

> Hitze und Trockenheit im Sommer 2015

Auswirkungen auf Mensch und Umwelt



> Hitze und Trockenheit im Sommer 2015

Auswirkungen auf Mensch und Umwelt

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Eine Koproduktion von

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Bundesamt für Gesundheit (BAG)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS)

Bundesamt für Statistik (BFS)

Bundesamt für Landwirtschaft (BLW)

Bundesamt für Energie (BFE)

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH)

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Universität de Fribourg

Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut Swiss TPH

Projektgruppe

Roland Hohmann (Projektleitung) und Martin Barben (BAFU),

Markus Hohl (BABS), Damiano Urbinello (BAG)

Autoren

Kapitel 1: Oliver Graf (dialog:umwelt) und Roland Hohmann (BAFU);

Kapitel 2.1: Stephan Bader (MeteoSchweiz);

Kapitel 2.2: Martin Barben, Thilo Herold, Adrian Jakob, Caroline Kan, Päivi Rinta, Marc Schürch und Stephanie Zimmermann (alle BAFU), Martin Hirschi, René Orth und Sonia I. Seneviratne (alle ETH Zürich), Ursula Schönenberger (Eawag);

Kapitel 2.3: Hugo Raetzo (BAFU), Matthias Huss (Universität de Fribourg und ETH Zürich), Jeannette Nötzli und Marcia Phillips (beide WSL-SLF), Benno Staub (Universität de Fribourg);

Kapitel 3.1: Samuel Zahner (BAFU);

Kapitel 3.2: Daniel Felder (BLW);

Kapitel 3.3: Michael Reinhard (BAFU);

Kapitel 3.4: Gian-Reto Walther (BAFU);

Kapitel 3.5: Rudolf Weber (BAFU);

Kapitel 3.6: Ana M. Vicedo-Cabrera, Martina Ragetti und Martin Rösli (Swiss TPH), Damiano Urbinello (BAG), Markus Hohl (BABS);

Kapitel 3.7: Lukas Gutzwiller und Christoph Plattner (BFE);

Kapitel 4: Roland Hohmann (BAFU) und Oliver Graf (dialog:umwelt).

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2016: Hitze und Trockenheit im Sommer 2015.

Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1629: 108 S.

Redaktion

Oliver Graf dialog:umwelt

Korrektorat

Jacqueline Dougoud

Gestaltung

Magma – die Markengestalter

Dank

Wir danken allen kantonalen Fachstellen, die sich an der Befragung zu den Auswirkungen des Sommers 2015 beteiligt haben. Wertvolle Beiträge lieferte auch die Medienanalyse von Frau Madlaina Juvalta von der WSL. Ohne diese Inputs hätte insbesondere das Kapitel 3.1 «Wasserwirtschaft» nicht erstellt werden können. Das Kapitel 3.4 «Biodiversität» wäre ohne den Input der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Umfrage zu den Auswirkungen des Sommers 2015 nicht möglich gewesen. An dieser Stelle sei allen diesen Personen herzlich gedankt. Die Betreiber der Kernkraftwerke haben uns für das Kapitel 3.7 «Stromproduktion» freundlicherweise Angaben zu den witterungsbedingten Produktionseinbussen bekannt gegeben. Wir danken auch allen anderen Personen, die in der einen oder anderen Form zum Gelingen dieses Berichts beigetragen haben.

Titelfoto

Leute geniessen die Abendsonne an einer Buvette am Unteren Rheinweg in Basel am Freitag, 3. Juli 2015. KEYSTONE, Georgios Kefalas

Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

www.bundespublikationen.admin.ch

Art.-Nr. 810.200.023d

www.bafu.admin.ch/uz-1629-d

Klimaneutral und VOC-arm gedruckt auf Recyclingpapier

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2016

> Inhalt

> Abstracts	5
> Vorwort	6
1	Einleitung 9
2	Hitze und Trockenheit im Sommer 2015 12
2.1	Witterung und klimatische Einordnung 12
2.2	Wasser 24
2.3	Gletscher und Permafrost 43
3	Auswirkungen von Hitze und Trockenheit 49
3.1	Wasserwirtschaft 49
3.2	Landwirtschaft 55
3.3	Wald 65
3.4	Biodiversität 71
3.5	Luftqualität 77
3.6	Gesundheit 82
3.7	Stromproduktion 89
4	Ausblick 95
4.1	Der Sommer 2015 als Vorbote des Klimawandels 95
4.2	Schlussfolgerungen 100
> Literatur	104

|

|

|

|

> Abstracts

The summer of 2015 is the second warmest summer ever recorded in Switzerland after 2003. It is characterized by low water levels and low levels of drainage water, strong glacier shrinkage and a record-high warming of permafrost. Heat and drought affect health, agriculture, forest fire risk, biodiversity, air quality and energy production. Because of the summer heat, around 800 additional deaths are to be lamented in 2015 than in a normal year. The water supply situation in 2015 is less tense than in 2003. By the mid-21st century, conditions such as those in summer of 2015 are likely to become the norm.

Der Sommer 2015 ist in der Schweiz nach 2003 der zweitwärmste Sommer, der je gemessen wurde. Er ist geprägt durch niedrige Pegelstände und geringe Abflussmengen in den Gewässern, starken Gletscherschmelze und eine rekordhohe Erwärmung von Permafrostböden. Hitze und Trockenheit haben Auswirkungen auf Gesundheit, Landwirtschaft, Wald, Biodiversität, Luftqualität und Stromproduktion. Wegen der Sommerhitze sind 2015 rund 800 Todesfälle mehr zu beklagen, als in einem normalen Jahr. Bei der Wasserversorgung ist die Lage 2015 weniger angespannt als 2003. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts dürften Verhältnisse wie im Sommer 2015 zum Normalfall werden.

L'été 2015 est, après celui de 2003, le deuxième été le plus chaud jamais enregistré en Suisse. Il se distingue par les bas niveaux d'eau et les faibles débits des cours d'eau, par une forte fonte des glaciers et par un réchauffement record des terrains à pergélisol. Canicule et sécheresse ont des impacts sur la santé, l'agriculture, le risque d'incendie de forêt, la biodiversité, la qualité de l'air et la production d'électricité. La canicule de l'été 2015 a provoqué quelque 800 décès de plus que ce qui aurait été attendu lors d'une année normale. En matière d'approvisionnement en eau, la situation s'est révélée moins tendue en 2015 qu'en 2003. Les conditions météorologiques de l'été 2015 devraient devenir la norme d'ici le milieu de ce siècle.

In Svizzera l'estate del 2015 è stata la seconda più calda dall'inizio delle misurazioni, dopo quella del 2003. È stata contrassegnata da livelli delle acque bassi e deflussi scarsi, un forte scioglimento dei ghiacciai e un riscaldamento da primato dei suoli di permafrost. Il caldo e la siccità hanno effetti sulla salute, l'agricoltura, il pericolo d'incendio di boschi, la biodiversità, la qualità dell'aria e la produzione di energia elettrica. L'estate canicolare 2015 ha causato 800 decessi in più rispetto a un anno nella media. Per quanto concerne l'approvvigionamento di acqua, nel 2015 la situazione è stata meno grave che nel 2003. Entro la metà del XXI secolo condizioni come quelle che hanno caratterizzato l'estate 2015 diventeranno la norma.

Keywords:

heat, drought, climate, water, glacier, health, water supply, agriculture, forest, biodiversity, air pollution control, hydroelectric power, adaptation

Stichwörter:

Hitze, Trockenheit, Klima, Gewässer, Gletscher, Gesundheit, Wasserversorgung, Landwirtschaft, Wald, Biodiversität, Luftreinhaltung, Wasserkraft, Anpassung

Mots-clés:

canicule, sécheresse, climat, eaux, glaciers, santé, approvisionnement en eau, agriculture, forêts, biodiversité, protection de l'air, force hydraulique, adaptation

Parole chiave:

canicola, siccità, clima, acque, ghiacciai, salute, approvvigionamento idrico, agricoltura, bosco, biodiversità, protezione dell'aria, forza idrica, adattamento

> Vorwort

Der Sommer 2015 wird wegen des anhaltend schönen Wetters, der Hitze und der Trockenheit in Erinnerung bleiben. In der Schweiz war er nach 2003 der zweitheisseste Sommer, der Juli war in einigen Landesteilen sogar der heisseste je gemessene Monat. Die Medien berichteten über Wasserknappheit in der Landwirtschaft, Hitzeinseln in den Städten, Chancen und Risiken für den Weinbau, Rettungsmassnahmen für Fische, beschleunigte Gletscherschmelze.

Die Hitzeperiode im Sommer 2015 reiht sich nahtlos ein in die beobachtete Klimaerwärmung. Was vor 50 Jahren als noch sehr unwahrscheinlich galt, dürfte bis Mitte des Jahrhunderts zum Normalfall werden. Wir brauchen daher zusätzliche präventive und vorsorgliche Massnahmen, um gut auf die erwartete Zunahme von Hitze und Trockenheit vorbereitet zu sein. Der Bundesrat hat den Weg mit seiner Strategie «Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz» bereits aufgezeigt. Sie muss in den kommenden Jahren umgesetzt und weiterentwickelt werden.

Die aussergewöhnliche Witterung stellte die Schweiz vor Probleme, und es ist wichtig, die richtigen Lehren daraus zu ziehen, um künftige Ereignisse noch besser zu bewältigen. Bezüglich Trockenheit war die Situation 2015 weniger angespannt als 2003. Dies auch, weil die seither ergriffenen Massnahmen zur kurzfristigen Bewältigung der Wasserknappheit Wirkung zeigten. Anders bei der Hitze: Im Juli und August 2015 waren ähnlich viele hitzebedingte Todesfälle zu beklagen wie im Sommer 2003. In einigen Regionen wurden Hitzepläne aktiviert, welche die Betreuung besonders gefährdeter Personengruppen beinhalten. In der Genferseeregion konnte vermutlich durch diese verstärkten Massnahmen die Hitzesterblichkeit gegenüber dem Sommer 2003 deutlich gesenkt werden. Bund und Kantone müssen die Situation nun analysieren, damit alle betroffenen Regionen von den Erfahrungen profitieren können.

Die Sommerhitze macht vor allem der Bevölkerung in den Städten und Agglomerationen zu schaffen, denn der städtische Wärmeinseleffekt verstärkt die Auswirkungen der hohen Temperaturen. Langfristig wird es darum gehen, diesen Wärmeinseleffekt zu minimieren und unsere Städte so zu gestalten, dass sie auch in einem wärmeren Klima eine angenehme Aufenthalts- und Lebensqualität bieten. Dazu müssen genügend Freiräume mit Grünflächen und Schattenplätzen geplant und gesichert werden – trotz der notwendigen Verdichtung nach innen und trotz der steigenden Bodenpreise. Zudem muss die Frischluftzufuhr und -zirkulation aus dem Umland gewährleistet sein.

All diese Anpassungsmassnahmen dienen aber letztlich nur der Symptombekämpfung. Der wichtigste Hebel im Kampf gegen die Zunahme von Hitze und Trockenheit ist und bleibt die Reduktion des Treibhausgasausstosses, denn dieser setzt bei der Ursache an. Nur wenn es uns gelingt, den Klimawandel zu begrenzen, sind Anpassungsmassnahmen möglich und bezahlbar. In Paris wurde 2015 ein neues Klimaschutzabkommen beschlossen. Die Schweiz wird diesem voraussichtlich 2017 beitreten. Bis 2030 wird sie ihren Treibhausgasausstoss um 50 % reduzieren, 30 % im Inland. Weitere Reduktionen werden folgen müssen, damit ein Sommer in den 2050er-Jahren nicht noch heisser wird als der Sommer 2015 war.

Marc Chardonens
Direktor
Bundesamt für Umwelt
(BAFU)

Pascal Strupler
Direktor
Bundesamt für Gesundheit
(BAG)

Benno Bühlmann
Direktor
Bundesamt für Bevölke-
rungsschutz (BABS)

Peter Binder
Direktor
Bundesamt für Meteo-
rologie und Kimatologie
(MeteoSchweiz)

Bernard Lehmann
Direktor
Bundesamt für Landwirt-
schaft (BLW)

|

|

|

|

1 > Einleitung

Die Schweiz wird 2015 zum zweiten Mal nach 2003 von einer markanten Hitzeperiode und einer ausgeprägten Trockenheit heimgesucht. Was heute noch als aussergewöhnliches Ereignis wahrgenommen wird, dürfte bis Mitte des 21. Jahrhunderts wegen des Klimawandels zum Normalfall werden. Die Analyse der Auswirkungen des Sommers 2015 auf Mensch und Umwelt ist deshalb eine wichtige Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel.

Der Begriff «Hitzesommer» war bis 2003 praktisch unbekannt. Dann übertrafen die Temperaturen des Sommers 2003 die grösste Sommerhitze früherer Jahre um ganze zwei bis drei Grad. Klimatologen registrierten den heissesten Sommer seit mindestens 500 Jahren, und man sprach von einem Ereignis, wie es höchstens einmal pro Jahrtausend vorkommt (ProClim 2005). Wenige Jahre später wird die Schweiz 2015 erneut von einem «Hitzesommer» heimgesucht. Dieser ist zwar etwas weniger intensiv, seine Auswirkungen sind aber in einigen Bereichen vergleichbar mit denen des Sommers 2003.

Der «Hitzesommer» betritt die Bühne

Auch medial meldet sich der «Hitzesommer» 2015 zurück, wie ein Blick in die Schweizer Mediendatenbank¹ zeigt. Für das Jahr 2003 finden sich zu den Stichworten «Hitzesommer» oder «été caniculaire» rund 350 Zeitungsartikel, für alle vorausgehenden Jahre seit Lancierung der Datenbank Mitte der 1990er-Jahre sind es gerade mal 26 Treffer. 2015 zählt man beinahe 1000 Zeitungsartikel zum Thema Hitzesommer.² Eine Auswertung von Medienbeiträgen und Medienanfragen, die 2015 beim Bundesamt für Umwelt eingegangen sind, lässt zudem im Juli einen deutlichen medialen Peak der Themen Temperaturrekorde, Trockenheit, Wasserstände, Waldbrandgefahr, Luftqualität, Klima, Gletscher und Auswirkungen auf Flora und Fauna erkennen, der sich teilweise noch bis in den August hinein fortsetzt. Im November kommt es schliesslich nochmals zu einer gesteigerten öffentlichen Aufmerksamkeit für die Folgen des aussergewöhnlichen Witterungsverlaufs – diesmal mit Fokus auf die Trockenheit (BAFU 2016a).

Hitze und Trockenheit 2015 im medialen Fokus

Einzelne Extremereignisse können nicht direkt auf den Klimawandel als Ursache zurückgeführt werden. Dennoch lässt sich aus vertieften Analysen von Ereignissen wie dem Hitzesommer 2003 oder dem heissen, von einem trockenen Herbst gefolgt Sommer 2015 im Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel viel lernen. Die Lehren aus dem Sommer 2003 wurden in einer Reihe von Publikationen gezogen (Bader 2004, BUWAL et al. 2004, Grize et al. 2005). Der vorliegende Bericht analysiert die meteorologischen, hydrologischen und glaziologischen Ereignisse des Sommers und des Herbstes 2015 (siehe Kap. 2) und dokumentiert die Folgen für die Wasserwirtschaft, die Landwirtschaft, den Wald, die Biodiversität, die Luftqualität,

Analyse mit Blick auf den Klimawandel

¹ Elektronischer Zugang über www.swissdox.ch

² Betrachtet man in der Schweizer Mediendatenbank nur die grossen Zeitungen und solche mit durchgehend erfassten Datenbeständen, so ergeben sich 2015 zu den Suchbegriffen «Hitzesommer» und «été caniculaire» rund ein Drittel Treffer mehr als 2003.

die Gesundheit und die Stromproduktion (Kap. 3). Um die Auswirkungen von Hitze und Trockenheit genauer abzuschätzen, wurden verschiedene Daten ausgewertet und Umfragen bei kantonalen und anderen Fachstellen gemacht. Wo möglich wurde bei den in Kapitel 3 versammelten Analysen nach den gleichen Methoden vorgegangen wie nach dem Hitzesommer 2003.

Kapitel 2 des Berichts erlaubt eine Einordnung der Sommertemperaturen von 2015 und der bis in den Herbst anhaltenden Trockenheit im Vergleich zu früheren Jahren und zum Hitzesommer 2003. Die Schweiz verzeichnet 2015 den zweitwärmsten Sommer seit Beginn der Messungen, wie in Kapitel 2.1 nachzulesen ist. In einzelnen Aspekten übertrifft die 2015 registrierte Hitze und Trockenheit sogar das Jahr 2003. So sind die Temperaturen während des Hochsommers im Juli und August die höchsten überhaupt, und der Juli bringt vielerorts eine unübertroffene Anzahl an Tropennächten. Die Trockenheit setzt sich zudem vielerorts bis gegen Jahresende fort. Wie Kapitel 2.2 ausführt, bleiben die Wassertemperaturen in den Flüssen und Bächen im Sommer 2015 nur wenig unter denjenigen von 2003, die Fliessgewässer ohne Gletschereinfluss führen ausgeprägtes Niedrigwasser, und die Pegelstände der nicht regulierten und kleinen Seen des Mittellands sind teilweise aussergewöhnlich tief. Die Gletscher verlieren im Sommer 2015 überdurchschnittlich viel Eis, es lösen sich in den Schweizer Alpen sehr viele Felsstürze, die Permafrostböden werden 2015 so warm wie noch nie seit Beginn der Messungen, und Blockgletscher bewegen sich sogar schneller als im Sommer 2003. All dies wird in Kapitel 2.3 ausgeführt.

Kapitel 3.1 zeigt, dass die Trinkwasserversorgung 2015 wegen Hitze und Trockenheit nur lokal und in geringem Ausmass unter Druck gerät. Mit einer intelligent vernetzten Wasserversorgung dürfte das Trinkwasser auch bei fortschreitendem Klimawandel für alle in genügender Menge vorhanden sein. Wasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung müssen regional zwar eingeschränkt werden, im Vergleich zu 2003 ist die Situation aber weniger angespannt. In einigen Kantonen haben sich zudem verbesserte Handlungsabläufe zur Bewältigung der Wasserknappheit eingespielt.

Für die Nutztiere bringt der Sommer 2015 ähnlich wie 2003 erhöhten Hitzestress, wie Kapitel 3.2 erklärt. Die Grünlanderträge sind wegen der Trockenheit teilweise reduziert. Im Flachland sind die Einbussen dabei grösser als in höheren Lagen. Im Ackerbau, wo der Bewässerungsbedarf gegenüber normalen Jahren stark steigt, müssen einzelne wichtige Kulturen wie Kartoffeln und Mais grosse Ertragseinbussen hinnehmen.

Kapitel 3.3 gibt einen Überblick über die Situation im Wald. Es werden zwar zahlreiche kleinere Waldbränden gemeldet, grössere Ereignisse bleiben jedoch aus, nicht zuletzt dank intensiver Information, Überwachung und ausgedehnter Feuerverbote. Die Anzahl der Befallsherde des Buchdruckers steigt vor allem in Teilen des Flachlands und des Juras gegenüber dem Vorjahr deutlich. Ob eine Massenvermehrung befürchtet werden muss, wird sich jedoch erst in den Folgejahren zeigen.

**Einordnung von
Witterung, Gewässerzustand
und Gletschern**

**Wasserversorgung 2015 weniger
angespannt als 2003**

**Hitzestress für Nutztiere,
hoher Bewässerungsbedarf
und Ertragseinbussen**

**Keine grösseren Wald-
brände, Entwicklung
von Schadorganismen offen**

Die Biodiversität wird durch den heissen und trockenen Sommer 2015 deutlich beeinflusst, wie in Kapitel 3.4 nachzulesen ist. Sofern sich ähnliche Bedingungen nicht unmittelbar wiederholen, sind allerdings keine dauerhaften Folgen zu befürchten. Die Kantone greifen bei Massnahmen zum Abfedern der Auswirkungen auf die Biodiversität verbreitet auf Erfahrungen aus dem Hitzesommer 2003 zurück.

Keine unumkehrbaren Auswirkungen auf Biodiversität erwartet

Kapitel 3.5 zeigt auf, dass sich die Situation beim Ozon dank der Begrenzung der Vorläufergase allmählich verbessert. Im Sommer 2015 werden zwar hohe Konzentrationen von Ozon gemessen, die Belastung liegt aber deutlich tiefer als im Sommer 2003.

2015 mit geringerer Luftbelastung als 2003

Als dramatischste Auswirkung des Sommers 2015 sind die vielen hitzebedingten Todesfälle zu nennen. Wie Kapitel 3.6 darlegt, werden in den Monaten Juni bis August 2015 rund 800 Todesfälle mehr registriert, als in einem normalen Jahr zu erwarten gewesen wären. Betroffen sind vorwiegend ältere Menschen. Die Sterblichkeit im Sommer 2015 ist vergleichbar mit derjenigen im Sommer 2003.

Auswirkungen auf die Sterblichkeit 2015 ähnlich wie 2003

Schliesslich zeigt Kapitel 3.7, dass die Laufwasserkraftwerke in der zweiten Hälfte des Jahres 2015 wegen der Trockenheit deutlich weniger Strom produzieren als üblich und Kleinwasserkraftwerke dort, wo Schmelzwasser fehlt, teilweise sogar ganz abgestellt werden müssen. Über das ganze Jahr betrachtet, liegt die Stromproduktion aber – unter anderem dank einer frühen Entleerung der Speicherseen im Herbst 2015 – trotzdem über dem Mittel der früheren Jahre.

Hohe Stromproduktion dank früher Entleerung der Speicherseen

Kapitel 4 ordnet die meteorologischen Verhältnisse des Sommers in die von Klimamodellen vorhergesehene Entwicklung ein und zieht Schlüsse aus dem Umgang mit Hitze und Trockenheit. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts dürften Verhältnisse wie im Sommer 2015 zum Normalfall werden. Insbesondere die Auswirkungen auf die Gesundheit sind auch 2015 gravierend und erfordern zusätzliche Massnahmen. Während die Bewältigung regional erfolgreich verlief, sind insgesamt dennoch zusätzliche Vorkehrungen nötig. Im Jahr 2015 führt der Umgang mit der Trockenheit kurzfristig zu weniger Spannungen als 2003, nicht zuletzt dank der Berücksichtigung von damals gemachten Erfahrungen. Mittel- und langfristig sind jedoch auch hier noch zusätzliche Anstrengungen nötig.

Trotz Erfolgen zusätzliche Massnahmen nötig

Entstanden ist der vorliegende Bericht durch Zusammenarbeit der Bundesämter für Umwelt (BAFU), für Gesundheit (BAG), für Bevölkerungsschutz (BABS), für Energie (BFE) und für Landwirtschaft (BLW), für Meteorologie und Klimatologie (Meteo-Schweiz) sowie des Schweizerischen Tropen- und Public Health-Instituts Swiss TPH, der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH), der Université de Fribourg, der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL und des Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF.

Zusammenarbeit mehrerer Bundesämter und Institute

2 > Hitze und Trockenheit im Sommer 2015

2.1 Witterung und klimatische Einordnung

Die Schweiz verzeichnet 2015 nach einem niederschlagsreichen Mai den zweitwärmsten Sommer seit Messbeginn im Jahr 1864, der Hochsommer mit den Monaten Juli und August ist sogar der wärmste überhaupt. Extreme Hitzeperioden mit zahlreichen Hitzetagen und einer vielerorts unübertroffenen Anzahl an Tropennächten bringt vor allem der Juli. Die Trockenheit ist im Sommer 2015 weniger ausgeprägt als im Hitzesommer 2003.

Vorgeschichte

Die Schweiz ist in der ersten Januarhälfte 2015 von milden West- und Südwestströmungen beeinflusst, während in der zweiten Januarhälfte Nordwest- und Nordströmungen den Winter zurückbringen. Auch der Februar zeigt sich winterlich mit ungewöhnlich niedrigen Temperaturen und Schneefällen bis in tiefe Lagen beidseits der Alpen. Trotzdem ist der Winter³ 2015 insgesamt mild, mit einem Wärmeüberschuss von 0,7 Grad im Vergleich zur Periode 1981 bis 2010⁴.

Ein milder Winter

Der März 2015 beginnt mit einigen trüben und nassen Tagen, bis gegen Monatsmitte herrscht dann aber sonniges Hochdruckwetter. Der Monat endet spätwinterlich mit Schnee bis auf 600 Meter über Meer und stürmischen Verhältnissen beidseits der Alpen.

Frühling endet mit viel Regen

Der April beschert der Schweiz vorwiegend ruhiges, sonniges und mildes Frühlingswetter. Zum Monatsende beginnt eine ausgesprochen niederschlagsreiche Periode. Innerhalb von sechs Tagen fallen im Mittel etwa 100 mm Regen. Die grössten Mengen gehen im Unterwallis, in den Waadtländer Alpen sowie im angrenzenden Berner Oberland nieder. Höhere Lagen in diesen Gegenden erhalten 200 mm Niederschlag und mehr.

Der Mai 2015 wird dank weiterer kräftiger Niederschläge zur Monatsmitte an mehreren Messstationen zum niederschlagsreichsten Mai seit Messbeginn, vor allem in den Westalpen und im Berner Oberland.

³ Die meteorologischen Jahreszeiten beginnen – anders als die astronomischen – jeweils am 1. Tag des Monats (Frühling am 1. März, Sommer am 1. Juni, Herbst am 1. September und Winter am 1. Dezember).

⁴ Die klimatologischen Verhältnisse in ausgewählten Jahren werden im Folgenden verglichen mit dem *mittleren heutigen Klima* auf der Basis der Normperiode mit den Jahren 1981 bis 2010. Bei der Darstellung *langjähriger Klimaentwicklungen* basieren die Vergleiche dagegen – gemäss Empfehlungen der Welt-Meteorologie-Organisation – auf der Normperiode 1961 bis 1990.

Sommertemperaturen im Überblick

Der Sommer 2015 ist der zweitwärmste in der gesamten 152-jährigen Messgeschichte der Schweiz (Abb. 1; MeteoSchweiz 2016). Auf der Alpennordseite verzeichnet man je nach Region einen Wärmeüberschuss von 2,0 bis 2,5 Grad über der Norm von 1981 bis 2010, auf der Alpensüdseite ist der Wärmeüberschuss mit 1,6 bis 2,3 Grad etwas weniger extrem. Einen wärmeren Sommer erlebte die Schweiz nur gerade 2003, als die Temperaturen nochmals rund 1 Grad höher kletterten.

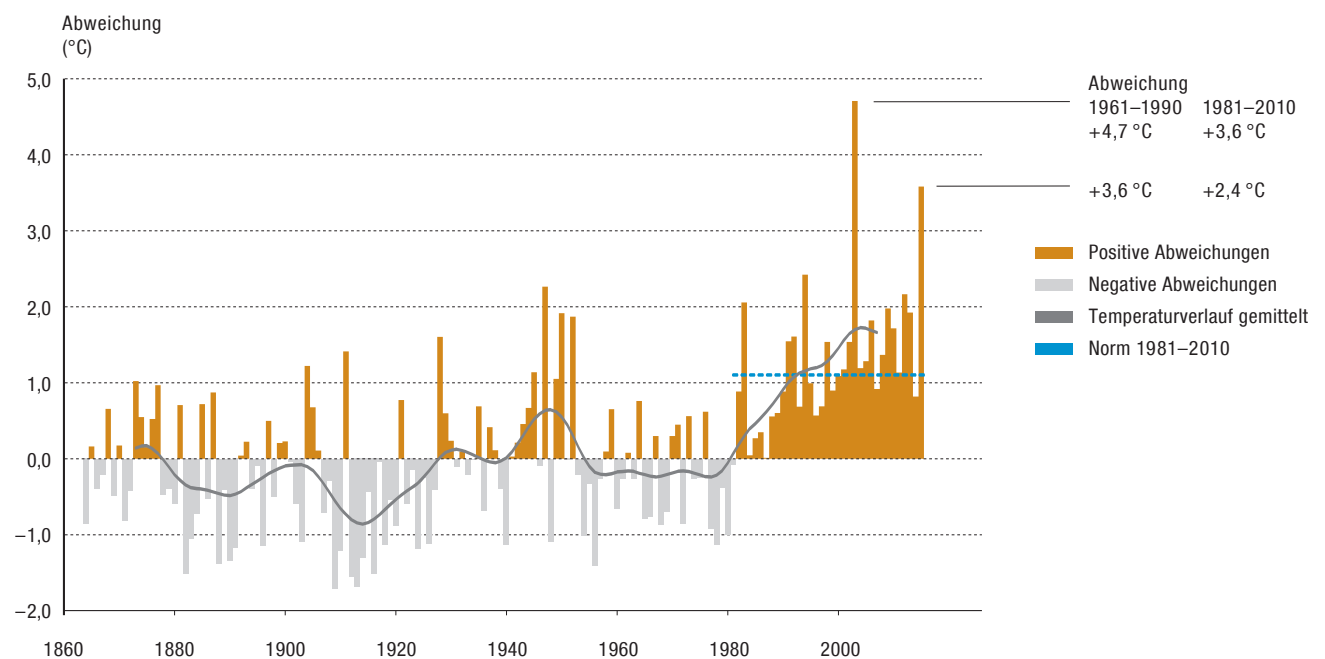
Zweitwärmster Sommer

Der Hochsommer 2015 (Monate Juli und August) ist in der Schweiz der wärmste seit Messbeginn. Der Wärmeüberschuss beträgt gegenüber der Periode von 1981 bis 2010 im Mittel 2,7 Grad und übertrifft damit ganz knapp sogar den Hochsommer 2003 mit 2,6 Grad Überschuss.

Wärmster Hochsommer

Abb. 1

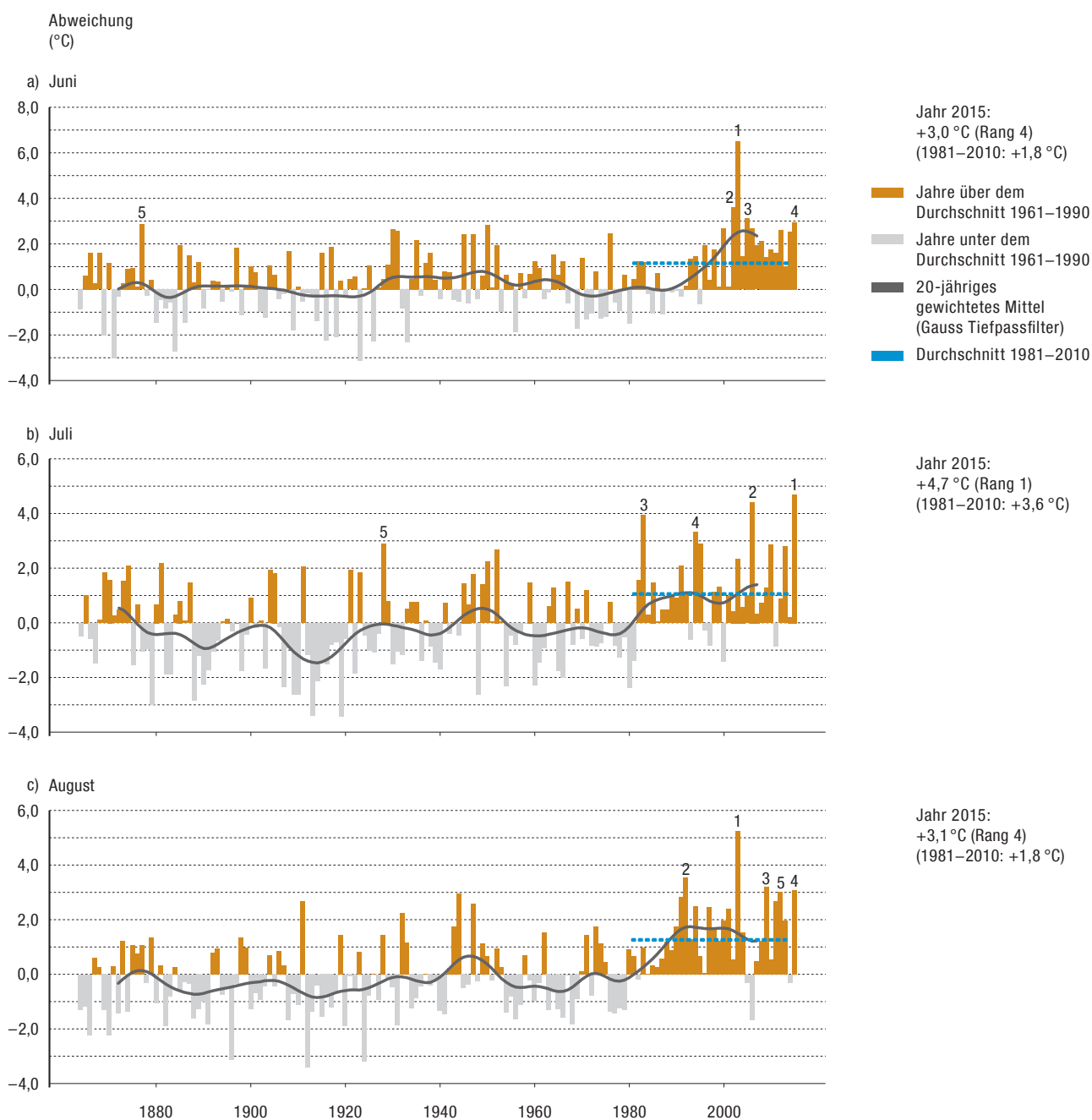
Abweichung der Sommertemperatur in der Schweiz vom langjährigen Durchschnitt (Norm 1961–1990). Positive Abweichungen (wärmer) sind orange, negative (kälter) sind hellgrau dargestellt. Die dunkelgraue Kurve zeigt den Temperaturverlauf, gemittelt über 20 Jahre. Die blau gestrichelte Linie ab 1981 zeigt die Norm 1981–2010 (1,1 Grad höher als die Norm 1961–1990). Am rechten Rand sind die Temperaturüberschüsse der beiden Extremsommer 2003 und 2015 im Vergleich zu den Normen 1961–1990 und 1981–2010 angegeben.



Quelle: MeteoSchweiz

Abb. 2

Temperaturabweichung im Juni, Juli und August 2015 gegenüber dem langjährigen Durchschnitt (1961–1990), gemittelt über die ganze Schweiz. Höhere Temperaturen sind orange, tiefere hellgrau dargestellt. Die dunkelgraue Kurve zeigt den Temperaturverlauf, gemittelt über 20 Jahre. Die blau gestrichelte Linie markiert die Norm der Jahre 1981–2010.



Quelle: MeteoSchweiz

Der Juni 2015 liegt gesamtschweizerisch 1,8 Grad über der Vergleichsperiode von 1981 bis 2010 (Abb. 2a). Er ist damit der viertwärmste Juni seit Messbeginn. Besonders warm wird es im Wallis und am westlichen und zentralen Alpennordhang mit einem Temperaturüberschuss von bis zu 2,2 Grad.

Warmer Juni

Der Juli des Jahres 2015 ist in der Schweiz seit 1864 der heisseste je gemessene Juli. Die Monatstemperatur steigt gesamtschweizerisch 3,6 Grad über die Norm der Jahre 1981 bis 2010 (Abb. 2b). Auf der Alpensüdseite, im Engadin, im Wallis und in der Westschweiz ist der Juli 2015 seit Messbeginn im Jahr 1864 der heisseste Monat überhaupt. In den meisten übrigen Gebieten gehört er zu den drei heissesten Monaten.

Rekordheisser Juli

Der August 2015 ist, über die ganze Schweiz gemittelt, 1,7 Grad wärmer als die Norm der Jahre 1981 bis 2010 (Abb. 2c). Seit Messbeginn ist dies der vierhöchste je im August aufgezeichnete Wärmeüberschuss. Während weite Landesteile im August trockener sind als im Mittel, verzeichnen das Wallis und regional auch die Alpensüdseite überdurchschnittliche Niederschläge.

Warmer August

Sommerliche Hitzewochen

Extreme Hitzeperioden zeigen sich in der Regel deutlicher in der West- und Nordwestschweiz und etwas weniger intensiv auf der Alpensüdseite. Auch während der grossen Hitzewellen der Jahre 2003 und 1947 übertrafen die gemittelten Höchsttemperaturen der Alpennordseite diejenigen der Alpensüdseite.

Vom 1. bis zum 7. Juli registriert die Alpennordseite eine der extremsten Hitzewochen der vergangenen 150 Jahre. Am letzten Tag der Woche meldet Genf schliesslich mit 39,7 Grad die höchste je auf der Alpennordseite gemessene Temperatur. Über die ganzen sieben Tage gemittelt, erreicht das Tagesmaximum in Genf 36,3 Grad, was nur knapp hinter dem Rekordmittel von 36,7 Grad aus dem Jahr 2003 liegt (siehe Abb. 3a). In Basel, Neuenburg, Bern, Luzern und Zürich wird die erste Hitzewoche des Juli 2015 nicht nur von der Hitzeperiode des Jahres 2003 überboten, sondern auch von derjenigen im Jahr 1947. In Basel gab es zusätzlich auch 1952 eine ebenso heisse Woche wie im Juli 2015 (siehe Abb. 3b).

**Hitzewoche auf
der Alpennordseite**

Die heisseste Woche des Jahres 2015 dauert südlich der Alpen vom 17. bis zum 23. Juli. Im Durchschnitt der Woche werden in Locarno-Monti Tageshöchsttemperaturen von 34,7 Grad gemessen, nur geringfügig weniger als während der Rekordwoche des Jahres 2003 mit 35,0 Grad (siehe Abb. 4a). In Lugano erreichen die mittleren Tageshöchsttemperaturen der heissesten Woche im Jahr 2015 den Wert von 32,9 Grad. Deutlich heisser war hier nur die Hitzewoche im August 2003 mit 33,9 Grad, ähnlich heisse 7-Tagesperioden gab es im Juli 1945 und im gleichen Monat des Jahres 1881 (siehe Abb. 4b). Das höchste je gemessene Tagesmaximum südlich der Alpen bleibt dasjenige von Grono aus dem Jahr 2003 mit 41,5 Grad (siehe Tab. 1).

**Hitzewoche auf
der Alpensüdseite**

Intensive einwöchige Hitzeperioden sind in den letzten Jahrzehnten häufiger geworden. In Regionen wie der Westschweiz, die immer wieder von solchen Ereignissen betroffen waren, folgen sie sich in kürzeren Abständen. Regionen, die in der Vergangenheit kaum intensive Hitzewochen kannten, müssen heute mehr oder weniger regelmässig mit solchen rechnen. Gemäss den vorliegenden Klimaszenarien ist in der Schweiz bis Ende Jahrhundert eine starke Zunahme von Hitzewellen sehr wahrscheinlich (MeteoSchweiz 2014).

Hitzetage und Tropennächte

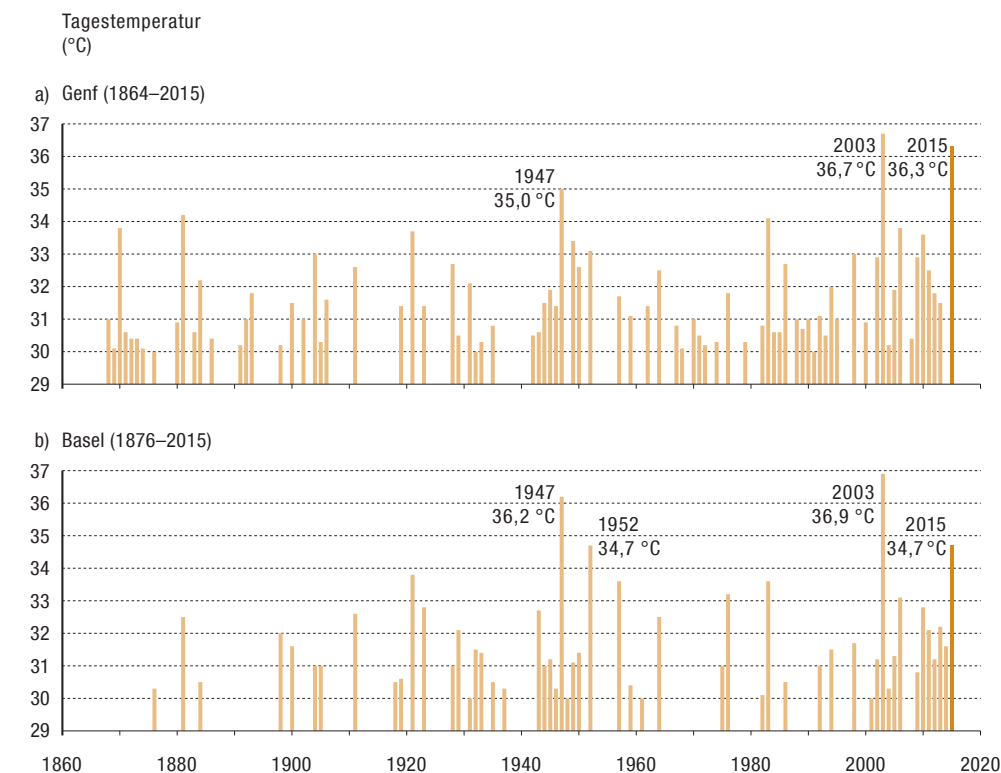
Im Durchschnitt misst man pro Jahr im Flachland nördlich der Alpen 10 bis 15, südlich der Alpen 15 und im Wallis 16 Hitzetage mit Temperaturen von 30 Grad oder mehr. Abgesehen vom Rekordjahr 2003 gibt es 2015 so viele Hitzetage wie noch nie: Im Wallis sind es 44, in Genf 34, in Lugano 27 und in Zürich 26. Je nach Region sind die

Hitzewochen nehmen zu

Jahr mit den
zweitmeisten Hitzetagen

Abb. 3

Mittlere Tagesmaxima während der intensivsten 7-tägigen Hitzeperiode auf der Alpennordseite (mittleres Tagesmaximum von 30 Grad oder mehr). Die Hitzeperiode vom 1. bis 7. Juli 2015 ist dunkelorange dargestellt.

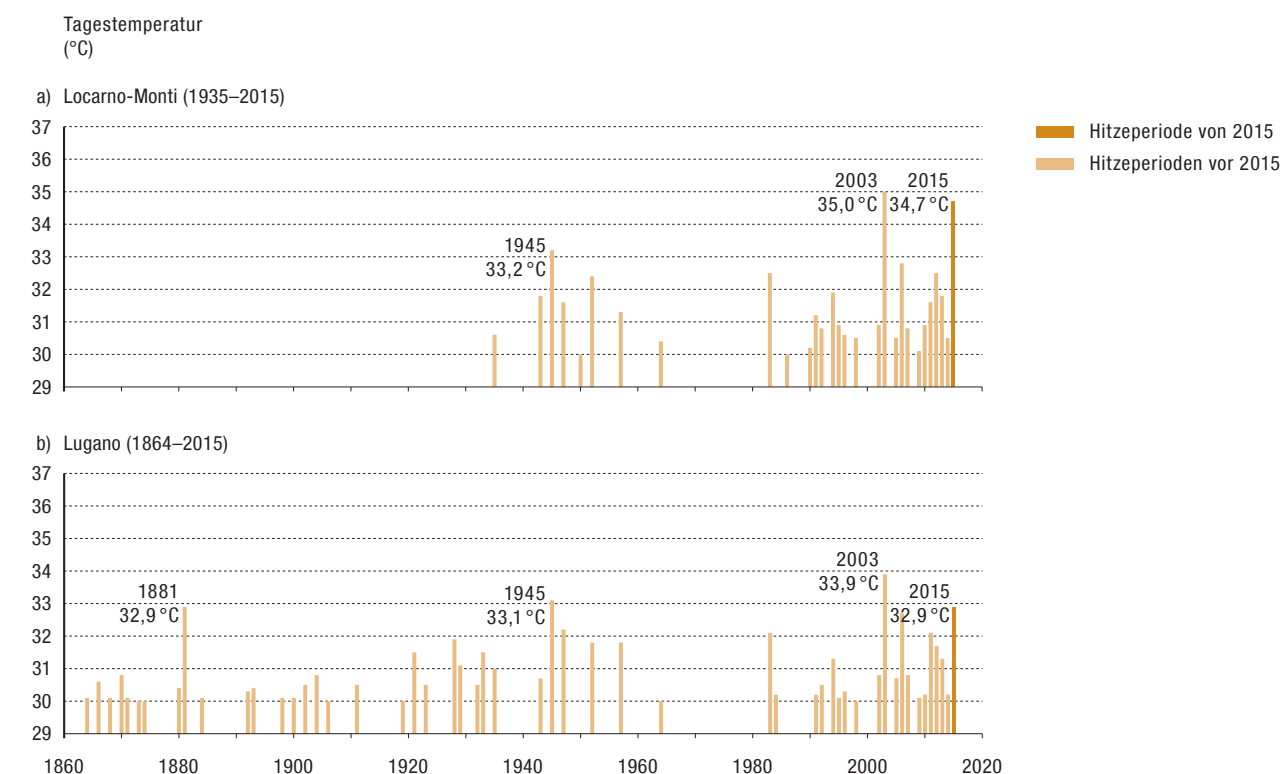


Differenzen gegenüber dem Rekordjahr unterschiedlich gross: In Zürich wurde 2003 mit 27 Überschreitungen nur ein einziger zusätzlicher Hitzetag registriert, in Lugano waren es mit 47 hingegen ganze 20 zusätzliche Hitzetage (siehe Tab. 2).

2015 ist zusammen mit 2003 das Jahr mit den meisten Tropennächten. In diesen sinkt das Thermometer auch nachts nicht unter die Grenze von 20 Grad. Während das Tessin und die Genferseeregion 2015 weniger Tropennächte verzeichnen als 2003 (siehe Tab. 2), übertrifft der Sommer 2015 in der Region der drei Jurarandseen, in grossen Teilen der Nordostschweiz, in der Region Luzerner Mittelland und Vierwaldstättersee sowie im Mittelland östlich der Reuss und im Churer Rheintal den bisherigen Rekord aus dem Jahr 2003.

Abb. 4

Mittlere Tagesmaxima während der intensivsten 7-tägigen Hitzeperiode auf der Alpensüdseite (mittleres Tagesmaximum von 30 Grad oder mehr). Die Hitzeperiode vom 17. bis 23. Juli 2015 ist dunkelorange dargestellt.



Nullgradgrenze

Während sommerlicher Hitzeperioden steigt die Nullgradgrenze bis in die höchsten Gipfellagen oder auch höher. Über alle drei Sommermonate gemittelt, liegt sie im Sommer 2015 bei 3941 Metern über Meer und damit nur wenige Meter tiefer als im Sommer 2003 (Abb. 5). Vor allem im Juli sowie in der ersten Augushälfte und im

Nullgradgrenze im
ganzen Juli in grosser Höhe

Tab. 1

Die zehn höchsten je registrierten Tagesmaximum-Temperaturen im Messnetz der MeteoSchweiz. Die Daten von Genf reichen bis 1864, diejenigen von Basel bis 1876 zurück. Die übrigen Messreihen umfassen 55 Jahre oder weniger. Grau hinterlegt: aktuelle Rekordwerte aus dem Jahr 2015.

Messstandort	Datum	Rang	Tages- maxi- mum in °C	Messstandort	Datum	Rang	Tages- maxi- mum in °C
Grono	11.08.2003	1	41,5	Grono	09.08.2003	6	38,5
Genf	07.07.2015	2	39,7	Basel	31.07.1983	7	38,4
Genf	28.07.1921	3	38,9	Basel	28.07.1921	8	38,4
Delsberg	31.07.1983	4	38,8	Chur	28.07.1983	9	38,1
Basel	13.08.2003	5	38,6	Nyon	07.07.2015	10	38,0

Quelle: MeteoSchweiz

Tab. 2

Anzahl Hitzetage und Tropennächte in den Monaten Juni, Juli und August für die Jahre 2015 und 2003 sowie Differenz zwischen 2015 und 2003 an sechs Messstationen. Grau: 2015 unterbietet 2003. Orange: 2015 übertrifft 2003.

Messstandort	Hitzetage			Tropennächte		
	2015	2003	Differenz	2015	2003	Differenz
Genf	34	50	-16	4	4	0
Sion	44	49	-5	5	0	5
Lugano	27	47	-20	28	45	-17
Basel/Binningen	28	41	-13	9	7	2
Zürich/Fluntern	26	27	-1	9	2	7
Engelberg	6	6	0	0	0	0

Quelle: MeteoSchweiz

letzten Augustdrittel 2015 bewegt sich die Nullgradgrenze fast konstant in Höhenlagen zwischen 4000 und 4500 Metern. Im Sommer 2003 lag die Nullgradgrenze vor allem in den beiden Monaten Juni und August in aussergewöhnlich grosser Höhe.

Trockenheit

Im Sommer 2015 fallen deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Speziell der Juli ist praktisch in der ganzen Schweiz sehr trocken. Das Mittelland erhält nicht einmal die Hälfte der normalen Regenmenge, die Nordschweiz regional sogar

Verbreitet geringe
Niederschlagsmengen

Abb. 5

Täglich gemessene Höhe der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre über Payerne im Sommer 2003 (oben) und 2015 (unten). Die Säulen zeigen die Abweichungen zum mittleren Wert (Median) der Normperiode 1981–2010. Orange: positive Abweichung (wärmer). Grau: negative Abweichung (kälter).

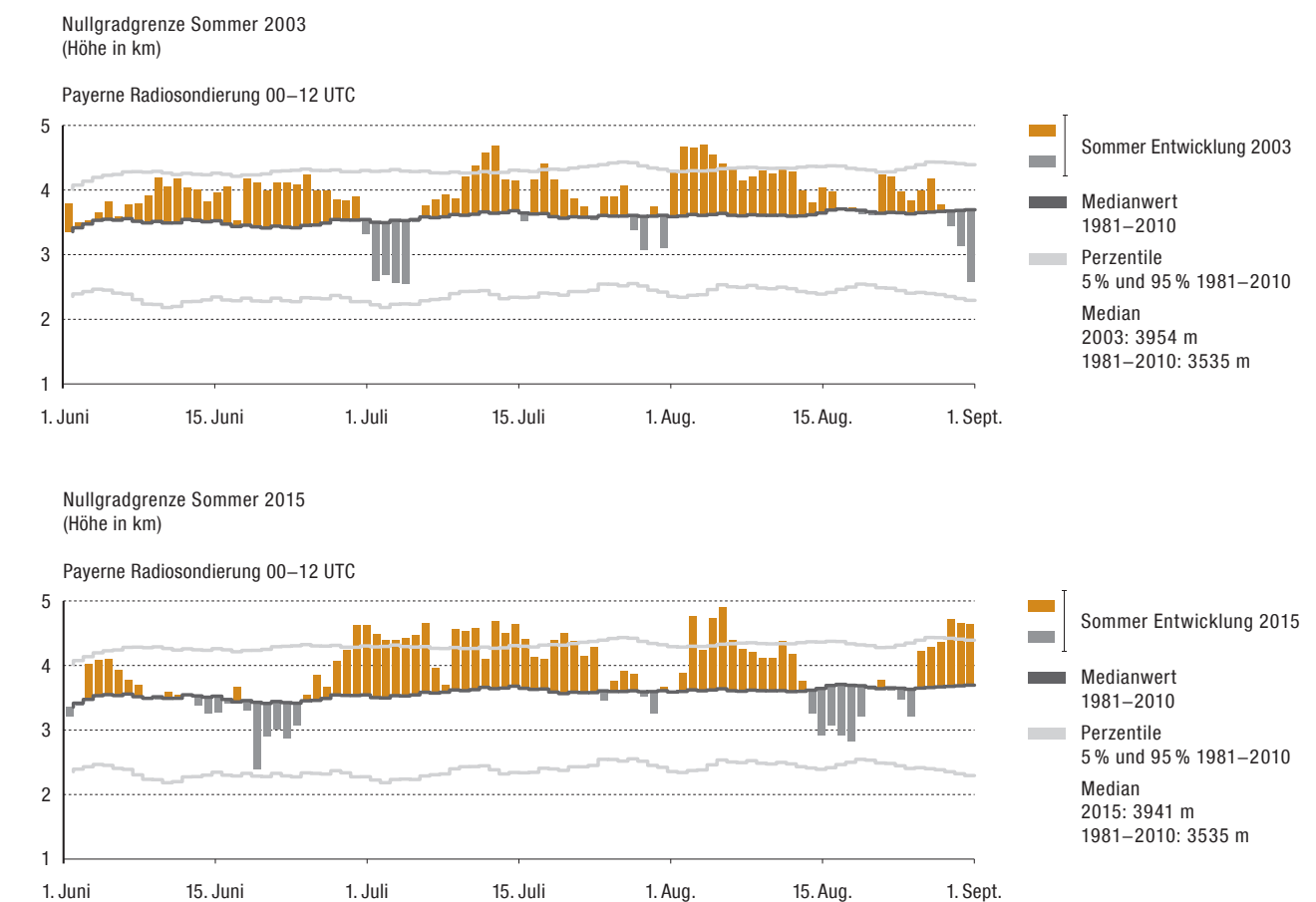


Abb. 6

Monatliche Niederschlagsabweichung zur Norm der Jahre 1981–2010 für die Monate Juni, Juli und August 2015 in Prozent.

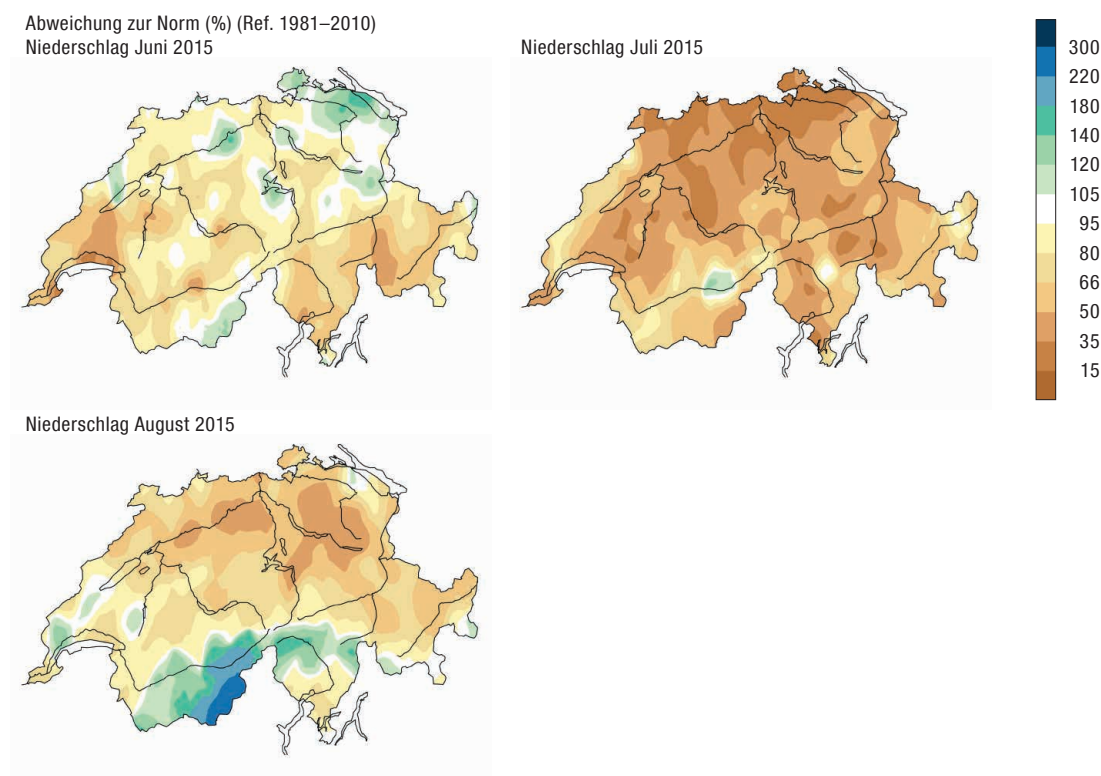
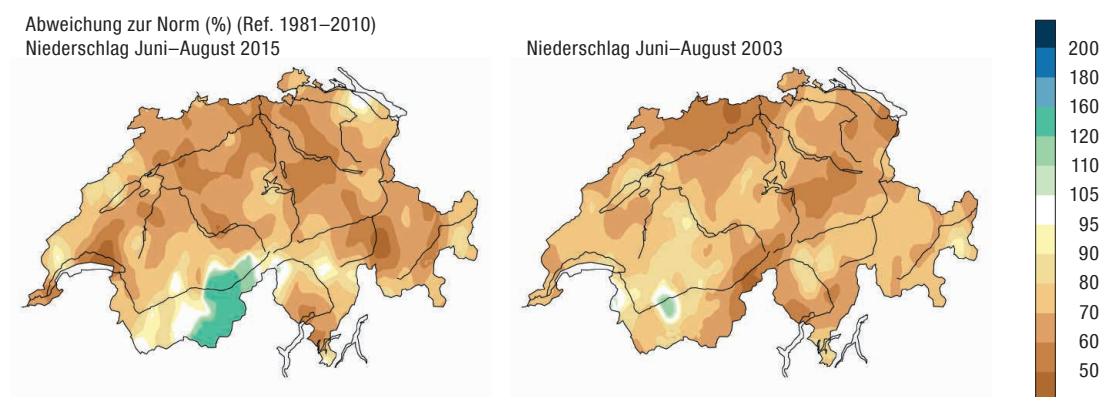


Abb. 7

Sommer-Niederschläge der Jahre 2015 (links) und 2003 (rechts) im Vergleich als Abweichung zur Norm der Jahre 1981–2010 in Prozent.

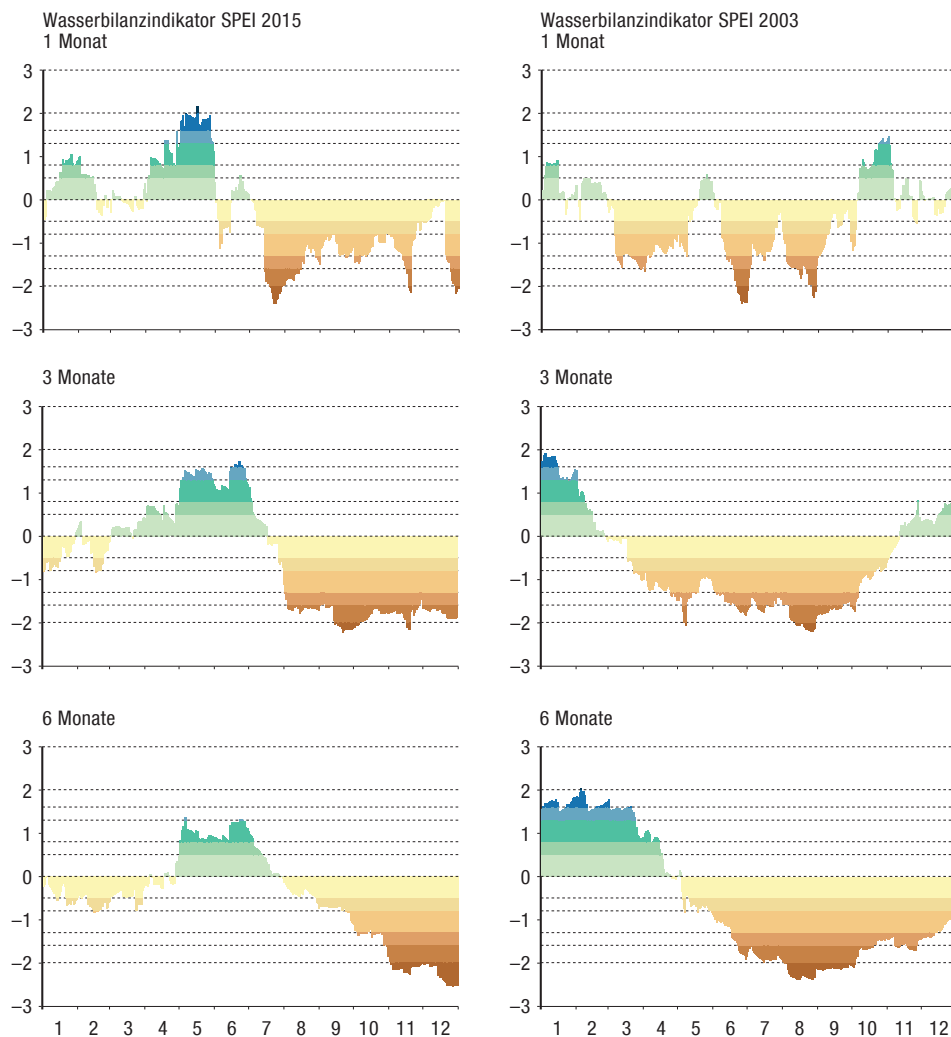


weniger als ein Drittel. Einzig dem Wallis und einzelnen Regionen der Alpensüdseite bringt der Sommer 2015 normale Niederschläge, im August sind sie sogar überdurchschnittlich (Abb. 6). Die Jahre 2003 und 2015 gleichen sich weitgehend (Abb. 7).

Elm und Altdorf registrieren mit gut der Hälfte der normalen Regenmenge den zweit- beziehungsweise dritttrockensten Sommer seit Messbeginn in den Jahren 1878 und 1864. Ähnlich trocken war es an diesen Stationen letztmals im Sommer 1983.

Abb. 8

Wasserbilanzindikator SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) unter Berücksichtigung der Vorgeschichte von 1, 3 und 6 Monaten an der Station Zürich für die Jahre 2015 (links) und 2003 (rechts).



Quelle: MeteoSuisse

Regional extreme Trockenheit

Indexwert	Kategorie	Häufigkeit des Ereignisses im entsprechenden Monat
> 2	extrem nass	1-mal in 50 Jahren oder seltener
1,6 bis 1,99	enorm nass	1- bis 2-mal in 40 Jahren
1,3 bis 1,59	stark nass	1- bis 2-mal in 20 Jahren
0,8 bis 1,29	mässig nass	1- bis 2-mal in 10 Jahren
0,5 bis 0,79	leicht nass	1- bis 2-mal in 5 Jahren
0,49 bis -0,49	normal	
-0,5 bis -0,79	leicht trocken	1- bis 2-mal in 5 Jahren
-0,8 bis -1,29	mässig trocken	1- bis 2-mal in 10 Jahren
-1,3 bis -1,59	stark trocken	1- bis 2-mal in 20 Jahren
-1,6 bis -1,99	enorm trocken	1- bis 2-mal in 40 Jahren
< -2	extrem trocken	1-mal in 50 Jahren oder seltener

In Locarno-Monti ist der Sommer 2015 mit weniger als der Hälfte der Niederschläge gegenüber der Normperiode von 1981 bis 2010 der fünftrockenste seit Messbeginn von 1883. Eine vergleichbare Trockenheit beobachtete man hier zum letzten Mal in den Jahren 2013 und 1983.

Die Wasserbilanz ist nicht nur von den Niederschlägen abhängig, sondern auch von der Verdunstung des Wassers über die Blätter von Pflanzen und die Oberfläche von Böden und Gewässern (Evapotranspiration). Je höher die Temperatur, desto stärker ist die Verdunstung und desto schneller wird die Wasserbilanz bei ausbleibenden Niederschlägen negativ. Der Trockenheitsindikator SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) gibt an, wie aussergewöhnlich das aktuelle, über mehrere Wochen angesammelte Wasserdefizit (oder der aktuelle Wasserüberschuss) im mehrjährigen Vergleich ausfällt. Das Beispiel der Station Zürich zeigt sowohl für 2015 als auch für das Jahr 2003 ausgeprägte Wasserdefizite, allerdings mit unterschiedlichem Zeitverlauf. Betrachtet man das Defizit, welches sich über drei Monate oder länger ansammelt, findet man 2003 «extreme Trockenheit» von Juli bis September, im Jahr 2015 werden die tiefsten Werte später erreicht. Der Unterschied zwischen den beiden Extremjahren erklärt sich durch den 2015 vergleichsweise feuchteren Frühling und trockeneren Herbst (vgl. Abb. 8).

Die Niederschlagsarmut des Sommers 2015 setzt sich auch im Herbst fort (Abb. 9). Überdurchschnittliche Niederschlagsmengen in grösseren Gebieten fallen nur im September, und zwar ganz im Westen der Schweiz sowie im Tessin und in Graubünden. Im Oktober sind verbreitet unterdurchschnittliche Mengen zu verzeichnen, und die ersten drei Novemberwochen bleiben in der ganzen Schweiz weitgehend niederschlagsfrei. Die Alpensüdseite erlebt schliesslich eine Rekord-Niederschlagsarmut für die Periode November bis Dezember. In Lugano und in Locarno-Monti fallen nur 0,8 mm Niederschlag, normal wären 200 bis 250 mm. Die halbjährliche Wasserbilanz erreicht den Tiefstand in den meisten Regionen im November bis Dezember

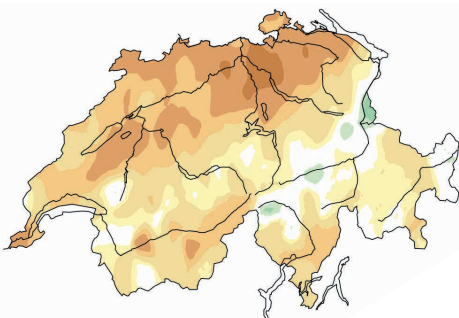
**Wasserbilanz zeigt
stärkste Trockenheit später
im Jahr als 2003**

**Anhaltende Niederschlagsarmut
bis Anfang Winter**

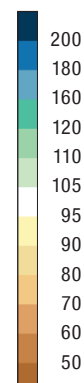
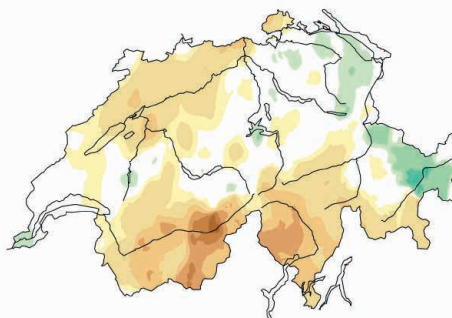
Abb. 9

Herbst-Niederschläge der Jahre 2015 (links) und 2003 (rechts) im Vergleich, als Abweichung zur Norm der Jahre 1981–2010 in Prozent.

Abweichung zur Norm (%) (Ref. 1981–2010)
Niederschlag September–November 2015



Niederschlag September–November 2003



Quelle: MeteoSchweiz

(vgl. Abb. 8). Das anhaltend milde und praktisch niederschlagsfreie Hochdruckwetter führt schweizweit zu einer ausgeprägten frühwinterlichen Schneearmut. Das Wasserdefizit, welches sich im Sommer und Herbst 2015 angesammelt hat, kann selbst das ausgeprägt nasse erste Halbjahr 2016 nicht ausgleichen – die jährliche Wasserbilanz Ende Juni 2016 ist an vielen Orten immer noch leicht unterhalb der langjährigen Norm.

Rückblick auf den Hitzesommer 2003

Die Temperaturextreme des Hitzesommers 2003 bleiben auch nach dem Sommer 2015 ein herausragendes Ereignis in der meteorologischen Messgeschichte der Schweiz. Mit dem Juni und dem August 2003 fallen zwei der heissesten je registrierten Monatsmittel und mit 41,5 Grad auch die höchste je in der Schweiz gemessene Temperatur allesamt in den Sommer 2003.

Eindrücklich ist vor allem der Junirekord. Landesweit gemittelt, liegt die Monats-temperatur 5,4 Grad über der Norm der Jahre 1981 bis 2010 – und damit 3 Grad oder mehr über allen anderen durchschnittlichen Junitemperaturen der 1864 beginnenden Messreihe (vgl. Abb. 2a). In vielen Regionen der Schweiz wird der Juni 2003 zum wärmsten Monat seit Messbeginn – ein Rekord, den der August 2003 allerdings vielerorts gleich wieder bricht.

Im August 2003 steigt das landesweite Monatsmittel 4 Grad über die Norm der Jahre 1981 bis 2010 und liegt damit etwa 2 Grad über allen übrigen mittleren August-temperaturen seit Messbeginn (vgl. Abb. 2c). Die Augusthitze des Jahres 2003 fällt insbesondere durch ihre aussergewöhnliche Dauer auf (Bader 2004, MeteoSchweiz 2004, BUWAL, BWG, MeteoSchweiz 2004). Im Sommer 2003 bleibt es mehr als zwei Wochen lang so heiss, im Sommer 2015 lediglich während einer einzigen Woche. Die Maximumtemperaturen steigen ausserdem an vielen Orten auf höhere Werte als im Sommer 2015. Als Folge der bis zum Monatsende anhaltend sehr hohen Temperatur übertrifft der August 2003 vielerorts den Juni desselben Jahres und übernimmt seinerseits den Rekord des heissesten je gemessenen Monats.

Die beiden Extremmonate Juni und August 2003 führen zu einer Sommertemperatur weit über den bisherigen Erfahrungswerten. Im landesweiten Mittel erreicht der Überschuss 5,5 Grad im Vergleich zur Norm der Jahre 1981 bis 2010. Das ist rund 1 Grad mehr als im Sommer 2015 und rund 2 bis 2,5 Grad mehr als in allen übrigen Sommern seit Messbeginn 1864 (vgl. Abb. 1).

Die anhaltende Hitze des Juni 2003 ist auf ein Azorenhoch zurückzuführen, das fast permanent über Europa wirkt. Im August 2003 steht die Hitze dagegen mit einem blockierenden Hochdruckgebiet über Nordeuropa in Verbindung (sogenannte Omega-Lage). Sowohl im Juni 2003 als auch im August 2003 werden deshalb atlantische Störungen, die Niederschlag und Abkühlung gebracht hätten, weit nach Norden abgelenkt.

Die anhaltende Hitze des Sommers 2003 führt nicht nur in der Schweiz, sondern gesamteuropäisch zu Temperaturrekorden. Eine Rekonstruktion der Temperaturen bis ins Jahr 1500 zeigt, dass der Sommer 2003 in Europa in den letzten 500 Jahren bei Weitem der wärmste war (Luterbacher et al. 2004).

2.2 Wasser

Trockenheit und Hitze des Sommers 2015 führen – nach einer eher feuchten ersten Jahreshälfte – in Bächen und Flüssen mit vergletscherten Einzugsgebieten zu überdurchschnittlich hohen Wasserständen, in Gewässern ohne Gletschereinfluss dagegen zu ausgeprägtem Niedrigwasser. Nicht regulierte und kleine Seen des Mittellands weisen teilweise aussergewöhnlich tiefe Pegelstände auf. Die Wassertemperaturen sind im Juli auf Rekordniveau, erreichen aber nicht die Extremwerte des Jahres 2003. Das Grundwasser erreicht die tiefsten Werte mit Verzögerung erst gegen Ende Jahr. Die Bodenfeuchte sinkt 2015 in der Nordschweiz länger unter die üblichen Werte, in der Südschweiz erreicht die Trockenheit dagegen nicht das Ausmass von 2003.

Vorgeschichte

Am Alpennordhang unterhalb von 2200 Metern über Meer bleibt die Schneehöhe im Winter 2014/15 deutlich unter der Norm der Jahre 1981 bis 2010. In grösserer Höhe sind die Verhältnisse dagegen durchschnittlich. Am Alpensüdhang (ausgenommen die Bündner Südtäler) sowie in den unmittelbar nördlich und westlich daran angrenzenden Gebieten erreicht die Schneehöhe überdurchschnittliche Werte.

**Wenig Schnee im Norden,
überdurchschnittliche Mengen
im Süden**

Die Wasserstände der Fliessgewässer steigen im Januar in der Nord- und Nordostschweiz vorübergehend stark an, und zwar als Folge der Kombination von Niederschlägen und Schneeschmelze. Die Monatsmittel der Lufttemperaturen überschreiten schon ab März in der ganzen Schweiz den Durchschnitt, und die Schneeschmelze beginnt daher eher früher als üblich. Bei einer hohen Schneefallgrenze setzen im Mai intensive Niederschläge ein, und es schmilzt weiter Schnee. Auf der Alpennordseite bringt der Mai daher verbreitet Hochwassersituationen. Besonders betroffen sind die Genferseeregion und das Einzugsgebiet der Aare unterhalb des Brienersees mit Schwerpunkt an den Jurarandseen. Spätestens in der zweiten Maihälfte hat sich die Hochwassersituation aber überall normalisiert.

Hochwasser in erster Maihälfte

In den ersten fünf Monaten des Jahres 2015 registrieren die Messstationen im Einflussbereich von Gletschern Abflusswerte (monatlicher Median der Tagesmittel), die fast durchs Band über dem Durchschnitt der jeweiligen Messperiode liegen (siehe Abb. 10). Auch die Bäche und Flüsse mit unvergletscherten Einzugsgebieten führen bis im Mai 2015 Wassermengen (monatliche Mediane der Tagesmittel), die leicht höher liegen als im Durchschnitt der Messperiode (siehe Abb. 11a–e). Einzig auf der Alpensüdseite hat die seit dem März 2015 herrschende Trockenheit schon ab April aussergewöhnlich niedrige Abflüsse zur Folge (siehe Abb. 11f).

Der warme Winter 2015 führt in vielen Bächen und Flüssen zu überdurchschnittlichen Wassertemperaturen, was sich negativ auf die Entwicklung der Eier und Larven von Fischen auswirken kann. Überschreitungen der langjährigen Maximalwerte werden im Wallis, im Tessin, aber auch im Mittelland und in der Nordwestschweiz (Rhein)

**Erhöhte Wassertemperaturen
im Winter, durchschnittlicher
Frühling**

beobachtet. Der niederschlagsreiche und eher milde Frühling 2015 führt zu einem durchschnittlichen Verlauf der Wassertemperaturen und liegt diesbezüglich ungefähr zwischen dem der Jahre 2013 und 2014.

Die Böden sind im Frühling 2015 in der Nordschweiz zeitweise überdurchschnittlich nass, während sie im Frühling 2003 gemäss Modellrechnungen eher trockener waren als normal (siehe Abb. 21). Die Berechnungen beruhen auf einem konzeptionellen hydrologischen Modell⁵ und enthalten tägliche Bodenfeuchtwerte basierend auf meteorologischen Eingabedaten. Das Modell zeigt gute Übereinstimmung mit Langzeitmessungen von Bodenfeuchte im Forschungsgebiet Rietholzbach (Seneviratne et al. 2012).

**Aussergewöhnlich
feuchte Böden im Frühling**

Abfluss in Fliessgewässern mit Gletschern im Einzugsgebiet

Die Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit des Sommers 2015 auf die Fliessgewässer hängen davon ab, wie stark deren Einzugsgebiet vergletschert ist.

In Einzugsgebieten mit einem starken Vergletscherungsgrad führen die aussergewöhnlich hohen Temperaturen des Sommers 2015 zu einer ausgeprägten Gletscherschmelze und damit zu Abflussmengen, die über den für die Jahreszeit üblichen Werten liegen. Der Einfluss der Vergletscherung tritt insbesondere im Juli deutlich zutage:

**Hoher Abfluss in stark
vergletscherten Einzugsgebieten**

Die Massa, ein Gebirgsbach mit stark vergletschertem Einzugsgebiet, führt in diesem Monat überdurchschnittlich viel Wasser (siehe Abb. 10a), während der Abfluss im Rosegbach, mit einem halb so grossen Vergletscherungsanteil, nur wenig über dem Durchschnitt liegt (siehe Abb. 10b). Die Lütchine, mit nochmals halbiertem Vergletscherungsanteil, weist bereits durchschnittliche Werte auf (siehe Abb. 10c). Der Chamuerabach mit einem nur marginal vergletscherten Einzugsgebiet, führt im Juli und August 2015 schliesslich weniger Wasser als im Mittel der Jahre seit Beginn der Messungen. Der Abflussrückgang infolge der Trockenheit wird hier im Gegensatz zu den erstgenannten drei Beispielen nicht durch eine stärkere Gletscherschmelze wettgemacht (siehe Abb. 10d).

Eine markante Abkühlung und Neuschnee in hohen Lagen während der zweiten Augsthälfte sowie im September 2015 beenden die Phase des starken Gletscherschwunds, und die Abflussmengen liegen in den meisten vergletscherten Einzugsgebieten wieder im durchschnittlichen Bereich.

**Ab Mitte August durch-
schnittliche Wassermengen**

Abfluss in Fliessgewässern ohne Gletscher im Einzugsgebiet

Nachdem der Schnee 2015 bereits früh geschmolzen ist, werden die Niederschläge – beziehungsweise deren Ausbleiben – in den Fliessgewässern mit unvergletscherten Einzugsgebieten zum prägenden Faktor. Erhöhte Temperaturen steigern zwar die Verdunstung. Wenn insgesamt wenig Feuchtigkeit vorhanden ist, verringert dieser Mechanismus die Abflüsse jedoch nur geringfügig.

**Ohne Gletschereinfluss
ab Juli sehr tiefe Abflüsse**

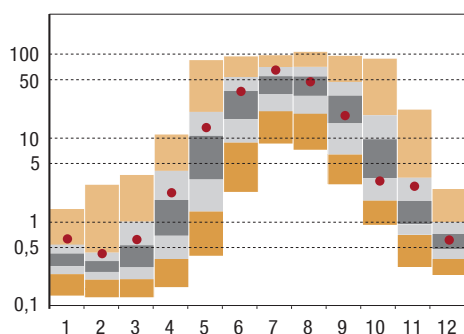
⁵ Mit dem *Simple Water Balance Model*, SWBM (Orth und Seneviratne 2015) werden basierend auf Temperatur-, Niederschlags- und Strahlungsdaten tägliche Bodenfeuchtedaten für die ganze Schweiz sowie für verschiedene Regionen berechnet.

Die Mitte Juni 2015 beginnende Trockenheit führt ab Juli in den Fliessgewässern mit unvergletschertem Einzugsgebiet rasch zu sehr tiefen Abflüssen. In den meisten Regionen verschärft sich die Niedrigwassersituation in den folgenden Monaten weiter und dauert bis November 2015 (Abb. 11). Gebietsweise führen überdurchschnittliche September- und Oktober-Niederschläge zu einer vorübergehenden Entspannung. So sind die Abflüsse im September in der Broye (Abb. 11b) und im September und Oktober in der Sitter (Abb. 11a) sowie in der Cassarate (Abb. 11f) wieder im üblichen Bereich.

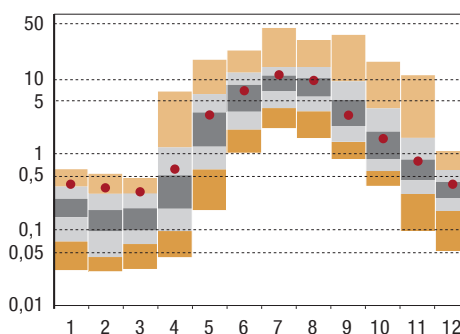
Abb. 10

Monatliche Verteilung der Tagesmittel des Abflusses von Gebirgsbächen mit unterschiedlichem Vergletscherungsgrad im Einzugsgebiet. Roter Punkt: Median der Tagesmittel des entsprechenden Monats im Jahr 2015. Dunkelgrau: Bereich, in den 50 % der Tagesmittel seit Messbeginn fallen. Grau (hell und dunkel): Bereich, in den 90 % der Tagesmittel seit Messbeginn fallen. Hellorange: Bereich mit den höchsten 5 % der Tagesmittel; orange: Bereich mit den niedrigsten 5 % der Tagesmittel seit Messbeginn. Abnehmender Grad der Vergletscherung von a) über b) und c) bis d). Abfluss in Kubikmetern pro Sekunde.

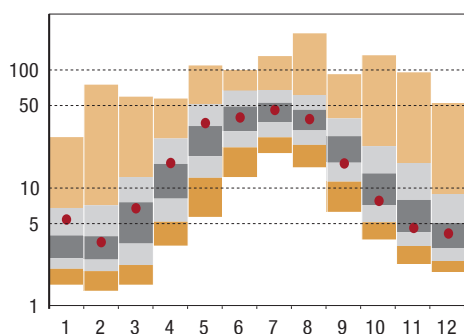
a) Massa – Blatten bei Naters (1923–2015)
Vergletscherungsgrad 65,9 %
(m³/s)



b) Rosegbach – Pontresina (1955–2015)
Vergletscherungsgrad 30,1 %
(m³/s)



c) Lüttschine – Gsteig (1924–2015)
Vergletscherungsgrad 17,4 %
(m³/s)



d) Chamuerabach – La Punt-Chamues-ch (1955–2015)
Vergletscherungsgrad 1,5 %
(m³/s)

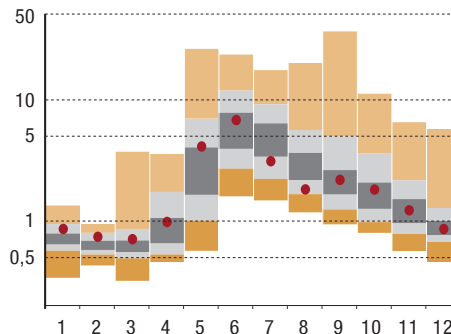
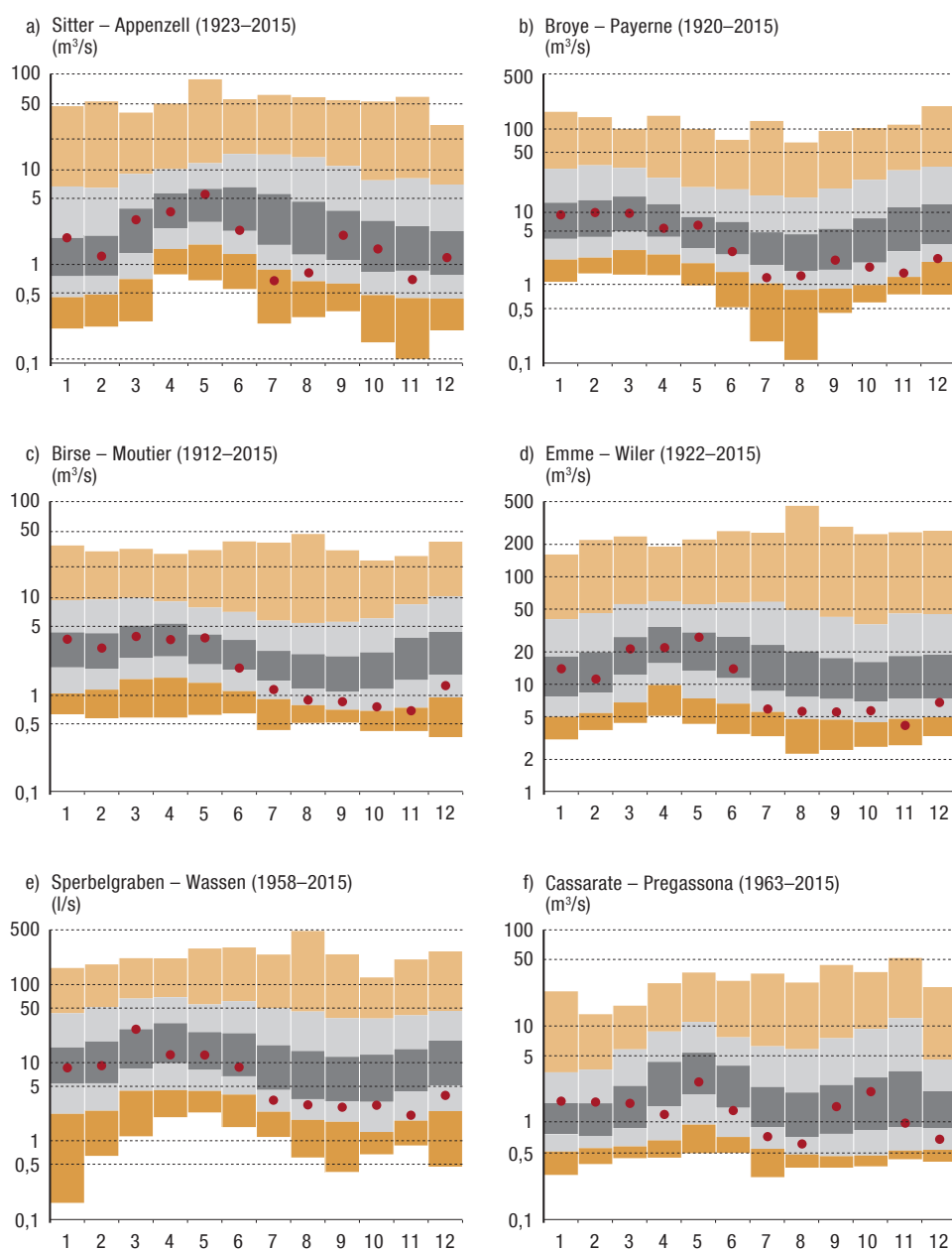


Abb. 11

Monatliche Verteilung der Tagesmittel des Abflusses von Bächen und Flüssen mit unvergletschertem Einzugsgebiet. Roter Punkt: Median der Tagesmittel des entsprechenden Monats im Jahr 2015. Dunkelgrau: Bereich, in den 50 % der Tagesmittel seit Messbeginn fallen. Grau (hell und dunkel): Bereich, in den 90 % der Tagesmittel seit Messbeginn fallen. Hellorange: Bereich mit den höchsten 5 % der Tagesmittel; orange: Bereich mit den niedrigsten 5 % der Tagesmittel seit Messbeginn. Abfluss in Kubikmetern pro Sekunde (ausser Sperbelgraben: Liter pro Sekunde).



Auf der Alpennordseite liegen die Abflüsse der Bäche und Flüsse im November am weitesten unter den monatsüblichen Werten. Erst die am 20. November einsetzenden Niederschläge führen zu einer allmählichen Normalisierung. Auf der Alpensüdseite herrscht in den Monaten November und Dezember Trockenheit und bewirkt im Dezember sehr tiefe Abflüsse.

Niedrigwasser im regionalen und langjährigen Vergleich

Niedrigwasser, wie sie nur alle zwei Jahre vorkommen, werden 2015 in praktisch allen Regionen der Schweiz beobachtet. Das ergibt eine Auswertung der tiefsten, zwischen Mai und Dezember 2015 gemessenen und über sieben Tage gemittelten Abflüsse (sogenanntes NM7Q⁶). Nur Fliessgewässer mit stark vergletschertem Einzugsgebiet sind, mit wenigen Ausnahmen, kaum betroffen. Seltenere Ereignisse, wie sie höchstens alle zehn Jahre auftreten, sind die 2015 beobachteten Niedrigwasser im Genferseegebiet, entlang der Voralpen, im zentralen und östlichen Mittelland sowie im Jura (Abb. 12). Ein klares räumliches Muster lässt sich jedoch – wie schon im Hitzesommer

**Stärkste Abweichung
im November**

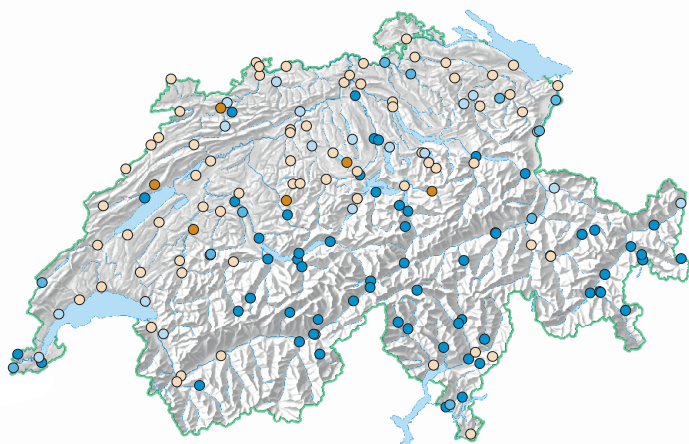
**Verbreitet Niedrigwasser,
wie sie alle 2 Jahre vorkommen**

⁶ In der Hydrologie wird eine Reihe von Kenngrößen zur Einordnung von Niedrigwasser-Abflüssen verwendet, so auch das jeweils tiefste arithmetische Mittel 7 aufeinanderfolgender Tagesmittel-Abflusswerte innerhalb eines NQ-Jahres (NM7Q). Das NQ-Jahr dauert für alpin geprägte Messstationen von Anfang Juni bis Ende Mai des folgenden Jahres, für ausseralpine Messstationen von Anfang April bis Ende März. Da zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht alle Daten vorliegen, werden alle NM7Q 2015 für die Zeit ab Beginn des NQ-Jahres bis zum 31.12.2015 berechnet. Die Werte von 2015 beruhen auf provisorischen Daten. Bei der Auswertung des Hitzesommers 2003 wurde auf dieselbe Art vorgegangen.

Abb. 12

Jährlichkeiten der Niedrigwasser-Kenngrösse NM7Q im NQ-Jahr 2015 (nur bis 31.12.2015). Wird beispielsweise für ein Niedrigwasser-Ereignis eine Jährlichkeit von 10 berechnet, so bedeutet dies, dass gemäss Statistik ein derart tiefes Abflussmittel über 7 Tage nur durchschnittlich alle 10 Jahre auftritt.

Jährlichkeiten der Niedrigwasser-Kenngrösse NM7Q
(2015)



Jährlichkeiten NM7Q

- > 100 Jahre
- 30–100 Jahre
- 10–30 Jahre
- 2–10 Jahre
- < 2 Jahre

2003 – kaum erkennen; nahe beieinanderliegende Einzugsgebiete reagieren teilweise sehr verschieden. Diese abrupten Gegensätze werden unter anderem verursacht durch divergierende Gebietseigenschaften wie Geologie und Exposition, durch lokale Niederschlagsereignisse wie Gewitter oder durch menschlichen Einfluss. So lassen sich die unterschiedlichen Jährlichkeiten der Niedrigwasser-Ereignisse entlang der Saane durch den Kraftwerksbetrieb erklären.

In alpin geprägten Einzugsgebieten treten die Niedrigwasser-Ereignisse normalerweise im Winter oder Frühling auf, in tiefer gelegenen Gebieten meistens im Sommer oder im Herbst. Im Alpenraum liegt das tiefste 7-tägige Niedrigwasser-Ereignis (NM7Q) 2015 erwartungsgemäss im Dezember. Ausserhalb des Alpenraums treten die niedrigsten Abflüsse 2015 meistens im November auf und sind damit etwas später als erwartet. Nur einige Messstationen der Westschweiz und ganz vereinzelt der Voralpen und der Ostschweiz registrieren schon im Juli, August oder September die tiefsten Abflüsse.

**Niedrigwasserperiode
ausserhalb der Alpen erst
im November**

Tab. 3

*Niedrigwasser-Kenngrösse NM7Q von 16 ausgewählten Stationen in vier aussergewöhnlich trockenen Jahren (Kubikmeter pro Sekunde) und Jährlichkeit der Werte (Farbskala).
Fett: niedrigster Wert im Vergleich der vier Jahre.*

Station	NM7Q 2015	NM7Q 2003	NM7Q 1976	NM7Q 1947
Landquart – Felsenbach	4,39	6,91	6,59	6,38
Sitter – Appenzell	0,33	0,5	0,67	0,38
Thur – Andelfingen	5,22	4,92	5,93	2,57
Töss – Neftenbach	1,03	1	1,48	0,92
Ergolz – Liestal	0,19	0,18	0,31	0,1
Birse – Moutier	0,61	0,53	0,76	0,57
Birs – Münchenstein	2,01	1,78	2,16	1,62
Lütschine – Gsteig	3,41	3,39	2,34	3,91
Gürbe – Belp	0,24	0,54	0,33	0,15
Sarine – Broc	4,73	5,84	5,45	3,72
Sense – Thörishaus	1,80	1,19	1,36	0,87
Broye – Payerne	0,95	0,41	0,62	0,69
Emme – Emmenmatt	1,34	1,57	1,47	0,66
Aare – Murgenthal	119	126	127	96,8
Sihl – Zürich	2,76	2,56	2,7	1,23
Doubs – Ocourt	4,49	4,29	4,4	2,33

Jährlichkeit der Werte

- 0 – 2 Jahre
- 2 – 10 Jahre
- 10 – 30 Jahre
- 30 – 100 Jahre
- > 100 Jahre

Bei einem Vergleich der Jahre 1947, 1976, 2003 und 2015 für sechzehn ausgewählte Messstationen fällt das tiefste 7-tägige Niedrigwasser-Ereignis (NM7Q) nur bei zweien ins Jahr 2015, die anderen finden statt in den Jahren 2003 (ebenfalls zwei Stationen), 1976 (eine Station) und 1947 (elf Stationen). Nur sechs der sechzehn Stationen messen 2015 ein tieferes Niedrigwasser-Ereignis als 2003, bei den übrigen zehn Stationen ist 2003 das Jahr mit dem extremeren Niedrigwasser (vgl. Tab. 3).

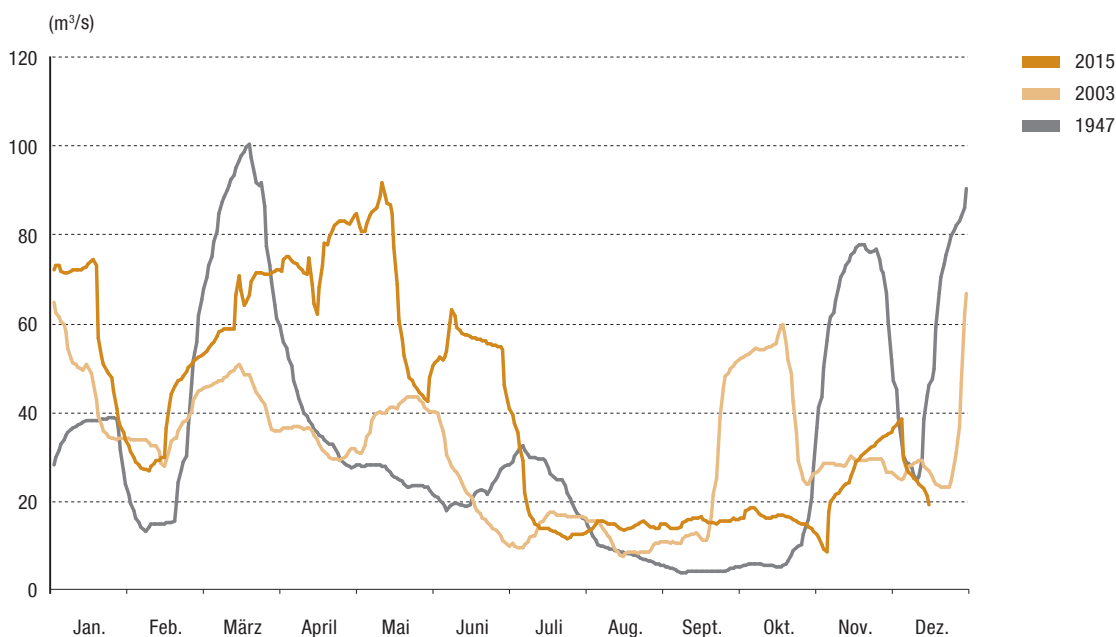
Sommer 2015 mit weniger extremem Niedrigwasser als 2003

Ein Vergleich der Abflussganglinien aus den Jahren 2015, 2003 und 1947 an der Station Thur – Andelfingen zeigt für 2015 und 1947 einen ähnlichen Verlauf der Niedrigwasserperiode (Abb. 13). Während das Niedrigwasser 2015 etwas früher beginnt und etwas länger dauert, fällt das dreissigtägige Mittel 1947 auf den extremeren Wert von lediglich ungefähr 5 Kubikmetern pro Sekunde, während der Abfluss 2015 bei 15 Kubikmetern pro Sekunde verharret. Damit liegen die Werte 2015 in einem ähnlichen Bereich wie 2003, bleiben aber deutlich länger auf diesem tiefen Niveau. Über das ganze Kalenderjahr betrachtet, ist der Abfluss in Thur – Andelfingen mit einem Mittelwert von 40,6 Kubikmetern pro Sekunde im Jahr 2015 deutlich höher als in den Vergleichsjahren von 2003 und 1947 mit 31,4 beziehungsweise 33,3 Kubikmetern pro Sekunde.

2003 mit aussergewöhnlich langem Niedrigwasser

Abb. 13

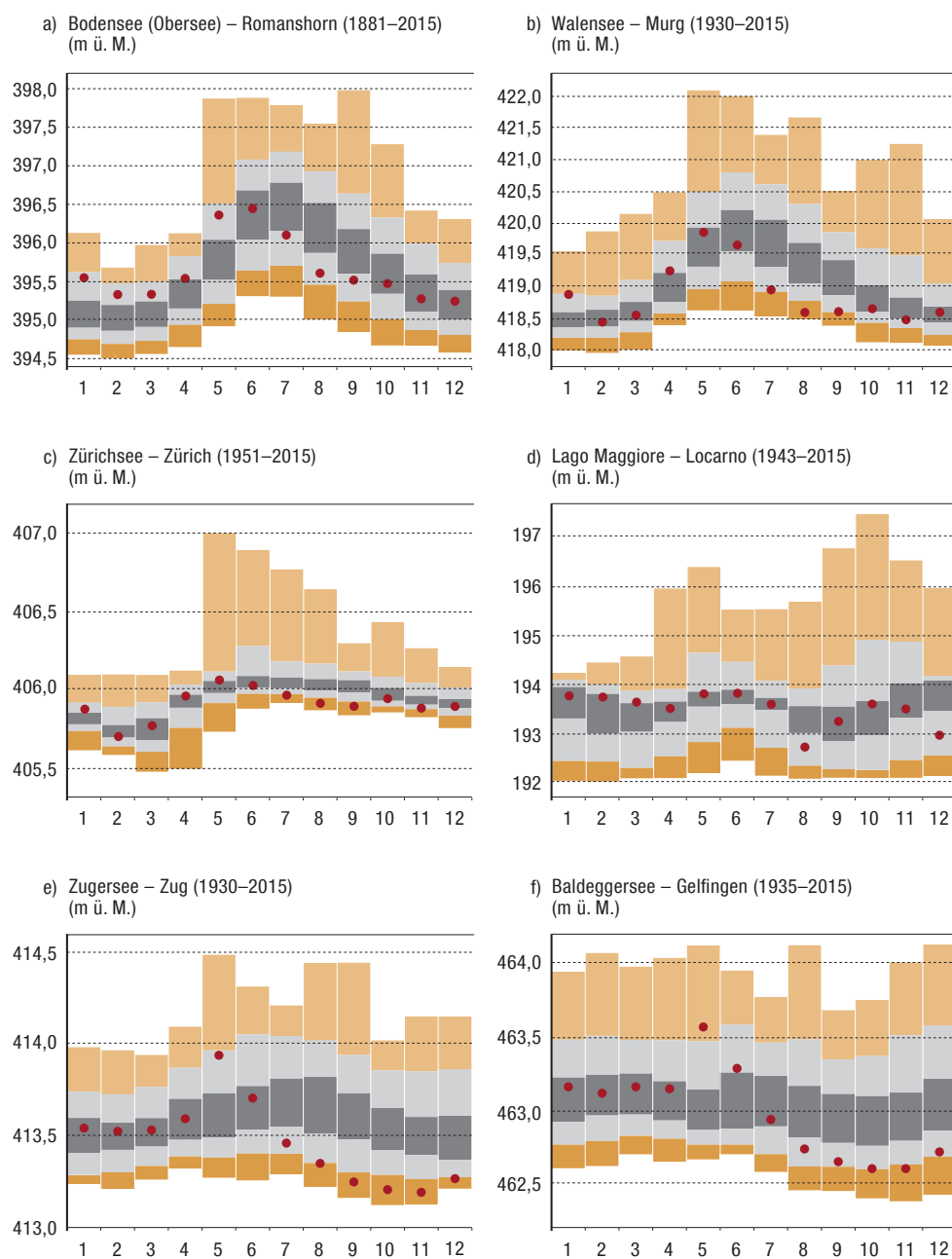
Abflussganglinie der Station Thur – Andelfingen, gemittelt über 30 Tage in den Jahren 1947, 2003 und 2015. In Kubikmetern pro Sekunde.



Quelle: BAFU

Abb. 14

Monatliche Verteilung der Tagesmittel der Pegelstände von ausgewählten Seen. Roter Punkt: Median der Tagesmittel des entsprechenden Monats im Jahr 2015. Dunkelgrau: Bereich, in den 50 % der Tagesmittel seit Messbeginn fallen. Grau (hell und dunkel): Bereich, in den 90 % der Tagesmittel seit Messbeginn fallen. Hellorange: Bereich mit den höchsten 5 % der Tagesmittel; orange: Bereich mit den niedrigsten 5 % der Tagesmittel seit Messbeginn. Angaben in Metern über Meer.



Pegelstände der Seen

Die meisten Seen der Schweiz werden künstlich reguliert, sodass ihre Wasserstände nur bedingt dem natürlichen Witterungsverlauf folgen. Dennoch hinterlässt der aussergewöhnlich trockene und heisse Sommer 2015 auch bei den Seepegeln deutliche Spuren.

Der Bodensee und der Walensee sind die beiden einzigen grösseren Seen der Schweiz ohne Regulierung. Obwohl seine Zuflüsse stärker von der Trockenheit betroffen sind als die des Walensees, sinkt der Wasserstand des Bodensees im Sommer 2015 weniger rasch ab (vgl. Abb. 14a und b) – eine Folge der im Vergleich zum Einzugsgebiet grösseren Seefläche. Der Walensee verzeichnet im August 2015 hingegen das zweittiefste Monatsmittel nach dem Hitzesommer 2003.

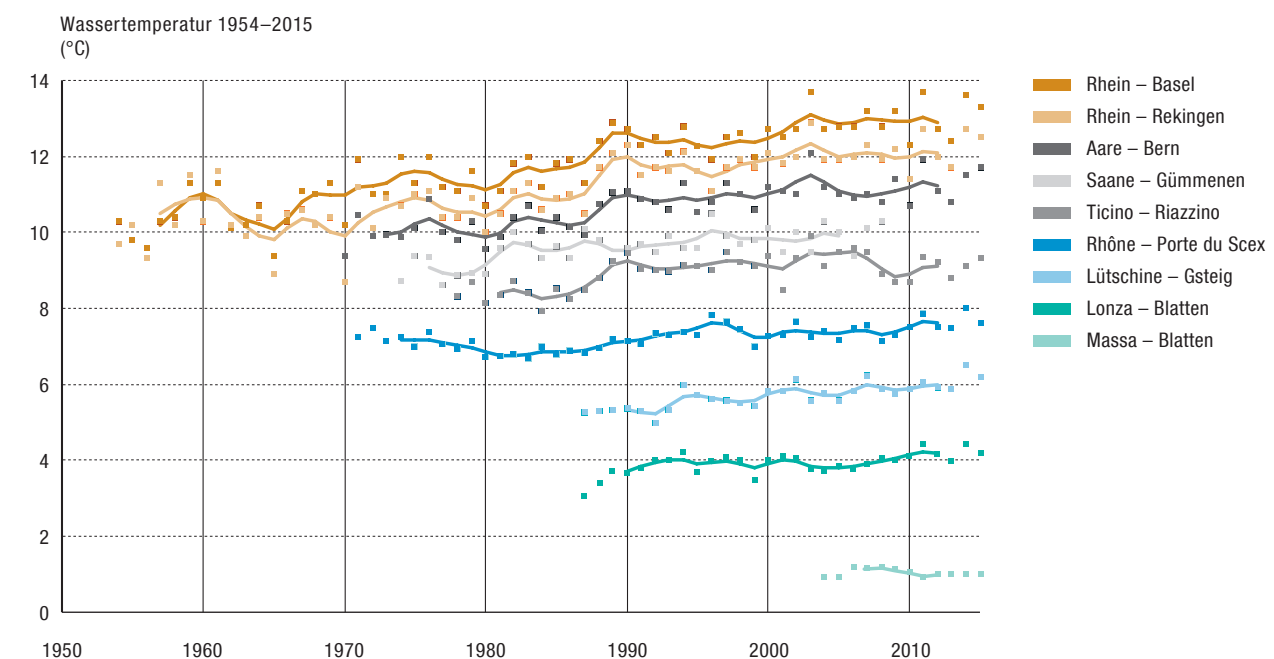
In den grösseren regulierten Seen können die Pegel in der zweiten Jahreshälfte auch nach dem Einsetzen der Trockenheit im üblichen bis leicht unterdurchschnittlichen Bereich gehalten werden. Eine Ausnahme ist der Zürichsee mit aussergewöhnlich tiefen Wasserständen von Juli bis September 2015 (vgl. Abb. 14c). Auf der Alpensüdseite führen die erheblichen September-Niederschläge zu einer Erholung der Seepegel (Lago Maggiore, Lago di Lugano), die gegen Ende des Jahres aufgrund der anhaltenden Trockenheit aber wieder auf Werte deutlich unterhalb des Durchschnitts fallen (vgl. Abb. 14d).

Ab Juli tiefe Pegelstände in nicht regulierten Seen

Grosse, regulierte Seen meist im Durchschnitt

Abb. 15

Entwicklung der Wassertemperaturen ab 1954 bis 2015 in 9 ausgewählten Gewässern.



Quelle: BAFU

Seen ohne Zufluss aus einem vergletscherten Einzugsgebiet sind ab Ende Juli 2015 von der Trockenheit stark betroffen. Im Zugersee fallen die Pegelstände ab August deutlich unter die üblichen Werte, und im November 2015 sinkt das Monatsmittel auf ein neues Rekordminimum (vgl. Abb. 14e). Ähnliche Jahresverläufe zeigen auch die kleineren Seen des Mittellands, so zum Beispiel der Baldeggersee. Hier ist der Rückgang des Pegels von Mai bis Oktober besonders markant (vgl. Abb. 14f). In den meisten kleineren Seen wird der Tiefststand im November beobachtet.

Seen mit unvergletschertem Einzugsgebiet leiden stark unter Trockenheit

Wassertemperaturen in Fliessgewässern

Die Wassertemperaturen reagieren auf unterschiedliche langjährige Entwicklungen wie den Klimawandel, die Einleitung von warmem Wasser aus Kühlanlagen und Abwasserreinigungsanlagen oder den Schutz schattenspendender Ufervegetation. Kurzfristig sind die aktuellen Lufttemperaturen, der Wasserstand und die Herkunft des Wassers entscheidend. So werden die höchsten Wassertemperaturen im Allgemeinen bei Hitze, bei Trockenheit und beim Fehlen von Schmelzwasser erreicht.

In den letzten 60 Jahren sind die meisten Fliessgewässer stetig wärmer geworden, wobei die Temperaturen mit Sprüngen von bis zu 1,7 Grad mitunter auch abrupt anstiegen, wie beispielsweise in den 1980er-Jahren (Abb. 15). Im Vergleich zu den Voralpen und Alpen ist das Mittelland von dieser Erwärmung wesentlich stärker betroffen. Die Wassertemperaturen steigen nicht nur generell, die saisonale Erwärmung beginnt auch immer früher im Jahr. Im Herbst ist dagegen nur eine schwache Verspätung des saisonalen Temperaturrückgangs festzustellen.

Langjährig steigende Wassertemperaturen

In rascher Folge werden 2003, 2006, 2011 und 2014 in zahlreichen Fliessgewässern neue Rekordwerte der Jahresmitteltemperaturen gemessen. 2015 bleiben solche Höchstwerte selten. Die hohen Wassertemperaturen beschränken sich vielmehr auf die heissen und niederschlagsarmen Sommermonate und werden im gesamten Jahresdurchschnitt weitgehend ausgeglichen – hauptsächlich als Folge der intensiven Frühjahrsniederschläge.

Hohe Werte konzentrieren sich 2015 auf Sommermonate

Ab Anfang Sommer weisen die Temperaturverläufe der Fliessgewässer starke Schwankungen auf (siehe Abb. 16). Im rekordheissen Juli (vgl. Kap. 2.1) steigen auch die Wassertemperaturen der Bäche und Flüsse auf Rekordwerte, wie sie in den 30- bis 40-jährigen Messreihen im Juli noch nie registriert wurden – so beispielsweise entlang der Aare bei Thun und Bern oder entlang der Reuss bei Luzern und Mellingen. Absolute Rekorde über alle Monatsmittel gibt es an der Glatt bei Rheinsfelden, an der Aare in Hagneck, Brügg und Aegerten oder an der Engelberger Aa bei Buochs.

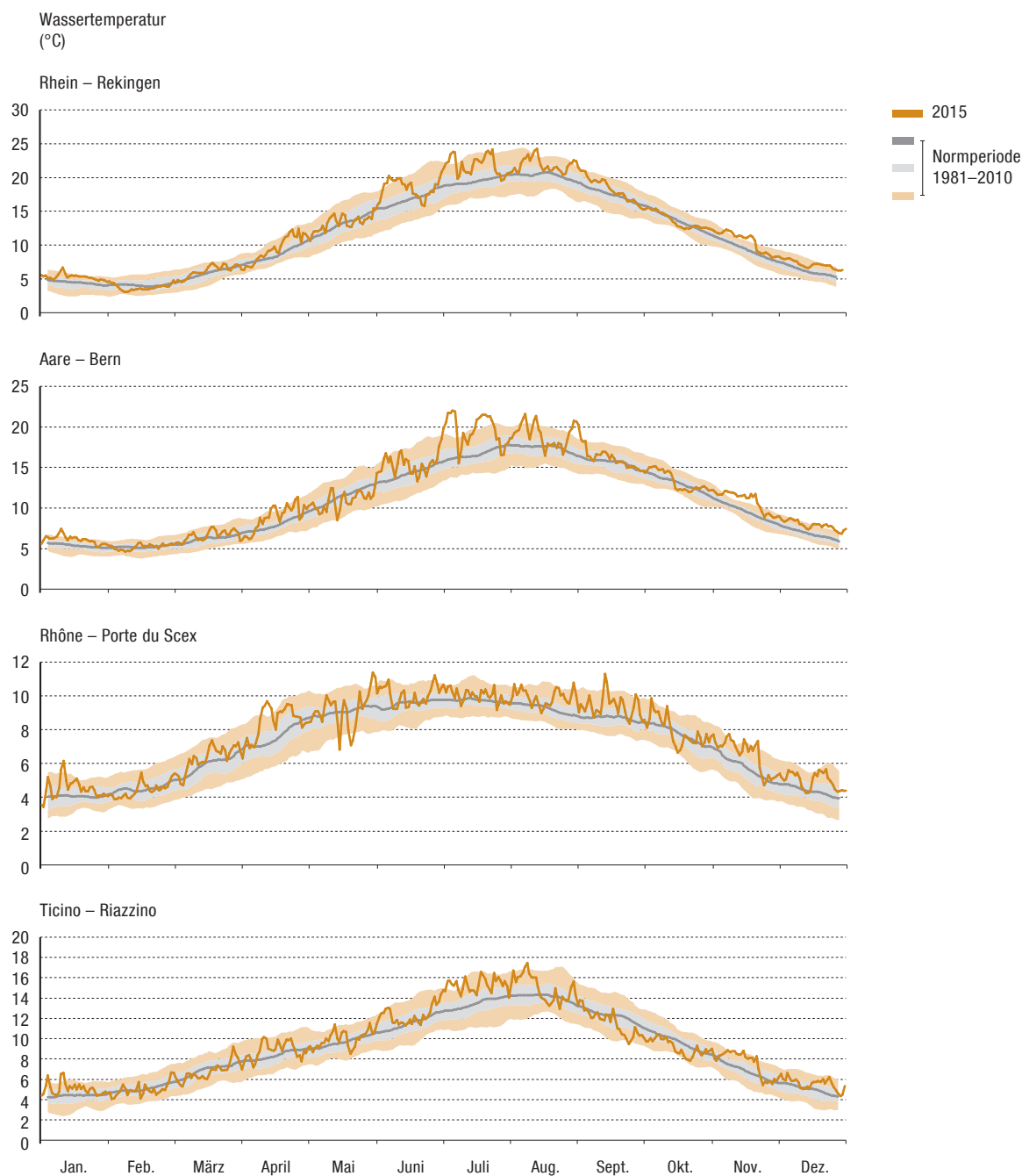
Juli 2015 mit Rekordtemperaturen im Mittelland

In den von der Schnee- und Gletscherschmelze beeinflussten alpinen Einzugsgebieten bleiben die Wassertemperaturen wegen des vielen Schmelzwassers deutlich kühler. So sinken die Temperaturen der Massa bei Blatten mit einem stark vergletscherten Einzugsgebiet sogar, als im April und Mai 2015 – mit gleichzeitig steigendem Abfluss – die Gletscherschmelze einsetzt.

Kühlendes Schmelzwasser

Abb. 16

Tagesmittel der Wassertemperatur im Jahr 2015 (dunkelorange Linie) im Vergleich zu den Tagesmitteln der Normperiode 1981–2010 an vier ausgewählten Stationen. Hellgrau: Bereich, in den 50% der Tagesdurchschnitte der Normperiode fallen. Hellorange und hellgrau: Bereich, in den 90% der Tagesdurchschnitte der Normperiode fallen. Graue Linie: Mittelwert der Normperiode.



Quelle: BAFU

Für Bachforellen, Äschen und andere Kaltwasserfische sind weniger die Monatsmittel als vielmehr die Tagesspitzen entscheidend. Die Tageshöchsttemperaturen der Fließgewässer bewegen sich 2015 örtlich in einem problematischen Bereich, erreichen aber nicht das Ausmass von 2003, als im Rhein bedeutende Fischbestände verendeten und die Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau ihre Stromproduktion drosseln mussten, um zu verhindern, dass die Aare sich nicht noch stärker erwärmte. So misst die Station Chancy an der Rhone im Jahr 2015 deutlich weniger Überschreitungen des Temperaturbereiches von 25 bis 30 beziehungsweise 23 bis 25 Grad als 2003 (Abb. 17).

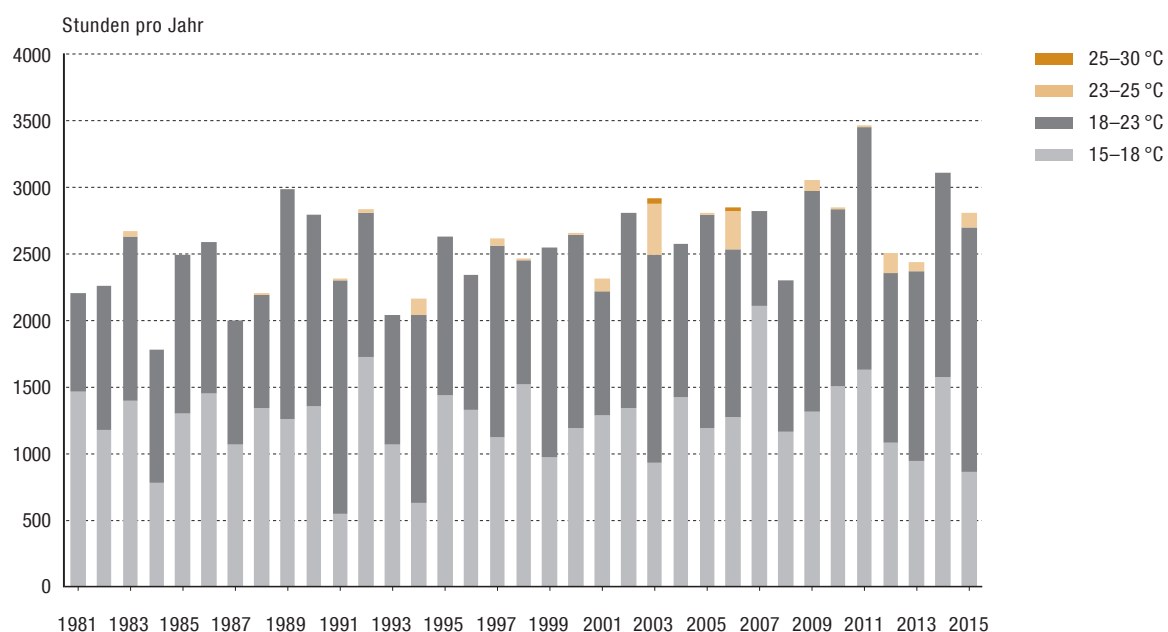
Temperaturspitzen 2015
seltener erreicht als 2003

Die herbstliche Schönwetterlage mit beständiger Warmluftzufuhr beschert vielen Bächen und Flüssen bis im November mehrere Wochen lang weitgehend konstante Wassertemperaturen, wie sie für die Jahreszeit unüblich sind. Erst Ende November sorgt eine Störung für eine markante Abkühlung. Im Dezember baut sich nochmals eine ähnliche Situation auf, die Ende Jahr noch andauert und sich an den Werten mehrerer Stationen entlang der Aare (Thun, Bern, Hagneck, Brügg), der Linth (Weesen), des Rheins (Rheinfelden, Laufenburg) und vereinzelt auch an der Rhone und am Ticino ablesen lässt.

Warmer Herbst und Winter

Abb. 17

Anzahl Stunden, an denen die Rhone bei Chancy eine Wassertemperatur zwischen 15 und 30 Grad erreicht.



Quelle: BAFU

Wasserqualität der Fliessgewässer

Die erhöhten Temperaturen der Fliessgewässer führen 2015 zu Veränderungen der Wasserqualität. Diese sind jedoch generell schwächer als 2003.

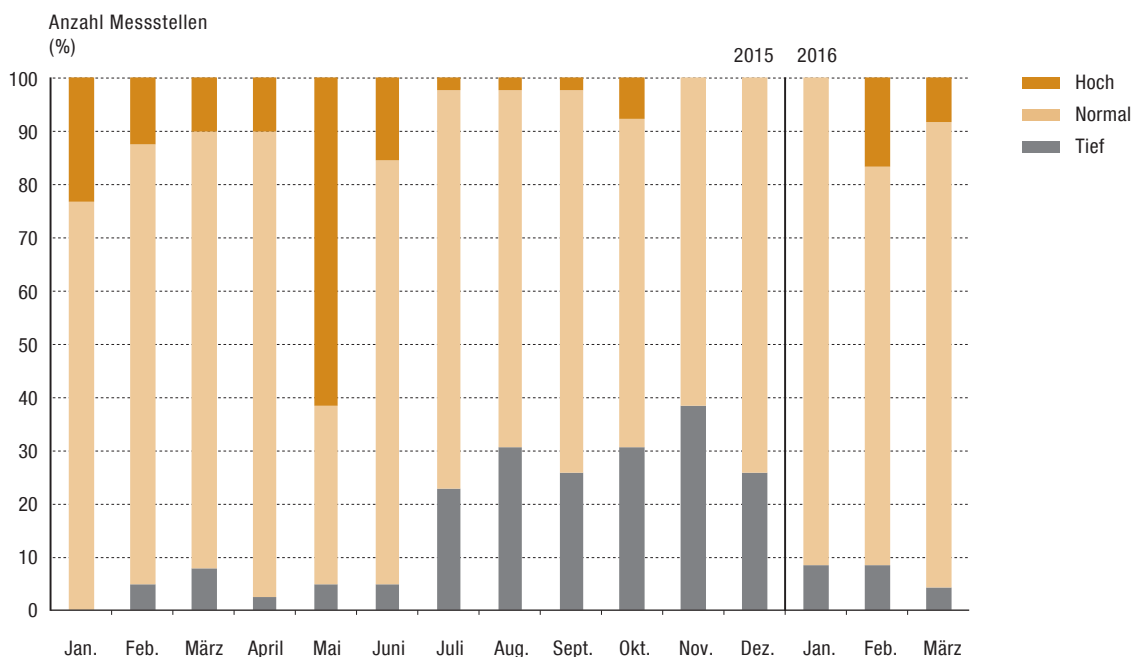
Die chemische und biologische Qualität des Wassers hängt neben anderen Faktoren auch von der Wassertemperatur ab. Erhöhte Temperaturen und intensive Sonneneinstrahlung fördern die biologische Aktivität von Algen und Wasserpflanzen. Tagsüber senkt die verstärkte Photosynthese dabei die Konzentration des gelösten CO₂, während gleichzeitig der Sauerstoffgehalt im Wasser steigt. In der Nacht kehrt sich dieser Prozess um. 2015 schwankt deshalb der Gehalt von CO₂ und Sauerstoff im Tagesverlauf aussergewöhnlich stark, allerdings weniger als 2003. Eine tiefe CO₂-Konzentration hat zur Folge, dass sich das chemische Gleichgewicht zwischen Kalk und Kohlensäure verschiebt. In extremen Fällen können Kalkpartikel ausfallen, die ihrerseits eine Trü-

**Starke Tagesschwankungen
und Trübstoffe**

Abb. 18

Anzahl Messstellen mit tiefen, normalen oder hohen Monatswerten hinsichtlich Grundwasserstand beziehungsweise Quellschüttung von Januar 2015 bis März 2016.

Hellorange: Aktueller Messwert liegt im Bereich mit 80 % der Werte zwischen 1995 und 2014. Dunkelorange: Aktueller Messwert liegt im Bereich der 10 % höchsten Werte zwischen 1995 und 2014. Grau: Aktueller Messwert liegt im Bereich der 10 % tiefsten Werte zwischen 1995 und 2014.



Quelle: BAFU

bung des Wassers bewirken und die Schaumbildung fördern. Ähnlich wie bereits 2003 werden auch im Sommer 2015 an mehreren Stationen erhöhte, nicht durch Hochwasser bedingte Schwebstoffgehalte gemessen, so beispielsweise in der Thur bei Andelfingen, in der Glatt bei Rheinsfelden oder im Rhein bei Rekingen.

Niedrige Wasserstände können zur Folge haben, dass die Konzentration im Wasser gelöster Stoffe steigt, indem sie weniger stark verdünnt werden als üblich. Die Konzentration von Chlorid und Magnesium ist jedoch – im Gegensatz zum Hitzesommer 2003 – während des Sommers 2015 nicht aussergewöhnlich hoch.

Weniger Mineralstoffe in Einzugsgebieten mit starker Vergletscherung

Umgekehrt ist zu erwarten, dass in Fliessgewässern mit einem erhöhten Anteil an Schmelzwasser die Konzentration gelöster Stoffe sinkt, weil im Schmelzwasser kaum Mineralstoffe enthalten sind. Tatsächlich ist die Leitfähigkeit des Rhone-Wassers bei Porte-du-Scex im Sommer 2015 geringer als normal, was auf einen niedrigen Mineralgehalt schliessen lässt. Auch hier ist die Abweichung jedoch geringer als 2003. An derselben Station sind 2015 auch die Gesamtstickstoff- und die Nitratwerte reduziert. Hier könnte sich neben der Verdünnung auch die Mineralstoffaufnahme durch ein intensiveres Algen- und Pflanzenwachstum ausgewirkt haben.

Abwasserreinigungsanlagen können in heissen und trockenen Perioden zu problematischen Einträgen führen, wenn die Verdünnung des Ausflusses reduziert ist. Umgekehrt kann ein gesteigertes Algenwachstum Nährstoffkonzentrationen bei hohen Temperaturen rascher wieder abbauen. In der Thur bei Andelfingen, wo das Abwasser bei Niedrigständen schätzungsweise bis zu 50 Prozent des Abflusses ausmachen kann, werden 2015 keine auffallenden Stickstoff- oder Nitratkonzentrationen gemessen – dies obwohl die Werte für andere Mineralstoffe durchaus erhöht sind.

Kein Problem für Qualität von Badegewässern

In Hitzeperioden ist grundsätzlich mit einer erhöhten Bakterienbelastung des Wassers und damit zusammenhängenden hygienischen Problemen zu rechnen. Die Qualität der Badegewässer ist im Sommer 2015 jedoch generell unproblematisch.

Grundwasserstände

Die Menge des Grundwassers steht in den meisten Fällen in engem Zusammenhang mit der Niederschlagsmenge der zurückliegenden Monate der jeweiligen Region. Die Grundwasserstände und Quellabflüsse entwickeln sich daher meist regional unterschiedlich und mit einer zeitlichen Verzögerung.

Nach den intensiven Mai-Niederschlägen auf der Alpennordseite liegen die Grundwasserstände und Quellabflüsse vor Beginn der Trockenheit 2015 auf einem normalen bis hohen Niveau. Bis Ende des Monats Juni weisen daher von 100 Messstellen⁷ nur deren 5 einen tiefen Grundwasserstand auf (Abb. 18).

Grundwasserstände zu Sommerbeginn auf hohem Niveau

⁷ Quantitäts-Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Modul QUANT

Die ab Mitte Juli 2015 steigende Anzahl Messstellen mit tiefem Grundwasserstand beschränkt sich zunächst auf kleine Flusstäler im Jura und im Mittelland («pluviales», d.h. vom Regen geprägtes Grundwasserregime) und auf Täler in den Voralpen («pluvio-nivales», d.h. von Regen und Schnee geprägtes Grundwasserregime). Von schmelzendem Schnee und Eis gespeiste Fliessgewässer sorgen auch im Sommer für eine überdurchschnittliche Infiltration von Flusswasser ins angrenzende Grundwasser («nivo-glaziales» Grundwasserregime), sodass die Grundwasserstände hier im Normalbereich bleiben. Im Zuge der anhaltenden Trockenheit geht der Abfluss derjenigen Quellen zurück, die im Karst des Juras liegen oder im Lockergestein des Mittellands und durch oberflächennahes Grundwasser gespeist werden. So weist Ende Juli insgesamt ein Viertel aller Messstellen einen tiefen Grundwasserstand beziehungsweise einen tiefen Quellabfluss auf.

Dank lokaler Niederschläge – teils während heftiger Gewitter – können sich die Grundwasserstände einiger Messstellen Anfang August vorübergehend wieder erholen (Abb. 19a), insbesondere dort, wo Grundwasservorkommen in durchlässigem Lockergestein nahe der Oberfläche liegen. Dennoch steigt infolge der insgesamt geringen Grundwasserneubildung bis Ende August der Anteil der Messstellen mit tiefem

Tiefe Grundwasserstände zuerst in kleinen Flusstälern

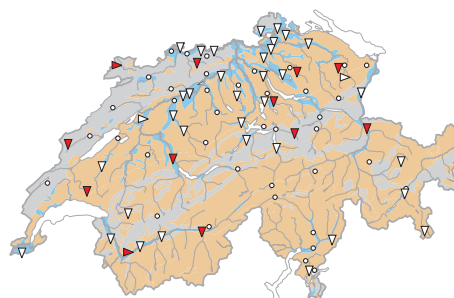
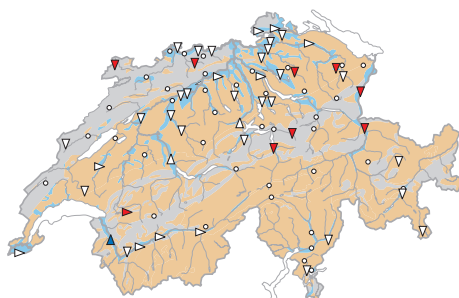
Ein Drittel der Messstellen Ende Sommer auf tiefem Niveau

Abb. 19

Grundwasserstand beziehungsweise Quellschüttung an je einem Stichtag im Spätsommer und im Spätherbst 2015. Trend (steigend, stagnierend, sinkend). Weiss: Aktueller Messwert liegt im Bereich mit 80 % der Werte zwischen 1995 und 2014. Blau: Aktueller Messwert liegt im Bereich der 10 % höchsten Werte zwischen 1995 und 2014. Rot: Aktueller Messwert liegt im Bereich der 10 % tiefsten Werte zwischen 1995 und 2014.

Grundwassersituation
a) am 07.08.2015

b) am 03.11.2015



- Grundwasserleitertyp
 - Lockergesteins-Grundwasserleiter
 - Kluft-Grundwasserleiter
 - Karst-Grundwasserleiter
- Tendenz
 - △ Steigend
 - ▷ Stagnierend
 - ▽ Sinkend
- Im mehrjährigen Vergleich
 - ▶ Hoch (> 90. Perzentil)
 - ▷ Normal (10.–90. Perzentil)
 - ▶ Tief (< 10. Perzentil)
 - Länge Datenreihe unzureichend

Grundwasserstand auf rund ein Drittel (Abb. 19b). Verglichen mit dem Hitzesommer 2003 liegen die Grundwasserstände und Quellschüttungen im Sommer 2015 allerdings auf einem höheren Niveau.

Der Temperaturrückgang im Herbst beendet die Gletscherschmelze in den Alpen und reduziert damit entlang der grossen Alpenflüsse die Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser. Im November 2015 steigt der Anteil von Messstellen mit tiefem Grundwasserstand oder tiefer Quellschüttung mit rund 40 % auf den Jahreshöchstwert (Abb. 19b) und übertrifft damit die Situation im gleichen Monat des Jahres 2003. Im Jura führen die teils ausgiebigen Niederschläge der zweiten Novemberhälfte zu einer nennenswerten Grundwasserneubildung. In den anderen Gebieten sinken die Grundwasserstände und Quellschüttungen hingegen weiter und erreichen erst Ende Dezember 2015 den tiefsten Stand des Jahres (siehe Abb. 20a). Mitunter werden an Messstellen sogar neue absolute Tiefstwerte für die Monate November und Dezember erreicht. Anfang 2016 normalisieren sich die Werte an den meisten Messstellen wieder (vgl. Abb. 18).

Tiefststand Ende Jahr

Grundwasserqualität und -temperatur

Wegen der hohen durchschnittlichen Aufenthaltszeiten des Grundwassers im Untergrund zeigen sich die Auswirkungen eines Ereignisses wie des Hitzesommers 2015 auf Qualität und Temperatur des Grundwassers erst im Lauf der folgenden Monate bis Jahre. Anhand der Daten von 50 Messstellen⁸ können die Folgen von Trockenheit und Hitze daher nicht abschliessend beurteilt werden. Kurzfristige Reaktionen sind insbesondere in oberflächennahen Lockergesteins-Grundwasserleitern, bei erheblicher Infiltration von Flusswasser und in Karst-Grundwasserleitern zu erkennen.

An Messstellen im Einflussbereich eines Flusses mit vergletschertem Einzugsgebiet kann der erhöhte Schmelzwasseranteil im Grundwasser zu einer Verdünnung und damit zu einem Rückgang der Konzentration verschiedener Hauptinhaltsstoffe wie Kalzium, Magnesium, Sulfat oder Chlorid führen. In der Folge nimmt auch die elektrische Leitfähigkeit des Wassers ab. Eine solche Abnahme ist beispielsweise an einer Messstelle im Bereich der Rhone zu beobachten. Der Effekt tritt während einer Zeit auf, als aufgrund erhöhten Wasserbedarfs vermehrt Grundwasser gepumpt wurde, was die Verdünnung noch verstärkt haben könnte.

**Höherer Schmelzwasseranteil
reduziert Mineralgehalt**

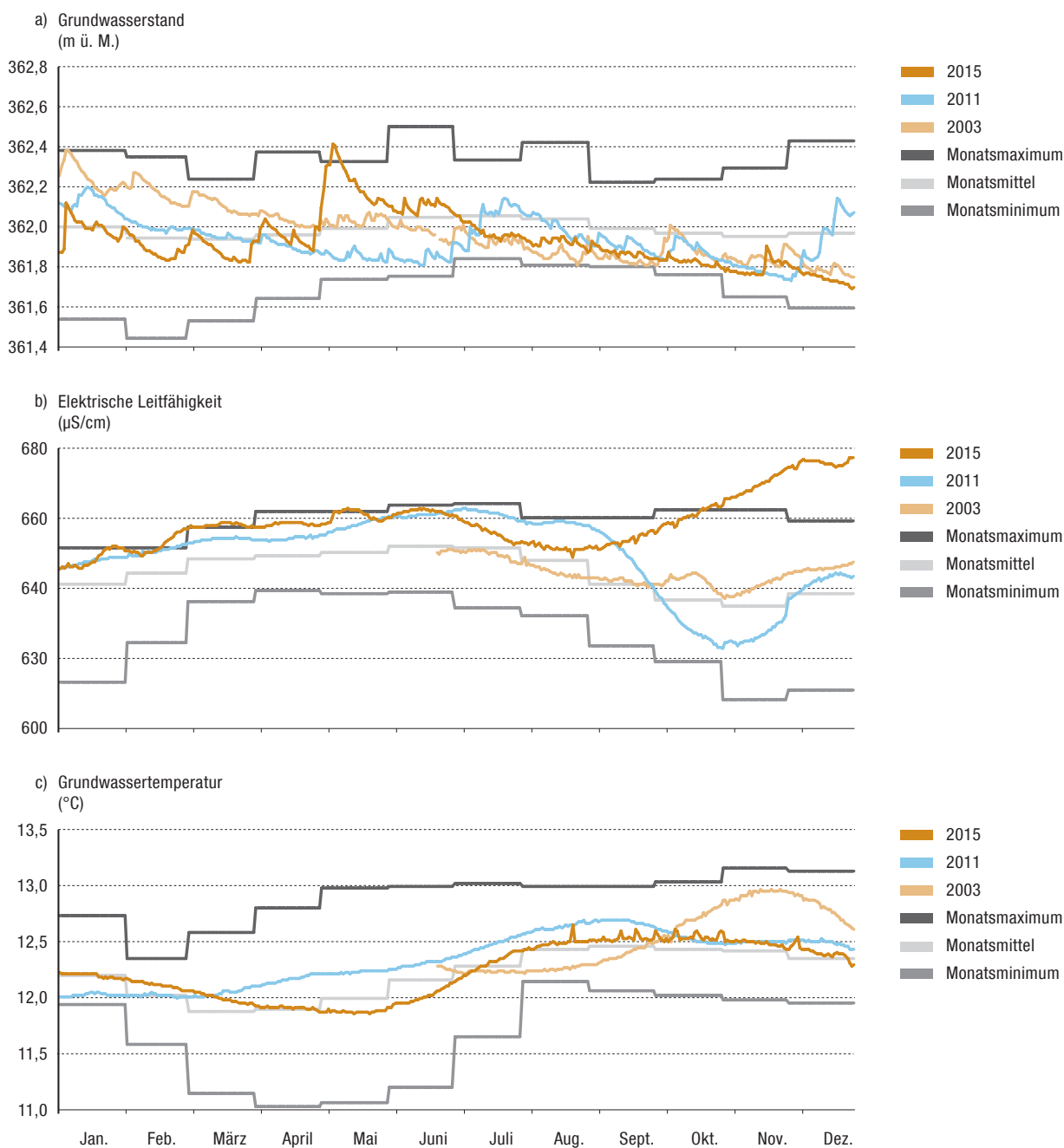
An einzelnen Messstellen im Mittelland steigt dagegen bei tiefen Grundwasserständen während des Sommers der Anteil an älterem, stärker mineralisiertem Grundwasser, da weniger Niederschlags- und/oder Flusswasser infiltriert. In der Folge erhöht sich insbesondere ab Herbst 2015 die elektrische Leitfähigkeit des Wassers (siehe Abb. 20b).

**Erhöhter Mineralgehalt
bei tiefen Grundwasserständen**

⁸ Qualitäts-Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA

Abb. 20

Grundwasserstand, elektrische Leitfähigkeit und Grundwassertemperatur an einer Messstelle bei Glattfelden, an der die Grundwasserneubildung durch rasche Versickerung lokaler Niederschläge und durch Infiltration von Wasser aus der Glatt erfolgt («pluviales» Regime). Messwerte der Jahre 2015, 2011 und 2003 im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten pro Monat für die Periode 2003–2014.



Quelle: BAFU

Ob der Sommer 2015 zu einem signifikanten Anstieg der Nitratkonzentration im Grundwasser führt, wie dies nach der Trockenheit 2003 (und 2005) der Fall war, wird sich erst in Zukunft zeigen. Im Jahr 2003 waren die Nitratkonzentrationen im Grundwasser aufgrund der reduzierten Auswaschung aus dem Boden zunächst leicht zurückgegangen. An vielen Messstellen stiegen diese jedoch insbesondere 2004 und 2006 deutlich an, als sich der im Boden akkumulierte Stickstoff ins Grundwasser verlagerte (BAFU 2009).

**Anstieg der
Nitratkonzentration möglich**

Ein genereller Einfluss der Trockenheit 2015 auf die Konzentrationen organischer Spurenstoffe wie zum Beispiel von Pestiziden oder halogenierten Kohlenwasserstoffen im Grundwasser lässt sich aus den vorliegenden Grundwasserdaten nicht ableiten. Auch die Temperaturen im Grundwasser liegen 2015 im Normalbereich und zeigen keine Auffälligkeiten gegenüber früheren Hitzeperioden (Abb. 20c).

**Kein Einfluss auf organische
Spurenstoffe und Temperatur
sichtbar**

Bodenfeuchte

Nach einem feuchten Mai sinkt die Bodenfeuchte im Juni und Juli 2015 markant. Dies gilt für die ganze Schweiz, aber auch für die drei Regionen Nordostschweiz, Westschweiz und Südschweiz, wie sich anhand einer Modellrechnung nachvollziehen lässt. Das Absinken gleicht dabei der Entwicklung im Juni 2003. In beiden Jahren bewegt sich die Bodenfeuchte in den Sommermonaten am Rande und teilweise auch deutlich unterhalb des Bereichs, in dem sie von 1994 bis 2015 in 90 Prozent der Fälle zu erwarten ist (siehe Abb. 21).

**Ausgeprägte Trockenheit
ab Juli**

In der Nordschweiz (Nordost- und Westschweiz) liegen die Werte 2015 länger im extremen Bereich als 2003 und tun dies auch noch weiter in den Herbst und Winter hinein. Demgegenüber beginnt die Trockenheit 2003 früher und wird im Oktober rascher wieder überwunden. Der Verlauf der Bodenfeuchte lässt im Sommer 2003 grössere Abweichungen von der Norm erkennen als im Sommer 2015.

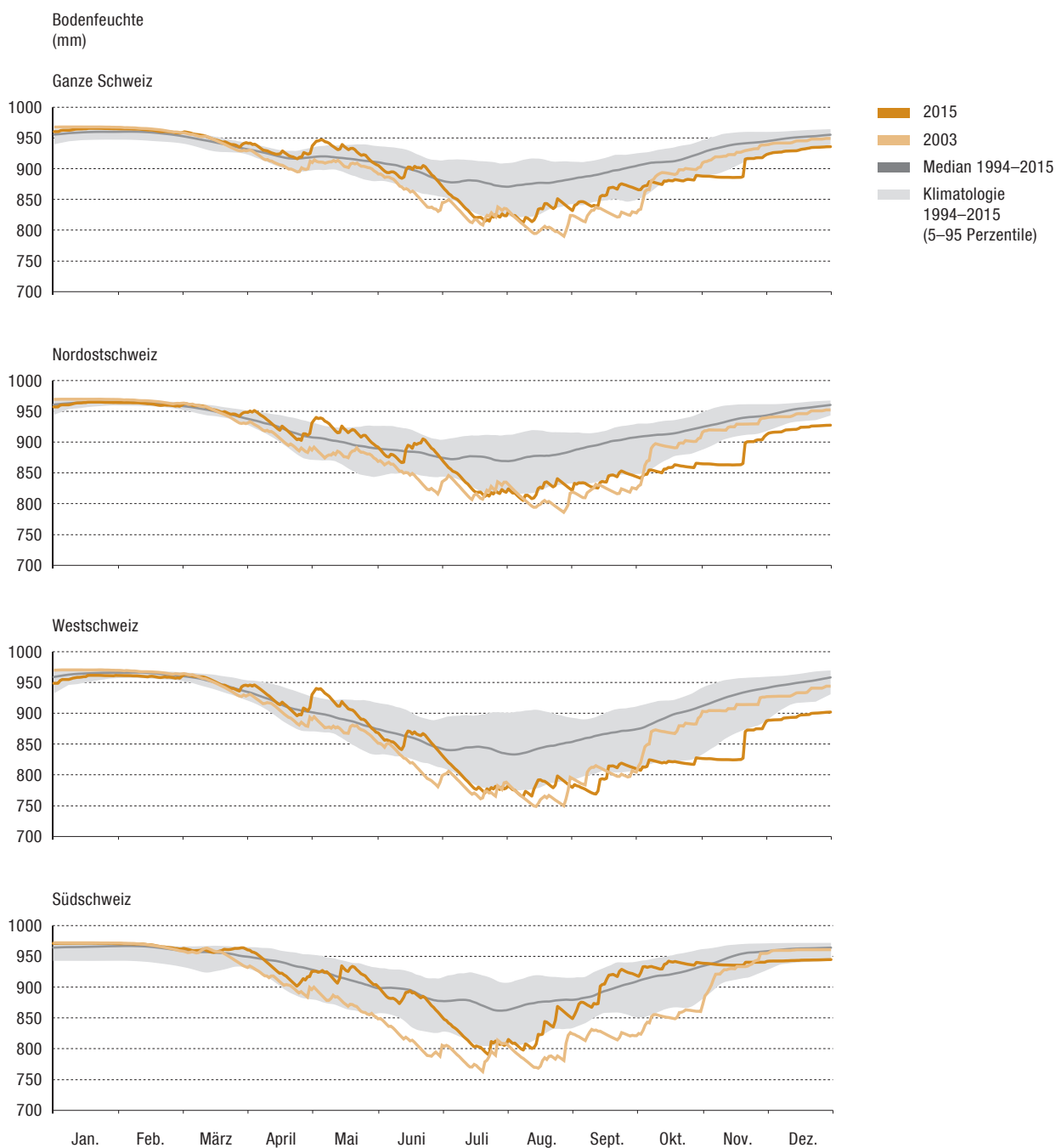
**Nordschweiz 2015 mit längerer
Trockenheit als 2003**

In der Südschweiz ist die Trockenheit 2003 deutlich ausgeprägter als 2015.

**2015 erreicht Trockenheit
in der Südschweiz
nicht Ausmass von 2003**

Abb. 21

Tägliche Entwicklung der Bodenfeuchte im Mittel der Schweiz und in drei Regionen gemäss Modellrechnungen für die Jahre 2015 und 2003, verglichen mit dem mittleren Wert der Jahre 1994 bis 2015 (Median) und dem Bereich, in den 90% der Tageswerte aus dieser Vergleichsperiode fallen.



Quelle: Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich

2.3 Gletscher und Permafrost

Im Sommer 2015 verlieren die Gletscher der Schweizer Alpen überdurchschnittlich viel Eis, und der heisse Juli führt zu einer aussergewöhnlich starken Gletscherschmelze. Die Permafrostböden sind so warm wie noch nie seit Beginn der Messungen, und die Blockgletscher bewegen sich schneller als im Hitzesommer 2003. In den Schweizer Alpen lösen sich 2015 viele Felsstürze im Hochgebirge.

Vorgeschichte

Für 10 bis 20 Gletscher wird in der Schweiz jedes Jahr bestimmt, wie viel Schnee sich bis zum Ende des Winters ansammeln konnte und wie viel Eis bis in den Herbst schmilzt.⁹ Die Messergebnisse für das Jahr 2015 zeigen, dass die Gletscher Mitte April von einer durchschnittlich mächtigen Schneedecke bedeckt sind. Die kühle Witterung der Monate Mai und Juni lässt die Schneedecke im Hochgebirge vergleichsweise langsam abschmelzen.

Als Permafrost bezeichnet man Untergrund, der das ganze Jahr hindurch Minustemperaturen aufweist. Für die Temperaturverhältnisse im Untergrund ist die Temperatur nahe an der Bodenoberfläche relevant, die ihrerseits von den Witterungsbedingungen und der saisonalen Schneedecke beeinflusst wird. Längerfristige Veränderungen der Bodenoberflächentemperatur (typischerweise dargestellt als gleitende Jahresmittel) geben Hinweise auf die Temperaturentwicklungen im Untergrund, den sie mit zunehmender Tiefe immer stärker gedämpft und verzögert erreichen. Wie bereits in den vorhergehenden Jahren sind die Temperaturen an der Bodenoberfläche im Winter 2014/15 anhaltend hoch, jedoch tiefer als im Winter 2002/03. Dazu trägt der späte Schneefall bei: Ohne isolierende Schneeschicht kann der Untergrund zu Beginn des Winters stärker auskühlen als bei frühem Schneefall. Die Permafrosttemperaturen, die in grösserer Tiefe in Bohrlöchern gemessen werden, sind aber bereits im Winter 2014/15 höher als je zuvor.¹⁰

Gletscherschmelze

Im Frühjahr 2015 schmilzt der Schnee auf den Gletschern des Hochgebirges nur zögerlich (vgl. Vorgeschichte). Die Ausaperung der Gletscherzungen beginnt erst mit dem Einsetzen der Hitzeperiode im Juli. Das bis Mitte August anhaltend heisse Sommerwetter führt dann aber zu einer aussergewöhnlich intensiven Schmelze. Eine markante Abkühlung und Neuschnee beenden Mitte August die Phase starker Eisverluste.

Geringe Gletscherschmelze vor Beginn der Hitzeperiode

Warme Permafrostböden trotz spätem Schneefall im Winter 2014/15

Starke Gletscherschmelze von Juli bis Mitte August

⁹ Glacier Monitoring Schweiz (GLAMOS)

¹⁰ Das Schweizer Permafrost-Messnetz (PERMOS) beobachtet Zustand und Entwicklung des Permafrosts an verschiedenen Standorten in den Schweizer Alpen (www.permos.ch). Temperaturen in einer Tiefe von 10 Metern oder mehr werden in ungefähr 30 Bohrlöchern gemessen.

Mehr noch als in anderen Jahren unterscheiden sich im Sommer 2015 die Eisverluste von Gletscher zu Gletscher. So schrumpft die Eisdicke der Gletscher im südlichen Wallis nur um rund 70 cm, während die Verluste zwischen dem Berner Oberland und dem nördlichen Wallis bis zu 250 cm und mehr ausmachen. Die meisten Gletscher beidseits der Alpen büssen im Sommer 2015 Eisdicken zwischen 100 und 200 cm ein. Vor allem kleinere Gletscher in tieferen Lagen werden, nachdem der Schnee dort schon im Juli komplett geschmolzen ist, von der Hitzeperiode stark in Mitleidenschaft gezogen.

Ungewöhnlich grosse regionale Unterschiede

Insgesamt schmelzen im Jahr 2015 rund 2,5 Prozent des derzeit in der Schweiz noch vorhandenen Gletschereises. Im Vergleich der letzten fünfzehn Jahre reiht sich der Sommer 2015 damit unter die Spitzenplätze ein. Im Sommer 2003 waren die Eisverluste aber noch grösser, und in den Jahren 2006, 2011 und 2012 schmolzen die Gletscher ähnlich stark wie 2015 (Abb. 22). Die Sommer von 2003 und 2015 weisen zwar vergleichbare Temperaturen auf, sie unterscheiden sich jedoch durch ihre Vorgeschichte und die Länge der Hitzeperioden: 2015 sind die Gletscher zu Beginn des Temperaturanstiegs noch durch eine vergleichsweise dicke Winterschneedecke geschützt, und die Neuschneefälle von Mitte August und im September bremsen die Schmelze bereits früh.

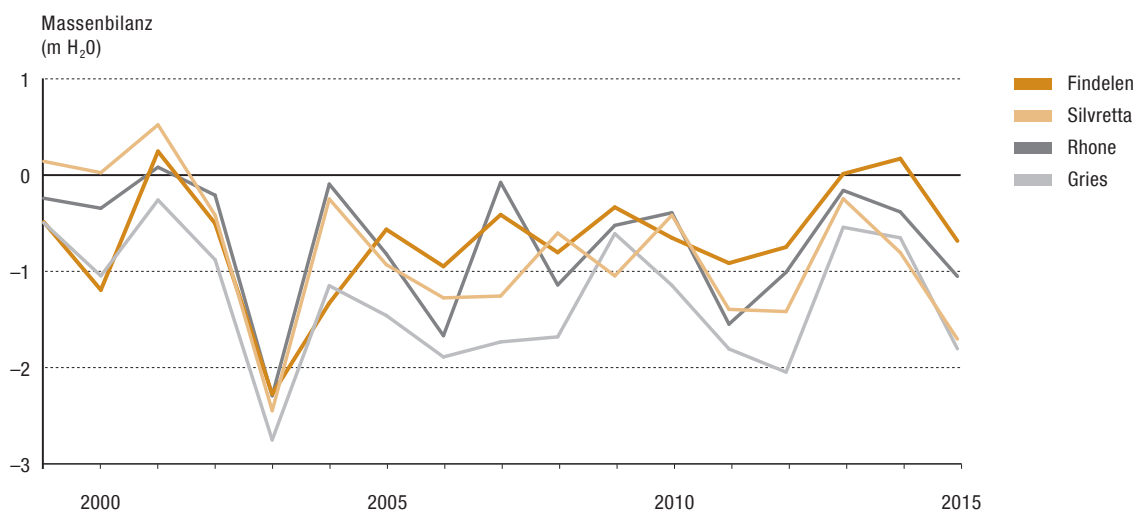
Starke Eisschmelze, aber kein Rekord

Der Rückgang von Gletschern birgt Gefahren für Siedlungen und Verkehrswege. So können instabile Gletscherzungen Eislawinen auslösen. Tatsächlich ereignet sich am Gutzgletscher bei Grindelwald am 11. September 2015 ein spektakulärer Eisabbruch. Zudem drohen Flutwellen, wenn der Damm eines Gletschersees bricht oder wenn sich

Gefahr von Eisabbruch und Flutwellen schadlos überstanden

Abb. 22

Jährliche Massenbilanz (Eiszuwachs minus Eisschmelze) für vier ausgewählte Gletscher von 1999 bis 2015 in Metern Wasseräquivalent.



Quelle: GLAMOS

das Wasser bei einer subglazialen Entleerung entlang des Gletscherbetts unvermittelt einen Weg sucht. Ende Juli 2015 entleert sich so der zwei Millionen Kubikmeter fassende Faverges-See auf dem Glacier de la Plaine Morte in wenigen Tagen (Abb. 23). Weder der Eisabbruch bei Grindelwald noch der Ausbruch des Faverges-Sees richten jedoch Schaden an.

Permafrost

Die Temperaturen nahe der Bodenoberfläche steigen in den Permafrost-Messgebieten zwischen Mai und September 2015 deutlich an, im Juli werden die bisherigen Rekordwerte aus dem Hitzesommer 2003 zeitweise übertroffen. Das Temperaturmittel des ganzen Berichtsjahres 2014/15 liegt jedoch wegen des kühlen Winters unter denjenigen von 2002/03. Weitgehend schneefreie, steile Felswände sind im Berichtsjahr 2014/15 aber vermutlich wärmer als 2002/03, sie wurden allerdings damals noch nicht systematisch erfasst.

Oberflächennahe Temperaturen im Berichtsjahr 2014/15 leicht tiefer als 2002/03

Abb. 23

Ende Juli 2015 ergiesst sich auf dem Glacier de la Plaine Morte ein grosser Strom aus dem Faverges-Gletschersee. In wenigen Tagen ist der 2 Millionen Kubikmeter Wasser fassende See leer.



Die Permafrosttemperaturen in grösserer Tiefe (10 Meter und mehr) erreichen 2015 vielerorts neue Höchstwerte im Vergleich zu den 10- bis 25-jährigen Messreihen und setzen den Erwärmungstrend der letzten sieben Jahre fort (Abb. 24). Im Bohrloch Corvatsch-Murtèl ist die Temperatur in 20 Metern Tiefe beispielsweise seit 2009 etwa ein halbes Grad gestiegen. Beim 100 Meter tiefen Bohrloch am Nordhang des Schilthorns ist die Auftauschicht im Sommer 2015 über 9 Meter mächtig – ein neuer Rekordwert. An derselben Stelle deuten geophysikalische Messungen zudem auf einen steigenden Anteil ungefrorenen Wassers und damit Eisschwund hin; der alte Rekord von 2003 wurde in den letzten Jahren bereits mehrfach übertroffen.

Rekordtemperaturen in der Tiefe

Mit der seit 2009 stetig steigenden Permafrosttemperatur beschleunigt sich auch die Bewegung der aus Schutt und Eis bestehenden Blockgletscher. Im Mittel der ausgewerteten Stationen sind die Kriechgeschwindigkeiten 2015 gegenüber dem Vorjahr 20 Prozent höher. Die Mehrheit der Blockgletscher bewegt sich damit so schnell wie noch nie seit Beginn der Aufzeichnungen. Die Geschwindigkeit beträgt oftmals mehrere Meter pro Jahr und übertrifft die bisherigen Maxima der Jahre 2003 und 2004 deutlich, diejenigen aus der kühleren Periode zwischen 2005 und 2007 sogar um das Vier- bis Fünffache. Diese Beobachtungen lassen sich mit der höheren Plastizität von Eis bei steigenden Temperaturen erklären.

Rekordhohe Kriechgeschwindigkeit der Blockgletscher

Die gemessenen Rekordwerte sind nicht nur auf den heissen Sommer 2015 zurückzuführen. Sie sind vielmehr das Ergebnis der anhaltend warmen Witterungsbedingungen während der letzten Jahre. Bis die Wärme des Sommers eine Tiefe von 10 Metern erreicht hat, dauert es etwa ein halbes Jahr. Den vollen Einfluss des Sommers 2015 auf den Permafrost wird man daher erst 2016 abschätzen können. Die auch im Winter 2015/16 spät einsetzenden Schneefälle lassen den Untergrund stärker auskühlen, wodurch die Auswirkungen des Sommers 2015 auf den Permafrost vermutlich etwas abgeschwächt werden. In den steilen Felswänden dürften dagegen die langanhaltend hohen Herbsttemperaturen zu einer weiteren Erwärmung beitragen.

Auswirkungen des Sommers 2015 noch nicht absehbar

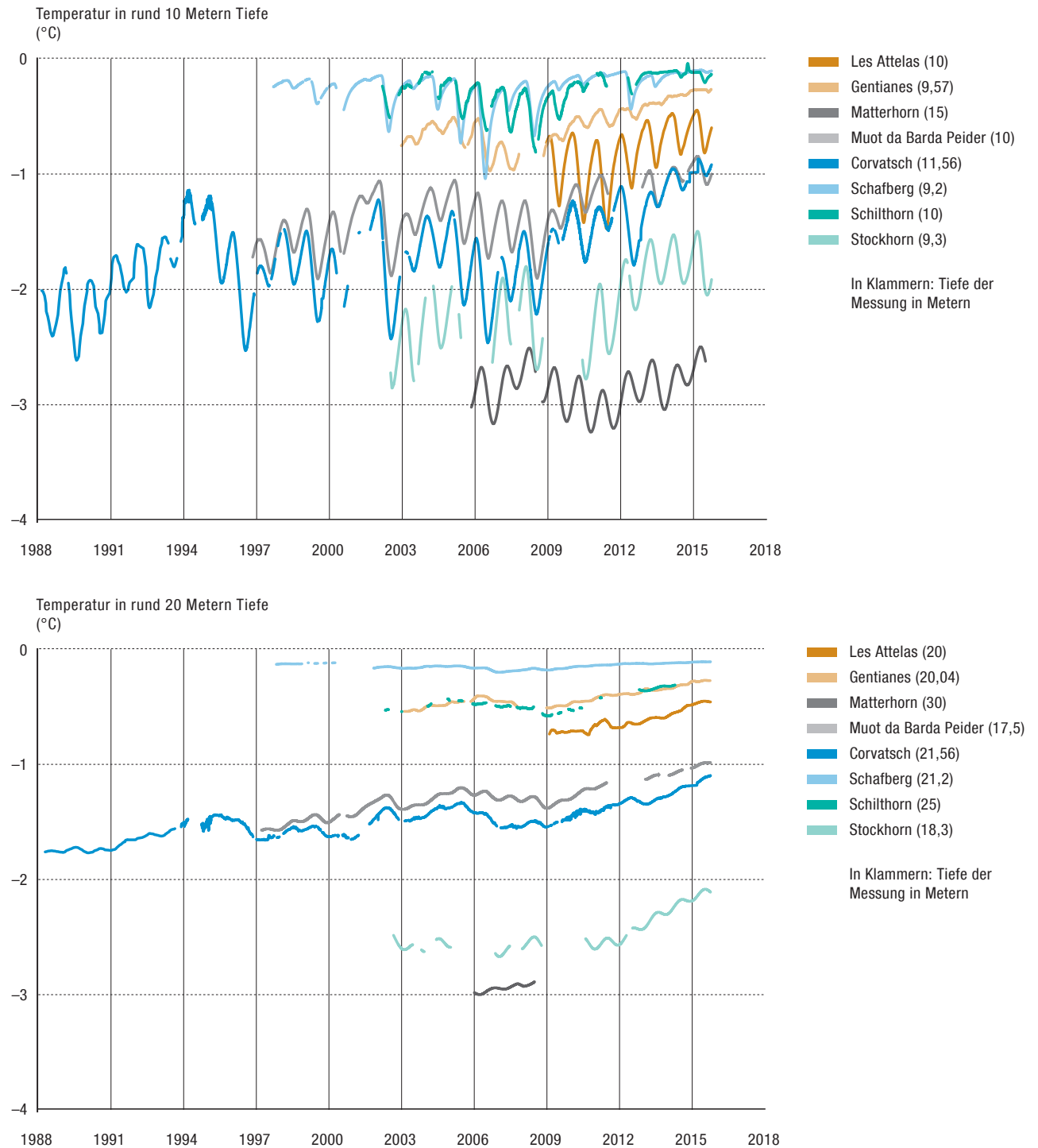
Felsstürze

Der Sommer 2015 bringt neben ausserordentlich hohen Temperaturen (vgl. Kap. 2.1) auch zahlreiche Gewitter und wiederholte Regenfälle. Diese Kombination löst in den Permafrostregionen oberhalb von rund 2500 Metern über Meer aussergewöhnlich viele Felsstürze aus (siehe Abb. 25). Die Erwärmung von Fels und Eis in den dazwischenliegenden Spalten sowie der Druck des eindringenden Wassers erzeugen Instabilität. Erdbeben lassen sich als Ursache ausschliessen, da solche in keinem der beobachteten Fälle einem Felssturz vorausgegangen sind.

Überdurchschnittlich viele Felssturz-Ereignisse

Die grösste Felssturzakktivität beginnt im Juli 2015 nach einer aussergewöhnlichen Hitzeperiode. Am 28. Juli lösen sich in der Westflanke des Piz Cambrena (GR) rund 5000 Kubikmetern Gestein, was etwa dem Volumen von fünf Einfamilienhäusern entspricht. Es folgen weitere Felsstürze in verschiedenen Regionen der Schweizer Alpen mit einer Häufung in der ersten Augushälfte. Das grösste Ereignis fällt auf den 2. September 2015, als sich in der Westflanke des Grande Dent de Veisivi (VS)

Aktivitätsspitze in zweiter Augushälfte

Abb. 24*Bohrlochtemperaturen an ausgewählten Standorten in unterschiedlicher Tiefe.*

auf 3400 Metern über Meer ein geschätztes Volumen von 80 000 Kubikmetern in Bewegung setzt. Die Felsstürze ereignen sich im Sommer generell zu allen Tages- und Nachtzeiten und an allen Expositionen mit Ausnahme von Südhängen (SLF 2016).

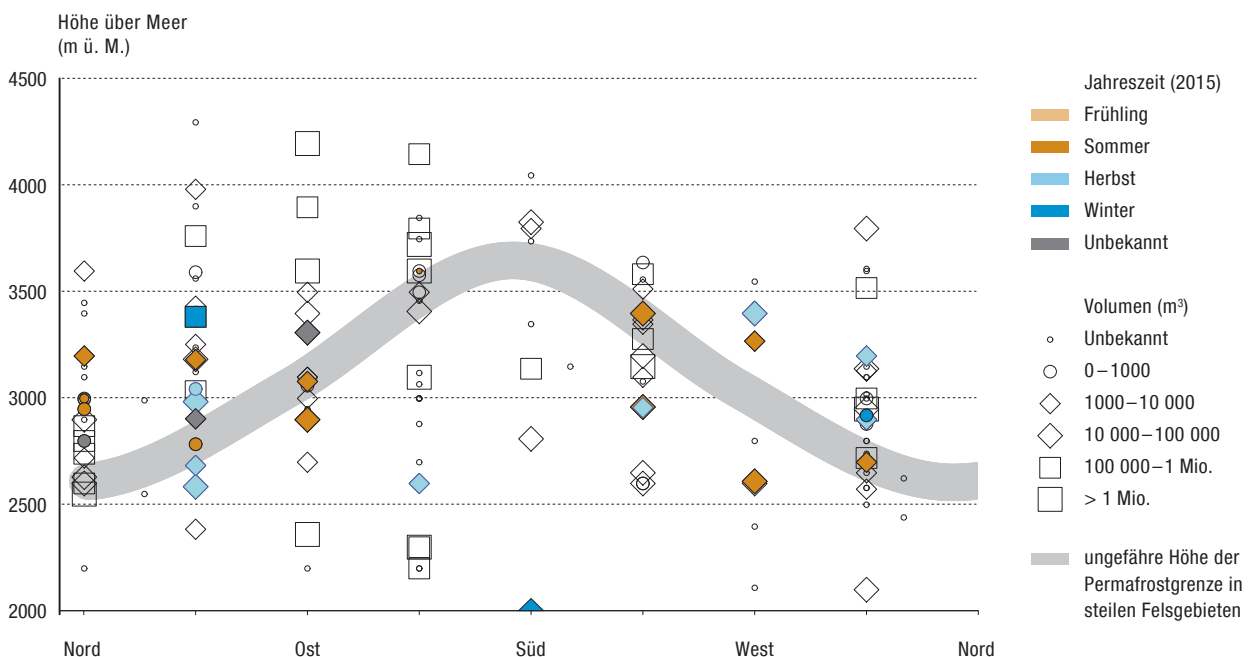
Verhältnismässig kleine und mittlere Felsstürze von weniger als einer Million Kubikmetern Fels ereignen sich in hoch gelegenen und kalten Regionen hauptsächlich während der Sommermonate. Die Beobachtungen im Berichtsjahr 2015 stimmen darin mit einer Auswertung von mehreren Hundert, seit 1714 dokumentierten Steinschlag- und Felssturz-Ereignissen im Permafrost überein (Abb. 25).¹¹ Grosse Felsstürze mit mehr als einer Million Kubikmetern Fels werden dagegen ganzjährig beobachtet. Obwohl Felsstürze vor allem mit der Felsstruktur und deren Stabilität zusammenhängen, dürften Prozesse im Permafrost wahrscheinlich eine wichtige Rolle spielen.

**Kleinere und mittlere Felsstürze
im Permafrost hauptsächlich
im Sommer**

11 Felssturzdatenbank SLF/PERMOS

Abb. 25

Verteilung der Felssturz-Ereignisse im Hochgebirge für das Jahr 2015 (ausgefüllte Symbole), verglichen mit der langjährigen Felssturz-Datenbank (Symbole ohne Füllung), die seit 1714 mehrere Hundert Steinschlag- und Felssturz-Ereignisse im Permafrost in den Alpen dokumentiert.



Quelle: WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

3 > Auswirkungen von Hitze und Trockenheit

3.1 Wasserwirtschaft

Hitze und Trockenheit führen in der Trinkwasserversorgung 2015 nur lokal und in geringem Ausmass zu Problemen. Kleinere Wasserversorger rufen häufig zum freiwilligen Wassersparen auf. Werden die Wasserversorgungen intelligent vernetzt, dürfte es auch mit fortschreitendem Klimawandel noch genügend Trinkwasser für alle geben. Bei den Wasserentnahmen für die Landwirtschaft kommt es 2015 in den Monaten Juli und August zu den gravierendsten Einschränkungen. In einigen Kantonen haben sich verbesserte Handlungsabläufe zur Bewältigung der Wasserknappheit eingespielt. Massnahmen zur längerfristigen, präventiven Anpassung sind aber erst vereinzelt erkennbar.

Ausgangslage

Die integrale Wasserwirtschaft befasst sich mit allen menschlichen Tätigkeiten, die auf eine Nutzung des Wassers, auf seinen Schutz oder auf den Schutz des Menschen vor dem Wasser zielen (BWG 2003). Das vorliegende Kapitel behandelt die Auswirkungen und die Massnahmen zur Bewältigung von Hitze und Trockenheit des Sommers 2015 auf die Trinkwasserversorgung, die Wasserentnahmen aus den Gewässern und die Einleitungen in die Gewässer. Separate Kapitel gehen auf weitere Sektoren der integralen Wasserwirtschaft ein (Wasserqualität in Kap. 2.2, Fischerei, Wasserlebewesen, Auen und Feuchtgebiete in Kap. 3.4 sowie Wasserkraft in Kap. 3.7).

Die Schweizer Wasserwirtschaft ist geprägt durch kleinräumige Strukturen. Die Bundesverfassung¹² hält fest, dass die Kantone über die Wasservorkommen verfügen. Der Bund steckt mit seiner Gewässerschutzgesetzgebung¹³ die Rahmenbedingungen ab, damit die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen geschützt sind und das Trink- und Brauchwasser haushälterisch genutzt wird. Oft sind die Kantone Bewilligungs- oder Aufsichtsbehörde, etwa wenn es um die Festlegung der Restwassermengen geht, um die Bewilligung von Wasserentnahmen, die Einleitung von Abwasser oder die Nutzung von Gewässern als Kühlwasser. Die meisten Kantone delegieren den Vollzug der kantonalen Gesetzgebung im Bereich der Trinkwasserversorgung ihrerseits nochmals weiter an die Gemeinden.

**Fokus auf Trinkwasser-
versorgung, Wasserentnahmen
und Wassereinleitungen**

**Wasserhoheit bei
Kantonen und Gemeinden**

¹² BV, SR 101 (Art. 76)

¹³ Gewässerschutzgesetz (GSchG, SR 814.20) und Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201)

Um einen gesamtschweizerischen Überblick über die Folgen des Sommers 2015 auf die Wasserwirtschaft zu gewinnen, wurde darum bei den kantonalen Fachstellen eine Umfrage durchgeführt.¹⁴

Trinkwasserversorgung

Da die Grundwasserstände zu Beginn des Sommers 2015 hoch sind (vgl. Kap. 2.2), kommt es in den ersten, von Trockenheit geprägten Juni-Wochen bei der Wasserversorgung kaum zu Problemen. Auch während der beiden extremen Hitzewochen von Anfang Juli kann der erhöhte Wasserbedarf der Bevölkerung in den meisten Fällen problemlos gedeckt werden. Wegen der sinkenden Grundwasserstände versiegen ab Mitte Juli im Jura die ersten flachgründigen Karstquellen und im Mittelland die ersten flachgründigen Lockergesteinsquellen (Tratschin et al. 2016). In der Folge kommt es vor allem auf Bauern- und Alpbetrieben zu Versorgungsengpässen. Im Juli und August berichten Medien ausführlich über Einsätze mit Armeehelikoptern, die im Waadtländer Jura und in den Freiburger Alpen Rinder mit Wasser versorgen.¹⁵ Auch in den Kantonen St. Gallen, Glarus und Obwalden leistet die Armee Spontanhilfe-Einsätze (Schweizer Armee 2016).

Im Herbst 2015 bleiben die Niederschläge weiterhin unter dem Durchschnitt, sodass die Grundwasserpegel deutlich sinken. Viele Grundwasserstände und Quellschüttungen erreichen das Minimum erst im November und Dezember (vgl. Kap. 2.2). Während dieser Zeit versiegen weitere Quellen, wie beispielsweise Schweizer Radio und Fernsehen SRF aus den Kantonen Zürich, Solothurn und Bern sowie aus der Zentralschweiz und dem Jura berichtet.¹⁶ Obwohl die Grundwasserstände Ende November 2015 verbreitet tiefer liegen als 2003, bleiben Versorgungsengpässe lokal begrenzt (Tratschin et al. 2016).

In zehn Kantonen rufen 2015 mehrere Gemeinden dazu auf, Wasser zu sparen. In weiteren sieben Kantonen lancieren immerhin vereinzelte Gemeinden entsprechende Aufrufe (Abb. 26).¹⁷ Wasserspar-Aufrufe werden von den Gemeinden oder von den Wasserversorgern oft vorsorglich ausgesprochen, zur Sensibilisierung der Bevölkerung bei sich abzeichnender oder anhaltender Trockenheit. Zum Zeitpunkt der Aufrufe zum Wassersparen steht daher meistens noch genügend Wasser zur Verfügung, und es müssen keine essenziellen Bedürfnisse eingeschränkt werden. Die 2015 ausgesprochenen Anordnungen oder Aufrufe zu freiwilligen Einschränkungen betreffen das Bewässern von Gärten, das Füllen von Swimmingpools oder das Waschen von Autos.

**Befragung bei
kantonalen Fachstellen**

**Punktuelle Versorgungs-
engpässe ab Mitte Juli**

**Bis Ende 2015 versiegen
lokal weitere Quellen**

**Aufrufe zum Wassersparen in
einer Mehrheit der Kantone**

¹⁴ Webbasierte Umfrage bei den kantonalen Fachstellen zu den Auswirkungen und zur Bewältigung von Hitze und Trockenheit im Jahr 2015. Die meisten Fragen sind qualitativer Art; geantwortet haben 22 von 26 Kantonen. Die Umfrageergebnisse sind in den Expertenbericht zur Auswertung der Trockenheit und Hitze im Bereich Wasserwirtschaft (Tratschin et al. 2016) eingeflossen und bilden eine wichtige Grundlage für dieses Kapitel.

¹⁵ Schweizer Bauer vom 22.7.2015; NZZ vom 25.7.2015, Südostschweiz vom 31.7.2015

¹⁶ Schweizer Radio und Fernsehen SRF vom 4.11.2015, Schweizer Radio und Fernsehen SRF vom 20.11.2015

¹⁷ In der Regel besteht seitens der Gemeinden keine Pflicht, die kantonale Behörde über Einschränkungen in der Trinkwasserversorgung zu informieren. Es ist darum davon auszugehen, dass die Angaben der Kantonsumfrage unvollständig sind. Um ein detaillierteres Bild zu erhalten, müssten alle Wasserversorger der Schweiz einzeln angeschrieben werden (Tratschin et al. 2016).

Einige Gemeinden schalten in einem ersten Schritt die öffentlichen Brunnen aus. Die Gemeinden rufen 2015 nicht nur während der Sommermonate zum Wassersparen auf, vielerorts tun sie dies bis in den November hinein.

Verbindliche Verbote, die gewisse Nutzungen von der Trinkwasserversorgung ausschliessen, werden 2015 nur für einzelne Walliser Gemeinden gemeldet. Aus dem Tessin, wo 2003 zeitweise bis zu 10 Prozent der Bevölkerung von Einschränkungen in der Trinkwasserversorgung betroffen waren, werden 2015 nur wenige Wasserspar-Aufrufe bekannt (Tratschin et al. 2016, BUWAL et al. 2004).

Dort, wo die Wasserversorger untereinander vernetzt sind oder das Wasser aus zwei unabhängigen Grundwasserträgern bezogen wird, treten 2015 kaum Schwierigkeiten bei der Wasserversorgung auf. Einige Kantone weisen explizit darauf hin, dass die Vernetzung der Wasserversorger die Versorgungssicherheit in den letzten Jahren erhöht habe und Probleme dadurch vermieden werden.

Wasserentnahmen aus Gewässern

Das Gewässerschutzgesetz regelt die Bewilligung von Wasserentnahmen und sichert so in den Fliessgewässern angemessene Restwassermengen. Befristete Bewilligungen und temporäre Wasserentnahmen aus Fliessgewässern müssen in der Regel spätestens dann von der Bewilligungsbehörde (Kanton oder Gemeinde) eingeschränkt werden,

Kaum essenzielle Einschränkungen bei Trinkwasserversorgung

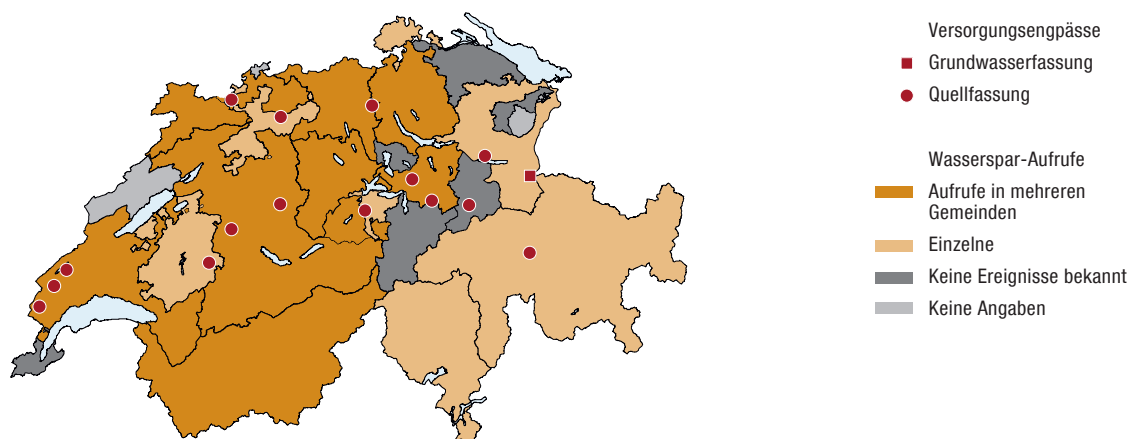
Vernetzung erhöht Versorgungssicherheit mit Trinkwasser

Abfluss Q_{347} als Indikator für Einschränkungen von Wasserentnahmen

Abb. 26

Knappheitsbedingte Einschränkungen in der öffentlichen und privaten Wasserversorgung gemäss Umfrage bei den kantonalen Fachstellen (Tratschin et al. 2016). Farbige Flächen: Häufung von Aufrufen zum Wassersparen in den Kantonen. Punkte: Konkrete Versorgungsengpässe in der Wasserversorgung.

2. Halbjahr 2015



Quelle: BAFU

wenn die angemessenen Restwassermengen nicht mehr gewährleistet sind. Die angemessenen Restwassermengen bestimmen sich einerseits aus einem Indikator für den Niedrigwasserabfluss (sogenanntes Q_{347}^{18}), andererseits müssen ökologische Kriterien wie die Wasserqualität oder die Wassertiefe für die freie Fischwanderung berücksichtigt werden. Die landwirtschaftliche Bewässerung ist oft betroffen von Einschränkungen temporärer Bewilligungen und mobiler Entnahmen. Die Wasserkraftanlagen haben dagegen meistens langjährige Konzessionen, in denen die Einhaltung angemessener Mindestrestwassermengen geregelt ist (siehe Kap. 3.7).

Die vom Indikator Q_{347} definierte Abflussmenge wird 2015 nördlich der Alpen verbreitet während mehrerer Wochen oder Monate unterschritten (Abb. 27). Besonders lange betroffen sind stark vom Regen geprägte Fliessgewässer («pluviales» Regime), die von Grundwasseraustausch oder Seeausflüssen wenig beeinflusst sind. So wird die Abflussmenge Q_{347} in der Genferseeregion, im Jurarandbogen und im Seeland, im Mittelland sowie in der Nordostschweiz in einigen Fliessgewässern trotz des feuchten Frühjahres bereits im Juli erreicht. Gewässer, die durch Schmelzwasser oder grössere Wasserspeicher wie Seen oder Grundwasserträger gespeist werden, führen erst Ende Sommer oder im November Niedrigwasser. Die Fliessgewässer in den Alpen und auf der Alpensüdseite verzeichnen keine aussergewöhnlich tiefen Wasserstände (vgl. Kap. 2.2).

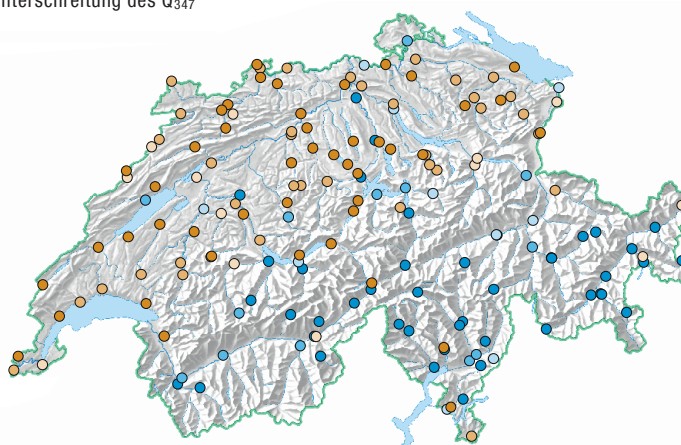
Kritische Abflussmengen bei pluvialem Regime ab Juli, im Spätsommer und Herbst auch andernorts

18 Die Abflussmenge Q_{347} ist gemäss Gewässerschutzgesetz (Art. 4 Bst. h) diejenige Abflussmenge, die, gemittelt über zehn Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und die durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist. In Kap. 2.2 wird eine weitere Niedrigwasserkenngrosse (sogenanntes NM7Q) ausgewertet. Die vom Indikator Q_{347} definierte Abflussmenge ist im Allgemeinen deutlich grösser als die in Abbildung 12 ausgewertete Niedrigwasserabflussmenge NM7Q.

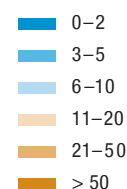
Abb. 27

Tage mit Unterschreitung der vom Indikator Q_{347} bestimmten Abflussmenge an den hydrologischen Messstationen des BAFU im Jahr 2015 (siehe auch Fussnote 18).

Anzahl Tage mit Unterschreitung des Q_{347}
(2015)



Total aller Tage unter Q_{347}



In Gebieten mit bewässerungsintensiven Landwirtschaftskulturen kann der Wasserbedarf stark ansteigen, weil Niederschläge ausbleiben und weil die Hitze die Verdunstung der Pflanzen steigert. In früheren Hitze- und Trockenperioden (beispielsweise 1976 oder 2003) führten Einschränkungen bei der Wassernutzung aus Gewässern teilweise zu Konflikten zwischen den Betroffenen und den kantonalen Behörden oder gar zu illegalen Entnahmen (BUWAL et al. 2004). Einige Kantone sprechen 2015 generelle Verbote aus und erteilen dann Ausnahmen für einzelne (grössere) Gewässer (so etwa die Kantone Waadt, Freiburg oder Jura). Andere Kantone haben ausgeklügelte Systeme entwickelt, um mit beschränkten Wasserkontingenten optimal zwischen lokalen Schutz- und Nutzungsansprüchen abwägen zu können. So sind im Kanton Bern bei den betroffenen Gewässern Pegellatten installiert. Auf diesen können die betroffenen Landwirte selber ablesen, wann die Mindestrestwassermenge erreicht wird. Im Kanton Solothurn teilen sich Inhaber einer Wasserbewilligung die Zeitfenster für die Bewässerung mithilfe einer Doodle-Umfrage. Damit können die Pflanzenerträge weitgehend gesichert und gleichzeitig die Mindestwassermengen eingehalten werden (Dübendorfer et al. 2015, Tratschin et al. 2016).

Unterschiedliche Vorgehen zur Einschränkung von Wasserentnahmen in den Kantonen

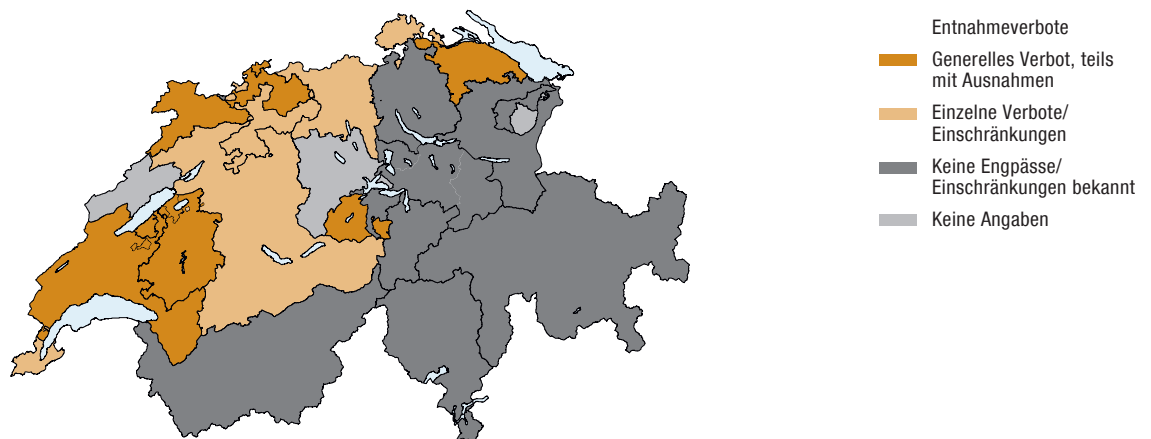
Wasserentnahmeverbote und Einschränkungen für die Landwirtschaft müssen 2015 vor allem in den Kantonen entlang des Jurarandbogens, des Seelandes und der Nordostschweiz ausgesprochen werden. In den alpinen Regionen und auf der Alpensüdseite führen die Fliessgewässer entweder genügend Wasser, oder landwirtschaftliche Bewässerungen sind unüblich (Abb. 28). Damit bestätigen die Ergebnisse der Kantonsumfrage, was aufgrund des Indikators Q_{347} zu vermuten war. Die grössten Konsequenzen

Einschränkungen für Landwirtschaft vor allem im Mittelland

Abb. 28

Entnahmeverbote oder Entnahmeeinschränkungen für die landwirtschaftliche Bewässerung gemäss Umfrage bei den kantonalen Fachstellen (Tratschin et al. 2016).

2. Halbjahr 2015



Quelle: BAFU

haben die Einschränkungen während der Hitze im Juli und August, wie aus der Umfrage bei den Kantonen in Übereinstimmung mit Medienberichten hervorgeht (Tratschin et al. 2016).¹⁹ In einigen Kantonen gilt das Wasserentnahmeverbot bis im November. Für die Landwirtschaft sind die Einschränkungen im Herbst insgesamt weniger gravierend als im Sommer, da zu diesem Zeitpunkt die Verdunstung weniger hoch ist und viele Kulturen bereits geerntet sind (siehe Kap. 3.2). Dennoch kommt es auch im Herbst zu Problemen: So müssen Bauern entlang des Jurarandbogens ihre angesäten Kulturen teilweise mit Trinkwasser aus der öffentlichen Wasserversorgung bewässern.²⁰

Einige Kantone haben die Bewilligungspraxis für Wasserentnahmen nach dem Sommer 2003 verbessert und transparent geregelt. So stellen die Kantone Bern, Basel-Landschaft, Solothurn, Thurgau, Tessin und Zürich auf dem Internet frühzeitig Merkblätter zur Verfügung mit den Regeln für Wasserentnahmen, oder sie informieren die betroffenen Akteure direkt über die sich abzeichnende Niedrigwassersituation. Andere Kantone weisen klar aus, in welchen grösseren Gewässern Entnahmen während Trockenzeiten möglich bleiben und wo mit Einschränkungen zu rechnen ist (so z. B. die Kantone St. Gallen, Luzern und Bern). Diese Formen der frühzeitigen und transparenten Information über die geltende Bewilligungspraxis scheinen das Konfliktpotenzial zumindest teilweise entschärft zu haben. In Kantonen mit einer geringen Zahl von Gesuchstellern können die Wasserentnahmegesuche vor Ort unter Einbezug der Fischereiaufseher geprüft werden, wie dies etwa für die Kantone Thurgau und Solothurn gilt (Tratschin et al. 2016).

**Bewilligungspraxis für
landwirtschaftliche
Wasserentnahmen verbessert**

Wassereinleitungen in Gewässer

Fünf Kantone entlang des Jurarandbogens und der Nordostschweiz (Kantone Basel-Landschaft, Genf, St. Gallen, Thurgau und Zürich) berichten, dass es 2015 beim Einleiten gereinigter Abwässer in Fliessgewässer vereinzelt zu Problemen kommt, weil diese so wenig Wasser führen, dass die Verdünnung ungenügend bleibt. Insgesamt führen Hitze und Trockenheit des Sommers 2015 aber – wie bereits 2003 – kaum zu Schwierigkeiten mit Abwasserreinigungsanlagen (Tratschin et al. 2016, BUWAL et al. 2004).

**Kaum Probleme
bei Abwassereinleitung**

Das Einleiten von Kühlwasser in Fliessgewässer untersteht der Bewilligungspflicht. Die einzuhaltenden Temperaturgrenzwerte sind in der Gewässerschutzverordnung geregelt. Kühlwasser darf beim Einleiten in ein Fliessgewässer oder in einen Flusstau nicht wärmer sein als 30 Grad. Die Einleitung darf das Gewässer gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand um höchstens 3 Grad erwärmen, in Gewässerabschnitten der Forellenregion um höchstens 1,5 Grad. Die Wassertemperatur im Gewässer darf 25 Grad nicht überschreiten. Die Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau werden mit Flusswasser gekühlt und sind in der Aare und im Rhein für rund die Hälfte der Erwärmung aus Kühl- und Abwassereinleitungen verantwortlich (Munz 2009). Die Kernkraftwerke Leibstadt und Gösgen haben Kühltürme und erwärmen die Gewässer darum nur gering. Damit die gesetzlichen Vorschriften zur Kühlwassereinleitung

**Kühlwassernutzung der
Kernkraftwerke teilweise
eingeschränkt**

¹⁹ Solothurner Zeitung vom 20.7.2015, Tages-Anzeiger vom 25.7.2015, Schweizer Bauer vom 7.8.2015

²⁰ Schweizer Radio und Fernsehen SRF vom 11.11.2015

eingehalten werden, senkt das Kernkraftwerk Mühleberg seine Leistung 2015 während 16 Tagen um 20 Prozent. Auch Beznau schränkt seinen Betrieb kurzzeitig ein, die Leistungsreduktion fällt aber deutlich geringer aus als in Mühleberg (siehe Kap. 3.7).

Anders als während der Hitzeperioden der Jahre 2003 oder 2006 werden im Sommer 2015 keine weiteren Einschränkungen oder Ausnahmegewilligungen für die Kühlwassernutzung ausgesprochen. Dies ist hauptsächlich dem Umstand zu verdanken, dass die maximalen Wassertemperaturen in mittleren und grösseren Fliessgewässern 2015 auch während der heissesten Monate Juli und August in den meisten Fällen knapp unterhalb der 25-Grad-Marke bleiben.

Weitere Auswirkungen

Zu den Auswirkungen auf die Schifffahrt liegen keine eigenen Daten vor. Gemäss Medienberichten²¹ können die Fracht- und Tankschiffe von Anfang August bis Ende 2015 jedoch nur mit reduzierter Ladung fahren, wodurch die Transportkosten steigen. Fehlende Wasserressourcen haben für die Beschneidung von Skipisten gemäss Rückmeldungen aus den Kantonen nur in Einzelfällen Einschränkungen zur Folge; das milde Frühwinterwetter stellt die Betreiber der Skipisten im Allgemeinen vor bedeutendere Herausforderungen (Tratschin et al. 2016).

Im Sommer 2015 keine weiteren Einschränkungen der Kühlwassernutzung

Reduzierte Transportkapazität in der Schifffahrt, Beschneidungsanlagen kaum betroffen

3.2 Landwirtschaft

Der Sommer 2015 bringt für die Nutztiere erhöhten Hitzestress in ähnlichem Umfang wie 2003. Ab Juli sorgen ausgeprägte Wasserdefizite für reduzierte Grünlanderträge, die durch hohe Erträge vor Einsetzen der Trockenheit teilweise wettgemacht werden. Im Ackerbau steigt der Bewässerungsbedarf gegenüber normalen Jahren. Während einzelne Kulturen 2015 sehr hohe Erträge erzielen, erleiden andere grosse Einbussen.

Ausgangslage

Wetter und Klima beeinflussen die landwirtschaftliche Produktion entscheidend. Warme und trockene Bedingungen wirken sich je nach regionaler und saisonaler Ausprägung, je nach Kultur und Entwicklungsstadium, Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungsweise unterschiedlich auf die Erträge und die Qualität aus.

Das Tierwohl und die Leistungsmerkmale der Tierproduktion werden durch Lufttemperaturen und Luftfeuchtigkeit direkt beeinflusst. Steigende Temperaturen mit gleichzeitig hoher Luftfeuchtigkeit verringern den Appetit der Milchkühe, sodass diese weniger Futter aufnehmen. Dadurch sinkt die Milchleistung, und die Milchqualität verändert sich. Längere Hitzeperioden beeinträchtigen zudem die Fortpflanzung, das Wachstum und die Gesundheit der Tiere. Zur Charakterisierung von Hitzestress bei

Hitzestress und Leistungsreduktion bei Milchkühen

²¹ Handelszeitung vom 6.11.2015, 20 Minuten vom 10.11.2015

Nutztieren wird ein Temperatur-Feuchte-Index (*Temperature Humidity Index* THI) verwendet, der sich aus den Tagesmittelwerten von Temperatur und relativer Feuchtigkeit berechnet (Fuhrer & Calanca 2012).

Wassermangel reduziert die Erträge von Wiesen und Weiden. Mit einem einfachen Trockenheitsindex, der im Rahmen des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel entwickelt wurde, lassen sich die Auswirkungen eines länger dauernden Wasserdefizits auf das Ertragspotenzial einer Wiese oder Weide abschätzen (BAFU 2016b). Dabei wird die relative Verdunstung auf der Grundlage von täglichen Niederschlagsdaten berechnet. Auf verschiedenen Höhenstufen zwischen 400 und 1300 Metern über Meer werden im Waadtländer Jura zudem die täglichen Wachstumsraten der Kräuter und Gräser einer regelmässig geschnittenen Wiese bestimmt (Mosimann 2005).

Während des Sommers braucht ein Feld oder ein Obstgarten in der Schweiz durchschnittlich vier Liter Wasser pro Tag und Quadratmeter, was einer täglichen Niederschlagsmenge von vier Millimetern entspricht. An Hitzetagen kann der Bedarf auf über sechs Liter steigen. Bleiben Niederschläge aus, sollten die Kulturen daher alle zehn Tage mit mindestens 40 Millimetern Wasser beregnet werden, um Wasserstress zu vermeiden. Im Rahmen eines Pilotprojekts zur Anpassung an den Klimawandel wurde ein Tool entwickelt, mit dem es möglich ist, in der Region Broye-Seeland den Bewässerungsbedarf verschiedener landwirtschaftlicher Kulturen laufend zu berechnen und den vorhandenen Wasserreserven gegenüberzustellen (BAFU 2016d).

Auswirkungen des Sommers 2015 auf die Nutztiere

Die jährliche Anzahl Tage mit «mildem» Hitzestress für Milchkühe (THI-Werte von mehr als 72) unterscheidet sich während der letzten 35 Jahre von Ort zu Ort (Abb. 29). An den meisten Messstationen werden kaum mehr als zehn Tage registriert, an denen Milchkühe wegen hoher Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit unter Hitzestress leiden. In St. Gallen sind entsprechende Witterungsbedingungen noch seltener, in Basel dagegen häufiger. Regelmässig mehr als 20 Tage mit zumindest mildem Hitzestress verzeichnet die Station Magadino.

Die Jahre 2003 und 2015 heben sich mit einer starken Häufung deutlich von den anderen Jahren ab, was die Anzahl der Tage mit mildem oder noch stärkerem Hitzestress für Milchkühe anbelangt (Abb. 29). Die Häufigkeitsverteilung der täglichen THI-Werte während der Sommermonate zeigt, dass Werte um 70 im Jahr 2003 eindeutig häufiger vorkommen als 2015, THI-Werte zwischen 55 bis 65, aber auch solche über 75 dagegen 2015 häufiger sind als 2003.

Grünlanderträge in Abhängigkeit von der Trockenheit

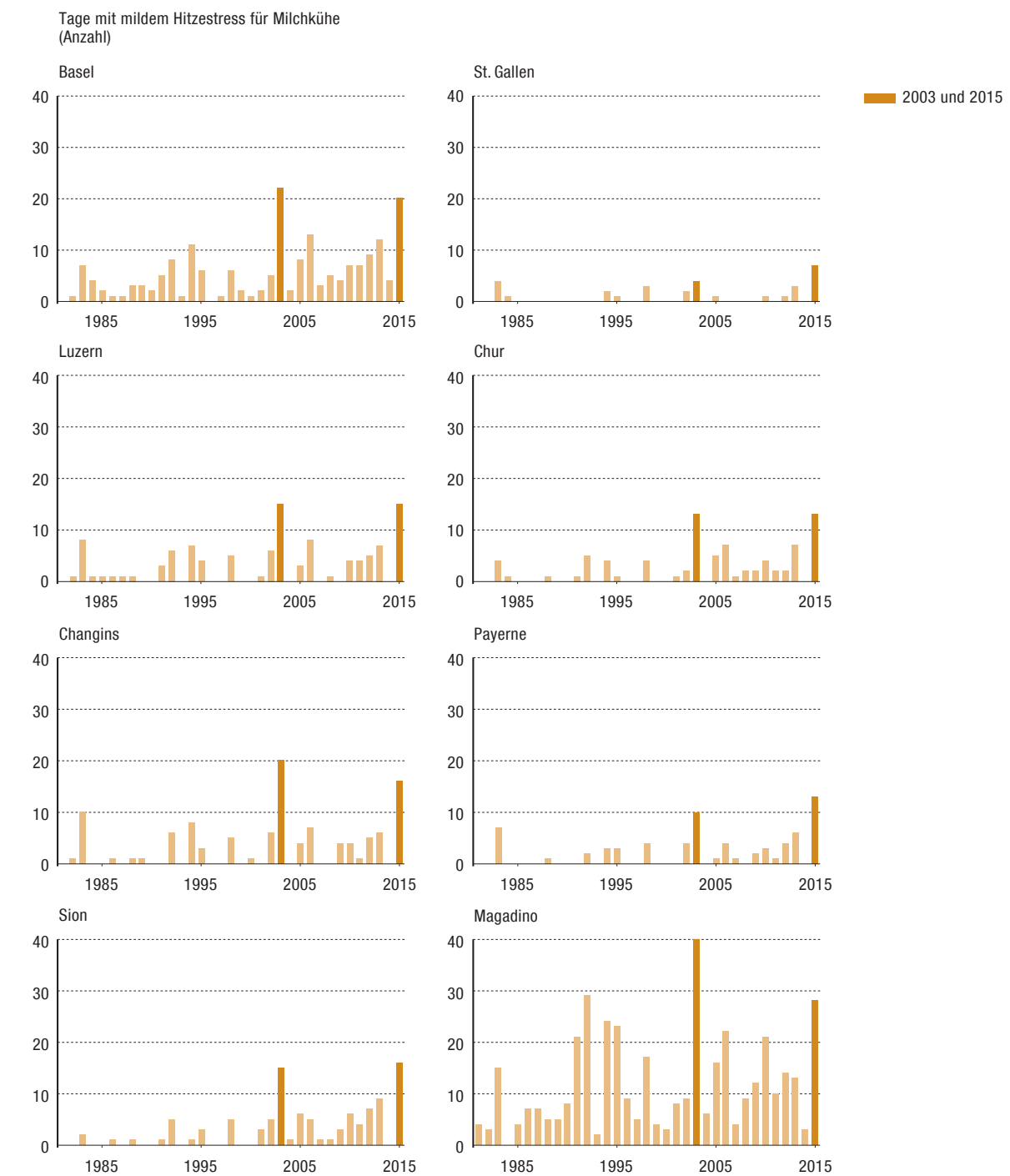
Bewässerungsbedarf von Feldern und Obstgärten hängt von Niederschlagsmenge ab

Hitzestress für Kühe variiert von Ort zu Ort

Für Milchkühe deutlich erhöhter Hitzestress in den Jahren 2003 und 2015

Abb. 29

Anzahl Tage mit mildem Hitzestress für Milchkühe (Temperature Humidity Index THI grösser als 72) pro Jahr, an acht Standorten in der Schweiz zwischen 1981 und 2015. Dunkelorange: Werte für die Jahre 2003 und 2015.



Quelle: Agroscope

Grünlanderträge

Im Frühling 2015 herrschen in der Schweiz verbreitet relativ günstige Witterungsbedingungen für Wiesen und Weiden, wie die Karte mit den Werten des Trockenheits-Indexes zeigt (Abb. 30). In den Jahren 2003 und 2011 ist das Ertragspotenzial während des gleichen Zeitraums deutlich reduziert. Umgekehrt ist von Juli bis September das Wasserdefizit auf der Alpennordseite ausgeprägter als in den Jahren 2003 und 2011. Über die ganze Vegetationsperiode betrachtet, ist 2003 das trockenste Jahr, und das Wasserdefizit ist 2015 über die ganze Schweiz betrachtet etwas geringer als 2011.

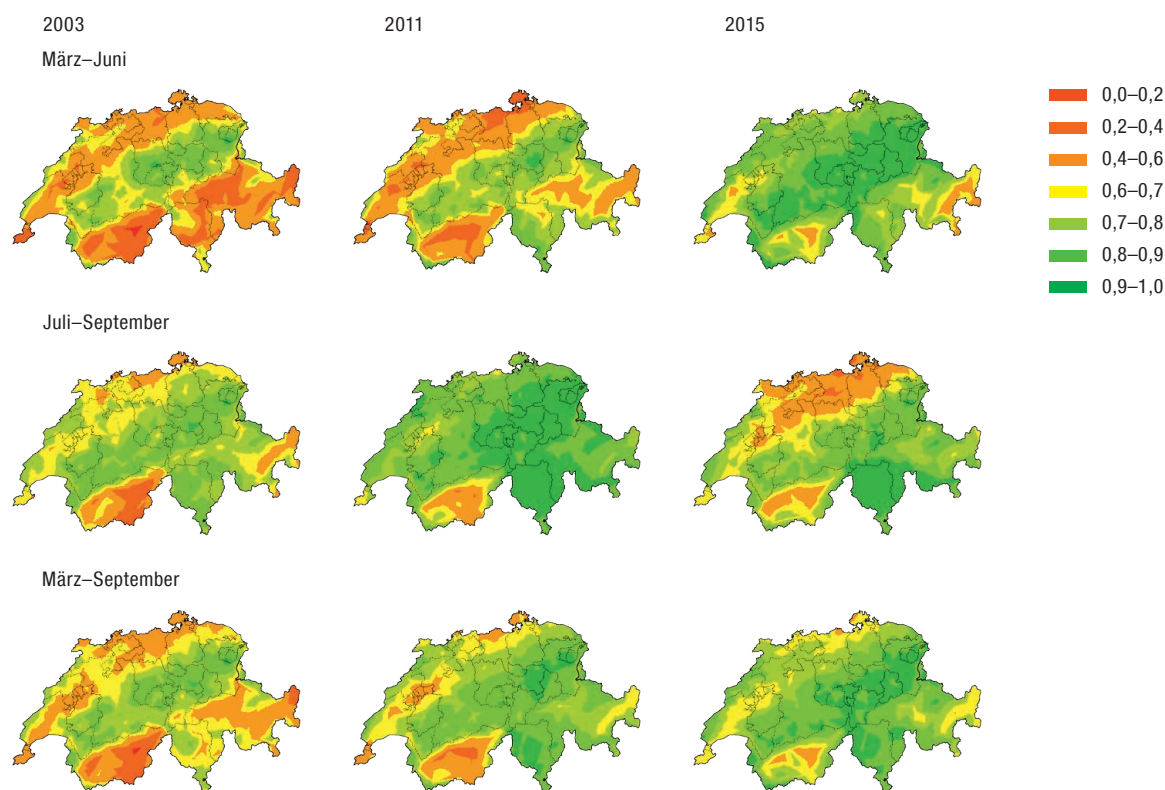
Nachdem die relativ günstigen Witterungsbedingungen des Frühlings 2015 auf den Wiesen einen ertragreichen ersten Schnitt erlauben, führt die sommerliche Trockenheit 2015 ebenso wie 2003 und 2011 zu einem reduzierten Wachstum, wie die Wachstumskurven

Nach Frühling mit gutem Ertragspotenzial folgt ab Juli ausgeprägtes Wasserdefizit

Nach ertragreichem erstem Schnitt folgt geringe Produktivität im Sommer

Abb. 30

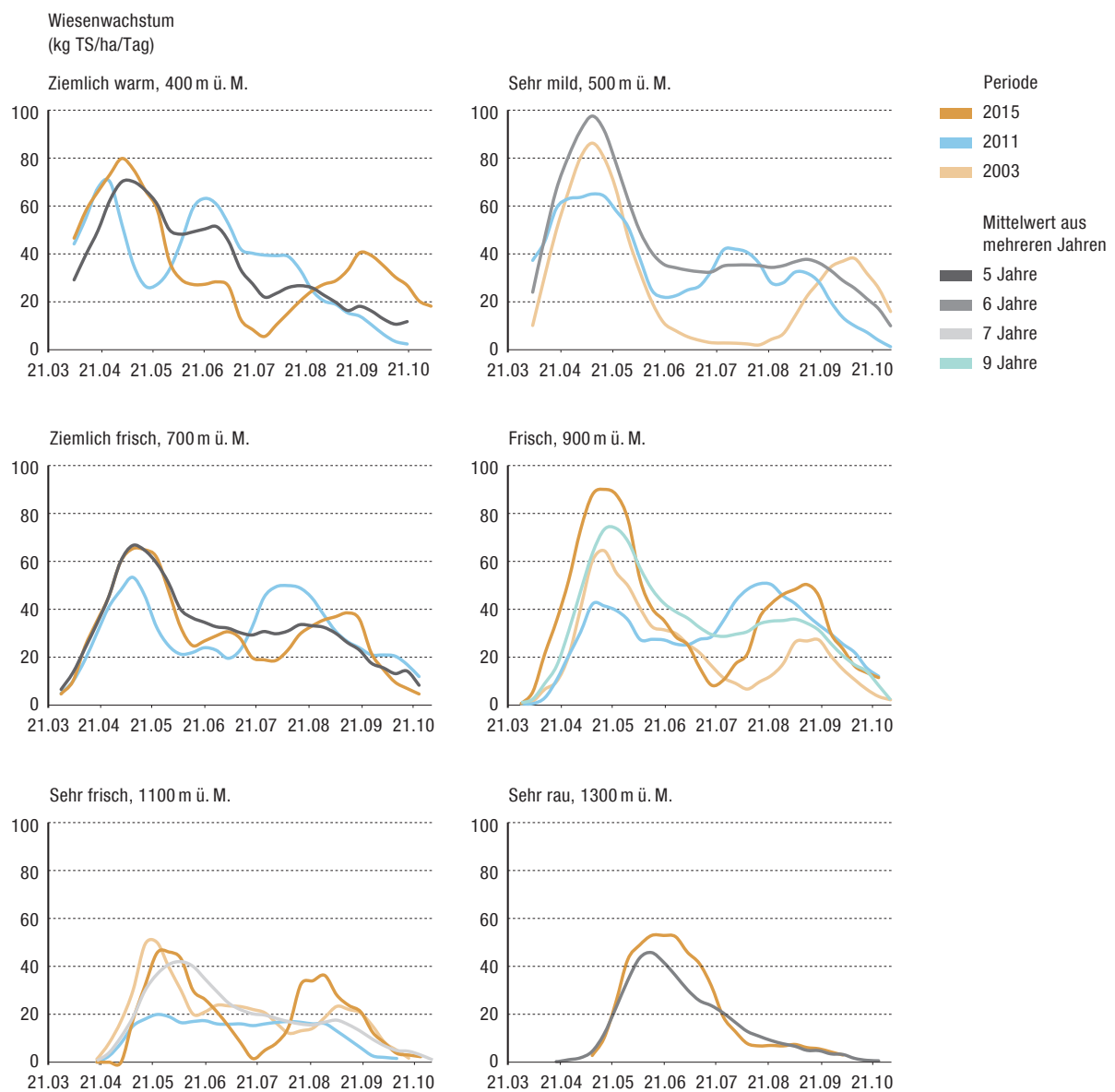
Trockenheitsindex (relative Verdunstung) der Jahre 2003, 2011 und 2015 über drei verschiedene Zeitperioden. Die Indexwerte entsprechen näherungsweise dem relativen Grünlandertrag, wobei Werte nahe bei 1 (grün) günstige Bedingungen bedeuten und Werte unter 0,7 (gelb bis rot) als kritisch gelten.



aus dem Waadtländer Jura zeigen (Abb. 31). Diese Perioden mit niedriger Produktivität kompensieren die Wiesen jedoch durchs Band durch eine anschliessende Wachstumssteigerung: Sobald Niederschläge zurückkehren, beginnt die Mineralisierung der abgestorbenen Pflanzenteile an der Bodenoberfläche, und die Pflanzen werden reichlich mit Nährstoffen versorgt.

Abb. 31

Tägliche Wachstumsraten der Kräuter und Gräser von regelmässig geschnittenen Wiesen an verschiedenen Standorten im Waadtländer Jura in Kilogramm Trockensubstanz pro Hektare und Tag (kg TS/ha/Tag).



Im Vergleich mit den durchschnittlichen Erträgen seit 2000 führt der Sommer 2015 – ähnlich wie der Sommer 2003 – im Flachland und in den wärmeren Regionen zu den grössten Einbussen, wie die Ergebnisse aus dem Waadtländer Jura zeigen (Tab. 4). Demgegenüber fallen die Einbussen in grösserer Höhe bescheidener aus. Die Ertrags-einbussen sind 2015 insgesamt weniger bedeutend als 2003.

Die Wiesen am Waadtländer Jurasüdfuss könnten durch einen frühen ersten Schnitt optimaler genutzt werden, wie die Ergebnisse eines Pilotprojekts zur Anpassung an den Klimawandel zeigen (BAFU 2016c). In einigen Gebieten dürften die Futtererträge aus dem Grünland allerdings nur in günstigen Jahren ausreichen, um die vorhandenen Rindviehbestände zu versorgen. So benötigen einzelne Betriebe 2015 zur Versorgung des Milchviehs mit Futter eine im Vergleich zum Vorjahr um gut einen Fünftel grössere Fläche. Dieser Bedarf muss durch den Zukauf externer Futtermittel oder Kooperationen mit benachbarten Betrieben gedeckt werden.

Bewässerungsbedarf und Erträge im Ackerbau

Der Bewässerungsbedarf im Ackerbau lässt sich an der standortspezifischen Entwicklung der Bodenwasserreserven ablesen. So beläuft sich das Wasserdefizit zwischen dem 1. Mai und dem 21. Juli 2015 in Sion beispielsweise auf 192 Millimeter und ist damit fast 60 Millimeter grösser als im Hitzesommer 2003 und gut dreimal so hoch wie im Durchschnitt der Jahre 1978 bis 2007 (Abb. 32a). Das starke Wasserdefizit ist auf die höheren Temperaturen und die damit einhergehende höhere Verdunstung zurückzuführen. Die letzten nennenswerten Niederschläge des Sommers 2015 fallen in Sion am 8. Juni. In Changins erreicht das Wasserdefizit 2015 ähnliche Werte wie 2003 (Abb. 32b). Die Juni-Niederschläge des Jahres 2015 verzögern die Erschöpfung der Wasserreserven im Vergleich zu 2003 um knapp eine Woche. Sowohl in Sion als auch in Changins ist das Wachstum der Pflanzen 2015 ohne Bewässerung ungefähr ab Ende Juni beeinträchtigt.

**Stärkere Ertragseinbussen
im Flachland, 2015
weniger einschneidend
als 2003**

**Flächenbedarf für
Futtermittelproduktion steigt**

**In Sion erreicht Wasserdefizit
2015 höhere Werte als 2003,
in Changins sind beide Jahre
ähnlich**

Tab. 4

Ertragseinbussen von Wiesen im Waadtländer Jura in Trockenjahren (2003, 2015).

Höhe (Meter über Meer)	Mittlerer jährlicher Ertrag (Kilogramm Trockengewicht pro Hektare und Jahr)	Ertragsrückgang pro Jahr (Prozent)	
		2003	2015
400–500	9240	–38	–15
700–900	7152	–24	–3
1100–1300	3794	–5	–5

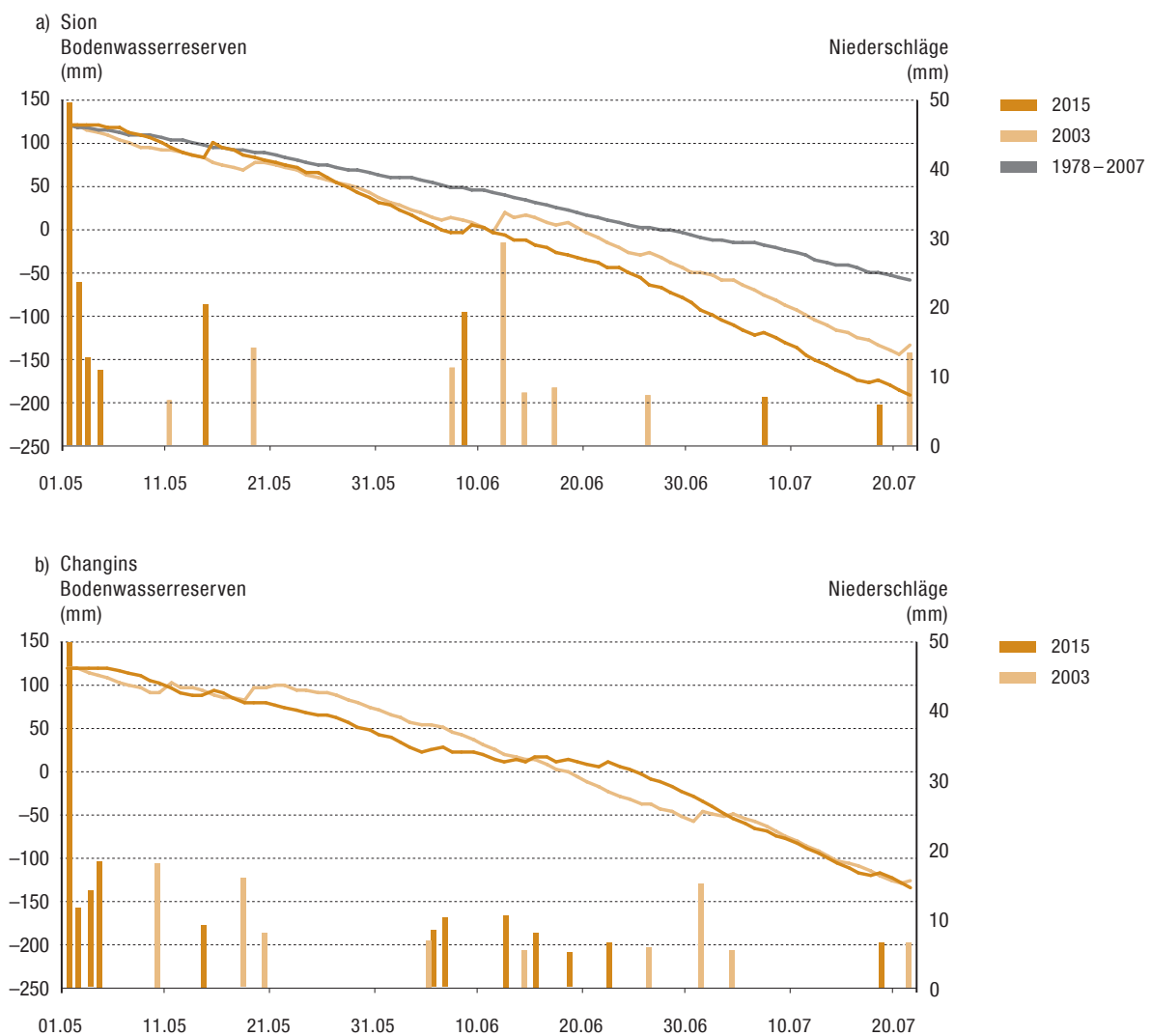
Quelle: Agroscope

Das Beispiel eines für die Region Broye typischen Kartoffelfeldes auf sandigem Lehm Boden zeigt, dass der Wasserbedarf 2015 mit 245 Millimetern etwas geringer ist als in den Jahren 2003 und 2009. Der grösste bisher registrierte Wasserbedarf aus dem Jahr 2003 übertrifft denjenigen eines Durchschnittsjahres (beispielsweise 2006) mit

**Bewässerungsbedarf am
Beispiel Kartoffeln steigt 2015
später als 2003**

Abb. 32

Bodenwasserreserven (Linien, linke Skala) und Niederschläge (Säulen, rechte Skala) in Millimetern vom 1. Mai bis zum 21. Juli für die Jahre 2003 (hellorange) und 2015 (dunkelorange) in Sion (oben) und Changins (unten). Für Sion ist zusätzlich der Verlauf der Bodenwasserreserven im Durchschnitt 1978–2007 eingezeichnet (dunkelgrau).



Quelle: Agroscope

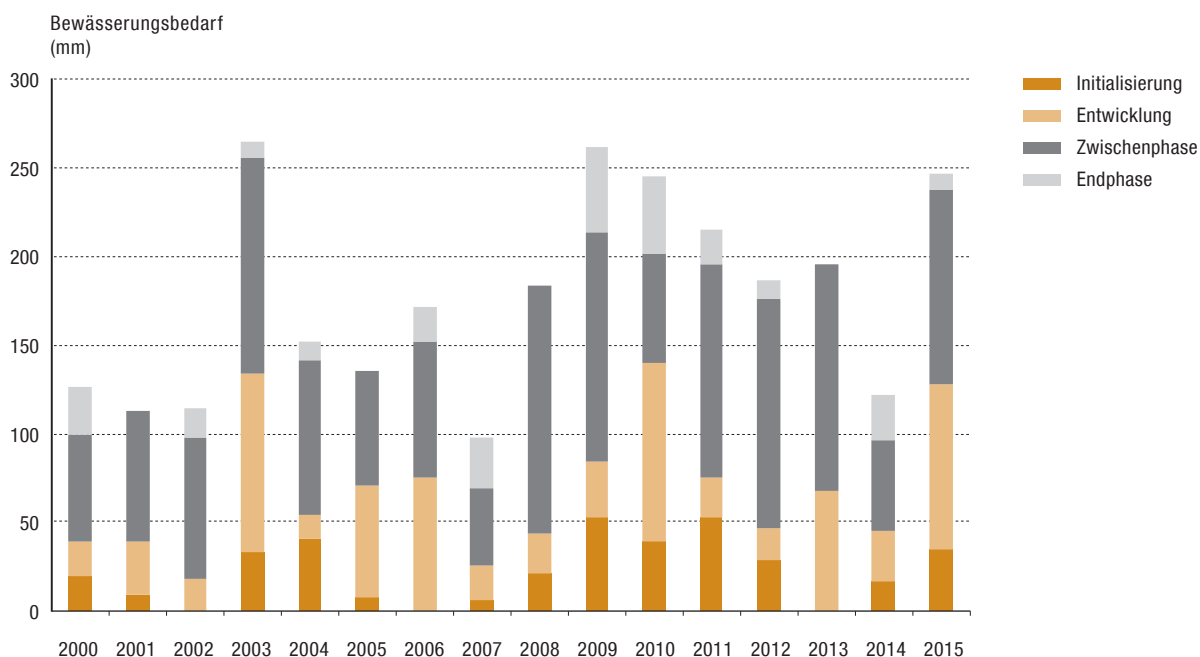
gut 90 Millimetern um mehr als 50 Prozent (Abb. 33). Die Niederschläge, die sich bis zum Beginn der Vegetationsentwicklung aufsummiert haben, sind 2003 im Vergleich zu 2015 bereits deutlich unter dem Durchschnitt – mit entsprechenden Konsequenzen für die Bewässerung. Gegen Ende der Saison nähern sich die Niederschlagsdefizite der beiden Jahre einander an. Nachdem die vorletzte Entwicklungsphase der Kartoffel abgeschlossen ist, sind 2015 mehr Bewässerungsgänge nötig als 2003. Die lokalen Wasserreserven sind aber in beiden Fällen nicht ausreichend, um den Bedarf zu decken.

An den Jahreserträgen der mengenmässig wichtigsten Kulturen im Schweizer Ackerbau lassen sich günstige und widrige Jahre erkennen (Abb. 34). Für das Jahr 2015 fällt die Bilanz durchgezogen aus: Beim Raps und bei der Wintergerste werden sehr gute Erträge eingefahren, die 16 beziehungsweise 11 Prozent über dem Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2014 liegen, und der Winterweizen erzielt im Vergleich zum Durchschnitt ein Plus von 4 Prozent. Für Zuckerrüben, Kartoffeln und Körnermais liegen die Erträge dagegen mit einem Minus von 12 beziehungsweise 15 und 18 Prozent weit unter dem Mittel der Jahre 2000 bis 2014. Sogar die schlechten Erträge aus dem Jahr 2003 werden bei diesen Kulturen 2015 noch unterschritten. Die Ertragsunterschiede zwischen 2003 und 2015 erklären sich teilweise durch das verschobene Einsetzen der Trockenperioden und den von Kultur zu Kultur unterschiedlichen Wasserbedarf:

2015 zeigt je nach Kultur sehr gute und sehr schlechte Erträge

Abb. 33

Simulierter jährlicher Bewässerungsbedarf in Millimetern für die vier verschiedenen Entwicklungsphasen einer Kartoffelkultur auf sandigem Lehmboden 2000–2015.



Quelle: Agroscope und e-dric.ch

Während die Trockenheit 2003 die ganze Vegetationsperiode über anhält, konzentriert sie sich 2015 hauptsächlich auf den Hochsommer. Weizen benötigt von Mai bis Juni besonders viel Wasser, die Zuckerrübe dagegen im Juli und der Mais von Juli bis August.

Abb. 34

Erträge der bedeutendsten Ackerkulturen 2000–2015 in Dezitonnen pro Hektare im Vergleich zu den Durchschnittswerten 1985–2014 (dunkelblaue Linie) und 2000–2014 (hellblaue Linie). Die Jahre 2004, 2009, 2011 und 2014 können pauschal als «günstig» bezeichnet werden, 2001, 2003, 2006 und 2013 als «ungünstig».



Neben den Ertragsmengen ist auch die Qualität der Ernte relevant. So führt die lange Trockenheit bei der Zuckerrübe zu einem rekordhohen Zuckergehalt von durchschnittlich 18,9 Prozent. Aus der Schweizer Zuckerrübenernte werden 2015 gut 230 000 Tonnen Zucker gewonnen. Dieser Wert liegt 15 000 Tonnen höher als derjenige von 2013 – dies obwohl der Hektarertrag 2015 mit 670 Dezitonnen tiefer lag als 2013 mit 685 Dezitonnen.

**Rekordhoher Zuckergehalt
bei der Zuckerrübe**

Während 2003 bei den Äpfeln vergleichsweise tiefe Erträge zu beklagen sind, fallen 2015 sowohl die Apfel- als auch die Birnenenerträge überdurchschnittlich gut aus. Im Gemüsebau sind die Erträge unterschiedlich. So liegen 2015 die Erntemengen pro Hektare bei Drescherbsen leicht unter dem Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2014, beim Blumenkohl leicht darüber. Entscheidend könnte dabei sein, dass beim Blumenkohl die Bewässerungsmöglichkeiten grösstenteils vorhanden sind, während diese bei Verarbeitungsgemüse wie Drescherbsen deutlich seltener eingerichtet sind. Zwischen diesen beiden Gemüsen liegen, was die Bewässerung angeht, die Karotten. Bei dieser Kultur werden in den letzten drei Jahren sehr geringe Erträge erzielt, was zeigt, dass neben der Trockenheit andere Faktoren entscheidend sind. Unter anderem kann Nässe die Qualität beeinträchtigen und die Ernte erschweren.

**Gute Erträge im Obstbau
und beim Gemüse**

Beim Wein präsentiert sich die Situation 2015 ähnlich wie 2003. Die Weinlese erzielt eine der kleinsten Ernten der letzten Jahre und liegt deutlich unter dem Vorjahresniveau. Allerdings sind die mittleren Mostgewichte und damit der Zuckergehalt zum Teil deutlich über dem langjährigen Durchschnitt.

**Kleine Weinernte
mit hohem Zuckergehalt**

Massnahmen

Wie schon 2003, ergreifen Bund, Kantone und Branche auch 2015 verschiedene Massnahmen, um die negativen Auswirkungen von Hitze und Trockenheit auf die Landwirtschaft zu mildern. Im Vordergrund steht dabei die Beseitigung von Futterrengpässen. So wird der Grenzschatz für Futtermais vom 15. September bis zum 31. Oktober auf Antrag des Schweizer Bauernverbands reduziert (von CHF 12.– auf CHF 2.– pro 100 kg), während das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) die Importzölle für Gras und Mais 2003 bereits Anfang August senkt.

**Lockerung des Grenzschatzes
für Futtermittel**

Gestützt auf Artikel 106 der Direktzahlungsverordnung kann das kantonale Landwirtschaftsamt auf die Kürzung oder Verweigerung gewisser Direktzahlungen verzichten, wenn aufgrund höherer Gewalt (u. a. Dürre) bestimmte Anforderungen nicht erfüllt sind. So werden 2015 auf Gesuch hin und nach einzelbetrieblicher Prüfung Ausnahmen gewährt, falls Betriebe aufgrund ausserordentlicher Futterzukäufe oder durch Übernahme von Tieren aus Betrieben mit Futtermangel keine ausgeglichene Nährstoffbilanz mehr ausweisen können oder im Programm «Graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion» das fehlende Wiesen- und Weidefutter durch Grundfutter ersetzen müssen. Weitere Ausnahmeregelungen, wie sie 2003 erteilt werden (Aufheben des Schnittzeitpunkts von Streueflächen, Beweiden von extensiven Grünlandflächen, Unterschreiten des Normbesatzes auf Sömmerungsbetrieben), sind für 2015 nicht bekannt.

**Einzelne Ausnahmen
für Nichteinhaltung von
Vorschriften**

In Härtefällen und bei Liquiditätsengpässen werden 2015 Betriebshilfedarlehen ausgerichtet. 2003 musste zu diesem Zweck mit der Trockenheitsverordnung erst eine entsprechende Rechtsgrundlage geschaffen werden. Daraufhin wurde diese Möglichkeit in die Verordnung über die sozialen Begleitmassnahmen in der Landwirtschaft permanent aufgenommen. Gegenüber den Vorjahren ist 2015 ein Anstieg der Anzahl Gesuche zu beobachten. Allerdings dürfte von den 134 Gesuchen nur ein Teil auf die aussergewöhnliche Trockenheit zurückzuführen sein. Die Anzahl von 250 Gesuchen aus dem Jahr 2003 wird damit deutlich unterschritten.

**Betriebshilfedarlehen
bei Härtefällen**

Verschiedene Massnahmen werden auch im Bereich der Wassernutzung ergriffen (vgl. Kap. 3.1).

3.3 Wald

Im Sommer 2015 kommt es zu zahlreichen kleineren Waldbränden. Trotz erheblicher Trockenheit bleiben grössere Ereignisse jedoch aus, und die insgesamt abgebrannte Waldfläche liegt unter dem Durchschnitt der Jahre seit 1980. Massnahmen zur Vermeidung von Waldbränden erreichen 2015 eine hohe Intensität. Die Anzahl der Befallsherde des Buchdruckers steigt vor allem in Teilen des Flachlands und des Juras gegenüber dem Vorjahr deutlich, es lässt sich jedoch noch nicht vorhersagen, ob es in den Folgejahren zu einer Massenvermehrung kommen wird. Föhrenarten leiden besonders unter der Trockenheit und dem Befall durch Schadorganismen.

Ausgangslage

Länger anhaltende Perioden trockener und heisser Witterung erhöhen das Risiko von Waldbränden. Hitze und Trockenheit können im Wald – zusammen mit anderen Faktoren – auch die Vermehrung von Schadorganismen begünstigen.

**Bei Hitze und Trockenheit drohen
Waldbrände und Befall durch
bestimmte Schadorganismen**

Im Sommer 2015 ist die Verdunstung hoch, und die Vegetation braucht das im Wald vorhandene «Feuchtigkeitskapital» rasch auf. Am schnellsten trocknet am Boden liegendes Brandgut aus: Äste, Gräser, Laub und andere Bestandteile der Streuschicht. Danach erreicht die Trockenheit die Humusschicht und mit ihr den organischen Waldboden.

**Erhöhte Verdunstung lässt
Menge des Brandguts ansteigen**

Schadorganismen, die einen Teil ihres Lebenszyklus in der Borke, im Holz, in den Wurzeln, den Nadeln oder auf Blättern von Pflanzen verbringen und diese dabei schädigen, befallen mit Vorliebe geschwächte und sterbende Exemplare einer Art. Bäume, die unter Trockenheit leiden, werden daher nicht selten auch Opfer von Schadorganismen. Oft ist es die Kombination verschiedener Effekte, die darüber entscheidet, wie stark sich ein Organismus vermehrt.

**Schadorganismen befallen
bevorzugt von Trocken-
heit geschwächte Bäume**

Waldbrände im Sommer 2015

Im Jahr 2015 werden insgesamt 162 Waldbrände gemeldet.²² Sie betreffen in 13 Kantonen (Basel-Landschaft, Bern, Jura, Neuenburg, Graubünden, Luzern, Obwalden, St. Gallen, Schaffhausen, Solothurn, Tessin, Wallis und Zürich) eine Gesamtfläche von 44,9 Hektaren (Abb. 35). Es handelt sich um kleinere Feuer mit einer Fläche von durchschnittlich weniger als einer Hektare, wobei die Brandquelle öfter ausserhalb des Waldes liegt. 2015 treten keine Waldbrände auf, die mit den gravierenden Ereignissen von Visp aus dem Jahr 2011 oder von Leuk aus dem Jahr 2003 vergleichbar wären. Dies obwohl der ausgetrocknete Zustand des Waldes dazu vielerorts durchaus günstige Voraussetzungen bietet. Die Waldbrände verursachen 2015 weder Tote noch Verletzte, und es sind auch keine erheblichen Schäden an Gebäuden oder an der Infrastruktur zu beklagen. Die Waldbrandfläche liegt 2015 unter dem Durchschnitt der Jahre seit 1980.

Die Mehrheit der Brände entfacht sich 2015 im Sommerhalbjahr zwischen Anfang Mai und Ende Oktober mit einem Anteil von 59 Prozent (Abb. 36). Allerdings machen die Sommerwaldbrände nur 19 Prozent der gesamten 2015 abgebrannten Waldfläche aus (siehe Abb. 37). Dieser niedrige Anteil dürfte mit der aktiven Information der Bevölkerung durch Kantone und Bund und mit den Feuerverboten und weiteren kantonalen Massnahmen zusammenhängen (siehe S. 76f.).

Nur kleinflächige Waldbrände

Mehrheit der Waldbrände erfolgt im Sommerhalbjahr; deren Fläche beträgt aber nur ein Fünftel

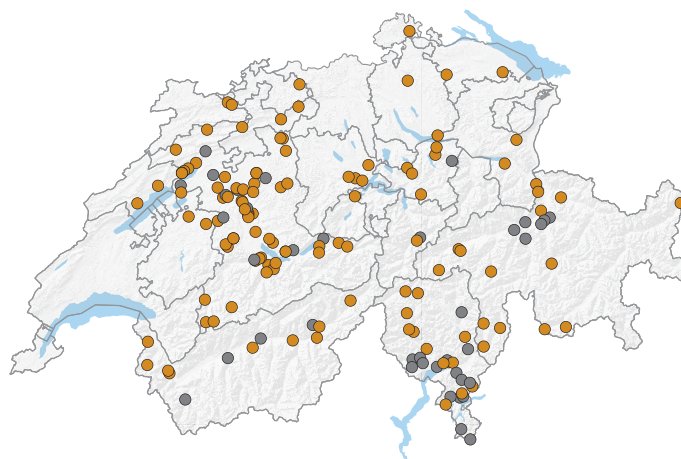
²² Einträge in der nationalen Waldbrand-Datenbank Swissfire (www.wsl.ch/swissfire/). Stand: Mai 2016

Abb. 35

Waldbrände in der Schweiz:

Sommer 2015 (Mai bis Oktober) und Winter 2015/16 (November bis April). Stand: Mai 2016.

Waldbrände
(2015)



■ Sommer
■ Winter

Biotische Schäden in der Folge des Hitzesommers 2015

(Meier et al. 2016a, Meier et al. 2016b)

Der Buchdrucker – im Volksmund oft «Borkenkäfer» genannt – profitiert vom heissen und trockenen Sommer 2015. Insbesondere im zentralen Mittelland und in Teilen des Juras werden im Vergleich zum Vorjahr deutlich mehr neue Befallsherde beobachtet: Deren Zahl steigt von 2600 im Jahr 2014 auf 4250 im Jahr 2015. Gehäufte Befallsmeldungen gehen aus Gebieten ein, die von den Kantonen Schaffhausen und Zürich westwärts über das zentrale Mittelland bis in die Westschweiz reichen. Dazu kom-

Vermehrter Befall durch den Buchdrucker

Abb. 36

Anzahl der Waldbrände nach Jahreszeit:
Sommer (Mai bis Oktober) und Winter (November bis April).

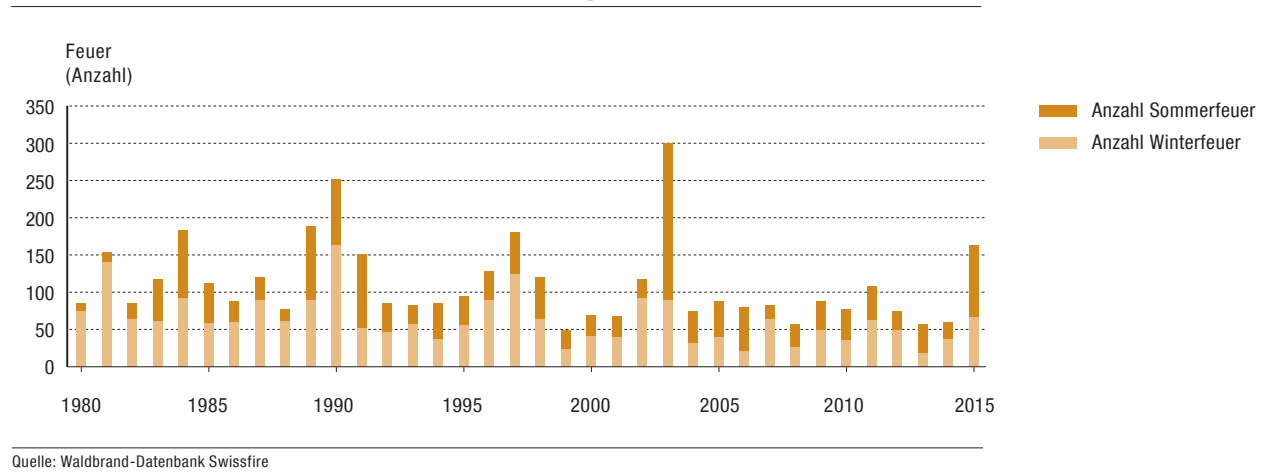
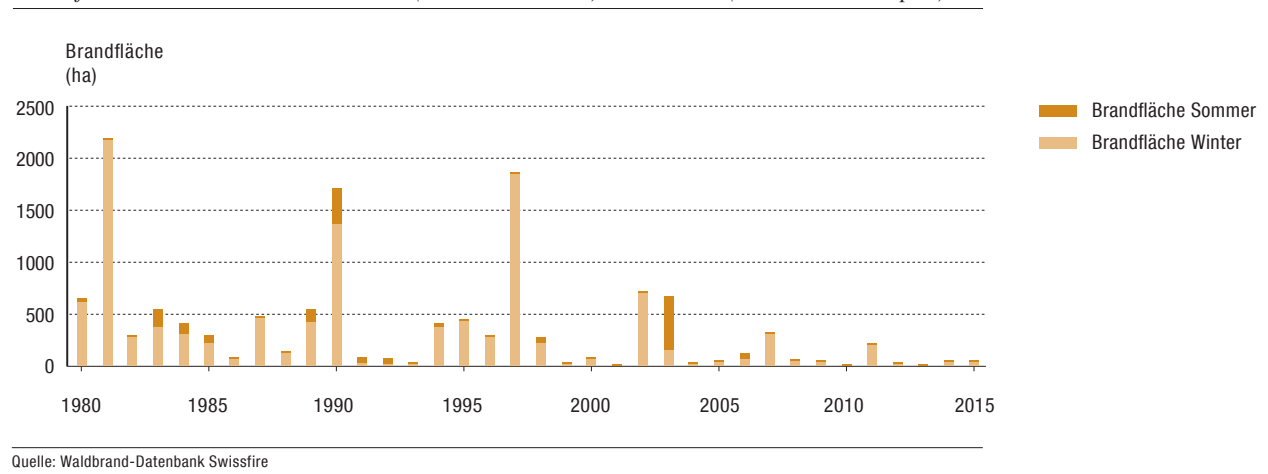


Abb. 37

Brandfläche nach Jahreszeit: Sommer (Mai bis Oktober) und Winter (November bis April).



men einzelne Bergregionen, die nach den Sturm- und Schneedruckschäden der Jahre 2013 und 2014 weiterhin erhöhte Käferpopulationen aufweisen. Vor allem betroffen sind Fichtenbestände auf Böden mit geringem Wasserspeichervermögen. Im Jahr 2015 werden in der Schweiz 230 000 Kubikmeter stehende Fichten durch den Buchdrucker befallen und müssen zwangsgenutzt werden. Das sind rund 40 Prozent mehr als im Vorjahr (Abb. 38).

In der Süd- und Südwestschweiz erhöht sich 2015 die Befallsintensität des Pinien-Prozessionsspinners: In den Föhrenkronen werden vermehrt die auffälligen weissen Gespinnstester der Raupen dieses Schmetterlings beobachtet. Eine Ausbreitung des Vorkommens nach Norden, wie sie zum Teil in anderen europäischen Ländern beobachtet wird, lässt sich in der Schweiz trotz warmer Witterung bisher nicht feststellen.

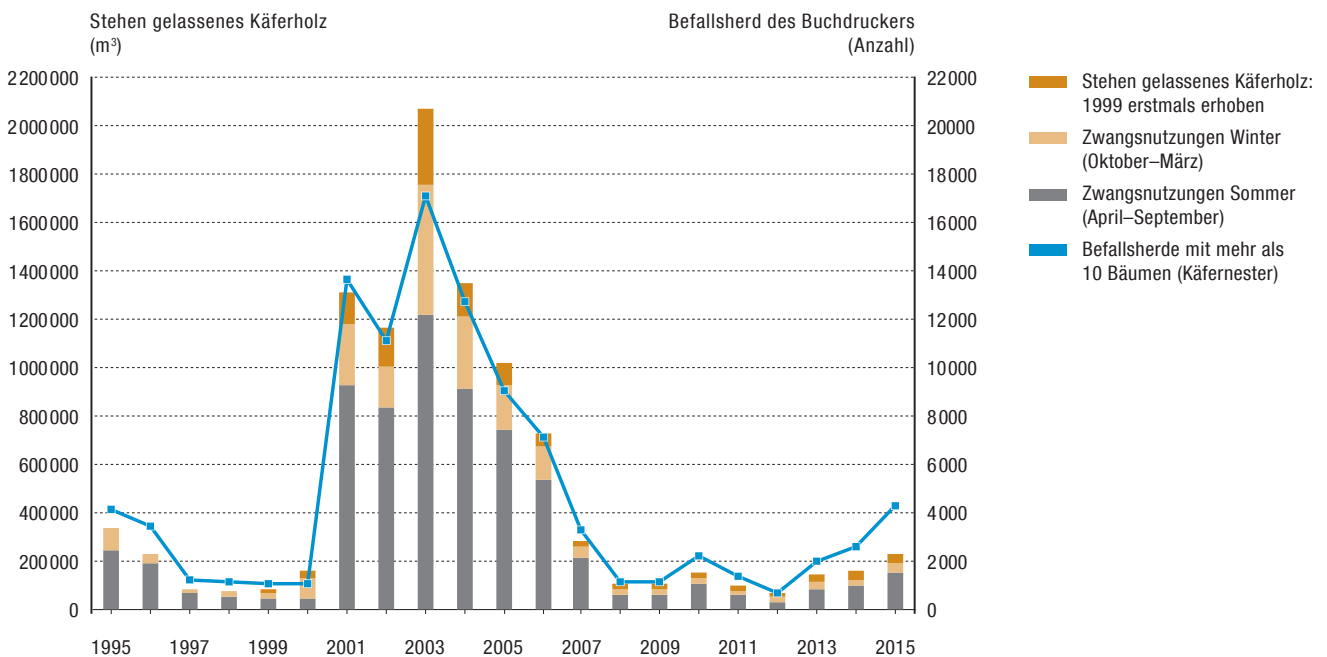
Lokal kommt es zu einem überraschend starken Auftreten der Fichten-Gebirgsblattwespe. Im Raum Visp-Visperterminen sorgen die Larven des Insekts im Sommer 2015 für auffällige Frassschäden an Fichten, insbesondere an Bäumen ausserhalb des Waldes. Die Fichten-Gebirgsblattwespe führte während Jahrzehnten ein unscheinbares Dasein, neigt nun aber im Rahmen der Klimaerwärmung in mehreren Ländern des Alpenraums zur Massenvermehrung.

Pinien-Prozessionsspinner breitet sich in der Süd- und Südwestschweiz aus

Lokales Massenauftreten der Fichten-Gebirgsblattwespe

Abb. 38

Zwangsnutzungen und stehen gelassenes Käferholz in Kubikmetern (linke Skala) sowie Anzahl Befallsherde des Buchdruckers (rechte Skala) von 1995 bis 2015.



Quelle: Waldschutz Schweiz, Eidg. Forschungsanstalt WSL

Der Buchsbaumzünsler, eine aus Ostasien eingeschleppte Schmetterlingsart, vermehrt sich trotz der warmen Witterung des Sommers 2015 nicht übermässig. Nur in Gärten leiden Buchsbäume gelegentlich stärker unter Raupenfrass. Der Buchsbaumzünsler hat sich auch in vielen natürlichen Buchsbeständen der Wälder festgesetzt, scheint dort aber von natürlichen Feinden in Schach gehalten zu werden. Wie schon 2014 bleibt auch 2015 ein starker Befall mit Kahlfrass aus.

Buchsbaumzünsler profitiert nicht vom heissen und trockenen Sommer 2015

Hitze und Trockenheit des Sommers 2015 setzen der aus dem Mittelmeergebiet stammenden Schwarzföhre auf Trockenstandorten stark zu. In mehreren Meldungen aus der Westschweiz wird von einem bestandesweiten Absterben auf flachgründigen Kalkböden berichtet. Das Absterben ist möglicherweise nicht allein dem Trockenstress anzulasten – die Schwarzföhre gilt gegenüber Trockenheit sogar als ausgesprochen robust. Bei vielen Schwarzföhren wird das *Sphaeropsis*-Triebsterben festgestellt, eine besonders in wärmeren Regionen der Südhemisphäre gefürchtete Pilzkrankheit (Abb. 39). Interessanterweise bleiben demgegenüber die einheimischen Waldföhren auch auf trockenen Standorten mehrheitlich gesund.

In der Westschweiz Absterben bestimmter Schwarzföhrenbestände

Aufgrund der langen und intensiven Trockenheit setzt bei den Föhren schon im Juli praktisch in der ganzen Schweiz verbreitet die «physiologische Schütte» ein, bei der sich die Nadeln braun verfärben, vergleichbar mit dem herbstlichen Laubfall. Die physiologische Schütte beginnt 2015 früher als üblich und ist zum Teil auch stärker ausgeprägt als in anderen Jahren.

Früh einsetzende physiologische Schütte bei der Föhre

Abb. 39

Sphaeropsis-Triebsterben der Föhre in der Region Neuenburg.



Massnahmen

Anhaltende Hitze und Trockenheit veranlassen die kantonalen Behörden im Sommer 2015, rasch Massnahmen zum Schutz des Waldes einzuleiten. Dazu zählen in erster Linie Einschränkungen, die das Entfachen von Feuern im Freien betreffen – speziell während der Sommerferien und am Nationalfeiertag. Ab dem Juli gelten in einer Mehrheit der Kantone Feuerverbote im Wald und in Waldesnähe oder im Freien.

Seit dem Frühling 2015 steht ein neues Online-Tool zur automatisierten Übermittlung der Waldbrandinformationen zwischen Kantonen und Bund zur Verfügung. Es trägt wesentlich dazu bei, die Übersicht über Gefahrensituationen und getroffene Massnahmen effizienter und einfacher zu gestalten. Die Kantone sind zuständig für die Einschätzung der Waldbrandgefahr auf kantonaler Ebene und übermitteln diese laufend dem Bundesamt für Umwelt (BAFU). Seit Inkraftsetzung der Alarmierungsverordnung²³ informieren Bund und Kantone die Bevölkerung laufend. Die Zusammenarbeit des Bundes mit den Fachstellen der Kantone ist 2015 sehr gut und intensiv.

Sowohl der Bund als auch die Kantone informieren und warnen die Bevölkerung ab Mitte Juni 2015 über die zunehmende Waldbrandgefahr. Die Warnungen und Feuereinschränkungen gelten während mehrerer Wochen, nur die Nordostschweiz mit den Kantonen Zürich, Thurgau, Schaffhausen, St. Gallen und den beiden Appenzell bleiben bis zuletzt verbotsfrei. Die Behörden mahnen die Bevölkerung aber auch hier, mit Feuern im Freien sorgfältig umzugehen. In der ersten Juli-Woche ordnen die beiden

**Behörden erlassen verbreitet
Feuerverbote im Freien**

**Intensive Zusammenarbeit
zwischen Bund und Kantonen**

**Informationen zu Wald-
brandgefahr ab Mitte Juni,
Feuerverbote ab Juli**

²³ AV, SR 520.12

Tab. 5

Sommer 2015: Feuerverbote im Wald oder im Freien.

Kanton	Datum		Anzahl Tage	Kanton	Datum		Anzahl Tage
	vom	bis zum			vom	bis zum	
AG	16.07.	19.08.	35	NW	17.07.	17.08.	32
BE	23.07.	4.08.	13	OW	16.07.	17.08.	33
BS/BL	7.07.	28.08.	53	SO	9.07.	19.08.	42
FR	17.07.	13.08.	28	SZ	17.07.	17.08.	32
GL	17.07.	14.08.	29	TI	14.07.	14.08.	32
GR	14.07.	18.08.	36	UR	17.07.	17.08.	32
JU	15.07.	5.08.	22	VD	8.07.	11.08.	35
LU	16.07.	17.08.	33	VS	9.07.	18.08.	41
NE	14.07.	12.08.	30	ZG	16.07.	18.08.	34

Basel Feuerverbote an. Mehrere Kantone folgen kurz darauf (Aargau, Freiburg, Graubünden, Jura, Luzern, Neuenburg, Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Solothurn, Tessin, Uri, Wallis, Waadt und Zug). Auf den 1. August 2015 gibt es dann auch in Genf und Bern Sonderregelungen und Feuerverbote (Tab. 5).

Die Bevölkerung wird in den letzten Jahren vermehrt über die Waldbrandgefahr informiert, und das Thema ist in den Medien häufiger präsent. Die Website www.waldbrandgefahr.ch des BAFU vermittelt eine gesamtschweizerische Übersicht zu den Waldbrandgefahren und den Massnahmen der Kantone. Während des Sommers 2015 erreichen die Besucherzahlen bis zu 300 000 Seitenanfragen pro Tag.

Das Ausmass der Waldschäden aufgrund des Hitzesommers 2015 wird erst 2016 klar zutage treten. Ebenso wird es erst in den nächsten Jahren möglich sein, den Sommer 2015 hinsichtlich der Waldschäden einzuordnen. Insbesondere die Folgen kombinierter Effekte aus Witterung und Schadorganismen werden sich erst in Zukunft zeigen.

Ob der in einzelnen Kantonen beobachtete erhöhte Borkenkäfer-Befall zu einer Massenvermehrung von überregionaler Bedeutung führen wird, hängt vom Witterungsverlauf des Jahres 2016 und den getätigten Massnahmen ab. Bei einem Sturmereignis oder bei erneut anhaltend heisser und trockener Witterung während der Vegetationsperiode müsste in grösseren Gebieten der Schweiz mit einer Massenvermehrung des Buchdruckers gerechnet werden.

Waldbrandgefahr in der Öffentlichkeit zunehmend präsent

Ausmass der Waldschäden noch nicht abschätzbar

Gebiete mit gestiegenem Borkenkäfer-Befall erfordern erhöhte Aufmerksamkeit

3.4 Biodiversität

Der heisse und trockene Sommer 2015 hinterlässt bei einer Vielzahl von Arten und Lebensräumen deutliche Spuren, die sich aber wieder verwischen dürften, falls die extremen Witterungsbedingungen sich nicht unmittelbar wiederholen. An feuchte Lebensräume angepasste Arten sind vom Sommer 2015 generell stark betroffen, während trockenheitstolerante besser mit den Bedingungen zurechtkommen. Die Kantone ergreifen punktuell Massnahmen, um die Auswirkungen auf die Biodiversität abzufedern, und stützen sich dabei verbreitet auf Erfahrungen aus dem Hitzesommer 2003.

Ausgangslage

Das Leben und die Verbreitung von Tieren, Pflanzen und Pilzen sind vom Klima abhängig. Ändert sich das Klima, muss mit Anpassungen der Lebensräume und der sie bewohnenden Arten gerechnet werden. Solche durch den Klimawandel bedingte Anpassungen sind nur durch lange Beobachtungsreihen festzustellen (Vittoz et al. 2011, BAFU 2010, 2012, 2013). Anpassungsprozesse werden aber auch durch Extremereignisse geprägt. Je nach Stärke und Häufigkeit haben sie Auswirkungen auf die Geschwindigkeit der langfristigen Veränderungen.

Extremereignisse beeinflussen langfristige Anpassung an den Klimawandel

Erste Antworten auf die Frage, ob es sich beim heissen und trockenen Sommer 2015 um ein solch prägendes Ereignis handelt, wurden mit einer Umfrage bei kantonalen Fachstellen, nationalen Datenzentren²⁴ und weiteren Experten eingeholt. Insgesamt haben 30 Stellen Beobachtungen mitgeteilt. Auch wenn die längerfristigen Folgen auf die Biodiversität erst in späteren Jahren zutage treten, erlaubt die Befragung doch eine erste Bestandesaufnahme.

**Erste Bestandesaufnahme
durch Expertenbefragung**

Auswirkungen von Hitze und Trockenheit des Sommers 2015

In weiten Teilen des Schweizer Mittellandes sind die Wasserstände als Folge der Trockenheit tief, und zahlreiche Kleingewässer oder Bachabschnitte fallen vollständig trocken (vgl. Kap. 2.2). Der Lebensraum von Wasserlebewesen wird dadurch stark eingeschränkt. In gewissen Gewässerabschnitten geht er vorübergehend gänzlich verloren. Beispiele sind die Laich- und Larvengewässer von spätaichenden Amphibienarten wie Salamander und Kreuzkröte sowie verschiedener Libellenarten. In einzelnen Gewässern sind auffallend viele tote Dohlenkrebse ein deutlicher Hinweis, dass deren Bestände stark betroffen sind. Wasserpflanzen wie die Wasserfalle bilden beim Austrocknen ihres Lebensraums frühzeitig spezielle Überdauerungsorgane (sogenannte Turionen). Ob sie mit dieser Strategie überleben, zeigt sich aber erst im nachfolgenden Jahr. Lokal muss mit starken Bestandeseinbüssen der kleinen Teichrose gerechnet werden, da die Kleingewässer, in denen sie vorkommen, im Sommer 2015 fast vollständig austrocknen.

**Lebensraumverlust in
Kleingewässern**

Zahlreiche Seen haben im Sommer 2015 tiefe Pegelstände (vgl. Kap. 2.2). Davon können Pflanzen wie das seltene Bodensee-Vergissmeinnicht und andere Arten der Strandlinggesellschaften profitieren.

**Einzelne Arten profitieren
von tiefen Seepegeln**

Die extreme Trockenheit bleibt 2015 nicht auf den Sommer beschränkt. Sie setzt sich weit in den Herbst und bis in den Dezember hinein fort. Indem geeignete Laichhabitate wegfallen, wird die Fortpflanzung der Bach- und Seeforellen teilweise beeinträchtigt.

**Bis in den Herbst andauernde
Trockenheit beeinträchtigt
Laichgebiete von Fischen**

Moore, Feuchtwiesen und andere Feuchtlebensräume sind im Sommer 2015 stark von Trockenheit betroffen. So entwickeln sich Pflanzenarten der Zwergbinsen-Gesellschaften wie der Kleinling oder das Gelbliche Zypergras nur kümmerlich oder fallen teilweise gänzlich aus. Der letzte im Mittelland bekannte Bestand des Grossen Wiesenvögelchens, einer Schmetterlingsart, schrumpft wegen des Austrocknens seines Lebensraums, eines Flachmoors.

**Stark betroffene
Feuchtlebensräume**

Moose benötigen Feuchtigkeit aus dem Boden oder aus der Luft. Sie leiden daher unter den Witterungsbedingungen des Sommers 2015. Besonders betroffen sind Äcker, wo sich die Moose im Gegensatz zum Vorjahr extrem schlecht entwickeln. Ein Beispiel ist das seltene Rudolphi's Trompetenmoos. Da Moose ungünstige Perioden als Sporen

**Einzelner ungünstiger Sommer
für Moose noch kein Problem**

²⁴ Mitglieder der Konferenz der Beauftragten für Natur- und Landschaftsschutz (KBNL), Mitglieder der Jagd- und Fischereiverwalterkonferenz (JFK), Datenzentrum Moose Schweiz, Nationales Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flechten (SwissLichens), Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna (SZKF), Verbreitungsatlas der Pilze der Schweiz (Swiss-Fungi), Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (karch), Koordinationsstelle für Fledermausschutz, Nationales Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flora (info flora), Schweizerische Vogelwarte Sempach

überdauern, ist ein einzelnes trockenes Jahr noch kein unüberwindbares Hindernis. Folgen jedoch mehrere ähnlich ungünstige Jahre aufeinander, muss mit längerfristig negativen Konsequenzen gerechnet werden.

Im Gegensatz zu den Moosen sind Flechten gegenüber Trockenheit und Hitze sehr robust. Als wechselfeuchte Organismen trocknen sie in Phasen niedriger Luftfeuchtigkeit innerhalb weniger Minuten aus und werden inaktiv. Bei Regen, Nebel, Tauschlag oder erhöhter Luftfeuchtigkeit setzt die Photosynthese wieder ein. Es sind denn auch keine negativen Auswirkungen von Hitze oder Trockenheit auf Flechten bekannt – weder aus dem Sommer 2015 noch aus demjenigen von 2003.

Keine negativen Auswirkungen auf Flechten

Die Vegetation trockener Standorte dürrt während der Sommermonate des Jahres 2015 an flachgründigen Stellen teilweise vollständig aus – im Kanton Zürich ist beispielsweise das Gefleckte Ferkelkraut davon stark betroffen.

Ausgetrocknete Vegetation an Trockenstandorten

Im Wald verfärben sich an exponierten, trockenen Standorten die Blätter der Bäume schon im Spätsommer. Es wachsen im Wald auffallend wenige Pilze. Auch die im August einsetzenden Niederschläge können daran nicht mehr viel ändern. Auch im Wald trocknen kleinere Bäche und zahlreiche Feuchtstellen aus, sodass dem Wild Tränken und Suhlstellen verloren gehen. Im Kanton Schaffhausen wird beobachtet, dass das Schwarzwild auf Alternativen ausweicht und sich an Rebkulturen labt, was Schäden anrichtet.

Im Wald verfrühte Laubverfärbung, kaum Pilze und austrocknende Tränken

Arten, die sich früher im Jahr fortpflanzen, profitieren von der bis in den Juni anhaltenden feuchten Witterung. So vermehrt sich die Sumpf-Heidelibelle im Jahr 2015 stark. Auch frühblühende Pflanzenarten trockenerer Standorte, wie die Weinberg-Tulpe, das Weisse Fingerkraut, der Schnabelfrüchtige Bergflachs oder Gelbstern-Arten, sind von der Hitze und der Trockenheit kaum betroffen und profitieren möglicherweise sogar, weil später aufkommende Konkurrenzpflanzen geschwächt werden.

Arten mit früher Fortpflanzung profitieren

Etliche Orchideen wie beispielsweise die Ragwurze und andere spät blühende Arten können ihre Blütenstände wegen der einsetzenden Trockenheit teilweise nicht fertig entwickeln und ziehen ihre oberirdischen Pflanzenteile vorzeitig ein. Sommerwurz-Arten sind 2015 weniger häufig als in anderen Jahren.

Spät blühende Pflanzen werden beeinträchtigt

Manche Reptilien haben in den Jahren mit einem wärmeren Sommer einen erhöhten Fortpflanzungserfolg. So gibt es Hinweise, dass die Mauereidechse in wärmeren Sommern ein zusätzliches Gelege produziert. Generell ist die Mauereidechse in der Schweiz im Vormarsch. Es gilt als wahrscheinlich, dass dadurch andere heimische Echsen wie etwa die Zauneidechse zusätzliche Konkurrenz erhalten und zurückgedrängt werden können.

Gewinner und Verlierer bei den Reptilien

In den Wiesen wächst nach dem ersten Schnitt wegen der Trockenheit nur noch wenig Pflanzenmasse nach, sodass Nektarblumen und Raupenfutterpflanzen rar werden. In der Folge bleibt die zweite Generation Tagfalter spärlich und erreicht teilweise auch keine normalen Grössen, so zum Beispiel beim Hauhechelbläuling. Generell ist in der Tageszeit mit den höchsten Temperaturen von 14 bis circa 16 Uhr im Sommer 2015 kaum Insektenaktivität zu beobachten.

Nach dem ersten Wiesen-schnitt kaum Nektarblumen oder Raupenfutter

Der abrupte Wechsel zwischen einem nassen Frühling mit Staunässe und anschliessend rascher Austrocknung schwächt viele Arten. So keimen die meisten Samen des Acker-Kleinlings wegen der Nässe erst spät. Die nachfolgende Trockenheit lässt die Pflanzen dann verdorren, noch bevor die neuen Samen reifen. Die Kombination aus Frühjahrsstaunässe und anschliessender Sommerhitze lässt den Dunklen Wiesenknopf-Ameisenbläuling, einen seltenen Schmetterling, an zahlreichen Standorten fast gänzlich verschwinden, obwohl die Art dort normalerweise gut etabliert ist. Die hohen Frühjahrswasserstände überfluten mancherorts die Nisthilfen von Lachmöwen, Flussseeschwalben und anderen, in Gewässernähe brütenden Vogelarten, sodass deren Brutgeschäft sich verzögert. Die später geschlüpften Jungvögel sind dann der Hitze der Sommermonate ausgesetzt, was den Aufzuchterfolg schmälert.

Abrupter Wechsel zwischen Nässe und Trockenheit schwächt viele Arten

In der grossen Sommerhitze erwärmen sich die Nisthilfen des Mauerseglers so stark, dass die Nestlinge gezwungen sind, ihre Nester dehydriert zu verlassen. Werden die Jungvögel nicht rechtzeitig gefunden, führt dies zwangsläufig zum Tod. 2015 werden aussergewöhnlich viele Mauersegler-Jungvögel in Vogelpflegestationen abgegeben (Abb. 40).

Zu grosse Hitze für Mauersegler

Für die verschiedenen Fledermausarten haben die Witterungsbedingungen unterschiedliche Auswirkungen, je nachdem, zu welchem Zeitpunkt sie ihre Jungen aufziehen. Während das eher kühle und regnerische Wetter in den Monaten Mai und Juni beim Grossen Mausohr die Jungensterblichkeit erhöht, können von der Grossen Hufeisennase, einer Fledermausart, die ihre Jungen erst im Juli zur Welt bringt, noch nie so viele Tiere gezählt werden wie 2015. Bei einigen Fledermäusen wird beobachtet, dass sie ihr Quartier verlagern.

Fledermäuse reagieren je nach Aufzuchtperiode auf die Witterung

In den Gewässern steigen die Wassertemperaturen im Sommer 2015 stark an und erreichen teilweise Werte von 30 Grad und mehr (vgl. Kap. 2.2). Für gewisse Fische wie die Forelle oder die Äsche sind solche Temperaturen lebensbedrohend. Hohe Temperaturen begünstigen Fischkrankheiten wie *Saprolegnia* oder die Proliferative Nierenkrankheit (PKD). Voraussetzungen für einen Ausbruch der PKD herrschen im Sommer 2015 über eine längere Zeit und in einer grösseren Anzahl von Gewässern als üblich. Zudem verschiebt sich die Grenze für PKD-Infektionen stromaufwärts in Richtung Quelle, wo das Wasser normalerweise kühler ist.

Für Fische kritische Temperaturen und Begünstigung von Fischkrankheiten

Insgesamt hat der hohe Wasserstand bis Juni die (negativen) Auswirkungen der nachfolgenden Trockenperiode mildern können. Wären die Wasserstände vor der Trockenperiode bereits auf tieferem Niveau gewesen, wäre mit noch schwerwiegenden Auswirkungen zu rechnen gewesen.

Massnahmen zugunsten der Biodiversität

Von den 24 kantonalen Fachstellen, die Beobachtungen zu den Auswirkungen der Hitze und der Trockenheit auf Arten oder Lebensräume gemeldet haben (vgl. Fussnote 24), geben deren 19 an, auch Massnahmen zur Bewältigung der Auswirkungen ergriffen zu haben. In den meisten Fällen sind dabei Erfahrungen aus dem Sommer 2003 ein-

geflossen (84 Prozent der Antwortenden), und eine Mehrheit geht davon aus, dass die umgesetzten Massnahmen dazu beitragen, die Auswirkungen des heissen und trockenen Sommers besser zu bewältigen (56 Prozent der Antwortenden).

Nebst einem allgemeinen Feuerverbot im Freien werden als häufigste Massnahme Notabfischungen genannt, um Fische aus austrocknenden Gewässerabschnitten in Abschnitte mit genügender Wasserführung umzusiedeln. Solche Umsiedlungen sind für die betroffenen Fische mit Stress verbunden durch die elektrische Abfischung selbst und durch die erhöhte Bestandesdichte im Zielgewässer. Die Massnahme ist daher nicht unumstritten, und es wird teilweise auf das Abfischen verzichtet.

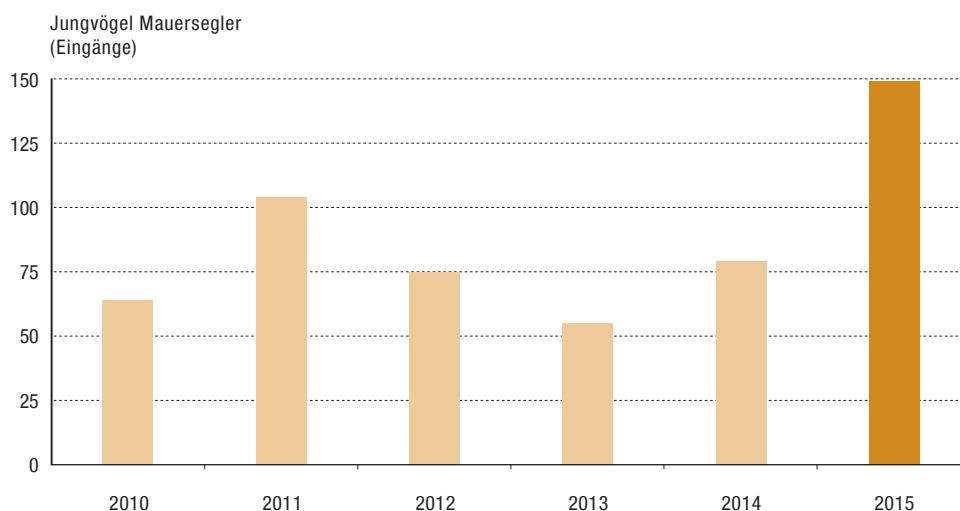
In gewissen Situationen versuchen die Zuständigen, den Wasserstand durch Einstau zu regeln, um so beispielsweise die Zwerglibelle vor den Auswirkungen der Sommer-trockenheit zu schützen. Punktuell wird auch Hydrantenwasser eingeleitet. Kleingewässer, die unter Verwendung von Folien künstlich angelegt wurden, halten das Wasser gemäss den Beobachtungen aus dem Sommer 2015 länger zurück als Naturteiche. Das periodische Austrocknen von Amphibienlaichgewässern kann in gewissen Fällen jedoch erwünscht sein, da auf diese Weise Pionierarten gefördert und Laichräuber wie Fische zurückgedrängt werden. Aufgrund der Trockenheit können der Unterhalt und die Pflege von sonst aufgrund des nassen Untergrundes eher schwierig zu bewirtschaftenden Flächen und Gewässern einfacher durchgeführt werden.

Feuerverbot und Abfischen als häufigste Massnahmen

Regulierung des Wasserstands und Pflege von Flächen mit nassem Untergrund

Abb. 40

Eingänge von Jungvögeln des Mauerseglers am Beispiel der Pflegestation La Vaux-Lierre seit 2010.



Quelle: Schweizerische Vogelwarte

Aus den Erfahrungen des Hitzesommers 2003 (vgl. BUWAL et al. 2004) sind die austrocknungsgefährdeten Gewässer und Gewässerabschnitte vielerorts bekannt und stehen im Sommer 2015 frühzeitig unter Beobachtung. Auch verschiedene Konzepte integrieren die 2003 gemachten Erfahrungen.

Im Kanton Schaffhausen wurde ein Notfallkonzept zur Erhaltung der Rheinäsche erarbeitet, nachdem im Sommer 2003 rund 90 Prozent des Äschenbestandes eingegangen waren. Das Konzept sieht vor, bei hohen Wassertemperaturen mit temporären flussbaulichen Massnahmen Verbindungen des Rheins zu den kühleren Seitenbächen zu verbessern. Im Mündungsbereich der Seitenbäche sorgen eigens angelegte Mulden für Ansammlungen kühlen Wassers. Der Äschenbestand hat in der Folge den Sommer 2015 überlebt.

Auch das im Kanton Bern im Sommer 2015 angewandte Konzept «TroSec» zur Einhaltung der vorgeschriebenen Restwassermengen bei landwirtschaftlichen Bewässerungen geht auf den Hitzesommer 2003 zurück. Im Kanton Aargau werden Wasserentnahmen nach den Vorgaben eines Konzepts vom 15. Oktober 2004 gestoppt beziehungsweise sistiert. Dabei kommt eine elektronische Karte²⁵ zum Einsatz, die eine Übersicht bietet über alle Gewässer, in denen Entnahmeverbote gelten. Nachdem im Kanton Graubünden während des Sommers 2003 ein Anstieg der Gesuche für ausserordentliche Wasserentnahmen durch die Landwirtschaft festgestellt wurde, haben die Landwirtschafts-, Umwelt- und Fischereibehörden ein koordiniertes Vorgehen erarbeitet, um Gemeinden, Landwirte, aber auch Medien einheitlich und kompetent zu informieren und zu beraten. Auf diese Strategie stützt man sich im Sommer 2015 und trägt so dazu bei, Engpässe beim Wasser zu vermeiden.

In den beiden Kantonen Basel-Landschaft und Basel-Stadt kommt 2015 ein kantonaler Krisenstab für besondere und ausserordentliche Lagen zum Einsatz, der sich auf die unterdessen geklärte Aufgabenteilung zwischen Gemeinden und Kanton stützt. Im Kanton Thurgau werden nach den Erfahrungen des Sommers 2003 frühzeitig Gespräche aufgenommen und Absprachen getroffen zwischen Fischereiaufsicht, Gemeinden und Wasserwerken, um so die Reaktionszeiten beim Einleiten von Hydrantenwasser zu verkürzen. Der Kanton Solothurn setzt bei der Wassernutzung durch die Landwirtschaft bessere und verbindlichere Strategien um, die das Amt für Umwelt erarbeitet hat. Diese haben sich schon im Jahr 2011 bewährt – ohne dass illegale Wasserentnahmen allerdings ganz verschwunden wären. Das Massnahmenkonzept der Fischereifachstelle des Kantons Solothurn hat sich gegenüber 2003 nicht verändert und wird weiterhin als zweckmässig erachtet. Schliesslich wurde im Kanton Zug bereits vor 2003 die Förderung von standortheimischer Bestockung forciert, die dazu beiträgt, Trockenstress zu minimieren. Eine gute Zusammenarbeit zwischen Fischereiaufsicht und Fischereiver-einen hilft, die Herausforderungen des Sommers 2015 zu bewältigen. Im Kanton Obwalden besteht eine Liste von Hilfspersonen für Abfischungen. Während der Ferienzeit kommt es aber dennoch teilweise zu personellen Engpässen bei der Beurteilung und Überprüfung der Lage.

Aus den Erfahrungen des Hitzesommers 2003 gelernt

Konzept zur Erhaltung der Rheinäsche

Koordinierter Umgang mit landwirtschaftlichen Bewässerungen

Verbesserte Absprachen

²⁵ AGIS unter <https://www.ag.ch/app/hydrometrie/liste/>

Invasive gebietsfremde Arten breiten sich nach Extremereignissen oft erst mit zeitlicher Verzögerung aus. Dies zeigen Erfahrungen aus früheren Hitzesommern. So breitete sich das Einjährige Berufkraut erst in den Folgejahren nach dem Sommer 2003 stark in lückigen Wiesenbeständen aus. Deshalb ist 2016 erhöhte Aufmerksamkeit gefordert gegenüber invasiven gebietsfremden Pflanzen wie dem Berufkraut oder der Goldrute. Durch den trockenen Boden werden die Bekämpfungsmassnahmen gegen invasive Neophyten erschwert, weil die Pflanzen in den trockenen, harten Böden nicht mehr mit den Wurzeln ausgerissen werden können. Auch andere invasive gebietsfremde Arten wie die Rotwangen-Schmuckschildkröte könnten von heissen Sommern profitieren. Es ist bekannt, dass die aus Amerika stammende invasive Art hierzulande in vielen Weihern ausgesetzt wurde und dort die Biodiversität beeinträchtigt. Bisher nahm man an, dass die Rotwangen-Schmuckschildkröte zwar viele Jahrzehnte lebt, sich aber unter den schweizerischen Klimaverhältnissen in freier Wildbahn nicht fortpflanzt. Wenn die Wassertemperaturen jedoch während zwei bis drei Monaten auf mehr als 27 Grad steigen, könnte sich dies ändern.

Erhöhte Aufmerksamkeit gegenüber invasiven gebietsfremden Arten nötig

3.5 Luftqualität

Im Sommer 2015 werden in der Schweiz hohe Konzentrationen von Ozon gemessen, die deutlich über den Grenzwerten liegen. Verglichen mit dem Hitzesommer 2003 ist die Ozonbelastung aber niedriger, was primär auf kürzere Schönwetterperioden zurückzuführen ist. Bei gleichen Witterungsbedingungen wird heute dank einer Begrenzung von Vorläufergasen weniger Ozon gebildet als vor zwanzig Jahren.

Ausgangslage

Ozon ist Hauptbestandteil des Sommersmogs, spielt aber auch bei anderen Umweltveränderungen eine wichtige Rolle: Das farblose Gas mit leicht stechendem Geruch schützt in der Stratosphäre auf 10 bis 50 Kilometern Höhe das Leben auf der Erdoberfläche vor übermässiger UV-Strahlung. In der Stratosphäre und in der darunterliegenden Troposphäre fängt Ozon aber auch Wärmestrahlung ein und wirkt so als Treibhausgas. Im Sommer kann Ozon schliesslich wegen seiner Aggressivität und Giftigkeit ganz direkt Mensch und Umwelt schädigen.

Ozon hat verschiedene Auswirkungen auf Mensch und Umwelt

Ozon ist eines der stärksten Reizgase. Es greift beim Menschen vor allem die Atemwege an und führt dort zu akuten Entzündungen. Ozon schränkt die Lungenfunktion ein und beeinträchtigt die körperliche Leistungsfähigkeit. Während Perioden mit hohen Ozonkonzentrationen steigen Spitaleinweisungen und vorzeitige Todesfälle. In landwirtschaftlichen Kulturen können die in der Schweiz beobachteten Ozonkonzentrationen, je nach Pflanzenart und Region, Ertragsausfälle von 5 bis 15 Prozent nach sich ziehen.

Ozon schädigt Gesundheit und Pflanzenproduktion

An Tagen mit grosser Sonneneinstrahlung bildet sich Ozon in einer chemischen Reaktion aus Stickstoffdioxid und flüchtigen Kohlenwasserstoffen, sogenannten Vorläufergasen. Herrschen windstille Verhältnisse, kann sich die Ozonkonzentration von Tag zu Tag erhöhen – ähnlich wie die Lufttemperatur während einer mehrtägigen Schönwetterperiode stetig steigt. Die heutzutage gemessenen Konzentrationen von Stickstoffdioxid gehen grösstenteils auf menschliche Aktivitäten zurück, und die Belastung durch flüchtige Kohlenwasserstoffe ist ebenfalls wesentlich vom Menschen verursacht.

Entstehung aus Stickstoffdioxid und flüchtigen Kohlenwasserstoffen

Ozon im Sommer 2015

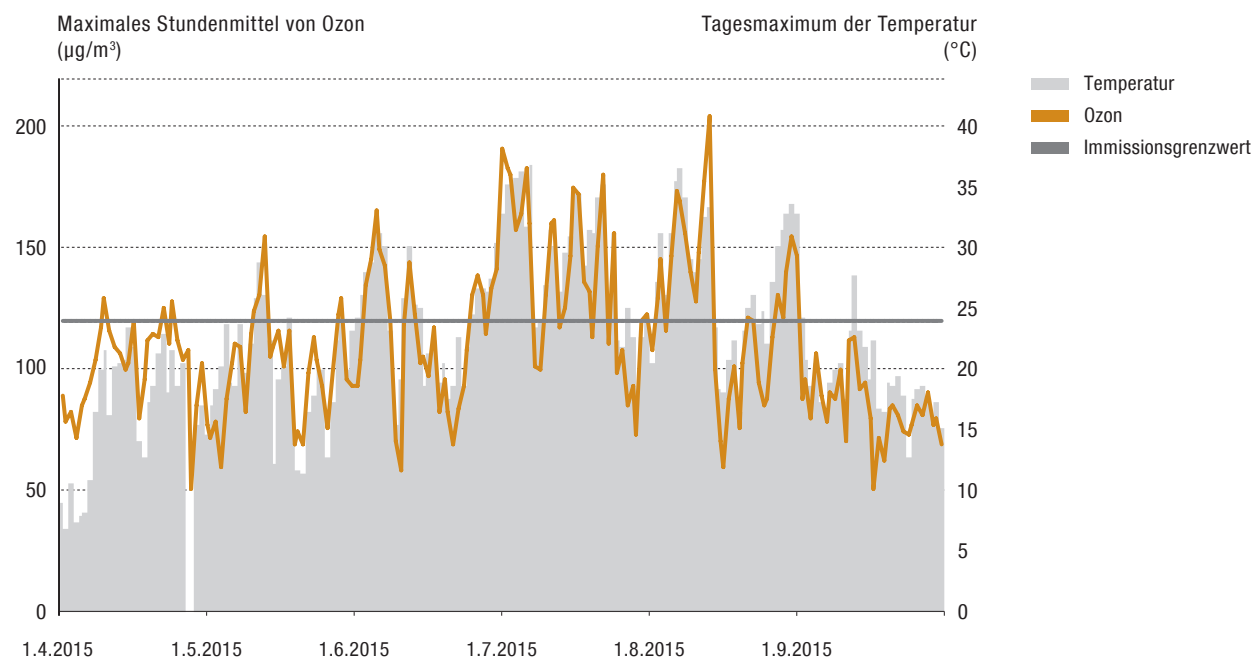
Die beiden Schönwetterperioden im Juli und im August des Sommers 2015 (vgl. Kap. 2.1) zeigen sich deutlich im Verlauf der Ozonkonzentration an der Messstation Dübendorf des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe NABEL (Abb. 41). Wenn die Lufttemperatur hohe Werte erreicht, liegt die Ozonbelastung weit über dem Kurzzeit-Immissionsgrenzwert der Luftreinhalte-Verordnung²⁶. In den übrigen Monaten ist die Sonneneinstrahlung wesentlich geringer, und die Ozonkonzentrationen liegen meist unter dem Kurzzeitgrenzwert.

Ozonbelastung mit Grenzwertüberschreitung während Schönwetterperioden

26 LRV (SR 814.318.142.1)

Abb. 41

Höchstes Stundenmittel der Ozonkonzentration an der NABEL-Station Dübendorf und Tageshöchsttemperatur. Der Immissionsgrenzwert der Luftreinhalte-Verordnung erlaubt pro Jahr nur eine Überschreitung des Stundenmittels von 120 Mikrogramm pro Kubikmeter.



Quelle: BAFU

Tage mit Grenzwertüberschreitung im langjährigen Vergleich

Im Jahr 2015 wird der Kurzzeitgrenzwert für Ozon deutlich öfter überschritten als im Vorjahr, aber deutlich seltener als 2003 (siehe Abb. 42). Die Häufigkeit solcher Überschreitungen ist wesentlich bestimmt durch die Anzahl der Schönwettertage im Sommerhalbjahr und die Länge der Schönwetterperioden. Die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen im ganzen Jahr widerspiegelt somit in erster Linie die Ozonbelastung im Sommer.

Legt man eine Gerade durch die Jahr für Jahr auftretende Anzahl der Tage mit einer Überschreitung des Kurzzeitgrenzwerts für Ozon (lineare Regression), so reduziert sich die Anzahl zwischen 1991 und 2015 von durchschnittlich 78 auf 62 Tage oder je nach Region um 8 bis 23 Tage. Der Unterschied zwischen städtischen oder vorstädtischen Gebieten und ländlichen Regionen ist auf der Alpennordseite nur gering. Der starke Rückgang des Schadstoffausstosses hat zur Folge, dass Ozon in städtischen Gebieten nicht mehr so stark durch Stickstoffmonoxid abgebaut wird wie in früheren Jahrzehnten.

Der im Vergleich zur Alpennordseite häufigere Sonnenschein, die engen Täler und die Nähe zur dicht besiedelten und hoch industrialisierten Lombardei begünstigen im Tessin die Ozonbildung. Die Konzentration der Vorläufergase ist so hoch, dass in Schönwetterperioden mit hoher Sonneneinstrahlung viel Ozon entsteht und der Kurzzeitgrenzwert überschritten wird.

Höchstwerte im langjährigen Vergleich

Die Luftreinhalte-Verordnung legt neben dem Kurzzeitgrenzwert ebenfalls fest, dass das 98-Perzentil²⁷ der Halbstundenmittel eines Monats 100 Mikrogramm pro Kubikmeter nicht übersteigen darf. Diese Kenngrösse beschreibt das Ausmass der höchsten Ozonkonzentrationen. Der grösste monatliche 98-Perzentilwert liegt im Sommer 2015 höher als in den vorangegangenen Jahren, aber tiefer als 2003 und auch tiefer als in einer Reihe weiterer Jahre (siehe Abb. 43). Legt man eine Gerade durch die höchsten monatlichen 98-Perzentilwerte der Jahre seit 1991 (lineare Regression), so ergibt sich in den 25 Jahren bis 2015 je nach Region eine Abnahme um 10 bis 30 Mikrogramm pro Kubikmeter.

Eine einfache statistische Abschätzung zeigt, dass 2015 bei einer Temperatur von rund 30 Grad und bei ähnlichen Witterungsbedingungen die maximale Ozonkonzentration 10 bis 15 Mikrogramm pro Kubikmeter niedriger ist als 2003. Auch bei Witterungsbedingungen, die eine starke Ozonbildung begünstigen, ist die Ozonbelastung in der Schweiz damit geringer als in früheren Jahren.

Kurzzeitgrenzwert für Ozon 2015 seltener überschritten als 2003

**Nördlich der Alpen
seltener Überschreitung des Kurzzeitgrenzwerts**

Geringere Abnahme der Ozonbelastung im Tessin

98-Perzentilwert der Ozonbelastung 2015 tiefer als 2003

Maximalwerte der Ozonbelastung bei gleicher Witterung rückläufig

²⁷ Halbstundenmittel, das nur von den höchsten 2 Prozent der Halbstundenmittel des Monats übertroffen wird.

Massnahmen

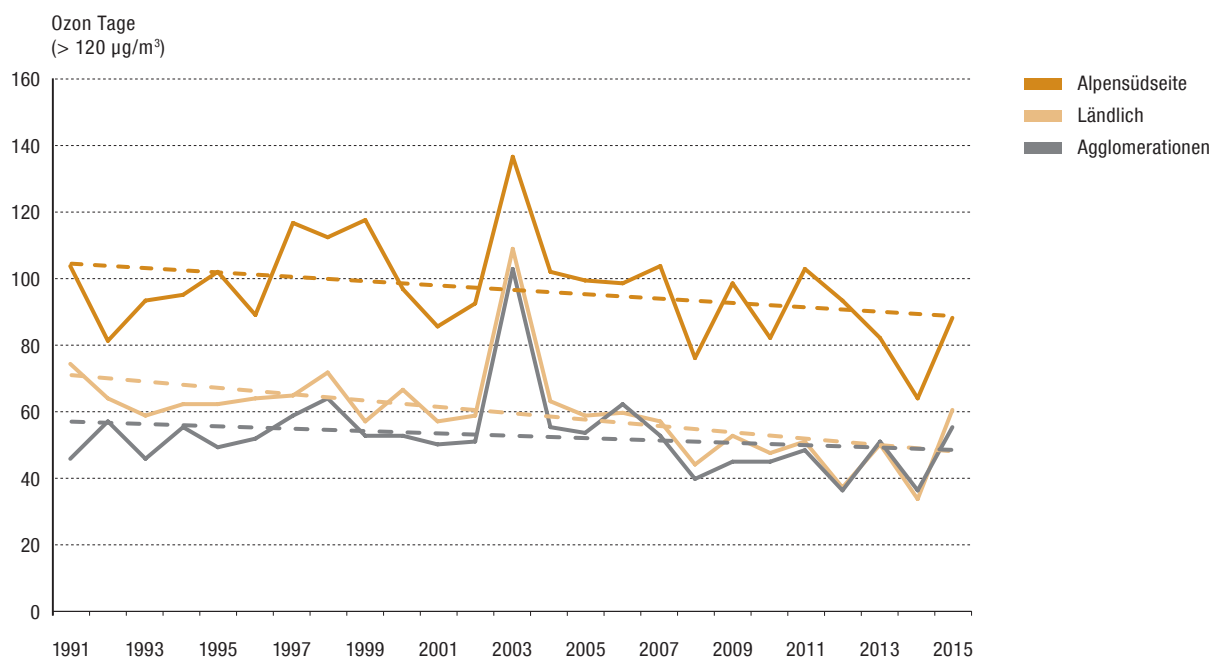
Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und die kantonalen Umweltämter informieren die Bevölkerung auf ihren Websites kontinuierlich über die aktuelle Luftbelastung durch Ozon und geben dort entsprechende Verhaltensempfehlungen ab.²⁸ Auch über die Smartphone-App «airCheck» und auf der Teletextseite 521 sind die aktuellen Schadstoffkonzentrationen jederzeit abrufbar. In Phasen, während deren die Ozonkonzentrationen das Anderthalbfache des Kurzzeitgrenzwerts übersteigen, werden Pressemitteilungen mit Informationen über den aktuellen Stand der Ozonbelastung und Verhaltensempfehlungen an die Medien versandt. Dieses Vorgehen folgt dem Informationskonzept 2005 der schweizerischen Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren-Konferenz (BPUK) und orientiert sich an der Informationsschwelle der EU-Länder.

Information über Websites,
App und Teletext

28 www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung/aktuell/04393/index.html?lang=de
<http://cerclair.ch/links/schweiz>

Abb. 42

Anzahl Tage pro Jahr, an denen die Ozonkonzentration über dem Kurzzeitgrenzwert der Luftreinhalte-Verordnung von 120 Mikrogramm pro Kubikmeter liegt. Gestrichelt: lineare Regressionsgerade. Mittelwerte der Messreihen folgender NABEL-Stationen: Magadino und Lugano (Alpensüdseite), Payerne und Tänikon (Ländlich), Basel-Binningen, Dübendorf und Zürich (Agglomeration).



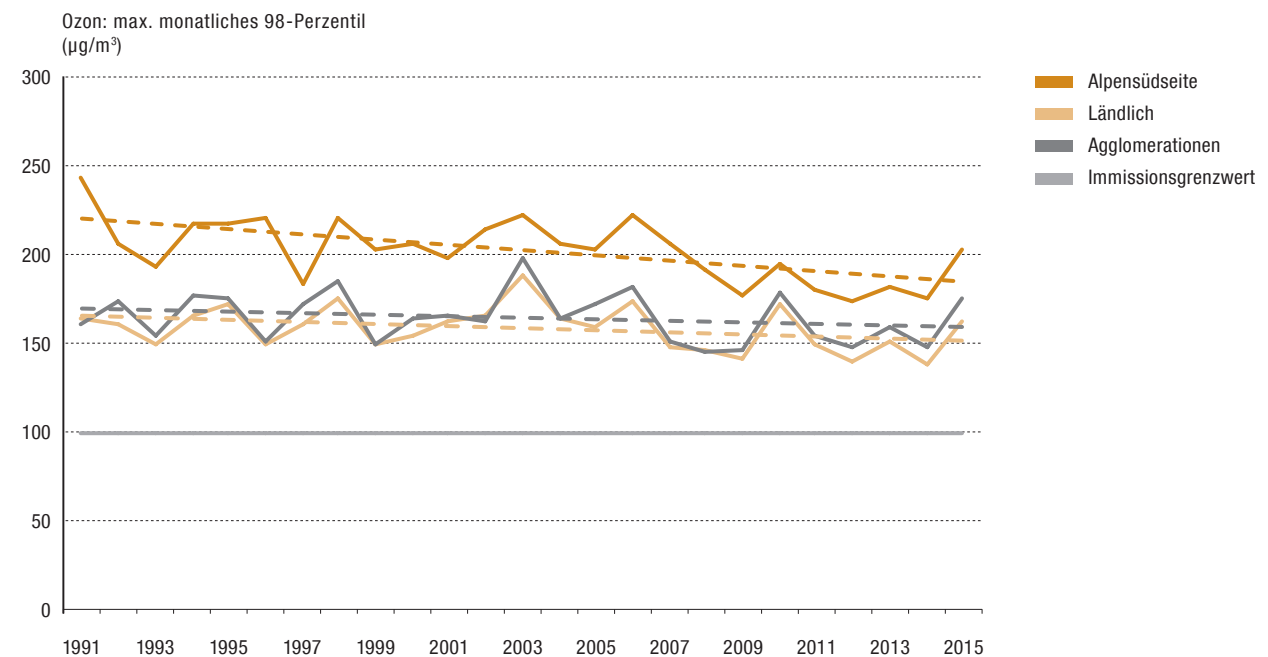
Quelle: BAFU

Die in den letzten Jahrzehnten reduzierte Ozonbelastung kann auf eine erfolgreiche Begrenzung der Vorläufergase durch die Schweizer Luftreinhaltepolitik zurückgeführt werden. Um die Entstehung von hohen Ozonkonzentrationen weiter zu senken, ist eine weitere Reduktion nötig beim Ausstoss von Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen inklusive Methan. Dies gilt für die Schweiz ebenso wie für das Ausland.

Erfolgreiche Begrenzung der Vorläufergase

Abb. 43

Grösstes monatliches 98-Perzentil der Halbstundenmittel von Ozon in Mikrogramm pro Kubikmeter. Gestrichelt: lineare Regressionsgeraden. Mittelwerte der Messreihen folgender NABEL-Stationen: Magadino und Lugano (Alpensüdseite), Payerne und Tänikon (Ländlich), Basel-Binningen, Dübendorf und Zürich (Agglomeration).



3.6 Gesundheit

In den Monaten Juni bis August 2015 sterben in der Schweiz 804 Personen mehr, als in einem normalen Jahr zu erwarten gewesen wäre. Die zusätzliche Sterblichkeit von 5,4 Prozent kann auf die Hitze zurückgeführt werden. Am grössten ist die Zusatzsterblichkeit im Tessin, in der Nordwestschweiz und im Espace Mittelland. Menschen im Alter von mehr als 75 Jahren machen den grössten Teil der Todesfälle aus. Verglichen mit dem Hitzesommer 2003 ist die Zusatzsterblichkeit 2015 etwas geringer. Bund und Kantone warnen vor den gesundheitlichen Auswirkungen der Hitze und informieren die Bevölkerung über das richtige Verhalten. In verschiedenen Regionen erhalten besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen zusätzliche Unterstützung.

Ausgangslage

Hitze kann hauptsächlich wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen das Sterberisiko erhöhen. Der Hitzesommer 2003 wurde in zahlreichen europäischen Ländern mit einer teilweise starken Erhöhung der Todesfälle in Zusammenhang gebracht. In der Schweiz erhöhte sich die Sterblichkeit in den beiden Monaten Juni und August 2003 um durchschnittlich 7 Prozent (Grize et al. 2005).

**Bekannter Zusammenhang
zwischen Hitze und Sterblichkeit**

Die vorliegende Analyse der hitzebedingten Todesfälle im Sommer 2015 basiert auf Daten des Bundesamts für Statistik (BFS) für Personen mit Wohnsitz in der Schweiz. Für alle Todesfälle liegen Angaben zu Datum, Alter, Geschlecht und Kantonszugehörigkeit vor.²⁹ Der Zusammenhang zwischen Hitze und Todesfällen wird für sieben Grossregionen³⁰ untersucht, denen jeweils eine möglichst repräsentative meteorologische Messstation zugeordnet ist.

Daten für sieben Grossregionen

Sterblichkeit im Sommer 2015

Markante Anstiege der Lufttemperatur sind während der Monate Juni, Juli und August 2015 von zusätzlichen Todesfällen begleitet. Am auffälligsten ist die Hitzeperiode Anfang Juli (Abb. 44). Die zusätzliche Sterblichkeit berechnet sich aus der Differenz zwischen erwarteten und beobachteten Todesfällen. Die erwarteten Todesfälle ergeben sich aus einem statistischen Modell, in dem – ausgehend von den Sterblichkeitsdaten der Jahre 2005 bis 2014 – das Alter, das Geschlecht, die Region und deren Bevölkerungszahl³¹ sowie die normalen jahreszeitlichen Schwankungen und ein allenfalls bestehender

**Hohe Temperaturen führen zu
zusätzlichen Todesfällen**

²⁹ Die Angaben zur Todesursache nach ICD-10 tragen keine relevanten zusätzlichen Elemente zur Interpretation der Übersterblichkeit bei.

³⁰ Grossregion «Nordwestschweiz» (AG, BL, BS) mit der Station Basel-Binningen; «Espace Mittelland» (BE, FR, JU, NE, SO) mit der Station Bern-Zollikofen; «Genfersee» (GE, VS, VD) mit der Station Genf-Cointrin; «Zürich» (ZH) mit der Station Zürich-SMA; «Tessin» (TI) mit der Station Lugano; «Zentralschweiz» (LU, NW, OW, SZ, UR, ZG) mit der Station Luzern; «Ostschweiz» (AI, AR, GL, GR, SG, SH, TG) mit der Station St.Gallen.

³¹ Da die Bevölkerungszahlen für das Jahr 2015 zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht aufgeschlüsselt nach Alter, Geschlecht und Kanton vorliegen, werden die Zahlen von 2014 mit dem Faktor 1,008 multipliziert, um dem durchschnittlichen Bevölkerungswachstum zwischen den beiden Jahren Rechnung zu tragen.

mehrjähriger Trend berücksichtigt sind. Insgesamt sterben in den drei Sommermonaten 804 Personen mehr, als in einem normalen Jahr zu erwarten gewesen wäre. Das entspricht zusätzlichen Todesfällen in der Höhe von 5,4 Prozent (siehe Tab. 6).

Über den ganzen Sommer 2015 betrachtet, ist die Zusatzsterblichkeit im Tessin mit 10,3 Prozent zusätzlichen Todesfällen am höchsten, gefolgt von der Nordwestschweiz mit 9,5 Prozent und dem Espace Mittelland mit 8,9 Prozent. In der Ostschweiz, wo es von allen Grossregionen am kühleren bleibt, werden 3,3 Prozent weniger Todesfälle gezählt als erwartet. In Grossregionen mit intensiverer Hitze werden generell mehr zusätzliche Todesfälle gezählt.

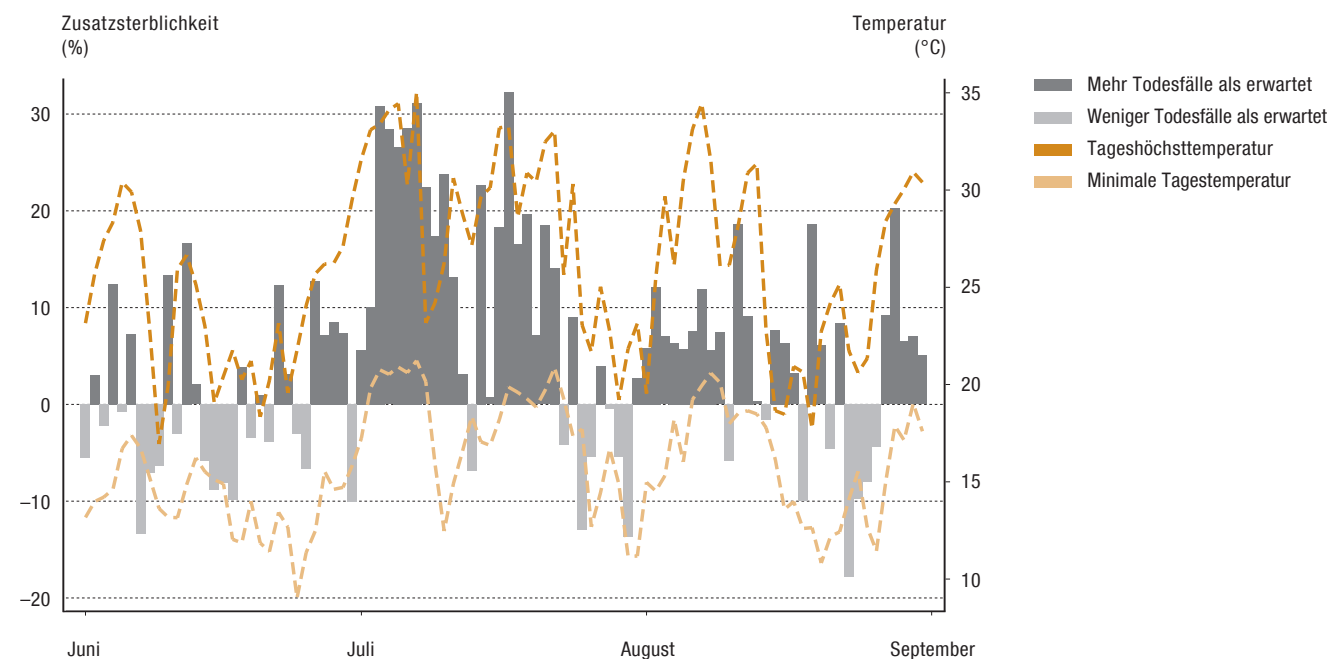
Auffällig ist, dass die Zusatzsterblichkeit in der Westschweiz (Grossregion Genfersee) trotz grosser Hitze mit 5,2 Prozent sogar geringfügig kleiner ist als im schweizerischen Durchschnitt. Möglicherweise lässt sich dies darauf zurückführen, dass die Westschweizer Kantone in den letzten Jahren Massnahmenpläne zum Umgang mit der Hitze erstellt und umgesetzt haben. Es ist jedoch auch denkbar, dass sich nicht so sehr

**Tessin, Nordwestschweiz
und Espace Mittelland
mit grösster Zusatzsterblichkeit**

**Trotz hoher Temperaturen
durchschnittliche Zusatzsterb-
lichkeit in Genferseeregion**

Abb. 44

Tägliche Unterschiede zwischen beobachteter und erwarteter Sterblichkeit im Sommer 2015 in Prozent. Dunkelgraue Säulen: mehr Todesfälle als erwartet, hellgraue Säulen: weniger Todesfälle als erwartet. Dunkelorange gestrichelte Linie: Tageshöchsttemperatur. Hellorange gestrichelte Linie: minimale Tagestemperatur.



Quelle: BFS

die Tageshöchsttemperaturen auf die Sterblichkeit auswirken, sondern Nachttemperaturen oder gefühlte Temperaturen. Beide sind im Tessin mit der grössten Zusatzsterblichkeit deutlich höher als in der Westschweiz.

In absoluten Zahlen befinden sich im Sommer 2015 unter den zusätzlich Verstorbenen am meisten Menschen im Alter über 75 Jahren. Sie machen 77 Prozent aller zusätzlichen Todesfälle aus. In dieser Altersgruppe ist das Sterberisiko allerdings auch unabhängig von der Hitze am höchsten. Relativ betrachtet, zieht der heisse Sommer 2015 bei den 75- bis 84-Jährigen mit einer Erhöhung um 9,7 Prozent den stärksten Anstieg des Sterberisikos nach sich, gefolgt vom jüngsten Bevölkerungssegment der unter 20-Jährigen mit einer Erhöhung um 8,7 Prozent. Da die Sterblichkeit hier jedoch generell sehr tief ist, bedeutet diese Erhöhung in absoluten Zahlen nur 11 zusätzliche Todesfälle.³² Am tiefsten ist die relative Zusatzsterblichkeit bei den 65- bis 74-Jährigen sowie den über 85-Jährigen mit je 3,6 Prozent (Tab. 6).

75- bis 84-Jährige sowie unter 20-Jährige mit höchster Zusatzsterblichkeit

Die hitzebedingte Sterblichkeit im Sommer 2015 liegt bei Männern mit 6,0 Prozent generell etwas höher als bei Frauen mit 5,0 Prozent. Die zusätzlichen Todesfälle verteilen sich ungleichmässig auf die drei Sommermonate: Mit 20 sind es im Juni am wenigsten, im Juli mit 570 am meisten, und im August liegt die Zahl mit 214 Todesfällen in der Mitte.

Männer etwas stärker betroffen als Frauen

Sterblichkeit im Sommer 2015 gegenüber 2003

Der Vergleich der täglichen Todesfälle über mehrere Jahre zeigt, wie aussergewöhnlich die hitzebedingte Sterblichkeit in den Sommern 2003 und 2015 ist (siehe Abb. 45). In beiden Jahren erreicht die Sommersterblichkeit Werte, wie sie sonst nur im Winter vorkommen. Die vielen Todesfälle im Februar und März 2015 sind auf eine Grippeepidemie zurückzuführen.

Aussergewöhnlich hohe Sterblichkeit im Sommer 2003 und 2015

In den Sommern der Jahre 2003 und 2015 sind auch die Tageshöchsttemperaturen deutlich höher als in den übrigen Jahren. An den ausgewählten Messstationen der sieben analysierten Grossregionen erreichen die Tageshöchsttemperaturen im Sommer 2015 mit 26,2 Grad im Durchschnitt zwar niedrigere Werte als im Sommer 2003 mit 28,4 Grad. Die Tageshöchstwerte sind aber auch 2015 deutlich höher als im Durchschnitt der Jahre 2005 bis 2014 mit 23,8 Grad. Die Extremwerte der gefühlten Temperaturen steigen 2015 dagegen höher als 2003: Am heissesten Tag des Sommers 2015 beträgt die höchste gefühlte Temperatur im Mittel der sieben Stationen 36,7 Grad, während sie 2003 bei 34,9 Grad lag. Ausserdem sind die Temperaturschwankungen im Sommer 2015 grösser als 2003 (siehe Abb. 46).

Sommer 2015 mit extremeren gefühlten Temperaturen und mehr Variabilität als 2003

³² Es ist bekannt, dass Kleinkinder empfindlich auf Hitze reagieren. Zusätzliche Todesfälle könnten aber auch in der späteren Kindheit oder Jugend mit der Witterung zusammenhängen, so etwa, wenn sich bei schönem Wetter mehr Badeunfälle ereignen.

Die Sterblichkeit im Sommer 2015 wurde nach der gleichen Methode untersucht wie im Sommer 2003. Damals wurden 975 hitzebedingte Todesfälle gezählt, was einer relativen Zusatzsterblichkeit von 6,9 Prozent entspricht (Grize et al. 2005). Die Zusatzsterblichkeit ist also im Sommer 2015 sowohl in absoluten Zahlen (804 Todesfälle) als auch relativ betrachtet (5,4 Prozent) etwas niedriger als im Sommer 2003. Der Vergleich der beiden Jahre wird aber durch zwei Faktoren erschwert: Einerseits hat die Bevölkerung der Schweiz zwischen 2003 und 2015 von 7,36 auf 8,30 Millionen zugenommen – dies bei gleichzeitig steigendem Durchschnittsalter. Andererseits führte eine starke Grippewelle im Frühjahr 2015 zu etwa 2500 zusätzlichen Todesfällen. Diese haben zur Folge, dass im anschliessenden Sommer weniger gesundheitlich beeinträchtigte Personen dem Risiko der Hitze ausgesetzt sind.

**Relative Zusatzsterblichkeit
liegt 2015 etwas tiefer als 2003**

Tab. 6

Temperaturen und Sterblichkeit während der Sommermonate von Juni bis August 2015.

Bevölkerungs- segment	Tageshöchsttemperatur		Tagesniedrigsttemperatur		Sterblichkeit (Todesfälle)		
	Mittel	Maximum	Mittel	Maximum	erwartete (Anzahl)	zusätzliche (Anzahl)	zusätzliche (Prozent)
Schweiz (Total)	26,2	35,0	15,9	21,2	14 759	804	5,4
Männer	*	*	*	*	7188	428	6,0
Frauen	*	*	*	*	7572	375	5,0
0–19 Jahre	*	*	*	*	120	11	8,7
20–39 Jahre	*	*	*	*	198	11	5,4
40–64 Jahre	*	*	*	*	1838	86	4,7
65–74 Jahre	*	*	*	*	2242	81	3,6
75–84 Jahre	*	*	*	*	3915	381	9,7
≥ 85 Jahre	*	*	*	*	6445	235	3,6
Nordwestschweiz	26,7	37,0	15,6	22,3	2079	197	9,5
Espace Mittelland	25,9	36,8	14,2	20,0	3569	317	8,9
Genfersee	28,1	39,7	15,7	22,5	2553	133	5,2
Zürich	25,8	34,6	15,6	21,5	2452	105	4,3
Tessin	27,8	33,9	19,0	25,4	688	71	10,3
Zentralschweiz	26,1	34,8	15,8	21,5	1296	51	3,9
Ostschweiz	22,8	31,7	15,1	22,6	2122	–70	–3,3

* keine Angabe für das entsprechende Bevölkerungssegment vorhanden

Quelle: BFS

Sowohl im Sommer 2015 als auch im Sommer 2003 sind vor allem die älteren Menschen von der Hitze betroffen. Im Sommer 2015 werden 77 Prozent der Todesfälle bei den über 75-Jährigen gezählt (29 Prozent bei den über 85-Jährigen). Im Sommer 2003 traten (mit einer anderen Altersklassierung) 68 Prozent der zusätzlichen Todesfälle bei den über 80-Jährigen auf.

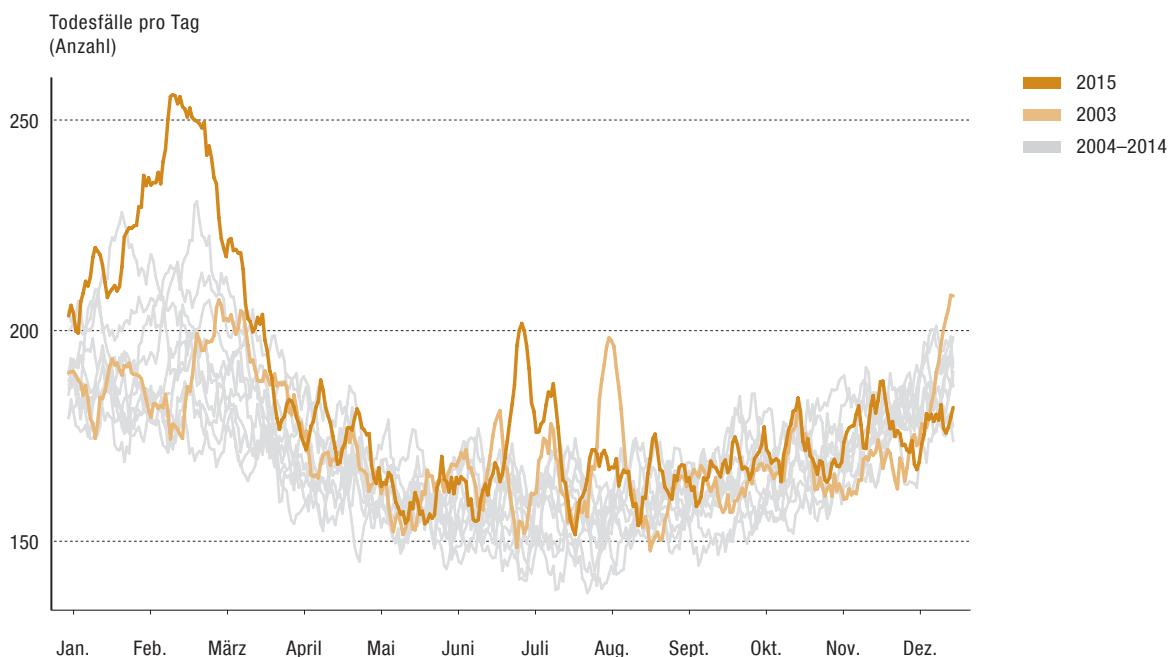
Während sich bei den Frauen im Sommer 2015 deutlich weniger zusätzliche Todesfälle ereignen als 2003 (relative Zusatzsterblichkeit von 5,0 Prozent gegenüber 7,5 Prozent), ist die Zusatzsterblichkeit bei den Männern in beiden Jahren praktisch gleich (6,0 Prozent im Sommer 2015 gegenüber 6,1 Prozent im Sommer 2003). Diese Unterschiede können zufällig zustande gekommen sein. Es ist aber auch möglich, dass Männer empfindlicher sind gegenüber Temperaturschwankungen, wie sie 2015 vorkommen, während Frauen eher auf lange Perioden mit hohen Temperaturen reagieren, die den Sommer 2003 charakterisieren. Schliesslich ist es auch denkbar, dass Frauen Informationen zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Hitze stärker beachten und ihr Verhalten besser an die Hitze anpassen als Männer.

Sterblichkeit der Altersgruppen wird 2015 ähnlich beeinflusst wie 2003

Zusatzsterblichkeit bei Frauen im Sommer 2015 tiefer als im Sommer 2003

Abb. 45

Anzahl Todesfälle pro Tag für die Jahre 2004–2014 sowie 2003 und 2015.
Geglättete Kurven aus den Mittelwerten von 7 Tagen (je 3 Tage vor und nach dem eingezeichneten Wert). Absolute Werte ohne Korrektur für das Bevölkerungswachstum.



Quelle: BFS

Massnahmen

Warnungen zu möglichen Hitzefolgen und Hinweise zum richtigen Verhalten sind zentrale Massnahmen, um die Bevölkerung vor den Auswirkungen einer Hitzewelle zu schützen. Die Verhaltensempfehlungen weisen auf die Vermeidung körperlicher Anstrengungen während der heissesten Zeit, auf Möglichkeiten zur Kühlung, auf die Bedeutung von Trinken und Essen sowie den nötigen Schutz vor der Sonne. Weitere Aspekte sind die Nachbarschaftshilfe und Bedürfnisse und Aufgaben spezieller Gruppen (Betagte und Pflegebedürftige, Angehörige, Pflegepersonal, Ärztinnen und Ärzte).

Am 26. Juni 2015 veröffentlicht MeteoSchweiz den ersten *Warnausblick* (Eintrittswahrscheinlichkeit grösser als 40 Prozent) für eine mögliche Hitzewelle der Stufe 3 («erhebliche Gefahr») für die Westschweiz und das Wallis auf der Warnseite von MeteoSchweiz und via App für Smartphones. Einen Tag später wird der Warnausblick auf die übrigen Regionen nördlich der Alpen ausgedehnt.

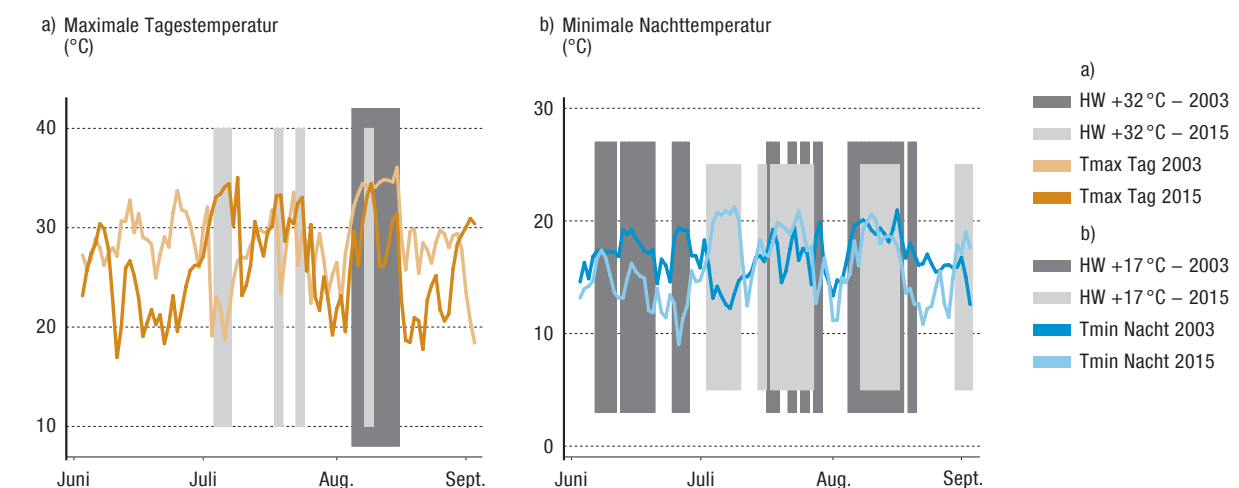
Wenige Tage später folgt am 29. Juni die erste *Warnausgabe* (Eintrittswahrscheinlichkeit mindestens 70 Prozent) von MeteoSchweiz, welche den Einsatzzentralen der Kantonspolizeien, diversen Fachstellen des Bundes und der Kantone, anderen Wetterdiensten und diversen Radiostationen zugestellt wird. Für das Wallis, die westlichen

Warnungen und Verhaltens- empfehlungen

Warnung des Bundes in mehreren Stufen

Abb. 46

Temperaturverlauf im Sommer 2003 und 2015. Mittelwerte ausgewählter Messstationen in sieben Grossregionen (vgl. Tabelle 6). Grau: Hitzewellen (HW) mit Tageshöchsttemperaturen (Tmax) von mehr als 32 Grad während mindestens zweier Tage (links, HW +32 °C) oder Minimaltemperaturen (Tmin) von mindestens 17 Grad während mindestens zweier Nächte (rechts, HW +17 °C).



Quelle: MeteoSchweiz

Landesteile und das Tessin gilt für Hitze die Stufe 4 («grosse Gefahr»), für die übrigen Regionen die Stufe 3. Weitere zwei Tage später gilt die Stufe 4 für die Niederungen aller Regionen, und am 2. Juli gibt MeteoSchweiz schliesslich für die ganze Schweiz eine Hitzewarnung der Stufe 4 aus.

Die Warnungen von MeteoSchweiz werden zusätzlich und zeitgleich auf dem Naturgefahrenportal des Bundes veröffentlicht.³³ Mit regelmässigen Bulletins informieren die Naturgefahren-Fachstellen des Bundes über die aktuelle Lage. Das erste Naturgefahrenbulletin zur Hitzewelle 2015 erscheint am 30. Juni und wird bis zum 8. Juli 2015 täglich aktualisiert.

Die Kantone wenden sich teilweise schon vor den ersten Warnungen von MeteoSchweiz mit dem Thema Hitze an die Bevölkerung. So informiert der Waadtländer Kantonsarzt aufgrund der Erfahrungen mit den Hitzewellen der letzten Jahre schon am 3. Juni 2015 präventiv über Auswirkungen, Gefahren und mögliche Verhaltensmassnahmen. Am 29. Juni informiert die Waadt auch als erster Kanton die Bevölkerung über die von MeteoSchweiz ausgegebene Hitzewarnung. Am nächsten Tag folgen die Kantone Genf, Jura, Neuenburg und Tessin, und am 2. Juli informiert auch der Kanton Freiburg die Bevölkerung mit einer offiziellen Mitteilung. Die Kantone Waadt und Genf informieren während der letzten Junitage zusätzlich auch über die Aktivierung von kantonalen Hitzeplänen. Darin sind alle Massnahmen, die im Kanton bei einer anhaltenden Hitzewelle ergriffen werden, beschrieben und deren organisatorische Umsetzung (z. B. Zuständigkeit, Ablauf) geregelt. Im Ereignisfall wird damit sichergestellt, dass Massnahmen koordiniert und zeitgerecht eingeleitet werden können.

Informationen und Warnungen der Kantone

Verhaltensempfehlungen bei Hitzewellen sind im Internet auf verschiedenen Websites des Bundes ganzjährig abrufbar (MeteoSchweiz, Naturgefahrenportal, Bundesamt für Gesundheit (BAG), Alertswiss, Plattform für Naturgefahren PLANAT).³⁴ Das BAG bietet zusätzlich Merkblätter an, die sich nicht nur an die Bevölkerung richten, sondern auch an verletzte Bevölkerungsgruppen und das Fachpersonal im Gesundheitswesen.

Kommunikation von Verhaltensempfehlungen an die Bevölkerung

MeteoSchweiz verbreitet bereits mit dem ersten Warnausblick vom 26. Juni 2015 allgemeine Verhaltensempfehlungen in Bezug auf die bevorstehende Hitzewelle und wiederholt diese in jeder weiteren Information zur Hitzewelle. Allein mit ihrer App erreicht MeteoSchweiz ungefähr drei Millionen Menschen in der Schweiz.

Das Bundesamt für Gesundheit macht am 2. Juli 2015 in einer gemeinsamen Medienmitteilung mit MeteoSchweiz auf das richtige Verhalten bei einer Hitzewelle aufmerksam. Alertswiss, die Informationsplattform des Bevölkerungsschutzes von Bund und Kantonen, verbreitet kurz darauf die entsprechenden Empfehlungen über den Nachrichtendienst Twitter.

³³ www.naturgefahren.ch

³⁴ www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/gefahren/verhaltensempfehlungen/hitzewelle.html
www.naturgefahren.ch/home/umgang-mit-naturgefahren/hitze/waehrend-hitze.html
www.hitzewelle.ch/
<https://alertswiss.ch/gefahren/hitzewelle/>
www.planat.ch/de/wissen/klimawandel/hitzewelle/massnahmen-hw/

In den Kantonen informieren meist die Gesundheitsdienste, der Kantonsarzt oder die Staatskanzlei die Bevölkerung mittels Medienmitteilung über das richtige Verhalten bei grosser Hitze. Die Mehrzahl der Kantone bieten auf ihren Websites ständig Informationen mit Verhaltensempfehlungen zum Thema Hitzewelle an. Andere Kantone verweisen auf die Seite des Bundesamts für Gesundheit oder von Alertswiss.

Verschiedene Kantone ergreifen spezielle Massnahmen zum Schutz besonders verletzlicher Bevölkerungsgruppen. So beginnt im Kanton Genf mit dem Auslösen des Hitzealarms gleichzeitig die Umsetzung eines Hitzeplans: In der Stadt und in verschiedenen Gemeinden werden Notfalldienste für die von der Gluthitze besonders betroffenen Betagten eingerichtet. Im Kanton Waadt nehmen Mitarbeitende der Stadt Lausanne und ihrer Agglomeration persönlichen Kontakt auf mit allen alleine lebenden, über 75-jährigen Personen. Die Angestellten des Sozialdiensts, Zivilschützer und Gemeindepolizisten erkundigen sich nach dem Gesundheitszustand der Betagten und bieten Hilfe an. Falls notwendig werden sie mit Getränken versorgt. Im Rahmen des kantonalen Hitzeplans werden an öffentlichen Stellen Plakate aufgehängt, die dazu aufrufen, sich während der Hitzewelle speziell um verletzte Bevölkerungsgruppen wie Kinder und Betagte zu kümmern.

**Betreuung verletzlicher
Bevölkerungsgruppen**

Im Kanton Tessin verteilt der Zivilschutz auf Anfrage der Kantonspolizei am Gotthard-Südportal Wasser an die Automobilisten, die nach dem Ferienende im Rückreisestau feststecken. Der Zivilschutz bleibt entlang der A2 zwischen Bellinzona und dem Südportal in Alarmbereitschaft, um notfalls Personen im Stau bezüglich Hitze Problemen zu unterstützen und die Polizei bei ihrer Arbeit zu entlasten.

**Wasser für Auto-
mobilisten im Stau**

3.7 Stromproduktion

Die Laufwasserkraftwerke produzieren nach einem überdurchschnittlichen Frühjahr in der zweiten Hälfte des Jahres 2015 wegen der Trockenheit deutlich weniger Strom als üblich. Wo Schmelzwasser fehlt, müssen zahlreiche Kleinwasserkraftwerke in der trockensten Phase ganz abgestellt werden. Über das gesamte Jahr betrachtet, liegt die Stromproduktion unter anderem dank einer frühen Entleerung der Speicherseen im Herbst 2015 trotzdem über dem Mittel der früheren Jahre.

Ausgangslage

Die Produktion von Strom aus Wasserkraft ist abhängig von der Wasserverfügbarkeit und damit von den Niederschlägen. Wasserkraftwerke steuern im Mittel der Jahre 2005 bis 2014 einen Anteil von 56 Prozent zur gesamten inländischen Stromproduktion bei. Davon wiederum stammen durchschnittlich 45 Prozent aus Laufwasserkraftwerken und die übrigen 55 Prozent aus Speicherkraftwerken (BFE 2014). Rund 90 Prozent des Stroms aus Wasserkraft wird in Grosswasserkraftwerken mit einer Leistung ab

**Wasserkraft dominiert
Schweizer Stromproduktion**

zehn Megawatt produziert, die restlichen 10 Prozent stammen von Kleinwasserkraftwerken mit einer Leistung unter zehn Megawatt (VSE 2014). Der Inhalt der Speichersseen entspricht rund 13 Prozent des schweizerischen Stromverbrauchs (BFE 2014).

Im Jahr 2015 kommt es in einzelnen Schweizer Kernkraftwerken bis in den Winter hinein aus technischen Gründen³⁵ zu ausserordentlich langen Produktionsunterbrüchen, die in keinem Zusammenhang mit der Witterung stehen. Bei Kernkraftwerken mit Flusswasserkühlung kann bei tiefen Wasserständen und hohen Flusswassertemperaturen eine Reduktion der Leistung nötig sein, um den Wärmeeintrag in den Fluss zu vermindern und damit die entsprechenden Vorgaben einzuhalten. Die im Sommer gemessenen durchschnittlichen Wassertemperaturen der Flüsse sind in den letzten Jahren gestiegen, speziell in Jahren mit heissem und trockenem Sommer. Bei Kernkraftwerken mit Kühlturm können hohe Lufttemperaturen eine Reduktion der Leistung nach sich ziehen.

**Kernkraft verzeichnet 2015
unüblich lange Pro-
duktionsunterbrüche aus
technischen Gründen**

Auswirkungen der Sommertrockenheit auf die Wasserkraftwerke

Im Jahr 2015 produzieren die Wasserkraftwerke trotz der warmen und trockenen Sommer- und Herbstmonate insgesamt 6,8 Prozent mehr Strom als im Mittel der Jahre 2000 bis 2014. Zurückzuführen ist dieses überraschende Gesamtergebnis auf die ungewöhnlich hohe Stromproduktion der Speicherkraftwerke, speziell im Mai und Juni sowie im Oktober und November 2015. Die niedrige Produktion der Laufwasserkraftwerke wird dadurch im zweiten Halbjahr 2015 mehr als wettgemacht.

Die Laufwasserkraftwerke erzeugen im zweiten Halbjahr 2015 deutlich weniger Strom als sonst üblich. So liegt die monatliche Stromproduktion im Juli rund 1,5 Prozent unter dem Mittelwert der Jahre 2000 bis 2014. Im August und September sind es knapp 7 Prozent weniger, im Oktober 13,4 Prozent, im November 16,1 Prozent und im Dezember 13,1 Prozent weniger (Abb. 47). Über die ganzen sechs Monate beträgt die kumulierte Produktionseinbusse gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2014 rund 700 Gigawattstunden.

**Tiefe Stromproduktion
aus Laufwasserkraftwerken im
zweiten Halbjahr**

Die Produktionseinbussen der Laufwasserkraftwerke während der zweiten Jahreshälfte 2015 sind auf die anhaltende Trockenheit zurückzuführen. Die Wassermenge der meisten Fliessgewässer im Unterland (Mittelland und Jura) nimmt in dieser Zeit deutlich ab. So führt der Rhein bei Birsfelden ab Anfang Juli 2015 deutlich weniger Wasser als im Mittel der Monate der vorhergehenden zehn Jahre. Dementsprechend ist auch die Stromproduktion des Kraftwerks Birsfelden reduziert und liegt im September 2015 bei lediglich 70 Prozent des üblichen Werts (KWB 2015). An kleineren Fliessgewässern kommt die Stromerzeugung in den Sommermonaten nicht einmal auf

³⁵ Beim Kernkraftwerk Beznau führen Untersuchungen an den Reaktoren zu einem längeren Produktionsausfall in Block II und zum vorläufigen Produktionsunterbruch in Block I. Beim Kernkraftwerk Mühleberg sind neben den üblichen Revisionsarbeiten zwei ungeplante Abschaltungen erforderlich.

50 Prozent der langjährigen Monatsmittel. Zahlreiche kleinere Laufwasserkraftwerke an Fliessgewässern ohne Schmelzwasserspeisung müssen in der trockensten Phase ganz abgestellt werden und erleiden teilweise empfindliche finanzielle Einbussen.³⁶

Die Stromproduktion der Laufwasserkraftwerke leidet 2015 aber insgesamt dennoch weniger als 2003. Dies hat mit den hohen Abflüssen während des Frühlings zu tun, als 2015 über mehrere Monate deutlich mehr Strom erzeugt wird als im selben Zeitraum des Jahres 2003. Ausserdem profitieren 2015 zahlreiche Laufwasserkraftwerke von der raschen Ausspeicherung der Speicherseen im Oktober und November.

Laufwasserkraftwerke leiden 2015 gleichwohl weniger als 2003

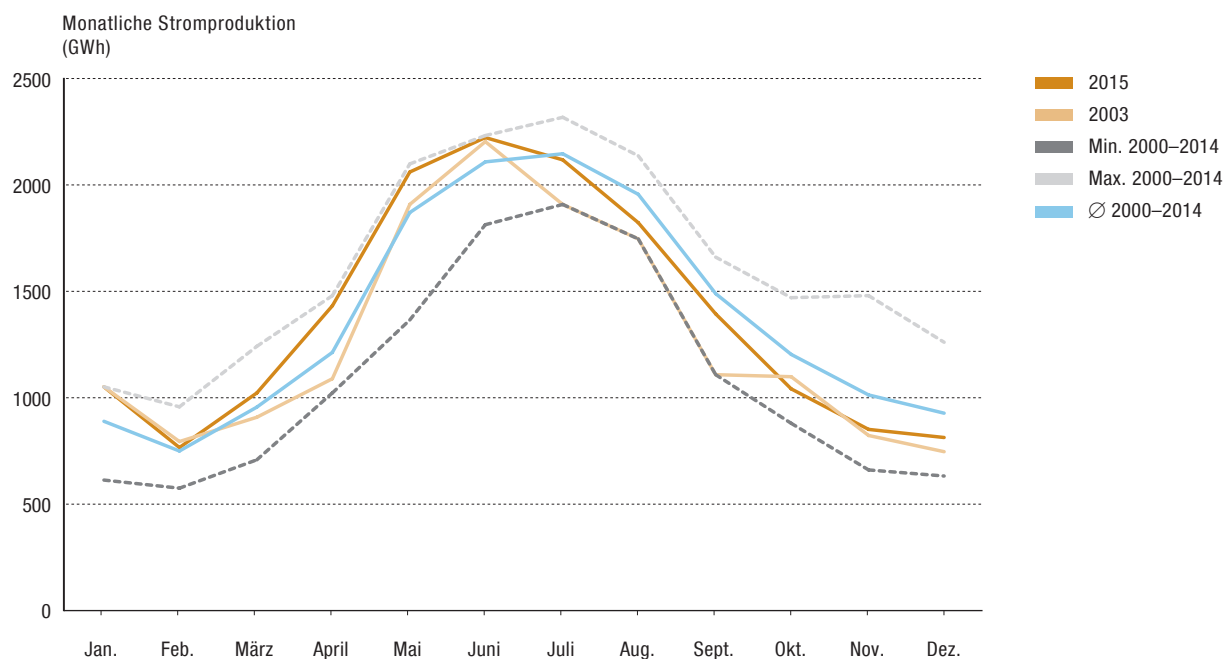
Der heisse und trockene Sommer 2015 wirkt sich nicht direkt auf die Stromproduktion der Speicherkraftwerke aus. Dies ist auf mehrere gegenläufige Effekte zurückzuführen. Auf der einen Seite reduziert die Trockenheit zwar die natürlichen Zuflüsse der Speicherkraftwerke. Auf der Gegenseite verstärkt die Hitze den natürlichen Zufluss durch Schmelzwasser aus vergletscherten Einzugsgebieten. Für die Stromproduktion

Speicherkraftwerke von Trockenheit 2015 nicht direkt betroffen

³⁶ So muss die Firma Hydroelectra AG im Jahr 2015 zeitweise vier von sieben Kleinwasserkraftwerken infolge Niedrigwassers stilllegen.

Abb. 47

Monatliche Stromproduktion der Laufwasserkraftwerke in den Jahren 2015 und 2003, ergänzt um Minimum, Maximum und Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2014 in Gigawattstunden.



Quelle: Elektrizitätsstatistik der Jahre 2000 bis 2015, Gesamte Erzeugung und Abgabe elektrischer Energie in der Schweiz

im Jahr 2015 entscheidend ist jedoch die im Herbst erfolgte frühe Verarbeitung des gespeicherten Wassers wegen der zwischenzeitlich lukrativen Strompreise im Inland. Zusammen mit der bereits im Mai und Juni überdurchschnittlichen Stromproduktion ergibt sich 2015 für die Speicherkraftwerke ein Plus von 12,0 Prozent gegenüber dem Mittel der Jahre 2000 bis 2014.

In den Monaten Mai, Juni, Oktober und November 2015 erreicht die Stromproduktion der Speicherkraftwerke Spitzenwerte; im Oktober liegt sie sogar rund 40 Prozent über dem Mittel der Jahre 2000 bis 2014. Demgegenüber erzielten die Speicherkraftwerke von September bis Dezember 2003 eine Stromproduktion, die leicht bis deutlich unter dem Mittelwert liegt (Abb. 48).

Auswirkungen der Hitze auf die Kernkraftwerke

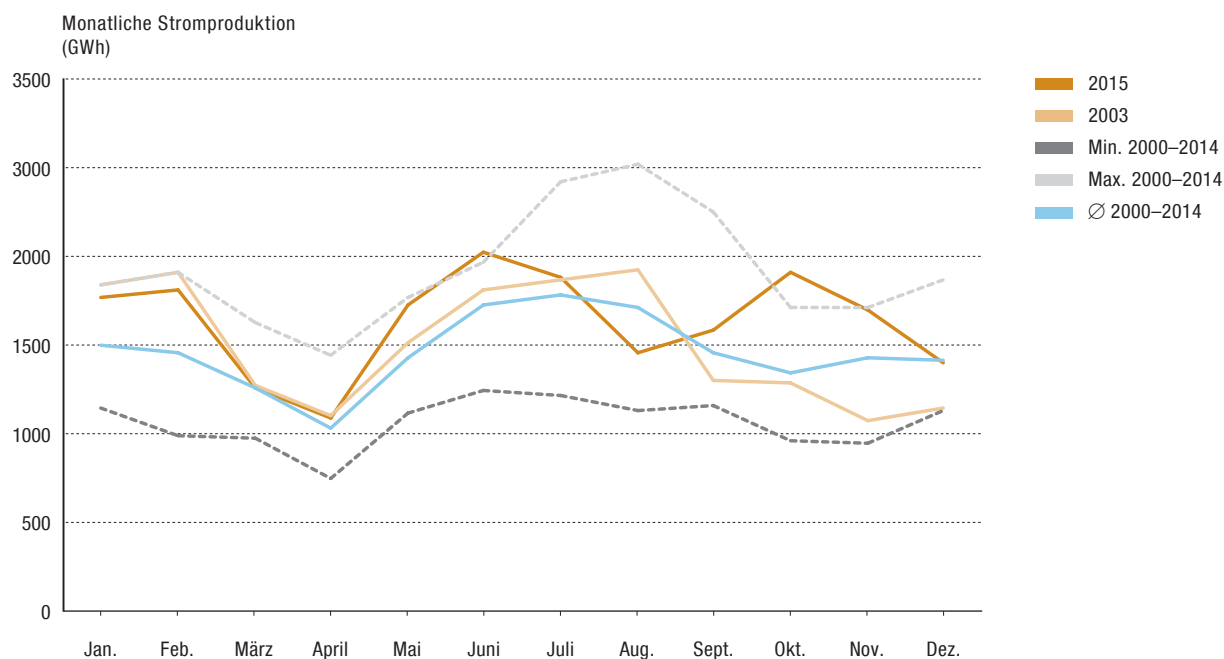
Über das ganze Jahr betrachtet, liefern die Schweizer Kernkraftwerke 2015 deutlich weniger Strom als im Mittel der Jahre 2000 bis 2014. Der Rückgang ist hauptsächlich auf unüblich lange Revisionsarbeiten und ungeplante Betriebsunterbrüche zurückzuführen (vgl. Fussnote 35). Punktuell tragen aber auch hohe Luft- und Wassertemperaturen, verbunden mit niedrigen Wasserständen, eine Mitverantwortung.

Speicherkraftwerke sind 2015 deutlich weniger betroffen als 2003

Punktuell Leistungsabsenkungen bei Kernkraftwerken notwendig

Abb. 48

Monatliche Stromproduktion der Speicherkraftwerke in den Jahren 2015 und 2003, ergänzt um Minimum, Maximum und Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2014 in Gigawattstunden.



Quelle: Elektrizitätsstatistik der Jahre 2000 bis 2015, Gesamte Erzeugung und Abgabe elektrischer Energie in der Schweiz

So muss das Kernkraftwerk Mühleberg seine Leistung 2015 während 16 Tagen um bis zu 20 Prozent reduzieren, damit die vorgegebenen Kühlwassertemperaturen nicht überschritten werden. Daraus resultiert ein Einbusse von 23,6 Gigawattstunden, was zweieinhalb Volllasttagen entspricht. Beim Kernkraftwerk Beznau II betragen die entsprechenden Produktionseinbussen 2,0 Gigawattstunden beziehungsweise fünfeinhalb Volllaststunden.³⁷ Aufgrund hoher Lufttemperaturen muss das Kernkraftwerk Leibstadt in den Mittags- und Nachmittagsstunden der Monate Juni, Juli und August 2015 während insgesamt 28 Tagen seine Leistung drosseln und verliert so insgesamt 29,3 Gigawattstunden oder rund einen Volllasttag. Beim Kernkraftwerk Gösgen sind 2015 keine witterungsbedingten Leistungsabsenkungen nötig. Insgesamt summieren sich die witterungsbedingten Produktionseinbussen der Kernkraftwerke auf 55 Gigawattstunden, was deutlich weniger ist als die Produktionseinbussen von 700 Gigawattstunden der Laufwasserkraftwerke (siehe oben).

Zusammenwirken von Witterung und Betriebsunterbrüchen

Im zweiten Halbjahr 2015 fallen die genannten Produktionseinbussen bei der Laufwasserkraft als Folge der Trockenheit und der Hitze zusammen mit den aussergewöhnlich langen, technisch bedingten Unterbrüchen beim Betrieb der Kernkraftwerke. Dadurch produziert die Schweiz über längere Zeit deutlich weniger Strom als üblich. Weil gleichzeitig an der nördlichen Landesgrenze die Stromimportkapazitäten ausgeschöpft sind, tendieren die Strompreise hierzulande bereits im Oktober zum Niveau der höheren Strompreise in Italien³⁸. Normalerweise erfolgt dieser Preisanstieg erst im Winter.

Diese Marktsituation hat zur Folge, dass im Oktober und November 2015 deutlich mehr Wasser aus Speicherseen zu Strom verarbeitet wird und die Stromproduktion der Speicherkraftwerke Spitzenwerte erreicht. Mit der raschen Ausspeicherung fällt der Stand der Speicherseen rapide,³⁹ während gleichzeitig die Wasserführung in den darunterliegenden Fliessgewässern ansteigt. Dadurch wird in der Tendenz die Stromproduktion der Laufwasserkraftwerke angekurbelt. Ohne dieses zusätzliche Wasser wären die Produktionseinbussen der Laufwasserkraftwerke im vierten Quartal 2015 noch grösser ausgefallen. Zusammen mit der überdurchschnittlichen Stromproduktion im ersten Halbjahr resultiert daraus für das ganze Jahr 2015 eine Elektrizitätsproduktion, die deutlich weniger stark durch die Trockenheit geprägt ist als 2003.

Weil die trockenheitsbedingten Produktionseinbussen 2015 zeitlich mit unüblich langen Unterbrüchen einzelner Kernkraftwerke, tiefen Pegelständen in den Speicherseen und begrenzten Kapazitäten für den Import und die Transformation von Strom aus dem Ausland zusammenfallen, ist die Versorgungssituation gegen Ende des Jahres angespannt.

Ungünstige Konstellation führt phasenweise zu deutlich reduzierter inländischer Stromproduktion

Hohe Stromproduktion aus Speicherseen kompensiert tiefe Produktion aus Kern- und Laufwasserkraft

Angespannte Versorgungslage zum Jahresende

37 Das Kernkraftwerk Beznau I ist zur fraglichen Zeit nicht in Betrieb.

38 Spotmarktpreise in der Schweiz, Deutschland, Frankreich und Italien; Quelle: EPEX und GME

39 Der Füllungsgrad der Speicherseen liegt, nach leicht unterdurchschnittlichen Werten während des ersten Halbjahres, im September 2015 mit 88,3 % noch rund 2 Prozentpunkte über dem Mittelwert der Jahre 2000–2014. Anschliessend sinkt der Füllungsgrad aber rasch auf 60,6 % im November und ausserordentlich tiefe 47,7 % im Dezember 2015.

Massnahmen

In der Folge werden verschiedene Markteingriffe und technische Massnahmen zur Bewältigung der Situation umgesetzt, bei denen Swissgrid, Energiebranche und europäische Übertragungsnetzbetreiber zusammenarbeiten.⁴⁰ Nachdem bei milden Temperaturen überdurchschnittliche Niederschläge einsetzen und das Kernkraftwerk Beznau II den Betrieb wieder aufnehmen kann, entspannt sich die Lage im März 2016 (Swissgrid 2016b). Für die Zukunft werden präventiv weitere Massnahmen eingeleitet⁴¹, die zur Bewältigung vergleichbarer Situationen beitragen sollen. Dazu zählt insbesondere die Präzisierung der Rollen und Verantwortlichkeiten für die Stromversorgungssicherheit in der Schweiz. Dieser Massnahmenbedarf entsteht aber nicht in erster Linie wegen der Trockenheit im Herbst 2015, sondern wegen der unerwartet langen Betriebsunterbrüche der Kernkraftwerke.

Markteingriffe und technische Massnahmen zur Bewältigung

40 So schränkt Swissgrid im Februar 2016 den Stromexport nach Deutschland, Österreich und Italien ein und unterzeichnet mit Kraftwerksbetreibern spezielle Verträge zur befristeten Reservierung sogenannter Redispatch-Energie, um so zu verhindern, dass eigene Transformatoren überlastet werden. Mit dieser Reservierung stellt Swissgrid sicher, dass sie in den relevanten Kraftwerken während des ganzen Winters jederzeit auf genügend Energie zurückgreifen kann (Swissgrid 2016a).

41 Z. B. vorzeitige Beschaffung eines zusätzlichen Transformators beim Kraftwerk Beznau. Weitere Massnahmen sind einsehbar unter: www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/current/situation_winter_1516/160304_AG_Winter.pdf.

4 > Ausblick

Ein aussergewöhnlich heisser Sommer wie 2015 dürfte bis Mitte des 21. Jahrhunderts zum Normalfall werden. Die gravierenden Folgen der Hitze für die Gesundheit machen zusätzliche Massnahmen nötig. Im Umgang mit der Trockenheit müssen bestehende Instrumente daher konsequent umgesetzt werden.

4.1 Der Sommer 2015 als Vorbote des Klimawandels

In der Schweiz wird die durchschnittliche Sommertemperatur bis zum Ende des Jahrhunderts je nach Entwicklung der Treibhausgasemissionen um 1,6 bis 4,8 Grad steigen.⁴² Das ist eine bis zu dreimal so starke Erwärmung, wie sie seit Beginn der Temperaturmessungen im Jahr 1864 beobachtet wurde (CH2011 2011). Der Sommer 2015 gibt eine gute Vorstellung der Temperaturverhältnisse, wie sie aufgrund des Klimawandels Mitte des 21. Jahrhunderts zu erwarten sind.

Witterung

Hitzewellen mit sieben aufeinanderfolgenden Hitzetagen (Temperaturen über 30 Grad) kamen in der Periode von 1980 bis 2009 in Zürich und Basel ungefähr jedes zehnte Jahr, in Lugano ungefähr jedes fünfte Jahr und in Genf jedes zweite Jahr vor. Mit dem Klimawandel werden solche Verhältnisse in Zukunft deutlich häufiger auftreten. Bereits in der Periode zwischen 2010 und 2039 werden derartige Hitzeperioden in den genannten Städten bis zu dreimal häufiger vorkommen. Mitte des Jahrhunderts dürften diese in Lugano, Basel und Genf im Mittel sogar jedes Jahr auftreten, in Zürich ungefähr jedes zweite (siehe Abb. 49). Extremereignisse werden entsprechend noch höhere Temperaturen aufweisen, sodass die heisseste Woche auch zukünftig in einzelnen Jahren nochmals einige Grade wärmer ist als der dannzumal herrschende Durchschnitt.

Häufigere Hitzewellen

Die durchschnittliche Tageshöchsttemperatur während der heissesten 14-tägigen Periode lag 2015 in Zürich bei 30, in Basel bei 31, in Lugano bei 32 und in Genf bei 33 Grad. Das ist jeweils etwa 2–3 Grad wärmer als in der Referenzperiode von 1980 bis 2009. Klimamodelle zeigen, dass solche Werte in der Mitte des Jahrhunderts den Normalfall darstellen werden. 2003 lag die durchschnittliche Tageshöchsttemperatur der heissesten 14-tägigen Periode in Zürich und Lugano mit ungefähr 33, in Basel und Genf mit 35 Grad noch höher als 2015 (siehe Abb. 50). Die Temperaturen von 2003 entsprachen damit denjenigen, die gegen Ende des 21. Jahrhunderts erwartet werden müssen.

Extremere Temperaturen

Die zukünftige Veränderung der Niederschläge ist schwieriger abzuschätzen als die Temperaturentwicklung. Aufgrund der existierenden Klimaszenarien ist anzunehmen, dass die Niederschläge im Sommer tendenziell abnehmen und stärker zu Extremen

Stärkere Sommertrockenheit

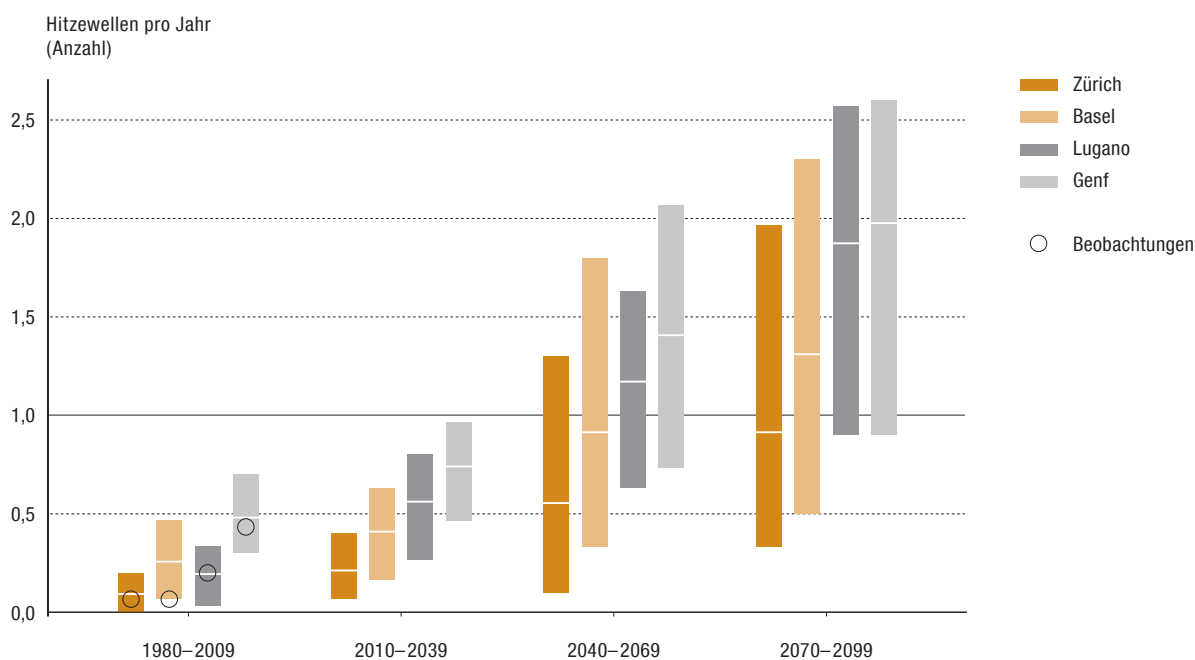
⁴² Medianwerte der Klimaszenarien (CH2011 2011)

neigen. Wegen der höheren Temperaturen steigt gleichzeitig die Verdunstung, und Trockenheitsphasen dürften sich stärker bemerkbar machen. Im Winter werden die Niederschläge dagegen in Teilen der Schweiz leicht zunehmen. Infolge der höheren Temperaturen wird es dabei vermehrt regnen und weniger schneien, sodass sich die regulierende Wirkung der Schneedecke auf die Abflussmengen abschwächt.

Im Sommer 2015 lag die Niederschlagsmenge deutlich unter dem Durchschnittswert der Vergleichsperiode von 1981 bis 2010. Insbesondere der Juli war praktisch in der ganzen Schweiz sehr trocken. Die Trockenheit war im Sommer 2015 wegen des feuchten Frühlings aber weniger ausgeprägt als im Sommer 2003. Die Niederschlagsarmut dauerte dafür ungewöhnlich lange und setzte sich bis in den Winter 2015/16 hinein fort. In groben Zügen entspricht der mehrheitlich trockene Sommer 2015 dem Trend, wie er aufgrund des Klimawandels gegen Ende des Jahrhunderts erwartet wird.

Abb. 49

Anzahl Hitzewellen pro Jahr mit mindestens sieben aufeinanderfolgenden Hitzetagen (Tageshöchsttemperatur über 30 Grad). Die Säulen geben die Spannweite von 14 verschiedenen regionalen Klimasimulationen des Projekts ENSEMBLE an, basierend auf dem SRS-/AIB-Emissionsszenario. Weisse Linien: Mittelwert. Offene Kreise: Beobachtungen für die erste der vier Perioden.



Quelle: MeteoSchweiz

Gesundheit

Die Hitzeperioden des Sommers 2015 hatten gravierende Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Insgesamt starben in der Schweiz wegen der Hitze ungefähr 800 Personen mehr, als in einem Jahr mit durchschnittlicher Witterung zu erwarten wäre. Das entspricht einer zusätzlichen Sterblichkeit von 5,4 Prozent. Am grössten war die Zusatzsterblichkeit im Tessin, in der Nordwestschweiz und im Espace Mittelland. Menschen im Alter von mehr als 75 Jahren machten den grössten Teil der Todesfälle aus. Die Situation des Sommers 2015 ist vergleichbar mit derjenigen im Hitzesommer 2003, auch wenn damals wegen der längeren und intensiveren Hitzeperiode die Zusatzsterblichkeit mit 6,9 Prozent leicht höher war.

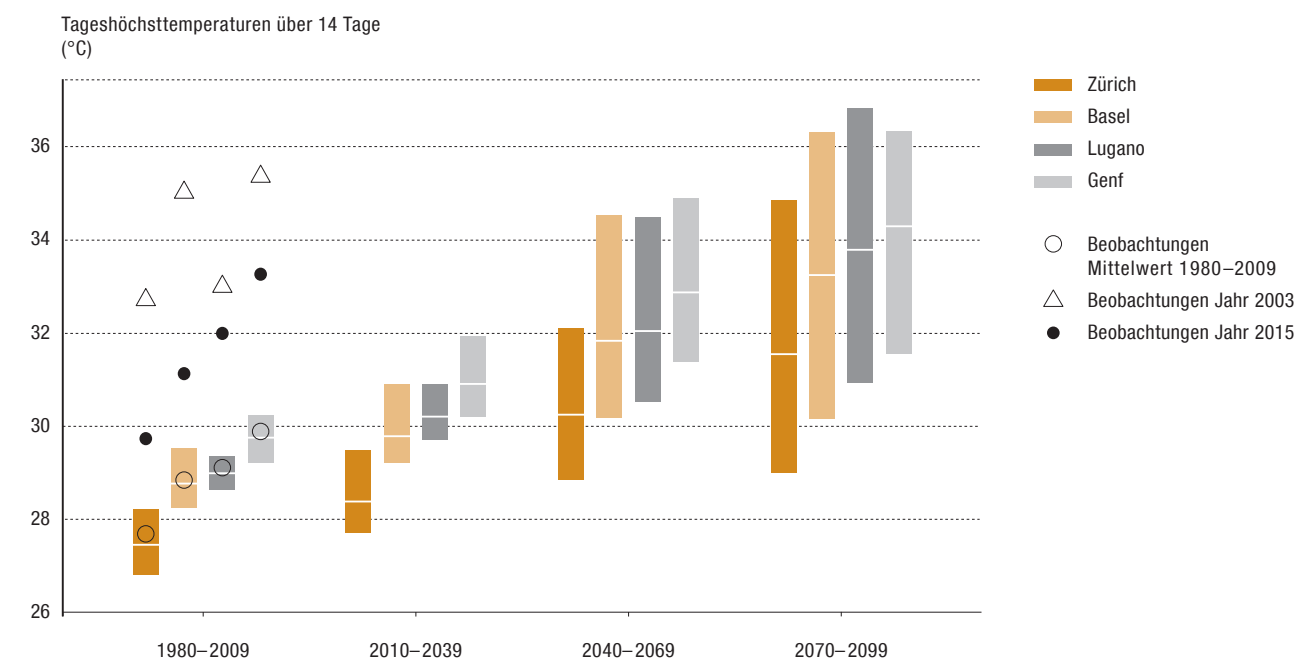
Warnung und Hinweise zum richtigen Verhalten sind die zentralen Massnahmen, um die Bevölkerung vor den Auswirkungen einer Hitzewelle zu schützen. Schon Ende Juni, noch vor Beginn der Hitzeperiode von Anfang Juli, veröffentlichte MeteoSchweiz einen *Warnausblick* für die Westschweiz und das Wallis. Wenige Tage später

Gravierende Folgen für die Gesundheit

Alarmierung und Information über elektronische Kanäle und Medien

Abb. 50

Mittlere Tageshöchsttemperaturen während der heissesten 14-tägigen Periode im Jahr 2003 (ausgefüllte Punkte) und 2015 (Dreiecke). Die Säulen geben die Spannweite von 14 verschiedenen regionalen Klimasimulationen des Projekts ENSEMBLE an, basierend auf dem SRS-/AIB-Emissionsszenario. Weisse Linien: Mittelwert. Offene Kreise: Beobachtungen für die erste der vier Perioden.



Quelle: MeteoSchweiz

folgte die erste *Warnausgabe*, die ab dem 2. Juli für die ganze Schweiz galt (Stufe 4: «grosse Gefahr»). Gleichzeitig gelangte auch das Bundesamt für Gesundheit (BAG) mit einer Medienmitteilung an die Öffentlichkeit. Die Warnungen seitens der kantonalen Behörden erfolgten in der Regel zeitgleich oder mit kurzer Verzögerung auf die Meldungen von MeteoSchweiz. In Form von Internetseiten und Merkblättern waren die Verhaltensempfehlungen zudem ganzjährig verfügbar.

Die von den Kantonen und vom Bund ergriffenen Massnahmen waren insgesamt sehr heterogen und reichten von einfachen Verhaltensempfehlungen (wie etwa in der Nordwestschweiz) bis zu Betreuungsmassnahmen von besonders gefährdeten Personengruppen durch den Zivilschutz (z.B. im Kanton Waadt). Insbesondere in der Süd- sowie in der Westschweiz wurden im Rahmen von Hitzeplänen verstärkt Massnahmen auf kantonaler wie auch auf kommunaler Ebene ergriffen. Es ist unklar, ob die unterschiedliche regionale Verteilung der Sterblichkeit in den Jahren 2003 und 2015 auf die Wirkung der Massnahmen oder auf Unterschiede in der Ausprägung der Hitzewellen zurückzuführen ist. Die Resultate der Ereignisanalyse deuten aber darauf hin, dass die Massnahmen insbesondere in der Westschweiz Wirkung zeigten. So wurde in der Genferseeregion 2015 mit 5,2 Prozent eine Zusatzmortalität festgestellt, die deutlich unter derjenigen der Hitzewelle von 2003 mit 17,5 Prozent lag. Der Kanton Tessin passt allerdings nicht in dieses Bild: Die zusätzliche Sterblichkeit fiel 2015 mit 10,3 Prozent trotz der sorgfältigen Vorbereitung und der realisierten Massnahmen deutlich höher aus als im Sommer 2003. Damals lag die Sterblichkeit sogar 3,1 Prozent tiefer, als bei normaler Witterung zu erwarten gewesen wäre.

Neben der Hitze wirkt sich auch die Konzentration von Luftschadstoffen negativ auf die Gesundheit aus. Im Sommer gilt dies insbesondere für Ozon. In den vergangenen 25 Jahren konnte die durchschnittliche Ozonbelastung deutlich reduziert werden. Grund dafür ist die erfolgreiche Begrenzung der Vorläufergase im Rahmen der Schweizer Luftreinhaltepolitik. Trotzdem wurden die Ozongrenzwerte im Sommer 2015 deutlich überschritten. Eine einfache statistische Abschätzung zeigt jedoch, dass bei einer Temperatur von rund 30 Grad und bei ähnlichen Witterungsbedingungen wie 2003 die maximale Ozonkonzentration 2015 um 10 bis 15 Mikrogramm pro Kubikmeter niedriger war als zwölf Jahre davor.

Da sich Ozonkonzentrationen im Sommer langsam aufbauen, sind kurzfristige Gegenmassnahmen im Kampf gegen hohe Ozonwerte weitgehend wirkungslos. Kurzfristig können gesundheitliche Beeinträchtigungen daher nur durch angepasstes individuelles Verhalten vermieden werden. Die Erfahrungen der letzten Jahre zeigen, dass es in diesem Bereich keine zusätzlichen Massnahmen braucht. Es ist allerdings wichtig, die Massnahmen zur Senkung der Emissionen von Ozonvorläufergasen konsequent umzusetzen – sowohl in der Schweiz als auch europaweit.

**Prävention und Massnahmen
für besonders betrof-
fene Personengruppen**

**Reduktion der Grenzwert-
überschreitungen für Ozon**

**Langfristige Reduktion
von Vorläufergasen notwendig**

Natürliche Ressourcen

Die hohen Temperaturen und die ausbleibenden Niederschläge hatten deutliche Folgen für die Abflussmengen in den Bächen und Flüssen. Generell war die Situation 2015 wegen des feuchten Frühlings aber weniger gravierend als 2003. In Flüssen mit vergletscherten Einzugsgebieten wurden im Sommer 2015 ausserordentlich hohe Wasserstände gemessen. In Flüssen ohne vergletscherte Einzugsgebiete waren die Abflussmengen hingegen tief, insbesondere im Herbst. Die Wassertemperaturen stiegen im Juli auf Rekordniveau, blieben aber unter den Extremwerten des Jahres 2003.

Bis Ende des Jahrhunderts muss in der Schweiz mit einem 90-prozentigen Abschmelzen der heutigen Gletschervolumen gerechnet werden. Immer mehr Flüsse und Bäche werden daher über unvergletscherte oder nur noch wenig vergletscherte Einzugsgebiete verfügen. Ihr Abflussregime wird weniger von der Schnee- und Gletscherschmelze und mehr vom Regen bestimmt sein. Daraus resultiert eine Änderung des saisonalen Verhaltens: Im Sommer wird die Abflussmenge ab- und im Winter zunehmen (CH2014-Impacts 2014). Die zweite Jahreshälfte 2015 mit ihrer langen, bis in den Winter anhaltenden Trockenheit kann in dieser Hinsicht nicht als typischer Fall der mit dem Klimawandel erwarteten Abflussverteilung betrachtet werden.

Der heisse und trockene Sommer 2015 hinterliess bei der Biodiversität deutliche Spuren. Sofern sich die extremen Witterungsbedingungen in den Folgejahren nicht wiederholen, darf jedoch mittelfristig mit einer allmählichen Erholung gerechnet werden. Am stärksten betroffen waren Arten, die an feuchte Lebensräume angepasst sind. So fielen zahlreiche Kleingewässer oder Bachabschnitte vollständig trocken, wodurch der Lebensraum der Wasserlebewesen stark eingeschränkt wurde oder vorübergehend gänzlich verloren ging. Trockenheitstolerante Arten kamen mit den trockenen Bedingungen besser zurecht oder konnten sogar von diesen profitieren. Die Kantone ergriffen punktuell Massnahmen, um die Auswirkungen auf die Biodiversität abzufedern. Sie stützten sich dabei verbreitet auf Erfahrungen aus dem Hitzesommer 2003. Im Vergleich zum Sommer 2003 war man 2015 besser auf die Auswirkungen der Trockenheit vorbereitet und konnte rascher darauf reagieren. Die längerfristigen Folgen werden jedoch erst in den kommenden Jahren und auf der Basis längerer Beobachtungsreihen zutage treten.

In der Landwirtschaft stieg 2015 der Bewässerungsbedarf gegenüber normalen Jahren. Ausgeprägte Wasserdefizite sorgten ab Juli 2015 bei einzelnen wichtigen Kulturen wie Kartoffeln und Mais für grössere Ertragseinbussen. Die Erntemengen von Zuckerrüben und Weintrauben waren ebenfalls stark reduziert, aber immerhin von sehr hoher Qualität. Auf Wiesen und Weiden vermochten die guten Erträge vor Einsetzen der Trockenheit die darauffolgenden Ausfälle nicht wettzumachen. Bei ausreichender Bewässerung konnten Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen vermieden werden. Wegen der tiefen Wasserstände in zahlreichen Fliessgewässern mussten 2015 allerdings vor allem in den Kantonen entlang des Jurarandbogens, des Seelandes und der Nordostschweiz Wasserentnahmeverbote und Einschränkungen für die Landwirtschaft ausgesprochen werden. Einige Kantone hatten nach dem Sommer 2003 die Bewilligungs-

**Abflussmenge in Abhängigkeit
von der Vergletscherung**

**Abflüsse 2015 nur bedingt
typisch für längerfristige
Entwicklung**

**Feuchtlebensräume
stark betroffen**

**Nahrungsmittelproduktion
teilweise beeinträchtigt**

praxis für Wasserentnahmen verbessert und transparent geregelt. Dadurch scheint das Konfliktpotenzial zumindest teilweise entschärft worden zu sein. Engpässen bei den Futtermitteln begegneten die Landwirte mit Betriebskooperationen und Zukäufen. Zudem wurden der Grenzschutz für Importe befristet herabgesetzt und punktuelle Ausnahmen bei der Beurteilung betrieblicher Nährstoff- und Futterbilanzen gewährt. In einzelnen Alpgebieten musste die Versorgung des Viehs mit Tränkwasser durch Transporte der Armee sichergestellt werden. Im Flachland waren die Tiere vermehrtem Hitzestress ausgesetzt.

Die Laufwasserkraftwerke produzierten nach einem überdurchschnittlichen Frühjahr in der zweiten Hälfte des Jahres 2015 wegen der Trockenheit deutlich weniger Strom als üblich. Unter anderem dank höherer natürlicher Zuflüsse aus vergletscherten Einzugsgebieten und einer frühen Entleerung der Speicherseen im Herbst 2015 lag die Stromproduktion aus Wasserkraft über das ganze Jahr betrachtet trotzdem über dem Mittel der früheren Jahre.

Trotz der Trockenheit und der erhöhten Gefahr blieb die Waldbrandsituation im Sommer 2015 ruhig. Dem Bund wurden nur kleinere Brände gemeldet, öfters mit einer Brandquelle ausserhalb des Waldes. Grosse Waldbrände wie 2011 in Visp oder 2003 in Leuk gab es 2015 nicht, obwohl an bestimmten exponierten Orten der Zustand des Waldes solche Feuer ermöglicht hätte. Ab Mitte Juni 2015 engagierten sich die Kantone und der Bund stark mit Warnmeldungen und Informationen zur Waldbrandgefahr. In einer Mehrheit der Kantone galten im Juli Feuerverbote, was sich positiv auf die Waldbrandsituation auswirkte. Das Ausmass von Waldschäden durch Schadorganismen wird erst 2016 zu erkennen und eine Einordnung erst in den folgenden Jahren möglich sein. Eine sorgfältige Überwachung der Situation bleibt deshalb wichtig.

**Gegenläufige Effekte
bei der Stromproduktion aus
Wasserkraft**

**Grössere Waldbrände
blieben aus**

4.2 Schlussfolgerungen

Mittel- bis langfristig sind der Temperaturanstieg und die Veränderung des Niederschlagsregimes, wie sie der Klimawandel mit sich bringt, neue Herausforderungen. Dies gilt für die Wasserwirtschaft und den Umgang mit Naturgefahren, die Biodiversität, die Landwirtschaft, die Stromproduktion, die Waldwirtschaft sowie andere Sektoren. Vor diesem Hintergrund hat der Bundesrat am 2. März 2012 den ersten Teil seiner Strategie «Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz» verabschiedet. Darin wurden die steigende Hitzebelastung in Agglomerationen und Städten sowie die zunehmende Sommertrockenheit als Herausforderungen des Klimawandels für die Schweiz identifiziert (Schweizerischer Bundesrat 2012a). Am 9. April 2014 hat der Bundesrat den dazugehörigen Aktionsplan zur Anpassung an den Klimawandel verabschiedet (Schweizerischer Bundesrat 2014a). Dieser soll sicherstellen, dass die Schweiz auf die Klimaerwärmung vorbereitet ist.

In Zusammenarbeit mit einem Expertenteam hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) die Herausforderungen untersucht, die sich für die Wasserversorgung im Hinblick auf den Klimawandel sowie die künftige demografische und wirtschaftliche Entwicklung in der Schweiz ergeben, und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet. Die Analyse

**Aktionsplan zur Anpassung
an den Klimawandel**

Wasserversorgung 2025

zeigt, dass in der Schweiz bei rechtzeitiger und umsichtiger Planung und Nutzung trotz Klimawandel auch in Zukunft genügend Wasser in der erforderlichen Qualität vorhanden sein wird, um die Bedürfnisse nach Trink-, Lösch- und Brauchwasser zu decken. Notwendig sind eine intelligente Verteilung des zur Verfügung stehenden Wassers, eine Stärkung des Vollzugs beim Gewässerschutz und eine Erhöhung der Wasserversorgungssicherheit (BAFU 2014).

Umgang mit Hitzewellen

Angesichts der prognostizierten Zunahme der Sommertemperaturen und der Häufigkeit von Hitzewellen sind weitere Anstrengungen erforderlich, um die Gesundheit der Bevölkerung zu schützen und um sich an zukünftige extreme Wetterereignisse anzupassen. Mit zielgruppengerechter Information müssen verstärkt ältere Personen und andere Risikogruppen sowie das Betreuungspersonal über richtiges Verhalten informiert werden. Für diese Informationen sind die Kantone und Gemeinden zuständig. Der Bund überprüft entsprechende Empfehlungen und unterstützt die Erarbeitung von Konzepten zum Umgang mit lang andauernden Hitzewellen in der Pflege, im Gesundheits- und im Sozialwesen. Zudem sollen für diese Bereiche einheitliche Schwellenwerte für das Auslösen von Warnungen definiert werden (Schweizerischer Bundesrat 2014a). Die unterschiedliche *Betroffenheit* durch die Hitze und die sehr uneinheitlichen *Massnahmen* im Umgang mit der Hitze während des Sommers 2015 machen einen erhöhten Koordinationsbedarf deutlich. Einige Kantone haben erfolgreiche Hitzepläne umgesetzt, andernorts existieren solche Pläne, zeigen aber (noch) keine Wirkung. Die Gründe für diese Unterschiede müssen vertieft analysiert, Verbesserungsmöglichkeiten eruiert und die Erfahrungen unter den Beteiligten ausgetauscht werden.

Häufigere und intensivere Hitzewellen bedeuten vor allem für die städtische Bevölkerung eine zunehmende gesundheitliche Belastung und Gefährdung. In Städten kann die Wirkung hoher Temperaturen durch lokale Effekte verstärkt werden: Wegen der dichten Bebauung ist die Windzirkulation eingeschränkt, die einfallende Sonnenstrahlung wird durch die vielen versiegelten Flächen absorbiert und Industrie, Gebäude und Verkehr geben ihrerseits Wärme ab. Dieser Wärmeinsel-Effekt steigert die Aufheizung tagsüber und reduziert die nächtliche Abkühlung deutlich. Langfristig müssen Städte so gestaltet werden, dass Wärmeinsel-Effekte minimiert und die Zufuhr und Zirkulation von Frischluft aus den umliegenden Gebieten gewährleistet sind.

Umgang mit Trockenheit

Der Bundesratsbericht zum im Nationalrat eingereichten Postulat «Wasser und Landwirtschaft – Zukünftige Herausforderungen»⁴³ verlangt Abklärungen zu notwendigen Inhalten sowie Kosten und Nutzen eines allfälligen Früherkennungs- und Warnsystems für Trockenheit und zu einer geeigneten Informationsplattform. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61)⁴⁴ wurden

**Zusätzliche Massnahmen im
Umgang mit Hitze nötig**

**Früherkennung von
Trockenheit**

43 Postulat 10.3533 von Nationalrat Hansjörg Walter vom 17. Juni 2010

44 www.nfp61.ch

diese Grundlagen mit dem Projekt «drought.ch» erarbeitet, und seit Juni 2013 wird der Prototyp einer Informationsplattform versuchsweise durch die Eidg. Forschungsanstalt WSL betrieben in enger Zusammenarbeit mit dem BAFU und der MeteoSchweiz.

Für die kurzfristige Bewältigung von Trockenheitsphasen haben einzelne Kantone im Nachgang zum heissen und trockenen Sommer 2003 der Situation angepasste Verfahren entwickelt, die ein transparentes und frühzeitiges Abwägen von lokalen Schutz- und Nutzungsansprüchen ermöglichen. Im Jahr 2015 haben sich diese angepassten Verfahren weitgehend bewährt. Für Kantone, die in der kurzfristigen Bewältigung noch Defizite aufweisen oder bisher kaum von Knappheits- oder hitzebedingten Problemen im Wassersektor betroffen waren, empfiehlt der Bund, die nötigen Vorbereitungen zu treffen. Unterstützung bietet dabei der Bericht «Umgang mit Wasserressourcen in Ausnahmesituationen» (Dübendorfer et al. 2015). Neben kantonalen Beispielen und einer Palette von Massnahmen werden darin die rechtlichen Grundlagen zum Umgang mit Ausnahmesituationen und die Grundsätze zur Priorisierung der Wasserressourcen erläutert.

Treten Ereignisse wie im Sommer 2015 häufiger auf, reicht es nicht, sich nur auf kurzfristige Massnahmen der Bewältigung zu beschränken, wie die aktuellen Forschungsergebnisse und Analysen zeigen (NFP 61, Schweizerischer Bundesrat 2012b, BAFU 2014). Der Bund empfiehlt darum folgende präventiven Massnahmen im Umgang mit Wasserressourcen:

1. Es sollen Risikogebiete mit möglichen Wasserknappheitsproblemen bestimmt werden. Der Bund unterstützt die Kantone mit einem Expertenbericht, der ein pragmatisches Vorgehen beschreibt, wie Regionen mit Handlungsbedarf bestimmt werden können (Chaix et al. 2016).
2. In den Risikogebieten sollen die Wasserressourcen mittelfristig aus einer regionalen Perspektive bewirtschaftet werden. Ein entsprechender Expertenbericht ist in Erarbeitung und wird vom BAFU 2017 zur Verfügung gestellt. Damit sollen längerfristig die verschiedenen Schutz- und Nutzungsansprüche an die Ressource Wasser gewährleistet werden.

Zum Sicherstellen der Trinkwasserversorgung in Lagen mit Wasserknappheit empfiehlt der Bund:

1. Mit einer vorausschauenden regionalen Planung (z. B. Wasserressource-Nutzungsplanung, BAFU 2014) und den richtigen Massnahmen kann eine Wasserknappheit und eine damit verbundene Störung der Trinkwasserversorgung in den meisten Fällen verhindert werden.
2. Es ist eine intelligente Vernetzung der Wasserversorgung anzustreben. Verbundanlagen und der Bezug von Wasser aus mindestens zwei voneinander unabhängigen Ressourcen reduzieren die Störungsanfälligkeit der Trinkwasserversorgung. Bei Trockenfallen oder Verschmutzung einer Ressource kann so stets auf eine zweite Wasserressource zurückgegriffen werden (BAFU 2014, Schweizerischer Bundesrat 2014a).

Fortschritte in der kurzfristigen Bewältigung von Trockenheitsphasen

Empfehlungen zum präventiven Umgang mit Wasserressourcen

Empfehlungen zur Sicherung der Trinkwasserversorgung

Für die Landwirtschaft gilt es einerseits zu eruieren, welche sicheren Wasserquellen zusätzlich für Bewässerungszwecke bestimmter Produktionsgebiete genutzt werden können. Andererseits muss es in Risikogebieten für mögliche Wasserknappheitsprobleme darum gehen, den Wasserbedarf möglichst gering zu halten. Dazu sollen etwa die Potenziale effizienter Bewässerungsinfrastrukturen und der Steuerung, einer schonenden Bodenbearbeitung und des Anbaus geeigneter Sorten gezielt genutzt werden. Engpässen bei der Futtermittelversorgung soll unter anderem durch eine optimierte Bewirtschaftung des Graslands und angepasste Tierbestände vorgebeugt werden.

Sollte sich die Situation längerfristig verschärfen, sind weitere Massnahmen zu prüfen. Der Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz (Schweizerischer Bundesrat 2014a), die Studie Wasserversorgung 2025 (BAFU 2014) und der Bundesratsbericht zum Postulat Walter (Schweizerischer Bundesrat 2014b) sehen dazu verschiedene Massnahmen vor. So soll beispielsweise geprüft werden, ob die Mehrfachnutzung von Wasserspeichern (z. B. alpine Stauseen, Beschneiungsbecken, Bewässerungsbecken) einen Beitrag zur Bewältigung von Wasserknappheit leisten kann.

**Empfehlungen
für die Landwirtschaft****Langfristige Massnahmen
in Prüfung**

> Literatur

20 Minuten vom 10.11.2015: Werden Getreide und Kaffee nun teurer? Unter www.20min.ch/finance/news/story/26777065 abgerufen am 1.6.2016.

Bader S. 2004: Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz 200: 23 S.

BAFU 2016a: Hitzesommer/Trockenheit 2015 – Kommunikative Bewältigung. Unveröffentlichte Auswertung des Bundesamts für Umwelt BAFU. Bern: 4 S.

BAFU 2016b: Pilotprojekt zur Anpassung an den Klimawandel: «Indexbasierte Graslandversicherung». Projektbeschreibung auf der Website des Bundesamts für Umwelt BAFU unter www.bafu.admin.ch/klima/13877/14401/14914/14926/index.html abgerufen am 3.6.2016.

BAFU 2016c: Pilotprojekt zur Anpassung an den Klimawandel: «Vorbereitung der Milchviehbetriebe auf den Klimawandel (milClim)». Projektbeschreibung auf der Website des Bundesamts für Umwelt BAFU unter www.bafu.admin.ch/klima/13877/14401/14916/14942/index.html abgerufen am 3.6.2016.

BAFU 2016d: Pilotprojekt zur Anpassung an den Klimawandel «Optimale Nutzung der Wasserressourcen durch die Landwirtschaft – Gebrauch von Prognosen zu verfügbaren Reserven und zum Bewässerungsbedarf». Projektbeschreibung auf der Website des Bundesamts für Umwelt BAFU unter www.bafu.admin.ch/klima/13877/14401/14914/14924/index.html abgerufen am 3.6.2016.

BAFU 2016e: NABEL – Luftbelastung 2015: Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1624: 132 S.

BAFU 2015: Jahres- und Monatsberichte NABEL. Bundesamt für Umwelt BAFU. Unter www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung/blick_zurueck/10576/index.html abgerufen am 2.6.2016.

BAFU 2014: Grundlagen für die Wasserversorgung 2025. Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1404: 116 S.

BAFU 2013: Unterschiedlicher Wandel der Pflanzenvielfalt. BDM-Facts Nr. 6: Wandel der Pflanzenvielfalt. Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.). Bern: 5 S.

BAFU 2012: Spuren des Klimawandels in der Vegetation? BDM-Facts Nr. 4: Klimawandel. Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.). Bern: 5 S.

BAFU 2010: Klimaerwärmung verändert die Vielfalt. BDM-Facts Nr. 1: Spezialauswertung Tagfalter. Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.). Bern: 3 S.

BAFU 2009: Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA). Zustand und Entwicklung 2006. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 0903: 144 S.

Beguéría S., Vicente-Serrano S.M., Reig F. & Latorre B. 2014: Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. Int. J. Climatol. 34: S. 3001–3023.

BFE 2014: Schweizer Elektrizitätsstatistik 2014. Bundesamt für Energie BFE. Bern: 56 S.

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

BWG 2003: Eintauchen in die Wasserwirtschaft: Ergründen Sie die spannende Welt der Schweizer Wasserwirtschaft. Bundesamt für Wasser und Geologie BWG. Bern-Ittigen: 24 S.

CH2011 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. C2SM, MeteoSchweiz, ETH, NCCR Climate und OcCC (Hrsg.). Zürich: 88 S.

CH2014-Impacts 2014: Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland. OCCR, BAFU, MeteoSchweiz, C2SM, Agroscope und ProClim (Hrsg.). Bern: 136 S.

Chaix O., Wehse H., Gander Y. & Zahner S. 2016: Bestimmung von Regionen mit Handlungsbedarf bei Trockenheit. Expertenbericht zum Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. Bern: 165 S.

Dübendorfer C., Tratschin R., Urfer D., Zahner S. & Zysset A. 2015: Umgang mit Wasserressourcen in Ausnahmesituationen. Expertenbericht zum Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. Bern: 100 S. Unter www.bafu.admin.ch/wasser/13465/13486/16390/16393/index.html abgerufen am 1.6.2016.

Fuhrer J. & Calanca P. 2012: Klimawandel beeinflusst das Tierwohl bei Milchkühen. Agrarforschung Schweiz 3(3): S. 132–139.

Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C. & Braun-Fahrlander C. 2005: Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. Swiss Medical Weekly 2005: 135. S. 200–205.

Handelszeitung vom 6.11.2015: Für Regen beten – sonst geht der Schweiz das Heizöl aus. Unter www.handelszeitung.ch/konjunktur/fuer-regen-beten-sonst-geht-der-schweiz-das-heizuel-aus-909691 abgerufen am 1.6.2016.

KWB 2015: Monatliche Stromproduktion in GWh per Ende Dezember 2015. Kraftwerk Birsfelden AG. Unter www.kw-birsfelden.ch/en/statistik/monatliche-stromproduktion-in-gwh/ abgerufen am 23.5.2016 (PDF-Datei).

Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M. & Wanner H. 2004: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. Science 303: S. 1499–1503.

Meier F., Queloz V., Forster B., Odermatt O., Angst A. & Hölling D. 2016: Waldschutz-Überblick 2015. WSL Ber. 45: 32 S.

Meier F., Forster B. & Queloz V. 2016: Borkenkäfer – weitere Zunahme des Buchdrucker-Befalls. Bergahorne mit verzögertem oder unvollständigem Austrieb im Jahr 2015. Waldschutz Aktuell 1/2016: 3 S. Unter www.waldschutz.ch/wsinfo/wsaktuell_DE abgerufen am 8.7.2016.

MeteoSchweiz 2016: Der Hitzesommer 2015. Fachbericht MeteoSchweiz, Nr. 260: 67 S.

MeteoSchweiz 2014: Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz 243: 36 S.

MeteoSchweiz 2004: Annalen der MeteoSchweiz 2003. Zürich: 176 S.

Mosimann E. 2005: Caractéristiques des pâturages pour vaches laitières dans l'ouest de la Suisse. Revue suisse d'agriculture. 37(3): S. 99–106.

Munz N. 2009: Abwärmeimmissionen in Gewässer. Relevanzanalyse. Praktikumsarbeit im Rahmen der obligatorischen Berufspraxis des Masters Umweltnaturwissenschaften, ETH Zürich (unveröffentlicht).

NZZ vom 25.7.2015: Armee-Einsatz wegen Trockenheit: Wenn das Wasser per Helikopter kommt. Unter www.nzz.ch/schweiz/wenn-das-wasser-per-helikopter-kommt-1.18585339 abgerufen am 1.6.2016.

Orth R. & Seneviratne S.I. 2015: Introduction of a simple-model-based land surface dataset for Europe. *Env. Res. Lett.* 10(4), 044012 (2015). Unter www.iac.ethz.ch/group/land-climate-dynamics/research/swbm.html abgerufen am 26.5.2016.

ProClim 2005: Hitzesommer 2003. Synthesebericht. ProClim – Forum for Climate and Global Change (Hrsg.). Bern: 28 S.

Schweizer Armee (2016): Jahresbericht Schweizerarmee 2015. http://www.vtg.admin.ch/content/vtg-internet/de/home/meta/suche.download/vtg-internet/de/publications/verwaltung/organisation/astab/jahresbericht/81_129_dfi_Jahresbericht_der_Schweizer_Armee_2015.pdf

Schweizer Bauer vom 22.7.2015: Grosseinsatz: Armee trinkt 20'000 Tiere auf Waadtländer Alpen. Unter www.schweizerbauer.ch/tiere/milchvieh/grosseinsatz-armee-traenkt-20000-tiere-auf-waadtdlaender-alpen-23548.html abgerufen am 1.6.2016.

Schweizer Bauer vom 7.8.2015: Wasserentnahme: 10 Kantone mit Einschränkungen. Unter www.schweizerbauer.ch/pflanzen/ackerbau/wasserentnahme-10-kantone-mit-einschraenkungen-23853.html abgerufen am 1.6.2016.

Schweizerischer Bundesrat 2014a: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014–2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014. Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.). Bern: 100 S.

Schweizerischer Bundesrat 2014b: Botschaft zur Totalrevision des Landesversorgungsgesetzes vom 3. September 2014. Bern: 66 S.

Schweizerischer Bundesrat 2012a: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.). Bern: 64 S.

Schweizerischer Bundesrat 2012b: Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Bericht des Bundesrates zum Postulat «Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen». Bundesamt für Umwelt (Hrsg.). Bern: 87 S.

Schweizer Radio und Fernsehen SRF vom 4.11.2015: Auf dem Trockenen. Baselbieter Bauern kämpfen gegen Trockenheit. Unter www.srf.ch/meteo/meteo-news/auf-dem-trockenen abgerufen am 1.6.2016.

Schweizer Radio und Fernsehen SRF vom 11.11.2015: Die Bauern leiden unter der Trockenheit: «Das gab es noch nie». Unter www.srf.ch/sendungen/heutemorgen/die-bauern-leiden-unter-der-trockenheit-das-gab-es-noch-nie abgerufen am 1.6.2016.

Schweizer Radio und Fernsehen SRF vom 20.11.2015: Knappes Wasser in Amden. Unter www.srf.ch/news/regional/ostschweiz/knappes-wasser-in-amden abgerufen am 1.6.2016.

Seneviratne S.I., Lehner I., Gurtz J., Teuling A.J., Lang H., Moser U., Gerbner D., Menzel L., Schrott K., Vitvar T. & Zappa M. 2012: Swiss prealpine Rietholzbach research catchment and lysimeter: 32 year time series and 2003 drought event. *Water Resour. Res.* 48(6). W06526: 20 S.

SLF 2016: Einfluss des Hitzesommers 2015 auf Felsstürze. WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. Unter www.slf.ch/ueber/organisation/schnee_permafrost/projekte/felsstuerze_2015/index_DE abgerufen am 26.5.2016.

Solothurner Zeitung vom 20.7.2015: 24-Stunden-Bewässerung: Hitze sorgt für Einbussen bei den Bauern. Unter www.solothurnerzeitung.ch/solothurn/kanton-solothurn/24-stunden-bewaesserung-hitze-sorgt-fuer-einbussen-bei-den-bauern-129354855 abgerufen am 1.6.2016.

Südosstschweiz vom 31.7.2015: Freiburger Kühe weiterhin von Armee getränkt. Unter www.suedostschweiz.ch/panorama/2015-07-31/freiburger-kuhe-weiterhin-von-armee-getrankt abgerufen am 1.6.2016.

Swissgrid 2016a: Energie- und Netzsituation Schweiz im Winter 2015/2016. Unter www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/reliability/winter_planning/Bericht_Winter_2015-2016_de.pdf abgerufen am 23.5.2016.

Swissgrid 2016b: Umfassende Entwarnung für angespannte Energie- und Netzsituation. Unter www.swissgrid.ch/swissgrid/de/home/current/news/_06_04_2016_01.html abgerufen am 23.5.2016.

Tages-Anzeiger vom 25.7.2015: Bauern leiden unter Ernteaussfällen. Unter www.tagesanzeiger.ch/schweiz/standard/bauern-leiden-unter-ernteaussfaellen/story/14639929 abgerufen am 1.6.2016.

Tratschin R., Dübendorfer C. & Fu R. 2016: Hitze und Trockenheit im Sommer und Herbst 2015. Auswirkungen und deren Bewältigung in der Schweizer Wasserwirtschaft. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU (unveröffentlicht).

Vittoz P., Cherix D., Gonseth Y., Lubini V., Maggini R., Zbinden N. & Zumbach S. 2011: Klimawandel. In: Lachat, T. et al. (eds.): Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht? Bristol-Stiftung, Zürich, und Haupt-Verlag Bern. Bern: S. 350–377.

VSE 2014: Grosswasserkraft, Basiswissen-Dokument. Stand Februar 2014. Verband Schweizer Elektrizitätsunternehmen VSE: 13 S.

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