

Dynamik von Störungen in Wäldern auf der Alpennordseite von 1900 bis 2022

Thomas Wohlgemuth¹, Valentin Queloz¹, Barbara Moser¹, Gianni Boris Pezzatti², Daniel Scherrer¹, Yann Vitasse¹ und Marco Conedera²

¹ Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Schweiz, thomas.wohlgemuth@wsl.ch, valentin.queloz@wsl.ch, barbara.moser@wsl.ch, daniel.scherrer@wsl.ch, yann.vitasse@wsl.ch

² Eidg. Forschungsanstalt WSL, Cadenazzo, Schweiz, boris.pezzatti@wsl.ch, marco.conedera@wsl.ch

Werden Störungen in Wäldern auf der Alpennordseite in den nächsten Jahrzehnten zunehmen? Auf der Suche nach Antworten liefern quantitative Angaben über Waldschäden wie Sturmholz, Käferholz, Bruchholz und Waldbrandflächen vom Beginn des 20. Jahrhunderts bis heute konkrete Anhaltspunkte. Trotz Unvollständigkeit der Datenreihen zeigen die meisten Trends eine starke Zunahme der Waldschäden infolge von Störungen seit den 1980er-Jahren an. Gründe dafür sind der verschärfte Klimawandel, steigender Holzvorrat, invasive Schadorganismen und verschiedene Interaktionen. Wir gehen davon aus, dass diese Trends sich in gleicher Richtung fortsetzen werden.

1 Einleitung

Seit es schriftliche Aufzeichnungen gibt, zählen meteorologische Extremereignisse und dadurch direkt oder indirekt ausgelöste Schäden an Bauten, Kulturen und Wäldern zu den häufig erwähnten Mitteilungen. Dazu gehören starke Niederschläge, die zu Überschwemmungen und Rutschungen führen, anhaltende Trockenheit beziehungsweise Dürren mit direkten Auswirkungen auf Land- und Forstwirtschaft sowie damit verbunden ein erhöhtes Waldbrandrisiko und Befall geschwächter Bäume durch Schadorganismen. Spätfröste führen in der Landwirtschaft oft zu erheblichen Ernteausfällen, können aber auch Bäume während des Austriebs ihrer Blätter empfindlich schwächen. Nicht nur orkanartige Stürme haben verheerende Schäden in Wäldern erzeugt, sondern auch grosse Schneemengen. Ein Gradmesser für solche Extremereignisse und Störungen (in der Folge als Störungen zusammengefasst) sind die erzeugten Schäden, die der Öffentlichkeit und den Waldbesitzern entstehen (z.B. Möhring *et al.* 2021). Mit der systematischen Erfassung von meteorologischen Parametern wie Luftdruck, Regenmengen, Temperaturen und Windgeschwindigkeit sind Witterungsextreme räumlich und zeitlich quantifizierbar. Demgegenüber bleiben Berichte über Schäden mit einigen Ausnahmen mehr oder weniger hete-

rogen und daher unvollständig, sowohl raumzeitlich als auch bezüglich Ausmass in Volumen, Fläche beziehungsweise Verlust von Ökosystemleistung. Für die Erfassung von Schäden durch Störungen wird je nach Ereignis unterschiedlich viel Aufwand betrieben. Dies ist einer der Gründe, weshalb die aktuell oft diskutierte Frage, ob Störungen in der Häufigkeit und Intensität zunehmen, nicht einfach zu beantworten ist. Europaweite Erhebungen belegen, dass der Verlust von Holzmasse infolge von Störungen in Wäldern seit 1950 deutlich zugenommen hat (Patacca *et al.* 2023), und Berechnungen anhand von Modellen gehen von einer weiteren Zunahme für die nächsten Jahre in Europa aus (Seidl *et al.* 2017). In diesen Publikationen sind auch Zahlen aus der Schweiz enthalten, doch sind diese im Detail unvollständig und reichen nur bis 1950 zurück. Im vorliegenden Bericht werden die aktuell greifbaren Daten über Störungen und deren Auswirkungen auf den Schweizer Wald der Alpennordseite für den Zeitraum von 1900 bis 2022 quantifiziert und eingeordnet. Davon ausgehend wird ein Blick in die Zukunft gewagt.

2 Material und Methoden

Witterungsextreme oder klimatische Extremereignisse definieren sich durch stark abweichende meteorologische

Messwerte in langjährigen Messreihen. Sie können, müssen aber nicht unbedingt zu Schäden in Wäldern oder in der Landwirtschaft führen. Falls sie ein rasches Absterben von Biomasse verursachen, werden sie als Störungen bezeichnet. Der Prozess der Störung verändert sowohl den Lebensraum als auch die Verfügbarkeit von Ressourcen (erweitert nach Jentsch *et al.* 2019).

Im Perimeter «Alpennordseite» sind Jura, Mittelland, Voralpen und Zentralalpen (Graubünden und Wallis ohne ihre Südtäler) vereint. Unser Fokus richtet sich auf die schadenintensivsten Störungsursachen Wind (Winterstürme, Sommergewitter, Föhnstürme → Sturmholz), Schädlingsbefall (hauptsächlich Borkenkäfer → Käferholz), Baumkrankheit (Eschentriebsterben), Schnee- und Eisbruch (→ Bruchholz), Lawinen, Waldbrand und «andere Störungen», in denen der Befall durch andere Insekten und weitere Massenbewegungen enthalten sind. Berücksichtigt wurde das Zeitfenster von 1900 bis 2022. In der wichtigsten Quelle für frühere Waldschäden, die Bütikofer-Datensammlung (Bütikofer 1987), wurden etwa ab 1900 verschiedene Waldschäden als Folge von Störungen – insbesondere Sturmholz, Käferholz, Bruchholz, Waldbrandflächen und Schäden durch Massenbewegungen – immer öfter als Kubikmeter Holz, als Anzahl Stämme und als Fläche in Hektaren beziffert. Für die Vergleichbarkeit aller Schäden wurden in Analogie zu europäischen Quantifizierungen (Patacca *et al.* 2023) kubische Werte verwendet. Angaben zu Schäden in Hektaren wurden über die gesamte Periode 1900–2022 mit 1 ha=100 m³ umgerechnet, trotz landesweiter Zunahme des Holzvorrats während dieser Zeit (z.B. Usbeck *et al.* 2010a), und Angaben in Stämmen mit 1 Stamm = 1 m³ umgewandelt.

Die umfangreiche Bütikofer-Literaturdatensammlung wurde zur Zeit des Waldsterbens in den 1980er-Jahren zur Einordnung von Witterungsextremen und Waldschäden erstellt. Sie enthält qualitativ und quantitativ beschriebene Auswirkungen von Störungen im Schweizer Wald von 1800 bis 1961 (Pfister *et al.* 1988). Ergänzend zu dieser Datensammlung stammen weitere Daten von der Waldbranddatenbank SwissFire (Pezzatti *et al.* 2010), der Sturmholzsammlung von Usbeck (2015), der Webseite *sturmarchiv.ch*, der Schadenlawinendatenbank des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF, der Ereignisanalyse Lawinensituation im Januar 2018 (Bründl *et al.* 2019), Waldschutz Schweiz (Dubach *et al.* 2023) für Käferholz (in der Regel Befall von Fichten durch den Buchdrucker *Ips typographus*) von 1984 bis 2022, für Zwangsnutzungen von Eschen infolge des Eschentriebsterbens (Abb. 1) seit 2016 und für Sturmholz seit 2019. Direkte Anfragen zu Sturmholzmengen seit 2010 wurden bei den Kantonen Bern, Graubünden und St. Gallen durchgeführt.

Jede der zur Hand liegenden Datenreihen ist faszinierend, keine aber vollständig für die gewählte Zeitspanne: Bütikofer erschloss die ihm zugänglichen schriftlichen Quellen, in welchen Schäden an Bäumen und Beständen angesprochen wurden. Je nach Kanton und Schadensausmass sind diese unterschiedlich genau quantifiziert. Zu Sturmholz decken die Recherchen von Usbeck (2015) die grössten Windwurfereignisse als Folge von Winterstürmen ab, machen aber keine Angaben über Sturmholz als Folge von Föhnstürmen und Sommergewittern. Das Sturmarchiv Schweiz (*sturmarchiv.ch*) listet alle Stürme seit 1860 auf und nennt verschiedentlich Quellen mit quantitativen Angaben zu Sturmholz, die sich hauptsächlich auf Nennungen in Zeitungsartikeln beschränken. Waldschutz Schweiz erfragt Sturmholz seit 2019 bei Forstkreisen, und seit 2022 auf Revierebene, mit jährlich zunehmender Rücklaufquote. Für Käferholz liegen insbesondere für die Jahre 1947 bis 1953 und ab 1984 zahlenmässige Angaben vor. In den Jahren davor und dazwischen sind die Meldungen meist qualitativ (z.B. «In



Abb. 1. Vom Eschentriebsterben befallene Eschen in Embrach, Kt. Zürich. Zwangsnutzungen im Zusammenhang mit dieser Pilzkrankheit werden seit 2016 landesweit erfasst (Foto: Andrin Gross).

allen Forstkreisen zeigten sich kleine Herde von Borkenkäfern»).

Schadenangaben zu Waldbränden sind meist als Flächen angegeben. Diese betreffen neben den versehrten Wäldern oft auch verbrannte Offenlandgebiete im Waldbrandperimeter. Während bei verheerenden Kronenfeuern Bäume absterben, überstehen adulte Bäume ein Bodenfeuer oft schadlos. Daher ist die Umrechnung von Hektaren in Kubikmeter verbranntes Holz mit der oben erwähnten Formel vor allem bei intensiven, meist grossflächigen Waldbränden zutreffend, bei kleinen Waldbränden jedoch stark überschätzt.

Zwangsnutzungen als Folge von Trockenheit wurden öfters gemeldet, insbesondere als Folge der Trockenheit 1947. Vom ausgedehnten Anfall von Totholz als Folge der trockenen Jahre 2018 bis 2020 und 2022 liegt uns vorerst nur eine quantitative Angabe vom Kanton Jura vor (Pressemitteilung

8.7.2019). Schäden durch Maikäfer und Engerlinge sind in der Bütikofer-Datenbank fast jährlich erwähnt, jedoch nicht beziffert. Auch heute erzeugen die Käfer in verschiedenen Alpentälern noch regelmässig Blattschäden, von denen sich die Bäume aber wieder erholen. Über Schäden an Waldbäumen infolge von Spätfrösten fehlen uns quantitative Angaben über die ganze Zeitperiode, obwohl die oft von weitem sichtbaren Blattverbräunungen immer wieder beobachtet und erwähnt werden (Bütikofer 1987; Vitasse und Rebetez 2018).

Alle Angaben in Kubikmetern und Hektaren wurden pro Jahr aufsummiert und in den sieben Kategorien Windwurf, Borkenkäfer, Eschentriebsterben, Schnee/Eis, Lawinen, Waldbrand und «Andere» ausgewertet. Alle Abbildungen wurden mit der Statistik-Software R Version 4.1.3 (*cran.r-project.org*) hergestellt.

3 Resultate

Über die Zeitspanne von 1900 bis 2022 verursachten Stürme die grössten Waldschäden im Gebiet der Zentralalpen, Voralpen, Mittelland und Jura (Abb. 2). Die schadenintensivsten Ereignisse waren die Winterstürme Lothar (1999), Vivian (1990), Adolph-Bermpohl (1967) und Burglind (2018). Während die durchschnittlichen Jahressummen an Waldschäden bis etwa 1980 mit wenigen Ausnahmen (z.B. Föhnsturm von 1919) zwischen 50000 und 200000 m³ variierten, wurden ab diesem Zeitpunkt sowohl grössere Sturmholz- als auch deutlich grössere Käferholzmengen gemeldet. Die mittlere jährliche Schadenmenge hat daher seit den 1980er-Jahren deutlich zugenommen (Tab. 1). Im Vergleich zur Periode 1900 bis 1940 (3,7 Mio. m³) und 1941 bis 1981 (6,3 Mio. m³) betragen die Waldschäden in der Periode 1982 bis 2022 (43,0 Mio. m³) knapp das 12-fache beziehungsweise das 6,5-fache der früheren Perioden. In den letzten 41 Jahren machten Sturmholz ungefähr 30,8 Mio. m³ (56 %), Käferholz etwa 18,2 Mio. m³ (42 %) und Eschentrieb-

Tab. 1. Summe der jährlichen Schadensvolumen grob gerundet in 1000 m³, in Perioden von 41 Jahren von 1900 bis 2022.

	1900–1940	1941–1981	1982–2022	Summe
Windwurf	2800	4110	23 925	30 835
Borkenkäfer	40	835	18 235	18 230
Schnee-/Eisbruch	610	210	330	1150
Eschentriebsterben	0	0	865	865
Lawinen	95	510	240	845
Waldbrand	100	240	175	515
Andere	15	380	140	535
Summe in 1000 m³	3660	6285	43 035	

sterben 0,9 Mio. m³ (2%) aus. Schadholz von Schnee- und Eisbruch sowie Lawinen machen 1,4 % und Waldbrand 0,4 % aus.

Nach der Jahrhundertdürre von 1947 (Pfister *et al.* 1988) wurde in der Schweiz ein bis dato unbekannt intensiver Borkenkäferbefall festgestellt. Die Käferholzmengen erreichten aber gemäss den zusammengetragenen Zahlen nie das Ausmass, das nach den Stürmen Vivian und Lothar registriert worden ist.

Waldbrände sind auf der Alpen-südseite und in trockenen Gebieten der Zentralalpen die wichtigsten Stö-

rungstypen, in den Voralpen, im Mittelland und im Jura spielen sie dagegen – verglichen mit Windwurf und Borkenkäferbefall – nur eine kleine Rolle. Selbst grosse und weit sichtbare Ereignisse wie die Waldbrände am Calanda (1943, 477 ha; Winkler 1944) oder bei Leuk (2003, 310 ha; Wohlgemuth *et al.* 2005) ragen in der Bilanz der jährlich aufsummierten Schäden durch andere Störungen nicht hervor. Für die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts sind als grösste Schadensursachen Schnee- und Eisbruch, Lawinen, Föhn- und Winterstürme sowie Dürre zu nennen.

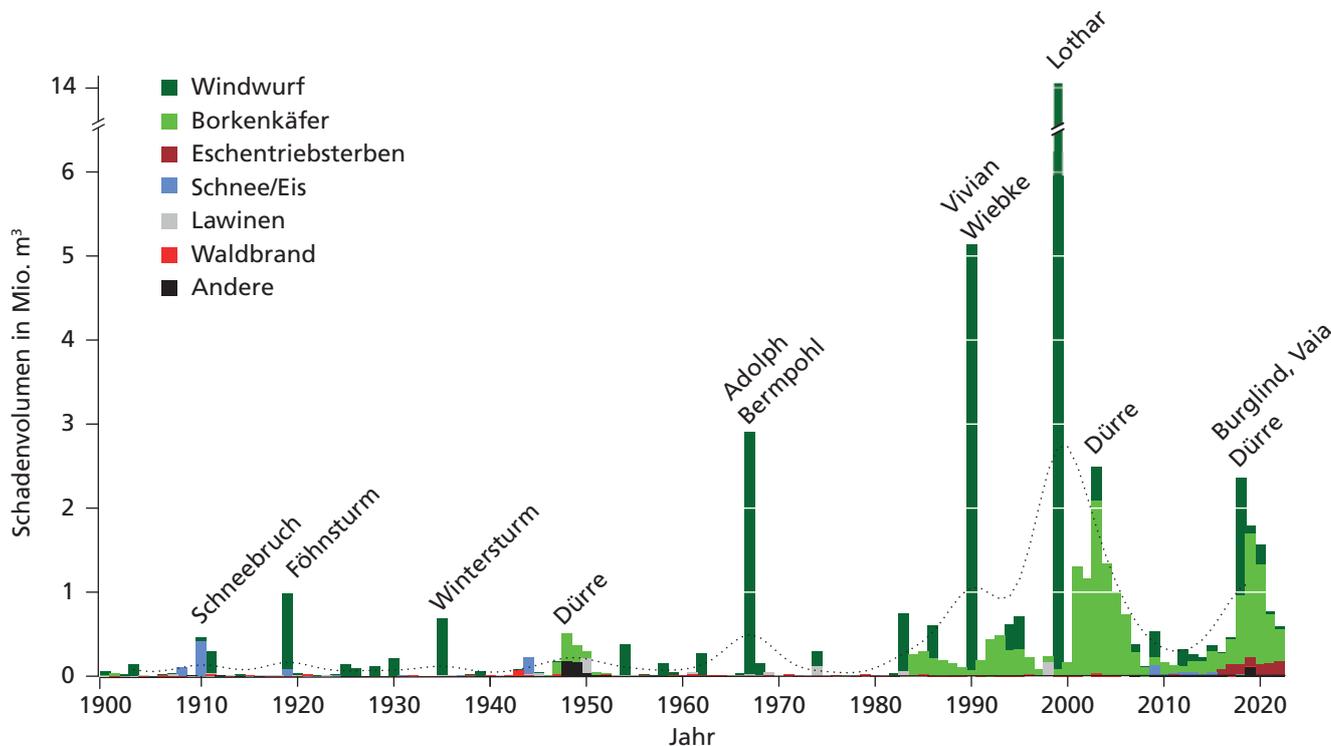


Abb. 2. Jährliche Schadensvolumen von Störungen (in m³ Schadholz) in den Zentralalpen, Voralpen, Mittelland und Jura von 1900 bis 2022, basierend auf der Bütikofer-Datenbank (Bütikofer 1987), SwissFire (Pezzatti *et al.* 2010), Windwurfdaten (Usbeck 2015), SLF-Schadenlawinendatenbank, Waldschutz Schweiz (Dubach *et al.* 2023) sowie weiterer Informationen (siehe «Methoden»). Flächenangaben von Schäden wurden über die gesamten 123 Jahre in Kubikmeter umgerechnet (mit 1 ha = 100 m³, 1 Stamm = 1 m³). Die gestrichelte Linie gibt den gleitenden Mittelwert an (Lowpass-Methode).

Waldbrände auf der Alpennordseite (Voralpen, Mittelland, Jura) haben im Vergleich mit jenen in den Zentralalpen und der Alpensüdseite meist nur geringe Schäden in den betroffenen Wäldern verursacht (Abb. 3). Die landesweite, jährlich aufsummierte Fläche der Waldbrände in Hektaren war in der Mitte des letzten Jahrhunderts am grössten und hat seither deutlich abgenommen (Abb. 3). Demgegen-

über variierte die Anzahl Brände seit den 1960er-Jahren bis heute landesweit in einem ähnlichen Rahmen. Nach Regionen aufgeschlüsselt hat die Anzahl Waldbrände pro Jahr auf der Alpennordseite seit etwa 2000 zugenommen, auf der Alpensüdseite jedoch seit den 1990er-Jahre deutlich abgenommen. Die zahlreicheren Waldbrände auf der Alpennordseite sind vor allem eine Folge der systematischen Erfas-

sung durch SwissFire, resultierten aber nicht in einer wachsenden Fläche von versehrten Wäldern (Abb. 4).

Einige der grössten Waldbrände der Schweiz haben sich während der letzten 40 Jahre in den Zentralalpen ereignet. Diese grossen Kronenfeuer machten in den Jahresbilanzen der brandversehrten Waldflächen jeweils den bedeutendsten Anteil aus: im Kanton Graubünden St. Luzisteig

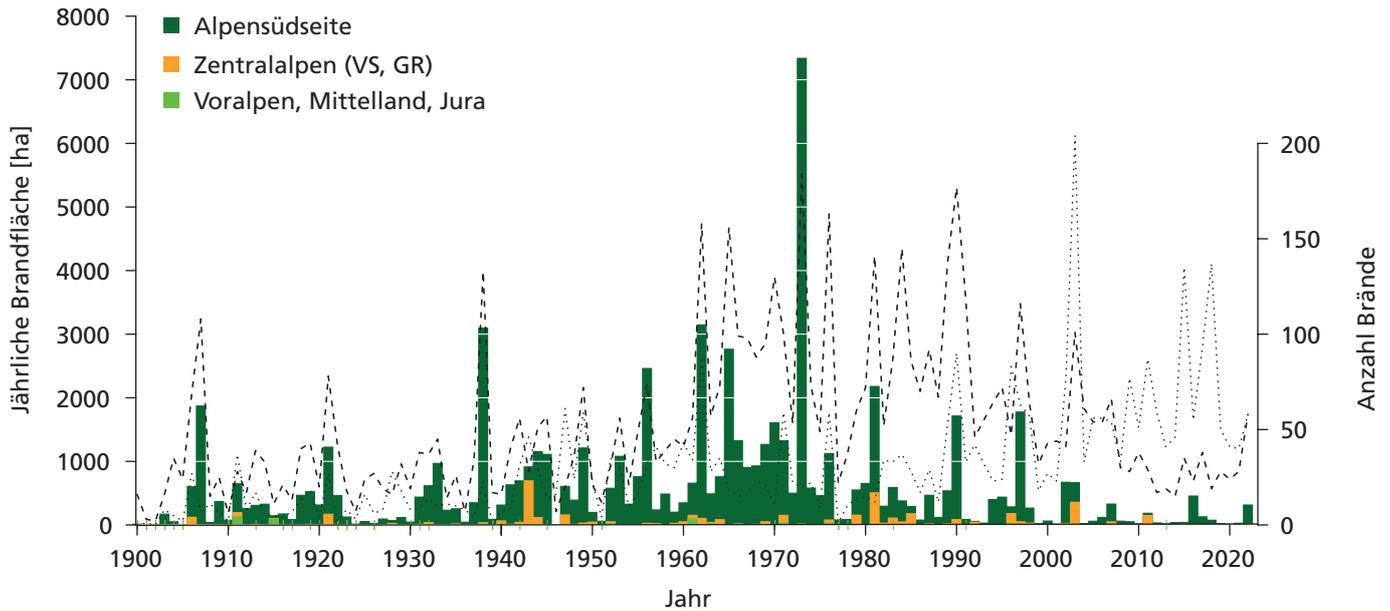


Abb. 3. Jährlich durch Waldbrand betroffene Fläche in der Schweiz von 1900 bis 2022 gemäss der Datenbank SwissFire (Pezzatti *et al.* 2010), unterteilt in die drei Regionen Alpensüdseite, Zentralalpen und Alpennordseite (Voralpen, Mittelland und Jura), sowie Anzahl Brände pro Jahr: Alpennordseite punktiert, Alpensüdseite gestrichelt.

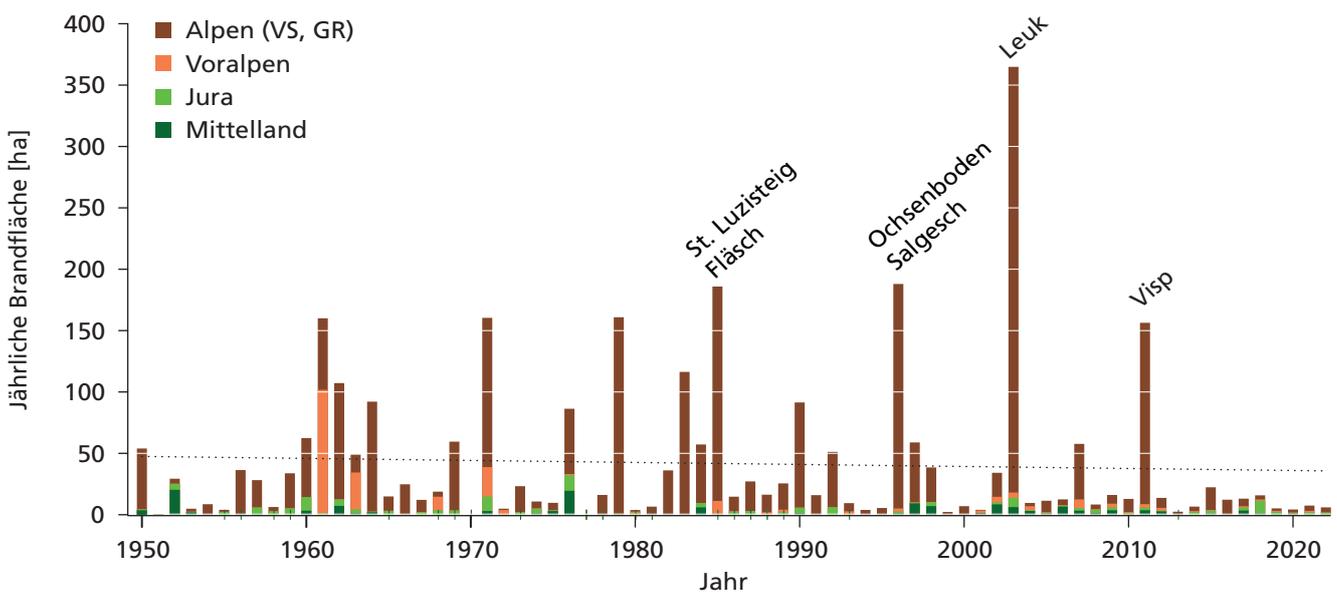


Abb. 4. Durch Waldbrand betroffene Flächen in Hektaren pro Jahr in den Zentralalpen, den Voralpen, dem Mittelland und dem Jura, von 1950 bis 2022. Ein Trend der jährlich versehrten Waldfläche ist nicht erkennbar (punktierte Linie: Regressionsgerade mit R² = 0,003, p = 0,78). Der Waldbrand von Bitsch (2023) verändert den Trend praktisch nicht.

bei Fläsch (1985; 150 ha) und im Kanton Wallis Ochsenboden bei Salgesch (1996; 161 ha), Leuk (2003; 310 ha), Visp (2011; 130 ha) und Bitsch (2023; 100 ha; nicht dargestellt).

Für die Entwicklung der regionalen und landesweiten Brandereignisse lassen sich keine Trends ablesen, die auf eine Zunahme der jährlich brandversehrten Fläche in der Zukunft hindeuten könnte.

4 Diskussion

Auf der Basis von verfügbaren Daten zu Waldschäden in den Zentralalpen und auf der Alpennordseite der Schweiz stellen wir eine deutliche Zunahme der jährlichen Schadenmengen seit den 1980er-Jahren fest. Die tatsächliche Zunahme dürfte noch deutlich grösser sein, da das Absterben von einzelnen Bäumen durch Krankheiten wie Kastanienrindenkrebs (Conedera 1991) und Ulmenwelke (Nierhaus-Wunderwald 1993) sowie durch Dürre während der letzten Jahre (Rigling *et al.* 2018b; Schuldt *et al.* 2020) unvollständig oder gar nicht in dieser Bilanz enthalten sind. Die häufigsten Ursachen der bezifferten Schäden sind Winterstürme, die auf der Alpennordseite bisher den wichtigsten Störungstyp darstellten (Wohlgemuth *et al.* 2008) und Borkenkäferbefall von Nadelhölzern, meist Fichtenbefall durch Buchdrucker. Diese Zunahme entspricht den Resultaten der jüngst veröffentlichten Übersicht zu Störungen in Wäldern von ganz Europa (Patacca *et al.* 2023). Was Störungstyp und Schadensausmass anbetrifft, sind die regionalen Unterschiede allerdings beträchtlich. Gegenüber den kleineren und grösseren Windwurfergebnissen, auf die jeweils mehrjähriger Borkenkäferbefall folgt, ergeben die lokal grossflächigen Waldbrände nur geringe jährliche Schäden. Waldbrandereignisse sind nichtsdestotrotz gravierend, insbesondere in brandversehrten Schutzwäldern, in denen unmittelbar eine Gefährdung durch Naturgefahren über mehrere Jahre entstehen kann (Melzner *et al.* 2022; Bebi 2023 in dieser Nummer).

Aufgrund der langjährigen, jedoch nicht vollständigen, Datenreihen sind limitierte Prognosen für die nähere Zukunft möglich. Bei unseren Be-

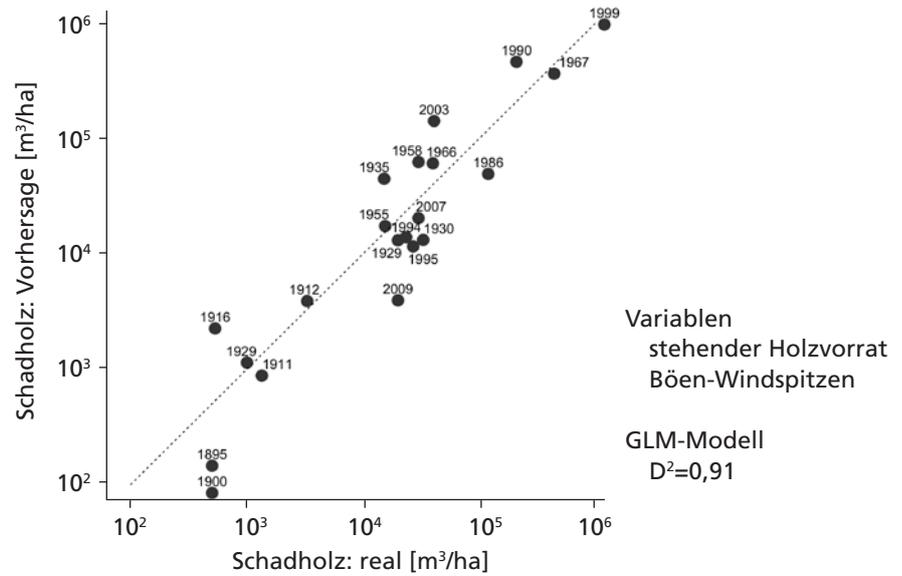


Abb. 5. Jahressummen der Windwurfschäden im Kanton Zürich von 21 Jahren mit starken Windwurfergebnissen im Zeitraum von 1891 bis 2014 auf der Grundlage von verschiedenen Quellen, aufgetragen gegen modellierte Schadholzwerte (erklärende Variablen: interpolierter stehende Vorrat der Wälder im Kanton Zürich sowie in der Stadt Zürich gemessene Böen-Windspitzen während der Sturmereignisse) mit Daten aus Usbeck *et al.* (2010b) berechnet. Aus Wohlgemuth *et al.* (2019).

trachtungen berücksichtigen wir insbesondere die Entwicklung des Holzvorrats in den Schweizer Wäldern sowie im Rahmen des Klimawandels höhere Temperaturen und ausgeprägtere Dürren als neue Treiber.

4.1 Windwürfe

Unter den vielen möglichen Grössen, die das Schadensausmass im Rahmen von Sturmwinden beeinflussen (Wohlgemuth *et al.* 2019), sind als wichtigste folgende zu nennen: auftretende Windspitzen, stehender Holzvorrat (Usbeck *et al.* 2010a; Usbeck *et al.* 2010b) sowie Art der Bestockung (Laub- vs. Nadelholz; Dobbertin *et al.* 2002; Scherrer *et al.* 2022) und Stickstoffeintrag (Braun *et al.* 2023). Zwischen Sturmholz und den kombinierten Variablen Windspitzen und Holzvorrat besteht ein starker Zusammenhang (Wohlgemuth *et al.* 2019; Abb. 5). Nicht nur die Windspitzen, die in der Stadt Zürich gemessen wurden (eine der weltweit längsten Messreihen), haben im Verlauf der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts stark zugenommen, sondern auch der Holzvorrat, der sich in der Schweiz und hier im Kanton Zürich seit 1864 mehr als verdoppelte (Usbeck

et al. 2010b). Die deutliche Korrelation zwischen Holzvorrat und Schadensausmass wurde ebenfalls für die Regionen Zentral- und Nordeuropa dokumentiert und als Ursache für eine weitere Zunahme von Sturmschäden in den nächsten Jahren aufgeführt (Seidl *et al.* 2014).

4.2 Befall von Nadelhölzern durch Borkenkäfer

In der Datenbank von (Bütikofer 1987) sind in praktisch jedem Jahr Angaben zu Käferholz vermeldet, selten aber sind sie beziffert. Der grösste in der Datenbank registrierte Borkenkäferbefall fand im Rahmen der Dürre von 1947 statt. Damals waren Fichten und Tannen gleichermaßen betroffen; die Tannen wurden Opfer des Krummzahnigen Tannenborkenkäfers *Pityokteines curvidens*. Erstmals wurden in den Folgejahren kantonale Käferholzmengen quantifiziert. Die Schadenfolgen waren im Vergleich mit jenen nach den Orkanen Vivian und Lothar allerdings deutlich geringer. Durch die regelmässige und verlässliche Dokumentation der Käferholzsituation seit 1984 wurde die Interaktion zwischen Windwurf, Sommertrockenheit und Befalls-

intensität durch Borkenkäfer besonders deutlich. Gerade die Sommerdürre 2003 löste eine riesige Welle von verstärktem Borkenkäferbefall in den von Sturm Lothar (1999) getroffenen Wäldern der Alpennordseite aus. Die Tatsache, dass Borkenkäfer in trockenheissen Jahren statt 1–2 bis zu 4 Generationen durchlaufen, dienten Jakoby *et al.* (2019) als Grundlage für die Berechnung von zukünftigem Borkenkäferbefall unter der Annahme von mehr Trockenheit, mehr Stürmen und wärmeren Temperaturen. Die Zunahme von Borkenkäferbefall in tieferen Lagen der Schweiz ist auch eine Folge des nutzungsbedingt hohen Anteils an Fichten, zum Beispiel im Mittelland (Saintonge *et al.* 2021; Scherrer *et al.* 2023a; Scherrer *et al.* 2023b in diesem Band).

4.3 Waldbrand

Mit den zunehmenden (Sommer-)Temperaturen seit den 1990er-Jahren finden Dürren immer häufiger statt, ein Trend der sich im Rahmen des Klimawandels noch verstärken wird (IPCC 2021). Das Risiko für Waldbrand nimmt damit sowohl global als auch in der Schweiz laufend zu (Pezzatti *et al.* 2016). Die gründlichen Aufzeichnungen von SwissFire für die Zentralalpen und für die Alpennordseite resultieren bei einer steigenden Anzahl von Bränden im langjährigen Mittel weder eine Zu- noch Abnahme der brandversehrten Vegetation beziehungsweise Waldgebiete. Im Wallis folgte allerdings einer langen Periode von 1922 bis 1978 ohne grossflächige Brände eine solche mit fünf Waldbränden mit Schadenflächen von mehr als 100 ha (unter Berücksichtigung von Bitsch 2023). Dies deutet auf eine Intensivierung der ausser Kontrolle geratenen Brände in neuerer Zeit hin. Insgesamt laufen aber die gegenwärtigen Waldbrandschäden in der Schweiz der globalen oder europäischen Entwicklung entgegen (Patacca *et al.* 2023). Verschiedene Gründe dürften hierfür geltend gemacht werden: Kantonale Waldbrandstrategien (z.B. Gerold 2011), die im Laufe der letzten Jahre erstellt wurden, kantonale Luftreinhalteverordnungen, die das Verbrennen von Biomasse im Wald seit Ende der 1990er-Jahre verbieten, ver-

breitete Messung der Waldbrandgefahr mittels verschiedener Indikatoren und davon abgeleitet raschere Erlasse von Feuerverbot bei grosser Waldbrandgefahr. Es scheint, dass sowohl Brandvermeidung als auch Brandbekämpfung Wirkung zeigen. Da die Anzahl Tage mit grosser Waldbrandgefahr analog zur Zunahme von heiss-trockener Witterung und Dürren weiter steigt, investieren auch mehrere Kantone nördlich der Alpen in die Waldbrandprävention. Das BAFU unterhält zudem eine landesweite Waldbrandgefahrenkarte, in welcher in regionaler Auflösung die täglich neu berechneten und von den Kantonen geprüften Gefahrenstufen dargestellt sind (waldbrandgefahr.ch).

4.4 Störungen im Rahmen von Dürren

Konsistente Daten über Dürreschäden in Schweizer Wäldern fehlen weitgehend. Ähnlich wie bei Windwurfschäden wurden bisher nur die markantesten Auswirkungen von Dürren in verschiedenen Gebieten festgehalten, dies in unterschiedlicher Form. So inspirierte die Dürre von 1920 im Wallis den Schriftsteller Charles Ferdinand Ramuz zum erst kürzlich ins Deutsche übersetzte Roman *La présence de la mort* (1921; Sturz in die Sonne 2023, Limmat Verlag). Und der trockene Sommer 1947 verursachte so viel Totholz durch direkte Austrocknung und nachträglichen Borkenkäferbefall, dass 1948, erstmals seit dem Erscheinen der Schweizerischen Zeitschrift für das Forstwesen im Jahr 1850, eine landesweite Forstchronik zu den Schäden erschien (Müller 1948; Rathgeb *et al.* 2020). Im Laufe des Klimawandels wurden seit den 1990er-Jahren erhöhte Mortalitätsraten von Waldföhren im Wallis festgestellt (Bigler *et al.* 2006; Rigling *et al.* 2006; Rigling *et al.* 2013; Rigling *et al.* 2018a). Mit weiteren sehr warmen und oft trockenen Jahren kumulierten sich die Trockenheitseffekte (Vitasse *et al.* 2019; Trotsiuk *et al.* 2020), und durch die Sommerdürre von 2018 erreichten die wachstumslimitierenden Dürreeffekte alle Wälder in den tieferen Lagen der Schweiz, mit anhaltenden Auswirkungen auf beinahe alle Baumarten (Baltensweiler *et al.* 2020; Brun *et al.* 2020; Rigling und Stähli 2020; Wohlgemuth

et al. 2020; Walthert *et al.* 2021; Frei *et al.* 2022). Die Konsequenzen der kontinuierlich steigenden mittleren Temperaturen sowie der bald zur Normalität werdenden Dürren in der Schweiz (Imfeld *et al.* 2022) sind die Zunahme von Dürreschäden bei praktisch allen Waldbäumen sowie indirekt die grössere Gefährdung von Nadelhölzern durch Borkenkäferbefall. Als Konsequenz von kontinuierlich weiter ansteigenden mittleren Temperaturen sowie der bald zur Norm werdenden Dürren in der Schweiz rechnen wir generell mit einer zunehmenden Schwächung der Waldbäume und mit einer hohen Gefährdung von Nadelhölzern durch Borkenkäferbefall.

5 Dank

Für die Bereitstellung von Sturmholzzahlen seit 2010 danken wir Maurizio Veneziani (Kantonsforstamt St. Gallen), Marco Vanoni (Amt und Wald und Naturgefahren, Kt. Graubünden) und Isabelle Straub (Amt für Wald und Naturgefahren, Kt. Bern).

6 Literatur

- Baltensweiler A., Brun P., Pranga J., Psoomas A., Zimmermann N.E., Ginzler C., ... (2020) Räumliche Analyse von Trockenheitssymptomen im Schweizer Wald mit Sentinel-2-Satellitendaten. *Schweiz. Z. Forstwes.* 171: 298–301.
- Bebi P., Piazza N., Ringenbach A., Caduff M., Conedera M., Krumm F., Rigling A. (2023) Schutzwirkung und Resilienz von Gebirgswäldern nach natürlichen Störungen. In: Bebi P., Schweizer J. (Red.) *Forum für Wissen 2023. WSL Berichte 144*: 41–48. doi.org/10.55419/wsl:35230
- Bigler C., Bräker O.U., Bugmann H., Dobbertin M., Rigling A. (2006) Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9: 330–343.
- Braun S., Rihm B., Tresch S., Schindler C. (2023) Long-term risk assessment of uprooting and stem breakage under drought conditions and at high N deposition in beech and Norway spruce. *Agric. For. Meteorol.* 341: 109669.
- Brun P., Psoomas A., Ginzler C., Thuiller W., Zappa M., Zimmermann N.E., ... (2020) Large-scale early-wilting response of Cen-

- tral European forests to the 2018 extreme drought. *Glob. Change Biol.* 26: 7021–7035.
- Bründl M., Hafner E., Bebi P., Bühler Y., Margreth S., Marty C., ... (2019) Ereignisanalyse Lawinensituation im Januar 2018. *WSL Ber.* 76: 1–162.
- Bütikofer N. (1987) Historische Waldschäden in der Schweiz 1800–1960. Lizentiatsarbeit, Historisches Institut der Universität Bern. 97 S.
- Conedera M. (1991) La situazione del cancro corticale del castagno (*Cryphonectria (Endothia) parasitica* [Murr.] Barr.) al Sud delle Alpi (Svizzera meridionale). *Schweiz. Z. Forstwes.* 142: 283–298.
- Dobbertin M., Seifert M., Schwyzer A. (2002) Ausmass der Sturmschäden. *Wald Holz* 83: 39–42.
- Dubach V., Dennert F., Blaser S., Beenken L., Hölling D., Stroheker, S., ... (2023) Waldschutzüberblick 2023. *WSL Ber.* 107: 1–80.
- Frei E.R., Gossner M.M., Vitasse Y., Queiroz V., Dubach V., Gessler A., ... (2022) Drought legacy effects and first signs of recovery in European beech after the severe 2018 drought. *Plant Biol.* 24: 1132–1145.
- Gerold P. (2011) Waldbrandmanagement im Kanton Wallis und Lehren aus dem Brand von Visp im Jahr 2011. *Schweiz. Z. Forstwes.* 170: 251–257.
- Imfeld N., Stucki P., Brönnimann S., Bürgi M., Calanca P., Holzkämper A., ... (2022) Ein ziemlich normaler zukünftiger Sommer. *Geobr. Bern.* G100: 1–3.
- IPCC (2021) *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jakoby O., Lischke H., Wermelinger B. (2019) Climate change alters elevational phenology patterns of the European spruce bark beetle (*Ips typographus*). *Glob. Change Biol.* 25: 4048–4063.
- Jentsch A., Seidl R., Wohlgemuth T. (2019) Definitionen und Quantifizierungen. In: Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R. (eds) *Störungsökologie (UTB 5018)*. Stuttgart: Verlag Haupt, 21–44.
- Melzner S., Conedera M., Pezzatti G.B. (2022) Post Waldbrand Risiko in den schweizerischen Gebirgen. *Wildbach Lawinverbau* 190: 120–130.
- Möhring B., Bitter A., Bub G., Dieter M., Dög M., Hanewinkel M., ... (2021) Abschätzung der ökonomischen Schäden der Extremwetterereignisse der Jahre 2018 bis 2020 in der Forstwirtschaft. *Holz-Zentralblatt* 9: 155–158.
- Müller H. (1948) Forstliche Chronik 1947. *Schweiz. Z. Forstwes.* 99: 438–443.
- Nierhaus-Wunderwald D. (1993) Ulmenwelke – Biologie, Vorbeugung und Gegenmassnahmen. *Wald Holz* 74, 13: 36–40.
- Patacca M., Lindner M., Lucas-Borja M.E., Cordonnier T., Fidej G., Gardiner B., ... (2023) Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Glob. Change Biol.* 29: 1359–1376.
- Pezzatti G.B., De Angelis A., Conedera M. (2016) Potenzielle Entwicklung der Waldbrandgefahr im Klimawandel. In: Pluess A.R., Augustin S., Brang P. (Red.) *Wald und Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien.* Bern: Haupt, 223–244.
- Pezzatti G.B., Reinhard M., Conedera M. (2010) Swissfire: die neue schweizerische Waldbranddatenbank. *Schweiz. Z. Forstwes.* 161: 465–469.
- Pfister C., Bütikofer N., Schuler A., Volz R. (1988) Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz. Eine historisch-kritische Untersuchung von Schadenmeldungen aus schweizerischen Wäldern in ihrer Beziehung zur Klimabelastung, insbesondere durch sommerliche Dürreperioden. Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, Bern. 70 S.
- 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.
- Rigling A., Bigler C., Eilmann B., Feldmeyer-Christe E., Gimmi U., Ginzler C., ... (2013) Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests. *Glob. Change Biol.* 19: 229–240.
- Rigling A., Dobbertin M., Bürgi M., Feldmeier-Christe E., Gimmi U., Ginzler C., ... (2006) Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern. *Forum Wissen:* 23–33.
- Rigling A., Moser B., Feichtinger L., Gärtner H., Giuggiola A., Hug C., ... (2018a) 20 Jahre Waldföhrensterben im Wallis: Rückblick und aktuelle Resultate. *Schweiz. Z. Forstwes.* 169: 242–250.
- Rigling A., Moser B., Feichtinger L., Gärtner H., Giuggiola A., Hug C., ... (2018b) 20 Jahre Waldföhrensterben im Wallis: Rückblick und aktuelle Resultate – 20 years of Scots pine dieback in Valais (Switzerland): a retrospect and new results. *Schweiz. Z. Forstwes.* 169: 242–250.
- Rigling A., Stähli M. (2020) Erkenntnisse aus der Trockenheit 2018 für die zukünftige Waldentwicklung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 171: 242–248.
- Saintonge F.-X., Gillette M., Blaser S., Queiroz V., Leroy Q. (2021) Situation et gestion de la crise liée aux scolytes de l'Épicéa commun fin 2021 dans l'est de la France, en Suisse et en Wallonie. *Rev. For. Fr.* 73: 619–641.
- Scherrer D., Ascoli D., Conedera M., Fischer C., Maringer J., Moser B., ... (2022) Canopy disturbances catalyse tree species shifts in Swiss forests. *Ecosystems* 25: 199–214.
- Scherrer D., Baltensweiler A., Bürgi M., Fischer C., Stadelmann G., Wohlgemuth T., ... (2023a) Low naturalness of Swiss broadleaf forests increases their susceptibility to disturbances. *Forest Ecol. Manag.* 532: 120827.
- Scherrer D., Moser B., Wohlgemuth T. (2023b) Huhn oder Ei? Störungen und Baumartenzusammensetzung. In: Bebi P., Schweier J. (Red.) *Forum für Wissen 2023. WSL Berichte* 144: 33–40. <https://doi.org/10.55419/wsl:35228>
- Schuldts B., Buras A., Arend M., Vitasse Y., Beierkuhnlein C., Damm A., ... (2020) A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic Appl. Ecol.* 45: 1–18.
- Seidl R., Schelhaas M.J., Rammer W., Verkerk P.J. (2014) Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nat. Clim. Chang.* 4: 806–810.
- Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., ... (2017) Forest disturbances under climate change. *Nat. Clim. Chang.* 7: 395–402.
- Trotsiuk V., Hartig F., Cailleret M., Babst F., Forrester D.I., Baltensweiler A., ... (2020) Assessing the response of forest productivity to climate extremes in Switzerland using model-data fusion. *Glob. Change Biol.* 26: 2463–2476.
- Usbeck T. (2015) Wintersturmschäden im Schweizer Wald von 1865 bis 2014. *Schweiz. Z. Forstwes.* 166: 184–190.
- Usbeck T., Wohlgemuth T., Dobbertin M., Pfister C., Bürgi A., Rebetez M., ... (2010a) Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agric. For. Meteorol.* 150: 47–55.
- Usbeck T., Wohlgemuth T., Pfister C., Volz R., Beniston M., Dobbertin M., ... (2010b) Wind speed measurements and forest damage in Canton Zurich (Central Europe) from 1891 to winter 2007. *Int. J. Climatol.* 30: 347–358.

- Vitasse Y., Bottero A., Cailleret M., Bigler C., Fonti P., Gessler A., ... (2019) Contrasting resistance and resilience to extreme drought and late spring frost in five major European tree species. *Glob. Change Biol.* 25: 3781–3792.
- Vitasse Y., Rebetez M. (2018) Unprecedented risk of spring frost damage in Switzerland and Germany in 2017. *Clim. Change* 149: 233–246.
- Walthert L., Ganthaler A., Mayr S., Saurer M., Waldner P., Walser M., ... (2021) From the comfort zone to crown dieback: Sequence of physiological stress thresholds in mature European beech trees across progressive drought. *Sci. Total Environ.* 753: 141792.
- Winkler O. (1944) Erfahrungen und Lehren aus der Waldbrandkatastrophe am Calanda bei Chur, August/September 1943. *Schweiz. Z. Forstwes.* 95: 383–404.
- Wohlgemuth T., Conedera M., Kupferschmid Albisetti A.D., Moser B., Usbeck T., Brang P., ... (2008) Effekte des Klimawandels auf Windwurf, Waldbrand und Walddynamik im Schweizer Wald. *Schweiz. Z. Forstwes.* 159: 336–343.
- Wohlgemuth T., Duelli P., Ginzler C., Gödickemeier I., Hadorn S., Hagedorn F., ... (2005) Ökologische Resilienz nach Feuer: Die Waldbrandfläche Leuk als Modellfall. *Schweiz. Z. Forstwes.* 156: 345–352.
- Wohlgemuth T., Hanewinkel M., Seidl R. (2019) Windstörungen. In: Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R. (eds) *Störungsökologie (UTB 5018)*. Stuttgart: Verlag Haupt, 156–174.
- Wohlgemuth T., Kistler M., Aymon C., Hagedorn F., Gessler A., Gossner M.M., ... (2020) Früher Laubfall der Buche während der Sommertrockenheit 2018: Resistenz oder Schwächesymptom? *Schweiz. Z. Forstwes.* 171: 257–269.

Abstract

Disturbance dynamics on the north of the Alps from 1900 to 2022

Will disturbances in forests on the north of the Alps increase in the coming decades? In the search for answers, quantitative data provide concrete clues on forest damage such as storm wood, beetle wood, broken wood and forest fire areas from the beginning of the 20th century. Despite the incompleteness of the data series, most trends indicate a strong increase in forest damage caused by disturbances since the 1980s. The reasons for this increase are exacerbated by climate change, increasing stock of wood, invasive pests, and various interactions. We expect these trends to continue in the same direction.

Keywords: avalanches, bark beetle investment, climate change, drought, European ash dieback, forest fires, snow breakage, Switzerland, windthrow, winter storms



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.