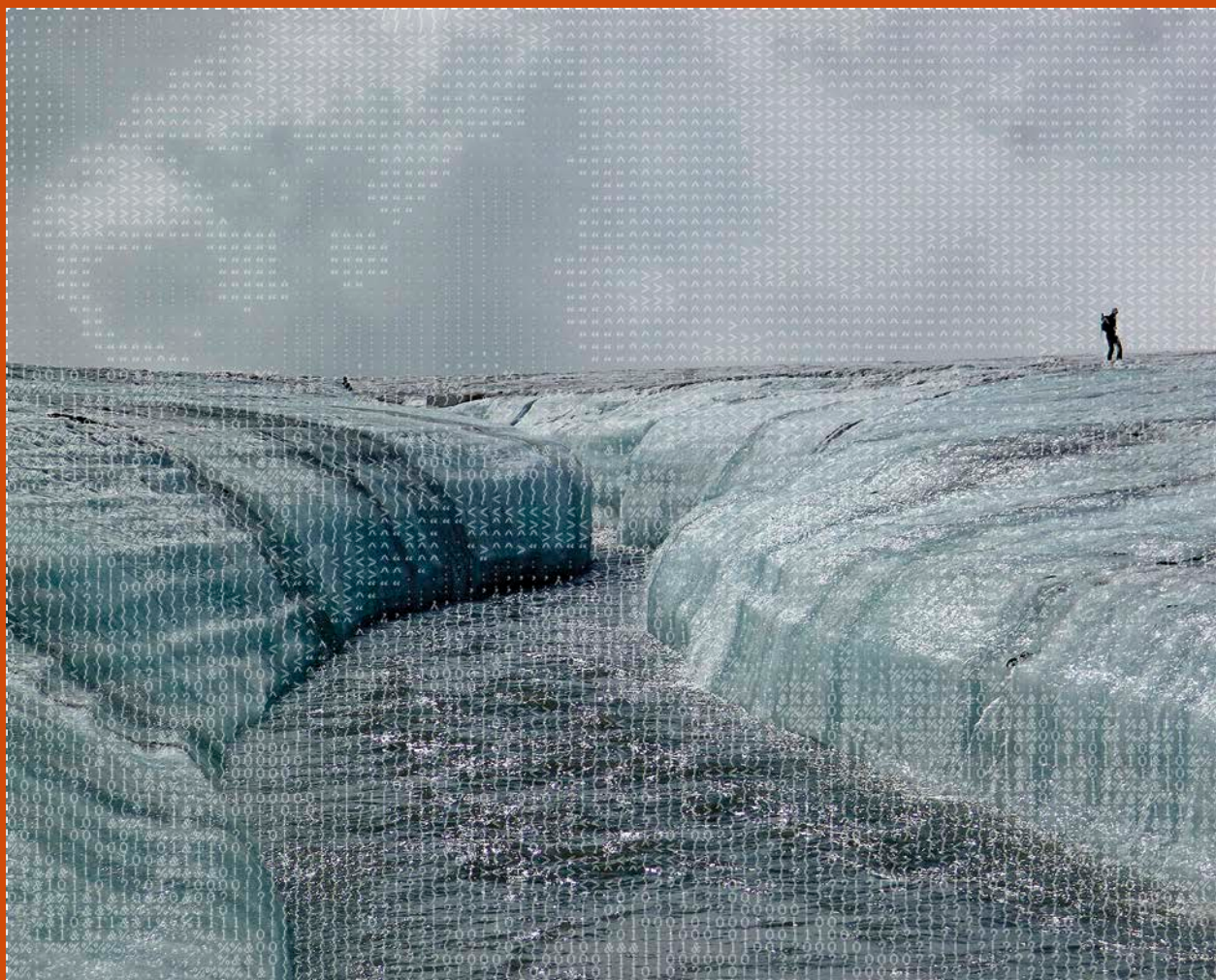


> Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2015

Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Inhalt

Vorwort	3
Abstracts	4
Zusammenfassung	5

1 Besonderheiten im Jahr 2015	6
--------------------------------------	----------

2 Witterung	13
--------------------	-----------

3 Schnee und Gletscher	14
-------------------------------	-----------

4 Oberflächengewässer	16
------------------------------	-----------

5 Grundwasser	32
----------------------	-----------

Anhang	34
---------------	-----------

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Redaktion

Abteilung Hydrologie des BAFU

Witterung: Bundesamt für Klimatologie und Meteorologie (MeteoSchweiz)

Schnee: WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF)

Gletscher: Departement für Geowissenschaften der Universität Freiburg und Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)

Zitiervorschlag

BAFU (Hrsg.) 2016: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2015.

Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. UZ-1617-D: 36 S.

Lektorat

Jacqueline Dougoud, Zürich

Gestaltung

Magma – die Markengestalter, Bern

Titelfoto

Ein grosser Strom ergiesst sich Anfang August 2015 aus dem Faverges-Gletschersee (Glacier de la Plaine Morte).

Foto: Matthias Huss, Departement für Geowissenschaften der Universität Freiburg

Bildnachweis

Seite 15: Matthias Huss, Departement für Geowissenschaften der Universität Freiburg

Datengrundlage

Die hydrologischen Analysen basieren auf provisorischen Daten des Jahres 2015.

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-1617-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer, italienischer und englischer Sprache erhältlich.

Weiterführende Informationen und Datenbezug unter www.bafu.admin.ch/wasser

> Vorwort

Das hydrologische Jahr 2015 war geprägt von zwei sehr unterschiedlichen, markanten hydrologischen Ereignissen: einer Woche mit grossen Hochwassern Ende April bis Anfang Mai und dann einer langen warmen und recht trockenen Periode, die sich vom Frühjahr bis in den Winter 2015/16 hineinzog. Auch wenn solche Gegensätze natürlich immer wieder mal vorkommen können, verstärken wiederholte Wetterextreme doch das Gefühl der Gesellschaft, dass die Auswirkungen des Klimawandels langsam, aber sicher spürbar werden. Die Medien haben dieses Thema ebenfalls aufgegriffen, wie die zahlreichen Anfragen zeigten, die im Sommer 2015 an das Bundesamt für Umwelt (BAFU) gerichtet wurden.

Das BAFU hat zusammen mit MeteoSchweiz und weiteren Bundesämtern ein neues Netzwerk für Klimadienstleistungen geschaffen, das «National Centre for Climate Services» (NCCS). Dieses Netzwerk soll Entscheidungsträgern, aber auch der Bevölkerung Informationen über den Klimawandel und seine Auswirkungen zur Verfügung stellen. Die Abteilung Hydrologie hat die Federführung der Projekte zum Thema «Hydrologische Grundlagen für die Anpassung an den Klimawandel» übernommen, um Antworten zu liefern auf Fragen der Wirtschaft (Landwirtschaft, Wasserwirtschaft) oder des Gemeinwesens, beispielsweise aus dem Bereich des Hochwasserschutzes.

Hinter den Texten und Tabellen des «Hydrologischen Jahrbuchs» stecken grosse Mengen von Daten, die gesammelt, gespeichert, analysiert und in Wert gesetzt werden. Es würde zu weit führen, alle Aufgaben zu nennen, die nötig sind, um Daten von hoher Qualität bereitstellen zu können. Für das Jahr 2015 darf aber besonders das Zusammentragen und die Übertragung der Daten hervorgehoben werden: Die Abteilung Hydrologie des BAFU hat gemeinsam mit dem Eidgenössischen Institut für Metrologie (METAS) ein Konzept erarbeitet, wie die elektronische Ausstattung der hydrometrischen Messstationen erneuert werden kann, um die Ausrüstung aller Stationen zu standardisieren und die Datenübertragung zu modernisieren. Tests in 15 Stationen während sechs Monaten haben ergeben, dass die gewählte Technologie verlässlich, robust und vielseitig ist.

Mit der Veröffentlichung des «Hydrologischen Jahrbuchs 2015» wird wieder ein regelmässiger Erscheinungsrhythmus dieser Publikation erreicht. Allen Personen, die zu diesem Jahrbuch beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Es liegt nun ein Format des «Hydrologischen Jahrbuchs» vor, von dem das BAFU überzeugt ist, dass es sich auch längerfristig bewährt.

Olivier Overney
Leiter der Abteilung Hydrologie
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Abstracts

The Hydrological Yearbook of Switzerland is published by the Federal Office for the Environment (FOEN) and gives an overview of the hydrological situation in Switzerland. It shows the changes in water levels and discharge rates of lakes, rivers and groundwater and provides information on water temperatures and the physical and chemical properties of the principal rivers in Switzerland. Most of the data is derived from FOEN surveys.

Keywords:

hydrology, rivers, lakes, groundwater, water level, discharge, water temperature, water quality

Das «Hydrologische Jahrbuch der Schweiz» wird vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) herausgegeben und liefert einen Überblick über das hydrologische Geschehen auf nationaler Ebene. Es zeigt die Entwicklung der Wasserstände und Abflussmengen von Seen, Fließgewässern und Grundwasser auf und enthält Angaben zu Wassertemperaturen sowie zu physikalischen und chemischen Eigenschaften der wichtigsten Fließgewässer der Schweiz. Die meisten Daten stammen aus Erhebungen des BAFU.

Stichwörter:

Hydrologie, Fließgewässer, Seen, Grundwasser, Wasserstand, Abfluss, Wassertemperatur, Wasserqualität

Publié par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), l'Annuaire hydrologique de la Suisse donne une vue d'ensemble des événements hydrologiques de l'année en Suisse. Il présente l'évolution des niveaux et des débits des lacs, des cours d'eau et des eaux souterraines. Des informations sur les températures de l'eau ainsi que sur les propriétés physiques et chimiques des principaux cours d'eau suisses y figurent également. La plupart des données proviennent des relevés de l'OFEV.

Mots-clés:

hydrologie, cours d'eau, lacs, eaux souterraines, niveaux d'eau, débits, température de l'eau, qualité de l'eau

L'«Annuario idrologico della Svizzera», edito dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), fornisce una visione d'insieme degli eventi idrologici in Svizzera. Illustra l'andamento dei livelli idrometrici e delle portate dei laghi, dei corsi d'acqua e delle acque sotterranee e contiene informazioni sulle temperature e sulle proprietà fisiche e chimiche dei principali corsi d'acqua in Svizzera. I dati in esso pubblicati provengono in gran parte da rilevazioni effettuate dall'UFAM.

Parole chiave:

idrologia, corsi d'acqua, laghi, acque sotterranee, livelli delle acque, portate, temperatura dell'acqua, qualità dell'acqua

> Zusammenfassung

Witterung

Die Jahrestemperatur 2015 lag in den meisten Gebieten der Schweiz 1,0 bis 1,4 Grad über der Norm 1981–2010. Der Jahresniederschlag erreichte auf der Alpennordseite meist nur 60 bis 85 % der Norm. In den Alpen waren es verbreitet 80 bis 100 %, während die Alpensüdseite 70 bis 95 % verzeichnete.

Schnee und Gletscher

Über den ganzen Winter 2014/15 gemittelt waren die Schneehöhen am Alpensüdhang ohne die Bündner Südtäler und in den nördlich und westlich angrenzenden Gebieten überdurchschnittlich, sonst waren sie verbreitet knapp durchschnittlich. Die Gletscher der Schweizer Alpen wiesen 2015 überdurchschnittliche Massenverluste auf. Der heisse Juli führte zu extremer Gletscherschmelze, die Abkühlung im August und September verhinderte aber Rekordwerte.

Abflussverhältnisse

Die Jahresmittel des Abflusses von Oberflächengewässern lagen 2015 mehrheitlich unter der Norm. In vergletscherten Einzugsgebieten wiesen diese normale bis überdurchschnittliche Abflüsse auf. Ein Hochwasserereignis Anfang Mai brachte sehr hohe Abflussspitzen in der Westschweiz zwischen Genfersee und Basel. Die zweite Jahreshälfte war ausgesprochen niederschlagsarm. An vielen Messstellen wurden von Juli bis Dezember jeden Monat unterdurchschnittliche Abflüsse registriert. In einigen Gebieten stiegen die Monatswerte ab Juli nie über 80 % der langjährigen Mittelwerte. Auf der Alpennordseite wurden verbreitet neue monatliche Abflussminima gemessen.

Seestände

Im Mai sind neue monatliche Höchstwerte aufgetreten. Am Neuenburgersee und am Genfersee lagen die mittleren Wasserstände rund 30 cm über den langjährigen Monatsmittelwerten. Der Pegel des Neuenburgersees lag seit der zweiten Jura-gewässerkorrektur nie höher. Die lange niederschlagsarme Periode der zweiten Jahreshälfte führte nicht bei allen Seen zu tiefen Wasserständen. Einige konnten vom relativ hohen Niveau profitieren, das sie nach den Mai-Hochwassern aufwiesen. Seen, die nicht von diesem Effekt profitieren konnten, verzeichneten im Herbst neue saisonale Tiefstände.

Wassertemperaturen

Insgesamt setzen die Jahresmittelwerte von 2015 den seit 1960 beobachteten und bisher ungebrochenen Trend des Wassertemperaturanstiegs fort. Im Frühling wurde ein normaler Temperaturverlauf bei den Fliessgewässern beobachtet. Dagegen setzte im Juli eine ausgeprägte Hitzeperiode ein. Der dadurch teilweise starke Anstieg der Wassertemperatur wurde, wie auch im späteren Verlauf des Sommers/Herbstes, immer wieder durch Abkühlungen unterbrochen.

Stabile Isotope

Auch im Jahr 2015 zeichnen sich die stabilen Isotope im Niederschlag durch für den Winter niedrige δ -Werte aus. Im Sommer wurden, dem Hitzesommer 2015 entsprechend, überdurchschnittliche δ -Werte gemessen. Der Hitzesommer hatte aber auch zur Folge, dass in dieser Zeit mehr Gletscherschmelzwasser – mit negativeren δ -Werten – zum Abfluss kam.

Grundwasser

Das Jahr 2015 begann verbreitet mit normalen Grundwasserständen und Quellschüttungen und endete infolge der anhaltenden Trockenheit ab Juni auf tiefem Niveau.

1 > Besonderheiten im Jahr 2015

Intensive Niederschläge führten Anfang Mai 2015 zu einer Hochwassersituation. Die Pegel einiger Gewässer entsprachen der Gefahrenstufe 4. Die Sommermonate Juli und August 2015 hingegen bleiben als aussergewöhnlich trocken und heiss in Erinnerung. Auch im Herbst fielen für die Jahreszeit deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Besonders ausgeprägt zeigte sich die Situation Mitte November im Mittelland und im Jura.

1.1 Hochwasserereignis von Anfang Mai 2015

Aussergewöhnlich intensive Niederschläge hatten Anfang Mai die Gewässer der Alpennordseite und der Westschweiz sehr stark ansteigen lassen. Die meteorologische und klimatologische Einschätzung des Starkniederschlags durch MeteoSchweiz zeigt, dass starke west- bis südwestliche Höhenwinde sehr feuchte und zunehmend auch milde Luft subtropischen Ursprungs zum Alpenraum geführt hatten. Die Front blieb lange Zeit beinahe stationär über der Schweiz liegen. Das führte zu anhaltenden und teils ergiebigen Niederschlägen. Die gemessenen Niederschlagsmengen blieben während der gesamten sechstägigen Niederschlagsperiode hoch.

Niederschlagssumme vom 30. April bis 6. Mai 2015
(mm)

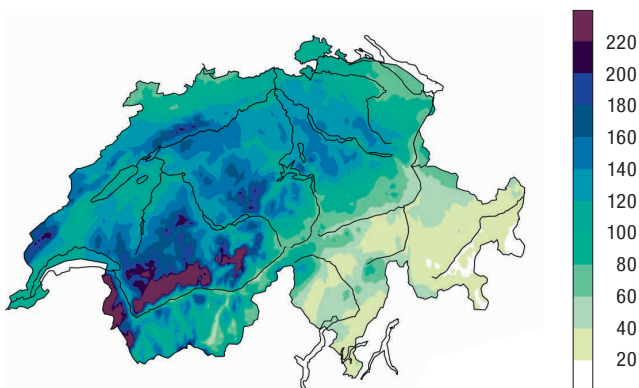


Abb. 1.1 Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen vom 30. April bis 6. Mai 2015. Dargestellt sind die absoluten Werte in Millimetern. Quelle: MeteoSchweiz.

Mehr Niederschlag als sonst im ganzen Mai

Vom 30. April bis 6. Mai fielen im Mittel über die ganze Schweiz rund 100 mm Regen. Die grössten Mengen gingen im Unterwallis, in den Waadtländer Alpen sowie im angrenzenden Berner Oberland nieder. Rund um die Dents du Midi und von Les Diablerets bis in die Wildstrubel-Region erhielten höhere Lagen 200 mm Niederschlag und mehr (Abb. 1.1). Dies entspricht stellenweise bis zu 140 % der üblichen Niederschlagssumme für den ganzen Monat Mai.

Starke Anstiege der Gewässer

Die intensiven Regenfälle haben die Flüsse und Seen in den betroffenen Gebieten rasch und stark ansteigen lassen. Erste Abflussspitzen wurden bereits am Freitagabend, 1. Mai beobachtet. Am Samstagvormittag, 2. Mai erreichten viele kleinere Gewässer Höchststände, wie sie schon lange nicht mehr oder gar in den letzten Jahrzehnten noch nie gemessen worden waren. Da auch in den nachfolgenden Tagen immer wieder Regen fiel, stiegen selbst grössere Gewässer wie die Aare, der Rhein, der Thunersee oder die Jurarandseen auf ein hohes Niveau an. Die Pegel einiger Gewässer entsprachen der Gefahrenstufe 4 (grosse Hochwassergefahr). Auch führte der Starkniederschlag lokal zu einem deutlichen und unmittelbaren Anstieg der Grundwasserstände.

Der Rhein führte zeitweise so viel Wasser, dass die Schifffahrt eingestellt werden musste. Durch die vorausschauende Regulierung der Seen konnten in der Aare noch grössere Abflussspitzen und Hochwasserschäden vermieden werden. Mancherorts kam es aber lokal zu kritischen Situationen und wegen der durchnässten Böden zu Rutschungen.

Hochwasserereignisse Anfang Mai 2015 – Fließgewässer

Stationsname	Perioden- länge (Jahre)	Bisheriges Maximum (m³/s)	Zeitpunkt (Monat/ Jahr)	Bisheriges Maximum Mai (m³/s)	Zeitpunkt (Jahr)	HQ ₂₀₁₅ (m³/s)	Datum	Zeit	Jährlich- keit	Max. erreichte Gefahren- stufe
Aare – Bern, Schönaue	80	613	5/1999	613	1999	510	04.05.15	17:42	30–50	4
Aare – Brugg, Aegerten	80	761	5/1999	761	1999	737	07.05.15	23:40	50–100	4
Aare – Murgenthal	80	1262	8/2007	926	1985	974	04.05.15	08:55	10–30	3
Aare – Thun	80	564	5/1999	564	1999	480	05.05.15	10:22	50–100	4
Arve – Genève, Bout du Monde	80	840	9/1968	548	1999	905*	02.05.15	08:02	>100	5
Broye – Payerne, Caserne d'aviation	95	415	12/1944	161	1977	253	02.05.15	00:15	10–30	3
Grande Eau – Aigle	80	123	11/1944	52,3	1999	60,2	04.05.15	08:17	10–30	3
Gürbe – Belp, Mülimatt	92	60,8	8/2014	44,6	1999	51,4	04.05.15	07:07	10–30	3
Murg – Murgenthal, Walliswil	34	57,3	8/2007	27,7	2013	53,4	01.05.15	21:35	10–30	3
Rhône – Chancy, Aux Ripes	80	1700	11/1944	1305	1999	1238	02.05.15	07:45	10–30	2
Rhône – Genève, Halle de l'île	80	740	11/2002	650	1978	689	07.05.15	06:05	30–50	–
Sarine – Broc, Château d'en bas	92	460	9/1940	269	1999	325	02.05.15	02:35	10–30	3
Simme – Latterbach	29	316	8/2005	225	1999	213	04.05.15	07:41	10–30	2
Simme – Oberwil	94	200	11/1944	136	1999	128	04.05.15	07:25	10–30	3
Veveyse – Vevey, Copet	31	155	7/2007	76,4	1999	159*	02.05.15	02:25	30–50	4

Hochwasserereignisse Anfang Mai 2015 – Seen

Stationsname	Perioden- länge (Jahre)	Bisheriges Maximum (m ü. M.)	Zeitpunkt (Monat/ Jahr)	Bisheriges Maximum Mai (m ü. M.)	Zeitpunkt (Jahr)	HW ₂₀₁₅ (m ü. M.)	Datum	Zeit	Max. erreichte Gefahren- stufe
Bielersee – Ligerz, Klein Twann	32	430,88	8/2007	430,19	1999	430,51	06.05.15	15:15	4
Brienzersee – Ringgenberg	74	566,05	8/2005	565,36	1999	564,76	06.05.15	08:35	2
Lac de Neuchâtel – Neuchâtel, Port	32	430,27	8/2007	430,05	1999	430,44*	08.05.15	14:55	3
Lac Léman – St-Prex	72	372,88	12/1965	372,43	1986	372,43	07.05.15	04:35	2
Murtensee – Murten	32	430,47	4/2006	430,09	1983	430,44	08.05.15	18:05	3
Thunersee – Spiez, Kraftwerk BKW	74	559,25	8/2005	559,17	1999	558,39	05.05.15	03:32	4
Vierwaldstättersee – Luzern	79	435,23	8/2005	434,94	1999	434,15	06.05.15	21:55	2
Zugersee – Zug	85	414,49	5/1999	414,49	1999	414,06	07.05.15	03:45	2

* neue absolute Höchstwerte

fett: neue Mai-Maxima

Neue Rekorde an Arve und Neuenburgersee

Die Arve bei Genf führte Abflussmengen, wie sie seit Messbeginn 1935 noch nie beobachtet worden waren. Sie verzeichnete am 2. Mai ein über 100-jährliches Hochwasser. Auch am Neuenburgersee bei Neuenburg wurde am 8. Mai ein neuer Höchststand aufgezeichnet: Mit einem Wasserstand von 430,44 m ü. M. überragte er das bisherige Maximum vom August 2007 von 430,27 m ü. M. um 17 cm.

Neue Höchstwerte für den Monat Mai wurden zum Beispiel an der Broye, an der Aare bei Murgenthal, an der Birse bei Moutier, an der Gürbe bei Belp, an der Venoge bei Ecublens, an der Veveyse bei Vevey (30-jährliches Hochwasser) sowie am Bieler-, Murten- und Genfersee beobachtet.

Detaillierte Angaben zu den höchsten Messwerten und den maximal erreichten Gefahrenstufen sind der Zusammenstellung auf Seite 7 und der Abbildung 1.2 zu entnehmen.

Normalisierung der Wasserstände

Nachdem die Niederschläge nachgelassen hatten, sanken die Pegel und Abflüsse der meisten Flüsse und Seen. Hoch blieben weiterhin die Seen im Berner Oberland, die Jurarandseen sowie die Aare unterhalb des Thuner- und Bielersees. Dank der darauffolgenden günstigen Witterung normalisierte sich die Hochwasserlage aber auch an diesen Gewässern in der zweiten Maihälfte.

Hochwassersituation der Fliessgewässer
Anfang Mai 2015

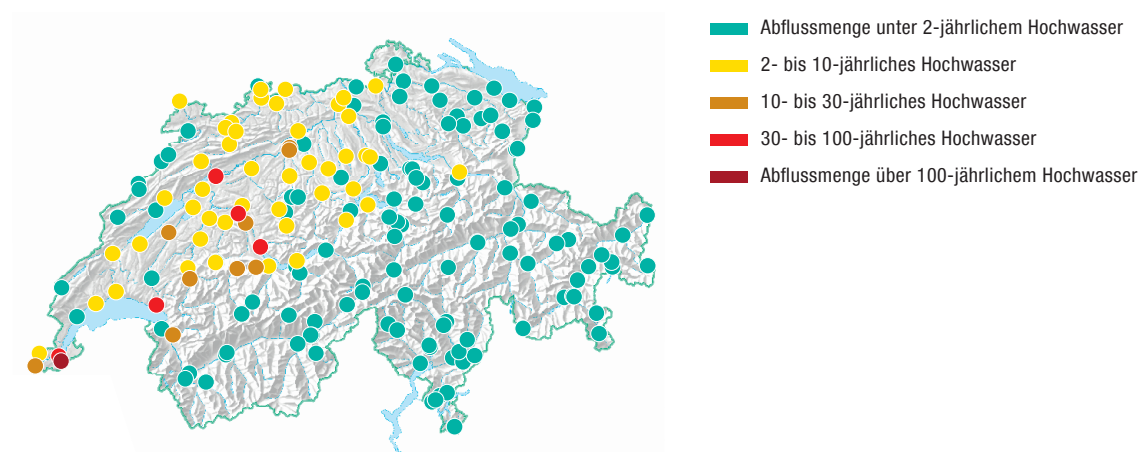


Abb. 1.2 Vergleich der maximalen Abflüsse mit der Hochwasserstatistik.

1.2 Trockenheit im Sommer und Herbst 2015

Nach einer ersten Jahreshälfte mit insgesamt knapp durchschnittlichen bis leicht feuchten Verhältnissen fiel ab Ende Juni 2015 in weiten Teilen der Schweiz aussergewöhnlich wenig Niederschlag (Abb. 1.3). Die daraus resultierende Trockenheit wirkte sich sichtbar auf die Wasserstände der Gewässer aus.

Schon Mitte Juli wurden an einigen Abflussmessstationen im westlichen Mittelland Abflüsse beobachtet, die im Schnitt nur etwa alle zwei bis zehn Jahre zu erwarten sind. Während der Monate August und September verschärfte sich die Niedrigwassersituation. Nun waren vermehrt auch kleinere und mittlere Fliessgewässer im Jura sowie im zentralen und östlichen Mittelland von aussergewöhnlich tiefen Abflüssen betroffen, die nur alle zwei bis zehn Jahre, zum Teil auch noch seltener vorkommen. In einigen Regionen wurden ab Juli von den lokalen Behörden Einschränkungen und Verbote bezüglich Wasserentnahmen aus Fliessgewässern ausgesprochen.

Zunehmend wiesen auch zahlreiche Seen deutlich unterhalb der saisonalen Norm liegende Pegelstände auf. Dies betraf insbesondere den Bodensee, den Walensee und in der Innerschweiz den Sarner-, Vierwaldstätter- und Zugersee. Am Zürich- und am Pfäffikersee wurden im August und September gar neue Monatsminima verzeichnet. An den Jurarandseen sowie am Thuner- und am Brienersee blieben die Wasserstände allerdings im saisonalen Normbereich. Ebenso wiesen die von den Gletschern gespeisten Flüsse in den Alpen mehr-

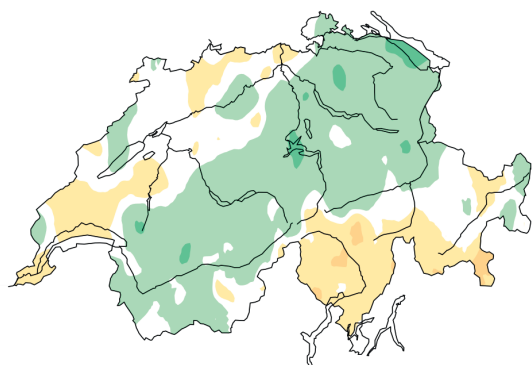
heitlich für die Jahreszeit übliche oder durch die aussergewöhnlich grosse Schmelze gar erhöhte Abflusswerte auf.

Als Folge einiger Niederschläge entspannte sich die Niedrigwassersituation von Ende September bis Mitte Oktober vorübergehend leicht. Wenn auch die Abflüsse verbreitet unterdurchschnittlich blieben, kamen die Seestände – ausser beim Zugersee – allmählich wieder in den Bereich des langjährigen saisonalen Mittels zu liegen.

Die Niedrigwassersituation akzentuierte sich anschliessend erneut während der ausgeprägten Trockenheit ab Ende Oktober. Die Wasserstände sind um diese Jahreszeit üblicherweise eher tief, doch im Jahr 2015 war die Situation deutlich ausgeprägter. Auch an den grossen Flüssen, insbesondere an der Aare ab dem Bielersee, an der Limmat, der Thur und am Rhein unterhalb des Bodensees, wurden nun Abflussmengen beobachtet, die nur rund der Hälfte des jahreszeitüblichen Wertes entsprechen und statistisch gesehen nur alle zwei bis zehn Jahre vorkommen (Abb. 1.4). An vielen Bächen und kleineren Flüssen auf der Alpennordseite wurden Mitte November Niedrigwasserabflüsse registriert, die noch seltener zu erwarten sind. Betroffen waren insbesondere Fliessgewässer im Jura, vermehrt aber auch solche in den Voralpen. Einzelne Bäche und Flussabschnitte, wie beispielsweise der Oberlauf der Töss, sind gar vollständig trockengefallen. Lokal mussten Gewässer ausgefischt werden.

Halbjahres-Niederschlagssummen 2015 in % des Normwertes
(Referenzperiode 1981–2010)

Januar–Juni 2015



Juli–Dezember 2015

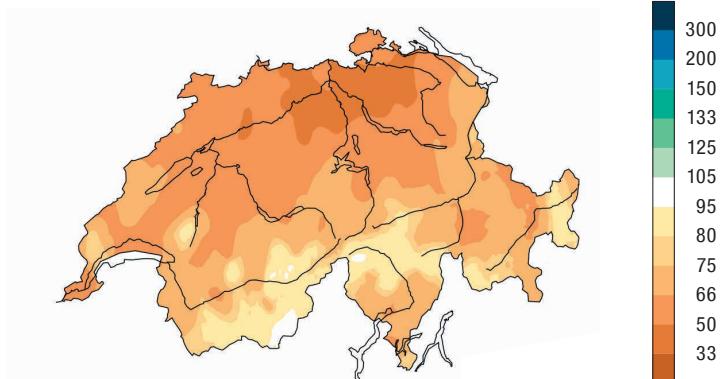


Abb. 1.3 Die Niederschlagssummen der beiden Jahreshälften 2015 fielen sehr unterschiedlich aus. Während von Januar bis Juni in grossen Teilen der Schweiz überdurchschnittlich viel Niederschlag fiel, lagen die Summen von Juli bis Dezember im ganzen Land deutlich unter der Norm 1981–2010. Quelle: MeteoSchweiz.

Auch die Mehrheit der Seen wies wieder deutlich unterdurchschnittliche Werte auf. Betroffen waren nun zusätzlich auch der Brienzersee, die Jurarandseen und der Lago di Lugano. Am Sarner- und am Zürichsee wurden neue Novembertiefststände erreicht. Die Pegel des Ägeri- und des Pfäffikersees waren so tief wie noch nie seit Messbeginn 1974 bzw. 1987.

Die Niederschläge ab dem 20. November auf der Alpen-nordseite führten vor allem an den kleinen und mittleren Fliessgewässern zu einer Entschärfung der Situation. Der wiederum trockene Dezember liess die Abflussmengen aber wieder zurückgehen. Von aussergewöhnlich tiefen Abflüssen betroffen waren dann insbesondere Messstationen in den Alpen, so etwa an der Rhone und im Einzugsgebiet des Alpenrheins.

Die extreme Niederschlagsarmut auf der Alpensüdseite bewirkte auch im Tessin Niedrigwasserabflüsse mit einer Jährlichkeit zwischen zwei und zehn Jahren (Abb. 1.4). Zudem fielen die Pegel des Lago Maggiore und des Lago di Lugano auf sehr tiefe Werte.

Niedrigwassersituation der Fliessgewässer
2015

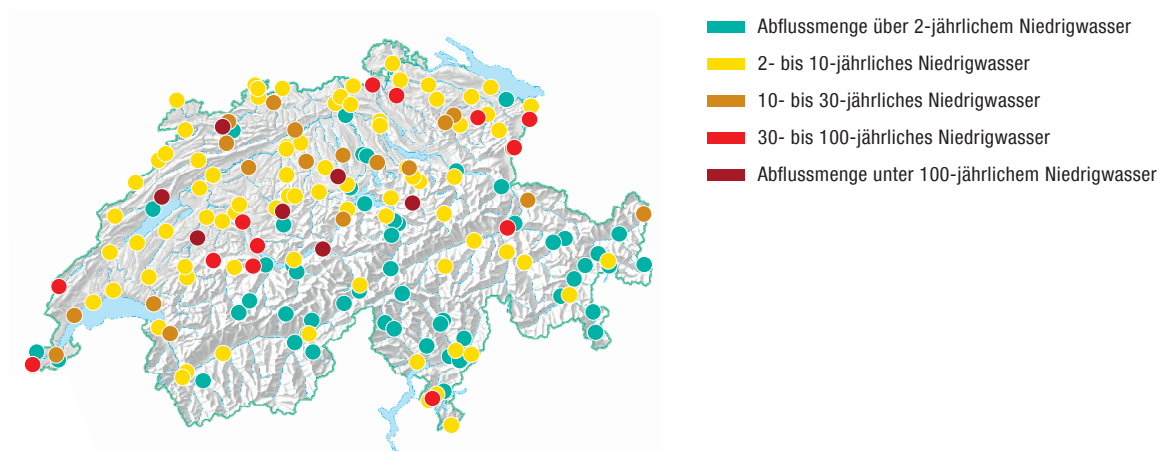


Abb. 1.4 Vergleich der minimalen Abflüsse (Mittelwert über 7 Tage) mit der Niedrigwasserstatistik.

Zunehmend tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen

Die ab Juni herrschende Trockenheit machte sich bei den Grundwasserständen und Quellschüttungen zunächst wenig bemerkbar, da diese nach den überdurchschnittlichen Niederschlägen im Mai von einem normalen bis hohen Niveau ausgingen. Im Sommer waren daher noch verbreitet normale Grundwasserstände und Quellschüttungen zu verzeichnen (Kap. 5.1). Im Zuge der Trockenheit sanken die Grundwasserstände und Quellschüttungen dann aber kontinuierlich ab. Tiefe Grundwasserstände beschränkten sich zunächst auf kleine Flusstäler des Jura, des Mittellandes und des Alpenvorlandes. Einen Rückgang der Schüttung zeigten zudem Karstquellen im Jura und Lockergesteinsquellen im Mittelland, die aus oberflächennahen Grundwasservorkommen gespeist werden. Im Sommer 2015 lagen die Grundwasserstände und Quellschüttungen jedoch generell höher als im Hitzesommer 2003.

Mit tieferen Lufttemperaturen im Herbst nahmen die Gletscherschmelze in den Alpen und damit auch die Flusswasserinfiltration der grossen Alpenflüsse ins Grundwasser ab. Somit waren die Grundwasserstände im Herbst auch entlang der grossen Flüsse zunehmend tief. Infolge der anhaltenden Trockenheit im Herbst 2015 sanken die Grundwasserstände und Quellschüttungen nun verbreitet unter diejenigen von 2003. Im Jura traten die tiefsten Grundwasserstände und Quellschüttungen des Jahres 2015 Mitte November auf, denn hier führten die teils ausgiebigen Niederschläge vom 20./21. November zu einer nennenswerten Grundwasserneu-

bildung. In den anderen Gebieten wurden die tiefsten Grundwasserstände und Quellschüttungen des Jahres Ende Dezember beobachtet. Lokal traten neue Tiefstwerte für den Monat Dezember auf, so beispielsweise an der Messstelle Glattfelden (Abb. 1.5).

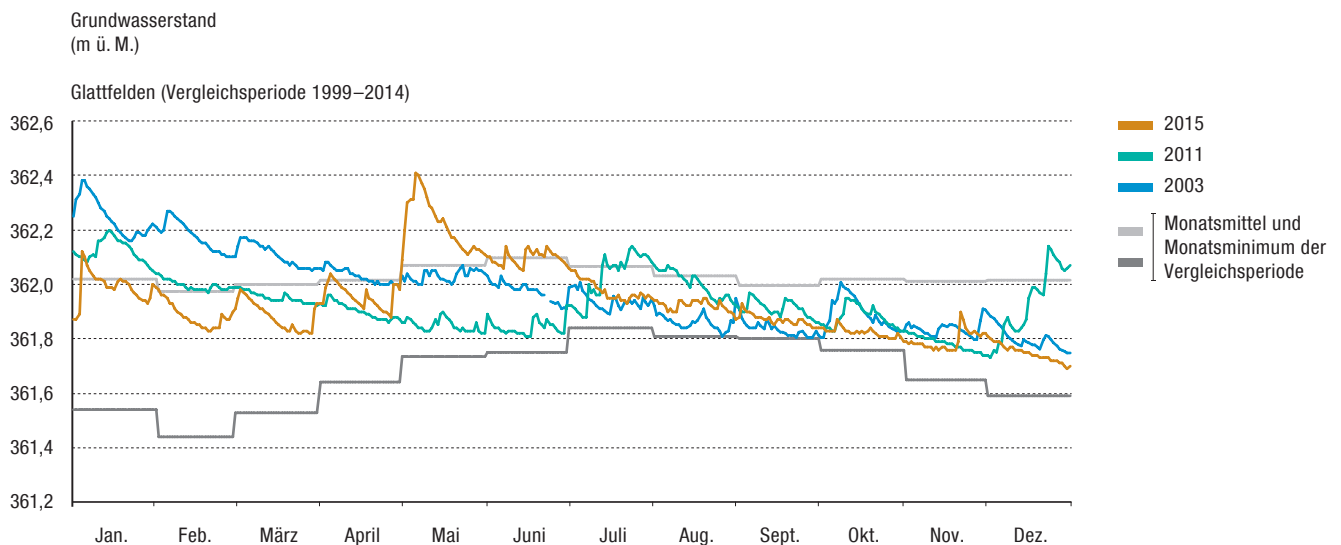


Abb. 1.5 Grundwasserstand bei Glattfelden im Jahr 2015 und im Vergleich mit den Trockenjahren 2003 bzw. 2011 sowie mit den langjährigen statistischen Werten für die Vergleichsperiode 1999–2014.

Hohe Wassertemperaturen während der Hitzeperiode vom Juli 2015

Die Wassertemperaturen entsprachen im Frühling 2015 noch dem langjährigen Trend der Periode 1988–2014 (Abb. 1.6). Dadurch wurden 2015 die bisherigen Jahresmittelmaxima trotz den sommerlichen Hitzewellen nur an wenigen Stationen überschritten. Ab Juni und während der darauffolgenden Monate waren aber aussergewöhnlich rasche Wechsel der Temperaturverhältnisse und starke Ausschläge der Temperaturmaxima, gefolgt von raschen Abkühlungen, zu beobachten (siehe auch Kap. 4.3). So überschritten die gemessenen Wassertemperaturen entlang der Aare, der Emme, der Kleinen Emme, des Rheins und bei weiteren Stationen vor allem im Juli die Tagesmittelwerte der langjährigen Messreihen deutlich (Abb. 1.6).

Als Folge der überhöhten Wassertemperaturen und der fehlenden längeren und kühlenden Schlechtwetterperioden kam es mancherorts zu Fischsterben. Da die Wärme mit der Zeit des Niedrigwassers zusammenfiel, wurde der negative Einfluss der Hitzeperiode nochmals verstärkt. Mit viel Aufwand mussten deshalb kälteliebende Forellen, zum Beispiel im Emmental oder im Fricktal, abgefischt und in kühlere Gewässer umgesiedelt werden. Überschreitet die Temperatur den Toleranzbereich der Fische, hat dies auch weitere Auswirkungen: Es führt dazu, dass sich die jungen Fische schneller entwickeln, die Konkurrenzfähigkeit und Krankheitsresistenz der Lachsfische abnimmt und als Folge wärmeliebende karpfenartige Fische und andere weniger sensible Arten

dominieren. Damit gehen – zumindest kurzfristig – Lebensräume verloren, und es besteht die Gefahr, dass andere Arten einwandern und sich längerfristig ausbreiten.

Im letzten Quartal des Jahres 2015 lagen die Wassertemperaturen vor allem im November und Dezember oft höher als die Werte der langjährigen Messreihen (Abb. 1.6). Die Tagesmaxima wurden an vielen Stationen immer wieder überschritten (Abb. 4.12). Selbst wenn die hohen Temperaturen noch innerhalb des Toleranzbereichs der Fische liegen, sind auch in dieser Jahreszeit indirekte Folgen auf die Populationsentwicklung in den Gewässern zu erwarten: Die Embryonalentwicklung der Lebewesen kann schneller ablaufen und der Schlupf im Frühjahr noch früher erfolgen.

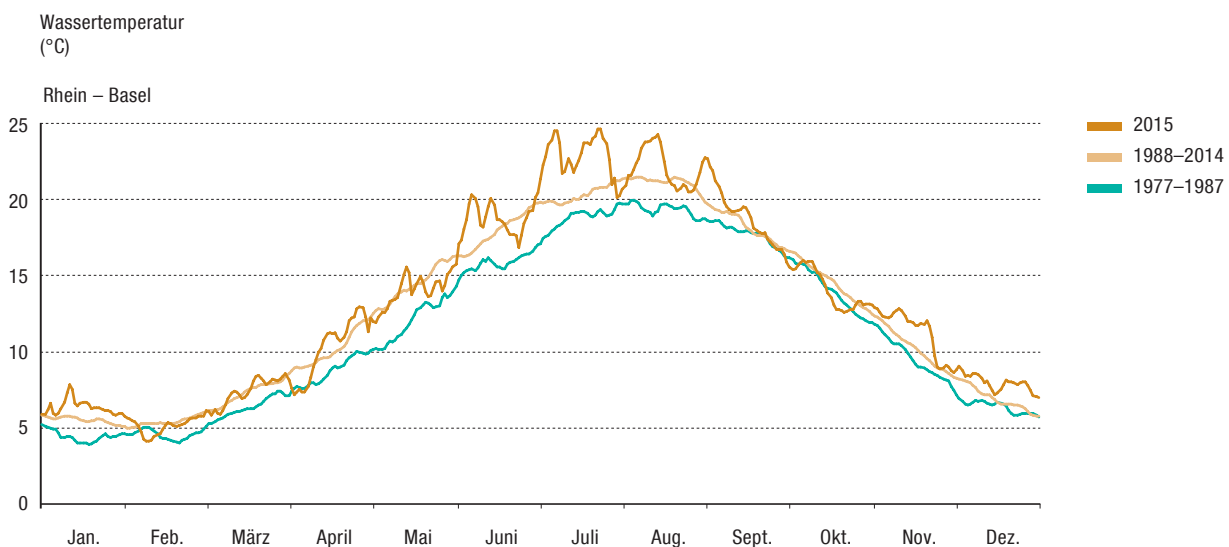


Abb. 1.6 Wassertemperaturen des Rheins bei Basel: Dargestellt sind die gemittelten Tagesmittelwerte über die Periode von 1977–1987 und die Periode von 1988–2014 sowie die Tagesmittelwerte des Jahres 2015.

2 > Witterung

Die Jahrestemperatur 2015 lag in den meisten Gebieten der Schweiz 1,0 bis 1,4 Grad über der Norm 1981–2010. Der Jahresniederschlag erreichte auf der Alpennordseite meist nur 60 bis 85 % der Norm. In den Alpen waren es verbreitet 80 bis 100 % Niederschlag, während die Alpensüdseite 70 bis 95 % verzeichnete.

In der ersten Januarhälfte wurde die Witterung in der Schweiz vor allem durch milde West- und Südwest-Strömungen bestimmt. Nordwest- und Nordströmungen brachten in der zweiten Januarhälfte aber den Winter zurück in die Schweiz. Der Februar zeigte sich winterlich mit verbreitet unterdurchschnittlichen Temperaturen und mit Schneefällen bis in tiefe Lagen beidseits der Alpen. Trotz kaltem Februar war der Winter in der Schweiz insgesamt zu mild mit einem Überschuss von 0,7 Grad im Vergleich zur Norm 1981–2010.

Nach einigen trüben und nassen Tagen zu Monatsbeginn lieferte der März bis gegen Monatsmitte prächtiges Hochdruckwetter. Er endete spätwinterlich mit Schnee bis auf 600 m hinunter und stürmischen Verhältnissen beidseits der Alpen. Der April bescherte der Schweiz vorwiegend ruhiges, sonniges und mildes Frühlingswetter.

Beim Übergang vom April zum Mai setzte eine sehr niederschlagsreiche Periode ein. Innerhalb von sechs Tagen fielen im Mittel über der ganzen Schweiz rund 100 mm Regen. Die grössten Mengen gingen im Unterwallis, in den Waadtländer Alpen sowie im angrenzenden Berner Oberland nieder. Höhere Lagen in diesen Gegenden erhielten 200 mm Niederschlag und mehr. Mit weiteren kräftigen Niederschlägen zur Monatsmitte ergab sich schliesslich an mehreren Messstationen der niederschlagsreichste Mai seit Messbeginn, vor allem in den Westalpen und im Berner Oberland.

Der Sommer 2015 geht als zweitwärmster nach 2003 in die 152-jährige Schweizer Messgeschichte ein. Der Juli war auf der Alpensüdseite, im Engadin, im Wallis und in der Westschweiz verbreitet der heisseste Monat seit Messbeginn. Vom 1. bis zum 7. Juli 2015 erlebte die Schweiz eine der extremsten Hitzewochen. Zum Abschluss dieser Woche registrierte Genf mit 39,7 Grad die höchste je auf der Alpennordseite gemessene Temperatur. Auf der Alpensüdseite folgte die grosse Hitze ab Mitte Juli.

Bereits der Sommer lieferte verbreitet deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Im Herbst setzte sich die Niederschlagsarmut fort. Überdurchschnittliche Niederschlagsmengen in grösseren Gebieten fielen nur im Septem-

ber, und zwar ganz im Westen der Schweiz sowie im Tessin und in Graubünden. Im Oktober waren verbreitet unterdurchschnittliche Mengen zu verzeichnen, und die ersten drei Novemberwochen blieben in der ganzen Schweiz weitgehend niederschlagsfrei. Die Alpensüdseite erlebte schliesslich eine Rekord-Niederschlagsarmut für die Periode November bis Dezember. In Lugano und in Locarno-Monti fielen nur 0,8 mm Niederschlag; normal wären 200 bis 250 mm.

Das anhaltend extrem milde und praktisch niederschlagsfreie Hochdruckwetter führte schweizweit zu einer ausgeprägten frühwinterlichen Schneearmut.

Quelle: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)

Jahres-Niederschlagssumme (% des Normwertes)

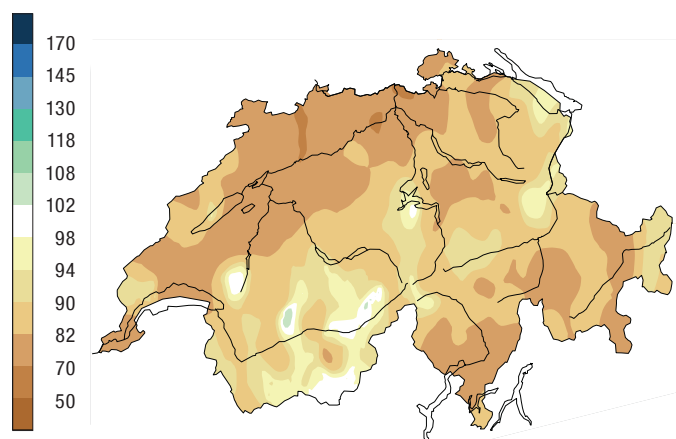


Abb.2.1 Der Jahresniederschlag war 2015 in den meisten Regionen der Schweiz deutlich unterdurchschnittlich. Auf der Alpennordseite betrug er nur 60 bis 85 % der Norm 1981–2010.

3 > Schnee und Gletscher

Über den ganzen Winter 2014/15 gemittelt waren die Schneehöhen am Alpensüdhang ohne die Bündner Südtäler und in den nördlich und westlich angrenzenden Gebieten überdurchschnittlich; sonst waren sie verbreitet knapp durchschnittlich. Die Gletscher der Schweizer Alpen wiesen 2014/15 überdurchschnittliche Massenverluste auf. Der heisse Juli führte zu extremer Gletscherschmelze.

3.1 Schnee

In der ersten Oktoberhälfte des Jahres 2014 dominierten Süd-staulagen das Wettergeschehen, wobei der Niederschlag nur im Hochgebirge in Form von Schnee fiel. Am 21. Oktober brachte eine markante Kaltfront einen Temperatursturz.

Im November bildete sich mit einer Schneefallgrenze von meist über 2000 m ü. M. in hohen Lagen im Oberwallis, am zentralen Alpensüdhang, aber auch in den nördlich angrenzenden Gebieten vom östlichen Berner Oberland bis in die Surselva eine mächtige Schneedecke. Diese trug dort während des ganzen Winters zu überdurchschnittlichen Schneehöhen bei.

Der Dezember war ausserordentlich mild und schneearm. Erst eine Kaltfront Ende Dezember führte zu Schneefällen, die vor allem das Mittelland mit grösseren Schneemengen eindeckten.

Der Januar war im Süden und im Engadin niederschlagsreich, sonst waren die Niederschläge durchschnittlich. Die erste Januarhälfte war frühlingshaft mild, und die Schneefallgrenze lag teilweise deutlich über 2000 m ü. M. In der zweiten Januarhälfte kehrte aber der Winter zurück, und mit mehreren Kaltfronten fiel immer wieder Schnee auch im Mittelland und im Jura. Zum Monatsende gab es dann auch im Westen und Norden beträchtliche Schneemengen.

Die Schneefälle im Februar waren im Süden stark überdurchschnittlich, im Norden leicht unterdurchschnittlich. Viel Schnee fiel vor allem im Oberwallis, am zentralen Alpenhauptkamm und im nördlichen Tessin besonders aufgrund eines Starkschneefalls Mitte Februar.

Der März war zwar geprägt von viel Sonne im Norden. Dank Schneefällen Anfang des Monats und vor allem eines Grossschneefalles Ende des Monats im Westen und Norden wurden aber durchschnittliche oder leicht überdurchschnittliche Schneehöhen erreicht.

Der April brachte nur in den Voralpen durchschnittliche Schneefälle. Besonders im Süden fiel sehr wenig Niederschlag, und es herrschte zeitweise Waldbrandgefahr.

Der Mai war zum Monatsanfang geprägt von intensiven Niederschlägen in den westlichen und nördlichen Alpen. Weil die Schneefallgrenze meist hoch lag, brachte der Regen den noch liegenden Schnee zum Schmelzen. Mitte Monat fiel am Alpensüdhang und vom 18. bis 22. Mai in den zentralen und östlichen Alpen nochmals viel Schnee, der aber rasch wieder schmolz.

Trotz den im Vergleich zum Jahrhundertssommer 2003 einzelnen kühleren Perioden gab es zwischen Juni und August 2015 praktisch keine Sommerschneefälle unterhalb von 3000 m ü. M. Vor der Juli-Hitze wurde es in vielen Landesteilen zuletzt um den 20. Juni herum bis gegen 2000 m ü. M. hinunter weiss.

Quelle: WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF)

Schneehöhe (% des Normwertes)

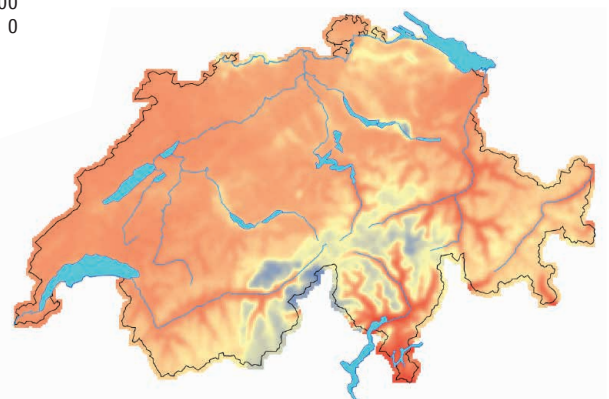


Abb. 3.1 Schneehöhen des Winters 2014/15 im Vergleich zur Periode 1971–2000. Berücksichtigt sind die Monate November bis April.

3.2 Gletscher

Im hydrologischen Jahr 2014/15 wurden auf 21 Schweizer Gletschern Messungen der Massenbilanz vorgenommen. Mitte April 2015 konnten durchschnittliche Schneehöhen auf den Gletschern festgestellt werden. Erst mit Beginn der Hitzeperiode im Juli setzte die Ausaperung ein. Das heisse und stabile Sommerwetter, das mit nur wenigen Unterbrüchen bis Mitte August anhielt, führte dann aber zu aussergewöhnlich starker Gletscherschmelze. Eine markante Abkühlung und Neuschneefälle in der zweiten Augushälfte und im September beendeten schliesslich diese Phase starker Massenverluste.

Die Unterschiede der Massenbilanz von Gletscher zu Gletscher waren 2015 besonders gross. Am wenigsten dramatisch fiel die Schmelze mit einem mittleren Eisdickenverlust von rund 70 cm (Findelengletscher, Allalिंगletscher) im südlichen Wallis aus. Dagegen haben die Gletscher zwischen Berner Oberland und Wallis sehr stark gelitten. Es konnten extreme Dickenverluste von über 250 cm (Glacier du Tsanfleuron, Glacier de la Plaine Morte) festgestellt werden. Für die meisten Gletscher der Schweiz, sowohl auf der Alpen-nord- wie auch auf der Alpensüdseite betrugen die Dickenverluste zwischen 100 und 200 cm. Kleinere Gletscher in tieferen Lagen, auf denen der Winterschnee während des Julis schon komplett wegschmolz, waren durch die Hitzeperiode am stärksten betroffen.

Auf alle Gletscher der Schweiz übertragen ergibt sich für das hydrologische Jahr 2014/15 ein geschätzter Volumenverlust von 1300 Millionen Kubikmetern Eis. Dies entspricht einer Reduktion des derzeit noch vorhandenen gesamten Gletschervolumens um fast 2,5 %. Obwohl die Gletscherschmelze klar überdurchschnittlich war, wurden die Rekordwerte des Hitzesommers 2003 nicht erreicht. Die Massenbilanz der Schweizer Gletscher liegt für das hydrologische Jahr 2014/15 in einem ähnlichen Rahmen wie in den ebenfalls sehr negativen Jahren 2006 und 2011.

Quelle: Departement für Geowissenschaften der Universität Freiburg und Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)



Abb.3.2 Schon Anfang August 2015 waren die Gletscher bis in grosse Höhen ausgeapert. Brunegg-Gletscher am Fuss des Bishorns im Wallis.

4 > Oberflächengewässer

Die Jahresmittel des Abflusses lagen 2015 mehrheitlich unter der Norm. Vergletscherte Gebiete wiesen normale bis überdurchschnittliche Abflüsse auf. Ein Hochwasserereignis Anfang Mai brachte sehr hohe Abflussspitzen in der Westschweiz. Die zweite Jahreshälfte war ausgesprochen niederschlagsarm. Auf der Alpennordseite wurden verbreitet neue monatliche Abflussminima gemessen. Die Hitzeperiode im Juli führte an den Fliessgewässern zu Höchstwerten der Wassertemperatur.

4.1 Abflussverhältnisse

Die Jahresmittel des Abflusses der grossen Flussgebiete entsprachen 2015 an der Rhone bis zum Genfersee sowie am Ticino, Inn und Alpenrhein etwa dem Mittel der Normperiode 1981–2010. Die Abflüsse von Aare, Reuss, Limmat, Thur und Doubs lagen 10 bis 15 % unter dem langjährigen Mittel. An der Birs und der Maggia sind nur drei Viertel der sonst üblichen Mengen abgeflossen. Bei den mittelgrossen Einzugsgebieten (Abb. 4.2) ist der Einfluss von Schnee- und Gletscherschmelze zu erkennen. Gebiete mit einer markanten Vergletscherung erreichten trotz bescheidenen Niederschlagssummen durchschnittliche oder gar überdurchschnittliche Abflussmengen. Die Saltina, die Massa sowie die Reuss

bei Andermatt übertrafen die Norm um rund 15 %, der Roseggar gar um 20 %.

Die Abflussmengen in vielen Gebieten der Westschweiz und des Mittellandes lagen im Bereich von 70 bis 90 % der normalen Mengen. Am wenigsten Abfluss führte die Mentue mit lediglich 65 % der Norm. Die Einzugsgebiete mit normalen Abflüssen (90 bis 110 %) finden sich im Berner Oberland, in den zentralen und östlichen Voralpen, im Tessin und im Engadin. Jahresmittelwerte sagen jedoch nicht viel aus über die Verhältnisse während des Jahres. In einigen Gebieten setzten sich die durchschnittlichen Jahresabflüsse aus einem nassen ersten und einem trockenen zweiten Halbjahr zusammen. Diese Zerteilung des Jahres kann besonders schön an der Aare, der Reuss und der Limmat (Abb. 4.3), aber auch an

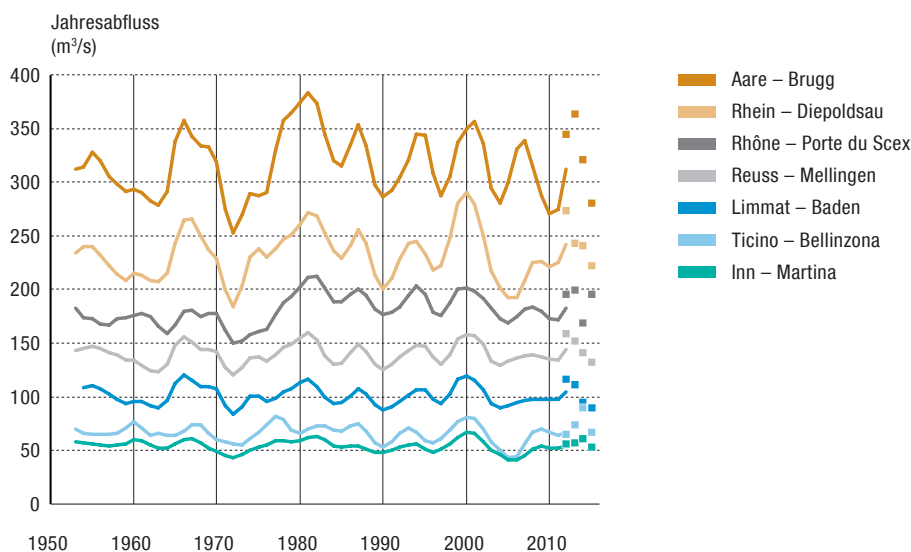


Abb. 4.1 Veränderung des Jahresabflusses ausgewählter grosser Einzugsgebiete ab 1950. Dargestellt sind gleitende Mittel (über 7 Jahre) als Linien und die letzten 4 Jahresabflüsse als Punkte.

der Emme, der Thur und der Muota gezeigt werden (Abb. 4.4). An der Thur bei Andelfingen ist von Januar bis Juni knapp 20 % mehr Wasser abgeflossen als im langjährigen Mittel. Von Juli bis Dezember war es jedoch weniger als die Hälfte der üblichen Menge.

Die auffälligsten Monate der ersten Jahreshälfte waren Januar und Mai mit zum Teil massiv höheren Abflüssen als im langjährigen Mittel. Ein Sturmtief, das in den ersten Tagen des Jahres von Norden gegen den Alpenraum zog, brachte sehr viel Feuchtigkeit und auch sehr milde Luft in die Schweiz. Die Niederschläge in Kombination mit der Schneeschmelze führten zu starken Anstiegen der Wasserstände in der Nord- und Nordostschweiz. Das herausragende Ereignis im ersten Halbjahr war jedoch das Hochwasser von Anfang Mai (Kap. 1). An der Aare, der Reuss, der Limmat und auch am Rhein bildeten die Abflüsse im Mai die höchsten Monatsmittelwerte des Jahres. An der Lütchine bei Gsteig war der Abfluss im Mai auch deutlich höher als die Norm. Die Monatsabflüsse von Juni, Juli und ganz knapp auch August waren allerdings noch höher als im Mai (Abb. 4.4). Dies, weil die Lütchine ein Einzugsgebiet mit grossem Gletschereinfluss ist. Die höchsten Abflüsse werden hier im Hochsommer während der Schnee- und Gletscherschmelze erwartet.

Die aussergewöhnliche Niederschlagsarmut der zweiten Jahreshälfte (Abb. 1.3) führte dazu, dass an vielen Messstellen von Juli bis Dezember jeden Monat unterdurchschnittliche Abflüsse registriert wurden. In einigen Gebieten stiegen die Monatswerte ab Juli nie über 80 % der langjährigen Mittel-

werte. An der Dünern bei Olten und der Töss bei Neftenbach blieben sie von Juni bis Ende Jahr sogar unter 40 % der Norm.

Bei so langen Niedrigwasserperioden ist zu erwarten, dass mancherorts monatliche Minima unterschritten werden und neue Rekordwerte auftreten. Von Juli bis Dezember gab es vor allem auf der Alpennordseite in jedem Monat neue Niedrigwasserrekorde. Hervorzuheben ist der Monat November, in dem im Mittelland östlich der Aare an zahlreichen Messstationen neue kleinste Monatsminima gemessen wurden. Die Glatt bei Herisau hat von Juli bis Dezember sechs neue Monatsminima verzeichnet. Das reichte jedoch nicht für ein neues tiefstes Jahresmittel, da – wie bereits erwähnt – die Abflüsse der ersten Jahreshälfte verhältnismässig hoch waren.

Bezüglich Hochwasser war das Jahr 2015 ereignisarm. Abgesehen vom Hochwasser Anfang Mai (Kap. 1) sind nur wenige nennenswerte Hochwasserereignisse aufgetreten. Das Ereignis Anfang Jahr auf der Alpennordseite brachte neue Monatsmaxima u.a. an der Sorne, an der Töss und an der Glatt bei Herisau. Das Hochwasser im Mai war mit Abstand das grösste des Jahres. Mehr als ein Dutzend Messstationen zwischen Genfersee und Basel haben ein neues Mai-Maximum registriert.

Abflussverhältnisse ausgewählter
mittelgrosser Einzugsgebiete

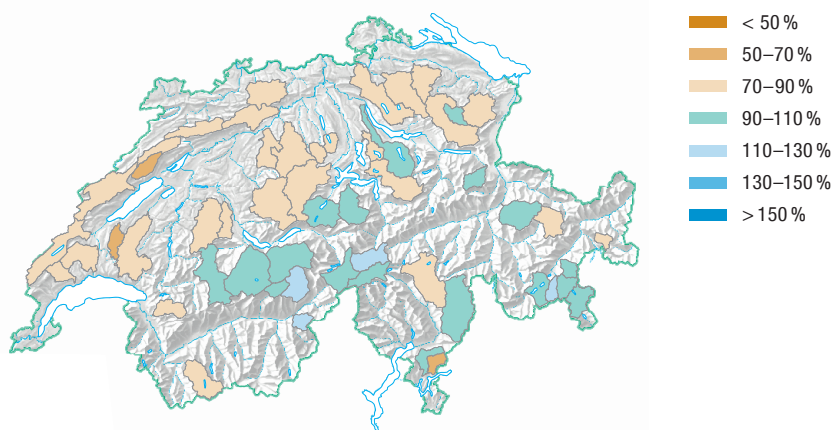


Abb. 4.2 Jahresmittel 2015 im Vergleich zum mittleren Abfluss der langjährigen Normperiode 1981–2010 ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete [%].

Monatsmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete

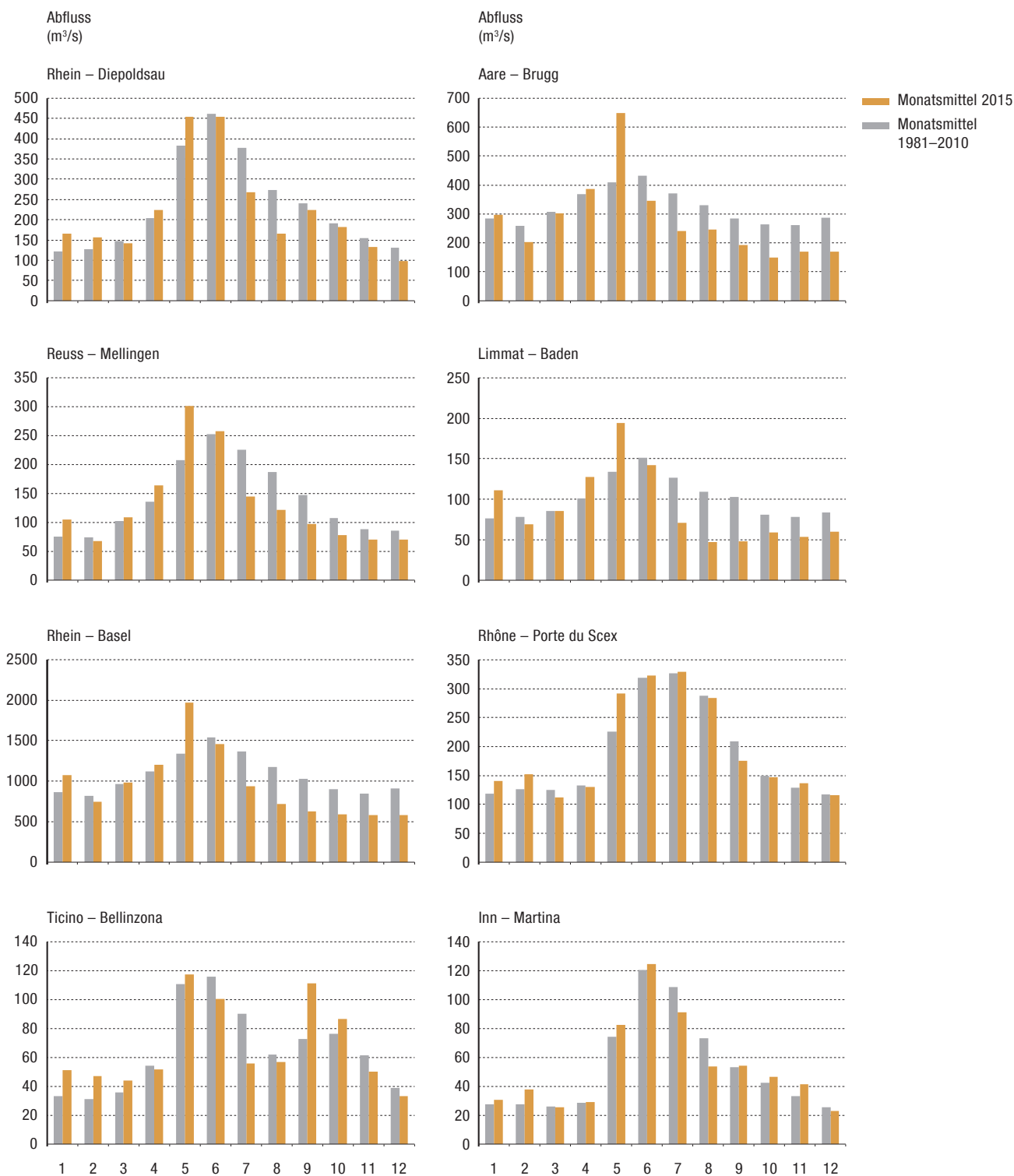


Abb. 4.3 Monatsmittel 2015 der Abflussmengen (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau).

Monatsmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete

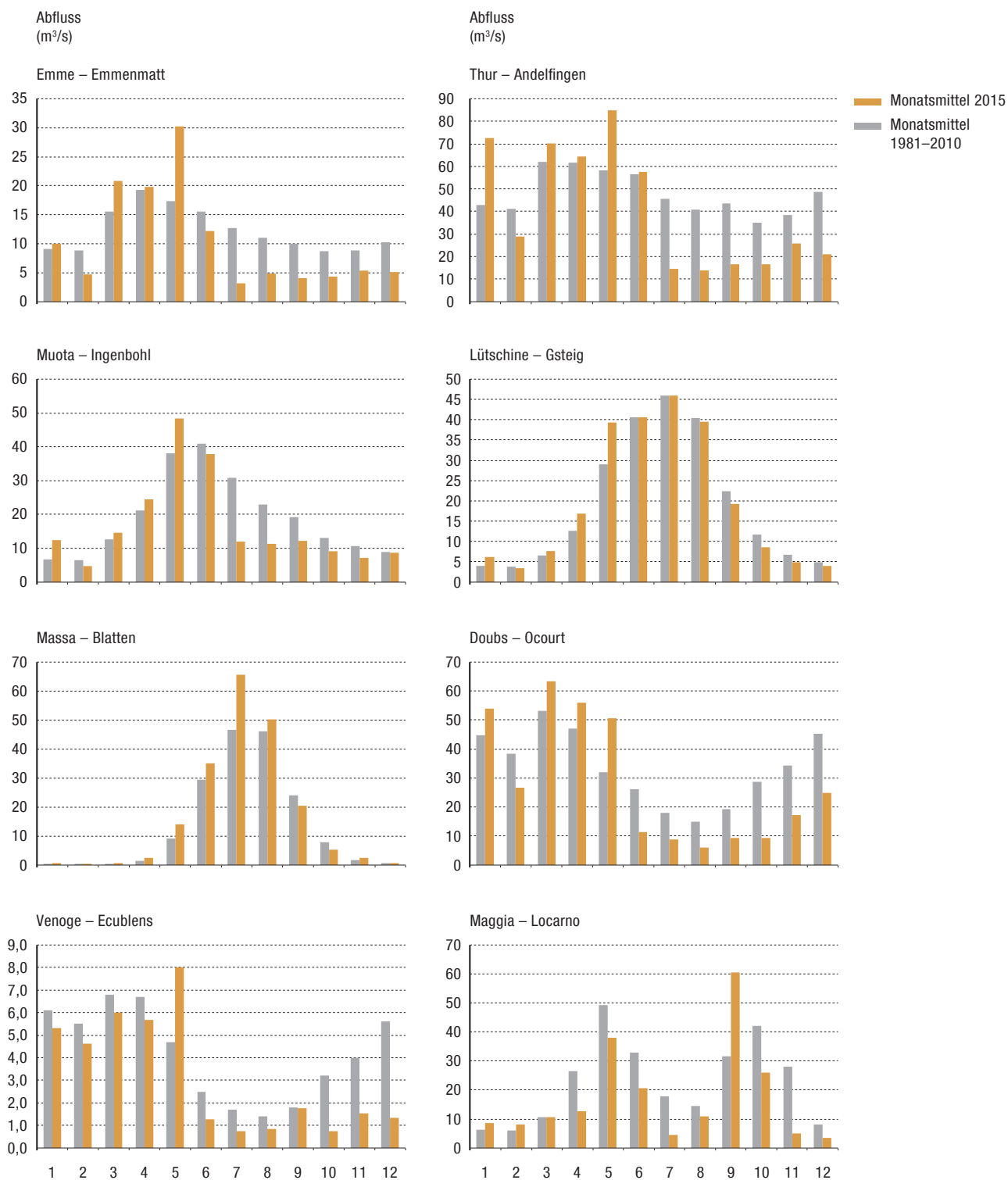


Abb. 4.4 Monatsmittel 2015 der Abflussmengen (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau).

Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete (1/2)

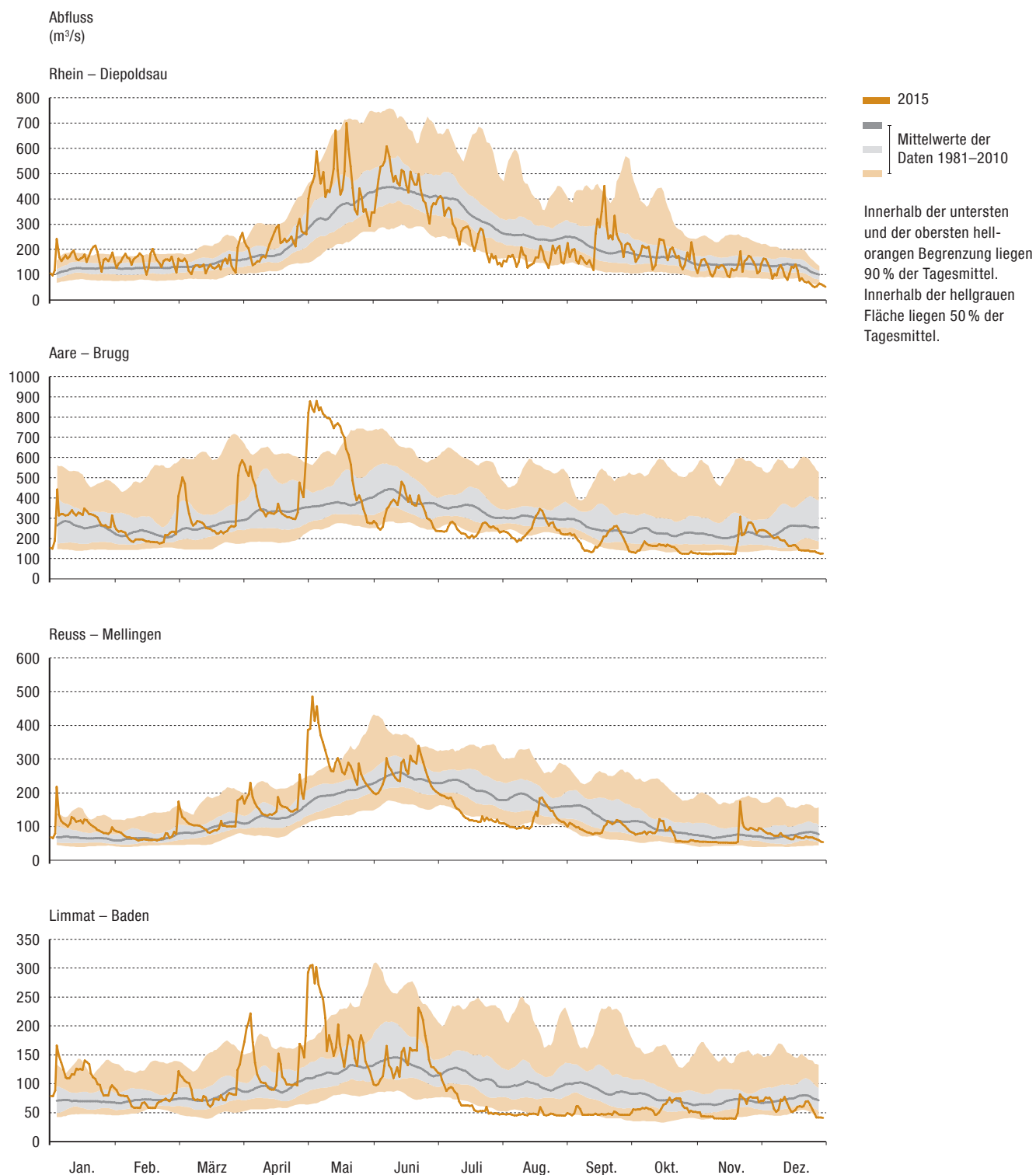


Abb. 4.5 Tagesmittel 2015 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete (2/2)

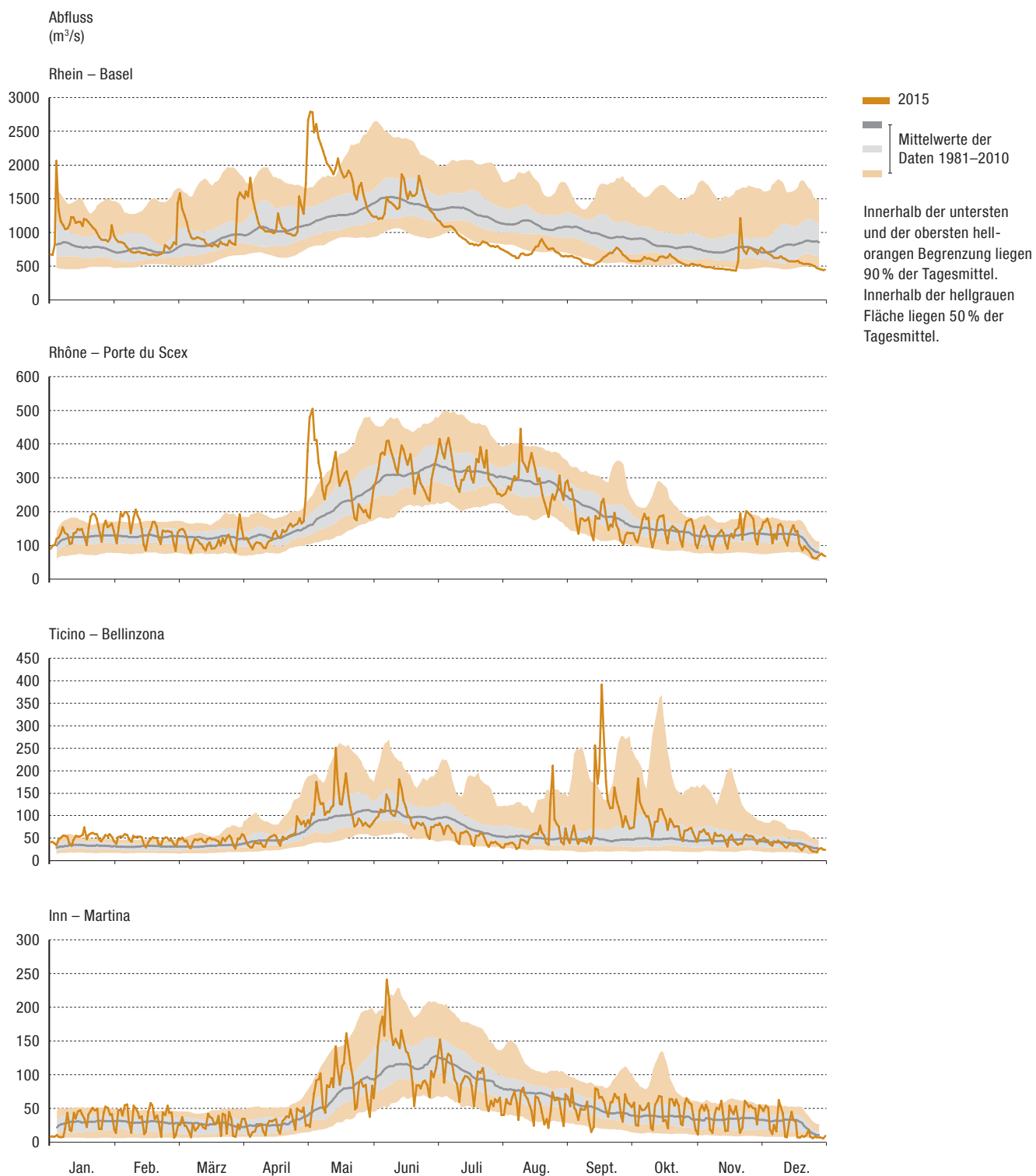


Abb. 4.6 Tagesmittel 2015 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete (1/2)

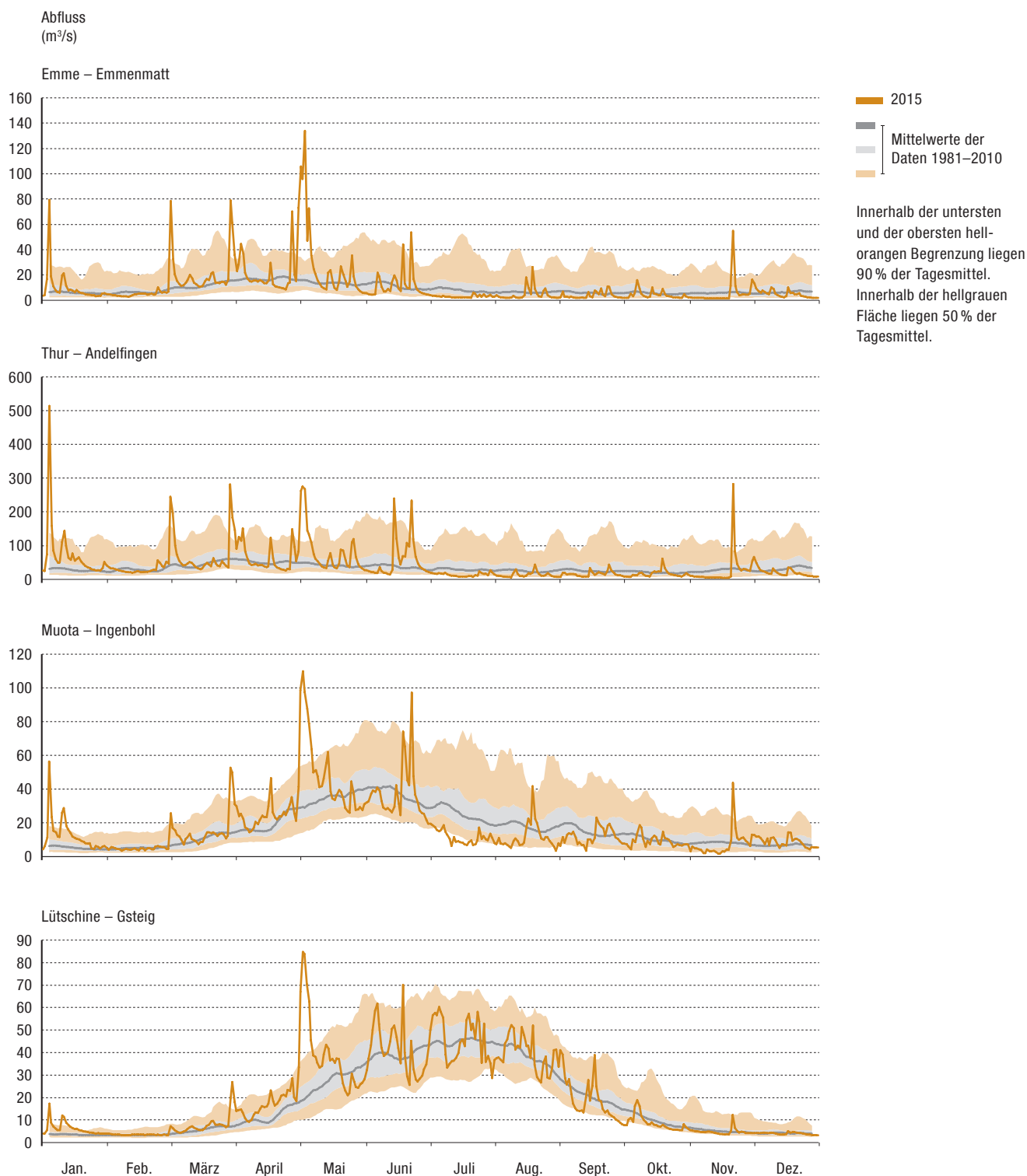


Abb. 4.7 Tagesmittel 2015 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete (2/2)

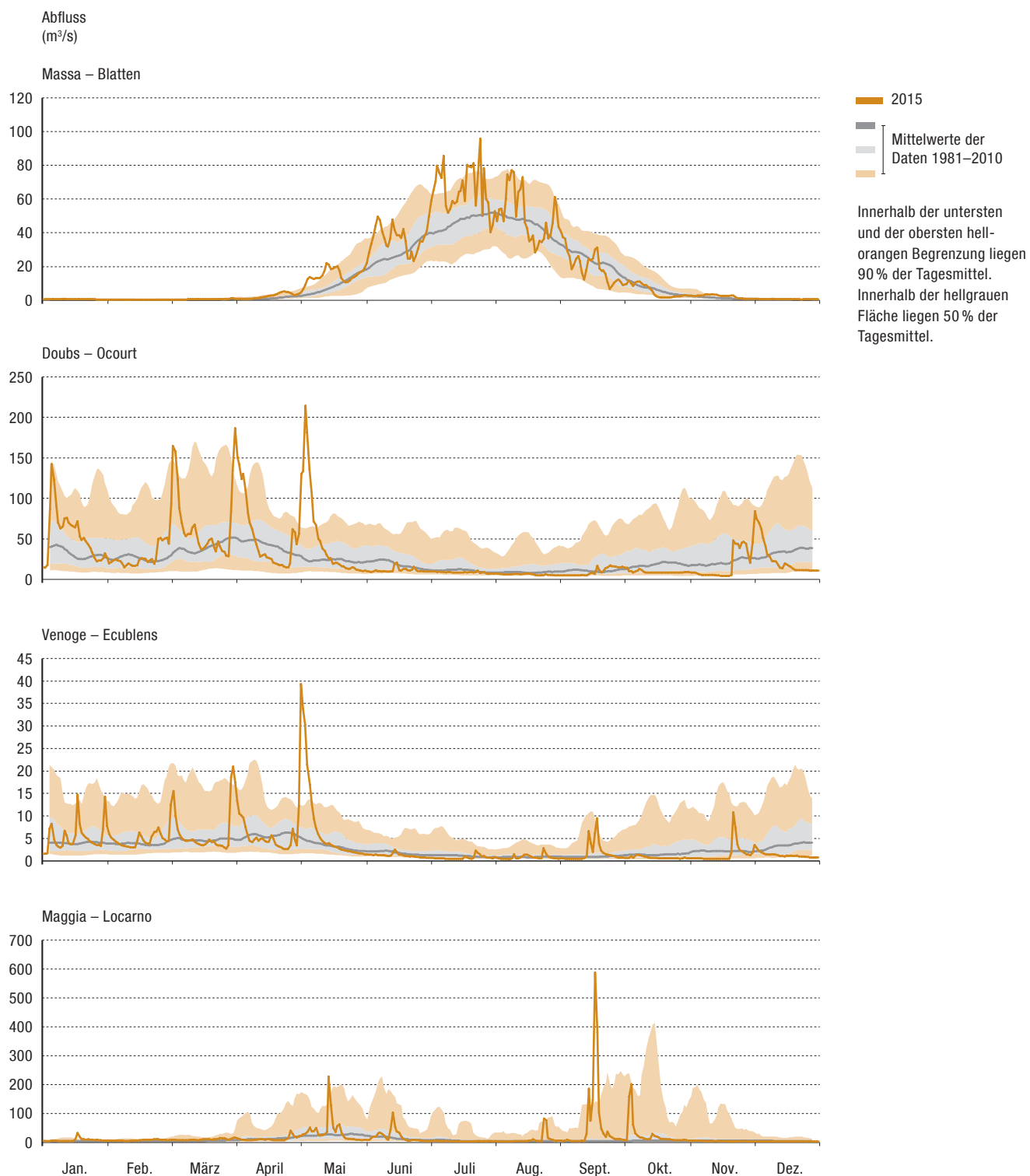


Abb. 4.8 Tagesmittel 2015 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

4.2 Seestände

An den grösseren Seen der Schweiz weichen die Jahresmittelwerte der Wasserstände im Allgemeinen nur wenige Zentimeter von den langjährigen Mittelwerten ab. Kurzfristige Schwankungen gleichen sich über das ganze Jahr gesehen oft aus. Das war auch im Jahr 2015 nicht viel anders. Mehrheitlich lagen die Pegelstände wenige Zentimeter unterhalb der Norm, bei ein paar wenigen Seen waren sie knapp darüber. Erwähnenswert sind, mit grossen negativen Abweichungen, der Lago di Lugano (–8 cm), der Zugersee (–9 cm) und der Walensee (–13 cm). Mit einer grossen positiven Abweichung von 12 cm fiel 2015 der Bodensee aus dem Rahmen.

Eine Gemeinsamkeit der in Abbildung 4.9 dargestellten Seen ist, dass 2015 sämtliche Monatsmittelwerte von Januar bis Mai über den entsprechenden langjährigen Monatsmittelwerten lagen. Dabei waren die Bedingungen Anfang Jahr nicht überall dieselben. Der Bodensee wies Ende 2014 und Anfang 2015 einen relativ hohen Wasserstand auf. Er lag im Januar im Mittel knapp 50 cm und im Februar immer noch mehr als 30 cm über den entsprechenden langjährigen Normwerten. Beim Lago Maggiore bewegte sich das mittlere Niveau im Januar und Februar ebenfalls mehr als 30 cm über der Norm. Der Neuenburgersee und der Genfersee starteten auf einem für die Jahreszeit normalen Niveau. Während die Monatsmittel von Neuenburgersee und Genfersee in der zweiten Jahreshälfte den langjährigen Mittelwerten folgten, wurden beim Bodensee von Juli bis September deutlich unterdurchschnittliche Pegelstände registriert. Beim Lago Maggiore lag der Wasserstand im August knapp 30 cm und im Dezember mehr als 60 cm unter dem langjährigen Monatsmittel.

Im Mai sind neue monatliche Höchstwerte aufgetreten. Am Neuenburgersee und am Genfersee lagen die mittleren Wasserstände rund 30 cm über den langjährigen Monatsmittelwerten. Beim Neuenburgersee war der Höchststand vom 8. Mai mit 430,44 m ü. M. nicht nur ein Rekord für den Mai (bisher 430,05 m ü. M. im Jahr 1999), sondern ein genereller Rekord für den See (bisher 430,27 m ü. M. im August 2007). Der Pegel des Sees lag seit der zweiten Juragewässerkorrektion nie höher. Die warnrelevanten Hochwassergrenzen wurden an 15 Tagen überschritten, wobei die beiden höchsten Gefahrenstufen (430,50 bzw. 430,75 m ü. M.) nicht erreicht wurden. Bemerkenswert war nicht nur das hohe Niveau des Wasserstands, sondern auch die grosse Dynamik. Der See ist innerhalb von sieben Tagen um mehr als 90 cm gestiegen – von einem für die Jahreszeit normalen Niveau auf einen neuen Höchstwert. Eine vergleichbare Dynamik konnte im Mai auch am Genfersee beobachtet werden. Hier stieg der Pegel innert weniger Tage um rund 70 cm. Die warnrelevanten Hochwassergrenzen wurden an drei Tagen überschritten (Stufe 2).

Die lange niederschlagsarme Periode der zweiten Jahreshälfte äusserte sich in den in Abbildung 4.10 dargestellten Seen nicht mit sehr tiefen Wasserständen. Verantwortlich dafür ist – insbesondere beim Bodensee – das relativ hohe Niveau nach den Mai-Hochwassern. Der Wasserstand des Bodensees war Anfang Sommer für die Jahreszeit hoch und hat deshalb auch nach einer langen Zeit des stetigen Rückgangs die 5 %-Quantil-Grenze nicht unterschritten. Der regulierte Zürichsee (in den Abbildungen nicht dargestellt) konnte nicht von diesem Effekt profitieren. Der Wasserstand bewegte sich ab Mitte Juli stets im Bereich der saisonalen Tiefstwerte. Für August, September und November gab es 2015 am Zürichsee neue monatliche Minima.

Monatsmittel der Wasserstände ausgewählter Seen

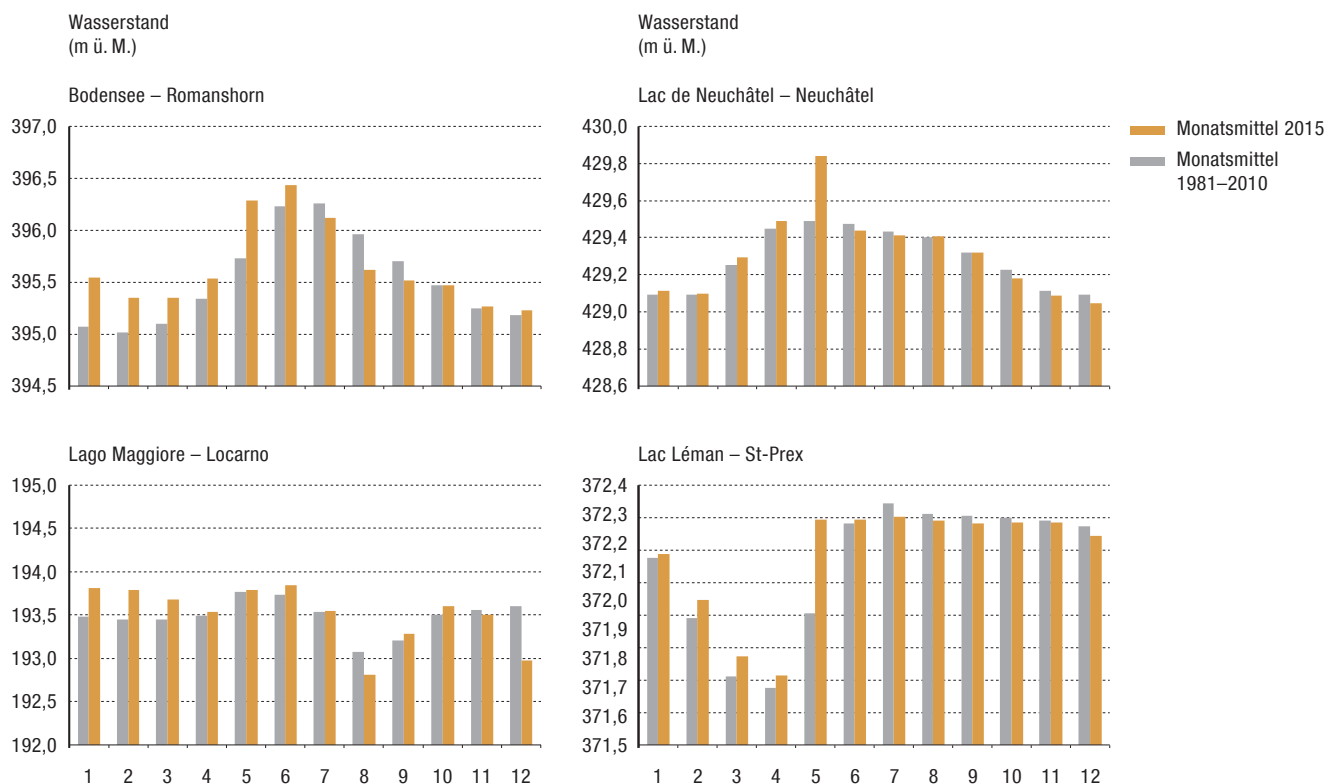


Abb. 4.9 Monatsmittel 2015 der Wasserstände (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau).

Tägliche Wasserstände ausgewählter Seen

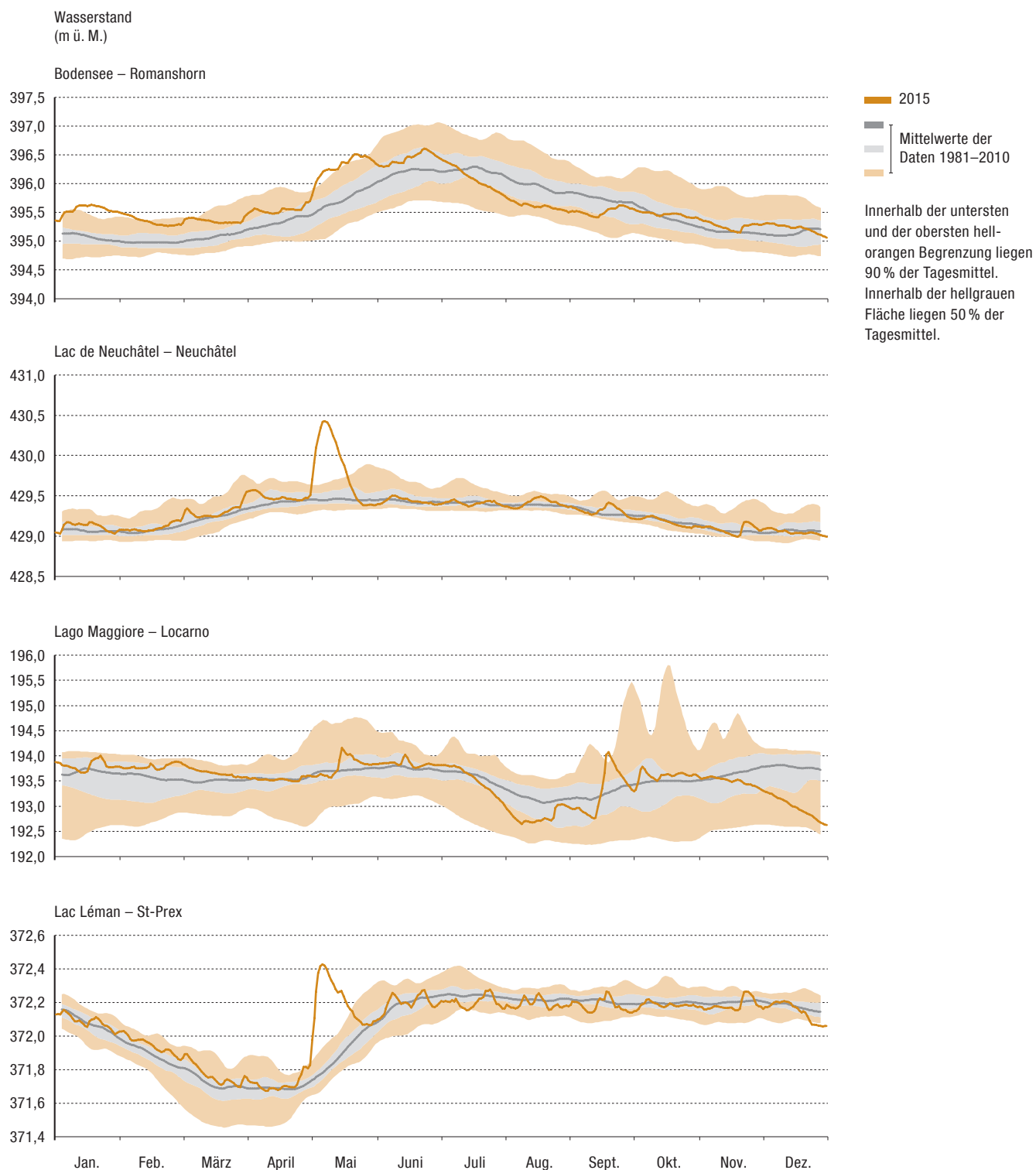


Abb. 4.10 Tagesmittel 2015 der Wasserstände (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

4.3 Wassertemperaturen

Nachdem in den Jahren 2011 und 2014 bei den Wassertemperaturen aussergewöhnlich viele neue Maxima der Jahresmittelwerte gemessen wurden, ist das Jahr 2015 von weniger Überschreitungen der Jahresmittelwerte der Stationen geprägt. Einerseits war der Frühling zwar mild, aber auch niederschlagsreich, was zu einem normalen Temperaturverlauf bei den Fliessgewässern führte. Dagegen setzte erst im Juli eine ausgeprägte Hitzeperiode ein. Der dadurch teilweise starke Anstieg der Wassertemperatur wurde, wie auch im späteren Verlauf des Sommers und Herbstes, immer wieder durch Abkühlungen unterbrochen. Dadurch bildeten sich ausgeprägte zyklische Temperaturverläufe mit hohen Maxima und darauffolgender Absenkung bis unter die langjährige Durchschnitts- oder sogar Tiefsttemperatur, wie zum Beispiel an der Station Rhône – Porte du Scex (Abb. 4.12). Erst die länger anhaltende Schönwetterperiode im Herbst und Winter führte zu relativ ungestört verlaufenden Ganglinien mit erhöhter Wassertemperatur.

Insgesamt setzen die Jahresmittelwerte von 2015 den seit 1960 beobachteten und bisher ungebrochenen Trend des Wassertemperaturanstiegs tendenziell fort. Wenn auch die Jahresmitteltemperatur z. B. bei der Station Rhein – Basel etwas tiefer lag als 2014, so war sie doch deutlich höher als 2012 oder 2013 (Abb. 4.11).

Zyklischer Temperaturverlauf von Frühling bis Herbst

Das Jahr 2015 wurde im Juli von einer aussergewöhnlichen Hitzeperiode geprägt. In der Folge wurden in vielen Fliessgewässern neue Höchstwerte gemessen. An einigen Messstationen wurden neue Juli-Maxima oder sogar absolute maximale Temperaturwerte in den 30- bis 40-jährigen Messreihen registriert. Noch nie war es in den letzten 40 Jahren im Juli so warm wie zum Beispiel entlang der Aare an den Messstellen bei Thun und Bern oder auch entlang der Reuss bei Luzern und Mellingen. Neue absolute Maxima wurden an der Glatt bei Rheinsfelden, aber auch an der Aare bei Hagneck und Brugg oder, im etwas kühleren Rahmen, in der Engelberger Aa bei Buochs registriert. Deutlich tiefer als im Mittelland blieben die Wassertemperaturen in den von der Schnee- und Gletscherschmelze beeinflussten alpinen Einzugsgebieten. Vereinzelte Gewitter und Kaltfronten sorgten für kühlere Witterungen und verbreitet für eine deutliche Absenkung der Gewässertemperaturen. Dies führte bis in den Herbst zu ausgeprägten zyklischen Temperaturverläufen vor allem im Einzugsgebiet des Rheins.

Hohe Temperaturen Herbst und Winter 2015

Ende 2015 kam es aufgrund lang anhaltender Schönwetterlagen mit beständiger Warmluftzufuhr bei vielen Stationen zu einem tendenziell ungestörten oder nur schwach schwankenden Verlauf der Wassertemperatur. Dies führte teils zu Situationen, in denen die Wassertemperatur entgegen dem langjährigen Trend im November über mehrere Wochen auf einem

(Fortsetzung auf Seite 29)

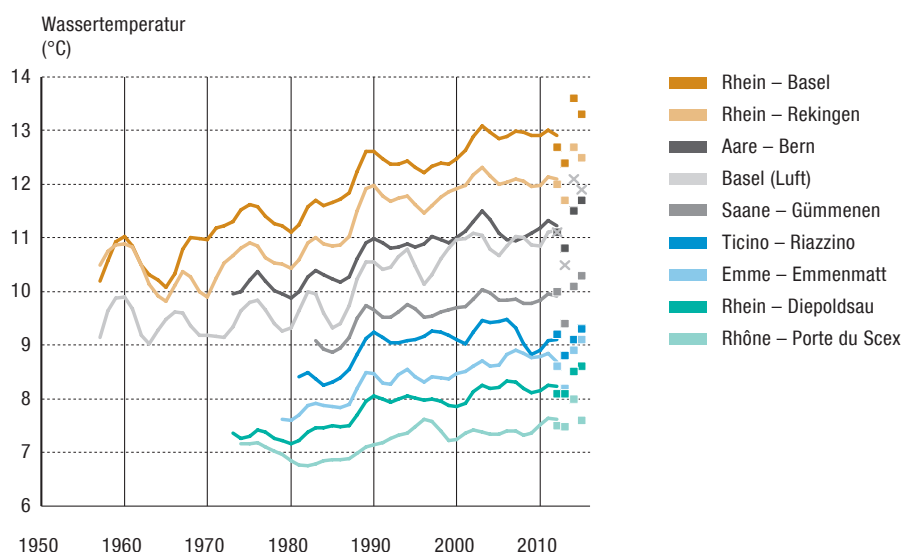


Abb. 4.11 Die Entwicklung der Wassertemperaturen von 1954 bis 2015 in ausgewählten Flüssen der Schweiz. Dargestellt sind gleitende Mittel (über 7 Jahre) als Linien und die letzten vier Jahresmittel als Punkte bzw. Kreuze (Luft).

Mittlere Tagestemperatur ausgewählter Stationen

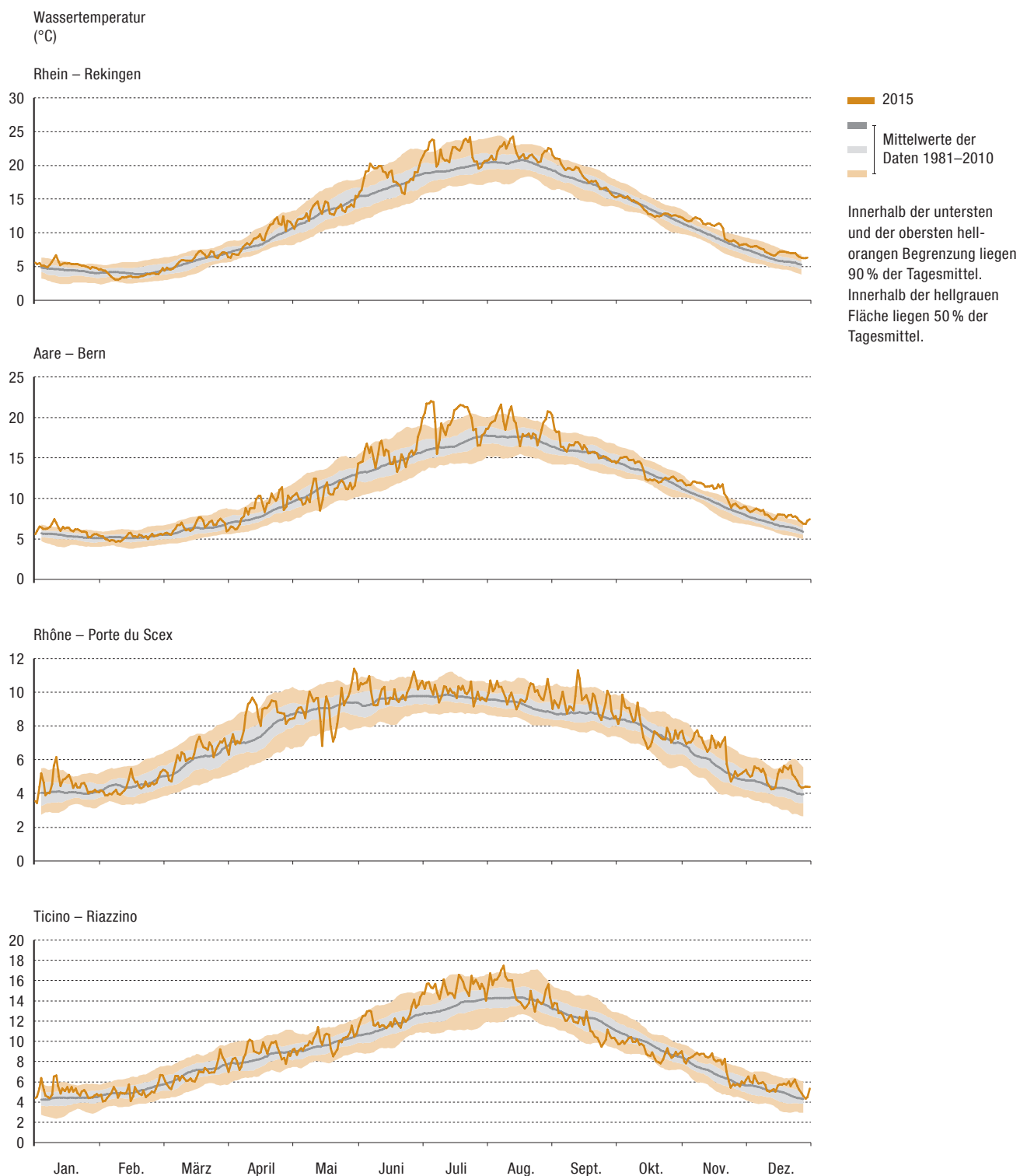


Abb. 4.12 Tagesmittel 2015 der Wassertemperatur (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

(Fortsetzung von Seite 27)

relativ konstanten Niveau verharrte und so zu Überschreitungen der langjährigen Messreihen führte, wie zum Beispiel bei den Stationen Rhein – Rekingen oder Aare – Bern (Abb. 4.12). Erst Ende November erfolgte eine Abkühlung. Danach baute sich im Dezember erneut eine ähnliche Situation auf, die bis zum Jahresende andauerte. Gut zu beobachten war dies zum Beispiel an der Aare bei Thun, Bern, Hagneck und Brugg oder an der Linth in Weesen sowie auch entlang des Rheins (Rheinfelden, Laufenburg) oder vereinzelt bei Stationen an der Rhone und an Flüssen im Tessin.

4.4 Stabile Isotope

Die stabilen Wasserisotope in Niederschlag, Oberflächengewässern und Grundwasser sind natürliche Tracer, die in regionalen Klima-, Umwelt- und Gewässerstudien als wichtige zusätzliche Informationsträger eingesetzt werden. Sie ermöglichen es, zwischen einzelnen Wasserkomponenten zu unterscheiden oder die mittlere Höhe eines Einzugsgebietes abzuschätzen. Die Beziehung der stabilen Wasserisotope zur Temperatur und zur relativen Feuchte in den Quellgebieten der Niederschläge wird in den letzten Jahren vermehrt in meteorologischen Studien mit einbezogen. Im Rahmen des NAQUA-Moduls ISOT wird die langjährige regionale Entwicklung von Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O) an 13 repräsentativen Niederschlagsmessstellen und 9 Messstellen

an Fliessgewässern erhoben (Abb. 4.13), wodurch Referenzdaten für solche Untersuchungen zur Verfügung gestellt werden können.

Entsprechend dem allgemeinen Temperaturrend stiegen die $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Niederschlag ab etwa 1980 bis Anfang dieses Jahrhunderts generell an allen Messstellen an. Der allgemeine Verlauf ist allerdings nicht stetig, sondern wird von jahreszeitlichen Schwankungen dominiert. In den letzten zehn Jahren scheint dieser Trend gebrochen worden zu sein. In den Winterhalbjahren sind wieder deutlich negativere δ -Werte festzustellen. Auch im Jahr 2015 zeichnen sich die stabilen Isotope im Niederschlag durch für den Winter niedrige δ -Werte aus. Im Sommer wurden, dem Hitzesommer 2015 entsprechend, überdurchschnittliche δ -Werte gemessen.

In Fliessgewässern ist der saisonale Verlauf der $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ebenfalls erkennbar. Er ist allerdings wegen der unterschiedlichen regionalen Mischungsverhältnisse im Abfluss stark gedämpft (z.B. in Aare, Rhein und Rhone). Auch hier ist in den letzten Jahren eine Änderung des Trends ersichtlich. Die im langjährigen Vergleich unterdurchschnittlichen δ -Werte seit 2013 entlang der Aare, im Rhein in Weil sowie in der Rhone oberhalb des Genfersees setzten sich im Jahr 2015 fort. Der Hitzesommer 2015 hatte auch zur Folge, dass in dieser Zeit mehr Gletscherschmelzwasser – mit negativeren δ -Werten – zum Abfluss kam. Im Juli 2015 wurden in den grossen Flüssen aus den Alpen daher verbreitet tiefe δ -Werte beobachtet.

Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA (Modul ISOT)

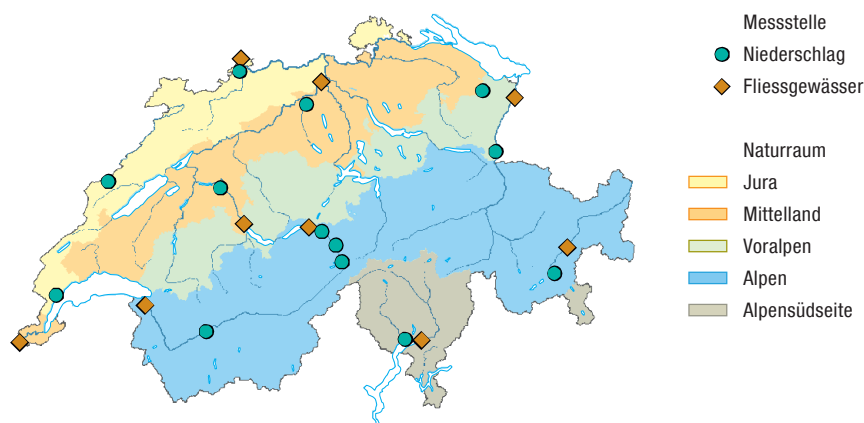


Abb. 4.13 Messstellen des NAQUA-Moduls ISOT zur Beobachtung der Isotope in Niederschlag und Fliessgewässern der Schweiz. Stand 2015.

4.5 Wasserqualität/physikalische und chemische Eigenschaften

Zustand und Entwicklung der Wasserqualität der Schweizer Fliessgewässer werden vom BAFU im Rahmen der Nationalen Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) an 17 Messstellen (Abb. 4.14) und zusammen mit den Kantonen im Rahmen der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) an 111 Messstellen erfasst. Neben der Beobachtung der Entwicklungen der Wasserinhaltsstoffe (z. B. Nährstoffe und Mikroverunreinigungen) haben die Messungen zum Ziel, die Wirksamkeit von Gewässerschutzmassnahmen zu beurteilen. Analysen zur Wasserqualität fokussieren daher auf längerfristige Veränderungen und weniger auf saisonale Schwankungen. Deshalb werden diese Analysen mit thematischen Schwerpunkten im «Hydrologischen Jahrbuch» publiziert. Weiterführende Informationen und Daten sind im Internet verfügbar (siehe S. 35).

Phosphorgehalt in Flüssen

Generell hat die Belastung der Gewässer mit Nährstoffen in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen. Eine signifikante Abnahme des Phosphorgehalts ist bei den meisten NADUF-Stationen ersichtlich, besonders deutlich nach dem Phosphatverbot in Waschmitteln im Jahre 1986. Durch den fortwährenden Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen hat sich der Gehalt auch nach 1990 noch weiter vermindert. Hohe Konzentrationen treten nur noch zeitlich begrenzt auf, etwa bei Hochwasserereignissen. In kleinen Mittellandflüssen mit hoher Einwohnerdichte und starkem Anteil an intensiver Landwirtschaft im Einzugsgebiet ist die Abnahme nach 1986 eher sprunghaft (z. B. Glatt, Abb. 4.15). In grossen Flüssen mit Einzugsgebieten mit verschiedenen Landnutzungen und Seen (z. B. Rhein und Aare) ist die Abnahme eher kontinuierlich. Der Phosphorgehalt im Wasser zeigt saisonale Schwankungen, weil die Konzentrationen in der warmen Jahreszeit durch den Konsum von Phosphor durch Pflanzen sinken. In den Flüssen mit vorgelagerten Seen wurden auch diese saisonalen Schwankungen nach dem Phosphatverbot in Waschmitteln deutlich abgeschwächt. In alpinen Flüssen in Einzugsgebieten mit kleiner Einwohnerdichte und geringem Anteil an intensiver Landwirtschaft (z. B. Rhone) zeigt der Phosphorgehalt dagegen nur spärliche längerfristige Veränderungen.

Messstellen der Nationalen Daueruntersuchung Fliessgewässer (NADUF)

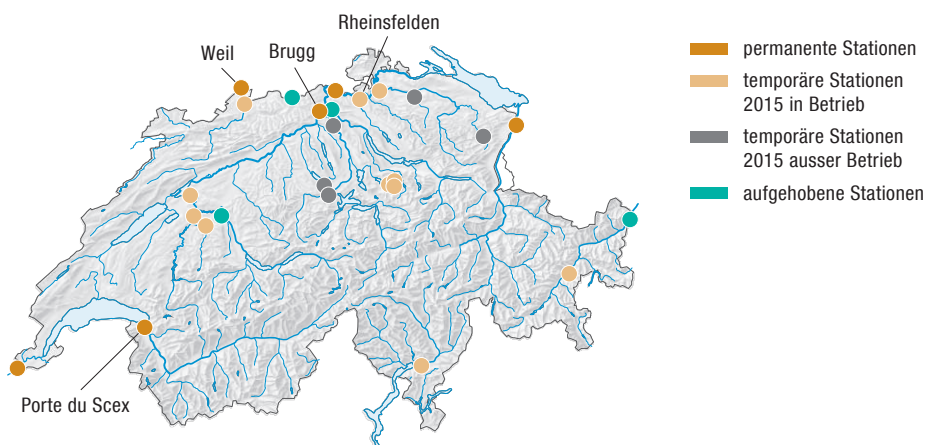


Abb. 4.14 Messstellen der Nationalen Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) zur Beobachtung der Wasserqualität in der Schweiz, Stand 2015.

Gesamtphosphorgehalt in Flüssen 1974–2015

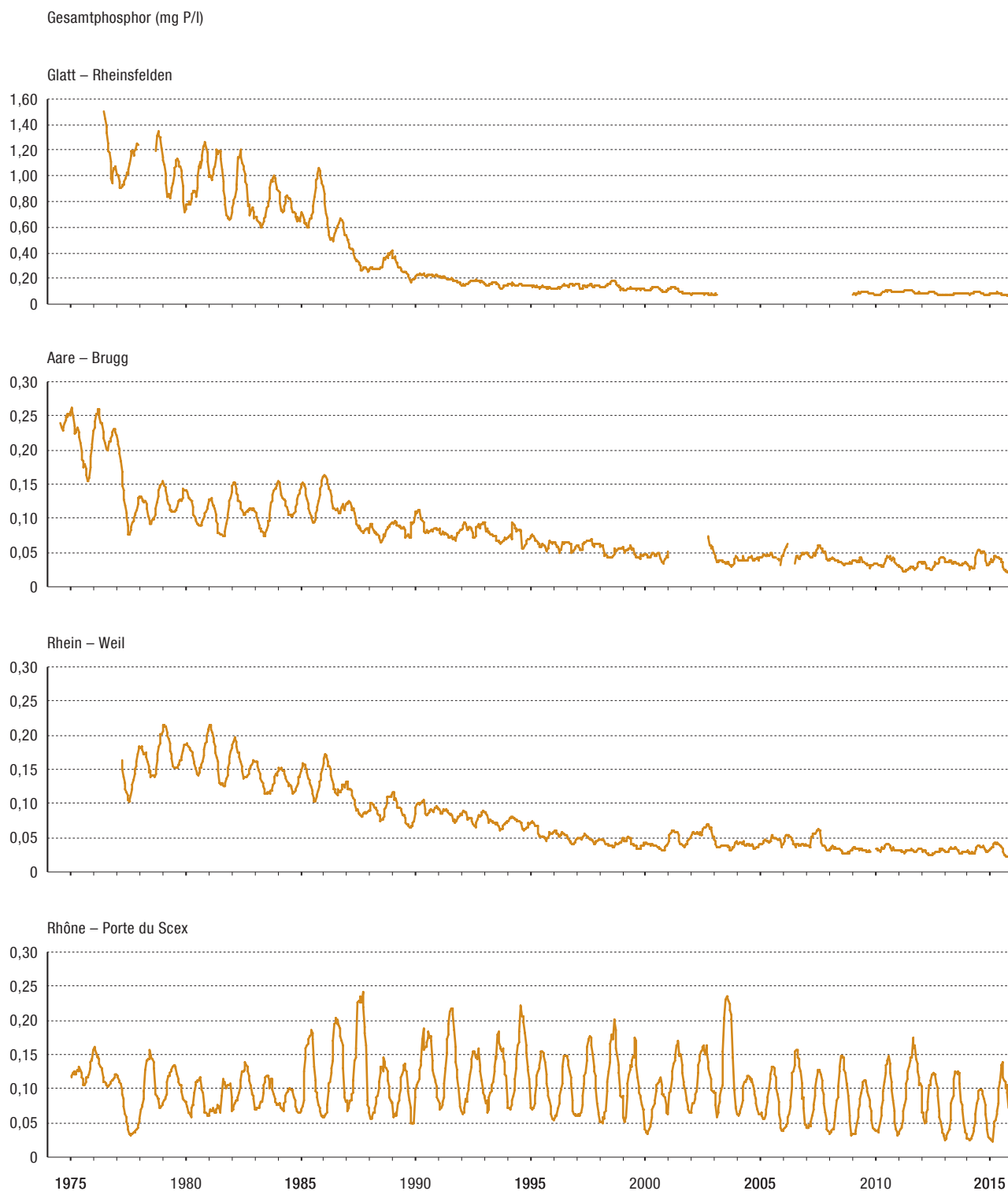


Abb. 4.15 Entwicklung des Gesamtphosphorgehalts in 14-tägigen Sammelproben von 1974 bis 2015 in ausgewählten NADUF-Stationen. Dargestellt sind gleitende Mittel über 11 Sammelproben.

5 > Grundwasser

Das Jahr 2015 begann verbreitet mit normalen Grundwasserständen und Quellschüttungen und endete infolge der anhaltenden Trockenheit ab Juni auf tiefem Niveau.

5.1 Grundwasserquantität

Die kontinuierliche Beobachtung von Grundwasserstand und Quellschüttung an etwa 100 repräsentativen Messstellen im Rahmen des NAQUA-Moduls QUANT ermöglicht es, Zustand und Entwicklung der Grundwassermenge auf Landesebene abzubilden. Weiterhin können so mögliche Auswirkungen der Klimaänderung – die prognostizierte Zunahme von Extremereignissen wie Hochwasser und Trockenperioden – auf die Grundwasserressourcen aufgezeigt werden.

Das Jahr 2015 begann landesweit mit normalen Grundwasserständen und Quellschüttungen. Im Januar fielen für

diesen Monat in weiten Teilen der Schweiz überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Während im Februar auf der Alpensüdseite Starkniederschläge zu weiterhin deutlich überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen führten, war dieser Monat auf der Alpennordseite verhältnismässig trocken. So waren im März landesweit normale Grundwasserstände und Quellschüttungen mit uneinheitlicher Tendenz zu beobachten (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 09.03.2015).

Anfang Mai fielen in den Alpen und auf der Alpennordseite aussergewöhnlich hohe Niederschlagsmengen, welche im Zuge des Hochwassers im Unterwallis, in der Westschweiz und in der Ostschweiz zu einem Anstieg der Grundwasser-

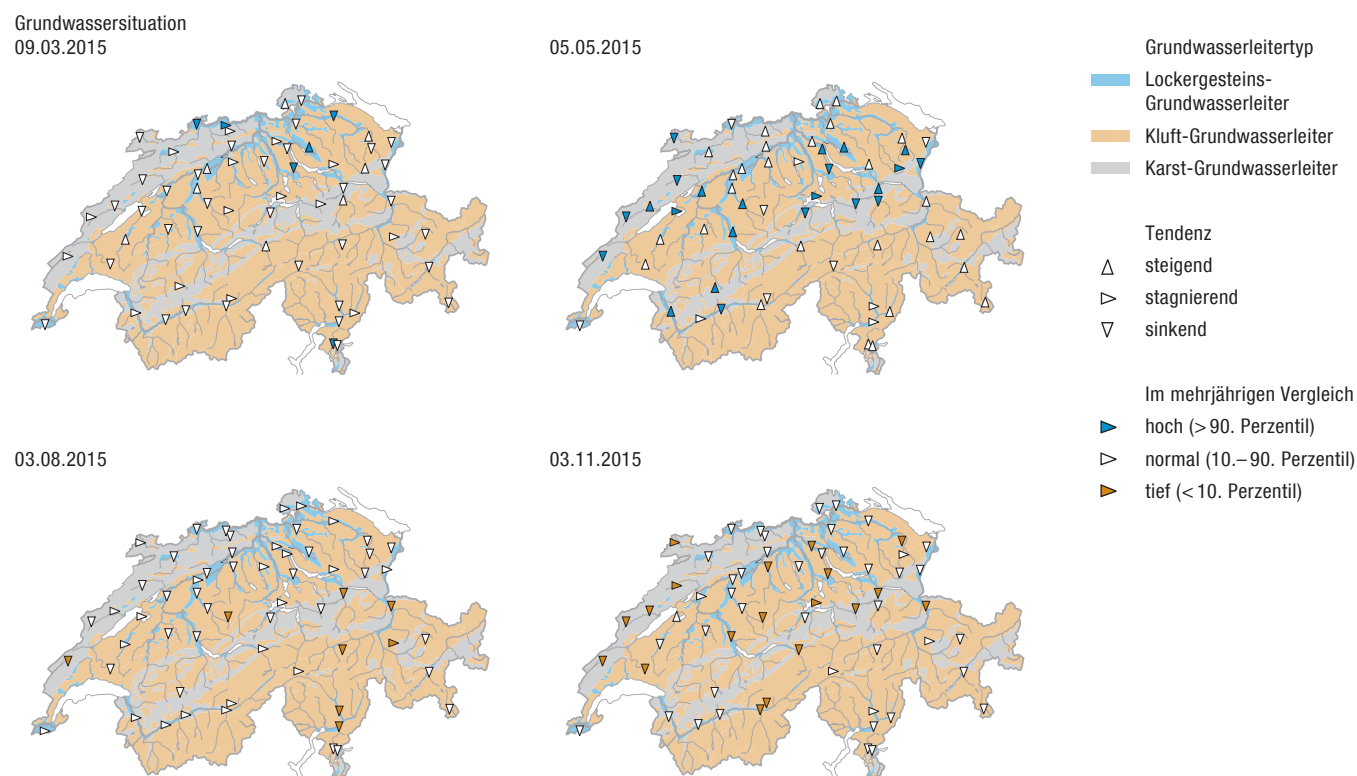


Abb. 5.1 Grundwasserstände und Quellschüttungen sowie deren Trend an vier Stichtagen im Jahr 2015 und im Vergleich zur Messperiode 2000–2014.

stände entlang der Fliessgewässer führten (Kap. 1). Wegen des insgesamt niederschlagsreichen Monats lagen die Grundwasserstände generell hoch, und auch Quellen zeigten einen erhöhten Abfluss. Im Tessin wurden im Mai jedoch infolge der unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen der beiden Vormonate normale Grundwasserstände beobachtet (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 05.05.2015).

Die anhaltende Trockenheit ab Juni wirkte sich dank der hohen Ausgangs-Grundwasserstände und -Quellschüttungen zu Beginn der Trockenperiode zunächst nur wenig auf die Grundwasserressourcen der Schweiz aus. Lockergesteins-Grundwasserleiter entlang der grossen Flüsse aus den Alpen profitierten zudem von der starken Flusswasserinfiltration infolge der aussergewöhnlich hohen Gletscherschmelze während des Hitzemonats Juli. So waren im August zwar sinkende Grundwasserstände und Quellschüttungen zu verzeichnen, sie lagen jedoch meist noch im Normalbereich (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 03.08.2015).

Im Zuge der anhaltenden Trockenheit sanken Grundwasserstände und Quellschüttungen weiter ab. So lagen sie Anfang November auf der Alpennordseite verbreitet tief und wiesen eine sinkende Tendenz auf. Auf der Alpensüdseite waren dagegen infolge der durchschnittlichen bis überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im September und Oktober immer noch normale Grundwasserstände zu beobachten (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 03.11.2015).

Von den teils ausgiebigen Niederschlägen Ende November konnten nur einzelne lokale Grundwasserleiter in den

Alpen sowie im Neuenburger und im Berner Jura profitieren. Infolge des trockenen Dezembers waren Ende 2015 auf der Alpennordseite normale bis tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen zu verzeichnen. Die beiden Monate November und Dezember waren vor allem auf der Alpensüdseite ausserordentlich trocken, was auch dort Ende Dezember zu tiefen Grundwasserständen führte.

5.2 Grundwasserqualität

Das Grundwasser in der Schweiz weist in der Regel eine gute bis sehr gute Qualität auf. In Ballungsräumen und intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten kann es aber auch unerwünschte künstliche Spurenstoffe enthalten.

Zustand und Entwicklung der Grundwasserqualität werden im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA landesweit repräsentativ an 550 Messstellen erfasst (Abb. 5.2). Neben der Früherkennung problematischer Substanzen und unerwünschter Entwicklungen steht dabei die Kontrolle der Wirksamkeit von Massnahmen zum Schutz des Grundwassers im Vordergrund. Analysen zur Grundwasserqualität fokussieren daher auf statistisch signifikante längerfristige Veränderungen und nicht auf saisonale Schwankungen. Diese Analysen werden daher nicht im Rahmen des «Hydrologischen Jahrbuchs» publiziert. Weiterführende Informationen und Daten sind im Internet verfügbar (Seite 35).

Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA
(Module TREND und SPEZ)

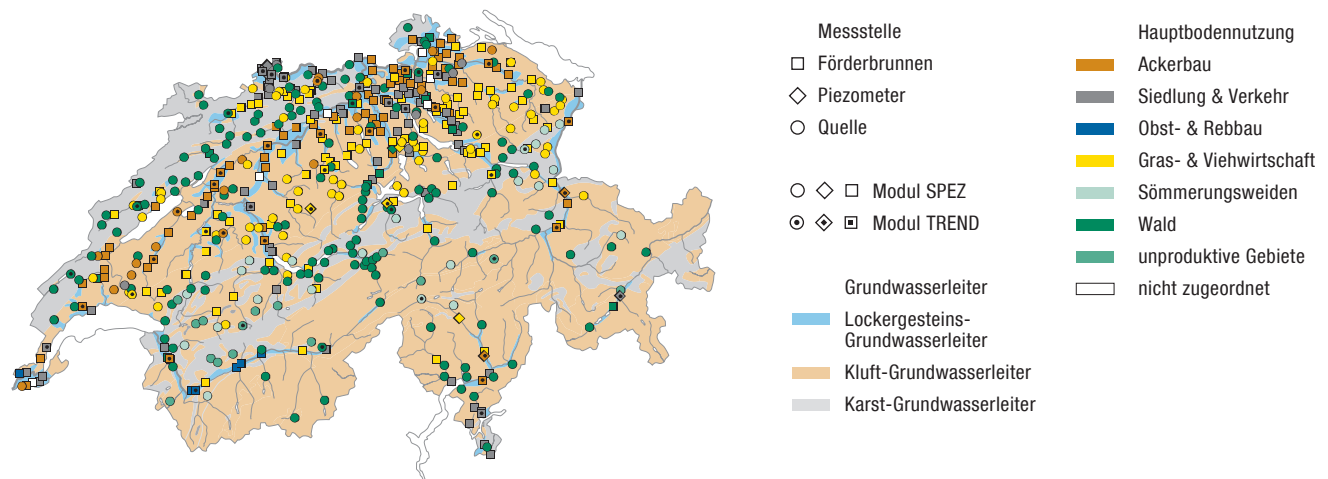


Abb. 5.2 Messstellen der NAQUA-Module TREND und SPEZ zur Beobachtung der Grundwasserqualität mit Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet sowie Grundwasserleitertyp. Stand 2015.

> Anhang

Glossar

Gefahrenstufe

Entsprechend den Bestimmungen der Alarmierungsverordnung verwendet das BAFU für die Warnung vor Hochwasser eine fünfstufige Gefahrenskala. Die Gefahrenstufen geben Auskunft über die Intensität des Ereignisses und die möglichen Auswirkungen und machen Verhaltensempfehlungen. Die Hochwassergrenze bei Seen bezeichnet den Übergang von der Stufe «erhebliche Gefahr» zur Stufe «grosse Gefahr». Bei diesem Wasserstand können vermehrt Überflutungen auftreten. Dabei können Gebäude und Infrastrukturanlagen betroffen sein.

Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA)

Das BAFU schafft in Zusammenarbeit mit den Kantonen die Grundlagen, um den Zustand und die Entwicklung der Schweizer Gewässer auf nationaler Ebene zu dokumentieren und zu beurteilen.

Nationale Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF)

Das Messprogramm verfolgt die Entwicklung der Wasserinhaltsstoffe in ausgewählten Schweizer Flüssen.

Nationale Grundwasserbeobachtung (NAQUA)

Die Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA besteht aus den vier Modulen QUANT, TREND, SPEZ und ISOT. Im Modul QUANT wird die Grundwasserquantität, in den beiden Modulen TREND und SPEZ die Grundwasserqualität beobachtet. Das Modul ISOT dient der Beobachtung der Wasserisotope im Niederschlag und in den Fliessgewässern sowie im Grundwasser.

Normwert

Zur Beschreibung der mittleren klimatologischen oder hydrologischen Verhältnisse einer Station werden Mittelwerte (Normwerte) verschiedener Parameter aus einer langjährigen Messperiode benötigt. Im vorliegenden Jahrbuch wird, wenn möglich, die Normperiode 1981–2010 verwendet.

Quantil

Ein Quantil ist ein Lagemass in der Statistik. Es legt fest, welcher Anteil der Werte einer Verteilung über oder unter einer bestimmten Grenze liegt. Das 95 %-Quantil beispielsweise ist der Schwellenwert, für den gilt, dass 95 % einer Datenmenge kleiner und 5 % grösser sind. Das bekannteste Quantil ist der Median (oder 50 %-Quantil). Er teilt die Werte einer Verteilung in zwei gleich grosse Teile.

^2H , ^{18}O

Deuterium (^2H) ist ein natürliches stabiles Isotop des Wasserstoffs. Sauerstoff-18 (^{18}O) ist ein natürliches stabiles Isotop des Sauerstoffs. Isotope sind Atome eines Elementes mit gleicher Protonenzahl, aber mit unterschiedlicher Neutronenzahl.

δ -Werte (Delta-Werte) sind Verhältniszahlen der entsprechenden Isotope $\delta(^2\text{H}/^1\text{H})$, abgekürzt als $\delta^2\text{H}$, und $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})$, abgekürzt als $\delta^{18}\text{O}$.

Weiterführende Informationen im Internet

Ausführliche Informationen zu den Themen des «Hydrologischen Jahrbuchs» und den hydrometrischen Messnetzen des BAFU sowie aktuelle und historische Daten sind im Internet zu finden unter:

www.bafu.admin.ch/hydrologischesjahrbuch

- > Aktuelle und historische Messdaten:
www.hydrodaten.admin.ch
- > Hydrologisches Bulletin des BAFU:
www.hydrodaten.admin.ch/de/hydro_bulletin.html
- > Grundwasserbulletin des BAFU:
www.hydrodaten.admin.ch/de/grundwasserbulletin.html
- > Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung
NAQUA: www.bafu.admin.ch/naqua
- > Ergebnisse der Nationalen Daueruntersuchung der
Fliessgewässer (NADUF) – Datendownload:
[www.eawag.ch/de/abteilung/wut/schwerpunkte/
chemie-wasserressourcen/naduf/](http://www.eawag.ch/de/abteilung/wut/schwerpunkte/chemie-wasserressourcen/naduf/)
- > Nationale Daueruntersuchung der Fliessgewässer
(NADUF) – Beschreibung Messnetz:
www.bafu.admin.ch/naduf
- > Indikatoren Gewässer und weiterführende Informationen
zum Thema Wasser:
www.bafu.admin.ch/wasser
- > National Centre for Climate Services (NCCS):
www.nccs.ch