

Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2021

Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2021

Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer

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.) 2022: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2021.

Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 2215: 44 S.

Layout

Funke Lettershop AG

Titelbild

Hochwasser vom 15. Juli 2021 am Thunersee in Neuhaus (BE).

© Philippe Gyarmati, BAFU

Bildnachweis

Seite 18: Philippe Gyarmati, BAFU

Seite 21: Matthias Huss, Departement für Geowissenschaften der Universität Freiburg

Datengrundlage

Die hydrologischen Analysen basieren auf provisorischen Daten des Jahres 2021.

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-2215-d

Eine gedruckte Fassung liegt nicht vor.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

Die Originalsprache ist Deutsch.

Weiterführende Informationen und Datenbezug unter

www.bafu.admin.ch/wasser

© BAFU 2022

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	7
-----------	---

Vorwort	9
---------	---

Zusammenfassung	11
-----------------	----

1 Besonderheiten im Jahr 2021	13
-------------------------------	----

2 Witterung	19
-------------	----

3 Schnee und Gletscher	20
------------------------	----

4 Oberflächengewässer	22
-----------------------	----

5 Grundwasser	37
---------------	----

Anhang	41
--------	----

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

Vorwort

«Es herrscht eine sehr heikle Lage», «Ein Notstand wie 2005 wird nicht ausgeschlossen» oder «Hochwasserlage in Schweizer Gewässern ist angespannt». So und ähnlich titelten die Medien Mitte Juli 2021. Nach heftigen Gewittern und weiteren starken Niederschlägen waren die Gewässer der Schweiz vielerorts stark und teilweise bis in die Gefahrenstufe 5 (sehr grosse Hochwassergefahr) angestiegen, was zu Überschwemmungen führte. Am Bieler-, Neuenburger- und Murtensee wurden neue Höchststände verzeichnet – sie überstiegen die bisherigen Höchstmarken des grossen Hochwassers von 2007. Weiterführende Informationen zur Entwicklung der Hochwassersituation im Sommer 2021 an den Schweizer Flüssen, Seen und beim Grundwasser, eine statistische Einordnung der Messwerte aus dem BAFU-Messnetz sowie Vergleiche mit dem Hochwasser 2005 sind in den Kapiteln 1, 4 und 5 des vorliegenden Hydrologischen Jahrbuchs zu finden.

Nach den Hochwassern von 2005 und 2007 hatte sich im Schweizer Hochwasserschutz viel getan. «Hochwasserschutz bewährte sich» war ebenfalls ein Medientitel im Juli 2021. Erfreulicherweise haben die planerischen, baulichen und organisatorischen Schutzmassnahmen der letzten Jahre – nicht zuletzt auch die hydrologischen Vorhersagen und Hochwasserwarnungen des BAFU – dazu beigetragen, dass die Einsatzkräfte in Kantonen und Gemeinden rechtzeitig bereit waren und über die notwendigen Informationen und Vorhersagen verfügten, um Schutzmassnahmen zu treffen und somit die Schäden in Grenzen zu halten. Auch die Bevölkerung konnte dank der Warnungen des BAFU rechtzeitig ihre Schutzvorkehrungen treffen.

«Das Wetter spielt verrückt» oder «Der Klimawandel öffnet die Himmelsschleusen»: So die Überschriften von zwei weiteren Medienberichten über die Unwetter. Dass der Klimawandel häufiger zu Starkniederschlägen führt, war bereits bekannt. Wie sich diese stärkeren Regenfälle auf die Abflüsse und Wasserstände in den Schweizer Gewässern auswirken, wurde im Rahmen des BAFU-Projekts «Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel (Hydro-CH2018)» untersucht, dessen Ergebnisse im Frühling 2021 publiziert wurden. Die Resultate der Studien machen deutlich: Hochwasserereignisse wie im Sommer 2021 könnte es in Zukunft häufiger geben.

Aber nicht nur Hochwasser, auch längere Trockenperioden und Hitzewellen könnten künftig öfters auftreten. Die Verfügbarkeit von Wasser verändert sich im Jahresverlauf stark. Mit Klimaschutz aber auch durch konsequenten Schutz der Gewässer sowie umsichtige Planung und Bewirtschaftung lassen sich diese Herausforderungen besser bewältigen.

Carlo Scapozza, Abteilung Hydrologie
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Zusammenfassung

Witterung

Nach einem milden und niederschlagsreichen Winter 2020/21 mit lokal grossen Schneefällen folgte ein kalter Frühling mit einem regenreichen Monat Mai. Der Sommer war nördlich der Alpen einer der nassesten seit Messbeginn. Im Gegensatz zum Sommer zeigte sich der Herbst verbreitet niederschlagsarm und sonnig.

Schnee und Gletscher

Der Winter 2020/21 war von mehreren ausserordentlichen Schneefallperioden geprägt. Über den ganzen Winter betrachtet waren die Schneehöhen in Graubünden überdurchschnittlich, im westlichen Mittelland unterdurchschnittlich und in den übrigen Regionen verbreitet durchschnittlich. Das Volumen der Schweizer Gletscher nahm auch 2021 um fast ein Prozent ab, trotz viel Schnee im Winter und einem eher kühlen Sommer.

Abflussverhältnisse, Seestände und Wassertemperaturen

Das grosse Juli-Hochwasser auf der Alpennordseite führte in vielen Flussgebieten zu neuen Höchstwerten, die sich nicht nur in den Spitzenabflüssen einzelner Messstationen zeigten, sondern auch in den Monats- und Jahresmittelwerten der Abflüsse verglichen mit der Normperiode 1981–2010. Auch die Seepegel lagen vielerorts höher als in anderen Jahren. Die Wassertemperaturen hingegen bewegten sich das ganze Jahr über im Bereich der für die Jahreszeiten üblichen Werte.

Stabile Isotope

Die δ -Werte der Starkniederschläge vom Januar und Juli 2021 lagen im langjährigen Durchschnitt für diese Monate. Im Jahr 2021 war der generell ansteigende Trend der δ -Werte erneut unterbrochen.

Grundwasser

Im langjährigen Vergleich lagen die Grundwasserstände und Quellabflüsse im Jahr 2021 an rund jeder dritten Messstelle hoch. Im Zuge der hohen Niederschlagsmengen von Anfang Jahr und vor allem der Starkniederschläge vom Juli waren vorübergehend hohe Grundwasserverhältnisse an rund zwei Dritteln der Messstellen zu verzeichnen. Rund jede dritte Messstelle wies im Jahr 2021 hohe Grundwassertemperaturen auf.

1 Besonderheiten im Jahr 2021

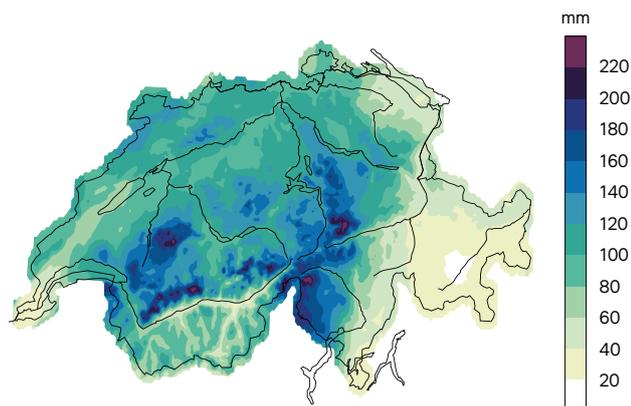
Unwetter, Hochwasser an Flüssen, Überschwemmungen an Seen und hohe Grundwasserstände: Der Sommer 2021 war auf der Alpennordseite ausserordentlich nass. Viele Flüsse und Seen erreichten im Juli die Gefahrenstufe 3, mancherorts stiegen die Pegel in die Gefahrenstufe 4 oder gar 5. Besonders stark betroffen waren der Thunersee, die Jurarandseen sowie der Vierwaldstättersee. Auch beim Grundwasser wurden neue Höchststände verzeichnet.

Bereits der Winter 2020/2021 war niederschlagsreich und auch der kalte Frühling endete nass (Kapitel 2). So waren die Schneehöhen Anfang Juni vielerorts überdurchschnittlich. Der Juni brachte nördlich der Alpen verbreitet Niederschlagssummen zwischen 130 und 190 %, lokal auch bis 250 % der Norm 1981–2010. Es gab wiederholt heftige Gewitter mit teils massivem Hagel. Die sehr hohen Temperaturen führten zudem zu einer starken Schneeschmelze. Die Böden waren verbreitet bereits gesättigt.

Ab dem 6. Juli 2021 setzten erneut intensive und teils gewittrige Niederschläge ein. Die Pegel der Flüsse auf der Alpennordseite waren nach den Juni-Unwettern etwas gesunken, nun stiegen sie rasch wieder an. Eine etwas ruhigere Witterungsphase zwischen dem 9. und 12. Juli 2021 entspannte die Lage nur kurz.

Abb. 1.1: Niederschlagssummen in der Schweiz Mitte Juli 2021

Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen vom 12. Juli 7:00 Uhr bis 17. Juli 7:00 Uhr 2021.



Quelle: Bundesamt für Klimatologie und Meteorologie (MeteoSchweiz)

Ab dem 12. Juli 2021 folgte erneut kräftiger Regen, ausgelöst durch einen Kaltlufttropfen, welcher die Schweiz überquerte. Auf der Vorderseite des Tiefs fielen am 13. Juli 2021 die intensivsten Niederschläge auf der Alpensüdseite und in der Zentralschweiz. Nach einer kurzen Beruhigung verlagerte sich der Niederschlagschwerpunkt auf der Rückseite des Tiefs am 15. Juli 2021 auf die Alpennordseite. Am 16. Juli 2021 zogen noch teils kräftige Schauerzellen aus Nordosten über die Schweiz, insgesamt beruhigte sich das Wetter aber langsam.

Während des Hauptereignisses vom 12. bis 16. Juli 2021 wurden in grossen Teilen der Schweiz Niederschlagssummen von mehr als 100 mm verzeichnet, am Alpennordhang und im Tessin vielerorts über 140 mm (Abb. 1.1). Das Maximum wurde mit 221 mm im Tessin bei Robièi gemessen.

Verbreitet über 10-jährliche Hochwasser an den Flüssen

Die Niederschläge im Juli fielen auf ein bereits gefülltes hydrologisches System und liessen die Gewässer rasch weiter anschwellen, einzelne traten über die Ufer.

An etwas über 100 Abflussmessstationen des BAFU wurden Spitzenwerte erreicht, wie sie statistisch höchstens alle zwei Jahre auftreten (Abb. 1.2). Insbesondere in den Flussgebieten der Aare, der Reuss und der Limmat wurden verbreitet 10-jährliche oder noch seltenere Hochwasser verzeichnet (Tab 1.1).

Neue Höchststände an mehreren Seen

Die hohen Zuflüsse führten in vielen Seen zu aussergewöhnlich hohen Wasserständen (Tab. 1.2). So verzeichneten sowohl der Briener- wie auch der Thunersee neue Höchstwerte für den Monat Juli. In Anbetracht der Wetterprognose hatte der Seeregulierungsdienst des Kantons Bern ab Anfang Juli 2021 begonnen, den Wasserstand des Thunersees vorsorglich abzusenken. Mit Einsetzen der Niederschläge am 6. Juli stieg der Pegel aber rasch sehr stark an. Um die Unterlieger an der Aare wie vorgesehen zu schützen, musste der Abfluss aus dem Thunersee wiederholt gedrosselt werden. Schliesslich überschritt der Seepiegel am 15. Juli die Grenze zur höchsten Gefahrenstufe 5. Andererseits erreichte die Abflussmenge an der Aare in Bern ebenfalls die Gefahrenstufe 5. Die getroffenen Hochwasserschutzmassnahmen reichten aber aus, um grössere Schäden in der Stadt Bern zu verhindern.

Aufgrund der grossen Zuflüsse stieg auch der Bielersee massiv an. Intensive Niederschläge im Einzugsgebiet der Emme sowie am Jurasüdfuss liessen die Aare unterhalb des Bielersees mehrmals anschwellen. Um die Regulierungsvorschriften bezüglich des maximalen Abflusses der Aare in Murgenthal («Murgenthaler-Bedingung») einhalten zu können, musste der Abfluss am Regulierwehr in Port (BE) mehrfach gedros-

selt werden. Am Abend des 16. Juli erreichte der Bielersee bei 430,94 m ü. M einen neuen absoluten Höchststand seit der 2. Juragewässerkorrektion. Dies sind 6 cm mehr als die bisherige Höchstmarke vom August 2007. In der Folge wurden auch am Neuenburger- und am Murtensee neue absolute Höchststände seit der 2. Juragewässerkorrektion verzeichnet.

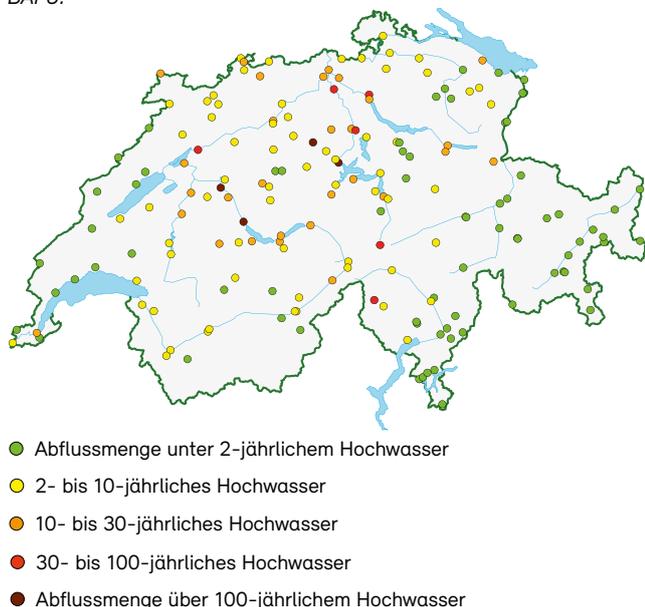
Die drei Jurarandseen sind über den Zihl- und den Broye-kanal hydraulisch miteinander verbunden. Das Regulierreglement beschränkt die Abflussmenge aus dem Bielersee auf ein Maximum von 650 m³/s. In Notsituationen kann im Einvernehmen der betroffenen Kantone (Bern, Waadt, Freiburg, Neuenburg, Solothurn und Aargau) und des Bundes vom Reglement abgewichen werden. Am 16. Juli 2021 wurde gemeinsam beschlossen, die maximale Abflussmenge der Aare beim Wehr Port temporär auf 750 m³/s zu erhöhen, um die Jurarandseen zu entlasten. Mit dieser Massnahme konnten die Pegel von Bieler-, Neuenburger- und Murtensee schneller wieder abgesenkt werden.

Ein neues Julimaximum wurde auch am Vierwaldstättersee erreicht. Der Höchststand blieb aber 28 cm unterhalb des Maximums vom Hochwasserereignis im August 2005 (siehe Ausführungen weiter unten sowie Tab. 1.2 und Abb. 1.3).

Auch am Ausfluss des Sempachersees, an der Suhre in Oberkirch, wurde ein sehr seltenes Hochwasser beobachtet: Sowohl dort, wie auch am See selbst – an der Messstation in Sempach – wurde ein neuer absoluter Höchstwert verzeichnet. Am Zugersee in Zug und an der unterhalb gelegenen Abflussmessstation an der Lorze in Frauenthal gab es neue Höchstwerte für den Juli. Der Zürichsee verharrte zwar während beinahe sechs Tagen in der Gefahrenstufe 4, blieb aber unter dem bisherigen Julimaximum. Am Ausfluss des Sees, an der Limmat in Zürich, wurde dieses hingegen übertroffen.

Die hohen Zuflüsse aus den Einzugsgebieten der Aare, Reuss und Limmat führten auch im Hochrhein zu grossen Wassermengen. Vom 13. Juli bis zum 17. Juli 2021 wurden praktisch durchgängig Abflüsse über 3000 m³/s registriert. Am 13. Juli 2021 wurde der Schiffsverkehr auf dem Rhein zwischen Basel und der Schleuse Kembs (F) für sechs Tage eingestellt.

Abb. 1.2: Hochwassersituation der Fliessgewässer 8. bis 22. Juli 2021
Vergleich der maximalen Abflüsse mit der Hochwasserstatistik des BAFU.



Tab. 1.1: Hochwasserereignis 8. bis 22. Juli 2021 – Fliessgewässer

Stationsname	Periodenlänge (Jahre)	Bisheriges Maximum (m ³ /s)	Zeitpunkt (Monat/Jahr)	Bisheriges Maximum Juli (m ³ /s)	Zeitpunkt (Jahr)	HW ₂₀₂₁ (m ³ /s)	Datum	Zeit	Jährlichkeit	Max. erreichte Gefahrenstufe
Aabach – Hitzkirch	44	5,99	12/1981	3,57	1993	6,59*	18.07.21	12:15	10–30	4
Aach – Salmsach	60	48,5	09/1968	30,6	1977	37	09.07.21	06:00	10–30	3
Aare – Bern	104	613	05/1999	434	2014	562	16.07.21	14:15	>100	5
Aare – Brienzwiler	106	444	08/2005	373	1977	323	13.07.21	12:25	10–30	3
Aare – Brugg	48	1387	08/2007	913	1982	1164	15.07.21	13:10	10–30	3
Aare – Brügg	48	783	05/2015	655	1987	761	22.07.21	08:35	30–50	5
Aare – Hagneck	36	1514	08/2005	818	2014	1044	16.07.21	19:30	10–30	3
Aare – Murgenthal	48	1262	08/2007	906	1997	1021	15.07.21	07:55	10–30	3
Aare – Ringgenberg	40	344	08/2005	244	1987	243	16.07.21	17:20	10–30	3
Aare – Thun	116	564	05/1999	401	2014	505	17.07.21	03:20	>100	5
Aare – Untersiggenthal	48	2656	08/2007	1664	2001	2201	14.07.21	07:45	10–30	3
Allaine – Boncourt	38	72,4	08/2007	28,1	1996	59,9	13.07.21	17:35	10–30	2
Emme – Emmenmatt	103	495	06/1997	470	1977	335	09.07.21	02:50	10–30	3
Engelberger Aa – Buochs	99	230	08/2005	122	2014	133	11.07.21	00:25	10–30	3
Ergolz – Liestal	101	152	05/1994	95	1948	117	13.07.21	12:55	10–30	3
Gürbe – Belp, Mülimatt	99	60,8	08/2014	59	1938	52,1	13.07.21	11:40	10–30	3
Kander – Hondrich	41	273	08/2005	225	2014	232	08.07.21	20:30	10–30	5
Limmat – Baden	71	657	05/1999	430	1953	552	15.07.21	05:10	10–30	4
Limmat – Zürich	116	657	06/1910	378	1976	535	14.07.21	00:15	30–50	4
Linth – Mollis	99	402	08/2005	272	1987	307	08.07.21	22:15	10–30	3
Linth – Weesen	56	286	05/1999	209	1987	207	17.07.21	03:00	10–30	2
Lorze – Frauenthal	98	38,3	08/2007	31,2	1993	36,1	13.07.21	15:00	50–100	5
Lütschine – Gsteig	98	254	08/2005	209	2014	170	08.07.21	20:25	10–30	3
Reuss – Andermatt	77	291	08/1987	199	2013	225	13.07.21	11:10	30–50	4
Reuss – Luzern	99	473	08/2005	390	1953	480*	16.07.21	10:15	>100	5
Reuss – Mellingen	112	854	08/2005	616	2001	761	14.07.21	04:40	30–50	4
Reuss – Mühlau	98	839	08/2005	655	2002	689	13.07.21	16:45	10–30	3
Reuss – Seedorf	99	733	08/1987	477	1977	526	13.07.21	12:35	10–30	3
Rhein – Basel	131	5085	05/1999	3396	1910	3729	15.07.21	12:35	10–30	4
Rhône – Genève	96	740	11/2002	660	1975	656	18.07.21	21:15	10–30	–
Rhone – Reckingen	72	180	08/1987	160	2012	147	13.07.21	13:00	10–30	3
Riale di Calneggia – Caverigno	55	104	08/1987	87,5	2011	122*	13.07.21	10:50	50–100	5
Saane – Laupen	57	925	08/2005	505	1973	667	13.07.21	18:05	10–30	3
Sarine – Fribourg	73	750	08/2005	420	1951	510	13.07.21	18:15	10–30	3
Sarner Aa – Sarnen	98	148	08/2005	37,9	1981	56,7	16.07.21	18:25	10–30	3
Seez – Mels	56	75,4	07/1987	75,4	1987	65,9	08.07.21	21:22	10–30	4
Sihl – Zürich	84	280	08/2005	175	1955	248	13.07.21	23:45	10–30	3
Simme – Oberwil	100	200	11/1944	124	2007	124	13.07.21	11:20	10–30	3
Suhre – Oberkirch	43	4,41	05/1999	3,27	1987	4,93*	16.07.21	14:00	>100	4

* neue absolute Höchstwerte

fett: neue Juli-Maxima

In der Tabelle nicht aufgeführt sind Messstationen, an denen Abflussmengen mit einer Jährlichkeit unter 10 registriert wurden.

Tab. 1.2: Hochwasserereignis 8. bis 22. Juli 2021 – Seen

Stationsname	Periodenlänge (Jahre)	Bisheriges Maximum (m ü. M.)	Zeitpunkt (Monat/Jahr)	Bisheriges Maximum Juli (m ü. M.)	Zeitpunkt (Jahr)	HW ₂₀₂₁ (m ü. M.)	Datum	Zeit	Max. erreichte Gefahrenstufe
Bielensee – Ligerz	38	430,88	08/2007	429,83	1987	430,94*	16.07.21	22:00	5
Bodensee (Obersee) – Romanshorn	91	397,89	06/1999	397,6	1987	397,03	19.07.21	04:00	3
Bodensee (Untersee) – Berlingen	91	397,66	06/1999	397,38	1965	396,61	20.07.21	06:40	3
Brienzersee – Ringgenberg	80	566,05	08/2005	564,94	2012	565,2	16.07.21	16:20	3
Lac de Neuchâtel – Neuchâtel	38	430,44	05/2015	429,98	1987	430,72*	19.07.21	13:50	4
Lac Léman – St-Prex	78	372,88	12/1965	372,8	1951	372,69	17.07.21	10:10	3
Murtensee – Murten	38	430,47	04/2006	430	1987	430,72*	20.07.21	07:50	3
Sempachersee – Sempach	86	504,34	08/2007	504,24	1946	504,64*	18.07.21	07:40	–
Thunersee – Spiez	80	559,25	08/2005	558,48	1970	558,75	17.07.21	02:25	5
Vierwaldstättersee – Luzern	85	435,23	08/2005	434,83	1970	434,95	16.07.21	23:50	5
Walensee – Murg	91	422,15	05/1999	421,5	1953	421,27	17.07.21	01:40	2
Zugersee – Zug	91	414,46	05/1999	414,22	1932	414,3	19.07.21	06:45	2
Zürichsee – Zürich	70	406,99	05/1999	406,78	1953	406,73	18.07.21	01:25	4

* neue absolute Höchstwerte

fett: neue Juli-Maxima

Tab. 1.3 Hochwasserereignis Juli 2021 – Grundwasser

Messstelle	Einheit	Periodenlänge (Jahre)	Bisheriges Maximum	Datum	Bisheriges Maximum Juli	Datum	Maximum Juli 2021	Datum
Grundwasserstände								
Dietikon	m ü. M.	23	383,10	07.05.2015	383,04	14.07.2016	383,29	18.07.2021
Luterbach	m ü. M.	23	423,01	23.01.2018	422,08	01.07.2016	423,72	16.07.2021
Märstetten	m ü. M.	30	412,76	24.01.2018	412,24	15.07.2016	413,39	18.07.2021
Massongex	m ü. M.	28	394,35	09.08.2007	394,32	14.07.1999	394,41	16.07.2021
Oberwichtrach	m ü. M.	45	530,95	11.08.2014	530,63	11.07.1997	531,36	16.07.2021
Soral	m ü. M.	46	372,65	13.07.2020	372,65	13.07.2020	372,86	29.07.2021
Trub	m ü. M.	17	785,73	23.08.2005	784,83	12.07.2014	785,76	17.07.2021
Zürich	m ü. M.	50	401,78	24.05.1999	401,74	20.07.1980	402,07	18.07.2021
Quellabflüsse								
Delémont	l/s	19	75,7	14.05.2007	46,6	03.07.2013	95,5	26.07.2021
Enney	l/s	16	64,4	22.01.2018	43,3	13.07.2014	68,8	13.07.2021

Abb. 1.3: Hochwasser an der Reuss bei Seedorf und am Vierwaldstättersee

Vergleich der Abfluss- bzw. Wasserstandsganglinien vor und während den Hochwasserereignissen 2005 (blau) und 2021 (orange) an den BAFU-Messstationen Reuss-Seedorf und Vierwaldstättersee-Luzern. Der abgebildete Zeitraum umfasst jeweils 21 Tage vor der Ereignisspitze an der Reuss und 10 Tage danach.

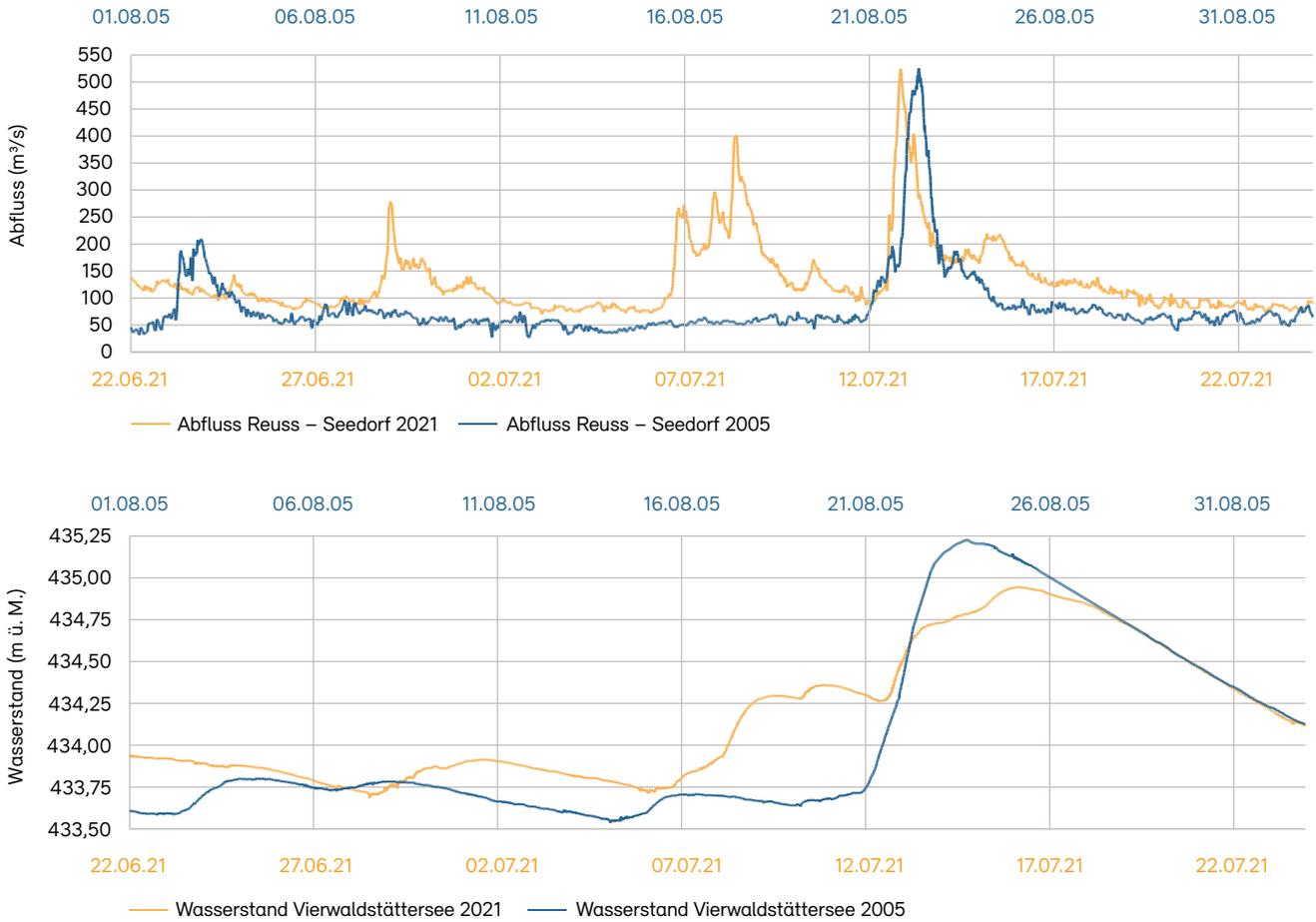


Abb. 1.4: Hohe Grundwasserstände bei Oberwichtlach

Vergleich der Grundwasserstandslinien von 2005 (blau) und 2021 (orange) an der BAFU-Messstelle Oberwichtlach.



Neue Höchststände auch beim Grundwasser

Infolge der Niederschläge vom Juni waren bereits vor dem Juli-Hochwasserereignis teilweise hohe Grundwasserstände und Quellabflüsse zu verzeichnen. Im Zuge der Starkniederschläge vom Juli stiegen sie weiter an, so dass insbesondere entlang der Fliessgewässer neue absolute Höchstwerte für die Grundwasserstände erreicht wurden (Tab. 1.3).

Vergleich mit dem Hochwasserereignis von August 2005

Aufgrund der hohen Niederschlagsmengen und der grossen vom Hochwasser betroffenen Region drängt sich ein Vergleich mit dem Ereignis im August 2005 auf. Insgesamt wiesen 2021 deutlich weniger BAFU-Messstationen sehr grosse Wiederkehrperioden auf. An einigen Abflussmessstationen wurden die Höchstwerte von 2005 jedoch übertroffen. Dies gilt insbesondere für Stationen an der Aare unterhalb des Bielersees, an der Limmat, am Rhein unterhalb des Bodensees und im Jura östlich des Chasserals.

Wie ein Vergleich der Abflussganglinien der Messstation an der Reuss in Seedorf (UR) beispielhaft zeigt, wurde das Ereignis 2021 weniger durch aussergewöhnlich hohe

Abflussspitzen als durch seine Dauer und grosse Abflussvolumen geprägt (Abb. 1.3). Die Abflussmenge der Reuss betrug schon ab Anfang Juni nahezu durchgehend über $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Es folgten mehrere Abflussspitzen, mit dem Maximum von $526 \text{ m}^3/\text{s}$ am 13. Juli 2021. Im Jahr 2005 wurde in Seedorf zwar in etwa das gleiche Abflussmaximum verzeichnet ($532 \text{ m}^3/\text{s}$ am 23. August), das Hochwasserereignis dauerte dann aber nur wenige Tage. Bei den anderen grossen Zuflüssen zum Vierwaldstättersee (Muota, Engelberger Aa und Sarner Aa) waren die Abflussspitzen im August 2005 teilweise deutlich grösser als im Juli 2021. Dies führte damals zu einem stärkeren Anstieg des Vierwaldstättersees innert kürzerer Zeit. Im Jahr 2021 lag der Wasserstand allerdings vier Tage länger über der Schwelle zur Gefahrenstufe 3 (434,25 m ü. M.). Den Höchststand von 2005 erreichte er aber nicht. Aufgrund der Sanierung des Reusswehrs von 2009 bis 2011 hat sich die Abflusskapazität beim Seeausfluss erhöht. Deshalb wurde 2021 am Ausfluss des Sees die bisher grösste Abflussspitze aus dem Jahr 2005 knapp übertroffen, obwohl der Seepegel tiefer lag als 2005.

Die Grundwasserstände im Aaretal unterhalb von Thun unterstreichen die aussergewöhnlich lange Dauer des Hochwasserereignisses vom Sommer 2021 im Vergleich zum Ereignis von August 2005 (Abb. 1.4).

Abb. 1.5: Uferpromenade am Vierwaldstättersee in Alpnachstad (OW) während des Hochwassers am 13. Juli 2021



2 Witterung

Nach einem milden und niederschlagsreichen Winter 2020/21 mit lokal grossen Schneefällen folgte ein kalter Frühling mit einem regenreichen Monat Mai. Der Sommer war nördlich der Alpen einer der nassesten seit Messbeginn. Im Gegensatz zum Sommer zeigte sich der Herbst verbreitet niederschlagsarm und sonnig.

Die niederschlagsreichen und gebietsweise auch schnee-reichen Monate Dezember und Januar sorgten verbreitet für überdurchschnittliche Winterniederschläge. Lokal war der Winter 2020/21 einer der niederschlagsreichsten seit Beginn der meteorologischen Messungen. Im milden Februar blieben die Niederschlagsmengen verbreitet unter dem Durchschnitt. Einzig der Süden erhielt überdurchschnittliche Mengen. In der milden Luft fiel der Niederschlag aber oft bis in grössere Höhen als Regen.

Die Schweiz erlebte den kältesten Frühling seit über 30 Jahren. Nach den zwei niederschlagsarmen Monaten März und April erhielten im Mai die meisten Gebiete der Schweiz, mit Ausnahme der Alpensüdseite, reichlich Niederschlag. Lokal stiegen die Mai-Summen bis auf 250 % der Norm. Das war der Beginn einer dreimonatigen, ungewöhnlich niederschlagsreichen Periode.

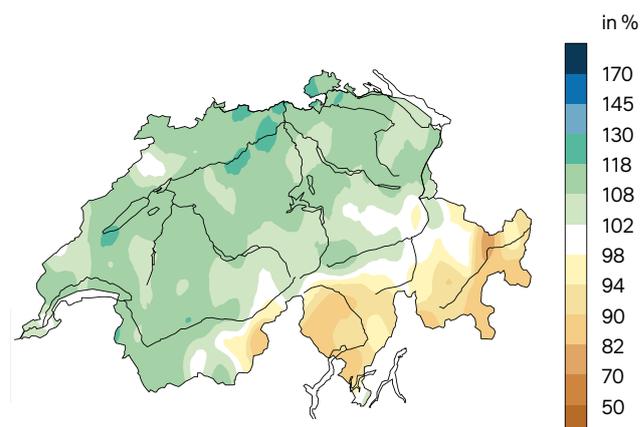
Nördlich der Alpen war der Sommer 2021 mit lokal über 160 % der Norm 1981–2010 einer der nassesten in den langjährigen Aufzeichnungen. Auf der Alpensüdseite erreichten die sommerlichen Niederschlagssummen vor allem im nordwestlichen Tessin hohe Werte. In den übrigen Gebieten der Alpensüdseite blieben die Niederschlagsmengen mit 100 bis 140 % der Norm eher moderat. Auf der Alpennordseite brachte der Sommer nach viel Regen im Mai gebietsweise den regenreichsten Juni und Juli seit Messbeginn. Der Juli war zudem an mehreren Messstandorten mit langjährigen Aufzeichnungen der nasseste Monat überhaupt seit Messbeginn. Nördlich der Alpen zogen insbesondere im Juni mehrere verheerende Hagelunwetter über die Schweiz. Die Korngrössen erreichten gebietsweise 6 bis 7 cm oder mehr, was sehr selten ist. Auf der Alpensüdseite richtete der Hagel vor allem im Juli grosse Schäden in der Landwirtschaft an.

Der Herbst zeigte sich in der Schweiz von September bis November verbreitet niederschlagsarm. Selten seit Messbeginn 1864 fiel nördlich der Alpen so wenig Niederschlag im Herbst. Anfang November erhielten die Ostalpen gebietsweise reichlich Schnee mit 4-Tages-Neuschneesummen von 50 bis 60 cm. Ende November schneite es beidseits der Alpen bis in die Niederungen. Die Schneefälle bis in tiefe Lagen hielten in den ersten Dezembertagen an. Am Ende des ersten Dezemberdrittels lag in vielen Berggebieten durchschnittlich oder überdurchschnittlich viel Schnee. Deutlich überdurchschnittlich war die Schneehöhe im Jura.

Gegen Jahresende fiel verbreitet kräftiger Regen bis in grosse Höhen. Die Schneefallgrenze lag bei milden Verhältnissen auf rund 2500 m. Am Jahresende stieg die Tageshöchsttemperatur im Norden auf knapp 16 °C, im Süden auf knapp 19 °C.

Abb. 2.1: Jahresniederschlagssumme (% des Normwertes)

Die Jahresniederschläge 2021 erreichten verbreitet 90 bis 115 % der Norm 1991–2020. Auf der Alpensüdseite sowie in den Alpen lagen die Werte lokal zwischen 80 und 90 % der Norm.



Quelle Text und Grafik: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)

3 Schnee und Gletscher

Der Winter 2020/21 war von mehreren ausserordentlichen Schneefallperioden geprägt. Über den ganzen Winter betrachtet waren die Schneehöhen in Graubünden überdurchschnittlich, im westlichen Mittelland unterdurchschnittlich und in den übrigen Regionen verbreitet durchschnittlich. Das Volumen der Schweizer Gletscher nahm auch 2021 um fast ein Prozent ab, trotz viel Schnee im Winter und einem eher kühlen Sommer.

3.1 Schnee

Ende Oktober 2020 führten kräftige Schneefälle bis in mittlere Lagen zu einem ersten Wintereinbruch. Der Schnee blieb im Hochgebirge liegen. Die Schneemengen waren für die Jahreszeit teils sehr hoch, wenn auch kein neuer Rekord. So ergiebige Schneefälle kommen im Oktober in den östlichen Alpen in diesen Lagen nur alle 10 bis 40 Jahre vor. Nach einem warmen November fiel zwischen Dezember und Februar beidseits der Alpen mehrmals Schnee bis ins Flachland. Dafür waren weniger die Niederschlagsmengen, als die Kombination von Niederschlag und genügend tiefen Temperaturen verantwortlich. Die Temperatur von November bis April lag im Mittel der letzten 30 Jahre. Die Niederschlagssumme der Wintermonate war beidseits der Alpen überdurchschnittlich, in März und April hingegen geringer als normal.

Der Januar präsentierte sich vor allem am östlichen Alpenordhang, in Teilen Graubündens und im Obergoms als sehr neuschneereich. An 32 von rund 120 langjährigen Stationen des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF gehören die Neuschneemengen des Januars 2021 zu den drei höchsten je gemessenen Neuschneesummen. In Teilen der östlichen Hälfte der Schweiz war es der neuschneereichste Januar der letzten 50 Jahre.

Der Februar war nur gerade im Oberengadin überdurchschnittlich neuschneereich. An einigen Stationen in dieser Region wurde dann auch die 30-tägige Neuschneesumme (13. Januar bis 10. Februar 2021) nur vom Lawinenwinter 1951 übertroffen. Ausser in den tiefsten Lagen und auf der Alpensüdseite waren die Neuschneesummen im März verbreitet überdurchschnittlich. Umgekehrt gab es im April nur wenig Neuschnee. Nur ein einzelnes Ereignis brachte im östlichen

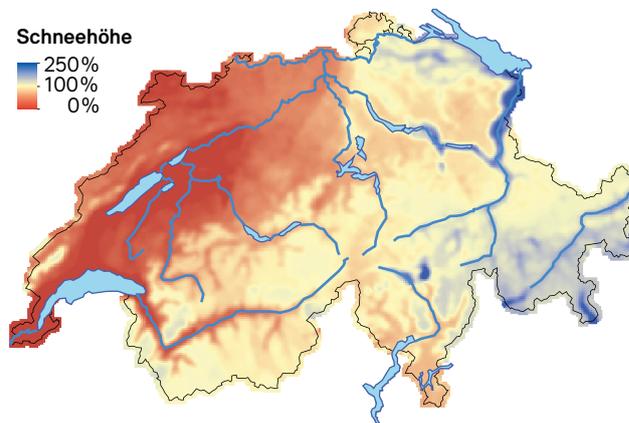
Mittelland rund zehn Zentimeter Neuschnee und damit in diesen Regionen Schneemengen über dem Mittel.

Über das ganze Winterhalbjahr von November 2020 und April 2021 betrachtet, waren die Neuschneesummen unterhalb von 2000 m, mit Ausnahme des westlichen Mittellands, stark überdurchschnittlich. Aufgrund von Föhnereignissen, westlichen Warmluftvorstössen und entsprechenden Regenfällen bis in hohe Lagen waren die mittleren Schneehöhen zwischen November und April in der westlichen Hälfte der Schweiz in Gebieten unterhalb von 1000 m unterdurchschnittlich. Im Gegensatz dazu lagen die mittleren Schneehöhen in ganz Graubünden an allen Stationen über dem Durchschnitt und oberhalb von 2000 m im ganzen Alpenraum im Bereich der Normalwerte. In Gebieten oberhalb von 2000 m lag die mittlere Schneehöhe für die Periode November bis April schweizweit grösstenteils im Bereich der Normalwerte. Der kälteste Frühling seit 30 Jahren sorgte dafür, dass der Schnee in diesen Höhenlagen in den folgenden Monaten noch liegen blieb.

Die Schneehöhen waren auch Anfang Juni an vielen Messstationen noch stark überdurchschnittlich. Die zweite Junihälfte war sehr warm und so erfolgte die Ausaperung schliesslich an den meisten Stationen oberhalb von 2000 m nur eine bis zwei Wochen später als normal.

Abb. 3.1: Schneehöhe (% des Normwertes)

Schneehöhen des Winters 2020/21 im Vergleich zur Periode 1971–2000. Berücksichtigt sind die Monate November bis April.



Quelle Text und Grafik: WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

3.2 Gletscher

Der Rückgang der Schweizer Gletscher in den letzten drei Jahrzehnten war immens – ein Extremjahr folgte dem nächsten. Wettermässig stimmten die Voraussetzungen 2021, um den Gletschern eine Verschnaupause zu verschaffen. Leider ist in Zeiten des Klimawandels selbst ein «gutes» Jahr nicht gut genug für die Gletscher: Der Eisverlust setzte sich trotz reichlich Schnee im Winter und einem vergleichsweise kühlen und wechselhaften Sommer fort, wenn auch weniger schnell. Ende April lagen auf den meisten Gletschern nur leicht überdurchschnittliche Schneemengen. Allerdings brachte der Mai viel zusätzlichen Schnee im Hochgebirge. Auf dem Claridenfirn (GL) auf einer Höhe von 2890 wurde dann eine Schneehöhe von fast sieben Metern gemessen – der höchste Wert seit Beginn der Beobachtungen im Jahr 1914. Die Gletscher waren deshalb noch bis in den verregneten Juli relativ gut durch den Winterschnee geschützt. Dennoch war die Schmelze bis Ende September beträchtlich und schweizweit gingen während des hydrologischen Jahres 2020/21 rund 400 Millionen Tonnen Eis verloren, fast ein Prozent des verbleibenden Gletschervolumens.

Für alle 22 Gletscher, die im Jahr 2021 vermessen wurden, dokumentiert das Schweizer Gletschermessnetz GLAMOS den Eisverlust. Obwohl die Verluste kleiner ausfallen als in den letzten Jahren, konnte für keinen der Gletscher ein Gewinn festgestellt werden. Vor allem im nördlichen Wallis (Rhonegletscher, Grosser Aletschgletscher) ist die Abnahme der mittleren Eisdicke mit knapp 0,2 Metern moderat. Im südlichen Wallis, im Tessin und in der Nordostschweiz (z.B. beim Findelgletscher oder Silvrettagletscher) sind die Verluste hingegen kaum geringer als im Mittel der letzten zehn Jahre. Während auf grossen Gletschern oberhalb von rund 3200 m im Herbst 2021 ansehnliche Schnee-Rücklagen – also «Nahrung» für den Gletscher – gemessen wurden, waren tiefliegende Gletscher teils wieder komplett ausgeapert. Diese sind damit dem Untergang geweiht. Auch wenn die Gletscher im Jahr 2021 den geringsten Eisverlust seit 2013 aufweisen, ist für den Gletscher-Rückgang keine Entspannung in Sicht.

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

Abb. 3.2: Der ausgeaperte Konkordiaplatz auf dem Grossen Aletschgletscher (VS) im Sommer 2021 beeindruckt durch seine Weite.



4 Oberflächengewässer

Das grosse Juli-Hochwasser auf der Alpennordseite führte in vielen Flussgebieten zu neuen Höchstwerten, die sich nicht nur in den Spitzenabflüssen einzelner Messstationen zeigten, sondern auch in den Monats- und Jahresmittelwerten verglichen mit der Normperiode 1981–2010. Auch die Seepegel lagen vielerorts höher als in anderen Jahren. Die Wassertemperaturen hingegen bewegten sich das ganze Jahr über im Bereich der für die Jahreszeiten üblichen Werte.

4.1 Abflussverhältnisse

Alle grossen Flussgebiete der Alpennordseite weisen im Jahr 2021 Jahresmittel des Abflusses auf, die über dem langjährigen Mittel der Normperiode 1981–2010 liegen. Die Abweichungen betragen an der Reuss 11 %, an der Thur 17 % und an der Birs 18 %. Nicht viel weniger sind es am Doubs, an der Aare und an der Limmat; in diesen Flussgebieten liegen die Werte 7 bis 9 % über der Norm. An der Rhone, am Rhein und am Inn sind es noch 2 bis 5 %. Mit diesen überdurchschnittlichen Werten folgen die Abflüsse der Aare, der Reuss und der Limmat im Jahr 2021 für einmal nicht dem abnehmenden Trend der letzten Jahre (Abb. 4.1).

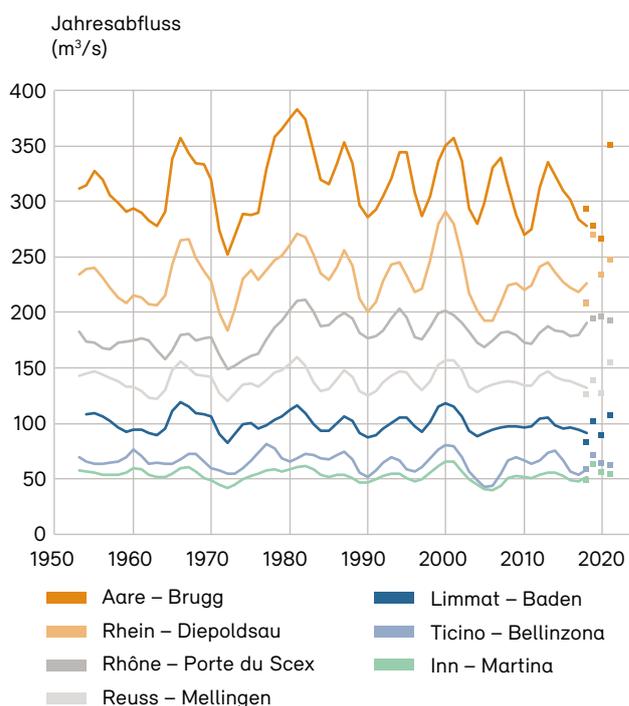
Unterdurchschnittliche Abflüsse hingegen zeigen die Gebiete auf der Alpensüdseite. Der Ticino führte 96 % und die Maggia lediglich 80 % der durchschnittlichen Abflussmengen.

In den grossen Flussgebieten, wo sich lokale und regionale Besonderheiten auf Grund der Gebietsgrösse weitgehend ausgleichen können, widerspiegelt das Abflussgeschehen relativ gut den Niederschlagsinput (Abb. 2.1). In den mittelgrossen Gebieten zeigt sich erwartungsgemäss ein differenzierteres Bild, da hier neben dem Niederschlag weitere Faktoren wie die Bodeneigenschaften, die Exposition oder die Höhenlage eine wichtige Rolle spielen.

In der Karte der Abflussverhältnisse ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete (Abb. 4.2) fallen die beiden Gebiete mit unterdurchschnittlichen Abflüssen auf: Die Saltina bei Brig und die Cassarate bei Pregassona führten weniger

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.

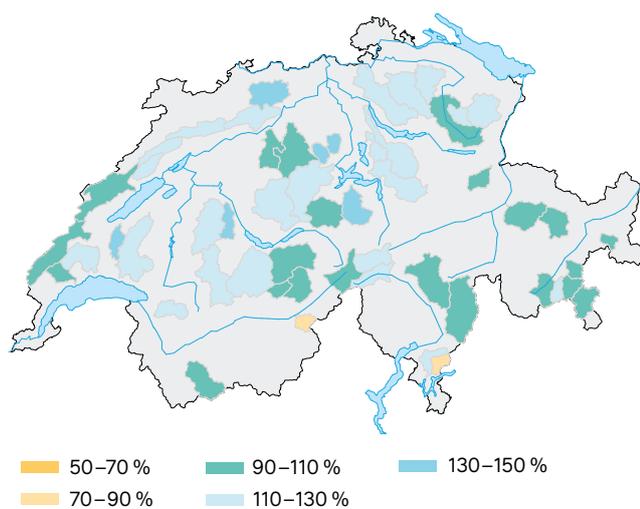


als 90 % der normalen Menge. Stark überdurchschnittlich hingegen waren die Abflussmengen von sechs Einzugsgebieten, in denen die Abflussmengen 30 und mehr Prozent über dem langjährigen Mittelwert lagen: Die Gebiete befinden sich in den zentralen und westlichen Voralpen sowie in der Region Basel. Von den restlichen 46 mittelgrossen Einzugsgebieten gehören 22 zur «normalen» Klasse mit Abflüssen zwischen 90 und 110 % der Norm und 24 Einzugsgebiete zur Klasse mit Abflüssen zwischen 110 und 130 % der Norm. Diese beiden Gruppen lassen sich räumlich nicht klar voneinander abgrenzen.

Viele grosse und mittelgrosse Einzugsgebiete der Alpennordseite weisen – verglichen mit den langjährigen Mittelwerten der Normperiode 1981–2010 – stark überdurchschnittliche Abflüsse im Februar und Juli auf (Abb. 4.3 bis 4.8). Deutlich unter der Norm blieben die Abflüsse vielerorts im März und April sowie in den Herbstmonaten. Überdurchschnittliche Winterniederschläge und der

Abb. 4.2: Abflussverhältnisse ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete

Jahresmittel 2021 ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete im Vergleich zum mittleren Abfluss der langjährigen Normperiode 1981–2010 (%).



milde Februar sorgten für erhöhte Abflüsse Anfang Jahr. Die Monate März und April waren niederschlagsarm und kalt. Die Pegel sanken ziemlich schnell wieder auf ein normales oder unterdurchschnittliches Niveau ab. Die Monate Juni und Juli waren extrem nass. Dies führte zu starken Pegelanstiegen im Sommer (vgl. Kapitel 1). Die Monate September bis November waren verbreitet niederschlagsarm. Nördlich der Alpen war der Herbst regional einer der niederschlagsärmsten seit Messbeginn 1864.

Gute Beispiele für den skizzierten Verlauf aus der Gruppe der grossen Einzugsgebiete (Abb. 4.3) sind die Flussgebiete der Aare, der Reuss und der Limmat. Das Monatsmittel im Februar war an der Reuss bei Mellingen doppelt so hoch wie die Norm; die Aare bei Brugg übertraf das langjährige Februar-Mittel um knapp 85 %. Im Juli erreichten Aare und Limmat Abflussmengen, die mehr als doppelt so hoch waren wie die langjährigen Mittelwerte und die Reuss lag fast 90 % über dem normalen Wert. Bei den mittelgrossen Gebieten, wo, wie oben erwähnt, gewisse lokale und regionale Effekte weniger ausgeglichen werden, waren die beschriebenen Verhältnisse im Februar und Juli noch akzentuierter (Abb. 4.4).

Ein paar Beispiele der monatlichen Abflussmengen im Vergleich zur langjährigen Norm:

- Emme – Emmenmatt: Februar 243 %, Juli 311 %
- Thur – Andelfingen: Februar 210 %, Juli 280 %
- Muota – Ingenbohl: Februar 243 %, Juli 192 %

Noch extremer zeigten sich die Monatswerte des Doubs bei Ocourt sowohl bei den positiven als auch bei den negativen Abweichungen: Februar 204 %, Juli 433 %, September 35 %, Oktober 23 % und Nov. 26 %.

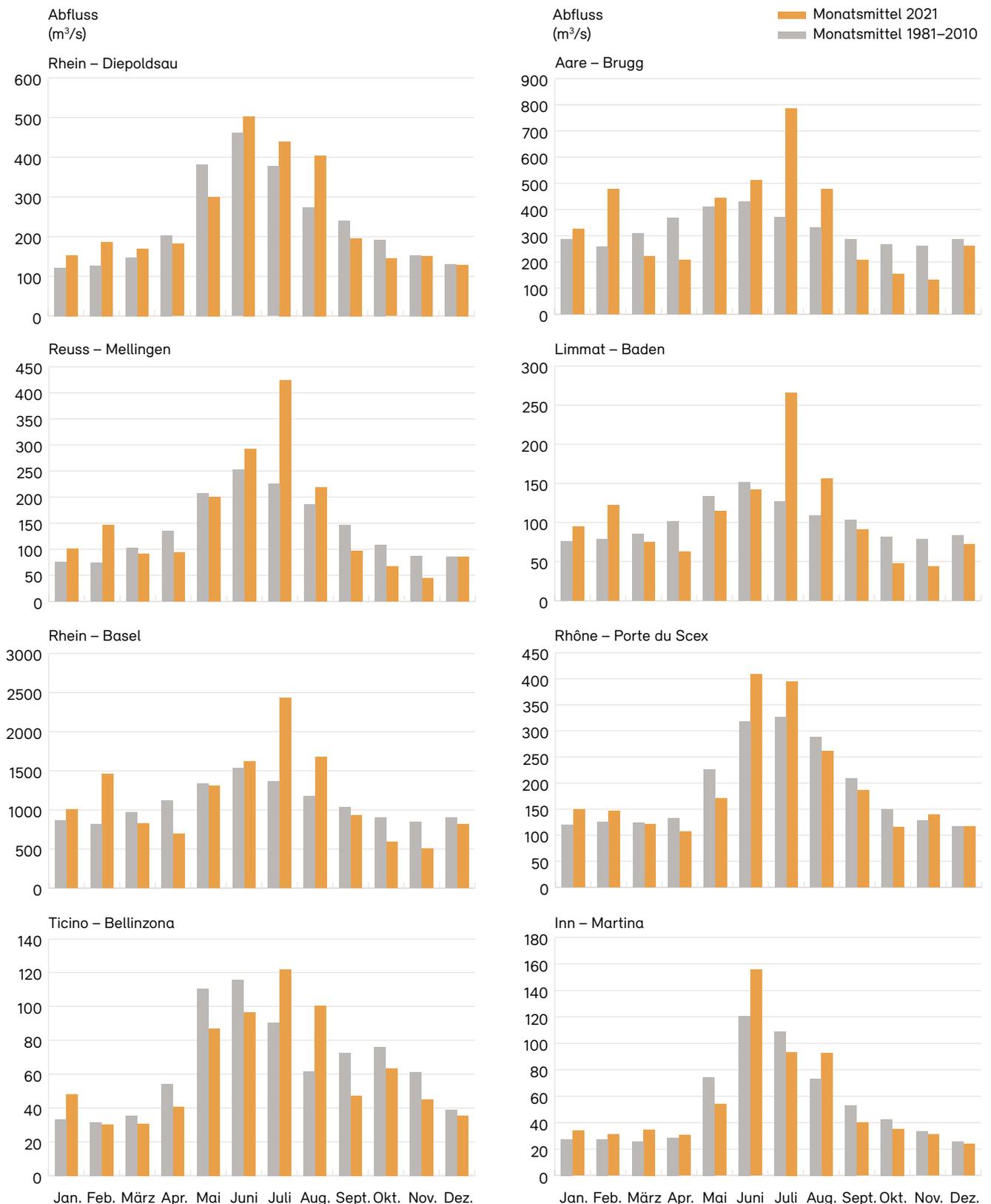
Abweichungen oder Variationen von diesen allgemeinen Aussagen können sich in sehr grossen Einzugsgebieten ergeben oder dort, wo das Abflussregime stark nival oder glazial geprägt ist. So zum Beispiel bei der Messstation Rhein – Diepoldsau in der Nordostschweiz, mit einer Einzugsgebietsfläche von 6300 km²: Der grösste Teil des Abflusses wird viel weiter im Süden gebildet. In Diepoldsau ist daher nicht der charakteristische Verlauf des Abflusses der Nordschweiz sondern eine Mischform zu sehen. In einem hoch gelegenen Einzugsgebiet, wie bei der Lütshine im Berner Oberland, machte sich der milde Februar auch bemerkbar und die relative Abweichung von der Norm ist ziemlich gross. Das absolute Niveau ist im Vergleich mit den Sommermonaten aber tief und fällt deshalb weniger stark auf.

Im Ticino bei Bellinzona lagen aufgrund der hohen sommerlichen Niederschlagssummen die Monatswerte von Juni und Juli deutlich über den langjährigen Mittelwerten. Zusammen mit dem Januar waren das die einzigen Monate mit überdurchschnittlichen Abflüssen. Im September wurden an der Messstation in Bellinzona weniger als zwei Drittel des normalen Abflusses registriert. Extreme Werte von über- resp. unterdurchschnittlichen Monatswerten lieferte die Maggia – Locarno, im Juli mit knapp 300 % und im September mit nur 25 % der Norm.

Neue Monatsminima gab es im Jahr 2021 nur ganz vereinzelt und es kann kein generelles Bild gezeichnet werden. Neue Monatsmaxima wurden an je einem halben Dutzend Stationen im Januar und Juni im zentralen Mittelland und in der Nordwestschweiz gemessen. Die grosse Konzentration neuer Höchstwerte gab es im Juli: Auf der Alpennordseite, verteilt über das gesamte Mittelland, wurden an rund 30 Messstellen neue Juli-Rekorde registriert (vgl. Kapitel 1).

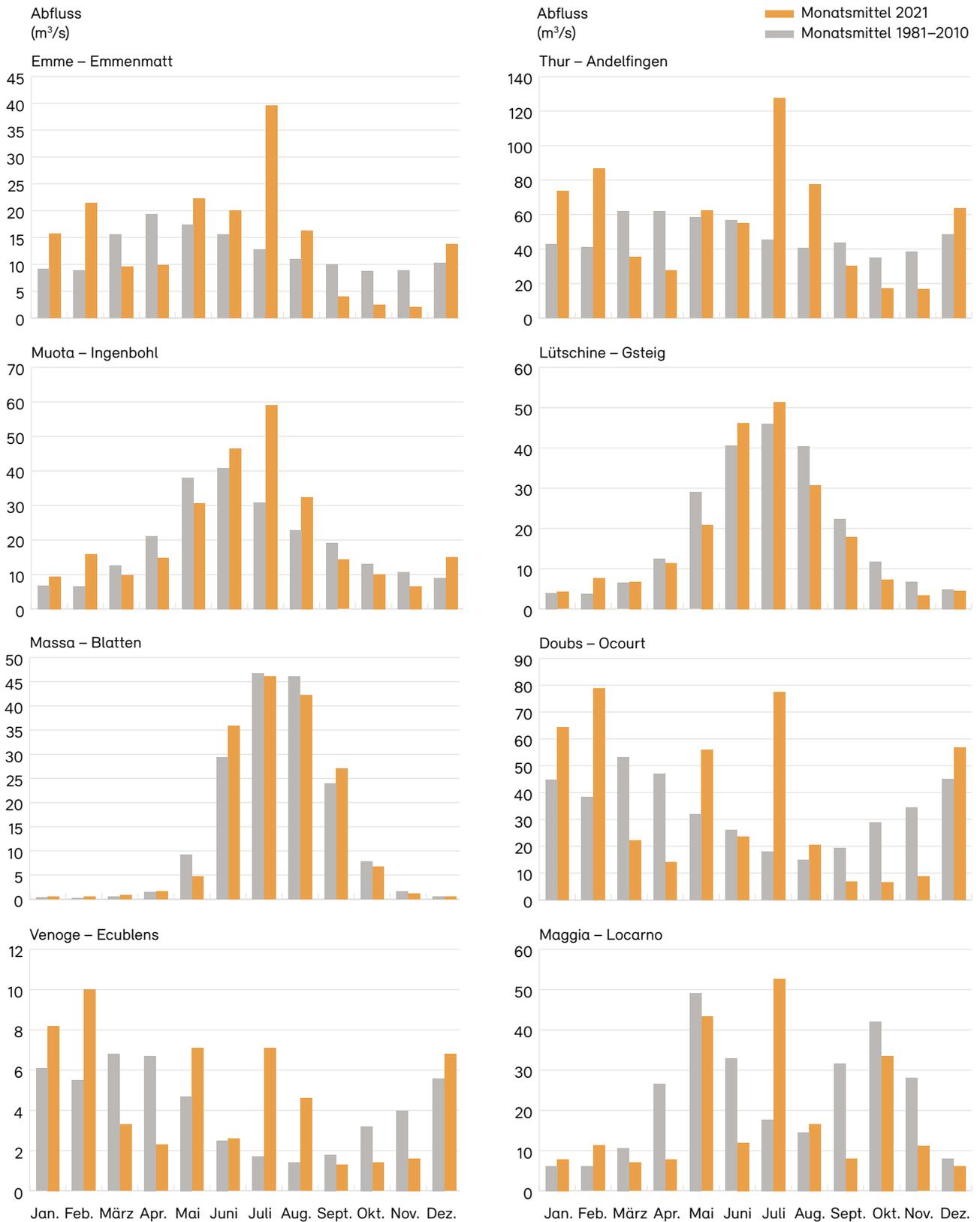
Monatsmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete

Abb. 4.3: Monatsmittel 2021 der Abflussmengen (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau)



Monatsmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete

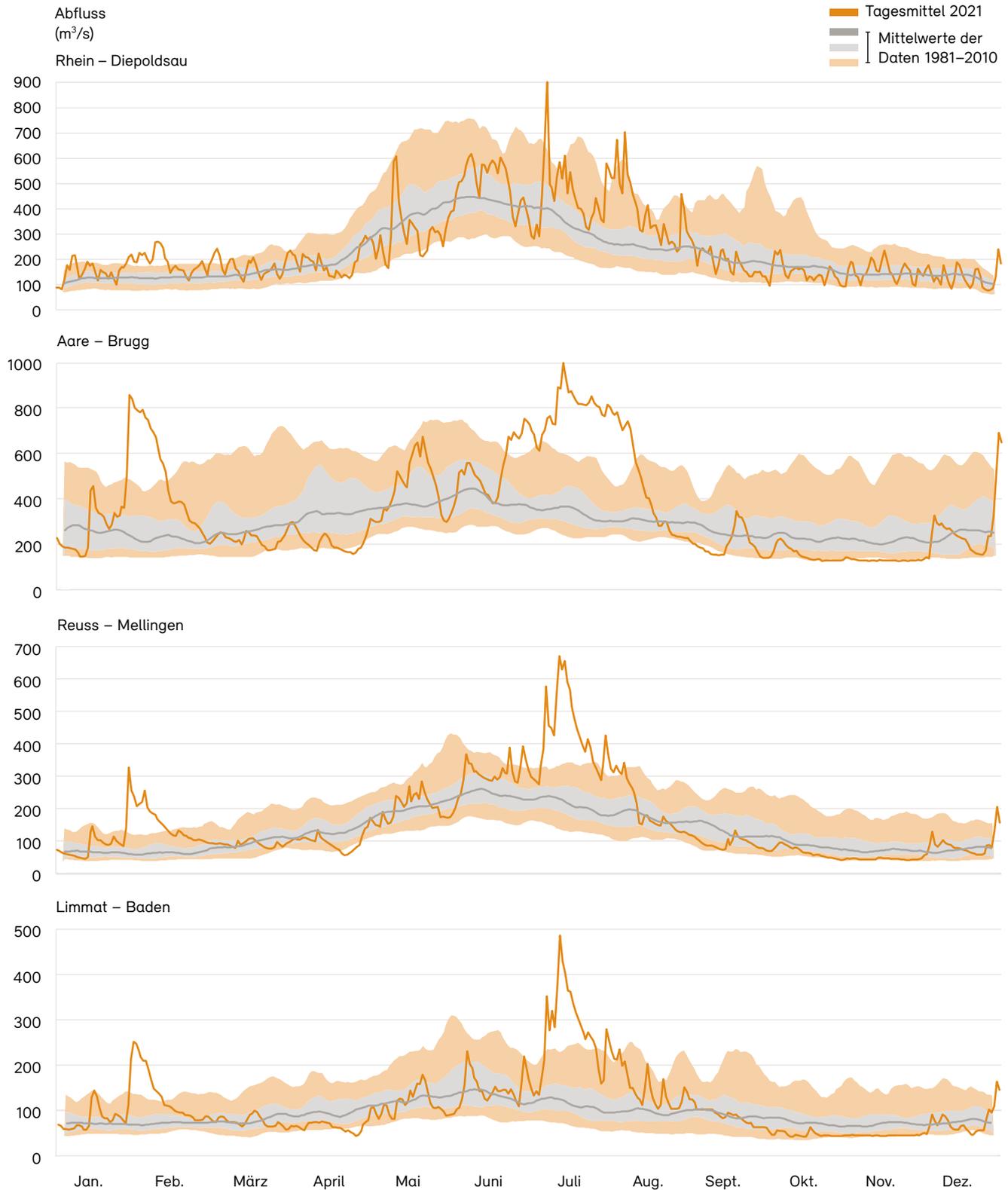
Abb. 4.4: Monatsmittel 2021 der Abflussmengen (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau)



Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete (1/2)

Abb. 4.5: Tagesmittel 2021 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010

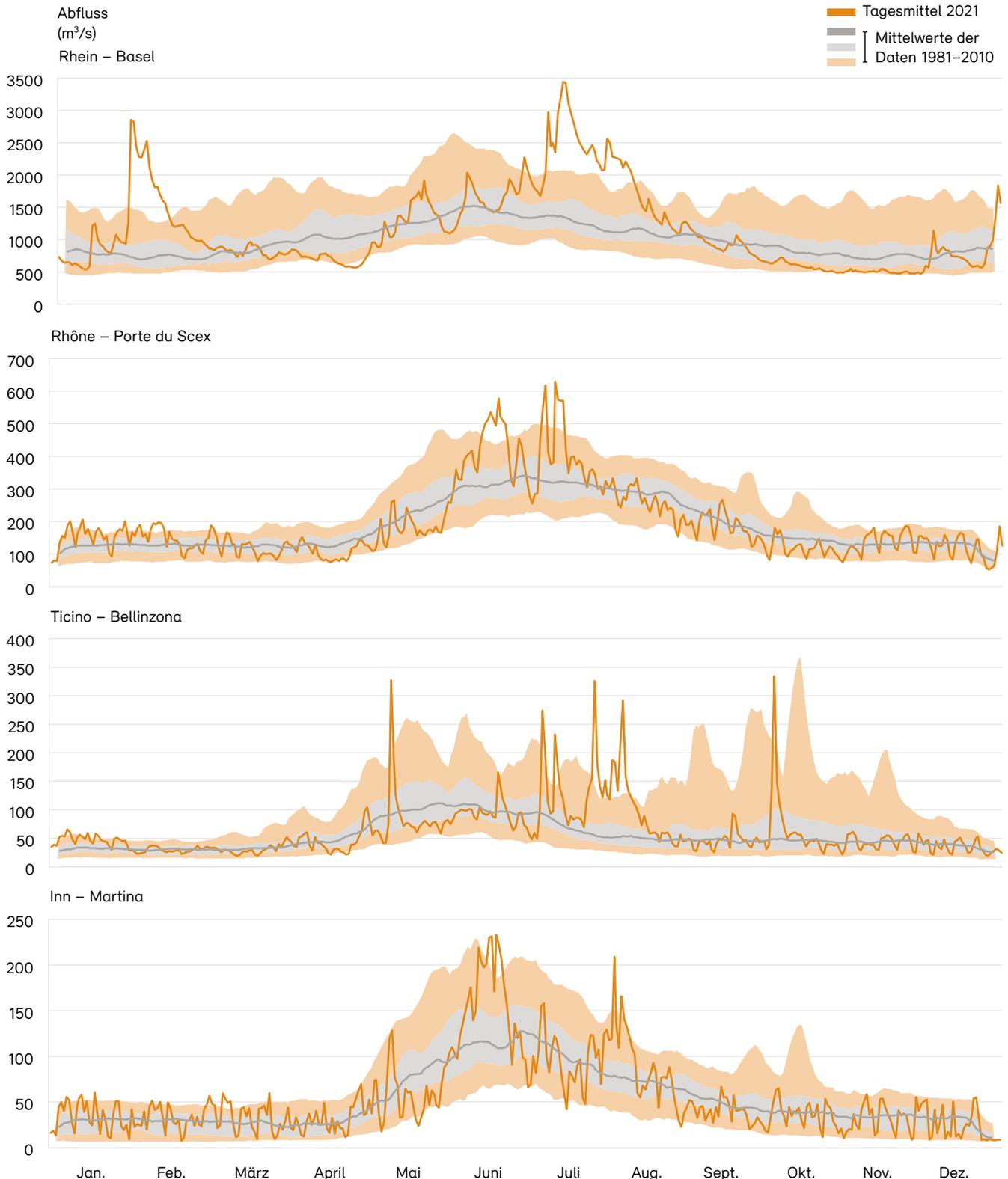
Innerhalb der untersten und der obersten orangen Begrenzung liegen 90 % der Tagesmittel. Innerhalb der grauen Fläche liegen 50 % der Tagesmittel.



Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete (2/2)

Abb. 4.6: Tagesmittel 2021 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010

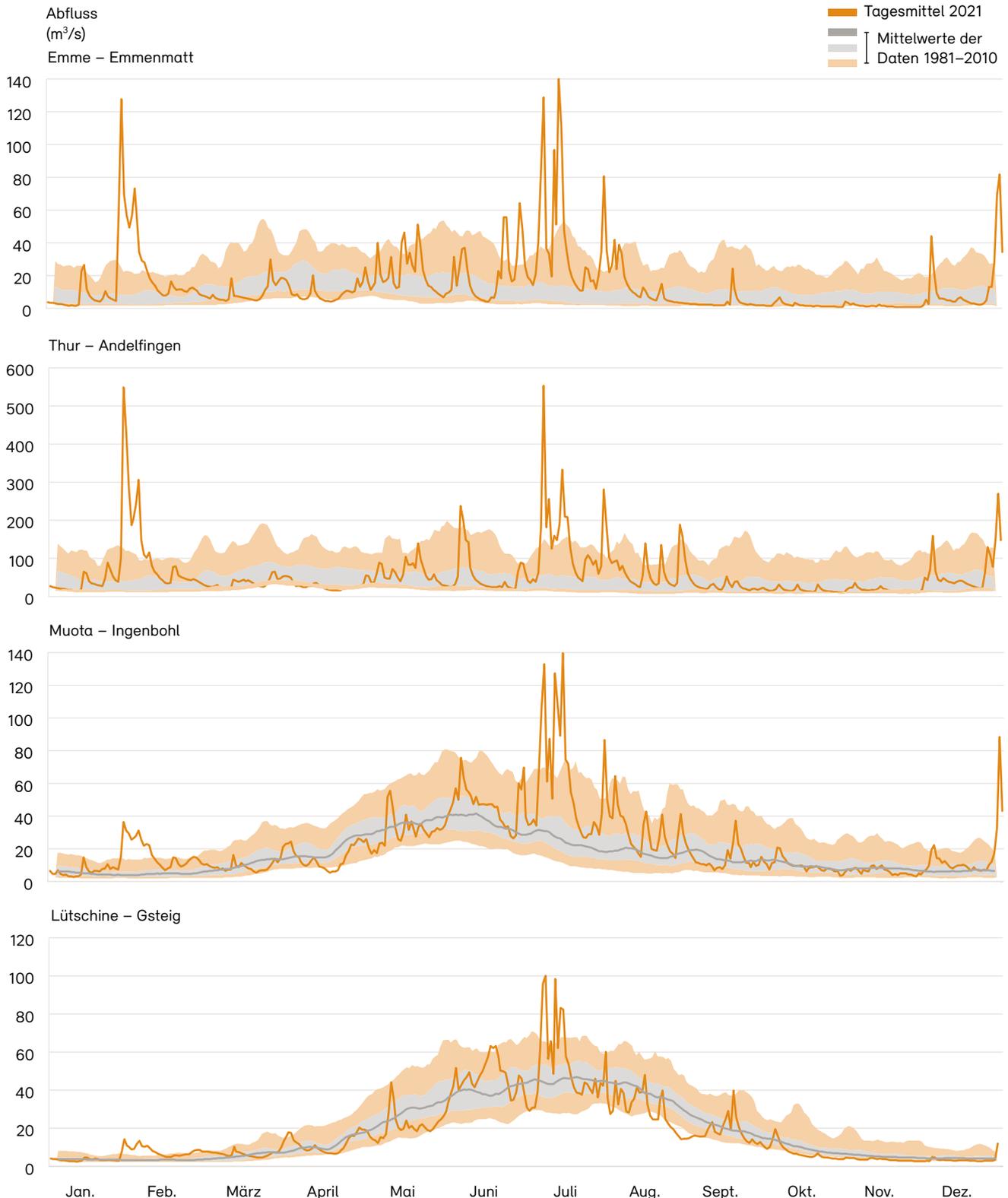
Innerhalb der untersten und der obersten orangen Begrenzung liegen 90 % der Tagesmittel. Innerhalb der grauen Fläche liegen 50 % der Tagesmittel.



Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete (1/2)

Abb. 4.7: Tagesmittel 2021 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010

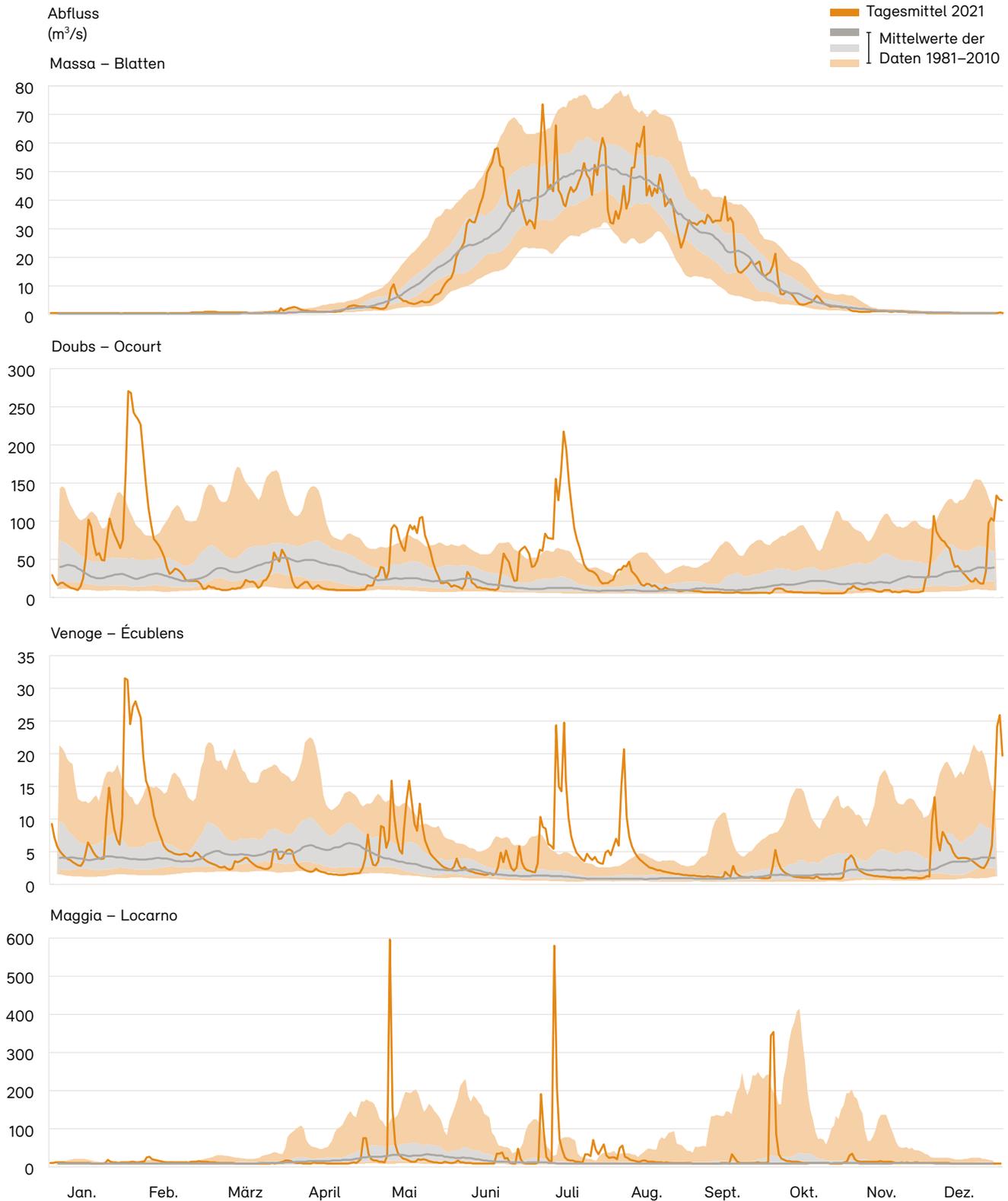
Innerhalb der untersten und der obersten orangen Begrenzung liegen 90 % der Tagesmittel. Innerhalb der grauen Fläche liegen 50 % der Tagesmittel.



Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete (2 / 2)

Abb. 4.8: Tagesmittel 2021 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010

Innerhalb der untersten und der obersten orangen Begrenzung liegen 90 % der Tagesmittel. Innerhalb der grauen Fläche liegen 50 % der Tagesmittel.



4.2 Seestände

Bei einem halben Dutzend der grossen Seen der Schweiz liegen die Jahresmittelwerte des Wasserstands fünf oder mehr Zentimeter über dem jeweiligen langjährigen Mittelwert. Die grösste positive Abweichung von der Norm verzeichnet der Bodensee mit 26 cm im Obersee und 10 cm im Untersee. Zu den Seen mit überdurchschnittlichem Wasserstand gehören ausserdem die drei Jurarandseen sowie der Zugersee. Unterdurchschnittliche Mittelwerte von mehr als -4 cm weisen der Lago Maggiore und der Lago di Lugano sowie der Walensee auf. Am Genfersee, an Thunersee und Brienersee, am Vierwaldstättersee sowie am Zürichsee wurden Jahresmittelwerte gemessen, die nahe bei der Norm liegen.

Bei der Betrachtung der Monats- und Tagesmittelwerte ergibt sich auf der Alpennordseite folgendes Bild: Für die Jahreszeit hohe Seestände gab es im Februar und im Juli, rasche Pegelanstiege wurden zum Jahresende beobachtet. In den anderen Monaten verhielten sich die Wasserstände dem Regime entsprechend. Diesen Verlauf zeigen sehr schön die Ganglinien des Bodensees und des Neuenburgersees (Abb. 4.9 und Abb. 4.10). Bei der Dynamik gibt es jedoch Unterschiede: Am regulierten Neuenburgersee weisen die Ganglinien während der Hochwasserphasen sowohl einen steilen Anstieg als auch einen raschen Rückgang auf. Die Hochwasserereignisse sind vergleichsweise kurz. Am nicht regulierten Bodensee verlaufen die Rückgänge langsamer; die Hochwasser dauerten dementsprechend länger. Weil sich die Ereignisse am Bodensee länger hinstreckten, liegen nicht nur die Februar- und Juli-Monatsmittel weit über der Norm, sondern sind auch die Werte für März sowie August und September verhältnismässig hoch. Der Genfersee hat ebenfalls erhöhte Februar- und Juli-Monatsmittel. Zudem sind hier überdurchschnittliche Werte im Mai und Juni aufgetreten.

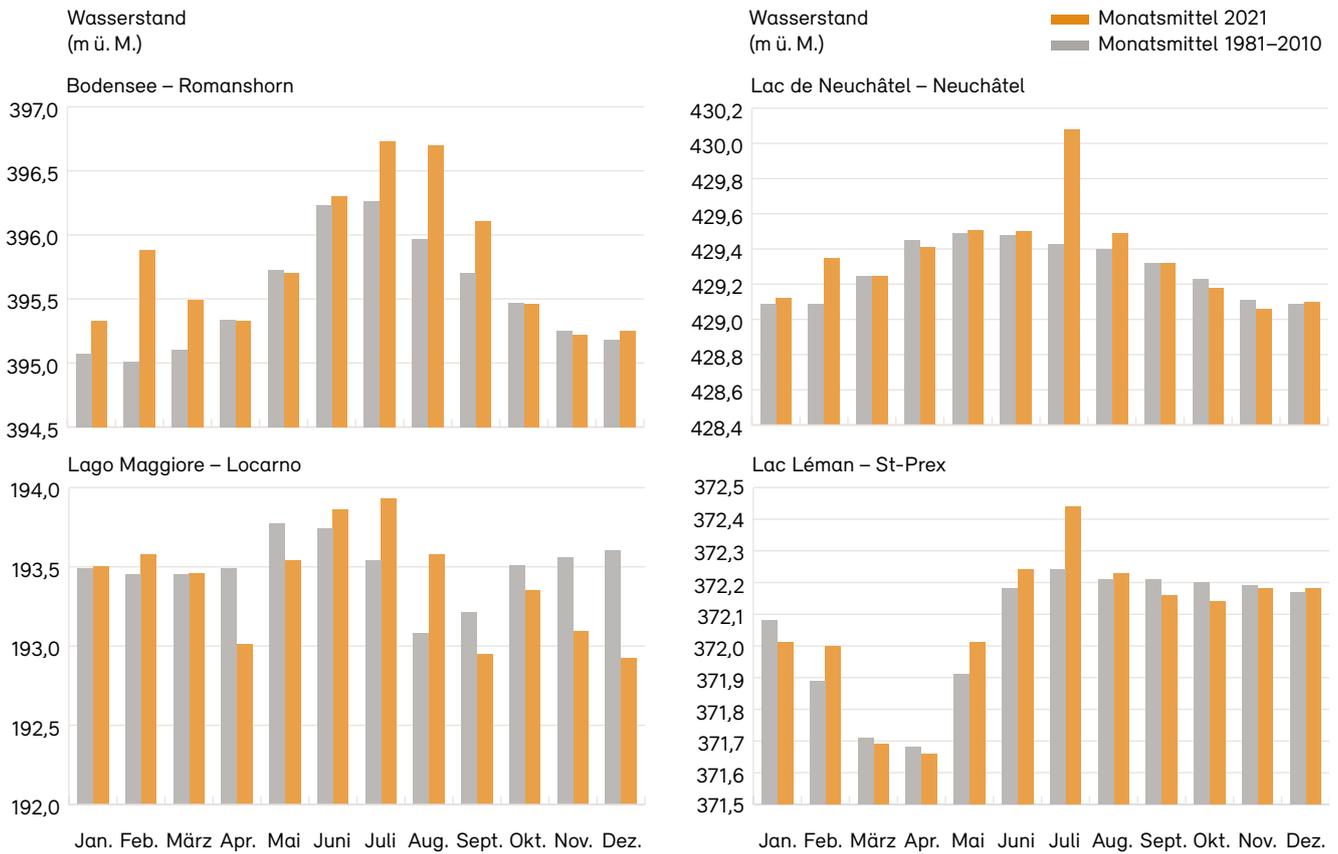
Für die verbreiteten hohen Pegelstände im Februar waren die überdurchschnittlichen Winterniederschläge und der milde Februar verantwortlich. Dank den niederschlagsarmen und kalten Monaten März und April sanken die Pegel ziemlich schnell wieder auf ein normales Niveau ab. Die extrem nassen Monate Juni und Juli sorgten für die starken Pegelanstiege im Sommer (vgl. Kapitel 1).

Die Seepegelverläufe auf der Alpensüdseite zeigen eine recht grosse Dynamik, mit Werten weit unter dem normalen Bereich Ende April sowie Ende Jahr und den kurzen sommerlichen Höchstständen. Die Differenz von grösstem Tagesmittel (Mitte Juli) und kleinstem Tagesmittel (Ende April) beträgt am Lago Maggiore 1,81 m. Die Gefahrenstufe 2 wurde beim Höchststand jedoch nicht erreicht. Am Lago di Lugano war die Dynamik ähnlich gross: Die Bewegungen des Wasserstands spielten sich allerdings in einem kleineren Bereich ab. Die Differenz zwischen dem Höchststand von Anfang August und dem Tiefstand von Mitte April betrug 1,06 m. Die Gefahrenstufe 3 wurde Anfang August für zwei Tage erreicht.

Nur die Abweichungen von der Norm zu vergleichen, ist nicht immer sinnvoll. Denn die Spannweite, in dem sich das Regime eines Sees bewegt und die Auswirkungen von erhöhten Pegeln können ganz unterschiedlich gross sein. Das Regime am Neuenburgersee beispielsweise bewegt sich über einen längeren Zeitraum betrachtet in einem engeren Bereich als am Bodensee. Dies bedeutet, dass der Neuenburgersee empfindlicher ist gegenüber Abweichungen vom Mittelwert. Diese «Empfindlichkeit» widerspiegelt sich in der Anzahl Tage der Überschreitung der Gefahrenstufen: Die Höchststände während des Hochwassers im Juli lagen an beiden Seen rund 1,4 Meter über dem mittleren Wasserstand. Am Neuenburgersee wurde die Gefahrenstufe 4 (zweithöchste Stufe, grosse Hochwassergefahr) an acht Tagen erreicht, der Bodensee ging nicht über die Gefahrenstufe 3 hinaus. Ein anderes Beispiel ist der Vergleich der beiden grossen Berner Oberländer Seen: Die Differenz zwischen grösstem und kleinstem Tageswert des Jahres ist beim Brienersee einen knappen halben Meter grösser als beim Thunersee. Der Pegel des Thunersees lag an drei Tagen im Bereich der höchsten Gefahrenstufe 5, derjenige des Brienersees nur vier Tage in der Gefahrenstufe 3. Ausser dem Thunersee haben von den grossen Seen nur der Bielersee und der Vierwaldstättersee ebenfalls die höchste Gefahrenstufe erreicht. Neben dem Neuenburgersee lag auch der Zürichsee mehrere Tage in der Gefahrenstufe 4.

Monatsmittel der Wasserstände ausgewählter Seen

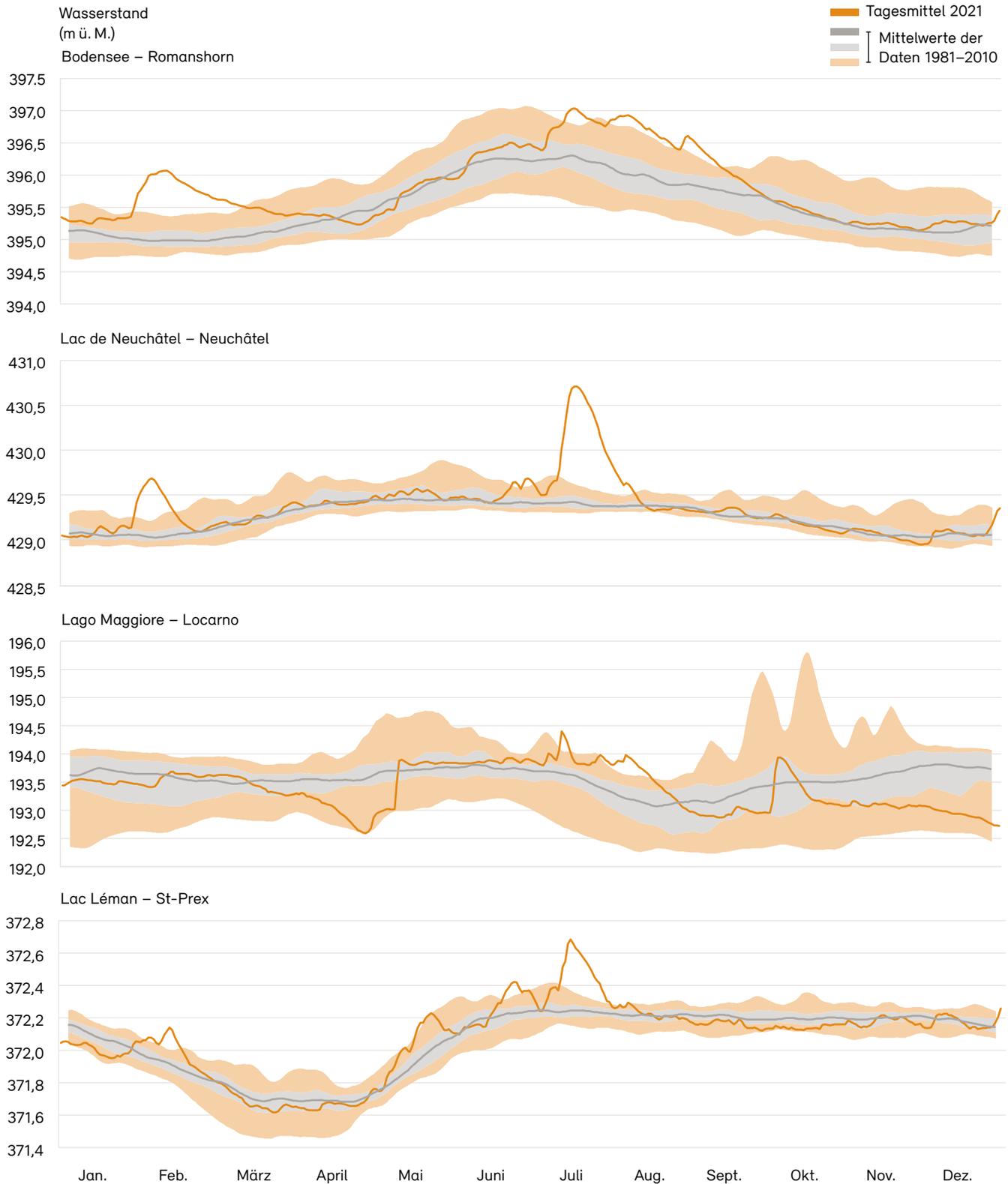
Abb. 4.9: Monatsmittel 2021 der Wasserstände (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau)



Tägliche Wasserstände ausgewählter Seen

Abb. 4.10: Tagesmittel 2021 der Wasserstände (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010

Innerhalb der untersten und der obersten orangen Begrenzung liegen 90 % der Tagesmittel. Innerhalb der grauen Fläche liegen 50 % der Tagesmittel.



4.3 Wassertemperaturen

Das Jahr 2021 war durch ausgiebige Niederschläge geprägt. Es gab weder Zeiten mit signifikant hohen Lufttemperaturen noch lang andauernde Trockenperioden. Dies wirkte sich günstig auf die Jahreswerte der Wassertemperatur bei den Fliessgewässern aus. Überschreitungen der langjährigen Jahresmaximalwerte wurden nicht beobachtet. Zugleich gab es aber auch keine nennenswerten Unterschreitungen der Jahresminimalwerte bei den Messstationen des Bundes.

Der eher milde Winter und vor allem die deutlich erhöhten Lufttemperaturen gegen Ende des Februars und Anfang des März führten zu vereinzelt Überschreitungen der bisherigen Monatsmaxima. Zu beobachten waren diese Überschreitungen vorwiegend bei den Stationen an südlich gelegenen Fliessgewässern.

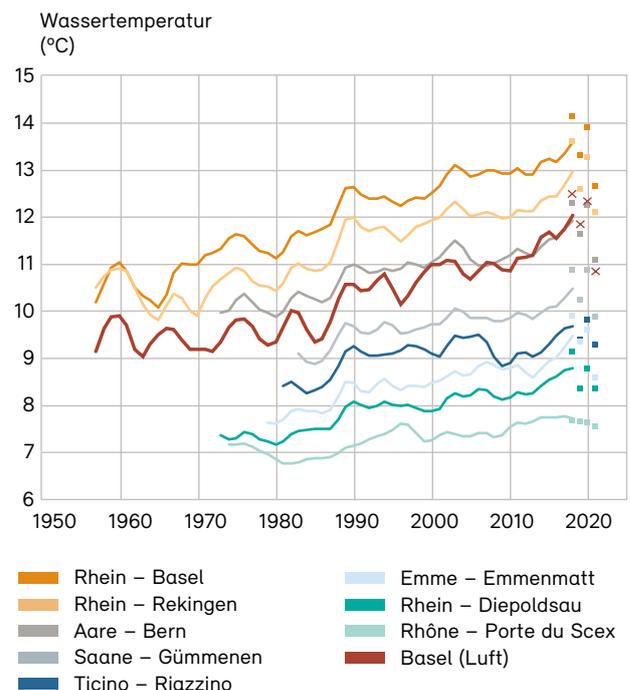
Aufgrund des eher kühleren Frühlings lagen die Tiefstwerte der Wassertemperaturen an einzelnen Stationen in den Alpen unter den langjährigen Monatsminima.

Der nasse Sommer mit nur lokal vereinzelt Hitzetagen führte dazu, dass es keine nennenswerten Überschreitungen der bisherigen monatlichen Höchstwerte der Wassertemperaturen gab. Die Tiefstwerte der Wassertemperaturen lagen jedoch auch nur vereinzelt unterhalb der bisherigen Minima für die Sommermonate.

Obwohl der Herbst, vor allem im September und Oktober, viel Sonnenschein zeigte, lagen die Monatswerte im Bereich der vorhergehenden Jahre. Es gab nur im September sehr wenige Überschreitungen und im November sehr wenige Unterschreitungen der bisherigen Monatsmaxima, bzw. -minima. Trotz des milden Jahresendes lagen die Wassertemperaturen auch im Dezember im Bereich der für die Jahreszeit üblichen Werte.

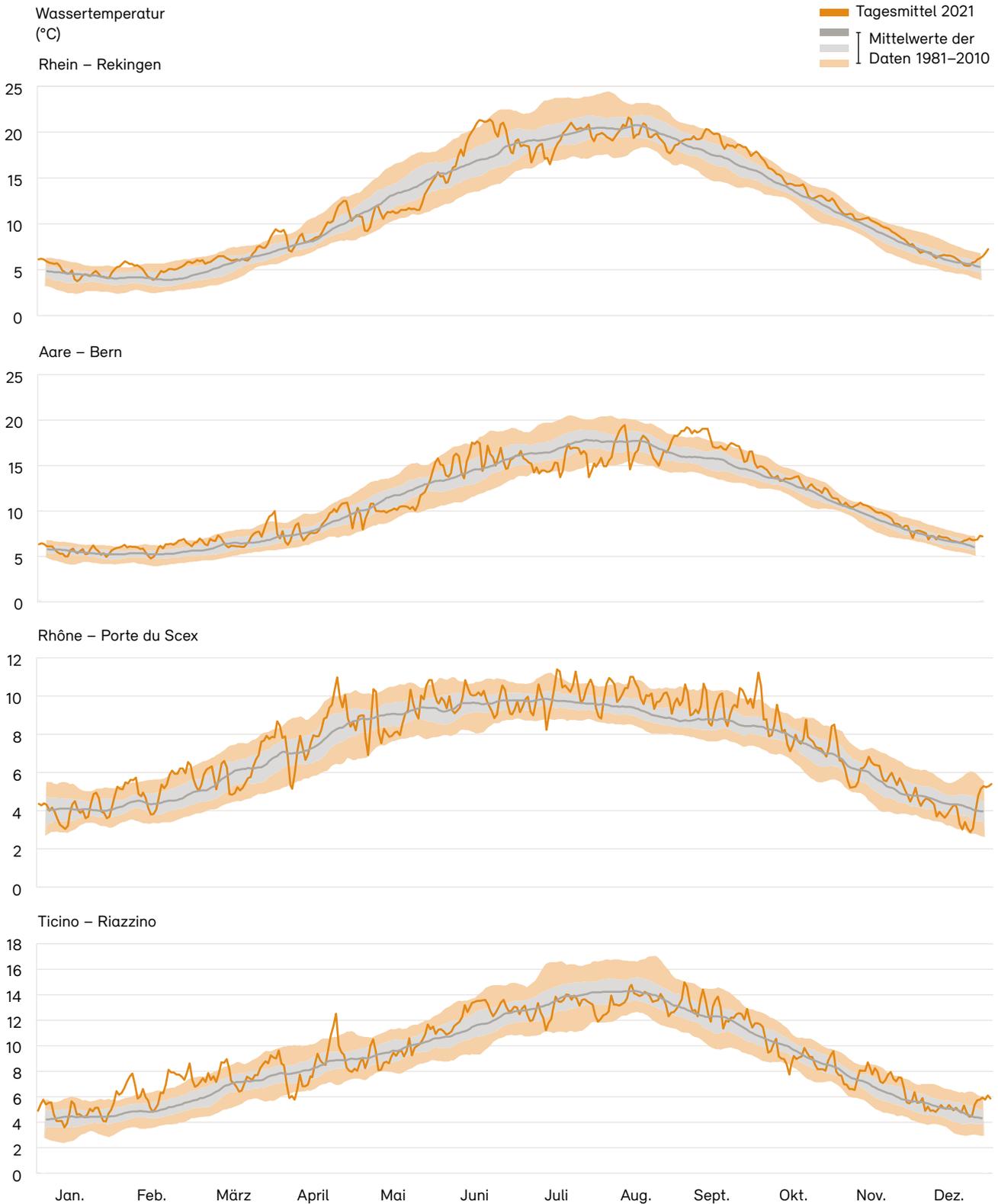
Abb. 4.11: Entwicklung der Wassertemperaturen von 1954 bis 2021 in ausgewählten Flüssen der Schweiz

Dargestellt sind gleitende Mittel (über 7 Jahre) als Linien und die letzten 4 Jahresmittel als Punkte bzw. Kreuze (Luft).



Mittlere Tagestemperatur ausgewählter Stationen

Abb. 4.12: Tagesmittel 2021 der Wassertemperatur (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010
 Innerhalb der untersten und der obersten orangen Begrenzung liegen 90 % der Tagesmittel. Innerhalb der grauen Fläche liegen 50 % der Tagesmittel.



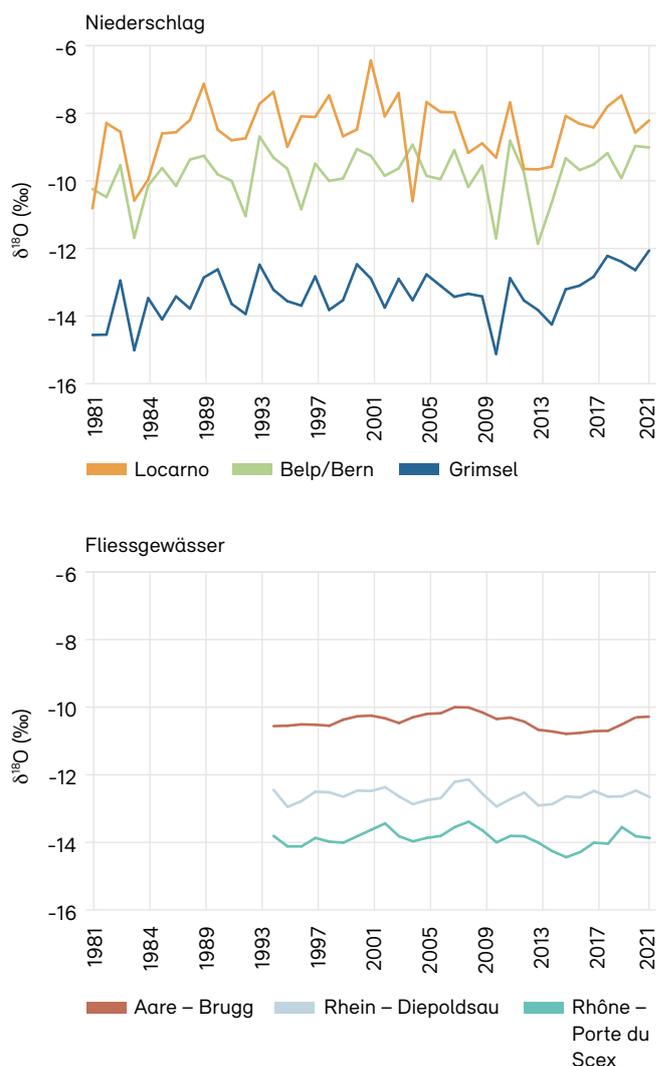
4.4 Stabile Wasserisotope

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 Herkunft, Verweilzeit und die Mischungsverhältnisse von einzelnen Wasserkomponenten nachzuvollziehen oder die mittlere Höhe des Einzugsgebietes von Wasservorkommen abzuschätzen. Sie leisten daher sowohl bei praktischen hydrogeologischen Fragestellungen als auch in Forschungsprojekten einen Beitrag für ein verbessertes Prozessverständnis. Isotopenhydrologische Informationen stellen vor allem für die Untersuchung von Wasservorkommen in alpinen Einzugsgebieten einen Mehrwert dar, da hiermit oft weiterführende Aussagen insbesondere über die Verweilzeit «junger» Wasserkomponenten oder über gebietsübergreifende Wasserflüsse erfolgen können. Die Abhängigkeit der Zusammensetzung stabiler Wasserisotope von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte in den Herkunftsgebieten der Niederschläge wird in meteorologischen Studien und bei der Untersuchung klimabedingter Veränderungen im Wasserkreislauf eingesetzt. Im Rahmen des Moduls ISOT (Wasserisotope) der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA wird die langjährige regionale Entwicklung von Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O) landesweit an 13 Niederschlagsmessstellen und 9 Messstellen an Fließgewässern beobachtet. Dadurch stehen langfristig Referenzdatenreihen für ein vertieftes Verständnis der komplexen Auswirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf sowie für hydro(geo)logische und meteorologische Studien zur Verfügung.

Regelmässige jahreszeitliche Schwankungen prägen den Jahresgang der Isotopenwerte im Niederschlag. Diese werden durch längerfristige Entwicklungen globaler klimatischer Veränderungen überlagert. Entsprechend dem allgemeinen Temperaturtrend stiegen die $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Niederschlag ab Beginn der 1980er Jahre bis Anfang dieses Jahrhunderts an allen Niederschlagsmessstellen an. Zwischen 2005 und 2015 waren vorübergehend eher stagnierende bis sinkende $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Niederschlag zu verzeichnen; seitdem stiegen sie erneut an. Die δ -Werte der Starkniederschläge

Abb. 4.13: Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA (Modul ISOT)

Entwicklung der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in Niederschlag und Fließgewässern an ausgewählten Messstellen von 1981 bis 2021.



vom Januar bzw. Juli 2021 lagen im langjährigen Durchschnitt für diese Monate.

In Fließgewässern ist der jahreszeitliche Verlauf der $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte ebenfalls erkennbar. Er ist allerdings durch regionale Mischeffekte im Abfluss stark gedämpft (z.B. in Aare, Rhein und Rhone). Auch hier war zwischen 2008 und 2015 vorübergehend ein Unterbruch im generell ansteigenden Trend der Isotopenwerte ersichtlich. Im Jahr 2021 war der generell ansteigende Trend der δ -Werte erneut unterbrochen (Abb. 4.13).

4.5 Wasserqualität/physikalische und chemische Eigenschaften

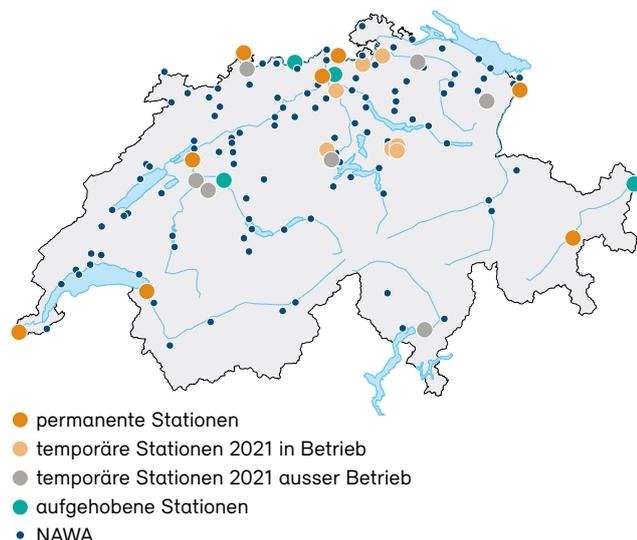
Mit der Nationalen Beobachtung der Oberflächengewässerqualität (NAWA) schafft das BAFU in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen des Bundes und mit den Kantonen die Grundlagen, um den Zustand und die Entwicklung der Schweizer Gewässer auf nationaler Ebene zu dokumentieren und zu beurteilen. Die nationale Daueruntersuchung der Stofffrachten in schweizerischen Fliessgewässern (NADUF) wurde 2014 als Teilprogramm in NAWA integriert (Abb. 4.14).

Ein wirksamer Schutz der Gewässer setzt eine ausreichende Kenntnis des Zustandes der Gewässer voraus, um Entwicklungen zu erkennen und falls nötig Massnahmen vorzuschlagen. Verschmutzungen und Gewässerschutzprobleme machen an den politischen Grenzen nicht halt. Die Beobachtung der Oberflächengewässer muss sich daher an den Einzugsgebieten der Gewässer orientieren.

Deshalb erfolgen die Erhebungen von NAWA in enger Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen. Neben NADUF umfassen die Beobachtungen ein Basismessnetz zur langfristigen Dauerbeobachtung (TREND) sowie problembezogene Spezialbeobachtungen (SPEZ).

Abb. 4.14: Aktive NAWA- und NADUF-Messstellen

Messstellen der Nationalen Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) zur Beobachtung der Wasserqualität in der Schweiz. Stand 2021.



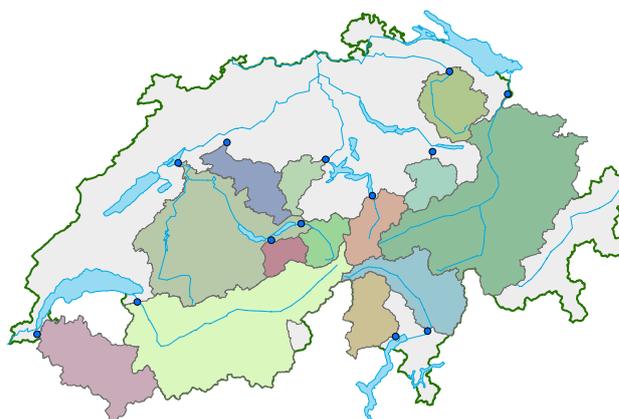
Die Auswertungen der Wasserqualität erfolgen in Hinblick auf die Entwicklung über mehrere Jahre. Die Resultate der Messungen werden daher nicht jedes Jahr im hydrologischen Jahrbuch publiziert. Weiterführende Informationen und Daten sind im Internet verfügbar (siehe Anhang).

4.6 Schwebstofffrachten

Das BAFU misst zweimal wöchentlich an 13 hydrometrischen Stationen die Konzentration von Schwebstoffen, die durch Flüsse transportiert werden (Abb. 4.15). Die Stichproben werden mit den kontinuierlich gemessenen Trübungsdaten korreliert und mit Abflussdaten zu Monats- und Jahresfrachten hochgerechnet. Zusammen mit hydrologischen und ökologischen Beobachtungen ermöglichen diese Daten eine Optimierung der Bewirtschaftung und des Schutzes der Gewässer.

Die Schwebstoffkonzentrationen in den Gewässern sind, nebst anderen Faktoren, stark abhängig von den Turbulenzen und der Wassermenge. Deutlich erkennt man dies daran, wie die Schwebstofffrachten in den Wintermonaten mit Niedrigwasser in den meisten Gewässern nur einen geringen Teil zu den Jahresfrachten beitragen. Demgegenüber können Gewitterereignisse schon eine Tagesfracht erzielen, die einen grossen Anteil der Jahresfracht ausmacht. Mehr Informationen sind im Internet zu finden (siehe Anhang).

Abb. 4.15: Messstellen des Schwebstoffmessnetzes des BAFU



5 Grundwasser

Im langjährigen Vergleich lagen die Grundwasserstände und Quellabflüsse im Jahr 2021 an rund jeder dritten Messstelle hoch. Im Zuge der hohen Niederschlagsmengen von Anfang Jahr und vor allem der Starkniederschläge vom Juli waren vorübergehend hohe Grundwasserverhältnisse an rund zwei Dritteln der Messstellen zu verzeichnen. Rund jede dritte Messstelle wies im Jahr 2021 hohe Grundwassertemperaturen auf.

5.1 Grundwasser-Quantität

Die kontinuierliche Beobachtung von Grundwasserstand bzw. Quellabfluss an etwa 100 Messstellen im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA ermöglicht es, den aktuellen Zustand und die Entwicklung der Grundwassermenge auf Landesebene im Vergleich zu langjährigen Datenreihen abzubilden. Hiermit können auch mögliche langfristige Auswirkungen auf die Grundwasserressourcen infolge der Klimaänderung – etwa durch

die prognostizierte Zunahme von Extremereignissen wie Hochwasser und Trockenheit – aufgezeigt werden.

Entsprechend dem mehrjährigen Witterungsverlauf (Temperatur und Niederschläge) lassen sich im Grundwasser der Schweiz häufig längere Perioden mit eher niedrigem bzw. eher hohem mengenmässigen Zustand der Grundwasserverhältnisse erkennen. In dieser Hinsicht liegt das Jahr 2021 in einer Periode mit im langjährigen Vergleich hohen Grundwasserständen und Quellabflüssen (Abb. 5.1).

Zum Jahresbeginn 2021 waren verbreitet normale Grundwasserstände und Quellabflüsse zu beobachten. Die überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen vom Januar hatten Anfang Februar an rund zwei Dritteln der Messstellen hohe Grundwasserstände und Quellabflüsse zur Folge (Abb. 5.2 und Abb. 5.3, Grundwassersituation am 8. Februar 2021).

Geringe Niederschlagsmengen im März bis Mai führten Anfang Juni zu normalen, teilweise tiefen Grundwasser-

Abb. 5.1: Grundwasserstände und Quellabflüsse 2001 bis 2021
Anzahl Messstellen des NAQUA-Moduls QUANT mit tiefen, normalen und hohen Jahreswerten für Grundwasserstand bzw. Quellabfluss von 2001 bis 2021. Grau: Jahreswert liegt im Bereich der mittleren 80 % der Werte. Blau: Jahreswert liegt im Bereich der höchsten 10 % der Werte. Orange: Jahreswert liegt im Bereich der tiefsten 10 % der Werte.

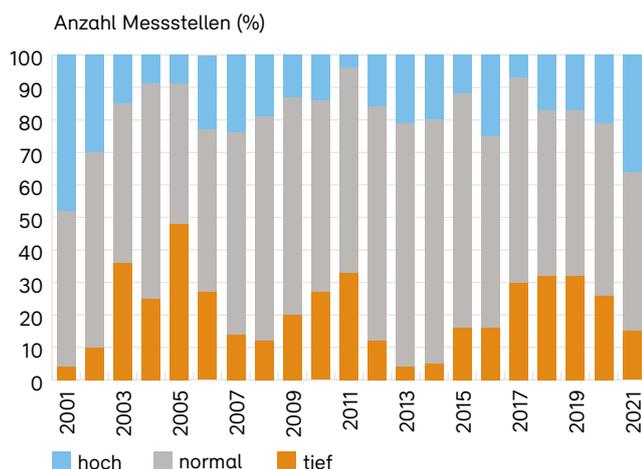
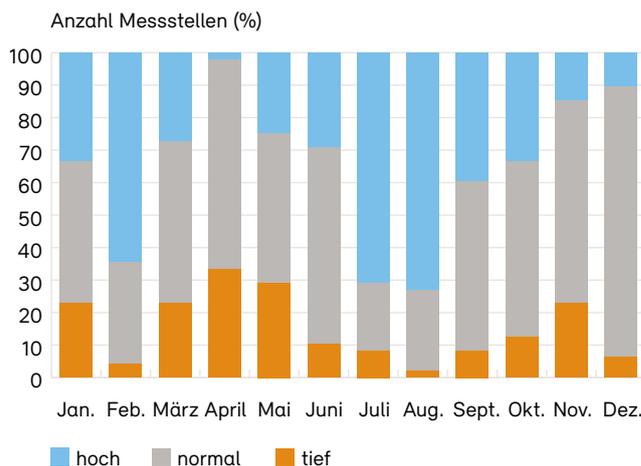


Abb. 5.2: Grundwasserstände und Quellabflüsse 2021
Anzahl Messstellen des NAQUA-Moduls QUANT mit tiefen, normalen und hohen Monatswerten für Grundwasserstand bzw. Quellabfluss von Januar bis Dezember 2021. Grau: Monatswert liegt im Bereich der mittleren 80 % der Werte für diesen Monat zwischen 2001 und 2020. Blau: Monatswert liegt im Bereich der höchsten 10 % der Werte für diesen Monat zwischen 2001 und 2020. Orange: Monatswert liegt im Bereich der tiefsten 10 % der Werte für diesen Monat zwischen 2001 und 2020.



ständen und Quellabflüssen (Abb. 5.3, Grundwassersituation am 7. Juni 2021).

Die Niederschläge vom Juni und insbesondere die anhaltenden Starkniederschläge vom Juli liessen die Grundwasserstände entlang der Flüsse sowie die Quellabflüsse ansteigen. So waren Anfang August an rund zwei Dritteln aller Messstellen hohe Grundwasserstände und Quellabflüsse zu beobachten (Abb. 5.3, Grundwassersituation am 2. August 2021).

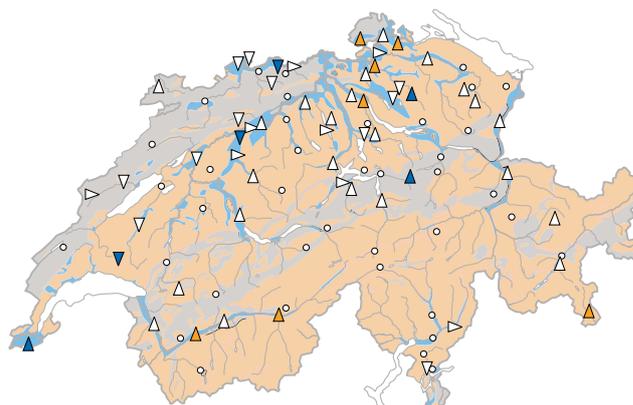
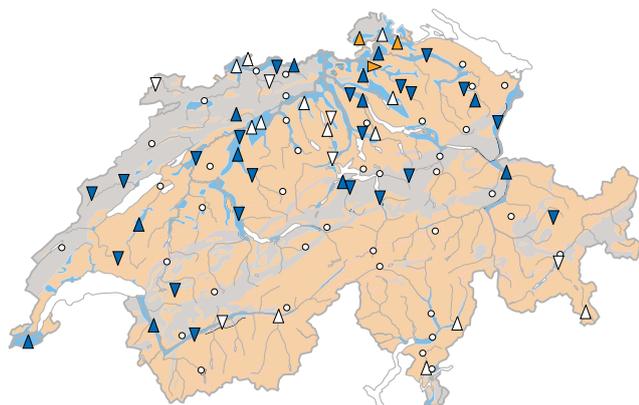
Im Zuge der geringen Niederschlagsmengen vom Spätsommer und Herbst sanken die noch Anfang August verbreitet hohen Grundwasserstände und Quellabflüsse stetig. So waren Anfang November in Lockergesteins-Grundwasservorkommen der Voralpen erste tiefe Grundwasserstände und Quellabflüsse zu verzeichnen (Abb. 5.2 und Abb. 5.3, Grundwassersituation am 8. November 2021).

Abb. 5.3: Quantitative Grundwasserverhältnisse 2021

Grundwasserstände und Quellabflüsse sowie deren Tendenz an vier Stichtagen des Jahres 2021 im Vergleich zur Messperiode 2001–2020.

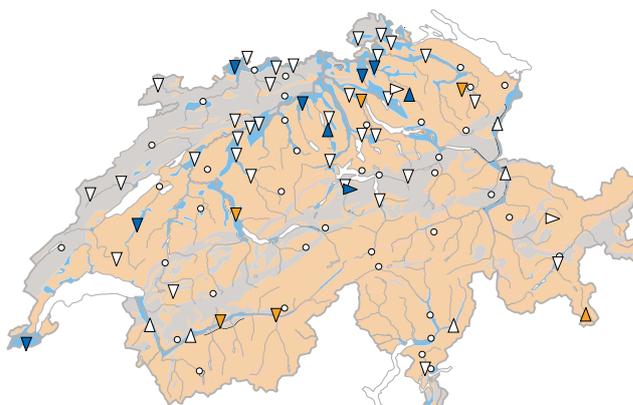
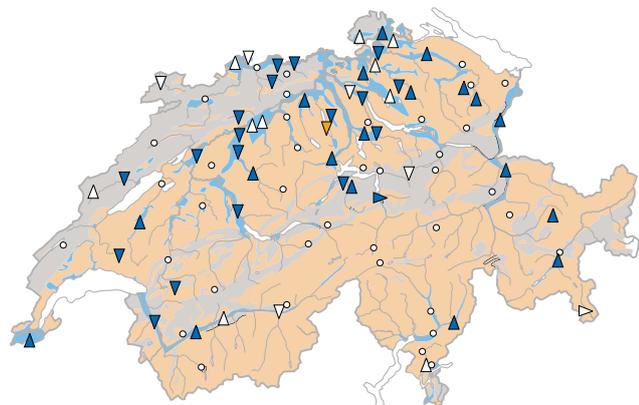
8. Februar 2021

7. Juni 2021



2. August 2021

8. November 2021



Im mehrjährigen Vergleich

- hoch (> 90. Perzentil)
- normal (10. – 90. Perzentil)
- tief (< 10. Perzentil)
- Länge der Datenreihe unzureichend

Tendenz

- △ steigend
- ▷ stagnierend
- ▽ sinkend

Grundwasserleitertyp

- Lockergesteins-Grundwasserleiter
- Kluft-Grundwasserleiter
- Karst-Grundwasserleiter

Der Dezember war wieder niederschlagsreich, so dass zum Jahresende verbreitet normale, teilweise hohe Grundwasserstände und Quellabflüsse mit uneinheitlicher Tendenz vorherrschten.

5.2 Grundwasser-Qualität

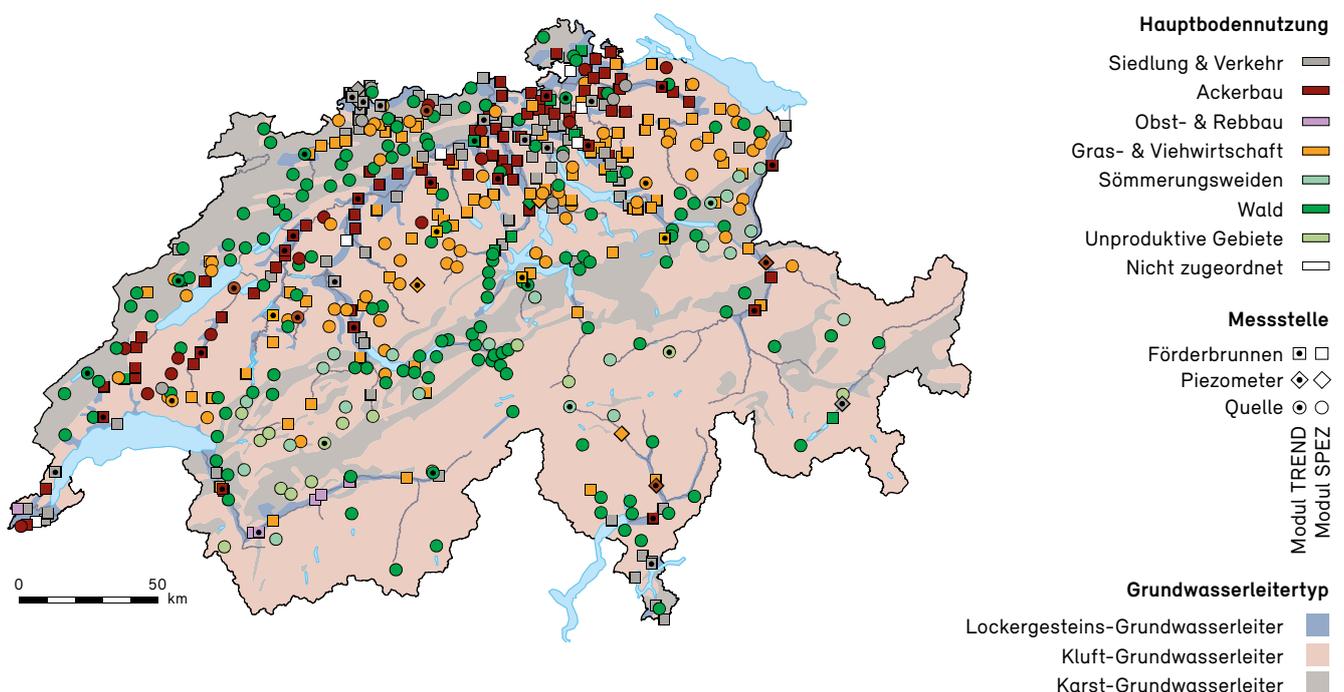
Grundwasser ist die wichtigste Trinkwasserressource der Schweiz. Ausreichend Grundwasser in bester Qualität gewinnen zu können, schien bisher selbstverständlich. Die Grundwasservorkommen geraten jedoch zunehmend unter Druck. Rückstände von künstlichen und meist langlebigen Substanzen beeinträchtigen die Grundwasser-Qualität.

Zustand und Entwicklung der Grundwasser-Qualität werden im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA landesweit an 550 Messstellen erfasst (Abb. 5.4). Neben der Früherkennung problematischer Substanzen und unerwünschter Entwicklungen steht auch die Kontrolle der Wirksamkeit von Massnahmen zum Schutz des Grundwassers im Vordergrund. Analysen zur Grundwas-

ser-Qualität fokussieren daher auf statistisch signifikante längerfristige Veränderungen und nicht auf zwischenjährige oder saisonale Schwankungen. Diese Analysen werden daher nicht im Rahmen des hydrologischen Jahrbuchs publiziert, sondern sind im Bericht «Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz» von 2019 zusammenfassend aufgeführt. Weiterführende Informationen und aktuelle Daten sind im Internet verfügbar (siehe Anhang).

Abb. 5.4: Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA (Module TREND und SPEZ)

Messstellen der NAQUA-Module TREND und SPEZ zur Beobachtung der Grundwasser-Qualität mit Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet und Grundwasserleitertyp



5.3 Grundwassertemperatur

Die kontinuierliche Aufzeichnung der Grundwassertemperatur an etwa 100 Messstellen im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA ermöglicht es, deren Zustand und Entwicklung auf Landesebene im Vergleich zu langjährigen Datenreihen abzubilden. So können auch mögliche Auswirkungen der Klimaänderung – insbesondere infolge des Anstiegs der Lufttemperatur oder der prognostizierten Zunahme von Hitzeperioden – auf die Grundwassertemperatur erfasst werden.

Im langjährigen Vergleich stellen die Jahre 2015 bis 2021 eine Periode mit eher höheren Grundwassertemperaturen dar (Abb. 5.5). Im langjährigen Vergleich waren von Januar bis April 2021 an rund jeder dritten Messstelle hohe Grundwassertemperaturen zu verzeichnen. Im weiteren Jahresverlauf lagen verbreitet normale Grundwassertemperaturen vor (Abb. 5.6 und Abb. 5.7).

Abb. 5.5: Grundwassertemperatur 2001 bis 2021

Anzahl Messstellen mit tiefen, normalen und hohen Jahreswerten für die Grundwassertemperatur von 2001 bis 2021. Grau: Jahreswert liegt im Bereich der mittleren 80 % der Werte. Orange: Jahreswert liegt im Bereich der höchsten 10 % der Werte. Blau: Jahreswert liegt im Bereich der tiefsten 10 % der Werte.

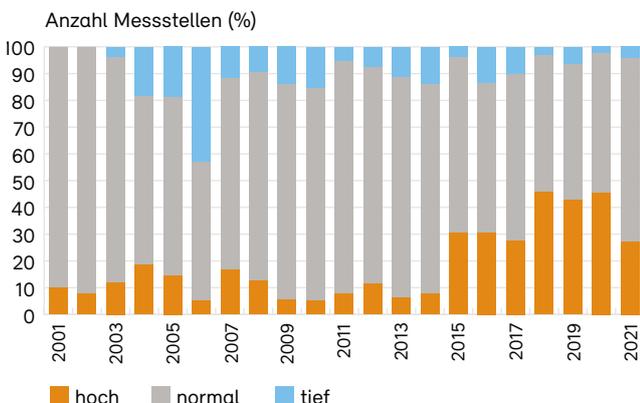


Abb. 5.6: Grundwassertemperatur 2021

Anzahl Messstellen mit tiefen, normalen und hohen Monatswerten für die Grundwassertemperatur im Jahr 2021. Grau: Monatswert liegt im Bereich der mittleren 80 % der Werte für diesen Monat zwischen 2001 und 2020. Orange: Monatswert liegt im Bereich der höchsten 10 % der Werte für diesen Monat zwischen 2001 und 2020. Blau: Monatswert liegt im Bereich der tiefsten 10 % der Werte für diesen Monat zwischen 2001 und 2020.

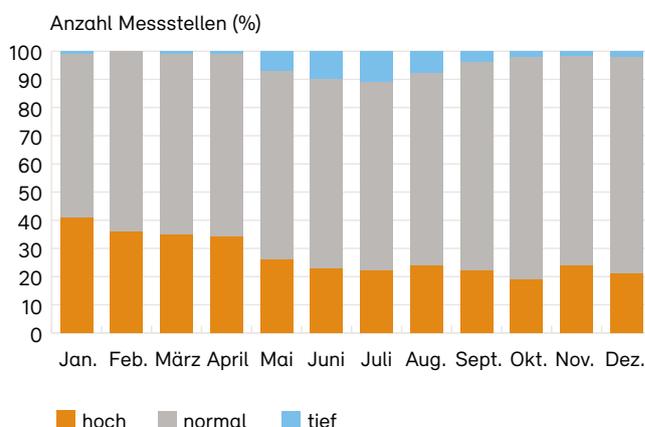
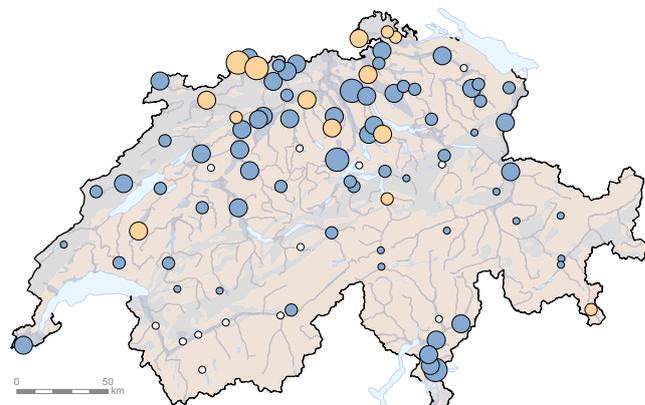


Abb. 5.7: Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA (Modul QUANT)

Mittlere Grundwassertemperatur 2021 im Vergleich zur Periode 2001 bis 2020.



- Mittlere Jahrestemperatur**
 - 4–7 °C
 - 7–10 °C
 - 10–13 °C
 - 13–16 °C
- Im mehrjährigen Vergleich**
 - hoch (> 90. Perzentil)
 - normal (10.–90. Perzentil)
 - tief (< 10. Perzentil)
 - Temperatur nicht gemessen
- Grundwasserleitertyp**
 - Lockergesteins-Grundwasserleiter
 - Kluft-Grundwasserleiter
 - Karst-Grundwasserleiter

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)

Programm des BAFU in Zusammenarbeit mit den Kantonen, 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. Es wurde 2014 als Teilprogramm in NAWA integriert.

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 bei klimatologischen Vergleichen (Kapitel 2) die neue Normperiode 1991–2020 verwendet. Hydrologische Vergleiche beziehen sich aus technischen Gründen nach wie vor auf die Normperiode 1981–2010.

^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

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

Schweizer Gewässer im Klimawandel – Hydrologische Szenarien Hydro-CH2018:

www.nccs.admin.ch/hydro

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:

<https://opendata.eawag.ch/dataset/naduf-national-long-term-surveillance-of-swiss-rivers-2021-2>

Nationale Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) – Beschreibung Messnetz:

www.bafu.admin.ch/naduf

Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) in Kartenform:

<https://s.geo.admin.ch/7902c509b7>

Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) – Beschreibung Messnetz:

www.bafu.admin.ch/nawa

Messnetze zum Feststofftransport in Gewässern:

www.bafu.admin.ch > Thema Wasser > Daten, Indikatoren und Karten > Messnetze > Feststofftransport

Indikatoren Gewässer und weiterführende Informationen zum Thema Wasser:

www.bafu.admin.ch/wasser