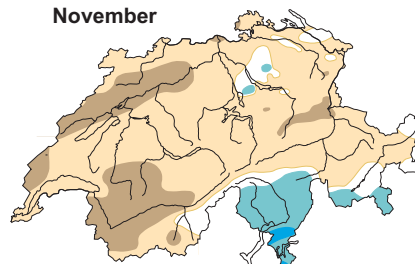
September



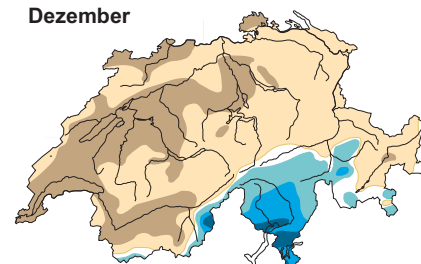
Oktober



November



Dezember



Der ungewöhnlich kalte Oktober 2003 zeigte zwei Eigenheiten (Abb. 1.16): Einerseits folgte er nur zwei Jahre nach dem extrem warmen Oktober 2001, dem an den meisten Messstandorten bisher wärmsten Oktober seit Beginn der regelmässigen Messungen²¹. Augenfalliger kann das enorme Potenzial der klimatischen Variabilität in der Schweiz kaum zum Ausdruck kommen. Andererseits ist die Kälte des Oktobers 2003 absolut untypisch für das Oktoberklima der letzten rund 30 Jahre. In der Periode ab 1976 gehören sehr kalte Monatsmittel nicht zum Temperaturregime des Oktobers. Davor waren kalte Oktobertemperaturen hingegen eine recht häufige Erscheinung.

Ausser im Tessin und im Oberwallis brachte der Oktober in allen Gebieten der Schweiz erstmals seit November 2002 grosse Niederschlagsmengen. Das Tessin und die Bündner Südtäler erhielten dann im November und Dezember überdurchschnittliche Mengen (vgl. Abb. 1.15c).

Mildes Jahresende

Die Kälte des Oktobers wich deutlich zu milden Novembertemperaturen. Der Dezember war im Mittel ebenfalls etwas zu mild, doch wurde das Temperaturregime von markanten Schwankungen bestimmt. Vor allem aber zeigte sich der Dezember im sonst zu dieser Jahreszeit meist nebelgeplagten Flachland der Alpennordseite ungewöhnlich sonnig.

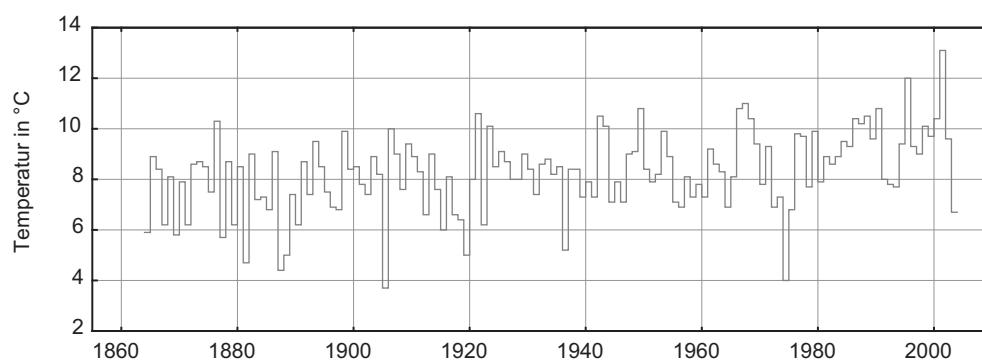
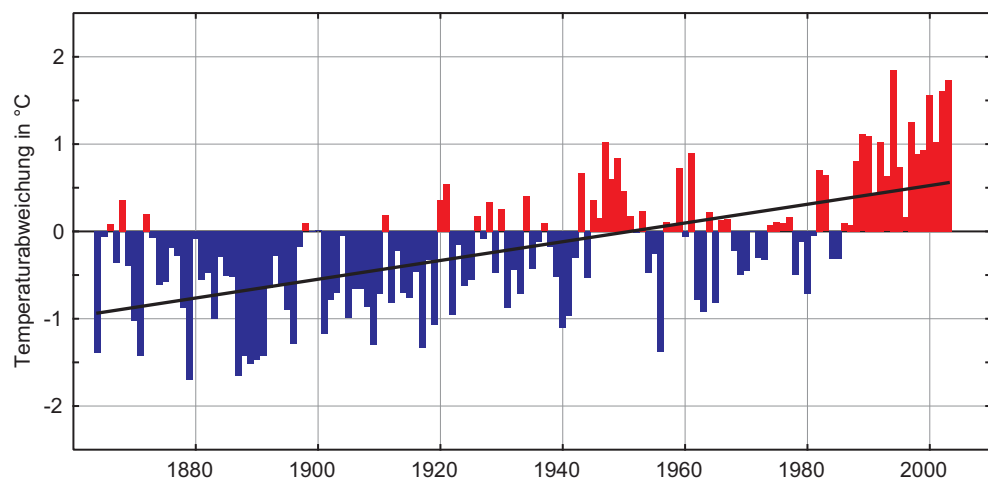


Abb. 1.16:
Verlauf der Oktober-Monatsmittel-Temperaturen 1864 bis 2003 für die Station Bern. In Bern erreichte der Oktober 2003 ein Monatsmittel von 6,7 °C und war damit um 2,2 °C kälter als normal.

Nachdem das Jahr 2003 mit einer kaum zu überbietenden Vielfalt von Ungewöhnlichem und Extremem aufwartete, verlief der Winter 2003/2004 wenig auffallend. Sehr zufriedenstellend entwickelten sich die Schneeverhältnisse, so dass über die Weihnachtszeit auch tiefgelegene Wintersportanlagen den Betrieb aufnehmen konnten²². Für die Jahreszeit etwas zu mild, aber doch recht winterlich, endete ein denkwürdiges Witterungsjahr, das über die ganze Schweiz gemittelt²³ zum zweitwärmsten seit Aufnahme der systematischen Messungen wurde (Abb. 1.17). Die seit Ende der 1980er Jahre andauernde Serie sehr warmer Jahre wird damit mit unverminderter Intensität fortgesetzt.

Für die gesamte 140-jährige Messperiode zwischen 1864 und 2003 berechnet sich, gemittelt über die ganze Schweiz, ein linearer Trend von $+1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro 100 Jahre, was einer Gesamterwärmung von $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entspricht.

Abb. 1.17:
Jährliche Abweichung der
Temperatur in der Schweiz
von der Jahresnorm
1961–1990. Die zu warmen
Jahre sind rot, die zu kalten
Jahre blau angegeben. Der
lineare Trend der Tempe-
ratur zwischen 1864 und
2003 beträgt $+1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro
100 Jahre (schwarze Linie).
Als Datengrundlage dienten
ausschliesslich homogene
Temperaturreihen^{4,23}.



-
- ¹ BADER, S., 2004: *Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003*. Arbeitsberichte MeteoSchweiz Nr. 200. Zürich: MeteoSchweiz. Wiedergegeben ist eine leicht gekürzte Fassung.
 - ² MeteoSchweiz, 2003: *Annalen der MeteoSchweiz 2002*. Zürich: MeteoSchweiz.
 - ³ Grafik (ergänzt) aus: DEFILA, C. & CLOT, B., 2001: *Phytophenological trends in Switzerland*. International Journal of Biometeorology 45: 203–207.
 - ⁴ BEGERT, M., SEIZ G., SCHLEGEL, Th., MUSA, M., BAUDRAZ, G. & MOESCH, M., 2003: *Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961–1990*. Schlussbericht des Projekts NORM90. Zürich: MeteoSchweiz.
 - ⁵ MeteoSchweiz, 2003: *Witterungsbericht MeteoSchweiz, August 2003*. Zürich: MeteoSchweiz.
 - ⁶ Mitteilung von H. Lötscher, Amt für Natur und Umwelt Graubünden.
 - ⁷ ZGRAGGEN, L., 2004: *Der heisse Sommer 2003*. Arbeitsbericht der MeteoSchweiz (in Vorbereitung).
 - ⁸ SCHÄR, C., VIDALE, P.L., LÜTHI, D., FREI, C., HÄBERLI, C., LINIGER, M.A. & APPENZELLER, C., 2004: *The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves*. Nature 427: 332–336.
 - ⁹ KUHN, M., 1948: *Die Dürre des Sommers 1947*. Klimatologische Untersuchung. Zürich: Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt 1947, 84. Jahrgang, 8–18.
 - ¹⁰ BRÜGGER, C.G., 1882: *Beiträge zur Naturchronik der Schweiz, insbesondere der Rhätischen Alpen*. Chur: I.–IV. Folge.
 - ¹¹ PFISTER, C., 1999: *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. Bern: Verlag Paul Haupt.
 - ¹² LUTERBACHER, J., DIETRICH, D., XOPLAKI, E., GROSJEAN, M. & WANNER, H., 2004: *European seasonal temperature variability, trends and extremes since 1500*. Science, Vol. 303: 1499–1503.
 - ¹³ MeteoSchweiz, 2003: *Witterungsbericht MeteoSchweiz, September 2003*. Zürich: MeteoSchweiz.
 - ¹⁴ MeteoSchweiz, 2003: *Witterungsberichte MeteoSchweiz, Januar–Dezember 2003*. Zürich: MeteoSchweiz.
 - ¹⁵ SCHORER, M., 1992: *Extreme Trockensommer in der Schweiz und ihre Folgen für Natur und Wirtschaft*. Geographica Bernensia, Band G40. Bern: Geographisches Institut der Universität Bern.
 - ¹⁶ MZA, 1948: *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt 1947*. 84. Jahrgang. Zürich: MZA.
 - ¹⁷ SCHÄDLER, B., 2003: *Trockenheit*. In: OcCC, Organe consultatif sur les changements climatiques (Hrsg.): *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern: OcCC.
 - ¹⁸ SWISS RE, 2004: *Natur- und Man-made-Katastrophen im Jahr 2003*. sigma Nr. 1/2004.
 - ¹⁹ Mündliche Mitteilung des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW).
 - ²⁰ MeteoSchweiz, 2003: *Witterungsbericht MeteoSchweiz, Oktober 2003*. Zürich: MeteoSchweiz.
 - ²¹ MeteoSchweiz, 2002: *Annalen der MeteoSchweiz 2001*. Zürich: MeteoSchweiz.
 - ²² MeteoSchweiz, 2003: *Witterungsbericht MeteoSchweiz, Dezember 2003*. Zürich: MeteoSchweiz.
 - ²³ BEGERT, M., SCHLEGER, T. & KIRCHHOFFER, W., 2004: *Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000*. Int. Journal of Climatology, submitted.

2 Gletscher

Charakteristisch für den Witterungsverlauf im Frühling und Sommer 2003 waren grosse Wärmeüberschüsse, starke Sonneneinstrahlung, anhaltende Niederschlagsdefizite sowie das Ausbleiben von Neuschneefällen im Hochgebirge. Diese Kombination von Faktoren hat zum frühzeitigen Ausapern der Alpengletscher und zu einem ausserordentlich starken Abschmelzen des Gletschereises geführt. Die registrierten Massenverluste überstiegen deutlich die Maximalwerte aus den vergangenen Jahrzehnten. Als Folge des extremen Verlusts an Schnee- und Eisreserven führten die Gletscherbäche trotz der Trockenheit ausserordentlich viel Wasser. Das Jahr 2003 bildet damit einen neuen Höhepunkt im Trend zum allgemeinen Rückzug der Gletscher, der seit der Mitte des 19. Jahrhunderts anhält.

2.1 Wasserhaushalt und Massenbilanz der Alpengletscher

Für den Wasserhaushalt der Schweiz spielen die Gletscher eine wichtige Rolle. 1980 beispielsweise lagerten im Einzugsgebiet der Aare bis Brugg 87 % eines mittleren Jahresniederschlags in Form von Gletschereis. In Fall der Rhone bis zur Mündung in den Genfersee (Porte-du-Scex) waren es gar 630 %¹. In heissen Sommern wird diese Reserve in den Alpen aktiviert: Hohe Temperaturen, die oft im Verbund mit geringen Niederschlägen und starker Sonneneinstrahlung auftreten, verstärken die sommerliche Schneeschmelze und vergrössern die Ablation der Gletscher.

Die dadurch freigesetzten Wassermengen erhöhen in solchen Sommern den trockenheitsbedingt tiefen Abfluss der Alpenflüsse oberhalb der grossen Seen. Während des Höhepunkts des extremen Trockensommers 1947 beispielsweise lag der Abfluss der Rhone bei Porte-du-Scex sogar etwas höher als im langfristigen Mittel; der gleiche Effekt konnte auch im Sommer 2003 in den besonders heissen Monaten Juni und August beobachtet werden. Gleichzeitig verringern sich natürlich die Wasserreserven in den Bergen. Durch den anhaltenden Gletscherschwund haben die Gletschervolumen in den Alpen seit 1850 gesamthaft um rund die Hälfte bis zwei Drittel abgenommen (je nach Autorenschaft^{2,3}). Die heute bekannten generellen Beziehungen zwischen dem Witterungsgeschehen und dem Massenhaushalt von Gletschern lassen sich wie folgt zusammenfassen⁴:

- Für den Massenverlust geben vor allem die Witterungsverhältnisse während der potentiellen Ablationsperiode vom Mai bis September den Ausschlag. Je häufiger und je länger Wetterlagen auftreten, die sich durch warmes und strahlungsreiches Wetter auszeichnen, desto mehr Eis verliert der Gletscher.
- Dieser einleuchtende Zusammenhang wird jedoch durch das Niederschlagsgeschehen, speziell durch Neuschneefälle, stark modifiziert. Je mehr Neuschnee während eines Winters auf einen Gletscher fällt, desto länger dauert es im Frühsommer, bis das Eis nach dem Abschmelzen der Schneedecke der Sonnenstrahlung ausgesetzt wird. Neuschnee hat eine wesentlich höhere Reflexionsfähigkeit (Albedo) als Altschnee oder dunkle und schuttbedeckte Stellen im Eis.

- Im Sommer bewirken Neuschneefälle die sprunghafte Veränderung der Albedo der Gletscheroberfläche in Richtung verstärkter Reflexion. Für das Gletscherwachstum ist wesentlich, dass im Sommer nur möglichst kleine Bereiche ausapern, und dies nur während kurzer Zeit.
- Entscheidend für die Massenbilanz von Gletschern ist somit das Zusammenspiel von Temperatur und Niederschlag in Abhängigkeit der Jahreszeit. Ein für das Gletscherwachstum optimales Jahr müsste folgendermassen ablaufen: Einem ozeanisch feucht-kühlem Winter folgt ein Frühjahr mit Kälterückfällen. Der Sommer ist feucht-kühl mit häufigen Schneefällen im Gebirge, und im Frühjahr treten möglichst wenige der für diese Jahreszeit typischen Hochdrucklagen auf. Es liegt auf der Hand, dass trockenheisse Sommer umgekehrt zu einer bedeutenden Ablation führen.

Aus der Rekonstruktion der Vorstoss- und Rückzugsphasen der alpinen Gletscher in den letzten Jahrhunderten geht hervor, dass die Neuzeit – von der Mitte des 16. Jh. bis in die Mitte des 19. Jh. – eine dreihundertjährige Hochstandsperiode war, die anschliessend von einer kräftigen Abschmelzphase abgelöst wurde⁵. Betrachtet man die Reserveänderungen der Schweizer Gletscher im 20. Jahrhundert, so sieht man, dass ihre Massenbilanz gesamthaft mehrheitlich negativ war⁶.

Die Auswirkungen des trockenheissen Sommers 2003 auf die Gletscher sind vor dem Hintergrund dieses generellen Trends zu sehen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich eine anhaltende Veränderung der Massenbilanz erst nach Jahren auch als Änderung der Zungenlänge bemerkbar macht, da die Reaktionszeit unter anderem von der Gletschergrösse abhängig ist. Zudem beeinflussen lokale klimatische und topographische Gegebenheiten das komplexe Wechselspiel zwischen Klima und Gletscher. Die Wirkung der Witterung eines einzelnen Jahres lässt sich daher am zuverlässigsten am Massenhaushalt der Gletscher – der Bilanz zwischen Schneezuwachs und Eisabtrag – bestimmen. Diese aufwendigen Messungen werden in der Schweiz regelmässig im Auftrag der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften an den drei Gletschern Basòdino (Tessin), Gries (Wallis) und Silvretta (Graubünden) durchgeführt.

2.2 Gletscherveränderung im Jahr 2003

Die anhaltende Trockenheit, der grosse sommerliche Wärmeüberschuss in der Höhe (vgl. Kap. 1.2, S. 24) und das weitgehende Ausbleiben von Kaltluftinbrüchen und Neuschneefällen machten 2003 zu einem extrem ungünstigen Jahr für die Gletscher. Die von der Glaziologischen Kommission registrierten Massenverluste übertrafen die bisherigen Maximalwerte aus den vergangenen Jahrzehnten beträchtlich⁷: Der grösste Massenverlust unter den drei in der Schweiz beobachteten Gletschern erlitt mit rund 3 Metern Wasseräquivalent der inneralpine Griesgletscher im Nufenengebiet. Dies entspricht – bei einer mittleren Eisdicke von ca. 80 m – knapp 4%

seines Gesamtvolumens. Die geringste Einbusse wurde mit rund 2 Metern Wasseräquivalent am Silvrettagletscher beobachtet, der am Alpennordhang liegt. Zusätzlich begünstigt wurde das Abschmelzen durch das früh einsetzende Ausapern der Gletscher nach einem Winter mit durchschnittlichen Schneemengen. Zudem enthielt der Winterschnee Staub aus der Sahara, was ihn dunkler färbte und für Schmelzprozesse anfälliger machte⁸. Der Griesgletscher war bereits im Juli bis in die obersten Firnregionen gänzlich ausgeapert⁷. Der nahegelegene Basòdino-Gletscher im Tessin aperte hingegen viel weniger schnell aus. Dies gilt auch für den Silvrettagletscher, wo Ende September auch unterhalb von 3000 m noch grössere Schneerücklagen vorhanden waren.

Im Sommer 2003 stieg die Schneegrenze weit über die 3000m-Marke und damit über die höchsten Bereiche vieler kleinerer Gletscher hinaus. Die ohnehin spärlichen Schneeschichten aus den vergangenen Jahren verschwanden vielerorts völlig⁸. Als Folge dieser enormen Schmelzprozesse führten die Gletscherbäche ausserordentlich viel Wasser (vgl. Kap. 3.4.1) und die Speicherseen mit stark vergletschertem Einzugsgebiet füllten sich rasch (vgl. Kap. 11.3.1). In einzelnen Fällen (z.B. im Stausee Gebidum unterhalb des Grossen Aletschgletschers) konnte der Zufluss trotz voller Turbinierung nicht mehr abgeführt werden, so dass die Hochwasserentlastung ansprang⁸. Entsprechend fiel die Massenbilanz in diesem Gebiet im hydrologischen Jahr 2002/2003 stark negativ aus (Abb. 2.1).

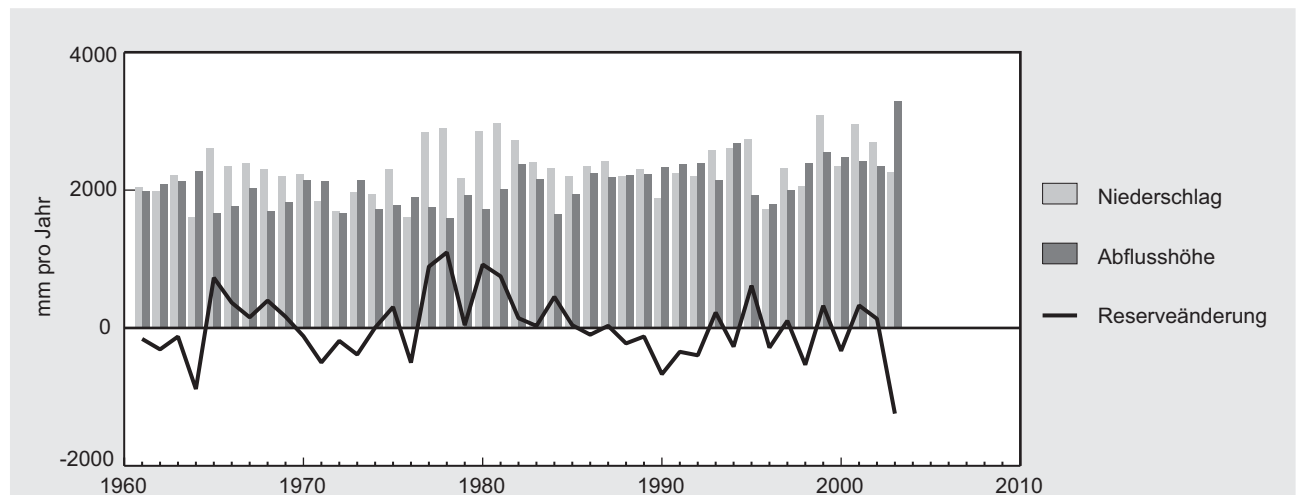
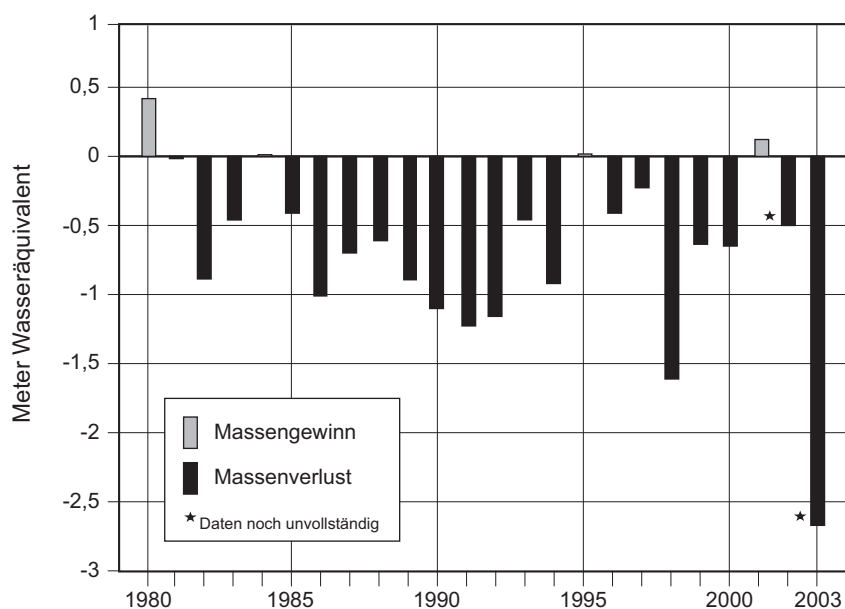


Abb. 2.1:

Gebietsniederschlag und Abflusssummen des Einzugsgebiets der Massa oberhalb der Messstation Blatten für die hydrologischen Jahre 1960–2003 (das hydrologische Jahr dauert vom 1. Oktober bis zum 30. September). Dieses Einzugsgebiet ist zu 65,9% vergletschert und umfasst unter anderem den Grossen Aletschgletscher. Aus der Differenz zwischen Gebietsniederschlag und Jahresabfluss ergibt sich die jährliche Änderung der Wasserreserven (die Verdunstung ist bei diesem Einzugsgebiet, das auf einer mittleren Höhe von 2945 m ü.M. liegt, vernachlässigbar). In den Jahren mit positiver Reservenänderung nimmt die in Form von Schnee und Eis gespeicherte Wassermenge zu, in Jahren mit negativen Werten nimmt sie ab. Als Folge der grossen sommerlichen Wärme war im hydrologischen Jahr 2003 die Reserveänderung stärker negativ als jemals in den vier Jahrzehnten zuvor. Daten: Bundesamt für Wasser und Geologie, MeteoSchweiz

Parallel zum Gletscherschmelzen begann auch die Auftauschicht des Permafrosts in schattigen Steilflanken bereits im Juni besonders stark aufzutauen⁸. In diesen Zonen wurden gehäuft Felsstürze beobachtet. Gemäss Modellrechnungen dürfte die sommerliche Auftautiefe im Jahr 2003 bis zu 1,5 Meter tiefer vorgedrungen sein als in den Jahren 1980–2000. In sonnigen Südflanken dagegen war das Auftauen wahrscheinlich weniger extrem. Auf den Südhängen fällt die über die Luft herangeführte Wärme weniger ins Gewicht als die direkte Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung.

Abb. 2.2:
Massenverlust der Alpen-
gletscher seit 1980. Die
Mittelwerte wurden mit Hilfe
der jährlichen Massenbilanz
folgender Gletscher berech-
net: St Sorlin (F), Sarennes
(F), Silvretta (CH), Gries
(CH), Sonnblickkees (A), Ver-
nagtferner (A), Kesselwand-
ferner (A) Hintereisferner
(A), Caresèr (I). Datenquelle:
Regula Frauenfelder, World
Glacier Monitoring Service,
Zürich.



2.3 Bilanz für den Alpenraum

Das rekordstarke Abschmelzen der Gletscher wurde nicht nur in der Schweiz beobachtet, sondern auch in Österreich⁹. Gemäss den Daten des World Glacier Monitoring Service (WGMS) belief sich der durchschnittliche Gletscherabtrag der 14 Referenzgletscher in den Alpen auf rund 2,6 Meter Wasseräquivalent (Abb. 2.2). Das ist deutlich mehr als der bisherige Rekord aus dem Jahr 1998 (1,6 m) und rund vier Mal mehr als der durchschnittliche Verlust (0,65 m) während der überdurchschnittlich warmen Periode 1980–2000¹⁰.

Der Volumenverlust der Alpengletscher im Jahr 2003 ist schwierig abzuschätzen und dürfte gemäss World Glacier Monitoring Service in der Grössenordnung von 5–10 % des verbleibenden Eisvolumens gelegen haben^{8,10}. Bei dieser Abschmelzrate blieben im Jahr 2025 weniger als die Hälfte des Gletschervolumens der Periode 1970–80 übrig. Im Jahr 2100 wären nur noch 5 % des Gletschereises vorhanden.

-
- ¹ SCHAEGLER, B., 1985: *Der Wasserhaushalt der Schweiz*. Mitteilungen der Landeshydrologie Nr. 6. Bern: Bundesamt für Umweltschutz.
 - ² MAISCH, M., WIPF, A., DENNELER, B., BATTAGLIA, J. & BENZ, C., 2000: *Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien*. ETH Zürich: vdf-Hochschulverlag.
 - ³ HAEBERLI, W., MAISCH, M. & PAUL, F., 2002: *Mountain glaciers in global climate-related observation networks*. World Meteorological Organization Bulletin 51 (1): 1–8.
 - ⁴ PFISTER, C., 1984: *Klimageschichte der Schweiz 1525–1860*. Academia helvetica 6, Band I. Bern und Stuttgart: Haupt.
 - ⁵ FURRER, G., GAMPER-SCHOLLENBERGER, B. & SUTER, J., 1980: *Zur Geschichte unserer Gletscher in der Nacheiszeit – Methoden und Ergebnisse*. In: OESCHGER, H., MESSERLI, B. & SVILAR, M., (Hrsg.): *Das Klima. Analysen und Modelle – Geschichte und Zukunft*. Berlin: Springer.
 - ⁶ SCHORER, M., 1992: *Extreme Trockensommer in der Schweiz und ihre Folgen für Natur und Wirtschaft*. Geographica Bernensia, Band G40. Bern: Geographisches Institut der Universität Bern.
 - ⁷ BAUDER, A., 2004: *Grosser Massenverlust der Schweizer Gletscher*. Neue Zürcher Zeitung, Nr. 9, 13.1.2004.
 - ⁸ HAEBERLI, W., 2003: *Spuren des Hitzsommers 2003 im Eis der Alpen*. Arbeitspapier zuhanden des Organe consultatif sur les changements climatiques (OcCC) des EDI und UVEK vom 30. September 2003.
 - ⁹ PATZELT, G., 2004: *Gletscherbericht 2002/2003*. Mitteilungen des Österreichischen Alpenvereins, Heft 1-04. Innsbruck: Österreichischer Alpenverein.
 - ¹⁰ IAHS (ICSU) / UNEP / UNESCO / WMO, 2003: *Glacier mass balance bulletin no. 7*. Haeberli, W., Frauenfelder, R., Hoelzle, M. & Zemp, M., (eds.). University of Zurich: World Glacier Monitoring Service.

3 Hydrologie der Oberflächengewässer

Die sommerliche Rekordhitze und die anhaltenden Niederschlagsdefizite des Jahres 2003 haben sich auf die Fliessgewässer ähnlich ausgewirkt wie in früheren heisstrockenen Sommern: Während die Flüsse und Bäche aus unvergletscherten Einzugsgebieten teils stark verminderte Abflüsse aufwiesen und im Kerngebiet der Trockenheit streckenweise trocken fielen, führte die ausserordentlich starke Schnee- und Gletscherschmelze zu einem überdurchschnittlichen Wasserangebot in den Fliessgewässern mit hochalpinen Einzugsgebieten. Sowohl bei den Monatsmitteln als auch bei den Niedrigwasser-Kenngrössen zeigt sich, dass die Abflüsse im Sommer und Herbst 2003 generell tiefer waren als 1976, jedoch nicht so extrem ausfielen wie 1947. Unterschiedlich präsentierte sich die Lage auch bei den Wasserständen der grossen Seen: Die regulierten Seen konnten – mit Ausnahme von Zürichsee und Lago Maggiore – ihr Niveau einigermaßen halten, während in den nicht regulierten Seen und in kleinen Seen die Seespiegel in die Nähe der bisherigen Tiefststände der entsprechenden Monate absanken.

3.1 Datenerfassung und Datenqualität

Die Abteilung Landeshydrologie des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG) betreut an Seen und Flüssen ein Netz von über 250 Messstellen, bei denen der Wasserstand kontinuierlich aufgezeichnet wird. Die meisten dieser Daten werden digital erfasst und mehrmals täglich an die Abfragezentrale der Landeshydrologie übermittelt. Bei den Fliessgewässern werden die Wasserstandsdaten automatisch in Abflusswerte umgerechnet. Die Messwerte werden laufend auf der Internetseite des BWG publiziert¹.

Während ausserordentlichen hydrologischen Situationen werden die aktuellen Abflussdaten amtsintern kartographisch aufbereitet. Dargestellt wird unter anderem die Abweichung der aktuellen Werte vom mittleren Monatsabfluss der Referenzperiode (Abb. 3.1 auf S. 44 zeigt die Karte vom 27. August 2003). Rote Punkte weisen auf ausserordentlich niedrige Abflüsse hin. Mit Hilfe dieses Arbeitsinstruments konnte die Niedrigwassersituation im Jahr 2003 laufend überblickt werden.

Während es sich bei den aktuellen Online-Daten um provisorische Werte handelt, sind die in dieser Publikation verwendeten Abfluss- und Wasserstandsdaten definitive Werte. Allfällige Fehler bei den Aufzeichnungen der Pegelstände (technische Störungen, Ausfälle) wurden bereinigt und die Umrechnung in Abflüsse erfolgte aufgrund der plausibilisierten Pegelstand-Abfluss-Beziehungen. Zusätzlich zu den Messstationen des BWG wurde eine Reihe von kantonalen Stationen in die Auswertung einbezogen. Diese befinden sich zumeist in kleinen Einzugsgebieten und erlauben daher Aussagen über die Situation in kleineren Bächen.

Die genaue Messung und Registrierung extremer Pegelstände ist schwierig, sowohl bei Hochwasser wie bei Niedrigwasser. Die Bedeutung einer genauen Pegelmessung bei Niedrigwasser wird deutlich, wenn wir ihren Einfluss auf die Abflussbestimmung

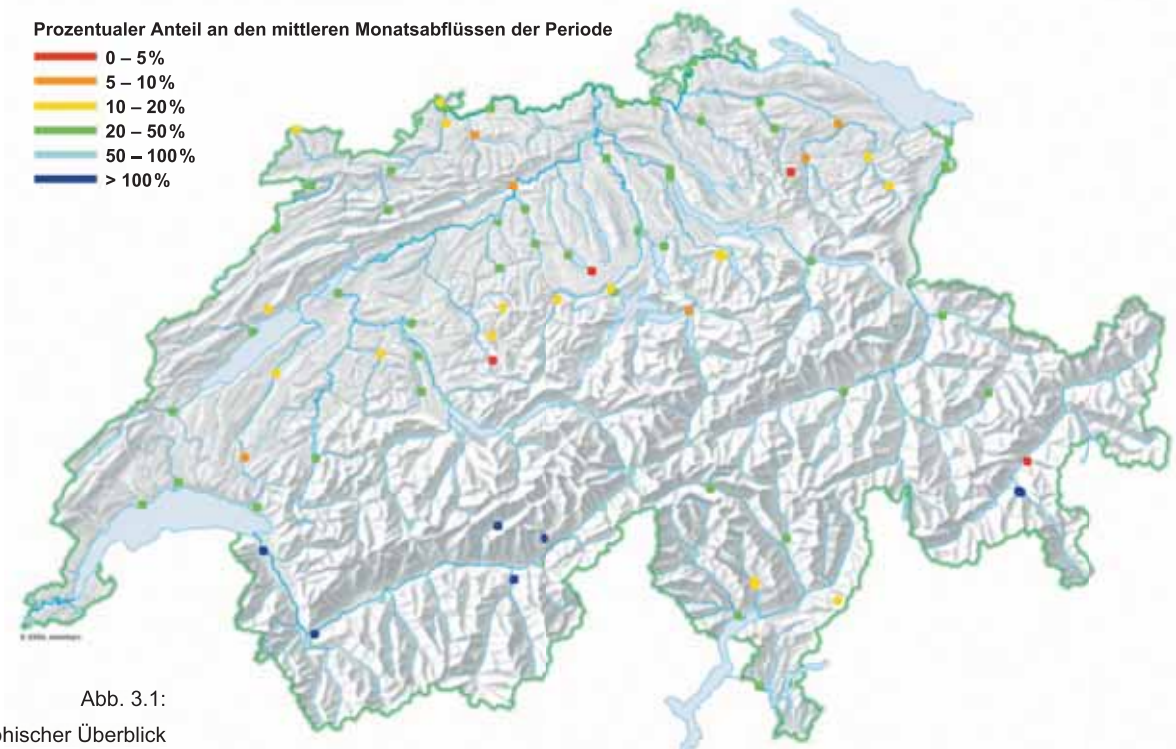


Abb. 3.1:
kartographischer Überblick
über die Niedrigwasser-
situation am 27. August 2003.

betrachten: Bei sehr breiten Gerinnen mit kleiner Wassertiefe hat eine geringe, in absoluten Werten gemessene Änderung des Pegelstandes einen relativ grossen Einfluss auf die Abflussmenge. Ein Zentimeterfehler bei der Registrierung des Wasserstands kann in solchen Fällen zu einer Veränderung der errechneten Abflussmenge von mehr als 50 % führen. Der Mess- und Registriergenauigkeit kommt daher erstrangige Bedeutung zu. Die Landeshydrologie strebt an, auch im Niedrigwasserbereich Daten von bestmöglicher Qualität zu erheben.

Ein Mittel dazu ist der Einbau eines Niedrigwassergerinnes (Abb. 3.2). Dieses erhöht durch die lokale Einschränkung der Gerinnebreite den Wasserstand, was die Sensitivität der Pegelmessung bei Niedrigwasser verbessert. Der Grad der baulichen Einflussnahme wird dabei durch die Gerinneform, aber auch durch die ökologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen vorgegeben².

Abb. 3.2:
Niedrigwassergerinne in
der Ergolz bei Liestal.
(Bild: Bundesamt für Wasser
und Geologie)



3.2. Auswirkungen von Hitze und Trockenheit auf die Wasserstände

Die Folgen von Hitze und Trockenheit unterscheiden sich je nach Abflussregime (vgl. Kasten). In Einzugsgebieten mit glazialen Einfluss erzeugt die verstärkte Gletscherschmelze höhere Abflüsse als in durchschnittlichen Jahren (vgl. Kap. 2). In Einzugsgebieten mit nivalem Regime können Hitze und Trockenheit, je nach dem Zeitpunkt ihres Auftretens, zur verfrühten Schneeschmelze führen. Ist kein Schnee mehr vorhanden, wird in diesen wie in pluvialen Regimen der Faktor Trockenheit ausschlaggebend für den Wasserstand. Hohe Lufttemperaturen erhöhen zwar die potenzielle Verdunstung, bei geringer Wasserverfügbarkeit nimmt die tatsächliche Verdunstung jedoch nur unwesentlich zu. Eine Ausnahme bilden natürlich die Seen.

Ausbleibender Niederschlag führt grundsätzlich immer zum Rückgang der Wasserstände. In Einzugsgebieten mit grossen Grundwasserspeichern und/oder Seen sowie bei Schneerücklagen kann sich der Rückgang verzögern oder er ist kaum erkennbar. Eine Rolle spielt auch die Grösse eines Einzugsgebiets: In grossen Gebieten steigt die Wahrscheinlichkeit, dass zumindest in einem Teileinzugsgebiet ein Niederschlagsereignis stattfindet (beispielsweise ein Gewitter). Fehlen solche lokalen Niederschläge, kommt es in grossen Einzugsgebieten zu besonders seltenem Niedrigwasser.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Wirkung einer Trockenheit auf die Gewässer hat ihre Vorgeschichte. Sind die Grundwasserspeicher von vorangegangenen Niederschlägen gut gefüllt, fallen die Wasserstände erst nach längeren Trockenphasen auf

Unter Abflussregimen werden die langjährigen mittleren saisonalen Schwankungen des Abflusses in einem Fliessgewässer verstanden. Abhängig von den meteorologischen Faktoren und den Eigenschaften des Einzugsgebietes zeigt jede Messstation einen charakteristischen Abflussverlauf.

Im Alpenraum sind die Regimes von den Abflussspitzen im Sommer geprägt, verursacht durch die jährliche Schnee- und Gletscherschmelze. Je stärker vergletschert ein Einzugsgebiet ist, desto markanter ist diese Abflussspitze und desto später tritt sie auf. Man spricht in diesem Fall von einem **glazialen Regime**, im Unterschied zu einem **nivalen Regime**, das in erster Linie durch den Verlauf der Schneeschmelze bestimmt ist.

Die Regimes im Mittelland und Jura sind – neben dem Zeitpunkt der Schneeschmelze – verstärkt von der jährlichen Niederschlagsverteilung beeinflusst. Über eine lange Periode betrachtet sind hier die niedrigsten Abflüsse im Spätsommer zu erwarten. Je nach dem Einfluss der Schneeschmelze spricht man von **nivo-pluvialen** oder **pluvialen** Regimetypen.

Die besonderen hydrometeorologischen Verhältnisse der Alpensüdseite begründen die **südalpinen Regimes**, die wiederum in glaziale, nivale und pluviale Regimetypen unterschieden werden.

Entlang eines Flusslaufes wandelt sich das Abflussregime stetig. Grosse Einzugsgebiete weisen daher ein **Mischregime** auf, das sich aus der Überlagerung verschiedenster Regimetypen der Teileinzugsgebiete ergibt.

Die Regimetypisierung basiert auf den natürlichen Abflussverhältnissen. Insbesondere im Alpenraum sind heute viele Flussabschnitte vom Menschen beeinflusst, beispielsweise durch Kraftwerksbauten³.

Die Abflussregimes in der Schweiz

ausserordentliche Werte. Auch das Vorhandensein von grossen Schneerücklagen kann bei deren Abschmelzen die Wirkung von ausbleibendem Niederschlag dämpfen.

Grössere Flüsse führen auch in Trockenzeiten eine gewisse, wenn auch unterdurchschnittliche Menge Wasser. Je kleiner jedoch ein Einzugsgebiet ist, desto grösser wird die Wahrscheinlichkeit, dass ein Bach bei ausbleibendem Niederschlag streckenweise austrocknet. Das hat gravierende Folgen für die Ökologie, etwa wenn die Fische auf dem Trockenen liegen. Auch bei Bewässerungen treten in Bächen bald einmal Probleme auf, während bei den grösseren Flüssen auch bei Niedrigwasser immer noch Wasser entnommen werden kann. Im Sommer 2003 trockneten denn auch in etlichen Regionen die Bäche streckenweise aus. Die Lage in diesen kleinen Fliessgewässern und die sich daraus ergebenden Folgen sind in den Kapiteln 7.1, 7.2 und 8 dargestellt.

3.3 Die Vorgeschichte im Winter 2002/2003

Die ausgiebigen Niederschläge im November 2002 führten in vielen Einzugsgebieten zu Rekordabflüssen, und die Grundwasserstände stiegen stark an (vgl. Kap. 5). Der nasse November machte sich auch bei den Seeständen bemerkbar: Mit einem Meter über dem mittleren Novemberniveau verzeichnete der Walensee unter den grösseren Seen die markanteste Abweichung von der Norm. Aber auch der Bodensee stieg mit rund 80 cm und der Lago Maggiore mit rund 70 cm deutlich über das mittlere Monatsmittel⁴.

Eine Aussage, ob der Winter 2002/03 schneereich oder schneearm war, ist kaum möglich, denn er war, in verschiedenen Höhenlagen und zu verschiedenen Zeitpunkten, beides. Anders als im Tiefland (Kap. 1.1) war der Winter oberhalb von 2400 m ü.M. von November bis Februar extrem schneereich. Danach folgte ein schneearmes Frühjahr. In mittleren Höhenlagen (1000–2000 m ü.M.) war die Schneehöhe, grob gemittelt über die Schweizer Alpen, im Vergleich zum langjährigen Mittel schon seit Ende Februar/Anfang März unterdurchschnittlich. Diese Höhenstufe aperte in der Folge einen Monat früher aus als üblich, d.h. Mitte/Ende April statt Mitte/Ende Mai. In höheren Lagen (2000–2500 m ü.M.) ging die Ausaperung ebenfalls rascher voran als in Normjahren. Ende Mai führte die fast tropische Witterung zu einem sehr raschen Abbau der Schneedecke (vgl. Kap. 1.1), besonders in Höhenlagen unter 2400 m ü.M., wo die Rücklagen des Novemberschnees 2002 fehlten, da es damals bis in diese Höhen hinauf regnete⁵.

3.4 Die Fliessgewässer im Jahr 2003

Das Jahr 2003 startete in weiten Gebieten nass (vgl. Abb. 1.15c, S. 32). Ausser im Süden und im Engadin fielen leicht übernormale Niederschläge. Zusammen mit den vom November her noch stark gefüllten Grundwasserspeichern führte dies dazu, dass die mittleren Januarabflüsse zum Teil deutlich übertroffen wurden. Ab Februar begann auch auf der Alpennordseite die Trockenperiode, die in wechselnder Ausprägung bis Anfang Oktober das Jahr 2003 prägte. Einen wesentlichen Einfluss auf die Gewässer hatte, wie in Kap. 3.2 dargelegt, der grosse Wärmeüberschuss. Er setzte im März ein und fand seinen Höhepunkt mit der Rekordhitze im Juni und im August.

Wegen der unterschiedlichen Auswirkungen von Trockenheit und Hitze je nach Abflussregime wird der hydrographische Charakter des Jahres 2003 differenziert beurteilt. Der Hauptunterschied lag – wie bereits in früheren heisstrockenen Sommern – zwischen den Einzugsgebieten mit glazialen Einfluss und solchen ohne. Erstere wiesen im Mittel einen durchschnittlichen bis überdurchschnittlichen Jahresabfluss auf, letztere einen zum Teil deutlich unterdurchschnittlichen.

3.4.1 Einzugsgebiete mit glazialen Einfluss

Je stärker vergletschert ein Einzugsgebiet ist, desto mehr lag der Jahresabfluss 2003 über dem Durchschnitt. So weist die Messstation Massa-Blatten unterhalb des Grossen Aletschgletschers (Vergletscherungsanteil 66%) ein Jahresmittel auf, das mit 20,2 m³/s nicht weniger als 153 % des mittleren Abflusses der Messperiode erreichte (1923–2002: 13,2 m³/s). Wie ausserordentlich die Verhältnisse in diesem Einzugsgebiet waren, zeigt Abb. 3.3a: Die Mediane der Tagesmittel 2003 lagen in den Monaten Mai und Juni deutlich über den durchschnittlichen Werten der Periode. Der Stausee Gebidum floss über (vgl. Kap. 2.2). Im Juli gingen die Abflüsse leicht zurück, stiegen im August jedoch erneut an. Danach waren die monatlichen Werte leicht unterdurchschnittlich. Dieser Verlauf ist typisch für Einzugsgebiete mit stark glazialen Einfluss.

Je kleiner der Vergletscherungsanteil ist, desto weniger lagen die Abflüsse in den Monaten Mai, Juni und August über dem Durchschnitt, wie der Vergleich mit den Messstationen Rosegbach-Pontresina (Vergletscherungsanteil 30,1%, Abb. 3.3b) und Lutschine-Gsteig (17,4%, Abb. 3.3c) zeigt. In vielen Einzugsgebieten mit geringem glazialen Einfluss (Vergletscherungsanteil kleiner als 10%) fielen die Abflüsse ab Juli auf unterdurchschnittliches Niveau. So wurden beispielsweise bei der Messstation Chamuerabach-La Punt-Chamuesch (Vergletscherungsanteil 1,5%) im Juli und August 2003 ausgesprochen tiefe Tagesmittel registriert (Abb. 3.3d).

Diese Abflussmuster widerspiegeln den Witterungsablauf im Sommer 2003. Warme, subtropische Luftmassen sorgten anfangs Mai für stark übernormale Temperaturen. Nach einer Abkühlung Mitte Monat stiegen die Temperaturen im Gebirge wiederum auf aussergewöhnlich hohe Werte. Aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit mit täglichen, gewittrigen Regenschauern blieb die nächtliche Abkühlung meist gering und die Nullgradgrenze lag bei 3500 m. All dies führte zu einem sehr raschen Abbau der

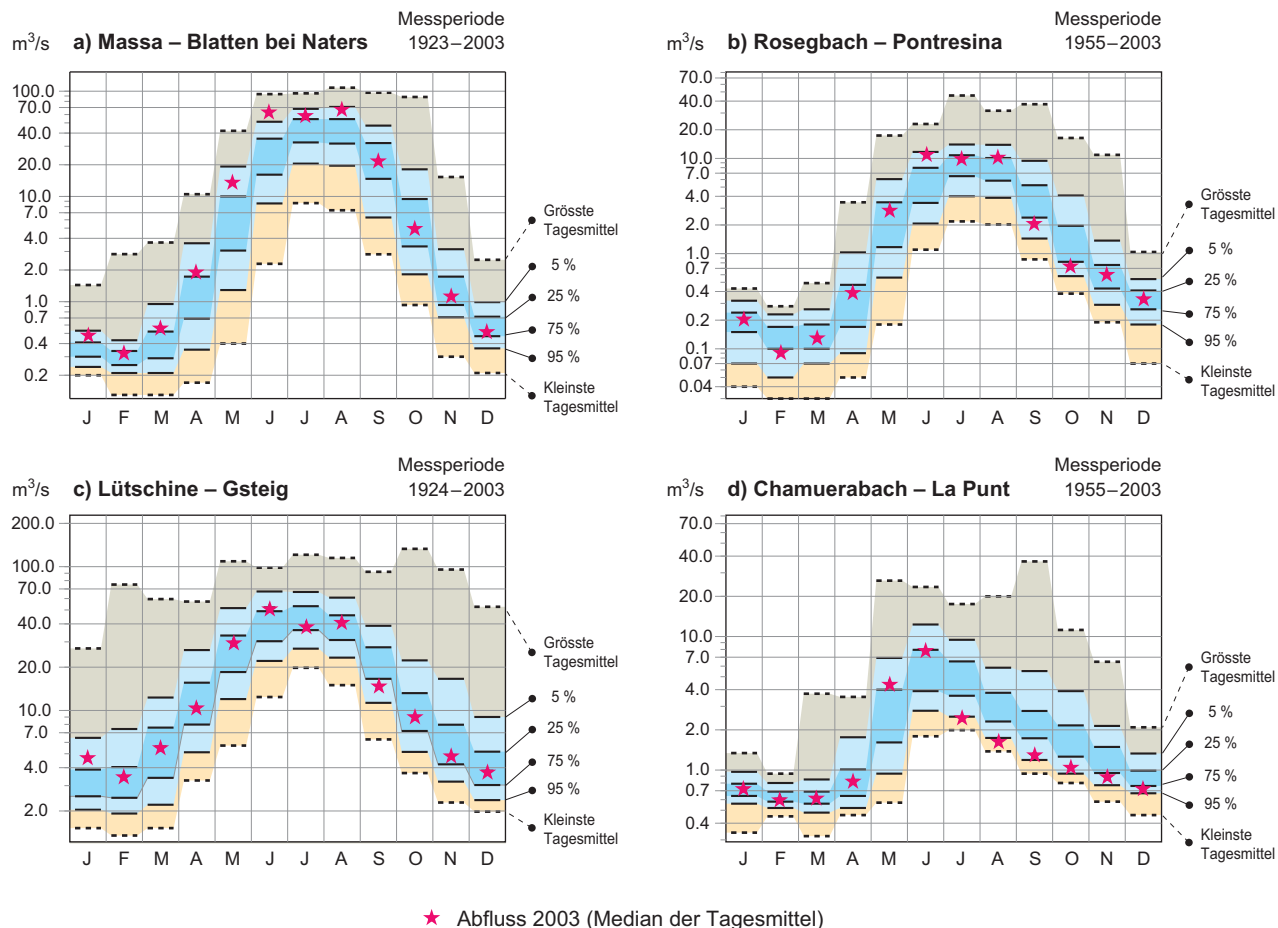


Abb. 3.3:

Monatliche Verteilung der Tagesmittel des Abflusses von Gebirgsbächen mit unterschiedlichem Vergletscherungsgrad des Einzugsgebietes.

Zur Interpretation der Abflussdiagramme

In den Abb. 3.3 bis 3.5 ist die monatliche Verteilung der Tagesmittel des Abflusses für einzelne Messstationen dargestellt:

- Die roten Sterne geben den Median (50%-Quantil) der Tagesmittel des entsprechenden Monats im Jahr 2003 an. 50 % der Tagesmittel in einem Monat liegen über diesem Wert, die anderen 50 % darunter.
- Die farbigen Bänder zeigen den Bereich, in dem sich die Tagesmittel der Abflüsse während einer längeren Messperiode (jeweils bis und mit 2003) bewegen:
 - Das dunkelblaue Band liegt zwischen dem 25%-Quantil und dem 75%-Quantil. Während 50 % der Tage im entsprechenden Monat wurden Tagesmittel in diesem Bereich beobachtet, 25 % der Tagesmittel eines Monats waren kleiner, weitere 25 % grösser. Es handelt sich also gewissermassen um den «Normalabfluss».
 - Nimmt man die beiden hellblauen Bänder hinzu, so liegen 90 % der Werte in diesem Bereich (zwischen dem 5%- und dem 95%-Quantil). Werte die im hellblauen Band unterhalb des dunkelblauen liegen sind unterdurchschnittlich. Sie treten aber immerhin während 20 % aller Tage auf. Dies gilt auch für die überdurchschnittlichen Werte im oberen hellblauen Band.
 - Das graugrüne Band entspricht den 5 % grössten Tagesmitteln, die während der Messperiode auftraten.
 - Das ockergelbe Band zeigt die 5 % kleinsten Tagesmittel. Werte in diesem Bereich sind ausserordentlich tief.

Schneedecke, besonders in Höhenlagen unter 2400 m, wo die Rücklagen des Novemberschnees fehlten. In der ersten Hitzeperiode im Juni stieg die Nullgradgrenze im Mittel über 4000 m (vgl. Kap. 1.2, Abb. 1.8, S. 24), wodurch sich das rasche Abschmelzen des Schnees, begleitet von intensivem Gletscherschmelzen, fortsetzte, während die Niederschläge gering blieben. Der Juli war zwar ebenfalls etwas zu warm, im letzten Monatsdrittel aber wechselhaft mit häufigen Schauern und etwas Schnee im Gebirge. Die Abflüsse waren daher nicht mehr derart hoch. Die extreme Hitze im August führte erneut zu enormer Gletscherschmelze. Wo der Vergletscherungsanteil gering ist, gingen die Abflüsse zurück, da keine Schneerücklagen mehr vorhanden waren und weiterhin nur wenig Niederschlag fiel. Ende August erfolgte dann eine deutliche Abkühlung. Zusammen mit der nach wie vor herrschenden Trockenheit führte dies in den Alpen zu einem raschen Rückgang der Abflüsse auf durchschnittliche oder gar unterdurchschnittliche Werte bis Ende Jahr⁵.

3.4.2 Einzugsgebiete ohne glazialen Einfluss

Die Jahresmittel der Abflussmessstationen in Gebieten ohne Vergletscherung lagen im Jahr 2003 im Mittel deutlich unter der Norm. Je nach Region und Länge der vorhandenen Messreihe waren aber insbesondere die Jahresmittel der Jahre 1921, 1947, 1949, 1976, 1989, 1990 und 1997 kleiner. In einigen Fällen wurden allerdings auch bei sehr langen Reihen neue kleinste Monatsmittel beobachtet. Tabelle 3.1 zeigt die Verhältnisse bei einigen typischen Messstationen in Einzugsgebieten ohne glazialen Einfluss.

Station	Messperiode	Fläche Einzugsgebiet (km ²)	Mittlere Höhe (m)	Mittlerer Abfluss 2003 (m ³ /s)	Mittlerer Abfluss Periode (m ³ /s)	% (a)	kleinstes Jahresmittel der Periode (m ³ /s)	Jahr mit dem kleinsten Jahresmittel
Sitter-Appenzell	1923–2003	74,2	1252	2,5	3,55	70	2,21	1949
Broye-Payerne, Caserne d'aviation	1920–2003	392	710	4,75	7,84	61	2,11	1921
Birse-Moutier, La Charrue	1912–2003	183	930	1,98	3,27	61	1,46	1921
Emme-Wiler, Limpachmündung	1922–2003	940	860	12,5	19,2	65	9,04	1949
Sperbelgraben-Wasen, Kurzeneialp	1958–2003	0,54	1063	12,3 (b)	16,1 (b)	76	8,88 (b)	1976
Cassarate-Pregassona	1963–2003	73,9	990	1,05	2,57	41	1,05	2003

Tab. 3.1:

Einordnung der Jahresmittel 2003 ausgewählter Stationen in Einzugsgebieten ohne glazialen Einfluss in die jeweilige Messperiode.

(a): Abfluss 2003 in Prozent der jeweiligen Messperiode; (b) Abfluss in l/s.

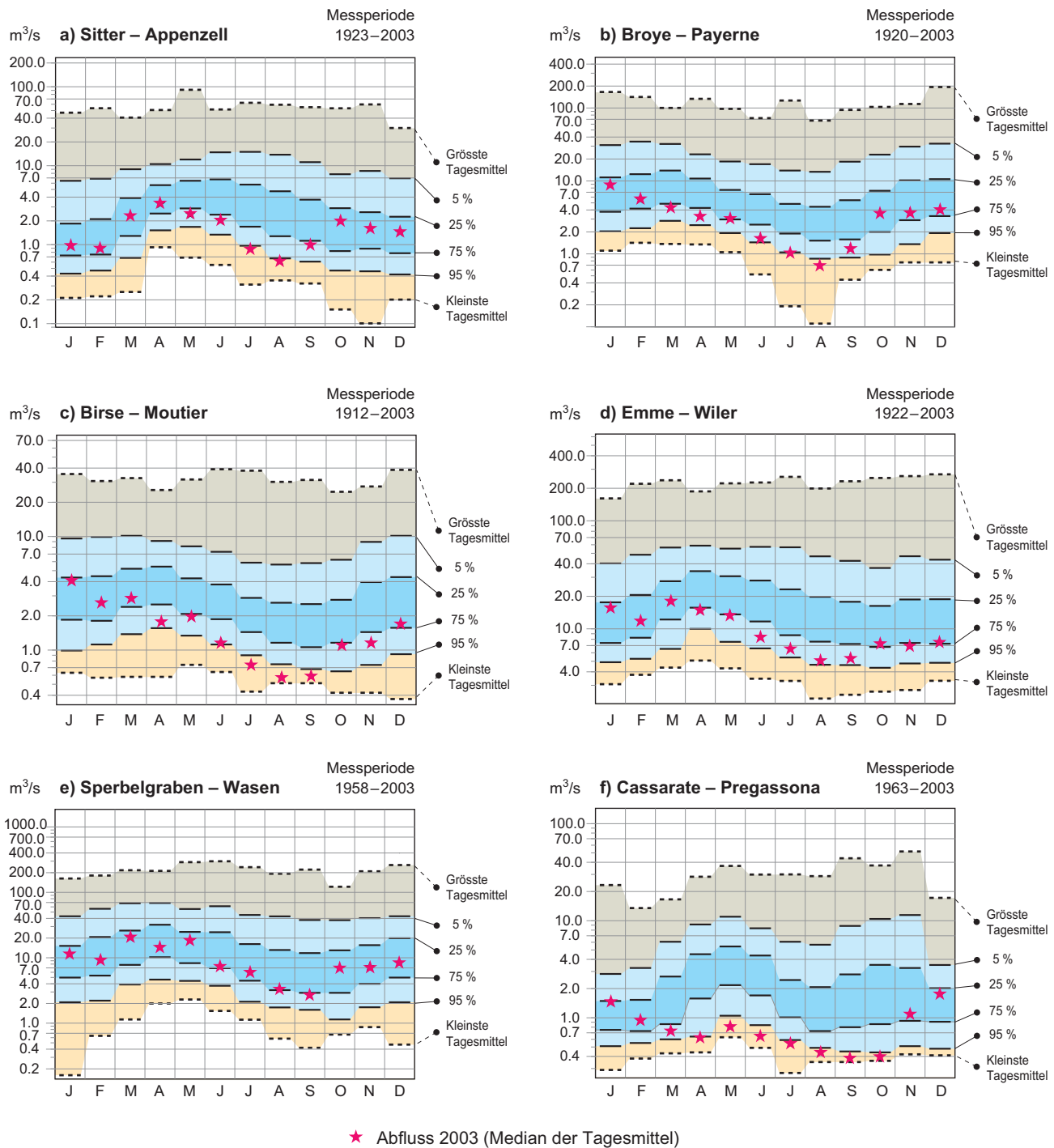


Abb. 3.4:

Monatliche Verteilung der Tagesmittel des Abflusses von ausgewählten Bächen und Flüssen mit pluvio-nivalem und pluvialem Regime.

Wie im Kapitel 3.2 erläutert, haben Trockenheit und Hitze je nach Einfluss der Schneeschmelze im Einzugsgebiet unterschiedliche Auswirkungen. So wiesen etliche Stationen mit einem nivalen bzw. nivo-pluvialen Regime im Februar 2003 relativ kleine Abflüsse auf (vgl. Abb. 3.4a). Die grosse Kälte in diesem Monat führte dazu, dass der wenige Niederschlag als Schnee fiel. Durch die früh einsetzende Schneeschmelze im März normalisierten sich die Abflüsse – trotz der einsetzenden Trockenheit. Da die Schneedecke insbesondere in mittleren Höhenlagen (1000 bis 2000 m) seit Ende Februar unterdurchschnittlich war und die milden Temperaturen im März und in der zweiten Hälfte April ein rasches Ausapern mit sich brachten, nahm der Einfluss der Schneeschmelze auf die Abflüsse schnell ab. Bei Stationen mit pluvialen Regimetyp – ohne ausgleichender Wirkung der Schneeschmelze – sanken die Abflüsse ab Februar aufgrund der ausbleibenden Niederschläge auf unterdurchschnittliches Niveau, wie das Beispiel der Broye in Payerne zeigt (Abb. 3.4b).

Die anhaltende Trockenheit bis in den Herbst bewirkte in allen Regionen den starken Rückgang der Abflüsse, was insbesondere im August zum Teil zu neuen Tiefstständen führte. Das Ausmass dieser Niedrigwasser ist einerseits durch die Hydrogeologie der Einzugsgebiete bestimmt: So waren Einzugsgebiete im Jura wegen des schlechten Speichervermögens des Karstes besonders stark von der Trockenheit betroffen (Beispiel Birse-Moutier, Abb. 3.4c). Dagegen weisen Messstationen in Gebieten mit grösseren Grundwasservorkommen weniger extreme Niedrigwasserabflüsse auf (Beispiel Emme-Wiler, Abb. 3.4d). Diese Gebiete konnten von den hohen Grundwasserständen aus dem vorangegangenen Herbst zehren. Der Einfluss der Hydrogeologie ist jedoch schwierig vom Einfluss der Niederschlagsverteilung abzugrenzen.

Im Juli, aber auch in der zweiten Hälfte August traten in einzelnen Regionen vermehrt kräftige Gewitter auf (vgl. Abb. 1.15c, S. 32). In den betroffenen Einzugsgebieten führte dies zu einer zumindest vorübergehenden Normalisierung der Abflüsse, so auch im Gebiet des Napfs (Sperbelgraben-Wasen, Abb. 3.4e). Das Beispiel des Sperbelgrabens zeigt im Übrigen, dass kleine Einzugsgebiete nicht *a priori* stärker unter der Witterung des Jahres 2003 gelitten haben als grosse Gebiete.

Ein nachhaltiger Anstieg der Abflüsse erfolgte auf der Alpennordseite erst nach ergiebigen Niederschlägen zu Beginn des Monats Oktober (insbesondere am 9.10.2003). Der Median der Tagesmittel im Oktober 2003 war in den besonders stark von den Niederschlägen betroffenen Regionen der Zentral- und Ostschweiz (vgl. Abb. 1.15c, S. 32) sogar eher überdurchschnittlich (Abb. 3.4a und e).

Besonders stark von der Trockenheit betroffen waren die Einzugsgebiete auf der Alpensüdseite. Wo die Schneeschmelze keine Rolle spielt, wurden schon ab März teilweise extrem kleine Abflüsse beobachtet. Erst Anfang November fielen grössere Niederschlagsmengen, die zur Normalisierung der Abflüsse führten (Beispiel Cassarate-Pregassona, Abb. 3.4f). Dieses Bild zeigte sich auch in den Grundwasserleitern (vgl. Kap. 5.4.3), so dass es im Tessin bei kleinen, isolierten Trinkwasserversorgungen von Juni bis November zu Engpässen kam (vgl. Kap. 10.2.2).

Station	Mess- periode	Fläche Einzugs- gebiet (km ²)	Mittlere Höhe (m)	Mittlerer Abfluss 2003 (m ³ /s)	Mittlerer Abfluss Periode (m ³ /s)	% (a)	kleinstes Jahresmittel der Periode (m ³ /s)	Jahr mit dem kleinsten Jahresmittel
Vorderrhein-Ilanz	1962–2003	776	2020	29,5	33,1	89	20,7	1972
Thur-Andelfingen	1904–2003	1696	770	31,4	47	67	23,3	1921
Aare-Brügg, Aegerten	1935–2003	8317	1150	187	245	76	150	1976
Linth-Weesen, Biäsche	1935–2003	1061	1580	39,8	55,1	72	37,5	1971
Limmat-Zürich, Unterhard	1938–2003	2176	1190	68,4	96,4	71	62,2	1949
Rhein-Rheinfelden	1935–2003	34550	–	787	1041	76	634	1949

Tab. 3.2 :

Einordnung der Jahresmittel

2003 ausgewählter Stationen
in grossen Einzugsgebieten

mit Mischregime oder
unterhalb von Seen in die
jeweilige Messperiode.

3.4.3 Grössere Einzugsgebiete mit Mischregime oder unterhalb von Seen

Flüsse mit einer Einzugsgebietsgrösse ab rund 500 km², aber auch solche unterhalb von Seen, weisen ein ausgeglicheneres Abflussregime auf als die zuvor beschriebenen Fliessgewässer. Die Abflussdefizite im Jahr 2003 fallen in diesen Flüssen zumeist etwas geringer aus als in den bisher betrachteten kleineren Fliessgewässern, wie Tab. 3.2 anhand einiger typischer Stationen zeigt.

Besonders geringe Defizite, in einigen Fällen sogar überdurchschnittliche Werte, zeigten die Flüsse mit einem hohen Schmelzwasseranteil, beispielsweise die Messstation Vorderrhein-Ilanz (Abb. 3.5a). Neben dem recht grossen Vergletscherungsanteil (3,8 %) spielen hier allerdings auch die Veränderungen des natürlichen Regimes durch Speicherkraftwerke eine Rolle. Auch der Grossteil der übrigen alpinen Einzugsgebiete ist stark von Stauseen beeinflusst.

Deutlich stärker machten sich die Auswirkungen der Trockenheit in jenen grösseren Einzugsgebieten bemerkbar, die weder Gletscher noch Seen aufweisen, wie das Beispiel Thur-Andelfingen zeigt (Abb. 3.5b). Der hydrographische Charakter dieser Einzugsgebiete im Jahr 2003 entspricht weitgehend dem im Kapitel 3.2 beschriebenen Verlauf in Einzugsgebieten ohne glazialen Einfluss.

Der Abfluss unterhalb eines Sees ist direkt vom Seestand abhängig: Je tiefer dieser fällt, desto kleiner wird der Seeausfluss. Allerdings sind in der Schweiz mit Ausnahme des Bodensees und des Walensees alle grösseren und auch viele der kleineren Seen reguliert (auf die Zusammenhänge zwischen Seestand, Regulierung und Abfluss wird im Kapitel 3.5 eingegangen). Als Beispiel für den Abfluss unterhalb eines regulierten Sees ist in Abb. 3.5c die Messstation Aare-Brügg am Ausfluss des Bielersees dargestellt; Abb. 3.5d zeigt den Abfluss unterhalb des nicht regulierten Walensees (Messstation Linth-Weesen). Bei vergleichbarem Vergletscherungsanteil (2,9 % bzw. 2,5 %) zeigen sich im Jahr 2003 doch recht deutliche Unterschiede. So fallen die Tagesmittelabflüsse in der Aare zwar von Juni bis September auf unter-

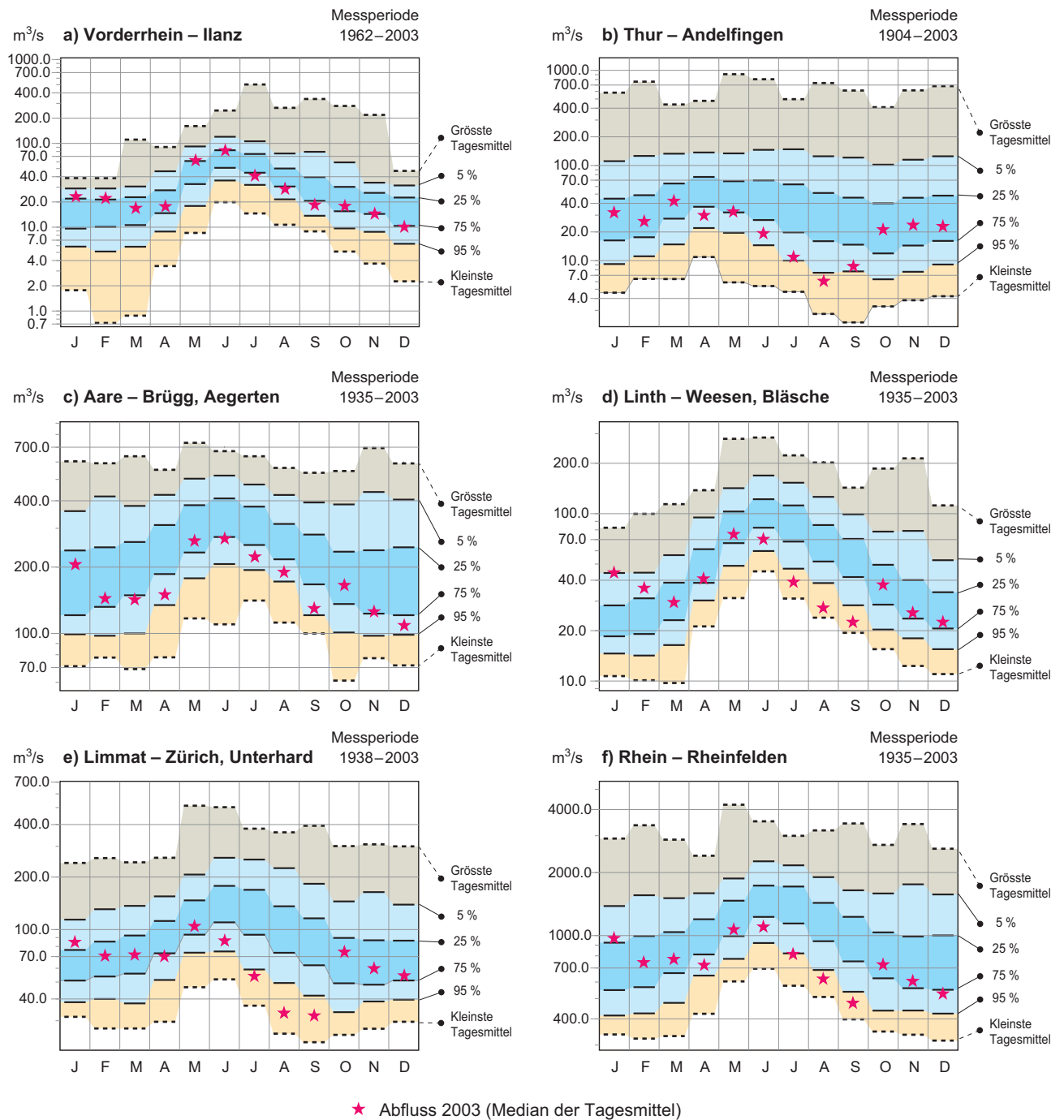


Abb. 3.5:
Monatliche Verteilung der Tagesmittel des Abflusses von ausgewählten Flüssen mit Mischregime.

Der Einfluss der Seeregulierung

Mit Ausnahme des Bodensees und des Walensees werden alle grösseren Seen in der Schweiz reguliert. Sie sind mit einem beweglichen Wehr versehen, mit dem unter Einhaltung gewisser Vorschriften (Regulierreglemente) der Seestand beeinflusst werden kann. Kleinere Seen verfügen oft über feste Wehre oder Schwellen, die ebenfalls eine regulierende Wirkung auf den Seestand ausüben. Durch die Regulierung wird nicht nur der Seestand, sondern auch die Wasserführung der untenliegenden Flüsse beeinflusst⁶.

durchschnittliche Werte, bleiben aber über dem extremen Bereich. Anders die Linth, die in den Monaten Juni bis September neue kleinste Tagesmittel aufwies.

Die Seeregulierung kann aber nicht in jedem Fall extreme Niedrigwasserabflüsse in den Unterliegern verhindern, wie das Beispiel der Limmat in Zürich beweist (Abb. 3.5e). Bedingt durch die geringen Zuflüsse (beispielsweise der Linth) fielen hier die Abflüsse von Juli bis September auf ausserordentlich tiefe Werte. Auf die Situation in der Limmat wird im Kapitel 3.5 im Zusammenhang mit der Seeregulierung näher eingegangen.

Keiner Regulierung unterliegt der Abfluss aus dem Bodensee. Im Rhein unterhalb des Bodensees sanken die Abflüsse insbesondere von Juli bis September auf ausserordentlich tiefe Werte. Dies gilt auch für den Rhein unterhalb des Zusammenflusses mit der Aare (Messstation Rhein-Rheinfelden, Abb. 3.5f), kumulieren sich doch hier die kleinen Abflüsse aus dem Bodensee mit den ungewöhnlichen Niedrigwassern der Limmat und – in etwas kleinerem Masse – der Reuss.

3.5 Die Seen im Jahr 2003

Die Seen wurden durch die speziellen Witterungsverhältnisse im Jahr 2003 in derselben Weise geprägt wie die Fliessgewässer. Der Unterschied liegt in der dämpfenden Wirkung durch den Seespeicher. Je grösser das Seevolumen ist, desto ausgeprägter ist dieser Effekt. Zu beachten ist, dass die meisten schweizerischen Seen reguliert sind (vgl. Kasten). Trotz dieser zusätzlichen ausgleichenden Wirkung wurden im Sommer 2003 auch in regulierten Seen einige aussergewöhnlich niedrige Pegelstände beobachtet.

Am Beispiel des Zürichsees (Abb. 3.6) ist die Wirkung der Regulierung deutlich zu erkennen. Die Schwankungsbreite zwischen den monatlichen Höchst- und Tiefständen hat mit der Seeregulierung ab 1951 deutlich abgenommen, und damit ist auch die Anzahl von extremen Hoch- oder Niederwasserständen zurückgegangen. Im Vergleich zur gesamten vorhandenen Messperiode ab 1877 wurden ab Juni bis und mit September 2003 zwar unterdurchschnittlich tiefe Pegelstände, aber keine Rekordwerte beobachtet. Wird dagegen nur die Periode ab 1951 berücksichtigt, handelt es sich bei den Monatsmitteln von August und September 2003 um neue

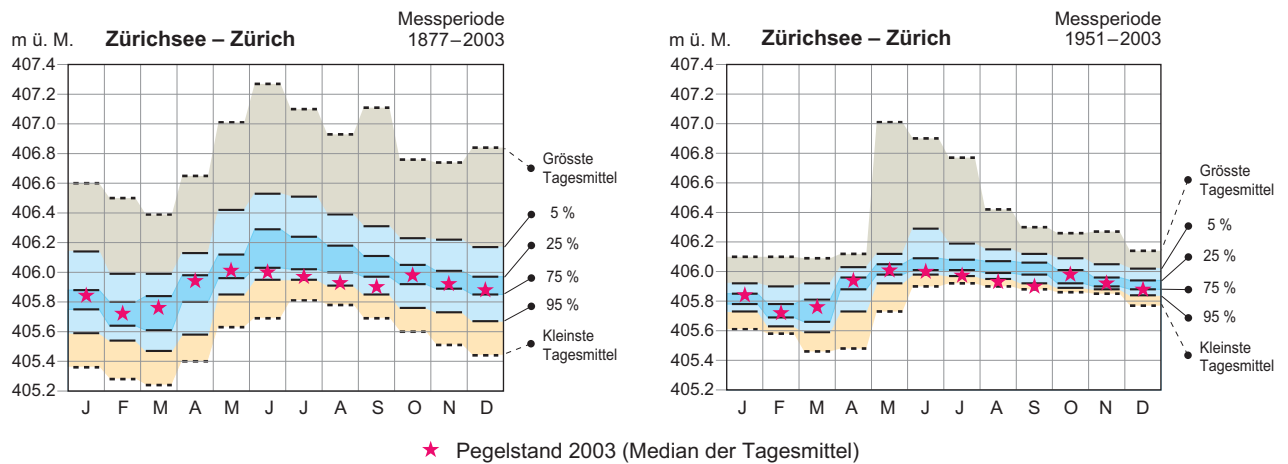


Abb. 3.6:

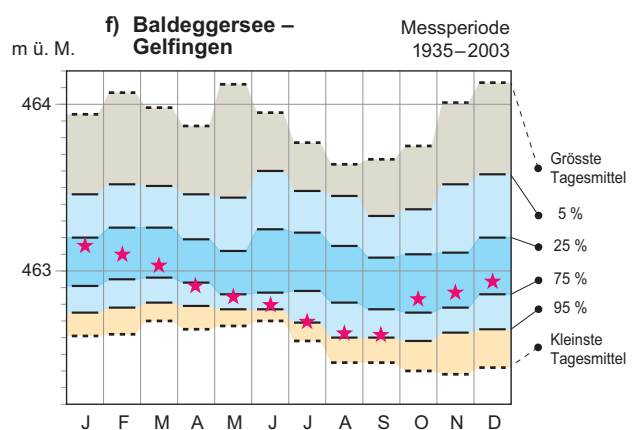
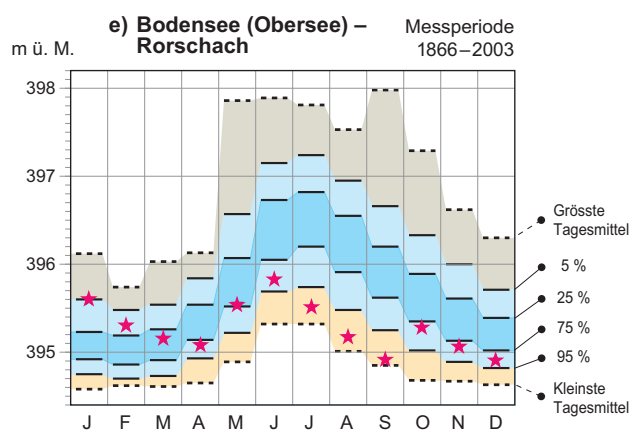
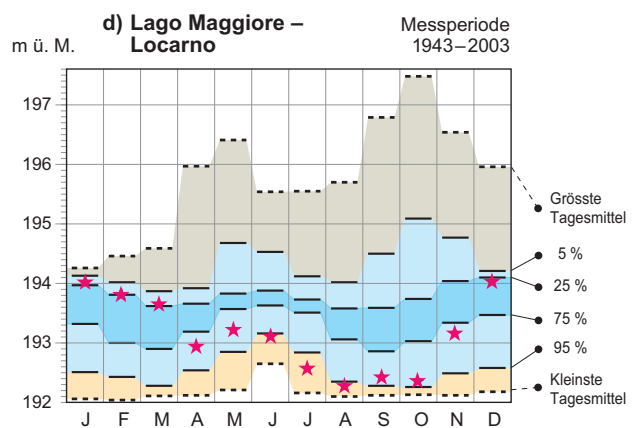
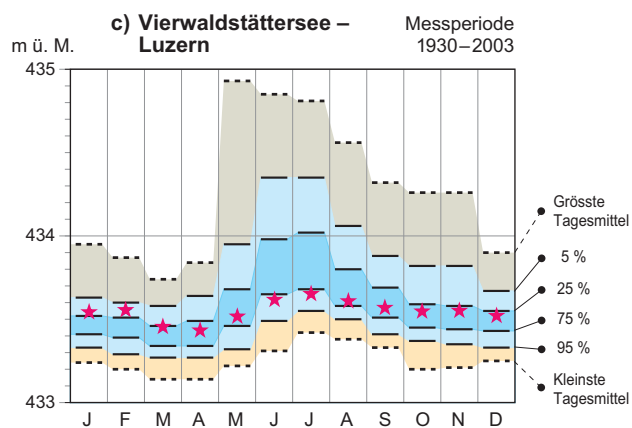
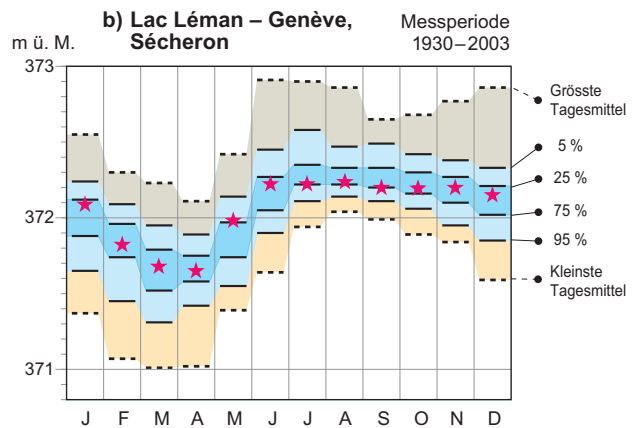
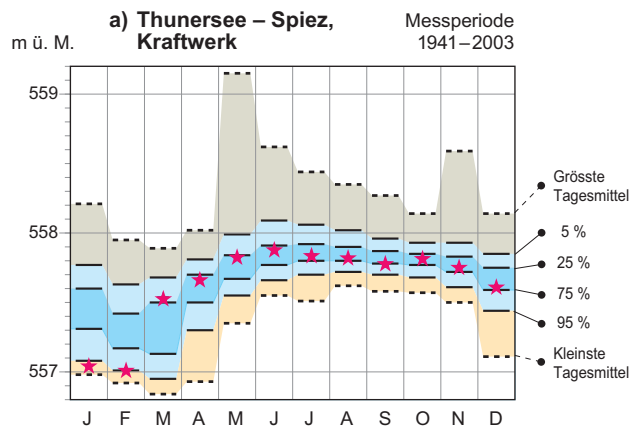
Monatliche Verteilung der Tagesmittel der Pegelstände am Zürichsee in den Perioden 1877–2003 (links) und 1951–2003 (rechts).

Minima. Tatsächlich traten in diesen Monaten Schwierigkeiten bei der Seeregulierung auf, lag doch der Seestand an der Untergrenze des Regulierreglements; vom 15. bis am 23. September lag er gar darunter. Aus Rücksicht auf die unterliegenden Gewässer kann in einem solchen Fall kein Abflussstopp erfolgen; das Ziel wäre aber, das Niveau des Seespiegels nicht mehr weiter sinken zu lassen. Vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) wurde daher zusammen mit den Betreibern des Lettenwehrs vereinbart, dass der Abfluss der Limmat aus dem Zürichsee dem Zufluss der Linth in den Zürichsee entsprechen sollte⁷.

In den Abb. 3.6 und 3.7 ist die monatliche Verteilung der Tagesmittel der Pegelstände für einzelne Messstationen dargestellt:

- Die roten Sterne geben den Median (50%-Quantil) der Tagesmittel des entsprechenden Monats im Jahr 2003 an. 50 % der Tagesmittel in einem Monat liegen über diesem Wert, die anderen 50 % darunter.
- Die farbigen Bänder zeigen den Bereich, in dem sich die Tagesmittel der Pegelstände während einer längeren Messperiode (jeweils bis und mit 2003) bewegen:
 - Das dunkelblaue Band liegt zwischen dem 25%-Quantil und dem 75%-Quantil. Während 50 % der Tage im entsprechenden Monat wurden Tagesmittel in diesem Bereich beobachtet, 25 % der Tagesmittel eines Monats waren kleiner, weitere 25 % grösser. Es handelt sich also gewissermassen um den «Normalpegelstand».
 - Nimmt man die beiden hellblauen Bänder hinzu, so liegen 90 % der Werte in diesem Bereich (zwischen dem 5%- und dem 95%-Quantil). Werte die im hellblauen Band unterhalb des dunkelblauen liegen sind unterdurchschnittlich. Sie treten aber immerhin während 20 % aller Tage auf. Dies gilt auch für die überdurchschnittlichen Werte im oberen hellblauen Band.
 - Das graugrüne Band entspricht den 5 % grössten Tagesmitteln, die während der Messperiode auftraten.
 - Das ockergelbe Band zeigt die 5 % kleinsten Tagesmittel. Werte in diesem Bereich sind ausserordentlich tief.

Zur Interpretation der Diagramme der Pegelstände in Seen



★ Pegelstand 2003 (Median der Tagesmittel)

Abb. 3.7:

Monatliche Verteilung der Tagesmittel der Pegelstände in ausgewählten Seen.

Keine Probleme mit der Seeregulierung ergaben sich im Brienzer- und im Thunersee. Ersterer wies aufgrund seines stark glazial geprägten Einzugsgebietes im Vergleich zu anderen Jahren überdurchschnittliche Wasserstände auf, bei letzterem fallen lediglich die tiefen Wasserstände im Januar und Februar auf (Abb. 3.7a). Diese haben ihre Ursache in einer reglementsgemässen Absenkung des Sees, die alle vier Jahre stattfindet und zur Durchführung von Arbeiten dient, die einen tiefen Seestand bedingen (z.B. Unterhalt der Uferböschungen)⁸. Dank der grossen Zuflüsse im März aufgrund der früh einsetzenden Schneeschmelze stieg der Seestand rasch wieder auf normale Werte. Der Abfluss der Aare unterhalb des Thunersees konnte daher praktisch während des ganzen Jahres auf durchschnittlichen Werten gehalten werden, nur im September fiel er deutlich darunter (vgl. Kap. 5.4.1, Abb. 5.5, S. 101). In der Folge ergaben sich im Dreiseen-System von Murten-, Neuenburger- und Bielersee ebenfalls keinerlei Schwierigkeiten bei der Einhaltung der Seeregulierungsreglemente.

Auf üblichem Niveau bewegten sich die Wasserstände des Genfersees (Lac Léman, Abb. 3.7b). Diese Aussage gilt auch dann, wenn nur die im gleichen Mass durch Kraftwerke beeinflusste Periode ab 1974 berücksichtigt wird. Dies entspricht der Erwartung, ist das Einzugsgebiet des Genfersees doch relativ stark vergletschert (rund 10 % der Einzugsgebietsfläche).

Etwas grösser sind die Abweichungen im Fall des Vierwaldstättersees (Abb. 3.7c). Bereits im Juni wurden unterdurchschnittliche Wasserstände registriert, obwohl der grösste Seezufluss (Reuss) zu dieser Zeit noch durchaus übliche Werte aufwies. Das Defizit in weiteren bedeutenden Zuflüssen (Muota, Sarner Aa) konnte von der Reuss nicht wettgemacht werden. Auch im Juli blieben die Wasserstände unter der Norm. Der geringe Abfluss in Luzern führte dann im August und September zur Erholung des Seestands.

Unterschiedlich stark von der Trockenheit betroffen waren die Tessiner Seen. Während der Lago di Lugano in den Monaten April bis Oktober unterdurchschnittliche, aber im Vergleich zur Messperiode ab 1930 keine ausserordentlichen Wasserstände aufwies, wurden im Lago Maggiore von Juni bis August extrem tiefe Pegel registriert (Abb. 3.7d), mit überraschenden Folgen für die trockengefallenen Strände und Seeböden (vgl. Kap. 6, Kasten S. 120). Wegen des grossen Wasserbedarfs in Norditalien für Bewässerung und Stromproduktion – die bei der Seeregulierung Vorrang haben – sank der Seestand im Juli und August stark ab. Im Lago di Lugano hingegen gibt es einen (inoffiziellen) Schwellenwert, bei dessen Unterschreiten nur noch soviel Wasser ausfliessen darf wie zufliesst⁹.

Noch grössere Auswirkungen hatte die Trockenheit beim grössten unregulierten See der Schweiz, dem Bodensee. Hier wurden im August und September die bisherigen kleinsten Monatsmittel der gesamten Messperiode ab 1866 – sie stammen aus dem Trockenjahr 1949 – egalisiert bzw. untertroffen (Abb. 3.7e), mit negativen Folgen für die Schifffahrt auf dem Untersee und dem Hochrhein (vgl. Kap. 12.2). Auffallend ist, dass die sommerlichen Rekordwerte nach einem ausserordentlich hohen Wasserstand im Januar zustande kamen.

Stark betroffen von der Trockenheit waren auch die kleineren Seen ohne glazial geprägte Zuflüsse, wie beispielsweise der Baldeggersee im Kanton Luzern (Abb. 3.7f) – unabhängig davon, ob ein Regulierwehr vorhanden ist oder nicht. Das Speichervolumen der kleinen Seen ist zu gering, um längerfristig unterdurchschnittliche Zuflüsse ausgleichen zu können.

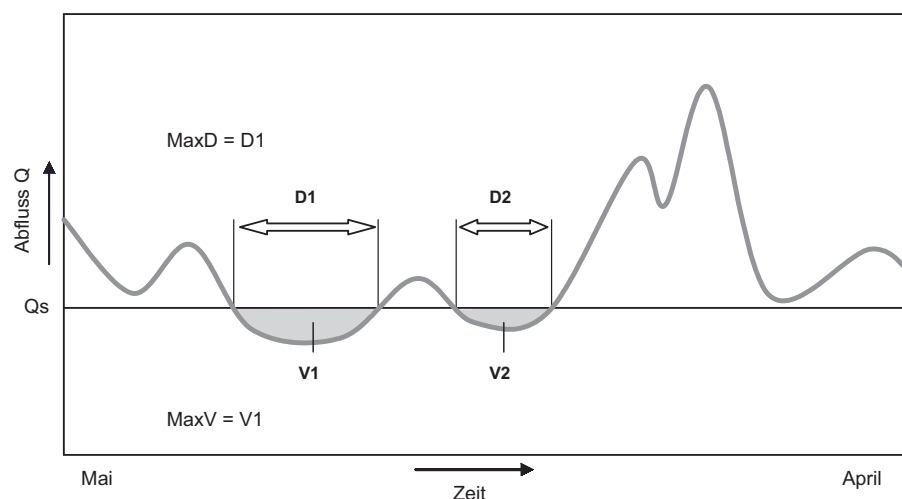
3.6 Historische Einordnung

3.6.1 Niedrigwasser-Kenngrößen

Ende 2003 ist im BWG die sogenannte Niedrigwasser-Datenbank NQStat fertiggestellt worden. Darin sind von 344 aktuellen und aufgehobenen Abflussmessstationen der Schweiz verschiedene Niedrigwasser-Kenngrößen aufbereitet und statistisch ausgewertet. Im Rahmen dieses Berichts wurden für das Jahr 2003 die Niedrigwasser-Kenngrößen von 66 Stationen berechnet. Anhand der Datenbank konnte dann die Wiederkehrperiode (Jährlichkeit) bestimmt werden. Untersucht wurden die folgenden Kenngrößen (Abb. 3.8):

- $NMxQ$ [m^3/s bzw. l/s]: Tiefstes arithmetisches Mittel einer bestimmten Anzahl (1, 7, 14 oder 30) aufeinanderfolgender Tagesmittel-Abflusswerte innerhalb eines NQ-Jahres (siehe Kasten).
- $MaxD$ [Tage]: Längste ununterbrochene Unterschreitungsdauer eines Abfluss-Schwellenwertes Q_s innerhalb eines NQ-Jahres. Als Q_s wurde hier das Q_{347} der Periode gewählt.
- $MaxV$ [m^3 oder mm]: Grösste Fehlmenge (Volumen) zwischen der Abfluss-Ganglinie und Abfluss-Schwellenwert Q_s innerhalb eines NQ-Jahres. Als Q_s wurde das Q_{347} der Periode gewählt. Q_{347} ist jene Abflussmenge, die in der gewählten Periode durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht bzw. überschritten wird. Sie ist von Messstation zu Messstation unterschiedlich.

Abb. 3.8:
Illustration der Niedrigwasser-Kenngrößen $MaxD$ und $MaxV$ anhand einer fiktiven Abfluss-Ganglinie.
 Q_s = Abfluss-Schwellenwert.



Die niedrigwasserspezifische Jahreseinteilung dauert in der Schweiz grundsätzlich vom 1. Mai bis zum 30. April des Folgejahres. Diese Einteilung wurde gewählt, weil im April und Mai aufgrund der Schneeschmelze selten Niedrigwasser auftreten. Dadurch ist die Unabhängigkeit der einzelnen Niedrigwasserereignisse gewährleistet – eine Voraussetzung für statistische Berechnungen. Im Jahr 2003 beziehen sich die Kenngrößen nur auf die Zeit von Beginn des NQ-Jahres bis zum 31. Dezember 2003. Mit dieser Zeitspanne werden die Auswirkungen der sommerlichen Trockenheit des Jahres 2003 auf den Abfluss zur Genüge erfasst. Nur in hochalpinen Einzugsgebieten, wo ohnehin kaum extreme Niedrigwasser auftraten, registriert man die tiefsten Abflüsse normalerweise erst im Winter.

Das NQ-Jahr

Gesamtübersicht

Die Ergebnisse dieser Analyse sind in tabellarischer Form am Ende dieses Kapitels aufgeführt (Anhang 1, S. 67) und lassen sich wie folgt zusammenfassen: Von den 66 ausgewerteten Stationen weisen 24 bei der Niedrigwasser-Kenngrösse NM7Q Jährlichkeiten von über 10 Jahren auf. Je 22 Stationen sind es bei den Kenngrößen NM14Q und NM1Q, 18 bei den NM30Q, 12 bei den MaxV (Volumen) und lediglich 9 Stationen bei der Kenngrösse MaxD (Dauer). Zudem konzentrieren sich Jährlichkeiten über 50 Jahre auf die Kenngrößen NM1Q und NM7Q. Daraus kann man ableiten, dass die Auswirkungen der Trockenheit des Jahres 2003 auf die Abflüsse während ein bis zwei Wochen zwar sehr intensiv waren, dann aber durch Regenfälle entschärft wurden.

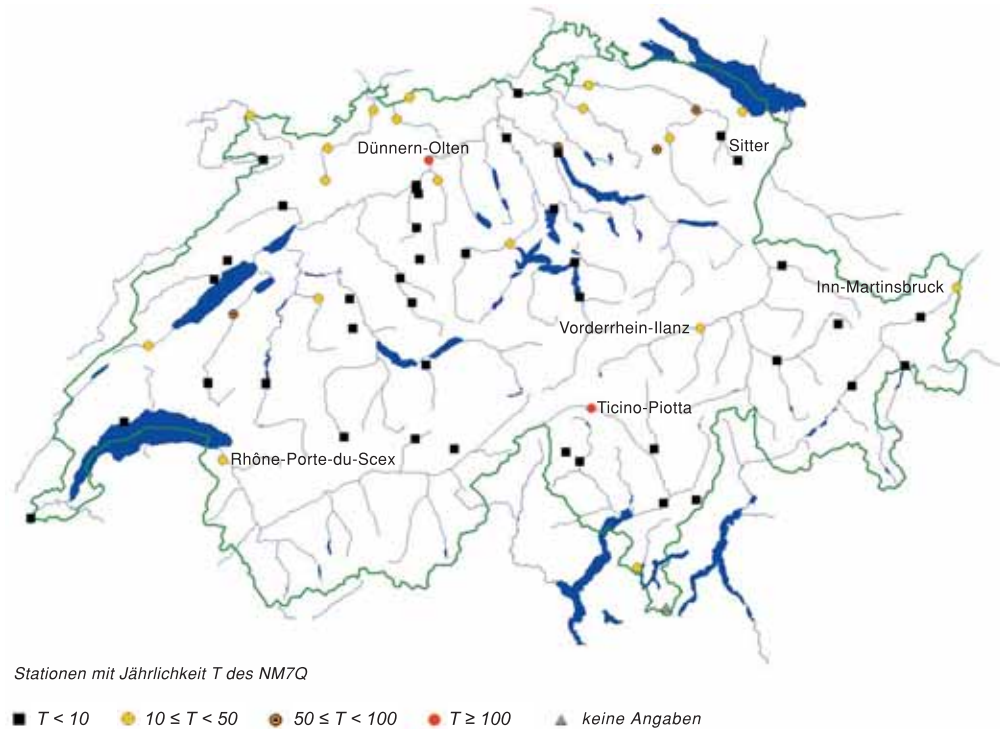
Auch die Tatsache, dass nur wenige Stationen bei der Kenngrösse MaxD eine hohe Jährlichkeit aufweisen, deutet auf die zeitliche Limitierung der akuten Trockenphase hin. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass der Abfluss in einigen Fällen den gewählten Schwellenwert Q_{347} lediglich kurzfristig und knapp überschritten hat, wodurch die an sich lange Trockenphase in zwei kürzere Teilperioden unterteilt worden ist. Wäre ein etwas höherer Schwellenwert gewählt worden, hätte in diesen Fällen wahrscheinlich eine deutlich höhere Jährlichkeit der Kenngrösse MaxD resultiert. Die Interpretation von Niedrigwasser-Kenngrößen, bei denen zur Bestimmung ein Schwellenwert festgelegt werden muss, sollte also mit grosser Vorsicht erfolgen.

Beispiel NM7Q: vertiefte Betrachtung

Anhand der Kenngrösse NM7Q, die bei der grössten Zahl von Stationen hohe Jährlichkeiten verzeichnete, wurde die Niedrigwassersituation etwas genauer untersucht. Jährlichkeiten von über 10 Jahren registrierten in erster Linie Fliessgewässer, deren Einzugsgebiet im Mittelland, im Jura und in den Voralpen liegen (vgl. Abb. 3.9). Innerhalb dieser Gruppe weisen relativ viele Stationen im nördlichen Jura und in der Nordostschweiz Jährlichkeiten von über 10 Jahren auf. Im zentralen und westlichen Mittelland sind es dagegen nur wenige. Ein Extremfall ist die Dünern bei Olten, die eine Jährlichkeit von über 100 Jahren zeigt (vgl. Kap. 7.2.2, Kasten S. 130).

Ein klares räumliches Muster lässt sich allerdings nicht erkennen; selbst nahe beieinander liegende Einzugsgebiete scheinen teilweise unterschiedlich reagiert zu haben. So verzeichneten zum Beispiel die Stationen nördlich von Neuenburger- und

Abb. 3.9:
Jährlichkeiten (T) der
NM7Q-Werte von 66 aus-
gewählten Abflussmess-
stationen im NQ-Jahr 2003
(nur bis 31.12.2003).



Bielерsee im Gegensatz zu den übrigen Jura-Stationen keine Jährlichkeiten über 10 Jahren. Dies ist auf die lokal ergiebigen Niederschlagsereignisse zurückzuführen, die im Juli und August in diesem Gebiet niedergingen (vgl. Abb. 1.15c, S. 32). In der Nordostschweiz registrierten fast alle Stationen Jährlichkeiten über 10 Jahre, an der Sitter jedoch nicht. Hier scheinen die grossen Schneereserven des Säntis den Abfluss nachhaltig erhöht zu haben. Diese räumliche Variabilität ist allerdings für ein topographisch reich gegliedertes Gebiet wie der Schweiz eher typisch. Lokale Gegebenheiten wie Exposition, Relief und Bodenspeicherkapazität können auf kleinem Raum stark variieren; ebenso die Schneerücklagen des Winters oder die Niederschlagsmengen bei lokalen Gewittern. Zudem muss betont werden, dass in der Niedrigwasserstatistik nicht für alle Stationen gleich lange Datenreihen zur Verfügung standen (vgl. «NQ-Periode» in Anhang 1, S. 67). Insbesondere bei relativ kurzen Datenreihen wird die Jährlichkeit davon beeinflusst, ob ein bestimmtes Trockenjahr – etwa 1976 – berücksichtigt wurde oder nicht.

Von den Stationen im Alpenraum weist die Station Ticino-Piotta eine extrem hohe Jährlichkeit von über 100 Jahren auf. Auch die Stationen Vorderrhein-Ilanz, Rhône-Porte-du-Scex und Inn-Martinsbruck erreichten eine Jährlichkeit von knapp über 10 Jahren. Ticino-Piotta liegt an einer eigentlichen Restwasserstrecke; die anderen drei Stationen sind zwar ebenfalls stark beeinflusst durch Stauseen und Kraftwerke, liegen aber unterhalb der Nutzwasserrückgabe.

Die Niedrigwasser-Kenngrösse NM7Q trat an den mittelländischen und jurassischen Stationen (ohne alpin beeinflusste Mischregimes) durchwegs im August oder im September auf; einzig an der Aubonne bei Allaman wurde das NM7Q bereits

im Juli beobachtet (Anhang 2, S. 68). Ganz anders präsentiert sich die Situation im Alpenraum: Dort traten die NM7Q fast ausschliesslich gegen Ende Jahr auf. In den meisten Fällen haben sich die Niedrigwasser im weiteren Verlauf des Winters 2003/2004 noch verschärft, was aber ausserhalb des hier betrachteten Zeitraums liegt und deshalb nicht näher untersucht wurde. Winterliche Niedrigwasser sind typisch für alpine Gewässer, da mit der Kälte der Niederschlag in Form von Schnee und Eis gespeichert wird und erst im Frühjahr zum Abfluss kommt.

3.6.2 Vergleich der Trockenjahre 1947, 1976 und 2003

Monatsmittel des Abflusses

Die folgenden Abschnitte beziehen sich auf diejenigen 16 der 66 oben betrachteten Stationen, deren Datenreihen in der Niedrigwasser-Datenbank NQStat bis mindestens 1947 zurückreichen. Für die drei Trockenjahre 1947, 1976 und 2003 werden jeweils die meteorologischen Verhältnisse zusammengefasst und anschliessend die Monatsabflüsse der 12 Stationen in nicht glazial beeinflussten Einzugsgebieten im Vergleich zur Periode betrachtet. Die vier Stationen in vergletscherten Einzugsgebieten werden anschliessend in einem separaten Abschnitt behandelt.

1947: Das Jahr 1947 war insbesondere auf der Alpennordseite extrem niederschlagsarm (vgl. Kap. 1.3, Abb. 1.15a, S. 30). Nach starken Niederschlägen im März hielten die Niederschlagsdefizite von April bis und mit Oktober ununterbrochen an. Erst im November wurde die Trockenheit durch ergiebige Niederschläge entschärft, die in der Ostschweiz bis zu 300% der üblichen Monatssumme brachten. Ebenfalls aussergewöhnlich waren die Temperaturen: in den Monaten April bis Oktober wichen die mittleren Lufttemperaturen an den meisten Messstationen der Schweiz um +2 bis +4 °C vom Normalwert der Jahre 1901–1960 ab¹⁰.

Bei den ausgewählten Stationen in Gebieten ohne Vergletscherung liegen die mittleren Monatsabflüsse im Januar im Normalbereich (81–137% des langjährigen Monatsmittels, vgl. Anhang 3, S. 69). Der Februar war dann – ausser bei der Sihl in Zürich – sehr abflussarm (25–45%), während der regenreiche März überdurchschnittliche Abflussmengen aufweist (139–236%). Von April bis und mit Oktober führten die Gewässer an allen hier betrachteten Stationen sehr wenig Wasser; am extremsten waren die Defizite im September (8–28%) und im Oktober (9–29%), in der letzten Phase der lang anhaltenden Trockenperiode. Das Novembermittel überschritt dann den Normalwert insbesondere an der Sitter in Appenzell und der Thur in Andelfingen, etwas weniger ausgeprägt auch an der Sihl in Zürich und der Emme in Emmenmatt. Die anderen Stationen registrierten 19–101% des langjährigen Monatsmittels. Im Dezember lagen die Abflüsse ausser an der Station Gürbe-Belp (43%) wieder einigermassen im Normalbereich (65–126%).

Über das gesamte Jahr 1947 betrachtet flossen an diesen Stationen lediglich 51–81% der üblichen Wassermenge ab.

1976: Vom Dezember 1975 bis Juni 1976 fiel in der Schweiz generell deutlich weniger Niederschlag als normal. Erst der Juli brachte verbreitet überdurchschnittliche Niederschläge, ausgenommen im Tessin. Der August war dann wieder zu trocken. Ab September normalisierten sich dann die Niederschlagsmengen auf der Alpennordseite, während im Tessin extrem nasse Witterung herrschte^{10,11}. Im Gegensatz zu 1947 wurde die Trockenheit von etwas weniger hohen Temperaturen begleitet.

Die Trockenheit im Jahr 1976 zeichnet sich dadurch aus, dass sie bereits im Januar voll ausgeprägt war. Bis und mit Juni wiesen alle hier betrachteten Stationen ohne glazialen Einfluss unterdurchschnittliche Monatsabflüsse auf. Der verhältnismässig kleinste Monatsabfluss wurde im Juni mit 23 % des Periodenmittels an der Broye in Payerne registriert. Im Juli floss an den Stationen Sihl-Zürich und Töss-Neftenbach und im September an den Stationen Sitter-Appenzell und Thur-Andelfingen überdurchschnittlich viel Wasser ab; ansonsten blieben die Abflüsse jedoch unter dem Mittel. Die etwas reichlicheren Niederschläge ab Juli vermochten also die hydrologische Trockenheit vielerorts nicht zu beenden. Erst im Dezember wurden an praktisch allen ausgewählten Stationen überdurchschnittliche Abflusswerte verzeichnet. Die Jahresabflussmittel lagen 1976 mit 55–78 % der Normalwerte in ähnlicher Grössenordnung wie im Jahr 1947.

2003: Das Jahr 2003 war gesamtschweizerisch niederschlagsarm. Von Februar bis und mit September wurden in den meisten Gebieten deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen registriert (vgl. Kap. 3.4 und Kap. 1.3, Abb. 1.15c, S. 32). Wo gewittrige Schauer niedergingen, traten in einzelnen Monaten lokal normale bis überdurchschnittliche Summen auf; so z.B. im August im Nordtessin, im Wallis, im Genferseegebiet sowie zwischen Neuenburger-, Bieler- und Murtensee. Die meteorologische Trockenheit wurde im Oktober durch überrnormale Niederschlagsmengen meistens beendet; einzig im Tessin und Oberwallis dauerte sie bis in den November. November und Dezember waren – ausser auf der Alpensüdseite – wiederum trocken. Begleitet wurde die Trockenheit von aussergewöhnlich hohen Temperaturen. Insbesondere die Monate Juni und August brachen verbreitet Rekorde (vgl. Kap. 1.2).

Im Januar wurden an den ausgewählten Stationen ohne Vergletscherung normale bis leicht überdurchschnittliche Abflüsse erreicht, im Februar und März normale bis tiefe. Von April bis September lagen die Monatsmittel an allen hier betrachteten Stationen durchgehend unter dem Monatsmittel der jeweiligen Periode. Der verhältnismässig kleinste Monatsabfluss wurde – wie schon 1947 – im September an der Station Ergolz-Liestal verzeichnet (16 % des langjährigen Monatsmittels). Im Oktober entschärfte sich die Trockenheit ein wenig, sieben Stationen registrierten sogar überdurchschnittliche Abflusswerte. November und Dezember waren wiederum abflussarm, wenn auch nicht mehr so extrem wie im August und September. Ähnlich wie schon 1947 und 1976 flossen im Jahr 2003 an diesen Stationen nur 53–72 % der üblichen Wassermenge ab.

Bezüglich der Jahresabflussmenge unterscheiden sich die drei betrachteten Jahre kaum voneinander. Im Jahr 1947 fielen jedoch einzelne Monatsmittel auf bis zu lediglich 8 % des Normalwerts, im Jahr 2003 auf bis zu 16 %. Im Jahr 1976 sanken die Monatsmittel nicht so tief unter den Durchschnitt (minimal 23 % des Periodenmittels). Diese Differenzen ergeben sich aus den meteorologischen Verhältnissen der betreffenden Jahre, aber auch aus der jeweiligen Vorgeschichte. So konzentrierte sich die Trockenheit im Jahr 1976 auf die erste Jahreshälfte, als der Abfluss noch von den Boden- und Schneespeicherreserven des Winterhalbjahres gespeist wurde. Für die Landwirtschaft waren die Folgen demgegenüber gravierend, da die Pflanzen in ihrer frühen Wachstumsphase auf viel Feuchtigkeit angewiesen sind. Auch im Jahr 2003 ist es wahrscheinlich vielerorts den Boden- und Grundwasservorräten aus dem niederschlagsreichen Herbst 2002 zu verdanken, dass der Abfluss nicht noch tiefer sank. Dem Jahr 1947 ging allerdings schon ein trockener Herbst voran, so dass die Bodenspeicher keine grosse Wirkung auf den Abfluss der Fliessgewässer entfalten konnten.

Spezielle Abflussverhältnisse herrschten in den Einzugsgebieten, die einen gewissen Vergletscherungsanteil aufweisen (Landquart-Felsenbach, Lütschine-Gsteig, Sarine-Broc und Aare-Murgenthal; Sitter-Appenzell gehört mit einem Vergletscherungsanteil von nur 0,08 % nicht zu dieser Gruppe). Das stark vergletscherte Einzugsgebiet der Lütschine in Gsteig zeigt in den Jahren 1947 und 2003 einen durchschnittlichen Jahresabfluss. Im Jahr 1947 floss nur gerade im Februar und im Oktober, im Jahr 2003 im September sowie im November deutlich zu wenig Wasser ab; ansonsten lagen in diesen beiden Jahren die Monatsabflüsse im Normalbereich oder gar darüber. Dies ist auf die intensive Schnee- und Gletscherschmelze infolge der Hitze zurückzuführen (vgl. Kap. 3.4.1). Im Jahr 1976 verzeichnete auch diese Station ausser im Oktober unterdurchschnittliche Abflusswerte; dies liegt in erster Linie an den tieferen Temperaturen.

Bei den weniger stark vergletscherten Einzugsgebieten der Stationen Landquart-Felsenbach, Sarine-Broc sowie Aare-Murgenthal wird der Einfluss der Gletscherschmelze von den Auswirkungen der Trockenheit überprägt.

Niedrigwasser-Kenngrössen

Die Analyse von Monatsmitteln allein ist wenig aussagekräftig, da sich Trockenperioden oft über die Monatsgrenzen hinaus erstrecken. Bei hohen Abflüssen zu Beginn bzw. am Ende des betreffenden Monats kann die Niedrigwasserphase in den Monatsmitteln praktisch untergehen. Deshalb werden in der Folge die Niedrigwasser-Kenngrössen und Ganglinienverläufe untersucht.

Die Rangierung, wie sie sich aus der Betrachtung der maximalen Unterschreitungen der Monatsmittel ergab (s. weiter oben), bestätigt sich beim Vergleich der Niedrigwasser-Kenngrössen (Tab. 3.3, S. 64 und Abb. 3.10, S. 65). Im Jahr 1947 verzeichneten alle hier betrachteten Stationen ohne glazialen Einfluss bei mindestens einer Kenngrösse eine Jährlichkeit von über 10 Jahren. Bei vielen Stationen wurden sogar Jährlichkeiten von über 100 Jahren erreicht.

1947

Station	NQ-Periode	NM1Q [m³/s]	NM7Q [m³/s]	NM14Q [m³/s]	NM30Q [m³/s]	MaxD [d]	MaxV [mm]
Landquart-Felsenbach	1921–1997	5.9	6.38	6.62	6.94	1	0.008
Sitter-Appenzell	1923–1997	0.36	0.38	0.39	0.42	31	4.215
Thur-Andelfingen	1904–1997	2.24	2.57	2.94	4.11	30	7.806
Töss-Neftenbach	1941–1997	0.71	0.92	0.94	1.02	50	8.746
Ergolz-Liestal	1934–1997	0.1	0.1	0.12	0.17	108	7.531
Birse-Moutier	1923–1997	0.54	0.57	0.59	0.61	77	8.508
Birs-Münchenstein	1917–1997	1.3	1.62	1.66	1.78	48	5.339
Lütschine-Gsteig	1923–1997	3.67	3.91	4.1	5.34	0	0.000
Gürbe-Belp	1922–1997	0.1	0.15	0.17	0.23	48	17.206
Sarine-Broc	1922–1997	3.52	3.72	4.04	4.24	15	1.750
Sense-Thörishaus	1928–1997	0.84	0.87	0.89	1.14	29	6.124
Broye-Payerne	1920–1997	0.66	0.69	0.71	0.73	87	7.957
Emme-Emmenmatt	1918–1997	0.58	0.66	0.74	0.82	45	8.864
Aare-Murgenthal	1916–1997	94.5	96.84	99	102.2	33	6.277
Sihl-Zürich	1938–1998	1.1	1.23	1.28	1.33	39	13.238
Doubs-Ocourt	1921–2000	1.39	2.33	2.37	2.49	72	9.997

1976

Station	NQ-Periode	NM1Q [m³/s]	NM7Q [m³/s]	NM14Q [m³/s]	NM30Q [m³/s]	MaxD [d]	MaxV [mm]
Landquart-Felsenbach	1921–1997	6.1	6.59	6.62	6.76	0	0.000
Sitter-Appenzell	1923–1997	0.58	0.67	0.68	0.8	0	0.000
Thur-Andelfingen	1904–1997	5.37	5.93	7.17	9.77	13	1.491
Töss-Neftenbach	1941–1997	1.33	1.48	1.7	1.94	8	0.579
Ergolz-Liestal	1934–1997	0.28	0.31	0.34	0.48	15	0.503
Birse-Moutier	1923–1997	0.65	0.76	0.8	0.9	10	0.576
Birs-Münchenstein	1917–1997	1.77	2.16	2.33	2.79	14	0.915
Lütschine-Gsteig	1923–1997	2.31	2.34	2.37	2.54	13	0.187
Gürbe-Belp	1922–1997	0.24	0.33	0.39	0.61	20	4.150
Sarine-Broc	1922–1997	4.97	5.45	5.77	6.26	2	0.031
Sense-Thörishaus	1928–1997	1.22	1.36	1.54	1.94	14	1.610
Broye-Payerne	1920–1997	0.52	0.62	0.67	0.76	34	3.315
Emme-Emmenmatt	1918–1997	1.15	1.47	1.56	2.1	14	1.020
Aare-Murgenthal	1916–1997	121	127	132.86	142.23	2	0.051
Sihl-Zürich	1938–1998	2.6	2.7	2.78	2.94	3	0.051
Doubs-Ocourt	1921–2000	4.06	4.4	4.48	4.97	15	0.478

2003

Station	NQ-Periode	NM1Q [m³/s]	NM7Q [m³/s]	NM14Q [m³/s]	NM30Q [m³/s]	MaxD [d]	MaxV [mm]
Landquart-Felsenbach	1921–1997	6.43	6.91	7.32	7.79	0	0.000
Sitter-Appenzell	1923–1997	0.43	0.50	0.64	0.80	6	0.361
Thur-Andelfingen	1904–1997	4.26	4.92	6.08	7.75	12	2.123
Töss-Neftenbach	1941–1997	0.94	1.00	1.20	1.30	14	2.059
Ergolz-Liestal	1934–1997	0.17	0.18	0.23	0.29	19	1.241
Birse-Moutier	1923–1997	0.51	0.53	0.56	0.64	28	3.730
Birs-Münchenstein	1917–1997	1.71	1.78	1.92	2.42	21	1.794
Lütschine-Gsteig	1923–1997	3.09	3.39	3.50	4.19	0	0.000
Gürbe-Belp	1922–1997	0.49	0.54	0.57	0.69	15	1.784
Sarine-Broc	1922–1997	3.63	5.84	6.27	6.97	2	0.264
Sense-Thörishaus	1928–1997	1.05	1.19	1.33	1.66	18	2.769
Broye-Payerne	1920–1997	0.36	0.41	0.56	0.80	15	2.169
Emme-Emmenmatt	1918–1997	1.47	1.57	1.90	2.16	9	0.503
Aare-Murgenthal	1916–1997	124.66	125.95	127.18	143.07	3	0.004
Sihl-Zürich	1938–1998	2.17	2.56	2.64	2.86	7	0.255
Doubs-Ocourt	1921–2000	4.17	4.29	4.61	4.70	13	0.388

Tab. 3.3:

Niedrigwasser-Kenngrössen von 16 ausgewählten Stationen für die Jahre 1947, 1976 und 2003.

Wiederkehrperiode (Jährlichkeit):

☐ <10 Jahre
 ☐ 10–50 Jahre
 ☐ 50–100 Jahre
 ☐ >100 Jahre
☐ keine Angaben

Im Jahr 2003 dagegen weisen deutlich weniger Abflussmessstationen Jährlichkeiten von über 10 Jahren auf; eine Jährlichkeit von über 50 Jahren wurde sogar nur an der Station Broye-Payerne bestimmt. Im Jahr 1976 schliesslich erreichten nur die Stationen Broye-Payerne sowie Gürbe-Belp Jährlichkeiten von knapp über 10 Jahren. Die drei Stationen mit glazialem Einfluss verzeichneten in keinem Jahr und bei keiner Niedrigwasser-Kenngrösse eine Jährlichkeit von über 10 Jahren.

In Abb. 3.10 sind die über 30 Tage gemittelten Abflussganglinien für die Station Thur-Andelfingen dargestellt, und zwar für die Jahre 1947, 1976 sowie 2003. Anhand der Abflussganglinien lassen sich einerseits die Niederschlagsperioden vom März und November 1947, vom Juli 1976 sowie vom Oktober 2003 nachvollziehen. Andererseits kommen die eigentlichen Niedrigwasserphasen sehr deutlich zum Ausdruck. Auffallend ist insbesondere die unterschiedliche Dauer der einzelnen Niedrigwasserperioden: Im Jahr 1976 blieb das Niedrigwasser zeitlich eng auf den Monatswechsel Juni/Juli begrenzt. Im Jahr 2003 zieht es sich über einen Grossteil der Monate August und September hin, und im Jahr 1947 dauert das Niedrigwasser von August bis Oktober. Wie aus Anhang 4 auf S. 70 ersichtlich ist, treten bei den Stationen in nicht vergletscherten Einzugsgebieten praktisch alle Niedrigwasser-Kenngrössen in diesen Zeitspannen auf.

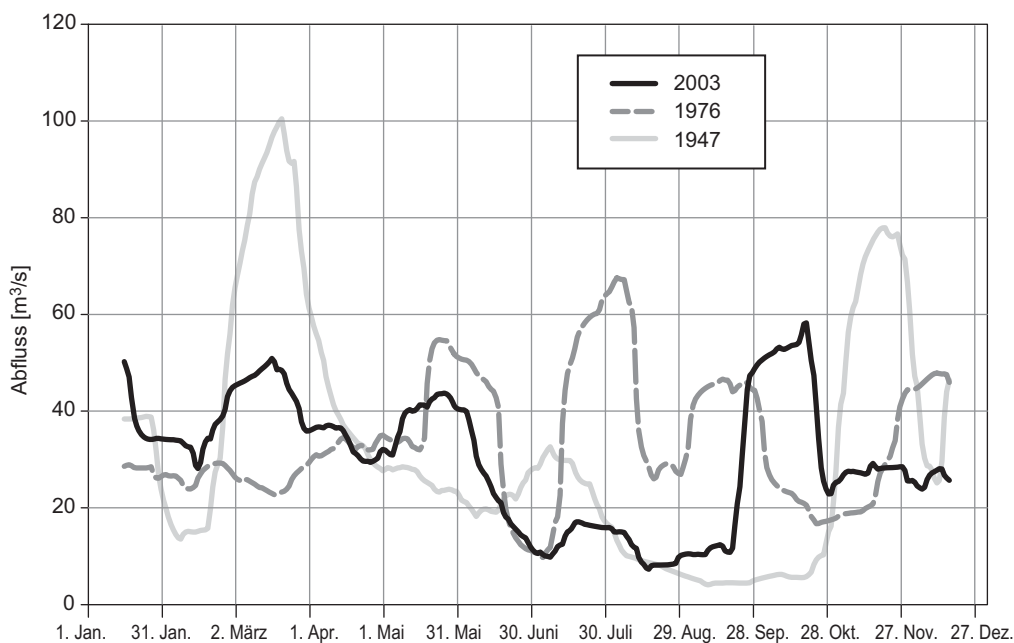


Abb. 3.10:
Über 30 Tage gemittelte
Abflussganglinie der Station
Thur-Andelfingen in den
Jahren 1947, 1976 und
2003. Jeder Wert gibt das
Abflussmittel über die 14
vorgängigen und 15 nach-
folgenden Tage inklusive des
betreffenden Tages selbst an.
Der 29.2.1976 wurde
weggelassen.

-
- ¹ www.bwg.admin.ch/service/hydrolog/d/index.htm
 - ² SIGRIST, B., 1996: *Die Messung extremer Pegelstände*. In: Hydrolog. Mitteilung Nr. 24. Bern: Landeshydrologie und -geologie.
 - ³ LANDESHYDROLOGIE UND -GEOLOGIE, 1992: *Hydrologischer Atlas der Schweiz (HADES)*. Blatt 5.2. Bern.
 - ⁴ BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (BWG), 2003: *Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2002*. Bern-Ittigen: BWG.
 - ⁵ EidG. INSTITUT FÜR SCHNEE- UND LAWINENFORSCHUNG (SLF): *Winterberichte 2002/2003*. www.slf.ch/winteraktuell/welcome2003-de.html (Stand Mai 2004).
 - ⁶ LANDESHYDROLOGIE UND -GEOLOGIE, 1992: *Hydrologischer Atlas der Schweiz (HADES)*. Blatt 5.3. Bern.
 - ⁷ Mitteilung von B. Gander-Amrein, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL), vom 13. Oktober 2003.
 - ⁸ Mitteilung von J.-C. Bader, Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA), vom 17. Mai 2004.
 - ⁹ Mitteilung von Andrea Salvetti, Istituto Scienze della Terra der Fachhochschule der italienischen Schweiz (SUPSI), vom 25. Mai 2004.
 - ¹⁰ SCHORER, M., 1992: *Extreme Trockensommer in der Schweiz und ihre Folgen für Natur und Wirtschaft*. Geographica Bernensia, Band G 40. Bern: Geographisches Institut der Universität Bern.
 - ¹¹ EidG. AMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1978: *Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz 1976*, S. 48–50. Bern: Eidg. Amt f. Wasserwirtschaft.

Anhang 1 zu Kap. 3

Gesamtübersicht der Niedrigwasser-Kenngrößen von 66 ausgewählten Stationen im Jahr 2003

Stationsnr.	Gewässer	Ort	NQ-Periode	NM1Q [m³ od. l/s]	NM7Q [m³ od. l/s]	NM14Q [m³ od. l/s]	NM30Q [m³ od. l/s]	MaxD [d]	MaxV [mm]
2009	Rhone	Porte-du-Scex	1957–1998	48.69	55.14	73.62	96.29	8	1.740
2018	Reuss	Mellingen	1972–1998	47.41	49.98	54.78	60.30	0	0.000
2020	Ticino	Bellinzona	1968–1998	12.25	20.64	22.99	22.85	3	0.751
2033	Vorderrhein	Ilanz	1968–1996	4.40	6.12	7.67	12.47	9	2.105
2034	Broye	Payerne	1920–1997	0.36	0.41	0.56	0.80	15	2.169
2044	Thur	Andelfingen	1904–1997	4.26	4.92	6.08	7.75	12	2.123
2056	Reuss	Seedorf	1963–1997	8.56	8.82	9.48	12.14	7	0.270
2063	Aare	Murgenthal	1916–1997	124.66	125.95	127.18	143.07	3	0.004
2067	Inn	Martinsbruck	1969–1998	5.33	7.79	10.75	20.59	4	0.226
2070	Emme	Emmenmatt	1918–1997	1.47	1.57	1.90	2.16	9	0.503
2084	Muota	Ingenbohl	1966–1997	1.16	2.77	3.13	3.79	2	0.867
2086	Brenno	Loderio	1962–1998	1.46	1.51	1.56	1.68	0	0.000
2091	Rhein	Rheinfelden	1973–1997	398.52	411.22	423.89	471.96	20	3.660
2099	Limmat	Zürich, Unterhard	1952–1998	22.63	24.26	25.39	29.47	30	12.311
2106	Birs	Münchenstein	1917–1997	1.71	1.78	1.92	2.42	21	1.794
2109	Lütschine	Gsteig	1923–1997	3.09	3.39	3.50	4.19	0	0.000
2112	Sitter	Appenzell	1923–1997	0.43	0.50	0.64	0.80	6	0.361
2122	Birse	Moutier	1923–1997	0.51	0.53	0.56	0.64	28	3.730
2132	Töss	Neftenbach	1941–1997	0.94	1.00	1.20	1.30	14	2.059
2143	Rhein	Rekingen	1973–1997	189.58	193.46	196.19	206.62	22	4.064
2150	Landquart	Felsenbach	1921–1997	6.43	6.91	7.32	7.79	0	0.000
2159	Gürbe	Belp	1922–1997	0.49	0.54	0.57	0.69	15	1.784
2160	Sarine	Broc	1922–1997	3.63	5.84	6.27	6.97	2	0.264
2161	Massa	Blatten bei Naters	1965–1998	0.40	0.41	0.44	0.58	0	0.000
2174	Rhone	Chancy, Aux Ripes	1971–1998	96.90	149.56	164.78	192.84	2	0.331
2176	Sihl	Zürich	1938–1998	2.17	2.56	2.64	2.86	7	0.255
2179	Sense	Thörishaus	1928–1997	1.05	1.19	1.33	1.66	18	2.769
2181	Thur	Halden	1965–1997	3.01	3.42	4.08	5.83	25	5.534
2202	Ergolz	Liestal	1934–1997	0.17	0.18	0.23	0.29	19	1.241
2210	Doubs	Ocourt	1921–1999	4.17	4.29	4.61	4.70	13	0.388
2219	Simme	Oberried/Lenk	1949–1997	0.22	0.24	0.25	0.31	0	0.000
2239	Spöl	Punt dal Gall	1974–1998	0.65	0.66	0.66	0.66	0	0.000
2263	Chamuera-bach	La Punt-Chamues-ch	1954–1998	0.66	0.71	0.72	0.76	0	0.000
2265	Inn	Tarasp/Schuls	1969–1998	4.94	4.94	4.94	5.05	0	0.000
2269	Lonza	Blatten	1956–1998	0.60	0.62	0.62	0.67	0	0.000
2282	Sperbelgraben	Wasen *	1958–1997	2.00	2.00	2.62	3.71	0	0.000
2303	Thur	Jonschwil	1966–1997	1.21	1.44	1.91	2.95	13	2.282
2307	Suze	Sonceboz	1961–1997	0.46	0.51	0.64	0.70	15	1.347
2310	Steinach	Steinach	1961–1997	0.16	0.19	0.21	0.23	13	3.178
2327	Dischmabach	Davos	1964–1996	0.47	0.51	0.52	0.55	0	0.000
2343	Langeten	Huttwil	1966–1997	0.36	0.37	0.39	0.42	28	5.654
2347	Riale di Roggiasca	Roveredo	1966–1998	0.05	0.05	0.06	0.08	0	0.000
2349	Breggia	Chiasso, Ponte di Polenta	1983–1998	0.01	0.02	0.02	0.02	23	0.656
2356	Riale di Calneggia	Caveragno, Pontit	1967–1998	0.23	0.26	0.33	0.44	0	0.000
2364	Ticino	Piotta	1968–1998	0.57	0.61	0.62	0.65	34	2.745
2378	Orbe	Orbe	1973–1997	2.00	2.11	2.11	2.23	26	1.686
2409	Emme	Eggiwil	1975–1997	0.07	0.12	0.27	0.35	10	1.212
2414	Rietholzbach	Mosnang *	1975–1997	2.21	2.39	3.30	4.35	29	4.843
2418	Julia	Tiefencastel	1976–1996	0.19	0.20	0.20	0.21	17	0.005
2425	Kleine Emme	Littau (+Malters 1936–1977)	1936–1998	1.50	1.66	1.96	2.20	15	2.179
2433	Aubonne	Allaman	1979–1998	0.18	0.21	0.23	0.37	19	4.027
2434	Dünern	Olten	1978–1997	0.18	0.20	0.26	0.36	15	1.565
2437	Parimbot	Ecublens *	1978–1997	2.87	3.29	4.78	8.23	12	0.542
2450	Wigger	Zofingen	1979–1997	0.80	0.85	1.01	1.21	17	2.932
2458	Seyon	Valangin	1980–1997	0.06	0.06	0.06	0.09	16	0.424
2461	Magliasina	Magliaso	1980–1998	0.08	0.09	0.10	0.12	17	2.494
2468	Sitter	St. Gallen	1981–1997	0.88	1.05	1.11	1.67	15	3.194
2470	Rot	Roggwil	1981–1997	0.28	0.32	0.34	0.37	6	0.403
2471	Murg	Murgenthal	1981–1997	1.17	1.24	1.33	1.46	15	1.210
2472	Gürbe	Burgistein	1982–1997	0.18	0.21	0.24	0.31	12	1.158
2475	Maggia	Bignasco	1982–1998	1.18	1.19	1.24	1.31	0	0.000
2477	Lorze	Zug	1982–1998	0.80	0.86	0.88	0.94	17	2.883
2478	Birse	Soyhières	1983–1997	1.56	1.61	1.69	2.02	21	1.773
2480	Areuse	Boudry	1984–1997	1.15	1.20	1.28	1.36	16	0.816
2485	Allaine	Boncourt	1984–1998	0.17	0.19	0.23	0.27	22	1.841
2487	Kleine Emme	Werthenstein	1984–1998	1.53	1.66	1.89	2.10	9	0.806

Wiederkehrperiode (Jährlichkeit)

☐ <10 Jahre
 ☐ 10–50 Jahre
 ☐ 50–100 Jahre
 ☐ >100 Jahre
 ☐ keine Angaben

* Abfluss in l/s.

Anhang 2 zu Kap. 3

Auftretensdatum der Niedrigwasser-Kenngrössen von 66 ausgewählten Stationen im Jahr 2003

Stationsnr.	Gewässer	Ort	NM1Q	NM7Q	NM14Q	NM30Q	MaxD	MaxV
2009	Rhone	Porte-du-Scex	26.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003
2018	Reuss	Mellingen *	22.9.2003	26.9.2003	1.10.2003	31.12.2003		
2020	Ticino	Bellinzona	21.9.2003	21.9.2003	27.9.2003	12.10.2003	5.10.2003	24.8.2003
2033	Vorderrhein	Ilanz	24.12.2003	29.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003
2034	Broye	Payerne	13.8.2003	14.8.2003	15.8.2003	28.8.2003	16.8.2003	16.8.2003
2044	Thur	Andelfingen	27.8.2003	30.8.2003	30.8.2003	31.8.2003	17.8.2003	30.8.2003
2056	Reuss	Seedorf	25.12.2003	29.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	29.12.2003	29.12.2003
2063	Aare	Murgenthal *	22.9.2003	27.9.2003	2.10.2003	20.12.2003	23.9.2003	23.9.2003
2067	Inn	Martinsbruck	25.12.2003	29.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	27.12.2003	27.12.2003
2070	Emme	Emmenmatt	28.8.2003	28.8.2003	16.8.2003	30.8.2003	29.8.2003	29.8.2003
2084	Muota	Ingenbohl	24.8.2003	29.8.2003	28.8.2003	30.8.2003	21.9.2003	24.8.2003
2086	Brenno	Loderio	31.8.2003	13.8.2003	17.8.2003	28.8.2003	31.8.2003	31.8.2003
2091	Rhein	Rheinfelden *	23.9.2003	27.9.2003	2.10.2003	3.10.2003	3.10.2003	3.10.2003
2099	Limmat	Zürich, Unterhard *	25.9.2003	27.9.2003	2.10.2003	3.10.2003	3.10.2003	3.10.2003
2106	Birs	Münchenstein	28.9.2003	28.9.2003	30.9.2003	6.9.2003	3.10.2003	3.10.2003
2109	Lütschine	Gsteig	24.12.2003	30.12.2003	31.12.2003	31.12.2003		
2112	Sitter	Appenzell	24.8.2003	29.8.2003	29.8.2003	30.8.2003	28.8.2003	28.8.2003
2122	Birse	Moutier	22.9.2003	28.8.2003	30.9.2003	30.8.2003	28.8.2003	28.8.2003
2132	Töss	Neftenbach	27.8.2003	28.8.2003	28.9.2003	2.10.2003	14.8.2003	14.8.2003
2143	Rhein	Rekingen *	2.10.2003	2.10.2003	2.10.2003	4.10.2003	4.10.2003	4.10.2003
2150	Landquart	Felsenbach	2.10.2003	3.10.2003	31.12.2003	31.12.2003		
2159	Gürbe	Belp	22.9.2003	22.9.2003	28.9.2003	2.10.2003	28.9.2003	28.9.2003
2160	Sarine	Broc	16.8.2003	16.8.2003	26.8.2003	24.8.2003	24.8.2003	24.8.2003
2161	Massa	Blatten bei Naters	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003		
2174	Rhone	Chancy, Aux Ripes *	20.12.2003	26.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	14.12.2003	14.12.2003
2176	Sihl	Zürich *	25.12.2003	22.9.2003	28.9.2003	2.10.2003	22.9.2003	22.9.2003
2179	Sense	Thörishaus	28.8.2003	28.8.2003	20.8.2003	30.8.2003	20.8.2003	20.8.2003
2181	Thur	Halden	27.8.2003	29.8.2003	30.8.2003	30.8.2003	30.8.2003	30.8.2003
2202	Ergolz	Liestal	28.8.2003	28.8.2003	30.9.2003	30.8.2003	3.10.2003	3.10.2003
2210	Doubs	Ocourt	27.8.2003	29.8.2003	5.9.2003	6.9.2003	16.8.2003	29.8.2003
2219	Simme	Oberried / Lenk	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003		
2239	Spöl	Punt dal Gall	31.12.2003	29.12.2003	31.12.2003	31.12.2003		
2263	Chamuera- bach	La Punt-Chamues-ch	31.12.2003	22.12.2003	23.12.2003	23.12.2003		
2265	Inn	Tarasp / Schuls	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003		
2269	Lonza	Blatten	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003		
2282	Sperbelgraben	Wasen	22.9.2003	22.9.2003	27.9.2003	2.10.2003		
2303	Thur	Jonschwil	28.8.2003	29.8.2003	30.8.2003	30.8.2003	20.8.2003	30.8.2003
2307	Suze	Sonceboz	28.8.2003	28.8.2003	15.8.2003	29.8.2003	15.8.2003	15.8.2003
2310	Steinach	Steinach	21.9.2003	22.9.2003	14.8.2003	28.8.2003	13.8.2003	13.8.2003
2327	Dischmabach	Davos	23.12.2003	29.12.2003	31.12.2003	31.12.2003		
2343	Langeten	Huttwil	28.8.2003	28.8.2003	28.8.2003	30.8.2003	29.8.2003	29.8.2003
2347	Riale di Rog- giasca	Roveredo	27.8.2003	17.8.2003	27.8.2003	27.8.2003		
2349	Breggia	Chiasso, Ponte di Polenta	26.9.2003	26.9.2003	26.9.2003	30.9.2003	3.10.2003	3.10.2003
2356	Riale di Caln- eggia	Caveragno, Pontit	30.10.2003	31.10.2003	31.10.2003	31.10.2003		
2364	Ticino	Piotta	25.12.2003	29.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003	31.12.2003
2378	Orbe	Orbe	22.11.2003	24.8.2003	25.8.2003	28.8.2003	27.8.2003	27.8.2003
2409	Emme	Eggiwil	28.8.2003	28.8.2003	16.8.2003	30.8.2003	29.8.2003	29.8.2003
2414	Rietholzbach	Mosnang	27.8.2003	28.8.2003	28.8.2003	30.8.2003	29.8.2003	29.8.2003
2418	Julia	Tiefencastel	26.11.2003	27.11.2003	21.12.2003	21.12.2003	21.12.2003	26.11.2003
2425	Kleine Emme	Littau (+Malters 1936– 1977)	28.8.2003	29.8.2003	17.8.2003	30.8.2003	17.8.2003	17.8.2003
2433	Aubonne	Allaman	15.7.2003	20.7.2003	26.7.2003	26.7.2003	26.7.2003	26.7.2003
2434	Dünnern	Olten	27.8.2003	28.8.2003	28.8.2003	30.8.2003	16.8.2003	28.8.2003
2437	Parimbot	Ecublens	13.8.2003	14.8.2003	14.8.2003	28.8.2003	14.8.2003	14.8.2003
2450	Wigger	Zofingen	27.8.2003	28.8.2003	17.8.2003	30.8.2003	28.9.2003	17.8.2003
2458	Seyon	Valangin	22.9.2003	14.8.2003	14.8.2003	20.7.2003	27.9.2003	14.8.2003
2461	Magliasina	Magliaso	11.8.2003	14.8.2003	17.8.2003	19.10.2003	22.10.2003	17.8.2003
2468	Sitter	St. Gallen	28.8.2003	17.8.2003	20.8.2003	30.8.2003	20.8.2003	20.8.2003
2470	Rot	Roggwil	12.8.2003	13.8.2003	14.8.2003	27.8.2003	13.8.2003	13.8.2003
2471	Murg	Murgenthal	15.7.2003	14.8.2003	17.8.2003	30.8.2003	28.9.2003	17.8.2003
2472	Gürbe	Burgistein	28.8.2003	14.8.2003	17.8.2003	30.8.2003	16.8.2003	16.8.2003
2475	Maggia	Bignasco	28.10.2003	30.10.2003	30.10.2003	31.8.2003		
2477	Lorze	Zug	27.9.2003	28.8.2003	27.9.2003	2.10.2003	28.9.2003	28.9.2003
2478	Birse	Soyhières	27.9.2003	27.9.2003	30.9.2003	6.9.2003	3.10.2003	3.10.2003
2480	Areuse	Boudry	27.8.2003	28.8.2003	28.8.2003	28.8.2003	1.10.2003	1.10.2003
2485	Allaine	Boncourt	27.9.2003	28.8.2003	16.8.2003	28.8.2003	26.7.2003	26.7.2003
2487	Kleine Emme	Werthenstein	28.8.2003	29.8.2003	29.8.2003	30.8.2003	14.8.2003	28.8.2003

Bei mehrtägigen Kenngrössen bezeichnet das Datum jeweils den letzten Tag. Bei zwei oder mehreren identischen Werten pro Jahr steht das Datum des letzten Werts.

* alpin beeinflusste Mischregimes

Anhang 3 zu Kap. 3

Verhältnis der Monatsabflüsse in den Jahren 1947, 1976 und 2003 zum Periodenmittel in %

1947

Station	Periode	Vergl. [%]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	1947
Landquart-Felsenbach	1926–2002	1.4	70	62	90	113	75	50	78	67	49	46	155	113	75
Sitter-Appenzell	1923–2002	0.08	81	44	149	61	34	37	70	15	13	24	329	126	71
Thur-Andelfingen	1904–2002	0	95	35	175	58	44	33	57	20	11	17	191	110	71
Töss-Neftenbach	1921–2002	0	111	36	181	46	32	22	28	23	23	19	52	97	61
Ergolz-Liestal	1934–2002	0	97	25	177	50	40	19	19	14	8	9	19	65	56
Birse-Moutier	1912–2002	0	86	41	139	55	33	27	41	30	28	29	59	103	61
Birs-Münchenstein	1917–2002	0	94	34	160	49	33	24	27	22	18	19	55	108	61
Lütschine-Gsteig	1924–2002	17.4	80	57	112	112	96	88	106	108	93	62	190	140	101
Gürbe-Belp	1923–2003	0	89	29	176	59	47	23	27	19	11	15	60	43	51
Sarine-Broc	1923–2002	0.61	92	51	200	113	66	48	67	37	29	25	143	148	83
Sense-Thörishaus	1928–2002	0	86	39	217	78	49	42	52	30	17	24	92	69	69
Broye-Payerne	1920–2002	0	96	44	236	68	40	36	34	21	14	14	25	72	71
Emme-Emmenmatt	1918–2002	0	87	28	175	60	21	27	34	18	9	13	142	84	58
Aare-Murgenthal	1935–2002	2.4	68	71	142	105	76	58	72	67	66	50	52	67	75
Sihl-Zürich	1938–2002	0	138	137	160	39	39	49	43	37	29	26	154	87	75
Doubs-Ocourt	1921–2002	0	102	45	213	65	31	33	83	38	16	10	101	113	81

1976

Station	Periode	Vergl. [%]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	1976
Landquart-Felsenbach	1926–2002	1.4	78	72	64	67	58	54	55	60	120	141	74	85	69
Sitter-Appenzell	1923–2002	0.08	83	58	49	74	74	85	82	71	116	51	33	85	73
Thur-Andelfingen	1904–2002	0	71	58	44	55	55	74	96	69	115	65	53	112	71
Töss-Neftenbach	1921–2002	0	60	62	48	41	38	58	128	63	95	64	66	148	71
Ergolz-Liestal	1934–2002	0	70	87	31	40	65	31	39	27	47	33	34	134	58
Birse-Moutier	1912–2002	0	58	60	45	49	50	41	81	54	77	63	57	158	66
Birs-Münchenstein	1917–2002	0	56	74	44	51	60	37	69	41	58	53	44	145	62
Lütschine-Gsteig	1924–2002	17.4	73	64	66	78	79	89	100	63	60	102	79	85	81
Gürbe-Belp	1923–2003	0	53	58	49	54	59	40	55	44	57	46	40	123	56
Sarine-Broc	1923–2002	0.61	34	42	46	51	49	39	61	44	63	53	37	109	51
Sense-Thörishaus	1928–2002	0	50	48	46	56	52	40	79	40	58	47	39	116	55
Broye-Payerne	1920–2002	0	33	49	62	39	34	23	38	33	67	54	50	172	59
Emme-Emmenmatt	1918–2002	0	47	43	33	53	51	50	86	51	56	46	41	140	57
Aare-Murgenthal	1935–2002	2.4	62	60	52	48	53	56	62	58	63	72	59	115	62
Sihl-Zürich	1938–2002	0	72	62	54	59	77	69	152	58	97	73	62	97	78
Doubs-Ocourt	1921–2002	0	60	49	46	37	29	28	35	29	69	75	70	137	57

2003

Station	Periode	Vergl. [%]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	2003
Landquart-Felsenbach	1926–2002	1.4	148	116	108	78	81	65	38	43	42	118	94	85	71
Sitter-Appenzell	1923–2002	0.08	109	43	92	75	63	56	38	23	44	223	86	81	70
Thur-Andelfingen	1904–2002	0	126	62	94	56	69	38	31	20	32	164	77	65	67
Töss-Neftenbach	1921–2002	0	124	59	90	40	59	29	30	26	23	83	66	75	60
Ergolz-Liestal	1934–2002	0	116	86	63	32	59	28	22	17	16	48	33	48	53
Birse-Moutier	1912–2002	0	135	81	83	42	57	38	34	29	32	61	43	53	60
Birs-Münchenstein	1917–2002	0	129	90	73	32	54	34	30	26	25	58	39	51	57
Lütschine-Gsteig	1924–2002	17.4	157	92	102	91	110	125	90	106	67	97	72	92	101
Gürbe-Belp	1923–2003	0	112	69	70	79	69	76	47	38	33	87	51	49	66
Sarine-Broc	1923–2002	0.61	128	54	92	73	76	50	37	41	86	139	53	64	71
Sense-Thörishaus	1928–2002	0	93	50	81	59	56	53	38	32	47	136	59	66	63
Broye-Payerne	1920–2002	0	108	72	64	39	58	29	26	31	33	88	63	55	60
Emme-Emmenmatt	1918–2002	0	130	72	102	65	68	47	58	27	43	148	73	78	72
Aare-Murgenthal	1935–2002	2.4	137	81	72	64	83	73	66	70	61	96	72	61	77
Sihl-Zürich	1938–2002	0	95	57	95	66	91	55	58	46	45	127	73	62	71
Doubs-Ocourt	1921–2002	0	122	51	85	38	50	31	26	27	25	119	58	64	62

Vergl. = Vergleichserschungsanteil

Anhang 4 zu Kap. 3

Auftretensdatum der Niedrigwasser-Kenngrößen von 16 ausgewählten Stationen für die Jahre 1947, 1976 und 2003.

1947

Station	NQ-Periode	NM1Q	NM7Q	NM14Q	NM30Q	MaxD	MaxV
Landquart-Felsenbach	1921–1997	19.10.1947	31.10.1947	31.10.1947	4.11.1947	19.10.1947	19.10.1947
Sitter-Appenzell	1923–1997	21.9.1947	22.9.1947	23.9.1947	23.9.1947	23.9.1947	23.9.1947
Thur-Andelfingen	1904–1997	18.9.1947	20.9.1947	23.9.1947	24.9.1947	24.9.1947	24.9.1947
Töss-Neftenbach	1941–1997	2.11.1947	8.11.1947	9.11.1947	9.11.1947	13.11.1947	13.11.1947
Ergolz-Liestal	1934–1997	21.9.1947	21.9.1947	23.9.1947	9.10.1947	13.11.1947	13.11.1947
Birse-Moutier	1923–1997	21.9.1947	23.9.1947	23.9.1947	9.10.1947	10.10.1947	10.10.1947
Birs-Münchenstein	1917–1997	21.9.1947	17.9.1947	23.9.1947	9.10.1947	10.10.1947	10.10.1947
Lütschine-Gsteig	1923–1997	9.11.1947	2.11.1947	9.11.1947	9.11.1947		
Gürbe-Belp	1922–1997	23.9.1947	23.9.1947	23.9.1947	24.9.1947	10.10.1947	10.10.1947
Sarine-Broc	1922–1997	22.10.1947	2.11.1947	2.11.1947	2.11.1947	23.9.1947	23.10.1947
Sense-Thörishaus	1928–1997	19.12.1947	25.12.1947	25.12.1947	9.10.1947	23.9.1947	23.9.1947
Broye-Payerne	1920–1997	29.9.1947	22.9.1947	23.9.1947	10.10.1947	17.10.1947	17.10.1947
Emme-Emmenmatt	1918–1997	18.8.1947	31.10.1947	2.11.1947	9.10.1947	9.10.1947	9.10.1947
Aare-Murgenthal	1916–1997	2.11.1947	7.11.1947	10.11.1947	10.11.1947	10.11.1947	10.11.1947
Sihl-Zürich	1938–1998	21.9.1947	8.10.1947	10.10.1947	26.10.1947	3.11.1947	3.11.1947
Doubs-Ocourt	1921–2000	13.10.1947	10.11.1947	10.11.1947	10.11.1947	11.11.1947	11.11.1947

1976

Station	NQ-Periode	NM1Q	NM7Q	NM14Q	NM30Q	MaxD	MaxV
Landquart-Felsenbach	1921–1997	9.1.1977	15.1.1977	12.1.1977	24.1.1977		
Sitter-Appenzell	1923–1997	6.11.1976	1.11.1976	6.11.1976	24.11.1976		
Thur-Andelfingen	1904–1997	8.7.1976	9.7.1976	9.7.1976	19.7.1976	9.7.1976	9.7.1976
Töss-Neftenbach	1941–1997	4.7.1976	9.7.1976	9.7.1976	18.7.1976	9.7.1976	9.7.1976
Ergolz-Liestal	1934–1997	6.7.1976	7.7.1976	9.7.1976	16.7.1976	9.7.1976	9.7.1976
Birse-Moutier	1923–1997	16.7.1976	9.7.1976	16.7.1976	16.7.1976	11.7.1976	11.7.1976
Birs-Münchenstein	1917–1997	4.7.1976	9.7.1976	12.7.1976	17.7.1976	12.7.1976	12.7.1976
Lütschine-Gsteig	1923–1997	21.1.1977	22.1.1977	25.1.1977	25.1.1977	25.1.1977	25.1.1977
Gürbe-Belp	1922–1997	4.7.1976	6.7.1976	12.7.1976	18.7.1976	11.7.1976	11.7.1976
Sarine-Broc	1922–1997	11.7.1976	2.11.1976	22.1.1977	23.1.1977	28.8.1976	11.7.1976
Sense-Thörishaus	1928–1997	5.7.1976	6.7.1976	11.7.1976	11.7.1976	6.7.1976	6.7.1976
Broye-Payerne	1920–1997	16.7.1976	17.7.1976	18.7.1976	18.7.1976	18.7.1976	18.7.1976
Emme-Emmenmatt	1918–1997	9.7.1976	9.7.1976	9.7.1976	16.7.1976	9.7.1976	9.7.1976
Aare-Murgenthal	1916–1997	5.11.1976	10.11.1976	11.11.1976	29.11.1976	6.11.1976	6.11.1976
Sihl-Zürich	1938–1998	4.7.1976	4.7.1976	7.7.1976	18.7.1976	1.7.1976	4.7.1976
Doubs-Ocourt	1921–2000	10.7.1976	12.7.1976	12.7.1976	17.7.1976	12.7.1976	12.7.1976

2003

Station	NQ-Periode	NM1Q	NM7Q	NM14Q	NM30Q	MaxD	MaxV
Landquart-Felsenbach	1921–1997	2.10.2003	3.10.2003	31.12.2003	31.12.2003		
Sitter-Appenzell	1923–1997	24.8.2003	29.8.2003	29.8.2003	30.8.2003	28.8.2003	28.8.2003
Thur-Andelfingen	1904–1997	27.8.2003	30.8.2003	30.8.2003	31.8.2003	17.8.2003	30.8.2003
Töss-Neftenbach	1941–1997	27.8.2003	28.8.2003	28.9.2003	2.10.2003	14.8.2003	14.8.2003
Ergolz-Liestal	1934–1997	28.8.2003	28.8.2003	30.9.2003	30.8.2003	3.10.2003	3.10.2003
Birse-Moutier	1923–1997	22.9.2003	28.8.2003	30.9.2003	30.8.2003	28.8.2003	28.8.2003
Birs-Münchenstein	1917–1997	28.9.2003	28.9.2003	30.9.2003	6.9.2003	3.10.2003	3.10.2003
Lütschine-Gsteig	1923–1997	24.12.2003	30.12.2003	31.12.2003	31.12.2003		
Gürbe-Belp	1922–1997	22.9.2003	22.9.2003	28.9.2003	2.10.2003	28.9.2003	28.9.2003
Sarine-Broc	1922–1997	16.8.2003	16.8.2003	26.8.2003	24.8.2003	24.8.2003	24.8.2003
Sense-Thörishaus	1928–1997	28.8.2003	28.8.2003	20.8.2003	30.8.2003	20.8.2003	20.8.2003
Broye-Payerne	1920–1997	13.8.2003	14.8.2003	15.8.2003	28.8.2003	16.8.2003	16.8.2003
Emme-Emmenmatt	1918–1997	28.8.2003	28.8.2003	16.8.2003	30.8.2003	29.8.2003	29.8.2003
Aare-Murgenthal	1916–1997	22.9.2003	27.9.2003	2.10.2003	20.12.2003	23.9.2003	23.9.2003
Sihl-Zürich	1938–1998	25.12.2003	22.9.2003	28.9.2003	2.10.2003	22.9.2003	22.9.2003
Doubs-Ocourt	1921–2000	27.8.2003	29.8.2003	5.9.2003	6.9.2003	16.8.2003	29.8.2003

Bei mehrtägigen Kenngrößen bezeichnet das Datum jeweils den letzten Tag. Bei zwei oder mehreren identischen Werten pro Jahr steht das Datum des letzten Werts.

4 Zustand der Oberflächengewässer

Mit Ausnahme der unmittelbar von der Schnee- und Gletscherschmelze beeinflussten Gewässer brachte der Sommer 2003 teils massiv erhöhte Wassertemperaturen in Flüssen und Seen. Im Jura und im Mittelland – insbesondere unterhalb von Zürich- und Bodensee – wurden während längerer Zeit Werte erreicht, die für kälteliebende Fischarten lebensbedrohend sein können. Keine Probleme wurden hingegen durch temperatur- und trockenheitsbedingte Erhöhungen der Konzentration von chemischen Inhaltsstoffen oder durch verstärkte bakterielle Aktivitäten gemeldet. Einzelne Messstationen zeigten jedoch in den Sommermonaten deutlich erhöhte Schwankungen der pH-Werte und der Sauerstoffgehalte.

4.1 Allgemeines zur Wassertemperatur

4.1.1 Ökologische Bedeutung der Wassertemperatur

Die Wassertemperatur ist ein Schlüsselfaktor für die Beurteilung des Zustands eines Oberflächengewässers. Sie gehört zu den wichtigsten Regulatoren von Lebensvorgängen in Gewässern. Alle Stoffwechselvorgänge, die Dauer, der Verlauf und die Geschwindigkeit des Wachstums sowie die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften werden von ihr beeinflusst.

Die Lebensfähigkeit und Lebensaktivität der Wasserorganismen sind an bestimmte Temperaturgrenzen und Temperaturoptima gebunden. Die Sommertemperaturen sind deshalb einer der Gründe für die unterschiedliche Fischbesiedlung der Flussregionen in Mitteleuropa. So ist allein aufgrund von Vorlieben und Toleranzen für spezifische Temperaturbereiche das Vorkommen mancher Arten auf bestimmte Flussabschnitte beschränkt. Im Oberlauf der Fließgewässer kommen beispielsweise kälteliebende Arten vor, während die im Unterlauf in höherer Individuendichte auftretenden Arten an die dort herrschenden höheren Temperaturen angepasst und gegen grössere Temperaturschwankungen weitgehend unempfindlich sind.

Mit steigender Wassertemperatur nimmt die Löslichkeit der Gase ab und die Aufnahmefähigkeit des Wassers für Sauerstoff sinkt (vgl. Kap. 4.4.3, Abb. 4.13, S. 86). Gleichzeitig nimmt die Aktivität der tierischen Organismen zu und ihr Sauerstoffbedarf steigt. Bei erhöhtem Sauerstoffbedarf und gleichzeitig verringertem Sauerstoffangebot treten Stresssymptome auf. Eine Folge davon ist eine stark verminderte Nahrungsaufnahme. Werden die Temperaturgrenzen für eine Art überschritten, kann sie, falls keine Fluchtmöglichkeit besteht, nicht überleben. Zudem ist der Ausbruch der proliferativen Nierenerkrankung (PKD), die hohe Mortalitätsraten verursachen kann, stark temperaturabhängig (vgl. Kap. 4.3.1 und 8.1.).

Das Temperaturoptimum ist je nach Art unterschiedlich hoch. Bei Salmoniden wie Forellen, Felchen oder Äschen können ab 18–20 °C Stresssymptome auftreten. Temperaturen über 25 °C können bereits tödlich sein. Andere Arten, etwa Karpfen, Barsche oder Hechte, ertragen hohe Temperaturen besser.

Für die Flora und Fauna in den Gewässern sind nicht Mittelwerte über eine gewisse Zeit massgebend. Entscheidend ist die Dauer der temperaturbedingten Stresssituation. Je länger ihr ein Organismus ausgesetzt ist, desto häufiger treten entsprechende Symptome auf.

Neben biologischen Wirkungen verändern hohe Wassertemperaturen auch die Chemie eines Gewässers. So wird beispielsweise Ammonium bei entsprechend hohen pH-Werten zunehmend in das für Fische giftige Ammoniak überführt (vgl. Kap. 4.4.1, Abb. 4.11, S. 84), oder es kommt nach der Vermehrung von Algen zur sogenannten «biogenen Entkalkung» (Kap. 4.4.5, Kasten S. 93). Weitere Wechselwirkungen von der Temperatur auf die Biologie und die Wasserinhaltsstoffe werden in den Kap. 4.4.3 und 4.4.4 erläutert.

4.1.2 Dynamik der Wassertemperatur

Der Wärmehaushalt der Gewässer hängt von vielen Umweltfaktoren ab. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die Temperatur des Quellwassers und der Zuflüsse, die Energieeinstrahlung und -abstrahlung, der Niederschlag, die Verdunstung, die Kondensation und die Schneeschmelze sowie der Wärmeaustausch mit dem Untergrund und der Luft. In den Fliessgewässern findet beispielsweise wegen der turbulenten Wasserbewegung ein intensiver Temperaturexaustausch mit der Umgebung statt. Schliesslich können Umgebungsfaktoren – wie die Beschattung durch eine ufernahe Gehölzvegetation oder die Infiltration von kühlem Grundwasser – die Temperatur des Gewässers entscheidend beeinflussen. Alle diese Faktoren sind sowohl kurz- wie auch langfristigen Schwankungen unterworfen, was sich auf die Dynamik des Wärmehaushaltes auswirkt. Die Wassertemperatur an einer bestimmten Stelle hängt daher von der Summe der einzelnen Faktoren und der Dauer ihrer Einwirkung im obenliegenden Flusslauf bzw. im Einzugsgebiet ab.

Die Ausgangstemperatur eines Gewässers ergibt sich aus der Grundwassertemperatur im Quellgebiet und diese wiederum aus der Höhenlage. Ausser bei Thermalquellen entspricht die Quellwassertemperatur in der Regel der Jahresmitteltemperatur der Luft am betreffenden Ort und ist ziemlich konstant. Bei alpinen Fliessgewässern wird die Temperatur zudem meist durch das Schmelzwasser aus Schnee, Eis und Gletschern beeinflusst. Fliessgewässer in tieferen Lagen werden wärmer und weisen grössere jährliche Schwankungen auf.

Seen im Einzugsgebiet wirken sich insbesondere auf kurzfristige Temperaturschwankungen dämpfend aus. Auf der anderen Seite bietet ein See eine grosse Wasserfläche, die von der Sonneneinstrahlung erwärmt werden kann. Weil im Sommer aus dem temperaturschichteten See meist das obere, warme Wasser abfliesst, liegen die Temperaturen im Seeausfluss höher als im Seezufluss.

Bei niedrigem Wasserstand erwärmt sich das Wasser in Bächen und Flüssen schneller als bei tiefem Wasser. Im breiten Regelprofil eines verbauten Fliessgewässers verteilt sich das spärlich fliessende Wasser auf der ganzen Breite des Bachbetts und bildet damit eine grössere Fläche für den Wärmeaustausch.

Die Tagesschwankung der Gewässertemperatur zeigt bei sonnigem Wetter eine markante, meist sinusförmige Periodizität, wobei der Unterschied zwischen Tages- und Nachttemperatur mehrere Grade erreichen kann. Die Minima werden in den frühen Morgenstunden, die Maxima im Laufe des Nachmittags gemessen.

Die saisonalen Schwankungen weisen ebenfalls eine deutliche Sinusform auf, im Mittelland ausgeprägter als in den Alpen¹. Sie ergeben sich aus dem Jahresgang der Sonneneinstrahlung. Kurzzeitige meteorologische Einflüsse wie der Durchzug von Kalt- und Warmfronten oder das Auftreten von Nord- und Südströmungen erscheinen auf der Temperaturkurve deutlich als Abweichung vom sinusförmigen saisonalen Verlauf.

4.1.3 Seetemperaturen

In den Seen treten sehr grosse Temperaturinhomogenitäten auf. Einerseits gibt es eine vertikale Temperaturschichtung, die sich im Jahresverlauf durch das Aufwärmen und Abkühlen von der Seeoberfläche her verändert. Andererseits bilden sich auch horizontale Temperaturunterschiede heraus, die sich je nach den Windverhältnissen stark verschieben können. Es entstehen seeinterne Wellenbewegungen, die unterschiedliche Temperaturschichten an die Seeoberfläche transportieren. Im Uferbereich beeinflussen zudem weitere Faktoren die lokale Wassertemperatur.

Die Erwärmung der Seeoberfläche hängt stark davon ab, wieviel der eingestrahlten Energie in tiefere Wasserschichten transportiert wird. Am stärksten wird der Durchmischungsprozess vom Wind angetrieben.

Die Seetemperaturen können daher nicht an einem einzelnen Punkt repräsentativ gemessen werden. Da der Aufwand für wissenschaftlich vertretbare Temperaturmessungen sehr gross ist, führt das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) in Seen keine Untersuchungen durch. Messungen in Seeausflüssen können jedoch als Indikatoren für die Entwicklung der Seetemperaturen herangezogen werden.

4.1.4 Das Temperaturmessnetz

Das BWG führt routinemässig Online-Temperaturmessungen mit 10-Minuten-Mittelwerten durch². Für diesen Bericht werden diese Daten mit kantonalen Messwerten ergänzt, die teilweise auf unterschiedlichen Zeitintervallen beruhen³. Die Temperaturdaten werden regelmässig publiziert⁴.

Das Temperaturmessnetz des BWG beschränkt sich auf Fliessgewässer. Dabei wird darauf geachtet, dass mit den Messungen repräsentative Resultate für den ganzen Flussquerschnitt anfallen. Vertikale Temperaturschichtungen kommen in Fliessgewässern wegen der sehr raschen Tiefenmischung kaum vor. Problematisch sind eher horizontale Inhomogenitäten durch Zuflüsse, Einleitungen oder diffuse Einstromungen.

Wie bei Abfluss- treten auch bei Temperaturmessungen im extremen Niedrigwasserbereich messtechnische Probleme auf (vgl. Kap. 3.1). Im Sommer 2003 hingen die Sonden vereinzelt in der Luft und mussten tiefer gesetzt werden. Entsprechende Messlücken wurden zur Berechnung von Monats- und Jahresmittelwerten mit Tagesmittelwerten bereinigt.

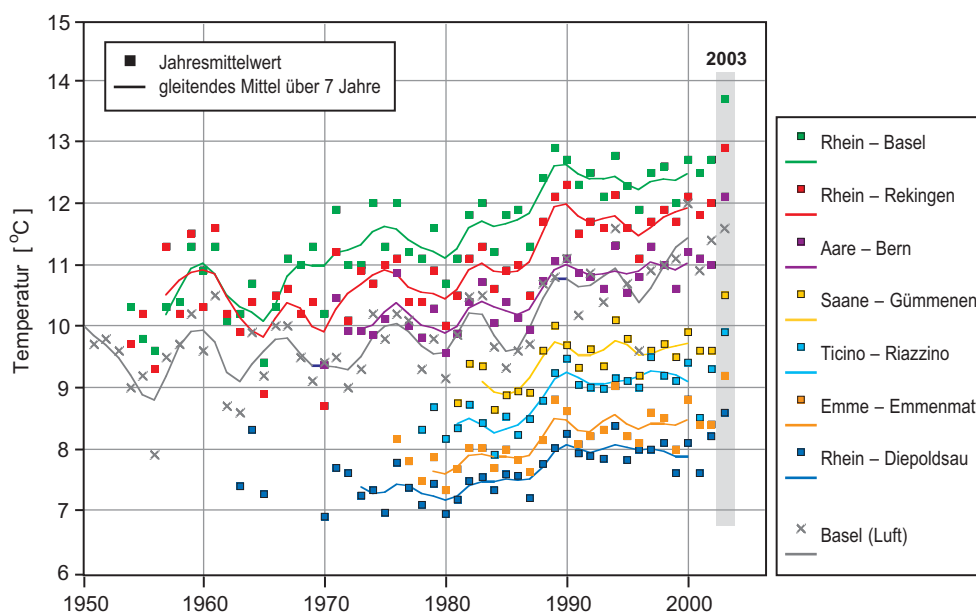
Die für diesen Bericht ausgewerteten Stationen gehören dem Messnetz des BWG, der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL und der Kantone BE, ZH, SG und AG an. Auf Grund der Temperaturentwicklung seit Ende der 1980er Jahre wurde das BWG-Messnetz ab dem Jahr 2001 wesentlich ausgebaut. Daher liegen bei einigen Stationen nur Daten des Jahres 2003 vor.

4.2 Die Wassertemperaturen im Jahr 2003

4.2.1 Fliessgewässer

Die längerfristigen Zeitreihen der Wassertemperaturen ausgewählter BWG-Stationen zeigen seit 1954 eine Temperaturzunahme (Abb. 4.1). Im Rhein bei Basel beispielsweise beträgt sie mehr als 2 °C. In den letzten 16 Jahren (1988–2003) lagen dort die Jahresmittelwerte – unabhängig von der Wasserführung – bei über 12 °C und damit deutlich höher als in den Jahren zuvor. Im Jahr 2003 lag der Jahresmittelwert erstmals und sogar deutlich über 13 °C. Diese Veränderung konnte auch in Gewässern im Mittelland festgestellt werden. Mehrere Einflüsse wie Klimaänderung, Einleitungen von erwärmtem Wasser, Veränderungen im Abflussregime (beispielsweise durch Stauhaltungen und Drainagen) tragen zu dieser Entwicklung bei².

Abb. 4.1:
Veränderung der Wassertemperatur an ausgewählten BWG-Messstationen seit 1950. Dargestellt ist zudem der Verlauf der Lufttemperatur in Basel (Daten: MeteoSchweiz).



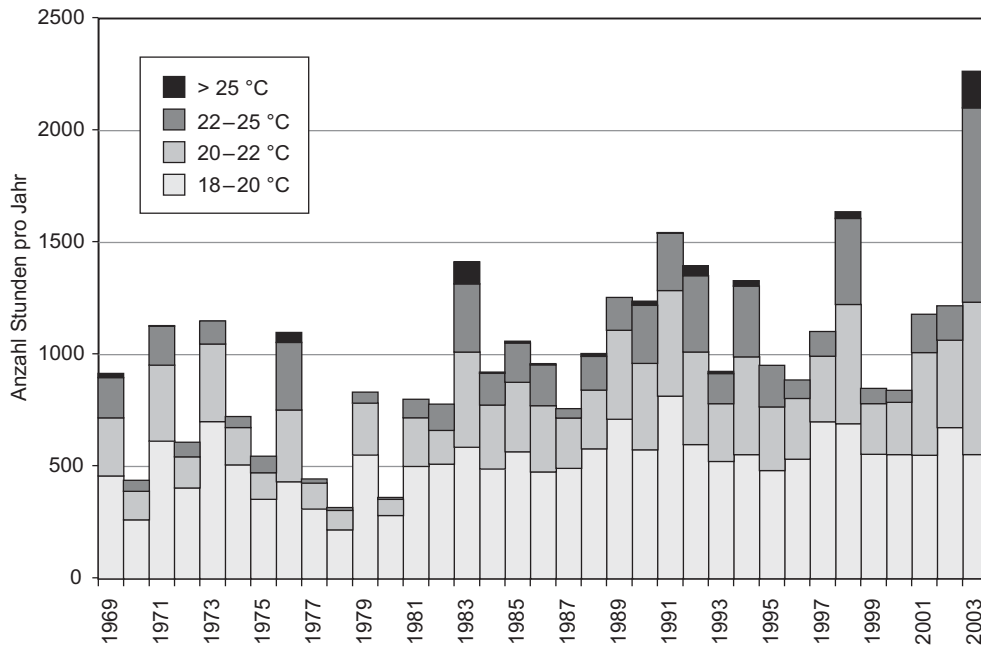


Abb. 4.2:
Zeitdauer der Wassertemperaturen (Anzahl Stunden pro Jahr) über 18 °C in der Thur bei Andelfingen. Die gewählten Temperaturgrenzen entsprechen den Empfindlichkeitsbereichen bestimmter Fischarten (vgl. Kap. 4.3.1 und 8.1).

Auch die Thur bei Andelfingen – mit einem mittelländischen Einzugsgebiet ohne zusätzliche Einflüsse durch oberliegende Seen oder Gletscher – zeigt eine deutliche Zunahme der Perioden mit hohen Temperaturen (Abb. 4.2). Auffallend ist, dass sich die Temperaturdauer über 20 °C im Jahr 2003 gegenüber den trockenheissen Jahren 1976 und 1983 verdoppelte bis vervierfachte. Diese allgemeine Tendenz zu längeren Perioden mit warmen Temperaturen wurde bereits 2002 beschrieben⁵. Durchschnittlich erfolgt der Temperaturanstieg in den Monaten April/Mai früher als in den 1970er Jahren, was anschliessend eine längere Sommerperiode mit hohen Wassertemperaturen zur Folge hat.

4.2.2 Seen

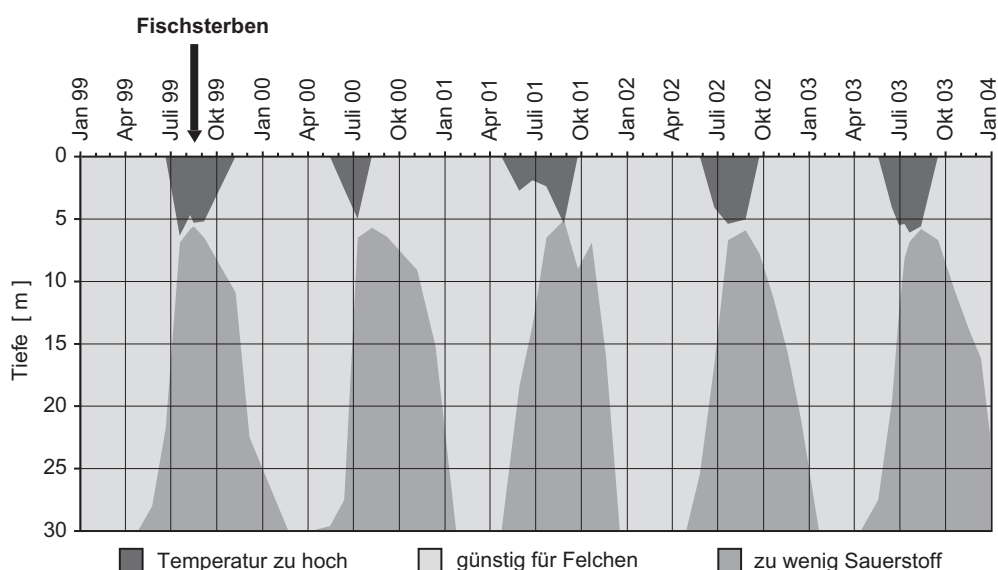
Wie in Kap. 4.1.2 erwähnt, gibt es in den Seen keine repräsentativen kontinuierlichen Temperaturmessungen. Meist werden monatlich oder 2-monatlich die Temperaturen in den Tiefenprofilen gemessen. Wegen der Dynamik der Prozesse können die Temperaturen zwischen solchen Messungen nicht linear interpoliert werden. Die Isothermen in entsprechenden Grafiken müssen daher mit der notwendigen Vorsicht interpretiert werden.

Während der warmen Jahreszeit wird ein See durch die erhöhte Einstrahlung von oben her erwärmt. Das Oberflächenwasser dehnt sich wie alle erwärmten Substanzen leicht aus, wird dadurch spezifisch leichter und schwimmt deshalb über dem kühleren Tiefenwasser. Die schmale Grenze dazwischen wird Temperatursprungschicht genannt. Im Vergleich zu anderen Jahren wurden im Sommer 2003 bereits zu

einem früheren Zeitpunkt hohe Werte gemessen. Die hohen Temperaturen drangen zum Teil in grössere Tiefen als üblich vor. Die Sprungschicht verblieb hingegen im gewohnten Tiefenbereich. Dies bedeutet, dass 2003 der Temperaturgradient in der Sprungschicht sehr gross wurde.

In den Seen wirkt die Temperatur meist nicht als Stressor für Fische, da diese in kühlere Tiefen ausweichen können. In flachgründigen und nährstoffreichen (eutrophen) Seen wie beispielsweise dem Greifensee oder dem Murtensee führt jedoch der Abbau der hohen Algenproduktion zu einem grossen Verbrauch an Sauerstoff (Abb. 4.3). In den genannten zwei Seen wurden im Spätsommer 2003 bereits knapp unterhalb von 5 Metern Wassertiefe weniger als 4 mg O₂/l festgestellt (Daten der Kantone Zürich und Freiburg). Im Sommer 1999 führte im Greifensee diese Situation – hohe Temperaturen von der Oberfläche her und zu wenig Sauerstoff in der Tiefe – zur Einschränkung des Lebensraums der Felchen und in der Folge zu einem Felchensterben.

Abb. 4.3:
Tiefenprofil des Greifensees
im Kanton Zürich von Januar
1999 bis Januar 2004. In den
dunkel eingefärbten Tiefen-
bereichen ist die Wasser-
temperatur für Felchen ent-
weder zu hoch, oder es ist zu
wenig Sauerstoff vorhanden.
Wenn sich beide ungünsti-
gen Bereiche überlappen,
wird der Lebensraum für die
Felchen eng. (Daten: AWEL
Kanton Zürich).



Im Sommer 2003 trat eine ähnliche Situation auf, und aufgrund der Erfahrungen aus dem Jahr 1999 richtete der Kanton Zürich ein Sondermessprogramm ein⁶. Ein Fischsterben trat vermutlich nur deshalb nicht ein, weil die Situation nur während sehr kurzer Zeit andauerte. Auch im Murtensee wurde kein Fischsterben beobachtet; allerdings kommen dort kaum Felchen vor.

4.3 Risikobezogene Temperaturklassierung

4.3.1 Kriterien für die Klassierung

Um einen Überblick über die potenziellen Auswirkung der erhöhten Wassertemperaturen im Jahr 2003 zu erhalten, wurden die Daten erstmalig im Hinblick auf die Risiken PKD, Stress und Mortalität für die kälteliebenden Fischarten klassiert. Als Grundlage dient die Anzahl Stunden pro Tag an einer Messstation, bei denen eine bestimmte Wassertemperatur erreicht oder überschritten wurde. Gewählt wurden die Temperaturschwellenwerte von 15, 18 und 25 °C. Anschliessend wurden die Wassertemperaturdaten des Jahres 2003 von insgesamt 131 eidgenössischen und kantonalen Stationen vier Risikoklassen zugeordnet, die für Edelfische – insbesondere für Salmoniden – von Bedeutung bzw. limitierend sind.

Bei der Klassierung standen biologische Kriterien im Vordergrund. Dazu ist festzuhalten, dass die Formulierung von Schwellenwerten schwierig ist: Gewässermorphologie, zusätzliche anthropogene Belastungen, Alter/Gesundheitszustand der Individuen, die Adaption einzelner Populationen etc. können stark variieren. Entsprechend schwierig ist es, allgemein gültige Grenzen festzulegen. Bei erhöhten Wassertemperaturen kann zudem beobachtet werden, dass der natürliche Instinkt Fische in kühlere Gewässerabschnitte treibt. Wanderhindernisse und/oder fehlende Vernetzung mit den Seitengewässern verhindern solche Fluchtmöglichkeiten. Im optimalen Fall können sich Fische dagegen in kühlere Gewässerabschnitte zurückziehen. Diese Möglichkeit zur Senkung des Temperaturrisikos konnte bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden.

Bei der Klassierung unberücksichtigt blieben die geographische Lage, die Art des Fliessgewässers (Einzugsgebiet, Morphologie, Abflussregime etc.) und das natürliche Vorkommen bestimmter Fischarten.

Bei der Risikoklassierung bezüglich der Fischkrankheit PKD, welche die Bachforelle befällt, sind die folgenden Sachverhalte zu beachten:

- Das Erreichen bzw. Überschreiten der formulierten Schwellenwerte führt nicht zwangsläufig zur Erkrankung. Voraussetzung ist das Vorhandensein des Erregers im Gewässer und eine ausreichend hohe Wassertemperatur über einen bestimmten Zeitraum hinweg.
- Der Temperatur-Schwellenwert darf nicht als starr angesehen werden. Es handelt sich vielmehr um einen kritischen Temperatur**bereich**.
- Abhängig von weiteren Stressfaktoren (Belastung mit Umweltgiften, gesenkte Sauerstoffkonzentration im Gewässer etc.) und von der «Fitness» der Fische besteht ein grösseres oder kleineres Risiko einer Erkrankung bzw. eines letalen Verlaufes der Krankheit. Es ist möglich, dass Fische gegenüber der Krankheit eine Resistenz aufbauen.

Fazit: Falls der Erreger in Gewässer vorhanden ist und die Temperaturentwicklung im Sinne der Ausbreitung der Krankheit verläuft, **kann** PKD ausbrechen (daher Bezeichnung Risiko).

**Zur Risikoklassierung
bezüglich PKD**

Die Analyse der Graphiken des Jahres 2003 ergab vier Risikoklassen:

- **Klasse I: kein Temperatur-Risiko.** Die Temperaturen und die Belastungszeit lagen in einem Bereich, in dem weder mit einem Ausbruch der Fischkrankheit PKD noch mit Stresssituationen gerechnet werden muss. Klassierungskriterien:
 - 15 °C werden höchstens an einzelnen Tagen (maximal 13 Tage) erreicht oder überschritten, teilweise während mehr als 8 Stunden pro Tag. Beispiel: die Linth bei Mollis (Abb. 4.4a).
- **Klasse II: Temperatur-PKD-Risiko.** In dieser Klasse besteht auf Grund der Temperatursituation ein PKD-Risiko für Bachforellen⁷. Bei vorhandenem Erreger kann PKD akut ausbrechen (mit teilweise letalem Ausgang, siehe Kasten). Klassierungskriterien:
 - 15 °C werden an mehreren Tagen (mindestens 14 Tagen) erreicht oder überschritten, während mehr als 12 Stunden pro Tag.
 - 18 °C werden höchstens an einigen wenigen Tagen erreicht, grösstenteils während weniger als 12 Stunden pro Tag. Beispiel: die Langeten bei Huttwil (Abb. 4.4b).
- **Klasse III: Temperatur-Stress-Risiko.** Ab 18 °C wird der Organismus von Bachforellen – zusätzlich zum vorhandenen Risiko zum Ausbruch von PKD – strapaziert⁸. Die Löslichkeit von Sauerstoff im Wasser nimmt ab (zusätzlich O₂-Abnahme auf Grund von Abbauvorgängen), gleichzeitig steigt jedoch die Aktivität der Organismen (zusätzlicher Sauerstoffbedarf bei Mangelangebot). Starker Rückgang der Nahrungsaufnahme. Es besteht auch in PKD-freien Gewässern ein Temperatur-Stress-Risiko. Klassierungskriterien:
 - 15 °C werden an *vielen* Tagen erreicht oder überschritten, vielfach während 24 Stunden pro Tag.
 - 18 °C werden an vielen Tagen erreicht oder überschritten, während mindestens 12 Stunden pro Tag.
 - 25 °C werden entweder während maximal 16 Stunden pro Tag an mehr als 10 Tagen oder während 24 Stunden an höchstens einzelnen Tagen erreicht oder überschritten. Beispiel: die Emme bei Littau (Abb. 4.4c).

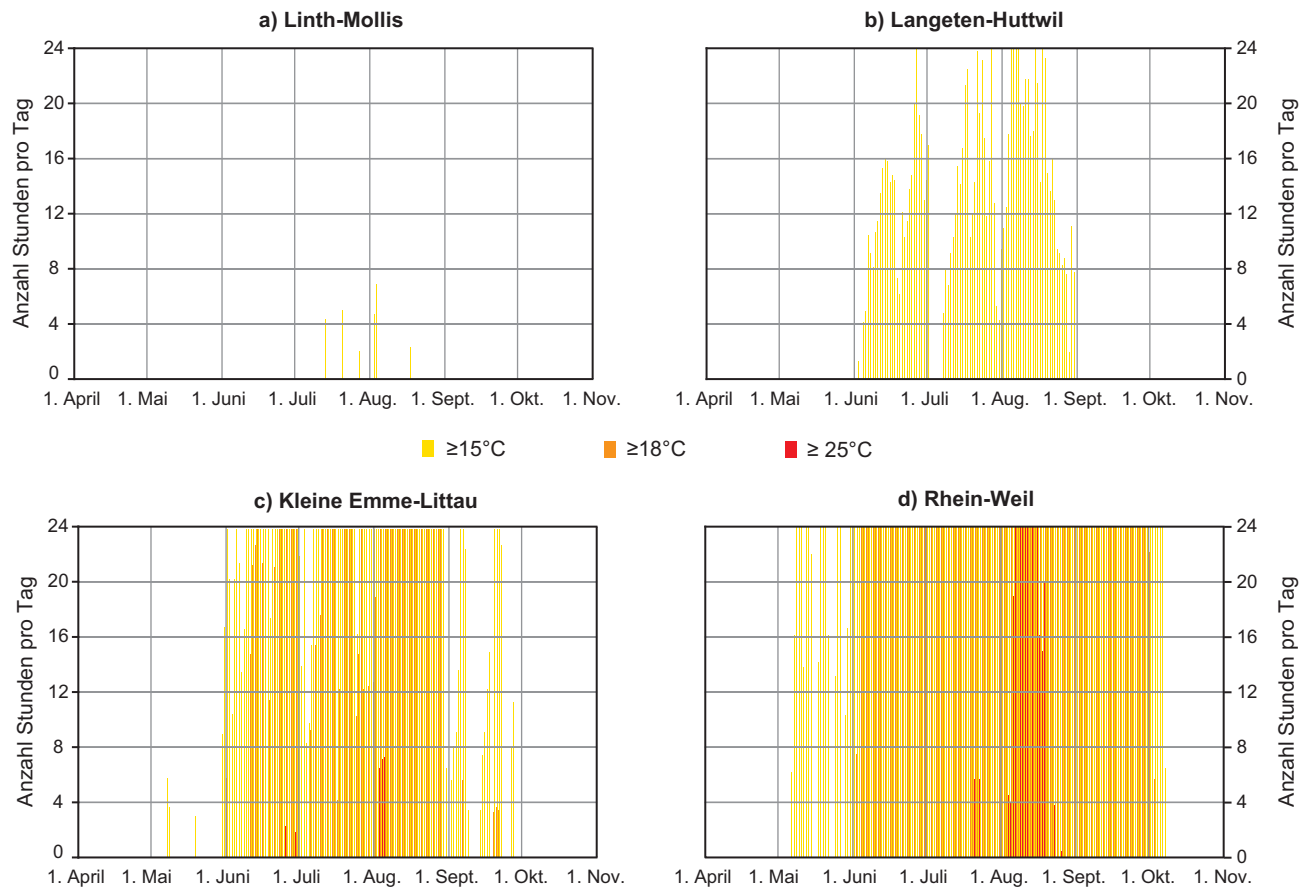


Abb. 4.4: Wassertemperaturdaten von vier ausgewählten Messstationen im Jahr 2003. Dargestellt ist, an wie vielen Stunden pro Tag die «Schwellenwerte» von 15, 18 und 25 °C überschritten worden sind.

- **Klasse IV: Temperatur-Mortalitäts-Risiko.** Auf Grund der hohen Wassertemperatur besteht aus physiologischen Gründen (Stoffwechsel) ein Mortalitäts-Risiko. Klassierungskriterien:
 - 15 °C werden an *vielen* Tagen erreicht oder überschritten, meist während 24 Stunden pro Tag.
 - 18 °C werden an *vielen* Tagen erreicht oder überschritten, meist während 24 Stunden pro Tag.
 - 25 °C werden an mehreren Tagen erreicht oder überschritten, häufig während 24 Stunden pro Tag. Beispiel: Der Rhein bei Weil unterhalb von Basel (Abb. 4.4d).

Abb. 4.5:
Die Wassertemperaturen
an 131 Messstationen im
Jahr 2003.

Risikoklassierung:

- Klasse I
(kein Temperatur-Risiko)
- Klasse II
(Temperatur-PKD-Risiko)
- Klasse III
(Temperatur-Stress-Risiko)
- Klasse IV
(Temperatur-Mortalitäts-
Risiko)



4.3.2 Anwendung der Risikoklassierung auf das Jahr 2003

In Abb. 4.5 sind die klassierten Wassertemperaturdaten der insgesamt 131 Stationen für das Jahr 2003 dargestellt. Die wichtigsten Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Fliessgewässer mit glazialen Regime oder Schneeschmelzeinfluss lassen sich meist der **Klasse I** zuordnen. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch bei vorhandenem PKD-Erreger die Fischkrankheit wegen der zu geringen Wassertemperaturen nicht ausbrechen kann. Ausnahmen bilden die Stationen Engstligen-Frutigen und Taschinasbach-Grüsch, die beide der **Klasse II** zugeordnet werden.
- Bei den meisten untersuchten Fliessgewässern besteht mindestens ein Temperatur-PKD-Risiko (**Klasse II**).
- Rund die Hälfte der 2003 aktiven Messstationen lassen sich der **Klasse III** – Temperatur-Stress-Risiko – zuordnen.
- Bei Seen gelangen seeoberflächen nahe, warme Wasserschichten zum Abfluss. Die Messstellen unterhalb der Seen müssen daher – mit Ausnahme des alpin geprägten Brienersees und Thunersees sowie des Bielersees – der **Klasse IV** zugeordnet werden. Der Bielersee ist ein Ausnahmewasser. Die für einen Seezufluss relativ warme Aare schichtet sich in der warmen, oberflächennahen Schicht des Sees ein. Sie wird nach der Einmündung in den See nach rechts abgedrängt, fließt dem rechten Seeufer entlang und verlässt den See bereits wie-

der nach zwei bis drei Wochen. In dieser relativ kurzen Zeit kann keine extreme Erwärmung stattfinden. Der Zufluss bestimmt dadurch massgeblich die Temperatur des Ausflusses.

- Reuss, Limmat und die Messstationen des Rheins unterhalb des Bodensees wiesen im Jahr 2003 sehr hohe Temperaturen auf, die zu einer Einteilung in **Klasse IV** führen. Die hohe Wassertemperatur führte in einzelnen Gewässerabschnitten zu Fischsterben. Massiv von einem Äschensterben betroffen wurde der Rhein unterhalb des Untersees/Bodensees (vgl. Kap. 8.4, Kasten S. 141).
- Mit zunehmender Fliessstrecke lässt sich beim Rhein oder bei der Limmat (kein akutes Fischsterben beobachtet, möglicherweise wegen der kleinen Population) unterhalb der Seen eine Abkühlung der Wassermassen feststellen. Dazu tragen vorwiegend weniger warme Zuflüsse und unter Umständen Grundwasseraufstösse bei. Zudem stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Fluss- und Lufttemperatur ein. Bei Wassertemperaturen von 25 bis 30 °C erreicht dieses einen Bereich, wo es aus physikalischen Gründen – etwa wegen des Dampfdrucks – nicht mehr beliebig erhöht wird⁹. Unterhalb der sehr warmen Seen ist deshalb eine Abkühlung durch Verdunstung wahrscheinlich.

4.3.3 Vergleich der Jahre 2003 und 2002

Um die Auswirkungen des heissen und trockenen Sommers 2003 auf die Wassertemperatur der Fliessgewässer sichtbar zu machen, wurden die Wassertemperaturen des Vergleichsjahres 2002, das meteorologisch einen Normsommer brachte, nach dem gleichen Prinzip den Risikoklassen zugeordnet. Die 17 Stationen, die erst im Jahre 2003 in Betrieb waren, wurden dabei nicht berücksichtigt. Abb. 4.6 zeigt die prozentuale Aufteilung der 114 Stationen in die vier Risikoklassen in den Jahren 2002 und 2003. In Abb. 4.7 sind zudem jene 44 der 114 Stationen und ihre Risikoklasse dargestellt, bei denen von 2002 zu 2003 eine Klassenänderung festgestellt wurde.

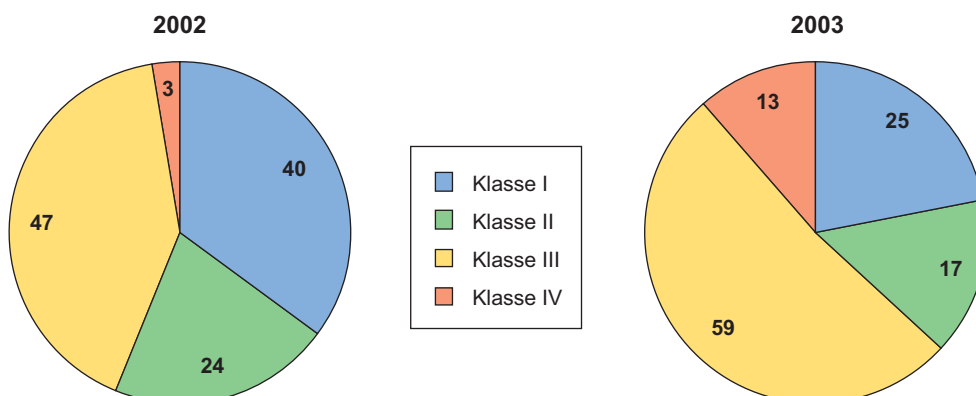


Abb. 4.6: Aufteilung von 114 Temperatur-Messstationen in die vier Risikoklassen in den Jahren 2002 und 2003.

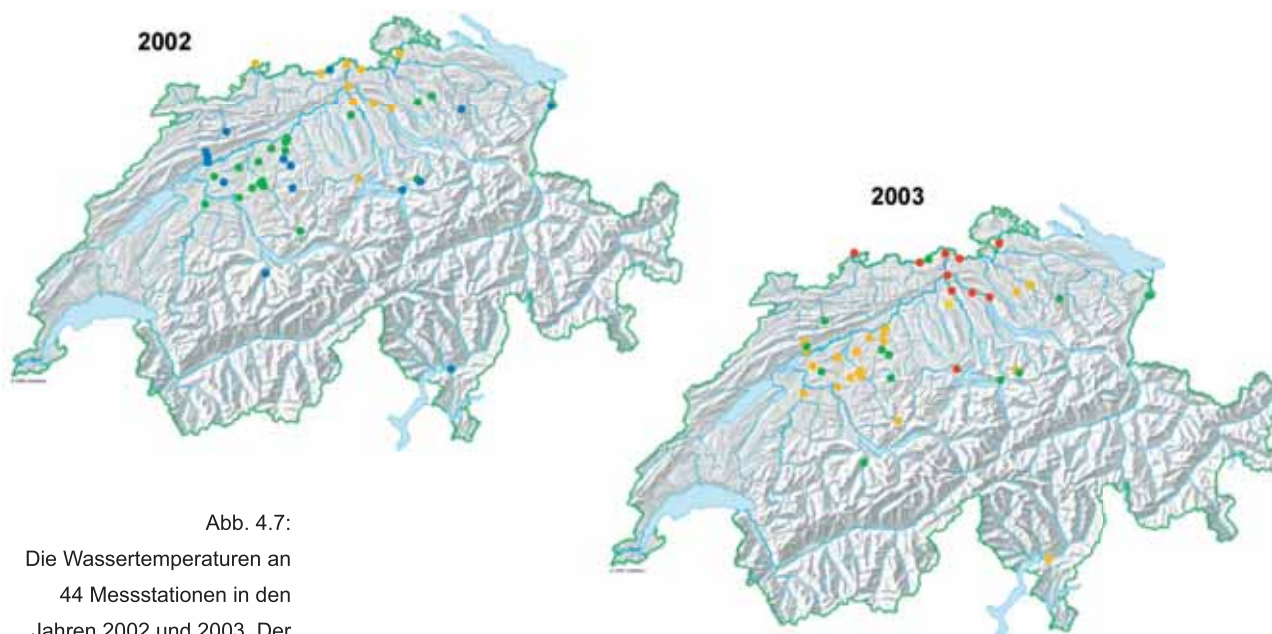
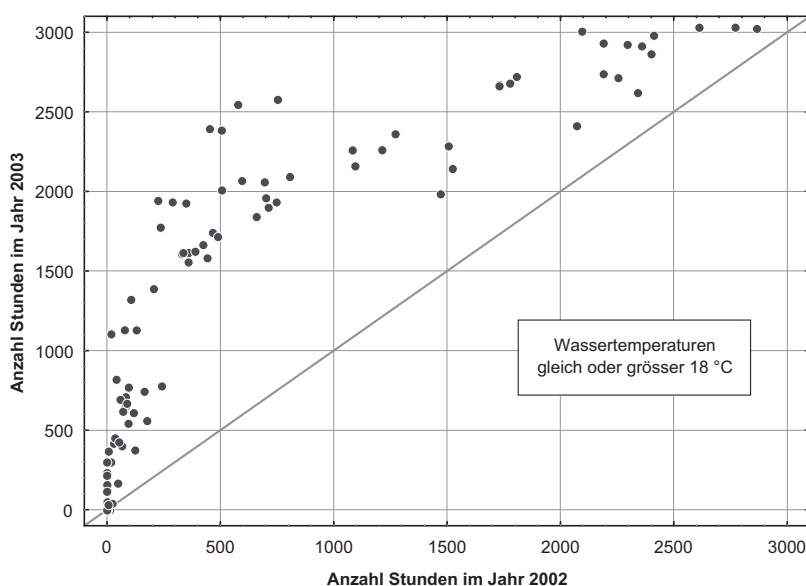


Abb. 4.7:
Die Wassertemperaturen an
44 Messstationen in den
Jahren 2002 und 2003. Der
Hitzesommer 2003 bewirkte
bei fast allen hier darge-
stellten Stationen eine
Klassierung um eine Risiko-
klasse nach oben. Die 70
Stationen ohne Klassen-
änderung sind nicht darge-
stellt. (Risikoklassierung:
vgl. Abb. 4.5 auf S. 80)

Die erhöhte Wassertemperatur im Jahr 2003 bewirkte bei fast allen in der Abb. 4.7 aufgeführten Stationen eine Klassierungsverschiebung um eine Risikoklasse nach oben. Ausnahmen bilden die Stationen Suze-Péry, Suze-Biel und Ticino-Riazzino: Hier kann eine Verschiebung von Klasse I zu Klasse III (statt II) festgestellt werden.

Die 70 Stationen, die in den beiden Jahren derselben Klasse zugeordnet werden können, sind in dieser Karte nicht dargestellt. So lässt sich zwar auch bei diesen Stationen generell eine Erhöhung der Anzahl Stunden feststellen, in denen der jeweilige Schwellenwert erreicht oder überschritten wurde. Sie reicht jedoch nicht für eine Klassifikationsänderung aus. Abb. 4.8 zeigt die Anzahl Stunden in der Risikoklasse III im Jahr 2003 (Y-Achse) und im Jahr 2002 (X-Achse). In beiden Jahren gleichbleibende Werte würden auf die Diagonale zu liegen kommen. Eine Zunahme der Anzahl Stunden lässt sich sowohl bei Stationen feststellen, die im Jahr 2002 eine geringe Anzahl Stunden mit erhöhten Wassertemperaturen aufwiesen, wie auch bei Stationen mit einer hohen Anzahl solcher Stunden im Jahr 2002.

Abb. 4.8:
Anzahl Stunden mit
Wassertemperaturen über
18 °C an den 114 Mess-
stationen (Punkte), aufge-
tragen für die Jahre 2002
(X-Achse) und 2003
(Y-Achse). Stationen, bei
denen sich zwischen diesen
beiden Jahren nichts ver-
ändert hat, würden auf die
Diagonale (graue Linie)
zu liegen kommen.



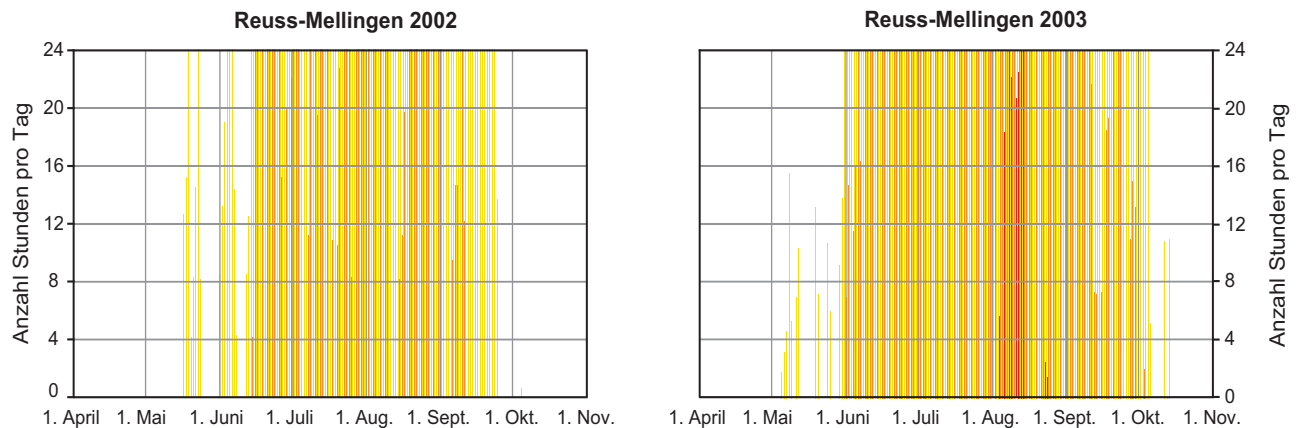


Abb. 4.9:

Wassertemperaturen an der Messstation Reuss-Mellingen in den Sommern 2002 und 2003. Dargestellt ist, an wie vielen Stunden pro Tag die «Schwellenwerte» von 15, 18 und 25 °C überschritten worden sind.

In Abb. 4.9 ist am Beispiel der Messstation Reuss-Mellingen die Verschiebung von der Risikoklasse III im Sommer 2002 in die Risikoklasse IV im Sommer 2003 dargestellt.

4.3.4 Vergleich der Monatsmittel 2003 mit den langfristigen Periodenmitteln

Auch beim Vergleich der Monatsmittel mit dem Periodenmittel ragt das Hitzejahr 2003 heraus. In Abb. 4.10 ist die Abweichung der Monatsmittel im Jahr 2003 zum Periodenmittel der 37 BWG-Stationen, die seit mindestens zehn Jahren betrieben werden, aufgezeichnet. In den Monaten April, Mai und Juni lagen die Monatsmittel immer über dem Periodenmittel. Lediglich in den Monaten Juli, August und September fielen die Monatsmittel der vom alpinen Regime beeinflussten Stationen – Lütschine-Gsteig, Rhone-Sion und Rhone-Porte-du-Scex – tiefer aus als das Periodenmittel. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die Hitzewellen 2003 zufällig genau mit Kalendermonaten (Juni und August) zusammenfielen, wodurch das Extreme in den Monatsmittel-Temperaturen zusätzlich gefördert wurde (vgl. Kap. 1.2, S. 26).

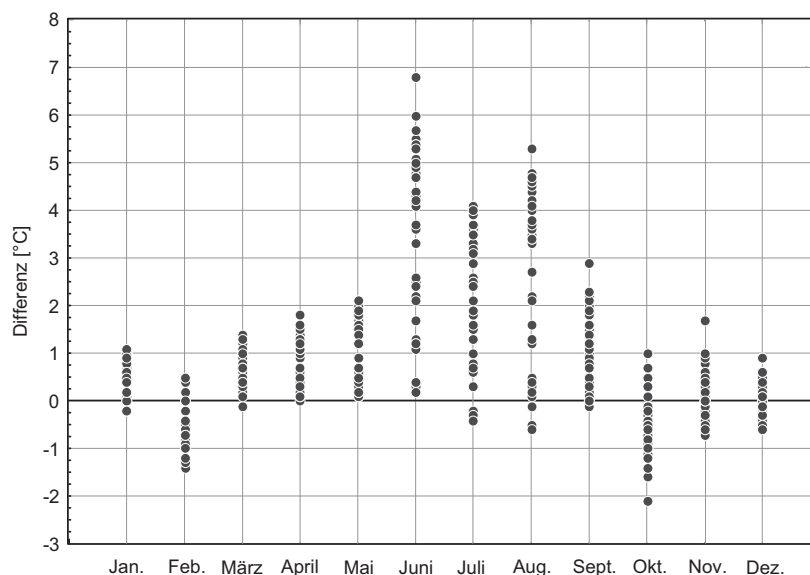


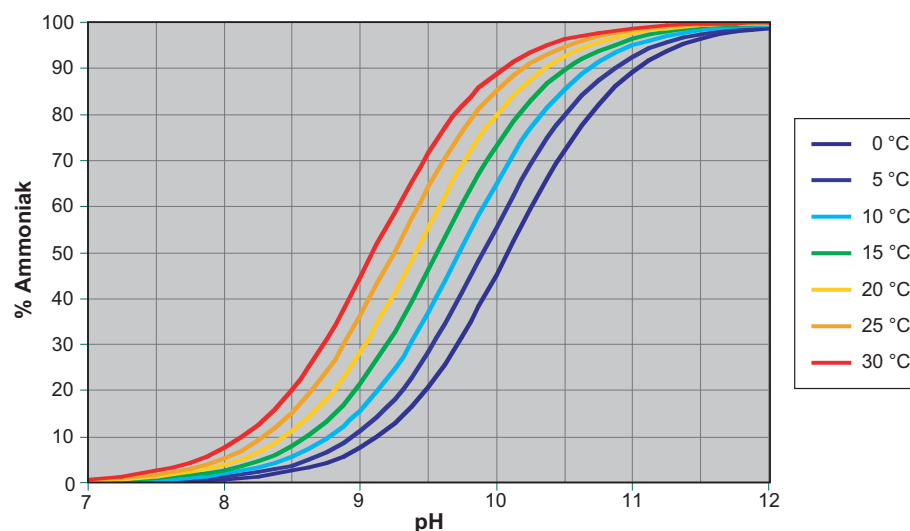
Abb. 4.10: Differenz der Temperatur-Monatsmittel im Jahr 2003 zum Temperatur-Periodenmittel für die 37 BWG-Stationen, die seit mindestens zehn Jahren im Betrieb sind.

4.4 Chemie und Biologie

4.4.1 Chemische Inhaltsstoffe

Erhöhte Wassertemperaturen in einem Gewässer und verstärkte Sonneneinstrahlung fördern die biologische Aktivität (vgl. Kap. 4.1.1). Dies zeigt sich auch im verstärkten Wachstum der Algen und Wasserpflanzen. Wenn die Algenentwicklung einige Meter unterhalb der Wasseroberfläche stattfindet, ist diese optisch kaum mehr wahrnehmbar. Die stark erhöhte Photosyntheseaktivität der Algen führt zu erhöhtem Verbrauch des im Wasser gelösten Kohlendioxids und damit zu einem Anstieg des pH-Werts (vgl. Kap. 4.4.3).

Abb. 4.11:
Prozentuale Verteilung von Ammonium/Ammoniak bei verschiedenen pH-Werten und Temperaturen. Je höher der pH und je höher die Temperatur steigen, desto mehr steigt auch der prozentuale Anteil von Ammoniak zu Lasten des Ammoniums.



Bei erhöhten pH-Werten und/oder erhöhten Temperaturen wird Ammonium (NH_4^+) zunehmend in Ammoniak (NH_3) überführt (Protolyse des Ammoniums, Abb. 4.11). Ammoniak wirkt für Fische giftig. Ammonium wird bei Anwesenheit von Sauerstoff bakteriell in Nitrat (NO_3^-) umgewandelt. Bei diesem Prozess, Nitrifikation genannt, entsteht als Übergangsprodukt Nitrit (NO_2^-), das für Fische ebenfalls giftig ist.

Trotz dieses temperaturbedingten Wirkungsgefüges und der geringen Abflussmengen in Flüssen und Bächen wurden gemäss Aussagen der kantonalen Fachstellen (BE, SO, ZH) bei den chemischen Inhaltsstoffen keine Probleme beobachtet. Ihre Konzentration lag im Jahr 2003 offenbar nicht oder kaum höher als in den Vorjahren.

4.4.2 Abwasserreinigung

Grundsätzlich fördern hohe Wassertemperaturen den biologischen Abbau in den Abwasserreinigungsanlagen (ARA). Die Reinigungsleistung der ARAs war im Sommer und Herbst 2003 dennoch etwa vergleichbar mit derjenigen der vorangegangenen Jahre. Da im Sommer 2003 die Trinkwasserversorgung nur sehr vereinzelt und lokal eingeschränkt wurde (vgl. Kap. 10.2), blieb der Abwasseranfall recht konstant, d.h. die Konzentration der Belastungstoffe lag während der ganzen Trockenperiode in einem Bereich, der für den Betrieb der Anlagen günstig ist. Dazu kam, dass wegen der geringen Niederschläge nur wenig Fremdwasser (unverschmutztes oder wenig verschmutztes Regenwasser) anfiel und daher die Regentlastungen – das direkte Einleiten in die Gewässer – nicht aktiv wurden. Insgesamt blieb im Sommer 2003 der Abfluss in die Vorfluter geringer als üblich. Das hatte zur Folge, dass das Verdünnungsverhältnis nicht schlechter war als in früheren Jahren, obwohl die Flüsse vielerorts deutlich weniger Wasser führten (vgl. Kap. 3.4). Dies galt vor allem für das Alpengebiet und das Mittelland. In den Karstgebieten des Juras, die stark von der Trockenheit betroffen wurden und deren Gewässer erst noch besonders empfindlich reagieren (vgl. Kap. 5.3.1), war die Situation oft deutlich schlechter.

In Fliessgewässern fördern erhöhte Temperaturen nun aber auch den bakteriellen Abbau des Ammoniums und des Nitrits. Trotz der temperaturbedingt grösseren Protonenlyse des Ammoniums wurden deshalb keine kritischen Ammoniakkonzentrationen gemeldet. Einzig unterhalb von Kläranlagen mit ungenügender Reinigungsleistung traten Probleme auf, beispielsweise bei der ARA Birs II bei Basel (Abb. 4.12), deren Abwasser jedoch seit Mai 2004 nicht mehr in die Birs, sondern via Tiefenrohr in den Rhein eingeleitet wird. Erschwerend wirkten sich hier die extremen Abflussverhältnisse aus: Da ein grosser Teil des Einzugsgebietes der Birs im Karst liegt, war der Abfluss in den Sommermonaten 10 mal geringer als in normalen Jahren (vgl. Kap. 3.4.2, Abb. 3.4c, S. 50).

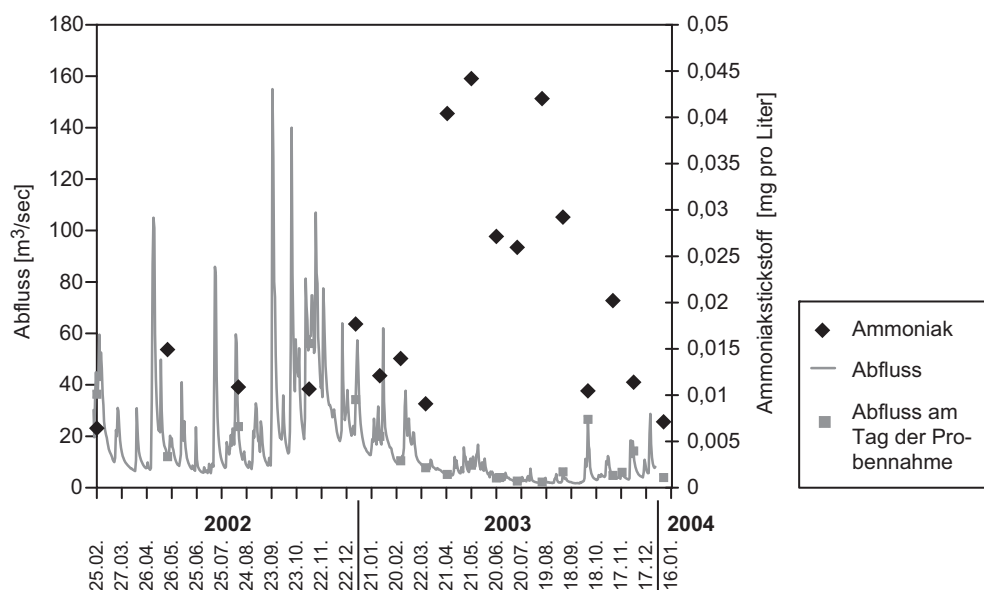


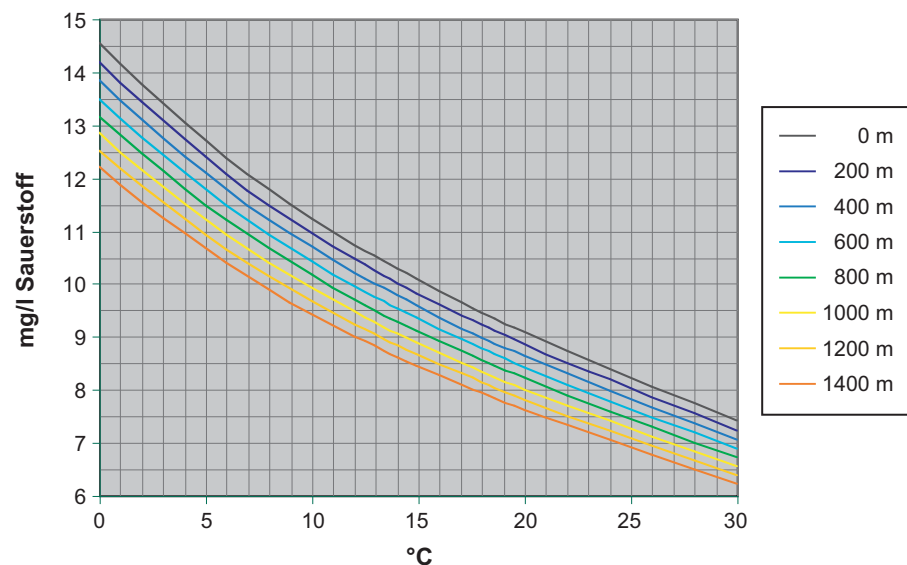
Abb. 4.12:
Belastung der Birs am Birskopf mit Ammoniak von Februar 2002 bis Januar 2004. Die im Frühjahr/ Sommer 2003 beobachteten Ammoniak-Konzentrationen liegen in einem Bereich, der Edelfische gefährden kann. Dies gilt insbesondere für deren Laich und die Jungfische. (Daten: AUE-Labor Basel-Stadt)

4.4.3 Photosyntheseaktivität

Die biologische Aktivität in einem Gewässer ist abhängig von der Artenzusammensetzung, den verfügbaren Nährstoffen, der Energiezufuhr, der Morphologie und der Temperatur. Der Einfluss der Temperatur ist nicht linear: Die meisten Organismen zeigen ein Temperaturoptimum, d.h. wenn dieses unter- oder überschritten wird, nimmt die Leistungsfähigkeit ihres Stoffwechsels ab. Grüne Pflanzen und Algen reagieren zudem intensiv auf Sonnenlicht.

In der Nationalen Daueruntersuchung der schweizerischen Fliessgewässer (NADUF) werden kontinuierlich 14-tägige Mischproben erhoben und analytisch untersucht. Die Parameter Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Leitfähigkeit und Temperatur werden mittels Elektroden vor Ort in 10-Minuten-Intervallen erfasst. Dadurch können die Schwankungen innerhalb eines einzelnen Tages zeitlich aufgelöst werden.

Abb. 4.13:
Sauerstoffkonzentration im
Wasser in Abhängigkeit von
Temperatur und Höhenlage
über Meer (entspricht
der 100 %-Sättigung).



Messstationen unterhalb der Seen zeigen beim Sauerstoff und beim pH-Wert deutliche Tagesschwankungen, die auf die Photosynsetätigkeit der grünen Pflanzen und Algen zurückzuführen sind. Wenn die Sonne hoch steht, sind die Rahmenbedingung (Temperatur und Sonnenlicht) günstig. In der Nacht wird die Photosynthese eingestellt und die Pflanzen produzieren keinen Sauerstoff mehr. Sie gewinnen die notwendige Energie für ihren Stoffwechsel aus der Veratmung (Abbau) energiereicher Substanzen (Zucker) mit Hilfe von Sauerstoff: Sie werden somit zum Sauerstoffverbraucher.

Auch der pH-Wert schwankt mit dem tageszeitlichen Wechsel der Photosyntheseaktivität, da während des Tages CO_2 aufgenommen und nachts abgegeben wird. Die Photosyntheseaktivität beschränkt sich aber nicht nur auf stehende Gewässer. Verkrautungen in langsam fliessenden und eher seichten Gewässern können den Sauerstoffgehalt ebenfalls stark beeinflussen.

Der Sauerstoffgehalt wird entweder in Milligramm Sauerstoff pro Liter ($\text{mg O}_2/\text{l}$) gemessen, oder – von den Einflüssen der Temperatur und des Luftdrucks bereinigt – in Prozent der Sauerstoffsättigung. 100 %-Sättigung entsprechen dem Gleichgewichtszustand, der sich einstellt, wenn Temperatur und Luftdruck konstant gehalten werden. Mit sinkendem Luftdruck – mit zunehmender Höhe über Meer – und steigenden Temperaturen nimmt die Aufnahmekapazität des Wassers für gelösten Sauerstoff ab (Abb. 4.13).

Wenn durch Photosyntheseaktivität in einem Gewässer Sauerstoff produziert wird, sind insbesondere in stehenden Gewässern kurzfristig auch Übersättigungen von bis zu 200 % möglich. In einem Fliessgewässer gast je nach Turbulenzen der überschüssige Sauerstoff rascher aus.

4.4.4 Aussergewöhnliche Beobachtungen im Sommer 2003

Die ausserordentliche Strahlungsintensität und die Rekordtemperaturen im August 2003 spiegeln sich im Sauerstoffgehalt der Gewässer wieder, dargestellt als Sauerstoffsättigung. Die Variation in der Sauerstoffsättigung bei NADUF-Stationen unterhalb der Seen hat während der Hitzeperiode ein Ausmass erreicht, das seit Beginn der Messreihen noch nie beobachtet worden ist, auch nicht im Trockenjahr 1976 (Abb. 4.14a–d).

Verstärkt wird dieser Effekt durch langsam fliessendes Flusswasser, das dem Ausbilden eines Gleichgewichtszustandes im Austausch mit atmosphärischem Sauerstoff nicht förderlich ist. Wesentlich sind hier Länge und Morphologie der Fliessstrecke vom Seeausfluss bis zur Messstation. Auf der Strecke zwischen dem Bielersee und der Messstation an der Aare bei Brugg beispielsweise befinden sich neun grössere Staustufen, in denen die Aare langsam fliesst. Die Reuss ist bis zur Messstation bei Mellingen ebenfalls durch Staustufen beeinflusst, aber die vier Staustrecken sind im Vergleich zur gesamten Fliessstrecke von geringerer Bedeutung. Die Messstelle Brugg zeichnete sich im Hitzesommer 2003 durch besonders tiefe Sauerstoffwerte während der Nacht aus ($< 80\%$), die Messstelle Mellingen durch besonders hohe Werte tagsüber ($> 170\%$).

Die genauere Betrachtung der NADUF-Daten und der Vergleich mit dem «Normsommer» 2002 (Aare: 1996) und dem Trockenjahr 1976 hat folgende aussergewöhnliche Beobachtungen ergeben:

- **Messstation Aare-Brugg** (Abb. 4.14a): Verstärkte Variation in der Sauerstoffsättigung ab Mitte Juni. Extreme Variationen bis 45 % in den Monaten Juli und August. Generell tiefere Minima als in anderen Jahren; in einzelnen Nächten sogar nur noch 70 % Sättigung. Möglicherweise erhöhte nächtliche Sauerstoffzehrung in den Staustufen zwischen Bielersee und Brugg und schwächere Wiederbelüftung durch verringerte Turbulenzen. Parallel dazu Erhöhung der Schwankungsbreite beim pH-Wert.
- **Messstation Reuss-Mellingen** (Abb. 4.14b): Grosse Tagesschwankungen bei Sauerstoff und pH, hohe Maximalwerte beim Sauerstoff, Übersättigung bis 170 % im September (die Werte im August fehlen). Möglicherweise erhöhte Sauerstoffproduktion tagsüber durch Aufwuchsalgen und Pflanzen im Fließgewässer selbst. Grössere Schwankungen bei pH und O₂ bereits im März (wie in anderen Jahren auch). Grund dafür könnten auch hier die Aufwuchsalgen und Wasserpflanzen sein. Beim ersten Hochwasser im April oder Mai wird der Gewässergrund restrukturiert und die Pflanzen oder Algen werden abgerissen und abgeschwemmt.
- **Messstation Rhein-Rekingen** (Abb. 4.14c): Grössere Schwankung beim Sauerstoff. Minima liegen tiefer als üblich (90 % Sättigung). Möglicherweise liegt der Grund in einer Sauerstoffzehrung im Bodensee/Untersee oder in den verringerten Turbulenzen des bei niedrigem Wasserstand langsamer fliessenden Rheins unterhalb des Sees.
- **Messstation Rhone-Porte-du-Scex** (Abb. 4.14d): 50 % tiefere Werte bei der elektrischen Leitfähigkeit aufgrund des stark erhöhten Anteils an Gletscherwasser, das wenig gelöste Salze enthält.

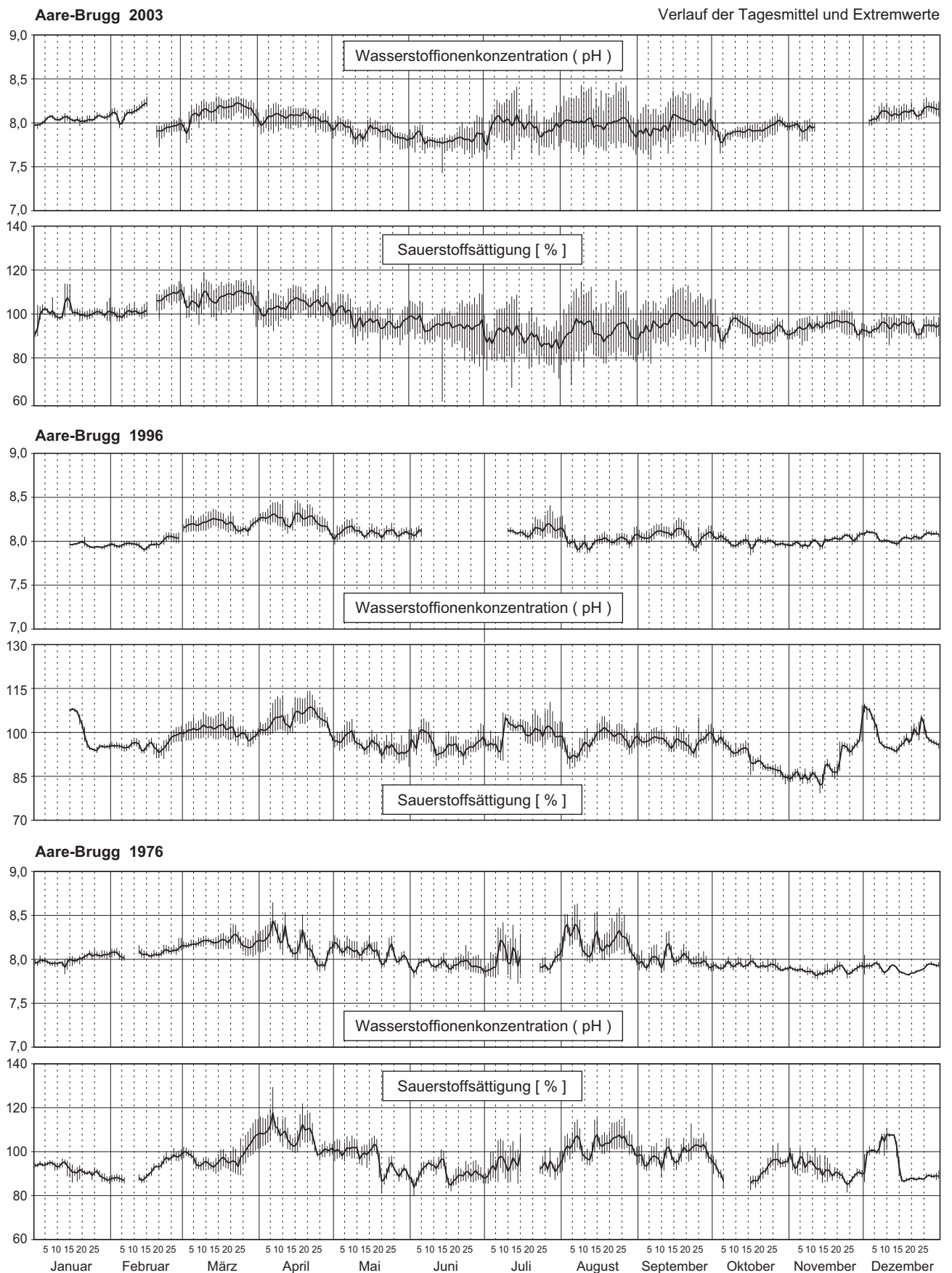


Abb. 4.14a:

pH und Sauerstoffsättigung bei der Station Aare–Brugg in den Jahren 2003, 1996 und 1976. Auffallend ist die deutlich grössere Schwankungsbreite im Hitzesommer 2003. (Aus den Jahren 1999 bis 2002 liegen keine vollständigen Messungen vor.)

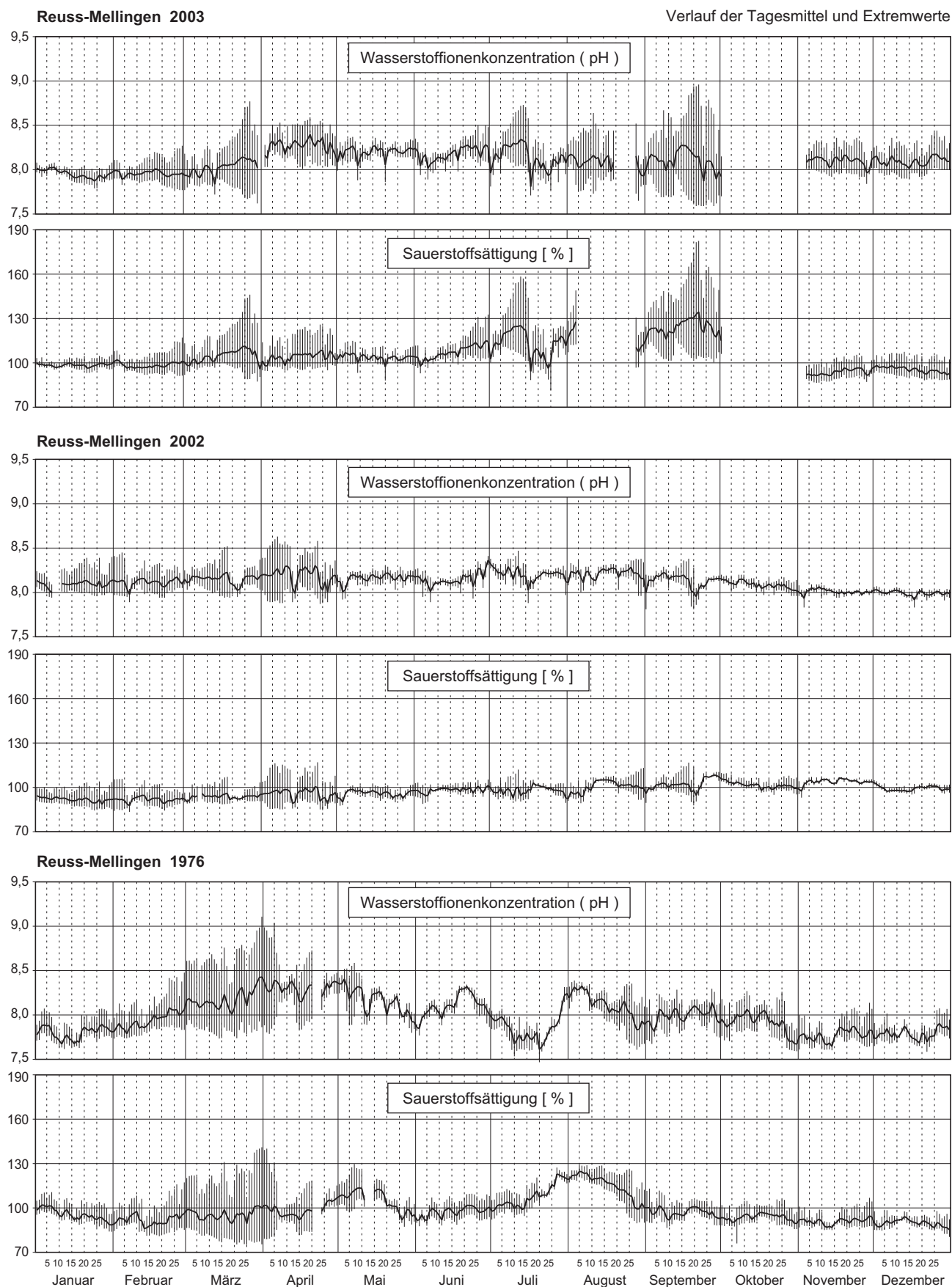


Abb. 4.14b:

pH und Sauerstoffsättigung bei der Station Reuss-Mellingen in den Jahren 2003, 2002 und 1976. Auffallend sind auch hier – wie bei der Aare in Brugg – die sehr grossen Tagesschwankungen während der sommerlichen Hitzeperiode.

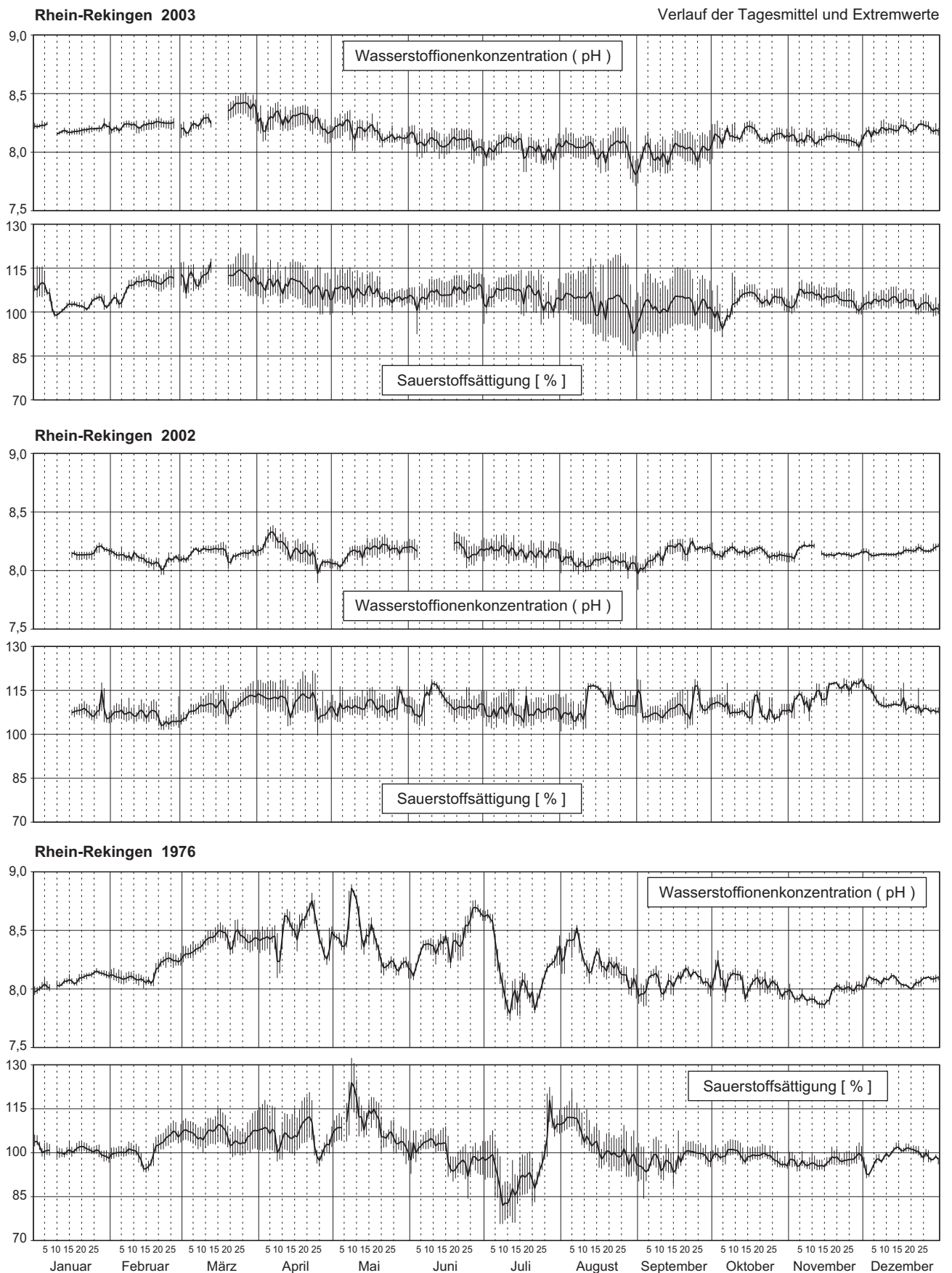


Abb. 4.14c:

Sauerstoffsättigung bei der Station Rhein-Rekingen in den Jahren 2003 und 2002

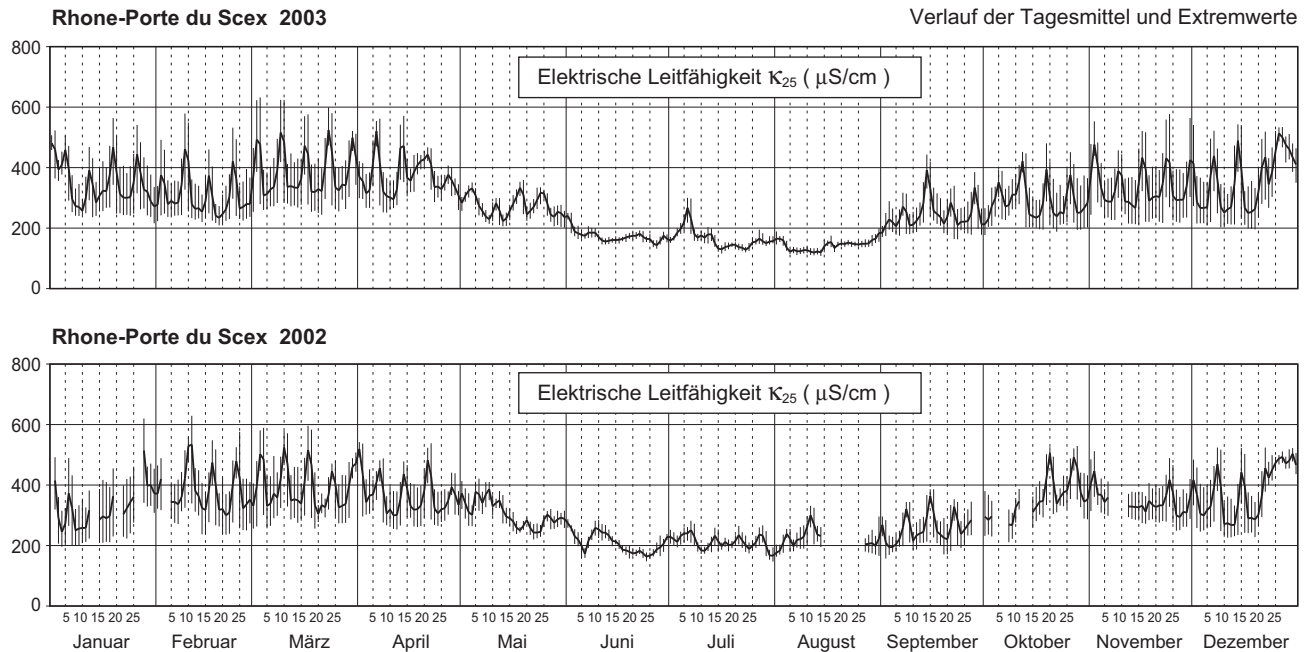


Abb. 4.14d: elektrische Leitfähigkeit bei der Station Rhone-Porte-du-Scex in den Jahren 2003 und 2002.

4.4.5 Besondere Phänomene

Eine stark erhöhte Photosyntheseaktivität der Algen, so wie sie im Sommer 2003 aufgetreten ist, kann wegen des erhöhten Verbrauchs von gelöstem Kohlendioxid im Wasser zu einer sogenannten «biogenen Entkalkung» führen. Dieses Phänomen wurde Anfang Juni 2003 im Rhein oberhalb von Schaffhausen beobachtet (siehe Kasten).

Erwartet wurde auch eine erhöhte bakterielle Aktivität in den Gewässern und damit verbunden vermehrt auftretende hygienische Probleme bei den Badegewässern. Dies wurde aber nicht beobachtet (vgl. Kap. 9.2). Interessant war die Entdeckung der in der Schweiz normalerweise kaum in Erscheinung tretenden Süsswasserqualle *Craspedacusta sowerbyi* am Neuenburgersee (vgl. Kap. 9.2, Kasten S. 147).

«Am Abend des 3. Juni 2003 erhielt unser Amt die Meldung, dass auf der Höhe Schupfen/Diessenhofen quer über den Rhein eine milchigweisse Trübung mit Schaumbildung beobachtet wurde. Dies erinnerte uns an Meldungen in früheren Jahren, erstmals Mitte Juli 1998, als auf der Höhe der Rheinbadeanstalt eine gleichartige Beobachtung gemeldet worden war. [...] Am Mittwoch, den 4. Juni, erhielten wir dann weitere Meldungen über ein starke Schaumbildung bis nach Rheinfelden hinunter. [...] Das für die weissliche Trübung auf der Höhe Schupfen verantwortliche Material wie auch dasjenige auf der Höhe Rheinau entnommene wurde [wie bereits 1998] als reiner Kalk in feinsten Kristallausscheidungen (um 1 bis 2 Mikrometer gross) identifiziert. [...]

Natürliches Wasser weist bekanntlich eine <Härte> auf, die durch gelösten Kalk verursacht wird. Die Löslichkeit des Kalkes beruht auf einem chemischen Gleichgewicht mit der Kohlensäure, die durch das in der Luft vorkommende Kohlendioxid (CO_2) in Wasser gebildet wird. Wird Kohlendioxid aus dem Wasser entfernt, fällt Kalk aus. Jeder, der Wasser kocht, kann dieses Phänomen beobachten. Durch die Erhitzung wird Kohlensäure aus dem Wasser ausgetrieben und damit das Gleichgewicht gestört. Die Folge ist die Kalkausscheidung.

Bei der <biogenen Entkalkung> wird nun das Kohlendioxid nicht in erster Linie durch die Temperaturerhöhung ausgetrieben, sondern durch einen kurzfristig erhöhten Verbrauch durch grüne photosynthetisierende Pflanzen. In Gewässern beobachtet man die Entkalkung deshalb besonders zu Zeiten, in denen die Temperaturen und insbesondere auch die Sonneneinstrahlung in das Wasser stark zunehmen. Unter diesen Bedingungen können sich z.B. grüne Algen explosionsartig vermehren und durch ihren Kohlendioxidverbrauch dann das Kalkgleichgewicht zum Kippen bringen.»



Abb. 4.15:
Kalkausscheidung und Schaumbildung im Rhein bei Rheinau unterhalb von Schaffhausen im Juni 2003.
(Bilder: Andreas Hauser, Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz des Kantons Schaffhausen)

Biogene Entkalkung im Rhein

*Medienmitteilung des Amtes
für Lebensmittelkontrolle und
Umweltschutz des Kantons
Schaffhausen vom 5. Juni
2003*

-
- ¹ DE MONTMOLLIN, F. & JAKOB, A., 1995: *Temperaturverhältnisse in Fließgewässern und Seen*. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*, Tafel 7.3. Bern: Landeshydrologie und -geologie, Bern.
- ² JAKOB, A., LIECHTI, P. & SCHÄDLER, B., 1996: *Temperatur in Schweizer Gewässern – Quo vadis?* Gas-Wasser-Abwasser, 4/96, S. 288–294.
- ³ JAKOB, A. & GEISSEL, A. (im Druck): *Messnetze zur Bestimmung chemischer und physikalischer Parameter der Oberflächengewässer*. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*, Tafel 7.1². Bern-Ittigen: Bundesamt für Wasser und Geologie.
- ⁴ BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (BWG), 2004: *Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2003*. Bern-Ittigen: BWG.
- ⁵ JAKOB, A., LIECHTI, P. & BINDERHEIM, E., 2002: *30 Jahre NADUF – Eine Zwischenbilanz*. Gas-Wasser-Abwasser, 3/02, S. 203–208.
- ⁶ Mitteilung des Amtes für Abfall, Wasser, Energie, Luft (AWEL) des Kantons Zürich vom 22. April 2004.
- ⁷ ZENTRUM FÜR FISCH- UND WILDTIERMEDIZIN DER UNIVERSITÄT BERN: *Jahresbericht 2003*. Bern.
- ⁸ ELLIOT, J.M., 1994: *Quantitative Ecology and the Brown Trout*. Oxford Series in Ecology and Evolution. Oxford University Press.
- ⁹ MOHSEN, O. & STEFAN, H.G., 1999: *Stream temperature/air temperature relationship: a physical interpretation*. Journal of Hydrology 218: 128–141.

5 Grundwasser

Die Trockenheit des Jahres 2003 wirkte sich sehr unterschiedlich auf die Grundwasservorräte der Schweiz aus. Vielerorts wurde das Jahr nach dem nassen Frühwinter 2002/2003 mit ausnehmend hohen Grundwasserständen begonnen. Wo Quellen aus oberflächennahen Vorkommen gespiesen werden, führten die seit Jahresbeginn anhaltenden Niederschlagsdefizite dennoch zu einem deutlichen Rückgang der Schüttung. In den Talschottern der grossen Flüsse aus dem Alpenraum profitierten die Grundwasserstände dagegen von der verstärkten Schnee- und Gletscherschmelze und lagen Ende Sommer zwar tief, aber immer noch über dem langjährigen Minimum. In den kleineren Flusstälern im Mittelland und im Südtessin sanken sie jedoch zum Teil auch unter das langjährige Minimum.

5.1 Die Grundwasserverhältnisse in der Schweiz

Trockene und niederschlagsreiche Perioden wirken sich sehr unterschiedlich auf das Grundwasser aus. Der Grundwasserstand und vor allem die Quellschüttungen aus oberflächennahen Grundwasservorkommen reagieren – teilweise durch Druckausgleich – auf die Witterung, wenn auch unterschiedlich stark und rasch. Im Gegensatz dazu verändert sich die chemische Zusammensetzung des Grundwassers eher langsam. Der Grund dafür liegt in den geringen Sicker- und Fliessgeschwindigkeiten, der breiten Durchmischung und in der langen Aufenthaltszeit des Wassers im Grundwasserleiter.

Die Grundwasserneubildung erfolgt einerseits durch die natürliche Versickerung jenes Teils des Niederschlags, der nicht in Bächen und Flüssen abfließt oder verdunstet, und andererseits durch Infiltration (Versickerung) von Wasser aus Oberflächengewässern. Das Verhalten der Grundwasserstände und der Grundwasserqualität hängt in oberflächennahen Grundwasserleitern stark von der Wechselbeziehung zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser ab. Besonders das Wasser in oberflächennahen Lockergesteins-Grundwasserleitern setzt sich aus Anteilen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Herkunft zusammen. Grundwasser reagiert auf Witterungseinflüsse umso träger, je länger die mittlere Aufenthaltszeit des Wassers im Untergrund ist.

Die Grundwasserverhältnisse werden entscheidend vom Grundwasserleitertyp geprägt. Die wichtigen Grundwasservorkommen der Schweiz befinden sich

- in Lockergesteinen in grossen Flusstälern und -ebenen
- in sandig-kiesigen Moränen- und Bachschuttablagerungen
- in verkarsteten Festgesteinen
- in geklüfteten und porösen Festgesteinen.

Abb. 5.1.:
Hydrogeologische Übersicht
der Schweiz und in diesem
Bericht erwähnte Fallbeispiele:

- 1 Areusequelle,
St-Sulpice NE
- 2 private Quellen,
Affoltern BE
- 3 Aare, Grundwasser,
Oberwiltachtrach BE
- 4 Rhein, Grundwasser,
Wartau SG
- 5 Rhone, Grundwasser,
Vétroz VS
- 6 Wigger, Grundwasser,
Nebikon LU
- 7 Vedeggio, Grundwas-
ser, Lamone TI
- 8 Klettgau, Grundwas-
ser, Wilchingen SH

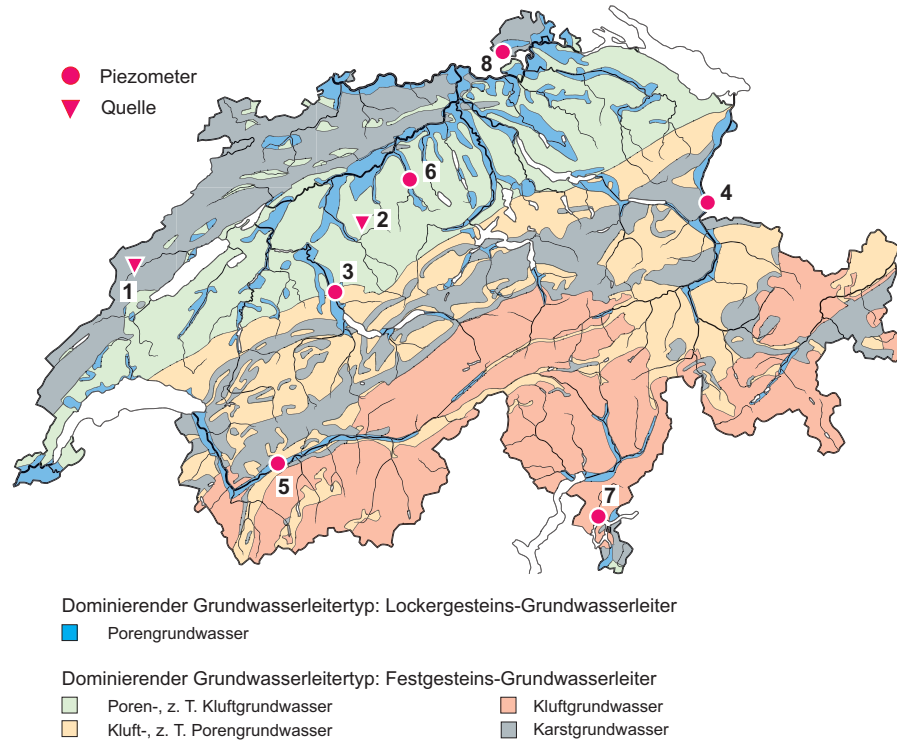


Abb. 5.1 zeigt die dominierenden Grundwasserleitertypen der Schweiz. Geringmächtige quartäre Ablagerungen, die diese Grundwasserleitertypen bedecken, sind in dieser hydrogeologischen Übersichtskarte nicht dargestellt.

In **Lockergesteins-Grundwasserleitern** erreicht das Grundwasser in der Regel eine Fliessgeschwindigkeit von einigen Metern pro Tag, je nach Gefälle und Durchlässigkeit. Solches Grundwasser ist oft hydraulisch mit einem Fluss verbunden. Dieser Wasseraustausch führt zu grossen Ergiebigkeiten, die für die Wassergewinnung genutzt werden. Die Empfindlichkeit von Lockergesteins-Grundwasserleitern gegenüber Schadstoffen ist vergleichsweise niedrig. Die Gründe dafür liegen in der natürlichen Reinigungswirkung der meist gut entwickelten schützenden, biologisch aktiven Überdeckung (insbesondere des Bodens) sowie in der homogenen Filterwirkung des Grundwasserleiters selbst.

In **Karst-Grundwasserleitern** sind die Fliessgeschwindigkeiten sehr unterschiedlich; zum Teil werden sehr hohe Geschwindigkeiten erreicht. Das Grundwasser bewegt sich sowohl in Karströhren und Höhlen von beachtlichem Ausmass wie auch in schmalen Klüften und in Gesteinsporen. Die Ergiebigkeit von Karstquellen schwankt stark in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen. Bei Hochwasser zeigen Karstwässer – wegen ihrer teils sehr grossen Fliessgeschwindigkeiten und der z.T. fehlenden filtrierenden Bodenschichten – oft nur eine mässige mikrobiologische Qualität, so dass sie vor der Verwendung als Trinkwasser einer einfachen Aufbereitung unterzogen werden müssen.

In **Kluft-Grundwasserleitern** ist die Fliessgeschwindigkeit von der Öffnungsweite der Klüfte, von deren Häufigkeit und deren Vernetzung abhängig. Die Speicherwirkung ist meistens gering und die Reinigungswirkung ist vom Zerklüftungsgrad abhängig. Wichtige Kluft-Grundwasserleiter in der Schweiz sind kristalline Gesteine, nicht verkarstete Kalke und Kalkschiefer. Die Sandstein- und Nagelfluhgesteine im Mittelland sind ebenfalls Kluft-Grundwasserleiter, wobei dort das Grundwasser z.T. auch in Poren fliesst.

5.2 Beobachtung der Grundwasserquantität in der Schweiz

Die Grundwasserquantität wird in der Schweiz anhand von Messungen der Quellschüttungen sowie der Grundwasserstände in Piezometern und Grundwasserfassungen beobachtet. Jeweils die Hälfte des als Trinkwasser genutzten Grundwassers stammen aus Quellen bzw. aus Grundwasserfassungen in Talschottern¹ (vgl. Kap. 10.1, Abb. 10.1, S. 149).

Kantonale Netze überwachen die Grundwasserverhältnisse in vom Menschen beeinflussten Gebieten, insbesondere in jenen Gebieten, in denen Grundwasser für die Trinkwasserversorgung gewonnen wird. Das nationale Netz zur Beobachtung von Grundwasserständen und Quellschüttungen NABESS des Bundesamts für Wasser und Geologie (BWG)² seinerseits hat die landesweite Übersicht über die quantitative Entwicklung der wichtigen Grundwasservorkommen der Schweiz zum Ziel und ist vor allem auf die grossen Grundwasserleiter in den Talebenen ausgerichtet.

Weil der Betrieb von Quellmessstellen sehr aufwendig ist, werden die quantitativen Verhältnisse in Festgesteins-Grundwasserleitern in der Schweiz heute im Allgemeinen nur ungenügend beobachtet. Aus diesem Grund wird in diesem Bericht zur Illustration der Auswirkungen der Trockenheit im Jahr 2003 auf Festgesteins-Grundwasserleiter auch auf Daten von privaten Stationen zurückgegriffen.

Kontinuierlich erhobene, quantitative Grundwasserdaten stehen gesamtschweizerisch zur Zeit von rund 1050 Stationen zur Verfügung (900 Stationen in Betrieb, 150 Stationen ausser Betrieb)³. Daten liegen in grösserem Masse allerdings erst seit den 1980er Jahren vor, was die langjährige Einordnung des Hitzesommers 2003 erschwert. Dies muss berücksichtigt werden, wenn in der Folge von langjährigen Werten gesprochen wird. Ein systematischer Vergleich mit früheren extremen Trockenjahren wie 1976 oder 1947 ist daher nicht möglich.

5.3 Auswirkungen der Trockenheit 2003 auf Quellschüttungen

In verschiedenen Regionen der Schweiz (Jura, nördliche Alpen) bildet das Wasser aus Karst-Grundwasservorkommen eine wichtige Ressource für die Trinkwasserversorgung. Während der anhaltenden und ausgeprägten Trockenheit im Sommer 2003 ging die Schüttung von vielen grossen Karstquellen deutlich zurück. Gravierender war die Lage jedoch in Gebieten, in denen kleine Quellen aus oberflächennahen Karst-, Kluft- und Lockergesteins-Grundwasservorkommen gespeist werden. Dort führte die Trockenheit zum drastischen Rückgang der Quellschüttungen. Weil der Wasserkonsum wegen der Hitze und Trockenheit um bis zu einem Drittel gestiegen war, mussten einzelne lokale Wasserversorgungen vorsorglich die öffentlichen Brunnen abstellen und die Rasenbewässerung, das Füllen von privaten Schwimmbädern oder die Autowäsche untersagen (vgl. Kap. 10.2). Keine wesentlichen Versorgungsprobleme löste dieser lokal und regelmässig wiederkehrende Rückgang der

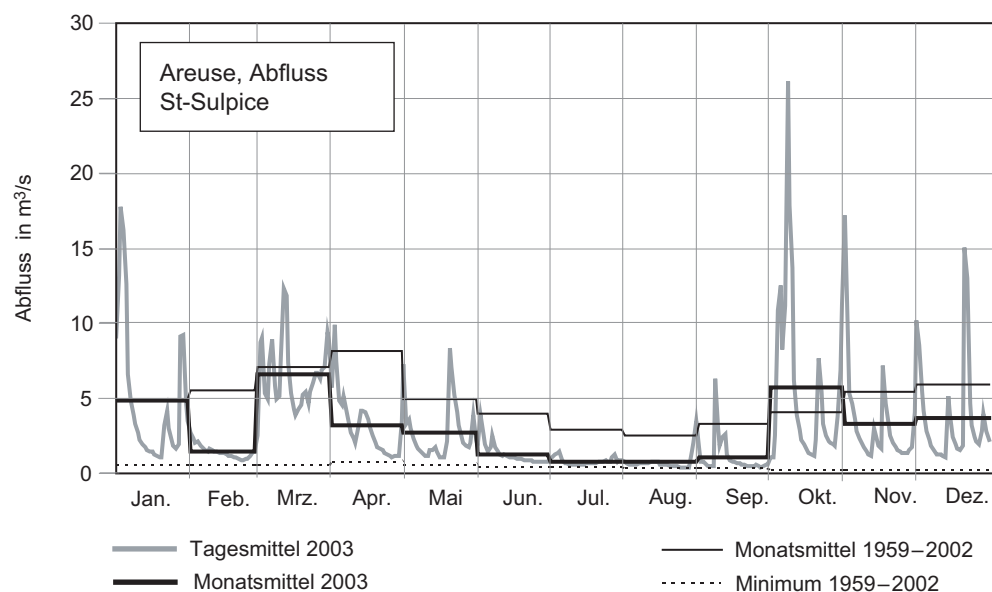
Quellschüttungen in Gemeinden aus, die an grössere Wasserverbundnetze angeschlossen sind oder aus unterschiedlichen Wasserressourcen (Quellen, Pumpwerke und Seewasser) versorgt werden.

5.3.1 Karstquellen mit grossem Einzugsgebiet

Starke oder ausbleibende Niederschläge wirken sich in Gebieten, in denen das Niederschlagswasser schnell versickert und praktisch direkt in das Karstsystem gelangt, rasch und heftig auf die Quellen aus. Wo das Niederschlagswasser jedoch diffus versickert und sich langsam durch das wenig durchlässige Gestein bewegt, reagieren die Quellen langsamer und führen auch noch nach längeren Trockenperioden reichlich Wasser.

Wasserbilanzen im Karst des Jura zeigen, dass zwischen 50 und 75 Prozent des in den Untergrund versickernden Niederschlags schnell ins Karstsystem eindringt, während die restlichen 25 bis 50 Prozent langsam in das mehr oder weniger klüftige Gestein versickern⁴ und damit die Schüttung der Quellen auch in Trockenperioden sicherstellen⁵. In der Schweiz schwankt die Grösse der Einzugsgebiete von charakteristischen Karstquellen zwischen wenigen Quadratkilometern (z.B. Hammerrainquelle im Kanton Solothurn) und mehr als 100 Quadratkilometern (z.B. Areusequelle im Kanton Neuenburg). Karstquellen mit grossem Einzugsgebiet reagieren im Allgemeinen weniger stark auf lange Trockenperioden als kleinere, oberflächennahe Quellen. Im Sommer 2003 zehrten die Karstquellen noch vom vorangegangenen niederschlagsreichen Frühwinter. So zeigte zum Beispiel die BWG-Messstation an der Areusequelle im August 2003 zwar einen sehr geringen Abfluss, der aber immer noch deutlich über demjenigen aus den Jahren 1962 und 1964 lag (Abb. 5.2).

Abb. 5.2:
Abflussverhalten der
Areusequelle, BWG-Mess-
station in St-Sulpice NE.



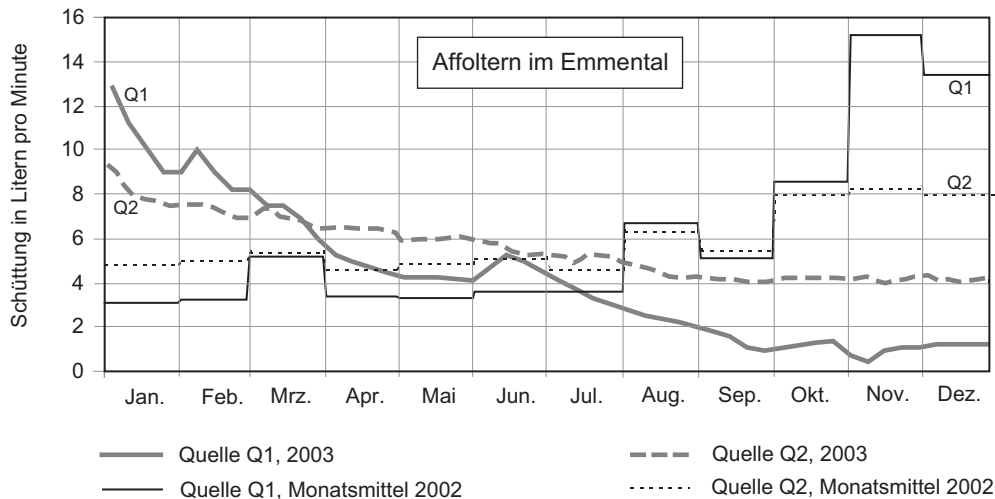


Abb. 5.3:
Schüttungsverhalten zweier
privater Quellen im Emmen-
tal in den Jahren 2002 und
2003.
Q1: oberflächennahe Quelle
aus Lockergesteinen
Q2: Quelle aus Sandstein-
Festgestein

5.3.2 Quellen aus Lockergesteinen und aus geklüfteten Festgesteinen

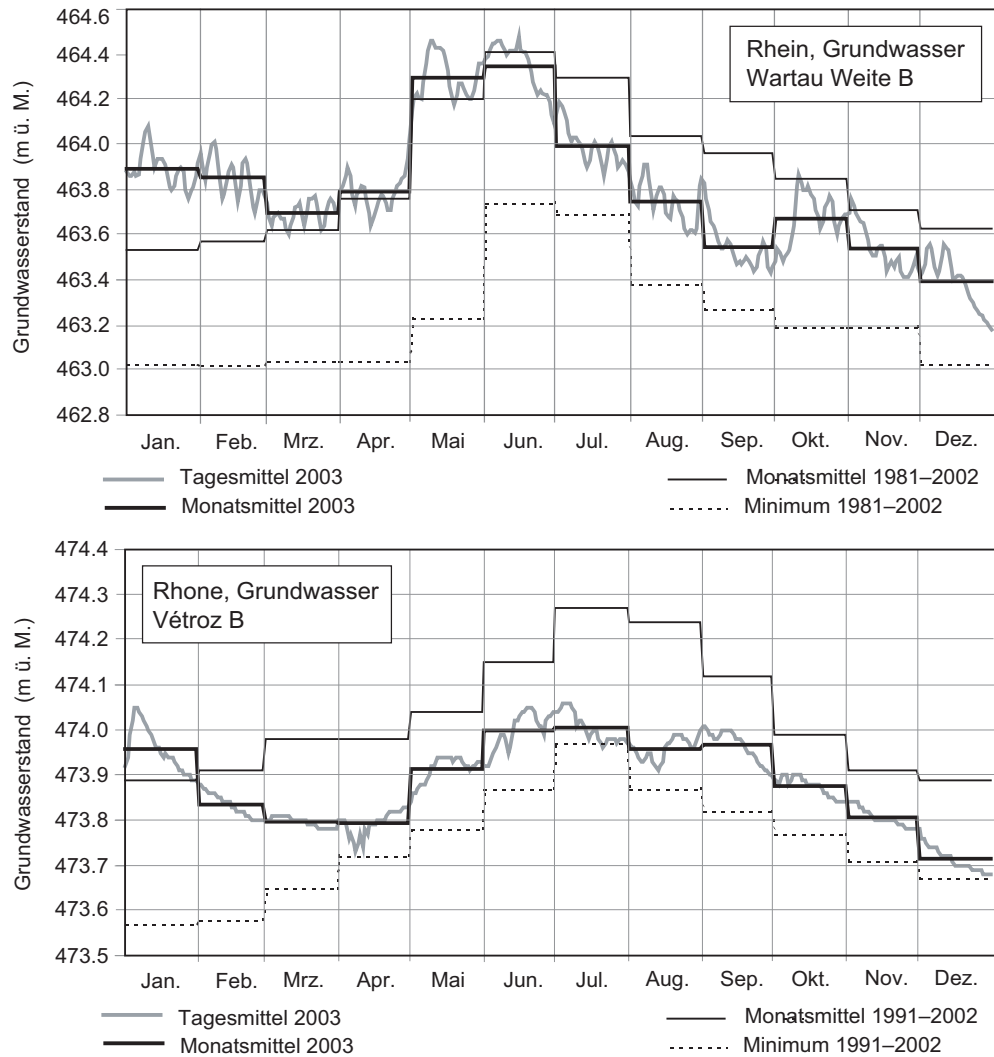
Lockergesteine, die in Berggebieten auf Festgesteinen aufliegen, sind oft gut wasser-
durchlässig. Besonders oberflächennahe Quellen aus diesen Lockergesteinen reagie-
ren rasch auf Trocken- und Niederschlagsperioden. Sie werden aus Niederschlags-
wasser gespeist, das ohne grosse Umwege durch die Lockergesteine in die Quell-
fassung fliesst. Wenn längere Zeit kein Niederschlag fällt, ist der Wasservorrat bald
abgeflossen und die Quelle trocknet im Extremfall aus. In diesen Gebieten war lokal
die Lage im Sommer 2003 angespannt. Im September verschärfte sich wegen der
anhaltenden Trockenheit die Situation. In einigen Gebieten im Emmental, im Jura,
in den Alpen und im Tessin mussten Menschen und Tiere durch Zisternenwagen,
durch die Feuerwehr oder sogar durch Helikopter mit Wasser versorgt werden (vgl.
Kap. 10.2).

Grundwasservorkommen in geklüfteten und teilweise porösen, nicht verkarsteten
Festgesteinen – etwa den Sandsteinen im Mittelland oder den kristallinen Gesteinen
in den Alpen – sind wechselnd bis gering ergiebig und meist durch kleinere Quell-
fassungen erschlossen. Die Trockenheit 2003 führte bei Quellen in diesen Gebieten
ebenfalls zu einem starken Rückgang der Schüttung, doch insgesamt war die Lage
weniger angespannt als in oberflächennahen Lockergesteins-Grundwasserleitern.

Abb. 5.3 zeigt beispielhaft die Schüttung zweier privater Quellen im Emmental. Die
Quelle Q1 zeigt das charakteristische Verhalten einer oberflächennahen, an Locker-
gesteine gebundenen Quelle. Die Quelle Q2 entspringt dagegen einem tieferen, ge-
klüfteten Sandstein-Festgesteins-Grundwasserleiter. Im Unterschied zu 2002 zeigte
die oberflächennahe Quelle aus den Lockergesteinen im Jahr 2003 eine rasche und
stärkere Abnahme ihrer Schüttung. Hingegen reagierte die Quelle aus dem geklüfte-
ten Sandstein träger auf die anhaltende Trockenheit. Ende Januar 2004 erreichte die
Schüttung beider Quellen wieder rund 5 l/min.

Abb. 5.4:
Oben:
Grundwasserstand in den
Rheinschottern in Wartau SG.

Unten:
Grundwasserstand in den
Rhoneschottern in Vétroz VS.
(beides BWG-Messstationen)



5.4 Auswirkungen der Trockenheit 2003 auf die Grundwasserstände in Talschottern

In den grossen Talschotterebenen der Schweiz gibt es mächtige (>10 m) und ergiebige Grundwasservorkommen. Diese meist gut durchlässigen Schotter werden überwiegend durch Flussinfiltration gespeist und sind daher vom Abflussregime des entsprechenden Flusses beeinflusst.

5.4.1 Alpines hydrologisches Regime

Das Grundwasser in den Talschotterebenen der grossen alpinen Flüsse Aare, Reuss, Rhein, Rhone, Inn und deren Einzugsgebieten wird vor allem im Frühling und Sommer durch das Schnee- und Gletscherschmelzwasser gespeist. Im Sommer 2003 begünstigten die hohen Temperaturen das Abschmelzen von Schnee und Gletschern, wodurch der Abfluss der alpinen Flüsse oberhalb der grossen Seen trotz der anhaltenden Trockenheit nur leicht unter den langjährigen Mittelwert fiel (vgl. Kap. 3.4.1). Die Grundwasserstände in den Talschottern dieser Flüsse lagen im Sommer 2003 zwar generell tief, aber über dem langjährigen Minimum, weil in diesen Gebieten die Anreicherung des Grundwassers durch die Alpenflüsse weiterhin gewährleistet war. Ab Ende August fielen die Grundwasserstände wegen der abnehmenden Gletscherschmelze in diesen Gebieten markant ab⁶; lokal sogar unter die bisherigen Minimalwerte (z.B. in den Aareschottern in Oberwichterach zwischen Thun und Bern).

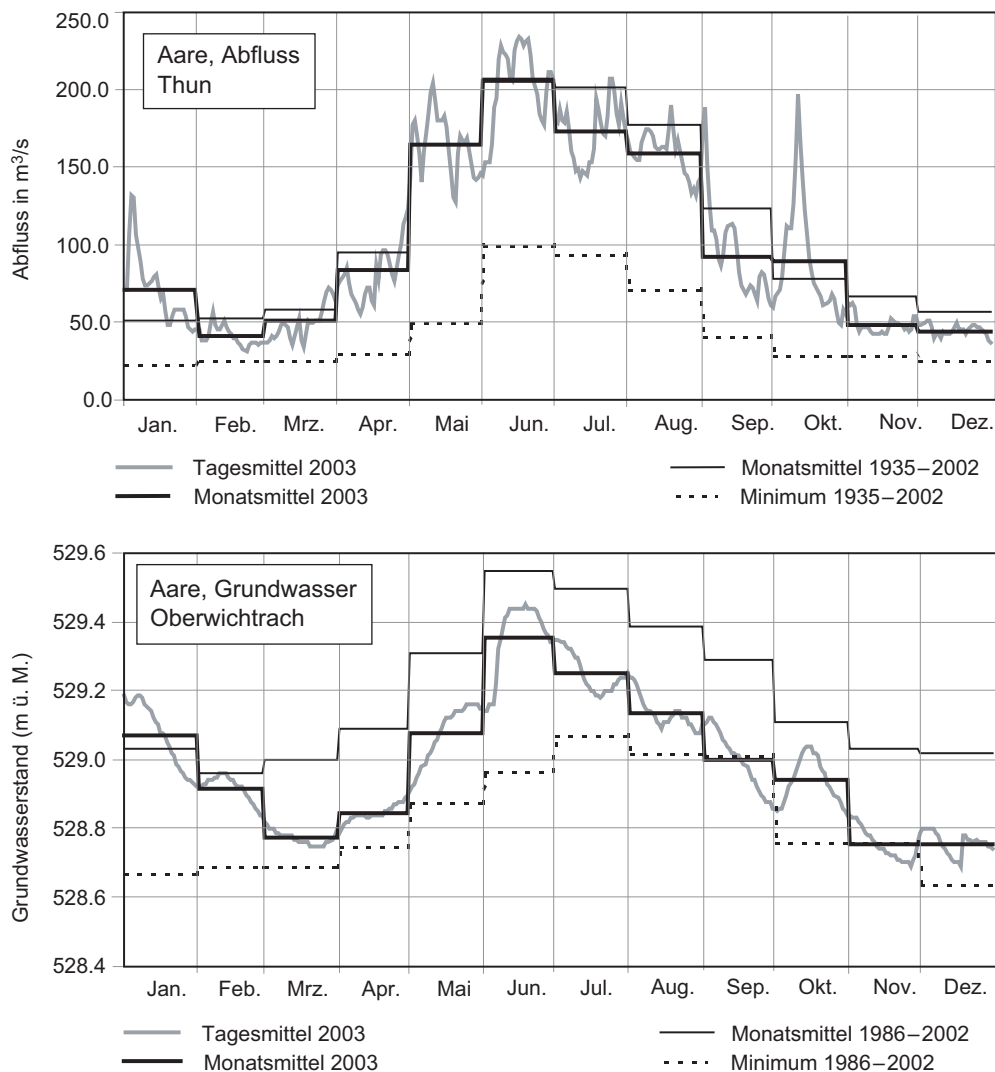


Abb. 5.5:
Oben:
Abfluss der Aare in Thun BE.

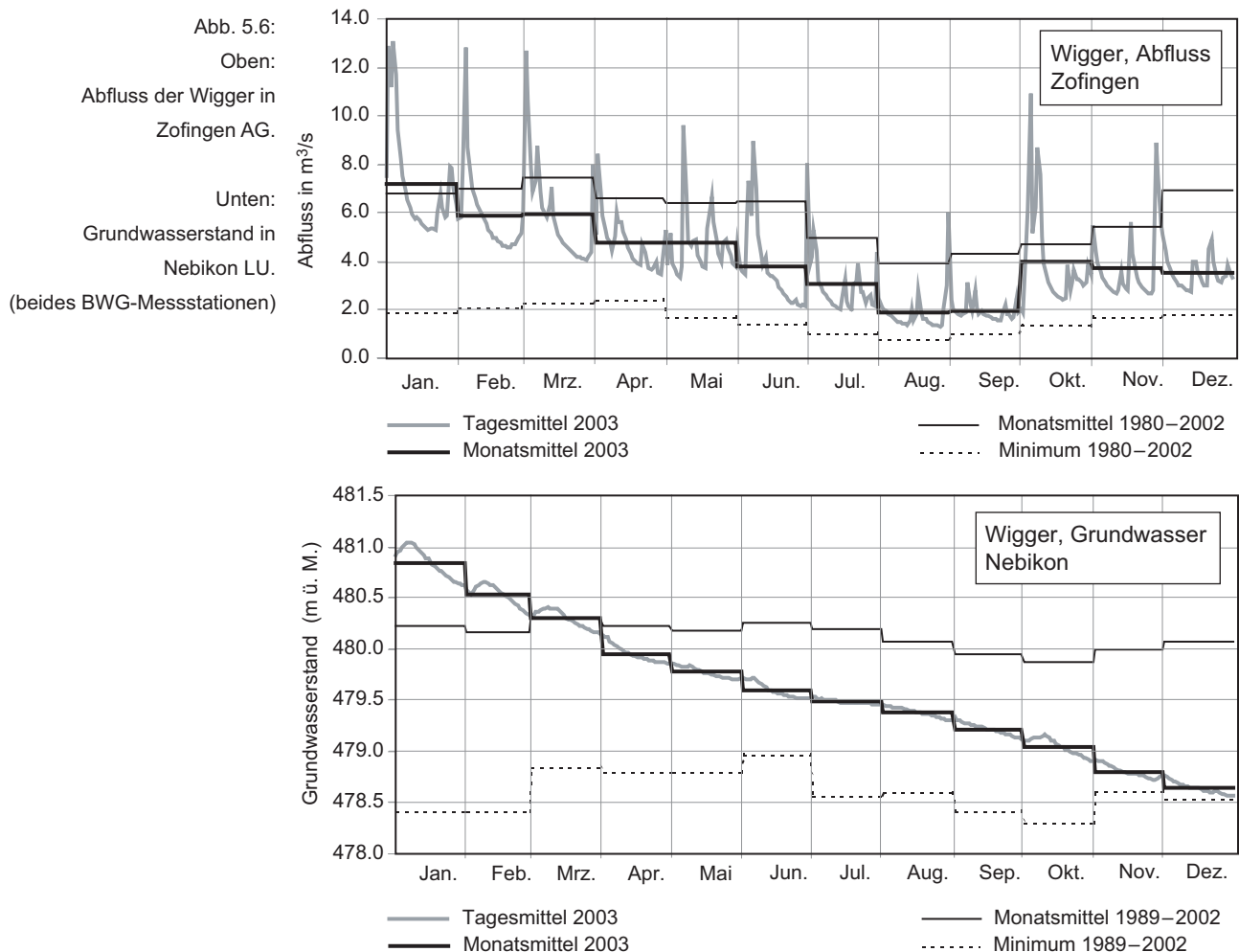
Unten:
Grundwasserstand in
den Aareschottern in
Oberwischtrach BE.
(beides BWG-Messstationen)

In Abb. 5.4 sind die Grundwasserstände an den BWG-Messstationen in Wartau Weite und in Vétroz dargestellt. Sie zeigen beispielhaft das Verhalten des alpinen Regimes in den Rhein- und in den Rhoneschottern: Als Folge der langanhaltenden Niederschläge im Oktober (vgl. Kap. 1.4, Abb. 1.15c, S. 32) normalisierten sich die Grundwasserstände im Rheintal (Wartau) und im Reusstal vorübergehend. Mit dem Ausbleiben weiterer kräftiger Niederschläge fielen dort im Dezember die Grundwasserstände gegenüber dem langjährigen Mittelwert jedoch erneut ab. Diese Normalisierung im Oktober und November ist im Aaretal (Abb. 5.5) und im Rhonetal (Vétroz) nicht zu beobachten. Dies hat damit zu tun, dass im Oktober in den Bergen bereits ein Grossteil der Niederschläge als Schnee fiel, die Wasserführung der Aare und der Rhone – wie immer in dieser Jahreszeit – bescheiden war und deshalb auch die Infiltration ins Grundwasser gering blieb. In den tiefer gelegenen Einzugsgebieten des Rheins und der Reuss dagegen fiel der Niederschlag meist als Regen.

Trotzdem sanken die Grundwasserstände in den Talschotterebenen praktisch aller alpinen Flüsse des Landes Ende Dezember auf den tiefsten Stand des Jahres. Im Frühjahr 2004 normalisierten sich die Grundwasserstände im Reuss- und Rheintal (Wartau) wieder und entsprachen den langjährigen mittleren Verhältnissen. Im Aaretal (Oberwischtrach) und im Rhonetal (Vétroz) lagen die Grundwasserstände dagegen im Frühjahr 2004 nur einige Zentimeter über dem langjährigen Minimum und lagen somit tiefer als Ende März 2003.

5.4.2 Hydrologische Regimes der Alpennordseite

Das Grundwasser in den Talschotterebenen der kleineren Flüsse des Jura, des Mittellandes und des Alpenvorlandes wird vor allem während langanhaltenden Niederschlagsperioden und während der Schneeschmelze im Frühling durch Flusswasserinfiltration gespeist. Im Jahr 2003 blieben die Grundwasserstände in diesen Flusstälern in der Regel ebenfalls über dem langjährigen Minimum, weil die Grundwasserleiter noch von den hohen Grundwasserständen des vorangegangenen niederschlagsreichen Winters zehrten. Als Folge der anhaltenden Niederschlagsdefizite und der monatelangen niedrigen Abflussmengen in den Mittellandflüssen ohne vergletschertes Einzugsgebiet (vgl. Kap. 3.4.2) fielen die Grundwasserstände im Lauf des Jahres und lokal wurden die langjährigen Minima unterschritten. Die starken, aber nur kurzen Niederschläge im Oktober führten wohl zum Anstieg der Abflüsse in Flüssen und Bächen (vgl. Kap. 3.4.2, Abb. 3.4, S. 50), hatten in diesen Gebieten jedoch keinen Einfluss auf die Grundwasserstände, da der grösste Teil des Wassers rasch an der Oberfläche abfloss. Die meisten Grundwasserstände in diesen



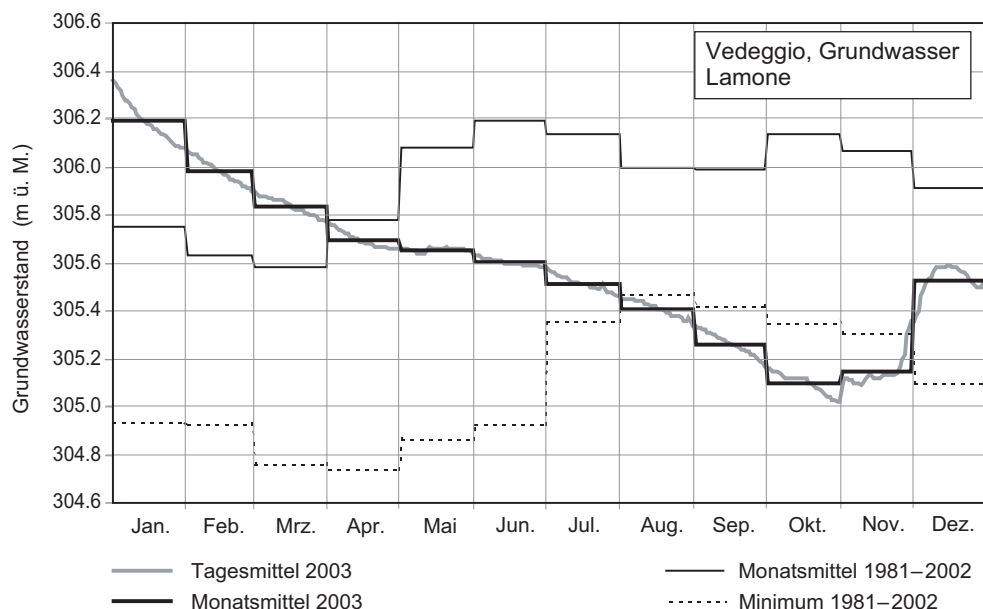


Abb. 5.7:
Grundwasserstand in
Lamone, Val d'Agno TI,
BWG-Messstation.

mittelländischen Flusstälern erreichten deshalb im Dezember ebenfalls den tiefsten Stand des Jahres. Die BWG-Abflussmessung an der Wigger bei Zofingen und die BWG-Messstation in den Wiggerschottern bei Nebikon zeigen beispielhaft das Verhalten dieses mittelländischen Regimes (Abb. 5.6). In Folge der Winterniederschläge stiegen die Grundwasserstände im Januar 2004 rasch an und erreichten bald wieder die langjährigen mittleren Verhältnisse.

5.4.3 Hydrologisches Regime der Alpensüdseite

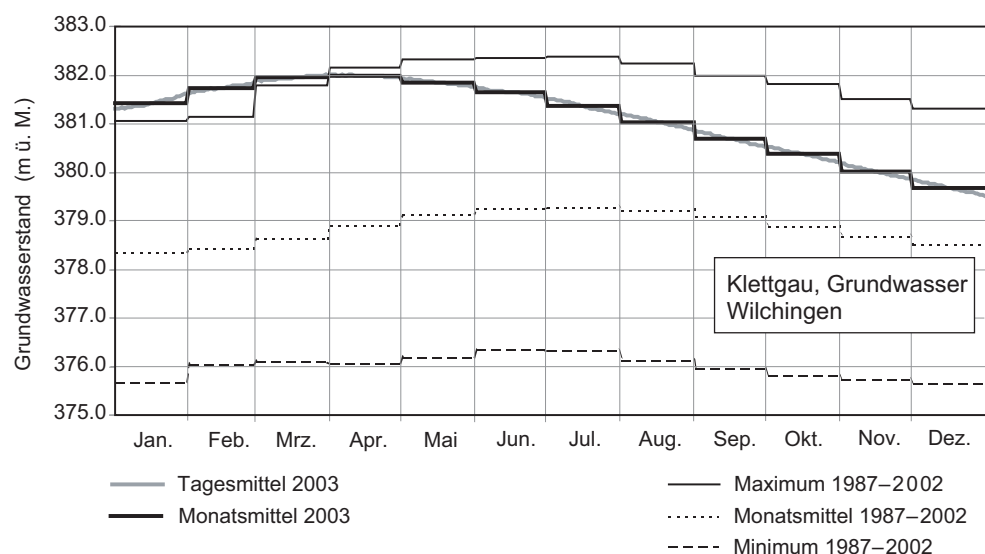
Das Grundwasser in den Talschotterebenen der Flüsse im Südtessin wird vor allem während langanhaltenden Niederschlagsperioden und während der Schneeschmelze im Frühling angereichert. Diese Grundwasserleiter zehrten im Jahr 2003 ebenfalls von den hohen Grundwasserständen des niederschlagsreichen Frühwinters 2002/2003. Die BWG-Messstation Lamone zeigt beispielhaft das Verhalten dieses sogenannten pluvio-nival meridionalen Regimes in den Vedeggioschottern im Val d'Agno (Abb. 5.7). Die Grundwasserstände fielen praktisch kontinuierlich von Januar bis Ende Oktober, da in diesem Zeitraum auf der Alpensüdseite fast ununterbrochen massive Niederschlagsdefizite auftraten (vgl. Kap. 1.3, Abb. 1.15c, S. 32). Bedingt durch die Schneeschmelze zwischen Mitte April und Mitte Juni verlangsamte sich temporär das Absinken des Grundwasserstandes. Ab Mitte Juni ging der Grundwasserstand dann wieder stärker zurück, und Ende Oktober lagen im Val d'Agno die Grundwasserstände rund 30 cm unter dem langjährigen Minimum. In Folge der intensiven und langanhaltenden Niederschläge im November und Dezember (vgl. Abb. 1.15c, S. 32) stiegen die Grundwasserstände im Dezember wieder deutlich über das langjährige Minimum, lagen aber Ende Jahr immer noch 35 cm unter dem langjährigen Mittel. Im Frühjahr 2004 lagen die Grundwasserstände immer noch rund 15 cm unter dem langjährigen Mittelwert.

5.5 Langsam reagierende Grundwasserleiter

Bedeutende Lockergesteins-Grundwasserleiter, die nicht mit einem Oberflächen-gewässer in Beziehung stehen, aber auch Festgesteins-Grundwasserleiter (Poren- und teilweise Kluftgrundwasserleiter) reagieren mehrheitlich träge und erst nach mehreren Monaten auf Witterungsveränderungen. Solche langsam reagierende Grundwasservorkommen befinden sich vor allem in jungen Rinnenfüllungen im Mittelland und im Jura sowie in Sandstein- und Nagelfluh-Festgesteinen (z.B. die Quelfassungen der Stadt Zürich im Lorzetal).

Das Klettgau im Kanton Schaffhausen ist eine ehemalige Rinnenfüllung des Rheins im Tafeljura und zum grössten Teil mit glazialen und postglazialen Schotterablagerungen aufgefüllt. Die maximale Grundwassermächtigkeit beträgt rund 50 m und die grundwasserführenden Schotter sind grösstenteils von einer mehrere Meter mächtigen Deckschicht aus jungem Gehängeschutt und Löss bedeckt. Das Grundwasser wird vor allem durch die Niederschläge im Winter gespeist, die sich im Allgemeinen erst mit einigen Monaten Verspätung auf das Grundwasser auswirken. Die Grundwasserstände an der BWG-Messstation Wilchingen zeigen beispielhaft das Grundwasserverhalten im Klettgau (Abb. 5.8). Die Grundwasserstände stiegen als Folge des niederschlagsreichen Frühwinters 2002/2003 im ersten Quartal 2003 noch weiter an und erreichten ihren höchsten Stand im April. Danach fielen sie kontinuierlich bis Ende Jahr. Trotzdem lagen die Grundwasserstände in Wilchingen im Dezember 2003 immer noch deutlich über dem langjährigen Mittel. Im 1. Quartal des Jahres 2004 fielen die Grundwasserstände weiter, zunehmend aber langsamer und näherten sich dem langjährigen Mittelwert.

Abb. 5.8:
Grundwasserstand in
Wilchingen, Klettgau SH,
BWG-Messstation.



5.6 Beobachtung der Grundwasserqualität in der Schweiz

In der Schweiz stammen rund 80 % des Trinkwassers aus Grundwasservorkommen (vgl. Kap. 10.1). Die Frage, ob die aussergewöhnliche Trockenheit des Sommers 2003 die qualitative Grundwasserbeschaffenheit messbar beeinflusst hat, kann gestützt auf die vorhandenen Daten jedoch nicht schlüssig beantwortet werden. Grundsätzlich ist aus verschiedenen Gründen eine temporäre Beeinflussung der qualitativen Grundwasserbeschaffenheit während oder nach lang anhaltenden Trockenperioden denkbar, so beispielsweise:

- durch den Rückgang bzw. das Ausbleiben der Grundwasserspeisung durch versickerndes Meteor- bzw. infiltrierendes Oberflächenwasser
- durch die verminderte Auswaschung von gelösten Stoffen und Partikeln bzw. deren Anreicherung im Boden
- durch veränderten Stoffeinsatz in Trockenperioden (beispielsweise in der Landwirtschaft)
- durch verstärkte künstliche Bewässerung.

Diese Mechanismen dürften sich insbesondere in oberflächennahen Grundwasserleitern auswirken.

Die Ergebnisse des Nationalen Netzes zur Beobachtung der Grundwasserqualität (NAQUA) erlauben zwar umfangreiche und detaillierte Aussagen zur chemischen Beschaffenheit des schweizerischen Grundwassers⁷. Wegen der Kürze der Datenreihen – von der Mehrzahl der Messstellen liegen erst seit 2002 Daten vor – können aber noch keine Vergleiche der Situation im Jahr 2003 mit anderen Jahren vorgenommen werden. Dieses Defizit unterstreicht die Wichtigkeit von langfristigen, repräsentativen Datenreihen, wie sie aus dem Programm NAQUA in einigen Jahren zur Beurteilung vergleichbarer Ereignisse zur Verfügung stehen werden.

5.7 Zusammenfassung

Nach der lang anhaltenden Trockenheit lagen Ende August 2003 die Grundwasserstände der wichtigen Grundwasservorkommen in den grossen Flusstälern der Schweiz an den untersuchten Standorten vergleichsweise tief, aber immer noch über dem langjährigen Minimum. Zwar fielen in den grossen Alpentälern im September lokal einige Grundwasserstände unter diese Extremwerte, doch in Folge der Niederschläge anfangs Oktober normalisierten sich die Verhältnisse grösstenteils wieder.

Die Grundwasservorkommen in den Alpentälern werden durch die Alpenflüsse gespeist und profitierten somit im Sommer 2003 von den durch die verstärkte Schnee- und Gletscherschmelze bedingten hohen Abflüssen. Anders die Grundwasserstände in kleineren Flusstälern des Mittellandes und des Südtessins: Sie lagen auch noch Ende Oktober 2003 deutlich unter dem langjährigen Mittelwert.

**Nitratauswaschung
im Unteren Thurtal im
Winter 2003/2004**

Als Folge einer ungünstigen Kombination von Standortbedingungen und der sommerlichen Trockenheit stiegen in verschiedenen Grundwasserfassungen entlang der Thur im Raum Uzwil-Oberbüren-Niederbüren ab Herbst 2003 die Nitratkonzentrationen vom gewohnten Niveau kontinuierlich an und erreichten bis im Februar 2004 deutlich erhöhte Werte (Abb. 5.9). Das Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen macht dazu die folgenden Feststellungen⁸:

Wegen der fehlenden Niederschläge wurde während der Vegetationsperiode praktisch kein Nitrat aus dem Boden ins Grundwasser ausgewaschen. Als Folge der Trockenheit setzte zudem das Pflanzenwachstum in den Sommermonaten praktisch vollständig aus und die Pflanzen nahmen nur wenig Stickstoff auf. Diese beiden Faktoren führten zur Speicherung von Nitrat bzw. von leicht mobilisierbarem organischem Stickstoff im Wurzelraum.

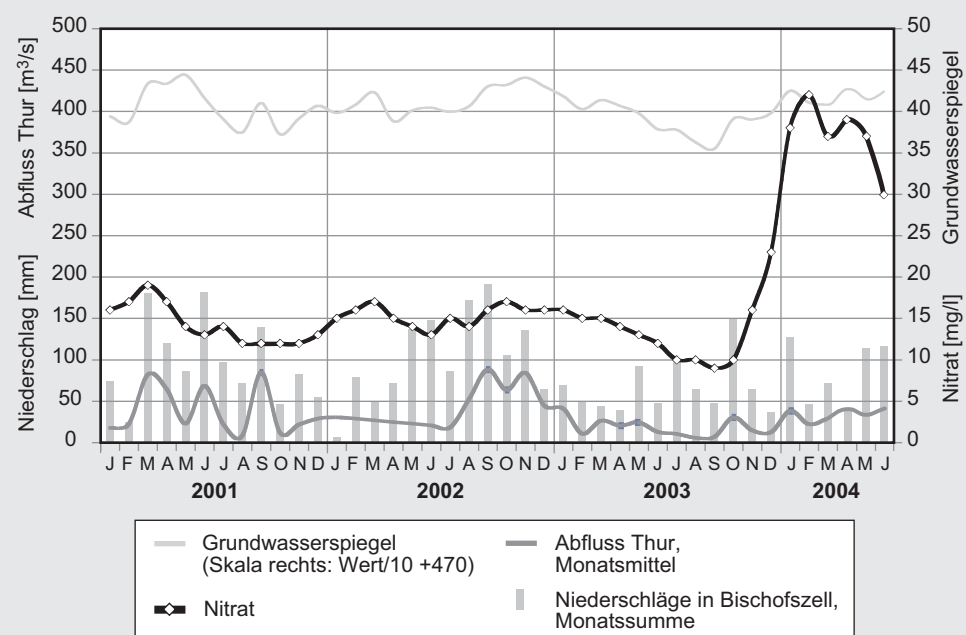
Hinzu kam, dass der sonst über die Vegetationsperiode verteilte Gülleaustrag wahrscheinlich erst im Oktober stattfand. Der milde Spätherbst (vgl. Kap. 1) ermöglichte die Mineralisierung eines grossen Teils des Stickstoffs zu Nitrat. Dieses Nitrat konnte von den Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden und führte zu einer zusätzlichen Anreicherung im Boden.

Mit dem Einsetzen der Niederschläge im Herbst wurden die grossen Stickstoffvorräte im Boden mobilisiert. Die flachgründigen, sandigen Böden und die geringe Tiefe des Grundwasserspiegels unter der Bodenoberfläche ermöglichten den schnellen Transport des Nitrats ins Grundwasser. Wegen des tiefen Wasserstands der Thur in den Wintermonaten erfolgte zudem kaum eine Infiltration von wenig belastetem Thurwasser ins Grundwasser, so dass dieser Verdünnungseffekt ausblieb.

In einzelnen Fassungen wurden bis in den Mai 2004 – und damit unerwartet lange – hohe Nitratkonzentrationen gemessen. Die Werte gingen nur langsam zurück und in verschiedenen Fassungen blieb auch in den Sommermonaten 2004 das ursprüngliche Niveau deutlich überschritten. Offenbar waren die Stickstoffvorräte, die sich im Laufe des Jahres 2003 im Boden angereichert hatten, gross und der Auswaschungsprozess dauerte länger als erwartet.

Hohe Nitratkonzentrationen wurden auch schon früher festgestellt. So stieg der Nitratgehalt in der Fassung Stocketen bei Niederbüren im Februar 1977 auf 45 mg/l. Die vorangegangenen Monate waren damals ebenfalls sehr niederschlagsarm gewesen.

Abb. 5.9:
Nitratgehalt und Grundwasserspiegel bei der Grundwasserfassung Stocketen bei Niederbüren von Januar 2001 bis März 2004. Daten: Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen



Die genutzten grossen Karstquellen im Jura und im Alpenvorland zehrten noch vom letzten niederschlagsreichen Winter, ihre Schüttung ging aber deutlich zurück. Wo Quellen aus oberflächennahen Grundwasservorkommen gespeist werden, führte die Trockenheit zu einem markanten Rückgang der Schüttung. Im September verschärfte die anhaltende Trockenheit in diesen Gebieten die Wasserknappheit, da viele oberflächennahe Quellen versiegten. Die öffentliche Wasserversorgung war dennoch, insbesondere dank der Verbundnetze, bis auf wenige Ausnahmen sichergestellt. Trotzdem haben einzelne Wasserversorgungen vorsorglich Einschränkungen beim Wasserverbrauch angeordnet (vgl. Kap. 10.2.1).

Zweifellos haben auch die erhöhten Grundwasserentnahmen in den Pumpbrunnen während des Sommers 2003 zum rascheren Absinken der Grundwasserstände beigetragen. Dieser Effekt kann jedoch auf der vorhandenen Datenbasis nicht quantifiziert werden.

Kenntnisse über das Verhalten der Grundwasservorkommen in Trockenperioden sind für die Planung und den Unterhalt von Wasserversorgungen, den Wasserhaushalt, den Gewässerschutz, die Wasserwirtschaft und die Landwirtschaft unbedingt notwendig.

Positive Schlagzeilen

- «Berauscher Überfluss» (Der Bund, 29. Juli)
- «Trinkwasser geht nicht aus» (Aargauer Zeitung, 28. Juni)
- «Es hat noch genug Grundwasser» (Schweizer Bauer, 8. August)
- «Grundwasser-Vorräte noch nicht in Not» (St. Galler Tagblatt, 14. August)

Negative Schlagzeilen

- «Restriction d'eau» (La Presse, 14. August)
- «Grundwasserspiegel so tief wie noch nie» (Soothurner Zeitung, 20. August)
- «Auch der Rislauhoger trocknet aus» (Der Bund, 27. August)
- «Nullpunkt ist bald erreicht» (Der Toggenburger, 13. August)
- «Grundwasser – Pegel nähert sich Minimum» (Berner Zeitung, 17. Oktober)
- «Das Malcantone trocknet aus» (Der Bund, 17. Oktober)

Schlagzeilen zum

Grundwasser im Jahr 2003

-
- ¹ SCHWEIZERISCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES (SVGW), 2000: *Statistische Erhebung der Wasserversorgung in der Schweiz 1998*. Zürich. SVGW.
 - ² BUTTET, P. & EBERHARD, A., 1995: *Das Eidgenössische Grundwasser-Beobachtungsnetz*. Bern-Ittigen: Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), www.bwg.admin.ch.
 - ³ SCHÜRCH, M., EGGER, C. & KOZEL, R., 2004: *Beobachtung von Grundwasserständen und Quellschüttungen. Tafel 8.5*. Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern-Ittigen: Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG).
 - ⁴ DOERFLIGER, N. & ZWAHLEN, F., 1998: *Praxishilfe – Kartierung der Vulnerabilität (Methode EPIK)*. Serie Vollzug Umwelt. Bern-Ittigen: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
 - ⁵ JEANNIN, P.-Y. & GRASSO, A. D., 1995: *Recharge respective des volumes de roche peu perméable et des conduits karstiques, rôle de l'épikarst*. Bulletin Hydrogéologie Nr. 14: 95 – 111: Bern: Peter Lang.
 - ⁶ WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (WEA), 2003: *Grundwasserstatistik 2003*. Bern: WEA, <http://www.wea.bve.be.ch/d/wasser/bernerwasser/index.html>
 - ⁷ GREBER, E., BAUMANN, A., CORNAZ, S., HEROLD, T., KOZEL, R., MURALT, R. & ZOBRIST, J., 2002: *Grundwasserqualität in der Schweiz. NAQUA_{TREND} – das nationale Beobachtungsprogramm*. Gas Wasser Abwasser Nr. 3/2002: 191 – 201.
 - ⁸ AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS ST. GALLEN, 2004: *Nitratauswaschung im Unteren Thurtal im Winter 2003/2004*. Bericht vom 22. April 2004.

Weiterführende Literatur:

- BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (BWG), 2004: *Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2003*. Bern-Ittigen: BWG.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) & BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (BWG), 2004: *NAQUA – Grundwasserqualität in der Schweiz 2002/2003*. Bern-Ittigen: BUWAL, BWG (in Vorbereitung).

6 Feuchtgebiete

Flora und Fauna von Auen und Mooren werden von den Auswirkungen von Hitze und Trockenheit direkt betroffen. Die für das Jahr 2003 vorliegenden, nicht systematischen Beobachtungen zeigen, dass diese Lebensräume aufgrund ihrer teilweise hohen Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit den Klimaaus-schlag gut abfedern konnten. Irreversible Veränderungen wurden – zumindest bisher – keine festgestellt. Abzuwarten bleibt, ob in den kommenden Jahren Spätfolgen sichtbar werden – insbesondere dann, wenn sich heisstrockene Jahre häufen sollten. Verwundbar sind vor allem isolierte, nicht grossräumig vernetzte Lebensräume, da dort das Wiedereinwandern lokal ausgestorbener Arten nicht mehr möglich ist.

6.1 Auen

6.1.1 Beschreibung

In den Auengebieten überschneiden sich Wasser und Land: Hochwasser formen das Flussbett, erodieren die Böschungen, transportieren die Flussschotter und akkumulieren Schwemmlandterrassen, auf denen Auenwälder wachsen. Auengebiete werden von Zeit zu Zeit vom Fluss überschwemmt, wobei das Wasser die Vegetation zugunsten feuchteliebender Arten selektioniert.

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, welche Wirkungen niederschlagsarme Witterungsphasen und insbesondere der heisse und trockene Sommer 2003 in den Auengebieten hinterlassen haben. Da keine systematischen Untersuchungen durchgeführt wurden, werden an dieser Stelle anekdotisch verschiedene Beobachtungen zusammengestellt. Sie erfolgten im Rahmen der Erfolgskontrolltätigkeiten der Auenberatungsstelle. Diese unterstützt im Auftrag des BUWAL die betroffenen Behörden



Abb. 6.1:
Ausgetrockneter Boden in
einer ehemaligen Aue der
Saane: Auried bei Klein-
bösigen FR im Sommer
2003.
(Bild: Kurt Grossenbacher)



Abb. 6.2:
Sonnenblume im Flussbett
der Thur. Uesslingen TG,
Juli 2003.
(Bild: Auenberatungsstelle)

Im Kanton Thurgau wird seit 1991 die Thur auf einem 13 Kilometer langen Abschnitt zwischen Pfyn und Niederneunforn stellenweise verbreitert, um dem Fluss mehr Raum zu geben. In der Folge bildeten sich Kiesbänke. Im regenreichen Jahr 2002 wurden diese Kiesbänke bei mehreren grösseren Hochwassern verschoben und umgeformt, was das Entstehen einer Vegetationsdecke verhinderte. Anders das Jahr 2003: Die ab April 2003 sehr geringe Wasserführung der Thur (vgl. Kap. 3.4.3, Abb. 3.5b, S. 53), das Ausbleiben von Hochwassern sowie die zahlreichen vegetationslosen Kiesbänke schufen ideale Bedingungen für Pionierpflanzen. Innerhalb weniger Monate siedelten sich mehr als hundert Arten in diesem neugewonnenen Lebensraum an.

Abb. 6.3:
Unerwünschter
Einwanderer: verdorrtes
Drüsiges Springkraut.
Niederneunforn TG, Juli 2003.
(Bild: Auenberatungsstelle)



und Privatpersonen bei fachlichen Fragen rund um den Schutz der Auengebiete von nationaler Bedeutung. Mit dem Erfolgskontrollprogramm wird überprüft, ob sich Schutzmassnahmen positiv auf diese Biotope auswirken und sich standorttypische und bedrohte Arten erholen.

6.1.2 Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit im Sommer 2003

Temporäre Siedlungsflächen für Pionierpflanzen

Fliessgewässer bestehen bei genügend Raum aus dem Fluss selbst, aus vegetationslosen Sedimentflächen sowie aus Geröllflächen mit Pioniervegetation (Gräser und Sträucher). Als indirekte Folge der Trockenheit im Jahr 2003 wurden wegen der vielerorts geringen Wasserführung der Flüsse (vgl. Kap. 3.4) zusätzliche, normalerweise wasserbedeckte Sedimentflächen freigelegt. Dieser Effekt wurde im Rahmen des Beobachtungsprogramms und der kartografischen Aufnahme der Vegetation gut dokumentiert.

Darunter befanden sich typische Pionierpflanzen wie die sogenannten Ruderalpflanzen oder «Unkräuter». Andere Arten wanderten über Samenflug oder durch Wassertransport aus den umliegenden Wäldern, Sümpfen und Hügeln ein. Gefunden wurden auch Sonnenblumen (Abb. 6.2) und sogar Tomaten, deren Samen wohl mit Klärschlamm in den Fluss gelangt sind oder bei Picknicks zurückgelassen wurden. Als direkte Folge der Hitze und der Trockenheit begannen bestimmte Pionierpflanzen auf diesen Kiesbänken zu



Abb. 6.4:
Lac de la Gruyère bei Broc
FR, im April 2003: Die Saane
mäandriert durch eine vege-
tationslose Steinwüste.
(Bild: Auenberatungsstelle)

welken. Das Drüsige Springkraut beispielsweise – eine einjährige Pflanze mit sehr oberflächlichen Wurzeln – zeigte ab Juli ein offensichtlich irreversibles Verwelken (Abb. 6.3).

Bei Broc (FR), am oberen Ende des künstlich aufgestauten Lac de la Gruyère nahe den Mündungen von Saane und Jaunbach (Jogne) lagen im Frühjahr rund 50 Hektaren Kies- und Schlammflächen am Trocken, nachdem der See auf ein ausserordentlich tiefes Niveau gesunken war (12 Meter tiefer als bei Hochstand). In dieser Steinwüste bildete die Saane elegante Mäander. Im Verlauf des Sommers besiedelten verschiedene Pionierpflanzengemeinschaften diese feuchten und schlammigen Flächen. Entdeckt wurden auch seltene und bedrohte Arten wie das Schwarzbraune Cypergras, das wahrscheinlich aus vereinzelt Nischen am Seeufer oder aus den benachbarten Weidengehölzen zuwanderte (Abb. 6.6). Im Frühling 2004 stieg das Wasser erneut auf den üblichen sommerlichen Hochstand, wodurch dieser einmalige Lebensraum wieder überschwemmt wurde.



Abb. 6.5:
Lac de la Gruyère bei Broc
FR im September 2003: Die
trockenen Schlammflächen
sind zum Lebensraum für
Pionierpflanzen und Vögel
geworden.
(Bild: Auenberatungsstelle)



Abb. 6.6:
Ansiedlung des Schwarzbraunen Cypergrases, eines
seltenen Riedgrases (Status
auf der Roten Liste: gefähr-
dete Art). Lac de la Gruyère
bei Broc FR, September
2003.
(Bild: Auenberatungsstelle)

Ausgetrocknete Auenwälder

Auenwälder wachsen auf den lokalen Schwemmterrassen entlang der Wasserläufe. Unter den Pionierbaumarten finden sich «Weichhölzer» wie Weiden, Erlen oder Pappeln sowie «Harthölzer» wie Eschen, Ahornbäume oder Ulmen. In der Regel reichen die Wurzeln dieser Bäume bis ins Grundwasser hinunter, so dass die Bäume auch in Trockenzeiten versorgt sind. Als Folge der relativen Stabilität dieser Biotope wurden 2003 in den Auenwäldern keine trockenheitsbedingte Schäden beobachtet, mit Ausnahme von Dürreerscheinungen in den Grauerlengehölzen entlang des Brenno im Val Blenio im Tessin.

Als Gebirgsfluss zeigt der Brenno eine kontrastreiche Abflussdynamik, auch wenn heute ein Viertel seiner natürlichen Wasserführung von Kraftwerken abgezweigt wird. Anfang Juli 2003 war die Trockenheit in den Auenwäldern entlang seiner Ufer ausgeprägt. In Normaljahren bilden Kerbel, Nesseln und Gräser im Unterholz eine üppige Vegetation. Abb. 6.7 zeigt eine Aufnahmefläche von Vegetation und Fauna des Erfolgskontrollprogramms in der Nähe von Prugiasco und Castro im Zustand anfangs Juli 2003: Die hohen Stauden sind vertrocknet und die Gräser bereits verwelkt und gelblich. Einzig die Bäume und die Hechtblaue Brombeere scheinen kaum unter der Trockenheit zu leiden.

Abb. 6.7:
Auenwald am Brenno bei
Prugiasco und Castro TI im
Juli 2003: Die Grauerlen und
die Hechtblaue Brombeere
widerstehen der Trockenheit.
(Bild: Auenberatungsstelle)



Auenzonen werden von typischen Tiergemeinschaften bewohnt. Unter den zahlreichen wirbellosen Tieren gelten die Spinnen und Laufkäfer als besonders gute Bioindikatoren zur Beurteilung der ökologischen Zustände eines Gebiets. Im Rahmen von zwei Studien^{1,2} wurden in der Überschwemmungszone des Brenno im Val Blenio (TI) die zwischen Mai und Juli vorgenommenen Zählungen von Spinnen und Laufkäfern aus den Jahren 2000 und 2003 verglichen³.

Signifikante Unterschiede finden sich bei den Spinnen: Bei einem Grossteil der Arten hatte sich im Sommer 2003 die Zahl der Tiere gegenüber 2000 mehr als verdoppelt. Auch die Zahl der beobachteten Arten nahm zu, wenn auch weniger deutlich. Ursache dieser Bestandeszunahme könnte der grosse Wärmeüberschuss von 3 bis 6 °C im den Monaten Mai bis Juli gewesen sein (vgl. Kap. 1.2). Die Trockenheit und Hitze des Jahres 2003 scheint jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Artenzusammensetzung gehabt zu haben. Dies gilt sowohl für feuchte Standorte (am Wasser oder im Bereich von Grundwasseraufstössen) als auch für trockene Flächen (wie hochliegende Kiesbänke und Schwemmterrassen).

Anders scheint sich die Trockenheit auf jene Zonen ausgewirkt zu haben, die in Normaljahren regelmässig nach starken Gewittern überflutet werden, beispielsweise Flächen entlang alter Abflussrinnen. Hier konnte im Sommer 2003 eine leichte Zunahme der Nach-Pionierfauna beobachtet werden, gegenüber einem Rückgang der Feuchte liebenden Pionierarten. Allgemein formuliert haben das Ausbleiben der Niederschläge im Frühjahr und die reduzierte Abflussdynamik des Brenno wahrscheinlich die Reifung dieser Ökosysteme gefördert bzw. die Bildung von temporären Pioniergemeinschaften gebremst.

Aus den Daten lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Aus ökologischer Sicht hat sich die Struktur und die Zusammensetzung der bodennahen Fauna in den Auengebieten des Brenno im Sommer 2003 als ziemlich widerstandsfähig erwiesen.
- Die Trockenstandorte auf den Schwemmterrassen, die Auenwälder und die dauernd feuchten Flächen zeigten sich am wenigsten verwundbar. Umgekehrt gerieten einmal mehr jene seltenen und bedrohten Lebensräume am stärksten unter Druck, die direkt vom Abflussregime und von den Quellhorizonten abhängen.
- Insgesamt hat sich bestätigt, dass vorübergehende äussere Störungen die Stabilität der Tiergemeinschaften in den Auengebieten des Brenno nicht gefährden.



Widerstandsfähige Fauna am Brenno

Abb. 6.8:
Während *Pirata hygrophilus* (links) von der Wärme und der Trockenheit im Tessin profitierte, gehörte *Nebria picicornis* (rechts) zu jenen Arten, auf welche die ausserordentliche Witterung negative Auswirkungen hatte.
(Bild: F. Koehler)



Die Weiden an der Rhone bei Ile Falcon in der Nähe von Sierre im Wallis illustrieren sehr schön die grosse morphologische Anpassungsfähigkeit der Weichholz-Baumarten und ihre Fähigkeit, auch in Trockenzeiten den Wassernachschub zu sichern. In Abb. 6.9 sind von der Erosion blossgelegte Wurzeln von über 2 Metern Länge zu sehen, die bis in eine Tiefe hinabreichen, wo immer Wasser vorhanden ist.

In mehreren Auengebieten der Schweiz gibt es sogenannte «Auensteppen» und sogar Trockenwiesen. Ihr Ursprung liegt in Kies- und Sandbänken, die bei ausserordentlichen Hochwassern mit Wiederkehrperioden von über 10 bis 20 Jahren entstanden sind. Wegen des porösen Bodens fliesst das Wasser schnell durch diese Bänke; entsprechend trockenresistent sind die Pflanzen, die auf ihnen wachsen (xerophile Vegetation). Die sommerliche Trockenheit bewirkt eine strenge Selektion, so dass die Vegetationsdecke spärlich bleibt. Zudem kann auf solchen Flächen die Bodentemperatur 50 °C übersteigen. Der Sommer 2003 hat hier sicherlich zu einer ausserordentlich starken Selektion geführt, die jedoch kaum dokumentiert ist.

Abb. 6.9: Solche «Auensteppen» gibt es beispielsweise entlang der Verzasca im Tessin. Sie bestehen aus grossen Steinblöcken und Geröllen, die von Moosgemeinschaften (braune Farbe in Abb. 6.10) und vereinzelt von höheren Pflanzen und kleinen Sträuchern besiedelt worden sind.

Weichhölzer wie diese Weiden am Rhoneufer bei Sierre VS bilden trotz ihrer geringen Grösse lange Wurzeln, um jederzeit an das Wasser heranzukommen (Juni 2003).
(Bild: Auenberatungsstelle)

Die Auen der Verzasca sind seit 2003 Gebiete von nationaler Bedeutung. Im Juli 2002, also ein Jahr vor der Trockenheit von 2003, ergab eine Kartierung der Vegetation, dass die an mehreren Standorten herangewachsenen Besenginster verdorrt waren (Abb. 6.11). Gabriele Carraro, Forstingenieur in Locarno, vermutet als Ursache die lange Trockenphase von über hundert Tagen ohne Niederschlag im Winter 2001/2002. Es handelt sich demnach um eine Spätwirkung einer Trockenheit.



Abb. 6.10 (links):
Typische Auensteppe am
Flusslauf der Verzasca bei
Sonogno TI (Juli 2002).
(Bild: Auenberatungsstelle)

Abb. 6.11 (rechts):
Nach der Wintertrockenheit
2001/2002 sind auf dieser
Trockenwiese der Verzasca
bei Brione TI die Besen-
ginster abgestorben
(Juli 2002).
(Bild: Auenberatungsstelle)

6.1.3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Zusammenfassung der Beobachtungen über die Wirkung der Hitze und Trockenheit im Jahr 2003 auf die Auengebiete ergibt folgendes, rein empirisch gewonnenes Bild:

Einerseits wurden positive Wirkungen beobachtet: beispielsweise die aussergewöhnliche Entwicklung von Pionierpflanzengemeinschaften und seltenen Arten (Thur und Lac de la Gruyère), oder das lokale Absterben des Drüsigen Springkrauts, einer unerwünscht wuchernden Einwandererpflanze. Andere Wirkungen können als negativ (Ginster an der Verzasca) oder neutral (Verwelken der untersten Vegetationsschicht am Brenno) bewertet werden. Jede Art und jede Pflanzengemeinschaft verfügt über eine individuelle Toleranz gegenüber ökologischem oder klimatischem Stress. Auf den ersten Blick hat die Hitze und Trockenheit 2003 das Überleben keiner Pflanzenart bedroht.

Gesamthaft betrachtet bilden die Auen ein Biotop, das natürlicherweise Veränderungen und Stress ausgesetzt und entsprechend angepasst ist, sowohl kurz- wie langfristig. Der von Überschwemmungen und laufender Verjüngung ausgeübte Druck ist sogar die Voraussetzung für die Existenz dieses Ökosystems. Trockenheiten scheinen daher nur oberflächliche Wirkungen auszuüben. Irreversible Schäden wurden nicht beobachtet. Wissenschaftlich spricht man von «Resilienz», der Fähigkeit eines Systems, auch bei Veränderungen der Rahmenbedingungen weiter zu funktionieren.

Allerdings sind die Wirkungen der Trockenheit des Jahres 2003 auf die Auen nicht in allen Details untersucht worden. Gewisse Effekte, insbesondere die langfristigen, können nicht unmittelbar erkannt werden. Gerade den Förstern sind Spätwirkungen von ausserordentlichen Witterungsbedingungen auf die Wälder gut bekannt. Die kommenden Jahre werden darüber vielleicht zusätzliche Erkenntnisse bringen.

6.2 Moore

6.2.1 Beschreibung

Ein Hochmoor ist im typischen Fall uhrglasförmig über die Umgebung aufgewölbt. Die obersten Schichten können mehrere Meter über dem Grundwasserspiegel liegen. Dennoch ist der Boden bis nahe an die Oberfläche stets nass. Ein Hochmoor gleicht einem riesigen Schwamm in der Landschaft, der sich bei Regenwetter vollsaugt und das Niederschlagswasser speichert. In Gebieten mit viel Niederschlag dämpfen daher die Hochmoore den Abfluss und reduzieren die Gefahr von Überschwemmungen. In Flachmooren ist das Speichervermögen etwas geringer.

Wegen des mit Wasser gesättigten Bodens herrscht in Mooren Sauerstoffmangel. In diesem sauren Milieu wird abgestorbenes Pflanzenmaterial nur teilweise zersetzt und häuft sich in Form von Torf an. Im Torf sind die nicht mineralisierten Nährstoffe gespeichert. Die Nährstoffzufuhr für Pflanzen erfolgt deshalb praktisch ausschliesslich über das Regenwasser. Hochmoore sind extrem magere Standorte.

Intakte Hochmoore bilden Komplexe unterschiedlichster Kleinlebensräume. Die sogenannten Bulten – von Torfmoosen bedeckte Torfhügel – können für kurze Zeit austrocknen, die Schlenken – die Vertiefungen – sind dauernd nass.

Flachmoore – auch Niedermoore genannt – werden durch Oberflächenwasser feucht gehalten. Im Unterschied zu Hochmooren bringen Hangwasser, Grundwasser und temporäre Überflutungen Nährstoffe ins System. Die Pflanzenwelt ist deshalb produktiver und vielfältiger als in Hochmooren. Unter dem Einfluss mehr oder weniger ausgeprägter Bodenfeuchtigkeit und verschiedener Bewirtschaftungsformen können sich sehr unterschiedliche Pflanzengemeinschaften ansiedeln.

6.2.2 Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit im Sommer 2003

Wird ein Hochmoor trocken gelegt, entleeren sich die Poren des Torfkörpers, sie kollabieren und das Moor sackt zusammen. Sauerstoff aus der Luft dringt ein und setzt die Mineralisierung, den Abbau des organischen Materials, in Gang. Die gespeicherten Nährstoffe werden freigesetzt. In der Folge siedeln sich Pflanzen mit höherem Nährstoffbedarf an und verdrängen die Hochmoorarten. Unter geeigneten Bedingungen lässt sich dieser Prozess durch Wiedervernässung umkehren. Auch in Flachmooren führt eine Austrocknung zu Veränderungen der Pflanzengemeinschaften.

Ein Hitzesommer mit entsprechender Trockenheit wie im Jahr 2003 kann daher die Wachstums- und Nährstoffverhältnisse deutlich verändern. Ob und wo solche Vorgänge stattfanden, kann nicht belegt werden, da keine gezielten Beobachtungen

durchgeführt wurden. Einige Zufallsbeobachtungen weisen jedoch auf gewisse Veränderungen hin. So war im August 2003 der Wasserstand in Schlenken ungewöhnlich tief. Zudem schien die Qualität des Futters auf feuchten Weiden besser als sonst gewesen zu sein. Die oben beschriebene Freisetzung von Nährstoffen bei geringerer Nässe könnte diese Beobachtung erklären.

6.3 Amphibien

6.3.1 Beschreibung

Amphibien sind Landbewohner, die – mit Ausnahme des Alpensalamanders – zur Fortpflanzung Gewässer benötigen. Während der Feuersalamander Bäche für die Laichablage bevorzugt, sind die übrigen Amphibienarten auf stehende Gewässer angewiesen. Besonders günstig sind fischfreie Kleingewässer wie Weiher und Tümpel, die auch periodisch austrocknen können. Die Eiablage erfolgt je nach Art früher oder später im Frühling; die Entwicklung der Larven erfolgt temperaturabhängig schneller oder langsamer. Die Lebensweise der Amphibien zeigt ihre enge Abhängigkeit von Wasserangebot und Temperatur.

6.3.2 Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit im Sommer 2003

Obwohl gezielte Beobachtungen fehlen, lassen sich dennoch folgende Aussagen machen: Betroffen vom trockenheissen Sommer 2003 waren vor allem die Spätläicher, deren Laich in den trocken fallenden Kleingewässern zugrunde ging. Das Austrocknen der Gewässer reduzierte aber auch die Zahl der Fressfeinde wie Fische und Libellenlarven. Der Verlust des Laichs bedeutet für die Amphibien einerseits den Ausfall eines Jahrganges an Nachwuchs. Andererseits wirkt sich die Verminderung des Feinddrucks mindestens im Folgejahr positiv auf die Nachwuchsrate aus. Zudem führen hohe Temperaturen zu schnellerem Wachstum und zu kräftigeren Individuen. Ein trockenes Hitzejahr wie 2003 kann sich bei den Amphibien somit sowohl negativ wie positiv auswirken.

Gewinner und Verlierer

Aus: «Zürcher Umwelt-praxis», Informations-organ der kantonalen Umweltschutzverwaltung, Nr. 36, Dezember 2003 (www.umweltschutz.zh.ch)

[...] «Aussergewöhnlich war die Situation in den Zürcher Feuchtgebieten, zum Beispiel in den Alt-läufen an der Glatt. [...] Einerseits litten viele Amphibienarten (insbesondere die Geburtshelferkröte, die Kreuzkröte und die Gelbbauchunke) und seltene, anspruchsvolle Libellen-Arten darunter, dass von ihnen bewohnte Gewässer austrockneten. Andererseits führte der tiefe Wasserstand zu einer Ausbreitung von Problempflanzen, beispielsweise der aus Nordamerika eingeschleppten Goldrute. Der Unterhaltsdienst der Fachstelle Naturschutz musste darum vermehrt Einsätze leisten, um solche Pflanzen zu bekämpfen.

Profitiert haben voraussichtlich gewisse seltene Amphibien davon, dass das Austrocknen vieler Gewässer zum Rückgang räuberischer Wassertiere führte. Auch konnten sich seltene Heuschrecken und Schmetterlinge, die wegen der Trockenheit gute Bedingungen vorfanden und sich stark vermehrten, weiter ausbreiten und vermehrt neue Biotope besiedeln, zum Beispiel im lichten Wald in den Thuraue.

Seltene und scheue Arten gestresst

Riedwiesen werden üblicherweise erst nach dem 1. September geschnitten, um spätblühenden Arten die Versamung zu ermöglichen. Unter dem Druck der extremen Futterknappheit in einigen Kantonen (z.B. Waadt) entschied das Bundesamt für Landwirtschaft jedoch, den Schnittzeitpunkt vorzuverlegen. Einschneidend davon betroffen wurden z.B. das Preussische Laserkraut, der Lungen-Enzian, der Schwalbenwurz-Enzian und der Gefranste Enzian.

Viele Menschen suchten zudem die Nähe des Wassers, um sich von der Hitze zu erholen. Die bis in die Nacht andauernde Betriebsamkeit störte scheue Feuchtbewohner wie Wasservögel oder Amphibien.» [...]

[...] Wie weiter?

Die Fachstelle Naturschutz hat aus der Analyse des Hitzesommers künftige Massnahmen abgeleitet: Die Schnittzeitpunkte der Naturschutzflächen, insbesondere der Feuchtgebiete, sollen in Pflegeplänen differenziert festgelegt werden, soweit dies noch nicht erfolgt ist. Bestände seltener Arten müssen vergrössert und besser überwacht werden, damit sie bei Extremereignissen weniger gefährdet sind. Dazu muss die Vielfalt und Grösse der naturnahen Flächen klein- und grossräumig erhöht werden.» [...]

6.4 Gesamtbetrachtung

Zu den Folgen von Hitze und Trockenheit auf Feuchtgebiete kann generell festgehalten werden:

- Es fehlt an gezielten Beobachtungen.
- Ein isoliert auftretendes Extremereignis kann in der Natur normalerweise abgefedert werden (Resilienz).
- Gewisse Vorgänge wie Verbuschung oder Vegetationsveränderungen laufen schneller ab oder werden erst richtig ausgelöst. Eine aus Naturschutzsicht negative Entwicklung wird damit unter Umständen beschleunigt.
- Häufig gibt es gleichzeitig positive wie negative Auswirkungen (vgl. obenstehenden Kasten). Am Bodensee und am Lago Maggiore (vgl. Kasten S. 120) konnte beispielsweise der durch Hochwasser reduzierte Schilfbestand

wieder Terrain gut machen – ein positiver Trend. Die Trockenheit erlaubte es jedoch gewissen unerwünschten Pflanzenarten, sich zu installieren. Es bleibt abzuwarten, ob sie bisherige Arten verdrängen werden.

- Habitats oder Populationen, die sich bereits in einem kritischen Zustand befinden, können vollständig degradieren bzw. aussterben (Klimastress als Tropfen, der das Fass zum Überlaufen bringt).

Die von Hitze und Trockenheit ausgelösten positiven oder negativen Prozesse können nur mittel- bis langfristig beurteilt werden. Während die Auswirkungen eines einzelnen Jahres nur schwer zu beurteilen sind, kann jedoch sicher gesagt werden, dass eine Häufung von trockenheissen Jahren Veränderungsprozesse bewirkt.

6.5 Folgerungen

Pflanzen sind der Trockenheit an ihrem Standort ausgeliefert und haben unterschiedliche Strategien zum Überleben von Extremereignissen entwickelt: tiefreichende Wurzeln, Überdauern der Dürre in Wurzelmassen, Anlegen von Samenvorräten für bessere Zeiten, frühzeitiges Blühen und Absamen usw.

Im Gegensatz dazu sind Tiere mobil und können der Trockenheit ausweichen. Dieses Ausweichen kann über kurze Distanzen erfolgen, durch Flucht in tiefere Bodenschichten oder durch das Aufsuchen noch feuchter Standorte. Je nach lokaler Situation und Intensität von Hitze und Trockenheit sind jedoch grösserräumige Verschiebungen nötig. Sie sind nur möglich, wenn Verbindungen zwischen den einzelnen Habitats existieren. Solche Verbindungen sind auch für die Wiederbesiedlung eines Habitats wichtig, wenn eine Population an einem bestimmten Standort als Folge extremer Witterung ausgestorben ist.

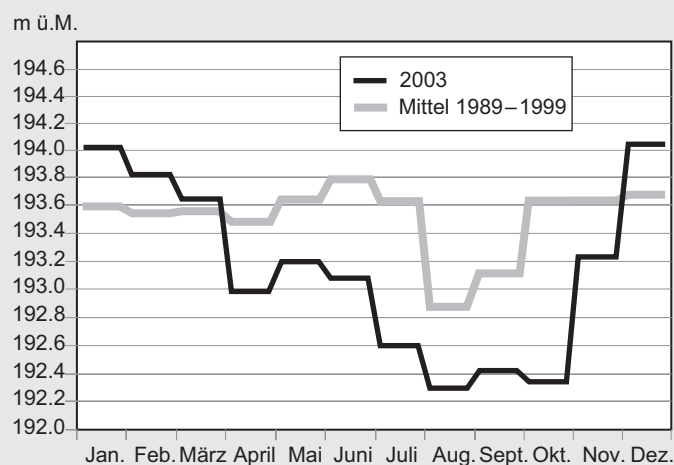
In einer ausgeräumten Landschaft können isolierte Populationen durch Extremereignisse ausgelöscht werden, da die Wiederbesiedlung durch Individuen überlebender Populationen nicht möglich ist. Die betroffene Art erleidet einen Arealverlust, die Isolation einzelner Populationen verstärkt sich und die Art gerät unter Umständen in die Spirale hin zum Aussterben. Für die Auslösung solcher Prozesse genügen einmalige Extremereignisse. Das Vernetzen von Lebensräumen ist deshalb gerade vor dem Hintergrund von Extremereignissen ein überlebensnotwendiger Bestandteil des Artenschutzes. Dies gilt auch für Fließgewässersysteme.

Eine Unbekannte bei der Abschätzung der Auswirkung von Hitze und Trockenheit auf Feuchtgebiete ist die allfällige Veränderung der menschlichen Nutzung. Diese kann unter Umständen die Trockenheits- oder Hitzeeinwirkungen zusätzlich und in unterschiedlicher Richtung beeinflussen, beispielsweise durch Änderung der Beweidung und des Schnittes, durch vermehrte Fassung von Quellen und damit Zerstörung von Feuchthabitats, oder durch verstärkte Freizeitnutzung am Wasser und damit verbundene Störungen.

Ergrünte Uferstreifen in den Bolle di Magadino

Eine ausserordentliche Beobachtung hat die Fondazione Bolle di Magadino im Sommer 2003 bei der Einmündung des Ticino in den Lago Maggiore gemacht: Als Folge der lang anhaltenden Trockenheit auf der Alpensüdseite (vgl. Kap. 6.12) sank der Seespiegel auf einen Tiefststand, und zwar anhaltend den ganzen Sommer hindurch bis in den Oktober (Abb. 6.12). Auf den trockengefallenen Stränden und ufernahen Seeböden des Locarnese und des Gambarogno begannen ab Juli Pflanzen zu wachsen, die zwar typisch für den Lago Maggiore sind, aber nur mehr selten beobachtet werden können⁴.

Abb. 6.12:
Monatsmittel der Wasserstände des Lago Maggiore im Jahr 2003 im Vergleich zur Periode 1989–1999.
Quelle: Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Station Nr. 69 Lago Maggiore-Locarno.



Der Grund dafür liegt im Bau des Regulierwerks am Seeausfluss bei Sesto Calende im Jahr 1943. Während vorher der Wasserstand natürlicherweise von einem Höchststand im Frühsommer den Sommer hindurch im Mittel um gut einen Meter auf einen Tiefstand im Winterhalbjahr absank, wird seit dem Zweiten Weltkrieg der Seespiegel künstlich auf einem konstanteren und generell höheren Niveau gehalten. Anders als vor 1943 fallen die flachen Uferbereiche nur noch sehr selten über mehrere Monate trocken.

Im Zuge der ausserordentlichen Trockenheit des Jahres 2003 trat dieses Phänomen wieder auf. Auf den trockengefallenen Uferstreifen wurden zahlreiche Pflanzengesellschaften (Nanocyperion und Littorellion) beobachtet, die für diese temporären ökologischen Nischen typisch sind. Der Vergleich mit botanischen Beobachtungen aus der Zeit vor der Seeregulierung^{5,6} zeigt allerdings, dass offenbar einige anspruchsvollere und höher spezialisierte Arten die Jahrzehnte ohne lange Tiefwasserstände nicht überlebt haben und verschwunden sind. Andere Arten zeigen jedoch grosse Widerstandskraft und nutzten die rar gewordene Gelegenheit zum Auskeimen und Samenbilden. Es bot sich das seltene Bild von golfplatzartig ergrünten Uferstreifen, die zahlreichen Vögeln und Insekten Nahrung boten (vgl. Abb. 6.13).



Abb. 6.13:
Ein seltener Anblick:
ergrünte Uferstreifen in den
Bolle di Magadino (Bolla
Rossa, 30. Juli 2003).
(Bilder: Fondazione Bolle
di Magadino)



Solche temporären Ökosysteme sind sehr selten geworden und gehören in der EU-Richtlinie zur Bildung eines grenzüberschreitenden Netzes von Schutzgebieten «Natura 2000» zu den mit höchster Priorität zu erhaltenden Lebensräumen.

Parallel dazu wurde beobachtet, dass der seit mehreren Jahren wegen der hohen Wasserstände zurückweichende Schilfgürtel an fast allen Kontrollpunkten wieder um rund zwei Meter in den See vorgestossen ist.

Die Trockenheit des Jahres 2003 hat daher zwei Aspekte bestätigt:

- die wichtige Rolle der Uferstreifen als Reservoir für seltene Pflanzenarten, die nur unter besonderen Umständen auskeimen («Seed-stock» in den Ufersedimenten)
- die negativen Auswirkungen der Seeregulierung auf die Schilfgürtel und die temporären Lebensräume im Uferbereich.

-
- ¹ CONSORZIO RISANAMENTO ECOSISTEMI ALLUVIONALI: *Progetto sulla Piana di Castro (Valle di Blenio)*. <http://www.ti.ch/DT/DA/SPAA/argomenti/deflussi/ecosistemi.html> (Mai 2004).
- ² MORETTI, M., PATOCCHI N. & WALTER T., 2003: *Controllo dell'efficacia delle misure di protezione delle zone alluvionali. Controllo della fauna. Test 2003*. Yverdon-les-Bains: Service conseil Zone alluviale.
- ³ WSL SOTTOSTAZIONE SUD DELLE ALPI, Bellinzona: *Influenza della siccità sulle comunità faunistiche di golena*. Notiz von Marco Moretti vom April 2004.
- ⁴ FONDAZIONE BOLLE DI MAGADINO: *Effetti nel periodo di siccità 2003 sugli ambienti delle Bolle di Magadino*. Notiz von Nicola Patocchi vom 10. März 2004.
- ⁵ SCHROTER, C. & WILCZEK, E., 1904: *Notice sur la flore littorale de Locarno*. Boll. Soc. tic. Scie. Nat., 1:9–29.
- ⁶ JÄGGLI, M., 1922: *Il delta della Maggia e la sua vegetazione*. Contributi allo studio geobotanico della Svizzera, 10: 174 pp. (Annex zu den Berichten der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft, Heft 30).

Weiterführende Literatur

- BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL, Hrsg.), 2002: Jan Ryser, *Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung – Vollzugshilfe*. Bern: BUWAL Vollzug Umwelt VU-8810-D und F.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL, Hrsg.), 2002: *Moore und Moorschutz in der Schweiz*. Bern: BUWAL 310.714.d oder f oder i.
- DIENST, M., STRANG, I. & SCHMIEDER, K., 2003: *Auswirkungen extremer Wasserstände auf die Ufervegetation des Bodensees*. Natur + Mensch 6/2003, 12–19.
- KUHN, N. & AMIET, R., 1988: *Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung / Inventaire des zones alluviales d'importance nationale*. Bern: Eidg. Departement des Innern / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- LANDOLT, E., 1991: *Rote Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen in der Schweiz / Liste rouge. Plantes vasculaires menacées en Suisse*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- PICHOD-VIALE, D. & FRONTIER, S., 1991: *Ecosystèmes: structure, fonctionnement, évolution*. Collection d'écologie 21. Paris: Masson.
- VADI, G., GILLET, F., ROULIER, C. & THIELEN, R., 2004: *Suivi de la dynamique de la végétation. Rapport succinct et résultats des travaux de 2003 au Rhône et à la Thur: Forschungsprojekt Rhone-Thur*. Interner Bericht.

7 Wasserentnahmen und Wassereinleitungen

Als Folge des Niederschlagsdefizits sank im Sommer 2003 die Wasserführung vieler kleinerer Fliessgewässer im Jura und im Mittelland auf extrem tiefe Werte. Zahlreiche kleine Fliessgewässer fielen sogar trocken. Aufgrund der anhaltenden Hitze und Trockenheit versuchten viele Bauern, ihre Kulturen durch Wasserentnahmen aus den Oberflächengewässern vor Dürreschäden zu bewahren. Wie bei früheren Trockenperioden kam es zum Konflikt zwischen Gewässerschutz und den Bedürfnissen der Landwirtschaft. Die teils schwierigen Lagen wurden von betroffenen Kantonen unterschiedlich bewältigt. Verschiedene Kleinkraftwerke mussten ihre Produktion einstellen. Die Kernkraftwerke Beznau und Mühleberg reduzierten zeitweise ihre Leistung, um die Temperaturentlastungen für das in die Aare zurückgeführte Kühlwasser einhalten zu können.

7.1 Ausgangslage

7.1.1 Die Situation in den kleinen Fliessgewässern des Mittellandes und des Juras

Die Hitze und Trockenheit im Sommer 2003 wirkte sich in erster Linie auf die Fliessgewässer ausserhalb des Alpenraums aus. Besonders betroffen waren die kleineren Fliessgewässer im tieferen Mittelland von Genf bis in den Thurgau, im Jurabogen sowie teilweise im Tessin (vgl. Kap. 3.4). Gemäss den Rückmeldungen der Kantone über die Lage in den Fischgewässern trockneten rund 350 Fliessgewässer auf einer Gesamtlänge von rund 245 Kilometern teilweise oder vollständig aus (vgl. Kap. 8.2). In den Abb. 7.1 und 7.2 (S. 124) sind die Verhältnisse im Jahr 2003 in den kleinen Fliessgewässern im Mittelland und im Jura exemplarisch anhand der

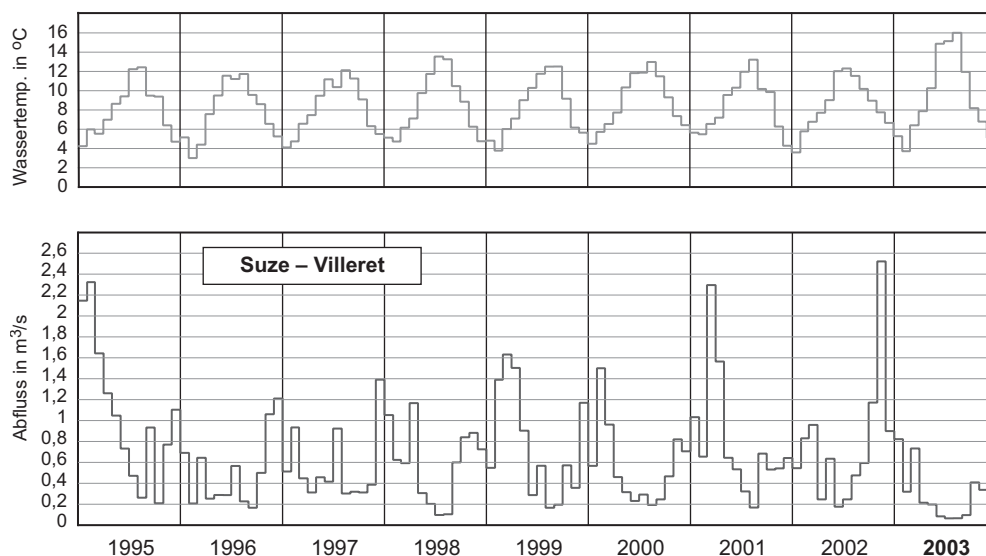
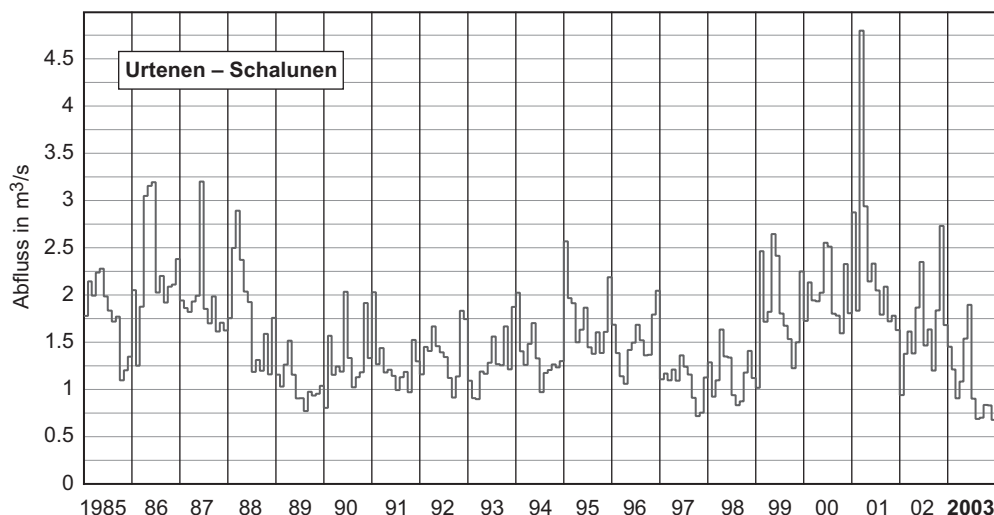


Abb. 7.1:
Abfluss und Temperatur an der Messstation der Suze bei Villeret in den letzten neun Jahren. Die Monatsmittel des Abflusses in den Monaten Juni, Juli und August 2003 sind die tiefsten, die je registriert wurden. Die Wassertemperaturen übertrafen die bisher gemessenen Maxima um rund 3 °C. Daten: Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Abb. 7.2:

Abfluss an der Messstation der Urtenen bei Schalunen in den letzten 19 Jahren. Die Monatsmittel des Abflusses in den Monaten Juli, August und September 2003 sind die tiefsten, die je registriert wurden. Daten: Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern



Messstationen an der Suze bei Villeret (direkt unterhalb von St-Imier) und an der Urtenen bei Schalunen (vor der Einmündung in die Emme) dargestellt.

In den Voralpen und Alpen dagegen waren die Niederschlagsdefizite in einzelnen Gebieten deutlich geringer (vgl. Kap. 1.3, Abb. 1.15b und 1.15c, S. 31/32), und zudem machte sich die erhöhte Schnee- und Gletscherschmelze bemerkbar (vgl. Kap. 2.2). Ein klares räumliches Muster von besonders niedrigen Abflüssen ist aber nicht auszumachen. Die räumliche Vielfalt der Schweiz und lokale Niederschlagsereignisse wie Gewitter führten dazu, dass selbst in nahe beieinander liegenden Einzugsgebieten sehr unterschiedliche Verhältnisse herrschten (vgl. Kap. 3.6).

Gleichzeitig standen in den Kernräumen der Trockenheit der teilweise extrem tiefen Wasserführung in kleinen Fliessgewässern der massiv erhöhte Wasserbedarf der Landwirtschaft entgegen. Am Jurafuss im Kanton Solothurn beispielsweise überstieg von April bis September der monatliche artspezifische Wasserbedarf von wichtigen Kulturen fast durchwegs die entsprechenden Niederschlagssummen, mit einem besonders starken Defizit im Juni¹. Viele Kulturen waren daher auf Bewässerung angewiesen. Wie bereits in früheren Trockensommern entstand dadurch ein potenzieller Konflikt zwischen den Bedürfnissen der Bauern und dem Schutz der Gewässer als Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten.

7.1.2 Gesetzliche Grundlagen

Das Gewässerschutzgesetz des Bundes (GSchG) regelt zur Sicherung angemessener Restwassermengen die Bewilligung für Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern und Grundwasser (Art. 29). Entnahmen können bewilligt werden, wenn sie zusammen mit andern Entnahmen höchstens 20 Prozent der Abflussmenge Q_{347} betragen (sog. geringfügige Entnahmen; Art. 30 Bst. b; Definition von Q_{347} siehe Kap. 3.6.1, S. 58). Grössere Entnahmen können bewilligt werden, wenn die gemäss Art. 31 festgelegte Mindestwassermenge nicht unterschritten wird. Dabei muss die vorgeschriebene Wasserqualität trotz Entnahmen eingehalten werden und die für die

freie Fischwanderung erforderliche Wassertiefe gewährleistet sein. Die zuständigen kantonalen Behörden können diese Mindestwassermenge erhöhen, falls ökologische Gründe oder die Erhaltung der Wasserqualität dies erfordern (Art. 33 GSchG). Andererseits dürfen die Kantone in Notsituationen die Mindestwassermenge für bestehende oder neue Entnahmen befristet tiefer ansetzen, beispielsweise um landwirtschaftliche Bewässerungen zu ermöglichen (Art. 32 Bst. d GSchG). Das Bundesgesetz über die Fischerei wiederum gibt den Kantonen den Auftrag, für die Erhaltung und den Schutz der aquatischen Lebensräume zu sorgen.

Die sinkenden Abflussmengen und der steigende Wasserbedarf für die Bewässerung von Kulturen stellt die Kantone und Gemeinden vor eine schwierige Interessenabwägung: Wie lässt sich der beste Kompromiss zwischen Gewässerschutz und Bedarf der Landwirtschaft erreichen?

Theoretisch sind zwei extreme Lösungen möglich: Entweder wird – zu Ungunsten der Bauern – ein generelles Verbot für jegliche Wasserentnahme aus Fliessgewässern zu Bewässerungszwecken erlassen. Oder es werden sämtliche Gesuche für Wasserentnahmen unter Berufung auf die Ausnahmeregelung im Art. 32 Bst. d GSchG bewilligt – zum Nachteil der Umwelt. Diese beiden Extremlösungen lassen sich erfahrungsgemäss nur in Ausnahmefällen rechtfertigen. In allen anderen Fällen führen sie – berechtigterweise – zu grosser Unzufriedenheit bei den Betroffenen, zu Reaktionen in den Medien, zum Verlust der Glaubwürdigkeit der zuständigen Behörden und zur Nichtbeachtung von Wasserentnahmeverboten. Der Handlungsspielraum der Behörden zwischen den beiden Extremen ist jedoch gross, so dass sich im Allgemeinen zufrieden stellende Lösungen finden lassen.

7.2 Wasserentnahmen durch die Landwirtschaft

7.2.1 Umfrage bei den Kantonen

Um für die Kantone und den Bund einen Überblick zum Vollzug der Restwasserbestimmungen bei landwirtschaftlichen Bewässerungen zu gewinnen, hat das BUWAL bereits am 22. Juli 2003 eine erste Umfrage unter den Kantonen durchgeführt und die Auswertung anschliessend den Kantonen als Vollzugshilfe zugestellt. Im Hinblick auf diesen Bericht wurden im März 2004 die Daten vom Juli 2003 um eine weitere Erhebung ergänzt. In dieser zweiten Umfrage wurden die Kantone gefragt:

- Wurden Wasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung nach Art. 32 Bst. d GSchG bewilligt?
- Gab es Einschränkungen oder Verbote von Wasserentnahmen?
- Gab es Konflikte zwischen den Betroffenen?
- Gab es Probleme bei anderen Nutzungen?
- Welches waren aus Sicht der Kantone die wichtigsten Auswirkungen?
- Welche Schlussfolgerungen ziehen die Kantone für künftige Trockenheiten?

7.2.2 Ergebnisse der Umfrage

21 Kantone haben auf die Umfrage in unterschiedlichem Umfang geantwortet. Keine ernsthaften Probleme meldeten die Kantone BS, GL, NW, OW, SZ, ZG. Einige Kantone wie Solothurn¹ und Thurgau, die von der Trockenheit besonders stark betroffen wurden, haben einen kantonalen Trockenheitsbericht erstellt. Der Kanton Aargau hat einen Kurzbericht verfasst (vgl. Fallbeispiel 1 im Kasten).

Im Folgenden werden die Ergebnisse der zweiten Umfrage zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass die Datendichte von Kanton zu Kanton unterschiedlich ist und von einzelnen Kantonen keine Angaben vorliegen. Die Zusammenstellung und die ausführlicher dargestellten Fallbeispiele haben deshalb einen episodischen Charakter.

A) Massnahmen der Behörden (Bewilligungen und Verbote)

AG: Ab Mitte Juni schrittweise Sistierung von Bewilligungen zur Wasserentnahme. Aufhebung erst Ende 2003. Unabhängig von den Sistierungen wurden an den Flüssen und so lange als möglich auch an grossen Bächen kurzfristige Bewilligungen für die landwirtschaftliche Bewässerung erteilt (vgl. Fallbeispiel 1 im Kasten).

BE: Wasserentnahmen im Mittelland vom 24. Juli bis zum 16. September gemäss dem System der Pegellatten (vgl. Fallbeispiel 2 im Kasten). Verbote von Wasserentnahmen ab Juli. Bewässert werden durfte nur nachts, um die Verdunstungsverluste zu minimieren.

BL: Wasserentnahmeverbot von Juli bis Oktober an allen Fliessgewässern mit Ausnahme des Rheins². Ausnahmebewilligungen wurden keine erteilt; bei den ordentlich bewilligten Nutzungen wurde die Wasserentnahme während der Trockenperiode untersagt.

GE: Wasserentnahmeverbot vom 14. August bis zum 22. Oktober an allen Fliessgewässern mit Ausnahme von Rhone und Arve.

GR: Wasserentnahmen gemäss Art. 32 Bst. d GSchG im Domleschg, Schams, Unterengadin von Juni bis August. Einschränkungen im Domleschg in den Monaten Juni und Juli. Der Kanton verteilte nach unbewilligten Wasserentnahmen ein Merkblatt³ an die Gemeinden.

JU: Einschränkungen von Ende Juni bis Ende des Sommers im ganzen Kanton.

LU: Wasserentnahmen gemäss Art. 32 Bst. d GSchG aus wenigen kleinen Fliessgewässern (Juni bis August). Zusätzlich wurden Bewilligungen für Entnahmen aus mittleren bis grösseren Fliessgewässern erteilt (Reuss, Suhre, Wigger usw.). Es wurden nur begrenzte Mengen zu begrenzten Zeiten bewilligt. Im Verlauf der Trockenheit wurden Entnahmen an Wigger (Unterlauf) und Suhre nicht mehr bewilligt.

Mehrjährige und kurzfristige Bewilligungen

«[...] Im Aargau ist der Kanton für die Erteilung von Bewilligungen für Wasserentnahmen zuständig, während den Gemeinden die Kontrolle über das Vorliegen einer Bewilligung bzw. über die Einhaltung der Bedingungen einer Bewilligung obliegt. Mitte 2003 bestanden im Kanton Aargau 190 mehrjährige Bewilligungen für [Wasserentnahmen zur] Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen oder öffentlicher und privater Parzellen. Davon waren 60 Bewilligungen für Entnahmen aus Aare, Reuss, Limmat und Rhein und 130 aus Bächen.

Bereits Anfang Juni 2003 kamen die ersten Anfragen für kurzfristige Wasserentnahmen. Am 24. Juni 2003 beschloss der Regierungsrat, [...] bei kurzfristigen Wasserentnahmen aus den Flüssen und einzelnen grösseren Bächen auf die Erhebung von Gebühren zu verzichten und so die Auswirkungen der Trockenheit zu mildern. Entsprechend nahmen die Gesuche zu. Bis Mitte August 2003 wurden rund 210 kurzfristige Bewilligungen erteilt, 160 davon aus den Flüssen und dem Hallwilersee, 50 davon aus grösseren Bächen. [...]

Sistierung von Bewilligungen

In der ersten Junihälfte 2003 wurden die Abflussverhältnisse in einzelnen Bächen kritisch. Als erstes mussten die Bewilligungen im Einzugsgebiet der Sissle sistiert werden. Am 17. Juli 2003 erfolgte eine Lagebeurteilung durch die Abt. Landschaft und Gewässer, die Abt. Landwirtschaft und die Sektion Jagd und Fischerei, worauf mehrere Wasserentnahmen übers ganze Kantonsgebiet verteilt sistiert wurden. Gleichzeitig wurden alle Bewilligungsinhaber im Einzugsgebiet der Bünz, die für die landwirtschaftliche Bewässerung intensiv genutzt wird, informiert, dass bei einer weiteren Abnahme der Abflussmenge der Bünz und ihrer Seitenbäche die Entnahmen sistiert werden müssten. Die Gemeinden an der Bünz wurden gebeten, die Kontrollen zu intensivieren und nicht bewilligte Entnahmen zu stoppen.

In vielen Bächen nahm die Abflussmenge weiter ab und die Wassertemperatur weiter zu. Als Interventionsgrenze für die Sistierung der Wasserentnahmen wurde von der Abt. Landschaft und Gewässer die Mindestrestwassermenge gemäss Art. 31 Abs. 1 GSchG definiert. Sobald die aktuelle Abflussmenge eines Baches unter diesen Wert fallen würde, sollten die Wasserentnahmen sistiert werden. Einer Sistierung der Bewilligungen hatte eine Interessenabwägung zwischen den gewässerökologischen und den landwirtschaftlichen Interessen vorauszugehen. [...] Nach Rücksprache mit dem zuständigen Departementsvorsteher wurden am 12. August 2003 sämtliche Bewilligungen im Einzugsgebiet der Bünz sistiert. Am 21. August 2003 folgte die Sistierung der Bewilligungen im Einzugsgebiet des Küntenerbachs, am 26. August 2003 im Einzugsgebiet des Aabachs und am 27./28. August 2003 im Einzugsgebiet der Surb. Die Sistierungen wurden erst Ende 2003 aufgehoben. [...]

Fallbeispiel 1:

Kanton Aargau

«Wasserentnahmen während der Trockenheit 2003». Kurzbericht der Abteilung Landschaft und Gewässer im Bau-departement des Kantons Aargau vom 31. März 2004.

NE: Das wenig dichte Gewässernetz des Kantons eignet sich nicht für Bewässerungen und entsprechend wird kaum bewässert. Konzessionen gibt es nur an der Areuse, am Zihlkanal und für den Neuenburgersee. Für die Bewässerung junger Reben wurde Wasser aus der Trinkwasserversorgung verwendet.

NW: Wasserentnahmen gemäss Art. 32 Bst. d GSchG vereinzelt im August.

OW: Generell keine Bewilligungen für Wasserentnahmen aus kleinen Gewässern. Wasserentnahmen aus den grösseren Seen (Alpnacher-, Sarner- und Lungerersee) und aus der Sarner Aa für Feldbewässerungen ohne Bewilligung gestattet.

- SG:** Wasserentnahmen gemäss Art. 32 Bst. d GSchG im Juli und August. Wasserentnahmen nur aus grösseren Fliessgewässern (Abfluss grösser als 30 l/s) und aus Seen. Im ganzen Kanton durfte nur nachts bewässert werden. Die Bewilligungskompetenz wurde an die Gemeinden delegiert.
- SH:** Biber, Gebiet Ramsen, Buch: Einschränkung bzw. Verbot von Wasserentnahmen je nach Wasserführung und Abflusstiefe; ab Q₃₄₇ werden Bewässerungen aus der Biber auch künftig eingestellt.
- SO:** Wasserentnahmen gemäss Art. 32 Bst. d GSchG im Wasseramt, Gäu und Aare (Mai–September, vgl. Fallbeispiel 3 im Kasten). Einschränkungen und Verbote ab Juli im Wasseramt und Gäu. Probleme bei der Sicherung der Löschwasserreserven.
- TG:** Vom 27. Juni bis 17. Oktober allgemeines Verbot von Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern im ganzen Kanton, mit der Möglichkeit von Ausnahmbewilligungen. Insgesamt wurden 22 Bewilligungen für Notbewässerungen von Spezialkulturen erteilt. Im Lauchetal musste die Wassernutzung ganz eingestellt werden. An der Sitter und der Thur wurde der Wasserbezug für Konzessionsinhaber mündlich abgesprochen.
- VD:** Wasserentnahmen gemäss Art. 32 Bst. d GSchG schwerpunktmässig in den Ebenen und am Jurafluss. Vom 5. Juli bis 4. November Verbote im ganzen Kanton, vor allem in der Broye und im nördlichen Kantonsteil. Von Fall zu Fall Erteilung von Ausnahmbewilligungen für «unschädliche» Entnahmen aus grossen Fliessgewässern (Rhone), aus Seen und kurzfristig aus Fliessgewässern nach einem Gewitter.
- VS:** Obwohl vermutlich genug Wasser vorhanden war, hat der Kanton als Präventivmassnahme die Wasserentnahmen aus den Kanalsystemen der Talebene, die zum grossen Teil aus dem Grundwasser gespeist werden, auf die Abend- und Nachtstunden eingeschränkt. Dieses Wasser wird vor allem für Sprinklerbewässerungen verwendet. Das sedimentbeladene Rhonewasser wird nur für Bodenbewässerungen, etwa bei Obstbäumen, eingesetzt.
- ZG:** Verbot von Wasserentnahmen aus kleinen Fliessgewässern in der Periode Juni bis August. Die Landwirte konnten genügend Wasser aus dem Zugersee und dem Ägerisee mit dem Druckfass entnehmen.
- ZH:** Wasserentnahmen gemäss Art. 32 Bst. d GSchG aus grossen Gewässern (Rhein, Thur, Limmat, Sihl, Reuss, Glatt, Töss unterhalb Winterthur; Ende Juni–Oktober). Entnahmen aus den übrigen Gewässern waren verboten. Die Bewilligungskompetenz wurde an die Gemeinden delegiert. Aus 27 Gemeinden wurden insgesamt 54 Bewilligungserteilungen gemeldet.

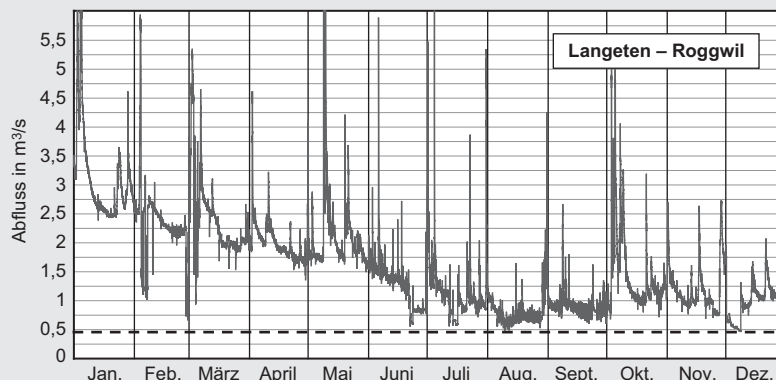
Der Kanton Bern hat zur Sicherung der Restwassermengen in Trockenperioden ein in der Schweiz wohl einzigartiges Konzept entwickelt. Es beruht auf folgenden Grundsätzen:

- Bei Wasserentnahmen aus Fließgewässern mit ständiger Wasserführung sind die Restwassermengen gemäss GSchG einzuhalten.
- Wer Wasser aus einem Oberflächengewässer entnehmen will, bedarf in der Regel einer kantonalen Konzession.
- Der Kanton delegiert die Bewilligung für zeitweilige Entnahmen ohne feste Einrichtungen an die Gemeinden. Dies betrifft vor allem die landwirtschaftliche Bewässerung.
- Als Entscheidungshilfe für die Gemeinden werden zwei Kategorien von Gewässern unterschieden: Bei Gewässern mit Q_{347} über 1000 l/s sind Entnahmen jederzeit möglich; bei Gewässern mit Q_{347} von 50–1000 l/s sind Entnahmen möglich, wenn die Abflussmenge grösser ist als die Dotierwassermenge. Bei allen anderen Gewässern dürfen die Gemeinden keine Bewilligungen für Wasserentnahmen erteilen.

Die Gewässer der Kategorie Q_{347} von 50–1000 l/s mit einer gewissen Bedeutung für die landwirtschaftliche Bewässerung wurden mit Pegellatten ausgerüstet. Eine rote Marke zeigt der betreffenden Gemeinde die einzuhaltende Dotierwassermenge. Diese Abflussmenge muss an die unterliegende Gemeinde weitergegeben werden⁴. Die Daten werden teilweise automatisch dem Kanton geliefert, der sie auf dem Internet publiziert. Bei absehbaren Problemen werden die Gemeinden sofort informiert. Dieses Pegelsystem wurde als Folge der schlechten Erfahrungen aus dem Trockenjahr 1976 aufgebaut. Nach Auffassung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern (WEA) hat sich das Konzept bewährt, da es für alle Betroffenen einsichtig ist. Seit seiner Einführung ist nach dem Wissenstand des Kantons das Abpumpen ganzer Bachabschnitte ausgeblieben⁴.

Das Pegelsystem bewährte sich auch im Sommer 2003, als rund ein Viertel der Fließgewässer, die für die landwirtschaftliche Bewässerung eine Rolle spielen, zeitweise für Wasserentnahmen gesperrt werden mussten⁵. Kritisch war die Lage nur im Mittelland. In einzelnen Fällen erlaubte der Kanton – in Absprache mit der Fischerei – zugunsten der Bauern die Reduktion der Restwassermengen auf 75%. Beobachtet wurde aber auch, dass einzelne Bauern mit anhaltender Trockenheit das Bewässern aufgaben, weil es zu aufwändig wurde. Keine Probleme traten im Gemüsebaugbiet im Seeland auf, da dort die Kanäle von Grundwasser gespeist werden und die Anbautechnik den Verhältnissen angepasst ist⁵.

Als Folge der Selbstkontrolle der Gemeinden und Bauern kam es nur vereinzelt zu Konflikten und die Polizei musste nur Ermahnungen aussprechen. Das Beispiel der Langeten (Abb. 7.3) zeigt stellvertretend, dass die Mindestrestwassermenge in den Sommermonaten zwar erreicht, aber nicht unterschritten wurde.



Fallbeispiel 2: Kanton Bern

Abb. 7.3:
Abfluss an der Messstation an der Langeten bei Roggwil im Jahr 2003. Trotz umfangreicher Bewässerungen konnte die Mindestrestwassermenge von 490 l/s (gestrichelte Linie) eingehalten werden. Daten: Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Obwohl die Bilanz des Sommers 2003 beim WEA positiv ausfällt, soll in Zukunft der Informationsfluss an die Bauern verbessert werden⁵. Zudem hat sich gezeigt, dass mehr Wasserentnahmen möglich sind, wenn die Bauern ihre Entnahmen zeitlich koordinieren. Im Raum steht die Idee von Bewässerungsgenossenschaften. Nachteilig am Pegellattensystem ist der relativ grosse Aufwand für Unterhalt und das regelmässige Überprüfen der roten Marken, da sich die Gerinne laufend verändern.

Fallbeispiel 3: Kanton Solothurn

Der Kanton Solothurn wurde besonders stark von der Trockenheit betroffen. Bis Ende August wurden nur 60% der sonst üblichen Regenmenge der ersten acht Monate erreicht. Bei den meisten Fliessgewässern mit natürlichem Abflussregime, die im Mittelland und im Jura entspringen, sank die Wasserführung vom Juli bis September mehrheitlich unter die Q_{347} -Marke der langjährigen Periode (Abb. 7.4). Bei der Dünern in Olten und dem Limpach in Messen unterschritt der Abfluss sogar die nach GSchG Art. 31 festgelegte Restwassermenge (Abb. 7.5). Beide Gewässer dienten der Wasserentnahme für landwirtschaftliche Bewässerungen¹.

Zur Bewältigung der Lage setzte der Kanton Solothurn eine Arbeitsgruppe des Amtes für Militär und Bevölkerungsschutz (AMB) ein. Darin vertreten waren weiter die Kantonspolizei, das Amt für Umwelt, die Jagd- und Fischereiverwaltung, das Forstamt, das Amt für Landwirtschaft sowie das Bauernsekretariat. Diese Arbeitsgruppe optimierte die Wasserentnahmen für landwirtschaftliche Bewässerungen und informierte via die Medien die Bevölkerung.

Im Verlauf der Trockenheit entschieden die Solothurner Behörden pragmatisch über Bewilligungen und Verbote. In den meisten Fällen konnte ausgewogen zwischen den Anliegen des Gewässerschutzes und der Landwirtschaft entschieden werden. Ein Absinken des Abflusses unter die Mindestwassermenge konnte mit wenigen Ausnahmen vermieden werden¹. Als problematisch erwies sich der Umstand, dass teilweise zu wenig Messwerte über die aktuellen Abflussmengen vorhanden waren. Aus diesem Grund erfolgte der Entscheid, ob die Bauern Wasser entnehmen durften, an einigen Gewässern aufgrund visueller Beurteilungen⁶.

Am 16. Juli gab der Kanton per Medienmitteilung ein sofortiges Wasserentnahmeverbot mit bewilligungspflichtigen Ausnahmen bekannt, worauf der Solothurnische Bauernverband beim Regierungsrat intervenierte. In der Folge wurden für die betroffenen Bauern individuelle Lösungen gesucht. An gewissen Stellen durften die Bauern abwechselnd an geraden und ungeraden Tagen Wasser entnehmen¹. Lösungen wurden auch für Gemüsebauern gefunden, die kein Wasser mehr aus dem Gewässer in ihrer unmittelbaren Nähe entnehmen durften: Für sie wurden – zum Teil unter Einbezug der Feuerwehr und des Zivilschutzes – Leitungen zu ergiebigeren Gewässern wie der Aare gelegt oder sie durften ihre Anlagen an Hydranten der Trink- und Brauchwasserversorgung anschliessen⁶.

Beobachtungen seitens der Behörden liessen den Eindruck entstehen, dass einzelne Bauern wegen ihrer Lieferverträge unter enormem Druck standen und bis zu drei Kilometer weit fuhren, um ihre Druckfässer zu füllen. Aus Sicht des Gewässerschutzes zeigte es sich, dass solche Schnellentnahmen von relativ grossen Wassermengen aus Bächen mit geringer Wasserführung problematischer sind als die Dauerentnahme kleinerer Wassermengen⁶.

Die Verbots- und Bewilligungspraxis musste eng mit dem Kanton Bern abgesprochen werden, da zahlreiche Gewässer beide Kantonsgebiete berühren. Diese Koordination verlief dank der ausgezeichneten Zusammenarbeit mit den Berner Behörden sehr gut und es konnte vermieden werden, dass an den gleichen Gewässern unterschiedliche Massnahmen getroffen wurden. Bei der Umsetzung der Massnahmen traten bei der Information ein- oder zweimal geringe Verzögerungen von einem bis zwei Tagen auf⁶.

Keine Probleme gab es beim Kernkraftwerk Gösgen: Die zur Kühlung entnommene Wassermenge blieb auch im Sommer 2003 im Vergleich zur Wasserführung der Aare gering, so dass keine Kürzung der Entnahmemengen erwogen werden musste (vgl. Kap. 11.3.2).

Abb. 7.4:

Abfluss-Tagesmittel der Dünern bei Balsthal und bei Olten im Vergleich zum langjährigen Q_{347} und zur Restwassermenge gemäss Art. 31 GSchG.

Daten: Amt für Umwelt des Kantons Solothurn (Balsthal); Bundesamt für Wasser und Geologie (Olten)

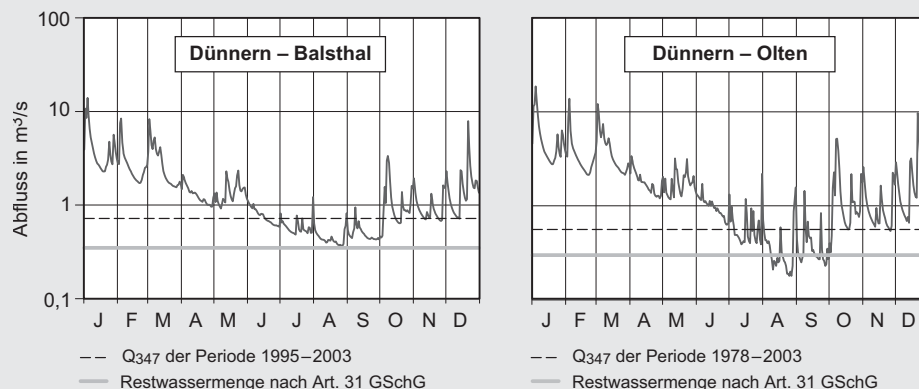




Abb. 7.5:
Die ausserordentlich geringe
Wasserführung der Dünnern
in Rickenbach bei Olten am
12. August 2003. Das kleine
Bild zeigt die gleiche Stelle
im Jahr zuvor (2. Juli 2002).
(Bilder: Stefan Gerster)



B) Konflikte zwischen den Betroffenen

Wie bereits im Jahr 1976 ging die Bewilligung von Wasserentnahmen nicht ganz ohne Konflikte zwischen den kantonalen Behörden und den Bauern ab. Im Kanton Graubünden führten unbewilligte Wasserentnahmen zu Anzeigen. Im Kanton Solothurn wollten 200–300 Landwirte Wasser entnehmen; einige taten dies illegal und wurden verzeigt, worauf die Medien teils reisserische Berichte veröffentlichten. Im Kanton Bern dagegen kam es nur vereinzelt zu Schwierigkeiten (vgl. Fallbeispiel 2 im Kasten). Im Kanton Waadt konnten die Konflikte mit rund 80 Direktkontakten mit Landwirten entschärft werden.

Im Kanton Aargau hatten die Landwirte in der Regel Verständnis bei der Sistierung von früher erteilten Bewilligungen, da sie begründet waren. Unverständnis zeigten einzelne Bauern, wenn kurzfristig keine Bewilligung an kleinen Fliessgewässern erteilt werden konnten. Umgekehrt zeigten Fischereiberechtigte teilweise Unmut, wenn – wegen fehlender gesetzlicher Bestimmungen zur Einschränkung von Wasserentnahmen bei stark erhöhten Wassertemperaturen – aus ihrer Sicht die Entnahmen zu spät gestoppt wurden.

Im Kanton Thurgau arbeiteten Vertreter des Fischereiverbands (v.a. Pächter), der Jagd- und Fischereiverwaltung und der Gemeinden eng zusammen. Für Bewässerungen wurden lokale Alternativen erarbeitet, beispielsweise wurde statt Oberflächenwasser Grundwasser gepumpt. Da die hydrologischen Rahmenbedingungen

und der Wasserbedarf der Landwirtschaft sehr stark von den örtlichen Bedingungen abhängig sind, blieb der Austausch von gewässerbezogenen Informationen zwischen dem Oberlieger (Kanton St. Gallen) resp. Unterlieger (Kanton Zürich) gering. Dies erforderte zusätzliche Koordination. Eine ähnliche Situation gab es auch an den Grenzgewässern zwischen den Kantonen Bern und Solothurn (vgl. Fallbeispiel 3 im Kasten).

Im Kanton Luzern konnten manche Landwirte nur schwer akzeptieren, dass keine Wasserentnahmen für die Bewässerung von Wiesland, Mais, Neuansaat, usw. zugelassen wurden. Die meisten Anfrager zeigten aber für die Anliegen des Gewässerschutzes Verständnis, und die Umweltschutzpolizei kontrollierte die Gewässer auf illegale Entnahmen.

Im Kanton Zürich gab es Verzeigungen wegen Nichteinhaltens von Konzessionsbestimmungen, in der Regel weil Wasser über das bewilligte Mass oder ausserhalb der Bezugszeiten entnommen wurde. Zudem häuften sich Reklamationen aus der Bevölkerung wegen Pumpenlärms, vor allem während der Nacht.

C) Schadenwirkung

Trotz Bewässerungen erlitt die Landwirtschaft Ertragseinbussen in unterschiedlichem Ausmass, welche die Kantone jedoch nicht beziffern können. Gemäss ersten Schätzungen des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) belaufen sich diese auf rund 350 Mio. Franken (vgl. Kap. 1.3). Verschiedentlich wird erwähnt, dass die Bauern vermehrt Terminverträge mit den Lieferanten von Setzlingen und den Abnehmern ihrer Produkte eingehen und schnell unter Druck geraten, wenn der nötige Regen im kritischen Zeitpunkt ausbleibt.

Wiederholt gewarnt wurde vor der beobachteten starken Erwärmung der Fliessgewässer und der damit verbundenen akuten Gefährdung der Fischbestände (vgl. Kap. 4.1, 4.2, 4.3 und 8.1). Gemeldet wurden auch Fischsterben durch Trockenfallen von Bächen (vgl. Kap. 8.2), wobei davon ausgegangen werden kann, dass in Anwendung des GSchG die Ursache für das Austrocknen im Witterungsgeschehen zu suchen sind und nicht im Leerpumpen durch die Landwirtschaft. Der Kanton Waadt verweist auf die gravierenden Konsequenzen eines totalen Entnahmeverbots für traditionell bewässerte Kulturen. Er schätzt die Folgen des Sommers 2003 für die Wasserfauna zwar als schwerwiegend ein, aber im Allgemeinen weniger gravierend als im Trockenjahr 1976.

Anders als 1976 wurde der Zivilschutz im Sommer 2003 nur punktuell aufgeboten, um die Bauern mit Personal und Material zu unterstützen. 1976 wurden kleinere Bäche durch die Wasserentnahmen völlig trockengelegt⁷ und die Erfahrungen wurden damals in einem Bericht zusammengestellt⁸. Im Sommer 2003 half die Armee in Einzelfällen bei der Versorgung von Vieh mit Trinkwasser (vgl. Kap. 10.2.3).

D) Folgerungen der Kantone für künftige Trockenheiten

- AG:** Die verwaltungsinternen Abläufe während der Trockenheit haben sich bewährt. Ein offener Punkt ist, in wie weit neben der aktuellen Abflussmenge auch die Wassertemperatur als Interventionsparameter dienen könnte. In vielen Fällen war die gesetzlich vorgegebene Aufsicht der Gemeinden unbefriedigend. Dieses Manko muss durch verstärkte Information entschärft werden.
- BE:** Die Kommunikation mit den Beteiligten soll verbessert und vereinfacht werden (Erarbeiten einer neuen Broschüre und Karte, Internetauftritt mit aktuellen Daten, Abfragemöglichkeit von Pegel und Abflussmengen bei Trockenheit, vgl. Fallbeispiel 2 im Kasten). Ausser in Einzelfällen soll auch in Zukunft auf das Bewässern mit Wasser aus den Trinkwasserversorgungen verzichtet werden. Auch der vermehrte Einsatz von Grundwasser für Bewässerungszwecke ist kein Thema⁵.
- BL:** Der Vollzug und die Kontrolle von Wasserentnahmen sollte verbessert werden. Wahrscheinlich wurde vereinzelt ohne Bewilligung Wasser für Bewässerungszwecke entnommen. In Notzeiten fehlen die Kapazitäten für entsprechende Kontrollen.
- GE:** Probleme bei der zeitgerechten Entscheidungsfindung. Nötig ist eine bessere Vorbereitung auf das Phänomen Trockenheit.
- GR:** Keine wesentlichen Probleme dank frühzeitiger Information.
- JU:** Der Sommer 2003 hat deutlich gezeigt, dass die seit längerem vorgesehenen kantonalen Gesetzesanpassungen in den Bereichen Planung, Wasserentnahmen, Trinkwasserversorgungen und integriertes Bewirtschaften der Oberflächengewässer nötig sind.
- LU:** Die Zulassung von Wasserentnahmen auf Stufe Kanton mit den doch komplexen Restwasserbestimmungen hat sich als richtig erwiesen. Die über Internet abrufbaren aktuellen Abflussmengen des BWG waren für den Vollzug sehr wertvoll. Das Amt für Umweltschutz hat vor, weiterhin eine restriktive Bewilligungspraxis anzuwenden. Landwirte werden konsequent auf die Nutzung von Grundwasser oder Seewasser verwiesen. Weitere Einrichtungen an den Bächen (Interventionspegel) sind nach den gemachten Erfahrungen nicht notwendig, weil Entnahmen aus kleineren Fliessgewässern bei Trockenheit ohnehin nicht bewilligt werden.
- NE:** Der Umfang der landwirtschaftlichen Bewässerung ist gering. Handlungsbedarf besteht bei der Versorgung mit Trinkwasser.
- NW:** Vor der Verfügung von Entnahmeverboten muss frühzeitig über die Problematik für die kleinen Gewässer informiert werden.

- OW:** Kantonsintern ist eine klarere Regelung der Bewilligungspraxis für Wasserentnahmen für landwirtschaftliche Zwecke nötig.
- SH:** Die kantonalen Behörden versuchen die Landwirte dazu zu bewegen, das Wasser aus dem Rhein und nicht mehr aus der Biber zu entnehmen. Gedacht wird dabei an den Bau und Betrieb einer Gemeinschaftsbewässerungsanlage, wie sie bereits in Rüdlingen und Diessenhofen bestehen.
- TG:** Weiterbetrieb der kantonalen hydrologischen Messstationen mit dem Ziel, zeitverzugslos auf die Daten zugreifen und sie verbreiten zu können. Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen unter Verwendung von modernen Instrumenten wie beispielsweise Grundwassermodellen. Einsatz von verbesserten Bewässerungssystemen in der Landwirtschaft (Niederdruck-Regner, Tropfbewässerung).
- VD:** Der Kanton ist gut auf Trockenzeiten vorbereitet. Verbessert werden kann vor allem das Erteilen der Ausnahmegewilligungen, wobei eine Mindestwassermenge gesichert bleiben muss (50 l/s nicht streng als Minimum anwenden, sondern in Kleingewässern nach Absprache einen geringeren Abfluss sicherstellen).
- VS:** Das Inventar der Wasserfassungen für Bewässerungszwecke und deren Auswirkungen auf die Umwelt soll verfeinert werden.
- ZH:** Grundsätzlich ist kein anderes Vorgehen in künftigen Trockenheiten nötig. Auf Wunsch der Gemeinden wird jedoch die Hilfestellung des Kantons erweitert (z.B. Musterbewilligung und/oder Hinweise im Internet).

7.3 Wasserentnahmen und Wassereinleitungen für industrielle Zwecke

7.3.1 Wasserentnahmen

Im Kanton Aargau wurden ab Mitte Juli die Betreiber von Kleinkraftwerken, bei denen die Abgabe von Dotierwasser geregelt ist, über die kritischen Abflussverhältnisse informiert. Es zeigte sich, dass die meisten Kleinkraftwerke bereits stillgelegt waren, da die Abflussmenge für den Betrieb unter der gegebenen Dotierwassermenge nicht mehr ausreichte. Auch im Kanton Luzern wurden verschiedene Kleinkraftwerke – beispielsweise an der Kleinen Emme – abgestellt. Im Kanton Bern übten Kleinkraftwerkbetreiber grossen Druck auf zum Teil nicht festgelegte Restwassermengen aus. Auch im Kanton Jura gab es Probleme bei der Einhaltung der vorgeschriebenen Restwassermengen⁹.

Im Kanton Luzern mussten dagegen bestehende Entnahmebewilligungen für weitere industrielle Zwecke wie Holznasslager, Kieswaschanlagen und Ähnliches nicht eingestellt werden. Die Bewilligungsinhaber wurden jedoch zu möglichst schonendem Umgang mit dem Wasser angehalten. Der Kanton Luzern hat zudem festgestellt, dass sich der Bedarf an Kühlwasser zur Klimatisierung von Gebäuden erhöht⁹.

7.3.2 Wassereinleitungen (Kühlwasser)

Das Einleiten von Kühlwasser in Fliessgewässer untersteht der Bewilligungspflicht. Die einzuhaltenden Temperaturgrenzwerte sind vom Bund festgelegt: Gemäss Anhang 3.3 der Eidg. Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 darf die Temperatur von Kühlwasser, das in ein Fliessgewässer oder einen Flusstau eingeleitet wird, nicht wärmer als 30 °C sein. Die Aufwärmung des Gewässers darf gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion höchstens 1,5 °C, betragen; dabei darf die Wassertemperatur im Gewässer 25 °C nicht übersteigen.

Unter den Witterungsbedingungen, wie sie im Sommer 2003 auftraten, kann das Wasser in einzelnen Flüssen und Bächen die Höchsttemperatur von 25 °C rein wetterbedingt erreichen. Die Bewilligungen für Kühlwassereinleitungen, beispielsweise aus Kernkraftwerken oder aus der Industrie, müssen deshalb bei derart hohen Wassertemperaturen durch die zuständigen kantonalen Gewässerschutzbehörden überprüft werden. Unter Umständen muss die Einleitung verringert oder gestoppt werden. Ausnahmegewilligungen bezüglich Ziff. 21 in Anhang 3.3 der Gewässerschutzverordnung können nur gestützt auf dem Verfassungsgrundsatz der Verhältnismässigkeit nach einer sorgfältigen Abwägung aller in Frage kommenden Interessen gewährt werden. Dabei müssen die Auswirkungen der Kühlwassereinleitung auf den Vorfluter sowie die Folgen einer Stilllegung der Flusswasserkühlung von der zuständigen Behörde berücksichtigt werden.

Dazu zwei Beispiele aus dem Sommer 2003: Die beiden flusswassergekühlten Kernkraftwerke Beznau und Mühleberg mussten zeitweise die Leistung reduzieren, um die Konzessionsauflagen bezüglich der Temperatur des in die Aare zurückgeführten Kühlwassers einhalten zu können (vgl. Kap. 11.3.2). Bei einem Industriebetrieb in Basel hingegen erteilte das zuständige Gewässerschutzamt eine Ausnahmegewilligung für die Einleitung von Kühlwasser, nachdem das Wasser des Rheins 25 °C erreicht hatte. Die eingeleiteten Kühlwassermengen waren im Vergleich zur Wasserführung des Rheins sehr gering und hätten lediglich zu einer Temperaturerhöhung geführt, die deutlich unterhalb des täglichen Schwankungsbereichs lag.

7.3.3 Abwassereinleitungen

Die Hitze und Trockenheit des Sommers 2003 verursachte im Allgemeinen kein besonderes Problem bei der Wassereinleitung von Abwasserreinigungsanlagen (vgl. Kap. 4.4.2).

-
- ¹ MATHEZ, C., 2004: *Bericht zum Trockenjahr 2003*. Bericht zuhanden des Amtes für Umwelt des Kantons Solothurn (unveröffentlichter Entwurf).
 - ² AMT FÜR MILITÄR UND BEVÖLKERUNGSSCHUTZ DES KANTONS BASEL-LANDSCHAFT, 2003: *«Trockenheit 2003»*. Informationsschreiben Nr. 1 vom 30. Juni 2003. Liestal: Kantonaler Krisenstab.
 - ³ AMT FÜR NATUR UND UMWELT DES KANTONS GRAUBÜNDEN, 2004: *Wasserbezug aus Gewässern*. Merkblatt für Gemeinden vom 21. Juli 2004. Chur: Amt für Natur und Umwelt.
 - ⁴ WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (WEA), 2004: *Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern – Sicherung der Mindestrestwassermengen*. Broschüre mit Karte. WEA: Ausgabe 2004.
 - ⁵ Mitteilung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern (WEA) vom 2. April 2004.
 - ⁶ Mitteilung des Amtes für Umwelt des Kantons Solothurn (AfU) vom 22. März 2004.
 - ⁷ SCHORER, M., 1992: *Extreme Trockensommer in der Schweiz und ihre Folgen für Natur und Wirtschaft*. Geographica Bernensia, Band G 40. Bern: Geographisches Institut der Universität Bern.
 - ⁸ BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (BWW), o.J.: *Trockenheit 1976, Informations- und Erfahrungsaustausch*. In: *Bericht über die Auswirkungen der Trockenheit des Jahres 1976 auf die Fischerei*. Veröffentlichungen des Bundesamtes für Umweltschutz und der Eidg. Fischereiinspektion, Nr. 38.
 - ⁹ Ergebnisse aus der zweiten Umfrage bei den Kantonen durch das BUWAL im März 2004.

8 Fische und Fischerei

Unter der Hitze und der Trockenheit des Sommers 2003 litten viele Fischgewässer. Zahlreiche Medienberichte^{1–6} meldeten tote Fische als Folge des Austrocknens von Bächen; seltener wurde Hitzestress als Todesursache genannt. In zahlreichen Kantonen war das kantonale und freiwillige Fischereipersonal im Dauereinsatz, um in den übrig gebliebenen Rinnsalen die Fische vor dem Trockenfallen zu retten. Der heisstrockene Sommer 2003 beeinträchtigte primär die Fischfauna in den Mittelland-Gewässern und im Jura, während die durch die Schneeschmelze beeinflussten voralpinen und alpinen Gewässer weniger betroffen waren. Herausragendes Ereignis war das Massensterben von Äschen im Rhein unterhalb des Bodensee-Untersees.

8.1 Einleitung

Fische sind von anhaltender heisstrockener Witterung doppelt betroffen: Zum einen sinken die Wasserstände in den Bächen – im Extremfall bis zum Trockenfallen. Zum anderen können steigende Wassertemperaturen, die auch eine geringere Sauerstofflöslichkeit bewirken, für bestimmte Fischarten lebensbedrohlich werden. Dies gilt insbesondere für Salmoniden wie Forellen, Felchen und Äschen, bei denen – falls sie nicht in kühlere Gewässer oder Gewässerbereiche ausweichen können – bei Wassertemperaturen ab dem Bereich von 18–20 °C Stresssymptome auftreten und Temperaturen über 25 °C bereits tödlich sein können. Dazu kommt, dass hohe Wassertemperaturen in Gewässern mit Erregern der proliferativen Nierenkrankheit PKD bei den Bachforellen zu einer erhöhten Sterblichkeit führen. Der Krankheitsverlauf von PKD ist stark von der Wassertemperatur abhängig. Wird das Wasser während mehreren Wochen über 15 °C warm, bricht die Krankheit bei den infizierten Fischen akut aus und führt in der Regel zu hohen Sterblichkeiten. Andere Fischarten wie Barsche, Karpfen oder Hechte sind hingegen gegen hohe Wassertemperaturen, wie sie im Sommer 2003 auftraten, wenig empfindlich oder profitieren gar davon.

Beide Bedingungen – extreme Niedrigwasser insbesondere in Bächen und teils massiv erhöhte Wassertemperaturen – waren im Sommer 2003 erfüllt (vgl. Kap. 3.4 und 4.2). In Kap. 4.3 ist daher für die grösseren Gewässer eine temperaturbezogene Risikoklassierung für Kaltwasserfische durchgeführt worden. Gefahren durch eine temperatur- sowie trockenheits- bzw. abflussbedingte Erhöhung der Konzentration von fischgiftigen chemischen Inhaltsstoffen scheinen im Sommer 2003 jedoch nicht gedroht zu haben (vgl. Kap. 4.4).

Um eine Übersicht über das Geschehen im Sommer 2003 zu gewinnen und das Ausmass der Schäden zu erfassen, stellte das BUWAL im Februar 2004 den kantonalen Fischereifachstellen einen Fragebogen zu, der nach den Auswirkungen auf die Fischfauna und die Fischerei sowie nach möglichst konkretem Zahlenmaterial fragte. Erhoben wurde die Anzahl und die Länge der trockengefallenen Fischgewässer, der Aufwand für Notabfischungen sowie die Art und Anzahl der gefangenen Fische.

Ebenso wurden Angaben über die Art und Anzahl der tot vorgefundenen Fische erbeten und gefragt, ob infolge der aussergewöhnlichen Verhältnisse spezielle fischereiliche Massnahmen wie Verbote oder Einschränkungen ergriffen wurden.

8.2 Quantitative Ergebnisse der Umfrage

Der Rücklauf der Fragebogen war erfreulich; mit einer Ausnahme machten alle Kantone mehr oder weniger detaillierte quantitative Angaben zu den Ereignissen in ihren Gewässern. Der Zusammenschluss dieser kantonalen Daten ergibt eine eindrucksvolle Gesamtbilanz zu den Auswirkungen der Trockenheit auf die Gewässer und die Fischfauna (vgl. Tab. 8.1 und 8.2).

Die Trockenheit setzte vor allem den Fliessgewässern zu: Nicht weniger als 352 Fischgewässer mit einer Länge von insgesamt über 245 Kilometern trockneten streckenweise oder ganz aus. Alle hier aufgeführten Zahlen stellen Mindestwerte dar, da nicht alle Ereignisse erfasst oder gemeldet werden konnten. In wenigstens 265 Gewässern wurden Notabfischungen durchgeführt, um die Fische vor dem Trockenfallen oder – wie im Fall des Hochrheins unterhalb des Bodensees-Untersees und in Restwassertümpeln – vor dem Hitzetod zu retten. Dabei wurden mindestens 120'000 Fische in Gewässerabschnitte mit ausreichender Wasserführung umgesetzt.

Tab. 8.1: Zusammenfassende Übersicht zur Trockenheitsumfrage bei den kantonalen Fischereifachstellen.

Anzahl Fischgewässer mit trockenen Abschnitten*	Länge der trocken-gefallenen Abschnitte [km]**	Gewässer mit Abfischungen***	Personal-aufwand für Abfischungen [Personentage]****	Anzahl versetzte Fische bei Notabfischungen°	Anzahl versetzte Arten	Anzahl Gewässer mit festgestellten Fischsterben°°	Festgestellte tote Fische°°°
352	245	265	425	119'300	22	155	84'400

* Keine Angaben von AI, ZH. In den Kantonen TI und GL nur partiell erfasst.

** Keine Angaben von AI, AR, FR, VD, ZH. In den Kantonen TG, TI und GL nur partiell erfasst.

*** Keine Angaben von VD, ZH.

**** Keine Angaben von AG, FR, VD, ZH. Bei einigen Kantonen nur Aufwand des kant. Personals, bei anderen auch private Helfer eingeschlossen.

° Keine Angaben von FR, ZH. Zahlen teilweise von den Kantonen geschätzt.

°° Keine Angaben von AI, VD, ZH. Kanton TI schätzt, dass in höheren Lagen viele Sterben unentdeckt blieben.

°°° Keine Angaben von AG, BL, FR, VD, ZH.

Die umgesetzten Tiere umfassten 19 Fischarten, 1 Neunaugenart und 2 Krebsarten. Einer weiteren Quelle war zu entnehmen, dass auch Muscheln vor dem Austrocknen gerettet wurden⁷. Der personelle Aufwand für die Abfischungen belief sich auf mindestens 425 Personentage, wobei zu berücksichtigen ist, dass nur 22 Kantone diesen Aufwand beziffern konnten und dass der Aufwand der vielen freiwilligen Helfer (Pächter und andere Fischereiberechtigte) in dieser Zahl nur teilweise enthalten ist.

Karpfenartige	Alet	Salmoniden	Äsche
	Blicke		Bachforelle
	Elritze		Bachsaibling
	Gründling		Regenbogenforelle
	Hasel		Seeforelle
	Laube		
	Rotaugen	Hechte	Hecht
	Rotfeder	Barsche	Egli
	Schleie	Groppen	Groppe
	Schneider	Neunaugen	Bachneunauge
Schmerlen	Schmerle	Krebse	Edelkrebs Dohlenkrebs

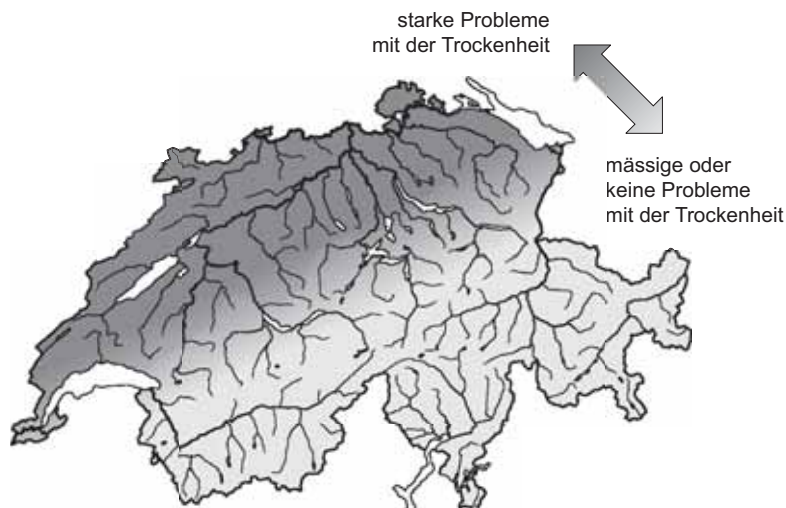
Tab. 8.2:
Spektrum der anlässlich
von Notabfischungen
umgesetzten Arten.

An vielen Gewässern kamen die Rettungsaktionen spät oder teilweise auch zu spät, was unter anderem an der hohen Arbeitsbelastung des Fischereipersonals lag, dessen Abfischeinsätze mit dem zunehmenden Abflussrückgang und Austrocknen der Gewässer kaum Schritt halten konnten. Fischsterben wurden von 155 Gewässern gemeldet, wobei diese Zahl deutlich zu tief liegen dürfte. Allein der Kanton Tessin schätzt, dass die unentdeckte Anzahl trockenheitsbedingter Fischsterben um ein Mehrfaches höher war als die gemeldeten, weil zahlreiche abgelegene Fließgewässer nicht erfasst werden konnten. Zudem ist festzuhalten, dass trockengefallene Fische schnell von Prädatoren wie Reiher und Fuchs aus den Flussbetten entfernt werden und so der Erfassung entgehen. Entsprechend dürfte die Zahl von 84'000 festgestellten toten Fischen deutlich unter der tatsächlichen Sterblichkeit liegen. Das spektakulärste Fischsterben war das hitzebedingte Äschensterben im Hochrhein zwischen Bodensee-Untersee und Eglisau, bei dem nach Schätzung der Fischereiaufsicht Thurgau alleine 52'000 Äschen starben (vgl. Kasten S. 141).

8.3 Regionale Schadensverteilung

In der Ausprägung der Probleme zeigten sich regionale Unterschiede. Aus der alpinen und voralpinen Region wurden deutlich weniger und nur lokale Wasserführungsprobleme gemeldet. Anders war die Situation im Mittelland und im Jura: Hier traten verbreitet Probleme auf (Abb. 8.1). 70 % der von Austrocknung betroffenen und erfassten Gewässer lagen in den Kantonen Genf, Waadt, Neuenburg, Freiburg, Bern (Mittelland und Berner Jura), Jura, Solothurn, Basel-Landschaft, Aargau und Thurgau. Am stärksten betroffen scheinen die Kantone Waadt und Basel-Landschaft gewesen zu sein, wo diverse Bäche auf ihrer ganzen Länge trocken fielen. Berücksichtigt man zudem den ebenfalls stark betroffenen Kanton Zürich, aus dem quantitative Angaben fehlen, so wird deutlich, dass die Trockenheits- und Hitzeprobleme besonders im nicht-alpinen Gebiet auftraten. Dies wird auch daraus ersichtlich, dass die in Notabfischungen umgesetzten Fische zu rund 80 % aus diesem Raum stammen. Unter Einbezug der unbekannten Anzahl umgesetzter Fische in den Kantonen Zürich und Freiburg dürfte dieser Prozentsatz noch höher liegen. Dieser Befund deckt sich mit dem Umstand, dass im Alpenraum generell höhere Abflüsse zu verzeichnen waren (vgl. Kap. 3.4.1) und die Wassertemperaturen tiefer lagen (vgl. Kap. 4.3.2, Abb. 4.5, S. 80).

Abb. 8.1:
Schadensverteilung im
Bereich Fischerei: Betroffen
waren vor allem das Mittel-
land und der Jura.



8.4 Einschränkungen und Schutzmassnahmen

Von amtlicher Seite wurde die Fischerei nur in fünf Kantonen eingeschränkt: Genf, Neuenburg und Jura erliessen befristete Verbote, welche die Ausübung der Fischerei sowie – ebenfalls zum Schutz der Fische – das Baden und Befahren von gewissen Fliessgewässern untersagten (vgl. Kap. 9.2). Die Kantone Schaffhausen und Thurgau verordneten nach dem katastrophalen Äschensterben ein sofortiges Fangverbot für Rhein-Äschen, das später bis Ende April 2005 verlängert wurde.

Die starke Erwärmung des Wassers im Untersee und in der unterliegenden Rheinstrecke (vgl. Kap. 4.3.2, Abb. 4.5, S. 80) hatte dramatische Folgen für die Aale und die Äschen⁸. Am 13. August mass das Amt für Umweltschutz des Kantons Thurgau in der Mitte des Untersees an der Wasseroberfläche 26,4 °C und in 10 Metern Tiefe immer noch 25,5 °C. Bei Stein am Rhein wurden am 12. August in der Flussmitte in vier Metern Tiefe 25,9 °C gemessen; in den Uferbereichen auf der Strecke nach Diessenhofen stiegen die Werte über 27 °C. Diese ausserordentlichen Wassertemperaturen führten zu einem Massensterben der Äschen. In der ersten Hälfte August sammelten Freiwillige zwischen Stein am Rhein und dem Rheinflall riesige Mengen toter Fische ein. Die Fischerzunft Diessenhofen organisierte mehrere Notabfischungen und siedelte dabei 1154 Äschen, 24 Bachforellen und 29 Regenbogenforellen in kühleres Tiefenwasser im Untersee um. Um den Stress der Fische zu mindern, rief die zuständige Fischereiaufsicht die Bevölkerung auf, das Befahren der Uferzonen freiwillig zu unterlassen – nachdem Abklärungen bei der Seepolizei Thurgau ergeben hatten, dass ein amtliches Teil-Fahrverbot zu kompliziert und nur ein totales Fahrverbot möglich wäre. In ihrem Bericht zum Massensterben zieht die Fischereiaufsicht des Kantons Thurgau⁹ für die Rheinstrecke vom Ausfluss aus dem Untersee bis zum Rheinflall die folgende Schadensbilanz (gerundete Zahlen):



Massensterben der Äschen im Rhein

Abb. 8.2:
Von Fischern eingesammelte Äschen sowie ein Aal und eine Trüsche: Rund 52'000 Äschen und einige hundert andere Fische fielen im Hochrhein zwischen Untersee und Eglisau den hohen Wassertemperaturen zum Opfer. Das Rekord-Fischsterben im August 2003 ist nur mit einem ähnlichen Vorfall im Jahr 1540 vergleichbar.
(Bild: S. & M. Baumann, Schaffhausen)

	Anzahl Fische	Gewicht (Tonnen)
Abgang im Massensterben 2003:		
eingesammelte tote Äschen	40'100	16,1
geschätzte Dunkelziffer 30 % (nicht gefundene Fische)	12'000	4,8
Total	52'100	20,9
<i>Zum Vergleich:</i>		
Äschenfang, Durchschnitt der Jahre 1993–2002	17'400	10,9
Äschenfang im Rekordjahr 2002	45'000	17,7
Äschenfang 2003 (nur Laichfischfänge, ohne Mai-Fänge)	6'300	2,7

Der Bericht hält fest, dass somit im Jahr 2003 im betroffenen Rheinabschnitt rund 23,6 Tonnen Äschen abgingen (Fang und Massensterben). Das ist rund ein Drittel mehr, als im bisherigen Rekordjahr 2002 abgefishet wurde, und mehr als das Doppelte des zehnjährigen Mittels. Weiter unten im Rhein, auf Zürcher Kantonsgebiet, gingen hingegen wegen kühlerem Wasser aus Grundwasseraufstössen nicht alle Äschen ein⁷.

Aufgrund der Resultate von Kontrollfängen im November 2003 sowie des Laichfischfangs 2004 schätzen die Fischereifachstellen von Schaffhausen und Thurgau den überlebenden Bestand an fangfähigen Äschen auf nur rund 3 % der durchschnittlichen Populationsgrösse. Das nach dem Sterben erlassene Äschen-Fangverbot wurde deshalb im April 2004 um ein Jahr bis Ende April 2005 verlängert⁹.

Dieses Massensterben war in seinen Ausmassen derart ungewöhnlich, dass der *Conseil Supérieur de la Pêche* im französischen Umweltministerium ausdrücklich darauf hinwies, dass in Frankreich nichts auch nur annähernd Vergleichbares beobachtet wurde – trotz hitzebedingten Problemen bei den Äschen in der Franche-Comté und der Region Rhône-Alpes¹⁰.

In zahlreichen kleinen Gewässern war der Fischfang jedoch bereits durch die geringe Wasserführung an sich beeinträchtigt: Bei sehr klarem und niedrigem Wasser dürfte es an zahlreichen Gewässern für den Durchschnittsfischer schwieriger gewesen sein, Fische zu fangen. Wenige Könner dürften jedoch an gewissen Gewässern trotzdem gute Beute gemacht haben.

8.5 Die Folgen für die Fischbestände

Der Lebensraumverlust und die Hitze des Sommers 2003 dürften sich auf jeden Fall negativ auf die Bestände in den betroffenen Gewässern und damit auch auf den Fangertrag ausgewirkt haben. Es ist deshalb zu erwarten, dass im Mittelland und Jura die Fangerträge 2003 in den mittleren und kleinen Fliessgewässern deutlich unter den Vorjahresfängen bleiben werden (die Fangstatistiken sind zur Zeit noch nicht ausgewertet).

Unklar ist, wie weit die Umsiedelungsaktionen erfolgreich waren. Die abgefishchten Fische wurden ja nicht in fischleere Gewässer umgesetzt, sondern in Gewässerabschnitte, die bereits Fische enthielten. Es ist deshalb durchaus vorstellbar, dass nach Umsetzaktionen ein starker Konkurrenzdruck zwischen den bereits vorhandenen und den umgesetzten Fischen entstand, der unter den verstärkten Stressbedingungen (wenig Wasser und erhöhte Wassertemperatur) zusätzliche Abgänge unter den Fischpopulationen verursachte. Schlüssige Erkenntnisse zu dieser offenen Frage gibt es gegenwärtig nicht; sie wurde auch nicht mit Markierexperimenten untersucht.

8.6 Folgerungen

Abschliessend lässt sich für die Fliessgewässer aufgrund der Angaben der kantonalen Fischereifachstellen festhalten, dass im Sommer 2003 das Austrocknen von ganzen Gewässern das primäre Problem darstellte, während hohe, vor allem für kaltwasserliebende Arten problematische Wassertemperaturen mit Ausnahme des Hochrheins das kleinere akute Problem bildeten. Die hohen Wassertemperaturen könnten jedoch in Gewässern mit PKD-Erregern zu einer erhöhten Mortalität geführt haben.

In verschiedenen Seen scheint dagegen die Hitze und die lange Sonnenscheindauer die Produktivität der Gewässer angekurbelt zu haben: Im Bodensee beispielsweise stieg der Barschertrag auf das dreifache des Vorjahrs, und Warmwasserfische wie der Karpfen vermehrten sich aussergewöhnlich gut. Eine Beobachtung, die von anderen Seen ebenfalls vorliegt.

-
- ¹ NEUE ZÜRCHER ZEITUNG: *Massenfischsterben im Rhein*. Ausgabe vom 13. August 2003.
 - ² NEUE ZÜRCHER ZEITUNG: *Fische unter Hitzestress*. Ausgabe vom 13. August 2003.
 - ³ COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN (CIPEL), 2004: *Trockenheit im Sommer: Auswirkungen auf unsere Fliessgewässer*. Mitteilungsblatt 'Rund um den Genfersee', Nr. 27, Januar 2004. Lausanne: CIPEL.
 - ⁴ DER BUND: *Fische zappeln auf dem Trockenen*. Ausgabe vom 21. August 2003.
 - ⁵ CONSEIL SUPÉRIEUR DE LA PÊCHE (CSP), 2004: *Canicule: Mortalité de poissons*. In: La Lettre de Sea-River, Nr. 137, semaine du 22 au 28 mars 2004. Paris: CSP. http://sea.river.com/137_7.php (Stand März 2004).
 - ⁶ ALTERMATT, R.U. & VOSER, P., 2003: *Monitoring der Fische, Krebse und Muscheln im Kanton Aargau*. Umwelt Aargau Nr. 22, November 2003. Aarau: Kanton Aargau.
 - ⁷ JAGD- & FISCHEREIVERWALTUNG DES KANTONS ZÜRICH, 2004: *Frühjahrsinformationen über die Fischerei im Kanton Zürich*. Frühjahrskreisschreiben Fischerei, www.fjv.zh.ch (Stand Mai 2004).
 - ⁸ FISCHEREIAUFSICHT III, KANTON THURGAU, 2003: *Äschensterben vom August 2003 im Rhein zwischen Stiegen/Eschenz bis und mit Rheinfallwasser*. Bericht von Kurt Egloff, Ermatingen, vom 1. September 2003.
 - ⁹ Amtsblatt des Kantons Thurgau 16/2004.
 - ¹⁰ CONSEIL SUPERIEUR DE LA PECHE, 2004: *Conséquence sur les milieux aquatiques de l'épisode de sécheresse-canicule de l'été 2003*. Paris: CSP, Februar 2004. Publiziert im März 2004 auf www.csp.environnement.gouv.fr, Dossier Sécheresse 2003.

9 Badegewässer

Der heisstrockene Sommer bescherte den Badeanstalten an Seen und Flüssen Hochbetrieb. Es stellt sich die Frage, ob die tiefen Wasserstände bzw. Abflussmengen in Kombination mit den hohen Wassertemperaturen Auswirkungen auf die Hygiene der Badegewässer hatte. Eine Umfrage bei den Kantonen hat jedoch keine Hinweise über besondere witterungsbedingte Probleme ergeben.

9.1 Einleitung

Für die Überprüfung der Badetauglichkeit des Wassers in den Oberflächengewässern kommen in der Regel die Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern¹ zur Anwendung. Die Beurteilung in Qualitätsklassen richtet sich nach dem Vorhandensein von Salmonellen und nach der Höhe der Belastung mit den Fäkalkeimen *Escherichia coli*.

Vor dem Hintergrund der ausserordentlichen Verhältnisse im Sommer 2003 hat das BUWAL im Frühjahr 2004 eine Umfrage bei den kantonalen Laboratorien durchgeführt mit der Frage, ob sie Kenntnisse über allfällig aufgetretene besondere Situationen in den Gewässern ihres Kantons hätten, insbesondere was die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern betrifft. Gefragt wurde zudem nach Erfahrungen bei einer allenfalls erfolgten Information der Badegäste und nach Hinweisen über das Auftreten biologischer Phänomene wie der Massenentwicklung von Entenflöhen (Zerkarien) in Seen.

Aus rund der Hälfte der Kantone sind Antworten eingegangen. Für einige weitere Kantone wurden die Informationen auf den Websites der zuständigen Fachstellen abgerufen.

9.2 Ergebnisse der Umfrage

Aus den gesammelten Informationen lassen sich zusammenfassend folgende Erkenntnisse ableiten:

Hygiene der See- und Flussbäder

Trotz der hohen Wassertemperaturen und der geringen Wasserführung in den Fliessgewässern wurden von den zuständigen kantonalen Fachstellen keine ausserordentlichen Situationen gemeldet. Im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Der mehrheitlich gute hygienische Zustand der Badegewässer blieb während des ganzen Sommers erhalten.

Die Vermutung, dass sich die hygienischen Verhältnisse in den Flüssen und Bächen, die als Vorfluter für Abwasserreinigungsanlagen dienen, wegen den ungünstigeren Verdünnungsverhältnissen und den hohen Wassertemperaturen verschlechtert haben könnten, bestätigte sich nicht. Lokal begrenzte Problemstellen mit ungenügender hygienischer Wasserqualität – beispielsweise in unmittelbarer Nähe von Einleitungen aus Kläranlagen – waren bereits früher bekannt und gingen nicht ursächlich auf die besonderen Witterungsverhältnisse im Sommer 2003 zurück.

Es liegen deshalb keine Informationen vor, wonach der Badebetrieb an Flüssen oder Seen wegen schlechter hygienischer Verhältnisse als Folge der Trockenheit und Hitze von den Behörden eingeschränkt worden wäre. Die befristeten Zugangsverbote zu bestimmten Fliessgewässern in den Kantonen Genf, Neuenburg und Jura (vgl. Kap. 8.4) wurden nicht aus hygienischen Gründen verfügt, sondern zum Schutz der Fische. Von einigen Fachstellen wurde darauf hingewiesen, dass die Hygiene der Badegewässer bei langanhaltender Trockenheit und Hitze eher besser ist als in Normaljahren. Zurückgeführt wird dies einerseits auf geringere Einträge an Fäkalkeimen durch die Regentlastungen von Kläranlagen. Andererseits wird vermutet, dass die erhöhte Sonneneinstrahlung eine gewisse keimabtötende Wirkung hat.

Biologische Phänomene

In den meisten Seen im Alpenraum tritt die sogenannte Bade-Dermatitis in mehr oder weniger starker Ausprägung auf. Ausgelöst wird sie von Zerkarien, in der Schweiz auch Entenflöhe genannt. Es handelt sich dabei um die Larven des Vogel-saugwurms (*Trichobilharzia ocellata*), der z.B. in Enten als Endwirt lebt. Über den Kot der Enten gelangen seine Eier in die Gewässer. Zwischen Wasserpflanzen finden die Egelarven ihren Zwischenwirt, die Schlammschnecke. Aus den Schlammschnecken gelangen die Zerkarien schliesslich erneut zu Abertausenden ins Wasser, wo sie sich bei Wassertemperaturen über 23 °C aktiv an der Wasseroberfläche bewegen und auf eine vorbeischwimmende Ente warten.

Da die Zerkarien nicht zwischen der Haut von Enten und Mensch unterscheiden können, werden Badegäste zum Fehlwirt, insbesondere wenn sie sich in seichtem, 30–50 cm tiefem Wasser aufhalten. Die Larve bohrt sich in die Haut, stirbt dann aber schnell ab und verursacht Rötungen und Juckreiz. Das lästige Jucken dauert gewöhnlich einige Tage und klingt danach spontan ab. Für die Betroffenen besteht in der Regel kein Gesundheitsrisiko.

In der Schweiz ist dieses Phänomen schon seit langer Zeit bekannt. Von einzelnen Seen – etwa vom Bodensee – wurde bereits früher das gehäufte Auftreten von Zerkarien gemeldet. Es handelt sich dabei um ein biologisches und nicht um ein Gewässerschutzproblem. Die Badegewässer werden in der Regel nicht systematisch nach Zerkarien untersucht, da sie nicht zur hygienischen Beurteilung der See- und Flussbäder gemäss Empfehlung des Bundes herangezogen werden. Je nach Lage informieren jedoch die zuständigen Gesundheitsbehörden die Bevölkerung über den biologischen Hintergrund und über mögliche Vorsichtsmassnahmen, damit die Badegäste den Kontakt mit Zerkarien möglichst vermeiden können.

Anhaltende Hitzeperioden wie im Sommer 2003 bieten ideale Bedingungen für die Vermehrung der Entenflöhe. Gemäss der Umfrage des BUWAL hat jedoch ein Teil der Kantone keine speziellen Vorkommnisse bezüglich Zerkarien festgestellt. Andere dagegen meldeten ein gehäuftes Auftreten, so zum Beispiel im Zugersee. Vorsorgliche Informationen der Behörden wiederum – beispielsweise im Kanton Waadt – führten im Sommer 2003 zu weniger Meldungen und Anfragen als in früheren Jahren. Insgesamt hat der Hitzesommer gemäss den vorliegenden Informationen kein besonders gehäuftes Auftreten von Zerkarien oder gar eine Zerkarienplage ausgelöst.

Die ungewöhnlich hohen Wassertemperaturen im Hitzesommer 2003 führten zu einem seltenen Phänomen: Im Neuenburgersee wurden Quallen entdeckt. Hunderte von Exemplaren der Spezies *Craspedacusta sowerbyi* bevölkerten die seichten Gewässer der Sichel-Bucht bei Estavayer-le-Lac². Diese Art ist die einzige Süsswasserqualle Mitteleuropas und bei uns eine äusserst seltene Erscheinung. Sie stammt vermutlich aus dem tropischen Südamerika. Sie wurde in botanischen Gärten mit der Riesenwasserrose *Victoria regia* eingeschleppt und um 1880 in Kew Gardens bei London erstmals entdeckt. Mittlerweile kommt sie weltweit in allen warmen und gemässigten Klimazonen vor. Die Qualle tritt nur wenige Tage bis Wochen im Hochsommer auf und auch das nicht in jedem Jahr. Die übrige Zeit verbringt die Art als winzige Polypen. Die Quallen werden nicht grösser als ein Zwanzig-Rappen-Stück und ihr Nesselgift ist für den Menschen kein Problem. Bei wiederholten Kontakten können allerdings rote Flecken auf der Haut erscheinen. Der Grund für das plötzliche Auftauchen der sonst kaum sichtbaren Quallen waren die hohen Wassertemperaturen. Normalerweise bilden sich die Quallen aus Seitenknospen des Polypen erst, wenn die Idealtemperatur von 25–27 °C im Gewässer erreicht wird³.

Süswasser-Quallen im Neuenburgersee



Profitierte vom warmen Wasser: *Craspedacusta sowerbyi*.
(Bild: Zoologisches Museum der Universität Zürich)

-
- ¹ BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL), 1991: Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 7. Bern: BUWAL.
- ² NEUE ZÜRCHER ZEITUNG, 28. Juni 2003.
- ³ Weitere Informationen zu den Quallen im Neuenburgersee finden sich unter: <http://psteinmann.net/craspedacusta.html> (Stand Mai 2004)

10 Trinkwasserversorgung

In den letzten Jahrzehnten sind in der Schweiz vielerorts die Kapazitäten der Trinkwasserversorgungen ausgebaut und benachbarte Wasserversorgungen mit Verbindungsleitungen vernetzt worden. Dadurch konnte im Jahr 2003 die Wasserversorgung trotz sinkender Grundwasserstände und abnehmender Quellschüttungen sichergestellt werden. Verbrauchseinschränkungen mussten einzig kleine und kleinste isolierte Wasserversorgungen verfügen – insbesondere im Jurabogen und im Tessin. Landesweit wurden jedoch die Verbrauchsspitzen aus dem Jahr 1976 nicht erreicht. Qualitätsprobleme bei der Fassung des Rohwassers traten nur vereinzelt und lokal auf.

10.1 Die Trinkwasserversorgung in der Schweiz

Der Trinkwasserkonsum nimmt in der Schweiz trotz wachsender Wohnbevölkerung seit 20 Jahren stetig ab und liegt heute bei rund einer Milliarde Kubikmetern pro Jahr (Abb. 10.1), was etwa dem Inhalt des Bielersees entspricht. Seit 1981 sank der Wasserverbrauch pro Einwohner von über 500 Litern auf unter 400 Liter pro Tag. Hauptgrund für diesen Rückgang sind vor allem neue Produktionsverfahren und Strukturänderungen in der Industrie. Doch auch der Konsum der Haushalte hat sich in den letzten Jahren um 20 Liter verringert und liegt heute bei durchschnittlich rund 160 Litern pro Einwohner und Tag¹. 63 % der Wasserabgaben gehen an Haushalte und Kleingewerbe, 17 % an Gewerbe und Industrie, 5 % werden für öffentliche Zwecke und Brunnen benötigt, 3 % für Rohrreinigungen und 12 % sind Verluste und unkontrollierte Entnahmen. Das Trinkwasser stammt in der Schweiz zu je 40 % aus Quelfassungen und Grundwasservorkommen in Talschottern, und zu 20 % aus den Seen (vgl. Kap. 5.1). Knapp 40 % des Wassers erfordern keinerlei Reinigung, die übrigen 60 % werden in teilweise mehrstufigen Verfahren für den Konsum aufbereitet¹.

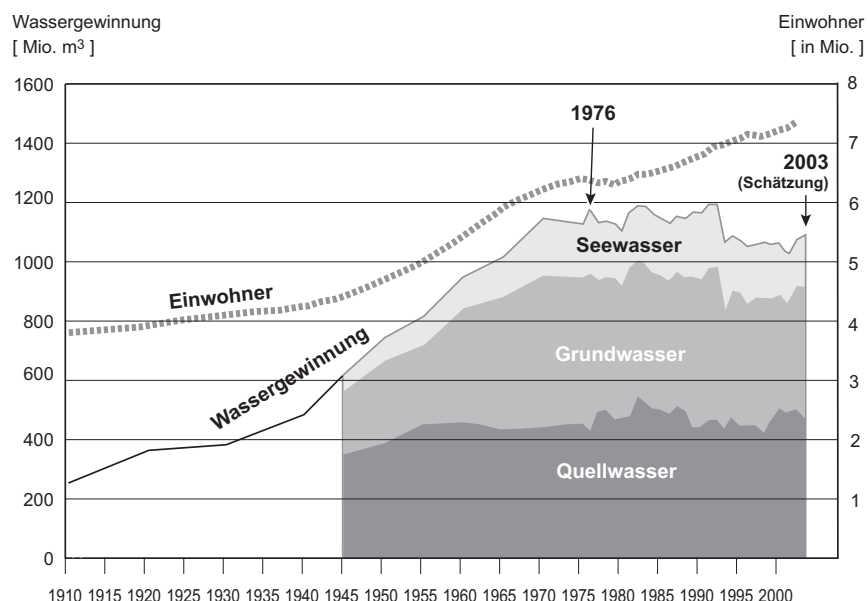
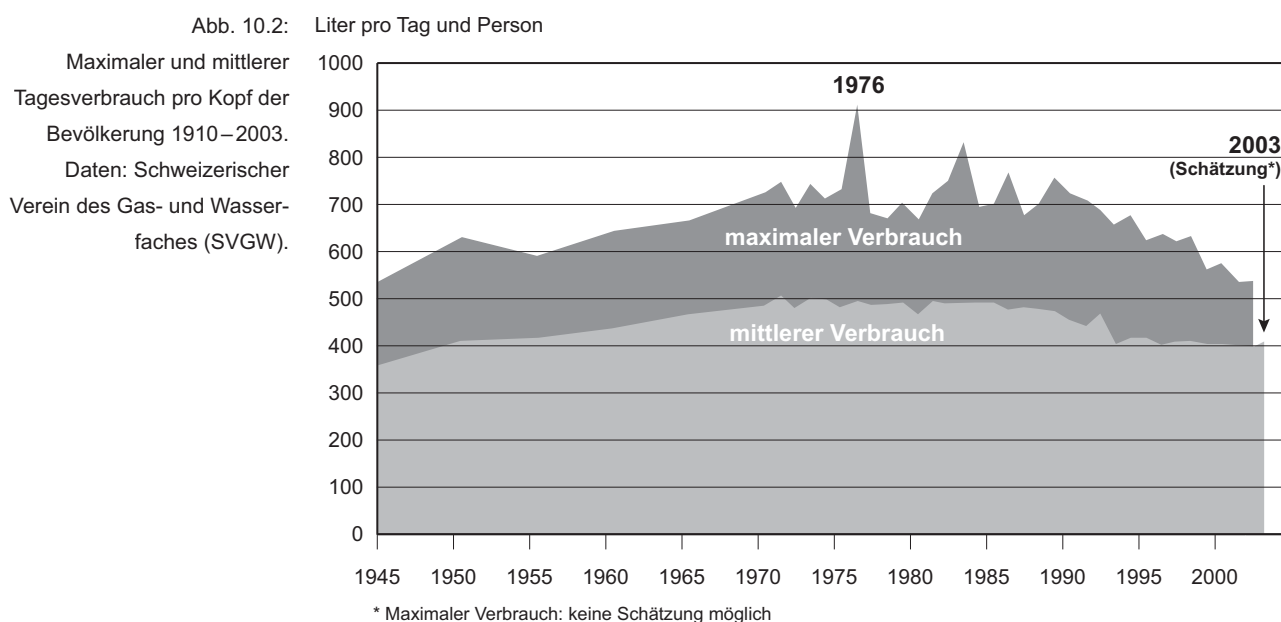


Abb. 10.1:
Die Wassergewinnung in der Schweiz 1910–2003.
Daten: Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW).

Der im europäischen Vergleich überdurchschnittlich grosse Wasserreichtum der Schweiz hat zur Folge, dass der Trink- und Brauchwasserverbrauch von Haushalten, Industrie (inkl. Kühlwasser von Kernkraftwerken) und landwirtschaftlicher Bewässerung nur etwa 5 % eines mittleren Jahresniederschlags entspricht². Für die reine Trinkwasserversorgung werden nur 2 % des jährlichen Niederschlags benötigt. Die Sicherstellung der Versorgung in Trockenzeiten ist daher in erster Linie eine organisatorische und strukturelle Frage und nicht ein Problem von knappen natürlichen Ressourcen.

Jährlich investieren die Schweizer Gemeinden rund 600 Mio. Franken in die Wasserversorgung – vorwiegend in den Unterhalt und die Erneuerung von Anlagen. In den vergangenen Jahrzehnten sind vielerorts die Kapazitäten und insbesondere die Verbundnetze unter den einzelnen Wasserversorgungen stark ausgebaut worden. Der Reservoirinhalt pro Einwohner (ohne Löschwasser) stieg beispielsweise in Zeitraum 1960–2000 von 266 auf 508 Liter³.

Dieser stetige Ausbau der Kapazitäten und Verbundleitungen wird von den Wasserwerken unter anderem mit dem Hinweis auf die Versorgungssicherheit in extremen Trockenperioden begründet und ist eine Konsequenz aus den Erfahrungen aus früheren niederschlagsarmen Perioden. Der Ausbau der regionalen Verbundnetze begann nach dem extremen Trockensommer 1947 und erhielt neue Schubkraft nach der Trockenperiode 1970–72 und dem Trockensommer 1976⁴. Dank dieses kontinuierlichen Infrastrukturausbaus konnten zumindest die grossen Wasserversorgungen bereits 1976 die bisher höchste je gemessene Verbrauchsspitze ohne wesentliche Probleme bewältigen⁵ (Abb. 10.2).



10.2 Die Wasserversorgung im Sommer 2003

Trockene, heisse Sommer sind für die Wasserversorgungen eine doppelte Herausforderung: Einerseits gehen die Quellschüttungen zurück und die Grundwasserstände sinken (Kap. 5.4), während andererseits der Wasserkonsum oft ansteigt, vor allem wegen der Bewässerung von Hausgärten und Rasenflächen.

Der Härtetest des Sommers 2003 hat die Erfahrungen aus früheren Extremsommern bestätigt: Die grossen Wasserversorgungen (insbesondere die Grossstädte) und die regionalen Verbünde hatten insgesamt keine Versorgungsprobleme. Ausschlaggebend für die hohe Versorgungssicherheit waren die Seewasserfassungen (wo auch in Trockenphasen unbeschränkt Wasser zur Verfügung steht) und vor allem die Grundwasservorräte in den Talschottern, die sich dank ihres Hochstandes im Winter 2002/2003 als ausreichend erwiesen (vgl. Kap. 5.4). So hatte beispielsweise der Rückgang der Quellen in der Grossagglomeration Zürich keinerlei Auswirkungen auf die Versorgung, da das Manko durch Erhöhung des Seewasseranteils kompensiert werden konnte⁶.

Dazu hält der Schweizerische Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW) fest: «Zwar mussten einzelne Gemeinden zum sparsamen Wasserkonsum aufrufen. Doch Lieferverträge zwischen Partnergemeinden, Regionalversorgungen oder Zweckverbänden und vernetzte Leitungen zwischen den einzelnen Versorgern ermöglichen im Allgemeinen, die Verbrauchsspitzen zusammen abzudecken.»⁷ Aufgrund provisorischer Zahlen schätzt der SVGW, dass die tägliche Trinkwasserproduktion der grossen Versorger an einzelnen Extremtagen des Sommers 2003 gegenüber den Vorsommern um bis zu 20% angestiegen ist – nicht unbedingt wegen des hitzebedingten Mehrverbrauchs im eigenen Versorgungsgebiet, sondern vor allem wegen der Wasserabgaben an kleinere Partner, deren eigene Quellen zu wenig Wasser führten⁸. So lieferte beispielsweise die Wasserversorgung der Stadt Zürich rund 28% mehr Wasser als im Vorjahr an ihre 70 Partnergemeinden, deren eigene Versorgung aus Quellen an Grenzen gestossen war.⁹

Erstaunlich gering schlägt sich der hitzebedingte Mehrverbrauch in der Stadtzürcher Jahresstatistik nieder: Insgesamt stieg im Jahr 2003 der Wasserkonsum gegenüber dem Vorjahr um lediglich 2%. Dies obwohl in den Monaten Juni, Juli und August der durchschnittliche Tagesverbrauch 18% höher lag als im Vorjahr und am 13. August – als an der Station Zürich-MeteoSchweiz mit 36,0 °C die höchste Temperatur des Jahres gemessen wurde – der Wasserverbrauch auf den Jahres-Spitzenwert von 254'021 m³ stieg (gegenüber dem mittleren Jahresverbrauch von 160'000 m³ pro Tag)¹⁰. Weil der Wasserkonsum langfristig sinkt, wurden in Zürich im Sommer 2003 aber keine Spitzen-Verbrauchswerte erreicht.

10.2.1 Verbrauchseinschränkungen

Probleme traten insbesondere bei Klein- und Kleinstversorgungen auf, die nicht vernetzt sind und vor allem von oberflächennahem Quellwasser abhängen (vgl. Kap. 5.3). Auf Bundesebene gibt es keine systematischen Erhebungen über die Wasserversorgung. Die Rückmeldungen aus 18 Kantonen auf eine Umfrage des SVGW vom 12.–14. August 2003¹¹ sowie eine (allerdings nicht systematische) Auswertung von Presseberichten und Medienmitteilungen von Kantonen ergeben das folgende Bild:

Tab. 10.1:
Rückmeldungen aus den
Kantonen über die Lage der
Wasserversorgungen im
Jahr 2003.

Rückmeldungen der Wasserversorgungen	Kantone
Starke Abnahme der Quellschüttungen, teils minimale Schüttungen und ausgetrocknete Quellen	AG, AR, BE, BL, JU, GR, LU, NW, OW, SO, SZ, TG, TI, UR, VD, ZH
Grundwasser auf teils sehr tiefem, aber nicht problematischem Niveau	AG, AR, BE, BL, FR, GR, LU, NW, OW, SO, SZ, TG ^{a)} , UR, ZH
Quantitative Probleme bei den Grundwasservorkommen	
Vereinzelte Versorgungsengpässe bei Klein- und Kleinstversorgern (Innerschweiz und Tessin: lokale Engpässe treten jedes Jahr auf)	AR, FR, LU, NE, NW, OW, SO, SZ, TG, TI, UR, VD
Lokale Aufrufe zum Wassersparen	AG, BE, BL ^{b)} , JU ^{c)} , LU, SO, TG, TI, VD
Einschränkungen, Verbote (Autowaschen, Rasensprengen, Füllen von Schwimmbecken), in Einzelfällen Notmassnahmen (Bauernhöfe)	BE, BL, FR, LU ^{d)} , NW ^{e)} , TI ^{f)} , UR, VD

a) Grundwasserstände an der Thur wie im Trockensommer 1976

b) Aufrufe in 9 Gemeinden

c) Wiederholte Aufrufe der Kantonsregierung

d) rund 1000 Personen betroffen

e) rund 5000 Personen betroffen, Einberufung des Gemeindeführungsstabs

f) Einschränkungen in Regel nachts

Eine Häufung von Appellen zum Wassersparen sind im Jurabogen (Kantone Waadt, Jura, Basel-Landschaft, Solothurn und Aargau) und im Tessin festzustellen. In diesen Gebieten hielt die Trockenheit im Jahr 2003 besonders lange an (vgl. Kap. 1.3, Abb. 1.15b und 1.15c, S. 31/32), dazu handelt es sich teilweise um Gebiete mit Quellen, die aus geologischen Gründen in Trockenzeiten schnell versiegen (vgl. Kap. 5.3.1). In vielen Fällen konnte jedoch lokaler Wassermangel dank Verbundleitungen ausgeglichen werden. In Basel-Landschaft übernahm der Kanton die Information der Bevölkerung, damit nicht jede Gemeinde einzeln ein Mediencommuniqué verbreiten musste¹³.

In Graubünden richtete sich die Sorge auch auf den kommenden Winter: Trotz der Niederschläge im Oktober (vgl. Kap. 1.4, Abb. 1.15c, S. 32) forderte der Kanton angesichts der herbstlichen Tiefststände bei den Grundwasservorkommen (vgl. Kap. 5.4) die Gemeinden im November auf, im Hinblick auf einen möglicherweise trockenen Winter ihre Trink- und Löschwassersituation zu überprüfen und frühzeitig Massnahmen zu planen¹⁴.

«[...] Les responsables de l'Office des eaux et de la protection de la nature (OEPN) ont qualifié mardi la situation de préoccupante. [...] L'Office des eaux a renouvelé son appel à utiliser avec parcimonie l'eau. L'approvisionnement en eau potable pose déjà des problèmes. La commune de Chevenez, en Ajoie, a ainsi dû être alimentée ponctuellement par un camion-citerne. [...] S'il ne devait pas pleuvoir ces prochaines semaines, des communes pourraient fermer les robinets quelques heures durant la journée. Face à cette situation exceptionnelle, les pertes d'eau dues aux fuites dans les réseaux prennent une nouvelle dimension. Ce ne sont pas moins de huit millions de litres d'eau par jour qui sont ainsi perdus. Un constat qui illustre l'urgence d'assainir les conduites, a relevé l'Office des eaux. [...]»

Schwierige Lage

in der Ajoie

Journal du Jura, 27. Juli 2003

«[...] Die Grundwasserstände in den grossen Grundwasserleitern Wasseramt, Dünern- und Aaregäu, Niederamt und Lüsseltal, aus welchen der grösste Teil der Solothurner Bevölkerung mit Trinkwasser versorgt wird, weisen zwar [...] einen deutlichen Rückgang auf, gewährleisten aber nach wie vor eine uneingeschränkte Versorgung, selbst dann, wenn sich das Trockenwetter noch länger hinausziehen sollte.

Die Ergiebigkeit der meisten Quellen ist ebenfalls stark rückläufig und sie können heute schon alleine den Wasserbezug nicht mehr abdecken. Glücklicherweise verfügen die meisten Wasserversorgungen, welche solche Quellen nutzen, über die Möglichkeit, dieses Manko mit Wasserbezügen aus den erwähnten Grundwasserleitern auszugleichen. Als erste Massnahme haben die Gemeinden Stüsslingen und Löstorf die Bevölkerung aufgerufen, den zur Zeit sehr hohen Wasserverbrauch einzuschränken. [...]»

Ausgleich dank

Grundwasser

Medienmitteilung der Staatskanzlei des Kantons Solothurn, 30. Juni 2003

«Gegen Ende letzter Woche hat der Gemeinderat Hergiswil die Medien mit einer Sofortinfo orientiert, dass die anhaltende Trockenheit, die voraussichtliche Wetterentwicklung und der sprunghaft angestiegene Wasserverbrauch zu einer Verknappung der Trinkwasserversorgung [...] führen könnte. Als Sofortmassnahmen wurden die öffentlichen Brunnen abgestellt und die Bewässerung der gemeindeeigenen Grünanlagen durch die Feuerwehr angeordnet. Mit einem Flyer wurde die Bevölkerung aufgerufen, haushälterisch und sparsam mit dem Trinkwasser umzugehen. Der Aufruf an die Bevölkerung von Hergiswil zeigt positive Wirkung. Die Massnahmen werden erfreulicherweise weitgehend befolgt. Damit konnte der Wasserverbrauch stabilisiert werden. [...]»

Sparmassnahmen

in Hergiswil

Mitteilung der Gemeinde Hergiswil (Kanton Nidwalden), 12. August 2003

«[...] Die Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung hängt auch in Trockenzeiten nicht von den Grundwasserständen, sondern von der Grundwassermächtigkeit ab. Da diese selbst in den Gebieten mit stark sinkendem Grundwasserstand noch völlig ausreichend ist, konnten auch die extrem hohen Spitzenwasserverbräuche dieses Sommers gedeckt werden. Diese lagen mit 600 Litern pro Kopf und Tag um rund das 1,7-fache höher als der durchschnittliche Tagesverbrauch von 350 Litern pro Kopf und Tag. Im Gegensatz zum Grundwasser gingen die Quellschüttungen zwar zurück, [...] jedoch nicht im erwarteten Ausmass. So erliessen denn auch nur 15 Wasserversorgungen meist vorsorgliche Verbrauchseinschränkungen. Von diesen Versorgungen hatten nur drei Zugang zu einer Grundwasserfassung. [...]»

Rückblick des

Kantons Bern

Medienmitteilung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern, 16. Oktober 2003

10.2.2 Die Lage im Tessin

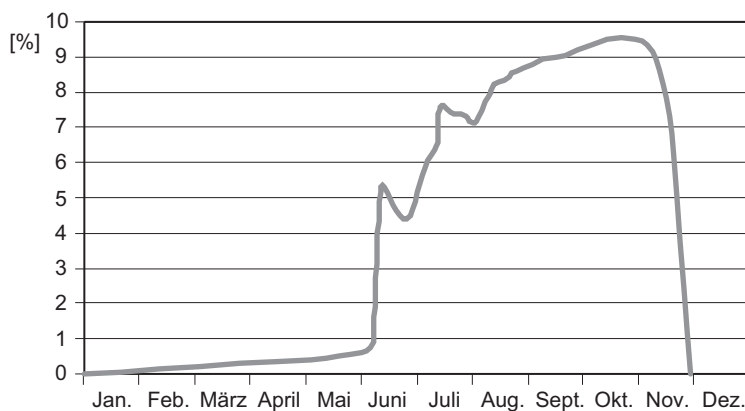
Von der Trockenheit besonders betroffen wurde das Tessin, wo die Niederschlagsdefizite vom Winter an ununterbrochen bis in den Spätherbst anhielten (vgl. Kap. 1.3, Abb. 1.15b, S. 31). Im Tessin gibt es viele Klein- und Kleinstversorgungen, die nur aus Quellwasser gespeist werden und nicht miteinander vernetzt sind. See- und Wasser wird zur Zeit nicht genutzt. Die ausserordentliche Lage im Jahr 2003 zwang

daher zahlreiche Gemeinden, behelfsmässig zusätzliche Wasserbezugsquellen zu erschliessen, wie

- Anschluss an die Anlagen anderer Wasserversorgungen
- Suche und Nutzung bisher nicht gefasster Quellen
- Wasserentnahme aus Seen und kleinen Bächen über improvisierte Filter- und Desinfektionsanlagen
- Versorgung mit Tankwagen (Feuerwehrfahrzeuge und andere)¹⁵

Betroffen waren rund 50 Gemeinden auf dem gesamten Kantonsgebiet mit Schwerpunkten im Malcantone, Gambarogno, Bellinzonese, Locarnese, Valcolla, Capriasca, Mendrisiotto, Valle Maggia und Centovalli. In besonders kritischen Fällen musste die Wasserversorgung zu gewissen Tageszeiten (in der Regel nachts) eingeschränkt werden. Wie Abb. 10.3 zeigt, stieg die Wasserknappheit ab Juni stark an und wurde erst mit den ausgiebigen Regenfällen im November beendet. Dank der frühzeitig ergriffenen Massnahmen der Behörden blieb der Anteil der von Einschränkungen betroffenen Bevölkerung jedoch unter 10 Prozent. Trotz der schwierigen Umstände konnte den Konsumenten durchgängig Wasser mit Trinkwasserqualität geliefert werden.¹⁶

Abb. 10.3:
Anteil der Tessiner Bevölkerung mit Einschränkungen der Trinkwasserversorgung im Jahr 2003.
Daten:
Repubblica e Cantone Ticino, rapporto d'esercizio del Laboratorio cantonale anno 2003.



10.2.3 Trinkwasserentnahmen durch die Landwirtschaft

Ähnlich wie in früheren Trockensommern⁴ trat auf einigen Alpweiden im Jura und in den Voralpen ein akuter Mangel an Trinkwasser für das Vieh ein. Wo Zufahrtstrassen für Zisternenfahrzeuge fehlten, half die Armee wie bereits 1976 mit Wassertransporten per Helikopter aus, so in mehreren Fällen im Kanton Freiburg¹⁷. Auch im Waadtländer Jura versorgte die Armee einige Bauern mit Wasser, nachdem Mitte August die Zisternen zur Tränkung von mehreren tausend Kühen leer waren¹⁸. In Graubünden mussten im Herbst einzelne Alpen wegen Mangel an Tränkewasser vorzeitig entstossen werden.

Hohe Wasserentnahmen aus dem Leitungsnetz durch Landwirte führte in einigen Gemeinden zur Verknappung der Trinkwasserreserven. Gemeldet wurden solche

«[...] Seit Mitte Juli sind pro Woche etwa vier Tankwagenfahrten nötig, damit der Wasserbedarf des Hotels und Ausichtsrestaurants Lüderenalp der herrschenden Trockenheit zum Trotz gedeckt werden kann. Und das sind pro Tag immerhin 22'000 bis 24'000 Liter. [...] Vom Wassermangel betroffen sind ringsum auf den Emmentaler Högern, Hubeln und Eggen vor allem aber die Bauern. [...] «Gegenwärtig», sagt Res Meister, «laufen bei uns rund 80 Stück Vieh. Es muss nicht nur gefüttert, sondern auch getränkt werden. Und weil das Wasser fehlt, muss ich es – schon seit Mitte Juni – halt holen.» Weit unten, im Einzugsgebiet des Wüestgrabens, hat er glücklicherweise noch Wasser aufgespürt. Und von dort karrt er das kostbare Nass auf holprigen Wegen nun in zeitraubender Arbeit herauf – tagaus, tagein, mit dem Traktor und in 1000-Liter-Tränkefässern. [...]»

**Wassermangel auf der
Lüderenalp im Napfgebiet**
Der Bund, 27. August 2003

Probleme aus dem Tessin, aber auch im Zürcher Furttal hatte eine Gemeinde Probleme, weil sie die Bezugsoption aus der Gruppenwasserversorgung zu tief angesetzt hatte. Teilweise gestatteten es die Wasserversorger den Bauern nicht mehr, Wasser ab Hydranten zu beziehen. Im Kanton Bern beispielsweise wurden landwirtschaftliche Kulturen nur in wenigen Einzelfällen mit Trinkwasser bewässert. Der vermehrte Einsatz von Grundwasser für solche Zwecke ist dort auch für die Zukunft kein Thema¹⁹. In Winterthur dagegen durften Bauern ab Ende Juni ihre Kulturen ab Hydranten bewässern. Sie konnten spezielle Zähler beziehen und bezahlten den halben Normalpreis. Abwassergebühr wurde keine erhoben. Ausgenommen wurden Tabak- und Gemüsekulturen¹⁸.

10.3 Trinkwasserqualität

Die verfügbare Datenlage lässt keine eindeutigen Aussagen über allfällige Folgen der Trockenheit und der Hitze auf die Qualität des Rohwassers in den Wasserfassungen zu. Im Kanton Waadt beispielsweise sind keine auf die Trockenheit zurückzuführenden Qualitätsprobleme aufgetreten, im Gegenteil: Durch das Ausbleiben von Starkniederschlägen wurde im Sommer 2003 die Zahl von Quellverschmutzungen reduziert²⁰. Auch im Kanton Freiburg wurde beobachtet, dass in Trockenzeiten die Qualität des Grundwassers steigt, da es weniger von der Oberfläche her beeinflusst wird. Umgekehrt können heftige Niederschläge auf völlig ausgetrocknete Böden vermehrt Schadstoffe und insbesondere Fäkalbakterien in kleine Wasserfassungen schwemmen. Dieser Effekt erforderte im Kanton Freiburg am Ende der Trockenphase im Januar 2004 vereinzelt Desinfektionsmassnahmen²¹. Auch im St. Galler Thurtal wurde im Winter 2003/2004 eine ausserordentliche Nitratauswaschung ins Grundwasser beobachtet (vgl. Kap. 5.6, Kasten S. 106).

Auch nach dem Kenntnisstand des SVGW gab es im Sommer 2003 nur vereinzelte und lokale Qualitätsprobleme bei den Fassung des Rohwassers. Keine klimabedingten Probleme gab es bei der Trinkwasserqualität im Wasserhahn, im Gegenteil: Der erhöhte Wasserverbrauch in Hitzeperioden steigert den Durchsatz des Wassers im Leitungsnetz, und die kürzere Verweilzeit in den Wasserleitungen reduziert die Vermehrung allfälliger vorhandener Keime²².

-
- ¹ SCHWEIZERISCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES (SVGW): Medienmitteilung vom 6. August 2004.
 - ² SCHAEGLER, B., 1985: *Der Wasserhaushalt der Schweiz*. Mitteilungen der Landeshydrologie Nr. 6. Bern: Bundesamt für Umweltschutz.
 - ³ SCHWEIZERISCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES (SVGW), 2004: *Statistische Erhebungen der Wasserversorgungen in der Schweiz 2002*. Zürich: SVGW.
 - ⁴ BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (BWV), o. J.: *Trockenheit 1976, Informations- und Erfahrungsaustausch*. In: *Bericht über Auswirkungen der Trockenheit des Jahres 1976 auf die Fischerei*. Veröffentlichungen des Bundesamtes für Umweltschutz und der Eidg. Fischereiinspektion, Nr. 38.
 - ⁵ SCHORER, M., 1992: *Extreme Trockensommer in der Schweiz und ihre Folgen für Natur und Wirtschaft*. Geographica Bernensia, Band G 40. Bern: Geographisches Institut der Universität Bern.
 - ⁶ TAGESANZEIGER, 25. August 2003.
 - ⁷ SCHWEIZERISCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES (SVGW): *Wasser-Spiegel* Nr. 3/03, September 2003.
 - ⁸ Mündliche Auskunft von Urs Kamm und Paul Sicher vom Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW) vom 4. März 2004.
 - ⁹ WASSERVERSORGUNG ZÜRICH, Medienmitteilung vom 9. März 2004.
 - ¹⁰ WASSERVERSORGUNG ZÜRICH, Medienmitteilung vom 3. September 2003.
 - ¹¹ SCHWEIZERISCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES (SVGW), 2003: *Umfrage «Situation Trinkwasserversorgung in der Schweiz» 12.–14. August 2003*. Zürich: unpublizierte Datenzusammenstellung.
 - ¹² LA PRESSE RIVIERA-CHABLAIS, 14. August 2003
 - ¹³ AMT FÜR MILITÄR UND BEVÖLKERUNGSSCHUTZ DES KANTONS BASEL-LANDSCHAFT, 2003: *«Trockenheit 2003»*. Informationsschreiben Nr. 1 vom 30. Juni 2003. Liestal: Kantonaler Krisenstab.
 - ¹⁴ AMT FÜR NATUR UND UMWELT DES KANTONS GRAUBÜNDEN, 2003: *Gewährleistung der Trink- und Löschwasserversorgung bei Wasserknappheit*. Schreiben der Kantonalen Leitorganisation für den Katastrophen- und Kriegsfall an die Gemeinden vom 11. November 2003.
 - ¹⁵ REPUBBLICA E CANTONE TICINO, 2003: *Rapporto d'esercizio del Laboratorio cantonale anno 2003*. Bellinzona: Laboratorio cantonale.
 - ¹⁶ Mitteilung von Lorenzo Quirici, Tessiner Kantonslabor in Bellinzona, vom 8. April 2004.
 - ¹⁷ FREIBURGER NACHRICHTEN, 18. August 2003
 - ¹⁸ BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL), 2003 (Hrsg.): *Hitzesommer 2003*. Medienanalyse für den Zeitraum Juni-September 2003. Bern: unpubliziertes Manuskript.
 - ¹⁹ Mündliche Auskunft des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern vom 2. April 2004.
 - ²⁰ Mitteilung des Kantonslabors des Kantons Waadt vom 17. März 2004.
 - ²¹ LA LIBERTÉ, 14. Februar 2004.
 - ²² Auskunft von Alfred Besl vom Kantonslabor Zürich in der Sendung «Puls» auf SF DRS vom 25. August 2003

Weiterführende Literatur:

AMT FÜR MILITÄR UND BEVÖLKERUNGSSCHUTZ DES KANTONS BASELSTADT, 2003: «Trockenheit 2003». Informationsschreiben Nr. 1 vom 30. Juni 2003. Liestal: Kantonaler Krisenstab.

AMT FÜR NATUR UND UMWELT DES KANTONS GRAUBÜNDEN, 2003: *Gewährleistung der Trink- und Löschwasserversorgung bei Wasserknappheit*. Schreiben der Kantonalen Leitorganisation für den Katastrophen- und Kriegsfall an die Gemeinden vom 11. November 2003.

BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL), 2003 (Hrsg.): *Hitzesommer 2003. Medienanalyse für den Zeitraum Juni–September 2003*. Bern: unpubliziertes Manuskript.

BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (BWW), o.J.: *Trockenheit 1976, Informations- und Erfahrungsaustausch*. In: *Bericht über Auswirkungen der Trockenheit des Jahres 1976 auf die Fischerei*. Veröffentlichungen des Bundesamtes für Umweltschutz und der Eidg. Fischereiinspektion, Nr. 38.

11 Produktion von elektrischer Energie

Die Trockenheit und die Hitze des Jahres 2003 hatten gegenläufige Auswirkungen auf die Stromproduktion aus Wasserkraft: Während die Laufkraftwerke im Unterland wegen der geringen Wasserführung der Flüsse zum Teil deutliche Produktionseinbussen erlitten, profitierten die Speicherkraftwerke mit Zuflüssen aus vergletscherten Gebieten vom zusätzlichen Schmelzwasser. Insgesamt lag daher im Jahr 2003 die Energieproduktion aus Wasserkraft nur rund 0,8% unter dem Mittel der letzten zehn Jahre – die Minderproduktion fiel damit deutlich geringer aus als in den Trockenphasen der 1970er Jahre. Ende September lag der Füllungsgrad der Speicherseen jedoch gut 10 Prozent tiefer als im 10-Jahres-Mittel. Besonders günstig war der Sommer 2003 für Solaranlagen, ungünstig war er dagegen für Windkraftwerke, während die Kernkraftwerke nur marginal betroffen wurden.

11.1 Landeserzeugung und Landesverbrauch

In der Schweiz spielt die Nutzung der Wasserkraft zur Erzeugung elektrischer Energie seit jeher eine herausragende Rolle. Die Landeserzeugung wird heute von drei Kraftwerktypen erbracht, deren durchschnittlicher Anteil der letzten zehn Jahre hier in Prozenten angegeben ist:

Wasserkraftwerke	58,5%
Kernkraftwerke	38,3%
Konventionell-thermische Kraftwerke und andere	3,2%

Der Landeserzeugung steht der Landesverbrauch (Inlandbedarf) gegenüber. Er wird hauptsächlich von der industriellen Produktion, der Zu- oder Abnahme der mittleren Wohnbevölkerung, dem Wohnungsbestand, den Heizgradtagen im Winterhalbjahr sowie – wie im Hitzejahr 2003 – von den sommerlichen Lufttemperaturen (Kühlung) beeinflusst. Der Landesverbrauch spiegelt etwas phasenverschoben die Tendenz der Veränderungsraten des realen Bruttoinlandproduktes wieder. Je nach Saldo zwischen Landeserzeugung und Landesverbrauch wird Strom exportiert oder importiert.

11.2 Elektrizitätserzeugung in Wasserkraftwerken

11.2.1. Laufkraftwerke

Laufkraftwerke sind in der Regel Flusskraftwerke, deren nutzbares Gefälle meist nicht mehr als 50 m beträgt. Charakteristisch für diesen Kraftwerkstyp ist, dass die Produktionsmöglichkeiten nebst dem technischen Ausbaustand der Anlagen vor allem von den Abflussverhältnissen abhängen. Da die Laufkraftwerke zudem auf

die Verarbeitung einer bestimmten Wassermenge (der sogenannten Ausbauwassermenge) ausgelegt sind und namhafte Speichermöglichkeiten fehlen, kann eine niederschlagsreiche Periode zur Folge haben, dass ein Zuviel an Wasser ungenutzt über das Wehr fließt bzw. während einer Trockenperiode allenfalls Turbinen stillgelegt werden müssen.

11.2.2 Speicherkraftwerke

Bei den Speicherkraftwerken wird zwischen reinen Speicherwerken und Pumpspeicherwerken unterschieden. Die reinen Speicherwerke nutzen das Wasser aus Speicherseen, die durch natürliche Zuflüsse gespeist werden. Diese Zuflüsse sind naturgemäß in den Sommermonaten während der Schnee- und Gletscherschmelze am grössten. Das gespeicherte Wasser wird von den Speicherzentralen je nach Bedarf abgerufen und über die Druckleitungen den Turbinen zugeführt. Da Elektrizität nicht auf Vorrat gehalten werden kann, bilden die Stauseen eine wichtige Energiereserve, die vor allem zur Deckung des Spitzenbedarfs im Winter dient. Ferner können Speicherwerke bei Betriebsstörungen in anderen Produktionsanlagen schnell in Betrieb genommen werden und so die fehlende Energie im Netz ausgleichen.

Pumpspeicherwerke können entweder für die Speicherproduktion oder für den Pumpbetrieb eingesetzt werden. In Zeiten schwacher Energienachfrage werden die Grundlastenergie aus anderen inländischen Kraftwerken und Stromimporte dazu verwendet, um Wasser aus einem tiefer liegenden in ein höher liegendes Speicherbecken hinaufzupumpen. Durch die Pumpspeicherung wird keine Energie erzeugt, sondern nur die zeitliche Verfügbarkeit der Wasserreserven verschoben. Mit dieser Massnahme kann

- die durch natürliche Zuflüsse ungenügende Füllung von Speicherseen verbessert werden, indem Wasser zugeleitet wird (dieser Pumpbetrieb findet vorwiegend im Sommer statt);
- durch freien Pumpbetrieb zwischen zwei Speicherbecken in Schwachlastzeiten zur Abdeckung der Zeiten mit Spitzennachfrage zusätzlich hochwertige Energie produziert werden.

Die für die Pumpspeicherung aufgewendete elektrische Energie wird statistisch nicht auf der Verwendungsseite, sondern als Produktionsminderung eingesetzt.

11.3 Die Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit auf die Stromerzeugung

11.3.1 Wasserkraft

Mit 65'266 GWh erreichte die Landeserzeugung im Jahr 2003 das bisher vierthöchste Ergebnis nach dem Rekordjahr 2001. An diese Produktion haben die Wasserkraftwerke 36'445 GWh (55,9%) beigetragen, die Kernkraftwerke 25'931 GWh (39,7%) und die übrigen Kraftwerke 2890 GWh (4,4%, vgl. Abb. 11.1). Damit lag 2003 der Anteil der Energieproduktion aus Wasserkraft unter dem Mittelwert von 58,5% der letzten zehn Jahre.

Die hydraulische Produktion ist saisonalen Schwankungen unterworfen, die hauptsächlich von der unterschiedlichen Wasserführung der Flüsse im Winter (Minimum) und im Sommer (Maximum) und den Speichermöglichkeiten der Stauseen herrührt. Dem überlagert sich der Einfluss des von Jahr zu Jahr unterschiedlichen Witterungsablaufs, was zu recht grossen Schwankungen der Energieproduktion aus Wasserkraft führen kann.

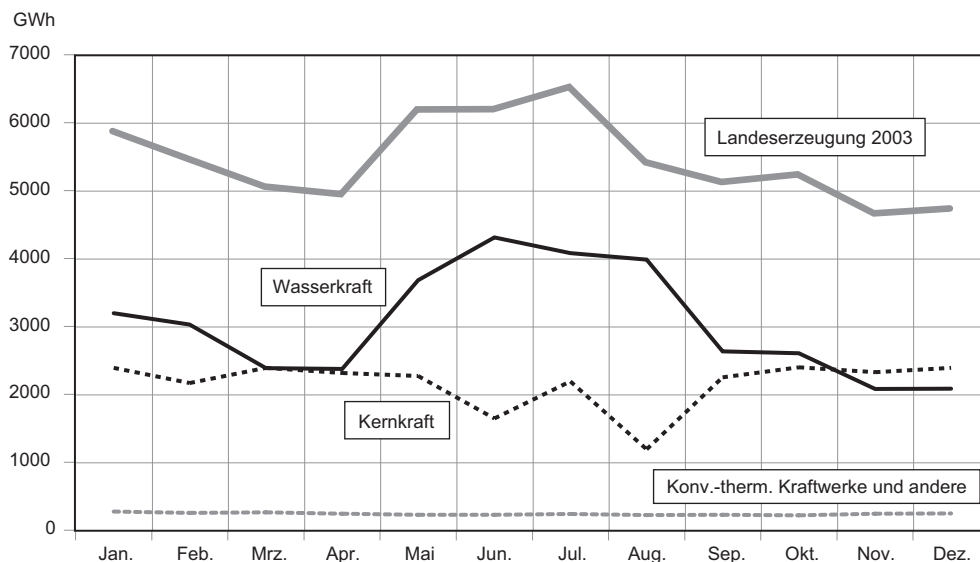
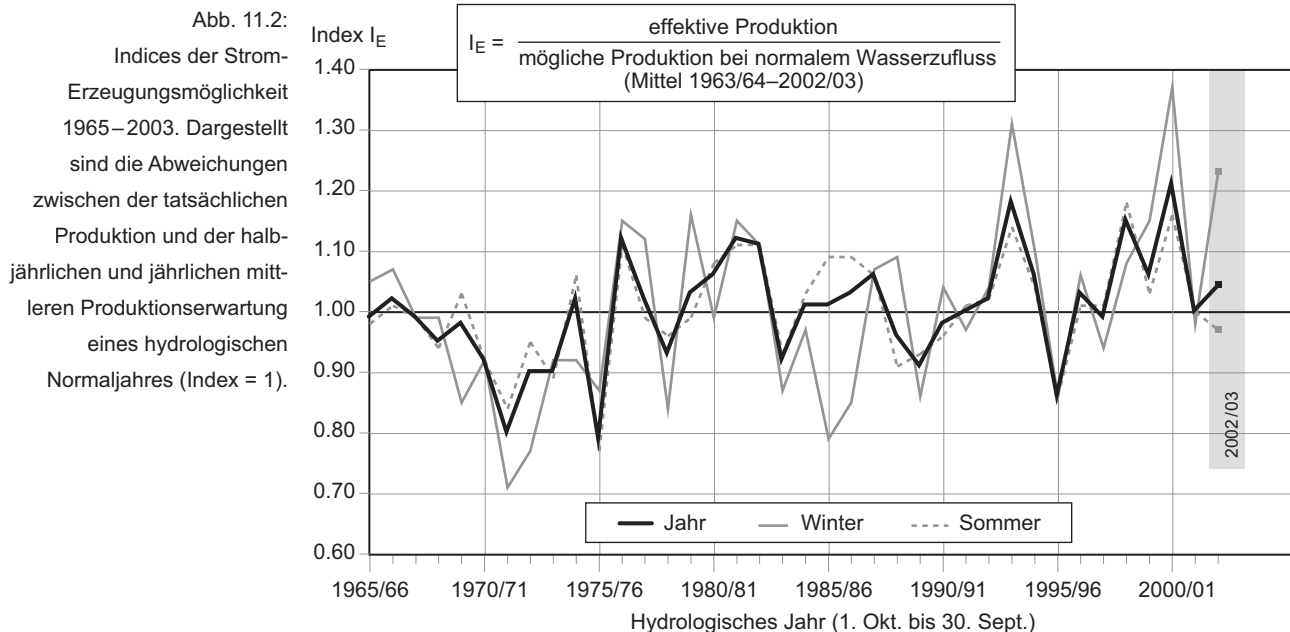


Abb. 11.1:
Die Landeserzeugung an elektrischer Energie im Jahr 2003. Dem Maximum der Produktion aus Wasserkraft nach der Schneeschmelze im Frühsommer steht das Minimum der Produktion aus Kernkraft als Folge der sommerlichen Revisionsstillstände gegenüber.



Sichtbar wird der Witterungseinfluss im sogenannten Index der Stromerzeugungsmöglichkeit, der die Abweichungen zwischen der tatsächlichen Produktion und der halbjährlichen und jährlichen mittleren Produktionserwartung darstellt (Abb. 11.2). Aus Abb. 11.2 ist beispielsweise ersichtlich, dass das Wasserdargebot im hydrologischen Jahr 2001/02 der mittleren Produktionserwartung und somit dem Durchschnitts- oder Normjahr entsprach. Umgekehrt führten der niederschlagsarme Winter 1971/72 und das Trockenjahr 1976 zu recht deutlichen Produktionseinbussen.

Im Vergleich zu diesen Jahren fiel die Minderproduktion im heisstrockenen Jahr 2003 gering aus. Die Produktionseinbusse von rund 0,8 % gegenüber dem 10-Jahres-Mittel verteilt sich sehr unterschiedlich auf die verschiedenen Kraftwerkstypen:

- **Laufkraftwerke:** Ihr Produktionsanteil an der gesamten Elektrizitätsproduktion betrug 15'398 GWh oder 23,6%. Gegenüber dem Mittelwert der letzten zehn Jahre ergibt sich eine Minderproduktion von rund 4,4 % (Abb. 11.3). Sie geht vor allem auf die Monate Juli bis Oktober zurück (-17,5 % gegenüber dem hydrologischen Normjahr 2001/2002), als wegen der anhaltenden Trockenheit die Wasserführung der Flüsse aus nicht vergletscherten Einzugsgebieten und unterhalb der grossen Seen deutlich abnahm (vgl. Kap. 3.4.3). So konnte beispielsweise in den Rheinkraftwerken Eglisau und Schaffhausen zeitweise nur noch knapp die Hälfte der sonst üblichen Elektrizität erzeugt werden, und die Produktion des Kraftwerkes Augst oberhalb von Basel war im Sommerhalbjahr um 22 % geringer als im langjährigen Mittel. Wegen der Trockenheit erzielten auch die Tessiner Kraftwerke (AET) eine um 22 % geringere Sommerstromproduktion als im Vorjahr.

- **Speicherkraftwerke:** Ihr Produktionsanteil an der gesamten Elektrizitätsproduktion betrug 21'047 GWh oder 32,2%. Gegenüber dem Mittelwert der letzten zehn Jahre ergibt sich eine Mehrproduktion von rund 2%. Während der Monate Mai bis August wurden sogar 8,9% mehr produziert als im hydrologischen Normjahr 2001/2002 (Abb. 11.4). Deutlich zum Tragen kam die grosse Wärme in der Höhe, die zu einer Erhöhung der Ausaperungsgrenze und zu einem massiven Abschmelzen der Gletscher führte (vgl. Kap. 1.2 und 2.2): Anlagen mit vorwiegend Gletscherzuflüssen wiesen Spitzenwerte bei der Produktion auf.

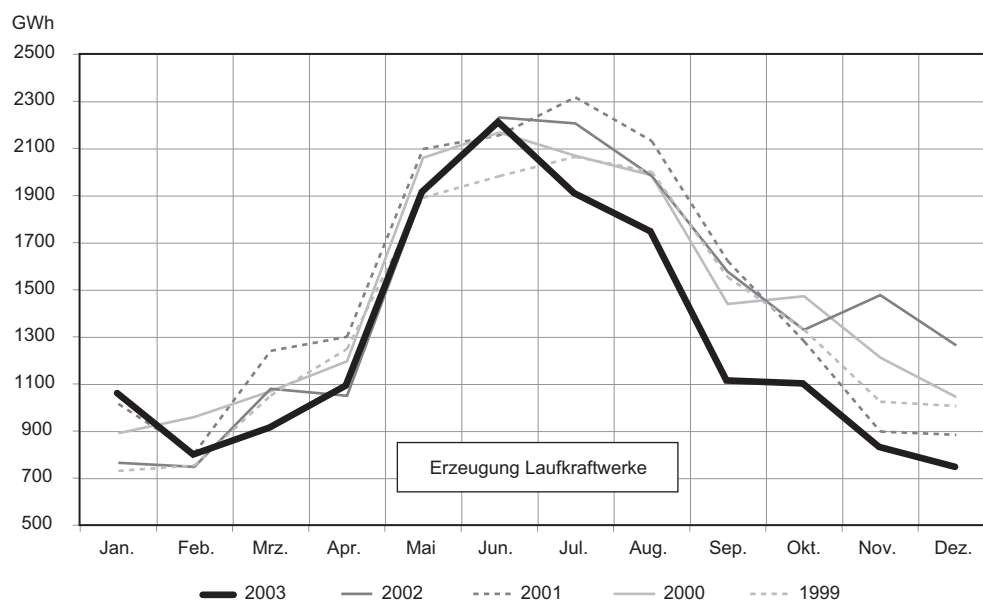


Abb. 11.3:
Die Erzeugung der Laufkraftwerke im Jahr 2003 im Vergleich zu den Vorjahren.

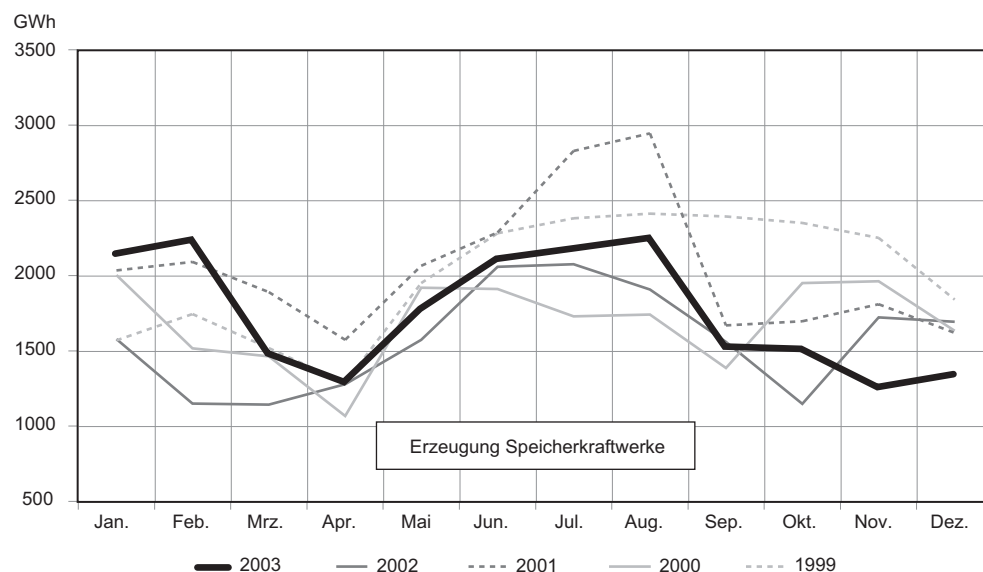
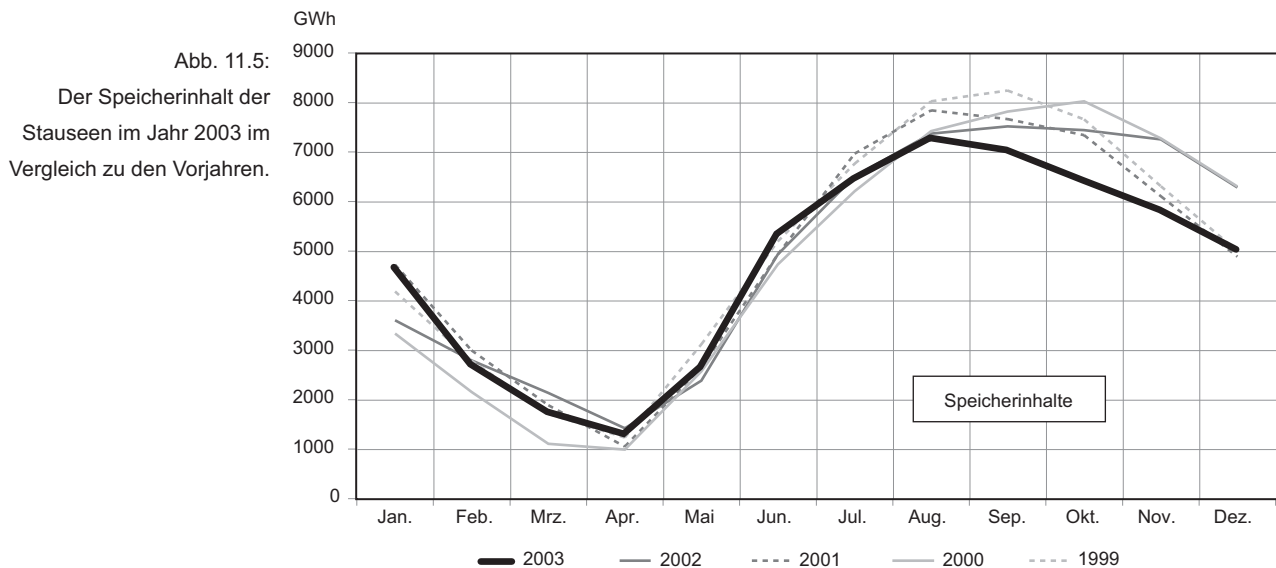


Abb. 11.4:
Die Erzeugung der Speicherkraftwerke im Jahr 2003 im Vergleich zu den Vorjahren.

Dennoch wurden die Speicherseen bis in den Herbst nicht im üblichen Rahmen gefüllt. Ende September 2003 betrug ihr Füllungsgrad 82 %, d.h. rund 10,5 % weniger als im Durchschnitt der letzten zehn Jahre (Abb. 11.5). Gegen Ende März 2004 lag der Füllungsgrad mit 19,6 % bereits wieder über dem Durchschnitt von 19,1 %.



Gletscher sorgten für Treibstoff

KWO Team, Hauszeitschrift
der Kraftwerke Oberhasli AG,
Nr. 4/03, Dezember 2003

«[...] Da stellt sich die Frage, wie sich die ausbleibenden Niederschläge auf die Stromproduktion der KWO auswirkten? Eigentlich überhaupt nicht. Klar hatten wir während der Sommermonate im unteren Teil unserer Anlagen weit unterdurchschnittliche Zuflüsse. Wettgemacht haben dies aber unsere Quellen aus den vergletscherten Gebieten. Dank sommerlichen Temperaturen bis weit über 3000m ü.M. hinauf verzeichneten die Monate Juni bis August Rekordzuflüsse, und dies ohne nennenswerte Niederschläge. Spitzentage erreichten Zuflüsse bis 11 Mio. m³ pro Tag. Bedenkt man, dass wir in allen unseren Seen 200 Mio. m³ fassen können, so sind diese Tageszuflüsse enorm. Dank der Gletscherreserven bestand bei der KWO also kein «Rohstoffengpass». Trotzdem liegen kurz vor dem Winter die Füllungsgrade unserer Stauseen etwa 10 % unter dem langjährigen Mittel.»

Abb. 11.6.
Enorme Tageszuflüsse:
Oberaargletscher und
Stausee Oberaar
im August 2003.
(Bild: Michael Schorer)



11.3.2 Kernkraft

Die Sommerhitze 2003 hinterliess auch bei den Kernkraftwerken Spuren: So musste das Kernkraftwerk Beznau in den Monaten Juli und August in beiden Reaktorblöcken seine Leistung zeitweise reduzieren, um die Temperatur des in die Aare zurückgeführten Kühlwassers gemäss Konzession einhalten zu können. Im Kernkraftwerk Mühleberg musste aus dem gleichen Grund die Leistung von Anfang Juni bis zum jährlichen Revisionsstillstand Mitte August reduziert werden (vgl. Kap. 7.3.2).

Die hohen Temperaturen beeinträchtigten zudem die Kühlleistung der Kernkraftwerke mit Kühltürmen. So konnten sich beispielsweise beim Kernkraftwerk Leibstadt über die Mittags- und Nachmittagstunden Leistungseinbussen von bis zu 150 MW ergeben. Insgesamt wirkte sich die Hitze und Trockenheit jedoch kaum auf die Produktion aus. Die KKW Beznau, Gösgen und Leibstadt (Leistungserhöhung ab August 2003) stellten im Jahr 2003 einen neuen Produktionsrekord auf.

11.4 Landesverbrauch und Export/Import

Der Landesverbrauch (inkl. Verluste) erreichte mit 59'261 GWh im Jahr 2003 einen neuen Höchstwert (Abb. 11.7). Die erhöhten Verbrauchswerte in den Monaten Juni bis August sind wahrscheinlich auf den vermehrten Einsatz von Elektrizität zu Kühlzwecken zurückzuführen. Gegenüber dem Vorjahr waren die Monate Februar, Oktober und Dezember deutlich kälter, was zum Anstieg von Heizgradtagen führte.

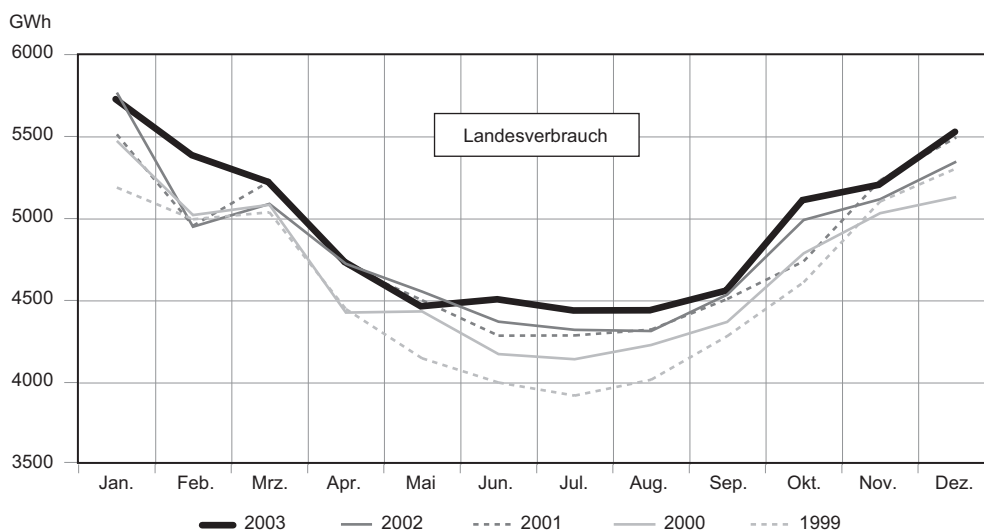
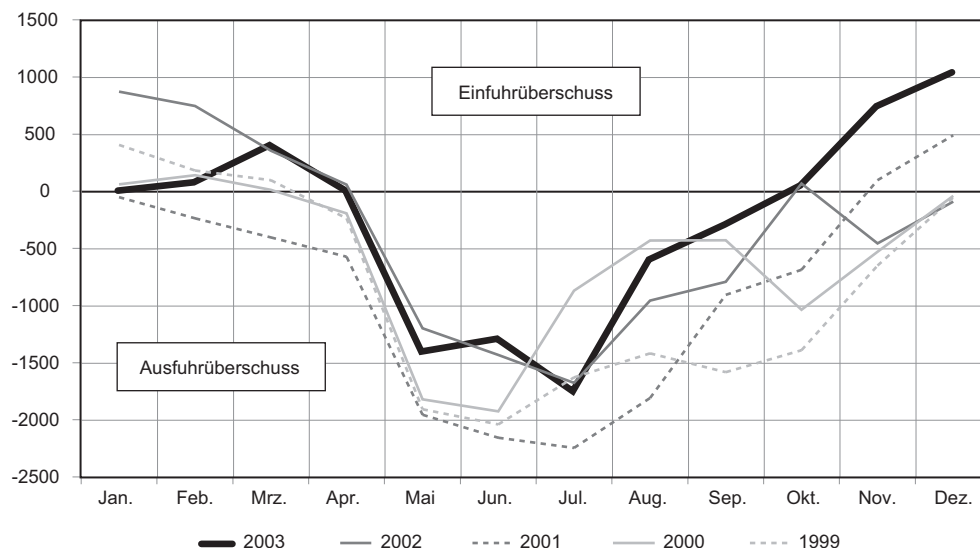


Abb. 11.7:
Der Landesverbrauch an elektrischer Energie im Jahr 2003 im Vergleich zu den Vorjahren.

Abb. 11.8: GWh
Einfuhr- und Ausfuhrüber-
schuss der schweizerischen
Kraftwerke im Jahr 2003 im
Vergleich zu den Vorjahren.



Als Folge von reduzierter Produktion und gestiegenem Inlandverbrauch erreichte der Exportüberschuss aus den schweizerischen Kraftwerken mit 3112 GWh das zweittiefste Ergebnis der letzten zehn Jahre (Durchschnitt 7222 GWh). Im 1. und 4. Quartal mussten per Saldo 2300 GWh vom Ausland bezogen werden; im 2. und 3. Quartal betrug der Exportüberschuss rund 5400 GWh (Abb. 11.8).

Informationsquellen

- AZIENDA ELETTRICA TICINESE (AET): Mitteilung vom 19. Mai 2004 auf Anfrage des Bundesamtes für Wasser und Geologie.
- AXPO HOLDING AG, 2004: *Geschäftsbericht 2002/2003. Zum 3. Geschäftsjahr 2002/2003 (10. Oktober 2002 bis 30. September 2003)*. Baden: Axpo Holding AG.
- BUNDESAMT FÜR ENERGIE (BFE), 2004: *Elektrizitätsverbrauch im Jahr 2003*. Medienmitteilung vom 28. April 2004. Bern: BFE.
- BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (BWG), 2004: *Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz (WASTA)*. Biel: BWG.
- KRAFTWERK AUGST AG, 2004: *Geschäftsbericht 2002/2003*. Augst: Kraftwerk Augst AG.
- NEUE ZÜRCHER ZEITUNG (NZZ), 2003: *Historischer Wassertiefstand am Rhein/Trotz Regen können Kraftwerke noch nicht voll arbeiten*. Ausgabe vom 8. Oktober 2003.
- SCHWEIZERISCHE VEREINIGUNG FÜR ATOMENERGIE (SVA), 2004: *Monatsbericht über den Betrieb der schweizerischen Kernkraftwerke – Dezember 2003, Jahresrückblick 2003*. Beilage zum SVA-Bulletin Nr. 3/2004. Bern: SVA.

12 Schifffahrt

Das Hitzejahr 2003 wirkte sich auf die Schifffahrt unterschiedlich aus. Der rekordtiefe Wasserstand am Mittel- und Niederrhein schränkte im Spätsommer den Schiffsverkehr zwischen Basel und Rotterdam empfindlich ein, und auch der Ausflugsverkehr auf dem Hochrhein/Untersee musste mangels Wasser zeitweise eingestellt werden. Umgekehrt bescherte das schöne Ausflugs Wetter den meisten Schifffahrtsunternehmen nördlich der Alpen deutlich erhöhte Fahrgastzahlen.

12.1 Internationale Rheinschifffahrt

Die Rheinhäfen in Basel sind nach wie vor ein wichtiges Einfuhrtor der Schweiz für Massengüter. Die Wasserführung des Rheins ist daher von erheblicher Bedeutung für die Schweizer Wirtschaft. Im Jahr 2003 trat ab Mitte Juni auf der gesamten Länge des Rheins zwischen Rotterdam und Basel Niedrigwasser auf, das mit gewissen Schwankungen der Wasserführung bis in den Frühherbst immer extremer wurde. Nach Abschluss der Schneeschmelze in den Alpen wurden am Hochrhein oberhalb von Basel von Juli bis September ausserordentlich tiefe Werte registriert (vgl. Kap. 3.4.3). Am Mittelrhein zwischen Mainz und Köln sank die Wasserführung sogar auf historische Tiefstwerte.

Beim Pegel Kaub in der Nähe des Loreley-Felsens wurde der niedrigste Wert am 28. und 29. September 2003 mit 35 cm gemessen¹, 7 cm tiefer als die bisherige Rekordmarke aus dem Trockensommer 1947². Das bedeutete, dass an diesen beiden Tagen am Mittelrhein die Schiffe in der Fahrrinne mit einem Tiefgang von maximal 1,45 Metern verkehren konnten. Teilweise konnten die Schiffe nur noch 30 Prozent ihrer normalen Ladung aufnehmen. Die Frachtpreise blieben – nach einem Anstieg bereits im Frühjahr – den Sommer hindurch auf einem erhöhten Niveau³.

Im Verlauf des Sommers und Frühherbstes verschärfte sich die Lage, so dass zahlreiche Transportunternehmen ihre Aktivitäten auf dem Rhein reduzieren mussten. Ende September war die Lage derart kritisch, dass ein Teil der Mineralölprodukte, aber auch Container und Stahl, entlang des Rheins auf der Bahn transportiert werden mussten. Dabei zeigte es sich, dass die Schienenkapazitäten nicht ausreichten. Es fehlte sowohl an Lokomotiven und Wagen wie an Lokomotivführern¹, und die Umlaufzeit der Kesselwagen zwischen Basel und den Nordseehäfen betrug bis zu neun Tagen. Grössere Mengen an Getreide wurden daher in den Seehäfen zwischengelagert und erst nach Ende der Niedrigwasserphase in die Schweiz transportiert. Für die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) – ihr gehören die Niederlande, Belgien, Deutschland, Frankreich und die Schweiz an – hat der Extremsommer 2003 erneut gezeigt, wie wichtig die Flussschifffahrt für den Transport von Massengütern ist, da kurzzeitig keine alternativen Transportmöglichkeiten mobilisiert werden können³.

Von Januar bis zum 31. Oktober wurden in den Rheinhäfen beider Basel 6'070'633 Tonnen Güter umgeschlagen¹ – 14 % weniger als im gleichen Zeitraum des Vorjahres. Dieser Rückgang ist allerdings neben dem Niedrigwasser auch auf die Konjunkturlage zurückzuführen.

Unter den niedrigen Pegelständen litt auch die Fahrgastschiffahrt. Von Anfang August bis zum Wiederansteigen der Wasserführung im Oktober mussten 19 Fahrten von Hotelschiffen von und nach Basel annulliert werden, da sie den malerischen Abschnitt am Mittelrhein nicht mehr passieren konnten¹. Am 28. September lief in der Nähe der Loreley ein Ausflugsschiff auf Grund, wobei 38 Menschen leicht und drei schwer verletzt wurden⁴. Weitere durch den extrem tiefen Wasserstand verursachte Unfälle am Mittel- und Niederrhein (Grundberührungen, Kollisionen durch Verengung der Fahrrinne) liefen für Mensch und Umwelt glimpflich ab.

Anders als in früheren Niedrigwasserperioden, bei denen die grössten Probleme am Oberrhein zwischen Basel und Mainz auftraten, wurden im Sommer 2003 vor allem der Mittel- und Niederrhein von extremem Niedrigwasser betroffen. Ab Strassburg bzw. Iffezheim blieb Basel dank der Staustufen auf dem Flussweg gut erreichbar². Trotz der prekären Verhältnisse auf den unteren Flussabschnitten kam es jedoch zu keiner Zeit zur Einstellung des Schiffsverkehrs – anders als beispielsweise auf der Elbe, wo wegen des extremen Niedrigwassers der Verkehr ab Anfang August oberhalb von Magdeburg zum Erliegen kam.

12.2 Binnenschiffahrt

Der Ausflugsverkehr auf den Schweizer Seen zeigt im Jahr 2003 ein unterschiedliches Bild (Abb. 12.1). Auf der einen Seite profitierte die Mehrzahl der Schifffahrtsunternehmen vom anhaltend schönen und warmen Wetter, so dass insgesamt rund 12 Mio. Passagiere befördert wurden. Das sind 701'000 (+6,2 %) Personen mehr als im Vorjahr⁵. Das ideale Ausflugswetter auf der Alpennordseite wirkte sich allerdings negativ auf die Besucherzahlen im Tessin aus, so dass beispielsweise auf dem Luganersee weniger Passagiere gezählt wurden als im Vorjahr. Der relative Rückgang auf dem Neuenburger- und Murtensee ist dagegen auf den Umstand zurückzuführen, dass im Expo-Jahr 2002 die LNM (Navigation des Lacs de Neuchâtel et Morat), die auch auf dem Bielersee fährt, die Hauptsaison um zwei Monate verlängerte und offizieller Zubringer zur Expo.02 war. Die Bielersee-Schifffahrtsgesellschaft BSG hingegen war nicht offizieller Partner der Expo.02; deshalb wurde das Fahrplanangebot um ca. 30 % reduziert. Im Jahr 2003 hat die BSG den Fahrplan wieder ausgebaut, was mit ein Grund für die starke Zunahme der Passagierfrequenz gegenüber dem Vorjahr ist⁵. Das Nachexpojahr war für die Region der drei Jura- und Randseen generell ein schwieriges Jahr.

Negativ wirkte sich die Trockenheit auf die Schifffahrt auf dem Untersee und dem Hochrhein aus. Wegen des tiefen Wasserstandes musste der durchgehende Schiffs-

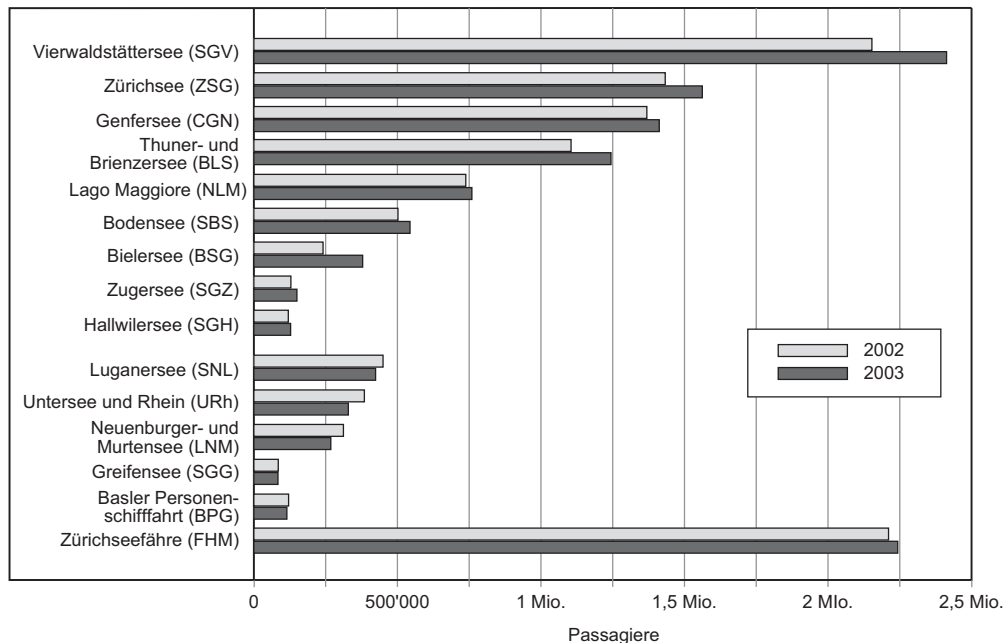


Abb. 12.1:
Passagierzahlen auf den Schweizer Seen in den Jahren 2003 und 2002. Daten: Verband Schweizerischer Schifffahrtsunternehmen (VSSU)

verkehr auf dem Rhein während 65 Tagen und auf dem Untersee während 29 Tagen eingestellt werden. Bereits am letzten April-Wochenende lag der Wasserstand zwischen Stein am Rhein und Diessenhofen vorübergehend zu tief⁶. Der rekordtiefe Seestand des Bodensees im Spätsommer (vgl. Kap. 3.5) führte schliesslich dazu, dass ab dem 4. August der Rhein für Fahrgastschiffe nicht mehr befahrbar war, und ab Anfang September verhinderten die Untiefen vor Konstanz und dem Eschenzerhorn die Fahrt auch auf dem Untersee (Abb. 12.2). Frequenzeinbussen durch Niedrigwasser erlitten auch die Schifffskurse zwischen Rorschach und Rheineck am Mündungsarm des Rheins in den Bodensee⁷.



Abb. 12.2:
Extremes Niedrigwasser:
Der Untersee bei Triboltingen unterhalb von Konstanz am 26. September 2003.
(Bild: Fotoagentur Ex-Press)

¹ Mitteilung der Rheinschiffbahndirektion Basel vom 26. November 2003.

² TAGES-ANZEIGER, 1. Oktober 2003.

³ ZENTRAALKOMMISSION FÜR DIE RHEINSCHIFFFAHRT (ZKR), Pressemitteilung vom 26. und 27. November 2003.

⁴ WESTDEUTSCHER RUNDFUNK (WDR), 28. September 2003 (www.wdr.de).

⁵ Mitteilung des Verbands Schweizerischer Schifffahrtsunternehmen vom 1. Juli 2004.

⁶ ST. GALLER TAGBLATT, 9. Oktober 2003.

⁷ INFORMATIONSDIENST FÜR DEN ÖFFENTLICHEN VERKEHR (LITRA), Pressedienst Nr. 2/04-1 vom 10. Februar 2004. www.litra.ch/Ausw_D/wir/infod.htm (Stand 13. April 2004)

13 Folgerungen

Wie in der Einleitung zu diesem Bericht erwähnt, ist es wegen der Komplexität der Wirkungen von klimatischen Extremereignissen nur sehr bedingt möglich, allgemeingültige Schlüsse zu ziehen. Aus der vorliegenden Dokumentation lassen sich aus der Sicht der Praxis dennoch einige Folgerungen ziehen.

13.1 Allgemeine Folgerungen

Bei der Durchsicht der für diesen Bericht aufgearbeiteten Daten und Beobachtungen über die Auswirkungen des Hitzejahrs 2003 auf die Gewässer ragen drei Ereignisse heraus: Die Probleme rund um die Wasserentnahmen für landwirtschaftliche Bewässerungen, die Fischsterben als Folge von erhöhter Wassertemperatur und des Trockenfallens von Bächen sowie das ausserordentlich starke Abschmelzen von Schnee und Gletschereis in den Alpen.

In anderen Bereichen blieben zwar Wirkungen nicht aus, doch hielten sich die negativen Folgen in Grenzen oder traten nur lokal auf (dies betrifft den Abfluss der grösseren Fliessgewässer, Seestände, Grundwasser und Trinkwasserversorgung), oder es zeigten sich keine unmittelbar bedrohlichen Effekte (chemische Inhaltsstoffe, bakterielle Aktivität, Feuchtgebiete, Badegewässer). In einzelnen Bereichen traten sowohl positive wie negative Wirkungen auf (elektrische Energie aus Wasserkraft, Schifffahrt).

Einmal mehr zeigte es sich im Jahr 2003, dass die wasserreiche Schweiz gegenüber Trockenperioden relativ unempfindlich ist – zumindest solange solche Perioden nicht in Serie auftreten und die Gletscher ihre Rolle als Wasserspeicher erfüllen. Zudem konnten dank des hohen Organisationsgrads von Gesellschaft, Wirtschaft und Behörden im Gewässerbereich viele potenzielle Probleme entschärft werden (Elektrizitätswirtschaft, Trinkwasserversorgung). Grössere Probleme traten vor allem dort auf, wo die Natur eine absolute Grenze setzte. Dies betrifft vor allem die kleineren Fliessgewässer ohne voralpines oder alpines Einzugsgebiet, wo die Wasserführung teilweise so gering wurde, dass für die Fische das Wasser fehlte und Wasserentnahmen verboten werden mussten.

Auch wenn die Lehren aus früheren Trockenzeiten gezogen und die Lage im Sommer 2003 deutlich besser bewältigt wurde als beispielsweise im sehr trockenen Frühsommer 1976, kann die Organisation der Behörden und Information der Bevölkerung weiter verbessert werden, insbesondere im Zusammenhang mit der Bewässerungspraxis in der Landwirtschaft.

Nach der ersten Durchsicht der Daten drängen sich auf Bundesebene jedoch keine unmittelbaren Massnahmen auf Stufe Gesetzgebung auf.

13.2 Folgerungen für einzelne Fachgebiete

Hydrologie und Zustand der Oberflächengewässer:

- Die jüngsten Erkenntnisse aus dem heisstrocknen Sommer 2003 werden in die Qualitätssicherung der hydrologischen Messnetze einfließen, insbesondere bei der Messung von Abfluss und Wassertemperatur bei extremem Niedrigwasser.
- Keine wesentlichen Probleme wurden trotz tiefer Wasserstände bei der Konzentration von chemischen Inhaltsstoffen beobachtet. Die klimatischen Bedingungen führten insgesamt dazu, dass die Abwasserreinigungsanlagen optimal betrieben werden konnten (geringer, aber konstanter Abwasseranfall, keine Regenwasserentlastungen). Der Zustand der Gewässer präsentierte sich im Sommer 2003 derart, dass keine besonderen Massnahmen zur Verbesserung der Situation in künftigen Trockenzeiten ergriffen werden müssen.
- Die Auswertung der Daten bestätigte die Bedeutung der verschiedenen Messnetze: Um ausserordentliche Ereignisse wie der Sommer 2003 einordnen zu können, sind langfristige, repräsentative Datenreihen nötig, aus denen der «Normalzustand» der Gewässer als Vergleichsbasis ermittelt werden kann.

Feuchtgebiete:

- Dank der hohen Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit von Auen und Mooren wurden im Sommer 2003 keine irreversiblen Veränderungen als Folge der klimatischen Extrembedingungen festgestellt. Allerdings fehlt es an gezielten Beobachtungen, und die durch häufig auftretende Hitze und Trockenheit ausgelösten Prozesse wie Verbuschung oder Einwanderung neuer Pflanzenarten können erst mittel- und langfristig beurteilt werden.
- Einmalige klimatische Extremereignisse wie der Sommer 2003 können hingegen an einem isolierten Standort Tier- und Pflanzenpopulation auslöschen, da die Wiederbesiedelung in ausgeräumten Landschaften ohne Wanderungskorridore nicht möglich ist. Das Vernetzen von Lebensräumen ist gerade bei klimatischen Extremereignissen von grösster Bedeutung für den Artenschutz.

Wasserentnahmen:

- Die Wasserentnahmen für landwirtschaftliche Bewässerungen haben auch im Trockensommer 2003 verschiedentlich zu Problemen geführt. Der grosse Ermessensspielraum der Kantone beim Aussprechen von Bewilligungen bzw. beim Verfügen von Verboten führte zu unterschiedlichen Erfahrungen im Umgang mit den Interessenkonflikten zwischen Landwirtschaft und Gewässerschutz. Auf Grund der Rückmeldungen aus den Kantonen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass leergepumpte Bäche die Ausnahme waren.

- Ein Verbesserungspotenzial gibt es bei der Information und bei den interkantonalen und internationalen Absprachen in den Grenzgebieten. Um Unsicherheiten bei den Nutzern zu vermeiden, sollten auf beiden Seiten eines Grenzgewässers zum gleichen Zeitpunkt ähnliche Regeln gelten. Wichtig für die Behörden sind gute Entscheidungsgrundlagen (Kenntnis der Gewässer, des effektiven Wasserbedarfs der landwirtschaftlichen Kulturen, der Auswirkungen von zu wenig Wasser, etc.), ein geeignetes Notfallkonzept (wo soll Wasser entnommen werden und wo nicht, wann soll bewässert werden, etc.) sowie die gute Kommunikation der betroffenen Entscheide.
- Ein offener Problemkreis ist die Wasserabgabe an die Landwirtschaft aus Trinkwasserversorgungen zum Selbstkostenpreis oder aus Grundwasservorkommen. Aus Sicht des Gewässerschutzes sollte Bewässerungswasser wenn immer möglich aus den Seen und den grossen Fliessgewässern gewonnen werden. Grosse Trinkwasserabgaben an die Landwirtschaft sind vor allem dort problematisch, wo das Trinkwasser in Quellen gefasst wird, die in Trockenzeiten besonders vom Versiegen bedroht sind.
- Handlungsbedarf zeichnet sich vor allem in Regionen ohne Seen und grosse Fliessgewässer ab: Als Folge des Wasserbedarfs der Landwirtschaft dürften bei vergleichbaren Witterungsverhältnissen die im Jahr 2003 beobachteten Konflikte auch in Zukunft auftreten.
- Generell ist festzuhalten, dass die verschiedenen Aspekte der Wasserentnahme für Bewässerungszwecke vertieft untersucht werden sollten. Angeregt wurde auch das Erarbeiten eines Merkblatts für Gemeinden und Landwirte über die «Gute Praxis» beim Bewässern von Kulturen in Zeiten mit extremem Niedrigwasser.

Fische und Fischerei:

- In diesem Bereich konzentrierten sich im Sommer 2003 die Probleme vor allem auf das Mittelland und den Jura und wurden in erster Linie durch das weitgehende oder vollständige Trockenfallen von ganzen Gewässerabschnitten ausgelöst. Rettungsaktionen für die Fische kamen wegen der hohen Arbeitsbelastung des Fischereipersonals oft zu spät. Das wirkliche Ausmass des trockenheitsbedingten Fischsterbens kann nur abgeschätzt werden. Die natürlichen Fressfeinde räumen tote Fische sofort ab und eine systematische Beobachtung, besonders auch der abgelegenen Gewässerabschnitte, ist wegen des hohen Personalaufwands nicht möglich.
- Schlüssige Erkenntnisse fehlen auch zu den Folgen von Notabfischungen und Umsetzaktionen. Denkbar ist ein verstärkter Konkurrenzdruck in den zusätzlich bestockten Gewässerabschnitten. Die dazu nötigen Grundlagenarbeiten werden allerdings durch den Umstand erschwert, dass sie während Extremereignissen

durchgeführt werden müssten – zu einem Zeitpunkt, da das Fischereipersonal ohnehin alle Hände voll zu tun hat.

- Neben den geringen Abflussmengen führten ausserhalb des Alpenraums auch die erhöhten Wassertemperaturen zu Problemen für die Kaltwasser liebenden Fische. Lokal kann dieses Problem durch das Verbessern der Durchgängigkeit der Fliessgewässer gemildert werden. Schwellen und Wehre bilden oft Hindernisse. Strukturvielfalt und tiefe Gewässerabschnitte bieten dagegen den Fischen in Hitzeperioden Rückzugsmöglichkeiten. Zudem empfiehlt sich das Anpflanzen von Ufergehölzen, die durch ihren Schattenwurf die Gewässer kühl halten.
- Ein Verbesserungspotenzial gibt es bei der Koordination der kantonal unterschiedlichen Handhabung von Fangverboten, insbesondere bei den Grenzgewässern.

Badegewässer:

- Es liegen keine Hinweise auf besondere witterungsbedingte Probleme vor.

Trinkwasserversorgung:

- Die in der Schweiz gut ausgebaute Trinkwasserversorgung kam im Jahr 2003 angesichts des seit Jahren sinkenden Wasserkonsums gut über die Runden. Vereinzelt traten Probleme bei kleinen und isolierten Wasserversorgungen auf.
- Signifikante witterungsbedingte Qualitätsprobleme beim Rohwasser wurden 2003 nicht beobachtet. Wie überall im Land konnte auch im besonders betroffenen Tessin den Konsumenten jederzeit einwandfreies Wasser geliefert werden.

Produktion von elektrischer Energie:

- Die Stromproduktion der Wasserkraftwerke lag im Jahr 2003 nur leicht unter dem Mittel der letzten zehn Jahre. Die Minderproduktion der Laufkraftwerke während der Trockenperiode konnte durch den verstärkten Einsatz der Speicherkraftwerke kompensiert werden. Dies lässt den Schluss zu, dass die Elektrizitätswirtschaft mit den Ausnahmebedingungen gut zurechtkam.

Schifffahrt:

- Während der extrem tiefen Wasserstände im Mittel- und Niederrhein im September 2003 zeigte es sich, dass in solchen Lagen kurzfristig nicht genügend alternative Transportmöglichkeiten für Massengüter bereitgestellt werden können. Dabei spielt auch der Trend zur Reduktion der Lagerhaltungen eine gewisse Rolle.

