

> Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2016

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
<hr/>	
1 Besonderheiten im Jahr 2016	6
<hr/>	
2 Witterung	11
<hr/>	
3 Schnee und Gletscher	12
<hr/>	
4 Oberflächengewässer	14
<hr/>	
5 Grundwasser	30
<hr/>	
Anhang	33

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)
 der ETH Zürich

Zitiervorschlag

BAFU (Hrsg.) 2017: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2016.
 Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1712: 36 S.

Lektorat

Jacqueline Dougoud, Zürich

Gestaltung

Magma – die Markengestalter, Bern

Titelfoto

Hochwasser am Rheinfluss bei Neuhausen (SH) am 19. Juni 2016.
 Foto: Jörg Hammer, BAFU

Bildnachweis

Seite 13: Matthias Huss, Departement für Geowissenschaften
 der Universität Freiburg

Datengrundlage

Die hydrologischen Analysen basieren auf provisorischen
 Daten des Jahres 2016.

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-1712-d
 Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache erhältlich.

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

> Vorwort

2016 war geprägt von einer ersten feuchten und einer zweiten trockenen, warmen Jahreshälfte. Dies zeigt, dass die Jahresmittelwerte grössere jahreszeitliche Kontraste kaschieren können. Die Entwicklung von Mittelwerten umfasst neben den zwischenjährlichen Schwankungen meist noch deutlichere Ausprägungen von Extremwerten. Dieser glättende Effekt des Jahresmittels stellt eine Herausforderung für die Kommunikation in der Umweltbeobachtung dar. Einerseits müssen wir das öffentliche Bewusstsein dafür stärken, dass bereits scheinbar kleine Veränderungen des Jahresmittelwertes zu deutlich spürbaren Veränderungen in Umweltsystemen führen können. Andererseits ist ein Extremereignis nicht immer ein Indiz für die langfristige Entwicklung dieser Systeme. Kapitel 1 des vorliegenden Hydrologischen Jahrbuchs rückt die hydrologischen Ereignisse des Jahres 2016 in den langjährigen Kontext und macht sie damit verständlicher.

Die hydrologischen Messungen sind ein wesentlicher Beitrag zur Umweltbeobachtung. Sie liefern wichtige Grundlagen für das Erfassen und die Beurteilung des Gewässerzustandes. Neue Herausforderungen entstehen als Folge des Klimawandels bzw. der sozioökonomischen Veränderungen, was Anpassungen am Messnetzkonzept erfordert. Die Abteilung Hydrologie des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) aktualisiert zurzeit das Konzept für die Temperaturmessung von Oberflächengewässern. Weitere konzeptuelle Anpassungen sind – in Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern – für die Messnetze zur Beobachtung der Oberflächengewässerqualität (NAWA) und zur Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) in Erarbeitung.

Im Laufe des Jahres 2016 haben die Abteilung Hydrologie des BAFU und das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) damit begonnen, die elektronische Ausrüstung der Stationen des hydrologischen Bundesmessnetzes vollständig zu modernisieren. Das Konzept von 2015 wird nun bei sämtlichen Messstationen systematisch umgesetzt. Die Komplexität der Installationen, die grosse Anzahl auszurüstender Stationen und die Tatsache, dass einzelne Messstandorte sehr abgelegen sind, stellen eine grosse Herausforderung dar. Oberstes Ziel dabei ist, während des Wechsels der elektronischen Geräte den kontinuierlichen Betrieb des Messnetzes ohne Verlust von Messdaten zu gewährleisten. Bislang wurde dies dank des grossen Engagements und der Kompetenz aller beteiligten Mitarbeitenden erreicht.

Das hydrologische Messnetz stützt sich zudem auf eine bedeutende Informatikinfrastruktur für die Erhebung, Übertragung, Bearbeitung, Auswertung und Archivierung der Daten. Mehrere IT-Projekte sind zurzeit im Gang, um die Informatiklösungen zu standardisieren und optimal zusammenzuführen. Dies soll es ermöglichen, dem Bedürfnis nach einfachem Datenzugang gerecht zu werden und den Behörden zuverlässige Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung zu stellen.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre des Hydrologischen Jahrbuchs 2016.

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 au niveau national. 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 du pays 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

Das Jahr 2016 war in der Schweiz 0,7 Grad milder als die Norm 1981–2010. Die Alpennordseite registrierte regional das niederschlagsreichste erste Halbjahr seit Messbeginn. Der Sommer kam erst im Juli, verweilte dann aber mit ungewöhnlicher Wärme bis im September. Auf das Jahresende hin führte anhaltendes Hochdruckwetter mit Rekordtrockenheit zu ausgeprägter Schneearmut in den Bergen.

Schnee und Gletscher

Über den ganzen Winter 2015/16 gemittelt, waren die Schneehöhen nur im Unterwallis und am westlichen Alpennordhang oberhalb von rund 1400 m ü. M. normal, in den übrigen Gebieten unterdurchschnittlich. Für die Schweizer Gletscher sah es nach intensiven Schneefällen im Mai und Juni 2016 lange gut aus. Der sehr warme Spätsommer führte dann aber zu starker Gletscherschmelze.

Abflussverhältnisse

In den grossen Flussgebieten der Alpennordseite bewegten sich die Jahresmittel des Abflusses ein paar Prozente über den Werten der Normperiode 1981–2010. Der Abfluss des Alpenrheins entsprach etwa der Norm. Die Jahresmittel der Flussgebiete der Alpensüdseite, im Engadin und im Wallis lagen tiefer. Die scheinbare Ausgeglichenheit beim Jahresabfluss resultierte in vielen Gebieten aus einem meist nassen ersten und einem trockenen zweiten Halbjahr. In vielen Einzugsgebieten waren die Juni-Abflüsse des Jahres 2016 grösser als die mittleren Juni-Abflüsse der Normperiode. Im zweiten Halbjahr wiesen vor allem die Monate Oktober und Dezember verbreitet tiefe Abflüsse auf. Der in den Alpen niederschlagsärmste Dezember seit Messbeginn 1864 liess die Abflüsse in manchen Einzugsgebieten auf rund ein Fünftel der normalen Abflussmenge zurückgehen. Der Alpenrhein verzeichnete Mitte Juni ein grosses Hochwasserereignis.

Seestände

Am Bodensee (+26 cm) und am Lago Maggiore (–27 cm) wichen die Jahresmittelwerte der Wasserstände deutlich von den langjährigen Mittelwerten ab. Die Jahresmittel der Wasserstände der anderen grösseren Seen lagen nur wenige Zentimeter ober- oder unterhalb der Norm. Die starken und anhaltenden Niederschläge von Mitte Juni in den zentralen und östlichen Voralpen liessen den Bodensee so stark ansteigen wie seit 1999 nicht mehr. Der Wasserstand lag im Juni und Juli an über 40 Tagen ununterbrochen über der Hochwas-

sergrenze. Das Jahr 2016 brachte an verschiedenen Seen auch ausgeprägte Tiefstände. Der Neuenburgersee erreichte seinen niedrigsten Pegelstand Ende Jahr. Am Lago Maggiore gab es zwei Niedrigwasserphasen: eine Anfang Jahr, eine weitere im Herbst.

Wassertemperaturen

2016 waren bei den Wassertemperaturen aufgrund des milden Wetters kaum Überschreitungen, aber auch keine Unterschreitungen der bisherigen Jahresmittelwerte zu beobachten. Der seit den Sechzigerjahren ansteigende Trend bei den Jahresmittelwerten setzt sich jedoch weiter fort. Bei den Monatsmaxima führte der warme Winter in den ersten Monaten mehrfach zu neuen monatlichen Höchstwerten. Auch Ende August und im September führten hohe Lufttemperaturen zu einer kurzfristigen Überschreitung der bisherigen Monatsmaxima an 18 Messstationen des BAFU.

Stabile Isotope

Der Winter 2015/16 war sehr mild, was sich im Niederschlag in überdurchschnittlich hohen δ -Werten für diese Jahreszeit ausdrückte. Im Sommer 2016 wurden ebenfalls hohe δ -Werte gemessen. Die in den Fliessgewässern seit 2013 im langjährigen Vergleich unterdurchschnittlichen δ -Werte im Frühling und Sommer entlang der Aare, im Rhein bei Weil sowie in der Rhone oberhalb des Genfersees setzten sich auch im Jahr 2016 fort. Wegen des warmen Sommers kam in dieser Zeit mehr Gletscherschmelzwasser – mit negativeren δ -Werten – zum Abfluss.

Grundwasser

Die tiefen Grundwasserstände und Quellabflüsse vom trockenen Jahresende 2015 stiegen infolge der überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen in der ersten Jahreshälfte 2016 stetig an. Von April bis Juni wurden dadurch zunehmend hohe Grundwasserstände und Quellabflüsse beobachtet. Der Monat August war überdurchschnittlich warm und insgesamt sehr trocken. Infolgedessen normalisierten sich die Grundwasserstände und Quellabflüsse. Nach anhaltend geringen Niederschlagsmengen waren im Jura, in den Alpen und im Tessin vermehrt tiefe Grundwasserstände und Quellabflüsse zu verzeichnen. Von den Niederschlägen im November konnten nur einige Grundwasserleiter im Mittelland profitieren. Ende Dezember lagen dann an etwa jeder dritten Messstelle wieder tiefe Grundwasserstände bzw. Quellabflüsse vor.

1 > Besonderheiten im Jahr 2016

Starkniederschläge liessen Mitte Juni 2016 zahlreiche Flüsse und Seen der Schweiz rasch ansteigen. Verbreitet wurden an den BAFU-Messstationen zwei- bis fünfjährige Hochwasser verzeichnet. Einige Flüsse führten aber auch Abflussmengen, die seltener beobachtet werden, so die Seez bei Mels oder der Rhein bei Diepoldsau. Der Bodensee erreichte den höchsten Wasserstand seit 1999.

1.1 Hochwasserereignis vom Juni 2016

Von Mitte Mai bis Mitte Juni 2016 waren in der Schweiz immer wieder intensive Niederschläge gefallen. Die Abflüsse und Wasserstände vieler Gewässer lagen deshalb schon einige Wochen auf hohem Niveau oder waren immer wieder kurzfristig angestiegen.

Die Böden waren verbreitet gesättigt, und Schauer und Gewitter führten mancherorts zu Überschwemmungen, da kleinere Flüsse über die Ufer traten oder das Regenwasser nicht genügend rasch über die Kanalisation abfliessen konnte.

Intensive Niederschläge in der Süd- und Ostschweiz

Vom 16. bis am 18. Juni gab es starke, teils anhaltende Niederschläge in der Südschweiz und in den zentralen und östlichen Voralpen und Alpen. Teilweise waren sie auch von Gewittern begleitet. Auch in anderen Gegenden der Schweiz regnete es häufig. Gemäss Angaben der MeteoSchweiz fielen in diesen Tagen im Tessin lokal bis 200 mm Regen, im Bündnerland je nach Gebiet zwischen 50 und 120 mm.

Rasche Reaktion der Flüsse

Als Reaktion auf die erfolgten Niederschläge und aufgrund der bereits gesättigten Böden stiegen die Flüsse und Seen insbesondere in der Süd- und Ostschweiz rasch an. Bei den Stationen Ergolz – Liestal, Hinterrhein – Fürstenau, Liechtensteiner Binnenkanal – Ruggell, Rhein – Diepoldsau, Rhein – Domat/Ems, Rhein – Neuhausen, Seez – Mels sowie Werdenberger Binnenkanal – Salez wurden Hochwasser verzeichnet, die statistisch alle 10 bis 30 Jahre vorkommen. An vielen weiteren hydrometrischen Messstationen wurden 2- bis 5-jährliche und 5- bis 10-jährliche Hochwasser beobachtet. Mancherorts kam es auch zu Rutschungen.

An einigen Messstationen wurden neue Juni-Maxima registriert. Detaillierte Angaben zu den höchsten Messwerten und den maximal erreichten Gefahrenstufen sind der Zusammenstellung auf Seite 7 zu entnehmen.

Monatliche Niederschlagssumme Juni 2016 (mm)

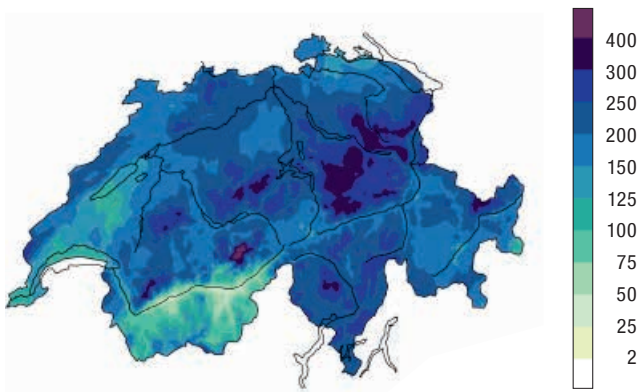


Abb. 1.1 Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen vom 1. bis 30. Juni 2016. Dargestellt sind die absoluten Werte in Millimetern. Quelle: MeteoSchweiz.

Hochwasserereignisse Juni 2016 – Fließgewässer

Stationsname	Periodenlänge (Jahre)	Bisheriges Maximum (m ³ /s)	Zeitpunkt (Monat/Jahr)	Bisheriges Maximum Juni (m ³ /s)	Zeitpunkt (Jahr)	HQ ₂₀₁₆ (m ³ /s)	Datum	Zeit	Jährlichkeit	Max. erreichte Gefahrenstufe
Aare – Brügg	81	783	5/2015	701	1999	622	21.06.2016	17:10	5–10	2
Albula – Tiefencastel	90	127	8/2014	108	1999	106	17.06.2016	03:10	5–10	2
Alp – Einsiedeln	24	217	6/2007	217	2007	106	24.06.2016	20:25	5–10	2
Berninabach – Pontresina	61	166	7/1987	103	1991	66,3	17.06.2016	02:25	5–10	2
Chamuerabach – La Punt-Chamues-ch	61	67,5	9/1960	39	1963	18,3	17.06.2016	02:10	5–10	2
Ergolz – Liestal	82	152	5/1994	96,7	1987	111	17.06.2016	00:20	10–30	3
Hinterrhein – Fürstenuau	42	713	9/1981	578	2001	607	17.06.2016	01:50	10–30	3
Inn – Martina	46	481	7/1987	466	1991	337	17.06.2016	07:00	5–10	2
Inn – Tarasp	46	441	7/1987	295	1997	259	17.06.2016	06:25	5–10	2
Julia – Tiefencastel	39	119	8/2014	98,2	2001	73,2	16.06.2016	22:20	5–10	2
Langeten – Huttwil, Häberenbad	50	77,8	6/2007	77,8	2007	30,5	25.06.2016	02:00	5–10	2
Liechtensteiner Binnenkanal – Ruggell	41	58,3	8/2000	44,5	1991	43,7	17.06.2016	06:10	10–30	3
Linth – Mollis, Linthbrücke	45	402	8/2005	270	2012	263	17.06.2016	03:30	5–10	2
Linth – Weesen, Biäsche	81	295	6/1953	295	1953	197	18.06.2016	07:50	5–10	2
Minster – Euthal, Rüti	55	217	6/2007	217	2007	190	24.06.2016	19:39	10–30	3
Moesa – Lumino, Sassello	35	567	9/1983	433	2001	420	17.06.2016	03:15	5–10	3
Ova da Cluozza – Zernez	54	15,9	9/1999	12,6	1991	10,6	17.06.2016	07:00	5–10	2
Reuss – Luzern, Geissmattbrücke	81	473	8/2005	395	1999	336	17.06.2016	21:40	5–10	2
Rhein – Diepoldsau, Rietbrücke	32	2661	7/1987	1894	2001	2185	17.06.2016	06:20	10–30	3
Rhein – Domat/Ems	54	1750	7/1987	1166	1987	1304	17.06.2016	03:30	10–30	3
Rhein – Neuhausen, Flurlingerbrücke	57	1173	5/1999	1159	1999	957	24.06.2016	22:10	10–30	3
Rhein – Rekingen	112	2250	6/1910	2250	1910	1414	17.06.2016	14:10	5–10	2
Rheintaler Binnenk. – St. Margrethen	47	139	5/1999	133	2013	104	17.06.2016	06:10	5–10	2
Riale di Pincascia – Lavertezzo	23	277	10/2006	136	2009	146	17.06.2016	00:15	5–10	3
Seez – Mels	36	75,4	7/1987	53,3	1991	58,6	17.06.2016	02:20	10–30	3
Werdenberger Binnenkanal – Salez	47	113	8/2000	97,3	2013	102	17.06.2016	04:30	10–30	4

Hochwasserereignisse Juni 2016 – Seen

Stationsname	Periodenlänge (Jahre)	Bisheriges Maximum (m ü. M.)	Zeitpunkt (Monat/Jahr)	Bisheriges Maximum Juni (m ü. M.)	Zeitpunkt (Jahr)	HW ₂₀₁₆ (m ü. M.)	Datum	Zeit	Max. erreichte Gefahrenstufe
Bodensee (Obersee) – Romanshorn	86	397,89	6/1999	397,89	1999	397,35	21.06.2016	06:50	4
Bodensee (Untersee) – Berlingen	86	397,67	6/1999	397,67	1999	397,03	21.06.2016	06:40	4
Lac Léman – St-Prex	73	372,88	12/1965	372,73	1970	372,41	17.06.2016	18:10	2
Lago di Lugano – Melide, Ferrera	51	272,08	11/2002	271,27	1997	270,96	18.06.2016	19:20	2
Lago Maggiore – Locarno	73	197,57	10/2000	195,56	1957	194,68	18.06.2016	03:50	2
Vierwaldstättersee – Luzern	80	435,23	8/2005	434,86	1970	434,14	17.06.2016	21:40	2
Walensee – Murg	86	422,16	5/1999	422,11	1953	421,13	18.06.2016	08:10	2
Zugersee – Zug	86	414,49	5/1999	414,34	1965	414,12	17.06.2016	23:00	2
Zürichsee – Zürich	65	407,01	5/1999	406,90	1953	406,40	20.06.2016	06:50	2

* neue absolute Höchstwerte, **fett**: neue Juni-Maxima

Regulierung der Jurarandseen

Aufgrund der Prognose hoher Zuflüsse und Seepiegel haben das BAFU und die beteiligten Kantone am 25. Mai 2016 beschlossen, die Jurarandseen vorzeitig abzusenken und so mehr Rückhaltevolumen zu schaffen. Infolge der ab Ende Mai und im Juni konstant hohen Zuflüsse erreichten die Jurarandseen ihre Maximalpegel am 19./20.6.2016. Die Aare unterhalb des Bielersees führte während der gesamten Periode vom 25. Mai bis 30. Juni 2016 erhöhte Abflüsse von rund 600 m³/s.

Höchster Bodenseepiegel seit 1999

Im Laufe des Ereignisses stiegen die Seen in der ganzen Schweiz stark an, und entsprechend waren auch die Seeausflüsse sehr hoch. Genfersee, Lago di Lugano, Lago Maggiore, Vierwaldstättersee, Walensee, Zugersee und Zürichsee erreichten die Gefahrenstufe 2 (mässige Gefahr). Der Bodensee stieg gar in die Gefahrenstufe 4 (grosse Gefahr) an und überschritt damit die Hochwassergrenze bei Romanshorn von 397,15 m ü.M. um 20 cm. Im Gegensatz zu den meisten Schweizer Seen ist der Bodensee nicht regulierbar. Der Seepiegel ist daher durch die Zuflüsse und die Ausflusskapazität bestimmt.

Der Bodensee verzeichnete seinen Höchststand am Dienstag, 21. Juni (397,35 m ü.M. am Obersee bei Romanshorn und 397,03 m ü.M. am Untersee bei Berlingen). Er erreichte damit den höchsten Wasserstand seit Mai 1999. Damals lag der Seepiegel noch mehr als 50 cm höher (Abb. 4.10). Letztmals war der Bodensee im Juni 2013 lokal ausgeufert. Der Seepiegel erreichte damals ein Maximum von 397,04 m ü.M. bei Romanshorn und 396,83 m ü.M. bei Berlingen und lag somit deutlich tiefer als im Juni 2016. Das Hochwasser von Juni 2016 entspricht einem Ereignis, das am Bodensee statistisch etwa alle zehn Jahre eintritt.

Hochwassersituation der Fliessgewässer im Juni 2016

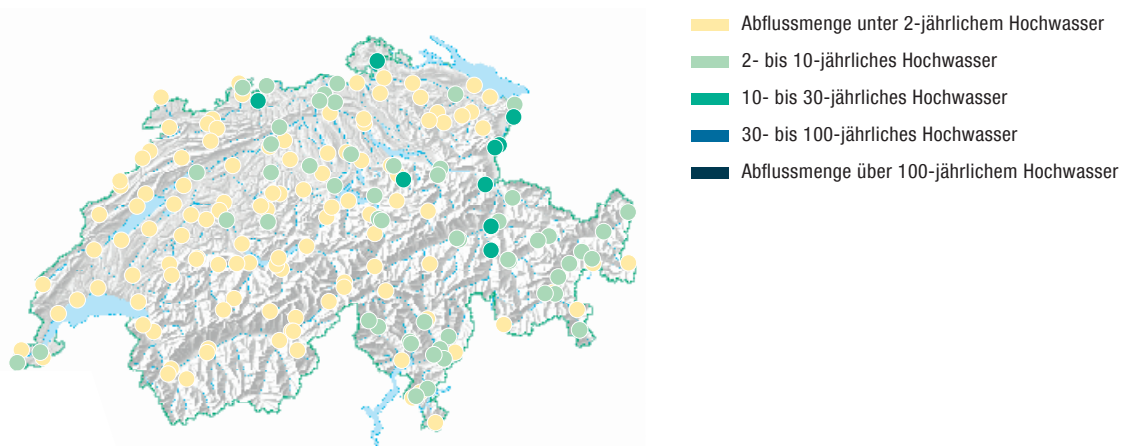


Abb. 1.2 Vergleich der maximalen Abflüsse mit der Hochwasserstatistik.

Attraktion Rheinfall

Das Hochwasser hatte aber auch faszinierende Seiten: So wurde der Rheinfall bei Neuhausen zu einem Publikumsmagnet. Der Rhein führt im Juni an dieser Stelle normalerweise einen Abfluss von $560 \text{ m}^3/\text{s}$. Am 24. Juni 2016 aber flossen über $950 \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser über den Rheinfall (zum Vergleich: absolutes Maximum von Mai 1999: $1173 \text{ m}^3/\text{s}$). Ein spektakuläres Schauspiel, welches gemäss BAFU-Statistiken nur etwa alle 15 Jahre zu beobachten ist.

Situation länger nicht ganz entspannt

Gewitter mit starken Niederschlägen am 24. und 25. Juni liessen die Gewässer rasch nochmals ansteigen. So führte am 24. Juni die Minster bei Euthal ein 10- bis 30-jährliches Hochwasser. Auch die Seepiegel befanden sich verbreitet noch auf hohem Niveau. Nach dem erreichten Höchststand sank der Bodensee nur langsam und erreichte erst am 23. Juli 2016 wieder die Gefahrenstufe 1 (keine oder geringe Gefahr) und damit einen für die Jahreszeit üblichen Wasserstand. Entsprechend führte auch der Rhein unterhalb des Bodensees noch einige Wochen Hochwasser.

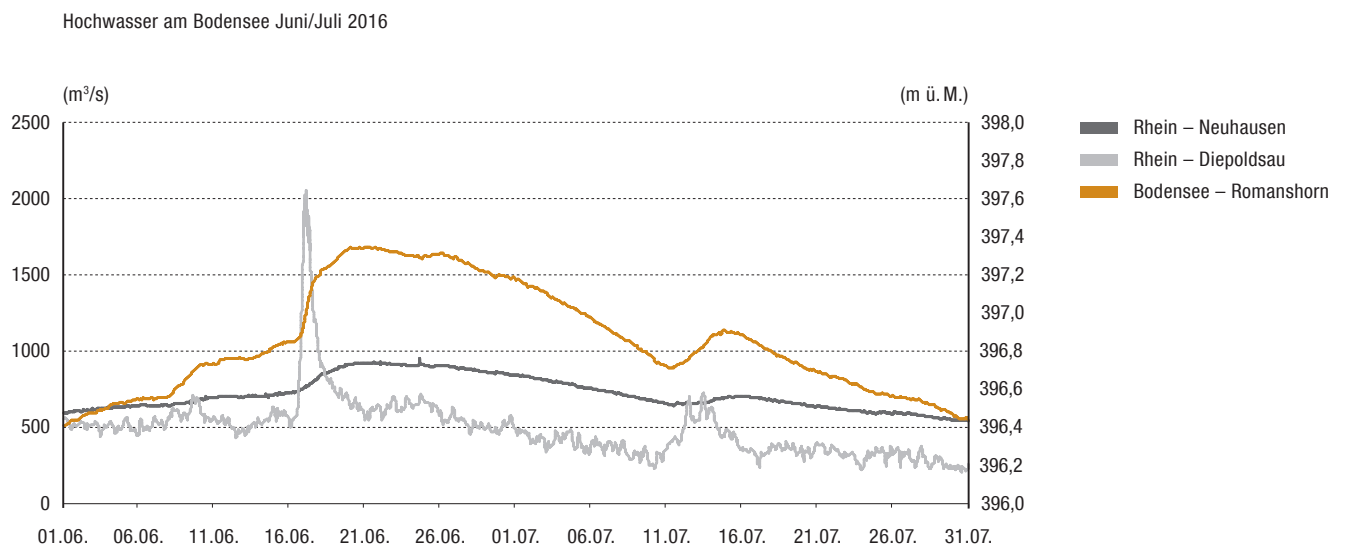


Abb. 1.3 Hochwasser am Bodensee im Juni/Juli 2016: Der Wasserstand des Bodensees bei Romanshorn (orange) sowie der Seeeinfluss des Rheins bei Diepoldsau (hellgrau) und der Abfluss am Rheinfall bei Neuhausen (dunkelgrau) vom 1. Juni bis 31. Juli 2016.

1.2 Zeitliche Entwicklung der Bodenseepiegel

Der Bodensee ist ein natürlicher und unregulierter See. Er besteht aus zwei Teilen, dem östlich gelegenen Obersee (Fläche 472 km²) und dem westlich gelegenen Untersee (Fläche 63 km²), die durch den rund 4 km langen Seerhein verbunden sind.

Der Ausflussbereich des Obersees beginnt an der «Konstanzer Schwelle». Diese ist bei Niedrigwasser eine Flachwasserzone. Der Rhein fliesst anschliessend durch den Seerhein zum Untersee, der im Winterhalbjahr zwischen Gottlieben und Ermatingen Flachwasserzonen aufweist. Der natürliche Auslauf des Untersees liegt etwa 1,2 km östlich von Stein am Eschenzer Horn. Ab dieser Stelle wird der frei fliessende Rhein als Hochrhein bezeichnet.

In den letzten Jahren wurde am Bodensee beobachtet, dass die Differenzen der mittleren Seepiegel zwischen Obersee und Untersee gewachsen sind. Seit 2007 haben die Differenzen kontinuierlich um insgesamt 16 cm zugenommen (vgl. Abb. 1.4). Sie bewegen sich damit auf einem Niveau wie vor 1920.

Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) hat das Langzeitverhalten der Bodensee-Wasserstände für die Zeitspanne von

1888 bis 2007 untersucht. Sie nennt für die Veränderungen der mittleren Wasserstandsdifferenzen in dieser Zeitperiode folgende möglichen Ursachen:

- Veränderungen der Schifffahrtsrinne im Bereich der Konstanzer Schwelle
- Erosionen und Ablagerungen im Bereich der Konstanzer Schwelle und des Seerheins sowie im Flachwasserbereich des östlichen Untersees.

Vermutet wird zudem, dass die Ursachen auch in vegetationsbedingten Veränderungen der Strömungsbedingungen im Bereich der Konstanzer Schwelle und des Seerheins sowie der Flachwasserzonen im Untersee liegen.

Bezüglich der Zunahme der Differenzen seit 2007 sind detailliertere Untersuchungen im Gang.

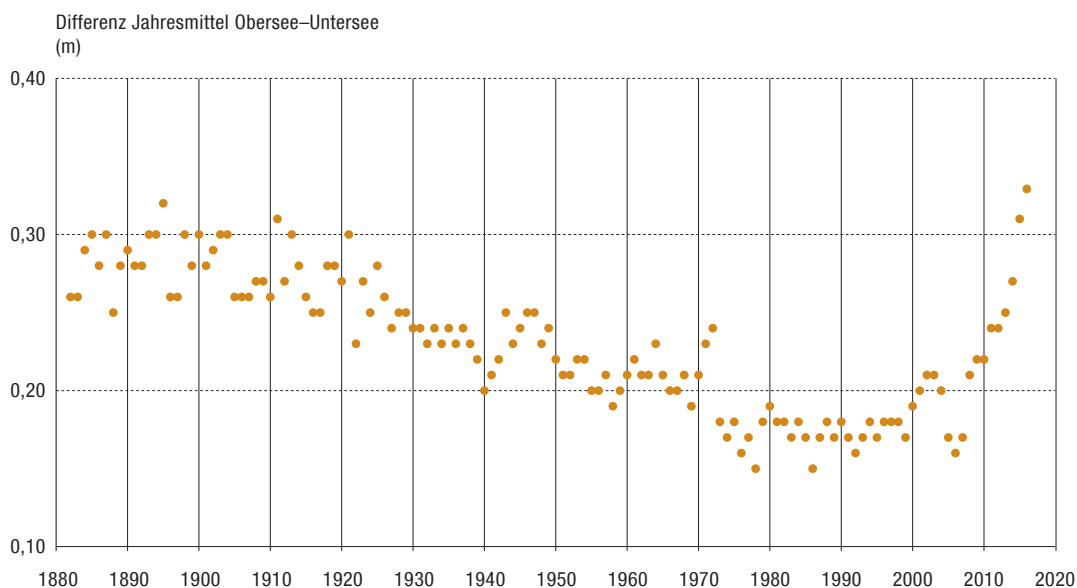


Abb. 1.4 Differenz der Jahresmittel der Seepiegel am Obersee (Pegel Rorschach, ab 1930 Station Romanshorn) und am Untersee (Pegel Mammern, ab 1930 Station Berlingen) für die Periode 1882–2016 (Quellen: Eidg. Amt für Wasserwirtschaft und BAFU).

2 > Witterung

Das Jahr 2016 war in der Schweiz 0,7 Grad milder als die Norm 1981–2010. Die Alpennordseite verzeichnete regional das niederschlagsreichste erste Halbjahr seit Messbeginn. Der Sommer kam erst im Juli, verweilte dann aber mit ungewöhnlicher Wärme bis im September. Auf das Jahresende hin führte anhaltendes Hochdruckwetter mit Rekordtrockenheit zu ausgeprägter Schneearmut in den Bergen.

Auf der Alpennordseite verlief der Januar ausgesprochen niederschlagsreich. Die häufigen und am Monatsende kräftigen Niederschläge führten auch an Messstandorten mit über 100-jährigen Messreihen zu Rekord-Januarsummen. In den tieferen Lagen der Alpennordseite war es insgesamt der zweitnasseste Januar seit Messbeginn 1864. Die Alpensüdseite hingegen erhielt regional nur rund die Hälfte der normalen Januarmengen an Niederschlag. Während des insgesamt milden Februars erfolgten mehrere kräftige Wärmeschübe. In den ersten Märztagen gab es in der Südschweiz kräftige Schneefälle mit Tagessummen, wie sie bisher nur sehr selten beobachtet wurden.

Der Frühling insgesamt lieferte verbreitet reichlich Niederschlag. Nur der März war mit Ausnahme der Alpensüdseite niederschlagsarm. Im April und vor allem im Mai fielen verbreitet überdurchschnittliche Niederschlagsmengen.

Der Juni war überwiegend trüb und regnerisch. In der ersten Monatshälfte brachten Gewitter kräftige Niederschläge. Zur Monatsmitte löste feuchte Mittelmeerluft in der Süd- und Ostschweiz Starkniederschläge aus. Die durch die bisherige Juniwitterung bereits nassen Böden reagierten auf die Starkniederschläge mit Hangrutschen und Überschwemmungen (Kap. 1). Im letzten Monatsdrittel verursachten heftige Gewitterregen in der östlichen Landeshälfte erneut Unwetterschäden. Das erste Halbjahr 2016 endete auf der Alpennordseite regional mit den höchsten Niederschlagssummen seit Messbeginn. Bis zur Jahresmitte brachten mit Ausnahme des März alle Monate deutlich überdurchschnittliche Niederschlagsmengen.

Im Juli und August registrierte die Alpennordseite um die 20 Sommertage. Auf der Alpensüdseite war es im Juli und August mit 26 bis 28 Sommertagen fast durchwegs sommerlich warm. Ab dem 22. August schob sich aus Westen ein Hochdruckgebiet über Mitteleuropa, das bis am 28. August wetterbestimmend blieb. Anhaltendes Hochdruckwetter in der ersten Monatshälfte führte auf der Alpensüdseite, im Wallis und in der Westschweiz regional zum wärmsten September seit Messbeginn.

Der deutlich zu kalte Oktober beendete die ungewöhnliche Spätsommerwärme. Schneefälle bis in mittlere Lagen und mehrere Tage mit Bodenfrost im Flachland gaben dem Monat einen frühwinterlichen Charakter. Der November brachte in der ersten Monatshälfte winterliche Kälte. Zur Monatsmitte fiel reichlich Schnee in den Bergen.

Beständiges Hochdruckwetter führte auf der Alpennordseite und in den Alpen verbreitet zum niederschlagsärmsten Dezember seit Messbeginn 1864. In der westlichen Hälfte des Mittellandes und im Wallis gab es im Dezember gebietsweise gar keinen Niederschlag. Als Folge der anhaltend trockenen und milden Bergwitterung waren die Alpen bis auf knapp 2000 m schneefrei. Auf 2500 m erreichten die Schneehöhen nur gerade 20 bis 30 cm.

Quelle: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)

Jahresniederschlagssumme (% des Normwertes)

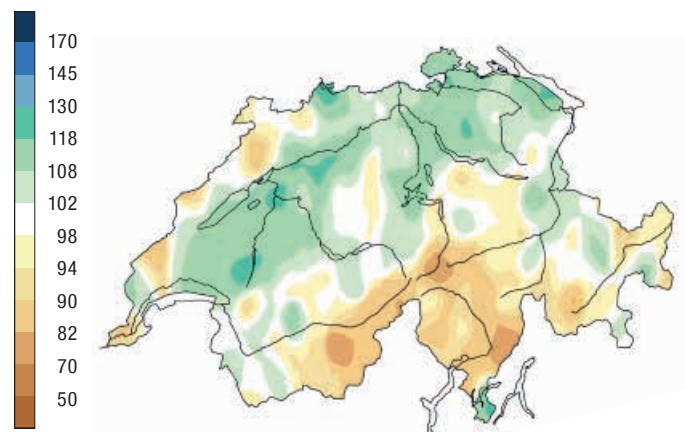


Abb. 2.1 Auf der Alpennordseite fiel im Jahr 2016 insgesamt mehr Niederschlag als im langjährigen Durchschnitt. Auf der Alpensüdseite lagen die Werte grösstenteils unter der Norm 1981–2010.

3 > Schnee und Gletscher

Über den ganzen Winter 2015/16 gemittelt waren die Schneehöhen nur im Unterwallis und am westlichen Alpennordhang oberhalb von rund 1400 m normal. In den übrigen Gebieten der Schweiz lagen unterdurchschnittliche Schneemengen. Die frühwinterliche Schneearmut war noch ausgeprägter als die im vorangegangenen Winter 2014/15. Für die Schweizer Gletscher sah es nach intensiven Schneefällen im Mai und Juni 2016 lange gut aus. Der sehr warme Spätsommer führte dann aber doch zu starker Gletscherschmelze.

3.1 Schnee

Im Oktober 2015 sank die Schneefallgrenze wiederholt bis in mittlere Lagen. Am meisten Niederschlag fiel am Alpenhauptkamm, im Süden und im Osten der Schweiz. Der Schnee blieb vor allem im Hochgebirge liegen und bildete besonders auf den Gletschern eine dünne, geschlossene Schneedecke.

Der November war in den ersten drei Wochen sonnig und extrem mild. Zwei Wintereinbrüche läuteten in der vierten Novemberwoche dann zumindest im Norden und Westen den Winter ein. Im Süden und Osten blieb es trocken. Die Schneehöhen erwiesen sich über den ganzen Monat betrachtet im Norden und im Westen als leicht unterdurchschnittlich. Im Süden und in Graubünden waren mittlere Höhenlagen aper.

Im Dezember liess der Schnee auf sich warten. Die frühwinterliche Schneearmut war sogar noch ausgeprägter als die im vorangegangenen Winter 2014/15. Wo eine dünne Schneedecke lag, schmolz sie vielerorts wieder. Dass sich auch Gebiete in Höhen von 2000 m ü. M. zum Zeitpunkt des Jahreswechsels noch schneefrei zeigten, war an den langjährigen Messstationen auf der Alpensüdseite bis dahin noch nie vorgekommen.

Im Januar fiel im Westen und im Norden wiederholt und ergiebig Schnee, bei schwankenden Temperaturen. Die Schneelage war im Januar nur im Westen durchschnittlich, sonst verbreitet unterdurchschnittlich und im Süden stark unterdurchschnittlich.

Der Februar war nach dem frühlinghaften Monatsanfang in hohen Lagen schneereich und zunächst winterlich. Wie schon im Januar fielen vor allem im Westen und Norden und erstmals diesen Winter auch im Süden ergiebige Schneemengen. Mit den häufigen Schneefällen im Februar war die Schneelage oberhalb von rund 1400 m zum Monatsende in der Zentral- und Ostschweiz nur noch leicht unterdurchschnittlich, in der Westschweiz durchschnittlich bis überdurchschnittlich.

Der März war relativ kalt und begann vor allem im Süden mit einem ausserordentlich starken Wintereinbruch. Nach einer ruhigen zweiten Märzwoche fielen Mitte Monat im Süden rund 50 cm Schnee bis in tiefe Lagen.

Von Ende März bis Mitte April fiel in mehreren Schüben im Süden oberhalb von 2200 bis 2400 m viel Schnee. In mittleren und tiefen Lagen schmolz die Schneedecke mit dem Regen. Auch im Norden schmolz sie mit der milden Witterung und aperte mancherorts in der ersten Aprilwoche aus. Aber der Winter war noch nicht vorbei, er kehrte Mitte April nochmals zurück: Oberhalb von 2200 m fielen in Graubünden 50 bis

Schneehöhe (% des Normwertes)

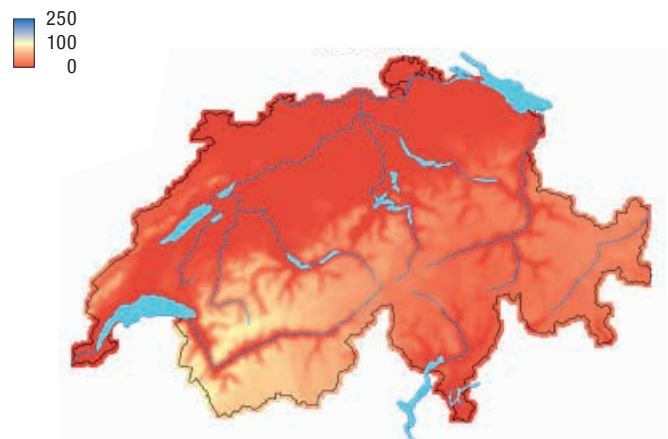


Abb. 3.1 Schneehöhen des Winters 2015/16 im Vergleich zur Periode 1971–2000. Berücksichtigt sind die Monate November bis April.

80 cm, am zentralen Alpenhauptkamm und im Oberengadin bis 100 cm Schnee. Trotz der späten Wintereinbrüche war die Schneelage im April allgemein unterdurchschnittlich, nur im Unterwallis lagen noch durchschnittliche Schneemengen.

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

3.2 Gletscher

Der Winter 2015/16 war für die Schweizer Gletscher meist günstig. Im April und Mai konnten deutlich überdurchschnittliche Schneemengen im Westen verzeichnet werden, während die Schneemenge im Osten und Süden durchschnittlich ausfiel. Die Schneeschmelze wurde durch einen eher trüben Juni verzögert, und auf den Gletschern fiel immer wieder Neuschnee. Somit waren sie zu Beginn der ersten sommerlichen Hitzewellen noch vergleichsweise gut eingeschnitten. Erst das stabile Sommerwetter im August und die sehr warme erste Septemberhälfte setzten den Gletschern stark zu.

Die Massenbilanz wurde im September 2016 für 20 Schweizer Gletscher bestimmt. Die Bilanz zwischen Zuwachs durch Schnee und Verlust durch Schmelze war auch dieses Jahr wieder negativ. Für den Sommer 2016 zeichneten sich zum Zeitpunkt der Auswertungen wiederum grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen ab: Die Gletscher

im Westen und im Berner Oberland wiesen nur relativ geringe mittlere Eisdickenverluste von rund 30 cm auf (Glacier de Tsanfleuron, Glacier de la Plaine Morte). 2015 hatten diese beiden Gletscher noch mit Abstand am meisten an Masse eingebüsst. Das südliche Wallis und das Engadin hingegen waren 2016 durch starke Verluste geprägt. Am meisten gelitten hat der Griesgletscher mit einer mittleren Dickenänderung von fast zwei Metern. Die Massenbilanz von Gletschern in der Zentralschweiz und im Osten lag etwa im Mittel der letzten zehn Jahre – die Gletscherschmelze hält also an.

Auf alle Gletscher der Schweiz übertragen, ergibt sich für das hydrologische Jahr 2015/16 ein geschätzter Volumenverlust von rund 900 Millionen Kubikmetern Eis. Diese Wassermenge entspricht ungefähr dem jährlichen Trinkwasserverbrauch der Schweiz. Das derzeit noch vorhandene Gletschervolumen ist somit in diesem Jahr um über 1,5% zurückgegangen. Verglichen mit dem letzten Jahrzehnt, fiel die Gletscherschmelze 2016 durchschnittlich aus. Grössere Verluste erlitten die Gletscher in den Extremjahren 2003, 2006, 2011 und 2015.

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



Abb. 3.2 Der Vadret dal Murtèl vor den grossen Moränen des stark zurückgeschmolzenen Vadret da Tschierva im Oberengadin (rechts).

4 > Oberflächengewässer

Die Jahresmittel des Abflusses wichen 2016 kaum von der Norm ab. Während eines Hochwasserereignisses Mitte Juni in der Süd- und Ostschweiz stiegen zahlreiche Flüsse stark an. Am Alpenrhein wurden neue Juni-Maxima registriert; der Bodensee erreichte den höchsten Wasserstand seit 1999. Nach einem trockenen zweiten Halbjahr hat sich bis Ende Jahr eine ausgeprägte Niedrigwassersituation eingestellt.

4.1 Abflussverhältnisse

In den grossen Flussgebieten der Alpennordseite bewegten sich die Jahresmittel des Abflusses nur wenige Prozente über den Werten der Normperiode 1981–2010. Der Abfluss des Alpenrheins entsprach etwa der Norm. Die Jahresmittel der Flussgebiete der Alpensüdseite, im Engadin und im Wallis lagen tiefer. Der Ticino erreichte 81%, die Maggia 85%, der Inn 90% und die Rhone 95% der langjährigen Mittelwerte. Für die Darstellung der Jahresabflüsse der mittelgrossen Einzugsgebiete (Abb. 4.2) reichen für 2016 die drei mittleren Klassen aus (Bereich von 70 bis 130%). Die Einzugsgebiete mit überdurchschnittlichen Abflüssen befanden sich im Mittelland und im zentralen Jura. Die höchsten relativen Werte erreichten die Sense und die Gürbe mit 127 bzw. 123% der

Norm. Unterdurchschnittliche Abflüsse traten vor allem im Tessin und im Wallis auf. In den übrigen Gebieten lagen die Jahresabflüsse meist im Bereich von 90 bis 110% der langjährigen Mittelwerte.

Die scheinbare Ausgeglichenheit beim Jahresabfluss resultierte in vielen Gebieten aus einem meist nassen ersten und einem trockenen zweiten Halbjahr. Besonders gut sieht man dies bei einigen mittelgrossen Einzugsgebieten (Abb. 4.4). Die Monatsabflüsse am Doubs waren im Februar und Juni mehr als doppelt so gross wie in den entsprechenden Monaten der Normperiode. Im September betrug ein Drittel und im Oktober und Dezember nur rund ein Fünftel der langjährigen monatlichen Mittelwerte. Ein ähnliches Regime wurde auch 2015 beobachtet: mit der Hochwassersituation Anfang Mai, dem aussergewöhnlich trockenen und

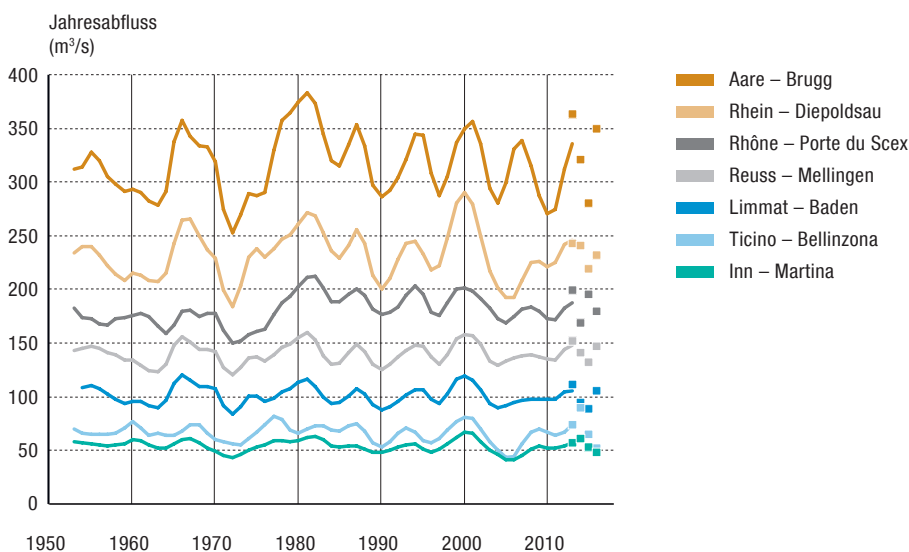


Abb. 4.1 Veränderung des Jahresabflusses ausgewählter grosser Einzugsgebiete ab 1950. Dargestellt sind gleitende Mittel (über 7 Jahre) als Linien und die letzten 4 Jahresabflüsse als Punkte.

heissen Sommer und einem Herbst mit wenig Niederschlag. In den grossen Einzugsgebieten ist dieses Verhalten nicht so ausgeprägt wie in den mittelgrossen Gebieten, es konnte aber beispielsweise auch an der Reuss und der Limmat beobachtet werden. In den Monatsgrafiken fällt im ersten Halbjahr vor allem der Juni auf (Kap. 1). In 15 der 16 grossen und mittelgrossen Einzugsgebiete waren die Juni-Abflüsse des Jahres 2016 grösser als die mittleren Juni-Abflüsse der Normperiode. Die Ausnahme bildete die Massa bei Blatten mit einem stark vergletscherten Einzugsgebiet. Das Abflussverhalten solcher Gebiete wird auch in Kapitel 3.2 angesprochen. Wegen des trüben Wetters setzte die Schneeschmelze verzögert ein. Auf den Gletschern fiel immer wieder Neuschnee, der vor der ersten sommerlichen Hitzewelle schützte. Im zweiten Halbjahr fallen vor allem die Monate Oktober und Dezember mit verbreitet tiefen Abflüssen auf. Der in den Alpen niederschlagsärmste Dezember seit Messbeginn 1864 liess die Abflüsse in manchen Einzugsgebieten auf rund ein Fünftel der normalen Abflussmenge zurückgehen. Zu diesen Einzugsgebieten gehören die Emme, die Thur, der Doubs und die Venoge.

Die Ganglinien der Tagesmittel illustrieren die hohen Monatsabflüsse im Juni: Der Alpenrhein verzeichnete ein grosses, kurzes Ereignis, bei dem der Abfluss rasch angestiegen und auch rasch wieder zurückgegangen ist. Bei Diepoldsau wurde ein neues Juni-Maximum registriert. Es lag rund 500 m³/s unter dem absoluten Maximum vom Juli 1987 (Messreihe seit 1984). Aare, Reuss und Limmat verhielten sich anders: In diesen drei Einzugsgebieten gab es bereits im

Mai ein relativ grosses und schnell ablaufendes Hochwasserereignis. Nach dem Rückgang der Abflüsse auf ein für die Jahreszeit normales Niveau stiegen die Pegel erneut stark an und blieben länger erhöht (Abb. 4.5). Mitverantwortlich für die Dämpfung und die trägere Reaktion der Abflüsse in den drei Gebieten waren die grossen Seen, die Wasser zurückhielten und zeitlich verzögert wieder abgaben. Wo solch eine dämpfende Wirkung fehlt, kommen Starkniederschläge – insbesondere bei kleineren Einzugsgebieten – unmittelbarer zum Abfluss. Gute Beispiele dafür liefern die Emme und die Muota (Abb. 4.4).

Zum abwechslungsreichen Jahr 2016 passt, dass es sowohl Monate mit neuen monatlichen Maxima als auch solche mit neuen Minima gab. Die Häufung der monatlichen Maxima wurde im Mai und vor allem im Juni registriert. Eine Häufung von monatlichen Minima gab es im Januar, im Oktober und im Dezember. Die Niedrigwassersituation spitzte sich gegen Ende Jahr zu. Bei drei Vierteln der Messstationen ging der Abfluss im Dezember weiter zurück, und bei vielen davon traten die tiefsten Pegel sogar erst Anfang 2017 auf.

Abflussverhältnisse ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete

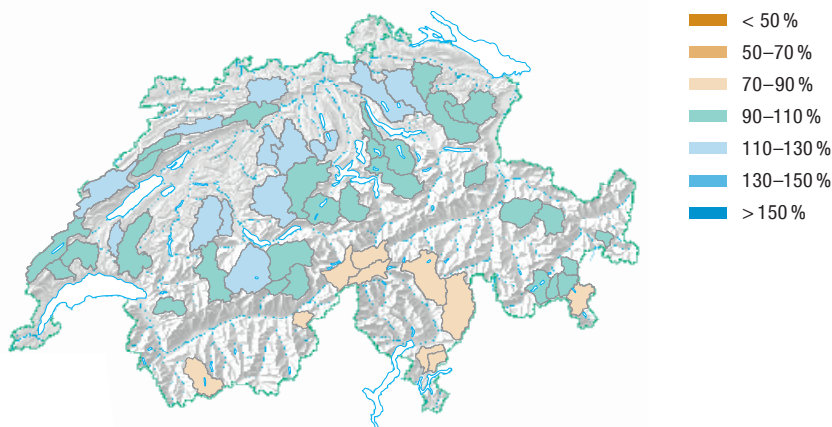


Abb. 4.2 Jahresmittel 2016 im Vergleich zum mittleren Abfluss der langjährigen Normperiode 1981–2010 ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete [%].

Monatsmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete

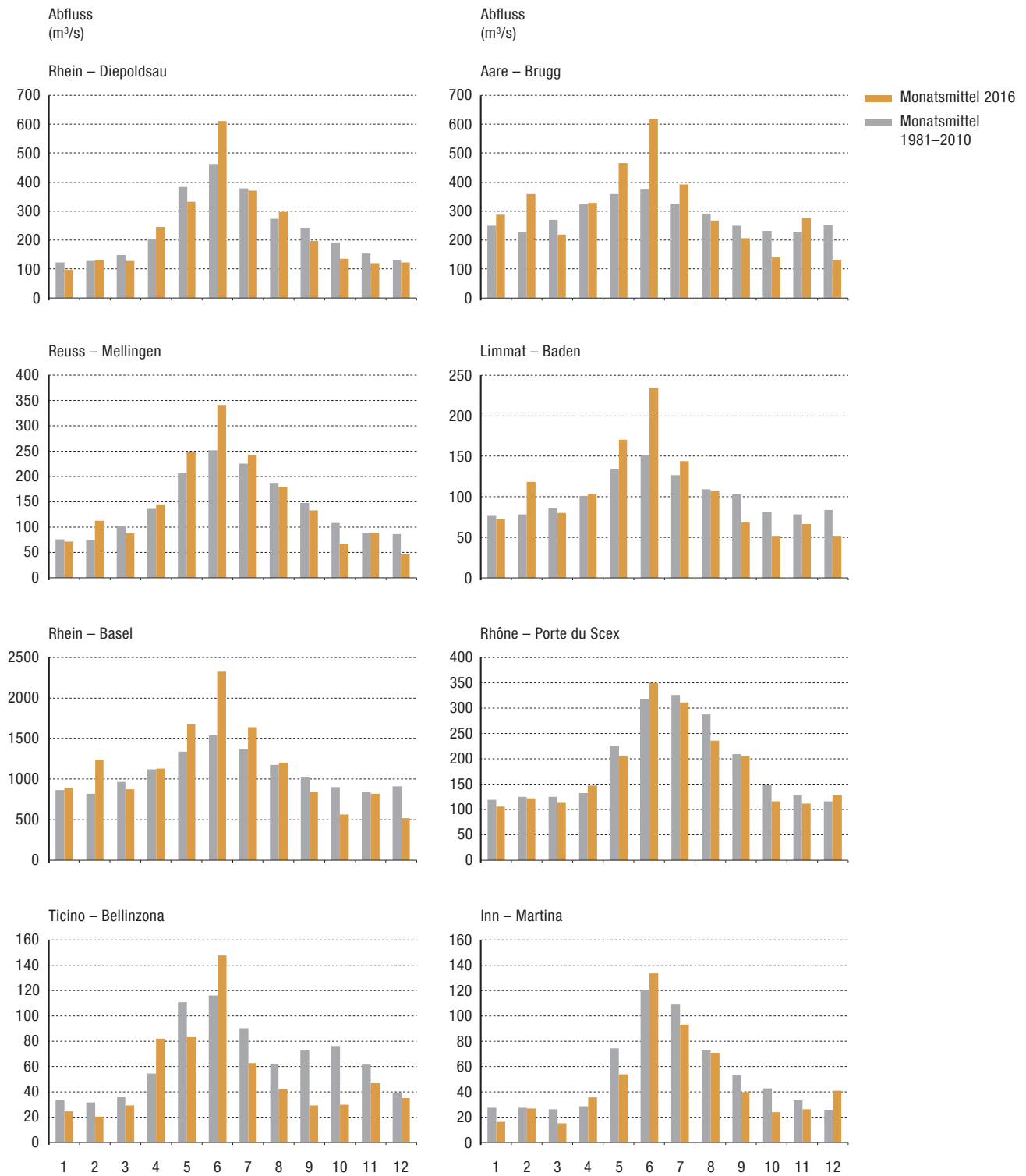


Abb. 4.3 Monatsmittel 2016 der Abflussmengen (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau).

Monatsmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete

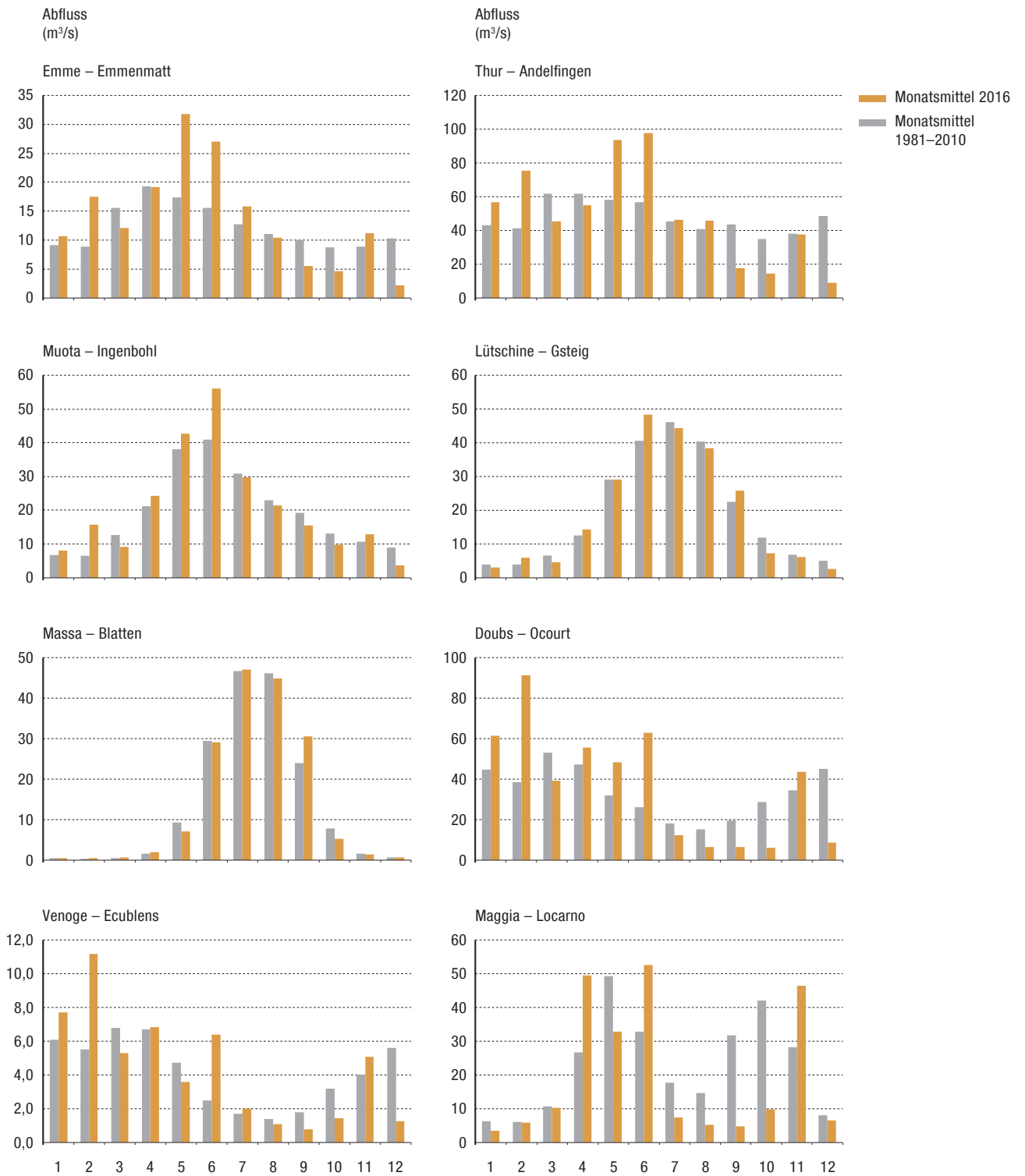


Abb. 4.4 Monatsmittel 2016 der Abflussmengen (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau).

Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete (1/2)

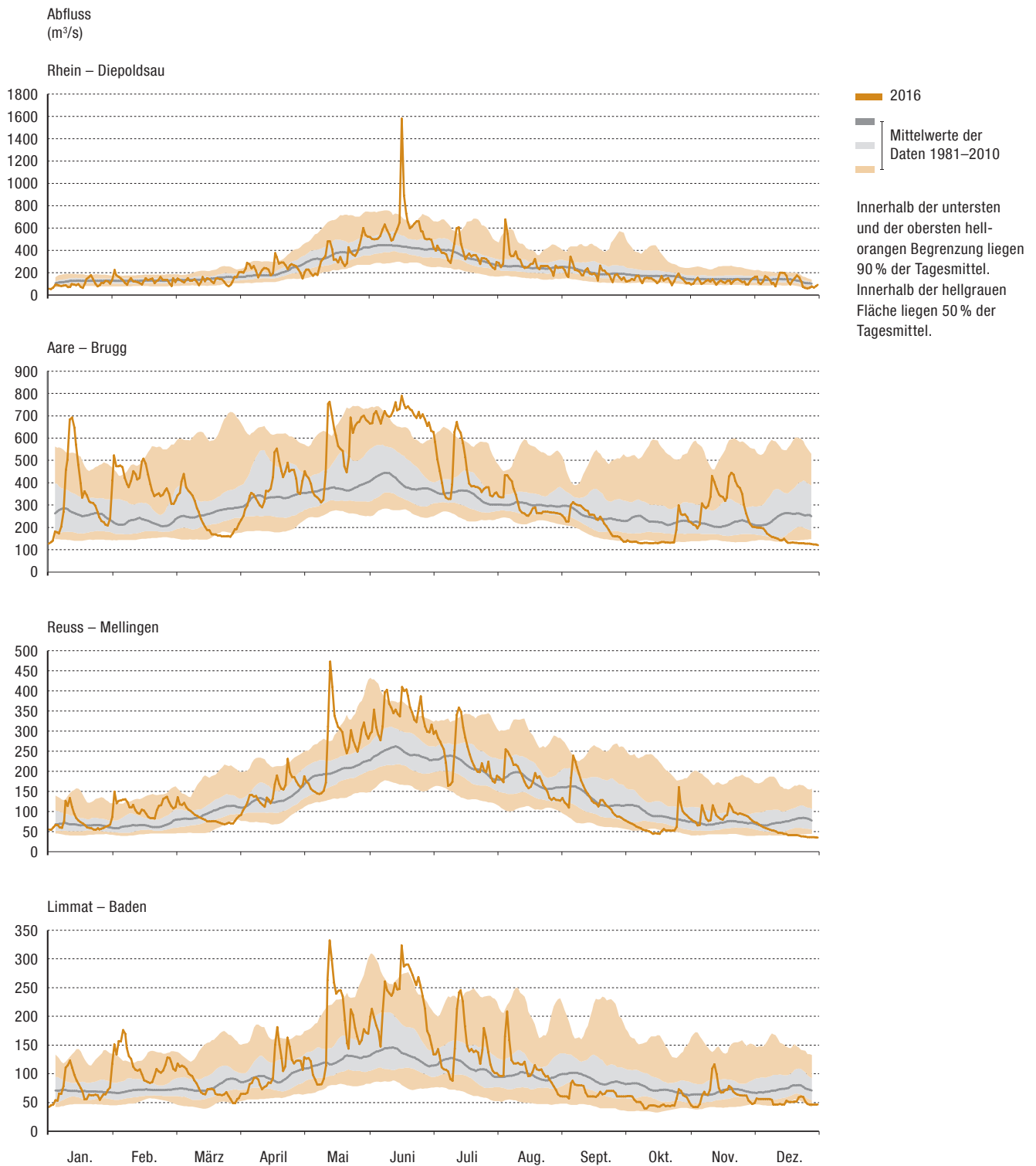


Abb. 4.5 Tagesmittel 2016 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete (2/2)

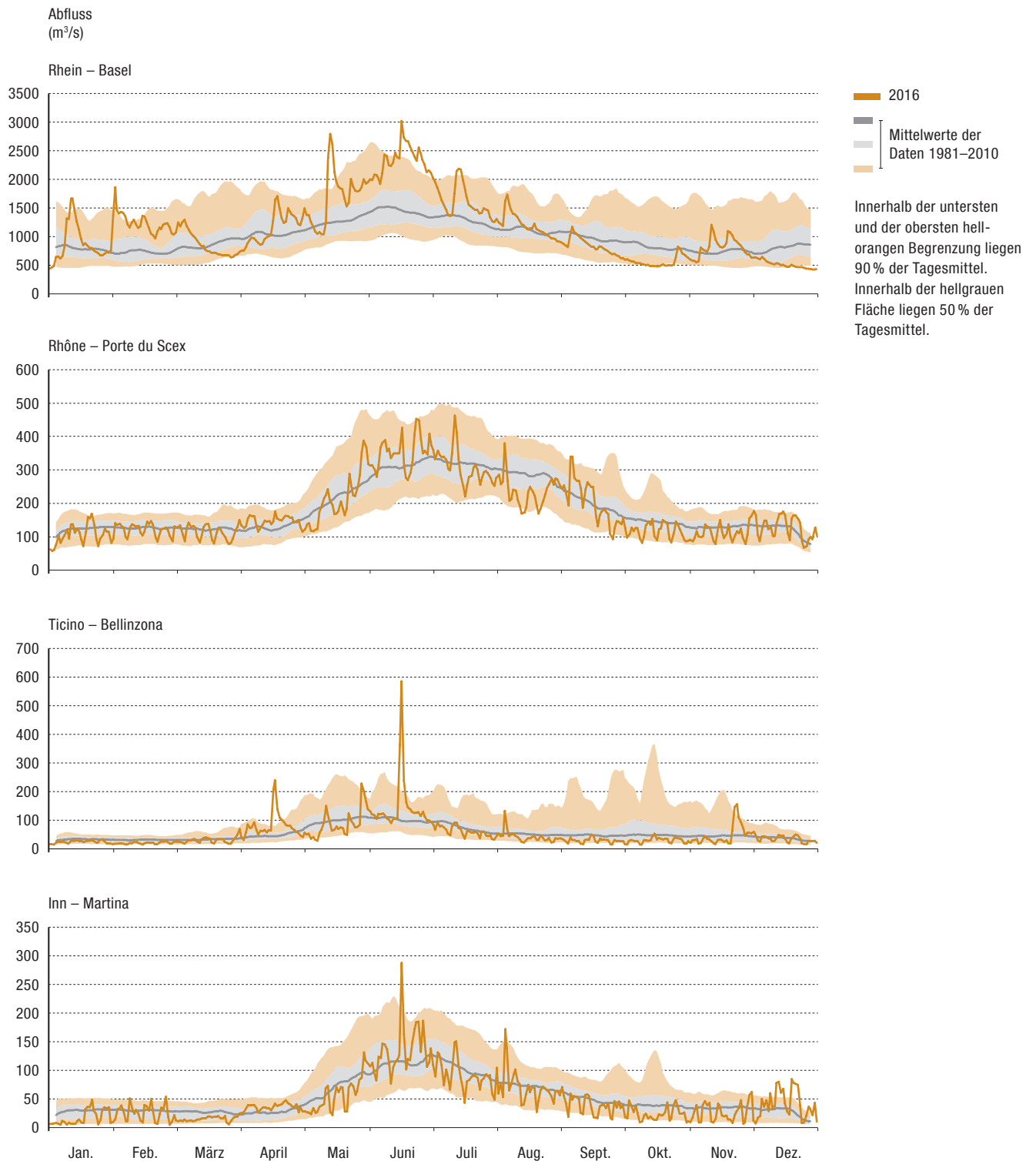


Abb. 4.6 Tagesmittel 2016 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete (1/2)

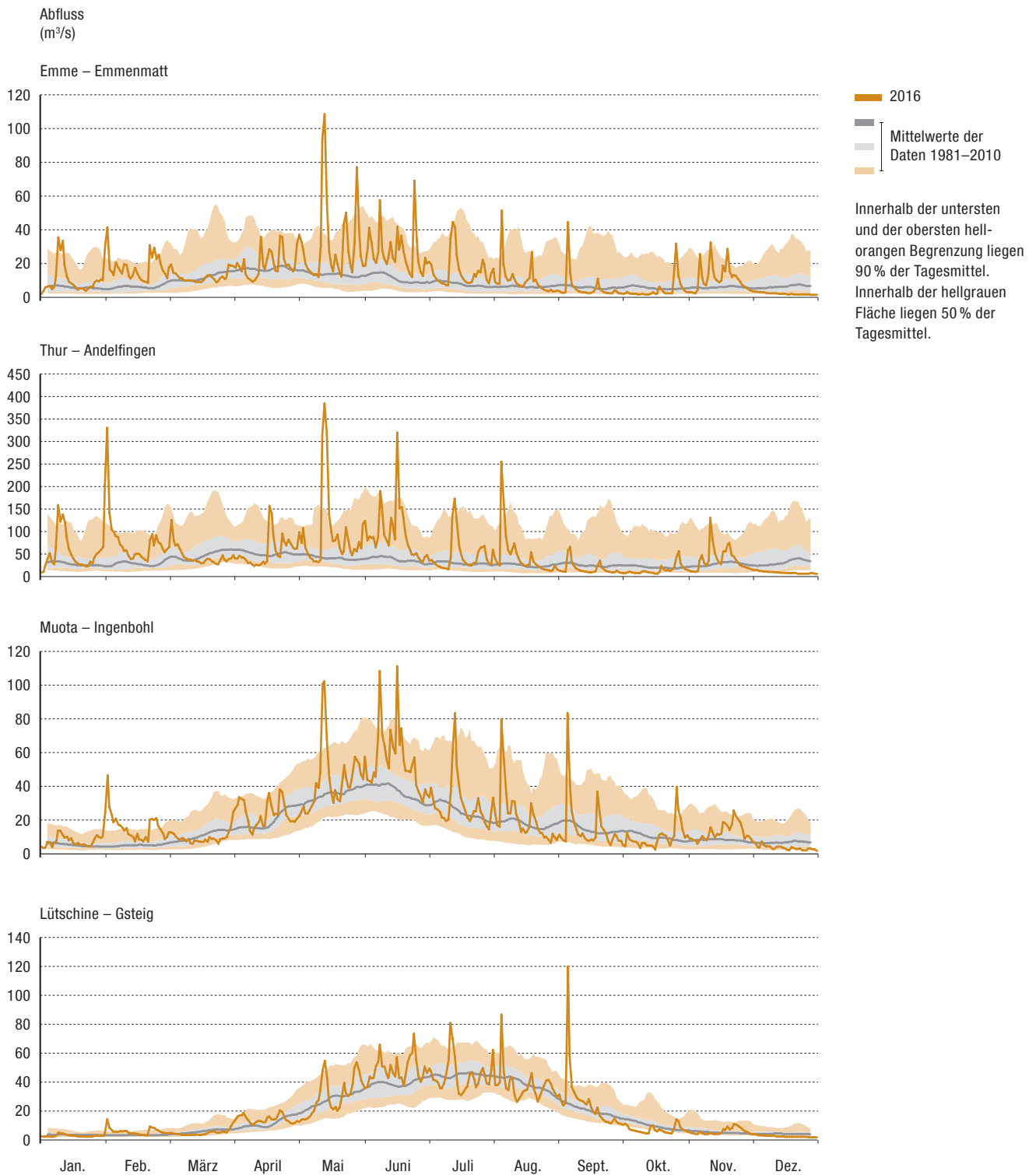


Abb. 4.7 Tagesmittel 2016 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete (2/2)

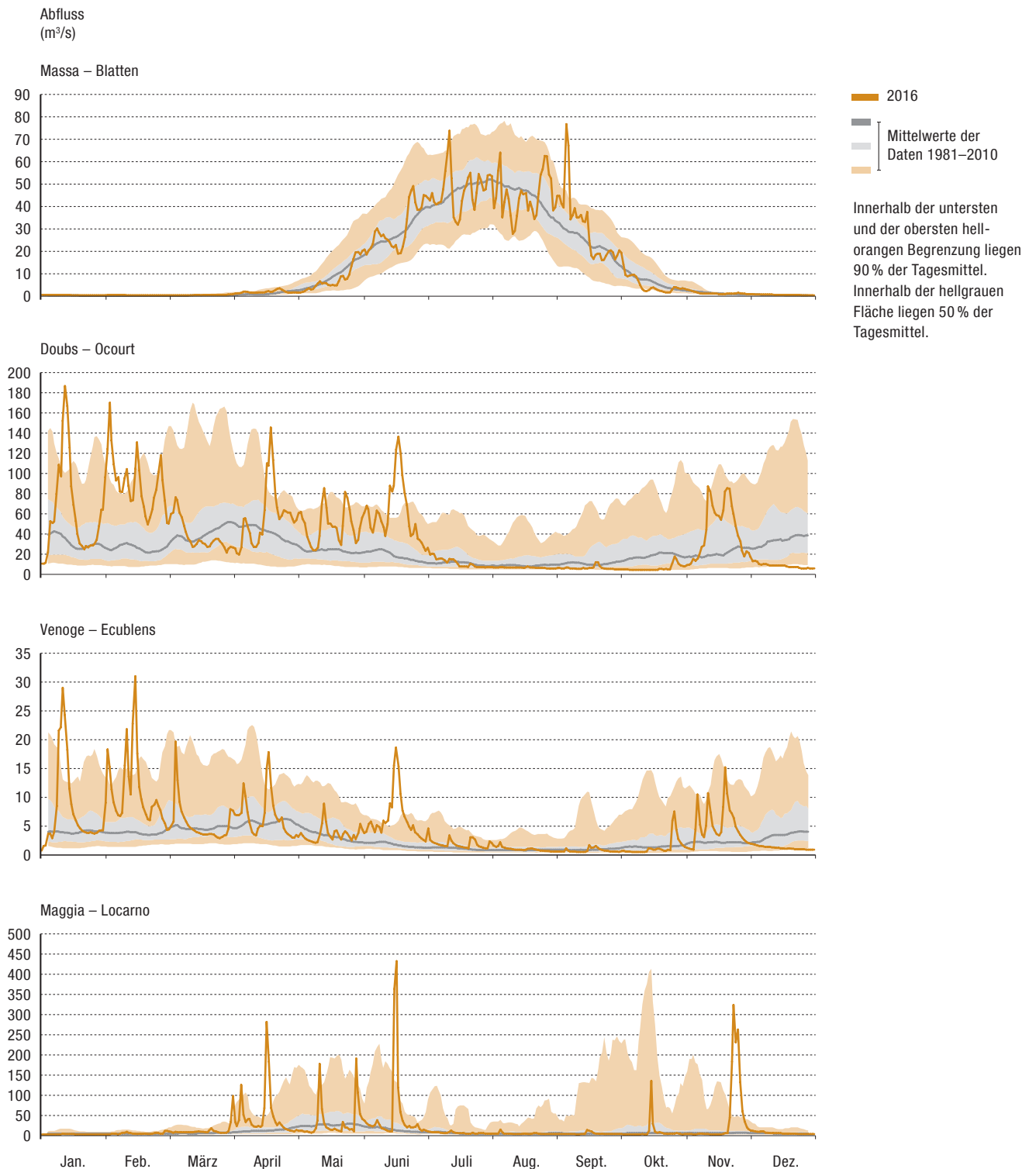


Abb. 4.8 Tagesmittel 2016 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

4.2 Seestände

Am Bodensee und am Lago Maggiore gab es bei den Jahresmittelwerten der Wasserstände deutliche Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten. Der Pegel in Romanshorn am Obersee lag 26 cm über, der Pegel in Locarno am Lago Maggiore 27 cm unter der Norm von 1981 bis 2010. Auch die Wasserstände von Thunersee (–6 cm) und Brienersee (–5 cm) lagen ein paar Zentimeter unter den langjährigen Mittelwerten. Hier spielte die Seeabsenkung am Thunersee eine Rolle: Während einer sogenannten ausserordentlichen Seeabsenkung wird bei günstiger Witterung im Zeitraum vom 20. Januar bis zum 20. Februar ein sehr tiefer Seepegel gehalten. Es ist dann möglich, Bauvorhaben im Uferbereich auszuführen. Die Absenkungen finden an den beiden Seen alle vier Jahre statt, jedoch nie gleichzeitig. Die Jahresmittel der Wasserstände der anderen grösseren Seen lagen nur wenige Zentimeter ober- oder unterhalb der Norm.

Am Bodensee waren alle zwölf Monatsmittel 2016 grösser als die entsprechenden langjährigen Werte (Abb. 4.9). Besonders grosse Differenzen gab es im Anschluss an die Hochwasserereignisse von Mitte Juni. Der Wasserstand lag in den Sommermonaten Juni (+71 cm), Juli (+52 cm) und August (+40 cm) weit über den normalen Werten. Am Bodensee wurde in den letzten Jahren ein kontinuierliches Abdriften des Wasserstandes von der Norm beobachtet (Kap. 1). Das ist ein weiterer Grund, weshalb in diesem Jahr alle Monatswerte über der Norm lagen. Das Verhalten des Neuenburgersees ist 2016 viel ausgeglichener. Die grössten Abweichungen von der Norm betragen hier 12 cm (+12 cm im Juni, –12 cm im Dezember). Noch grösser als beim Bodensee waren die monatlichen Abweichungen von der Norm beim Lago Maggiore. Anfang Jahr lag der Wasserstand mehr als einen Meter unter dem langjährigen Januarmittel. Die negativen Differenzen wurden dann kontinuierlich kleiner. Die Monatswerte von April bis Juli befanden sich über der Norm. Der trockene Herbst liess den Pegel erneut stark sinken, und im September (–82 cm) und Oktober (–93 cm) waren die Differenzen etwa gleich gross wie Anfang Jahr. Bis zum Jahreswechsel wurden die grossen Defizite abgebaut, und der See war wieder deutlich angestiegen. Am Genfersee wurden im März unterdurchschnittliche (–15 cm) und im Juni überdurchschnittliche Pegelstände (+15 cm) gemessen. Anfang Jahr und in der zweiten Jahreshälfte waren die Abweichungen von der Norm jedoch nur gering.

Die starken und anhaltenden Niederschläge von Mitte Juni in den zentralen und östlichen Voralpen liessen den Bodensee so stark ansteigen wie seit dem Jahr 1999 nicht mehr. Der Wasserstand lag in den Monaten Juni und Juli an über 40 Tagen ununterbrochen über den für Warnungen relevanten Grenzen. Die Grenze zur Gefahrenstufe 4 (grosse

Gefahr, 397,15 m ü. M.) war zwei Wochen lang überschritten. Der Höchststand des Jahres 2016, der am 21. Juni erreicht wurde (397,35 m ü. M.), blieb aber mehr als einen halben Meter unter dem Höchststand von 1999.

An drei der vier Seen in Abbildung 4.10 gab es 2016 ausgeprägte Tiefstände. Der Neuenburgersee erreichte seinen niedrigsten Pegelstand Ende Jahr. Der Wert lag am 31. Dezember 24 cm unter dem langjährigen Monatsmittel und nur noch 6 cm über dem Tiefststand der gesamten Messperiode seit 1983. Am Lago Maggiore gab es zwei Niedrigwasserphasen: eine Anfang Jahr, eine weitere im Herbst. Die Abbildung 4.10 zeigt, dass die Pegelstände im Herbst zwar tiefer (nur 20 cm über dem Tiefststand der Messperiode aus dem Jahr 1947), diejenigen von Anfang Jahr jedoch aussergewöhnlicher waren. Dies scheint sich zu widersprechen. Wasserstände von Seen folgen aber einem Regime: Das Regime des Lago Maggiore lässt die tiefsten Werte im Spätsommer erwarten, Anfang Jahr sind die Pegelstände normalerweise etwas höher. Die Wasserstände von Mitte Januar bis Anfang Februar 2016 lagen mit rund 192,5 m deutlich tiefer als gewöhnlich. Im Herbst waren die Werte absolut gesehen tiefer, sie befanden sich aber noch im unteren für die Jahreszeit üblichen Bereich. Am Genfersee bewegten sich die Wasserstände im März und April am unteren Rand des Normalen und stiegen dann rasch auf überdurchschnittliche Werte an. Der höchste Wasserstand des Jahres 2016 lag dort aber immer noch rund 30 cm unter dem Juni-Maximum aus dem Jahr 1970.

Monatsmittel der Wasserstände ausgewählter Seen

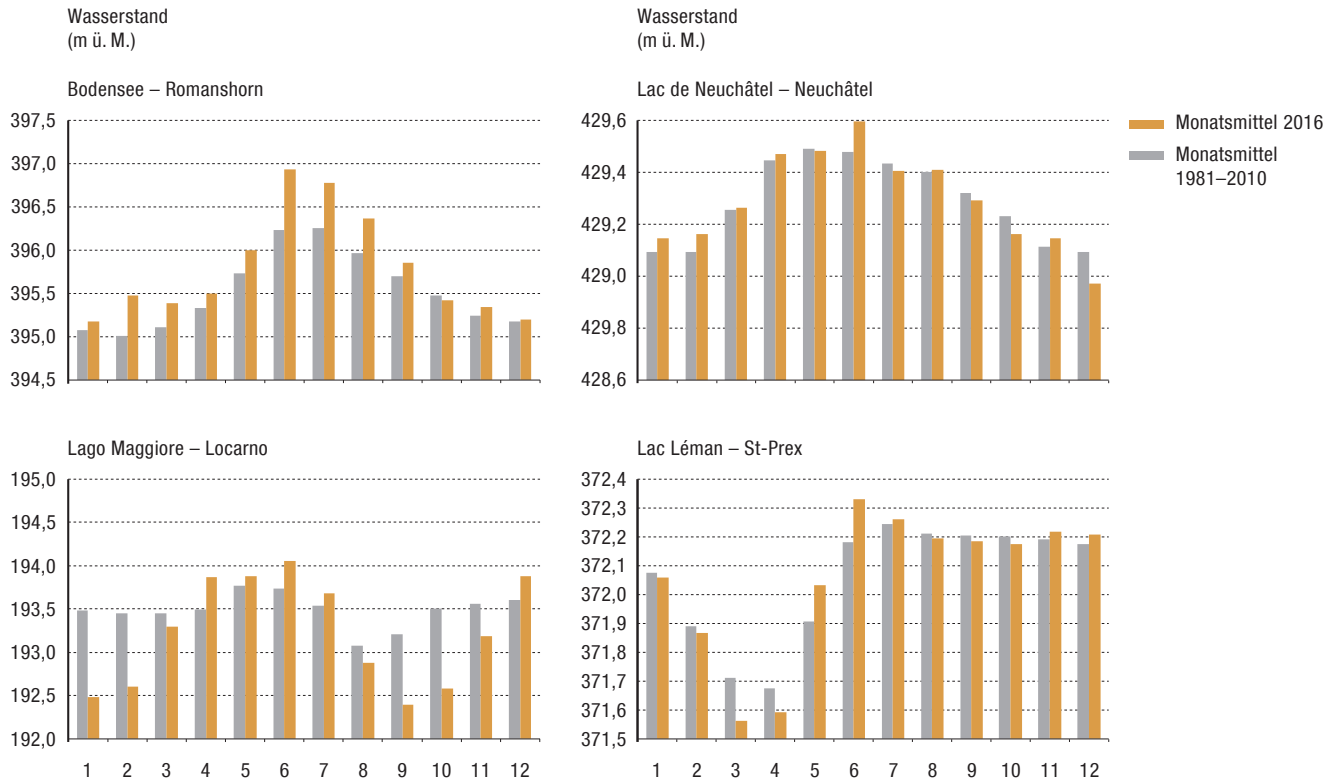


Abb. 4.9 Monatsmittel 2016 der Wasserstände (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau).

Tägliche Wasserstände ausgewählter Seen

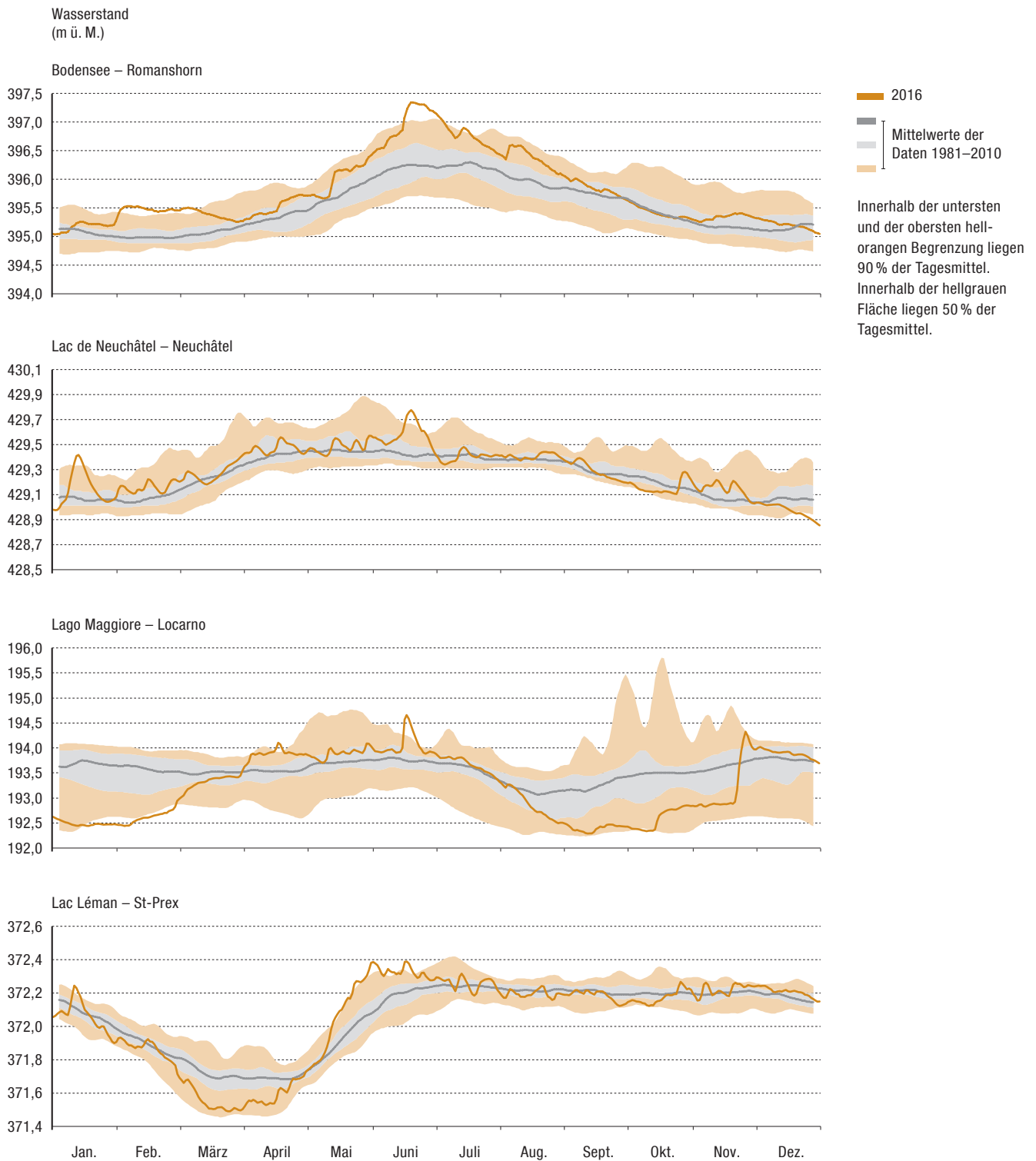


Abb. 4.10 Tagesmittel 2016 der Wasserstände (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

4.3 Wassertemperaturen

Gesamthaft war das Jahr 2016 im Vergleich zu den vorherigen Jahren recht mild. Daher konnte in diesem Jahr nur ein neues Maximum der mittleren Jahrestemperatur der Schweizer Fliessgewässer an einer BAFU-Messstelle beobachtet werden. Dies war der Fall bei der Station Aare – Brienzwiler, die in ihrem Einzugsgebiet durch Pumpspeicher beeinflusst wird. Eine Unterschreitung der Jahresminima wurde dagegen im Jahr 2016 nirgendwo beobachtet.

Im Rückblick auf die Temperaturentwicklung der Jahresmittelwerte während der letzten Jahrzehnte ist weiterhin ein generell ansteigender Trend zu beobachten, z.B. bei der BAFU-Messstelle Basel (Abb. 4.11). Der Trend verläuft jedoch nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft. Gut zu beobachten ist dies ab dem Jahr 1987 mit einem etwa zwei Jahre dauernden deutlichen Anstieg und einer darauffolgenden stagnierenden Periode über rund zehn Jahre. Danach erfolgt wieder ein Sprung (2000 bis 2003) mit anschliessendem Übergang zu einer eher stagnierenden Phase, die zumindest bis zum Jahr 2013 anhält.

Der Winter 2015/16 war der zweitwärmste Winter seit den Aufzeichnungen des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Die für diese Jahreszeit sehr milden Lufttemperaturen führten zu Überschreitungen der langjährigen Monatsmittel der Wassertemperaturen der Fliessgewässer. Im Januar war dies bei drei Stationen im Mittelland und einer Station im Raum des Walensees

(Linth – Weesen) der Fall. Im Februar traten deutlich mehr Überschreitungen der mittleren Monatsmittel auf (zehn Stationen im Mittelland und vier Stationen im südlich gelegenen Teil der Schweiz). Im März nahm die Anzahl Überschreitungen ab, und es erfolgte eine leichte Verschiebung vom Mittelland (drei Stationen) in Richtung Nordalpen (drei Stationen). Vereinzelt sind in diesen Monaten auch Unterschreitungen der langjährigen Minimaltemperaturen bis in den Mai zu beobachten (sechs Messstationen).

Erst mit der kurzen Rekordhitze Ende August und der extremen Septemberwärme kam es zu 3 bzw. 15 Überschreitungen der bisherigen Monatsmaxima. Dies war vor allem bei Messstationen in den Einzugsgebieten des Genfersees und des Hochrheins sowie bei einer Station im Wallis und an zwei Standorten im Tessin der Fall. Weitere neue Höchstwerte waren nicht zu beobachten. Im November kam es an fünf Stationen zu Unterschreitungen der Monatsminima in den westlichen und östlichen Zentralalpen. Im Dezember wurden an fünf Stationen im östlichen Mittelland und an einer Station in den östlichen Zentralalpen neue Tiefstwerte für diesen Monat gemessen.

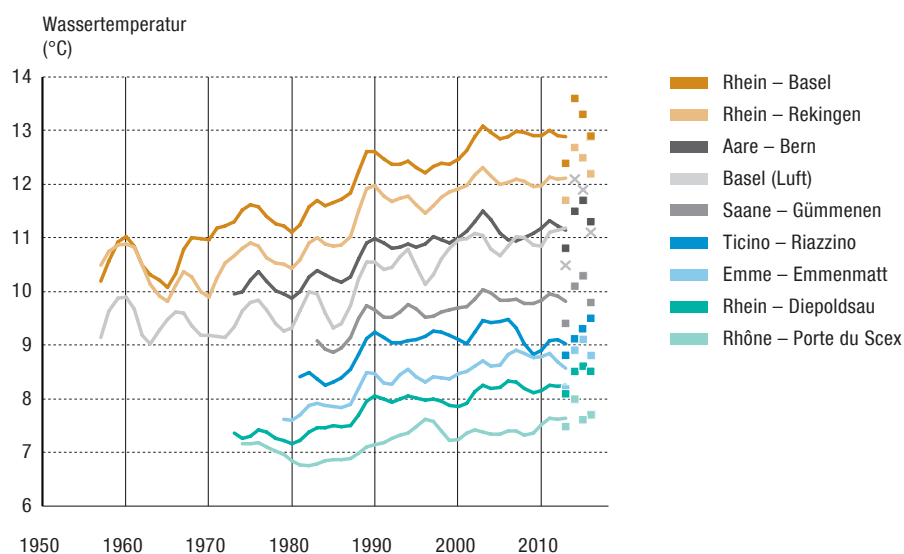


Abb. 4.11 Die Entwicklung der Wassertemperaturen von 1954 bis 2016 in ausgewählten Flüssen der Schweiz. Dargestellt sind gleitende Mittel (über 7 Jahre) als Linien und die letzten vier Jahresmittel als Punkte bzw. Kreuze (Luft).

Mittlere Tagestemperatur ausgewählter Stationen

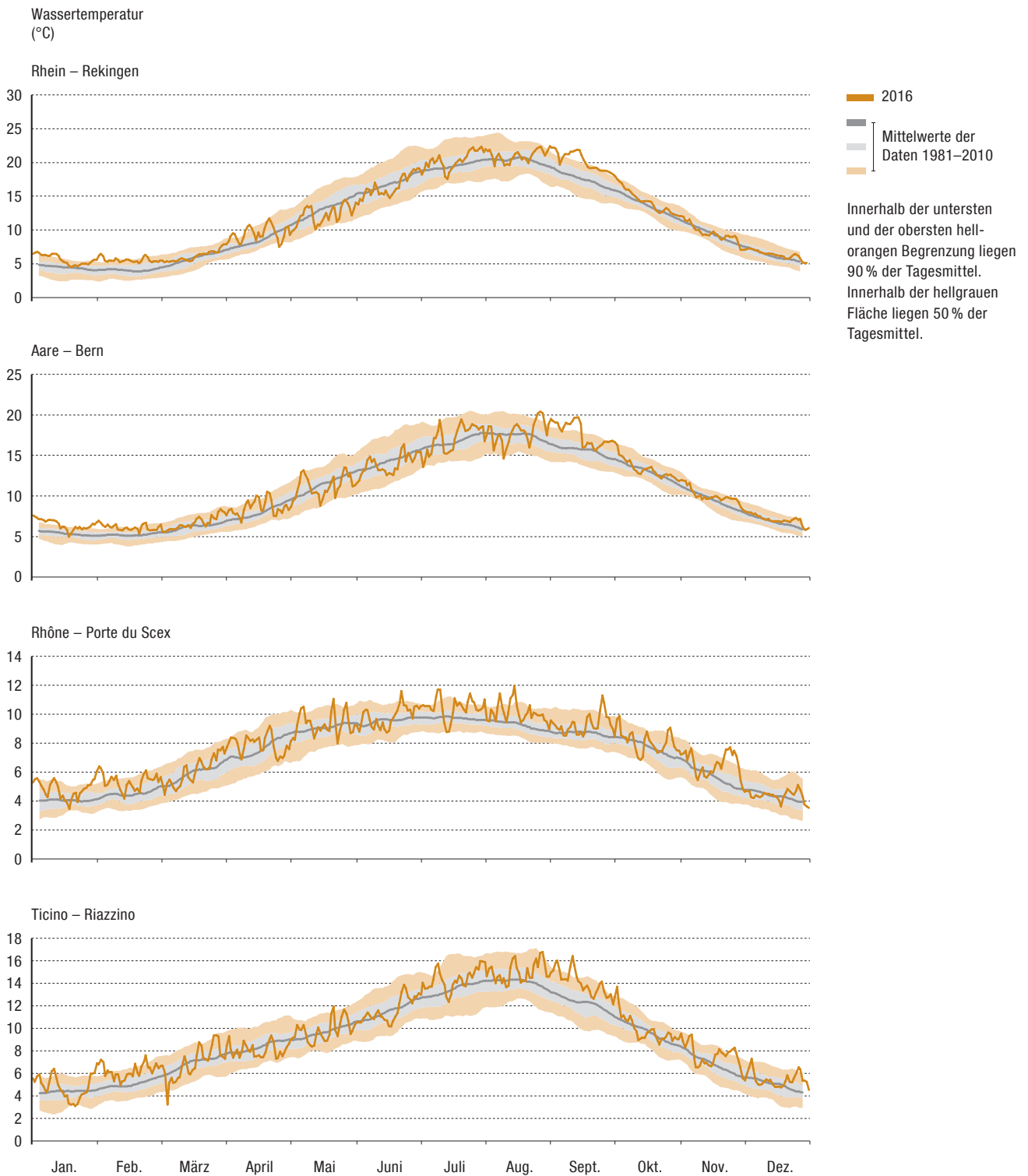


Abb. 4.12 Tagesmittel 2016 der Wassertemperatur (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

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 erlauben, im Grundwasser die einzelnen Wasserkomponenten nachzuvollziehen oder die mittlere Höhe eines Einzugsgebietes abzuschätzen. Die Beziehung der stabilen Wasserisotope zur Temperatur und zur relativen Luftfeuchte in den Herkunftsgebieten der Niederschläge wird in den letzten Jahren vermehrt in meteorologischen Studien eingesetzt. Im Rahmen des NAQUA-Moduls ISOT (Wasserisotope) wird die langjährige regionale Entwicklung von Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O) an 13 repräsentativen Niederschlagsmessstellen und 9 Messstellen an Fließgewässern beobachtet (Abb. 4.13), wodurch Referenzdaten für solche Studien zur Verfügung gestellt werden können.

Entsprechend dem allgemeinen Temperaturtrend stiegen die $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Niederschlag ab etwa 1980 bis Anfang dieses Jahrhunderts generell an allen Niederschlagsmessstellen an. Der allgemeine Verlauf ist allerdings nicht stetig, sondern wird von jahreszeitlichen Schwankungen dominiert. Die letzten rund zehn Jahre scheinen eine mehrjährige Zwischenphase ohne signifikanten Trend bei den stabilen Isotopen im Niederschlag aufzuweisen. In den Winterhalbjahren sind deutlich negativere δ -Werte festzustellen. Der Winter 2015/16 war jedoch aussergewöhnlich mild,

was sich im Niederschlag in überdurchschnittlich hohen δ -Werten für diese Jahreszeit ausdrückte. Im Sommer 2016 wurden entsprechend der hohen Lufttemperatur ebenfalls hohe δ -Werte gemessen.

In Fließgewässern ist der jahreszeitliche 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 ein Unterbruch im ansteigenden Trend der Isotopenwerte ersichtlich. Die seit 2013 im langjährigen Vergleich unterdurchschnittlichen δ -Werte im Frühling und Sommer entlang der Aare, im Rhein bei Weil sowie in der Rhone oberhalb des Genfersees setzten sich auch im Jahr 2016 fort. Der warme Sommer 2016 hatte zur Folge, dass in dieser Zeit mehr Gletscherschmelzwasser – mit negativeren δ -Werten – zum Abfluss kam.

Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA (Modul ISOT)

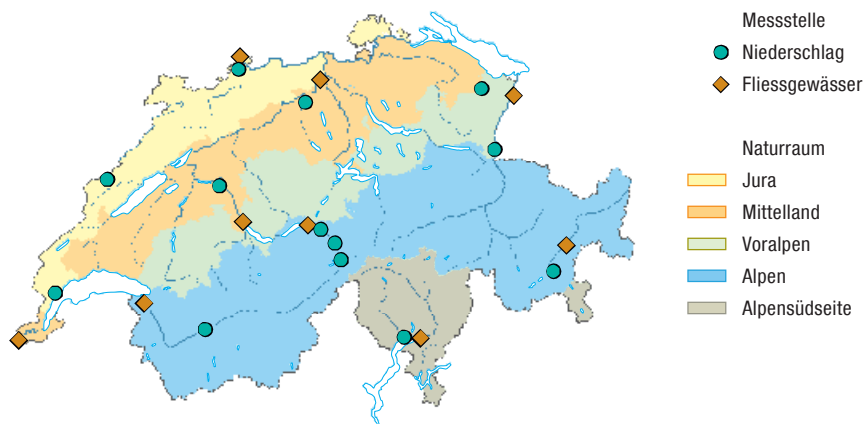


Abb. 4.13 Messstellen des NAQUA-Moduls ISOT zur Beobachtung der Isotope in Niederschlag und Fließgewässern der Schweiz. Stand 2016.

4.5 Wasserqualität/physikalische und chemische Eigenschaften

Der Zustand und die Entwicklung der Wasserqualität der Schweizer Fliessgewässer werden vom BAFU im Rahmen der Nationalen Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) an 17 Messstellen und zusammen mit den Kantonen im Rahmen der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) an 111 Messstellen erfasst (Abb. 4.14). 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. Im Jahr 2016 wurde der erste NAWA-Bericht mit den Ergebnissen von 2011 bis 2014 in der Publikation «Zustand der Schweizer Fliessgewässer» veröffentlicht. Daten von NADUF sind im Internet verfügbar (siehe Anhang).

Stickstoffgehalt in Flüssen

Die Belastung der Schweizer Gewässer mit Nährstoffen hat in den letzten Jahrzehnten generell abgenommen, vor allem dank der Anstrengungen in der Abwasserreinigung. Die Verläufe des Gesamtstickstoffgehalts an den vier unten dargestellten NADUF-Stationen zeigen neben den deutlichen

saisonalen Schwankungen auch gut erkennbare langfristige Entwicklungen (Abb. 4.15). Im Gegensatz zur Phosphorbelastung, die sich nach der Phosphorelimination in der Abwasserreinigung und nach dem Phosphatverbot in Waschmitteln ab 1986 beinahe sprunghaft verringerte, zeigt die Stickstoffbelastung komplexere Veränderungen.

Verglichen mit den Konzentrationen von 1977 bis 1983 fällt eine Zunahme der Stickstoffkonzentrationen von 1985 bis 1990 an den NADUF-Stationen auf. Der Anstieg der Konzentrationen liegt in der gleichen Zeitperiode wie der deutliche Anstieg der Luft- und Wassertemperaturen. Es ist daher möglich, dass Stickstoff, der sich vorher angesammelt hatte, in dieser Zeit durch eine erhöhte biologische Aktivität freigesetzt wurde. Die langsame Abnahme des Stickstoffgehalts bei den NADUF-Stationen erfolgt erst nach 1993, was wahrscheinlich auf den kontinuierlich verminderten Eintrag von überschüssigem Stickstoff durch landwirtschaftliche Düngung und auf die verbesserte Denitrifizierung (Eliminierung von Nitrat) in der Abwasserreinigung zurückzuführen ist. Nach 2005 liegt der Stickstoffgehalt beispielsweise in Rhein und Glatt schon auf einem tieferen langfristigen Mittel als zu Beginn der langjährigen Datenreihen in den 1970er-Jahren.

Eine weitere Abnahme des Stickstoffgehalts in Gewässern ist anzustreben. Der Erfolg verschiedener Massnahmen sowie der Einfluss der Temperatur und einer Kombination anderer Faktoren können durch eine langfristige und qualitativ hochstehende Überwachung der Oberflächengewässer ermittelt werden.

Messstellen der Nationalen Daueruntersuchung Fliessgewässer (NADUF) und der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA)

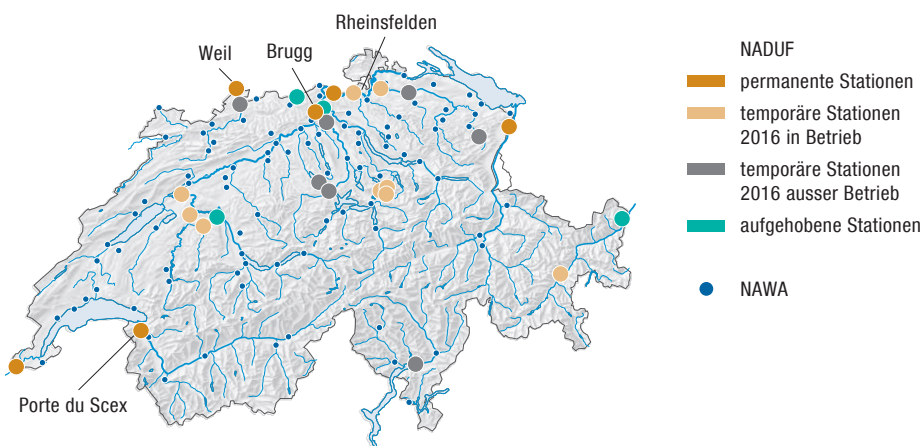


Abb. 4.14 Messstellen der Nationalen Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) und der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässer (NAWA) zur Beobachtung der Wasserqualität in der Schweiz, Stand 2016.

Gesamtstickstoffgehalt in Flüssen

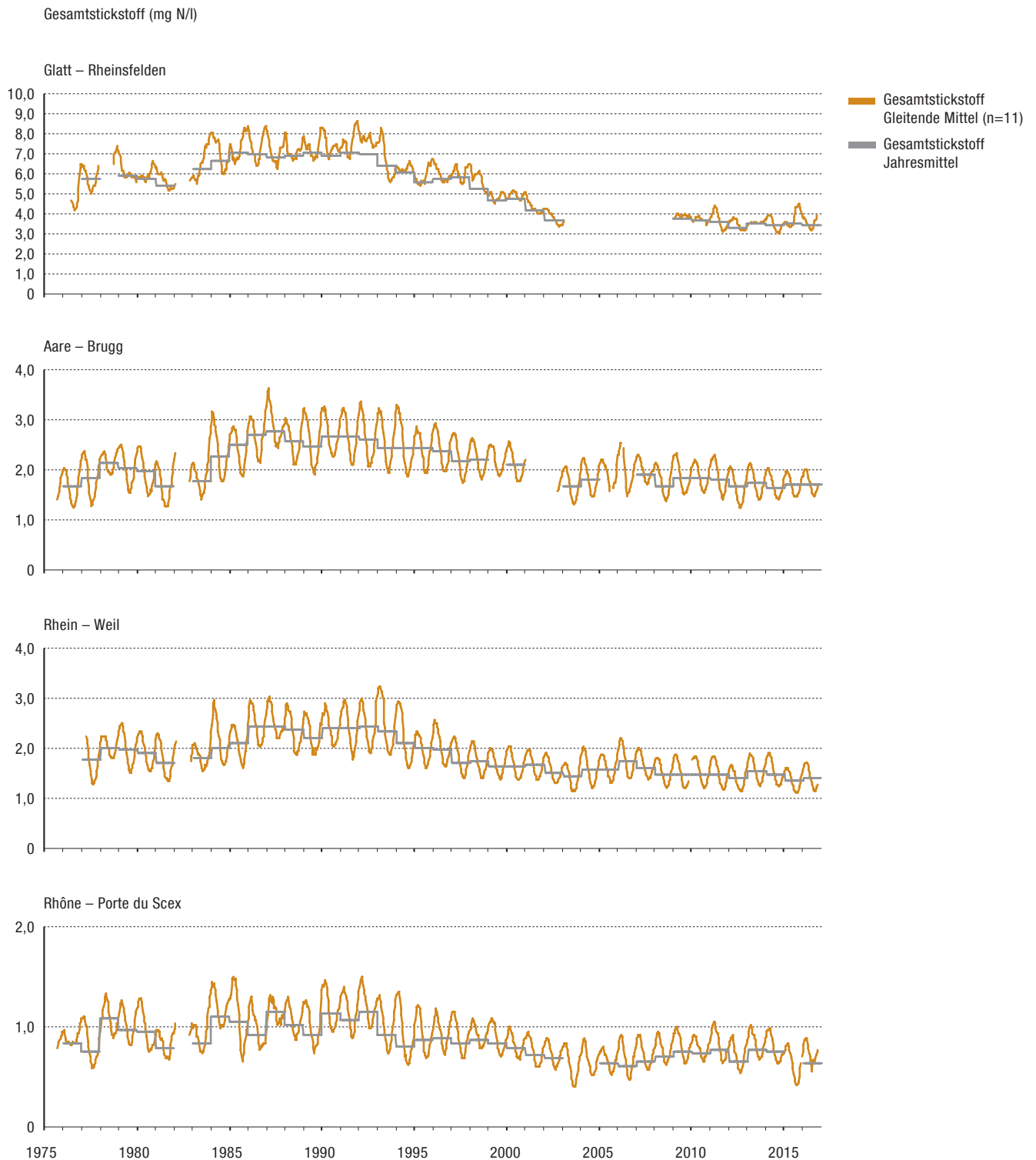


Abb. 4.15 Die Entwicklung des Gesamtstickstoffgehalts in 14-täglichen Sammelproben bei ausgewählten NADUF-Stationen. Dargestellt sind die gleitenden Mittel über 11 Sammelproben (orange) und die mit dem Abflussvolumen gewichteten Jahresmittel (grau). Die Jahresmittel sind nur berechnet, wenn mindestens 67% der Messdaten des Jahres vorhanden sind.

5 > Grundwasser

Die Grundwasserstände und Quellabflüsse sind von Januar bis Juni 2016 vermehrt angestiegen und lagen insgesamt hoch. Im Laufe der zweiten Jahreshälfte nahmen sie infolge anhaltend tiefer Niederschlagsmengen wieder auf ein normales bis tiefes Niveau ab.

5.1 Grundwasserquantität

Die kontinuierliche Beobachtung von Grundwasserstand und Quellabfluss 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.

Entsprechend dem langfristigen Witterungsverlauf (Temperatur und Niederschläge) lassen sich im Grundwasser der Schweiz häufig mehrjährige Perioden mit eher niedrigen und eher hohen Grundwasserständen erkennen. Innerhalb dieses generellen Musters sind deutliche zwischenjährliche und regionale Unterschiede aber die Regel.

Der Jahresverlauf 2016 der Grundwasserstände und Quellabflüsse in der Schweiz lässt sich wie folgt zusammenfassen:

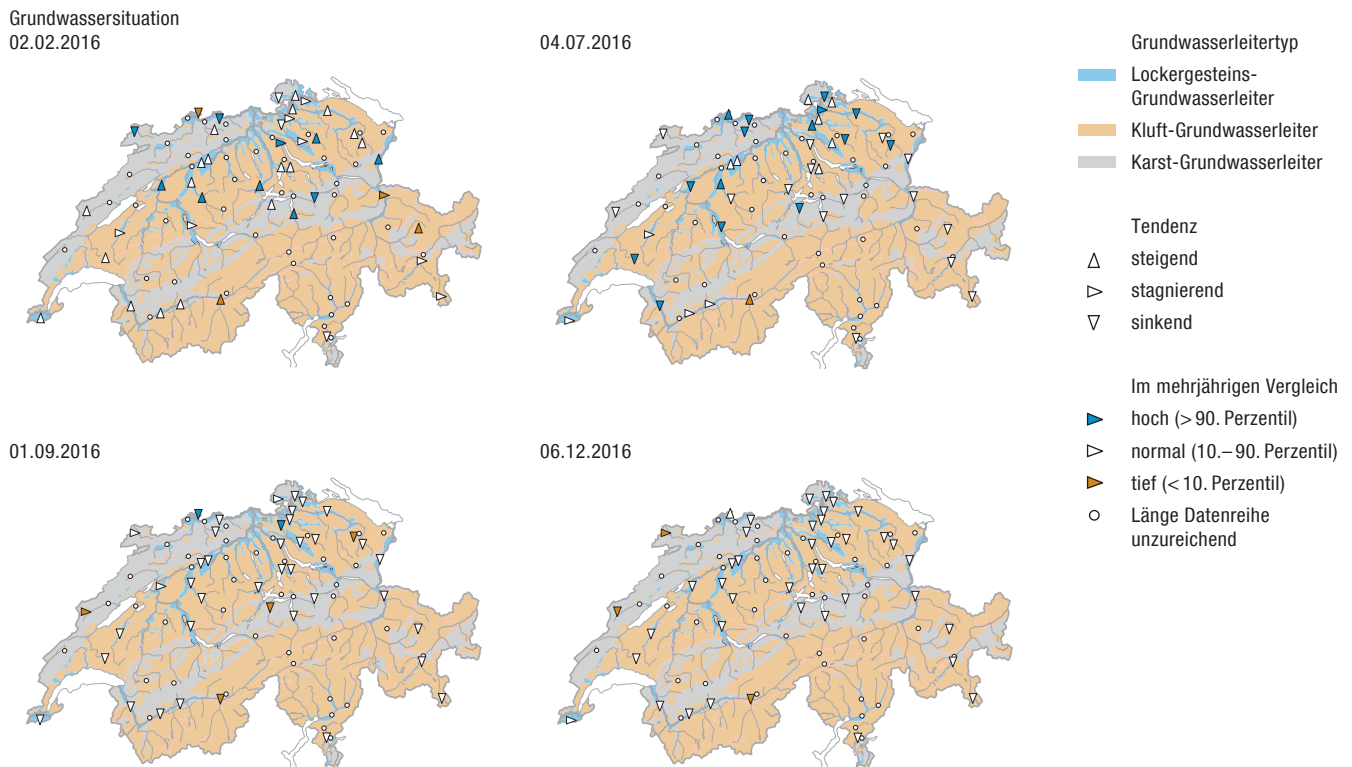


Abb. 5.1 Grundwasserstände und Quellschüttungen sowie deren Trend an vier Stichtagen im Jahr 2016 und im Vergleich zur Messperiode 2000–2015.

Die tiefen Grundwasserstände und Quellabflüsse nach dem sehr trockenen Jahresende 2015 stiegen auf der Alpennordseite im Zuge der teils ausgiebigen Niederschläge von Januar und Februar 2016 stetig an. Während im Januar in der Schweiz noch etwa jede vierte Messstelle einen tiefen Grundwasserstand bzw. Quellabfluss aufwies, lagen die Grundwasserstände bzw. Quellabflüsse Anfang Februar nur noch an einzelnen Messstellen tief (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 02.02.2016, und Abb. 5.2).

Infolge der überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen von April bis Juni 2016 wurden zunehmend hohe Grundwasserstände und Quellabflüsse beobachtet. So wiesen im Juni zwei Drittel aller Messstellen einen hohen Grundwasserstand bzw. Quellabfluss auf (Abb. 5.2). Anfang Juli wurden normale bis hohe Grundwasserstände und Quellabflüsse mit uneinheitlicher Tendenz gemessen (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 04.07.2016).

Der Monat Juli zeichnete sich durch hohe Temperaturen und regional teils starke Gewitteraktivität aus. Während es im Jura, Wallis, Tessin und in der Ostschweiz unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen gab, fielen in der Zentral- und Westschweiz überdurchschnittlich hohe Mengen. Von den lokalen Gewittern konnten jedoch nur Lockergesteins-Grundwasserleiter mit einem geringen Flurabstand kurzfristig profitieren. Der Monat August war ebenfalls überdurchschnittlich warm und insgesamt sehr trocken. Infolgedessen normalisierten sich die hohen Grundwasserstände und Quellabflüsse vom Juni. So waren Anfang September landesweit

normale Grundwasserstände und Quellabflüsse mit sinkender Tendenz zu verzeichnen (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 01.09.2016).

Das niederschlagsarme Wetter vom August setzte sich im September und Oktober fort. Im Zuge der anhaltend niedrigen Niederschlagsmengen waren im Jura, in den Alpen und im Tessin zunehmend tiefe Grundwasserstände und Quellabflüsse zu beobachten. Ende Oktober wies ein Drittel aller Messstellen einen tiefen Grundwasserstand bzw. Quellabfluss auf (Abb. 5.2).

Im November gab es erstmals seit Juni verbreitet wieder überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. In höheren Lagen fielen diese vorwiegend als Schnee. Die Niederschläge wirkten sich folglich vor allem im Mittelland auf Lockergesteins-Grundwasserleiter mit geringem Flurabstand aus. Anfang Dezember lagen Grundwasserstände und Quellabflüsse verbreitet im Normalbereich und wiesen eine sinkende Tendenz auf (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 06.12.2016).

Der Monat Dezember hingegen war landesweit aussergewöhnlich trocken. Ende Dezember lagen so wieder an etwa jeder dritten Messstelle tiefe Grundwasserstände bzw. Quellabflüsse vor (Abb. 5.2).

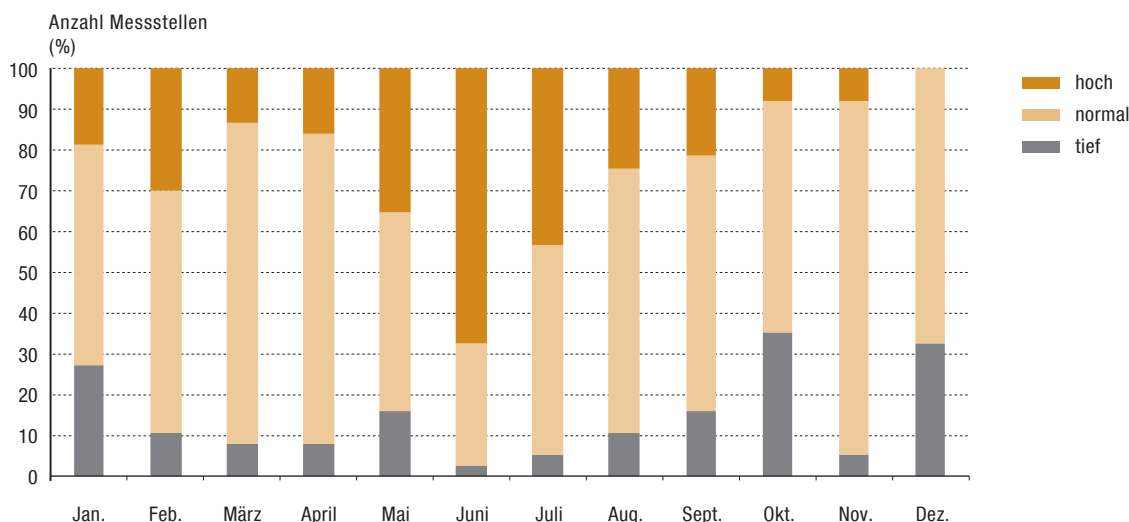


Abb. 5.2 Anzahl Messstellen mit tiefen, normalen und hohen Monatswerten hinsichtlich Grundwasserstand bzw. Quellabfluss von Januar bis Dezember 2016. Grau: Aktueller Wert liegt im Bereich der 10 % tiefsten Werte zwischen 1996 und 2015. Hellorange: Aktueller Messwert liegt im Bereich mit 80 % der Werte zwischen 1996 und 2015. Orange: Aktueller Wert liegt im Bereich der 10 % höchsten Werte zwischen 1996 und 2015.

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. 5.3). 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 Jahrbuches publiziert. Weiterführende Informationen und Daten sind im Internet verfügbar (Seite 34).

Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA (Module TREND und SPEZ)

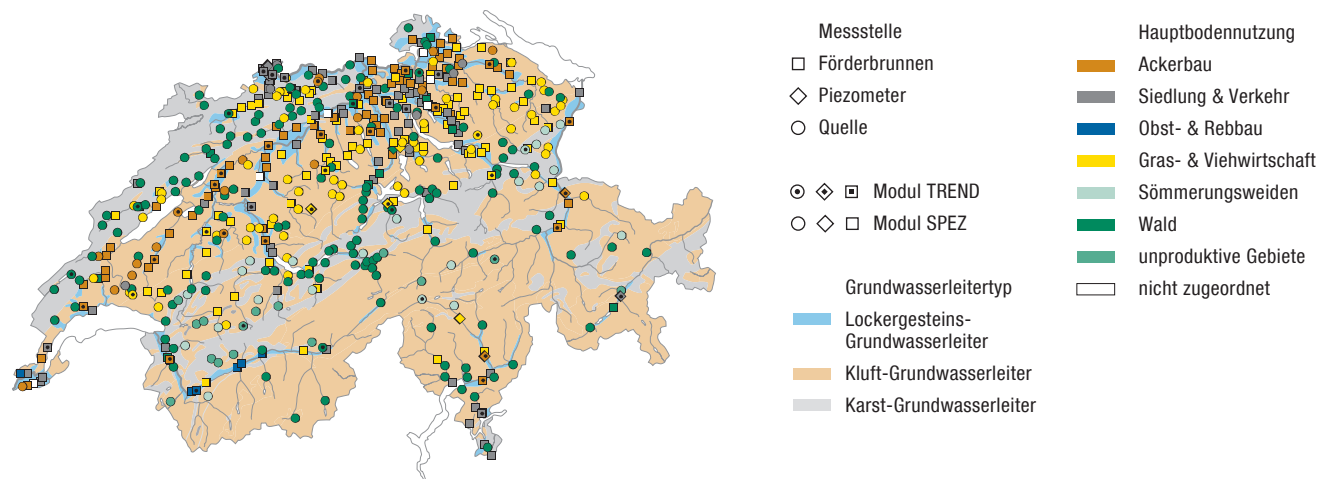


Abb. 5.3 Messstellen der NAQUA-Module TREND und SPEZ zur Beobachtung der Grundwasserqualität mit Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet sowie Grundwasserleitertyp. Stand 2016.

> 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 3 («erhebliche Gefahr») zur Stufe 4 («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 als Referenzdaten für das 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/
- > Nationale Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) – Beschreibung Messnetz:
www.bafu.admin.ch/naduf
- > Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA): www.bafu.admin.ch/nawa
- > Publikation «Zustand der Schweizer Fliessgewässer. Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA)»: www.bafu.admin.ch/uz-1620-d
- > Indikatoren Gewässer und weiterführende Informationen zum Thema Wasser: www.bafu.admin.ch/wasser

> Weiterführende Informationen: www.bafu.admin.ch/wasser