

# > Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2011

*Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

# > Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>Abstracts</b>	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<hr/>	
<b>1 Besonderheiten im Jahr 2011</b>	<b>6</b>
<hr/>	
<b>2 Witterung</b>	<b>14</b>
<hr/>	
<b>3 Schnee und Gletscher</b>	<b>15</b>
<hr/>	
<b>4 Oberflächengewässer</b>	<b>17</b>
<hr/>	
<b>5 Grundwasser</b>	<b>32</b>
<hr/>	
<b>Anhang</b>	<b>34</b>

## Impressum

### Herausgeber

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

### Redaktion

Abteilung Hydrologie des BAFU  
Witterung: Bundesamt für Klimatologie und Meteorologie (MeteoSchweiz)  
Schnee: WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF)  
Gletscher: Departement für Geowissenschaften der Universität Freiburg  
und Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)

### Zitiervorschlag

BAFU (Hrsg.) 2015: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2011.  
Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1506: 36 S.

### Lektorat

Jacqueline Dougoud, Zürich

### Gestaltung

Magma – die Markengestalter, Bern

### Titelfoto

Lac de la Gruyère (FR) am 1.5.2011  
Foto: Edith Oosenbrug, BAFU

### Bildnachweis

Seite 16: Matthias Huss, Departement für Geowissenschaften  
der Universität Freiburg

### Datengrundlage

Die hydrologischen Analysen basieren auf definitiven  
Daten des Jahres 2011.

### Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download

BBL, Vertrieb Bundespublikationen, CH-3003 Bern  
Tel. +41 58 465 50 50  
verkauf.zivil@bbl.admin.ch  
Bestellnummer: 810.200.016d  
www.bafu.admin.ch/uz-1506-d

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

Klimaneutral und VOC-arm gedruckt auf Recyclingpapier.

Weiterführende Informationen und Datenbezug unter  
[www.bafu.admin.ch/hydrologie](http://www.bafu.admin.ch/hydrologie)

---

## > Vorwort

In der Schweiz wird es wärmer und im Sommer trockener werden. Es sind künftig häufigere und längere Hitzewellen und längere sommerliche Trockenperioden zu erwarten. Dies zeigen die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse Schweizer Klimaforscher, welche im September 2011 unter der Leitung der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH) und von MeteoSchweiz unter anderem in Form von Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz (CH2011) publiziert wurden. Diesen Trend machen auch Untersuchungen im Rahmen des BAFU-Projekts «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro) deutlich. Auch wenn es in der Schweiz in Zukunft genügend Wasser geben wird, dürfte der Druck auf die verfügbaren Wasserressourcen zunehmen, und lokal kann es temporär zu Interessenkonflikten rund um das Wasser kommen.

Das Jahr 2011 stellte bereits einige Fachstellen der Schweiz vor diese Herausforderungen: Es wird als Jahr der Wetterrekorde in die Geschichte eingehen. Auch hydrologisch gesehen war es ein besonderes Jahr: Lange Trockenperioden wechselten sich mit einzelnen grösseren Hochwasserereignissen ab. Während der langen Trockenheit im Frühling 2011 kam es zeitweise lokal zu Wasserknappheit.

Auf Bundesebene laufen verschiedene Arbeiten, um Lösungsansätze und Massnahmen zu entwickeln für die optimale Bewirtschaftung der Wasserressourcen und die Bewältigung von lokalen Knappheitssituationen. Dank entsprechender Verteilungskonzepte und Infrastrukturen der Wasserversorgungen sollte es auch langfristig nicht zu einer grossflächigen Wasserknappheit in der Schweiz kommen.

Neu organisiert wurden im Jahr 2011 auch die Arbeiten im Bereich Hydrometrie innerhalb der Bundesverwaltung: Auf den 1. Januar 2011 wurde die Sektion «Instrumente und Laboratorien» (SIL) der BAFU-Abteilung Hydrologie in das Bundesamt für Metrologie (METAS) überführt. Seither arbeiten die Fachleute des BAFU eng mit denjenigen des METAS zusammen. Letztere haben nun im Auftrag des BAFU die Ausrüstung der Messstationen, die Wartung und den Betrieb der hydrometrischen Messgeräte sowie den Betrieb des Kalibrierkanals in Ittigen (BE) übernommen. Es ist dies eine wichtige Grundlage für die Erhebung von Messdaten, die auch im vorliegenden Hydrologischen Jahrbuch publiziert und diskutiert werden.

Karine Siegwart  
Vizedirektorin  
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 from lakes, rivers and groundwater and provides information on water temperatures and the physical and chemical properties of the principal rivers in Switzerland. Most of the data is derived from FOEN surveys.

**Keywords:**

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

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

**Stichwörter:**

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

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

**Mots-clés:**

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

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

**Parole chiave:**

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

## > Zusammenfassung

### Witterung

Über die gesamte Schweiz gemittelt war das Jahr 2011 um 1,2 °C zu warm und damit das wärmste seit Messbeginn im Jahr 1864. 2011 war regional deutlich zu trocken. In der Westschweiz fielen nur 60 bis 80 % der Niederschlagsmengen im Vergleich zum Referenzwert von 1981–2010. In der übrigen Schweiz lagen die Mengen zwischen 70 und 95 %, lokal auch etwas über 100 %.

### Schnee und Gletscher

Der Winter 2010/11 war trockener und wärmer, im Norden dazu auch sonniger als normal. Folglich lagen die Schneehöhen, über den ganzen Winter gesehen, in den meisten Gebieten unter dem Durchschnitt. Im Nordtessin, im Oberengadin und in den Bündner Südtälern waren sie durchschnittlich. Das hydrologische Jahr 2010/11 wurde zudem durch sehr starke Gletscher-Massenverluste geprägt.

### Abflussverhältnisse

Die Abflussmengen der grossen Einzugsgebiete waren stark unterdurchschnittlich: Sie erreichten auf der Alpennordseite nur 70 bis 80 % der langjährigen Jahresmittelwerte. Ein niederschlagsarmer Frühling und eine sehr geringe Schneeschmelze führten zu sehr tiefen Wasserständen in Flüssen und Seen vor allem im Jura und im Mittelland.

Ein aussergewöhnliches Regen-auf-Schnee-Ereignis im Herbst 2011 bescherte Stationen im Berner Oberland und in der Zentralschweiz neue höchste Oktober-Abflussspitzen.

### Seestände

Der mittlere Wasserstand 2011 lag am Bodensee 10 cm und am Neuenburgersee 12 cm unter dem Mittel der Normperiode 1981–2010. Für den Neuenburgersee ist es das tiefste Jahresmittel der gesamten Messperiode. Beim Genfersee und beim Lago Maggiore war die Abweichung vom langjährigen Mittelwert klein. An mehreren Seen wurden saisonale Tiefstwerte, aber keine absoluten Rekordwerte gemessen.

### Wassertemperaturen

Die Jahresmittel der Wassertemperaturen lagen 2011 verbreitet über dem langjährigen Durchschnitt. Bei mehr als 20 Stationen des Temperaturmessnetzes wurde das bisher grösste Jahresmittel übertroffen. Nur kleine Temperaturüberschüsse gab es in Einzugsgebieten mit einem relativ hohen Vergleichsgrad.

### Stabile Isotope

Der Jahresgang der stabilen Wasserisotope des Jahres 2011 im Rhein oberhalb des Bodensees, in der Rhone oberhalb des Genfersees und im Ticino wies die tiefsten  $\delta$ -Werte im Frühling während der Schneeschmelze auf und die höchsten  $\delta$ -Werte infolge der Niederschläge im Juli und August.

### Grundwasser

In der Schweiz lagen im Jahr 2011 die Grundwasserstände und Quellschüttungen infolge der lang anhaltenden Trockenheit tief. Sie waren im Vergleich zum Hitzesommer des Jahres 2003 im Mai und Juni 2011 bedeutend tiefer, da sie 2003 von einem höheren Niveau zu Jahresbeginn ausgegangen waren.

# 1 > Besonderheiten im Jahr 2011

*Der Frühling 2011 bleibt als extrem warm und trocken in Erinnerung. Die Witterung hatte aussergewöhnlich tiefe Wasserstände und hohe Wassertemperaturen zur Folge. Im Herbst sorgte ein weiteres Extremereignis für Aufsehen, als die Flüsse im Berner Oberland nach starken Schnee- und Regenfällen Hochwasser führten.*

## 1.1 Trockenheit im Frühling 2011

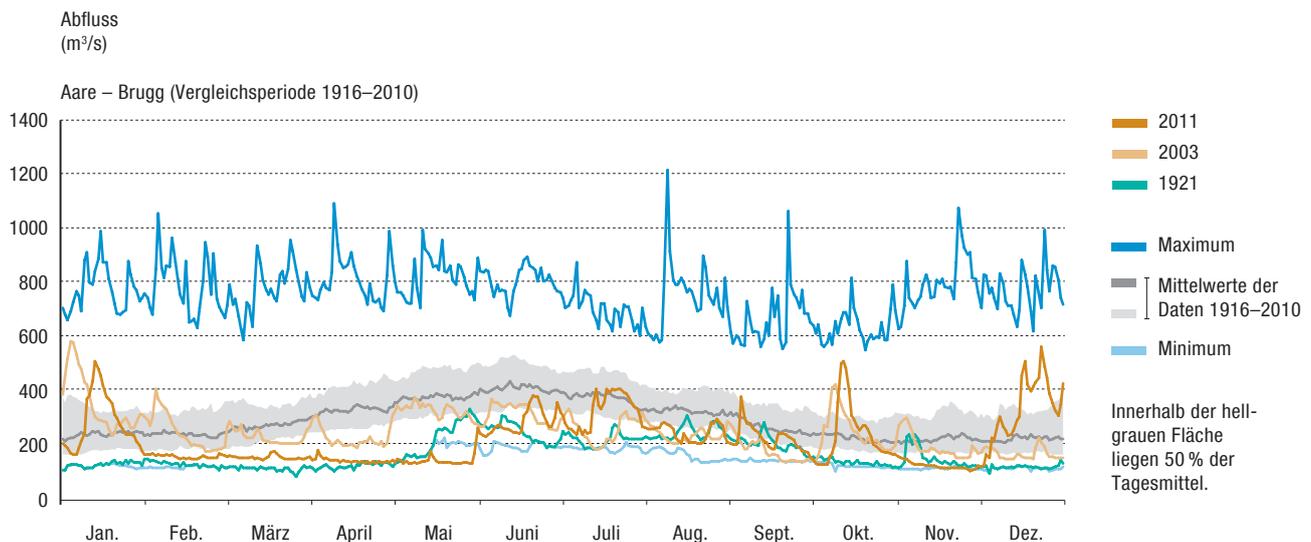
In den ersten Monaten des Jahres fiel in weiten Teilen der Schweiz aussergewöhnlich wenig Niederschlag (Kapitel 2). Wegen der zusätzlich geringen Schneefälle Ende 2010 lag im Frühling 2011 nur sehr wenig Schnee, sodass neben dem Regen auch die Schneeschmelze fehlte, um die Gewässer wieder ansteigen zu lassen.

Dies führte zu sehr tiefen Wasserständen in Flüssen und Seen und im Grundwasser, vor allem im Jura und im Mittelland. Das Besondere daran ist, dass das Niedrigwasser im Frühling auftrat. In der Regel werden im Frühling die Wasserspeicher gefüllt, tiefe Pegel gibt es im Mittelland und im Jura sonst eher im Spätsommer, Herbst oder Winter.

## Seen und Flüsse mit neuen Frühlingstiefstwerten

Bei den Schweizer Seen wurden neue Tiefstwerte für Mai und Juni gemessen, aber keine neuen absoluten Rekordwerte. Beispielsweise wurden zwischen dem 25. März und dem 20. Mai 2011 beim Murten- und beim Neuenburgersee neue Tiefststände seit 1983 verzeichnet. Im Zeitraum vom 13. Mai bis 18. Juni war der Walensee seit Messbeginn im Jahr 1910 noch nie so tief wie 2011. Während mehrerer Tage im Juni erreichten auch die Wasserstände des Zürichsees, des Bodensees und des Lago Maggiore für die Jahreszeit historische Tiefstwerte.

Die beobachteten Abflussmengen der Flüsse im Frühling 2011 entsprechen Werten, die etwa alle zwei bis fünf Jahre vorkommen. Während einiger Tage wurden auch an einzelnen grösseren Flüssen Rekordwerte für den Mai und



**Abb. 1.1** Abfluss der Aare bei Brugg im Jahr 2011: Vergleich mit den Trockenjahren 2003, 1921 und den langjährigen statistischen Werten.

Juni verzeichnet. Die Abflüsse der Aare bei Brugg (Abb. 1.1) und des Rheins bei Basel waren vor allem im Mai extrem tief. Die Limmat in Zürich verzeichnete von Mitte April bis Mitte Juni an 42 Tagen neue Tiefstwerte (Messperiode seit 1938).

#### Aussergewöhnlich tiefe Grundwasserstände

Die Grundwasserstände waren vor allem im Mai und Juni in den kleinen Flusstälern des Jura, des Mittellandes, des Alpenvorlandes und des Tessins aussergewöhnlich tief. In den Tälern der grossen Alpenflüsse lagen die Grundwasserstände infolge des Niederschlagsdefizits und der geringen Schneeschmelze ebenfalls tief.

Einen sehr starken Rückgang der Schüttung verzeichneten Karstquellen im Jura und Lockergesteinsquellen im Mittelland, die aus oberflächennahen Grundwasservorkommen gespeist werden. Die Quellen in geklüfteten Gesteinen reagierten weniger stark auf die Trockenperiode der ersten Jahreshälfte 2011.

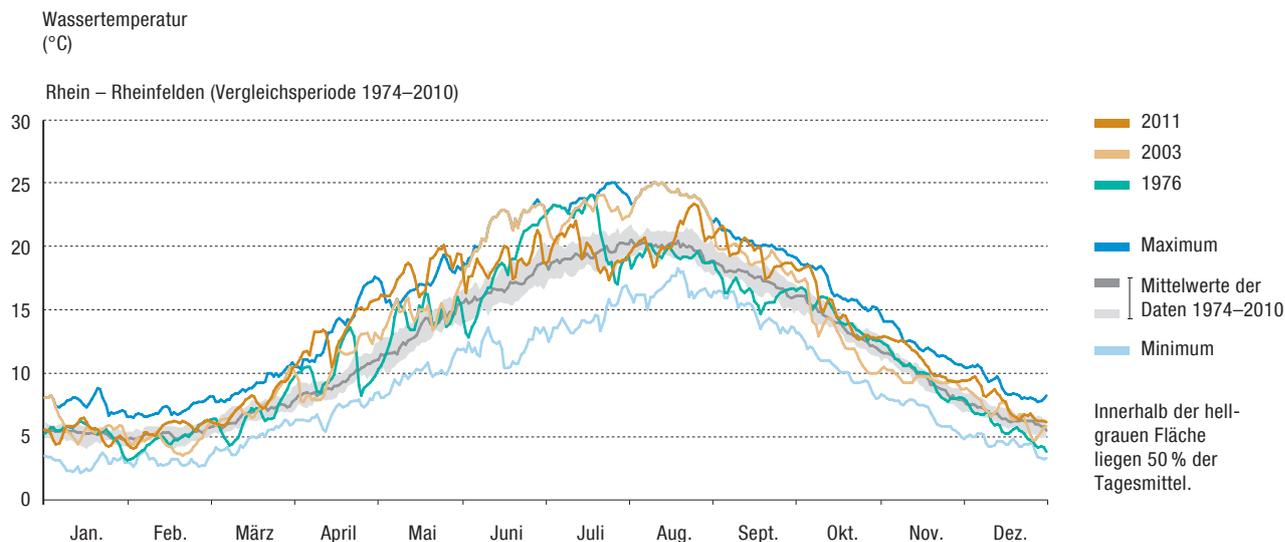
Die Grundwasserstände und Quellschüttungen waren im Mai und Juni 2011 im Vergleich zum ebenfalls trockenen und warmen Jahr 2003 bedeutend tiefer, da sie im Gegensatz zu 2003 nicht von einem hohen Ausgangsniveau im vorausgegangenen Winter profitieren konnten (Abb. 1.4 und 1.5).

#### Wassertemperaturen mit neuen Höchstwerten für April und Mai

Die Kombination von hoher Sonneneinstrahlung und niedrigen Wasserständen führte zu aussergewöhnlich hohen Wassertemperaturen vor allem im April und Mai 2011. Die saiso-

naln Höchstwerte traten im Mittelland in den kleineren und mittleren Gewässern wie Thur, Birs, Saane, Broye und Emme grösstenteils im Verlauf des Aprils auf.

In den grossen Flüssen unterhalb der Seen wurden die Höchstwerte eher gegen Ende April und im Verlauf des Mai gemessen. Die bisherigen saisonalen Maxima wurden teilweise um über 2 °C übertroffen. Am 12. Mai war die Wassertemperatur des Rheins bei Rheinfelden mit 18,9 °C um 3,1 °C höher als der bisherige Höchstwert, der seit 1974 an diesem Kalendertag gemessen wurde (Abb. 1.2).



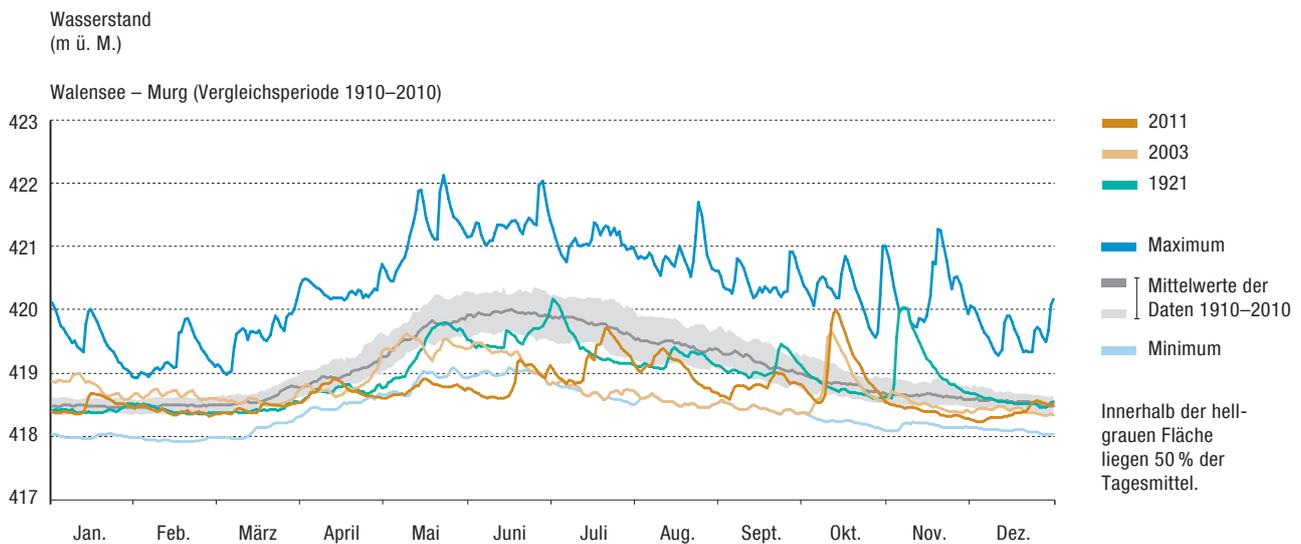
**Abb. 1.2** Wassertemperatur des Rheins bei Rheinfelden im Jahr 2011: Vergleich mit den Trockenjahren 2003, 1976 und langjährigen statistischen Werten.

**Normalisierung der Situation im Verlauf des Juli 2011**

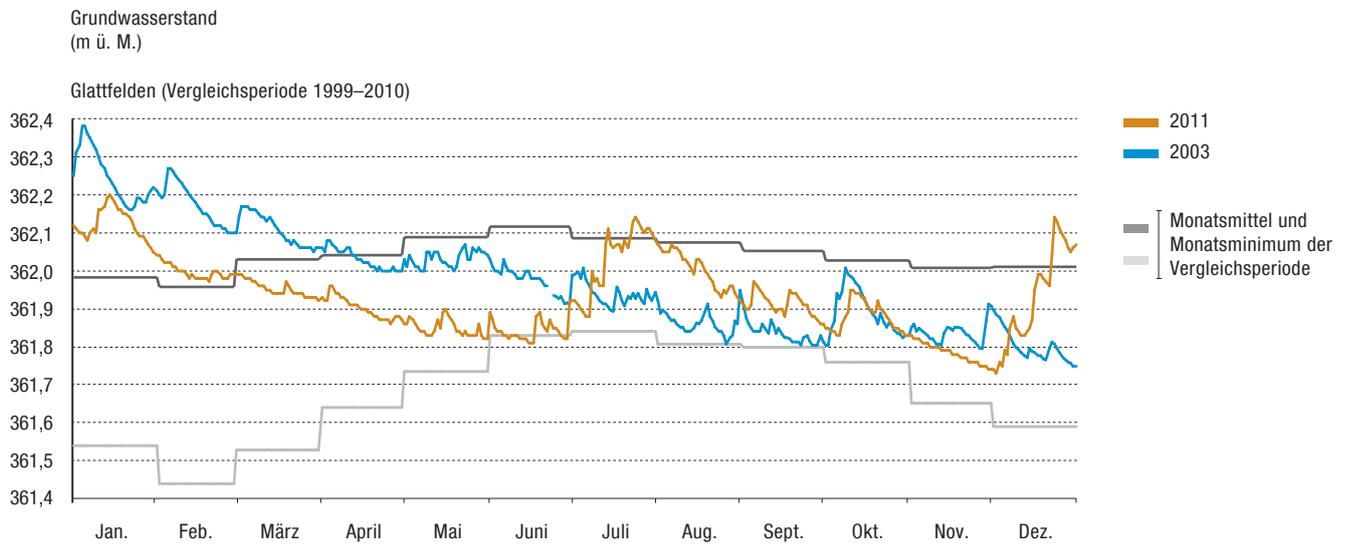
Ende Juni lagen die Seepegel des Zugersees, Zürichsees, Bodensees und Walensees im Vergleich zu den langjährigen Monatsmittelwerten noch immer sehr tief (Abb. 1.3). Gleichzeitig wurde am 30. Juni an einigen Flüssen im Berner Oberland, in der Zentralschweiz sowie in der Region Zürich aufgrund starker Niederschläge ein Hochwasser beobachtet, das statistisch einmal in zwei Jahren vorkommt (2-jährliches Ereignis). An der Sihl wurde ein 5- bis 10-jährliches, an der Lorze und der Engelberger Aa sogar ein 10- bis 20-jährliches Hochwasser gemessen.

Flüsse mit einem kleinen oder mittelgrossen Einzugsgebiet reagieren schneller auf Regen als grössere Flüsse und Seen oder das Grundwasser. Deshalb schliessen sich eine auf der Alpennordseite verbreitete Niedrigwassersituation und gleichzeitig lokale Hochwasser gegenseitig nicht aus.

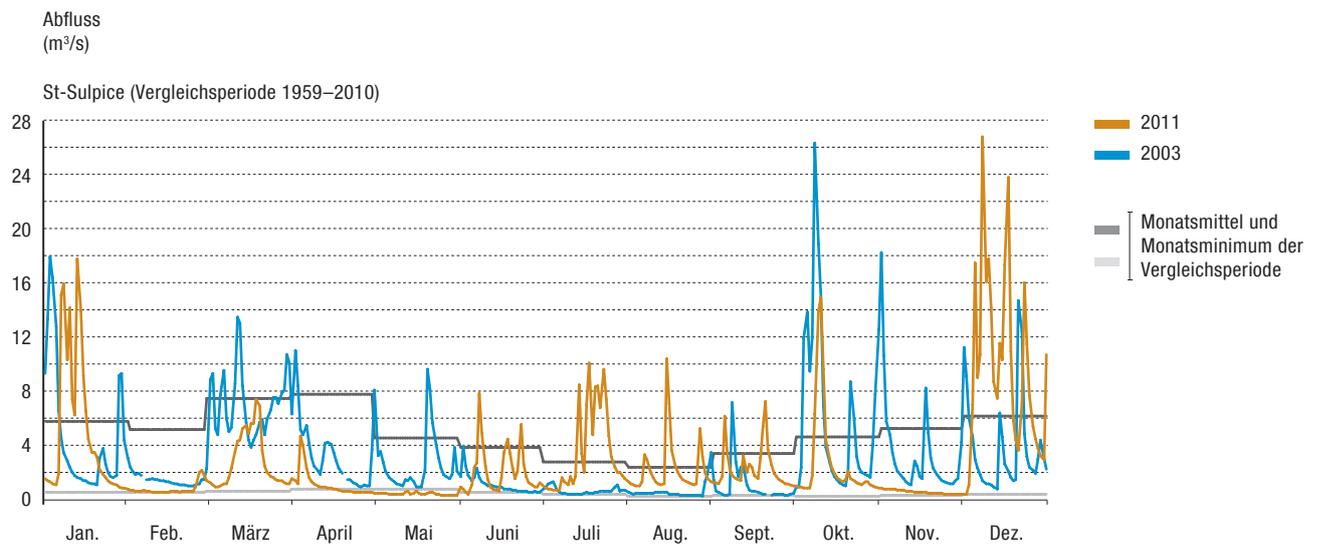
Erst die überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im Juli liessen die meisten grösseren Flüsse, Seen und das Grundwasser auf der Alpennordseite wieder auf ein für die Jahreszeit übliches Niveau ansteigen. Bei Grundwasservorkommen, die weit von Flüssen entfernt oder tiefer unter dem Boden liegen, dauerte es jedoch etwas länger, bis sie sich normalisierten. Ende Oktober bis Anfang Dezember folgte nochmals eine sehr trockene Periode, die auch in den Abflüssen deutlich sichtbar war (siehe dazu auch Kapitel 4.1), sich aber als weniger ausgeprägt erwies als die Frühlingstrockenheit.



**Abb. 1.3** Wasserstand des Walensees bei Murg im Jahr 2011: Vergleich mit den Trockenjahren 2003, 1921 und den langjährigen statistischen Werten.



**Abb. 1.4** Grundwasserstand bei Glattfelden im Jahr 2011: Vergleich mit dem Jahr 2003 und den langjährigen statistischen Werten.



**Abb. 1.5** Quellschüttung bei St-Sulpice im Jahr 2011: Vergleich mit dem Jahr 2003 und den langjährigen statistischen Werten.

## 1.2 Indikator «Niedrigwasser»

Für 41 langjährige BAFU-Abflussmessstationen werden die jährlich kleinsten Abflüsse über sieben aufeinanderfolgende Tage (NM7Q) bestimmt. Ein Ereignis wird als Niedrigwasser definiert, wenn sein Abfluss kleiner ist als der für die Station berechnete  $NM7Q_{10}$ -Abfluss (NM7Q-Abfluss, der statistisch nur alle 10 Jahre unterschritten wird). Der Indikator «Niedrigwasser» zeigt die Summe aller Niedrigwasserereignisse pro Jahr. Die Auswertung findet getrennt nach alpinen und ausseralpinen Abflussmessstationen statt, da niedrige Abflüsse in diesen beiden Regionen durch unterschiedliche Prozesse verursacht werden: Niedrigwasser bei alpinen Messstationen stehen in Zusammenhang mit tiefen Temperaturen, bei ausseralpinen Stationen dagegen mit Trockenheit. Bei der Auswahl der Indikator-Stationen wurde auf möglichst geringe anthropogene Beeinflussung geachtet (d. h. keine Kraftwerke sowie Ab- oder Zuleitungen im Einzugsgebiet). In Abb. 1.6 ist der Indikator für ausseralpine Stationen dargestellt.

Wie in Kapitel 2 ausgeführt, war das Jahr 2011 in vielen Regionen deutlich zu trocken. Dies führte im Frühling vor allem im Mittelland und im Jura zu geringen Abflüssen (Kapitel 1.1). Verglichen mit anderen trockenen Jahren, lagen die Werte aber weniger tief. Nur eine Indikator-Station des ausseralpinen Raums – Gürbe bei Belp – weist für das Jahr 2011 ein Niedrigwasserereignis auf.

Eine Auswertung der Niedrigwasserereignisse von 1930 bis 2011 zeigt bei den ausseralpinen Abflussmessstationen keine eindeutige Tendenz. Auffallend sind aber die Jahre 1947, 1949, 1962 und 2003 mit besonders vielen Niedrigwasserereignissen. In den tiefer gelegenen Einzugsgebieten werden Niedrigwasser durch längere Trockenphasen verursacht und sind zumeist im Sommer oder Herbst zu beobachten. Infolge des Klimawandels werden solche Trockenphasen vermutlich häufiger.

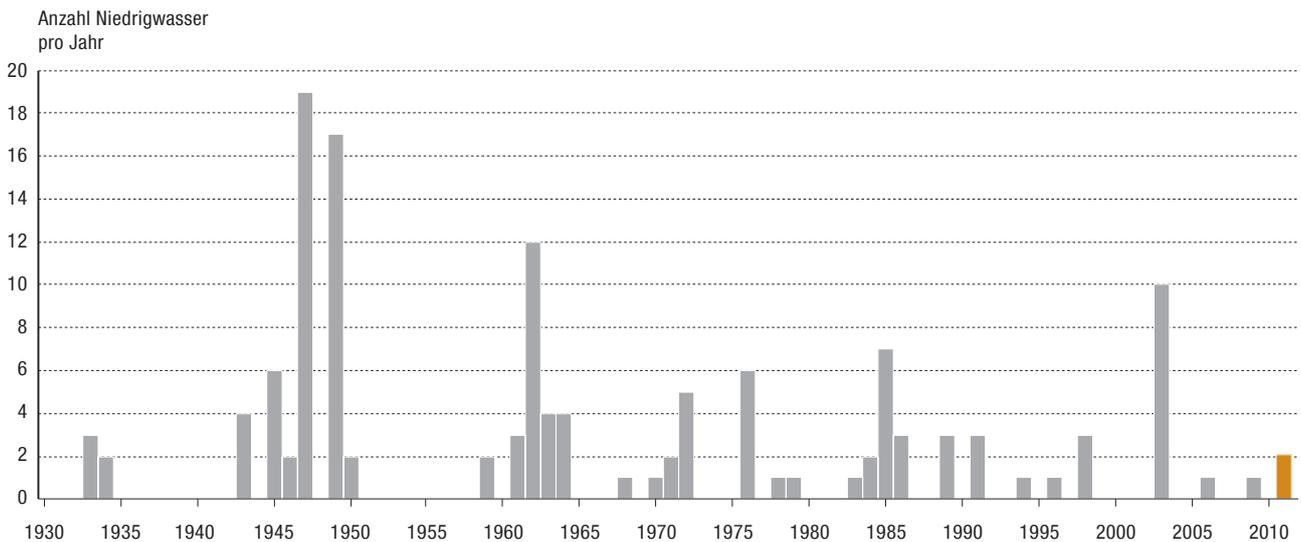


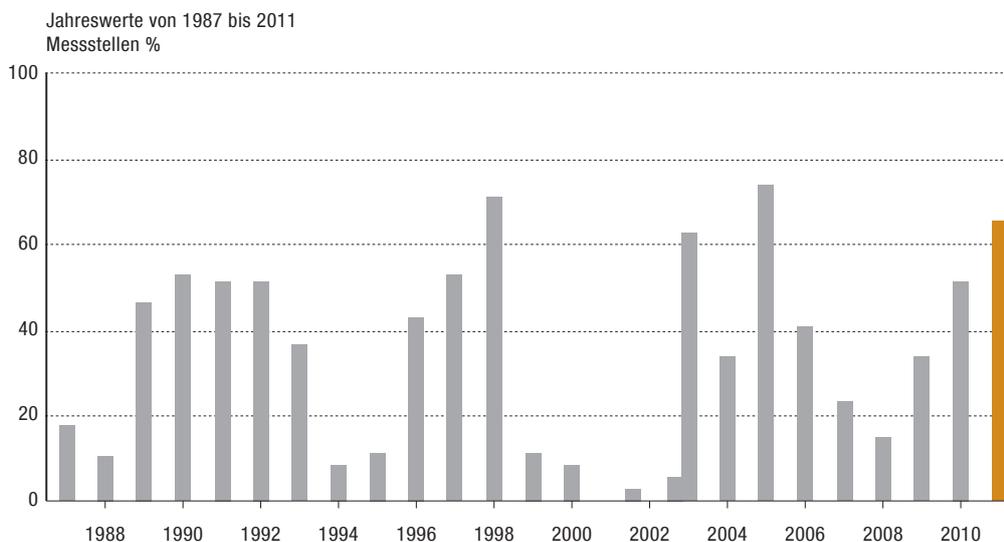
Abb. 1.6 Anzahl Niedrigwasserereignisse pro Jahr an ausgewählten ausseralpinen Stationen. In Orange der Indikatorwert 2011.

### 1.3 Indikator «Tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen»

Der Indikator «Tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen» liefert im Jahresvergleich einen landesweiten Überblick zur Häufigkeit des Auftretens von aussergewöhnlich tiefen Grundwasserverhältnissen. Nehmen der Grundwasserstand und die Quellschüttung infolge ausgeprägter Trockenperioden überdurchschnittlich ab, kann es lokal zu Engpässen in der Wasserversorgung kommen. Zudem können tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen die grundwasserabhängigen Ökosysteme beeinträchtigen. Gemäss den quantitativen Szenarien des Projektes CH2011 (OCCR, BAFU, MeteoSchweiz, C2SM, Agroscope und ProClim) zur Klimaänderung in der Schweiz ist tendenziell davon auszugehen, dass Trockenperioden im Sommer zukünftig öfter auftreten und länger andauern und es damit häufiger zu tiefen Grundwasserständen und Quellschüttungen kommen kann.

Der Indikator «Tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen» wird berechnet als Prozentsatz von Messstellen pro Jahr, an denen im Vergleich mit dem langjährigen Mittel überdurchschnittlich häufig tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen auftreten. Als Grundlage für die Berechnung des Indikators dienen die Messstellen des NAQUA-Moduls QUANT, welche Zustand und Entwicklung der Grundwasserquantität auf Landesebene abbilden (Kapitel 5) und mögliche Auswirkungen der Klimaänderung auf die Grundwasserressourcen aufzeigen.

In trockenen Jahren liegt der Indikator «Tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen» generell über 50%, d.h., die Mehrzahl der Messstellen verzeichnet überdurchschnittlich viele Tage mit tiefen Grundwasserständen bzw. Quellschüttungen. So führte das anhaltende Niederschlagsdefizit im Jahr 1998, von 2003 bis 2005 und im Jahr 2011 zu aussergewöhnlich hohen Werten für den Indikator (Abb. 1.7).



**Abb. 1.7** Messstellen (%) pro Jahr, an denen überdurchschnittlich häufig tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen auftreten. In Orange der Indikatorwert 2011.

### 1.4 Hochwasser im Berner Oberland und Wallis vom 10. Oktober 2011

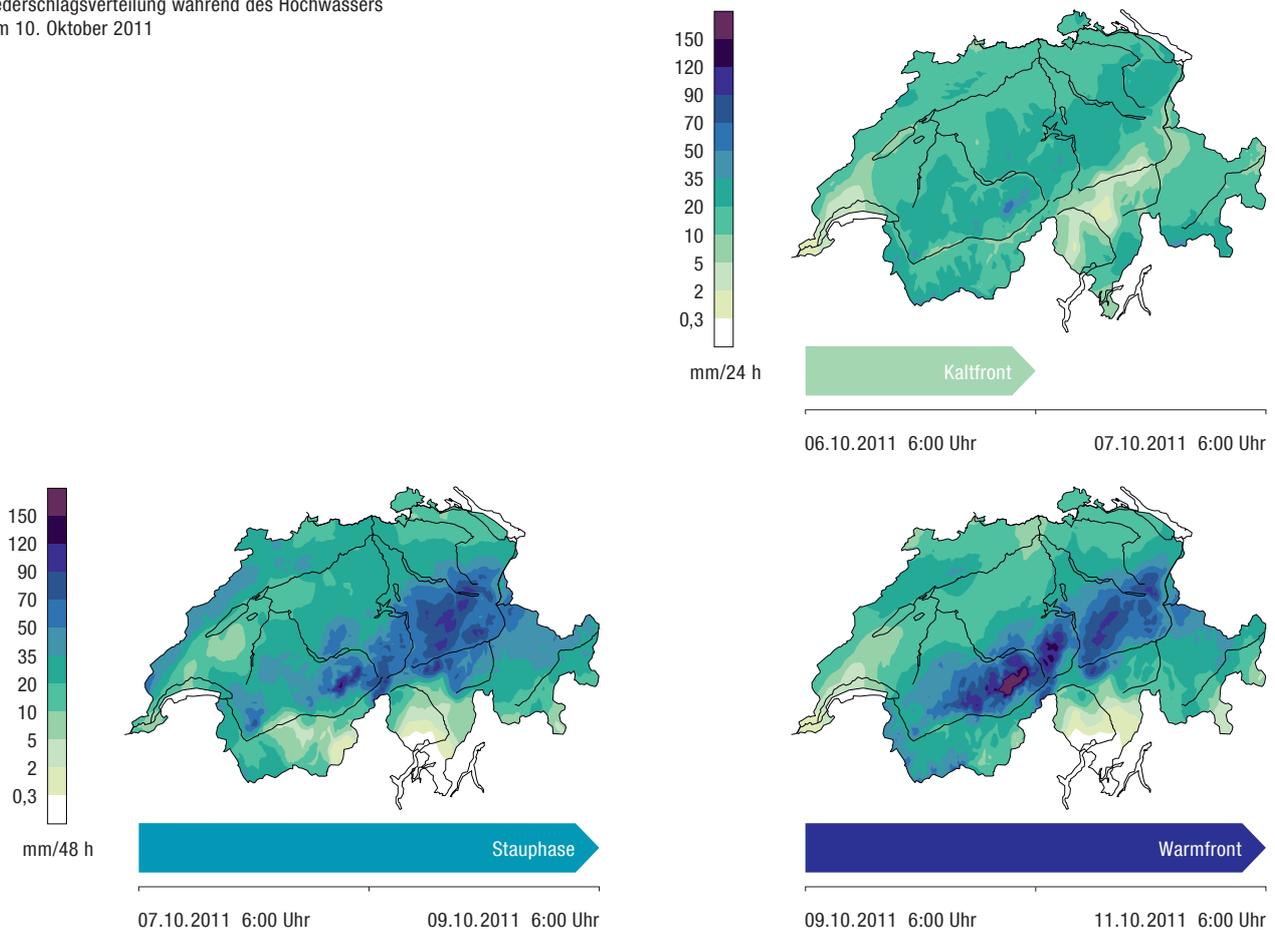
Das Unwetterereignis vom 10. Oktober 2011 verursachte im Wallis, im Berner Oberland, in der Zentralschweiz, im Einzugsgebiet der Linth und im Schächental Schäden in Gesamthöhe von gut 85 Millionen Schweizer Franken. Das dem Hochwasser zugrundeliegende klimatologische Ereignis kann in drei Phasen eingeteilt werden: eine Kaltfront am 6./7. Oktober, eine Stauphase mit starkem Schneefall und schliesslich eine Warmfront am 9./10. Oktober mit ausgiebigen Niederschlägen und einem schnellen Anstieg der Nullgradgrenze (Abb. 1.8).

Durch die Kombination der Niederschläge und der rasch ablaufenden Schmelze der Schneedecke wurden in mehreren Wildbächen und Gebirgsflüssen hohe Abflüsse generiert.

Die Niederschlagssummen und Schneeschmelzraten während des Ereignisses waren separat betrachtet zwar hoch, aber keineswegs aussergewöhnlich. In Kombination führten sie jedoch zu teilweise kritischen Abflusssituationen. Die unterschiedliche Abflussreaktion mit sehr hohen und seltenen Spitzen im Westen und geringeren, moderaten Abflussjährlichkeiten in der Zentralschweiz und im Osten ist weitgehend durch regionale Unterschiede bei diversen Faktoren und Prozessen während des Unwetters zu erklären:

- > Vor Einsetzen des Regens führten die Schneefälle während der Stauphase zu deutlich grösseren Schneemengen in den nordöstlichen Gebieten der Schweizer Alpen als im Westen. Die während der Wärmephase gefallenen Niederschlagsmengen waren in allen Gebieten der Schweiz ungefähr ähnlich hoch. Jedoch fiel der

Niederschlagsverteilung während des Hochwassers vom 10. Oktober 2011



**Abb. 1.8** Grossräumige Niederschlagsverteilung während der drei Ereignisphasen des Hochwassers um den 10. Oktober 2011. Die Daten stammen aus automatischen und manuellen Niederschlagsmessungen von MeteoSchweiz.

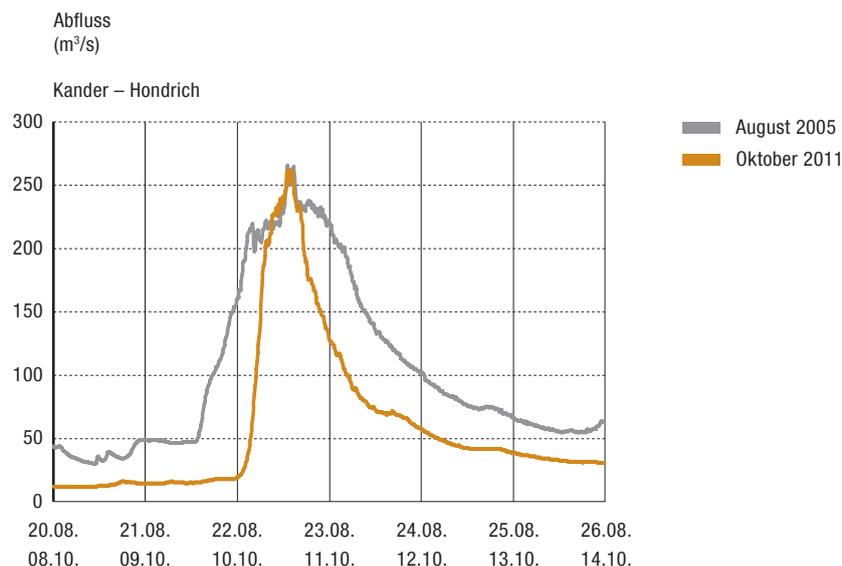
Regenanteil am Niederschlag im Berner Oberland deutlich höher als im Einzugsgebiet der Linth und im Schächental.

- > Die Kombination von Wind, hoher Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit während der Warmfront sorgte für beträchtliche turbulente Wärmeflüsse, die den Hauptanteil der Energie für eine intensive Schneeschmelze lieferten. Die geringere Mächtigkeit der Schneedecke und die anfängliche Durchfeuchtung führten im Lötschen- und im Kandertal zur geringeren Aufnahmekapazität von Regen und Schmelzwasser sowie zur schnelleren Abflussbereitschaft als im Osten. Generell kann der Beitrag der schmelzenden Schneedecke durchaus als bedeutend taxiert werden. Bezogen auf das Abflussvolumen spielte er im Vergleich zu den Niederschlägen allerdings eine untergeordnete Rolle.
- > Die Simulation der Bodenfeuchte zwischen dem 6. und dem 13. Oktober zeigt für alle Einzugsgebiete ein ähnliches Bild (nicht vollständige Sättigung der Böden) und somit am 9. Oktober theoretisch eine ähnliche Grundbereitschaft zur Abflussbildung. Da die Reaktionszeiten der Abflüsse auf den Niederschlag relativ kurz waren, müssen rasche Abflussprozesse eine wesentliche Rolle gespielt haben, was durch die Abflusssimulationen bestätigt wird. Die Bedingungen und Faktoren, die zu schnell anspringenden Abflussprozessen führten, sind aber grösstenteils unbekannt, und es bleibt eine

offene Frage, weshalb die Abflussbereitschaft derart hoch war. Leider stehen zur Verifikation der Bodenfeuchte-simulationen keine regional aussagekräftigen Messungen zur Verfügung.

Es wird vorerst schwierig bleiben, kombinierte Regen-auf-Schnee-Ereignisse mit hoher Genauigkeit zu prognostizieren und rechtzeitig davor zu warnen. Die Gründe dafür liegen hauptsächlich in den eingeschränkten Vergleichsmöglichkeiten mit derart seltenen Ereignissen, den Limitierungen bei der Genauigkeit von Modellinputdaten und der noch zu wenig detaillierten Prozessabbildung in den Abflussmodellen.

Quelle: Angaben und Auswertungen von MeteoSchweiz, WSL und BAFU



**Abb. 1.9** Vergleich der Abflussganglinien von Oktober 2011 (orange) und August 2005 (grau) an der Station Kander – Hondrich.

## 2 > Witterung

Über die gesamte Schweiz gemittelt war das Jahr 2011 um 1,2 °C zu warm im Vergleich zum Referenzwert 1981–2010 und damit das wärmste seit Messbeginn im Jahr 1864. 2011 war regional deutlich zu trocken. In der Westschweiz fielen nur 60 bis 80 % der Niederschlagsmengen im Vergleich zum Referenzwert. In der übrigen Schweiz lagen die Mengen zwischen 70 und 95 %.

Am Alpennordhang und in den inneren Alpen waren bereits die Dezemberriederschläge 2010 unterdurchschnittlich. Die niederschlagsarme Witterung seit Jahresbeginn mündete in eine ausgeprägte Trockenheit. Die anhaltende Wärme führte schliesslich zum wärmsten Frühling in der Schweiz seit Messbeginn im Jahr 1864.

Am 1. Juni meldete sich in höheren Alpenregionen der Winter zurück. Die Schneefallgrenze sank lokal bis auf mittlere Lagen hinunter. Der Kaltfrontdurchzug vom 27./28. Juni löste sehr intensive und von Gewittern durchsetzte Niederschläge aus, welche vor allem in der Zentralschweiz Überschwemmungen verursachten. Am 10. Juli führten heftige Gewitter vor allem in der Ostschweiz zu massiven Überschwemmungen. In der Nacht vom 12. auf den 13. Juli entluden sich schwere Gewitter über der Schweiz. Nach den Gewittern folgte am 13. Juli eine Kaltfront mit erneuten Starkregen.

Die ersten beiden Sommermonate waren insgesamt nass, und der Monat Juli war der kühlfste seit 2000. Die regnerische Witterung setzte sich auch in der ersten Augushälfte fort. Die zweite Augushälfte und die erste Septemberhälfte zeigten sich hochsommerlich, bis zu einem kräftigen Polarlufteinbruch mit intensiven Niederschlägen am 17. September. Nach diesem winterlichen Intermezzo hielt wieder sonniges, mildes Wetter Einzug.

Das warme Herbstwetter dauerte auch in den ersten Oktobertagen an. Doch bald wechselte das Wettergeschehen. In höheren Lagen der Zentralalpen, am östlichen Alpennordhang und in Graubünden fielen bis zum 9. Oktober verbreitet mehr als 50 cm Neuschnee. Bereits am 10. Oktober dominierten milde und sehr feuchte Luftmassen, welche am Alpennordhang Starkniederschläge auslösten. Gleichzeitig bewirkte die schnell auf über 3000 m ü. M. ansteigende Nullgradgrenze eine intensive Schneeschmelze. Mancherorts kam es zu kritischen Hochwassersituationen (Kapitel 1.4). Auf das Hochwasser folgte ruhiges Herbstwetter.

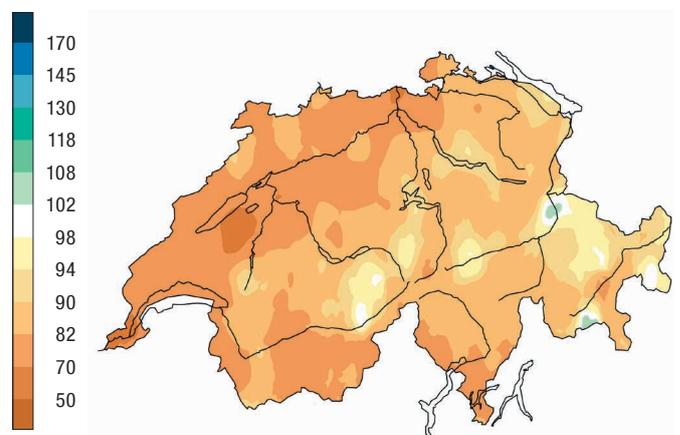
Auf den Monatswechsel Oktober/November hin wurde der Föhn aktiv. Eine lange Föhnperiode mit kräftigem Dauerregen am Alpensüdhang stellte sich vom 3. bis zum 6. Novem-

ber ein. Während der Süden mit dem Föhn übermässig viel Niederschlag erhielt, litten Teile der Alpennordseite unter einer anhaltenden Trockenheit. Als Folge permanenter Hochdruckbedingungen blieben Niederschläge ab dem 19. Oktober bis zum Novemberende insbesondere vom Wallis über die Zentralschweiz bis zum Bodensee praktisch gänzlich aus.

Mitte Dezember fielen in zahlreichen Bergregionen grosse Schneemengen. Noch vor den Festtagen wurde es mild, und der Schnee verschwand aus dem Flachland. Nochmals Schnee in den Bergen brachten die letzten Tage des Jahres, sodass am Jahresende in höheren Lagen verbreitet überdurchschnittlich viel Schnee lag.

Quelle: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)

Jahres-Niederschlagssumme (% des Normwertes)



**Abb. 2.1** Das Jahr 2011 war trocken: Die Jahresmengen des Niederschlags erreichten in der Westschweiz nur 60 bis 80 %, in den übrigen Regionen 70 bis 95 % der Norm.

## 3 > Schnee und Gletscher

*Der Winter 2010/11 war trockener und wärmer, im Norden dazu auch sonniger als normal. Folglich lagen die Schneehöhen, über den ganzen Winter gesehen, in den meisten Gebieten unter dem Durchschnitt. Im Nordtessin, im Oberengadin und in den Bündner Südtälern waren sie durchschnittlich. Das hydrologische Jahr 2010/11 wurde zudem durch sehr starke Gletscher-Massenverluste geprägt.*

### 3.1 Schnee

In hohen Lagen war es bereits im Oktober 2010 winterlich. Vor allem am Alpensüdhang fielen im Oktober und November grössere Schneemengen. Im Dezember schneite es verbreitet und häufig, zeitweise bis in tiefe Lagen. Zum Jahreswechsel waren die Schneehöhen noch normal bis überdurchschnittlich. Wintereinbrüche im Mittelland waren im November und Dezember relativ häufig; Spätwintereinbrüche gab es dort jedoch keine mehr. Mit starken Temperaturschwankungen regnete es auch im Januar 2011 bis in hohe Lagen, was zu einer aktiven Nassschneelawinenaktivität am 13. Januar und zu frühlingsähnlichen Schneeverhältnissen in mittleren Lagen führte.

Mitte Februar setzten zuerst im Süden, Ende Februar dann auch im Norden und im Westen Schneefälle ein. Auch im März schneite es wiederholt, aber wenig ergiebig. Im Hochwinter waren die Schneehöhen in allen Höhenlagen verbreitet unterdurchschnittlich.

Im April waren die Schneehöhen dann in allen Gebieten stark unterdurchschnittlich. In hohen Lagen waren es nur 50 %, in mittleren Lagen knapp 25 % des langjährigen Mittels. Viele langjährige SLF-Beobachterstationen (z. B. Andermatt, Arosa, Fionnay, Grimsel, Hasliberg, Ulrichen, Weissfluhjoch) zeigten neue Minima oder waren noch nie so früh ausgeapert wie im Frühling 2011. Die geringen Schneemengen bis in die Gipfellagen wurden vor allem durch die Niederschlagsdefizite ab Januar verursacht. Die Neuschneesumme von Januar bis März betrug nur 30 % des langjährigen Mittels und war damit so tief wie noch nie seit Messbeginn. Während des ganzen Winters gab es kein Grossschneefallereignis mit einem Meter Neuschnee oder mehr innerhalb von drei Tagen.

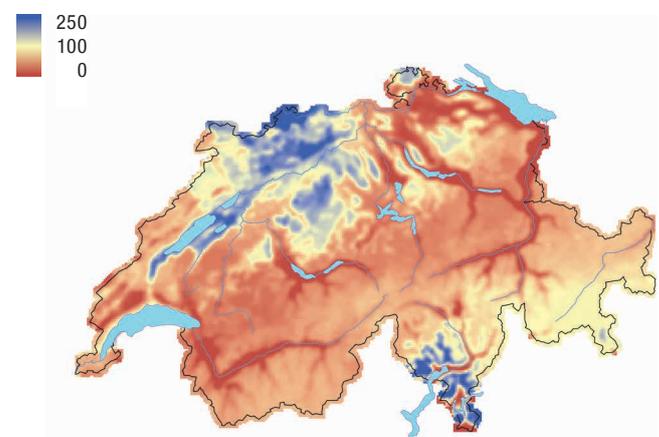
Im Mai aperten die hohen Lagen vor allem im Norden aus. Am Alpensüdhang lag oberhalb von rund 2300 m ü. M. an Nordhängen noch eine geschlossene Schneedecke. Der Winter 2010/11 steht an sechster Stelle bei den schneeärmsten Wintern seit Messbeginn vor rund 60 Jahren, basierend auf

der durchschnittlichen Schneehöhe von November bis April. Bezüglich der Neuschneesumme steht er bei den schneeärmsten Wintern auf dem fünften Platz.

In der Zeit von Juni bis September gab es sieben markante Kaltlufteinbrüche. Aufgrund der wiederholten Schneefälle lag im Hochgebirge bis August meist eine geschlossene Schneedecke. Ausser am 28. August und am 19. September fiel in hohen und mittleren Lagen nur wenig Schnee.

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

Schneehöhe (% des Normwertes)



**Abb. 3.1** Schneehöhen 2010/11 im Vergleich zur Periode 1971–2000. Berücksichtigt sind die Wintermonate November bis April.

### 3.2 Gletscher

Die Gletscher hatten im hydrologischen Jahr 2010/11 starke Massenverluste zu verzeichnen. 2010/11 gliedert sich nach 2002/03 und 2005/06 in die negativsten Jahre des letzten Jahrzehnts ein (siehe Gletscherberichte 1960–2011 der VAW). Die starke Gletscherschmelze ist vor allem durch die unterdurchschnittlichen Schneemengen und die wegen des warmen Frühsommers sehr frühe Ausaperung zu erklären. Dies führte zu einem beträchtlichen Beitrag der Gletscher-Speicheränderung zum Abfluss, der sich vor allem auf den heissen Monat August konzentrierte.

Auf den neun untersuchten Gletschern wurden Massenbilanzen zwischen  $-720$  mm Wasseräquivalent (Adlergletscher) und  $-2460$  mm Wasseräquivalent (Glacier du Tsanfleuron) gemessen. Ein deutlicher Nord-Süd-Gradient ist erkennbar. Während Gletscher, welche durch das Klima der Alpensüdseite beeinflusst sind, Massenbilanzen aufwiesen, die nur wenig unter dem langjährigen Mittel liegen (Basodino, Adler, Findelen), wurden auf den nördlicheren Gletschern relativ konsistent Massenbilanzen in der Grössenordnung von  $-2000$  mm Wasseräquivalent gemessen. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Mittel des letzten Jahrzehnts. Das Nord-Süd-Gefälle kann wahrscheinlich durch starke Schneefälle auf der Alpensüdseite im Frühling 2011 erklärt werden.

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



**Abb. 3.2** *Ausblick vom Grialetsch-Gletscher im September 2011.*

## 4 > Oberflächengewässer

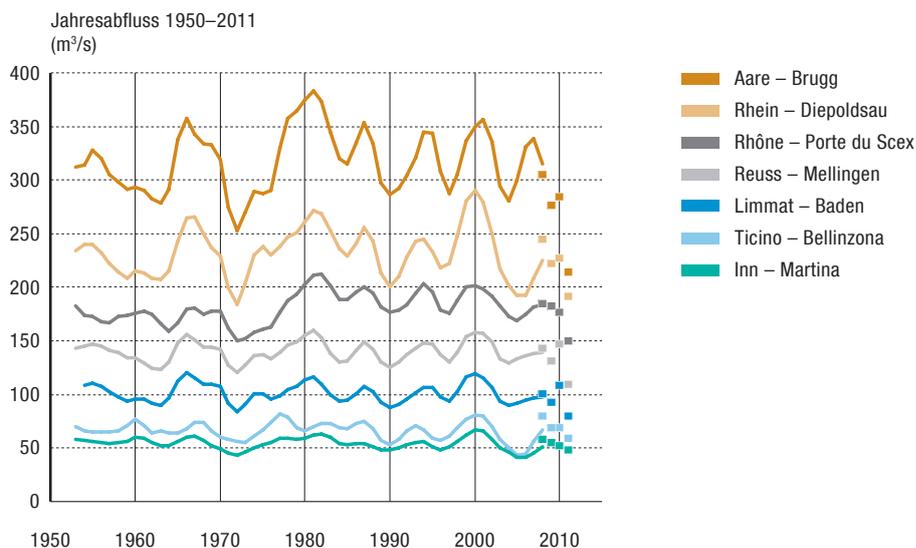
Die Abflussmengen der grossen Einzugsgebiete waren stark unterdurchschnittlich: Sie erreichten auf der Alpennordseite nur 70 bis 80 % der langjährigen Jahresmittelwerte. Ein aussergewöhnliches Regen-auf-Schnee-Ereignis im Herbst 2011 bescherte Stationen im Berner Oberland und in der Zentralschweiz neue höchste Oktober-Abflussspitzen. Bei vielen Stationen des Temperaturmessnetzes wurde das bisher grösste Jahresmittel übertroffen.

### 4.1 Abflussverhältnisse

In den grossen Flussgebieten lagen die Jahresmittel deutlich unter den Mitteln der Normperiode 1981 bis 2010. Rhein, Limmat, Reuss und Rhone lieferten nur rund 80 % des langjährigen Mittelwertes; die Aare erreichte knapp 70 %. Relativ nahe bei ihrem Mittelwert waren Ticino und Inn mit ungefähr 90 %. Einzelne der mittelgrossen Einzugsgebiete in der West- und Nordwestschweiz kamen nicht einmal auf 50 % des normalen Jahresmittels (Abb. 4.2). Beispiele hierfür sind die Aubonne, die Venoge, die Mentue, die Broye sowie die Ergolz und die Dünnern. Bei rund 20 Stationen des BAFU-Messnetzes westlich der Reuss war das Jahr 2011 gar das abflussärmste der ganzen jeweiligen Messperiode.

Normale Jahresmittel wiesen Einzugsgebiete des Poschiavino, sowie die Lonza und die Engelberger Aa auf. Einzig die Massa lag mit ihren Abflüssen deutlich über dem Normwert.

Anhand der monatlichen Abflüsse zeigt sich deutlich, wie die unterdurchschnittlichen Jahreswerte zustande gekommen sind. In den grossen Einzugsgebieten der Alpennordseite und in der Rhone bis Genf lagen die Monatswerte von Februar bis Juni generell unter dem entsprechenden Normwert. Im Mai waren die Abflussdefizite besonders gross. Die Aare bei Brugg erreichte nicht einmal einen Drittel des normalen Mai-Abflusses, die Limmat nur knapp 50 % und die Reuss nur 53 %. Die Abflüsse der zweiten Jahreshälfte waren ebenfalls unterdurchschnittlich, aber nicht mehr ganz so ausgeprägt wie im Mai und Juni.



**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.

Besonders trocken war der November. Die Aare bei Brugg erreichte 44 %, die Limmat bei Baden 52 % und die Reuss bei Mellingen 60 % der entsprechenden Normwerte im November. Der Dezember lag nahe am oder über dem Durchschnitt. In den mittleren Einzugsgebieten waren die Abflussverhältnisse teilweise extremer: Die stark unterdurchschnittlichen Mai-Abflüsse betragen in der Emme 32 %, in der Thur 30 % und in der Venoge nur 13 %. In der Venoge lagen sämtliche zwölf Monate des Jahres 2011 unter dem entsprechenden Normwert. Die Massa mit stark vergletschertem Einzugsgebiet lieferte wegen der hohen Lufttemperaturen in allen Monaten ausser im Januar, März und Juli überdurchschnittlich viel Abfluss.

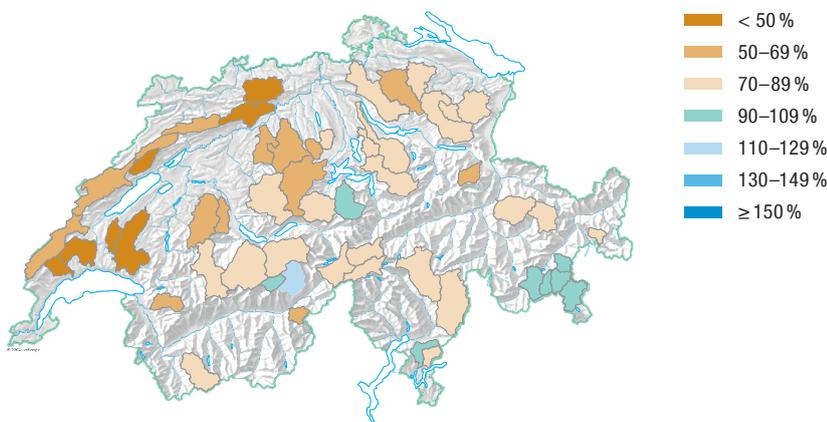
Die Trockenphasen der ersten Jahreshälfte und von Ende Oktober bis Anfang Dezember kommen in den Abbildungen der Tagesabflüsse sehr schön zur Geltung. Die Ganglinien der grossen Flussgebiete lagen während längerer Phasen deutlich unterhalb der 5 %-Quantile. Ebenso deutlich erkennt man die hohen Abflüsse Mitte Oktober, die im Zusammenhang mit dem in Kapitel 1.4 erwähnten Regen-auf-Schnee-Ereignis ausführlich beschrieben werden.

Im April und Mai wurden auf der Alpennordseite verbreitet, im Juni etwas weniger ausgeprägt, kleinste Tagesmittel der entsprechenden Monate registriert. Betroffen waren dabei sowohl grosse Flussgebiete (Aare – Brugg im April und Mai; Limmat – Baden im Mai und Juni; Rhein – Rheinfelden im Mai) als auch mittelgrosse Einzugsgebiete (Venoge – Ecub-

lens im April und Mai; Dünern – Olten im März, April, Mai, Juni und Juli).

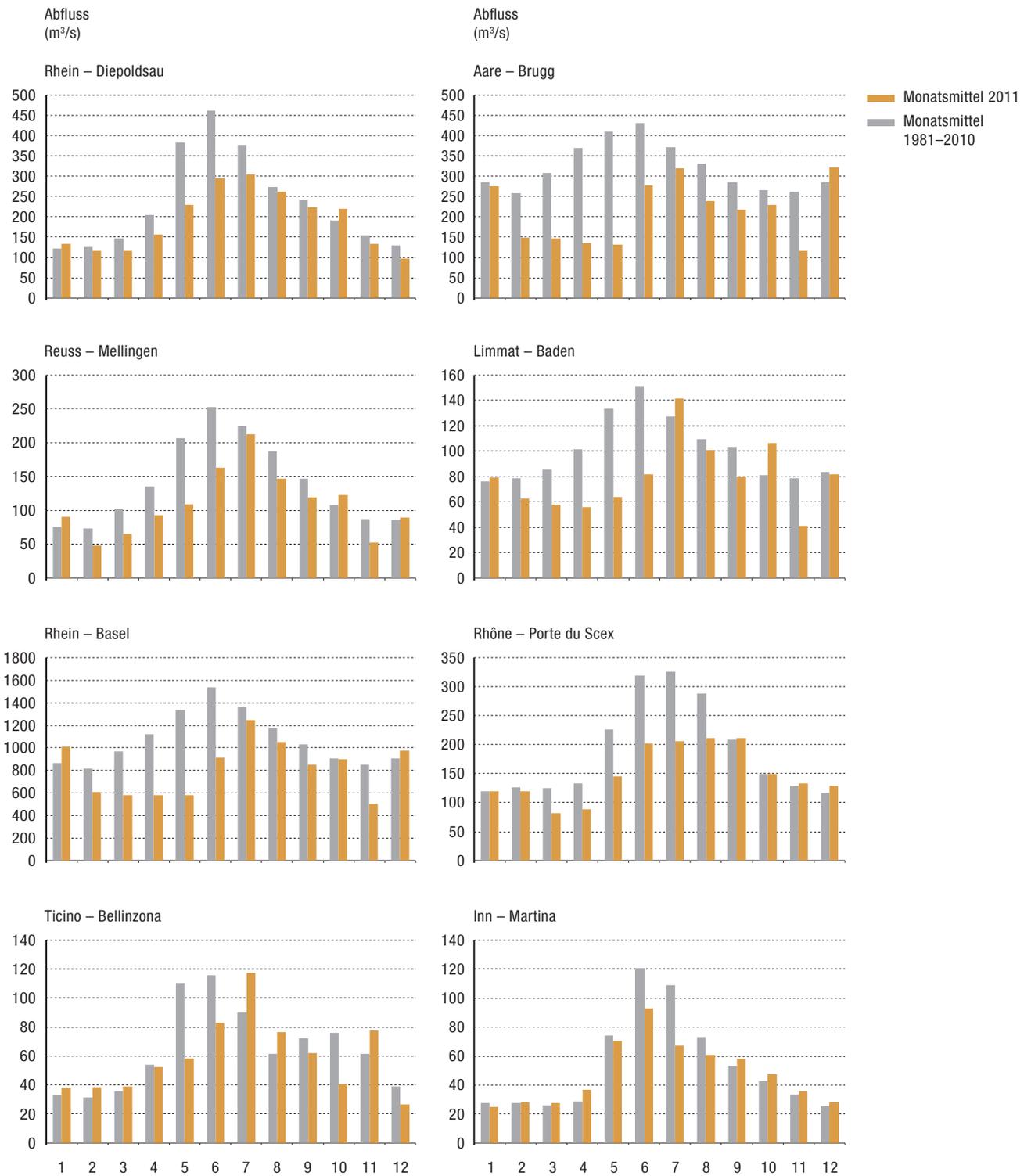
Im Juli wurden sowohl kleinste Tagesmittel als auch grösste Abflussspitzen gemessen. Kleinste Tagesmittel gab es in einigen wenigen Einzugsgebieten im Jura, während im Oberwallis und in Teileinzugsgebieten der Maggia grösste Juli-Maxima gemessen wurden. Etwas Bemerkenswertes ereignete sich an der Vispa – Visp: Im Juli ist sowohl die höchste Juli-Abflussspitze als auch der kleinste Juli-Tageswert in der Messreihe seit 1965 aufgetreten. Das in Kapitel 1.4 beschriebene Regen-auf-Schnee-Ereignis bescherte vielen Stationen – vorallem im Berner Oberland und in der Zentralschweiz – neue grösste Oktober-Abflussspitzen. Und die anhaltende Trockenheit von Mitte Oktober bis Anfang Dezember führte an einigen Messstellen zu neuen kleinsten November- und Dezember-Tagesmitteln.

Abflussverhältnisse ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete



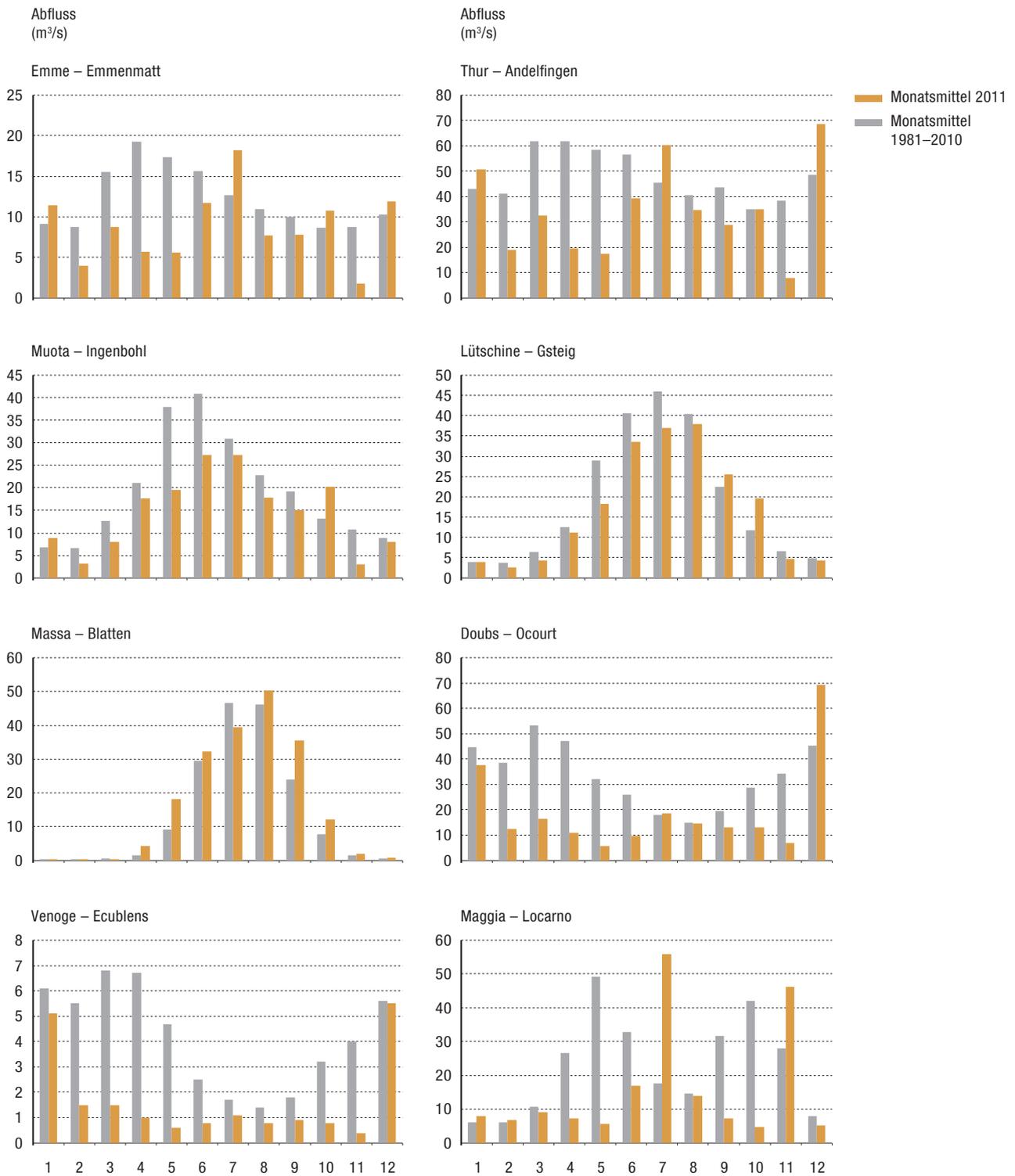
**Abb. 4.2** Jahresmittel 2011 im Vergleich zum mittleren Abfluss der langjährigen Normperiode 1981–2010 ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete [%].

### Monatsmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete



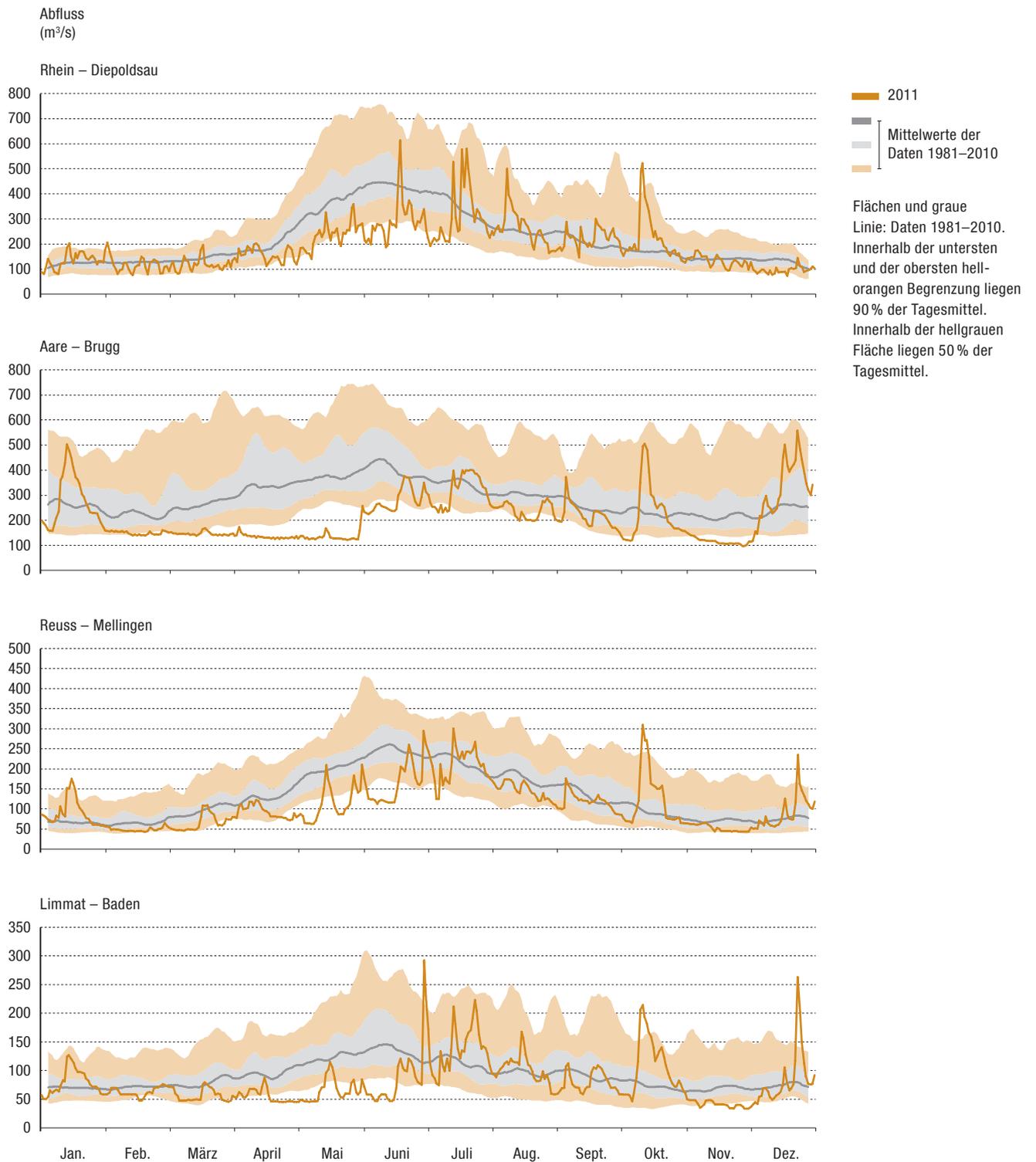
**Abb. 4.3** Monatsmittel 2011 der Abflussmengen (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der lang-jährigen Normperiode 1981-2010 (grau).

### Monatsmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete



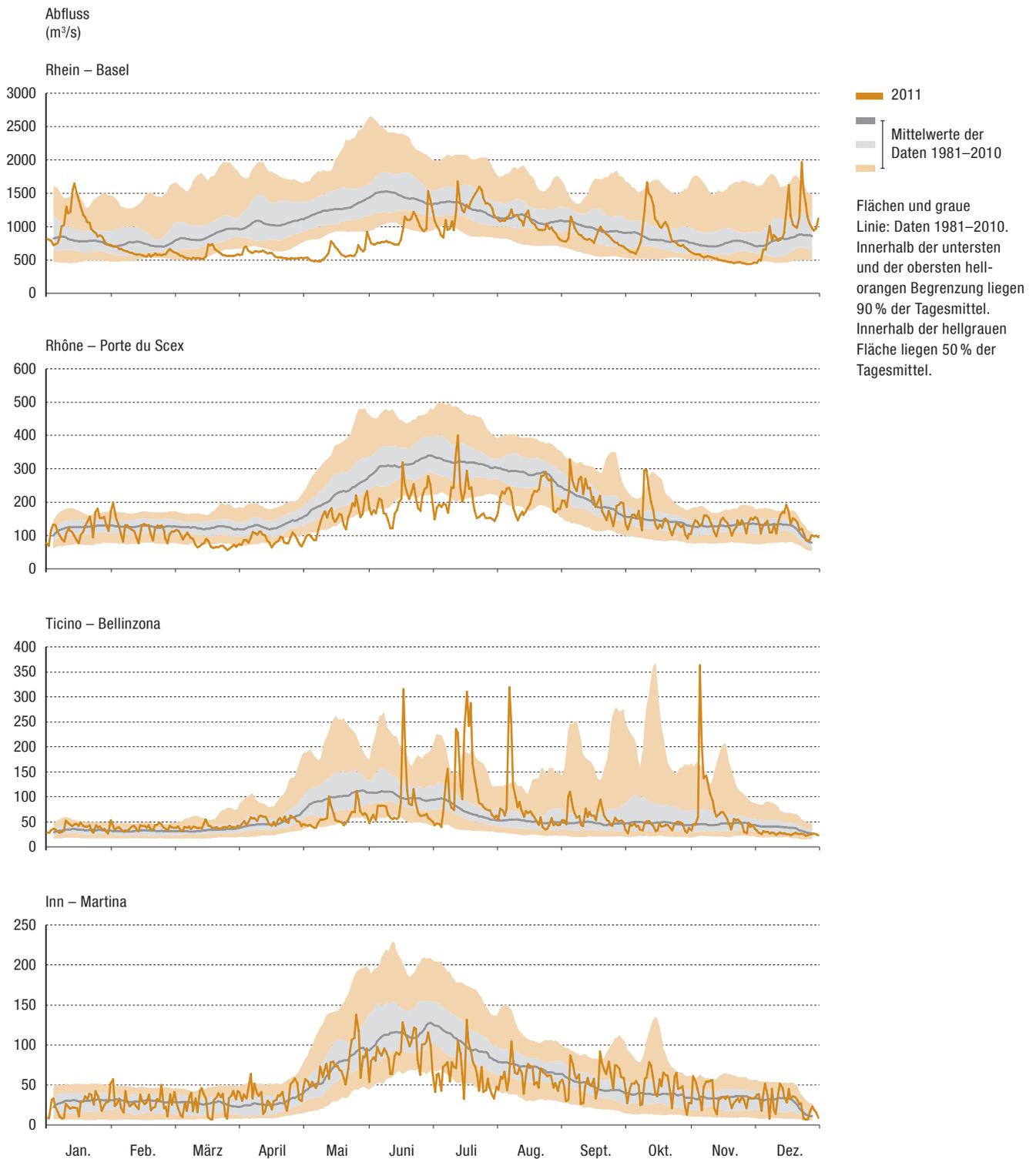
**Abb. 4.4** Monatsmittel 2011 der Abflussmengen (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau).

### Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete (1/2)



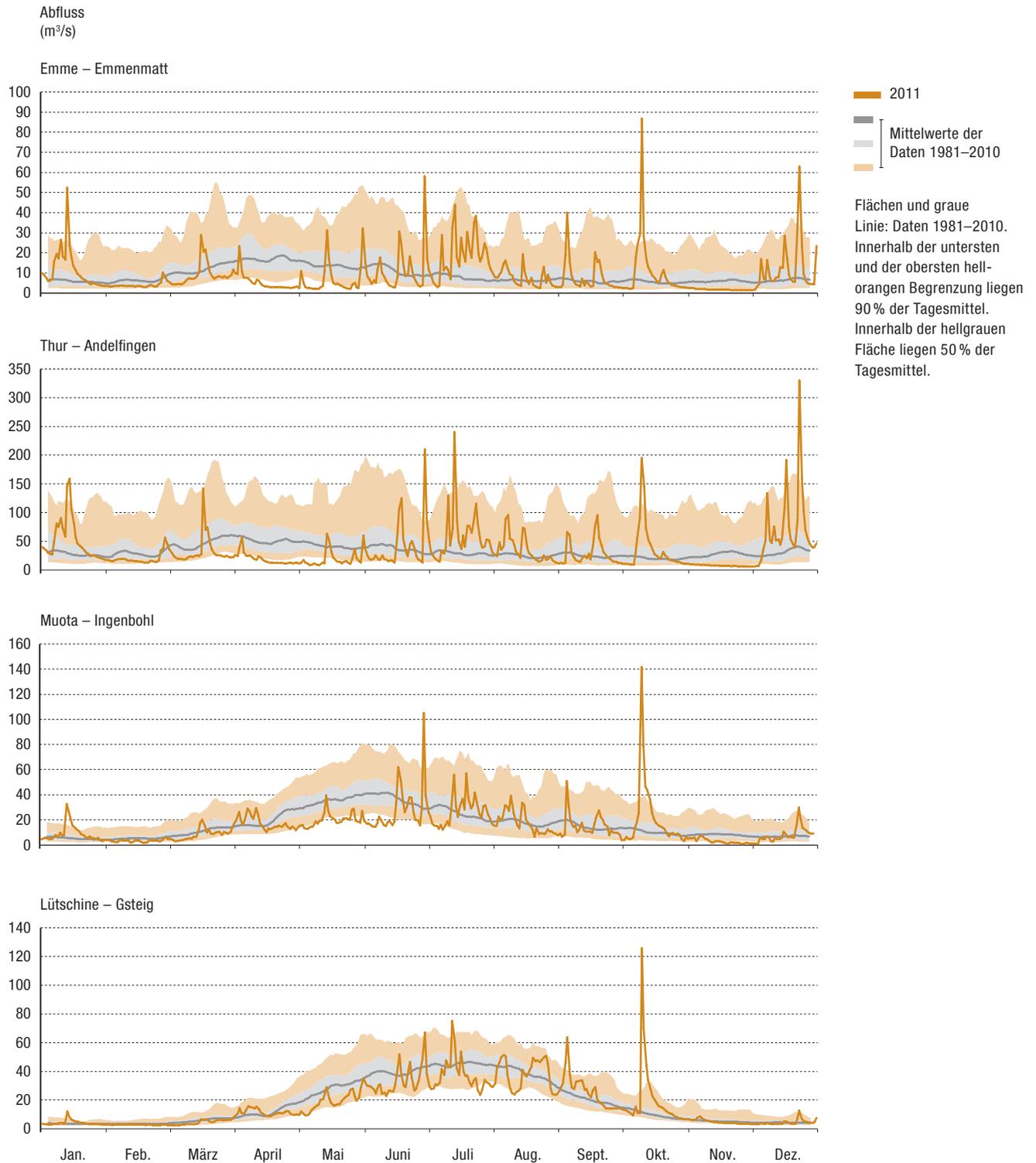
**Abb. 4.5** Tagesmittel 2011 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

### Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter grosser Einzugsgebiete (2/2)



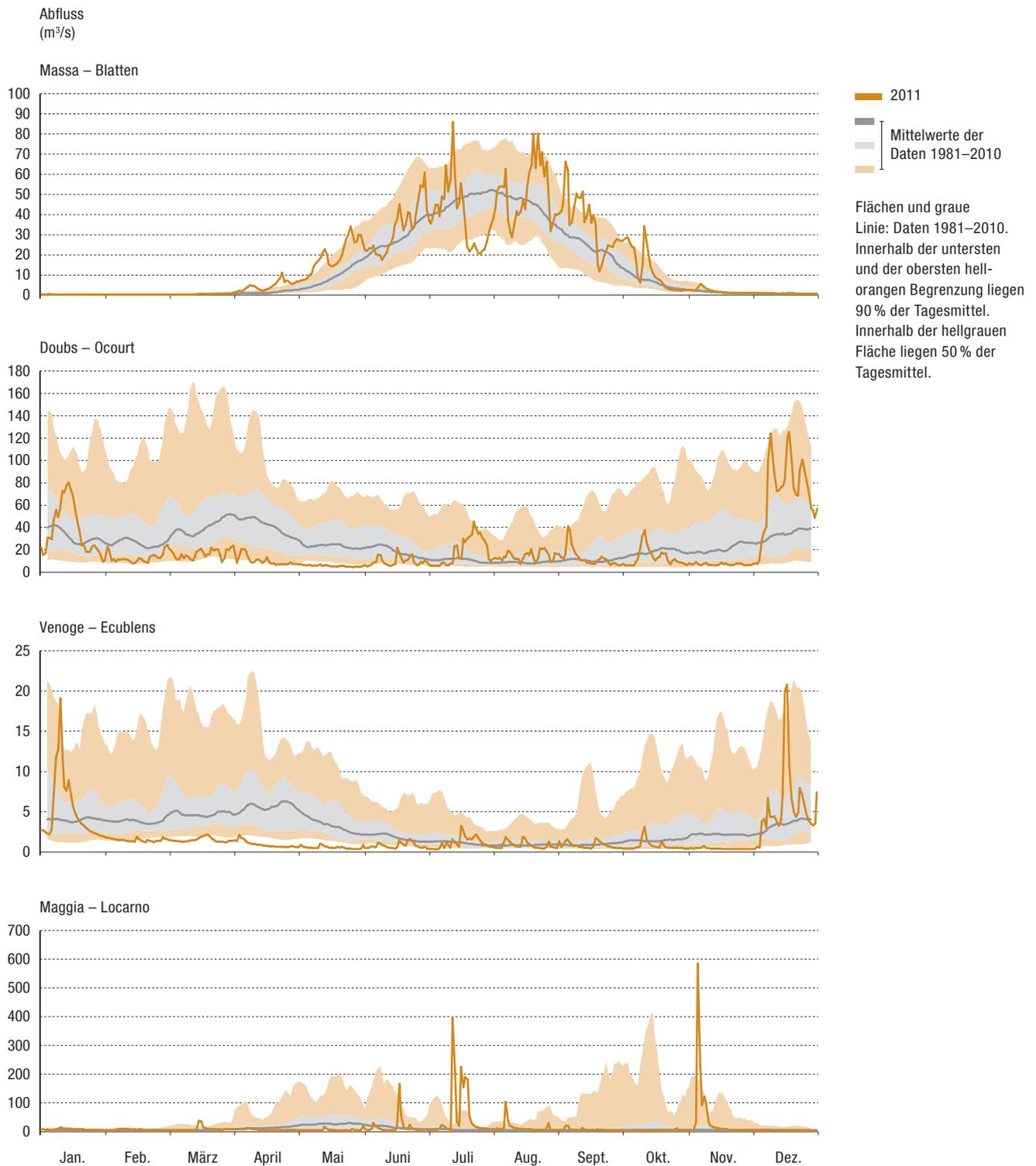
**Abb. 4.6** Tagesmittel 2011 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

## Tagesmittel der Abflussmengen ausgewählter mittelgrosser Einzugsgebiete (1/2)



**Abb. 4.7** Tagesmittel 2011 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 2011 der Abflussmengen (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

## 4.2 Seestände

Am Bodensee lag der mittlere Wasserstand im Jahr 2011 10 cm unter dem Mittel der Normperiode 1981–2010; am Neuenburgersee waren es 12 cm. Für den Neuenburgersee ist es das tiefste Jahresmittel der gesamten Messperiode (seit 1983). Für den Bodensee war 2011 kein extremes Jahr; das Jahresmittel 2011 lag immer noch 33 cm über dem kleinsten Jahresmittel der ganzen Messperiode. Seit 1930 war ein Viertel der Jahresmittel tiefer, drei Viertel waren höher als dasjenige von 2011. Beim Genfersee und beim Lago Maggiore war die Abweichung vom langjährigen Mittelwert klein.

Anfang Jahr lag der Wasserstand des Bodensees markant über dem langjährigen Mittelwert. Das Januarmittel war um 34 cm höher als der entsprechende Normwert. Die Pegel von April bis Juli waren dann unterdurchschnittlich, mit der grössten monatlichen Differenz im Juni (–64 cm). Im Herbst bewegte sich der Pegel recht nahe an den saisonalen Mittelwerten.

Im Neuenburgersee waren alle Monatsmittel der Wasserstände kleiner als die entsprechenden Werte der Normperiode. Die grössten monatlichen Abweichungen im Bereich von 25 bis 32 cm wurden von März bis Mai registriert.

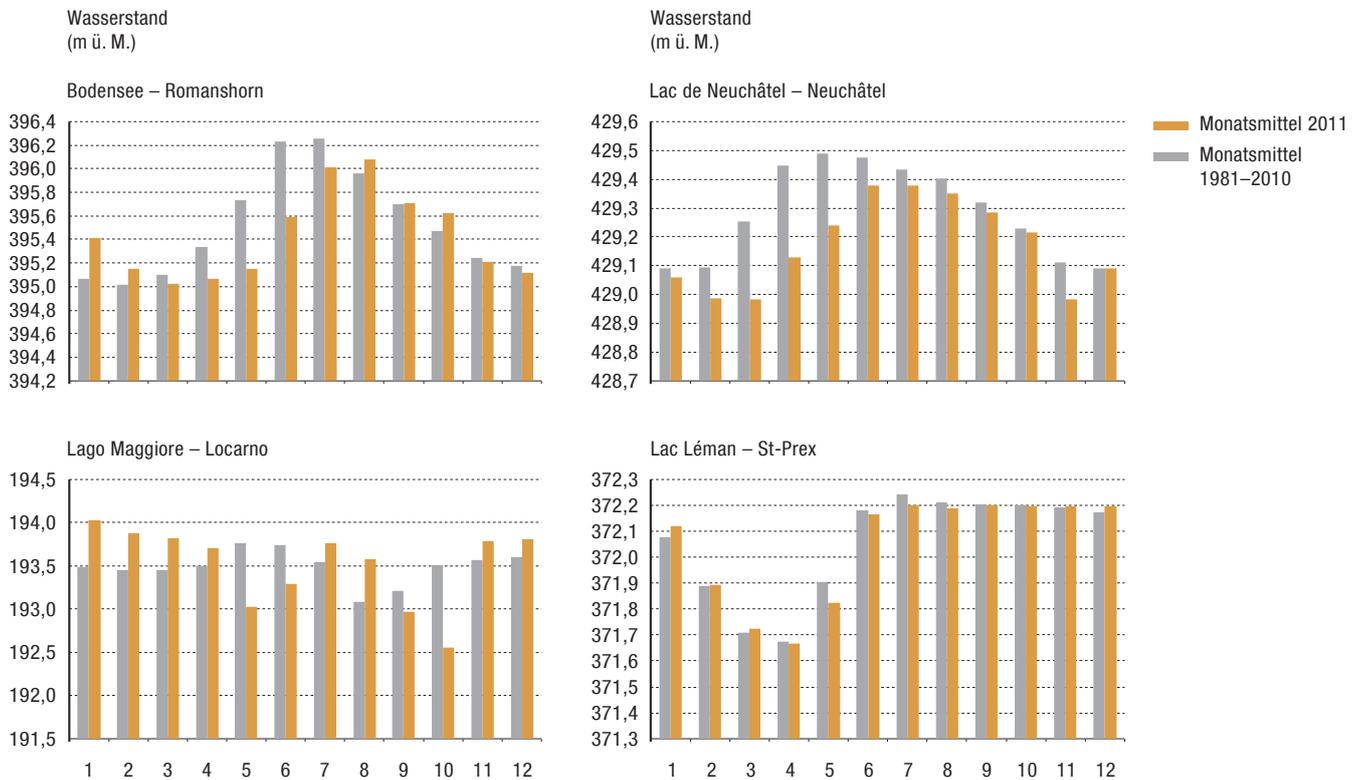
Der Wasserstand des Genfersees lag ausser im Mai (–9 cm) in jedem Monat nahe dem langjährigen Mittelwert. Der Lago Maggiore wies sowohl im Positiven als auch im Negativen recht grosse Differenzen zur Norm auf: Anfang Jahr lagen die Wasserstände deutlich über dem Durchschnitt, im Mai und Juni ebenso deutlich darunter; Juli und vor allem August waren wieder klar über dem Durchschnitt. Die grösste Abweichung zum Normwert wurde mit –95 cm im Oktober registriert.

Was bei den Monatsmittelwerten bereits diskutiert wurde, kann anhand der Abbildungen mit den täglichen Wasserständen (Abb. 4.10) eindrücklich nachvollzogen werden. Der Wasserstand des Bodensees lag in der zweiten Hälfte Januar über dem 95 %-Quantil. Anschliessend wurde ein kontinuierlicher Rückgang bzw. eine Stagnation auf einem Winterniveau bis Anfang Mai beobachtet. Während dieses Niveau für den

Winter normal ist, ist es für den Sommer unterdurchschnittlich. Bis Ende Juli waren wieder normale Wasserstände erreicht. Der stetige Rückgang des Seepiegels bis Ende Jahr wurde Mitte Oktober während eines Hochwasserereignisses unterbrochen (Kapitel 1.4).

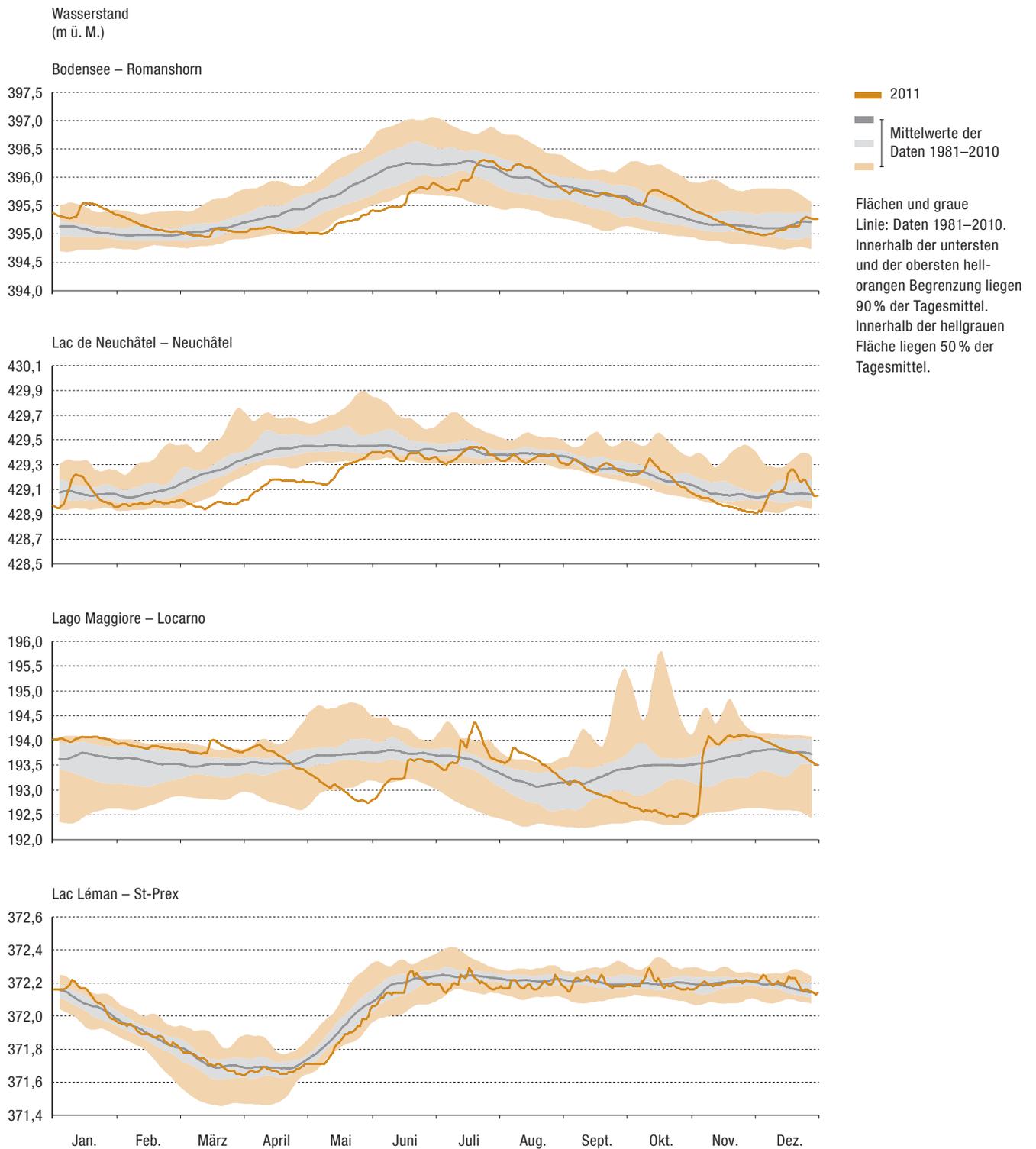
Am Neuenburgersee sind die ausgeprägten Niedrigwasserphasen sehr schön zu erkennen. Das Verharren auf einem tiefen Winterniveau führte zu neuen kleinsten Tageswerten im April und Mai. Neue Tagesminima gab es ausserdem im November.

### Monatsmittel der Wasserstände ausgewählter Seen



**Abb. 4.9** Monatsmittel 2011 der Wasserstände (orange) im Vergleich zu den Monatsmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010 (grau).

## Tägliche Wasserstände ausgewählter Seen



**Abb. 4.10** Tagesmittel 2011 der Wasserstände (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

### 4.3 Wassertemperaturen

Die Jahresmittel der Wassertemperaturen lagen 2011 verbreitet über dem langjährigen Durchschnitt (Abb. 4.11). Bei mehr als 20 Stationen des Temperaturmessnetzes wurde das bisher grösste Jahresmittel übertroffen.

Nur kleine Temperaturüberschüsse gab es in Einzugsgebieten mit einem relativ hohen Vergletscherungsgrad. Beispiele sind die Rhone bei Sion (+0,2 °C bei 18 % Vergletscherung) und der Inn bei S-Chanf (+0,3 °C bei 10 % Vergletscherung). Hohe Lufttemperaturen bewirken eine starke Schnee- und Gletscherschmelze, und damit gelangt viel kaltes Wasser in die Gewässer. Die grössten Temperaturüberschüsse von ca. 1,5 °C sind im Unterlauf von Aare und Rhein aufgetreten. Wenig Abfluss und hohe Lufttemperaturen führen auch in mittelgrossen Einzugsgebieten zu hohen Wassertemperaturen. Die Broye bei Payerne lieferte 2011 nur knapp 50 % des normalen Abflusses und hatte eine mittlere Jahrestemperatur, die 1,5 °C über dem Normwert lag.

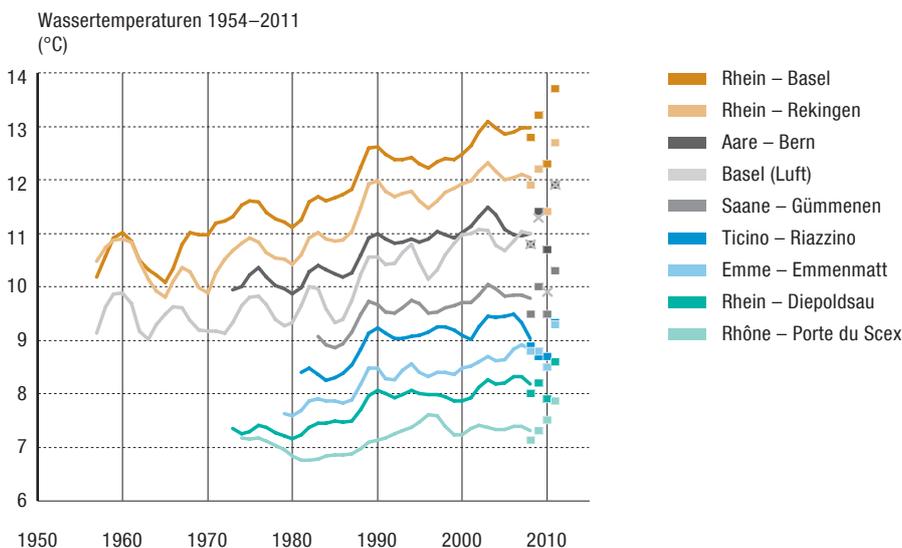
Die Abbildung 4.12 zeigt, dass es 2011 lange Phasen mit stark überdurchschnittlichen Wassertemperaturen gab. Der Rhein und die Aare weisen ein ähnliches Muster auf. Im April und Mai kam es zu deutlichen, länger anhaltenden Überschreitungen der 95 %-Quantil-Grenze. Zwei-, dreimal wurde diese etwa zwei Monate dauernde Phase kurz unterbrochen, als die Wassertemperaturen auf das Niveau des Mittelwertes zurückfielen. Die einzigen Phasen mit unterdurch-

schnittlichen Temperaturen gab es Anfang Jahr und von Mitte Juli bis Mitte August.

Die Temperaturen der Rhone bei Porte du Scex stiegen ab Mitte März bis Mitte Juli immer wieder markant über das langjährige Mittel. Im Oktober wurden auch unterdurchschnittliche Werte gemessen. Die Bandbreite, in der sich die Temperaturen bewegen, ist bei der Rhone allerdings viel kleiner als beim Rhein. Die Differenz zwischen den grössten (Juli 9,8 °C) und dem kleinsten (Januar 4,1 °C) Monatsmittel (Mittelwerte für die ganze Messperiode) beträgt bei der Rhone weniger als 6 °C, beim Rhein bei Rekingen sind es 16 °C (August 20,1 °C; Februar 4,1 °C).

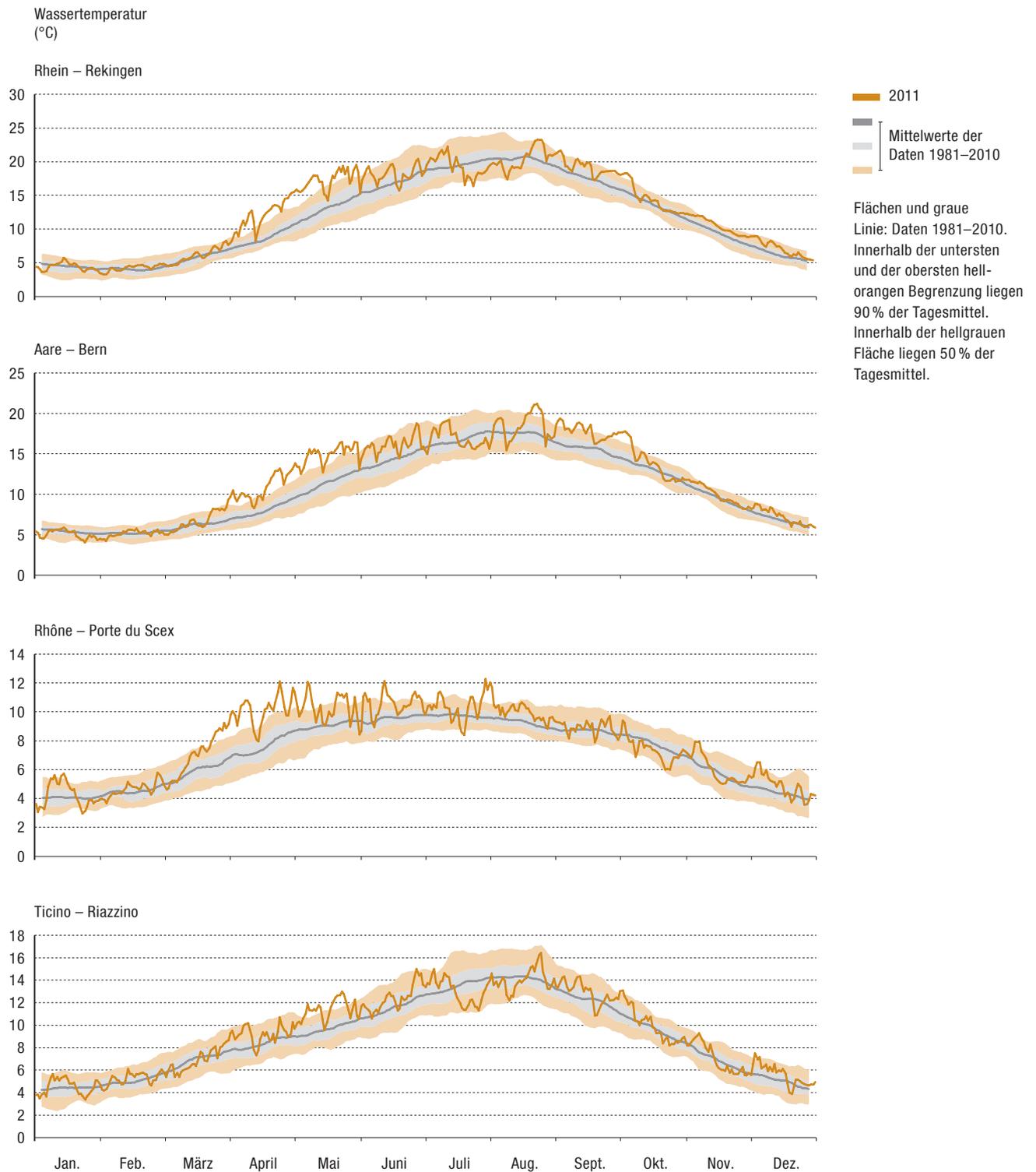
Im Ticino bei Riazzino bewegten sich die Temperaturen beinahe während des ganzen Jahres in einem engen Band zwischen dem 5 %- und dem 95 %-Quantil. Einzig im Mai lagen die Temperaturen während zwei mehrtägiger Phasen oberhalb der 95 %-Quantil-Grenze.

In vielen Einzugsgebieten brachte das Jahr 2011 neue Monatsmaxima der Wassertemperaturen. Im Mai wurden bei knapp 20 Stationen neue Maxima gemessen; im September und Oktober waren es je etwa 10 Stationen mit neuen Spitzenwerten.



**Abb. 4.11** Die Entwicklung der Wassertemperaturen von 1954 bis 2011 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 2011 der Wassertemperatur (orange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der langjährigen Normperiode 1981–2010.

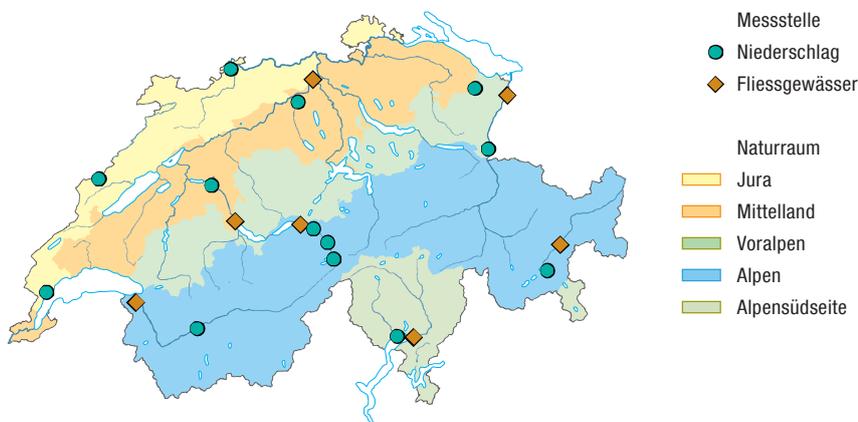
#### 4.4 Stabile Isotope

Die stabilen Wasserisotope sind geeignet, in regionalen Klima-, Umwelt- und Gewässerstudien die Herkunft der Wasserkomponenten zu bestimmen. Im Rahmen des NAQUA-Moduls ISOT wird die langjährige regionale Entwicklung von Deuterium ( $^2\text{H}$ ) und Sauerstoff-18 ( $^{18}\text{O}$ ) an 13 repräsentativen Niederschlags- und 7 Fliessgewässermessstellen erhoben (Abb. 4.13), wodurch Referenzdaten für solche Untersuchungen zur Verfügung gestellt werden können.

Im Niederschlag ist ein Anstieg der  $\delta^2\text{H}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen 1980 und 2005 an allen Messstellen zu beobachten. Seit 2005 zeigen die  $\delta$ -Werte dagegen keinen Trend mehr. Der Jahresgang der stabilen Isotope im Niederschlag des Jahres 2011 zeichnete sich landesweit durch eine aussergewöhnlich lange Periode von Frühling bis Herbst mit überdurchschnittlichen  $\delta$ -Werten aus. Dies widerspiegelt den Wärmeüberschuss in dieser Zeit.

In Fliessgewässern ist ein genereller Anstieg der  $\delta^2\text{H}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von 1994 bis 2008 erkennbar (z. B. Aare, Rhein, Rhone). Jedoch ist auch hier seit 2008 kein Trend mehr ersichtlich. Der Jahresgang der stabilen Isotope des Jahres 2011 im Rhein oberhalb des Bodensees, in der Rhone oberhalb des Genfersees und im Ticino wies die tiefsten  $\delta$ -Werte im Frühling während der Schneeschmelze auf und die höchsten  $\delta$ -Werte infolge der Niederschläge im Juli und August.

Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA (Modul ISOT)



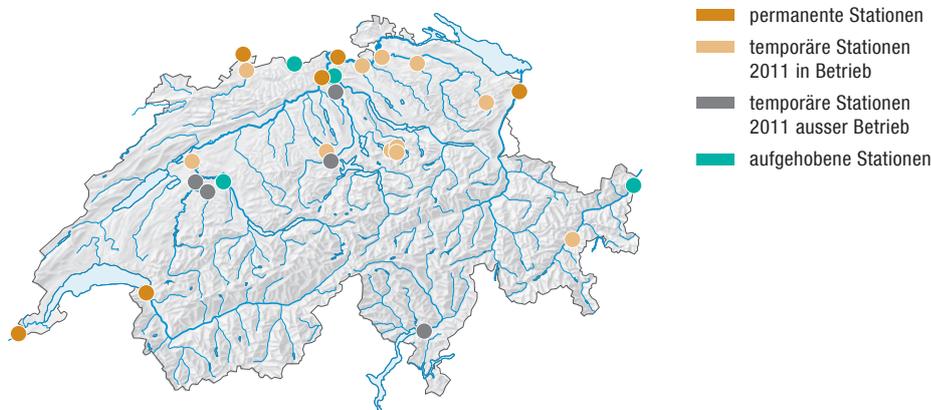
**Abb. 4.13** Messstellen des NAQUA-Moduls ISOT zur Beobachtung der Isotope im Niederschlag und in Fliessgewässern der Schweiz, Stand 2011.

#### 4.5 Wasserqualität / physikalische und chemische Eigenschaften

Die Wasserqualität der Schweizer Flüsse ist generell gut. Die Belastung mit Nährstoffen hat in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen. Der Eintrag von Mikroverunreinigungen ist jedoch nach wie vor eine Herausforderung. Ausserdem werden bei Regenereignissen in kleineren Gewässern auch Spitzenbelastungen von Pflanzenschutzmitteln und Bioziden nachgewiesen.

Zustand und Entwicklung der Qualität der Schweizer Fliessgewässer werden vom BAFU im Rahmen der Nationalen Daueruntersuchung Fliessgewässer (NADUF) an 17 Messstellen und zusammen mit den Kantonen im Rahmen der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) an 111 Messstellen erfasst. Neben der Beobachtung der Entwicklungen der Wasserinhaltsstoffe haben die Messungen zum Ziel, die Wirksamkeit von Gewässerschutzmassnahmen zu beurteilen. Analysen zur Wasserqualität fokussieren daher auf längerfristige Veränderungen und weniger auf saisonale Schwankungen. Diese Analysen werden deshalb nicht regelmässig im hydrologischen Jahrbuch publiziert. Weiterführende Informationen und Daten sind im Internet verfügbar (S. 35).

Messstellen der Nationalen Daueruntersuchung Fliessgewässer (NADUF)



**Abb. 4.14** Messstellen der Nationalen Daueruntersuchung Fliessgewässer (NADUF) zur Beobachtung der Wasserqualität in der Schweiz, Stand 2011.

# 5 > Grundwasser

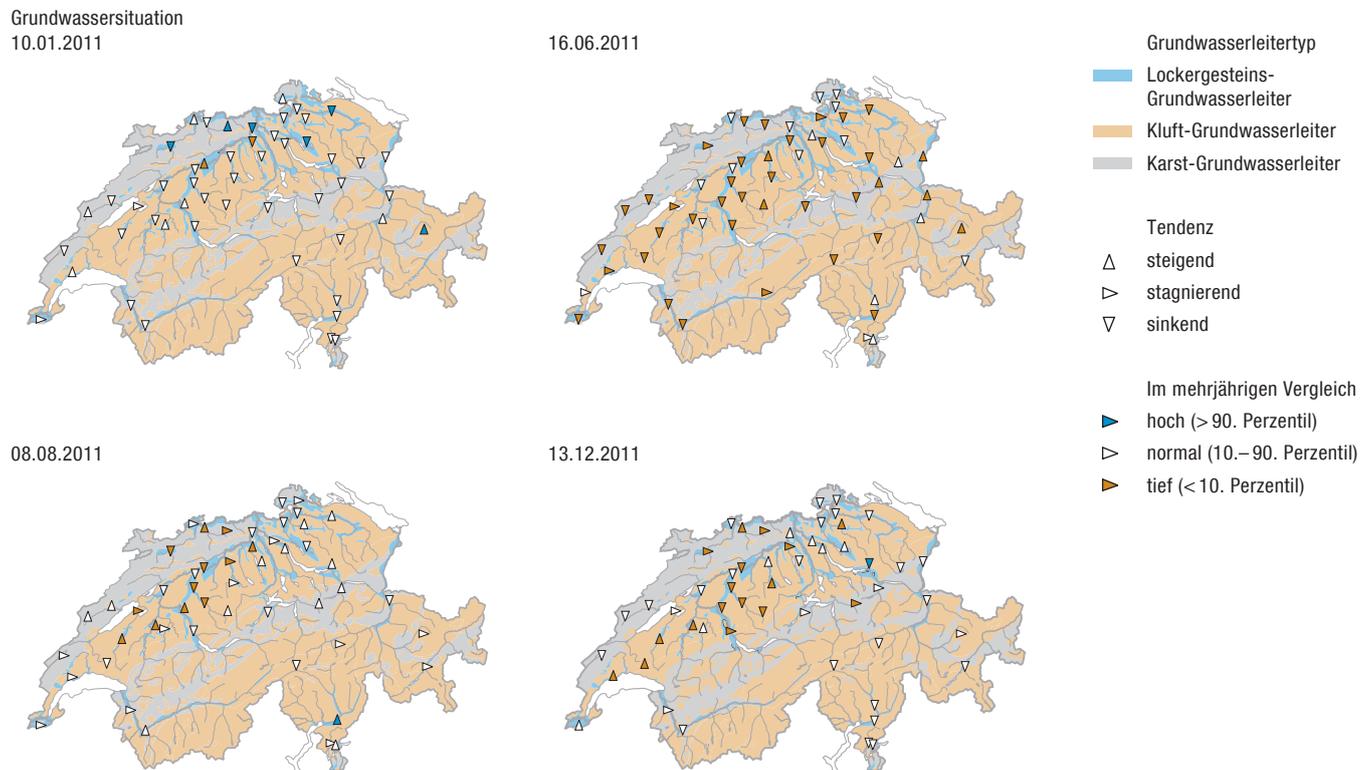
*In der Schweiz lagen im Jahr 2011 die Grundwasserstände und Quellschüttungen infolge der lang anhaltenden Trockenheit tief.*

## 5.1 Grundwasserquantität

Die kontinuierliche Beobachtung von Grundwasserständen und Quellschüttungen an rund 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, etwa die prognostizierte Zunahme von Extremereignissen wie Hochwasser und Trockenperioden, auf die Grundwasserressourcen aufgezeigt werden.

Die längerfristige Betrachtung von Grundwasserständen und Quellschüttungen lässt deutliche Fluktuationen mit einer gewissen Periodizität erkennen. So lösen sich im Grundwasser der Schweiz regelmässig mehrjährige Niedrigstand- und Hochstandsituationen ab. Zwischen solchen Situationen liegt meist ein Übergangsbereich, in dem für eine gewisse Zeit durchschnittliche Grundwasserstände und Quellschüttungen auftreten.

In der Schweiz lagen im Jahr 2011 die Grundwasserstände und Quellschüttungen infolge der lang anhaltenden Trockenheit tief. Der Jahresverlauf 2011 der Grundwasserstände und Quellschüttungen sah wie folgt aus:



**Abb. 5.1** Grundwasserstände und Quellschüttungen sowie deren Trend an vier Stichtagen im Jahr 2011 und im Vergleich zur Messperiode 1991–2010.

Ausgehend von normalen Grundwasserständen zu Beginn des Jahres 2011 (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 10.01.2011) sanken die Grundwasserstände infolge des Niederschlagsdefizits seit Jahresbeginn stark ab. Die Grundwasserstände und Quellschüttungen waren im Vergleich zum Hitzesommer 2003 im Mai und Juni 2011 bedeutend tiefer, da sie 2003 von einem höheren Ausgangsniveau zu Jahresbeginn ausgegangen waren. So lagen in den kleinen Flusstälern des Jura, des Mittellandes und des Alpenvorlandes inkl. Tessin die Grundwasserstände im Mai und Juni 2011 im Vergleich zu den langjährigen Grundwasserständen für diese beiden Monate aussergewöhnlich tief (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 16.06.2011). In den Tälern der grossen Alpenflüsse (Aare, Reuss, Rhein) waren die Grundwasserstände infolge des Niederschlagsdefizits und der geringen Schneeschmelze ebenfalls tief (siehe dazu auch Indikator «Tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen», Kapitel 1.3). Einen sehr starken Rückgang der Schüttung verzeichneten Karstquellen im Jura und Lockergesteinsquellen im Mittelland, die aus oberflächennahen Grundwasservorkommen gespeist werden. Die Kluftquellen reagierten im Allgemeinen weniger stark auf die Trockenheit der ersten Jahreshälfte.

Die Grundwasserstände und Quellschüttungen normalisierten sich in der Ost- und Zentralschweiz im Laufe der zunehmenden Niederschläge im Juli und August 2011; in der Nordwestschweiz und im Broyetal lagen sie jedoch weiterhin tief (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 08.08.2011). Infolge der anhaltenden Trockenheit im Herbst 2011 waren in der

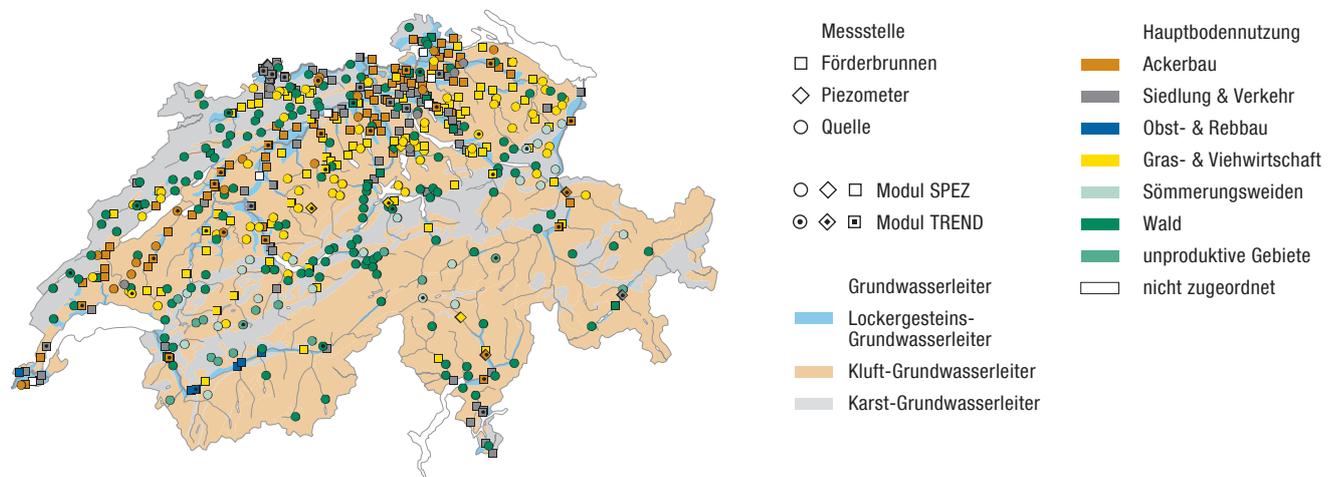
Schweiz bis Ende Dezember 2011 verbreitet tiefe Grundwasserstände und Quellschüttungen zu beobachten (Abb. 5.1, Grundwassersituation am 13.12.2011).

## 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. 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 deshalb nicht im Rahmen des hydrologischen Jahrbuchs publiziert. Weiterführende Informationen und Daten sind im Internet verfügbar.

Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA  
(Module TREND und SPEZ)



**Abb. 5.2** Messstellen der NAQUA-Module TREND und SPEZ zur Beobachtung der Grundwasserqualität mit Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet und Grundwasserleitertyp, Stand 2011.

## > Anhang

### Glossar

#### 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 Wasser-Isotope im Wasserkreislauf, d. h. im Niederschlagswasser, in Fließgewässern sowie im Grundwasser.

#### Quantil

Ein Quantil ist ein Lagemass in der Statistik. Ein Quantil 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.

#### $^2\text{H}$ , $^{18}\text{O}$

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

$\delta$ -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 hydrometrischen Messnetzen des BAFU sowie aktuelle und historische Daten sind im Internet zu finden unter:

[www.bafu.admin.ch/hydrologischesjahrbuch](http://www.bafu.admin.ch/hydrologischesjahrbuch)

- > Aktuelle und historische Messdaten:  
[www.hydrodaten.admin.ch](http://www.hydrodaten.admin.ch)
- > Hydrologisches Bulletin des BAFU:  
[www.hydrodaten.admin.ch/warnungen-vorhersagen](http://www.hydrodaten.admin.ch/warnungen-vorhersagen)
  - > Hydrologisches Bulletin
- > Grundwasserbulletin des BAFU:  
[www.bafu.admin.ch/grundwasserbulletin](http://www.bafu.admin.ch/grundwasserbulletin)
- > Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA:  
[www.bafu.admin.ch/naqua](http://www.bafu.admin.ch/naqua)
- > Ergebnisse der Nationalen Daueruntersuchung der Fliessgewässer (NADUF):  
[www.bafu.admin.ch/naduf](http://www.bafu.admin.ch/naduf)
- > Indikatoren Gewässer:  
[www.bafu.admin.ch/indikatoren\\_gewaesser](http://www.bafu.admin.ch/indikatoren_gewaesser)
- > Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz (CH2011):  
[www.ch2011.ch](http://www.ch2011.ch)
- > Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz (CCHydro):  
[www.bafu.admin.ch/projekt-cchydro](http://www.bafu.admin.ch/projekt-cchydro)