

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 170 (2019)

Heft: 2

Artikel: Lokalisierung von Windwürfen mit Sentinel-1A/B-Daten : ein Versuch nach "Burglind"

Autor: Rüetschi, Marius / Small, David / Waser, Lars T.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097333>

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>

Lokalisierung von Windwürfen mit Sentinel-1A/B-Daten: ein Versuch nach «Burglind»

Marius Rüetschi Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
David Small Geographisches Institut, Universität Zürich (CH)
Lars T. Waser Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Christian Ginzler Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*

Die satellitengestützte Fernerkundung hat das Potenzial, nach einem Sturmereignis rasch und kostengünstig eine grobe Übersicht über die entstandenen Windwürfe zu ermöglichen. Ein neuartiges Verfahren wurde entwickelt, das sich der frei verfügbaren Radardaten des Satellitenpaars Sentinel-1A/B bedient. Im vorliegenden Artikel wird über die Erfahrungen der grossflächigen Anwendung im Zuge des Sturms Burglind berichtet.

doi: 10.3188/szf.2019.0094

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail christian.ginzler@wsl.ch

Die in den Wintermonaten durch Mittel- und Nordeuropa ziehenden Sturmtiefs können zu erheblichen Schäden am Wald führen. Die Orkane Vivian (28.2.1990) und Lothar (26.12.1999), aber auch die Stürme Burglind (3.1.2018) und Vaia (30.10.2018) zeugen davon. Um die Schäden effizient und mit möglichst wenig Folgeschäden bewältigen zu können, ist die Forstpraxis daran interessiert, sich nach einem solchen Ereignis sehr schnell einen ersten Überblick über die betroffenen Gebiete und die Schadholzmengen zu verschaffen. Bisher wurden für einen solchen Überblick Befliegungen organisiert, welche jedoch sowohl wetterabhängig als auch kostspielig sind. Eine Alternative dazu könnte künftig die satellitenbasierte Fernerkundung bieten, da sie es erlaubt, Daten auf grosser Fläche zeitnah, objektiv und kostengünstig zu erfassen. Dazu kommt, dass aktive Sensoren wie der Typ Synthetic Aperture Radar (SAR), der auf dem Satellitenpaar Sentinel-1A/B im C-Band (Wellenlänge 5.4 cm) eingesetzt wird, unabhängig von den Wetterverhältnissen Daten der Erdoberfläche erheben können.

Eine aktuelle Studie zeigt, dass die frei verfügbaren Daten des Satellitenpaars Sentinel-1A/B zur Generierung von Windwurfhinweiskarten genutzt werden können, da sie sensitiv gegenüber Strukturveränderungen im Wald sind (Rüetschi et

al 2019). So konnten beispielsweise Windwurfflächen, die der Gewittersturm in der Nacht vom 1. auf den 2. August 2017 in den Kantonen Thurgau und Zürich verursacht hatte, ab einer Grösse von 0.5 ha lokalisiert werden. Der Sturm «Burglind» vom 3. Januar 2018 bot die Gelegenheit, zu testen, ob das Verfahren, das für die Ermittlung von Schäden nach lokalen Sommergewittern entwickelt wurde (Rüetschi et al 2019), auch grossflächig

und bei Winterverhältnissen anwendbar ist.

Untersuchungsgebiet

«Burglind» führte in allen Kantonen ausser dem Tessin zu Waldschäden. Dabei waren mehrheitlich Streuschäden zu verzeichnen. In einigen Gebieten im Mittelland und am Jurasüdfuss, vor allem in den Kantonen Bern, Luzern und Solothurn, wurden aber auch Flächenschäden beob-



Abb 1 Flächenschaden, verursacht durch den Sturm Burglind vom 3. Januar 2018. Die 17 ha grosse Fläche befindet sich südlich von Kestenholz (SO).

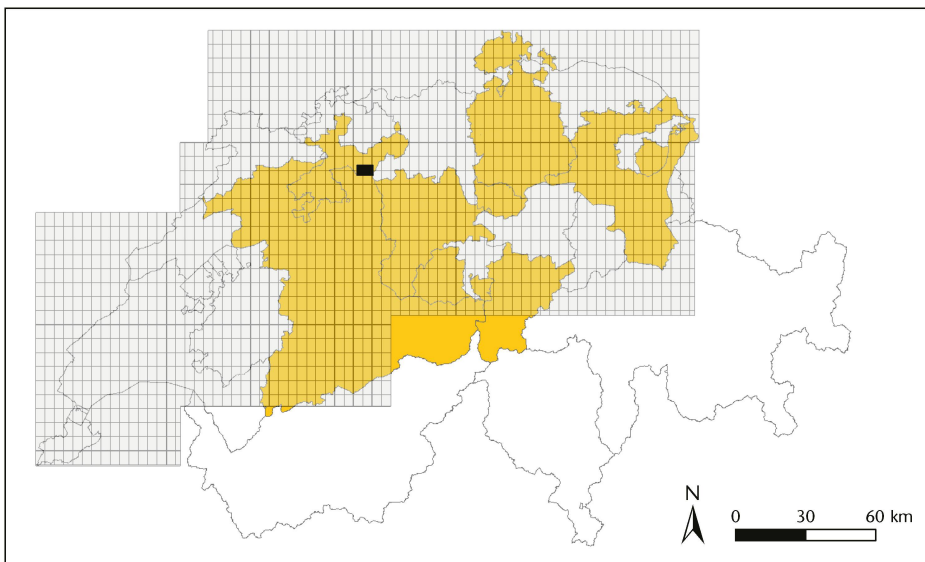


Abb 2 Perimeter, für den die Windwurfhinweiskarte erstellt (gerasterter Bereich) und qualitativ evaluiert wurde (gelb hinterlegter Teil des Rasters). Die Rasterung entspricht den Kacheln von 4×6 km Grösse, in denen die Windwürfe ausgeschieden wurden. Das schwarze Rechteck zeigt die quantitativ analysierte Fläche bei Kestenholz (SO).

achtet (Abbildung 1). Die Fallholzmenge in der gesamten Schweiz wurde auf 1.3 Millionen Kubikmeter geschätzt.¹

Als Untersuchungsgebiet wurde die Alpennordseite der Schweiz ausgewählt (Abbildung 2). Wald ist hier in allen Geländeneigungen vorhanden, und er setzt sich aus Laub-, Nadel- und Mischbeständen zusammen.

Verfahren zur Erstellung der Windwurfhinweiskarte

Für die Erstellung der Windwurfhinweiskarte wurden alle SAR-Aufnahmen des Untersuchungsgebietes in der Zeit vom 23. bis zum 31. Dezember 2017 (vor dem Sturm; 7 Aufnahmen) sowie vom 4. bis zum 9. Januar 2018 (nach dem Sturm; 4 Aufnahmen) verwendet. Die Aufnahmen mit einer räumlichen Auflösung von 20 m wurden mittels des Geländemodells swiss-Alti3D radiometrisch kalibriert und georeferenziert (Small 2011). Danach wurden die einzelnen Aufnahmen zu zwei Datensätzen für vor und nach dem Sturm kombiniert (Small 2012). Die Kombination war notwendig, um das Rauschen der einzelnen Aufnahmen zu reduzieren. Zusätzlich wurde eine Gehölzmaske aus dem landesweiten Vegetationshöhenmodell LFI (Ginzler & Hobi 2015) ausgeschieden, indem alle Gebiete maskiert wurden, die eine Vegetation höher als 3 m aufwiesen.

Aus der Differenz der Datensätze wurde ein sogenannter Windwurfindex (WI) gerechnet (für dessen genaue Ableitung siehe Rüetschi et al 2019). Hohe

WI-Werte (in der Einheit dB) kennzeichnen Gebiete, in denen die Radarrückstreuung nach dem Sturm höher als vor dem Sturm war. Sie sind ein Hinweis auf mögliche Windwürfe.

Für die Extraktion der Windwurfobjekte aus dem WI wurde das Studiengebiet in Kacheln von 4×6 km eingeteilt (Abbildung 2). Das erlaubte es, trotz der grossflächigen Anwendung der Methode regionale Unterschiede zu berücksichtigen. Mithilfe eines Entscheidungsbaums wurden die Objekte in zwei Schritten klassiert. Im ersten mussten die WI-Werte einen gewissen Schwellenwert überschreiten, im zweiten mussten die Flächen ein bestimmtes Mindestmass aufweisen (Abbildung 3). Der Schwellenwert setzte sich aus einem Grundwert und dem für die Fläche der Gehölzmaske in der jeweiligen Kachel ermittelten WI-Mittel zusammen, damit generell vorhandene Rückstreuungsdifferenzen (z.B. aufgrund unterschiedlicher meteorologischer Bedingungen zwischen den beiden Zeitperioden) ausgeglichen wurden.

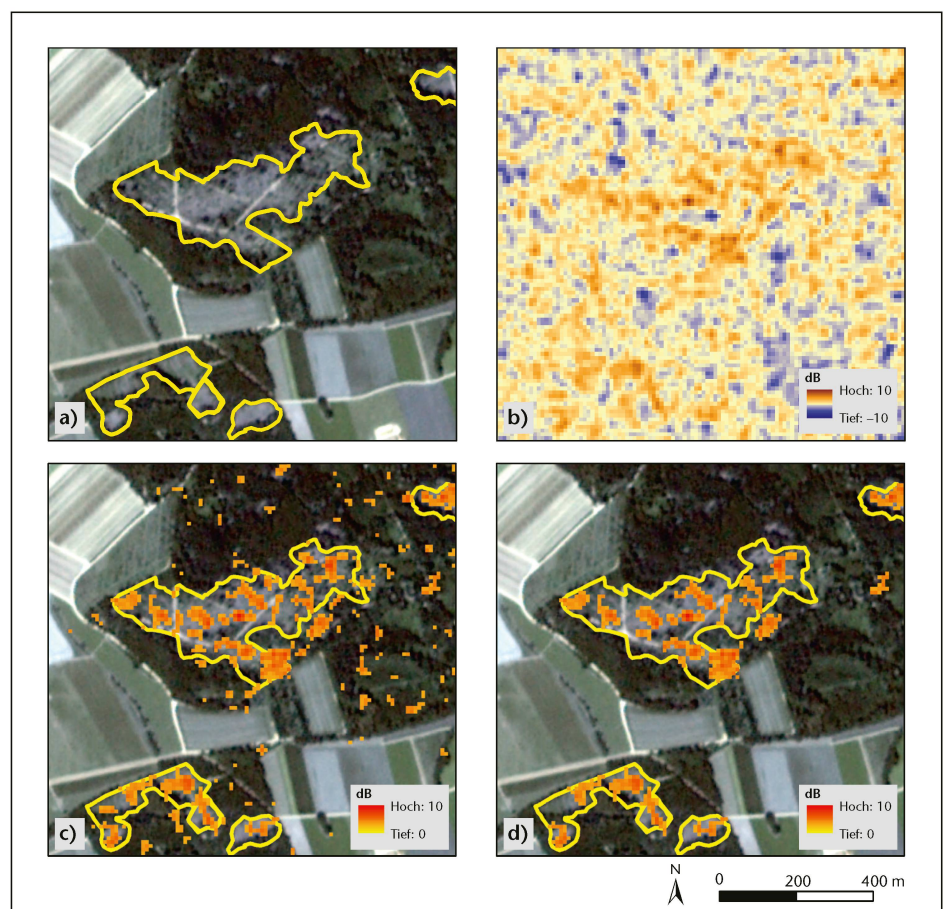


Abb 3 Beispiel der Berechnung für einen Ausschnitt des Gebiets in Kestenholz (SO). a) Echtfarbenbild von Planet imagery mit eingezeichneten Sturmschäden, b) Windwurfindex für das Gebiet, c) Resultat nach dem ersten Knoten des Entscheidungsbaums (Schwellenwert der Rückstreuung) und d) Endresultat nach dem Filter der Mindestausdehnung. © Planet imagery/beinhaltet modifizierte Copernicus-Sentinel-Daten (2017–2018)

¹ www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/natur-gefahren/mitteilungen.msg-id-69530 (30.1.2019)

Mindestfläche (ha)	Anzahl Flächen		Genauigkeit (%)
	Korrekt detektiert	Referenz	
0	24	35	69
0.5	23	29	79
1	15	17	88
1.5	14	15	93
2	11	11	100

Tab 1 Resultat der quantitativen Analyse im Gebiet Kestenholz (SO). Aufgelistet sind die Anzahl korrekt detektierter und in der Referenz vorhandenen Flächen sowie die daraus folgende Genauigkeit in Abhängigkeit der gewählten Mindestfläche.

Evaluierung der Produktgüte

Nach der Erstellung der Windwurfhinweiskarte wurde diese zur Verifikation an die zehn Kantone Appenzell Innerrhoden, Bern, Luzern, Obwalden, St. Gallen, Schaffhausen, Solothurn, Uri, Zug und Zürich weitergegeben. Die kantonalen Forstdienste wurden gebeten, die in der Windwurfhinweiskarte ausgeschiedenen Objekte mit den tatsächlichen Flächen- und Streuschäden zu vergleichen. Erwartet wurde ein qualitativer Vergleich. Einzelne Kantone lieferten dann aber auch räumlich explizite Geodaten zu den Schadenflächen.

Die Rückmeldungen erlaubten die qualitative Abschätzung der Güte der Windwurfhinweiskarte auf grosser Fläche. Im Gebiet Kestenholz (SO), in dem viele Flächenschäden zu verzeichnen waren, wurde zudem eine quantitative Analyse durchgeführt. Dazu wurden im Feld die Umrisse von 35 Flächenschäden unterschiedlichen Ausmasses kartiert. Danach wurde die Windwurfhinweiskarte mit diesen Geodaten verglichen. Dabei wurden sowohl die Anzahl korrekt lokalisierter als auch die Anzahl falsch ausgewiesener Windwurfflächen ermittelt.

Resultate

Die SAR-Daten liessen sich rasch und grossflächig prozessieren. Die Windwurfhinweiskarte konnte so innerhalb einer Woche nach «Burglind» erstellt werden. Die Evaluation zeigte dann aber, dass Streuschäden in der Windwurfhinweiskarte mehrheitlich fehlten. Dies wurde von allen Kantonen vermeldet. Bei Flächenschäden zeigte sich ein besseres Bild. Diese wurden in den meisten Fällen erkannt. Grosse Flächenschäden wurden dabei besser erkannt als kleine. Praktisch alle Kantone bemängelten, dass die Karte zu viele Hinweise auf Windwürfe enthielt. Zwei Kantone berichteten zudem, dass bei korrekt

lokalisierten Windwürfen die explizite Schadenfläche unterschätzt wurde.

Die quantitative Analyse im Gebiet Kestenholz bestätigte diese Rückmeldungen grundsätzlich (Tabelle 1): 24 der 35 im Feld aufgenommenen Flächenschäden wurden korrekt detektiert, was einer Genauigkeit von 69% entspricht. Dabei zeigte sich, dass die Genauigkeit von der Grösse der zu detektierenden Windwurffläche abhängig ist. So stieg bei einer Erhöhung der Mindestgrösse die Genauigkeit stetig an. Wenn nur Flächenschäden mit einer Mindestgrösse von 2 ha berücksichtigt wurden, wurden 100% der Flächen korrekt detektiert (Tabelle 1).

Wie bereits bei der qualitativen Analyse durch die Forstdienste zeigte sich auch bei der quantitativen Analyse im Gebiet Kestenholz, dass in der Hinweiskarte zu viele Windwürfe ausgewiesen wurden: Von den 108 Hinweisen waren 40 falsch, was einer Fehlerquote von 37% ent-

spricht. Zudem wurde das räumliche Ausmass der Flächenschäden systematisch unterschätzt (Abbildung 4).

Fehlerquellen und Verbesserungsmöglichkeiten

Die Resultate zeigen, dass bei der Analyse der Produktgüte zwischen Flächen- und Streuschäden unterschieden werden muss. Streuschäden konnten mit dem Verfahren überwiegend nicht angesprochen werden. Dies kam nicht überraschend, da die Sensoren des Satellitenpaares Sentinel-1A/B die Landoberfläche mit einer räumlichen Auflösung von 20 m abtasten. Bei dieser Auflösung können einzelne geworfene Bäume keine deutliche Änderung der Radarrückstreuung verursachen. Die räumliche Auflösung erklärt auch, weshalb kleine Flächenschäden (<0.5 ha) schlecht erfasst wurden (Tabelle 1, Abbildung 4). Die Methode hat aber durchaus Potenzial, um grössere Flächenschäden (ab ca. 0.5 ha) zu erkennen.

Der Feststellung, dass bei zu vielen Hinweisen gar kein Windwurf vorlag, könnte mit einer Änderung der Parametereinstellungen Rechnung getragen werden. So könnten der Schwellenwert bei der Rückstreuungsdifferenz wie auch die Mindestausdehnung erhöht und so die Sensitivität vermindert werden. Das hätte allerdings zur Folge, dass auch bislang korrekt erfasste Windwürfe herausgefiltert würden.

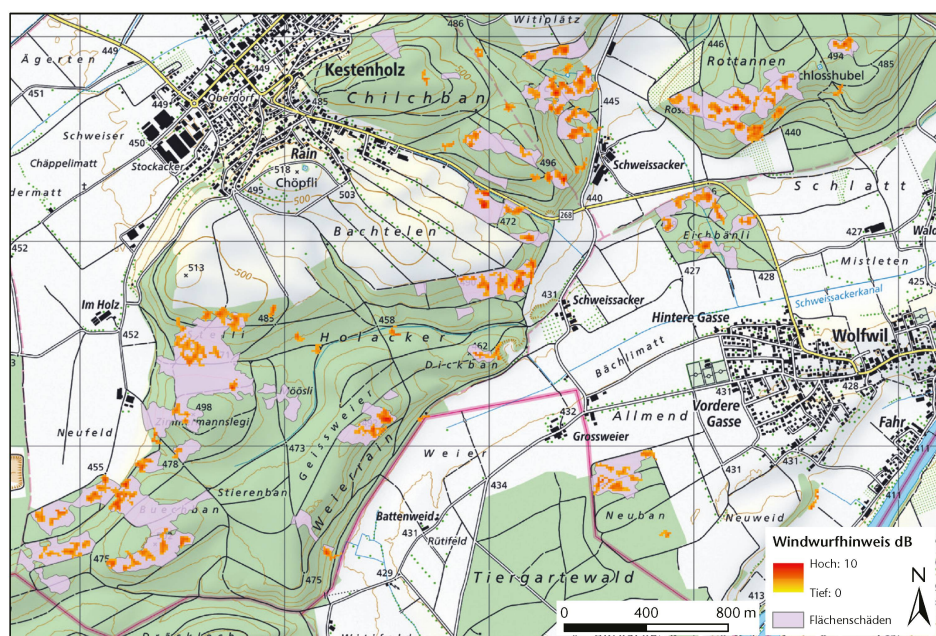


Abb 4 Mit den SAR-Daten identifizierte Windwurfhinweise («Windwurfhinweiskarte») im Gebiet um Kestenholz (SO) und die im Gelände aufgenommenen Schadenflächen. © Swisstopo/beinhaltet modifizierte Copernicus-Sentinel-Daten (2017–2018)

Für optimale Einstellungen sollten noch mehr Erfahrungswerte gesammelt werden.

Es zeigte sich, dass die Aktualität der Gehölzmaske wichtig ist. In vielen Fällen kam es zu Falschhinweisen bei Flächen, auf denen bereits vor dem Sturm keine Bäume vorhanden waren. Sowohl Flächen ohne Bestockung als auch lichte Jungbestände zeigen typischerweise stärkere Rückstreuungsschwankungen wegen des verstärkten Einflusses der Bodenrückstreuung. Deshalb können sie ähnliche Muster der Rückstreuungsänderung wie Windwürfe aufweisen. Die verwendete Gehölzmaske basiert auf dem Vegetationshöhenmodell, das im Rahmen des Landesforstinventars aus Stereoluftbildern der Jahre 2011 bis 2016 entwickelt wurde. Das bedeutet, dass im extremen Fall die Information zur Bestockung bereits sieben Jahre alt ist und Veränderungen in dieser Zeitperiode nicht erfasst sind.

Eine winterspezifische Fehlerquelle waren Unterschiede beim liegenden Schnee zwischen den SAR-Aufnahmen vor und nach «Burglind». Da Nassschnee die SAR-Rückstreuung stark beeinflusst, wurden einige falsche Hinweise generiert: In grossen Teilen des Untersuchungsgebietes, in dem Schnee in der Zeitperiode vor dem Sturm bis nach dem Sturm schmolz (SLF 2018), wurde deshalb eine Überidentifikation beobachtet. Die Schneebedeckung sollte bei der Weiterentwicklung des Verfahrens berücksichtigt werden.

Falschhinweise kamen auch dadurch zustande, dass die SAR-Sensoren die Rückstreuung in topografisch komplexen Gebieten nicht verlässlich messen können. Solche Gebiete mit Radarschatten können modelliert und in Zukunft gekennzeichnet werden, um abzuschätzen, welche Waldflächen in der Schweiz davon betroffen sind.

Um möglichst rasch nach «Burglind» eine Hinweiskarte erstellen zu können, haben wir uns beim Datensatz nach dem Sturm auf vier Sentinel-1A/B-Aufnahmen beschränkt. Durch die Integration weiterer Aufnahmen hätten sich wohl bessere Resultate erzielen lassen. Bei künftigen Stürmen lässt sich eine solche Integration ohne Zeitverlust bewerkstelligen. Denn für das Frühjahr 2019 plant die kanadische Raumfahrtbehörde den Start der Satellitenkonstellation RADARSAT Constellation Mission (RCM), die ebenfalls mit SAR-Sen-

soren im C-Band ausgerüstet sein wird (Daboor et al 2018). Deren Daten könnten mit den Sentinel-1A/B-Daten kombiniert werden. Das würde es eventuell auch gar erlauben, Windwurfhinweiskarten in noch kürzerer Zeit zu erstellen.

Schlussfolgerungen

Die technischen Möglichkeiten sind heute grundsätzlich vorhanden, um innerhalb einer Woche nach einem Sturm eine Windwurfhinweiskarte für die ganze Schweiz zu generieren. Dazu werden die frei verfügbaren C-Band-SAR-Daten des Satellitenpaars Sentinel-1A/B, eine möglichst aktuelle Gehölzmaske und ein digitales Geländemodell benötigt. Grössere Flächenschäden können zuverlässig detektiert werden, die Grösse der jeweiligen Schadenfläche wird allerdings unterschätzt. Nur unzuverlässig oder gar nicht detektiert werden kleinere Flächenschäden sowie Streuschäden. Der Hauptgrund dafür ist die zu geringe Auflösung der Satellitendaten.

Kombiniert mit den in naher Zukunft verfügbaren RCM-Daten wird es sogar möglich sein, ein entsprechendes Produkt noch rascher erstellen zu können. Trotz aller Mängel ist das vorliegend vorgestellte Verfahren derzeit wohl das einzige, um sich eine rasche und überall den gleichen Beurteilungskriterien folgende Übersicht über grossflächig aufgetretene Windwürfe zu verschaffen. ■

Dank

Wir bedanken uns bei den Verantwortlichen der teilnehmenden Kantone für die Verifikationen im Feld und für die aufschlussreichen Rückmeldungen.

Literatur

- DABBOOR M, IRIS S, SINGHROY V (2018) The RADARSAT constellation mission in support of environmental applications. *Proceedings* 2: 323.
- GINZLER C, HOBI ML (2015) Countrywide stereo-image matching for updating digital surface models in the framework of the Swiss national forest inventory. *Remote Sens* 7: 4343–4370.
- RÜETSCHI M, SMALL D, WASER LT (2019) Rapid detection of windthrows using Sentinel-1 C-band SAR data. *Remote Sens* 11: 115.
- SMALL D (2011) Flattening Gamma: Radiometric terrain correction for SAR imagery, *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 49: 3081–3093.
- SMALL D (2012) SAR backscatter multitemporal compositing via local resolution weighting. In: *Proc IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 22.–27. Juli 2012, München (Deutschland). pp. 4521–4524.

Quellen

- SLF (2018) Schneehöhenkarten. www.slf.ch/de/lawinenbulletin-und-schneesituation/archiv.html (15.1.2019)

Localisation de chablis à l'aide de données Sentinel-1A/B: un essai après la tempête Burglind

Après une tempête, les praticiens forestiers ont tout intérêt à obtenir rapidement un aperçu général des chablis dans la zone concernée. La télédétection par satellite offre des possibilités de le faire vite, à vaste échelle et à moindre coût. Le présent article met en lumière un procédé qui a permis de générer une carte indicative des chablis après la tempête Burglind, à l'aide de données radar du couple de satellites Sentinel-1A/B, d'un masque boisé actuel et d'un modèle altimétrique numérique. Plusieurs relevés de Sentinel-1A/B ont été combinés en deux sets de données, l'un portant sur la phase précédant la tempête, l'autre sur l'après-tempête. Par la suite, les différences de rétrodiffusion du radar entre les sets de données ont été identifiées. Des différences importantes dans une zone forestière révélèrent la présence d'un chablis. En l'espace d'une semaine, une carte indicative des chablis, qui englobait l'ensemble du nord des Alpes suisses, a pu être établie. La carte a fait l'objet d'une évaluation, qualitative dans dix cantons et quantitative dans la zone de Kestenholz (SO). Ces deux évaluations démontrent que le procédé permet de détecter des dégâts supérieurs à 0.5 ha de façon fiable. Les dégâts moins étendus ne sont toutefois signalés que de façon peu fiable et les dégâts éparés ne le sont même pas du tout. De surcroît, lors de dégâts correctement détectés, la mesure de la superficie réelle est systématiquement sous-estimée. Les sources d'erreurs constatées ont été l'influence accrue de la rétrodiffusion dans les peuplements clairs, la neige mouillée au sol qui impacta la rétrodiffusion du radar, et les zones à la topographie complexe où survinrent des ombres radar. Dans un proche avenir, il sera probablement possible, grâce à une amélioration des données disponibles, d'établir une carte indicative des chablis à l'échelle de la Suisse encore plus rapidement que dans l'essai présent.