

# Erkenntnisse aus der Trockenheit 2018 für die zukünftige Waldentwicklung

**Andreas Rigling** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH), und Institut für terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich (CH)\*  
**Manfred Stähli** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)

## Erkenntnisse aus der Trockenheit 2018 für die zukünftige Waldentwicklung

Eine ausgeprägte Niederschlagsarmut im Sommer und Herbst des Jahres 2018 führte in grossen Teilen der Schweiz, insbesondere im nordöstlichen Mittelland, zu einer verbreiteten und lang anhaltenden Trockenheit. Die unmittelbaren und mittelfristigen Auswirkungen des trockenen Sommers 2018 auf Wachstum, Schädlings- und Krankheitsbefall und letztlich auf das Überleben vieler Bäume waren von bisher kaum beobachtetem Ausmass im Schweizer Wald. Nicht nur die Fichte, sondern auch die Buche und Mischwälder waren betroffen. Dabei wurden regionale und lokale Unterschiede festgestellt, die sich auch in der räumlichen Ausprägung des Niederschlags und der Bodentrockenheit manifestierten. Die teilweise massiven Auswirkungen führen vor Augen, dass Extremereignisse wie das Trockenjahr 2018 eine zentrale Rolle bei der klimabedingten Änderung der Waldzusammensetzung spielen können. Aus wissenschaftlicher Sicht gilt es daher, so viele Erkenntnisse und Lehren wie möglich aus diesen Extremereignissen zu ziehen, um adäquate, zukunftsgerichtete Waldbewirtschaftungskonzepte entwickeln zu können. Eine Forschungsinitiative der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft wurde genau mit diesem Ziel sehr kurzfristig im Laufe des Sommers 2018 lanciert. Der vorliegende Beitrag fasst wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf die zukünftige Waldentwicklung zusammen.

**Keywords:** drought, climate change, forest, leaf discoloration, growth reduction  
**doi:** 10.3188/szf.2020.0242

\* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail [andreas.rigling@wsl.ch](mailto:andreas.rigling@wsl.ch)

Das Jahr 2018 bleibt uns als heiss und äusserst niederschlagsarm und folglich aussergewöhnlich trocken in Erinnerung. Nicht nur hier in der Schweiz, sondern über ganz Zentraleuropa und Skandinavien wirkte über mehrere Monate ein stationäres Hochdruckgebiet. Es führte zu rekordtiefen Niederschlagsmengen und überdurchschnittlichen Lufttemperaturen, insbesondere im Mai und Juli (MeteoSchweiz 2018). Innerhalb der Schweiz waren – im langjährigen Vergleich – das zentrale und nordöstliche Mittelland besonders niederschlagsarm (Liechti et al 2019). Sowohl die Dauer als auch die Magnitude des Niederschlagsdefizits wurden in diesen Gebieten entsprechend einem Ereignis eingeschätzt, das alle 40 bis 60 Jahre einmal auftritt (Brunner et al 2019). Als Folge daraus trockneten die Böden im gesamten Mittelland, aber auch in Teilen des Juras sehr stark aus. Die Bodenaustrocknung im Jahr 2018 wurde anhand von Modellrechnungen als noch viel ausgeprägter eingestuft als in den beiden letzten Trockenjahren 2003 und 2015 (Zappa et al 2019). Auch die Abflüsse in den Fliessgewässern und die Pegel der Seen

reagierten eindrücklich auf die Niederschlagsarmut. Insbesondere in den Einzugsgebieten ohne Gletscherschmelze, namentlich in der Nordostschweiz (Thur-Einzugsgebiet), wurden von Juni bis November Abflusswerte gemessen, die weniger als 55% des langjährigen Durchschnitts entsprechen (Zappa et al 2019).

Diese lang anhaltende und intensive Trockenheit wirkte sich natürlich direkt auf das Ökosystem Wald aus: Die Bäume begannen ihre Wasseraufnahme einzuschränken, das Laub verfärbte sich zu einem frühen Zeitpunkt, und die Gefahr für Waldbrände nahm stark zu. Literaturrecherchen dokumentieren, dass in den letzten 100 Jahren ab und zu, zum Beispiel in den 1920er- und 1940er-Jahren, Trockenperioden auftraten, die ebenfalls markante Spuren im Wald hinterliessen (Rathgeb et al 2020, dieses Heft). Eine genaue Quantifizierung der Auswirkungen dieser vergangenen Ereignisse ist schwierig. Doch können wir davon ausgehen, dass die Situation nach 2018 zu den extremsten zählt und sicherlich in den letzten Jahrzehnten noch nie Ereignisse in diesem Ausmass beobachtet werden konnten.

Im Jahr 2018 wurden auch die neusten Klimaszenarien für die Schweiz – CH2018 – veröffentlicht. Diese zeigen einen klaren Trend zu höheren Durchschnittstemperaturen, mehr Hitzetagen und trockeneren Sommern auf, insbesondere falls keine griffigen Klimaschutzmassnahmen (weltweit) implementiert werden (CH2018 2018). Es stellt sich somit die Frage, ob das Trockenjahr 2018 ein Vorbote unseres zukünftigen Klimas ist und ob eine entsprechende Trockenheitsbelastung für den Wald häufiger oder sogar regelmässig auftreten könnte. Umso angezeigter ist es, aus diesem Extremereignis möglichst viele Beobachtungen und Erfahrungen mitzunehmen und Folgerungen für die Zukunft zu ziehen. Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) hatte bereits zu einem frühen Zeitpunkt – Anfang Juli – die aussergewöhnliche Trockenheit erkannt und schon während des Ereignisses angefangen, gezielt Beobachtungen und Messdaten zur Ausprägung der Trockenheit und zu den Auswirkungen auf den Wald zu sammeln. Daraus ist ein themenübergreifendes Forschungsprogramm mit zahlreichen spezifischen Studien hervorgegangen, über die in dieser Zeitschrift in Form einer Schwerpunktstrecke berichtet wird. Der vorliegende Perspektivenartikel hat zum Ziel, aus diesen verschiedenen Studien ein Gesamtbild der Trockenheit 2018 und ihrer kurz- und mittelfristigen Auswirkungen auf den Wald zu zeichnen.

### Regionale und zeitliche Ausprägung und Wahrnehmung der Trockenheit

Eine Trockenheit wie im Jahr 2018 zeichnet sich schleichend ab und lässt sich nicht lange im Voraus erkennen. Trotzdem gab es Anfang Juli – also zu einem relativ frühen Zeitpunkt – klare Hinweise auf eine mögliche ausgeprägte Trockenperiode. Zu

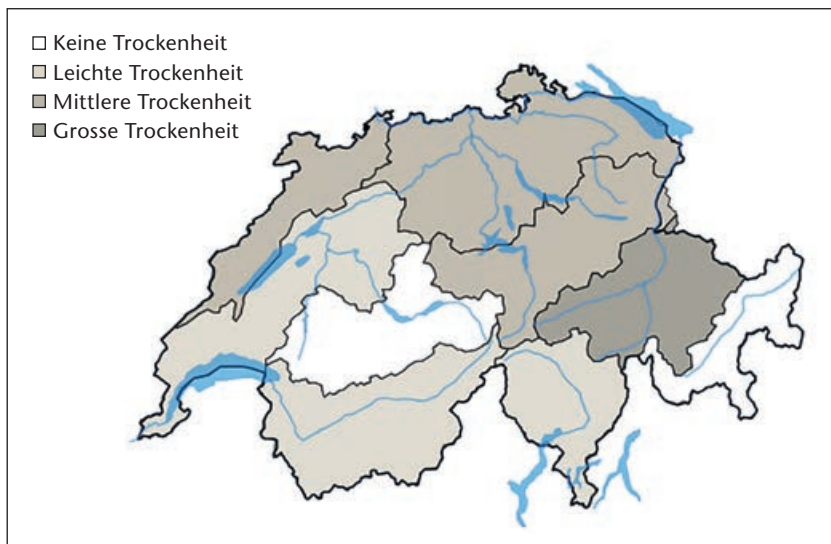


Abb 1 Die Informationsplattform drought.ch dokumentiert die regionale Trockenheit in der Schweiz. Teil eines Screenshots von Anfang August 2018.

diesem Zeitpunkt waren bereits Defizite bei den Wasserhaushaltskomponenten messbar, und die Monatsvorhersage von MeteoSchweiz deutete mit relativ grosser Wahrscheinlichkeit auf eine stabile Wetterlage mit überdurchschnittlichen Lufttemperaturen und unterdurchschnittlichem Niederschlag hin. Die Trockenheitsinformationsplattform drought.ch, die im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 entwickelt worden war (Zappa et al 2014), zeigte die regionalen Unterschiede bezüglich Trockenheit auf (Abbildung 1). Dabei kam klar zum Ausdruck, dass die Intensität und die Dauer von Wasserdefiziten eine regionale und teilweise sogar eine lokale Ausprägung haben und nicht für das ganze Land (oder das ganze Mittelland) über einen Leisten geschlagen werden können.

Dies wird auch deutlich sichtbar, wenn man die Trockenheitsanzeichen beim Wald betrachtet. Eine frühe Blattverfärbung bei Buchen wurde ab Mitte Juli in der Nordostschweiz, insbesondere in der Region Schaffhausen, registriert (Baltensweiler et al 2020, dieses Heft). Mancherorts waren ganze Baumgruppen vorzeitig verbraunt, während in anderen Gebieten nur Einzelbäume deutliche Verfärbungen aufwiesen. Fernerkundungsdaten der Sentinel-2-Satelliten deuteten auch auf einen starken Trockenheitsstress in Nadelwäldern des Kantons Aargau, aber auch in Mittelbünden hin. Lokale Messungen des Baumwasserdefizits mittels Punktdendrometern im Projekt TreeNet zeigten zudem, dass auch im zentralen Wallis die Wälder einer extremen Bodentrockenheit ausgesetzt waren (Zweifel et al 2020, dieses Heft).

Interessant ist, dass die Wahrnehmung der Bevölkerung nur teilweise der objektiven räumlichen und zeitlichen Ausprägung der Trockenheit entspricht. Eine schweizweite Analyse von Zeitungsbeiträgen (Bernhard et al, in Vorbereitung) ergab, dass die Berichterstattung zur Trockenheit tatsächlich in diesen Regionen am intensivsten war, wo die stärkste Trockenheit herrschte (Abbildung 2a). Betrachtet man aber das zeitliche Auftreten der Medienberichte und der Nachfrage nach Trockenheitsinformationen auf drought.ch, ist eine grosse Konzentration auf die Hitzezeit im Juli und Anfang August festzustellen (Abbildung 2b). Danach, bis zum Ende der Trockenheit im November, wurden bedeutend weniger Informationen auf drought.ch abgefragt, obschon die Wasserknappheit objektiv betrachtet uneingeschränkt fortbestand.

Gemäss einer umfangreichen Befragung der Bevölkerung in drei Gemeinden mit unterschiedlicher Trockenheitsintensität wurden der Sommer und der Herbst 2018 von der Allgemeinheit primär positiv wahrgenommen (Fankhauser et al 2020, dieses Heft). Persönliche Einschränkungen oder Schäden infolge der erlebten markanten Trockenheit kamen nur untergeordnet zum Ausdruck. Hingegen wurde verbreitet Besorgnis ausgedrückt, dass solche Ereignisse

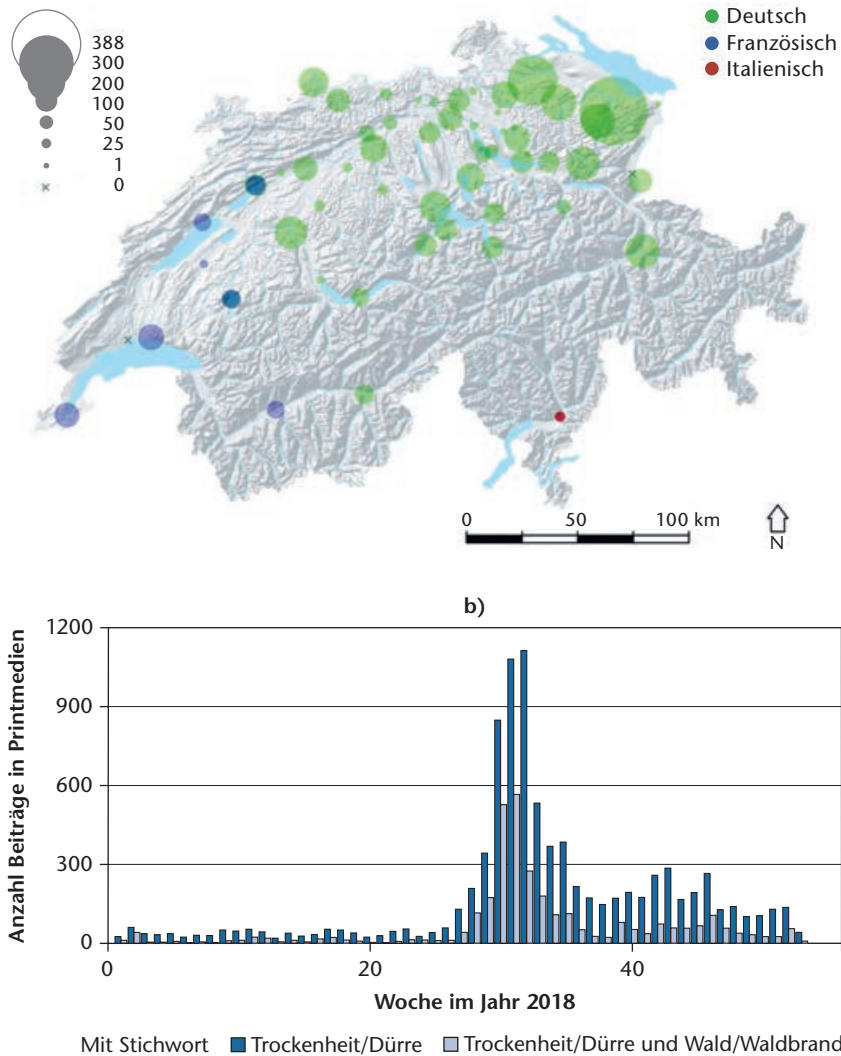


Abb 2 a) Regionale Verteilung und b) wöchentliche Anzahl von Artikeln in Schweizer Printmedien zu den Stichwörtern «Trockenheit» und «Dürre» im Trockenjahr 2018.

nisse in Zukunft zu grösseren Problemen führen könnten. Die Beurteilung von möglichen Wasserbewirtschaftungsmassnahmen fiel in den drei Gemeinden unterschiedlich aus: Grundsätzlich äusseren die Befragten eine hohe Zufriedenheit mit den 2018 getroffenen Massnahmen und sahen keinen dringenden Bedarf nach verstärktem Krisenmanagement oder einer Wasserkontingentierung.

**Fazit:** Auch wenn die Trockenheit 2018 auf den ersten Blick als grossräumiges Phänomen (Zentral- und Nordeuropa) erschienen ist, manifestierten sich regional und sogar lokal deutliche Unterschiede in der Ausprägung. Diese waren bedeutsam für den Wald. Für das Management von zukünftigen aussergewöhnlichen Trockenheitsereignissen (z.B. hinsichtlich Waldbrand und Borkenkäfer) wird es wichtig sein, diese regionalen Unterschiede möglichst früh zu erkennen und richtig einzuschätzen. Dafür entwickelt der Bund im Moment ein gesamtschweizerisches Früherkennungssystem, und er propagiert ein integrales Wassermanagement in Einzugsgebieten.

## Unmittelbare Auswirkungen auf das Ökosystem Wald

Anders als im Jahr 2015 setzten Hitze und Trockenheit 2018 an zahlreichen Standorten bereits sehr früh ein. Entsprechend stark waren die baumphysiologischen Prozesse und das Wachstum eingeschränkt. Zudem waren dem Trockenjahr 2018 schon mehrere weitere Hitze- und Trockenjahre vorausgegangen (2003, 2011, 2015), was bedeutet, dass die Wälder im Jahr 2018 vielerorts bereits geschwächt waren (Rigling et al 2019). Dadurch kann erklärt werden, wieso sich die Blätter in den stark betroffenen Regionen bereits Ende Juli 2018 verfärbten (Abbildung 3) und mancherorts um drei Monate verfrühter Blattfall auftrat. Diese massive frühzeitige Reduktion der Blattmasse, kombiniert mit einer Einschränkung verschiedener physiologischer Prozesse als Folge des Wassermangels, führte zu einer Wachstumsreduktion bei Bäumen in den betroffenen Waldgebieten. Dies konnte unmittelbar auf dem Dendrometer-Messnetz TreeNet anhand der zeitlich hochaufgelösten Stammwachstumsdaten aufgezeigt werden (Zweifel et al 2020, dieses Heft). Auch eine zusätzliche Erhebung im Spätsommer 2018 auf einem Teilnetz des Schweizerischen Landesforstinventars (LFI) wies klare Wachstumseinbussen bei allen untersuchten Baumarten nach (Rohner et al 2020, dieses Heft).

Neben den offensichtlichen Schädigungen des Blattwerkes in den Laubwäldern zeigten die Fichten (*Picea abies*) und später auch die Weissstannen (*Abies alba*) massive Befälle durch verschiedene Borkenkäferarten, allen voran durch den Buchdrucker (*Ips typographus*). Die Schäden durch den Buchdrucker an der Fichte hatten 2018 rund 735 000 m<sup>3</sup> Zwangsnutzungen zur Folge, was etwa einer Verdoppelung gegenüber dem Vorjahr entsprach (Queloz et al 2019).

Wegen der regional sehr unterschiedlichen Ausprägung von Hitze und Trockenheit sowie des lokal stark variierenden Bodenwasserspeichervermögens zeigten die Wälder eine sehr uneinheitliche Reaktion bezüglich Trockenstress und Baumwachstum (Baltensweiler et al 2020, Zweifel et al 2020, Rohner et al 2020, alle dieses Heft). Auch die verschiedenen Baumarten begegneten der extremen Witterung sehr unterschiedlich: Während die Fichte ihr Wachstum in den tieferen Lagen durchwegs sehr stark einschränkte, reagierten Föhre (*Pinus sylvestris*) und Buche (*Fagus sylvatica*) je nach Standort gegensätzlich. Die Eichen (*Quercus* sp.) zeigten sich am wenigsten betroffen (Zweifel et al 2020, dieses Heft).

Nussbaumer et al (2020) konnten zudem aufzeigen, dass die extreme Hitze und Trockenheit im Jahr 2018 auch die Samenproduktion der Buchen in Mitleidenschaft gezogen hatte. Während der Pollenflug und die Anlage der Bucheckern noch gut funktionierte (Braun et al 2020, dieses Heft), konnte auf



**Abb 3** Blick von Stetten (Kanton Schaffhausen) über den Sohlenberg nach Süden in die Alpen (31.7.2018). Aufgrund der lang anhaltenden Hitze- und Trockenperiode litten die Wälder unter grossem Trockenstress und zeigten schon früh im Jahr grossflächige Blattverfärbungen. Foto: Andreas Rigling, WSL

Flächen der langfristigen Waldökosystemforschung (LWF) nachgewiesen werden, dass als direkte Folge der Hitze und Trockenheit die Qualität der Buchennüssen signifikant verschlechtert war – es wurden also vielerorts grosse Mengen an Buchennüssen produziert, die aber im Verlaufe des Hitzesommers verkümmerten und ihre Keimfähigkeit einbüssten.

In den Trockenjahren 2003, 2015 und 2018 wurden schweizweit überdurchschnittlich viele Waldbrände festgestellt, die durch Blitzschlag ausgelöst worden waren. Die Analysen zeigten klar auf, dass nicht die Blitzschlaghäufigkeit an sich, sondern die Brandanfälligkeit in diesen Trockenjahren erhöht war und dadurch Blitzschläge häufiger zu Waldbränden führten (Moris et al 2020, dieses Heft).

**» Fazit:** Die extreme Hitze und Trockenheit hinterliess schon während des Sommers 2018 deutlich sichtbare Spuren an vielen Baumarten – speziell auffallend und stark ausgeprägt waren frühzeitiger Laubfall, Rindenrisse und absterbende Kronenteile an der Buche. Die Borkenkäferschäden an der Fichte verdoppelten sich im Vergleich zum Vorjahr. Aussergewöhnlich war nicht die Art der Schäden, sondern ihr Ausmass, das in dieser Art in den letzten Jahrzehnten nie beobachtet worden war. Grosse Unsicherheit bestand in der Abschätzung der Folgen dieses Extremjahres für die zukünftige Entwicklung der betroffenen Einzelbäume und der Walddynamik der teilweise grossen Waldgebiete.

### Mittel- und längerfristige Auswirkungen

Extreme Trockenjahre können bezüglich Grund- und Bodenwasservorkommen ins nächste Jahr nachwirken (Seneviratne et al 2012) und so zu

einer ungünstigen Ausgangslage für den nachfolgenden Sommer führen. Im Fall der Trockenheit 2018 waren diese Befürchtungen besonders angebracht, weil die extreme Niederschlagsarmut bis weit in den November andauerte. Im Dezember lagen die Grundwasserstände und Quellabflüsse an jeder dritten Messstelle der Schweiz tief (BAFU 2019). Glücklicherweise war aber der folgende Winter im Norden der Schweiz überdurchschnittlich nass und auf der Alpennordseite einer der schneereichsten der letzten 20 Jahre (Zweifel et al 2019). So entspannte sich das Bodenwasserdefizit im Laufe des Frühlings 2019 rasch.

Anders zeigte sich aber die Situation im Wald, wo vielerorts erhebliche Folgeschäden beobachtet werden mussten. Wie die Untersuchungen von Wohlgemuth et al (2020, dieses Heft) dokumentieren, führte der frühe Blattfall im Jahr 2018 zu einer nachhaltigen Schwächung der betroffenen Buchen, mit deutlich mehr Rindenverletzungen, Schleimfluss, Borkenkäferbefall (hauptsächlich *Taphrorychus bicolor* Hrbst) und Astabbrüchen im Folgejahr. Ein beträchtlicher Anteil der Buchen zeigte auffällige Schäden in den Kronen und deutlich erhöhte Blattverluste. Manche Bäume starben auch ganz ab (Abbildung 4).

Während Wachstumseinbussen durch die Bäume kurzfristig wieder ausgeglichen werden können, haben Schädigungen von Rinde und Krone nachhaltige Vitalitätseinbussen zur Folge. Die tatsächlichen Auswirkungen des Jahres 2018 und das Ausmass der Folgeschäden werden wir erst in den kommenden Jahren quantifizieren können. Dennoch hat uns das Extremjahr 2018 klar vor Augen geführt, dass auch die Buchen- und Laubmischwälder auf flachgründigen Böden in den tieferen Lagen des Mittellandes, des Juras und der Voralpen mit fortschreitendem Klimawandel über kurz oder lang an ihre Grenzen stossen werden (Rigling et al 2019).

Im Falle der Fichte ist die Situation klarer abschätzbar, denn sie ist in Tieflagen seit Jahren auf dem Rückzug: Die Winterstürme Vivian (1990), Lothar (1999) und Burglind (2018) sowie die heissen und trockenen Sommer 2003, 2015 und 2018 führten jeweils zu intensivem Befall durch den Buchdrucker. Schon im letzten Waldbericht wurde aufgezeigt, dass der Holzvorrat der Fichte im Mittelland im Zeitraum 2005 bis 2015 um 31% abgenommen hatte (Rigling & Schaffer 2015). Dieser Trend dürfte sich als Folge des Extremjahres 2018 noch deutlich verstärken – laut den neuesten Zahlen von Waldschutz Schweiz erreichte der Buchdruckerbefall im Februar 2020 mit rund 1.4 Mio. m<sup>3</sup> den zweithöchsten je registrierten Wert (Stroheker et al 2020).

Im Folgejahr 2019 zeigte dann auch die Weiss-tanne zunehmend Befall, hauptsächlich durch den krummzahnigen Tannenborkenkäfer (*Pityokteines curvidens*; Forster & Odermatt 2019). Die Weisstanne gilt zwar als besser an Trockenheit angepasst als etwa



**Abb 4** Folgen der extremen Hitze und Trockenheit in Buchenbeständen im Kanton Jura. Ein Grossteil der Buchen zeigte im Folgejahr 2019 Trockenschäden. Dabei starben Kronenteile und ganze Bäume ab. Fotos: Valentin Queloz

die Fichte (Tinner et al 2013, Vitasse et al 2019), doch führt extremer Trockenstress auch bei ihr zu erhöhter Anfälligkeit gegenüber Borkenkäfern (Nierhaus-Wunderwald 1995).

► **Fazit:** Viele der durch die Hitze und Trockenheit 2018 betroffenen Bäume zeigten im Folgejahr starke Vitalitätseinbussen, doch war die Ausprägung der Schäden je nach Standort und Baumart recht unterschiedlich. Auch wenn das volle Ausmass der Folgeschäden ein Jahr nach dem klimatischen Extremereignis noch nicht abschätzbar war, so ist zu erwarten, dass sich das Schadenbild in den kommenden Jahren noch akzentuieren wird und somit die Folgen des Sommers 2018 noch mehrere Jahre sichtbar bleiben.

### Das Trockenjahr 2018 im Licht der Klimaszenarien CH2018

Im November 2018 präsentierte das National Centre for Climate Services (NCCS) die neusten Klimaszenarien für die Schweiz (CH2018 2018). Basierend auf Berechnungen mit insgesamt 39 europäischen Klima-Modellketten und drei CO<sub>2</sub>-Emissions-szenarien ergeben diese für den Zeitraum bis Ende des 21. Jahrhunderts klare Hinweise auf trockenere Sommer und eine zunehmende Anzahl Hitzetage. Für die Sommermonate gehen die aktuellen Berechnungen von einer Niederschlagsabnahme um 0 bis 40% und von einer Verlängerung der längsten Sommertrockenperiode um 1 bis 9 Tage aus, falls keine griffigen Klimaschutzmassnahmen getroffen werden können (CH2018 2018). Die Anzahl sehr heisser Tage (bezogen auf den Referenzzeitraum 1981–2010)<sup>1</sup> könnte dabei um 12 bis 37 Tage zunehmen. Die Spannweite der berechneten Änderungen anhand der verschiedenen Modelle und Emissionsannahmen ist offensichtlich gross, aber die Richtung ist eindeutig. In Bezug auf Waldbrand und speziell Blitz-

schlagbrand müssen wir davon ausgehen, dass die prognostizierte Häufung von Trockenperioden das Waldbrandrisiko in der ganzen Schweiz deutlich erhöhen dürfte (Moris et al 2020, dieses Heft).

Unsere langjährigen Erfahrungen, unter anderem aus dem Forschungsprogramm Wald und Klimawandel (Pluess et al 2016), in der Untersuchung von schleichenden Klimaänderungen und abrupt auftretenden Witterungsextremen legen dar, dass die Sensitivitäten je nach Waldökosystem sehr unterschiedlich sein können. In den trockenen Waldföhrenwäldern im Wallis beobachten wir seit Jahren, dass einzelne Hitze- und Trockenjahre, wie sie beispielsweise 1947 oder 1976 auftraten, weggesteckt werden können (z.B. Bigler et al 2006), während mehrere aufeinanderfolgende klimatische Extremjahre Auslöser für starke Veränderungen in der Wald-dynamik sind (Rigling et al 2018). Trockenheit, in Kombination mit vorangehenden Stürmen, ist auch der Hauptgrund dafür, dass der Buchdrucker in den vergangenen Jahren die vielerorts standortfremden Fichtenwälder so stark dezimieren konnte (Queloz et al 2019, Jacoby et al 2019). Im Gegensatz zur Waldföhre und zur Fichte verfügen wir im Falle der ausgedehnten Buchen- und Laubmischwälder über wenig Erfahrung, da bis anhin, vor 2018, die Hitze- und Trockenjahre kaum nennenswerte Schäden angerichtet hatten. Wir können daher deren zukünftige Entwicklung nach 2018 nur abschätzen: Bei wiederholtem Auftreten von Extremjahren wie 2018 werden einzelne Baumarten stärker leiden als andere. Damit dürften sich langfristig die Konkurrenzverhältnisse verändern, was gerade in Mischbeständen zu einer Verschiebung der Baumartenanteile führen dürfte. Wir müssen davon ausgehen, dass das kombinierte Auftreten von Trockenheit, Stürmen, Krankheiten und Schädlingen innert kurzer Zeit ganze Landschaften massiv verändern kann und

<sup>1</sup> Als «sehr heiss» gelten per Definition die 1 Prozent heissesten Tage aller Sommer von 1981 bis 2010.

unter anderem auch das Paradigma der stabilen Buchenmischwälder infrage stellt. Die Zukunft unserer grossen Laubwaldgebiete wird also davon abhängen, wie sich die Witterung in den kommenden Jahren entwickelt und wann nach 2003, 2015 und 2018 die nächsten Extremjahre auftreten werden (u.a. Rigling et al 2019).

► **Fazit:** Die Frage stellt sich also, wie sich unsere Wälder an die verändernden Umweltbedingungen anpassen können und was für eine Rolle einzelne extreme Trockensommer dabei spielen. Da mittlerweile klimatische Bedingungen herrschen, die für unsere Generation neuartig sind, stösst unser Erfahrungswissen, und zwar sowohl in der Forschung als auch in der Waldbewirtschaftung, zunehmend an seine Grenzen. Wir sind daher gefordert, die unverhofft auftretenden Hitze- und Trockenjahre zu nutzen, um die Anpassungsfähigkeit unserer Wälder gegenüber Wetterextremen zu untersuchen und daraus zu lernen. Die Erfahrungen mit dem Sommer 2018 sind also eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Szenarien der zukünftigen Waldentwicklung und somit auch für eine zukunftsgerichtete Anpassung der Bewirtschaftungskonzepte.

Wir können von diesen Extremereignissen allerdings nur lernen, wenn wir die ablaufenden Ökosystemreaktionen adäquat erfassen und im langfristigen Kontext auch einordnen und verstehen können. Dies zu bewerkstelligen, ist nicht in der Verantwortung einzelner Personen oder Institutionen, sondern ist eine klassische inter- und transdisziplinäre Aufgabe verschiedenster Fachdisziplinen mit einer aktiven und dadurch auch starken Schnittstelle zwischen Forschung und Anwendung.

Die WSL-Initiative «Trockenheit 2018» muss in diesem Sinne als Ad-hoc-Initiative verstanden werden – das Ausmass der Trockenheit zeichnete sich ab Mitte Juli erst so richtig ab, viele Forschende und Praktiker waren in den Ferien, und plötzlich musste schnell gehandelt werden. In der Eile musste sich ein Überblick verschafft werden, mussten Messungen organisiert und durchgeführt werden, und dies noch bevor die Finanzierung geregelt werden konnte. Zusätzlich zu den ohnehin laufenden längerfristigen Forschungsaktivitäten konnten im Rahmen der Ad-hoc-Initiative wichtige Daten erhoben und schnell ablaufende Prozesse dokumentiert werden. Die in dieser Schwerpunktstrecke präsentierten Erkenntnisse werden einerseits dazu beitragen, die zukünftige Forschung auszurichten, andererseits werden sie in die Entscheidungsfindungsprozesse für die zukünftige Waldbewirtschaftung einfließen. Dies ist gut. Wir dürfen uns aber auch nicht täuschen lassen. Sehr deutlich vor Augen geführt hat uns der Trockensommer 2018 nämlich auch, dass wir trotz langfristigen Monitoring und geschärftem Blick aus dem All solche schnell ablaufenden und komplexen Um-

weltprozesse erst bruchstückhaft und nur mit zeitlicher Verzögerung begreifen. Es fehlen uns beispielsweise zuverlässige, grossflächige und schnell greifbare Angaben zur Bodenwasserverfügbarkeit und zur Baum mortalität. Zudem ist unser Prozessverständnis, auch wenn es punktuell recht tief geht, doch zwangsläufig auf einzelne Regionen und Baumarten fokussiert. Dadurch müssen wir für diejenigen Waldökosysteme, für die wir keine detaillierten Messungen haben, extrapolieren. Und das ist heikel, trotz modernsten Modellierungsansätzen.

Die Schweizer Waldforschung ist nun gefordert, im Dialog mit der Verwaltung, den Praktikern und den politischen Entscheidungsträgern bestehende Lücken in der Datenerfassung und -auswertung zu schliessen, damit zukünftige Extremereignisse rechtzeitig erkannt und zeitnah Massnahmen für die Waldbewirtschaftung abgeleitet werden können. ■

*Eingereicht: 13. Januar 2020, akzeptiert (mit Review): 4. Juni 2020*

## Dank

Wir danken allen, die zur WSL-Initiative «Trockenheit 2018» beigetragen haben, herzlich. Finanziert wurde diese kurzfristige anberaumte Initiative durch Eigenmittel der WSL.

## Literatur

- BAFU, EDITOR (2019)** Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2018. Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Zustand 1907. 40 p.
- BALTENSWEILER A, BRUN P, PRANGA J, PSOMAS A, ZIMMERMANN NE ET AL (2020)** Räumliche Analyse von Trockenheitssymptomen im Schweizer Wald mit Sentinel-2-Satellitendaten. *Schweiz Z Forstwes* 171: 298–301. doi: 10.3188/szf.2020.0298
- BIGLER C, BRÄKER OU, BUGMANN H, DOBBERTIN M, RIGLING A (2006)** Drought as inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9: 330–343.
- BRAUN S, DE WITTE LC, HOPF SE (2020)** Auswirkungen des Trockensommers 2018 auf Flächen der Interkantonalen Wald-dauerbeobachtung. *Schweiz Z Forstwes* 171: 270–280. doi: 10.3188/szf.2020.0270
- BRUNNER MI, LIECHTI K, ZAPPA M (2019)** Extremeness of recent drought events in Switzerland: dependence on variable and return period choice. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 19: 2311–2323.
- CH2018 (2018)** CH2018 – climate scenarios for Switzerland. Zürich: National Centre Climate Services. 271 p.
- FANKHAUSER M, BUCHECKER M (2020)** Akzeptanz von Massnahmen bei Trockenheit: Bevölkerungsbefragung zum Extrem-sommer 2018. *Schweiz Z Forstwes* 171: 288–297. doi: 10.3188/szf.2020.0288
- FORSTER B, ODERMATT O (2019)** Waldschutz Aktuell – 2/2019. Birmensdorf: Eidgenöss. Forschungsanstalt WSL. 2 p.
- JACOBY O, LISCHKE H, WERMELINGER B (2019)** Climate change alters elevational phenology patterns of the European spruce bark beetle (*Ips typographus*). *Glob Chang Biol* 25: 4048–4063.
- LIECHTI K, BARBEN M, ZAPPA M (2019)** Wasserhaushalt der Schweiz im Jahr 2018. Einordnung und Besonderheiten. *Wasser Energie Luft* 111: 93–94.

- METEOSCHWEIZ (2018)** Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Zürich: Meteo-Schweiz, Fachbe 272. 38 p.
- MORIS JV, CONEDERA M, NISI L, PEZZATTI GB (2020)** Blitzschlagbrände und Sommertrockenheit: Gibt es einen Zusammenhang? Schweiz Z Forstwes 171: 281–287. doi: 10.3188/szf.2020.0281
- NIERHAUS-WUNDERWALD D (1995)** Rindenbrütende Insekten an Weisstanne. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, Merkbl Prax 23. 8 p.
- NUSSBAUMER A, MEUSBURGER K, SCHMIDT-OEHLER M, WALDNER P, RIGLING A ET AL (2020)** Extreme summer heat and drought leads to early fruit abortion in European beech. Sci Rep 10: 5334.
- PLUESS AR, AUGUSTIN S, BRANG P, EDITORS (2016)** Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. 447 p.
- QUELOZ V, FORSTER B, BEENKEN L, STROHEKER S, ODERMATT O ET AL (2019)** Waldschutzüberblick 2018. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, Ber 79. 33 p.
- RATHGEB U, BÜRGI M, WOHLGEMUTH T (2020)** Waldschäden wegen Dürre von 1864 bis 2018 in der Schweiz und insbesondere im Kanton Zürich. Schweiz Z Forstwes 171: 249–256. doi: 10.3188/szf.2020.0249
- RIGLING A, SCHAFFER HP, EDITORS (2015)** Waldbericht 2015. Zustand und Nutzung des Schweizer Waldes. Bern: Bundesamt Umwelt. 143 p.
- RIGLING A, MOSER B, FEICHTINGER L, GÄRTNER H, GIUGGIOLA A ET AL (2018)** 20 Jahre Waldföhrensterben im Wallis – Rückblick und aktuelle Resultate. Schweiz Z Forstwes 169: 242–250. doi: 10.3188/szf.2018.0242
- RIGLING A, ETZOLD S, BEBI P, BRANG P, FERRETTI M ET AL (2019)** Wie viel Trockenheit ertragen unsere Wälder? Lehren aus extremen Trockenjahren. In: Bründl M, editor. Wald und Klimawandel. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, Forum Wissen 2019. pp. 39–51.
- ROHNER B, LANZ A, CIOLDI F, MEILE R, THÜRIG E ET AL (2020)** Kronenzustand und Zuwachs in Schweizer Buchenwäldern während der Trockenheit 2018. Schweiz Z Forstwes 171: 306–309. doi: 10.3188/szf.2020.0298
- SENEVIRATNE SI, LEHNER I, GURTZ J, TEULING AJ, LANG H ET AL (2012)** Swiss prealpine Rietholzbach research catchment and lysimeter: 32 year time series and 2003 drought event. Water Resour Res 48: W06526.
- STROHEKER S, FORSTER B, QUELOZ V (2020)** Waldschutz Aktuell – 1/2020. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. 2 p.
- TINNER W, COLOMBAROLI D, HEIRI O, HENNE PD, STEINACHER M ET AL (2013)** The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. Ecol Monogr 83: 419–439.
- WOHLGEMUTH T, KISTLER M, AYMON C, HAGEDORN F, GESSLER A ET AL (2020)** Früher Laubfall der Buche während der Sommertrockenheit 2018: Resistenz oder Schwächesymptom? Schweiz Z Forstwes 171: 257–269. doi: 10.3188/szf.2020.0257
- VITASSE Y, BOTTERO A, CAILLERET M, BIGLER C, FONTI P ET AL (2019)** Contrasting resistance and resilience to extreme drought and late spring frost in five major European tree species. Glob Chang Biol 25: 3781–3792.
- ZAPPA M, BERNHARD L, SPIRIG C, PFAUNDLER M, STAHL K ET AL (2014)** A prototype platform for water resources monitoring and early recognition of critical droughts in Switzerland. Proc Int Ass Hydrol Sci 364: 492–498.
- ZAPPA M, LIECHTI K, WINSTRAL AH, BARBEN M (2019)** Trockenheit in der Schweiz: Vergleich der Jahre 2003, 2015 und 2018. Wasser Energie Luft 111: 95–100.
- ZWEIFEL B, LUCAS C, HAFNER E, TECHEL F, MARTY C ET AL (2019)** Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Hydrologisches Jahr 2018/19. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, Ber 86. 134 p.
- ZWEIFEL R, GINZLER C, PSOMAS A, BRAUN S, WALTHERT L ET AL (2020)** Baumwasserdefizite erreichten im Sommer 2018 Höchstwerte – war das aus dem All erkennbar? Schweiz Z Forstwes 171: 302–305. doi: 10.3188/szf.2020.0298

## Conclusions de la sécheresse de 2018 pour le développement futur des forêts

Un manque de précipitations prononcé en été et en automne 2018 a entraîné une sécheresse généralisée et durable dans une grande partie de la Suisse, en particulier dans le nord-est du Plateau central. Les effets immédiats et à moyen terme de l'été sec de 2018 sur la croissance, l'infestation de ravageurs et de maladies et, finalement, sur la survie de nombreux arbres ont été d'une ampleur jamais vue auparavant dans les forêts suisses. Non seulement l'épicéa, mais aussi le hêtre et les forêts mixtes ont été touchés. Des différences régionales et locales ont été constatées, qui se sont également manifestées dans l'expression spatiale des précipitations et de la sécheresse des sols. Les effets parfois massifs montrent que des événements extrêmes tels que l'année sèche 2018 peuvent jouer un rôle central dans les changements de la composition des forêts liés au climat. D'un point de vue scientifique, il est donc nécessaire de tirer de ces événements extrêmes le plus grand nombre possible de connaissances et d'enseignements afin de pouvoir développer des concepts de gestion forestière adéquats et orientés vers l'avenir. Une initiative de recherche de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL a été lancée avec précisément cet objectif à très court terme au cours de l'été 2018. Le présent article résume les conclusions importantes concernant le développement futur des forêts.

## Findings from the 2018 drought for future forest development

A pronounced deficit in precipitation in the summer and autumn of 2018 led to widespread and long-lasting drought in large parts of Switzerland, particularly in the north-eastern Central Plateau. The immediate and medium-term effects of the dry summer 2018 on growth, pest and disease infestation and ultimately on the survival of many trees were of a previously unseen extent in Swiss forests. Not only spruce, but also beech and mixed forests were affected. Regional and local differences were found, which also manifested themselves in the spatial expression of precipitation and soil dryness. The partly massive effects show that extreme events such as the dry year 2018 can play a central role in climate-related changes in forest composition. From a scientific point of view, it is therefore necessary to draw as many insights and lessons as possible from these extreme events in order to be able to develop adequate, future-oriented forest management concepts. A research initiative of the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL was launched with exactly this goal in the very short term during the summer of 2018. The present article summarizes important findings with regard to future forest development.