

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 171 (2020)

Heft: 5

Artikel: Räumliche Analyse von Trockenheitssymptomen im Schweizer Wald mit Sentinel-2-Satellitendaten

Autor: Baltensweiler, Andri / Brun, Philipp / Pranga, Joanna

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097309>

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>

Räumliche Analyse von Trockenheitssymptomen im Schweizer Wald mit Sentinel-2-Satellitendaten

Andri Baltensweiler Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)*
Philipp Brun Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Joanna Pranga Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Achilleas Psomas Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Niklaus E. Zimmermann Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
Christian Ginzler Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)

Multispektrale Satellitenbilder in hoher zeitlicher Wiederholung wurden genutzt, um die Gebiete in der Schweiz zu ermitteln, in denen die Buchen, aber auch die Nadelbäume besonders stark von der im Sommer 2018 herrschenden Trockenheit betroffen waren. Hierfür wurden aus den Satellitenbildern Vegetationsindizes berechnet und Schwellenwerte für Trockenheitssymptome wie die vorzeitige Verbraunung abgeleitet. Durch die freie Verfügbarkeit der Sentinel-2-Daten des Copernicus-Programms und von Cloud-Plattformen wie Google Earth Engine konnten die Analysen rasch durchgeführt werden.

doi: 10.3188/szf.2020.0298

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail andri.baltensweiler@wsl.ch

Der trockene und heisse Sommer 2018 verursachte bei verschiedenen Baumarten eine vorzeitige Blattverfärbung. Besonders bei der Buche war vielerorts bereits ab Mitte Juli eine Verbraunung festzustellen. Die Trockenheitssymptome waren jedoch regional unterschiedlich häufig zu beobachten. In gewissen Regionen waren ganze Gruppen von Buchen vorzeitig verbraunt (Abbildung 1), während in anderen nur einzelne Bäume Trockenheitssymptome zeigten oder gar keine Symptome erkennbar waren. Um die räumlichen Muster und die Verbreitung betroffener Bäume zu erfassen, ist die terrestrische Beobachtung nur beschränkt geeignet, da sie sehr aufwendig und teuer ist. Daten und Methoden der Fernerkundung erlauben uns aber, zeitnah und mit einer hohen räumlichen Auflösung Informationen über die Bodenbedeckung zu erhalten. Sensoren auf verschiedenen Plattformen, zum Beispiel Satelliten oder Drohnen, messen die Reflexion elektromagnetischer Strahlung, wodurch die Vitalität von Pflanzen erfasst werden kann.

Um die Auswirkungen eines trockenen und heissen Sommers auf den Schweizer Wald mithilfe von multispektralen Satelliten-



Abb 1 Verbraunte Buchen am 15. August 2018 bei Stetten im Kanton Schaffhausen. Foto: Ulrich Wasem/WSL

tenbildern zu analysieren, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Die räumliche Auflösung der Satellitenbilder muss genügend hoch sein, um die Kronen von einzelnen Bäumen oder von kleinen Baumgruppen abzubilden. Zudem sollten die Satellitenbilder möglichst grosse Gebiete abdecken, und das Satellitensystem sollte eine hohe Überflugre-

quenz aufweisen. Die hohe zeitliche Auflösung ist wichtig, um den Zustand des Waldes über die gesamte Schweiz möglichst zum gleichen Zeitpunkt zu erfassen, da für eine gesamtschweizerische Analyse immer mehrere Satellitenbilder verwendet werden müssen. Zusätzlich wird mit einer hohen zeitlichen Auflösung der Satellitendaten sichergestellt, dass die Informatio-

nen zu relevanten Zeitpunkten zur Verfügung stehen, also zum Beispiel nach dem vollen Blattaustrieb im Frühling oder zur Ermittlung der vorzeitigen Blattverfärbung im Spätsommer 2018, vor der normalen Blattverfärbung im Herbst. Die hohe zeitliche Auflösung erhöht auch die Chance, möglichst wolkenfreie Satellitenbilder zu erhalten.

Satellitendaten

Einige Satellitenprogramme existieren bereits seit vielen Jahren. So ist es möglich, den Zustand des Blattgrüns im gleichen Zeitfenster über verschiedene Jahre zu analysieren und Unterschiede festzustellen. Für die Analysen zur Trockenheit 2018 wurden Sentinel-2-Daten verwendet. Im Rahmen des europäischen Erdbeobachtungsprogramms «Copernicus» wurden 2015 und 2017 die zwei baugleichen Satelliten Sentinel-2A und Sentinel-2B gestartet. Die beiden Satelliten umkreisen die Erde in der gleichen Umlaufbahn, jedoch um 180 Grad versetzt. In Kombination mit den 290 km breiten Aufnahmestreifen ermöglicht das eine hohe zeitliche und räumliche Abdeckung. Von der Schweiz werden seit 2017 alle zwei bis drei Tage Bilder aufgenommen. Dank der sonnensynchronen Umlaufbahn werden die gleichen Gebiete immer zur gleichen Ortszeit überflogen und bieten durch ähnliche Beleuchtungsverhältnisse gute Voraussetzungen, Veränderungen in der Vegetation festzustellen. Die beiden Sentinel-2-Satelliten erfassen die Spektralinformationen in 13 verschiedenen Bereichen, wobei die für die Vegetationsanalysen wichtigen Bänder im sichtbaren Bereich sowie im nahen und im mittleren Infrarot mit einer räumlichen Auflösung ab 10 m erfasst werden. Alle Sentinel-2-Daten stehen kostenlos zur Verfügung.

Vegetationsindizes

Um den Zustand der Vegetation zu erfassen, wurden Vegetationsindizes (VI) aus dem Verhältnis verschiedener Spektralbänder abgeleitet. Der bekannteste VI ist der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), der das Verhältnis vom roten Wellenlängenspektrum zum nahen Infrarotbereich abbildet. In diesen Wellenbereichen ist die Reflexion elektromagnetischer Strahlung stark vom Chlorophyllgehalt und von der Blattstruktur der Pflanzen abhängig. Als weiterer VI wurde

der Normalized Difference Water Index (NDWI) berechnet. Bei diesem Index werden die Spektralbänder im nahen und im mittleren Infrarot verwendet. Der NDVI kann als Indikator für die Vitalität und Produktivität der Vegetation verwendet werden (Pettorelli 2013), während sich der NDWI eignet, um den Wassergehalt in der Vegetation abzuschätzen (Gao 1996).

Referenzdaten

Um terrestrische Referenzdaten aufzunehmen, hat die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) im Zeitraum von August bis September 2018 rund 1230 Buchen in den Gebieten Schaffhausen, Basel und Zürich hinsichtlich einer vorzeitigen Blattverfärbung beurteilt (Wohlgemuth et al 2020, Rohner et al 2020, beide dieses Heft). Es wurden sowohl betroffene (verfärbte) als auch nicht betroffene (grüne) Buchen aufgenommen. Etwa 870 Buchen zeigten eine vorzeitige Blattverfärbung. Alle beurteilten Bäume waren Teil des Kronendaches und wurden mit einem präzisen GPS eingemessen. Zusätzlich zu den terrestrisch erhobenen Referenzdaten wurden auf hochaufgelösten Fernerkundungsdaten am Bildschirm grüne und braune Baumkronen identifiziert. Dafür wurden Daten von Planet¹ und von Google Earth verwendet. Planet zeichnet mittels einer grossen Anzahl von sehr kleinen Satelliten (CubeSats) täglich Bilder mit einer Auflösung von 3 bis 4 m auf. Die Satellitenbilder auf Google Earth haben oft höhere, aber unterschiedliche Auflösungen und sind zudem von unterschiedlicher Aktualität.

Datenanalyse

Mithilfe der cloudbasierten Analyseplattform Google Earth Engine (GEE) kann auf umfangreiche Satellitendaten, die im Petabyte-Bereich liegen, zugegriffen werden. Gleichzeitig unterstützt GEE die hocheffiziente Analyse und Verarbeitung dieser Daten durch cloudbasierte Rechen-services mit grosser Rechenleistung. Im ersten Schritt wurden die radiometrisch und geometrisch korrigierten Sentinel-2-Satellitenbilder zeitlich, räumlich und nach Wolkenbedeckungsgrad gefiltert und als Rastermosaik gespeichert. Im zweiten Schritt wurden die VI schweizweit berechnet.

Für den Vergleich mit vergangenen Jahren wurden der NDVI und der NDWI für verschiedene Zeitpunkte in der Periode Juni bis September 2018 berechnet und den entsprechenden Zeiträumen von 2016 und 2017 gegenübergestellt. Zeigte sich eine grosse Abnahme von 2018 zu den Vorjahren, liess dies auf Trockenheitssymptome schliessen. Mit der Ableitung der VI an den Standorten der terrestrischen Referenzdaten, separiert für grüne und vorzeitig verfärbte Buchen, war es möglich, einen Schwellenwert zu bestimmen und so die Buchen schweizweit bezüglich Trockenheitssymptomen zu klassifizieren. Wir kombinierten dazu neben Differenzen der VI zu den Vorjahren auch die Entwicklung der VI innerhalb eines Jahres.

Für die Analyse des Zeitpunktes der Verfärbungen wurde getestet, ob der NDVI der Vegetationsperiode 2018 in

¹ www.planet.com (1.5.2020)

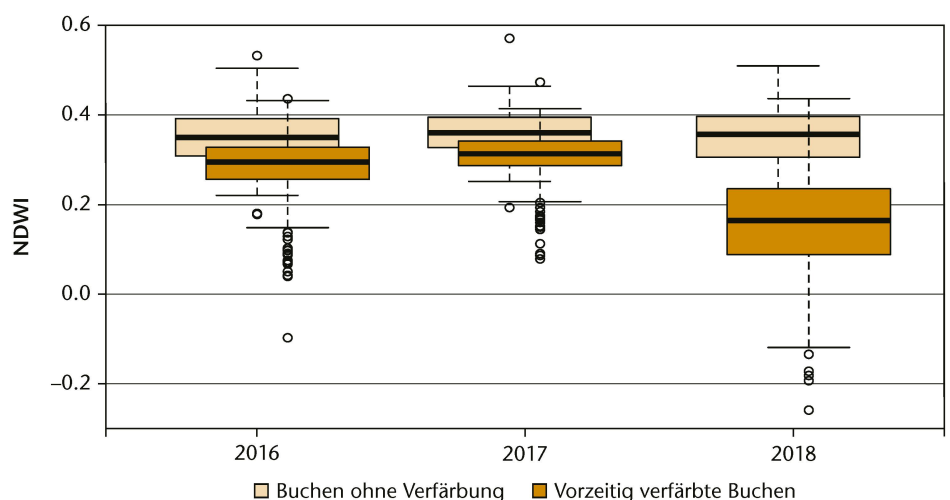


Abb 2 NDWI-Werte vom 15. August bis 20. September der Jahre 2016, 2017 und 2018 für beobachtete Buchen mit vorzeitiger und ohne vorzeitige Verfärbung im Jahr 2018. Je höher die NDWI-Werte sind, desto grösser ist der Wassergehalt der Vegetation.

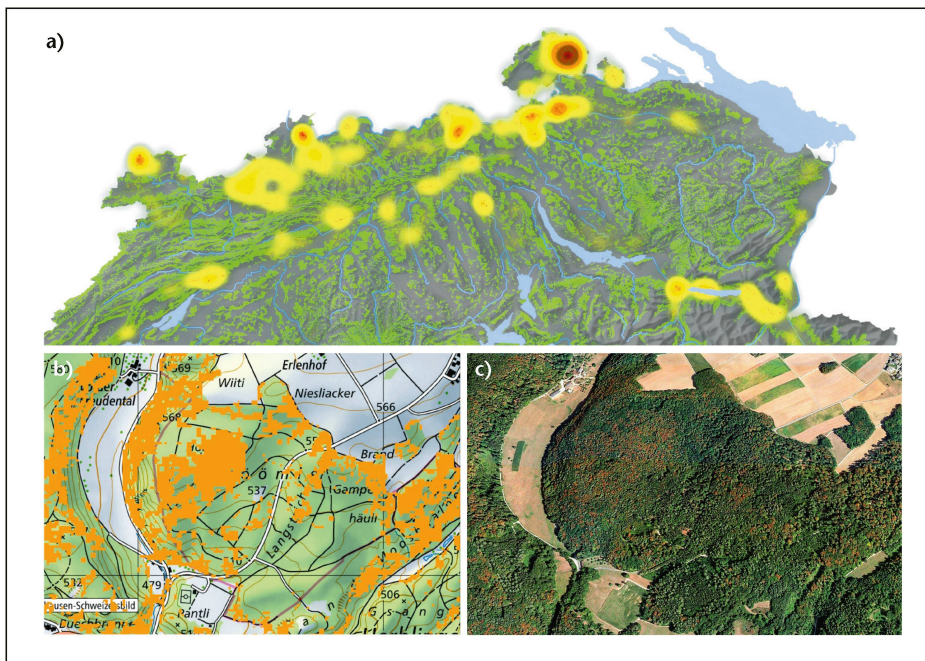


Abb 3 a) Generalisierte Dichtekarte der vorzeitig verfärbten Buchen (von gelb nach braun: zunehmende Dichte; grüne Flächen: potenzielles Buchenvorkommen). b) Kartenausschnitt mit vorzeitig verfärbten Buchen (orange) detektiert bei Stetten im Kanton Schaffhausen (Hintergrund: Swiss Map Raster ©2020 swisstopo, 5704 000 000). c) Google-Earth-Satellitenbild vom 31. Juli 2018 für den in b) gezeigten Ausschnitt.

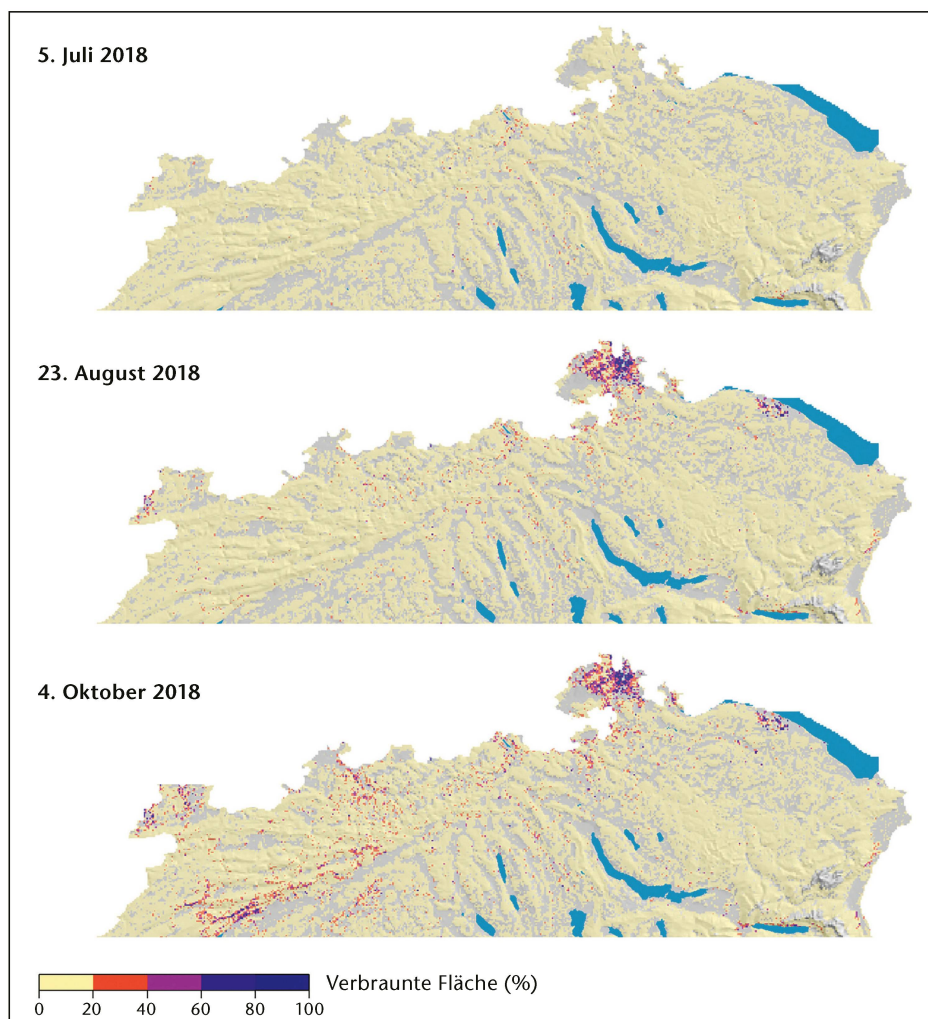


Abb 4 Zeitliche und räumliche Entwicklung der Verbraunung basierend auf den NDVI-Analysen der Sentinel-2-Zeitreihe 2018 in den nördlichen Landesteilen der Schweiz.

zwei Phasen mit linearem Trend unterteilt werden kann und zu welchem Zeitpunkt ein solcher Phasenwechsel am wahrscheinlichsten war. Dieser Ansatz basiert auf der Annahme, dass verbrauchte Baumkronen zu Beginn der Vegetationsperiode noch grün waren (Phase mit hohem NDVI) und die Verbraunung rasch eintrat (relativ abrupter Übergang zu einem tieferen NDVI). Als Referenz- und Trainingsdaten wurden einzelne Baumkronen verwendet, deren Position in den Planet- und Google-Earth-Satellitenbildern markiert worden war. Bei diesem Ansatz wurde nicht nach Baumarten differenziert.

Resultate

Bei den Buchen, bei denen im Jahr 2018 keine vorzeitige Verfärbung beobachtet wurde, war der NDWI in den Jahren 2016, 2017 und 2018 in der Zeitperiode vom 15. August bis zum 20. September gleich hoch. Bei den vorzeitig verfärbten Buchen war der NDWI dagegen in dieser Zeitperiode des Jahres 2018 signifikant tiefer als in den beiden Jahren zuvor (Abbildung 2). Das zeigt, dass mit dem NDWI eine vorzeitige Blattverfärbung bei der Buche detektiert werden kann. Es fällt im Weiteren auf, dass der NDWI bei den vorzeitig verfärbten Buchen bereits in den Vorjahren tendenziell geringer als bei den nicht verfärbten Buchen war. Das könnte dahingehend interpretiert werden, dass die Buchen ohne Trockenheitssymptome generell auf besser mit Wasser versorgten Standorten stocken.

Anhand der Kombination der NDWI- und NDVI-Schwellenwerte konnten die Buchen mit vorzeitiger Blattverfärbung schweizweit ermittelt werden (Abbildung 3). Die Kartierung wurde mittels einer Buchenverbreitungskarte (Wüest et al 2020) auf Buchenstandorte eingeschränkt. Die Übersichtskarte zeigt, dass die Buchen vor allem in den nördlichen Landesteilen, von Schaffhausen an rheinabwärts Richtung Basel sowie in Teilen des Juras, von der Trockenheit betroffen waren. Aber auch um den Walensee und in der Region Sargans waren vorzeitig verfärbte Buchen zu verzeichnen. Generell stimmten die mit den VI klassifizierten verbrauchten Buchen gut mit visuell erkennbaren Verfärbungen auf den Google-Earth-Satellitenbildern, die für gewisse Regionen für Ende Juli/Anfang August 2018 zur Verfügung standen, überein (Ab-

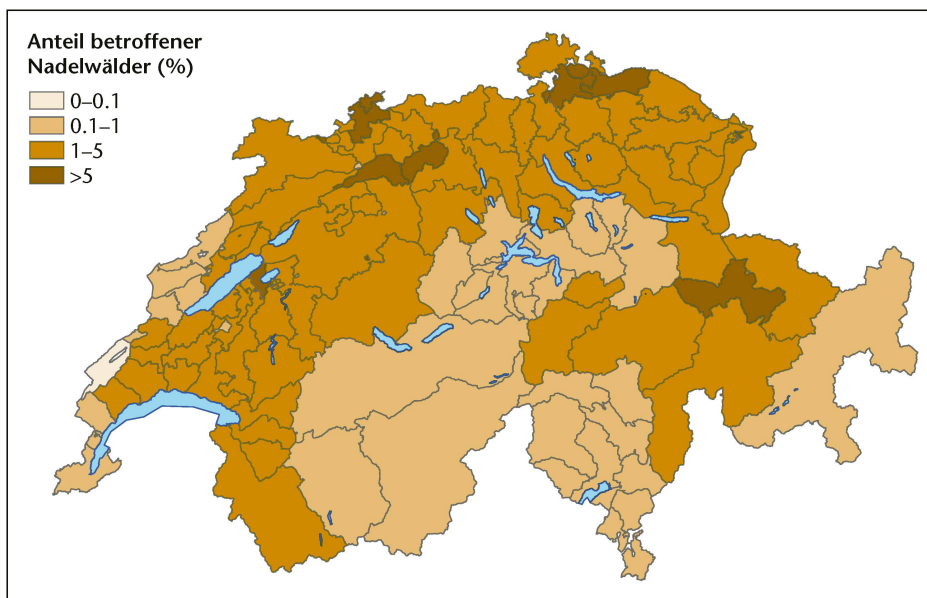


Abb 5 Anteil der Nadelwälder (Nadelanteil >90% an der Kronenoberfläche) pro Forstkreis mit deutlich reduziertem NDWI im Sommer 2018 im Vergleich zur Vergleichsperiode der Jahre 2016 und 2017.

bildungen 3b und 3c). Bei der schweizweiten Klassifikation kann eine Abnahme der VI-Werte aber auch aus anderen Gründen erfolgen, zum Beispiel durch Holzschlag. Eine solche Veränderung ist jedoch nur schwierig von einer trockenheitsbedingten Reduktion zu unterscheiden. Auch bleibt die Detektion der Blattverfärbung bei Einzelbäumen eine Herausforderung, trotz der hohen räumlichen Auflösung der Sentinel-2-Satellitenbilder.

Die Analyse des Zeitpunktes der Verbraunung mithilfe des NDVI zeigte ein erstes Auftreten Anfang Juli 2018 in der Gegend nördlich von Baden, anschliessend ab August in Schaffhausen (Abbildung 4). Ab Ende August waren auch die nordwestlichen Landesteile betroffen.

Nicht nur in Buchen- bzw. Laubwäldern mit deutlich sichtbaren Verfärbungen, sondern auch in Nadelwäldern lassen sich Trockenheitssymptome mithilfe des NDWI ermitteln. In vielen Nadelwäldern der Schweiz (Nadelanteil >90% gemäss Luftbild-Mischungsgrad LFI; Wasser et al 2017) war der NDWI im Sommer 2018 deutlich tiefer als in der Vergleichsperiode der beiden Jahre zuvor. Dabei waren auch bei den Nadelbäumen die nördlichen und die östlichen Landesteile besonders betroffen, zudem auch Forstkreise bei Chur (Abbildung 5).

Schlussfolgerungen

Die Zeitreihen der frei zugänglichen Sentinel-2-Satellitenbilder eigneten sich zur

Modellierung und zur schweizweiten Detektion räumlicher und zeitlicher Muster der vorzeitigen Blattverfärbung bei der Buche im Trockenheitsjahr 2018. Anhand des NDWI konnten signifikante Unterschiede zwischen nicht betroffenen und vorzeitig verfärbten Buchen ermittelt werden. Auch für die Nadelwälder konnten Gebiete mit deutlich reduziertem NDWI bestimmt werden, obschon bei diesen eine Verfärbung oder ein Nadelverlust im Herbst 2018 nicht sichtbar war. Die hier angewendete Methode kann auch für andere Fragestellungen genutzt werden. Zum Beispiel werden aktuell Analysen mit Satellitenbildern durchgeführt, um Fichtenstandorte zu erfassen, die im Jahr 2019 besonders stark durch Borkenkäfer befallen waren. ■

Literatur

- GAO BC (1996) NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens Environ* 58: 257–266.
- PETTORELLI N (2013) *The Normalized Difference Vegetation Index*. Oxford: Oxford Univ Press. 206 p.
- 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
- WASER LT, GINZLER C, REHUSH N (2017) Wall-to-wall tree type mapping from countrywide airborne remote sensing surveys. *Remote Sensing* 9: 766.

- WÜEST RO, BERGAMINI A, BOLLMANN K, BALTENSWEILER A (2020) LiDAR data as a proxy for light availability improve distribution modelling of woody species. *For Ecol Manage* 456: 117644.
- WOHLGEMUTH T, KISTLER M, AYMOUN 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

Analyse spatiale des symptômes de sécheresse dans la forêt suisse avec les données des satellites Sentinel-2

Les images satellites multispectrales à haute résolution spatiale et temporelle sont appropriées pour analyser les effets de la sécheresse sur les forêts. C'est pourquoi nous avons utilisé les images des satellites Sentinel-2 et en avons dérivé les indices de végétation «Normalized Difference Vegetation Index» (NDVI) et «Normalized Difference Water Index» (NDWI). À l'aide de ces indices, on peut estimer la vitalité et la teneur en eau de la végétation. Les indices ont été calculés à différentes dates de l'été 2018 et comparés avec ceux des dates correspondantes des deux années précédentes. En recoupant avec les enquêtes de terrain, nous avons déterminé une valeur seuil pour les hêtres présentant des symptômes de sécheresse. Les résultats montrent que le NDWI est particulièrement bien adapté pour détecter la décoloration précoce des houppiers de hêtres. Pour une cartographie nationale des hêtres présentant des symptômes de sécheresse, nous avons combiné différentes valeurs de seuil basées sur le NDWI et le NDVI. La carte dérivée indique que la sécheresse a surtout touché les hêtraies du nord de la Suisse près de Schaffhouse, le long du Rhin en direction de Bâle et du nord de l'Ajoie. La première apparition de décolorations foliaires a eu lieu début juillet au nord de Baden, suivie par Schaffhouse. Le NDWI a aussi permis d'identifier les peuplements de résineux présentant des symptômes de sécheresse en 2018. Les possibilités d'analyses basées sur les images Sentinel-2 sont vastes. Actuellement, nous les employons pour identifier par exemple les stations et les peuplements qui ont été particulièrement infestés par les scolytes en 2019.