

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie

Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel

Band: 63 (2022)

Heft: 2

Artikel: Windstörungen

Autor: Wohlgemuth, Thomas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088060>

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: 15.01.2026

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

Windstörungen

Thomas Wohlgemuth

Zusammenfassung

Stürme erzeugen kleine bis grossflächige Störungen, wovon Wälder wegen ihrer Wuchshöhe und Ausdehnung am stärksten betroffen sind. In West-, Mittel- und Nordeuropa ereignen sich in Bezug auf das betroffene Holzvolumen die grössten Sturmschäden, und Wind stellt den bedeutendsten Störfaktor für Wälder dar. Fichten sind in Mitteleuropa anfälliger gegenüber Winterstürmen als winterkalte Bäume. Eine typische Folge von Windwürfen sind Massenvermehrungen von Borkenkäfern, die zum Befall von intakten Fichtenbeständen führen. Windwurfflächen bewalden sich in Tieflagen rascher als in Hochlagen. In naturbelassenen und geräumten Störungsflächen verjüngt sich der Wald ähnlich rasch. Die Grösse von Windschäden wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, wovon die Windstärke, der Holzvorrat und die Baumart – Laub- oder Nadelholz – zu den wichtigsten zählen.

1 Einleitung

Schwere Stürme fegen mit Windspitzen von rund 90 und mehr Kilometern pro Stunde und können Bäume knicken oder entwurzeln. Werden über 100 Kilometer pro Stunde erreicht, herrscht ein orkanartiger Sturm, und bei Böen von über 120 Kilometern pro Stunde ist Orkanstärke erreicht. In der Schweiz warf der Wintersturm Vivian Ende Februar 1990 eine bis dahin kaum bekannte Fläche von Waldbeständen insbesondere in den Berggebieten zu Boden. Am Stephanstag 1999 fand in der Schweiz dann das bisher verheerendste Windwurfereignis statt: Wintersturm Lothar suchte von Nordwesten her kommend das Mittelland und das nördliche Alpenvorland heim und verursachte rund 14 Millionen Kubikmeter „Sturmholz“. Wohl die Hälfte der Schweizer Bevölkerung hat diesen Sturm miterlebt. Den Sturmschäden folgte eine bis dahin nicht bekannte Massenvermehrung von Borkenkäfern, die bis anhin noch intakte Fichtenwälder befielen. Weitere 8 Millionen Kubikmeter totes Fichtenholz kam bis zum Jahr 2007 dazu (Dubach et al. 2021). In welchem Rahmen treten solche Starkwinde auf, welche Schäden hinterlassen sie und wie reagiert die Natur darauf?

2 Winterstürme überwiegen

Im Winterhalbjahr, also von Oktober bis März, sind die Temperaturunterschiede in der Stratosphäre zwischen der Polarzone und dem Süden besonders gross, weshalb grosse kinetische Kräfte entstehen. Extratropische Stürme wie Blizzards über Nordamerika und europäische Winterstürme in West-, Mittel- und Nordeuropa sind die Folge. Die von West nach Ost verlaufenden Zyklonbewegungen gehören zum Wettergeschehen der Westwindzone (Abb. 1). Winterstürme erreichen riesige Dimensionen von mehreren hundert Kilometern Breite und ziehen über Tausen-

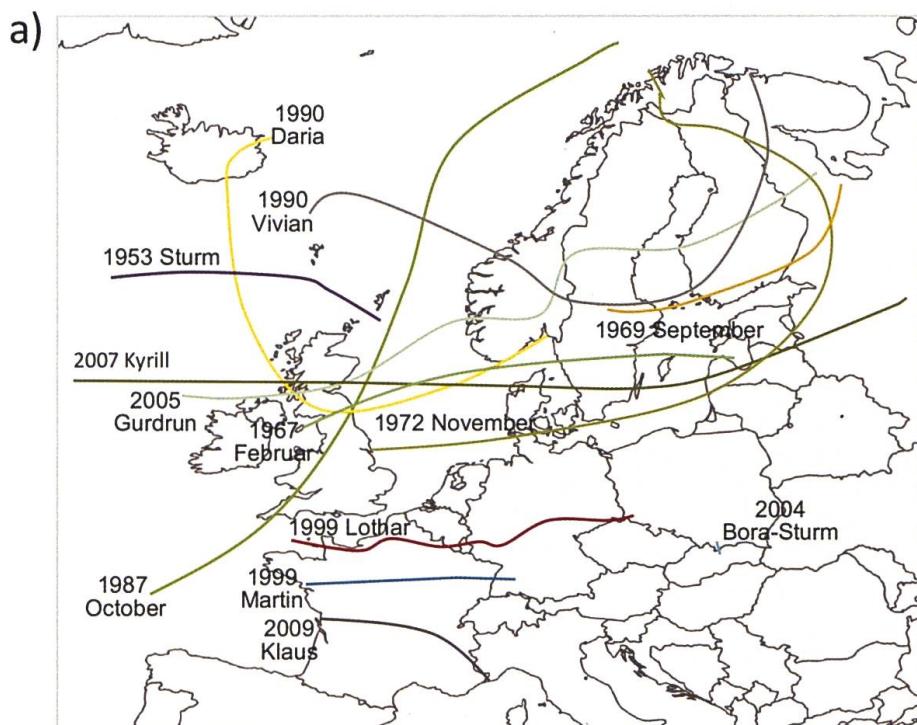
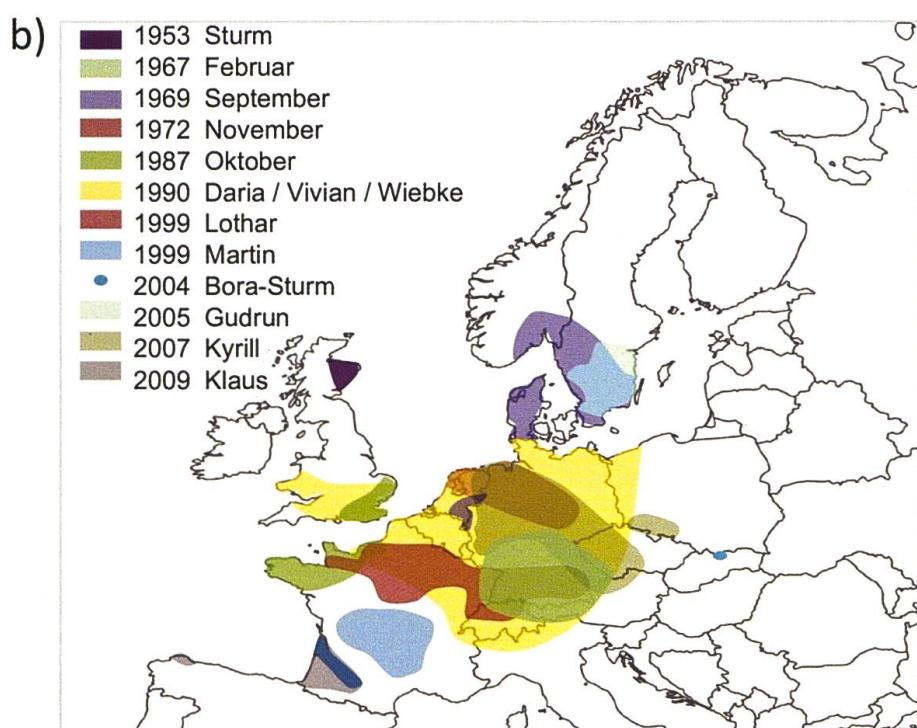


Abb. 1

a) Routen der Zentren von Tiefdruckgebieten (Sturmtiefs) in den Wintermonaten 1961–2010. Diese können, wie z. B. bei Vivian/Wiebke (1990) und Kyrill (2007), deutlich nördlich der Gebiete mit den grössten Schäden liegen.



b) Schadensgebiete der Winterstürme in den Wintermonaten 1961–2010 (aus Gardiner et al. 2010, verändert).

de von Kilometern. Im Gegensatz dazu sind Sommergewitter um Größenordnungen kleiner, können sich lokal aber ebenso verheerend auswirken, wie das verheerende Sommergewitter vom 13. Juli 2021 in der Umgebung von Zürich zeigte. Windstörungen stellen in Mitteleuropa den bedeutendsten Störfaktor in Wäldern dar.

3 Unmittelbare Schäden und Resistenz

Wo Winde häufig wehen, sind die Bäume angepasst: Ständiges Rütteln an der Krone überträgt sich auf alle Pflanzenteile, und wo die Kräfte am Stärksten wirken, wird mehr Lignin eingebaut (Abb. 2a). Die Verlagerung der Baustoffe führt dazu, dass an windexponierten Waldrändern die Bäume weniger hoch wachsen als jene, die im Bestandsinnern stehen. Bei aussergewöhnlich starken Winden halten die “Randständigen” meistens mehr aus als die Bäume im Innern, die sich gegenseitig mit den Kronen stabilisieren. Nadelbäume wie Kiefern, Tannen und Fichten bieten mit ihren immergrünen Nadeln im Winter eine grössere Angriffsfläche als die winterkahlen Laubbäume (Abb. 2b). Die Schäden in Waldbeständen nehmen daher mit ihrem Nadelholzanteil zu.

Je nach den herrschenden Temperaturen während eines schweren Sturms oder Orkans kann der Anteil an Entwurzelungen oder an Stammbrüchen variieren. Bei gefrorenem Boden brechen die Stämme häufiger, bei aufgeweichtem Boden werden die Bäume eher aus den Angeln gehoben. Oftmals steigen beim Herannahen von Sturmtiefs die Temperaturen schon Tage vorher an, weshalb gerade in Tieflagen Entwurzelungen vorherrschen können (Usbeck et al. 2010a). Große Bäume in windexponierter Lage sind infolge der Angriffsfläche der Krone generell einem stärkeren Risiko ausgesetzt, während eines Sturmes beschädigt zu werden, als kleine Bäume (Dobbertin et al. 2002).

4 Störungskaskaden: Windwurf, Borkenkäfer und Wärme

Seitdem die Waldschäden in der Schweiz quantifiziert worden sind, stellte man nach grösseren Sturmschäden im Wald immer auch grosse Schäden durch Borkenkäferbefall fest (Pfister et al. 1988). Borkenkäfer vermehren sich unter der Baumrinde. Hierzu müssen sie sich durch die Rinde einbohren, die in gesunden Bäumen von Harz durchzogen ist und das Eindringen der Käfer erschwert. Winterstürme können weiträumig Bäume schädigen oder schwächen, wodurch Rinden und Borken austrocknen und kein Hindernis mehr für die Käfer darstellen. In unseren Wäldern, in denen auch in der Buchenwaldzone der Tieflagen ein beträchtlicher Fichtenanteil besteht, vermehrt sich nach Windwürfen insbesondere der auf Fichten spezialisierte Buchdrucker (*Ips typographus*) besonders stark. Unmengen von Borkenkäfern befallen nun immer mehr Bäume, darunter auch gesunde. Ist nach einem grösseren Windwurfereignis einer oder mehrere der nachfolgenden Sommer sehr warm, vergrössern sich die Käferpopulationen nochmals stark, weil die Borkenkäfer statt den üblicherweise zwei nun gar drei bis vier Generationen in einem Sommer durchlaufen (Jakoby et al. 2016; Abb. 3). Die Borkenkäfer können ähnlich grosse Schäden am Holz anrichten wie das auslösende Windwurfereignis davor. Das anschaulichste Beispiel für diese Störungskaskade bietet der Nationalpark Bayerischer Wald, wo eine erste Borkenkäfergradation nach Gewitterstürmen 1983 und 1984 im Fichtenwald entstand und ohne menschliches Dazutun bis anfangs der 1990er-Jahre dauerte. Warmer Sommer, erneute Sturmschäden sowie bestehende Befallsherde führten von 1992 bis 1994 zu einer weiteren explosionsartigen Vermehrung, die nochmals rund zehn Jahre andauerte und riesige Mengen Totholz zur Folge hatten (Müller 2015).

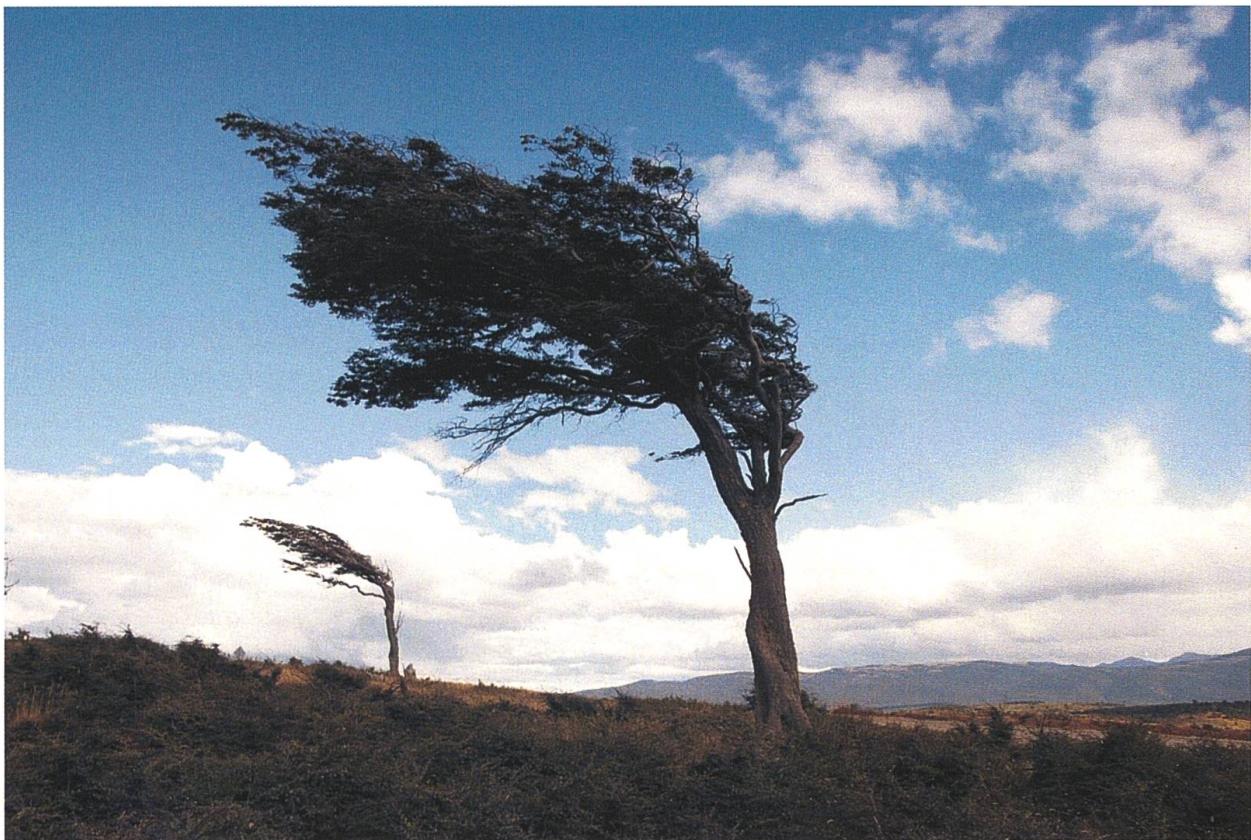


Abb. 2 Windresistenzen: a [oben]) Windgeformte Bäume in Terra del Fuego, Chile. b [unten]) Folgen des Wintersturms Vivian (1990) im Niderental bei Schwanden, Kt. Glarus, auf 900 – 1'100 m ü. M. (Aufnahme von 1991). Immergrüne Fichten wurden vom Wind zu Boden gedrückt, standgehalten haben sommergrüne Buchen, die während des Sturms im Februar kahl waren und dem Wind weniger Angriffsfläche boten.

Fotos: a) L. Neumann Ciuffo, b) H. Kaspar



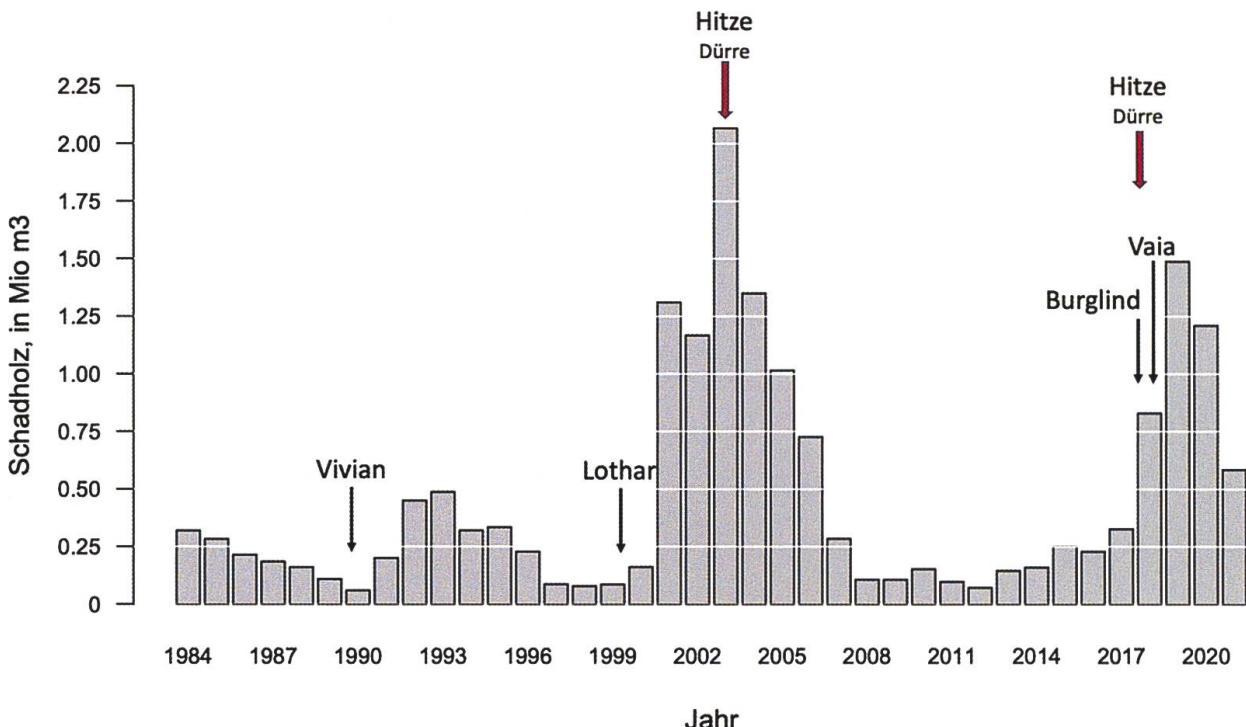


Abb. 3 Jährliche Schadholzmenge in der Schweiz durch Borkenkäferbefall, von 1984 bis 2021 (Daten aus Stroheker et al. 2022), mit Angabe der grossen Winterstürme Vivian (Feb. 1990), Lothar (Dez. 1999), Burglind (Jan. 2018), Vaia (Okt. 2018) sowie den zwei markanten Sommerdürren 2003 und 2018.

5 Waldentwicklung nach Windwurf

In Waldökosystemen erfolgt die Erholung nach einer Störung in mehreren Phasen. Nach Windwurf oder Windbruch entsteht in der Lücke eine kurze Ruderalphase, die ein bis drei Jahre dauert (Abb. 4). Auf vorübergehend vegetationsfreien offenen Flächen wie Wurzelstellern, Wurzelmulden, ursprünglich karg bewachsenen Waldböden sowie durch Räumung entblößten Böden breiten sich typische Schlagflurarten aus. Ihre Samen haben jahrzehntelang im Boden überdauert oder wurden mit dem Wind in die Waldöffnung verweht. Häufig anzutreffende Vertreter von Pflanzenarten sind Brennnesseln, Gemeiner Hohlzahn, Brombeeren, Himbeeren und Tollkirsche. Aufkommende Sträucher und Jungbäume profitieren in der Pionierphase vom grossen Lichtangebot und schiessen auf, sofern sie nicht durch verdämmende Vegetation behindert werden. In der Dickungsphase schliessen sich die Kronen der dicht beisammenstehenden Bäume und beschatten den Raum unter dem Blätterdach – die Artenvielfalt von Pflanzen- und Insektenarten nimmt ab. Über diese (Kronen-)Schlussphase erreichen die Bäume nun die lange andauernde Optimalphase. In einem natürlichen Waldökosystem ohne Eingriffe wachsen die Bäume weiter, sofern sie nicht von Wind geworfen oder von Insekten befallen werden. Früher oder später geht die Optimalphase in eine Zerfallsphase über, und der Entwicklungszyklus beginnt von vorne (Abb. 5).



Abb. 4 Die artenreiche Ruderalphase dauert in Tieflagen nur kurz, in Bergwäldern etwas länger. Beispiel aus dem Berner Oberland.
Foto: U. Wasem

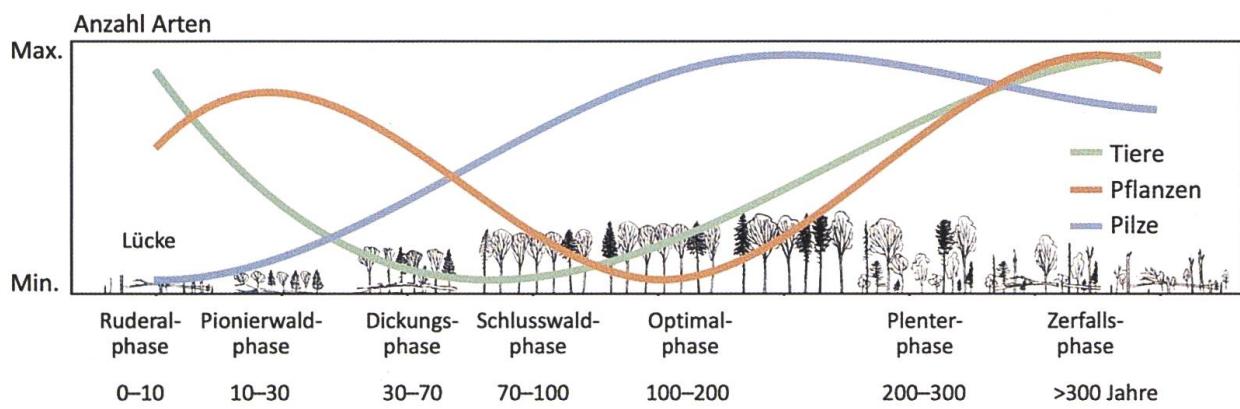


Abb. 5 Waldentwicklungsphasen nach Remmert (1991) sowie Verlauf der Artenzahlen für verschiedene taxonomische Gruppen (in Anlehnung an Hilmers et al. 2018).

5.1 Natürliche Verjüngung

Mittels einer Stichprobe von 90 Windwurfflächen in verschiedenen Wäldern der Schweiz eruierten Kramer et al. (2014) die Verjüngungsdichten und Baumhöhen zehn Jahre nach Lothar (1999) und 20 Jahre nach Vivian (1990). Bei den berücksichtigten Windwurfflächen handelte es sich um vollständig vom Wind geworfene Bestände, die nach dem Windwurf entweder geräumt oder sich selbst überlassen wurden und eine Mindestgrösse von drei Hektaren aufwiesen. Die Flächen

befanden sich im Jura und im Mittelland sowie in den Nord- und den Zentralalpen in Höhenlagen von 360 bis 1'800 m ü. M. Grundsätzlich waren die Muster der Wiederbewaldung sehr heterogen, was sich in der grossen Spanne der Anzahl der Baumstämme > 20 cm pro Hektare ausdrückte (1'000 – 80'000 Stämme; Abb. 6).

In den 20-jährigen Vivian-Windwurfflächen, die im Mittel (Median) auf 1'490 m ü. M. lagen, wurden Dichten von mittleren 2'600 bis 4'600 Stämmen pro Hektar in belassenen und geräumten Flächen gefunden. Höhere Dichten wurden in den zehnjährigen Lotharflächen (Median: 770 m ü. M.) festgestellt, mit mittleren 7'600 bis 10'800 Stämmen pro ha. Die höhere Stammzahl erklärt sich aufgrund der langsameren Besiedlungsdynamik in höheren Lagen infolge kürzerer Vegetationszeit. In tieferen Lagen wie vor allem im Mittelland erreichen die grössten Bäume in einer Windwurffolgefläche nach zehn Jahren rund sechs Meter Höhe, wohingegen in höheren Lagen für dieselbe Grösse eine doppelt so lange Wachstumszeit nötig ist. Der Anteil der Verjüngung, die vor dem Windwurfereignis schon vorhanden war, machte in höher gelegenen Flächen 10 % der Stammzahl aus, in Tieflagen dagegen 30 %. In den Laubwäldern der Tieflagen vermögen Baumararten als Jungbäume den schattigen Verhältnissen im intakten Wald zu trotzen (vor allem Buchen und Eschen). Dagegen benötigen die Nadelhölzer in den Bergwäldern für den Aufwuchs eine Mindestmenge an Licht.

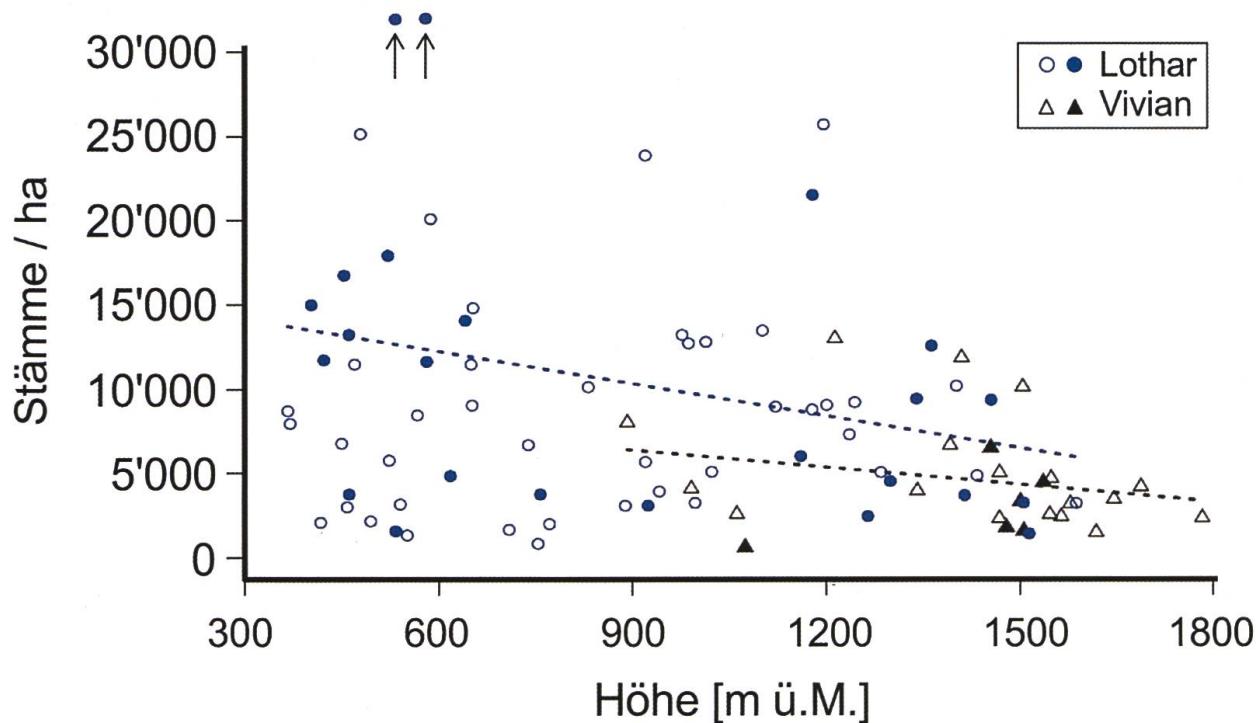


Abb. 6 Natürliche Verjüngung auf Windwurfflächen in der Schweiz (mit Daten aus Kramer et al. 2014), zehn Jahre nach Sturm Lothar (Kreise) und 20 Jahre nach Sturm Vivian (Dreiecke), mit ausgefüllten Symbolen für ungeräumte Flächen. Die Regressionslinien für Vivian- und Lotharflächen zeigen die Unterschiede zwischen tiefer und höher gelegenen Windwurfflächen an. Die Zusammenhänge zwischen Höhenlage und Verjüngungsdichte sind jedoch nicht signifikant.

5.2 Limitierende Faktoren der Verjüngung

Als wichtigste Faktoren, welche die Verjüngung auf Windwurffolgeflächen limitieren, nennen *Kramer et al. (2014)* die Höhenlage, verdämmende Vegetation und den Säuregrad des Substrats. In höheren Lagen bleibt infolge der verkürzten Vegetationszeit nicht nur weniger Zeit für das Wachstum, es stehen auch weniger Baumarten zur Verfügung. Hochstauden und Gräser (Reitgras-Arten) können die aufkeimende Verjüngung über lange Zeit unterbinden. Bestandesbildende, in den ersten zehn Jahren aber langsam wachsende Nadelhölzer (z. B. Tanne und Fichte), können, sofern nach dem Sturm gekeimt, erst im Schatten von Pionieren aufwachsen oder einige Jahre später auf vermoderndem Totholz den Hochstauden entkommen. Besonders in höheren Lagen verkürzt eine bereits vorhandene Verjüngung die Zeit der Wiederbewaldung. Auch in Tieflagen können rasch verdämmende Brombeerstauden, Adlerfarn, Kräuter oder Gräser die Baumverjüngung stoppen. So erreichte die Verjüngung auf rund einem Drittel der untersuchten zehnjährigen Lotharflächen unterhalb von 800 m ü. M. weniger als 4'000 Stämme pro Hektar. Je höher der pH-Wert des Mineralbodens ist, desto grössere Verjüngungsdichten sind auf den Windwurffolgeflächen zu finden. Ebenso ist die Anzahl der Baumarten auf karbonatreichem Substrat grösser (*Kramer et al. 2014, Brang et al. 2015*). Ein ebensolcher Zusammenhang wurde auch in Windwurfflächen in Lothringen, Frankreich, festgestellt (*Van Couwenberghe et al. 2010*). Vorübergehend verändert sich mit der plötzlichen Öffnung des Waldes die Ressourcensituation beträchtlich: Licht dringt bis zum Waldboden, die Temperaturen steigen tagsüber deutlich an, und wo der Boden aufgeraut oder aufgebrochen ist, findet eine rasche Mineralisierung statt, wodurch mehr Nährstoffe verfügbar werden.

Die Verjüngungsdichten von geräumten und belassenen Windwurfflächen unterschieden sich bei zehn bis 20 Jahre alten Windwurfflächen in der Schweiz nicht deutlich. Obwohl bei der Räumung bereits vorhandene Verjüngung zerstört wird, was sich in kleineren mittleren Baumhöhen auswirkt, herrschen auf den aufgerauten Böden geräumter Flächen beste Voraussetzungen für die Keimung und den Anwuchs von vielen Baumarten, weshalb dort die Stammdichten beträchtlich sein können. Im Gegensatz dazu keimen Samen in ungeräumten Flächen insbesondere auf Wurzeltellern und Wurzelmulden, wo die Vegetation vorübergehend fehlt. Diese breit abgestützten Resultate kontrastieren mit verschiedenen Fallstudien, welche in unbehandelten Windwurfflächen die Bedeutung von natürlichen Mikrohabitaten für die Entwicklung von natürlichen Strukturen und Waldbiodiversität hervorheben.

Verschiedene Studien haben die Verjüngung in Abhängigkeit zur Distanz zum unversehrten Wald und somit zu potentiellen Samenquellen untersucht. In der grossen Stichprobe in Lothringen, Frankreich, nahm die Häufigkeit von kleinen Buchen, Hainbuchen und Eichen fünf Jahre nach dem Sturmereignis bereits in den ersten 20 Metern vom Waldrand entfernt ab, wohingegen grössere Exemplare derselben Arten mit zunehmender Distanz zum Rand zahlreicher wurden (*Van Couwenberghe et al. 2010*). Der massenhaften Ausbreitung von schwereren Samen sind zwar deutliche Grenzen gesetzt, andererseits wachsen freigestellte junge Baumpflanzen, die bereits vor der Störung keimten, generell besser in stark belichteten Flächen als im Halbschatten nahe am Rand zum unversehrten Bestand (hier nicht berücksichtigt sind Effekte der Ausbreitung grosser Samen durch Eichelhäher oder Eichhörnchen). In der grossen Stichprobe von Schweizer Windwurfflächen wurde zehn Jahre nach dem Sturm Lothar ein negativer Zusammenhang der Verjüngungsdichte mit der Waldranddistanz auf den ersten 80 Metern festgestellt, was insbesondere mit den schweren Buchenheckern und dem hohen Anteil an Buchenverjüngung in diesen Wäldern begründet wird (*Kramer et al. 2014*). In Wäldern höherer Lagen spielte die Waldranddistanz von 20 bis 80 Metern keine Rolle mehr. Dies könnte mit der Samenflugdistanz von Fichten, der

häufigsten Baumart in europäischen Bergwäldern, zusammenhängen. In einer Windwurffläche auf 1'200 m ü. M. in Schwanden, Kt. Glarus wurden in 60 bis 80 Metern Distanz zum Waldrand noch 30 bis 10 % der im Bestand ermittelten Samenmenge gezählt (Lässig et al. 1995).

5.3 Verjüngung auf Totholz

Verdämmende Vegetation ist ein Hauptgrund dafür, dass die Waldverjüngung auf Windwurfflächen oft nur schleppend vorankommt, insbesondere in Bergwäldern, wo die Vegetationszeit verengt ist. Entsprechend gilt Totholz in höheren Lagen als wichtiges Substrat für die nachhaltige Baumverjüngung. Die Bedeutung von langsam vermoderndem Totholz für die Verjüngung konnte auch in Stichproben der Windwurfflächen in der Schweiz festgestellt werden: 20 Jahre nach dem Windwurf war die Verjüngungsdichte auf Totholz gleich gross wie jene auf dem Waldboden (Wohlgemuth & Kramer 2015). Das Totholzsubstrat kann in höheren Lagen, wo die Verjüngung von Nadelhölzern auf Rohboden durch rasch aufkommende Hochstauden und Reitgräser eingeschränkt ist, eine nachhaltige Rolle spielen. Oft verjüngen sich die Fichten Dutzende Jahre nach dem Windwurf ohne grössere Konkurrenz auf dem nährstoffarmen vermodernden Holz. Totholzverjüngung ist hier oft die einzige Chance für die Wiederbewaldung (Imbeck & Ott 1987, Prieswasser et al. 2013). In Tieflagen spielt Totholz als Keimsubstrat keine Rolle, auch wenn dort dieses Substrat infolge des raschen Zerfalls von Laubbaumarten schon früh anfällt.

6 Waldbaustrategien zur Minimierung von Sturmschäden

Auf welche Weise kann das Schadenausmass durch Windwurf verringert werden? Diese Frage hat die Forstwirtschaft bereits vor über hundert Jahren beschäftigt; viele Antworten sind deshalb längst bekannt. Jährliche Schadensdaten im Kanton Zürich (1'739 km²) über einen Zeitraum von knapp 120 Jahren lassen sich mit nur zwei Variablen erstaunlich gut erklären: Je grösser die Windböenspitzen, gemessen in Zürich, und je grösser der Holzvorrat, desto mehr Holz wurde in Winterstürmen geworfen (Abb. 7; Usbeck et al. 2010b).

Ein Sturm ist ein physikalischer Einflussfaktor, der auf den Einzelbaum bzw. Waldbestand wirkt. Wenn man sich dem Phänomen Windbruch oder Entwurzelung also prozessorientiert nähert, sind die entscheidenden physikalischen Grössen die Stärke des Sturms sowie Parameter der Baum- bzw. Bestandesstabilität. Windböen, die über längere Zeit (Windstärke) mit Werten von 35 m pro Sekunde und mehr wirken, können sowohl für junge als auch alte, für gesunde als auch kranke sowie für waldbaulich unterschiedlich behandelte Bestände zerstörerisch sein. Doch ein Windfeld im Rahmen eines Sturms ist heterogen und greift deshalb nicht an allen Orten mit gleicher Kraft an. Deshalb sind auf Bestandesebene eine Reihe von weiteren Faktoren von grosser Bedeutung, so die Baumhöhe und der Schlankheitsgrad, die waldbaulichen Eingriffe und die Bestandesgeschichte, die Bodenfeuchte und die Bodenversauerung, die Exposition im Gelände, die Bestandesstruktur und die umliegenden Waldbestände (Hanewinkel et al. 2015, Wohlgemuth et al. 2019).

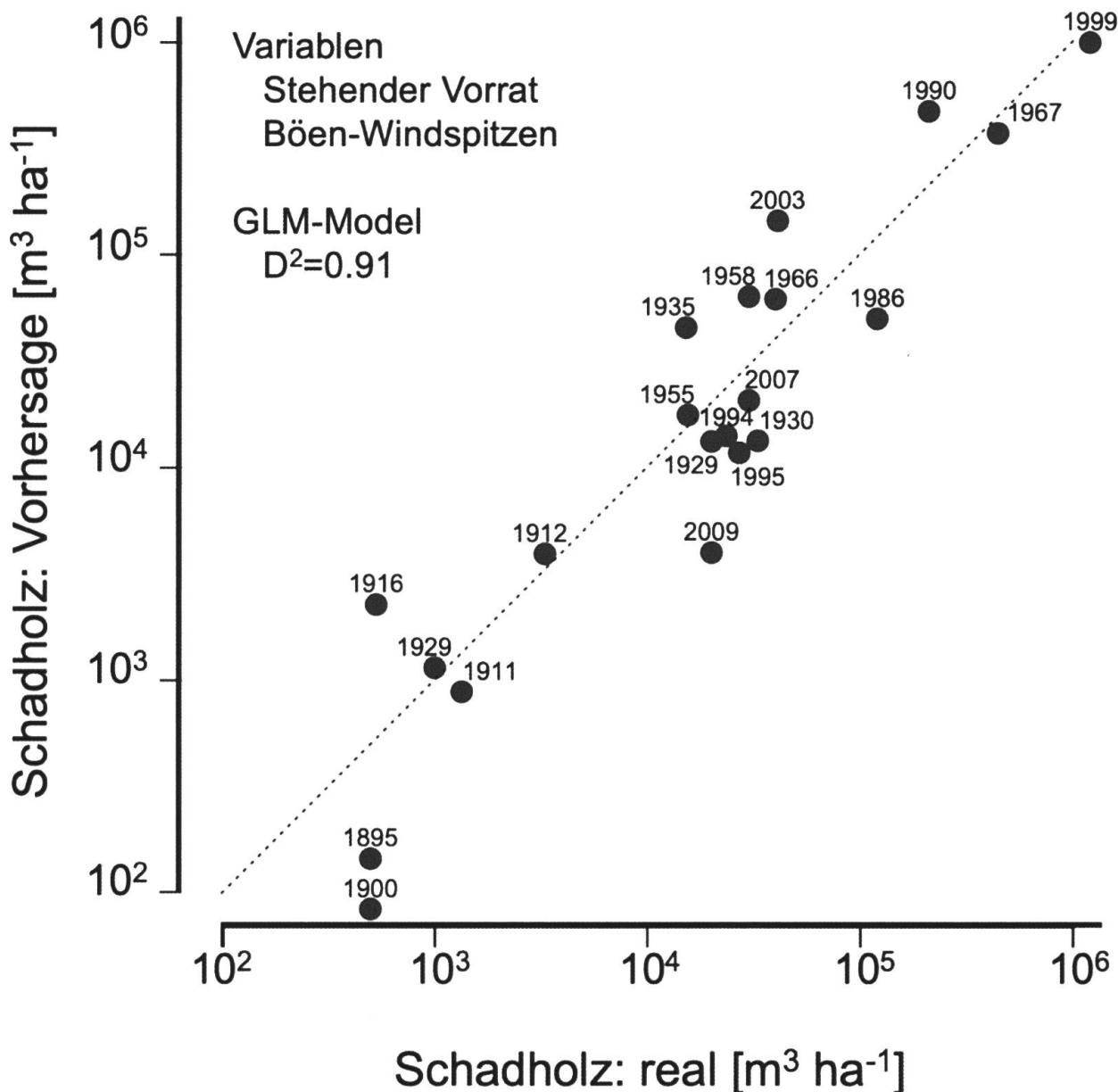


Abb. 7 Jährliche Windwurfschäden von 1891 bis 2014 im Kanton Zürich auf der Grundlage von verschiedenen Quellen, gegen modellierte Vorratswerte aufgetragen, mit stehendem Vorrat und in Zürich gemessenen Böen-Windspitzen als erklärende Variablen (Daten aus *Usbeck et al. 2010b*).

7 Fazit

Windwürfe sind in der Schweiz und in Mitteleuropa die wichtigsten Folgen von Störungen. Ihre Dimensionen pro Ereignis können gewaltig sein, ebenso die Auswirkungen für weitere Prozesse wie massenhafte Vermehrung von Borkenkäfern. Für die Waldökosysteme führen windausgelöste Unterbrüche zu einer veränderten Ressourcensituation, die mit einem Anstieg der Artenvielfalt verbunden ist. In allen Windwurfflächen der Schweiz entsteht wieder ein Wald, wobei der Verjüngungsprozess in Bergwäldern länger dauert als in Tieflagenwäldern. Totholz spielt sowohl für die Biodiversität als auch für die Naturverjüngung in Bergwäldern eine grosse Rolle.

Literatur

- Brang P., Hilfiker S., Roth B., Wasem U. & Wohlgemuth T. 2015. Langzeitforschung auf Sturmflächen zeigt Potenzial und Grenzen der Naturverjüngung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 166: 147–158.
- Dobbertin M., Seifert M. & Schwyzer A. 2002. Ausmass der Sturmschäden. *Wald Holz* 83: 39–42.
- Dubach V., Beenken L., Bader M., Odermatt O., Strohacker S., Hölling D., Treenet, Vögeli I., Augustinus B.A. & Queloz V. 2021. Waldschutzüberblick 2020. *WSL Ber.* 107: 1–58.
- Gardiner B.A., Blennow K., Carnus J.-M., Fleischer P., Ingemarson F., Landmann G., Lindner M., Marzano M., Nicoll B., Orazio C., Peyron J.-L., Reviron M.-P., Schelhaas M.-J., Schuck A., Spielmann M. & Usbeck T. 2010. *Destructive storms in European forests: past and forthcoming impacts*. Final report to DG Environment. 1–132.
- Hanewinkel M., Albrecht A. & Schmidt M. 2015. Können Windwurfschäden vermindert werden? Eine Analyse von Einflussgrössen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 166: 118–128.
- Hilmers T., Friess N., Bassler C., Heurich M., Brandl R., Pretzsch H., Seidl R. & Müller J. 2018. Biodiversity along temperate forest succession. *J. Appl. Ecol.* 55: 2756–2766.
- Imbeck H. & Ott E. 1987. Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneeablagerung und der Lawinenbildung. *Eidg. Inst. Schnee- u. Lawinenforsch. Weissfluhjoch/Davos* 42: 1–202.
- Jakoby O., Stadelmann G., Lischke H. & Wermelinger B. 2016. Borkenkäfer und Befallsdisposition der Fichte im Klimawandel. In: Pluess A.R., Augustin S. & Brang P. (Hrsg.): *Wald und Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien*. Bern, 247–264.
- Kramer K., Brang P., Bachofen H., Bugmann H. & Wohlgemuth T. 2014. Site factors are more important than salvage logging for tree regeneration after wind disturbance in Central European forests. *Forest Ecol. Manag.* 331: 116–128.
- Lässig R., Egli S., Odermatt O., Schönenberger W., Stöckli B. & Wohlgemuth T. 1995. Beginn der Wiederbewaldung auf Windwurfflächen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 146: 893–911.
- Müller J. 2015. Prozessschutz und Biodiversität: Über raschungen und Lehren aus dem Bayerischen Wald. *Natur Landsch.* 90: 421–425.
- Pfister C., Bütikofer N., Schuler A. & Volz R. 1988. *Witterungsexreme und Waldschäden in der Schweiz. Eine historisch-kritische Untersuchung von Schadmeldungen aus schweizerischen Wäldern in ihrer Beziehung zur Klimabelastung, insbesondere durch sommerliche Dürreperioden*. Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, Bern, 1–70.
- Priewasser K., Brang P., Bachofen H., Bugmann H. & Wohlgemuth T. 2013. Impacts of salvage-logging on the status of deadwood after windthrow in Swiss forests. *Eur. J. For. Res.* 132: 231–240.
- Remmert H. 1991. The mosaic-cycle of ecosystems – an overview. In: Remmert H. (Hrsg.): *The mosaic-cycle concept of ecosystems*. Berlin & Heidelberg, 1–21.
- Strohacker S., Blaser S. & Queloz V. 2022. Buchdrucker – Eine Beruhigung der Situation. *Waldschutz Aktuell* 1/2022: 1–3.
- Usbeck T., Wohlgemuth T., Dobbertin M., Pfister C., Bürgi A. & Dobbertin 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.
- Van Couwenberghe R., Collet C., Lacombe E., Pierrat J.C. & Gegout J.C. 2010. Gap partitioning among temperate tree species across a regional soil gradient in windstorm-disturbed forests. *Forest Ecol. Manag.* 260: 146–154.
- Wohlgemuth T., Hanewinkel M. & Seidl R. 2019. Windstörungen. In: Wohlgemuth T., Jentsch A. & Seidl R. (Hrsg.): *Störungsökologie*. Stuttgart, 156–174.
- Wohlgemuth T. & Kramer K. 2015. Waldverjüngung und Totholz in Sturmflächen 10 und 20 Jahre nach Lothar (1999) und Vivian (1990). *Schweiz. Z. Forstwes.* 166: 135–146.

