

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 171 (2020)

**Heft:** 5

**Artikel:** Baumwasserdefizite erreichten im Sommer 2018 Höchstwerte : war das aus dem All erkennbar?

**Autor:** Zweifel, Roman / Ginzler, Christian / Psomas, Achilleas

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097310>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

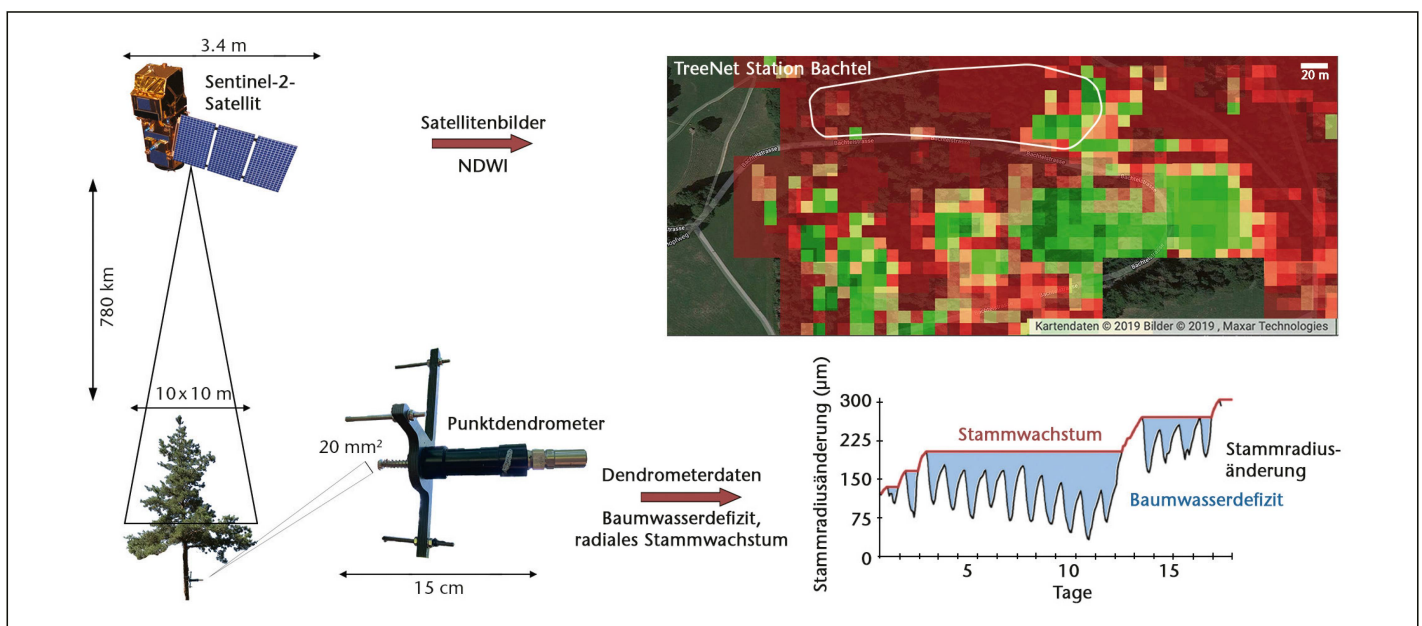
# Baumwasserdefizite erreichten im Sommer 2018 Höchstwerte – war das aus dem All erkennbar?

**Roman Zweifel** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)\*  
**Christian Ginzler** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)  
**Achilleas Psomas** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)  
**Sabine Braun** Institut für angewandte Pflanzenbiologie AG, IAP (CH)  
**Lorenz Walthert** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)  
**Sophia Etzold** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)

Nur gerade 20 mm<sup>2</sup> beträgt im Monitoringnetzwerk TreeNet die Messfläche eines Dendrometers auf der Oberfläche eines Baumstammes, während die Satelliten Sentinel-2 Tausende von Quadratkilometern mit einer Auflösung von 100 m<sup>2</sup> erfassen. Die Daten aus dem Jahr 2018 zeigen, dass die durch die herrschende Trockenheit verursachten, zum Teil extrem hohen Baumwasserdefizite von Einzelbäumen zumindest zum Teil aus dem All zu erkennen waren und unterschiedlich grosse Auswirkungen auf das Stammwachstum hatten. Während das Wachstum der TreeNet-Fichten fast durchwegs einbrach, war dasjenige der im Netzwerk enthaltenen Buchen und Waldföhren uneinheitlich und dasjenige der Eichen eher besser.

doi: 10.3188/szf.2020.0298

\* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail roman.zweifel@wsl.ch



**Abb 1** Eingesetzte Messtechnologien. Die beiden Sentinel-2-Satelliten erfassen aus 780 km Höhe die verschiedenen Wellenlängen des zurückgestrahlten Lichts, woraus sich der NDWI, ein Indikator für den Wassergehalt der Vegetation, berechnen lässt. Der Kartenausschnitt zeigt die Abweichung des NDWI im Sommer 2018 vom Mittelwert der Sommer 2016 und 2017 für einen Fichten-Buchen-Wald im Zürcher Oberland (Station Bachtel; weiss umrandet). Grüne Pixel deuten auf feuchtere, rote Pixel auf trockenere Bedingungen hin (Datenauflösung 10 × 10 m). Ein Punktdendrometer misst Stammradiusänderungen in Mikrometernaueflösung. In der Grafik ist das tägliche Schwellen und Schrumpfen eines Stammes über 18 Tage dokumentiert. Die blauen Flächen zeigen den Verlauf des Baumwasserdefizits, die rote Linie den Verlauf des radialen Stammwachstums. Bild Dendrometer: Roman Zweifel; Bild Satellit: Wikipedia; Karte: Copernicus-Sentinel-Daten (2016–2018)

Die Waldbäume – wie die übrige Vegetation auch – waren im Sommer 2018 in der Schweiz aussergewöhnlichen Bedingungen bezüglich Temperatur und Trockenheit ausgesetzt. Wir verglichen

Messungen an Einzelbäumen aus dem Messnetzwerk TreeNet mit Aufnahmen der Sentinel-2-Satelliten, um die Auswirkungen der damals herrschenden Trockenheit auf die Schweizer Wälder zu

quantifizieren. Wahrlich ein Zusammentreffen von zwei (Daten-)Welten, jedoch mit Potenzial, da mit den beiden Methoden zusammen ein riesiges Spektrum sowohl in der zeitlichen (von Minuten zu

Jahren) als auch in der räumlichen Dimension (von Einzelbäumen zu ganzen Regionen) erfasst werden kann (Abbildung 1). Die räumliche Auflösung der Sentinel-2-Satellitendaten erreicht mit Bildpixeln von 10 × 10 m etwa die Grösse einzelner Baumkronen in einem Wald, was einen direkten Vergleich der Satelliten- mit den Baumdaten erlaubte.

### TreeNet – Baumwasserdefizit und Stammwachstum

Das vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) unterstützte Monitoring- und Forschungsnetzwerk TreeNet<sup>1</sup> erfasst seit bald zehn Jahren, wann und wie schnell Bäume wachsen, und misst über das radiale Schrumpfen der Stämme, wie viel Wasser den Bäumen fehlt bzw. wie gross der Trockenstress einzelner Baumindividuen gerade ist (Etzold & Zweifel 2018). Das Netzwerk umfasst derzeit etwa 350 Waldbäume an 35 Standorten in der Schweiz. Die Stammdaten werden von automatischen Messgeräten, sogenannten Punktdendrometern, in Mikrometernauf- lösung im 10-Minuten-Takt erfasst und über eine Funkverbindung in eine Datenbank im Internet eingespeist, von wo sie in Echtzeit abgerufen und analysiert werden können (Abbildung 1). Diese Zeitreihen bilden die Grundlage für die Analyse von Wachstums- und Wassergehaltsverläufen von Bäumen, zeitlich auflösbar in Jahre, Monate, Tage und gar Stunden.

Tagsüber schrumpfen die Stämme, weil die Bäume mehr Wasser über die Blätter und Nadeln verdunsten, als sie zeitgleich über die Wurzeln aufnehmen können (Abbildung 1). Nachts kehrt sich dieses Verhältnis um, die wasserhaltigen Gewebe wie der Stamm, die Blätter und die Früchte werden wieder gefüllt, und die Stämme dehnen sich wieder aus. Solche Baumwasserdefizite verschwinden komplett über Nacht, wenn die Wasserversorgung aus dem Boden ausreichend ist. Während Trockenperioden hingegen bauen sich Baumwasserdefizite sukzessive auf. Sie können über Tage und Wochen bestehen (siehe die Tage 3 bis 12 in der Grafik in Abbildung 1). Generell gilt, dass der Trockenstress für einen Baum umso grösser ist, je stärker sein Stamm schrumpft und je länger derselbe im geschrumpften Zustand verbleibt.

<sup>1</sup> www.treenet.info (27.4.2020)

Zusätzlich zu diesen reversiblen, wasserbedingten Schrumpfungs- und Schwellungsprozessen erlauben die Daten der Punktdendrometer auch Rückschlüsse auf den irreversiblen Vorgang des radialen Wachstums im Jahresverlauf (Grafik in Abbildung 1). Zellteilung und Zellstreckung sind nur zu Zeiten möglich, in denen kein Baumwasserdefizit herrscht (Zweifel et al 2016). Das bedeutet, dass trockengestresste Bäume nicht wachsen können, womit ihr Stammzuwachs im Vergleich zu Jahren ohne Baumwasserdefizit reduziert ist. Das Baumwasserdefizit kann dementsprechend als biologischer Trockenstressindikator verstanden werden.

### Sentinel-2 – Wassergehaltsindikator NDWI

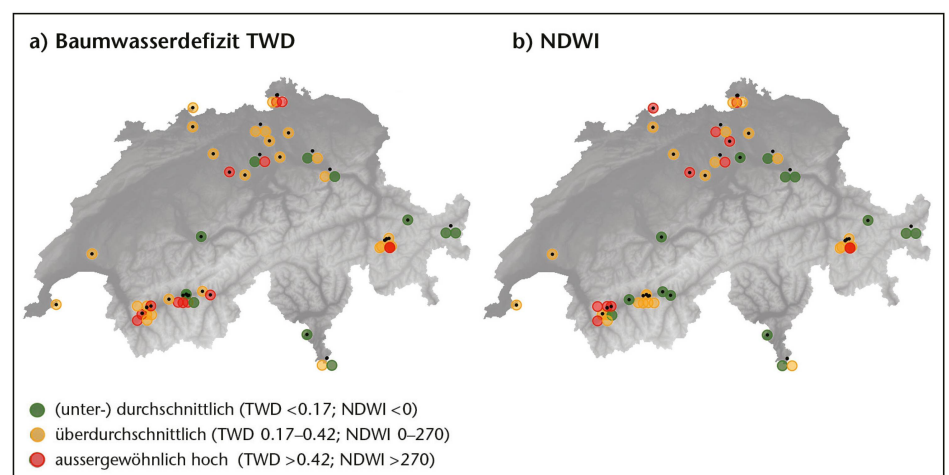
Sentinel-2 ist ein Satellitenpaar, das seit 2015 alle fünf Tage die Reflexion des Sonnenlichts von der Erdoberfläche vom ultravioletten Bereich über das sichtbare Lichtspektrum bis zum kurzwelligen Infrarot für die Umweltbeobachtung erfasst. Je nach den verwendeten Wellenlängen lassen sich verschiedene Indikatoren zum Zustand der Erdoberfläche und der Vegetation berechnen (siehe auch Baltensweiler et al 2020, dieses Heft). Hier verwendeten wir den Normalized Difference Water Index (NDWI), der entwickelt wurde, um den Wassergehalt der Vegetation zu erfassen (Gao 1996), und den wir mit den Daten zum Baumwasserdefizit verglichen. Der NDWI bezieht sich in un-

serer Studie auf einen Radius von 15 m um die Koordinaten der jeweiligen TreeNet-Station bzw. ihrer Plots. Er setzt sich dementsprechend aus jeweils etwa neun NDWI-Messpixeln zusammen. Die NDWI-Daten wurden gefiltert für Waldgebiete und Perioden ohne Bewölkung. Da die TreeNet-Bäume nie direkt am Waldrand gemessen werden, enthalten unsere Daten wenig Randeffekte und repräsentieren daher auch nicht die vielerorts beobachteten extremen Trockenheitsreaktionen der Bäume am Waldrand.

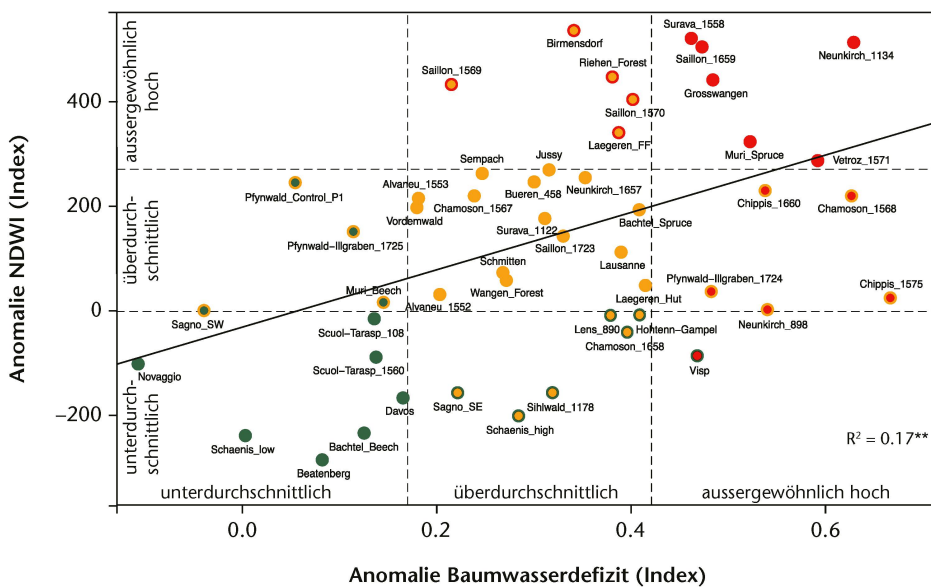
### Der aussergewöhnlich trockene Sommer 2018

Das Baumwasserdefizit wie auch der NDWI erreichten in der zweiten Sommerhälfte (Juli–September) 2018 an vielen TreeNet-Stationen überdurchschnittliche oder gar extrem hohe Werte, die in dieser Häufigkeit in den zehn Jahren des Bestehens des Netzwerkes noch nie gemessen worden waren (Abbildung 2). Viele Waldbäume litten unter starkem Wassermangel und dementsprechend unter grossem Trockenstress.

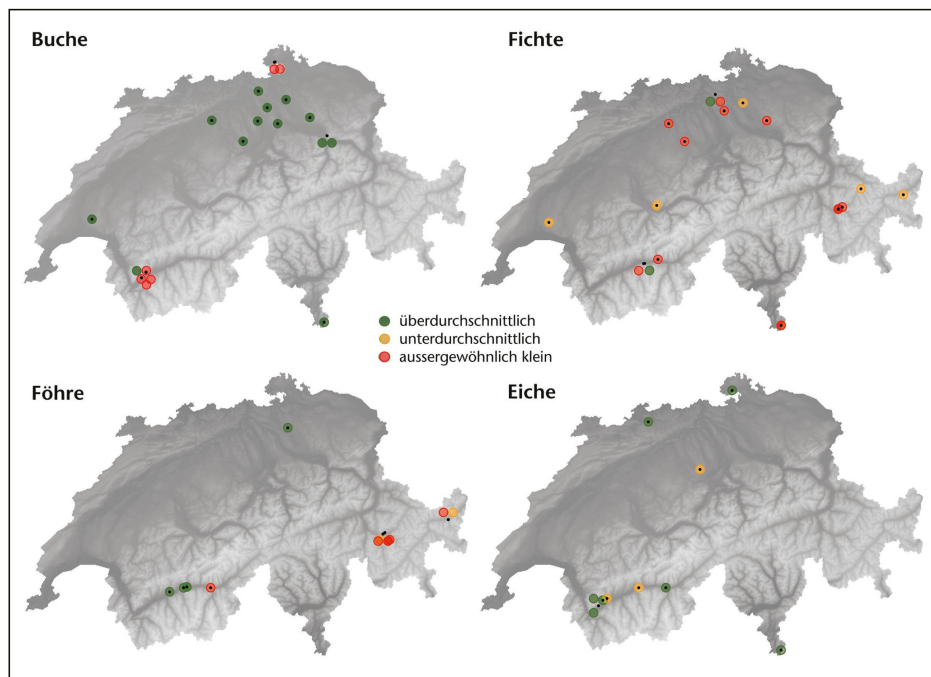
Die Wälder waren jedoch nicht flächendeckend über die ganze Schweiz demselben Stress ausgesetzt, vielmehr variierte der Stress zwischen den Regionen, den Waldgebieten und auch innerhalb von einzelnen Wäldern. Die höchsten Baumwasserdefizite waren im nördlichen Mittelland und in Teilen des Wallis zu verzeichnen (Abbildung 2a). Weniger betroffen waren die Bäume der TreeNet-



**Abb 2** Trockenstressintensität an den TreeNet-Stationen im Jahr 2018 (Mittelwert Juli bis September) im Vergleich zu den Vorjahren (Mittelwert 2015 bis 2017). a) Baumwasserdefizit TWD (von Tree Water Deficit) von Einzelbäumen verschiedener Arten, gemessen mit Punktdendrometern. b) NDWI (Normalized Difference Water Index, ermittelt aus Satellitenbildern). Die schwarzen Punkte bezeichnen die Koordinaten der TreeNet-Stationen. Unterschiedliche Plot-Expositionen innerhalb einer Station sind jeweils mit einem separaten Farbkreis dargestellt.



**Abb 3** Streudiagramm der Anomalien des Baumwasserdefizits TWD und des entsprechenden NDWI (Normalized Difference Water Index). Jeder Punkt repräsentiert eine TreeNet-Station bzw. deren Plots, wo vorhanden. Die Füllfarbe der Punkte entspricht dem Baumwasserdefizit, die Randfarbe dem NDWI. Die gepunkteten Linien trennen die verschiedenen Anomaliegruppen. Regressionslinie in schwarz.  
 \*\* statistisch signifikante Beziehung  $p < 0.01$ .



**Abb 4** Abweichung des radialen Stammwachstums des Jahres 2018 von den Vorjahren (Mittelwert 2015 bis 2017) von Buche, Fichte, Waldföhre und verschiedenen Eichenarten bei den TreeNet-Stationen. Die schwarzen Punkte bezeichnen die Koordinaten der TreeNet-Stationen. Unterschiedliche Plots innerhalb einer Station sind jeweils mit einem separaten Farbkreis dargestellt.

Stationen in den Voralpen, in den höheren Lagen der Alpen und auf der Alpensüdseite. Zudem gab es in allen Regionen sowohl positive als auch negative Abweichungen vom generellen Bild. Diese dürften einerseits mit standörtlichen Unterschieden und andererseits mit unterschiedlichen Niederschlagsmustern während des Sommers 2018 zu tun haben. An

einigen Orten haben wohl lokale Gewitter zu einer Verringerung des Baumwasserdefizits geführt. Vereinzelt gab es wegen Expositionsunterschieden sogar innerhalb einer TreeNet-Station unterschiedlich grossen Trockenstress.

Auch bei den NDWI-Daten sind die regionalen Unterschiede in der Trockenstressintensität klar zu erkennen (Abbil-

dung 2b). Die Anomalien decken sich teilweise sehr gut mit denjenigen des Baumwasserdefizits (Abbildung 2a). Eine lineare Regression der beiden Datensätze erklärt etwa 17% der Variation (Abbildung 3). Der Zusammenhang ist statistisch signifikant, aber doch eher tief und wird punktuell noch zusätzlich durch eindeutige Unterschiede zwischen den beiden Datensätzen gestört, zum Beispiel bei den Stationen Chippis und Pfywald im Wallis (Abbildungen 2 und 3).

Die genauen Ursachen für die Abweichungen sind noch nicht im Detail bekannt, dürften aber mit Ungenauigkeiten bzw. Nichtlinearitäten in den Messbereichen der beiden Methoden und mit Standortcharakteristiken (Trockenheit des Standorts, Baumhöhe, Bestandesdichte, Hangneigung usw.) zu tun haben. Zudem erfasst der NDWI hauptsächlich die Kronenoberfläche, wohingegen das Baumwasserdefizit am Stamm auf Brusthöhe gemessen wird. Tendenziell die besten Übereinstimmungen zwischen den beiden Datensätzen wurden an relativ trockenen Standorten mit relativ kleinwüchsigen Laubbäumen gefunden. Weniger gute Übereinstimmungen zeigten dichte Wälder mit hohen Bäumen auf gut wasser versorgten Standorten. Aufgrund der Heterogenität der Resultate sind diese Aussagen aber nicht statistisch signifikant.

#### Die Auswirkungen auf das Stammwachstum

Die beiden Trockenstressindikatoren Baumwasserdefizit und NDWI zeigten keine nachweisbare Abhängigkeit von der Baumartenzusammensetzung eines Waldes, das heisst, die Baumarten eines Standortes erklärten die unterschiedlichen Trockenstressintensitäten nicht. Das radiale Stammwachstum hingegen zeigte im Jahr 2018 eine stark artspezifische Ausprägung (Abbildung 4). Während die Fichten im TreeNet-Messnetz mit ganz wenigen Ausnahmen grosse bis sehr grosse Wachstumsreduktionen (im Mittel -30% im Vergleich zu den Jahren 2015 bis 2017) über die ganze Schweiz und auch bis in höhere Lagen zeigten, waren andere Baumarten weit weniger stark oder weniger einheitlich betroffen. Der Grund dafür liegt darin, dass die Fichte eine Baumart ist, die in normalen Jahren einen relativ grossen Anteil ihres jährlichen Wachstums nach dem 1. Juli macht (im Mittel 40%). Die Buche,

die Waldföhre und die Eiche leisten dagegen in normalen Jahren im Durchschnitt nur 23%, 30% und 17% ihres Zuwachses nach dem 1. Juli, sodass sie von den extremen Bedingungen des Sommers 2018 weniger betroffen waren (TreeNet-Daten 2015–2018, nicht dargestellt).

Die Buche zeigte im Jahr 2018 bei vielen TreeNet-Stationen ein überdurchschnittliches Wachstum (im Mittel +30%). Bei den Stationen im Kanton Schaffhausen und im Unterwallis erlitt sie jedoch einen starken Wachstumseinbruch (–70%; Abbildung 4). Wie kürzlich in mehreren Studien gezeigt, ist die Buche hitzetolerant (Etzold & Zweifel 2018, Burri et al 2019). Dies gilt allerdings nur bis zu einem gewissen Punkt an Bodentrockenheit. Wird dieser überschritten, kann dies fatale Auswirkungen haben und gar zum Absterben der Bäume führen (Braun et al 2020, dieses Heft). Weiter kann man aufgrund eines starken Stammwachstums in der ersten Jahreshälfte nicht ausschliessen, dass diese Bäume in der zweiten Jahreshälfte unter der Trockenheit litten und sich die Auswirkungen auf das Stammwachstum erst ein Jahr später zeigen könnten.

Das robuste Stammwachstum der TreeNet-Eichen (mehrere Arten) im Jahr 2018 bestätigte das Bild, dass Eichen Trockenheit gut ertragen. Das Wachstum der Eiche war nur bei wenigen Stationen unterdurchschnittlich. Bei den meisten Stationen wuchs die Eiche überdurchschnittlich gut (im Mittel +12%), und das speziell auch in den beiden Regionen Schaffhausen und Unterwallis, wo die TreeNet-Buchen kaum mehr radialen Stammzuwachs hatten.

Bei den TreeNet-Waldföhren war das Stammwachstum im Jahr 2018 vor allem in Graubünden stark unterdurchschnittlich, und dies auch bei Stationen, die weder bezüglich Baumwasserdefizit noch bezüglich NDWI als besonders trocken aufgefallen waren. Eine einfache Erklärung dafür gibt es bis jetzt nicht. Allerdings ist das Baumwachstum generell eine Grösse, die bei allen Baumarten auch stark von den Vorjahresbedingungen abhängt. Das Wachstum ist deshalb eine kombinierte Reaktion auf die aktuellen Bedingungen und auf jene der Vorjahre, was möglicherweise ein Erklärungsansatz für das beobachtete Waldföhrenwachstum liefern könnte.

## Fazit

Die Auswirkungen des trockenen und heissen Sommers 2018 auf den Baumwasserhaushalt konnten sowohl mit den Messgeräten an Einzelbäumen als auch mit den Satellitenbildern detektiert werden. Die Übereinstimmung der beiden daraus abgeleiteten Trockenstressindikatoren variiert allerdings je nach Standort von sehr gut bis sehr bescheiden und erfordert weitere Forschungsanstrengungen, um Ungenauigkeiten und Verzerrungen in den beiden Datensätzen zu minimieren oder um an neuen, verbesserten Indikatoren zu arbeiten. Das Ziel soll weiterhin sein, flächendeckende Informationen zum Baumwasserhaushalt aus Satellitenbildern generieren zu können.

Der extreme Sommer 2018 verursachte in den Waldökosystemen der Schweiz Wasserdefizite, die in dieser Intensität im TreeNet-Messnetz noch nie gemessen wurden. Die Auswirkungen auf das Stammwachstum von Waldbäumen fielen sehr unterschiedlich aus und variierten von sehr negativ (Fichte) über uneinheitlich (Waldföhre und Buche) bis neutral oder leicht positiv (Eiche). Auswirkungen solcher Extremereignisse gehen aber erfahrungsgemäss über das Trockenjahr hinaus, weshalb eine umfassende Analyse auch die kommenden Jahre mitberücksichtigen muss, um ein abschliessendes Fazit über den Sommer 2018 ziehen zu können. ■

## Literatur

- 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
- BRAUN S, DE WITTE LC, HOPF SE (2020) Auswirkungen des Trockensommers 2018 auf Flächen der Interkantonalen Walddauerbeobachtung. *Schweiz Z Forstwes* 171: 270–280. doi: 10.3188/szf.2020.0270
- BURRI S, HAELER E, EUGSTER W, HAENI M, ETZOLD S ET AL (2019) How did Swiss forest trees respond to the hot summer 2015? *Die Erde* 150: 214–229.
- ETZOLD S, ZWEIFEL R (2018) TreeNet. Daten und Analysen der ersten fünf Messjahre. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch. anstalt WSL, Ber 72. 69 p.
- GAO BC (1996) NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens Environ* 58: 257–266.
- ZWEIFEL R, HAENI M, BUCHMANN N, EUGSTER W (2016) Are trees able to grow in periods of stem shrinkage? *New Phytol* 211: 839–849.

## Les déficits hydriques des arbres ont atteint des valeurs maximales durant l'été 2018 – était-ce visible depuis l'espace?

Dans le réseau de surveillance TreeNet, un dendromètre ne couvre que 20 mm<sup>2</sup> de la surface d'un tronc d'arbre, tandis que les satellites Sentinel-2 enregistrent des milliers de kilomètres carrés avec une résolution de 100 m<sup>2</sup>. Les données de 2018 montrent que les déficits hydriques extrêmement élevés causés par la sécheresse et mesurés sur les arbres individuels ont pu être détectés au moins en partie depuis l'espace, et qu'ils ont eu un impact plus ou moins important sur la croissance annuelle du tronc. Au sein du réseau TreeNet, alors que la croissance des épicéas s'est presque complètement effondrée, celle des hêtres et des pins sylvestres a été inégale et celle des chênes plutôt meilleure. Cependant, les deux indicateurs de stress lié à la sécheresse concordent plus ou moins bien selon les endroits. Des efforts de recherche supplémentaires sont nécessaires afin de réduire les inexactitudes et les distorsions dans les deux jeux de données, ou pour élaborer de nouveaux indicateurs encore plus pertinents. L'objectif demeure la production d'informations sur le bilan hydrique des arbres sur de vastes superficies à partir d'images satellites.