

## 1.8 Klima- und Wetterextreme

Klima- und Wetterextreme waren schon immer Teil des Klimageschehens, allerdings zeichnen sich global betrachtet über die letzten Jahrzehnte deutliche Änderungen in gewissen Extremen ab. Hitzeextreme wie zum Beispiel sommerliche Hitzewellen haben zugenommen, Kälterekorde hingegen abgenommen. Auch in der Schweiz wurden mehr sehr warme Tage und weniger sehr kalte Nächte registriert. Mit weiter steigenden globalen Mitteltemperaturen werden weltweit mehr und intensivere Hitzeextreme und Starkniederschläge, aber weniger ausgeprägte Kälteextreme erwartet. Dieselbe Entwicklung – überlagert mit hoher Variabilität – wird auch für die Schweiz vorhergesagt, was ohne Anpassungsmassnahmen zu einem höheren Hochwasserrisiko führt. Klimaprojektionen zeigen zudem eine Zunahme des Trockenheitsrisikos in Mitteleuropa und im Mittelmeerraum – einschliesslich der Schweiz –, beinhalten aber noch beträchtliche Unsicherheiten. Aussagen zu den Änderungen weiterer Phänomene, wie der Häufigkeit und Intensität von Stürmen oder lokaler Phänomene wie Hagel, sind unsicher.

*Erich M. Fischer (ETH Zürich), Christoph Schär (ETH Zürich), Sonia I. Seneviratne (ETH Zürich)*

Hochwasser, Stürme, Dürren und Temperaturextreme waren schon immer Teil des Klimageschehens. Solche Klima- und Wetterextreme haben oft schwerwiegende Auswirkungen auf Infrastrukturen – durch Schäden an Gebäuden und Verkehrswegen –, auf Landwirtschaft, auf Energienachfrage und Stromproduktion sowie auf Tourismus oder Gesundheit. Aufgrund der grossen sozioökonomischen und ökologischen Auswirkungen drängt sich die Untersuchung der erwarteten Änderungen in Klima- und Wetterextremen und den dahinterliegenden Ursachen auf.

Auch die Anzahl Temperaturekordere – höchste oder niedrigste verzeichnete Temperaturen seit Messbeginn – deutet auf eine Veränderung hin. Ohne Klimawandel würde man erwarten, dass neue Rekorde mit fortschreitender Messdauer seltener werden und das Verhältnis von Kälte- zu Hitzerekorden etwa gleich bleibt. Entgegen dieser Erwartungen zeichnet sich seit Mitte des 20. Jahrhunderts sowohl in Europa als auch in Nordamerika ein deutliches Ungleichgewicht ab: Es wurden mehr Hitzerekorde, aber deutlich weniger Kälterekorde verzeichnet als theoretisch (ohne Klimatrend) erwartet.

### Globale Beobachtungen

Es gibt zahlreiche Aufzeichnungen einschneidender Extreme der letzten Jahrhunderte und Jahrtausende und deren Auswirkungen. Allerdings zeichnet sich global betrachtet über die letzten Jahrzehnte ein deutlicher Trend in gewissen Klima- und Wetterextremen ab (IPCC 2012/SREX/Chap.3; IPCC 2013/WGI/Chap.2).

#### Mehr Hitze, weniger Kälte

Seit 1950 lässt sich weltweit ein signifikanter Trend zu mehr sehr warmen und weniger sehr kalten Tagen und Nächten feststellen (Abb. 1.15) (Donat et al. 2013). Der Trend zu mehr sehr warmen Tagen hat sich auch in den letzten Jahren fortgesetzt, selbst in denjenigen, in denen die globale Mitteltemperatur nicht signifikant anstieg. Weiter sind insbesondere in Europa, Asien und Australien sommerliche Hitzewellen sowie ausserordentliche Wärmeperioden in allen Jahreszeiten häufiger und intensiver geworden.

#### Starkniederschläge haben vielerorts zugenommen

Auch Tendenzen in Starkniederschlägen haben sich deutlich anders verhalten als man aufgrund natürlicher Klimavariabilität erwarten würde. Insgesamt gibt es weltweit mehr Landgebiete, in denen Starkniederschläge zugenommen als abgenommen haben (IPCC 2012/SREX/Chap.3; IPCC 2013/WGI/Chap.2). Am zuverlässigsten feststellbar sind die Änderungen von Starkniederschlägen in Europa sowie Nord- und Zentralamerika, wo je nach Region und Jahreszeit Starkniederschläge zugenommen haben. Insgesamt sind jedoch Änderungen von Starkniederschlägen schwieriger nachzuweisen als von Temperaturextremen, weil sich Niederschlagsintensitäten über kurze Distanzen stark unterscheiden. Weiter ist beim Niederschlag die globale Verfügbarkeit zuverlässiger und ausreichend langer Zeitreihen stark limitiert.

Die beobachtete globale Zunahme von Starkniederschlägen deckt sich mit den Erwartungen aus dem Verständnis physikalischer Prozesse: Aufgrund höherer Temperaturen nimmt der Feuchtegehalt der Atmosphäre und somit auch die Intensität von Starkniederschlägen zu. Die physikali-

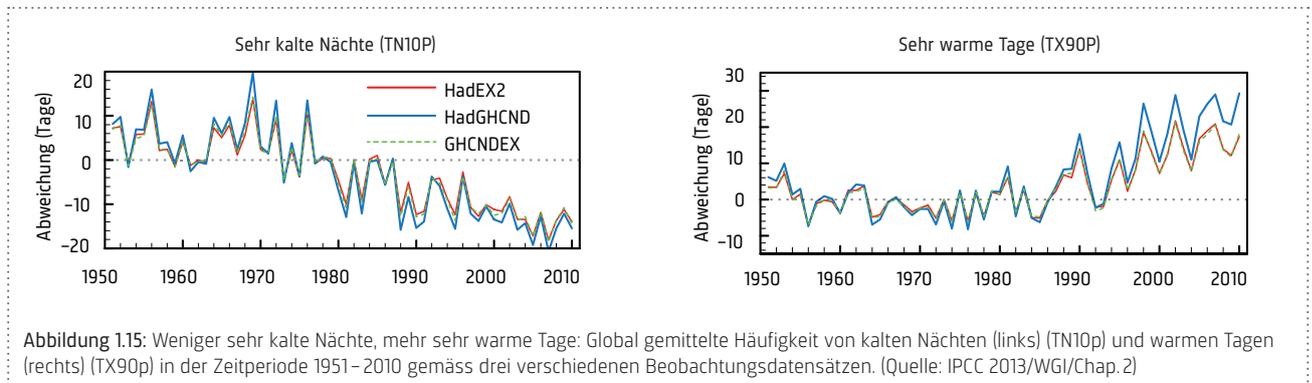


Abbildung 1.15: Weniger sehr kalte Nächte, mehr sehr warme Tage: Global gemittelte Häufigkeit von kalten Nächten (links) (TN10p) und warmen Tagen (rechts) (TX90p) in der Zeitperiode 1951–2010 gemäss drei verschiedenen Beobachtungsdatensätzen. (Quelle: IPCC 2013/WGI/Chap.2)

sche Theorie lässt eine Zunahme der Starkniederschläge um sechs bis sieben Prozent pro Grad Celsius Erwärmung erwarten (Clausius-Clapeyron-Effekt), aber eine deutlich schwächere Zunahme der mittleren Niederschläge. Es gibt auch Regionen und Jahreszeiten, für die eine Abnahme der mittleren Niederschläge und eine Zunahme der Starkniederschläge erwartet wird (s.a. Kap. 1.7 Wasserkreislauf, S. 46).

### Beobachtete Änderungen in Trockenheit sind weniger sicher

Weit schwieriger ist es, Änderungen der Häufigkeit und Intensität von Dürren festzustellen (IPCC 2012/SREX/Chap. 3). Da die Änderungssignale zum Teil abhängig von der Definition einer Dürre und regional unterschiedlich sind, bleiben Aussagen zur globalen Änderung von Dürren unsicher (Sheffield et al. 2012; Trenberth et al. 2014). Da solche Unsicherheitsquellen nach dem Erscheinen des Vierten IPCC-Sachstandsberichts von 2007 neu identifiziert wurden, wurden die Aussagen zum globalen Trend in den neueren IPCC-Berichten revidiert. In gewissen Regionen lassen sich aber deutliche Änderungssignale feststellen. So hat zum Beispiel seit zirka 1950 Trockenheit im Mittelmeerraum zugenommen und in Teilen Nordamerikas abgenommen (IPCC 2012/SREX/Chap.3; IPCC 2013/WGI/Chap.2).

### Menschlicher Einfluss auf Klima- und Wetterextreme

Klima- und Wetterextreme sind meist die Folge eines Zusammenspiels vieler Faktoren wie zum Beispiel ausserordentlicher Meeresoberflächentemperaturen oder Meereisverteilung, eines speziellen atmosphärischen Zirkulationsmusters oder ungewöhnlich trockener oder nasser Böden. Zudem sind sie auch von zufälligen Entwicklungen im Klimasystem beeinflusst. Darum sind einzelne

Klima- und Wetterextreme keine direkte kausale Folge des Klimawandels. Jedoch können menschgemachte Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen durchaus die beitragenden Faktoren beeinflussen und somit die Eintrittswahrscheinlichkeit oder die Intensität von Klima- und Wetterextremen beeinflussen. So gibt es seit dem Vierten IPCC-Sachstandsbericht stärkere Evidenz, dass der menschliche Einfluss auf das Klima zur Zunahme von Hitzeextremen oder der Intensivierung der Starkniederschläge beigetragen hat.

In diversen Studien wurde untersucht, inwiefern externe Klimafaktoren, wie der menschgemachte Klimawandel, die Eintrittswahrscheinlichkeit einzelner kürzlich aufgetretener Extremereignisse beeinflusst hat. Basierend auf Klimamodellen wird dazu abgeschätzt, wie sich die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses unter heutigen Bedingungen zum Beispiel von der Wahrscheinlichkeit unter vorindustriellen Bedingungen unterscheidet. So konnte gezeigt werden, dass der menschliche Einfluss die Wahrscheinlichkeit eines Hitzesommers wie im Jahr 2003 mehr als verdoppelt und die Eintrittswahrscheinlichkeit der sehr starken russischen Hitzewelle 2010 erhöht hat. Die genaue Quantifizierung dieser Effekte hängt aber von der Definition des Ereignisses und der Methodik sowie der Fragestellung ab, zum Beispiel, ob der menschliche Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit oder auf die Intensität eines Ereignisses abgeschätzt wird.

### Globale Projektionen

Steigende atmosphärische Treibhausgaskonzentrationen werden auch in Zukunft die Häufigkeit und Intensität gewisser Wetterextreme beeinflussen.

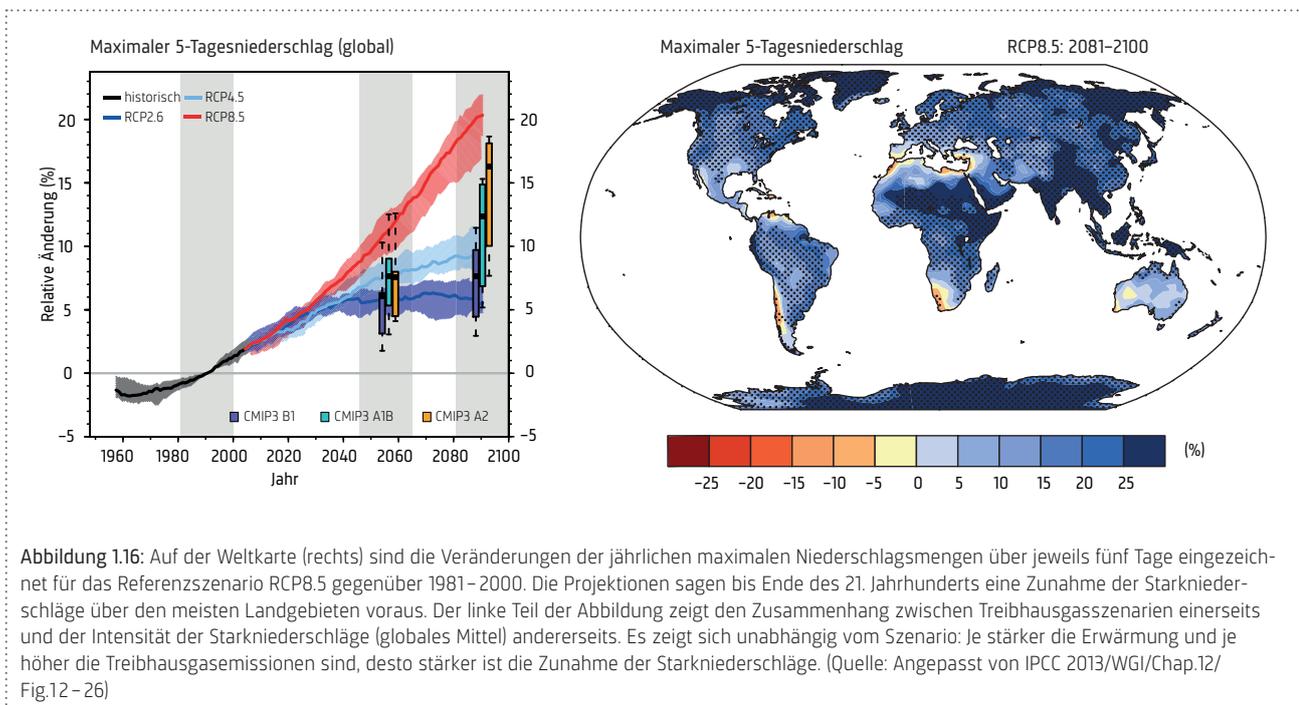


Abbildung 1.16: Auf der Weltkarte (rechts) sind die Veränderungen der jährlichen maximalen Niederschlagsmengen über jeweils fünf Tage eingezeichnet für das Referenzszenario RCP8.5 gegenüber 1981–2000. Die Projektionen sagen bis Ende des 21. Jahrhunderts eine Zunahme der Starkniederschläge über den meisten Landgebieten voraus. Der linke Teil der Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen Treibhausgasszenarien einerseits und der Intensität der Starkniederschläge (globales Mittel) andererseits. Es zeigt sich unabhängig vom Szenario: Je stärker die Erwärmung und je höher die Treibhausgasemissionen sind, desto stärker ist die Zunahme der Starkniederschläge. (Quelle: Angepasst von IPCC 2013/WGI/Chap.12/ Fig.12–26)

## Künftig mehr Hitze- und weniger Kälteextreme

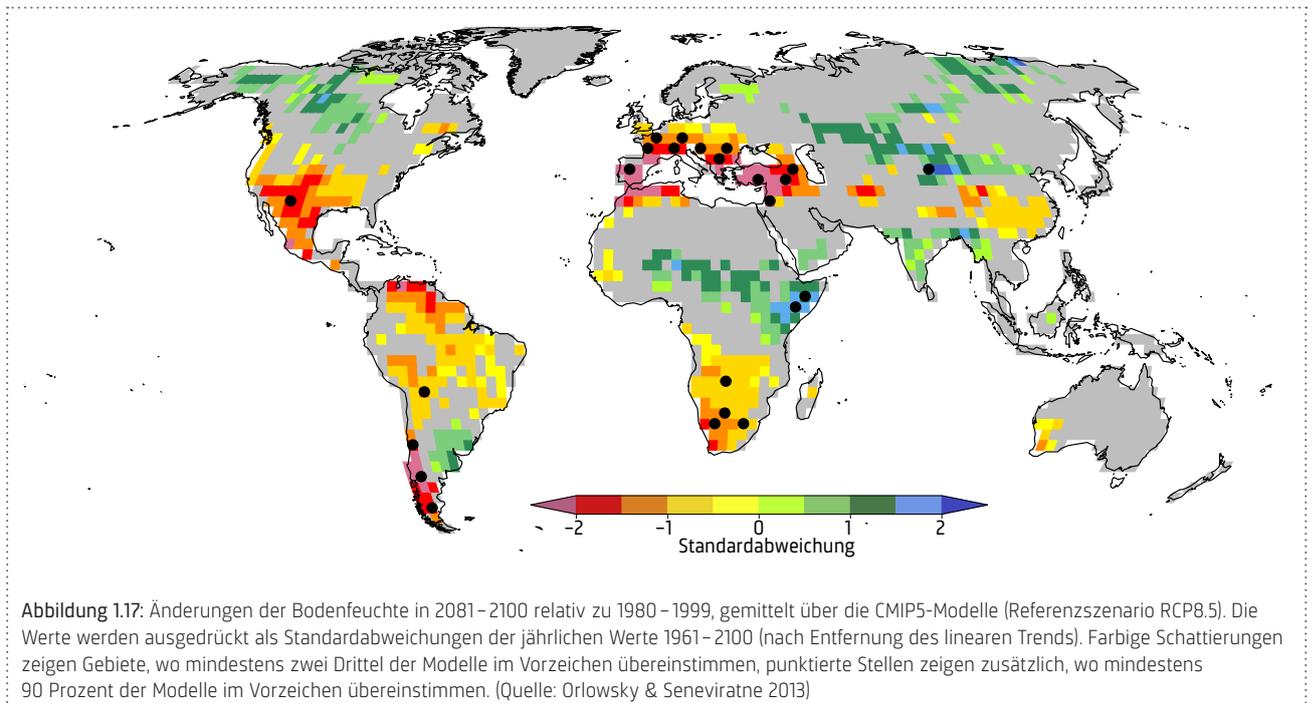
Es ist *praktisch sicher*, dass mit steigenden globalen Mitteltemperaturen in den meisten Gebieten weltweit auch mehr Hitze- und weniger Kälteextreme auftreten werden (IPCC 2013/WGI/Chap. 11 und Chap. 12). Häufigere, längere und intensivere sommerliche Hitzewellen sowie ausserordentliche Wärmeperioden in anderen Jahreszeiten werden erwartet. Hitzeextreme, die heute im Durchschnitt nur alle 20 Jahre auftreten, werden Ende des Jahrhunderts zumindest doppelt so häufig und in gewissen Regionen sogar nahezu jährlich erwartet, falls die Emissionen dem Szenario ohne explizite Massnahmen zum Klimaschutz (kurz: Referenzszenario) RCP8.5 folgen (IPCC 2013/WGI/Chap. 12).

Umgekehrt könnten heutige 20-jährige Kälteextreme in der Zukunft rar werden. Insbesondere über hohen geographischen Breiten werden die Temperaturen von Kälteextremen stärker steigen (Kälteextreme werden weniger kalt) als die Mitteltemperaturen. Nichtsdestotrotz werden aufgrund der hohen Variabilität des Winterwetters auch in Zukunft von Zeit zu Zeit winterliche Kältewellen erwartet.

## Unterschiedliche Einflüsse auf Starkniederschläge in naher und ferner Zukunft

Für die Trends von Starkniederschlägen ist es wichtig, die nahe und ferne Zukunft (nächste Dekaden beziehungsweise Zeitraum bis zum Ende des Jahrhunderts) voneinander zu unterscheiden. Für die ferne Zukunft dominiert der Einfluss der Treibhausgase, während Veränderungen in der nahen Zukunft, das heisst in den nächsten Jahren, durch die natürliche Variabilität dominiert werden (IPCC 2013/WGI/Chap. 11; Fischer et al. 2013) (s. a. Kap. 1.3 Klimavariabilität: Kurzfristige Schwankungen im Klima, S. 34). Die Bedeutung der natürlichen dekadischen Variabilität ist stark abhängig von der Region (z. B. Tropen versus mittlere Breiten), der horizontalen Skala (regional versus kontinental), dem betrachteten Parameter (Temperatur versus Niederschlag) und dem betrachteten Extrem (zum Beispiel tägliche versus saisonale Extreme).

Klimamodelle sagen für das Ende des Jahrhunderts übereinstimmend eine Zunahme von Starkniederschlägen in den Tropen und den mittleren und hohen Breiten vorher (Abb 1.16). Mit höheren Treibhausgasemissionen werden entsprechend den höheren globalen Temperaturen auch die Starkniederschläge stärker zunehmen (Abb. 1.16). Aufgrund von physikalischem Prozessverständnis und Modellsimulationen wird erwartet, dass die Intensität von Starkniederschlägen im Allgemeinen stärker zunimmt als die entsprechenden jährlichen Niederschlagsmengen.



### Künftig höheres Trockenheitsrisiko in Zentral- und Südeuropa

Klimaprojektionen zeigen, dass insbesondere in Südeuropa, aber im Sommer auch in Zentraleuropa, der Klimawandel zu einem Rückgang der Niederschlagssummen und zu erhöhter Verdunstung führt (IPCC 2012/SREX/Chap.3; IPCC 2013/WGI/Chap.12; Orłowsky & Seneviratne 2013). Diese Änderungen verursachen eine stärkere Austrocknung von Böden und damit ein erhöhtes Risiko von Bodenfeuchte-Dürren (Abb. 1.17), die für Ökosysteme und Landwirtschaft kritisch sind. Aber die Projektionen für Änderungen der Trockenheit sind viel weniger robust als diejenigen für Hitzeextreme und Starkniederschläge und die Modelle weichen mehr voneinander ab.

### Phänomene mit unsicherer Projektion

Änderungen anderer Phänomene wie tropischer Wirbelstürme gelten als unsicher. Basierend auf Modellvorhersagen und physikalischem Prozessverständnis ist zu erwarten, dass nicht mit mehr, aber mit intensiveren Wirbelstürmen zu rechnen ist. Das bedeutet, dass die intensivsten tropischen Wirbelstürme höhere Maximalwindgeschwindigkeiten und Niederschlagsintensitäten mit sich bringen.

Schliesslich gibt es einige Phänomene – zum Beispiel Hagelereignisse, Tornados oder Wasserhosen –, für welche zum Teil zwar wissenschaftliche Hinweise für Änderungen, aber keine zuverlässigen Projektionen erstellt werden können. Die Gründe dafür sind unzureichende Messungen sowie die zugrundeliegenden komplexen und oft sehr lokalen physikalischen Prozesse, die immer noch nicht im Detail verstanden sind.

### Beobachtungen zur Schweiz

Die Schweiz wurde in den vergangenen beiden Jahrzehnten von zahlreichen Klima- und Wetterextremen heimgesucht wie zum Beispiel den Starkniederschlägen im August 2005, der ausserordentlichen Hitze und Trockenheit im Sommer 2003, dem Sturm Lothar im Jahr 1999 oder dem im Vergleich zu den letzten Jahrzehnten (aber nicht im Vergleich zum letzten Jahrhundert) sehr kalten Wintern 2005/2006 und 2009/2010.

Auf der Skala der Schweiz sind Änderungssignale in Klima- und Wetterextremen von starker natürlicher Variabilität überlagert (s. a. Kap. 1.3 Klimavariabilität: Kurzfristige Schwankungen im Klima, S. 34). Deshalb ist der Nachweis einer Veränderung von Klima- und Wetterextremen insbesondere über vergleichsweise kleinen Flächen wie der Schweiz besonders schwierig.

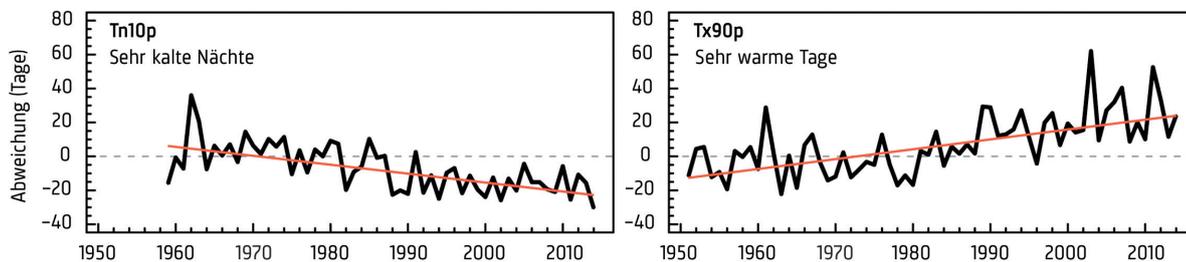


Abbildung 1.18: Mehr sehr warme Tage, weniger sehr kalte Nächte auch in der Schweiz: Abweichung von kalten Nächten (TN10p, links) und warmen Tagen (TX90p, rechts) für die Zeitperiode 1951–2014 (TX90p) und 1959–2014 (TN10p), für welche homogenisierte Messdaten verfügbar sind, gegenüber der Referenzperiode 1961–1990. Gezeigt wird das Mittel über 12 Stationen aller Klimaregionen. Verwendet werden homogenisierte Daten. Der Verlauf und die Trends sind für alle Stationen sehr ähnlich. Der mittlere Trend (nach Mann-Kendall) beträgt  $-5,3$  Tage/10 Jahre für TN10p resp.  $+5,7$  Tage/10 Jahre für TX90p. (Quelle: Rebekka Posselt, angepasst von Scherrer et al. 2016)

## Mehr und heissere Hitze- und weniger Kältetage

Nichtsdestotrotz ist auch in der Schweiz an den meisten Stationen ein Trend zu mehr und intensiveren Hitzetagen (Scherrer et al. 2016) und weniger Kältetagen feststellbar (Abb. 1.18) (s. a. Kap. 1.6 Temperatur, S. 40). Ein räumlicher Vergleich zeigt, dass der Trend zu intensiveren Hitzetagen über Mitteleuropa in einem globalen Kontext sogar besonders ausgeprägt ist und weltweit nahezu einmalig für dicht besiedelte Gebiete (Donat et al. 2013). Weiter hat konsistent mit der globalen Veränderung auch in der Schweiz die Häufigkeit und Intensität der Starkniederschläge an der Mehrheit der Stationen zugenommen (Scherrer et al. 2016) (s. a. Kap. 1.7 Wasserkreislauf, S. 46).

Für viele andere Arten von Klima- und Wetterextremen in der Schweiz – wie Dürren, Windstürme, Hagelereignisse, starke Schneefallereignisse und Wasserhosen oder Tornados – sind keine signifikanten Änderungen wissenschaftlich dokumentiert.

## Projektionen für die Schweiz

### Tage und Nächte mit hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit nehmen zu

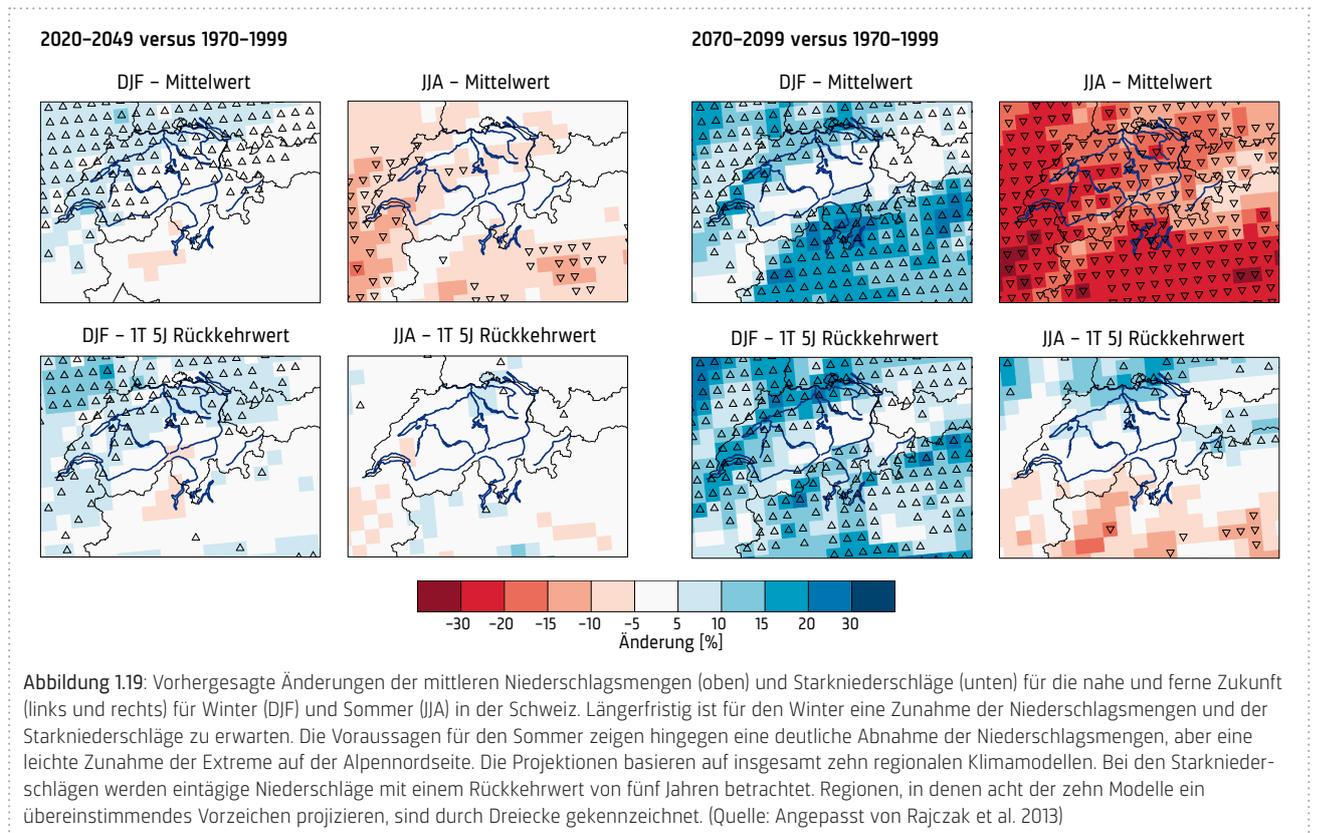
Eine Änderung von Temperaturextremen wird auch für die Schweiz erwartet. Wie in der Vergangenheit dürften sich auch in Zukunft über Mitteleuropa insbesondere Hitzeextreme stärker intensivieren als anderswo. Grund dafür ist, dass gemäss der Mehrheit der Modellprojektionen insbesondere in Mitteleuropa die sommerliche Temperaturvariabilität in Zusammenhang mit einer Änderung der Bodenfeuchte zunimmt (IPCC 2012/SREX/Chap.3). Dies hat zur Folge, dass die Temperaturen von Hitzeextremen stärker steigen als die entsprechenden Mitteltemperaturen.

Als Folge der zunehmenden Hitze und steigenden absoluten atmosphärischen Feuchte nimmt auch der Hitzestress für Mensch und Tier zu. Nächte und Tage mit hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit stehen in engem Zusammenhang mit erhöhter Krankheitshäufigkeit und Sterblichkeit. Insbesondere in tiefen Lagen wie dem Mittelland oder Tessin wird eine deutliche Zunahme des Hitzestresses erwartet.

### Trend zu häufigeren und intensiveren Starkniederschlägen

Konsistent mit den globalen Vorhersagen werden auch für die Schweiz häufigere und intensivere Starkniederschläge erwartet (Abb. 1.19). Im Winter nehmen die Starkniederschläge prozentual ähnlich zu wie die mittleren Niederschlagsmengen (vergleiche obere und untere Panels in Abb. 1.19). Im Sommer hingegen muss mit abnehmenden Niederschlagsmengen gerechnet werden, während sommerliche Starkniederschläge eher zunehmen. Die entsprechenden Signale dürften sich im Laufe des Jahrhunderts akzentuieren und können in mittleren Szenarien relative Veränderungen von bis zu 30 Prozent erreichen. Wie im Abschnitt zu den globalen Projektionen und in Kap. 1.3 Klimavariabilität: Kurzfristige Schwankungen im Klima, S. 34 erklärt, sind dem projizierten Klimatrend natürliche Schwankungen überlagert. Deshalb ist der signifikante Nachweis der Zunahme der Starkniederschläge in der Schweiz schwierig, scheint aber bereits heute möglich zu sein; gemäss Modellen wahrscheinlich zuerst in den kälteren Jahreszeiten (vergleiche die zwei Zeitperioden in Abb. 1.19).

Anhand von Seesedimenten der letzten 2500 Jahre aus Schweizer Bergseen wurde kürzlich aufgezeigt, dass warme Sommer in der Schweiz generell auch vergleichsweise trocken sind, womit grossräumige Hochwasser in war-



men Sommern insgesamt seltener sind. Diese Resultate beziehen sich auf langfristige und grossräumige Niederschlagsereignisse. Die Resultate stehen deshalb nicht im Widerspruch zur vorhergesagten Zunahme von kurzen, kleinräumigen und intensiven Starkniederschlagsereignissen.

Die in Abbildung 1.19 gezeigten Resultate gelten für Tagesniederschläge. Kurzfristige (stündliche) Starkniederschläge nehmen gemäss hochauflösenden Simulationen deutlicher zu, aber auch für diese gilt der Clausius-Clapeyron-Effekt, also eine maximale Zunahme von sechs bis sieben Prozent pro Grad Celsius Erwärmung (Ban et al. 2015). Kurzfristige Ereignisse sind im Alpenraum besonders im Sommer von Bedeutung, wenn kurze Niederschlagsspitzen eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Sturzfluten («Flash-Floods»), Murgängen und Rutschungen spielen.

### Hochwasserrisiko nimmt zu

Da bei steigenden Temperaturen in Abhängigkeit von Jahreszeit und Höhenlage mehr Niederschlag in Form von Regen statt Schnee fällt, nimmt ohne entsprechende Anpassungsmassnahmen das Hochwasserrisiko auch ohne steigende Starkniederschläge zu. Für gewisse Ein-

zugsgebiete wie den Rhein bei Basel äussert sich dieser Effekt besonders ausgeprägt im Winter, während für die Einzugsgebiete der Alpensüdseite wahrscheinlich herbstliche Wetterlagen betroffen sind.

### Trockenheitsrisiko steigt, aber Projektionen sind weniger sicher

Basierend auf globalen Klimaszenarien (Abb. 1.17) kann für die Schweiz abgeleitet werden, dass das Trockenheitsrisiko in Zukunft, insbesondere bezüglich Bodenfeuchte, zunehmen wird. Auch detailliertere Szenarien für die Schweiz zeigen eine Tendenz zur Abnahme der Niederschläge im Sommer (CH2011 2011; Ban et al. 2015). Aber die Modellunsicherheit bei Trockenheitsänderungen ist grösser als bei Änderungen in Temperaturextremen und Starkniederschlägen.

### Unsichere Projektionen für andere Phänomene

Für viele andere Klima- und Wetterextreme sind kleinräumige Vorhersagen mit grossen Unsicherheiten behaftet. So ist zum Beispiel unklar, ob Winterstürme wie die Stürme Lothar und Vivian, die in der Schweiz grosse Schäden verursacht haben, in Zukunft intensiver oder

häufiger werden. Es wird erwartet, dass Tiefdruckgebiete und die dazugehörigen Sturmwinde über Nordeuropa etwas intensiver und über Südeuropa schwächer werden. Die Schweiz befindet sich an der Grenze der Gebiete mit Zunahme beziehungsweise Abnahme, weshalb robuste Vorhersagen noch nicht möglich sind.

### Veränderungen bei Extremereignissen erfolgen ungleichmässig

Während die erwarteten Änderungen von Wetterextremen in der Schweiz konsistent mit der grossräumigen Entwicklung in Europa (oder für Hitzeextreme sogar weltweit) sind, werden sie generell von hoher natürlicher Variabilität überlagert sein (Fischer et al. 2013). So werden Änderungen von Extremen in der Schweiz nicht kontinuierlich erfolgen. Vielmehr ist zu erwarten, dass gewisse Extreme allenfalls mehrere Jahrzehnte kaum zunehmen, um dann sehr rasch anzusteigen – oder umgekehrt.

### Herausforderungen für die Klimaforschung

Insgesamt bleibt der Nachweis von beobachteten Änderungen von Klima- und Wetterextremen eine grosse Herausforderung. Während die Änderungen von Temperaturextremen und Starkniederschlägen relativ gut verstanden sind, gibt es andere Extreme wie Windstürme und Hagel, für die beträchtliche Unsicherheiten bestehen oder zu wenige Messreihen und wissenschaftliche Untersuchungen verfügbar sind. Auch für Trockenheit sind die Modell- und Datenunsicherheiten noch sehr gross: Zum einen existiert keine universelle Definition von Klima- und Wetterextremen, zum anderen unterscheiden sich Hitzewellen und Dürren zwischen Tropen und hohen Breiten stark voneinander. Es wäre aber falsch, aus den Unsicherheiten zu schliessen, dass sich diese Extreme in Zukunft nicht ändern werden. Ebenso wäre es irreführend zu argumentieren, dass sich aufgrund des Klimawandels jegliche Wetterextreme verstärken müssen.

Die mit grosser Zuverlässigkeit vorhergesagte weltweite Zunahme von Hitzeextremen und Starkniederschlägen könnte gravierende Folgen haben, falls nicht die nötigen Anpassungsmassnahmen ergriffen werden. Auch für Klima- und Wetterextreme, die nicht häufiger auftreten, dürfte das Schadensrisiko aufgrund höherer demographischer, ökonomischer und technischer Faktoren (höhere Bevölkerungsdichte, Wertekonzentration und Verwundbarkeit) steigen. Einem Teil dieses Risikos kann mit einer besseren Vorbereitung auf Extremereignisse und einer Anpassung an den Klimawandel begegnet werden.

### Umfassende Risikoabschätzung

Eine weitere Herausforderung ist, dass Klima- und Wetterextreme per Definition selten sind und sehr unregelmässig auftreten. Idealerweise möchte man deshalb auf grossräumige und sehr lange Messreihen zurückgreifen. Da diese nicht vorhanden sind, lassen sich zuverlässige Aussagen meist nur dann machen, wenn grossräumig konsistente Trends festgestellt werden. Ein Blick nur auf die letzten 20 bis 30 Jahre kann leicht zu einer Fehleinschätzung der Risiken führen. Allzu oft werden Laien und Experten durch die Intensität von Wetterextremen überrascht, die in ähnlichem Ausmass während den letzten Jahrzehnten nie beobachtet wurden. Deshalb erfordert eine umfassende Risikoabschätzung eine Kombination von langen Messreihen und historischen Aufzeichnungen, physikalischem Prozessverständnis und Klimamodellsimulationen (s. a. CH2014-Impacts 2014).

## Referenzen

- Ban N, Schmidli J, Schär C (2015) **Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster?** *Geophysical Research Letters* 42: 1165–1172.
- CH2011 (2011) **Swiss Climate Change Scenarios CH2011**. Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC. Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7
- CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland**. Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.
- Donat MG, Alexaner LV, Yang H, Durre R, Vose R, Dunn RJH, Willett KM, Aguilar E, Brunet M, Caesar J, Hewitson B, Jack C, Klein Tank AMG, Kruger AC, Marengo J, Peterson TC, Renom M, Oria Rojas C, Rusticucci M, Salinger J, Elrayah AS, Sekele SS, Srivastava AK, Trewin B, Villarroel C, Vincent LA, Zhai P, Zhang X, Kitching S (2013) **Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset**. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118: 2098–2118.
- Fischer EM, Beyerle U, Knutti R (2013) **Robust spatially aggregated projections of climate extremes**. *Nature Climate Change* 3: 1033–1038.
- IPCC (2012) **Special Report «Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation» (SREX)**. Chapter 3 «Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment». [www.ipcc.ch/report/srex](http://www.ipcc.ch/report/srex)
- IPCC (2013) **Climate Change 2013: The Physical Science Basis (WG1)**. Chapter 2 «Observations: Atmosphere and Surface». [www.ipcc.ch/report/ar5/wg1](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1)
- IPCC (2013) **Climate Change 2013: The Physical Science Basis (WG1)**. Chapter 11 «Near-term Climate Change: Projections and Predictability». [www.ipcc.ch/report/ar5/wg1](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1)
- IPCC (2013) **Climate Change 2013: The Physical Science Basis (WG1)**. Chapter 12 «Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility». [www.ipcc.ch/report/ar5/wg1](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1)
- Orlowsky B, Seneviratne SI (2013) **Elusive drought: Uncertainty in observed trends and short- and long-term CMIP5 projections**. *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 1765–1781.
- Rajczak J, Pall P, Schär C (2013) **Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine region**. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118: 3610–3626.
- Scherrer SC, Fischer EM, Posselt R, Liniger MA, Croci-Maspoli M, Knutti R (2016) **Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland**. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121: 2626–2637.
- Sheffield J, Wood E, Roderick M (2012) **Little change in global drought over the past 60 years**. *Nature* 491: 435–438.
- Trenberth K, Dai A, van der Schrier G, Jones P, Barichivich J, Briffa K, Sheffield J (2014) **Global warming and changes in drought**. *Nature Climate Change* 4: 17–22.