

Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen in der Schweiz

**Schlussbericht des Projektes
Wiederbewaldung Windwurfflächen 2008-2012**

Peter Brang, Thomas Wohlgemuth (Redaktion)

**Hansheinrich Bachofen, Kathrin Kramer, Ulrich Wasem,
Andreas Schwyzer (Mitarbeit)**



**Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und
Landschaft, Birmensdorf, November 2013**

Autoren

Peter Brang, Thomas Wohlgemuth (Redaktion) unter Mitarbeit von Hansheinrich Bachofen, Kathrin Kramer, Andreas Schwyzer und Ulrich Wasem
Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Zitierung

Brang P, Wohlgemuth T (Red.) 2013. Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen in der Schweiz. Schlussbericht des Projektes Wiederbewaldung Windwurfflächen 2008-2012. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 99 S.

Projektleitung: Thomas Wohlgemuth und Peter Brang

Projektbegleitung BAFU: Arthur Sandri

Dieser Bericht wird ergänzt durch voraussichtlich neun regionale Berichte für folgende Kantone:

- 1 Aargau
- 2 Bern, Solothurn
- 3 Waadt, Freiburg
- 4 Glarus, St. Gallen
- 5 Graubünden
- 6 Luzern, Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Uri, Zug
- 7 Jura, Neuchâtel
- 8 Wallis
- 9 Zürich, Thurgau

Umschlag: Vivian-Sturmfläche Disentis (Foto Peter Brang)

Dank

Das Bundesamt für Umwelt und die Kantone Aargau, Bern, Freiburg, Jura, Luzern, Obwalden, St. Gallen, Solothurn, Schweiz, Waadt, Wallis und Zürich ermöglichen mit ihrer finanziellen Unterstützung diese Forschung. Die Projektbegleitung durch das BAFU nahm Arthur Sandri sehr kompetent wahr. Die Erhebungen auf den Sturm-Beobachtungsflächen führten Sandra Hilfiker und Barbara Roth unter Anleitung von Ueli Wasem durch. Dramane Keita half mit bei der Erhebung der Bodenproben auf den Sturmflächen-Stichproben und bereitete die Proben zusammen mit Peer Appelfelder im Labor auf. Die Forstdienste der Kantone lieferten uns bei der Auswahl der Sturmflächen viele wertvolle Informationen.

Dieser Bericht enthält ausgeblendeten Text mit Informationen für internen Gebrauch.

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungen	5
Abstract	6
Résumé	7
Abstract (English)	9
1 Einleitung	10
2 Sturmflächen-Stichprobe.....	14
2.1 Material und Methoden.....	14
2.1.1. Flächenauswahl	14
2.1.2. Erhebungsmethoden.....	16
2.1.3. Datenumfang	19
2.1.4. Datenanalyse	19
2.1.5. Darstellung der Ergebnisse.....	19
2.2 Charakteristiken der Sturmflächen-Stichprobe	19
2.3 Dichte der Gehölzverjüngung	21
2.3.1. Dichte nach Sturmereignis und Behandlung	21
2.3.2. Dichteunterschiede zwischen Vorbestandestypen in Lotharflächen	22
2.3.3. Kleinräumige Heterogenität der Verjüngungsdichte	24
2.3.4. Erklärungsmodelle der Verjüngungsdichte.....	25
2.3.5. Artenzusammensetzung der Vor- und Nachverjüngung.....	28
2.3.6. Dichte nach Baumarten, Behandlung und Waldkategorie	30
2.4 Baumartenvielfalt.....	32
2.5 Baumhöhe	32
2.6 Wildverbiss	34
2.7 Totholz.....	35
2.7.1. Totholzvolumen.....	35
2.7.2. Abbaustadien und Durchmesser des Totholzes.....	37
2.7.3. Meereshöhe und Totholzzersetzung in Lotharflächen	39
2.7.4. Höhe der liegenden Totholzstämme über Boden	40
2.7.5. Verjüngung auf Totholz	42
3 Sturm-Beobachtungsflächen	43
3.1 Material und Methoden	43
3.1.1. Übersicht über die Sturm-Beobachtungsflächen.....	43
3.1.2. Erhebungsmethoden.....	46
3.1.3. Datenumfang	47
3.1.4. Datenanalyse	47
3.2 Charakteristiken der Sturm-Beobachtungsflächen	47
3.3 Dichte der Gehölzverjüngung	48
3.3.1. Dichte nach Sturmereignis und Behandlung	48
3.3.2. Bestimmende Faktoren der Verjüngungsdichte	49
3.3.3. Artenzusammensetzung der Vor- und Nachverjüngung.....	50
3.3.4. Zeitliche Entwicklung der Verjüngungsdichte	51
3.4 Einwuchsjahr und Mortalität.....	58
3.5 Baumhöhe und Höhenzuwachs	59
3.6 Schäden an der Verjüngung	62
3.7 Totholz.....	63

4	Diskussion	64
4.1	Stellenwert der vorliegenden Untersuchung	64
4.2	Dichte der Gehölzverjüngung.....	64
4.3	Totholz	68
4.4	Vergleich von Sturmflächen-Stichprobe und Sturm-Beobachtungsflächen ..	69
4.5	Bedeutung der Ergebnisse für die Entscheidungsfindung auf Totalschadenflächen.....	70
4.6	Ausblick.....	70
5	Literatur	72
6	Anhang	75
6.1	Methoden	75
6.1.1.	Merkmale der Erhebung in der Sturmflächen-Stichprobe.....	75
6.1.2.	Merkmale der Verjüngungserhebung 2010 in den Sturm-Beobachtungsflächen	79
6.2	Zusatzinformationen zur Sturmflächen-Stichprobe	84
6.3	Zusatzinformationen zu den Sturm-Beobachtungsflächen.....	95

Hinweis für Leserinnen und Leser

Für Vergleiche zwischen der Sturmflächen-Stichprobe und den Sturm-Beobachtungsflächen (s. Kap. 1) dient Tabelle 30 im hinteren Umschlagdeckel. Bei Abbildungen und Tabellen, die ein Pendant in der Sturmflächen-Stichprobe bzw. bei den Sturm-Beobachtungsflächen haben, wird in der Legende auf das Pendant hingewiesen.

ABKÜRZUNGEN

BHD	Brusthöhendurchmesser
n.s.	nicht signifikant
SF	Standardfehler des Mittelwertes

Baumarten

Kürzel	Baumart
As	Aspe
BAh	Bergahorn
Bi	Birke
Bu	Buche
Ei	Eiche
Es	Esche
Fa	Faulbaum
Fi	Fichte
Fö	Waldföhre
Ge	Geissblatt
Gr	Grünerle, Alpenerle
Ha	Hagebuche
Hs	Hasel
Ki	Kirschbaum
Lä	Lärche
Li	Linde
MBe	Mehlbeere
RH	Roter Holunder
Ro	Hundsrose
SAh	Spitzahorn
Sb	Wolliger Schneeball
Ta	Weisstanne
Tr	Traubenkirsche
Ul	Ulme
ALb	Andere Laubbäume
ANb	Andere Nadelbäume
ASt	Andere Sträucher
VoBe	Vogelbeere
Wei	Weide
WEr	Weisserle

ABSTRACT

Brang P, Wohlgemuth T (Red.) 2013. Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen in der Schweiz. Schlussbericht des Projektes Wiederbewaldung Windwurfflächen 2008-2012. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 99 S.

Sturm ist der wichtigste Störungsfaktor in den Wäldern Zentraleuropas, und seine Bedeutung könnte im Zuge des Klimawandels zunehmen. Ein gutes Verständnis der natürlichen Wiederbewaldung von Windwurfflächen (Sturmflächen) ist daher für eine zielgerichtete Waldbewirtschaftung wichtig. Das Projekt «Wiederbewaldung Windwurfflächen» trägt hierzu mit zwei methodischen Ansätzen bei: Mit Wiederholungs-erhebungen in 19 unterschiedlich behandelten Windwurfflächen (Sturm-Beobachtungsflächen), die als Fallstudien anzusehen sind, und mit einer Momentaufnahme mittels repräsentativer Stichprobe von 90 Windwurfflächen (Sturmflächen-Stichprobe). Alle untersuchten Windwurfflächen wurden von den Stürmen Vivian (1990) und Lothar (1999) verursacht. In beiden Flächensets wurden die Gehölzverjüngung und das Totholz mit Stichprobeninventuren erfasst.

Grosse Verjüngungsdichten sind auf basischer Unterlage, bei wenig deckender Begleitvegetation, in tieferen Lagen und auf geräumten – im Vergleich zu belassenen – Sturmflächen zu finden. Vorverjüngung trägt in tiefen Lagen erheblich zum Jungwald bei, während sie in Hochlagen weniger häufig ist. Die Dichtezunahme hat seit dem Sturm abgenommen, in stammzahlreichen Dickungen geht die Verjüngungsdichte bereits wieder zurück. Neue Pflanzen wachsen nur noch spärlich auf, die Verjüngungsgunst ist 10 bzw. 20 Jahren nach den Stürmen stark reduziert. Die Jungwälder sind reich an Gehölzarten. Schlussbaumarten wie Buchen (in Tieflagen) und Fichten (in Hochlagen) dominieren bezüglich Stammzahl. Von Pionierbaumarten geprägte Sukzessionsphasen sind überraschend selten. Am schnellsten wachsen Pionierbaumarten sowie Bergahorne und Eschen, am langsamsten die Schlussbaumarten. Mit Pflanzung lässt sich ein gewisser Höhenvorsprung erreichen. All diese Zusammenhänge gelten zwar im Allgemeinen, lokal sind aber grosse Abweichungen möglich. So treten im Jungwald neben sehr dichten Dickungen immer noch ausgedehnte Lücken ohne Gehölzpflanzen auf.

Nicht nur auf belassenen, sondern auch auf geräumten Sturmflächen wurde viel Totholz gefunden. Seine Qualität ist 10 bzw. 20 Jahre nach den Stürmen bezüglich Dimensionen und Abbaustadien divers und es ist daher ökologisch sehr wertvoll. Gegenüber Massenbewegungen dürfte die Schutzwirkung der liegenden Stämme allerdings nur noch beschränkt sein, weil sie sich stark gesetzt haben. Das Totholz ist erst in 20-jährigen Vivianflächen so weit zersetzt, dass es als Keimbett an Bedeutung gewinnt.

Die Sturm-Beobachtungsflächen präsentieren sich ähnlich wie die Sturmflächen-Stichprobe, die viele in den ersten gefundene Resultate bestätigt. Die Beobachtungsflächen erlauben auch künftig noch weitere Untersuchungen zu Fragen von wissenschaftlicher und praktischer Relevanz, zum Beispiel zur Selbstdifferenzierung im Jungwald und zur Geschwindigkeit der Sukzession. Sie enthalten eine grosse Anzahl von seit vielen Jahren individuell verfolgten Gehölzindividuen und sind so versichert, dass Folgeinventuren zur Jungwald- und Totholzdynamik möglich sind.

RÉSUMÉ

Brang P, Wohlgemuth T (Réd.) 2013. Reboisement naturel des aires de chablis en Suisse. Rapport final du Projet « Reboisement des aires de chablis 2008-2012 ». Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, 99 p.

La tempête est le facteur de perturbation principal pour les forêts d'Europe centrale, et son importance pourrait croître du fait du changement climatique. Une bonne compréhension du reboisement naturel des aires de chablis s'avère donc déterminante en vue d'une exploitation forestière ciblée. Le Projet «Reboisement des aires de chablis» y contribue grâce à deux approches méthodiques: des relevés répétés dans 19 aires de chablis traitées différemment (placettes d'observation des tempêtes) et qui doivent être considérées comme des études de cas, d'une part; un relevé ponctuel à l'aide d'un échantillon représentatif de 90 aires de chablis (échantillon d'aires de chablis), d'autre part. Les tempêtes Vivian (1990) et Lothar (1999) sont à l'origine de toutes les aires de chablis étudiées. Des relevés de la régénération des plantes ligneuses et du bois mort furent effectués au moyen d'inventaires par échantillonnage dans les deux groupes de placettes.

On retrouve des densités de régénération élevées sur un substrat basique, en présence d'une végétation accompagnatrice de faible couverture, à basse altitude et dans des aires de chablis nettoyées – par opposition à celles laissées telles quelles. La régénération préexistante contribue largement au développement de la jeune forêt en basse altitude, tandis qu'elle est moins fréquente à haute altitude. L'augmentation de la densité a faibli depuis la tempête; dans les fourrés aux nombreux tiges, la densité de la régénération recule déjà à nouveau. Les nouvelles plantes ne poussent plus que de façon éparses, les conditions favorables à la régénération se sont fortement amoindries dix à vingt ans après les tempêtes. Les jeunes forêts sont riches en espèces ligneuses. Les espèces climaciques, à l'image des hêtres (à basse altitude) et des épicéas (à haute altitude), dominent du point de vue du nombre de tiges. Les phases de succession marquées par les essences pionnières sont étonnamment rares. Les essences pionnières ainsi que les érables sycomores et les frênes croissent le plus vite, les essences climaciques le plus lentement. Les plantations permettent d'obtenir une certaine hauteur d'avance. Toutes ces corrélations sont valables au niveau général, mais de grandes variations restent possibles au niveau local. Ainsi, dans la jeune forêt, de vastes clairières sans plantes ligneuses se rencontrent encore aux côtés de fourrés très denses.

Une quantité élevée de bois mort a non seulement été recensée dans les aires de chablis laissées telles quelles, mais aussi dans les aires de chablis nettoyées. Dix à vingt ans après les tempêtes, la qualité du bois mort varie selon les dimensions et les stades de décomposition, se révélant ainsi très précieuse sur le plan écologique. À cause de leur fort tassemement, les troncs à terre ne devraient offrir désormais qu'un effet protecteur limité face aux mouvements de masse. C'est seulement dans les surfaces de Vivian âgées de 20 ans que le bois mort est décomposé au point de gagner en importance comme lit de germination.

Les placettes d'observation de la tempête se présentent de la même façon que l'échantillon d'aires de chablis, lequel confirme nombre de résultats obtenus dans les premières. À l'avenir, les placettes d'observation permettront encore d'autres études

concernant des thématiques pertinentes sur les plans scientifique et pratique, par exemple sur les processus d'autodifférenciation dans la jeune forêt et sur la vitesse de succession. Elles comprennent un nombre élevé d'individus ligneux suivis de façon individuelle depuis de nombreuses années, et elles ont été définies de manière à garantir la possibilité d'effectuer des inventaires successifs sur la dynamique de la jeune forêt et du bois mort.

Traduction: Jenny Sigot Müller, WSL

ABSTRACT (ENGLISH)

Brang P, Wohlgemuth T (eds.) 2013. Natural regeneration on windthrow areas in Switzerland. Final report of the project 'Regeneration on Windthrow Areas 2008-2012'. Birmensdorf, Swiss Federal Institute of Forest, Snow and Landscape Research WSL, 99 p.

Storm is the most important disturbance agent in Central European forests, and its importance may increase further due to climate change. A good understanding of the natural regeneration on windthrow areas is therefore relevant for target-oriented forest management. To this aim, the project 'Regeneration on Windthrow Areas' contributes with two methodological approaches: with repeated inventories on 19 windthrow areas with different treatments (storm observation areas), which serve as case studies, and with a single survey covering a representative sample of 90 windthrow areas (storm area sample). All investigated windthrow areas were caused by the hurricanes Vivian (1990) and Lothar (1999). In both sets of windthrow areas, the regeneration of woody species and dead wood was recorded using sampling inventories.

High sapling densities are associated with basic substrate, low cover of competing vegetation, low altitude and cleared windthrow areas, in comparison to areas in which the timber was left on site. Advanced regeneration constitutes a considerable proportion of all saplings in low altitude, but is less important in high altitude. The increase in sapling density decreased over time since the storm. In highly dense thickets, sapling density is already decreasing. New recruitment is sparse, and the propensity to further regeneration is markedly reduced 10 resp. 20 years after the storms. The young forests are rich in woody species. Climax species like beech (in low altitude) and Norway spruce (in high altitude) dominate with respect to stem numbers. Successional phases rich in pioneer species are surprisingly rare. Pioneer species as well as sycamore and ash grow fastest, while climax species exhibit the slowest growth. With planting, a certain advance in sapling height is achievable. While all these patterns are generally valid, locally large deviations occur. For instance, the young forests contain both highly dense thickets and extended gaps without woody plants.

Much dead wood was not only found on unharvested, but also on cleared windthrow areas. Deadwood quality was diverse with respect to dimension and decomposition stage 10 resp. 20 years after the storms and thus of very high ecological value. The lying logs have retained only a limited protective effect against mass movements since they have strongly sagged. The dead wood has only started to be sufficiently decomposed to serve as seedbed in 20 year old windthrow areas originating from Vivian.

The results from the storm observation areas confirm in many respects those from the storm area sample. The storm observation areas enable future investigations on questions which are scientifically and practically relevant, e.g., regarding the self differentiation in young forests and the speed of succession. They contain a large number of woody individuals which have been followed for many years and are permanently marked to make future inventories of forest and dead wood dynamics possible.

1 Einleitung

Mit Vivian (26.2.-1.3.1990) und Lothar bzw. Martin (26.-27.12.1999) trafen innert zehn Jahren zwei Stürme in Orkanstärke die Schweiz. Sie richteten enorme Schäden an (Übersicht in Tabelle 1) und warfen eine Reihe von Fragen für die Waldbewirtschaftung auf. Auf vielen geschädigten Waldflächen wurden in der Folge wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt (Übersicht in Indermühle et al. 2005, Abbildung 1). Die WSL richtete sowohl nach Vivian als auch nach Lothar insgesamt 20 «Sturm-Beobachtungsflächen» ein, um die Entwicklung von Totalschadenflächen in einigen Fallstudien zu erforschen. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Wiederbewaldung, deren Verlauf mit mehrfach wiederholten Erhebungen verfolgt wurde.

Im Rahmen des Projekts «Wiederbewaldung Windwurfflächen» wurde 2010, also 20 Jahre nach Vivian und 10 Jahre nach Lothar, eine weitere Wiederholungs-Erhebung durchgeführt, ergänzt mit einer einmaligen Erhebung auf einer repräsentativen Stichprobe von 24 Vivian- und 66 Lotharflächen («Sturmflächen-Stichprobe», Tabellen 1 und 2, Abbildung 2). Zum ersten Mal erhält man damit einen landesweiten Überblick über die Naturverjüngung und das Totholz 10 bzw. 20 Jahre nach den Stürmen.

Das Projekt «Wiederbewaldung Windwurfflächen» sollte neun Forschungsfragen beantworten; wo die Antworten in diesem Bericht zu finden sind bzw. welche Fragen unbeantwortet blieben, zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1. Forschungsfragen und deren Behandlung in diesem Bericht.

Forschungsfrage	Kapitel bzw. Begründung der Nichtbehandlung	
	Sturmflächen-Stichprobe	Sturm-Beobachtungsflächen
1. Welche Baumarten wachsen in welchen Dichten und in welcher räumlichen Verteilung? Wie gross sind die Einzelbaummortalitäten? Welche Abhängigkeiten bestehen zu den Baumhöhen der zuletzt durchgeführten Inventur (Lothar 2001-2003, Vivian 2005), zur Vegetation und zum Triebverbiss?	2.3 2.3.3 (räuml. Verteilung) 3.4 2.3.4 (Vegetation), 2.6 (Verbiss, dessen Auswirkungen aber kaum untersucht wurden)	3.3 3.3.2 (Vegetation), 3.4 (Einwuchsjahr)
2. Wie hat sich die Baumartenzusammensetzung auf den Windwurfflächen bisher entwickelt, welche Trends sind bereits zu erkennen und welche Form bzw. Zusammensetzung hat der zukünftige Wald?	(2.3.1, 2.3.2, 2.3.6, 2.5) Die zukünftige Form und Zusammensetzung des Waldes lässt sich nur abschätzen.	3.3.4 (Dichteentwicklung), 3.3.3 (Vor- vs. Nachverjüngung), 3.5 (Höhenzuwachs)
3. Welchen Einfluss auf den Verlauf der Wiederbewaldung haben die Behandlungen (belassen-geräumt bzw. natürlich verjüngt-bepflanzt), die Standorte (z.B. Vergleich Hochlagen-Tieflagen), die Grösse der Windwurfflächen und das Schalenwild?	2.3.1, 2.3.4	3.3.1 (Behandlung), 3.3.2 (Höhenlage)
4. Welche Rolle spielt die Vorverjüngung nach Windwurf (Vergleich Vorverjüngung und Nachverjüngung)?	2.3.1, 2.3.5	3.3.3, 3.3.4
5. Nehmen die Verjüngungsraten vom Waldrand her gegen das Innere von grossen Windwurfflächen ab?	2.3.4	
6. Ab welchen Höhenlagen kann die natürliche Verjüngung eine rasche Wiederherstellung der Schutzwirkung nicht mehr sicherstellen?	2.3.4, es ergab sich ein Übergang und keine bestimmte Höhenlage	3.3.2 (Höhenlage), 3.3.4 (zeitliche Dichteentwicklung)
7. Wie rasch verläuft die Setzung der liegen gelassenen Stämme? Ab welchem Zeitpunkt nach dem Windwurf beginnen sie eine Rolle als Substrat für die Wiederbewaldung zu spielen? Wie bedeutungsvoll ist Totholzverjüngung in hoch gelegenen Windwurfflächen?	2.7.4 2.7.5 2.7.5	3.7
8. Sind Erosionsprozesse auf belassenen Flächen häufiger als auf geräumten?	Mit dem gewählten Erhebungsdesign sind seltene Vorkommnisse wie Erosionsprozesse nicht zuverlässig erfassbar. Nach Aussage der Feldteams waren Erosionsprozesse insgesamt selten und lokal begrenzt.	
9. Wo ist in der Schweiz mit invasiven Neophyten im Wald zu rechnen? Welche Rolle spielen dabei Windwurfflächen?	Mit dem gewählten Erhebungsdesign sind seltene Objekte wie invasive Neophyten nicht zuverlässig erfassbar.	



Abbildung 1. Belassene Lotharfläche im Reservat Rorwald, Gemeinde Giswil/OW, ca. 1400 m ü. M. Foto: H. Bachofen, 29.6.2010.

Dieser Projekt-Schlussbericht orientiert über die Erhebungsresultate. Wichtig ist zu verstehen, dass die Resultate des Berichts aus zwei Datenquellen stammen. Der Bericht unterscheidet zwischen der oben genannten Sturmflächen-Stichprobe von 90 Flächen, welche repräsentative Ergebnisse zur Situation 10 Jahre nach Lothar und 20 Jahre nach Vivian liefert (Kap. 2), und den 20 Sturm-Beobachtungsflächen, deren Zustand bereits mehrmals erfasst wurde. Auf den Sturm-Beobachtungsflächen kann die Verjüngungsdynamik dargestellt werden, und es können Naturverjüngung und Pflanzungen verglichen werden (Kap. 3). Die Information in den Kapiteln 2 und 3 betrifft teils die gleichen Phänomene, teils unterschiedliche. Welche Information in welchen Unterkapiteln zu finden ist, ist in Tabelle 30 im hinteren Umschlagdeckel dargestellt. Zudem findet sich in vielen Tabellen und Abbildungen der Hinweis auf ein Pendant in der jeweilig anderen Datenquelle. In separaten regionalen Berichten gehen wir auf kantonale Resultate ein.

Die Ergebnisse zur Sturmflächen-Stichprobe wurden weitgehend der Dissertation von Kathrin Kramer-Priewasser entnommen (Priewasser 2012, 2013).

Tabelle 2. Übersicht über das Ausmass der Sturmschäden von Vivian 1990 und Lothar 1999 nach Kantonen. Anzahl untersuchte Flächen pro Kanton, Zuwachs und Nutzung zwischen 1997 und 2011.

Berichtsnummer	Kanton	Vivian					Lothar							
		Sturmholz [1000m ³] ¹	in % des Vorrates	Verhältnis zur Jahresnutzung ²	Total-schadenflächen [ha] ⁷	Schadenflächenanteil an der Waldfläche [%] ⁷	Sturmholz [1000 m ³] ¹	in % des Vorrates	Verhältnis zur Jahresnutzung ²	Total- und Streuschadenfläche [ha] ⁸	Schadenflächenanteil an der Waldfläche [%]	Flächenanzahl Sturm-Beobachtungsflächen	Flächenanzahl Sturmflächen-Stichprobe	Waldfläche nach LFI2 ⁵ [ha]
1	AG	280	1,5	0,7	50	0,1	1'240	6,8	3,2	2'442	5,0	5	15	49'145
2	BE	849	1,3	0,9	832	0,5	4'220	6,4	4,8	6'778	4,0	5	21	167'155
	SO	79	0,7	0,4	68	0,2	237	2,2	1,2	309	0,9	1	3	32'435
3	VD	160	0,5	0,4	32	0,0	719	2,4	1,7	1'871	1,9	1	2	96'200
	FR	75	0,4	0,4	41	0,1	1'342	7,9	6,6	2'499	5,9	2	6	42'207
4	GL	268	5,2	6,1	403	2,6	30	0,6	0,6	0	0,0	1	4	15'739
	SG	572	2,7	2,2	752	1,4	282	1,3	1,2	360	0,7	1	7	53'810
5	GR	669	1,5	2,0	1'057	0,7	0	0,0	0,0	0	0,0	1	7	161'230
6	SZ	333	3,5	2,4	197	0,7	332	3,5	3,1	596	2,0	2	28'240	
	NW	95	4,0	3,2	119	1,5	240	10,0	10,0	776	9,7	3	7'831	
	OW	150	2,1	3,0	204	1,1	280	4,0	5,3	1'061	5,5	3	19'102	
	UR	133	3,1	6,7	282	1,7	8	0,2	0,4	14	0,1	2	16'619	
	LU	206	1,1	1,1	130	0,3	1'000	5,4	4,0	1'997	4,9	1	3	40'989
	ZG	34	1,6	0,8	9	0,2	140	6,8	3,3	383	6,4	2	5'832	
7	JU	37	0,3	0,2	1	0,0	430	3,7	2,1	685	2,1	1	1	33'945
	NE	50	0,5	0,3	0	0,0	275	2,8	1,7	301	1,0	2	28'704	
8	VS	514	2,1	4,4	617	0,6	55	0,2	0,5	212	0,2	3	103'280	
9	ZH	210	1,0	0,5	12	0,0	1'200	5,7	3,1	2'760	5,6	1	3	49'864
	TG	54	0,7	0,4	28	0,1	280	3,5	1,8	272	1,3	1	1	20'945
⁴⁾	AI	28	1,1	1,0	20	0,4	12	0,5	1,2	1	0,0	0	0	5'162
⁴⁾	AR	55	1,3	1,3	33	0,4	40	0,9	1,5	19	0,2	0	0	8'220
⁴⁾	BL	28	0,6	0,4	20	0,1	160	3,2	1,6	235	1,1	0	0	20'517
⁴⁾	BS	0	0,0	0,0	⁶⁾	---	8	---	1,6	⁶⁾	---	0	0	⁶⁾
⁴⁾	GE	0	0,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	---	---	0	0	2'666
⁴⁾	SH	35	0,9	0,5	14	0,1	130	3,5	1,9	341	2,7	0	0	12'957
	TI	1	1,0	0,0	8	0,0	0	0,0	0,0	---	---	0	0	109'155
	Σ	4'915	1,3	1,1	4'928	0,4	12'660	3,5	2,8	23'912	2,0	20	90	1'131'947

¹ BUWAL/Eidg. Forstdirektion, Erhebung über den Holzmarkt.

² Durchschnittliche Holznutzung 1984-1988

³ WSL und BAFU (2001)

⁴ Kantone ohne Flächen in der Sturmflächen-Stichprobe

⁵ Datenauswertung LFI2

⁶ In den Zahlen des Kantons BL inbegriffen

⁷ Bundesamt für Umwelt, Waldschadenflächen Vivian 1990; Total-schadenflächen aus Luftbildern, Minimalfläche 0,2 ha, maximaler Restdeckungsgrad 20%

⁸ Scherrer Ingenieurbüro AG (2001); Total- und Streuschadenflächen aus Luftbildern, Minimalfläche 1,0 ha, maximaler Restdeckungsgrad 20%

2 Sturmflächen-Stichprobe

2.1 Material und Methoden

2.1.1. Flächenauswahl

Für unsere Untersuchungen wählten wir insgesamt 90 Sturmflächen aus (Tabelle 3, Abbildung 2). Als Grundlage dafür dienten mit Luftbildanalysen erstellte Inventare von Totalschadenflächen (nach Vivian: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL; nach Lothar: Scherrer Ingenieurbüro AG 2001). Die Flächen mussten folgende Kriterien erfüllen:

- Totalschadenfläche von mindestens 3 ha Grösse;
- Zugehörigkeit zu den vier meist verbreiteten Bestandestypen, aufgrund der Baumarten-Zusammensetzung des Vorbestandes: Buchenbestände, Tannen-Buchenbestände, Tannen-Fichtenbestände, Fichtenbestände (im Bericht «Vorbestandestypen» genannt);
- geographisch möglichst repräsentative Abdeckung von Jura, Mittelland und Alpen;
- keine Pflanzung und möglichst keine Jungwaldpflege seit dem Sturmereignis.

Tabelle 3. Anzahl Flächen in der Sturmflächen-Stichprobe nach Kantonen, Sturmereignissen, Behandlungen und Vorbestandestypen. Vorbestandestypen: Bu = Buchenbestand, Ta-Bu = Tannen-Buchenbestand, Ta-Fi = Tannen-Fichtenbestand, Fi = Fichtenbestand.

Regionaler Bericht	Kanton	Vivian		Lothar			Vorbestandestyp			Total Flächen	
		geräumt	belassen	nur geräumt	geräumt und gepflegt	belassen	Bu	Ta-Bu	Ta-Fi	Fi	
1	AG	--	--	4	3	8	9	4	2	0	15
2	BE	1	1	11	1	7	4	2	7	8	21
	SO	--	--	1	1	1	1	0	0	2	3
3	VD	--	--	--	1	1	1	0	1	0	2
	FR	--	--	2	1	3	2	2	2	0	6
4	GL	3	1	--	--	--	0	0	0	4	4
	SG	5	1	1	--	--	0	0	3	4	7
5	GR	5	2	--	--	--	0	0	1	6	7
6	SZ	--	--	2	--	--	0	2	0	0	2
	NW	--	--	2	--	1	0	1	1	1	3
	OW	--	--	2	--	1	0	1	2	0	3
	UR	1	1	--	--	--	0	0	1	1	2
	LU	--	--	1	1	1	1	0	0	2	3
	ZG	--	--	1	1	--	1	0	0	1	2
7	JU	--	--	--	1	--	1	0	0	0	1
	NE	--	--	2	--	--	0	0	2	0	2
8	VS	3	--	--	--	--	0	0	1	2	3
9	ZH	--	--	1	2	--	2	0	0	1	3
	TG	--	--	1	--	--	0	0	0	1	1
Summe		18	6	31	12	23	22	12	23	33	90

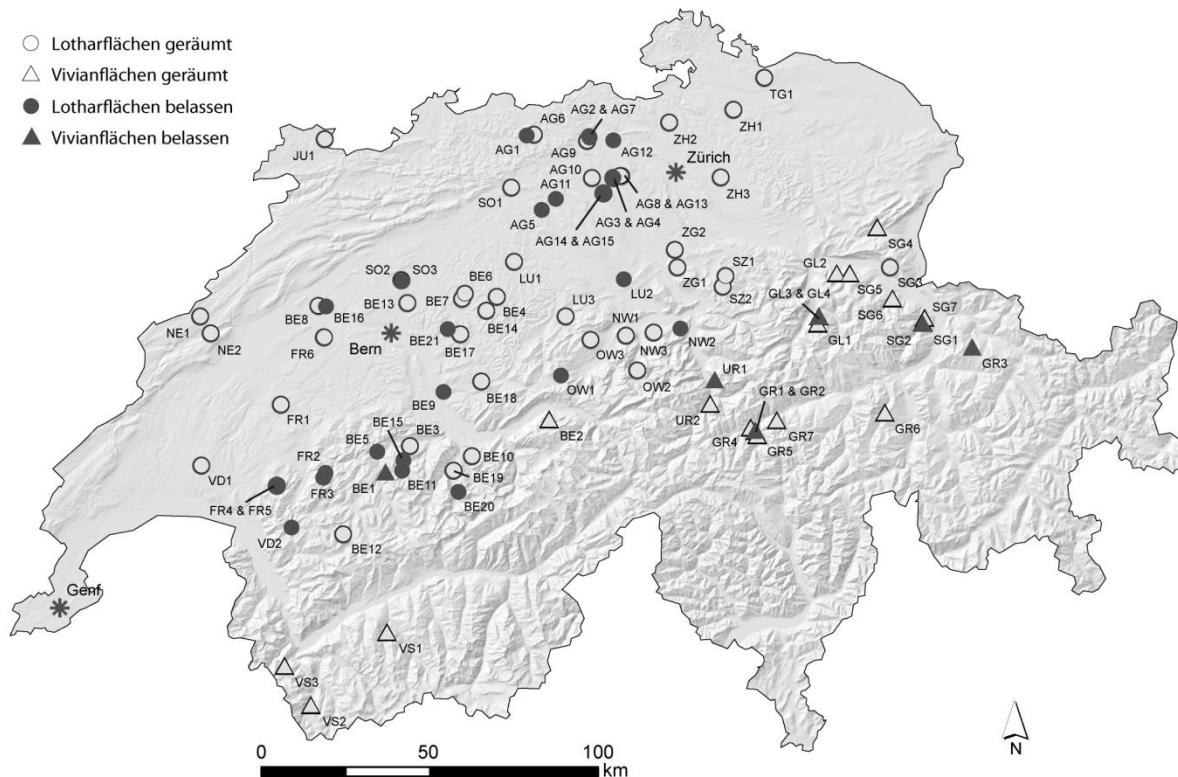


Abbildung 2. Lage der Flächen der Sturmflächen-Stichprobe in der Schweiz. Signaturen: ▲ Vivianfläche, belassen; △ Vivianfläche, geräumt; ● Lotharfläche, belassen; ○ Lotharfläche, geräumt. Die Flächensymbole sind mit einer Identifikation jeder Sturmfläche beschriftet, zusammengesetzt aus der Abkürzung des Kantons und einer Laufnummer. Vgl. Abbildung 25, S. 43 für die Sturm-Beobachtungsflächen.

Die genannten Vorbestandestypen sind weitgehend mit Waldgesellschaftsgruppen identisch: Buchenwälder (*Luzulo-Fagion*, *Eu-Fagion* und *Cephalanthero-Fagion*, Anteil am Schweizer Wald zusammen 50%), Weisstannen-Buchenwälder (*Abieti-Fagion*, 14%), Tannen-Fichtenwälder (*Piceo-Abietion*, 13%) und Fichtenwälder (*Vaccinio-Piceion*, 14%; Anteile gemäss Wohlgemuth et al. 2008).

Das ursprüngliche Ziel einer ausgewogenen Verteilung der Sturmflächen auf die drei Behandlungen «geräumt», «geräumt und gepflegt» und «belassen», die zwei Sturmereignisse Vivian und Lothar und die Regionen Jura, Mittelland und Alpen musste der Verfügbarkeit von Flächen angepasst werden. Schliesslich entfielen 22 (24%) der Flächen auf Buchenbestände, 12 (13%) auf Tannen-Buchenbestände, 23 (26%) auf Tannen-Fichtenbestände und 33 (37%) auf Fichtenbestände (Tabelle 3). Der Sturm Vivian verursachte 24 der 90 Sturmflächen, der Sturm Lothar 66. Geräumt waren 49 Sturmflächen, geräumt und gepflegt 12 und belassen 29. Die Stichprobe deckt die von Stürmen hauptsächlich betroffenen Teile der Schweiz nördlich des Alpen-Hauptkamms, in den Zwischenalpen und im westlichen Wallis gut ab, weist aber geographische Lücken im Jura und in der Nordostschweiz auf (Abbildung 2). Die Vivian-Sturmflächen sind auf die Voralpen und Alpen konzentriert, die Lothar-Sturmflächen auf Mittelland und Voralpen. Die Erhebung wurde zwischen Dezember 2009 und Januar 2011 durchgeführt.

2.1.2. Erhebungsmethoden

Erhebungsdesign

Über jede zu untersuchende Sturmfläche wurden je ein horizontaler Transekt entlang der Höhenlinie und, im rechten Winkel dazu, ein vertikaler Transekt in der Hangfalllinie gelegt. Auf jedem Transekt lagen drei Probekreise in Abständen von 20, 40 und 80 m vom Sturmflächenrand, was pro Fläche insgesamt sechs Probekreise ergibt (Abbildung 3). Die Probekreiszentren wurden mit dem GPS Garmin Colorado 300 eingemessen. Der dritte Probekreis des horizontalen Profils (H80) wurde mit einem Aluminiumprofil verpflockt und versichert.

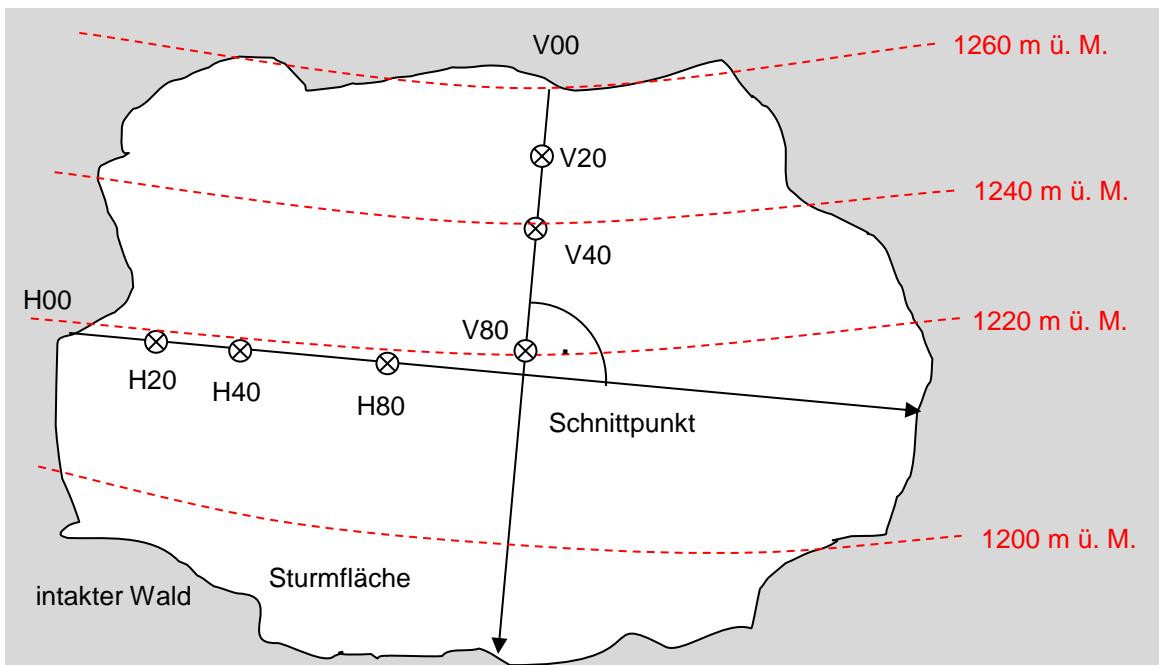


Abbildung 3. Lage der Probekreise in einer Sturmfläche. Probekreise ⊗ sind mit Horizontal- (H) und Vertikaldistanz (V) in Metern zum Waldrand bezeichnet.

Erhebungsmerkmale

Die Erhebungsmerkmale sind in Tabelle 17 im Anhang beschrieben.

Gehölzverjüngung

Gehölzpflanzen, d.h. Bäume und Sträucher (Tabelle 16, Anhang) mit einer Mindesthöhe von 20 cm, wurden in kreisförmigen Probeflächen erfasst. In einem kleinen Quadrat wurden kleinere, mindestens einjährige Pflanzen notiert (Abbildung 4, Bachofen 2002). Von jeder Gehölzpflanze wurden die Art bestimmt, Höhe [cm] sowie BHD [mm] gemessen sowie ihr Substrat (Boden oder Totholz) festgehalten. Die Lage der Stammbasis war massgebend dafür, ob ein Baum zum Probekreis bzw. zum Probequadrat zählte. Bei Stockausschlägen wurde nur der höchste Trieb gemessen und die Rutenanzahl pro Stock gezählt. Die Messwerte beziehen sich auf den Zustand der Pflanzen am Ende der Vegetationsperiode 2009. Jede Gehölzpflanze wurde aufgrund einer Alterszählung (aufgrund der Astquirle bzw. Knospenschuppenarben) oder einer Altersschätzung entweder als Vor- oder Nachverjüngung

taxiert. Während bei Nadelbäumen eine derartige Beurteilung recht zuverlässig ist, bleiben bei Laubbäumen oft Zweifel. In solchen Fällen wurden Bäume vergleichbarer Grösse ausserhalb der Probekreise durch ein bis zwei Jahrringzählungen überprüft.

Da angenommen wurde, dass die Verjüngungsdichte mit zunehmender Höhenlage abnimmt (Bachofen 2009), wurden zwei Grössen der Probekreise bzw. quadratischen Probeflächen verwendet: unterhalb von 1200 m ü. M. $20,0 \text{ m}^2$ (Radius 252 cm) bzw. $1,0 \text{ m}^2$, oberhalb von 1200 m ü. M. 50 m^2 (Radius 399 cm) bzw. $2,5 \text{ m}^2$ (Abbildung 4). Bei vier unterhalb 1200 m liegenden Vivianflächen wurde von dieser Regel abgewichen, so dass alle Probekreise im Vivian-Datensatz 50 m^2 gross sind. Die Flächengrössen gelten für die Horizontalprojektion.

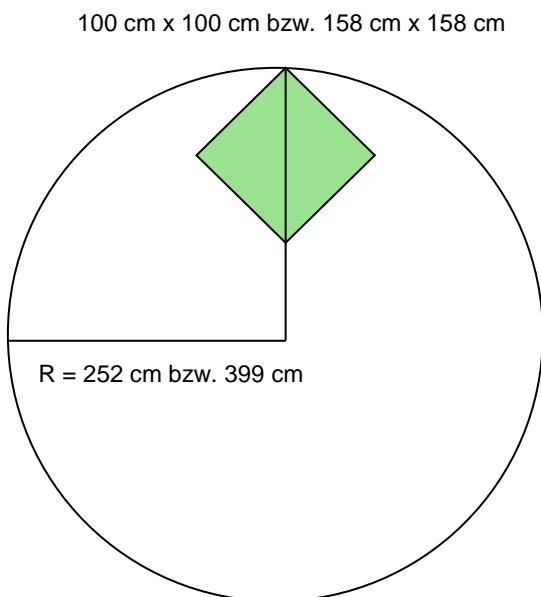


Abbildung 4. Probeflächendesign. Innerhalb eines 20 m^2 (50 m^2) grossen Probekreises befindet sich ein $1,0 \text{ m}^2$ ($2,5 \text{ m}^2$) grosses Quadrat. Die zwei Grössen gelten für Hochlagen bzw. Tieflagen. Der obere Eckpunkt des Quadrates liegt bergseits auf der Peripherie des Kreises. Der vertikale Radius R liegt immer parallel zum vertikalen Transekt in einer Sturmfläche.

Totholz

In jedem Probekreis wurde liegendes und stehendes Totholz von mindestens 10 cm Dicke und 10 cm Länge erfasst. Bereits von Humus überdecktes Holz wurde nicht berücksichtigt. Gemessen wurden sowohl die Stücklänge als auch die zwei Enddurchmesser d_1 und d_2 . Das Volumen V jedes Stücks wurde als Kegelstumpf mit folgender Formel berechnet:

$$V = \frac{\pi}{12} (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)$$

Jedes Stück wurde einer der folgenden drei Totholzkategorien zugeordnet:

- liegender Stamm,
- stehender Strunk (< 1,3 m),
- stehender Stamm ($\geq 1,3 \text{ m}$).

Der Zersetzungsgang jedes Holzstückes wurde nach der 8-stufigen Skala von Zielonka (2006) beurteilt. Folgende Parameter wurden dazu erhoben:

- Eindringtiefe des Messers (0 cm bis «durchgehend weich»),
- Form des Stammquerschnittes (rund, abgeflacht),
- Vorhandensein bzw. die Absenz von Ästen,
- Vorhandensein bzw. die Absenz von Rinde.

Zudem wurde die Höhe jedes liegenden Totholzstücks über Boden [cm] an zwei Stellen gemessen und jedes Stück aufgrund des mittleren Durchmessers einer von sieben Klassen zugeordnet ($I = 10\text{-}19 \text{ cm}$, $II = 20\text{-}29 \text{ cm}$, ..., $VII = \geq 70 \text{ cm}$).

Tabelle 4. Klassierung der Totholzstämme in Abbaustadien (Zielonka 2006, abgeändert nach Holeksa 1998).

Abbau-stadium	Oberfläche	Stammform	Eindringtiefe der Messerklinge	Äste	Rinde
D1	gleichmässig	rund	das Holz ist fest	alle Äste vorhanden und intakt	bedeckt meist den ganzen Stamm, Rinde intakt
D2	gleichmässig	rund	Oberfläche gibt unter dem Druck des Messers nach	Äste $> 2 \text{ cm}$ Durchmesser vorhanden	Rinde noch zum Teil intakt
D3	einige mm tiefe Spalten vorhanden	rund	bis 1 cm	Äste $> 3 \text{ cm}$ Durchmesser vorhanden	Rindenreste nur noch auf der Oberseite der Stämme
D4	ca. 0,5 mm tiefe Spalten vorhanden	rund	bis 4 cm	nur Astansatz vorhanden	fehlt im Allgemeinen
D5	mehrere cm dicke Holzstücke lösen sich an der Unterseite. Stammseiten rissig mit ca. 1,0 cm tiefen Spalten	rund	bis 5 cm	nur der dickste Teil der Astansätze vorhanden	keine Rindenreste übrig
D6	mehrere cm dicke Holzstücke lösen sich an den Stammseiten	rund, leicht abgeflacht	festes Holz nur noch in der Mitte des Stammes	nur der dickste Teil der Astansätze vorhanden	keine Rindenreste übrig
D7	ganzer Stamm mit mehreren cm tiefen Spalten übersät	merklich abgeflacht	durchgehend weich	keine Astansätze vorhanden	keine Rindenreste übrig
D8	meistens komplett von Moosen und übrigen Pflanzen überwachsen	längliche Strukturen auf dem Waldboden sichtbar	durchgehend weich	keine Astansätze vorhanden	keine Rindenreste übrig

Samenbäume

Von jedem Probekreiszentrums aus wurden Abstand und Azimut der nächst stehenden Samenbäume pro Baumart eingemessen. Daraus wurden die Baumkoordinaten berechnet. Ein und derselbe Samenbaum wurde auf einer Sturmfläche nur einmal eingemessen. Dessen Koordinaten dienten der Berechnung von Distanz und Azimut zu den übrigen Probekreiszentrums.

Bodenparameter

Auf jedem Probekreis wurden je eine Bodenprobe aus dem humosen Oberboden (A_h -Horizont) und aus dem mineralischen Unterboden für eine pH-Bestimmung im Labor entnommen. Pro Horizont wurde eine Gesteinsprobe entnommen. Mit einem 80 cm langen Bohrstock wurden die Gründigkeit des Bodens sowie die Tiefe einer allfälligen Kalkgrenze bestimmt.

Die Bodenproben wurden 48 Stunden lang bei 60°C getrocknet, gemörsernt und durch ein 2 mm-Sieb gestrichen. Im Labor wurden die Proben mit 0,01 molarer

Calciumchlorid-Lösung (CaCl_2) versetzt und der pH der wässrigen Lösungen bestimmt (zwei Messungen pro Probe).

Bodenbedeckung

Entlang der Transekte wurde vom Sturmflächenrand bis zum Zentrum des dritten Probekreises (je 80 m) in Abständen von 2 m die Bodenbedeckung in Kategorien erfasst, z.B. als «Farn», «Brombeeren», «Himbeeren» etc. (alle Kategorien s. Tabelle 17 im Anhang). Daraus resultierten pro Sturmfläche 82 Vegetationszuordnungen.

2.1.3. Datenumfang

Es wurden Daten in 540 Probekreisen auf 90 Sturmflächen erhoben (Tabelle 20 im Anhang), mit 51 Sturmflächen unterhalb 1200 m ü. M. (20 m^2 grosse Probekreise) und 39 Sturmflächen in Höhenlagen $\geq 1200 \text{ m}$ (50 m^2 grosse Probekreise). Insgesamt wurden 13'398 Verjüngungspflanzen $\geq 20 \text{ cm}$ und 271 Pflanzen $< 20 \text{ cm}$ erfasst (Dichtewerte: 0,75 bzw. $0,30/\text{m}^2$). In den Probekreisen wurden 1'689 Totholzstücke vermessen und 1'080 Bodenproben entnommen. Auf den Transekten wurde die Bodenbedeckung an 7'380 Punkten erfasst.

Die Gesamtfläche der Probekreise betrug $17'820 \text{ m}^2$, die Gesamtfläche der Quadrate ($1,0$ bzw. $2,5 \text{ m}^2$ gross) zur Erfassung von Verjüngungspflanzen mit Höhe $< 20 \text{ cm}$ 891 m^2 . Ein einzelner Baum oder Strauch mit Höhe $\geq 20 \text{ cm}$ trug zur Verjüngungsdichte auf einem Probekreis mit 500/ha (20 m^2 -Probekreis) bzw. mit 200/ha (50 m^2 -Probekreis) bei, eine Gehölzpflanze mit Höhe $< 20 \text{ cm}$ mit 10'000/ha ($1,0 \text{ m}^2$ -Probekreis) bzw. mit 4'000/ha ($2,5 \text{ m}^2$ -Probekreis).

2.1.4. Datenanalyse

In den Auswertungen wurden wo nicht anders angegeben nur die nach dem Sturmereignis gekeimten oder ausgetriebenen Bäume berücksichtigt (als Nachverjüngung taxiert). In einer der 66 Lotharflächen war überhaupt keine Nachverjüngung vorhanden. Diese Fläche wurde von allen weiteren Auswertungen ausgeschlossen. Somit beziehen sich die Resultate auf 89 Sturmflächen und total 534 Probekreise, deren Verjüngungsdichten jeweils in Hektarwerte hochgerechnet wurden.

2.1.5. Darstellung der Ergebnisse

Die Sturmflächen werden im Folgenden oft in fünf Kategorien aufgeteilt: 1) Vivianflächen, 2) Lothar-Buchenbestände, 3) Lothar-Tannen-Buchenbestände, 4) Lothar-Fichten-Tannenbestände und 5) Lothar-Fichtenbestände. Diese Gruppierung basiert v. a. auf dem Vorbestand und ist nicht standortskundlich zu verstehen. Als Streuungsmass wird der einfache Standardfehler des Mittelwertes angegeben. Unterschiede werden nur als solche ausgewiesen, wenn sie in den statistischen Analysen signifikant waren. Diese Analysen sind im Text nicht dargestellt; im Anhang wird aber darauf verwiesen.

2.2 Charakteristiken der Sturmflächen-Stichprobe

Die meisten Vivian-Sturmflächen unserer Stichprobe befinden sich in den Alpen, die Lotharflächen hingegen vornehmlich in Mittelland und Voralpen (Tabelle 5). Die Vivianflächen umfassen auch einige zwischen- und kontinentalalpine Standorte, wäh-

rend die Lotharflächen auf ozeanisch geprägte Standorte beschränkt sind. Die Vivianflächen liegen durchschnittlich auf 1'429 m ü. M., die Lotharflächen auf 860 m ü. M. (Tabelle 6).

Die Vorbestandestypen verteilten sich unterschiedlich auf die Höhenlagen (Abbildung 5); wie erwartet lagen Buchenbestände am tiefsten und Fichtenbestände am höchsten. Die tiefen Vorkommen von Tannen-Buchen-, Tannen-Fichten- und Fichtenbeständen bestätigen aber, dass die Vorbestandestypen nicht standortskundlich festgelegt wurden.

Tabelle 5. Anzahl Flächen nach Sturmereignis, Behandlung und Region.

Region	Vivian		Lothar		Total	
	geräumt	belassen	geräumt	belassen	geräumt	belassen
Jura	0	0	5	3	5	3
Mittelrand	0	0	24	9	24	9
Voralpen	3	1	14	11	18	11
Alpen	15	5	0	0	15	5
Total	18	6	43	23	62	28

Tabelle 6. Merkmale der Sturmflächen. SF = Standardfehler. Vgl. Tabelle 13, S. 45 (Höhenlage) und Abbildung 26, S. 48 (Vegetations-Deckungsgrade) für die Sturm-Beobachtungsflächen.

Merkmal	Vivianflächen			Lotharflächen		
	Mittelwert	SF	Min/Max	Mittelwert	SF	Min/Max
Höhenlage [m ü. M.]	1'429	± 46	890/1'780	860	± 44	370/1'590
Hangneigung [%]	37,3	± 1,5	25/52	17,4	± 1,7	0/45
Mächtigkeit der organischen Auflage [cm]	4,5	± 0,4	1/9	5,1	± 0,3	2/11
pH Mineralerde	4,7	± 0,2	3,0/6,6	4,5	± 0,1	3,1/7,2
pH organische Auflage	4,8	± 0,2	3,2/6,4	4,7	± 0,1	2,9/6,7
Deckungsgrad [%]						
Farne	8,1	± 2,9	0/29,3	8,9	± 2,2	0/47,6
Adlerfarn	0,05	± 0,05	0/1,2	2,7	± 1,1	0/47,6
Beerensträucher	13,0	± 2,5	0/40,2	21,8	± 1,8	0/56,1
Brombeeren	2,5	± 1,3	0/28,0	14,2	± 1,9	0/50,0
Himbeeren	7,7	± 1,9	0/30,1	7,0	± 1,4	0/52,4
Süßgräser	12,3	± 3,1	0/62,2	5,2	± 0,9	0/29,3
Sauergräser	0	± 0	0/0	0,07	± 0,06	0/3,7
Seggen	1,3	± 0,5	0/9,8	0,7	± 0,3	0/13,4
Kräuter	3,3	± 2,1	0/48,8	0,6	± 0,2	0/7,3
Hochstauden	13,6	± 3,2	0/51,2	2,9	± 0,6	0/18,3
Vegetationsfrei	7,0	± 0,9	1,2/15,9	7,8	± 1,1	0/47,6

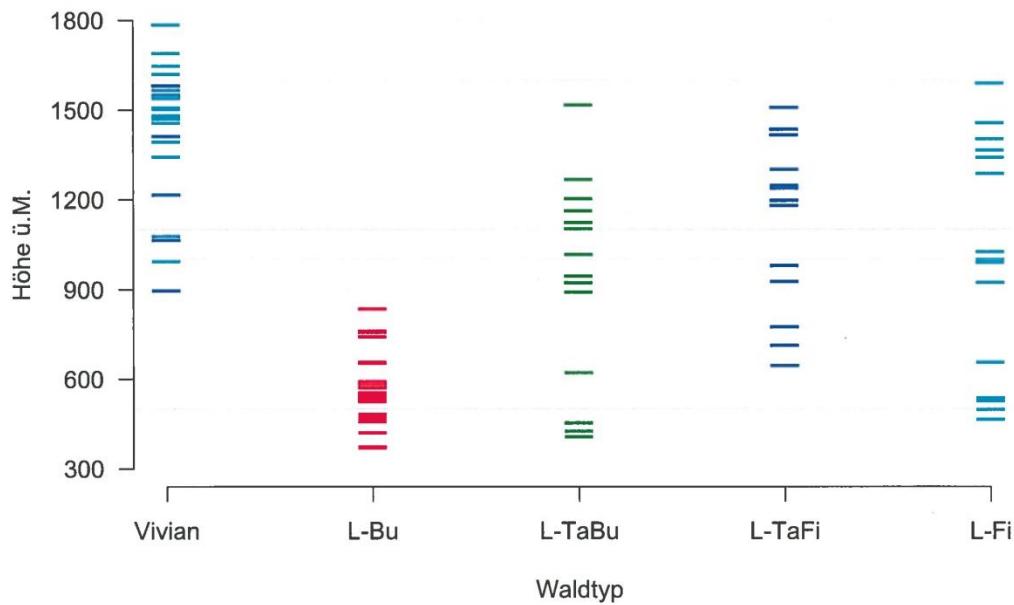


Abbildung 5. Verteilung der Vivian- und Lotharflächen (nach Vorbestandestypen) über die Höhenlagen. Bu = Buchenbestände, Ta-Bu = Tannen-Buchenbestände, Ta-Fi = Fichten-Tannenbestände, Fi = Fichtenbestände.

2.3 Dichte der Gehölzverjüngung

2.3.1. Dichte nach Sturmereignis und Behandlung

Die Dichte aller baumförmigen Gehölzpflanzen mit Pflanzenhöhe ≥ 20 cm lag in geräumten Vivian-Sturmflächen bei $4'600 \pm 704$ pro ha, bei Beschränkung auf nach dem Sturm etablierte Pflanzen (Nachverjüngung) bei $4'098 \pm 742$ pro ha (Tabelle 7). In belassenen Flächen war die Dichte mit $2'394 \pm 916$ bzw. $2'161 \pm 898$ pro ha wesentlich kleiner (signifikanter Unterschied, Tabelle 22). Die Verjüngungsdichten in Lothar-Sturmflächen waren rund doppelt so hoch wie in Vivianflächen (signifikanter Unterschied): In geräumten Lotharflächen wurden $10'740 \pm 2'209$ pro ha (bzw. $7'786 \pm 1'314$ pro ha) baumförmige Gehölzpflanzen gefunden, in belassenen $7'955 \pm 1'313$ pro ha (bzw. $5'373 \pm 1'086$ pro ha; Abbildung 6).

In Vivian-Sturmflächen wurden 11% der Bäumchen als vorverjüngt beurteilt ($N=435 \pm 134$ pro ha); in Lotharflächen war dieser Anteil mit 29% fast dreimal so gross ($N=2'856 \pm 860$ pro ha; Abbildung 7).

Die auf Sturmflächen festgestellten Dichten der Vorverjüngung können verglichen werden mit der Dichte der Verjüngung in Wartsaal-Position unter Schirm von Baumhölzern. Wir berechneten dazu die Dichten der Verjüngung in schwachen und mittleren Baumhölzern mit normalem oder lockerem Schlussgrad im ganzen Schweizer Wald (Tabelle 8), wobei hier Bäumchen von 10 bis 19 cm Höhe im Unterschied zu den Sturmflächen eingeschlossen sind. Es ergaben sich wesentlich höhere Dichten als auf den Sturmflächen.

Werden Sträucher auch berücksichtigt, erhöhen sich die Verjüngungsdichten, auf Vivianflächen um 500 bis 700 Pflanzen pro ha, auf Lotharflächen um 600 bis 800 Pflanzen pro ha (Tabelle 7). Alle weiteren Auswertungen betreffen nur baumförmige Gehölzpflanzen (Zuteilung Baum-Strauch s. Tabelle 16 im Anhang).

Tabelle 7. Verjüngungsdichte pro ha in der Sturmflächen-Stichprobe nach Etablierungszeitpunkt, Wuchsform und Sturmereignis. Angegeben sind Mittelwerte \pm einfache Standardfehler. Vgl. Tabelle 28, S. 97 für die Sturm-Beobachtungsflächen.

Etablierungszeitpunkt	Wuchsform	Vivian		Lothar	
		geräumt	belassen	geräumt	belassen
Nur	Alle verholzten Arten	4'631 \pm 839	2'778 \pm 857	8'518 \pm 1'384	5'951 \pm 1'074
Nachverjüngung	Nur Bäume	4'098 \pm 742	2'161 \pm 898	7'743 \pm 1'314	5'373 \pm 1'086
Nach- und Vorverjüngung	Alle verholzten Arten	5'180 \pm 809	3'122 \pm 885	11'550 \pm 2'252	8'753 \pm 1'271
	Nur Bäume	4'600 \pm 704	2'394 \pm 916	10'740 \pm 2'209	7'955 \pm 1'313

Tabelle 8. Verjüngungsdichte pro ha in schwachen und mittleren Baumhölzern mit normalem oder lockerem Schlussgrad im Schweizer Wald, Pflanzen von 10 cm Höhe bis 11,9 cm BHD. Spezialauswertung LFI, A. Schwyzer, 25.3.2013.

Vegetationshöhenstufe	Stammzahl pro ha (\pm Standardfehler)
Kolline und submontane Stufe	58'780 \pm 5'758
Untere montane Stufe	53'591 \pm 6'557
Obere montane Stufe	23'145 \pm 2'907
Untere subalpine Stufe	9'031 \pm 3'470
Obere subalpine Stufe	4'849 \pm 2'841

2.3.2. Dichteunterschiede zwischen Vorbestandestypen in Lotharflächen

In geräumten Lotharflächen traten die grössten Stammzahlen in Buchenbeständen mit $9'936 \pm 2'910$ pro ha auf, gefolgt von Fichten-Tannenbeständen ($6'419 \pm 2'104$ pro ha), Tannen-Buchenbeständen ($6'258 \pm 1'375$ pro ha) und Fichtenbeständen ($6'262 \pm 1'945$ pro ha). In belassenen Lotharflächen waren die Stammzahlen ebenfalls in Buchenbeständen am grössten ($7'333 \pm 2'355$ pro ha), gefolgt von Fichten-Tannenbeständen ($6'336 \pm 2'799$ pro ha), Tannen-Buchenbeständen ($4'372 \pm 1'947$ pro ha) und Fichtenbeständen ($3'460 \pm 1'348$ pro ha).

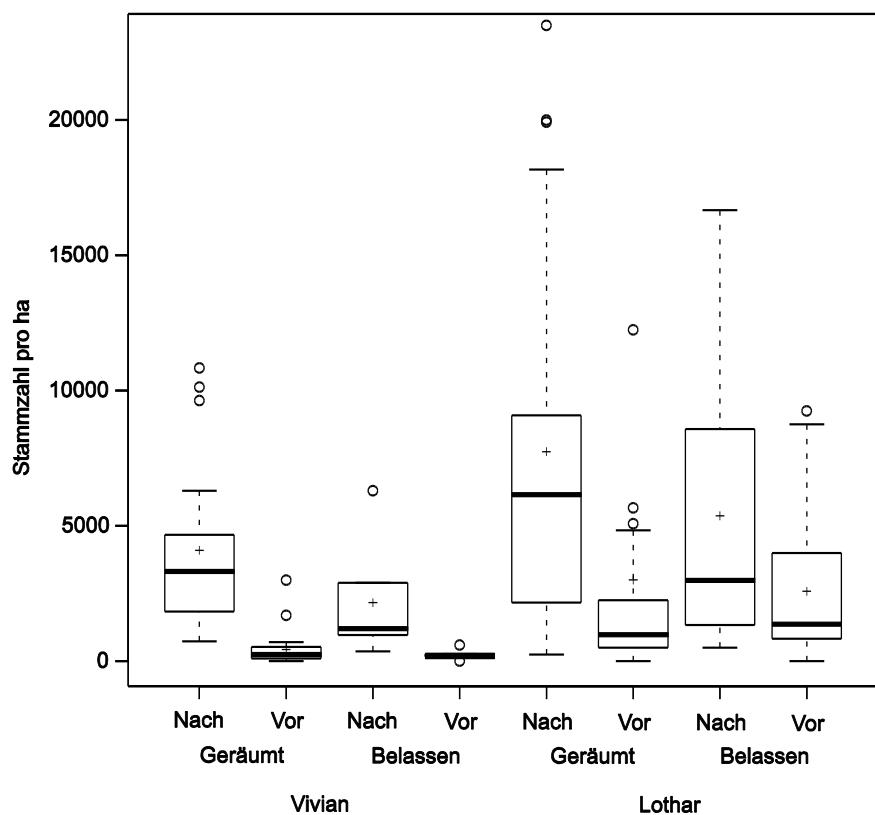


Abbildung 6. Verjüngungsdichte der Bäume nach Ansamungszeitpunkt (Nach = Nachverjüngung, Vor = Vorverjüngung) im Jahr 2010 auf geräumten und belassenen Vivian- und Lotharflächen. Bei den geräumten Lotharflächen sind zwei Ausreisser nach oben (61'333 und 78'083 pro ha) zwar in die Berechnung der Boxplots eingeflossen, aber nicht dargestellt. Vgl. Abbildung 27, S. 49 für Sturm-Beobachtungsflächen.

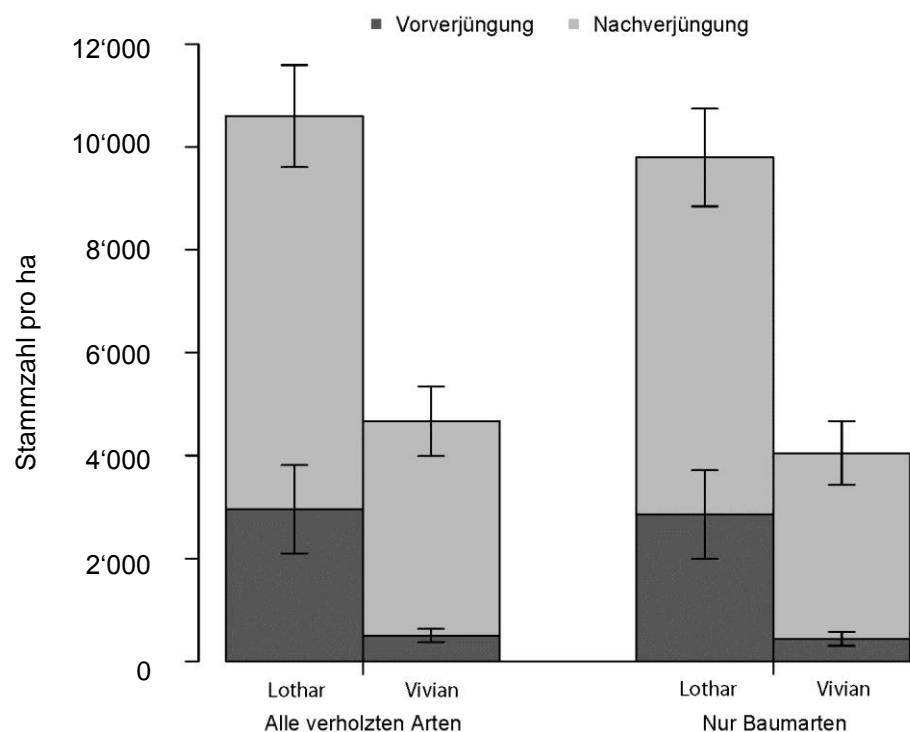


Abbildung 7. Verjüngungsdichten in Vivian- und Lotharflächen, unterteilt in Vor- und Nachverjüngung.

2.3.3. Kleinräumige Heterogenität der Verjüngungsdichte

Werden die Verjüngungsdichten in Klassen eingeteilt, dann ergeben sich zwischen den Stürmen und Standortsgruppen unterschiedliche Anteile (Abbildung 8). Rund 30% der Probekreise (50 m^2) waren in *belassenen* Vivianflächen verjüngungsfrei (Klasse 0-200 Bäumchen pro ha), während weniger als 5% Dichten von über $10'000$ pro ha aufwiesen. In *geräumten* Vivianflächen waren verjüngungsfreie Probekreise mit rund 10% Anteil viel seltener. In Lotharflächen fällt auf, dass Dichten von 201- $2'000$ Bäumchen pro ha in belassenen Flächen deutlich häufiger sind als in geräumten Flächen, Dichten von $5'001$ - $10'000$ Bäumchen pro ha dagegen seltener.

Bei gleichen Verjüngungsdichten wäre zu erwarten, dass in Straten mit 20 m^2 grossen Probekreisen (z.B. Lothar Buchenbestände) extremere Dichtewerte auftreten als in Straten mit 50 m^2 grossen Probekreisen (z.B. Lothar Fichtenbestände). Dies ist nicht der Fall.

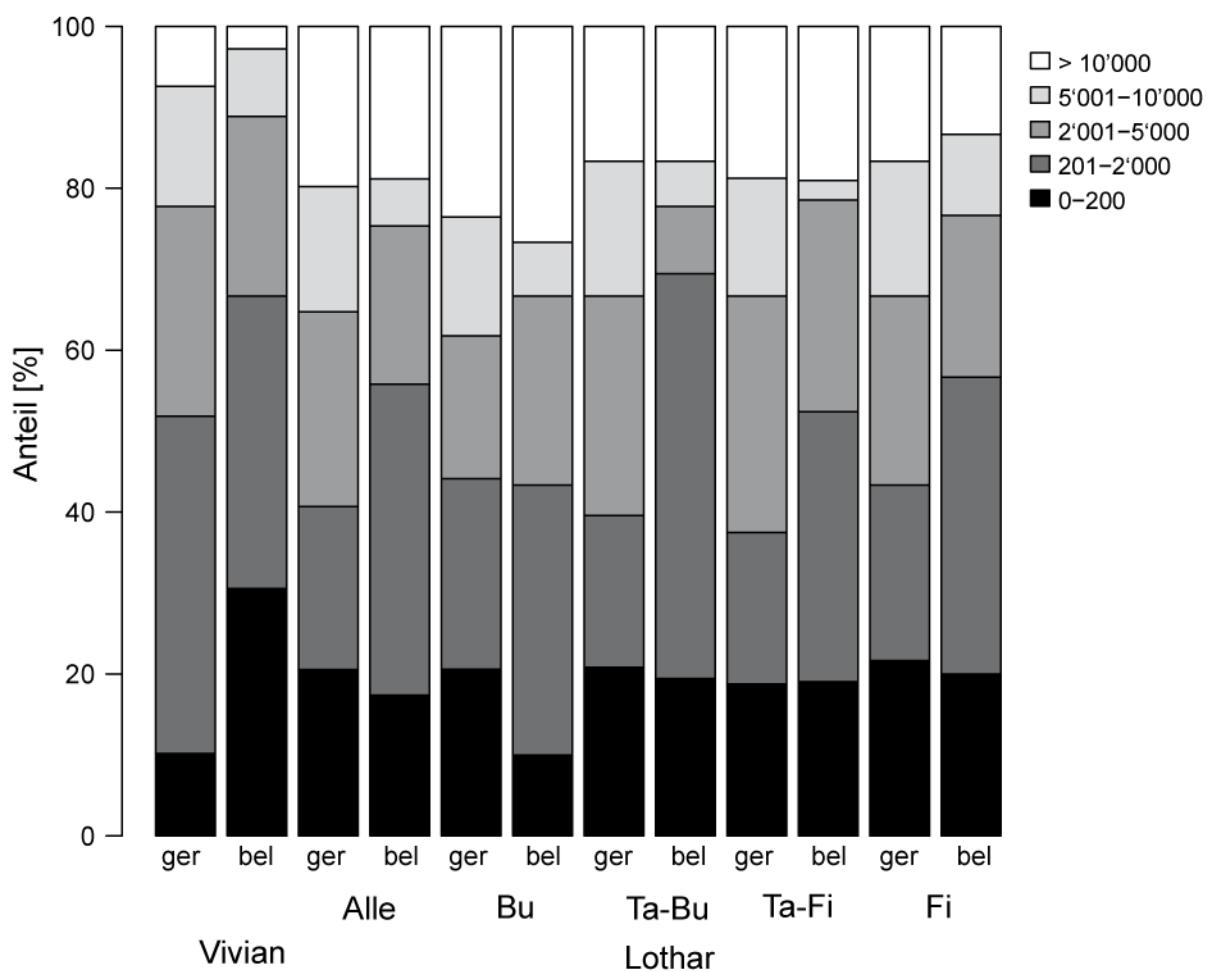


Abbildung 8. Verteilung der Verjüngungsdichten in Dichteklassen in Vivian- und Lothar-Sturmflächen sowie unterschiedlichen Straten von Lotharflächen. Es sind nur Bäume der Nachverjüngung berücksichtigt. Ger = geräumt, bel = belassen. Bu = Buchenbestände, Ta-Bu = Tannen-Buchenbestände, Ta-Fi = Fichten-Tannenbestände, Fi = Fichtenbestände. Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass in Vivianflächen und in Lothar-Ta-Fi-Beständen sowie -Fi-Beständen die Probekreisfläche mehrheitlich 50 m^2 war, in den anderen Gruppen 20 m^2 .

2.3.4. Erklärungsmodelle der Verjüngungsdichte

Eine statistisches Modell mit 89 Sturmflächen erklärte 41% der Variation der Verjüngungsdichte mit den Faktoren Boden-pH, Vegetations-Deckungsgrad, Behandlung und Höhenlage (Tabelle 22 und 24 im Anhang). In separaten Modellen für die in Kap. 2.1.5 genannten fünf Waldkategorien war die erklärte Variation teilweise höher (bis 73%). Die erklärenden Faktoren sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Die einzelnen Effekte werden im Folgenden erläutert und mit Abbildungen illustriert.

Tabelle 9. Zusammenfassung der statistischen Modelle zum Einfluss verschiedener Faktoren auf die Verjüngungsdichte auf Ebene Sturmflächen (schwarz) bzw. auf Ebene Probekreis (rot). Signifikanzniveaus: ++ bzw. -- signifikant ($p \leq 0.01$), + bzw. - schwach signifikant ($p \leq 0.05$), (+) bzw. (-) nicht signifikante Tendenz. Bu = Buchenbestände, Ta-Bu = Tannen-Buchenbestände, Ta-Fi = Fichten-Tannenbestände, Fi = Fichtenbestände. - Lesebeispiele:

- 1) Mit zunehmender Höhenlage nahm die Verjüngungsdichte ab in Modellen mit allen Sturmflächen, mit den Vivianflächen, und mit Ta-Bu-Beständen unter den Lotharflächen; sie nahm hingegen zu in Modellen mit den Fi-Beständen unter den Lotharflächen. In den übrigen Modellen hatte die Höhenlage keinen signifikanten Einfluss auf die Verjüngungsdichte.
- 2) Geräumte Sturmflächen hatten gegenüber belassenen eine grössere Verjüngungsdichte in Modellen mit allen Sturmflächen, Vivianflächen, und in Modellen mit Lotharflächen in Bu-Beständen (Tendenz), Ta-Bu-Beständen (schwach signifikant) und in Fi-Beständen (signifikant). In den übrigen Modellen hatte die Behandlung keinen signifikanten Einfluss auf die Verjüngungsdichte.

Faktor	Alle	Vivian-	Lotharflächen				
	Sturm- flächen	Flächen	Alle Bestände	Bu	Ta-Bu	Fi-Ta	Fi
Stetige Faktoren							
pH der org. Auflage oder der Mineralerde	++	++	+	(+)		++	
oder der Mineralerde							
Deckungsgrad			--				
Adlerfarn/Brombeere			--	--	--		
Deckungsgrad Farn/Beeresträucher	--	--	--				--
Höhenlage	--	--		-			+
Distanz zum Sturmflächenrand			-	(-)	-		
Verbiss	-	-					
Kategoriale Faktoren							
Behandlung: geräumt vs. belassen	+	++	(+)	+			++
Sturm Lothar vs. Vivian		(+)					
Exposition: West vs. andere Exposition			+	+		(+)	

Die Verjüngungsdichte war umso grösser, je höher der pH der organischen Auflage des Bodens war (Abbildung 9). Der Zusammenhang mit dem pH der Mineralerde war ähnlich stark. Die Verjüngungsdichte war bei grösserem Vegetationsdeckungsgrad kleiner (Abbildung 10), und auf geräumten Flächen grösser als auf belassenen (Abbildung 6); sie war insgesamt nicht von der Höhenlage abhängig, in Vivianflächen aber schon (Abbildung 11).

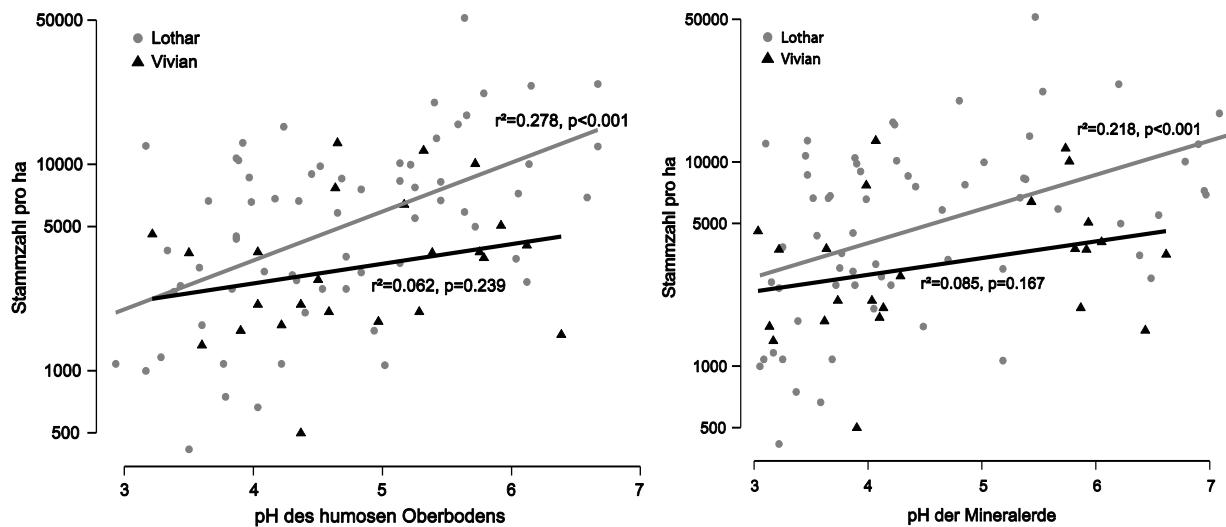


Abbildung 9. Zusammenhang zwischen Boden-pH und Dichte der Nachverjüngung in Vivian- und Lotharflächen. Links: pH des humosen Oberbodens, rechts: pH der Mineralerde.

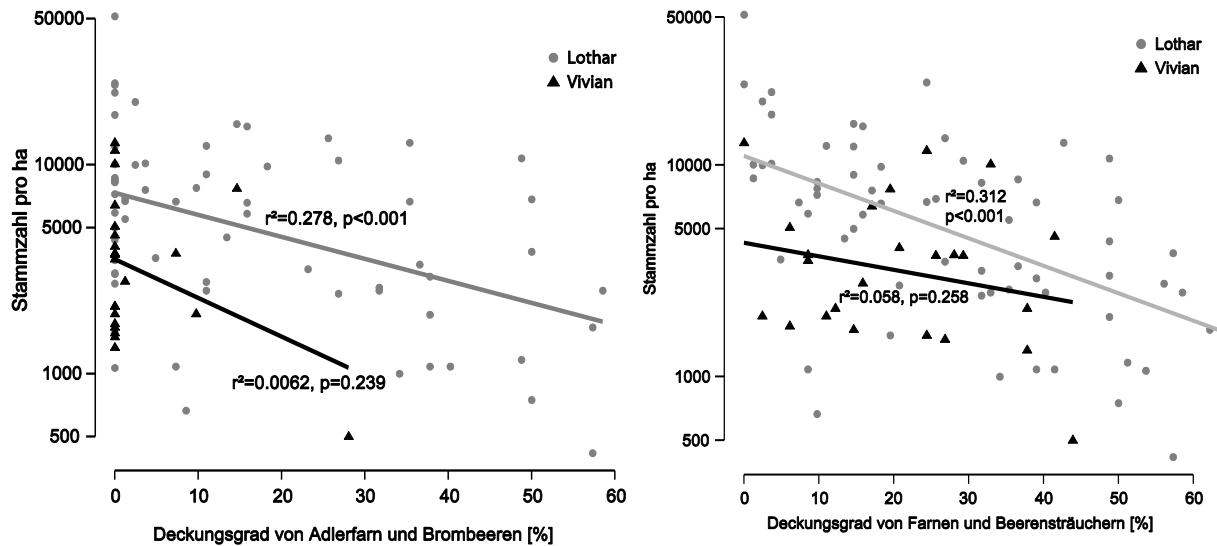
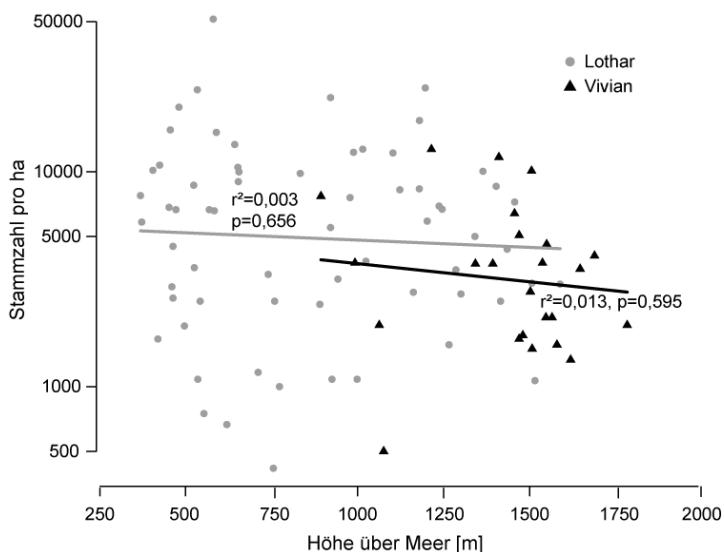


Abbildung 10. Zusammenhang zwischen Vegetations-Deckungsgrad und Dichte der Nachverjüngung in Vivian- und Lotharflächen. Links: Deckungsgrad von Adlerfarn und Brombeeren, rechts von Farnen und Beeresträuchern. Vgl. Abbildung 29, S. 50 für die Sturm-Beobachtungsflächen.



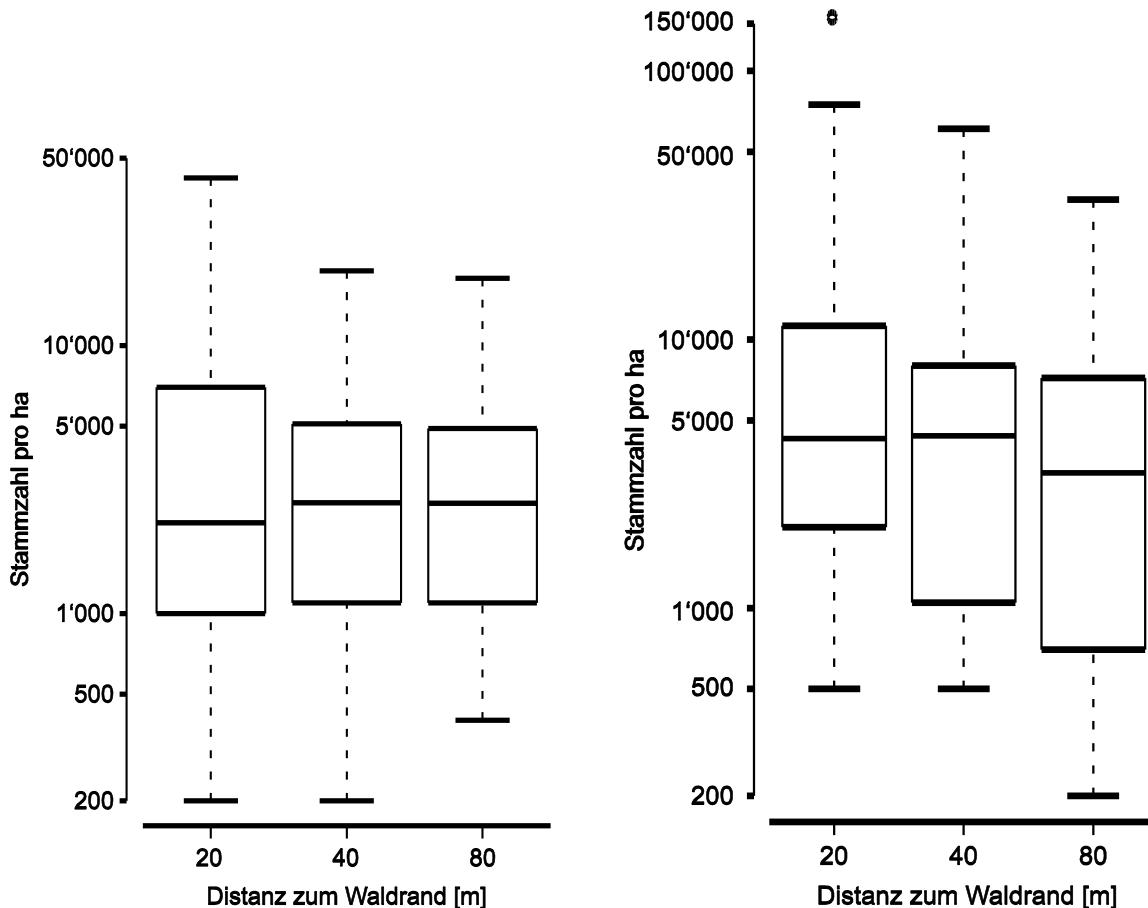


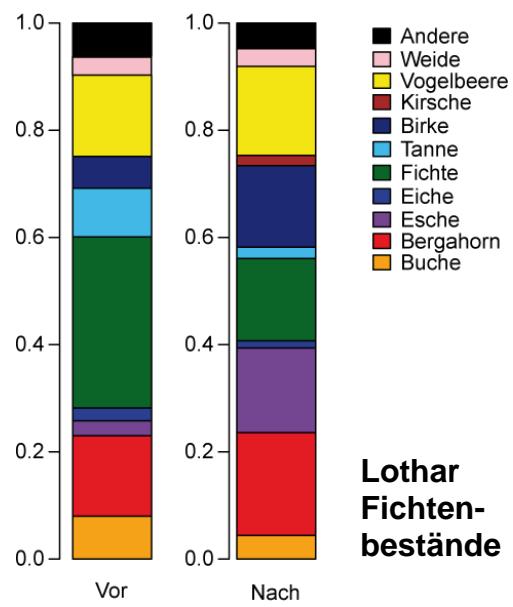
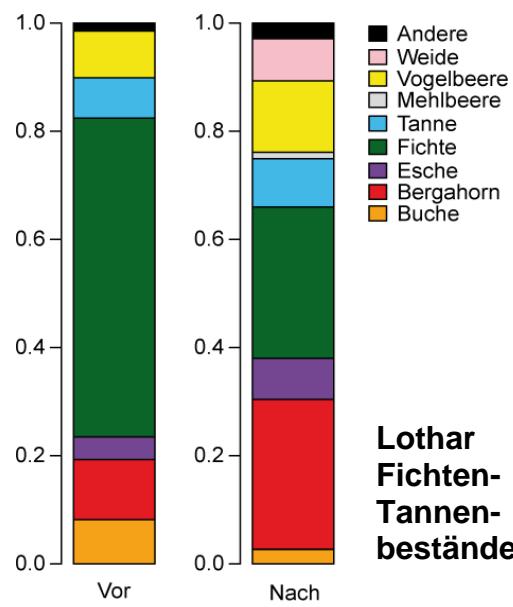
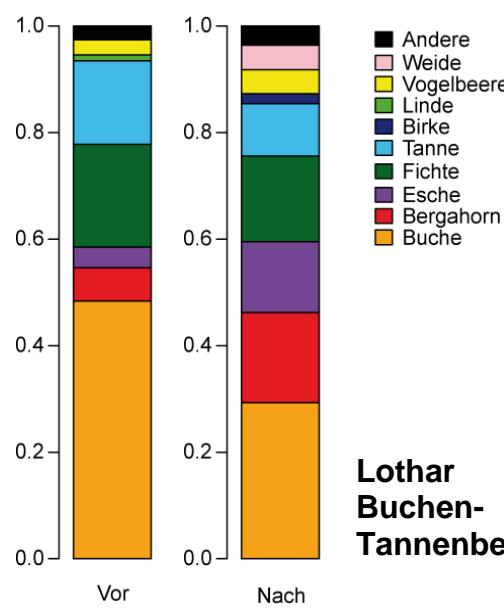
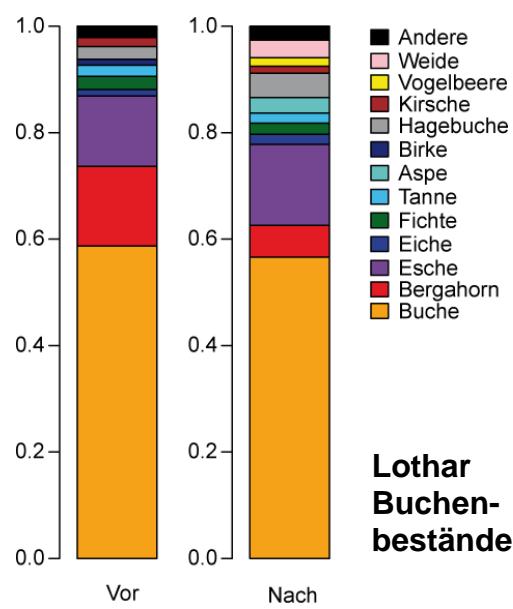
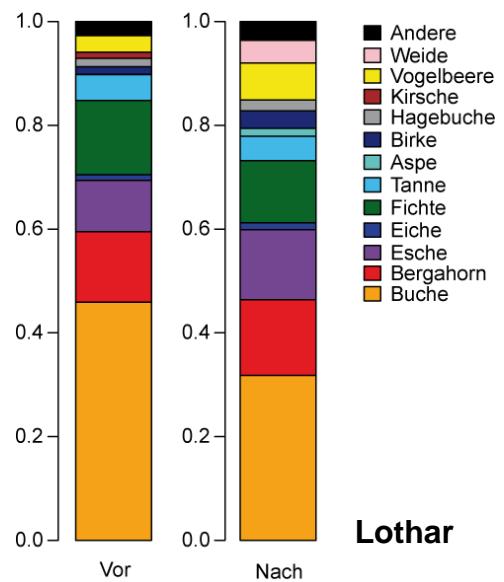
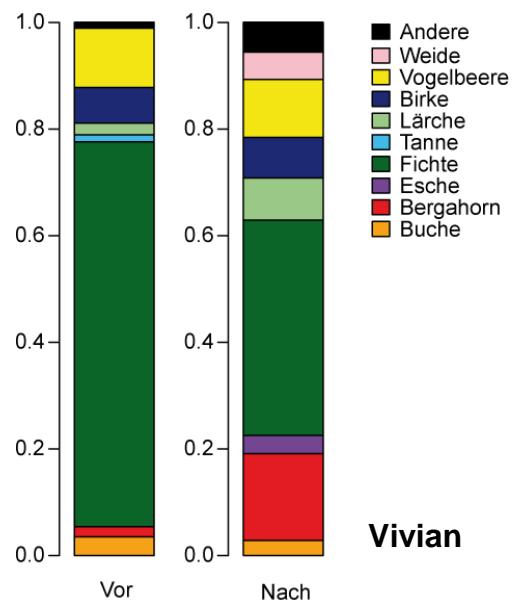
Abbildung 12. Zusammenhang zwischen der Distanz zum Sturmflächenrand und der Verjüngungsdichte in Vivianflächen (links) und Lotharflächen (rechts).

2.3.5. Artenzusammensetzung der Vor- und Nachverjüngung

Die Baumartenanteile der Pflanzen ≥ 20 cm unterschieden sich zwischen den Vorbestandestypen; so nahm der Buchenanteil von Buchenbeständen über Buchen-Tannenbestände zu den Fichten-Tannen- und Fichtenbeständen deutlich ab, der Fichtenanteil hingegen zu (Abbildung 13). Die Baumartenanteile waren in Vivianflächen ähnlich wie in Fichten-Tannenbeständen und Fichtenbeständen in Lotharflächen.

Die Baumartenzusammensetzung unterschied sich zwischen Vor- und Nachverjüngung nur graduell (Abbildung 13). Fichten und Buchen sowie teils Tannen waren in der Vorverjüngung häufiger als in der Nachverjüngung, bei Eschen, Birken und Weiden war es umgekehrt. Bergahorne verhielten sich unterschiedlich.

Abbildung 13 (S. 29). Baumartenanteile der Gehölzpflanzen ≥ 20 cm in Vivianflächen, Lotharflächen und vier Vorbestandestypen von Lotharflächen nach Etablierungszeitpunkt. Vgl. Abbildung 30, S. 51 für die Sturm-Beobachtungsflächen.



2.3.6. Dichte nach Baumarten, Behandlung und Waldkategorie

Sobald die Daten weiter in Straten unterteilt werden, stellt sich das Problem der genügenden Repräsentanz. Bei geringerer Stichprobenzahl und bei kleinen Dichten für einzelne Gehölzarten darf der Datensatz nicht als repräsentativ betrachtet werden, weil zufällige Effekte eine grosse Rolle spielen können. Daher wurden nur Dichten aller Baum- und Straucharten mit Stammzahlen von mindestens 100 pro ha verglichen, getrennt für Gehölze mit mindestens 20 cm und unter 20 cm Höhe. Bei den Gehölzpflanzen mit Höhe ≥ 20 cm wird diese Dichte bei 11 Pflanzen im gesamten Datensatz erreicht, bei den Gehölzpflanzen mit Höhe < 20 cm bei 5 Pflanzen.

Vivianflächen (N=24)

Auf den geräumten Vivianflächen (N=18) waren mit 37% der gesamten Stammzahl Fichten am häufigsten, gefolgt von Bergahornen, Vogelbeeren, Birken, Lärchen, Weiden, Eschen und Buchen (Abbildung 14). Auf den belassenen Vivianflächen (N=6) waren die gleichen Baumarten am häufigsten (Fichte mit einem Anteil von 33%), die Dichten waren im allgemeinen aber kleiner, ausser bei den Pionierarten Roter Holunder und Lärche, die auf belassenen Flächen häufiger waren als auf geräumten.

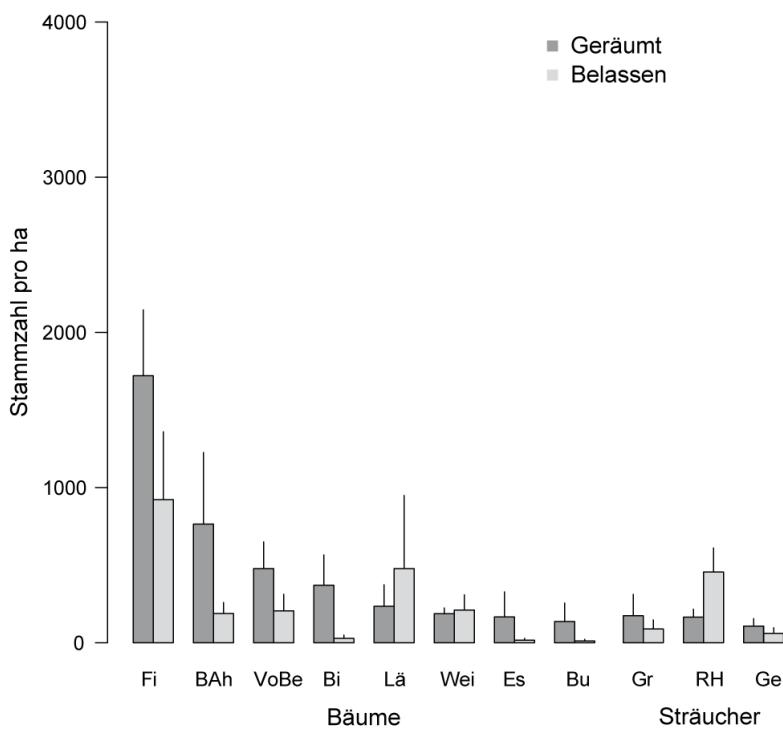


Abbildung 14. Verjüngungsdichte der Baum- und Straucharten nach Behandlung in den Vivian-Sturmflächen. Die Baum- bzw. Straucharten sind geordnet nach absteigender Stammzahl auf geräumten Sturmflächen. Mittelwert \pm einfacher Standardfehler des Mittelwertes. Vgl. Abbildung 35, S. 56 für die Sturm-Beobachtungsflächen.

Lotharflächen in Buchenbeständen (N=22)

Fast die Hälfte der Verjüngungspflanzen auf geräumten Lotharflächen waren Buchen ($5'181 \pm 2'529$ pro ha). Auf belassenen Lotharflächen waren Buchen mit 75% der Stammzahl ($5'686 \pm 2'107$ pro ha) noch häufiger. Auf geräumten Flächen fanden wir 11, auf belassenen Flächen 7 Baum- und Straucharten mit mehr als 100 Bäumen pro

ha (Abbildung 15). Auf belassenen Flächen wurden weder Aspen, Hagebuchen, Vogelbeeren noch Rote Holunder gefunden. Die Esche als zweithäufigste Baumart auf geräumten Flächen fehlte auf belassenen Flächen weitgehend.

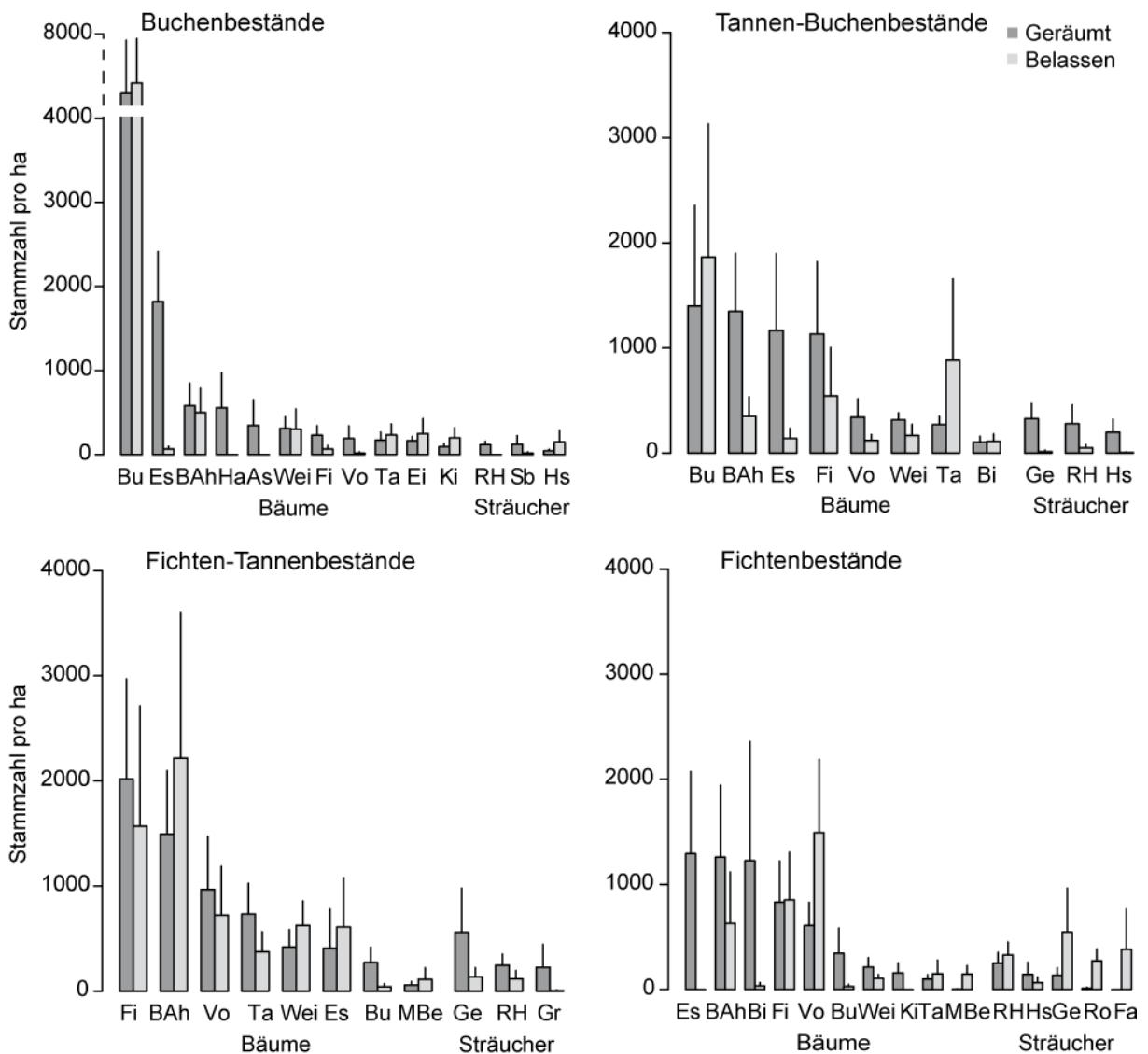


Abbildung 15. Verjüngungsdichte der Baum- und Straucharten nach Behandlung in den Lothar-Sturmflächen, nach Vorbestandestyp. Die Baum- bzw. Straucharten sind geordnet nach absteigender Stammzahl auf geräumten Sturmflächen. Die vertikalen Achsen sind ausser in der Abbildung links oben gleich skaliert. Die Abkürzungen der Gehölzarten sind auf S. 5 aufgeführt (aber Vo = Vogelbeere). Vgl. Abbildung 35, S. 56 für die Sturm-Beobachtungsflächen.

Lotharflächen in Tannen-Buchenbeständen (N=14)

In geräumten Flächen dominierten Buchen, Bergahorne, Eschen und Fichten, mit ähnlichen Stammzahlen (Abbildung 15). Diese vier Baumarten machten zusammen 71% der Stammzahl der gesamten Verjüngung aus. In belassenen Flächen waren Buchen mit einem Anteil von 41% der gesamten Stammzahl am häufigsten. Tannen spielten in der Verjüngung geräumter Flächen nur eine untergeordnete Rolle, waren hingegen in belassenen Flächen am zweithäufigsten (Abbildung 15). Die Dichten der häufigsten Baum- und Straucharten in Tannen-Buchenbeständen waren in geräumten Lotharflächen signifikant höher als in belassenen.

Lotharflächen in Fichten-Tannenbeständen (N=14)

Fichten dominierten mit 27% der Stammzahl in geräumten Flächen in Fichten-Tannenbeständen. Ihnen folgten Bergahorne und Vogelbeeren (Abbildung 15). Die gleichen drei Baumarten waren auch in belassenen Flächen am häufigsten, aber hier nahmen Bergahorne den ersten Platz ein, mit rund einem Drittel der gesamten Stammzahl.

Lotharflächen in Fichtenbeständen (N=15)

In geräumten Lotharflächen in Fichtenbeständen waren nicht Fichten am häufigsten, sondern Eschen, Bergahorne und Birken (Abbildung 15). Fichten kamen mit einem Stammzahlanteil von 12% erst an vierter Stelle, gefolgt von Vogelbeeren, Buchen und Weiden. Auch in belassenen Flächen waren nicht Fichten am häufigsten, sondern Vogelbeeren mit 30% der Stammzahl. Fichten waren mit 16% am zweithäufigsten. Die Verjüngungsdichten unterschieden sich nicht signifikant zwischen geräumten und belassenen Sturmflächen.

2.4 Baumartenvielfalt

Die Baumartenzusammensetzung unterschied sich zwar in Sturmflächen mit unterschiedlicher Behandlung (Abbildung 15), bezüglich Artdiversität waren die Unterschiede aber gering (Tabelle 10). In Vivianflächen war der Shannon-Index als Mass für die Artdiversität in belassenen Flächen etwas grösser als in geräumten, es kamen also mehr Baumarten vor und die Arten waren feiner gemischt.

2.5 Baumhöhe

Zwanzig Jahre nach Vivian waren die meisten Verjüngungspflanzen in den Sturmflächen deutlich kleiner als 5 m (Abbildung 16). Bei den meisten Baumarten erreichten 3/4 der Pflanzen (obere Begrenzung der Box) die Höhenmarke von 3 m nicht; Ausnahmen waren Birken und Vogelbeeren. Ein Viertel der Birken war im Mittel 10 m hoch, bei Weiden und Vogelbeeren waren die grössten Bäume (oberes Quartil) etwa 5 m gross, und bei allen anderen Baumarten unter 5 m. Einzelne Individuen – meistens wohl aus Vorverjüngung – hatten aber deutlich grössere Baumhöhen als 10 m erreicht; besonders häufig war dies bei Fichten der Fall. Rund 50% der Pflanzen waren mit Höhen zwischen 20 cm und 2 m noch klein (enge Abstände zwischen dem Median, dem unteren Quartil und dem unteren Ende der Antenne bei den meisten Baumarten). Ein Höhenvorsprung der Pionierarten gegenüber Schlusswaldarten ist bei Birken sehr deutlich, bei Weiden und Vogelbeeren noch merklich.

Auf Lotharflächen (Abbildung 17) waren die Verteilung der Höhen bei jeder Baumart und die Höhenverhältnisse der Baumarten zueinander ähnlich wie auf Vivianflächen (Abbildung 16). In der statistischen Analyse unterschieden sich die Baumhöhen der Verjüngungspflanzen zwischen Vivian- und Lotharflächen denn auch nicht signifikant.

Tabelle 10. Diversitäts-Masse für alle Baumarten, abgeleitet aus der Verjüngungsdichte und den durchschnittlichen Stammzahlen der einzelnen Arten pro Sturmfläche. Für die Bestimmung der Unterschiede der Baumartenvielfalt zwischen geräumten und belassenen Flächen wurde ein t-Test durchgeführt.

Stratum	N	Anzahl Arten	p-Wert	Shannon-Index	p-Wert	Evenness	p-Wert
Vivianflächen							
belassen	18	5,7	0,257	1,337	0,014*	0,776	
geräumt	6	5,0		0,952		0,620	0,061
Lotharflächen							
Buchenbestände	22						
belassen		5,0	0,278	0,721	0,078	0,476	
geräumt		6,6		1,133		0,635	0,210
Tannen-Buchenbestände	15						
belassen		5,7	0,185	1,236	0,552	0,779	
geräumt		7,1		1,371		0,702	0,484
Fichten-Tannenbestände	14						
belassen		6,0	0,773	1,340	0,534	0,757	
geräumt		5,8		1,223		0,706	0,487
Fichtenbestände	15						
belassen		4,8	0,389	1,257	0,686	0,799	
geräumt		5,9		1,194		0,697	0,215

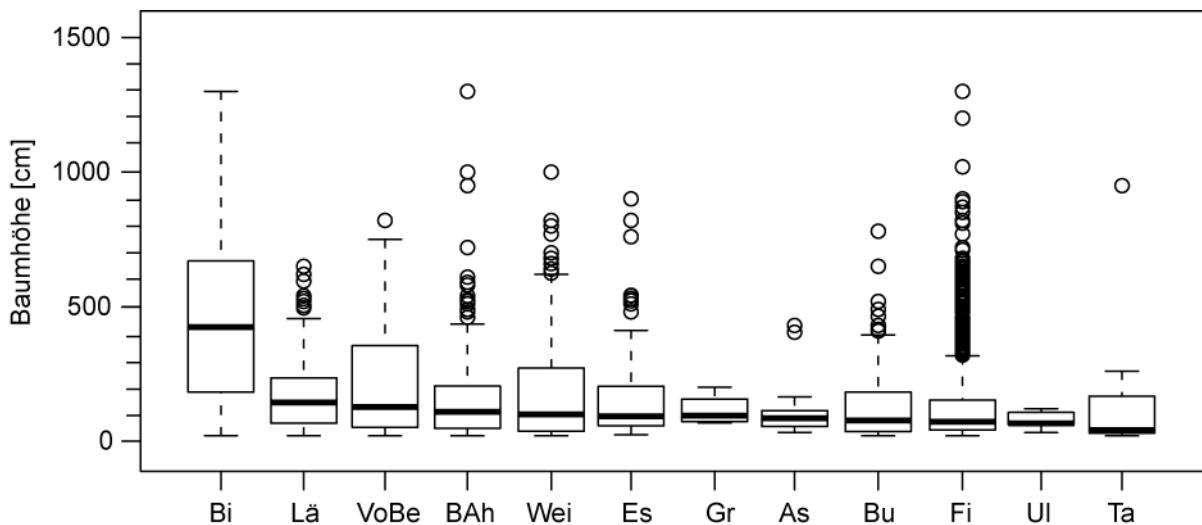


Abbildung 16. Höhe der Gehölzpflanzen ≥ 20 cm nach Baumarten für Vivianflächen im Jahr 2010, geordnet nach absteigendem Median. Die Daten umfassen die Vor- und Nachverjüngung. Die Boxplots zeigen als dicken Strich den Median, die Box umfasst das obere und das untere Quartil, die Antennen reichen bis maximal zum 1,5fachen Abstand zwischen den Quartilen. Weiter entfernt liegende Datenpunkte sind einzeln dargestellt. Fünf Einzelhöhen >15 m sind nicht dargestellt. Vgl. Abbildung 38, S. 59 für die Sturm-Beobachtungsflächen.

Allerdings waren die 25% höchsten Pflanzen nicht nur bei Birken, Weiden und Vogelbeeren, sondern bei vielen Baumarten (Buchen, Eschen, Bergahorne, Kirschbäume, Eichen, Linden) im Bereich von 5 m oder noch grösser. Zehn Jahre nach Lothar waren also die Bäume in Lotharflächen bereits höher als Bäume in Vivianflächen nach 20 Jahren.

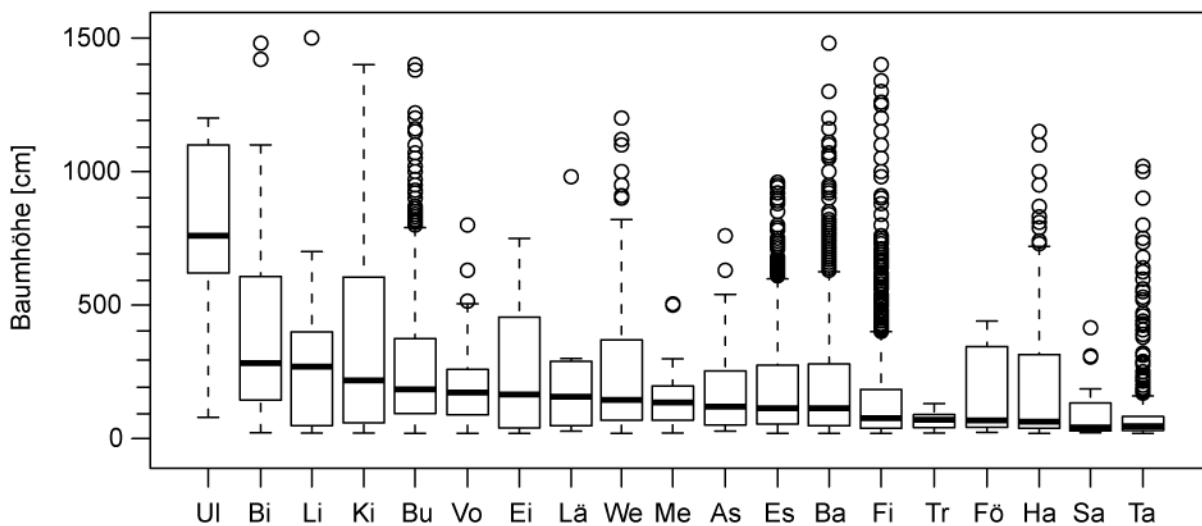


Abbildung 17. Höhe der Gehölzpflanzen ≥ 20 cm nach Baumart für Lotharflächen im Jahr 2010. Die Daten umfassen die Vor- und Nachverjüngung. Abkürzungen s. S. 4. Die Boxplots sind in Abbildung 16 erklärt. 11 Einzelhöhen > 15 m sind nicht dargestellt. Vgl. Abbildung 39 und 40, S. 59/60 für die Sturm-Beobachtungsflächen.

2.6 Wildverbiss

Der Wildverbiss wurde an jeder Pflanze anhand der Präsenz/Absenz eines Jahresverbisses am Terminaltrieb taxiert. Bei der Berechnung der Verbissintensität pro Baumart wurden nur Sturmflächen berücksichtigt, in denen eine Baumart mit fünf oder mehr Individuen vertreten war, weil die Werte sonst sehr stark streuten. Auf belassenen Vivianflächen hatte dies zur Folge, dass die Anzahl Sturmflächen für verlässliche Aussagen zu gering wurde (Abbildung 18).

Auf geräumten Vivianflächen lag der Median der Verbissintensität bei Bergahornen, Vogelbeeren und Weiden bei rund 70%, bei Fichten hingegen bei 0%. Auf belassenen Lotharflächen war die Verbissintensität etwas geringer als auf geräumten; diese Unterschiede waren deutlich bei Bergahornen, Tannen und Weiden. Die Unterschiede zwischen den Baumarten waren ähnlich wie auf Vivianflächen: Stark verbissen waren Bergahorne und Weiden (nur auf geräumten Flächen), etwas weniger stark Vogelbeeren, Eschen und Tannen, und nur wenig verbissen Fichten und Buchen. Bei Tannen lag die Verbissintensität sowohl auf belassenen als auch auf geräumten Flächen weit über dem kritischen Wert von 12%.

Vivian geräumt

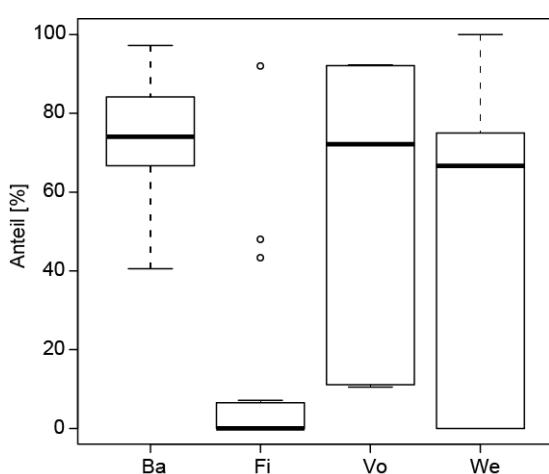
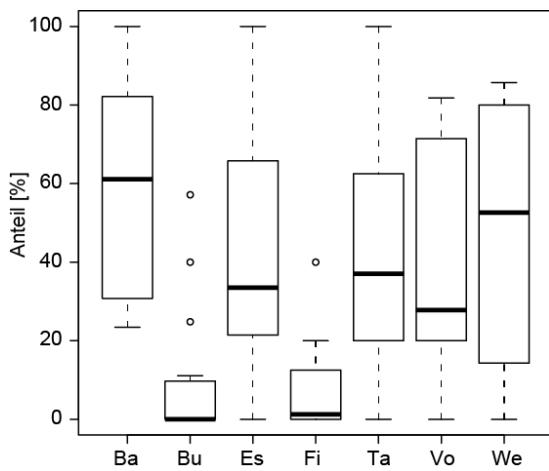
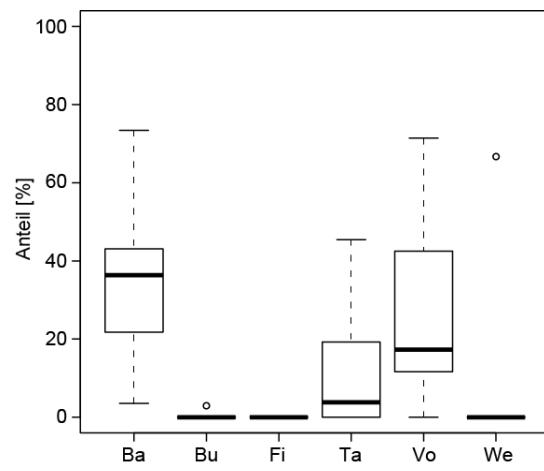


Abbildung 18. Anteil verbissener Bäume (20-130 cm hoch) in Vivian- und Lotharflächen nach Behandlung und Baumart. Dargestellt sind Anteile pro Sturmfläche.

Lothar geräumt



Lothar belassen



2.7 Totholz

2.7.1. Totholzvolumen

Das Totholz bedeckte in den untersuchten Sturmflächen zwischen 0 und 21% des Bodens. Das Volumen variierte zwischen 0 und 650 m^3 pro ha (Abbildung 19). In den geräumten Vivianflächen lag mit $76,4 \pm 11,6 \text{ m}^3$ pro ha eine ähnliche Menge Totholz wie in den geräumten Lotharflächen mit $73,8 \pm 18,6 \text{ m}^3$ pro ha (Abbildung 20, Tabelle 11). Die Totholzmenge in belassenen Flächen war wie erwartet viel höher. Sie betrug in Vivianflächen $284,7 \pm 45,5 \text{ m}^3$ pro ha und in Lotharflächen $266,1 \pm 9,1 \text{ m}^3$ pro ha (Abbildung 20). Sowohl in geräumten als auch in belassenen Flächen machten die liegenden Stämme den weitaus grössten Teil des Totholzes aus (Abbildung 20).

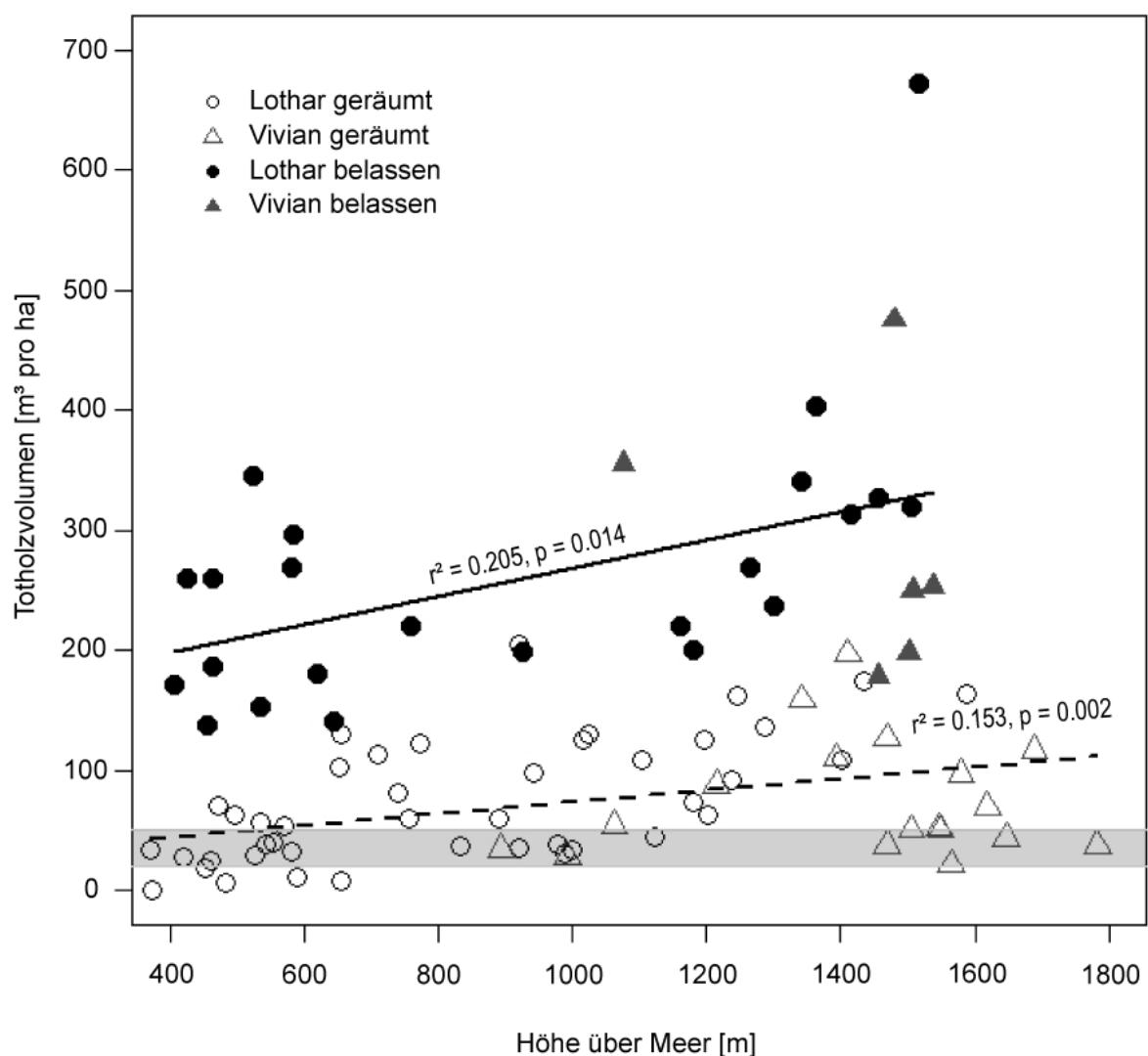


Abbildung 19. Totholzvolumen nach Höhe ü. M. in geräumten und belassenen Sturmflächen. Der Zusammenhang ist mittels Regressionsgeraden dargestellt (— belassene Flächen, - - - geräumte Flächen). Als grauer Balken dargestellt sind die für Wälder in allen Entwicklungsphasen vorgeschlagenen Totholzmengen nach Müller & Bütler (2010), für drei wichtige europäische Waldformationen (Buchen-Eichen-Wälder der Tieflagen, montane Mischwälder, montane Wälder in den Alpen und in der Borealzone).

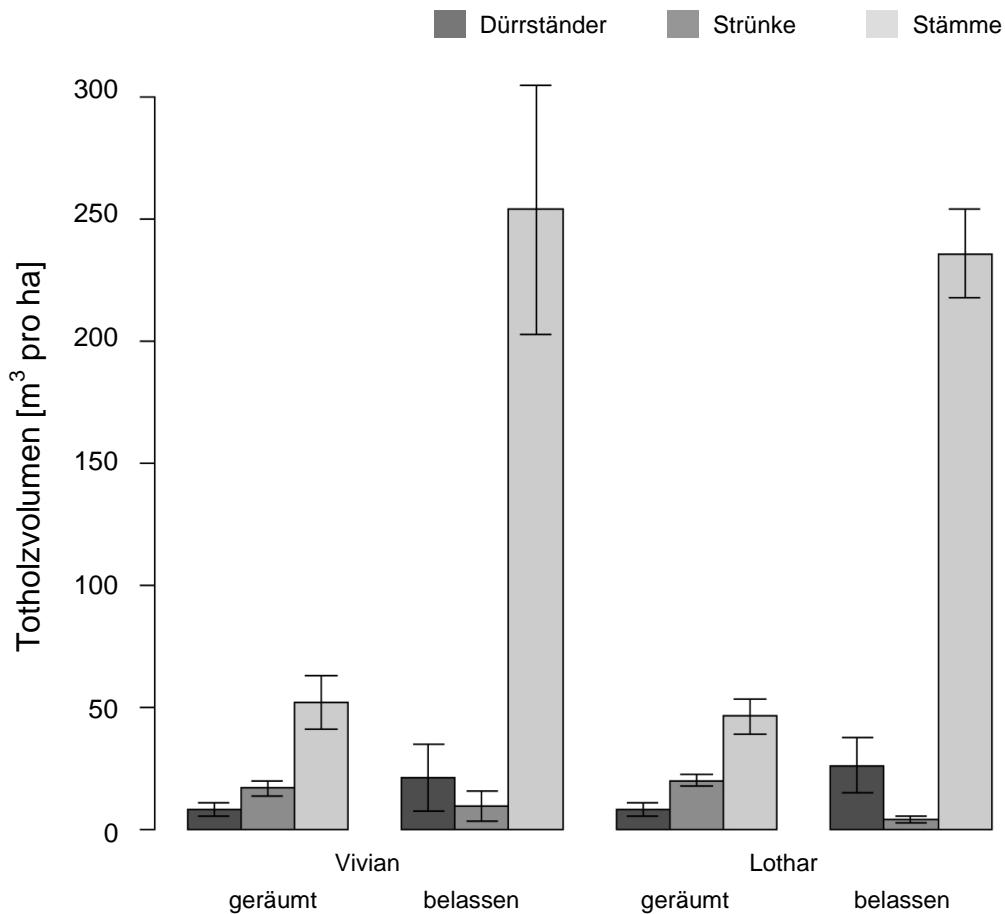


Abbildung 20. Totholzvolumen nach Sturmereignis, Behandlung und Art des Totholzes. Die Fehlerbalken bezeichnen den einfachen Standardfehler.

2.7.2. Abbaustadien und Durchmesser des Totholzes

Vivianflächen

Die toten Stämme in den belassenen und geräumten Vivianflächen waren noch rund bis bereits deutlich abgeflacht, die mittlere Eindringtiefe des Messers betrug zwischen 1 und 6 cm. Oft war das Holz bereits durchgehend weich. Nur noch Astansätze waren vorhanden oder die Äste fehlten vollständig. Die Rinde war meistens vollständig abgefallen. Rund 90% des Totholzes war in den Abbaustadien D4 bis D7. Frisches Totholz der Stufe D1 wurde nicht gefunden (Abbildung 21, Tabelle 11).

Die Durchmesserverteilung des Totholzes in den belassenen Vivianflächen entsprach dem Bestand vor dem Sturmereignis, mit einem Maximum in den Klassen 20-29 cm und 30-39 cm. In den geräumten Vivianflächen lag das Maximum des Totholzvorrates in den Klassen 30-39 cm und 40-49 cm (Tabelle 11).

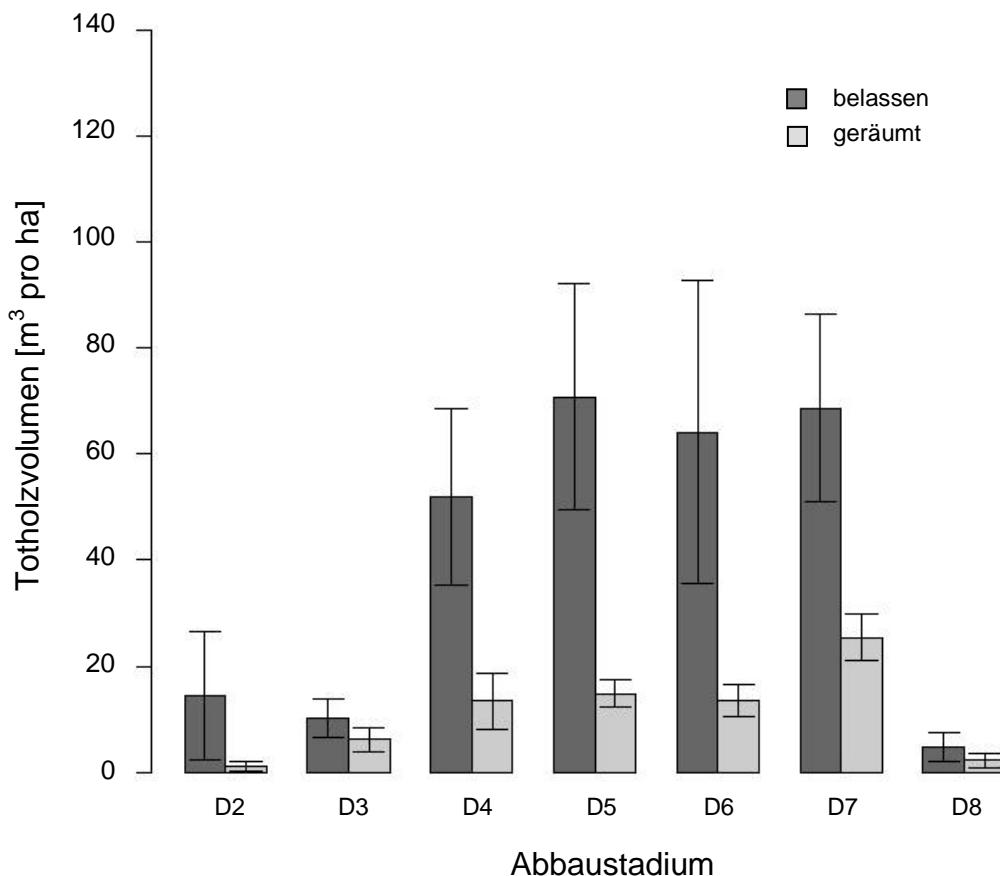


Abbildung 21. Totholzvolumen nach Abbaustadium auf allen 24 Vivianflächen. Die Abbaustadien D2 bis D8 sind in Tabelle 4 beschrieben. Die Fehlerbalken bezeichnen den einfachen Standardfehler.

Lotharflächen

Die meisten toten Stämme in den belassenen und geräumten Lotharflächen waren noch rund, die mittlere Eindringtiefe des Messers betrug zwischen 0,5 und 6,0 cm, nur Äste von >3,0 cm Dicke waren noch vorhanden. Wie in den Vivianflächen war die Rinde meistens abgefallen. In belassenen Flächen fielen 87% des Totholzes in die Abbaustadien D3 bis D5, in geräumten Flächen 73%. Das Stadium D2 war mit je 7% des Vorrates vertreten. Das Holz war in geräumten Flächen mit 20% Anteil in den Stadien D6 bis D8 stärker zersetzt als in belassenen mit 6%. Das Abbaustadium D1 fehlte vollständig (Tabelle 11, Abbildung 21). Die Durchmesser des Totholzes waren in den belassenen Lotharflächen sehr ähnlich verteilt wie in Vivianflächen, mit einem Maximum in der Durchmesserklasse 30-39 cm.

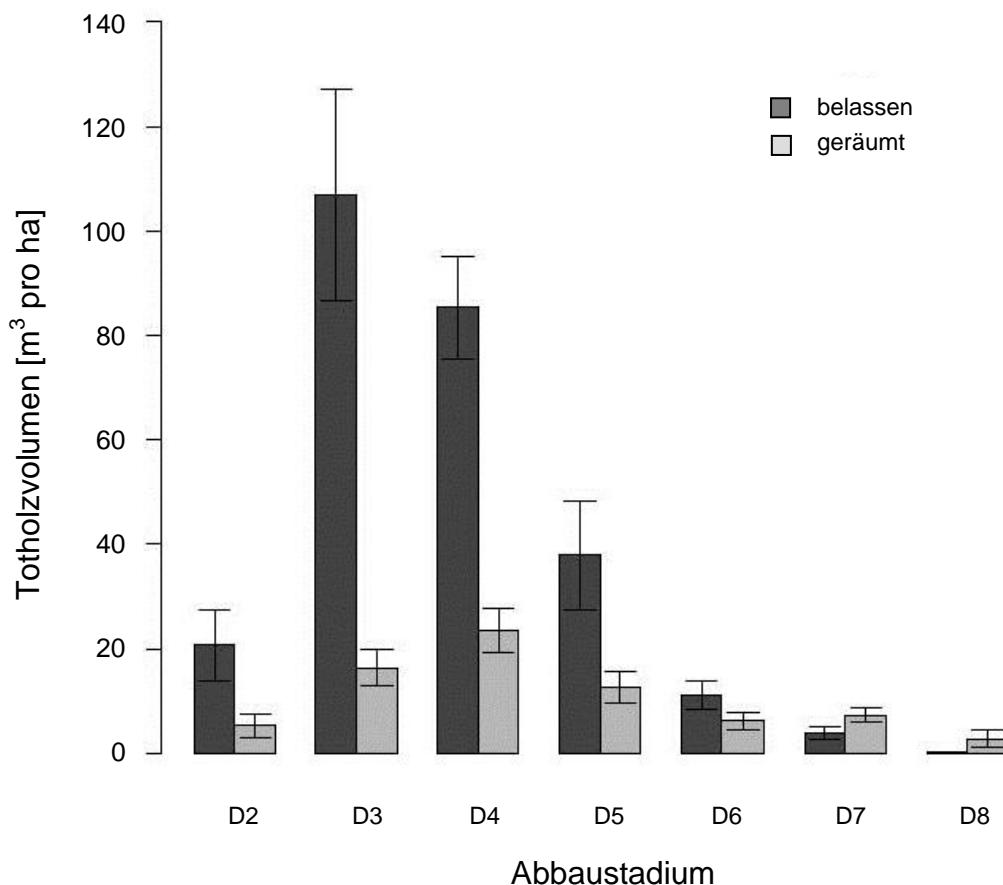


Abbildung 22. Totholzvolumen nach Abbaustadium in allen 66 Lotharflächen. Die Abbaustadien D2 bis D8 sind in Tabelle 4 beschrieben. Die Fehlerbalken bezeichnen den einfachen Standardfehler.

2.7.3. Meereshöhe und Totholzzersetzung in Lotharflächen

Wie erwartet wurde in grösserer Höhenlage weniger Holz in fortgeschrittenen Abbaustadien gefunden als in tieferer (Abbildung 23). Für diesen Vergleich wurden nur belassene Lotharflächen ausgewählt, in denen viel Totholz und damit ein grosses Spektrum an Totholzstücken in unterschiedlichen Abbauphasen vorkam. Leider gibt es keine Information über die Art des Totholzes, also keine Zuordnung zu Laub- und Nadelholz. Eine derartige Analyse ist für Vivianflächen wegen der geringen Anzahl belassener Sturmflächen ($N=6$) nicht sinnvoll.

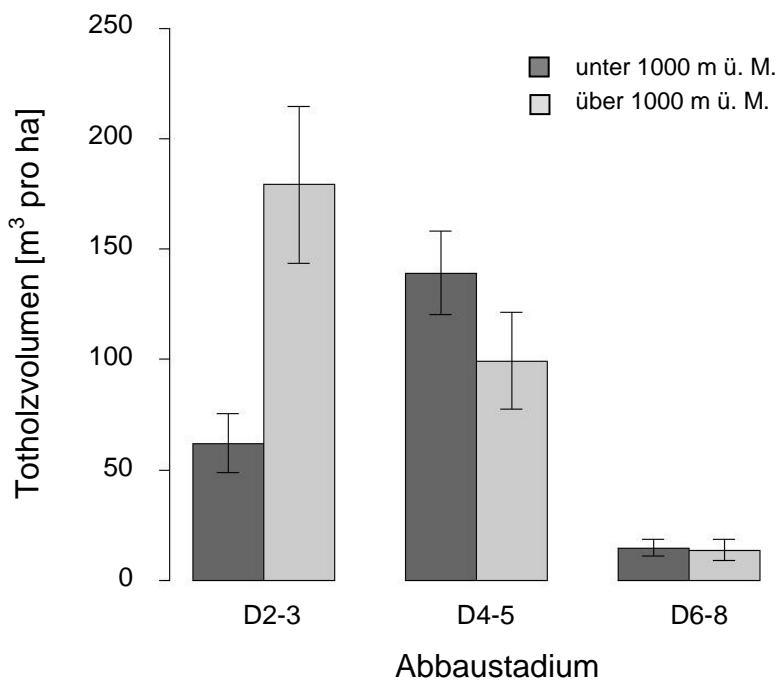


Abbildung 23. Totholzvolumen nach Abbaustadium und Höhenlage, nur belassene Lotharflächen. Minimalvolumen von 137 m^3 pro ha. Die Abbaustadien sind in Tabelle 4 beschrieben.

2.7.4. Höhe der liegenden Totholzstämme über Boden

Fünfzig Prozent der Totholzstämme lagen in den 18 belassenen Vivianflächen an ihrem Ende bzw. an der Probekreisgrenze auf der Bodenoberfläche auf (Median bei 0 cm, Abbildung 24), und weitere 25% lagen höchstens etwa 25 cm über der Bodenoberfläche. Messwerte von über 50 cm über Boden waren selten. Mit anderen Worten, das Stammholz hat sich 20 Jahre nach Vivian stark gesetzt. Zur Ableitung der Wirkhöhe gegen Naturgefahren ist zu diesen Werten der Stammdurchmesser von etwa 20 bis 70 cm zu addieren. In belassenen Lotharflächen hatte sich das Holz erst weniger gesetzt; ein Viertel der Stämme lag zwischen etwa 60 und 150 cm über Boden (Abbildung 24).

Tabelle 11. Totholzvolumen (m^3 pro ha) in geräumten und belassenen Vivian- und Lotharflächen nach Totholztyp, Abbaustadium und Durchmesserkategorie. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen sowie p-Werte eines Mittelwertvergleichs zwischen geräumten und belassenen Flächen (t-Test). n.s. = nicht signifikant. Die Zersetzungsklasse D1 fehlt, weil kein frisches Totholz gefunden wurde.

	Vivianflächen			Lotharflächen		
	geräumt	belassen	p	geräumt	belassen	p
Totholztyp						
Dürrständer	8,0 ± 2,6	21,3 ± 13,7	n.s.	8,0 ± 2,9	26,1 ± 11,1	n.s.
Strunk	16,6 ± 2,9	9,2 ± 6,1	n.s.	19,8 ± 2,5	4,0 ± 1,3	0,018
Stamm	51,8 ± 11,1	254,2 ± 51,3	< 0,001	46,0 ± 7,1	236,0 ± 18,0	< 0,001
Abbaustadium						
D2	1,1 ± 1,0	14,4 ± 12,2	n.s.	5,2 ± 2,2	20,7 ± 6,9	n.s.
D3	6,1 ± 2,4	10,1 ± 3,6	n.s.	16,3 ± 3,5	107,2 ± 20,3	< 0,001
D4	13,4 ± 5,3	51,9 ± 16,7	0,022	23,5 ± 4,3	85,4 ± 9,8	< 0,001
D5	14,8 ± 2,6	70,8 ± 21,4	0,001	12,7 ± 3,0	37,9 ± 10,4	n.s.
D6	13,5 ± 3,1	64,2 ± 28,5	0,006	6,1 ± 1,7	11,0 ± 2,7	n.s.
D7	25,3 ± 4,4	68,6 ± 17,7	0,096	7,3 ± 1,4	3,8 ± 1,3	n.s.
D8	2,2 ± 1,3	4,7 ± 2,7	n.s.	2,7 ± 1,6	0,2 ± 0,1	n.s.
Durchmesserkategorie						
I (10-19 cm)	2,8 ± 1,0	18,5 ± 9,5	n.s.	6,0 ± 0,9	29,1 ± 3,8	< 0,001
II (20-29 cm)	7,9 ± 1,3	90,7 ± 22,0	< 0,001	8,8 ± 1,5	79,0 ± 10,1	< 0,001
III (30-39 cm)	18,1 ± 5,0	86,3 ± 11,7	< 0,001	11,6 ± 2,5	93,1 ± 10,6	< 0,001
IV (40-49 cm)	18,1 ± 3,6	49,2 ± 34,1	n.s.	16,4 ± 3,2	33,5 ± 7,4	n.s.
V (50-59 cm)	14,0 ± 3,1	31,4 ± 14,7	n.s.	11,8 ± 2,8	23,3 ± 8,5	n.s.
VI (60-69 cm)	9,2 ± 3,1	6,3 ± 4,5	n.s.	8,5 ± 2,5	4,4 ± 2,0	n.s.
VII (≥70 cm)	**6,4 ± 2,3	2,3 ± 2,3	n.s.	10,8 ± 3,	3,8 ± 3,8	n.s.
Total	76,4 ± 11,6	284,7 ± 45,5	< 0,001	73,8 ± 18,1	266,1 ± 9,1	< 0,001

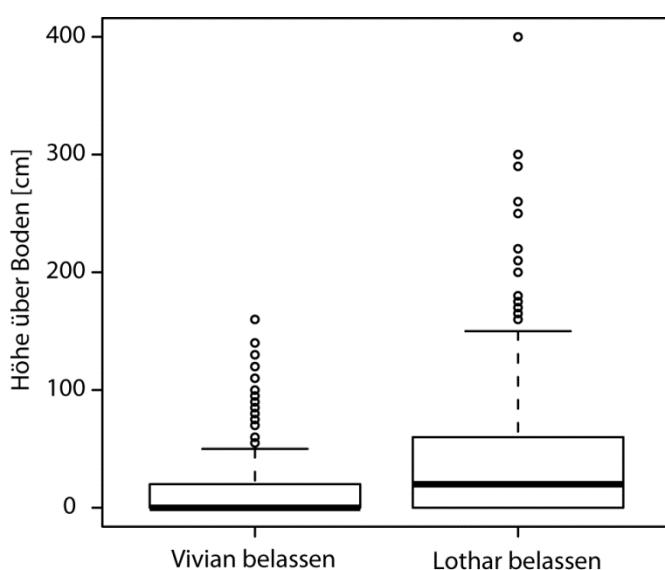


Abbildung 24. Höhe über Boden der liegenden Totholzstämme in belassenen Sturmflächen. Vgl. Abbildung 44, S. 63 für Sturm-Beobachtungsflächen.

2.7.5. Verjüngung auf Totholz

Totholzverjüngung fanden wir in 27% der Lotharflächen und 83% der Vivianflächen (Tabelle 12). Von den 13'398 erfassten, mindestens 20 cm grossen Bäumchen wuchs nur 1% auf Totholz. Auf den Vivianflächen war die Verjüngung auf Totholz mit $0,50 \pm 0,15/m^2$ geringfügig (nicht signifikant) dichter als auf dem Waldboden mit $0,42 \pm 0,07/m^2$. Die Pflanzen auf Totholz waren mit $63,8 \pm 12,6$ cm signifikant kleiner als jene auf dem Waldboden mit $143,7 \pm 8,2$ cm.

Tabelle 12. Verjüngung auf Totholz (nur Bäume ≥ 20 cm Höhe).

	Anzahl Sturmflächen			Anzahl Bäume mit Höhe ≥ 20 cm auf Totholz
	mit Verjüngung auf Totholz	ohne Verjüngung auf Totholz	total	
Vivian	20	4	24	81
Lothar	21	45	66	62

3 Sturm-Beobachtungsflächen

3.1 Material und Methoden

3.1.1. Übersicht über die Sturm-Beobachtungsflächen

Die wiederholten Erhebungen auf den nach Vivian und Lothar eingerichteten 21 Sturm-Beobachtungsflächen erlauben es, die Entwicklung der Wiederbewaldung und des Totholzes zu dokumentieren. Sie liegen – wie die Sturmflächen-Stichprobe – verteilt über die Gebiete, die von den Winterstürmen Vivian und Lothar betroffen waren (Abbildung 25). Sechs Flächen befinden sich in den Alpen (die 4 Vivianflächen und die Lotharflächen Châtel-St-Denis und Rorwald), die übrigen 15 im Mittelland bzw. in der Ajoie bis auf ca. 800 m Höhe ü.M. (Walkringen: 930 m ü.M.; Tabelle 13). Somit ist das Mittelland gut abgedeckt. Im Jura, wo im Vergleich zum Mittelland viel weniger Holz geworfen wurde (Wohlgemuth et al. 2008), wurden keine Beobachtungsflächen eingerichtet. Von der Analyse ausgeschlossen wurden die Sturmflächen Bremgarten (keine Erhebung 2010) und die Fläche Rorwald (abweichende Erhebungsmethode). Die 19 übrigen Sturm-Beobachtungsflächen sind alle auch Teil der Sturmflächen-Stichprobe (Kap. 2). Im weiteren Text wird bei Hinweisen auf einzelne Flächen die Abkürzung gemäss Tabelle 13 und Abbildung 25 verwendet.

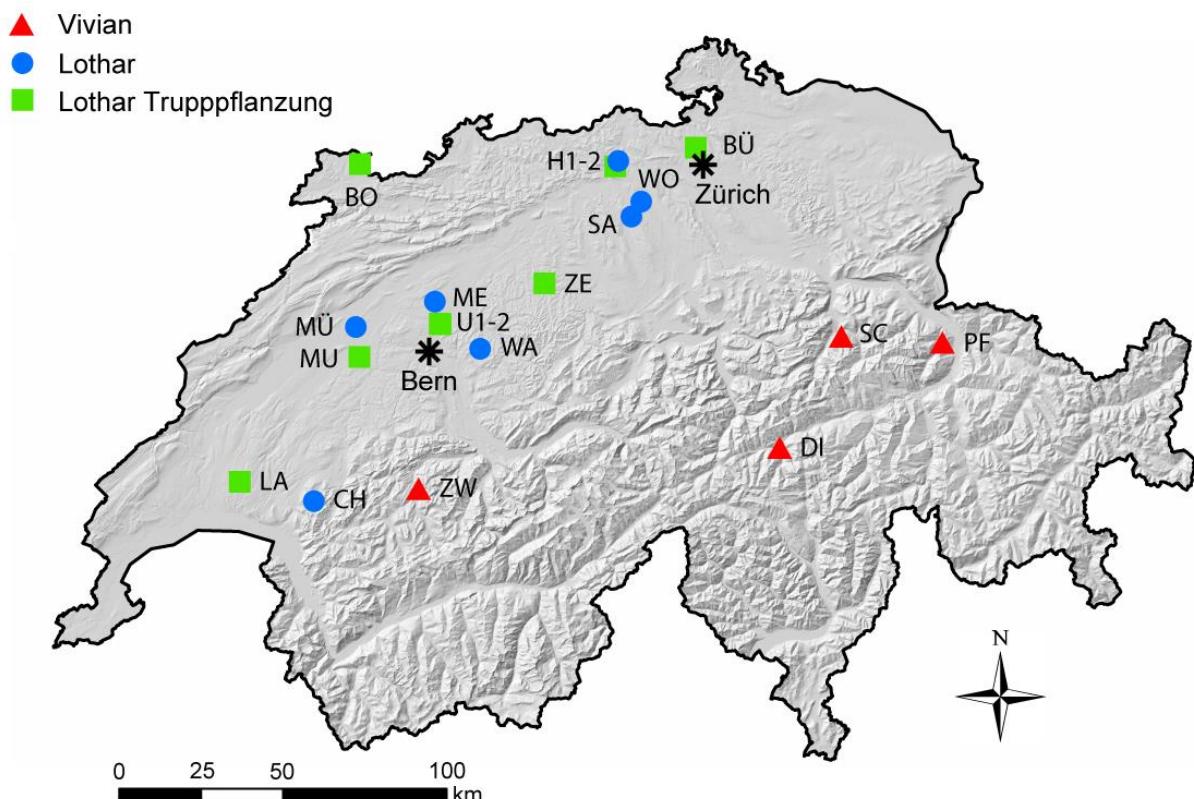


Abbildung 25. Lage der 19 untersuchten Sturm-Beobachtungsflächen in der Schweiz. Vgl. Abbildung 2, S. 15 für die Sturmflächen-Stichprobe.

Beobachtungsflächen wurden im Rahmen von drei Forschungsprojekten eingerichtet, in denen u.a. die Entwicklung der Waldverjüngung verfolgt wurde (Tabelle 13): 1) Dem **Vivian-Forschungsprogramm**, gestartet nach dem Sturm Vivian im Februar 1990, mit unterschiedlichen Behandlungen nach dem Sturm (belassen, geräumt, geräumt und bepflanzt, Lässig & Schönenberger 1993, Schönenberger 2002); 2) dem sehr ähnlichen, nach dem Sturm Lothar im Dezember 1999 gestarteten **Lothar-Forschungsprogramm** mit den Behandlungen belassen und geräumt (Angst 2004), und 3) Feldexperimenten zur **Trupppflanzung**, die ebenfalls nach dem Sturm Lothar im Dezember 1999 gestartet wurden (Koch & Brang 2004). Letztere unterscheiden sich grundsätzlich nicht von anderen Lothar-Sturmflächen, wiesen aber meist von Anfang an stärkere Vegetationskonkurrenz und eine geringere Verjüngungsdichte auf.

In allen Versuchsflächen wurden Probekreise installiert, und in allen entwickelte sich der Jungwald aus Naturverjüngung. Darauf fokussiert dieser Bericht. In den nach Vivian und Lothar eingerichteten Versuchsflächen waren die Behandlungen «belassen» und «geräumt» innerhalb einer Sturmfläche nicht wiederholt, auf den Trupppflanzungsflächen gab es drei Wiederholungen. Die Behandlung «geräumt» kommt in 17 der 19 Versuchsflächen vor, die Variante «belassen» in 10, die Variante «geräumt und bepflanzt» in 3. Vier Versuchsflächen liegen in Paaren vor (U1, U2: zwei Trupppflanzungsflächen in Urtenen, in unterschiedlicher Exposition, und H1, H2: eine Lotharfläche und eine Lothar-Trupppflanzungsfläche in Habsburg, z.T. angrenzend).

Als geologisches Substrat sind in den Tieflagenflächen Moränen und Schotter und andere lockere Oberflächenbildungen vertreten (Tabelle 13), in den Flächen im Gebirge Kalk, Schiefer, Gneis und Verrucano. Alle vier Expositionen sind repräsentiert (Tabelle 13). Im Mittelland wurden als Waldstandortstypen häufig Varianten des Waldmeister-Buchenwaldes (Nr. 7a, Frehner et al. 2005) und der Hainsimsen-Buchenwald (6) bestimmt (Tabelle 13). Drei etwas höher gelegene Flächen liegen im Waldhirszen-Buchenwald (8). Drei Flächen in den Alpen befinden sich im Alpendost-Fichten-Tannenwald (50); andere Standortstypen sind nur auf einzelnen Sturm-Beobachtungsflächen vertreten.

Von den in Tabelle 14 aufgeführten Probekreisen sind für die Untersuchung der natürlichen Wiederbewaldung in diesem Projekt besonders die 798 Probekreise interessant, in denen keine Jungwaldpflege stattfand. Weitere Probekreise wurden im Rahmen dieses Projekts nicht untersucht. In den Lotharflächen waren dies 22 Probekreise¹ im Wald – wobei diese Probekreise inzwischen auch Teil der Schlagflächen sein könnten – und 972 Probekreise in Trupppflanzungsflächen, auf denen gepflanzt und danach mehrmals gepflegt wurde.

¹ 10 Probekreise in Sarmenstorf, 12 in Müntschemier

Tabelle 13. Charakteristiken der Sturm-Beobachtungsflächen. Stratum: L = Lothar, T = Truppfanzung Lothar, V = Vivian. Beh. = Behandlung, b = belassen, g = geräumt, p = geräumt und bepflanzt. Auf den Truppfanzungsflächen sind die gepflanzten Varianten nicht angegeben. Der Standorttyp richtet sich nach Frehner et al. (2005). In Tabelle 6, S. 20 sind Angaben zur Höhenlage in der Sturmflächen-Stichprobe zu finden.

Stra- tum	Kanton	Abk.	Bezeichnung	Eigentümer	Beh.	Geologisches Substrat	Höhenlage [m]	Exposition	Standorttyp	Grösse der Sturmfläche [ha] ²	Jahr Erst Inventur	Anzahl Probekreise	
												Erstinventur	2010
L	AG	H1	Habsburg 1	Kanton Aargau	bg	Risseiszeitliche Hochterrassenschotter	425-455	SSO / O	7a, 7d	30 / 13	2001	50	49
L	AG	SA	Sarmensdorf	Ortsbürgergemeinde Sarmenstorf	bg	Moräne mit Wällen, ob. Süßwassermolasse	570-600	NO	6, 7a, 7aS, 7d	2,3 / 5,0	2001	47 ³	45
L	AG	WO	Wohlen	Ortsbürgergemeinde Wohlen	bg	Lockere Oberflächenbildungen (Sand, Silt)	460-480	NO	7a, 7aS, 7d	1,2 / 2,2	2002	46	42
T	AG	H2	Habsburg 2	Kanton Aargau	g	Lock. Oberfl. (Kies, Sand)	435-455	SO	7a, 7d	30	2001	144	31
V	BE	ZW	Zweisimmen	Kanton Bern	b	Kalkbreccie	1475-1590	NW	48, 50	4,0	1992	25	25
L	BE	MÜ	Müntschemier	Einwohnergde. Müntschemier/Kanton Bern	bg	Grundmoräne, Moräne	470-550	NW, O und SO / N	7, 6	15 / 3	2001	49 ⁴	46
L	BE	WA	Walkringen	Kanton Bern	b	Ob. Süßwassermolasse, Nagelfluh	930-935	SW	8, 46	3,7 / -	2001	25	24
T	BE	U1	Urtenen 1	Burgergemeinde Urtenen	g	Mergel, Sandstein (Moränenmaterial)	560-575	NE, SW	7d	ca. 4	2001	144	34
T	BE	U2	Urtenen 2	Burgergemeinde Urtenen	g	Lockere Oberflächenbildungen (Sand, Silt)	565-575	S	7d	ca. 4	2001	144	21
L	FR	CH	Châtel-St-Denis	Kanton Fribourg	bg	Kalkhaltige Schiefer	1220-1325	W	18, 50a	3 / 3	2001	41	36
T	FR	MU	Murten	Gemeinde Murten	g	Lock. Oberfl. (Kies, Sand), Quartärmoräne	560-570	SE	7a, 7b, 7aS	ca. 5	2001	144	32
V	GL	SC	Schwanden	Gemeinde Schwanden	bgp	Verrucano	920-1120	W	8, 26, 18, 51	6,9	1992	77	75
V	GR	DI	Disentis	Gemeinde Disentis	bgp	Gneis	1400-1550	NW	50, 57	6,4	1992	75	69
T	JU	BO	Bonfol	Gemeinde Bonfol	g	Lockere Oberflächenbildungen (Kies, Sand)	450-460	SE	7aS/7b, 7a/7d	2,4	2001	144	33
T	LU	ZE	Zell	Alois Scherrer	g	Mergel, Sandstein Riss-Grundmoräne	750-760	S	7d (6)	ca. 2	2001	144	30
V	SG	PF	Pfäfers	Ortsgemeinde Pfäfers	bgp	Bündnerschiefer (Flysch)	1440-1560	WNW	20	2,8	1992	69	54
L	SO	ME	Messen	Bürgergemeinde Messen	bg	Moräne mit Wällen, ob. Süßwassermolasse	510-540	NO	7 (29)	3,5 / 1,2	2001	44	40
T	VD	LA	Lausanne	Ville de Lausanne	g	Lock. Oberfl. (Kies, Sand), Quartärmoräne	820-840	W	8a, 8aS	ca. 2,0	2001	144	34
T	ZH	BÜ	Bülach	Gemeinde Bülach	g	Lock. Oberfl. (Sand, Silt)	415-420	W, eben	7d	3,5	2001	144	36

² Der erste Wert bezieht sich auf die belassene Fläche, der zweite auf die geräumte

³ Zusätzlich 10 Stichprobenkreise im intakten Wald

⁴ Zusätzlich 12 Stichprobenkreise im intakten Wald

Tabelle 14. Stichprobendesign, Erhebungsjahre und Anzahl erfasster Gehölzpflanzen in den Sturm-Beobachtungsflächen. # = Anzahl, LE = letzte Erhebung vor 2010, # PK = Anzahl Probekreise. NV = Naturverjüngung. Es ist zu beachten, dass in gewissen PK 2010 keine Inventur stattfand.

Merkmal	Vivian	Lothar	Trupppflanzung	Total
# Sturm-Beobachtungsflächen	4	7	9 ³	20
Erhebungsjahre	92,93,95,98,00,05,10	01,02,03,10	01,02,04,07,10	-
PK-Grösse (m ²)	50	20	10 ⁴	-
# PK total	240	328	1'296	1'864
# PK belassen	94	160	0	254
# PK geräumt	76	144	324	544
# PK bepflanzt	70	24	972	1'066
# PK ohne Pflege	170	304 ²	324	798
# lebende Bäume LE pro PK, NV	12,1	32,4	2,7	-
# Anzahl lebende Bäume 2010	4'337 ¹	6'707	593	11'637
Naturverjüngung	3'441	6'706	591	10'738
Pflanzung	896	1	2 ⁵	899
# lebende Bäume 2010 pro PK	19,3	24,0	2,3	-
Naturverjüngung	15,3	24,0	2,3	-
Pflanzung	4,0	0,0	0,0	-

1 Zusätzlich 2005 je ca. 200 tote natürlich verjüngte und gepflanzte Bäume

2 Intakter Wald, nicht bepflanzt

3 Mit je 3 Wiederholungen; in der Fläche Bremgarten fanden 2010 keine Erhebungen statt.

4 Kreisförmige Probefläche mit Innenkreis mit Radius 40 cm, dafür grösserem Radius, Fläche 10,0 m²

5 Von vor 2004 gibt es Daten von rund 4700 gepflanzten Bäumen, die 2010 nicht erhoben wurden

3.1.2. Erhebungsmethoden

Die Methoden der Verjüngungserhebung 2010 sind in einem technischen Bericht dokumentiert (Hilfiker & Roth 2010) und die Merkmale in Tabelle 18 (Anhang) beschrieben. Grundsätzlich sind die Erhebungsmethoden gleich wie bei der Sturmflächen-Stichprobe (Kap. 2), aber es handelte sich um Wiederholungsaufnahmen auf in regelmässigen Gitternetzen verteilten, permanent eingerichteten Probekreisen, und die Erhebungen waren mit 21 bis 144 Probekreisen pro Sturmfläche statt 6 wie in der Sturmflächen-Stichprobe intensiver. Zudem wurde jede Gehölzpflanze individuell erfasst. Beispiele für die Lage der Probekreise sind im Anhang gegeben (Vivianfläche Disentis: Abbildung 48, Trupppflanzungsfläche Habsburg: Abbildung 49).

Die Probekreise waren 10, 20 oder 50 m² gross (Tabelle 14). Diese Designs erlauben, unabhängig von der Probekreisgrösse, verzerrungsfreie Schätzungen der Verjüngungsdichten und Einzelbaummortalitäten. Tendenziell sind aber die kleinen Probekreise anfälliger auf Extremwerte. Auf jedem Probekreis wurden Baumart, Azimut, Distanz, Vitalität und Baumhöhe jedes Einzelbaumes erfasst. Die minimale Erfassungshöhe eines Bäumchens betrug, wie in der Sturmflächen-Stichprobe, 20 cm.

Bäumchen unter 20 cm Grösse mit einem Mindestalter von einem Jahr wurden auf quadratischen Probeflächen von 1,0 bzw. 2,5 m² Grösse erfasst. Dies war schon auf den Trupppflanzungsflächen im Jahr 2004 so gehandhabt worden.

Bei der Inventur 2010 wurden in fast allen Sturm-Beobachtungsflächen einige Probekreise nicht mehr erfasst (Tabelle 14, Details s. Tabelle 26 im Anhang). Der Grund dafür war meistens, dass ihre Lage nicht rekonstruiert werden konnte. In den Trupp-

pflanzungsflächen beschränkte sich die Inventur auf die unbepflanzten Teilflächen.

Die Vegetation wurde insgesamt und separat in groben Klassen erfasst: Himbeeren, Brombeeren, Adlerfarn, andere Farne, Hochstauden, Zwergsträucher (Heidelbeere, Preiselbeere, Alpenrose), Gräser, Binsen, andere Pflanzen und unbedeckter Boden.

3.1.3. Datenumfang

Bei der Inventur 2010 wurden Daten in 756 Probekreisen auf 19 Sturmflächen erhoben (Tabelle 26 im Anhang). Die Gesamtfläche der Probekreise betrug 19'470 m², die der 1,0 m² grossen Quadrate zur Erfassung von Verjüngungspflanzen mit Höhe < 20 cm 712 m² (Tabelle 27 im Anhang). Insgesamt wurden 899 gepflanzte und 10'738 natürlich verjüngte Verjüngungspflanzen ≥ 20 cm und 74 Pflanzen < 20 cm erfasst. In den Probekreisen wurden 1'268 Totholzstücke vermessen. Von 3'763 Bäumchen bestehen Datenreihen seit Messbeginn (1992 nach Vivian, bzw. 2001 nach Lothar).

3.1.4. Datenanalyse

Die Daten wurden deskriptiv ausgewertet und in Relation zu den Resultaten der Sturmflächen-Stichprobe gesetzt. Zwischen Vor- und Nachverjüngung wurde aufgrund folgender Kriterien unterschieden: Auf den Vivian-Sturmflächen galt ein Bäumchen als vorverjüngt, wenn es 1992 mehr als 50 cm hoch war, auf Lothar-Sturmflächen (auch Truppfanzungsflächen), wenn es 2001 mehr als 50 cm hoch war. Eine Ausnahme wurde bei der 2002 erstmals erhobenen Sturmfläche WO gemacht, wo ein Bäumchen 2002 mehr als 100 cm hoch sein musste, um als vorverjüngt zu gelten. Diese Zuordnung kann nur als grob gelten. Es ist zum Beispiel bekannt, dass Fichten in Gebirgswäldern zu Beginn sehr langsam wachsen und auch nach 10 Jahren oft kleiner als 50 cm sind (Brang & Duc 2002).

3.2 Charakteristiken der Sturm-Beobachtungsflächen

Die mittlere Geländeneigung aller Probekreise lag auf den vier Sturmflächen in den Alpen (DI, PF, SC, ZW) zwischen 79 und 85%, in CH in den Voralpen bei 36% und bei den anderen 14 Sturmflächen im Mittelland und in der Ajoie zwischen 0 und 12%.

Die Vegetation bedeckte auf den 19 Flächen zwischen 29% und 98% des Bodens; wenig Vegetation wurde unter bereits geschlossenem Jungwald festgestellt. Wo Kraut- und Staudenvegetation flächig deckend vorkam (Werte bei 90%), war nur spärlich Verjüngung vorhanden.

Auf den Lothar-Sturmflächen dominierten im Jahr 2010 Brombeeren, mit Deckungsgraden von 50% und mehr in 15 von 21 Teilflächen (Abbildung 26). In drei Lotharflächen (H1, BÜ und ZE) hatte der Adlerfarn stark deckende Fluren entwickelt. In mehreren Flächen dehnten sich Gräser aus, wobei diese in geräumten Flächen eine stärkere Deckung erreichten als in belassenen. In den Vivianflächen hat sich die Vegetation 20 Jahre nach dem Windwurf im Vergleich zum Stand 2000 (Wohlgemuth et al. 2002) deutlich verändert. Die damals häufigen Himbeeren wurden zurückgedrängt, einerseits durch Gräser, anderseits durch Hochstauden.

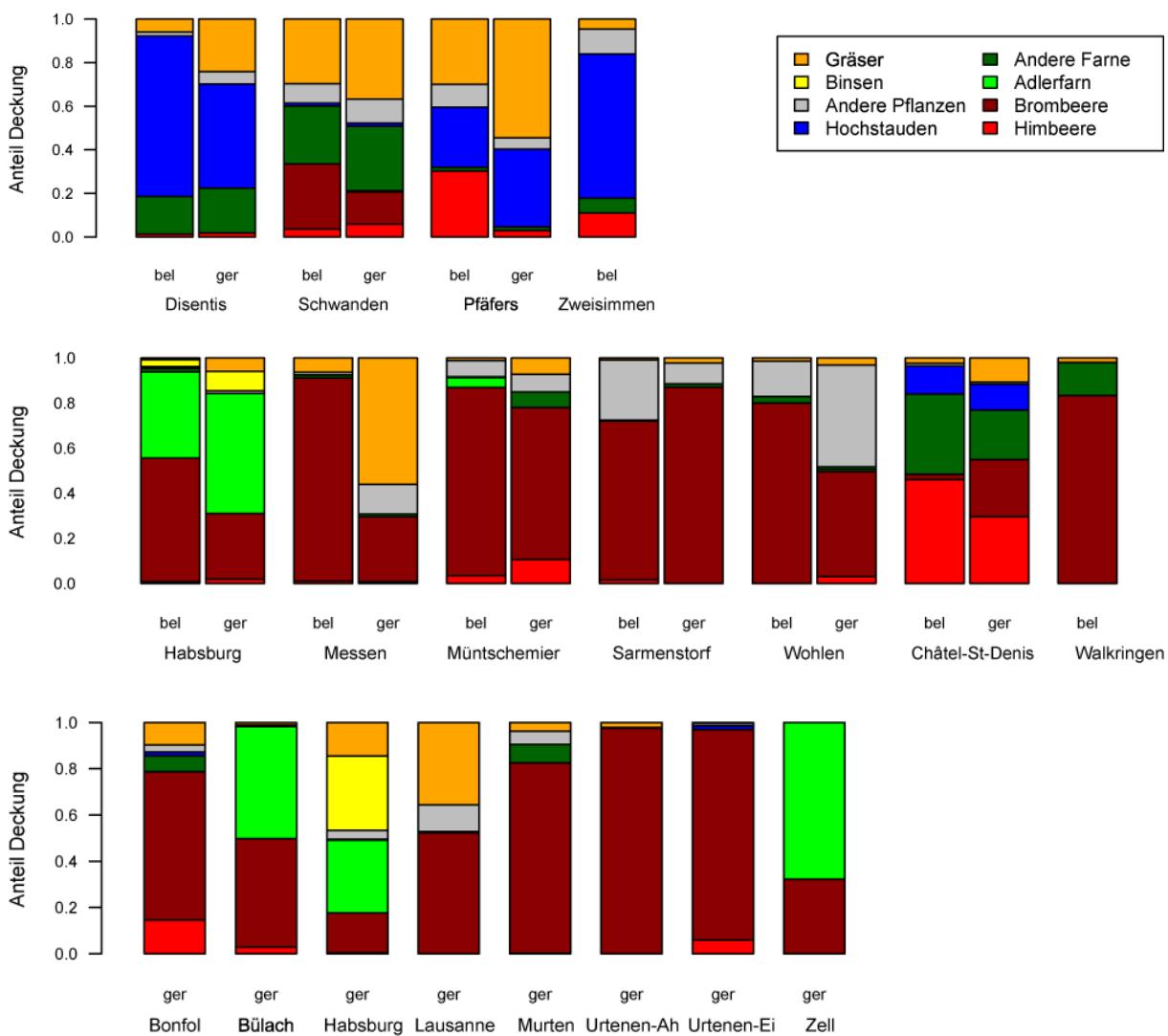


Abbildung 26. Deckungsgrade 2010 in den Sturm-Beobachtungsflächen nach Vegetationstyp.
bel=belassen, ger=geräumt. Oben Vivianflächen, Mitte Lotharflächen, unten Truppflanzungsflächen nach Lothar. Vgl. Tabelle 6, S. 20 zu Vegetations-Deckungsgraden in der Sturmflächen-Stichprobe.

3.3 Dichte der Gehölzverjüngung

3.3.1. Dichte nach Sturmereignis und Behandlung

Da die auf den 1 m² grossen Probequadraten erfassten Pflanzen unter 20 cm Grösse sehr selten waren (total 74 Pflanzen auf 712 m², entsprechend einer mittleren Dichte von 1'039 Pflanzen pro ha, davon 62 Pflanzen in Vivianflächen), beruhen alle folgenden Auswertungen auf mindestens 20 cm grossen Gehölzpflanzen. Die Dichte der Gehölzverjüngung war in den Vivian-Sturmbeobachtungsflächen und in den Lothar-Truppflanzungsflächen deutlich kleiner als in den Lothar-Sturmbeobachtungsflächen (Abbildung 27). Sie war in allen drei paarweise vorhandenen Vivianflächen und in fünf von sechs Lotharflächen in der belassenen Variante grösser als in der geräumten.

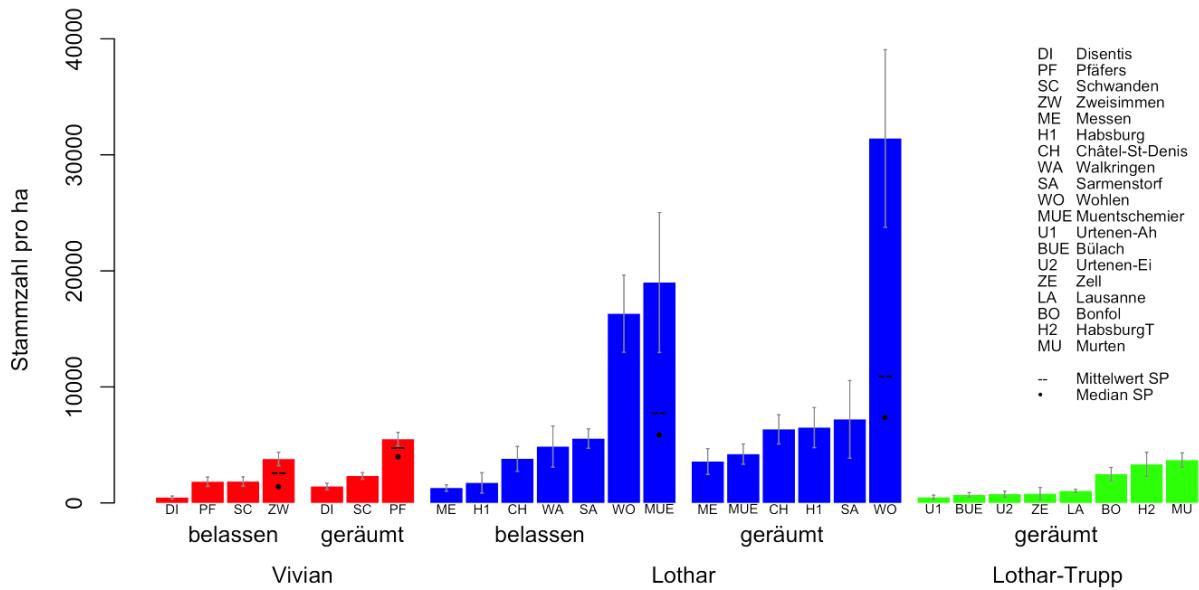


Abbildung 27. Verjüngungsdichte (nur Bäume) im Jahr 2010 in den Sturm-Beobachtungsflächen nach Sturm und Behandlung. Die gestrichelten Linien geben die Lage des Mittelwerts, der Punkt den des Medians der Sturmflächen-Stichprobe an. Vgl. Abbildung 6, S. 23 für die Sturmflächen-Stichprobe.

3.3.2. Bestimmende Faktoren der Verjüngungsdichte

Die Verjüngungsdichte war von der Meereshöhe der 19 Sturm-Beobachtungsflächen nur schwach abhängig (Abbildung 28), auch wenn die Truppfanzungsflächen, welche absichtlich in Sturmflächen mit Verjüngungsschwierigkeiten gelegt wurden, nicht berücksichtigt werden. Allerdings kamen grosse Verjüngungsdichten nur in tief gelegenen Lothar-Sturmflächen vor.

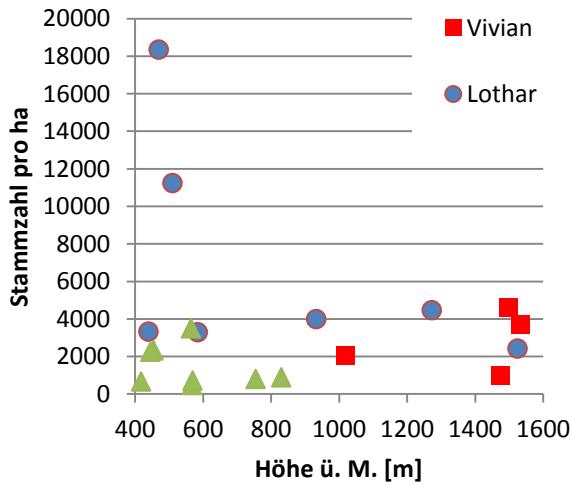


Abbildung 28. Verjüngungsdichte und mittlere Meereshöhe der Sturm-Beobachtungsflächen. Vgl. Abbildung 11, S. 27 für die Sturmflächen-Stichprobe.

Dämmende Konkurrenzvegetation von Brombeeren und Adlerfarn hing auf Lotharflächen deutlich mit der Verjüngungsdichte im Jahr 2010 zusammen (Abbildung 29). In Vivianflächen und Lothar-Truppfanzungsflächen bestand kein solcher Zusammenhang. In Sturm-Beobachtungsflächen der Lothar-Truppfanzung war die Verjüngungsdichte im Jahr 2010 umso höher, je niedriger der Adlerfarn-Deckungsgrad war: Bei Deckungsgraden unter 50% (220 Probekreise) wurden im Mittel 1909

Pflanzen pro ha gefunden, bei Deckungsgraden über 50% (42 Probekreise) 121 Pflanzen pro ha.

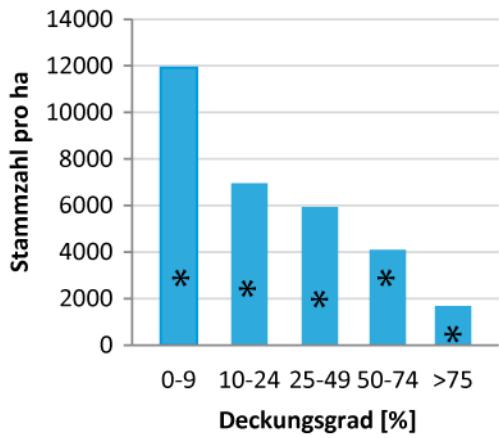


Abbildung 29. Verjüngungsdichte und Median (*) des Deckungsgrades von Brombeeren und Adlerfarn auf Lotharflächen. Die Anzahl Probekreise pro Säule liegt zwischen 29 und 96. Vgl. Abbildung 10, S. 26 für die Sturmflächen-Stichprobe.

3.3.3. Artenzusammensetzung der Vor- und Nachverjüngung

Im Jahr 2010 variierten die Baumartenanteile zwischen den Sturm-Beobachtungsflächen stark (Abbildung 30). Es ergeben sich nur wenige eindeutige Muster, und die teils niedrigen Verjüngungsdichten auf den Vivian- und Lothar-Truppfanzungsflächen sind zu beachten. So sind Vogelbeeren v.a. in den Vivian-Sturmflächen im Gebirgswald verbreitet, und dort v.a. in der Vorverjüngung präsent. In etwa zwei Dritteln der Lothar-Sturmflächen haben Buchen einen namhaften Anteil, aber nicht in allen. Pionierbaumarten wie Vogelbeeren, Weiden und Birken spielen nur in wenigen Fällen eine grosse Rolle; Schlussbaumarten wie Fichten, Tannen und Buchen dominieren wesentlich häufiger. Vor weitgehenden Interpretationen dieser Ergebnisse ist zu warnen, da es sich um Fallstudien handelt.

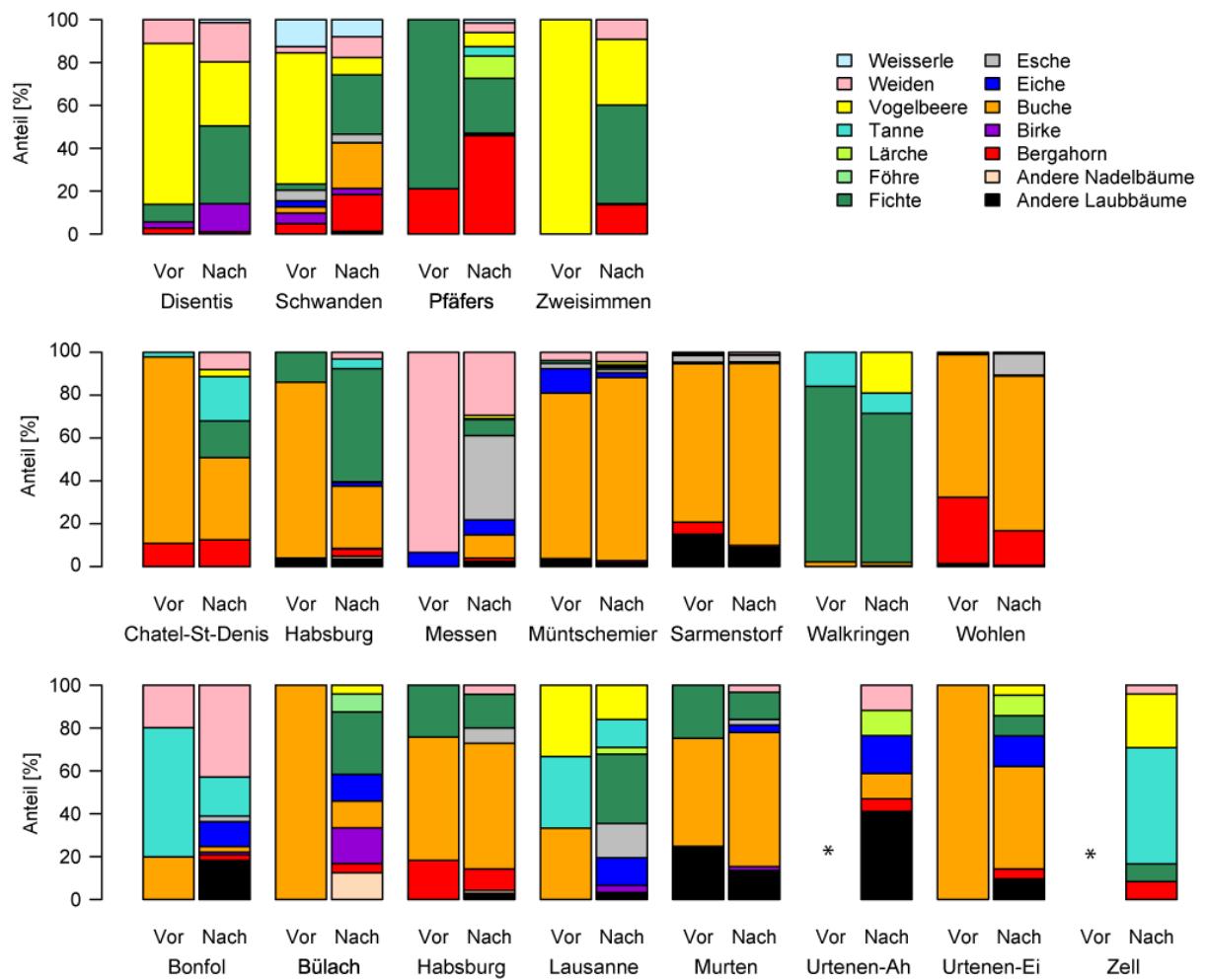


Abbildung 30. Baumartenanteile der Gehölzpflanzen ≥ 20 cm auf den Sturm-Beobachtungsflächen im Jahr 2010 nach Etablierungszeitpunkt. Oben: Vivianflächen, Mitte Lotharflächen, unten Lothar-Truppflanzungsflächen. * = <5 Pflanzen, daher nicht dargestellt. Vgl. Abbildung 13, S. 28/29 für die Sturmflächen-Stichprobe.

3.3.4. Zeitliche Entwicklung der Verjüngungsdichte

In den Vivianflächen nahm die Verjüngungsdichte bis 2005 langsam zu (Abbildung 31). Seither stagniert sie in den meisten Flächen. Ein Abflachen der Dichtezunahme ist auch in den meisten Lotharflächen festzustellen, setzt aber bereits etwa drei Jahre nach dem Sturm ein. In wenigen Flächen geht die Verjüngungsdichte bereits wieder zurück, v.a. auf Flächen mit grossen Dichten von um 10'000 Pflanzen pro ha. Auffällig ist das tiefe Niveau der Verjüngungsdichte kurz nach dem Sturm auf Vivianflächen und auf Truppflanzungsflächen.

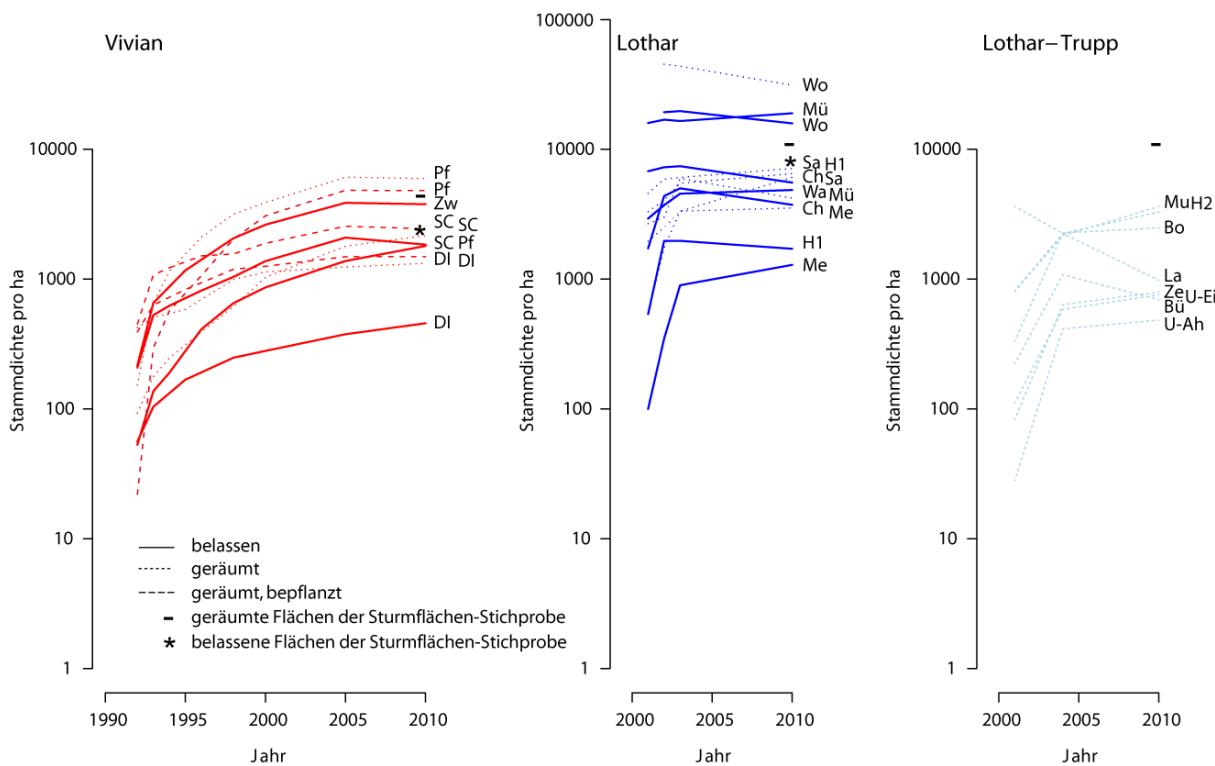


Abbildung 31. Entwicklung der Verjüngungsdichten der Gehölzpflanzen ≥ 20 cm auf den Sturm-Beobachtungsflächen. Zum Vergleich sind die mittleren Dichten pro Behandlung der Sturmflächen-Stichprobe eingezeichnet. Links Vivianflächen, Mitte Lotharflächen, rechts Lothar-Truppfanzungsflächen.

In den vier Vivian-Sturmflächen verteilte sich die Dichtezunahme ab Beginn auf viele Baumarten (Abbildung 32). Wenig nahmen die Vogelbeeren zu, stark die Fichten, Buchen und Bergahorne. Unter den sieben Lothar-Sturmflächen (Abbildung 33) ist nur die geräumte Fläche in Messen von Pionierbaumarten dominiert. Auf den meisten anderen Flächen spielen Schlussbaumarten wie Buchen und Fichten von Anfang an eine grosse Rolle. Bei den Lothar-Truppfanzungsflächen fällt auf, dass bei tiefen Dichten viele Baumarten in geringen Anteilen vorkommen, aber keine davon dominiert (Abbildung 34). Dieses Muster änderte sich im Laufe der ersten zehn Jahre nach dem Sturm kaum.

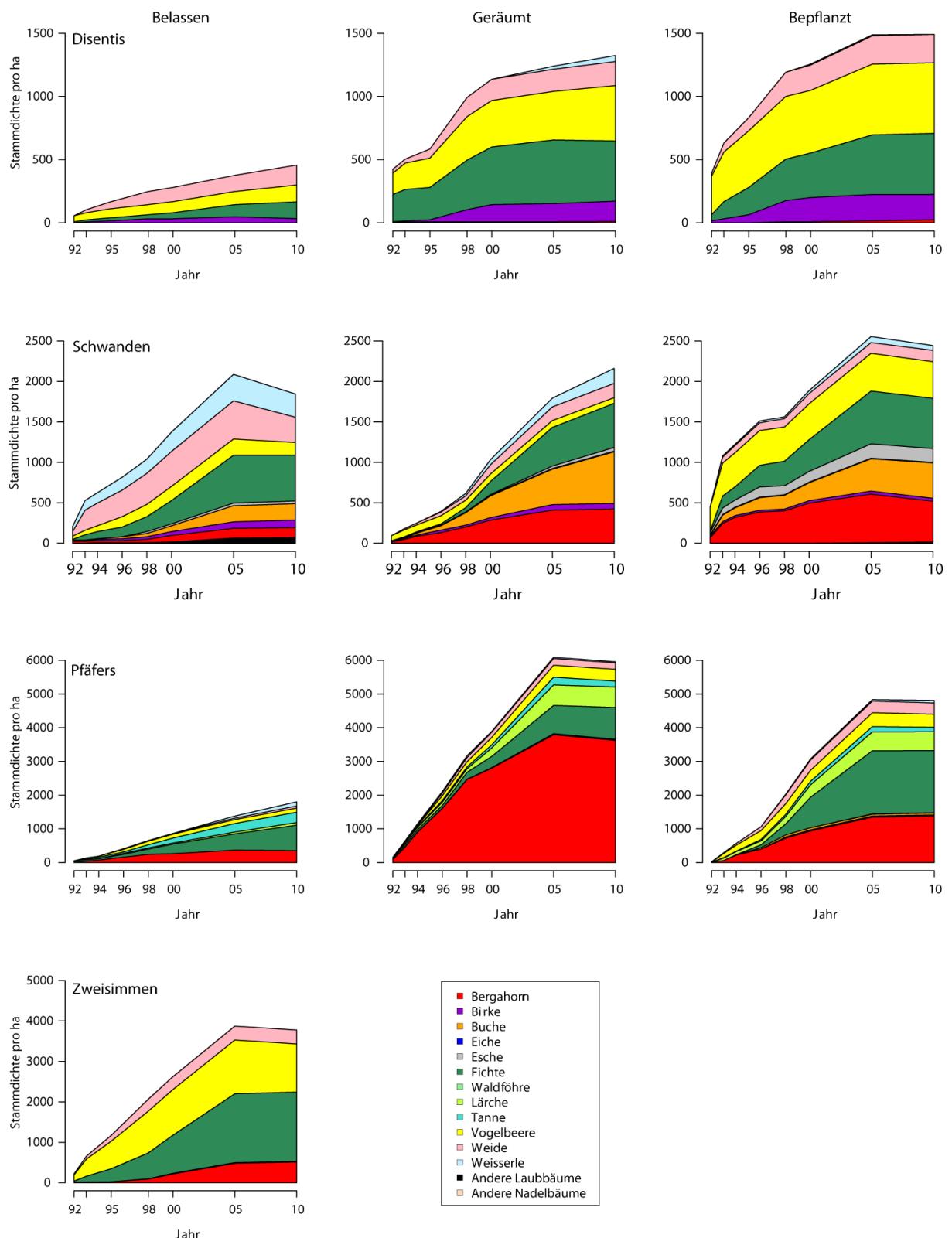


Abbildung 32. Entwicklung der Verjüngungsdichten der natürlich verjüngten Gehölzpflanzen ≥ 20 cm in den Vivian-Sturm-Beobachtungsflächen nach Baumarten. Die unterschiedliche Skalierung der vertikalen Achsen ist zu beachten.

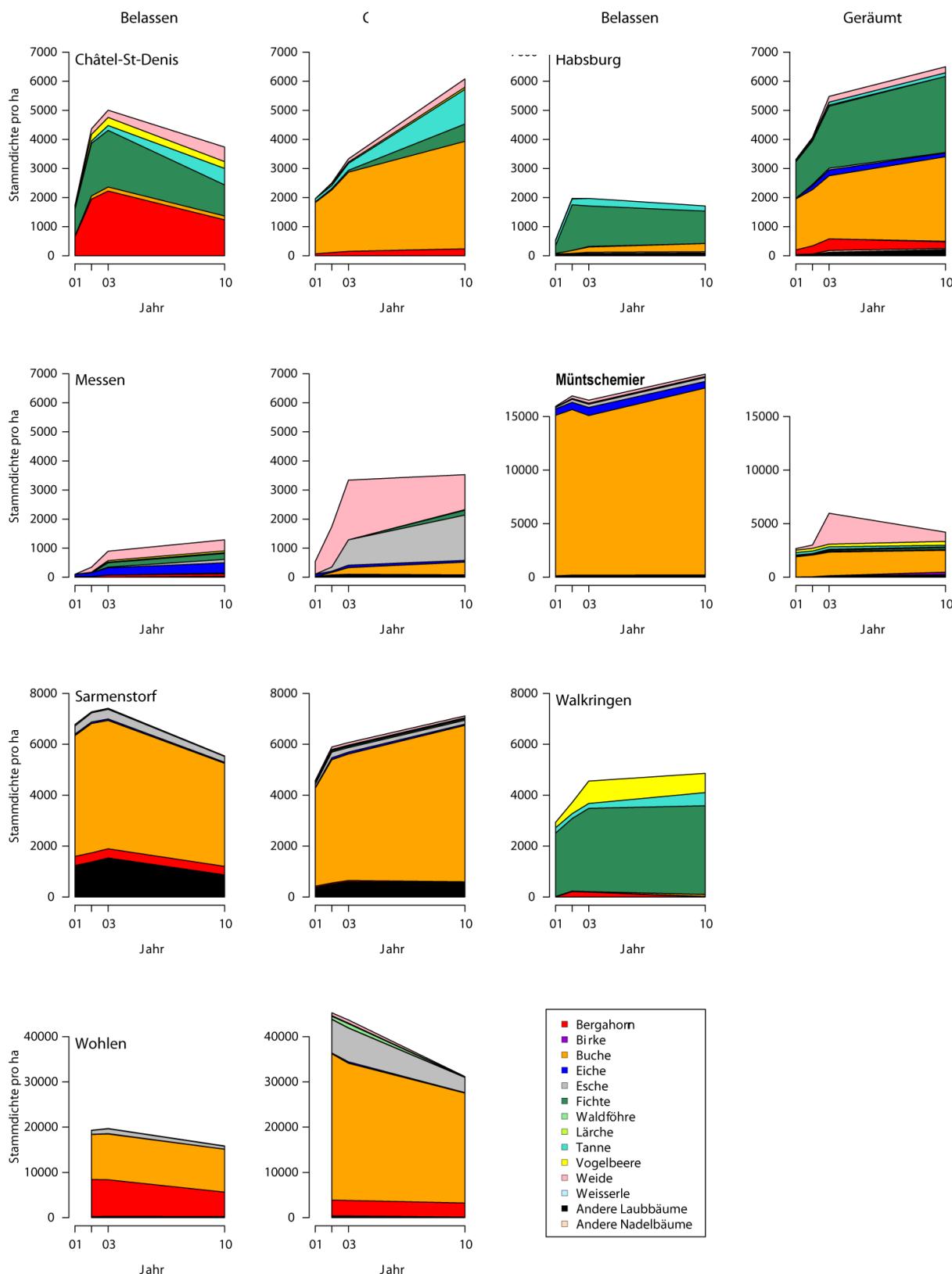


Abbildung 33. Entwicklung der Verjüngungsdichten der natürlich verjüngten Gehölzpflanzen ≥ 20 cm nach Baumarten in Lothar-Sturmbeobachtungsflächen. Die unterschiedliche Skalierung der vertikalen Achsen ist zu beachten.

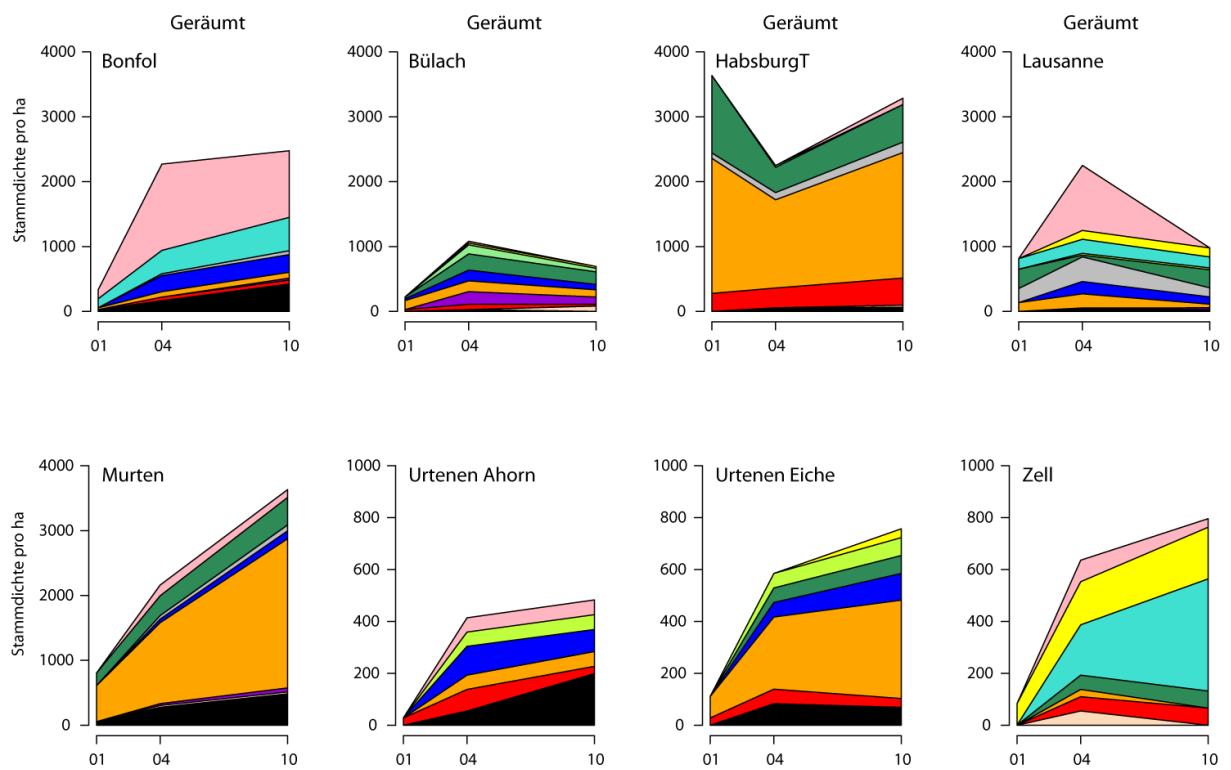


Abbildung 34. Entwicklung der Verjüngungsdichten der natürlich verjüngten Gehölzpflanzen ≥ 20 cm nach Baumarten in Lothar-Truppfanzungsflächen. Die unterschiedliche Skalierung der vertikalen Achsen ist zu beachten. Legende s. Abbildung 33.

Eine detaillierte Betrachtung der Entwicklung der Dichten der einzelnen Baumarten zeigt, dass bei den meisten Baumarten die Vorverjüngung kaum eine Rolle zu spielen scheint (Abbildung 35). Am wichtigsten ist die Vorverjüngung bei Buchen, Bergahornen, Fichten, Tannen und Vogelbeeren. Auf Vivian-Sturmbeobachtungsflächen spielt Vorverjüngung kaum eine Rolle (vgl. Abbildung 31).

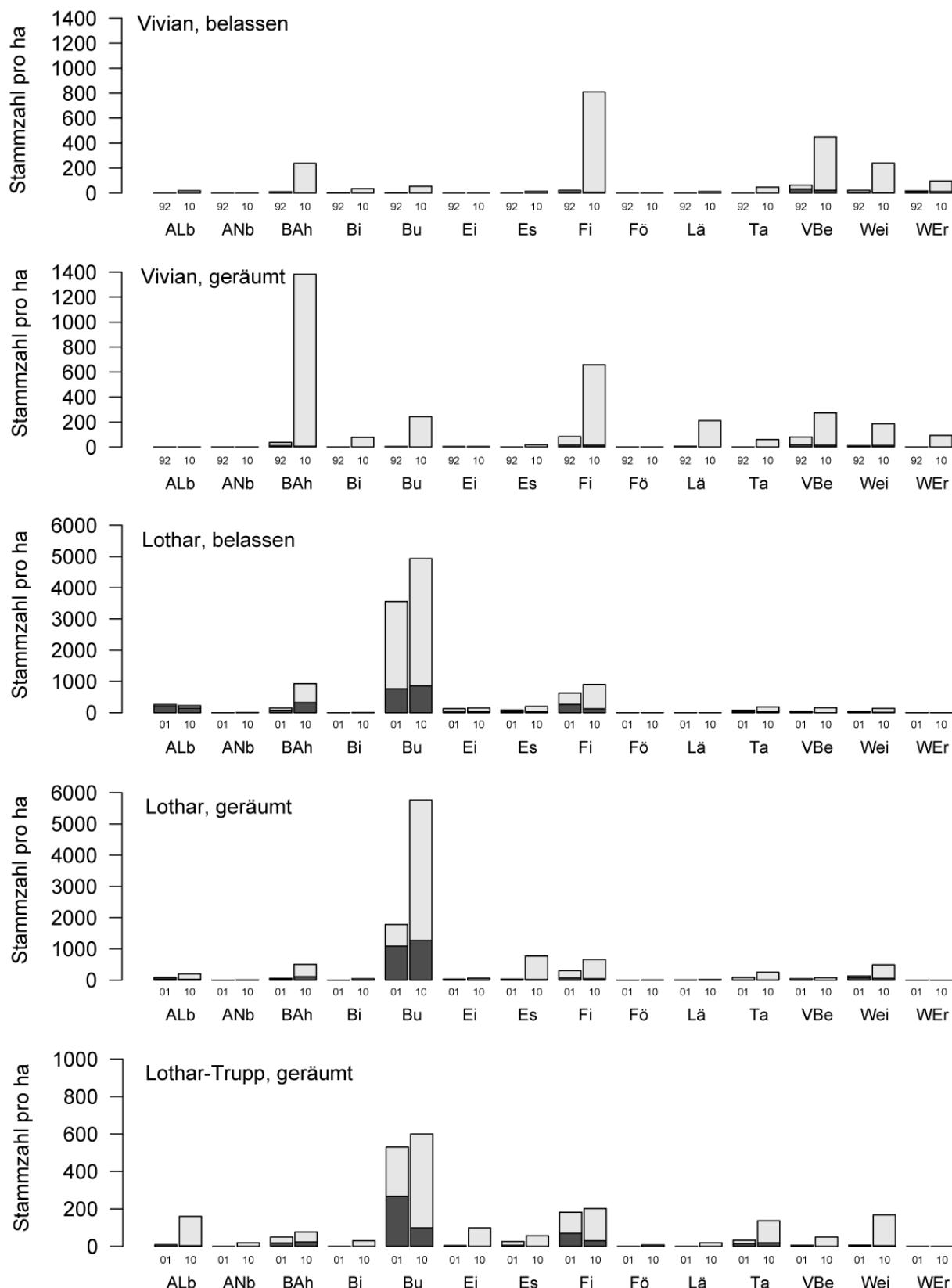


Abbildung 35. Verjüngungsdichten der Gehölzpflanzen ≥ 20 cm auf den Sturm-Beobachtungsflächen nach dem Sturm (Vivian 1992 bzw. Lothar 2001) und 2010 nach Baumart und Etablierungszeitpunkt. ■ Vorverjüngung, □ Nachverjüngung. Die vertikalen Achsen sind unterschiedlich skaliert. Die geringe Zunahme der Vorverjüngung von 2001 bis 2010 bei einigen Baumarten hängt mit der unterschiedlichen Probekreis-Anzahl zusammen. . Vgl. Abbildung 14, S. 30 und 15, S. 31 für die Sturmflächen-Stichprobe.

Die Dichtezunahme pro Sturm-Beobachtungsfläche variierte im Durchschnitt der Vivianflächen von 147 pro ha und Jahr (Behandlung belassen) über 208 pro ha und Jahr (bepflanzt) bis zu 226 pro ha und Jahr (geräumt; Abbildung 36). In Lotharflächen lagen die Durchschnittswerte mit 98 bzw. 100 pro ha und Jahr (belassen bzw. geräumt) etwas tiefer, und auch in Lothar-Truppfanzungsflächen nahm die Dichte mit 126 pro ha und Jahr schwächer zu als in Vivianflächen. Wie die Abbildung 32-34 zeigen, beruhen diese Durchschnittswerte auf stark streuenden Einzelwerten. Eine Dichtezunahme von 100 Pflanzen pro ha und Jahr bedeutet, dass innert 10 Jahren 1'000 zusätzliche Pflanzen pro ha zu erwarten sind.

Die Veränderung der Dichten in den Sturm-Beobachtungsflächen, als Resultat von Einwuchs über die Erfassungsschwelle von 20 cm Baumhöhe und Mortalität, zeigt Abbildung 36. Auf belassenen und geräumten Lotharflächen nahm die Dichte der meisten Baumarten zu, am deutlichsten bei Weiden, Vogelbeeren, Fichten, Buchen und Bergahornen. Abnahmen waren auf wenige Baumarten beschränkt.

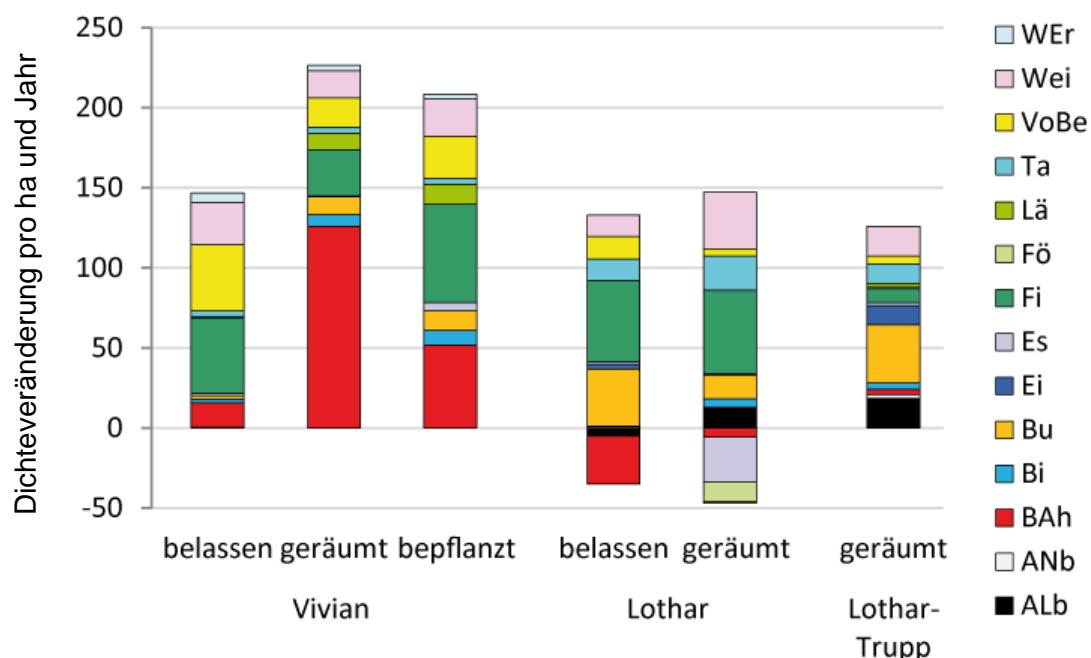


Abbildung 36. Dichteveränderung der Naturverjüngung pro ha und Jahr in den Sturm-Beobachtungsflächen nach Sturmereignis, Behandlung und Baumart. Die Dichteveränderung wurde für Vivianflächen von 1992 bis 2000, für Lothar- und Lothar-Truppfanzungsflächen von 2001 bis 2010 berechnet.

Die Dichte der Verjüngung nahm über die ersten 8 bis 9 Jahre umso stärker zu, je grösser die Ausgangsdichte war (Abbildung 37). Der Zusammenhang war hoch signifikant und straff, allerdings durch wenige Flächen mit ausgesprochen hohen Werten für Ausgangsdichte und Dichtezunahme geprägt. Dieses Resultat ist also nur als Hinweis zu werten.

Im Jahr 2010 wurde in 6% der Probekreise auf Vivianflächen (14 von 225), 15% der Probekreise auf Lotharflächen (42 von 280) und 49% der Probekreise auf Lothar-Truppfanzungsflächen (129 von 262) keine einzige Verjüngungspflanze gefunden. Zu berücksichtigen ist dabei die unterschiedliche Probekreisgrösse (50, 20 und 10 m²).

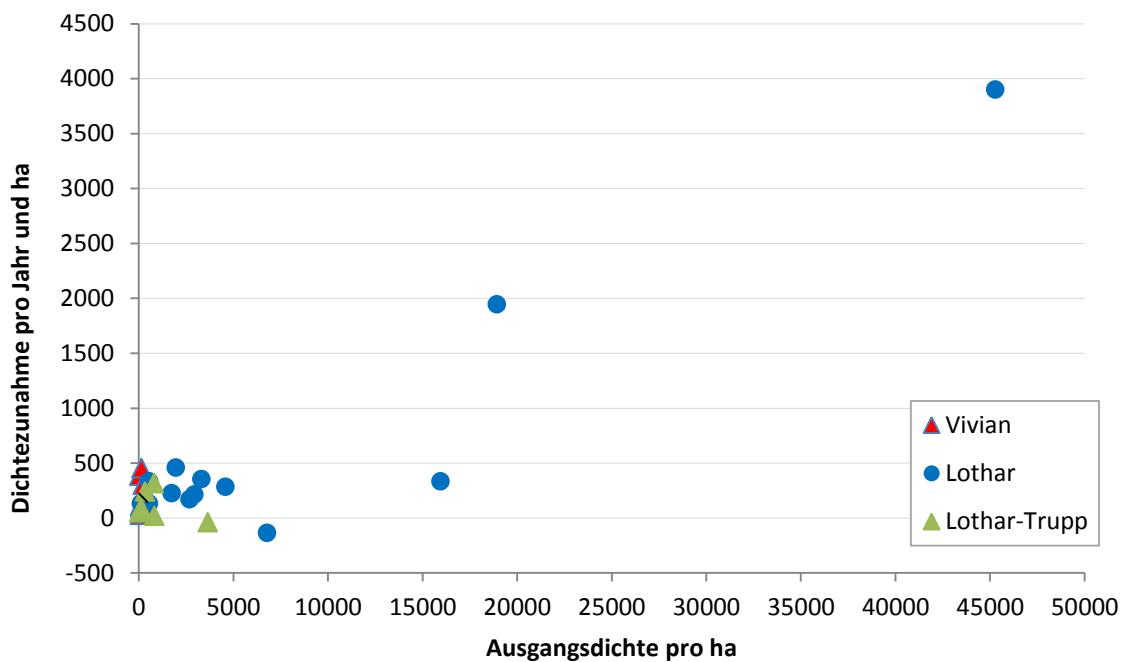


Abbildung 37. Dichtezunahme der Naturverjüngung pro ha und Jahr in den Sturm-Beobachtungsflächen nach Sturmereignis und Ausgangsdichte. Die Zunahme wurde für Vivianflächen von 1992 bis 2000, für Lothar- und Lothar-Truppfanzungsflächen von 2001 bis 2010 berechnet. Jede Sturmfläche geht mit der Anzahl ihrer Behandlungen ein.

3.4 Einwuchsjahr und Mortalität

Die 2010 überlebenden Pflanzen waren sehr unterschiedlich über die Einwuchsjahre verteilt. In Vivianflächen wurden 16% bis 4 Jahre nach dem Sturm gefunden, 41% waren 5 bis 10 Jahre nach dem Sturm erstmals mindestens 20 cm gross und 44% erst 11 bis 20 Jahre nach dem Sturm. Das Einwachsen erstreckt sich also relativ kontinuierlich über die ersten 20 Jahre. In Lothar- und Lothar-Truppfanzungsflächen hatte sich ein viel grösserer Anteil der 2010 überlebenden Pflanzen schon in den Jahren 1 bis 4 nach dem Sturm eingestellt.

Tabelle 15. Anteile der Einwuchsjahre bei den 2010 überlebenden Pflanzen.

Datenherkunft	Einwuchsjahr			
	1-4	5-10	11-20	Total
Vivianflächen	15,8%	40,5%	43,8%	100,0%
Lotharflächen	63,4%	36,6%	-	100,0%
Lothar-Truppfanzungsflächen	88,7%	11,3%	-	100,0%

Von allen erfassten Gehölzpflanzen überlebten bis 2010 auf Vivianflächen 82% (2'850 von 3'463), auf Lotharflächen 63% (3'814 von 6'095) und auf Lothar-Truppfanzungsflächen 69% (1'401 von 2'045). Bei all diesen Zahlen handelt es sich um etablierte Pflanzen mit Höhe ≥ 20 cm. Mortalität vor Erreichen dieser Höhe ist nicht erfasst, weshalb die effektiven Anteile der überlebenden an allen Verjüngungspflanzen wesentlich tiefer wären.

3.5 Baumhöhe und Höhenzuwachs

Baumhöhe

Zehn Jahre nach Lothar und 20 Jahre nach Vivian waren die höchsten Bäume der Jungwälder rund 5-12 m hoch. Die Bäume in den hoch gelegenen Vivianflächen waren 20 Jahre nach Vivian ähnlich hoch wie die Bäume in den tiefer gelegenen Lotharflächen nach 10 Jahren (Abbildung 38-40). Pionierbäume wie Birken, Weiden und Weisserlen waren auf Vivianflächen am höchsten; auf Lotharflächen waren die höchsten Bäume neben Aspen (ALb in Abbildung 39) Eschen und Bergahorne. Auf Truppfanzungsflächen (Abbildung 40) waren Bergahorne am höchsten und die Höhenunterschiede zwischen den Baumarten waren eher gering.

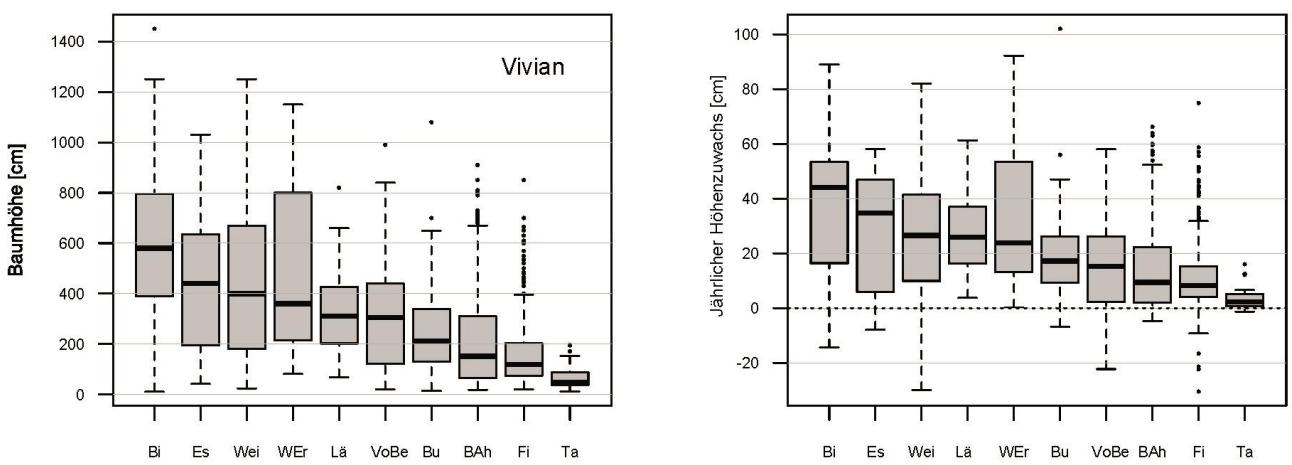


Abbildung 38. Baumhöhe und Höhenzuwachs nach Baumarten in Vivianflächen. Vgl. Abbildung 16, S. 33 für die Sturmflächen-Stichprobe.

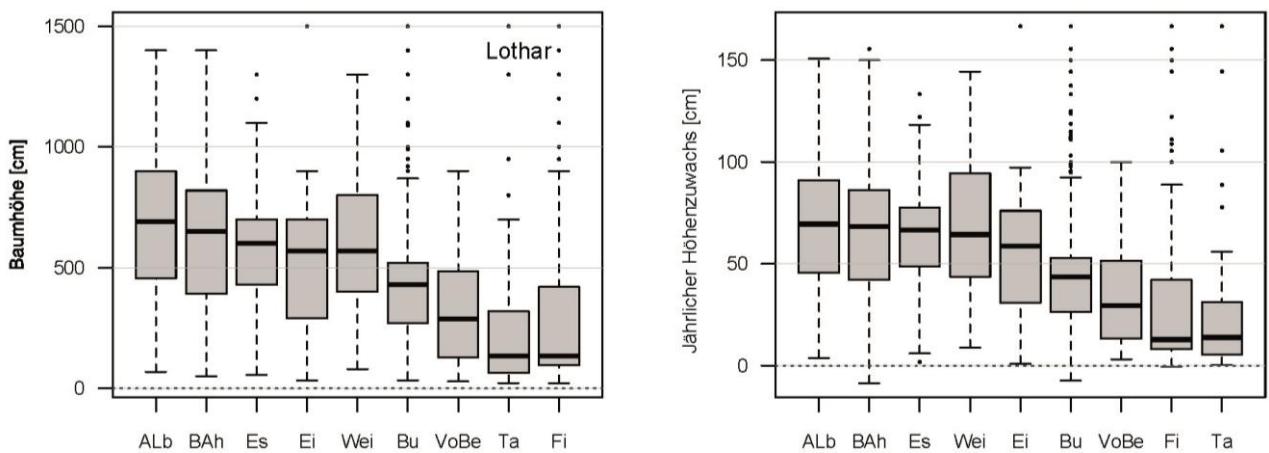


Abbildung 39. Baumhöhe und Höhenzuwachs in Lotharflächen. Vgl. Abbildung 17, S. 34 für die Sturmflächen-Stichprobe.

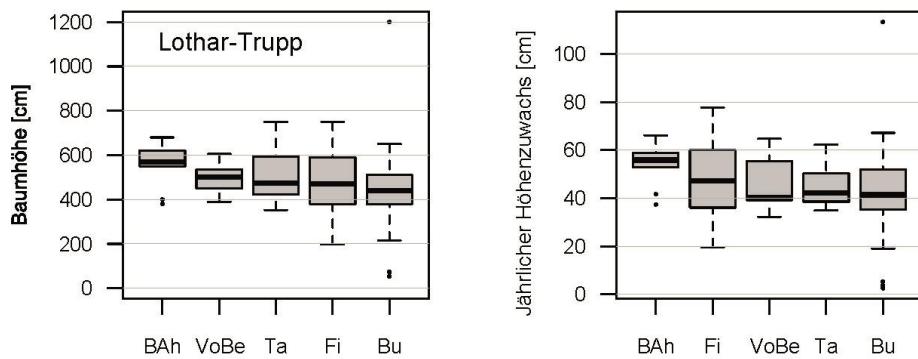


Abbildung 40. Baumhöhe und Höhenzuwachs in Lothar-Truppfanzungsflächen. Vgl. Abbildung 17, S. 34 für die Sturmflächen-Stichprobe.

Unter den zwei höchsten Bäumen pro Probekreis waren im Jahr 2010 Weiden, Vogelbeeren, andere Laubbäume (z.B. Aspen), Eichen und Birken überproportional vertreten (Abbildung 41), Buchen und Fichten hingegen unterproportional. Dennoch hatten Buchen, wegen ihres insgesamt grossen Anteils an allen Bäumen, mit rund 20% auch den höchsten Anteil an den zwei höchsten Bäumen pro Probekreis. Die zwei höchsten Bäume pro Probekreis wurden auf Vivianflächen durchschnittlich drei Jahre früher als die übrigen Bäume erstmals als Einwüchse erfasst. Ihr mittleres Einwuchs-jahr war 1998 gegenüber 2001 bei allen Bäumen. Auf Lotharflächen wuchsen die 2010 lebenden Bäume im Durchschnitt 2004 ein, auf Lothar-Truppfanzungsflächen 2005 bis 2006, ohne wesentlichen Unterschied zwischen den zwei höchsten und den kleineren Bäumen. Dabei spielt die Baumart eine Rolle: Der Unterschied ist auf Vivianflächen bei Lärchen mit 7 Jahren und bei Fichten mit 5 Jahren Vorsprung besonders gross, bei Vogelbeeren mit 1 Jahr und bei Weiden mit 2 Jahren Vorsprung besonders klein. Auf Lotharflächen sind nur die grössten Tannen durchschnittlich 3 Jahre vorher eingewachsen, bei den übrigen Baumarten sind die Unterschiede im Einwuchs-jahr zwischen den zwei höchsten Bäumen pro Probekreis und den übrigen Bäumen minim. Die Höhe gepflanzter und natürlich verjüngter Bäume im Jahr 2010 kann auf den drei Vivian-Sturm-Beobachtungsflächen Disentis, Pfäfers und Schwanden verglichen werden. Gepflanzte Bäume waren je nach Baumart etwa gleich gross oder grösser als natürlich verjüngte (Abbildung 42). Deutlich und konsistent war der Höhenvorsprung gepflanzter Bäume bei Fichten und Buchen. Gepflanzte Fichten waren in Disentis durchschnittlich 2,4 m, in Pfäfers 1,1 m und in Schwanden 1,0 m grösser als natürlich verjüngte.

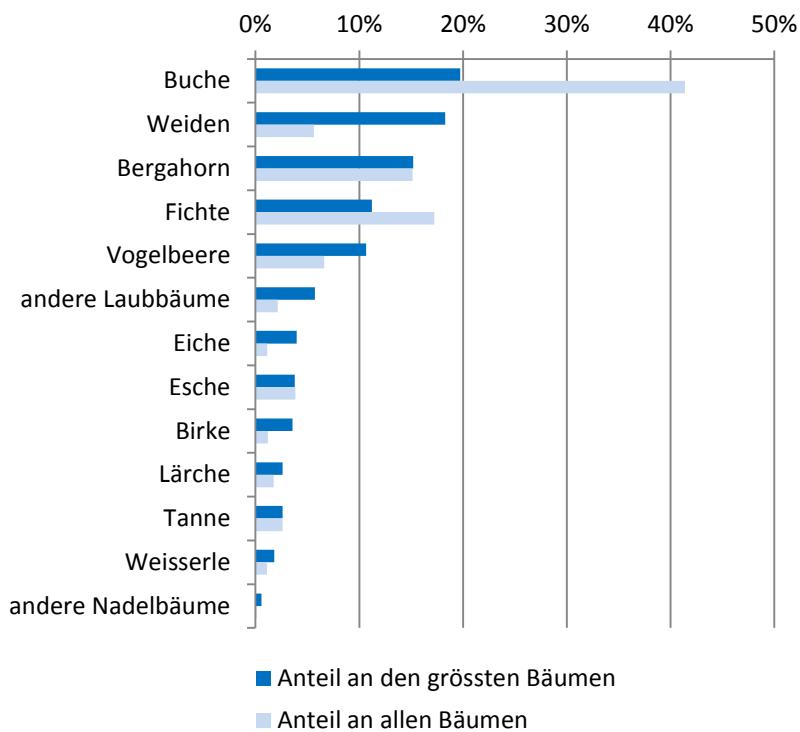


Abbildung 41. Anteil der Baumarten an den grössten 2 Bäumen pro Probekreis und an allen Bäumen im Jahr 2010. Die Abbildung basiert auf Daten aus allen Sturm-Beobachtungsflächen mit insgesamt 8066 natürlich verjüngten Bäumen, wovon 1033 zu den grössten pro Probekreis gehören.

Höhenzuwachs

Der Höhenzuwachs wurde für die Perioden 1992-2000 (Vivianflächen, 8 Jahre) bzw. 2001-2010 (Lotharflächen, 9 Jahre) gemittelt. Über 10 Zuwachswerte stehen von Buchen ($N=2271$), Bergahornen ($N=392$), Fichten ($N=313$), Eschen ($N=203$), Vogelbeeren ($N=193$), Weiden ($N=156$), Tannen ($N=62$), Eichen ($N=55$) und anderen Baumarten ($N=118$) zur Verfügung. Über alle Baumarten und Flächen lag der mittlere Höhenzuwachs bei $45,2 \pm 0,4$ cm pro Jahr ($N=3'763$, Tabelle 29 im Anhang).

Der mittlere Höhenzuwachs aller Bäume auf Vivianflächen betrug $18,2 \pm 1,0$ cm pro Jahr ($N=250$), auf Lotharflächen $47,2 \pm 1,0$ cm pro Jahr ($N=3'393$) und auf Lothar-Truppfanzungsflächen $44,2 \pm 2,4$ cm pro Jahr ($N=120$, Tabelle 29). Bergahorne, Weiden, Eschen und die Gruppe der anderen Laubbäume (u.a. mit Aspen) erreichten durchschnittliche jährliche Höhenzuwächse zwischen 60 und 70 cm. Eichen wuchsen pro Jahr durchschnittlich rund 55 cm, Buchen 43 cm, Vogelbeeren 32 cm und Fichten und Tannen je 27 cm (Tabelle 29, vgl. Abbildung 38-40).

Auf Vivianflächen hatten Birken, Weisserlen und Eschen die höchsten jährlichen Höhenzuwächse (Abbildung 38), auf Lotharflächen andere Laubbäume (z.B. Aspen), Bergahorne und Eschen (Abbildung 39), auf Lothar-Truppfanzungsflächen Bergahorne (Abbildung 40). Dies sind genau die Baumarten, die auch am grössten waren. Die kleinsten Höhenzuwächse wiesen Fichten, Tannen, Buchen und Vogelbeeren auf. Auf Vivianflächen unterschieden sich die Höhenzuwächse zwischen den Perioden 1992-2000 und 2000-2010 kaum (Abbildung 43).

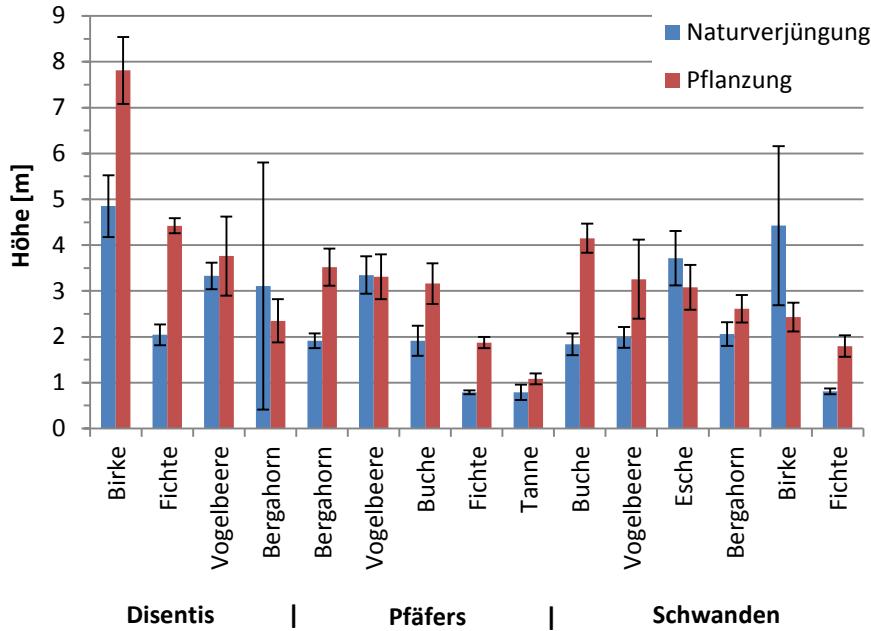


Abbildung 42. Mittlere Höhe gepflanzter und natürlich verjüngter Bäume im Jahr 2010. Die Abbildung basiert auf Höhenmessungen auf den Vivian-Sturm-Beobachtungsflächen mit mindestens 4 Bäumen pro Säule. Der Fehlerindikator ist der einfache Standardfehler.

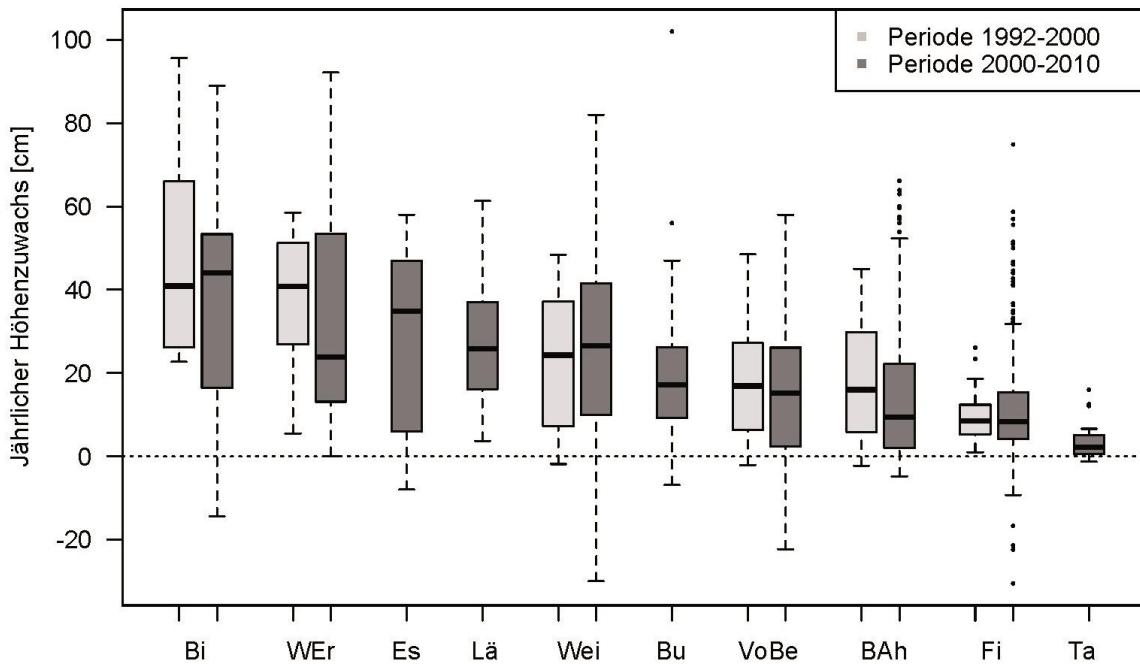


Abbildung 43. Höhenzuwachs nach Baumart und Periode in Vivianflächen.

3.6 Schäden an der Verjüngung

Im Jahr 2010 waren 94% der Verjüngungspflanzen frei von Schäden, 4% der Pflanzen wurden als liegend taxiert, wozu v.a. die Pflanzen in den Flächen Disentis und Pfäfers mit Anteilen von fast 25% beitrugen. Starken wiederholten Verbiss wiesen auf den meisten Flächen fast keine Pflanzen auf, nur in Schwanden wurden 7% aller Pflanzen als Spindeln, also Bäumchen fast ohne Seitenäste, taxiert.

3.7 Totholz

Über 50% der Stammlänge lagen in allen vier Vivianflächen auf dem Boden auf. In Lotharflächen war dies in fünf von sieben Flächen der Fall (Abbildung 44). Im Vergleich mit den Vivianflächen der Sturmflächen-Stichprobe (Abbildung 24) fallen die grossen Höhen über Boden der Sturm-Beobachtungsfläche DI auf.

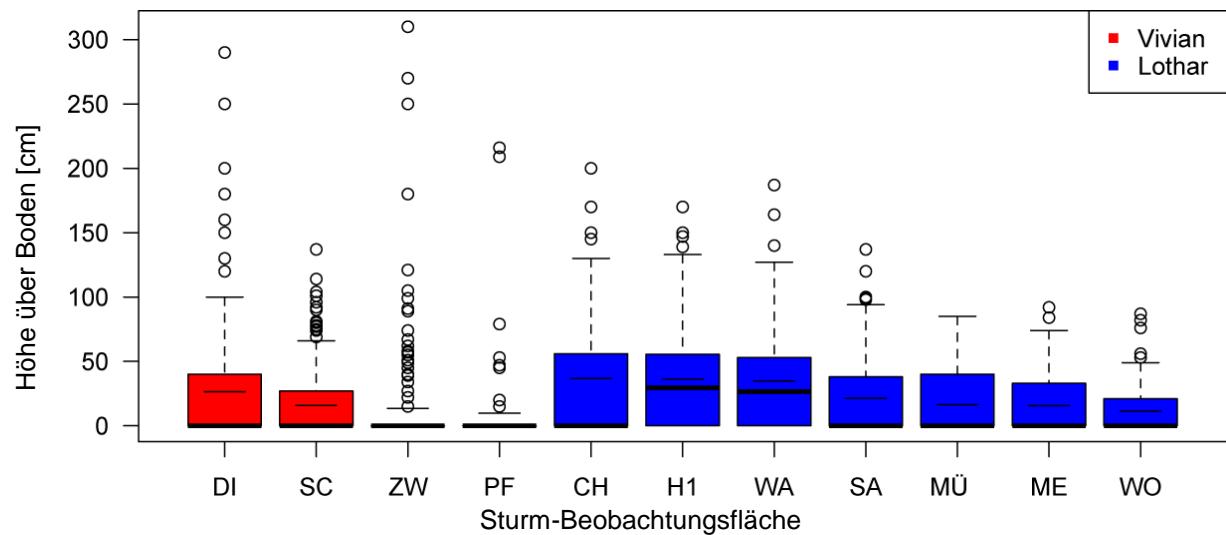


Abbildung 44. Höhe über Boden der liegenden Totholzstämme in belassenen Sturmflächen. S. Abbildung 24, S. 41 für die Sturmflächen-Stichprobe.

4 Diskussion

4.1 Stellenwert der vorliegenden Untersuchung

In den meisten bisherigen Studien zur Wiederbewaldung von Sturmflächen wurden nur wenige Fallstudien betrachtet, woraus allgemeingültige Schlüsse kaum ableitbar sind. Ein erster grosser Wert unserer Untersuchung liegt daher in der grossen Stichprobe von 90 mindestens 3 ha grossen Totalschadenflächen. Daraus konnten statistisch abgesicherte, verallgemeinerbare Erkenntnisse gewonnen werden. Kombiniert wurde diese Untersuchung mit einer erneuten Erhebung der Verjüngungssituation auf 19 Sturmflächen mit 10 bzw. 20 Jahren Dauerbeobachtung, was den zweiten grossen Wert unserer Untersuchung darstellt.

Wir erfassten Gehölzpflanzen mit einer Mindesthöhe von 20 cm, die als Erfassungsschwelle für den Einwuchs verwendet wird. Zwar wurden kleinere mindestens einjährige Pflanzen auch auf zusätzlichen kleinen Probeflächen erfasst, doch die Anzahl erfasster Pflanzen war zu gering, als dass die Ergebnisse differenzierte Aussagen erlaubten. Unsere Interpretationen gelten daher in erster Linie für etablierte, mindestens 20 cm hohe Pflanzen.

4.2 Dichte der Gehölzverjüngung

Variation der Verjüngungsdichte

Die mittleren Verjüngungsdichten pro Sturmfläche variierten von weniger als 500 bis mehr als 50'000 Gehölzpflanzen pro ha. Zwischen den einzelnen Probeflächen waren die Unterschiede noch ausgeprägter. Wie stark die Verjüngungsdichten auf kleiner Fläche variieren, belegen die erheblichen Anteile an Probeflächen, die auch 10 Jahre nach Lothar bzw. 20 Jahre nach Vivian immer noch gehölzfrei waren (Kap. 3.3.4). Eine solche Variabilität ist nicht aussergewöhnlich, wie ein Blick in die Literatur zeigt. So schwankten z. B. die Verjüngungsdichten vier Jahre nach Sturmereignissen in Deutschland und in der Slowakei zwischen 1'500 und 52'000 Bäumen pro ha (Kompa & Schmidt 2006, Jonásová et al. 2010). In Studien aus Kanada, den USA, dem Ural und aus Deutschland fand man sechs bis zehn Jahre nach einem Sturm Verjüngungsdichten zwischen 4'800 und 20'200 Bäumen pro ha (Cooper-Ellis et al. 1999, Mokalov & Lässig 2002, Kreyling et al. 2008, Fischer & Fischer 2012). Auf 12 bis 20 Jahre alten Sturmflächen in den USA und in Deutschland variierten die Dichten zwischen 995 und über 50'000 Individuen pro ha (Arévalo et al. 2000, Zhao et al. 2006, Palik & Kastendick 2009, Fischer & Fischer 2012). Solche Dichtewerte hängen grundsätzlich von den angewandten Zählmethoden (Erfassungsschwelle); Unterschiede ergeben sich aber auch bezüglich der Behandlung der Sturmflächen und den Standortsbedingungen.

Als bestimmende Faktoren der Verjüngungsdichte erwiesen sich der pH im Oberboden, die Behandlung der Sturmflächen nach dem Sturm (Räumung ja/nein), die Konkurrenzvegetation und der Distanz zum Sturmflächenrand. Nur in Teilen der Stichproben waren folgende Faktoren statistisch signifikant: Exposition, Höhenlage und Verbiss durch Schalenwald. Im Folgenden interpretieren wir den Einfluss all dieser Faktoren detailliert.

Boden-pH

Der pH im Oberboden zählt gemäss den statistischen Modellen zu den drei wichtigsten Einflussfaktoren für die Verjüngung auf Sturmflächen (Tabelle 9). Ein hoher Boden-pH war in den meisten Vorbestandestypen mit grossen Verjüngungsdichten verbunden. Ausnahmen bildeten vom Sturm Lothar geworfene Tannen-Buchenbestände und Fichtenbestände. Andere Studien belegen ebenfalls eine positive Korrelation zwischen Boden-pH und Artenvielfalt (Vellak et al. 2003, Mills & Macdonald 2004, Hylander & Dynesius 2006, Van Couwenberghe et al. 2010). Der Grund für diesen deutlichen Zusammenhang ist uns nicht vollständig klar. Da ein neutraler oder leicht positiver pH-Wert auf kalkhaltigem Untergrund mit eher flachgründigen Böden auftritt, werten wir einen erhöhten pH als Indikator für generell geringe Wasserspeicherkapazität. Solche Böden neigen in Trockenperioden stärker zur Austrocknung und erschweren dort die Ausbreitung verjüngungshemmender Vegetation wie Brombeeren, Adlerfarn oder dichter Hochstauden.

Behandlung der Sturmfläche

Geräumte Flächen wiesen sowohl in der Sturmflächen-Stichprobe als auch in den Sturm-Beobachtungsflächen insgesamt eine dichtere Verjüngung auf als belassene Flächen (Tabelle 7, Tabelle 9, Abbildung 6). Besonders deutlich ist der Zusammenhang in geworfenen Fichtenbeständen. Unser Befund stimmt mit früheren Studien überein (Schönenberger 2002, Ilisson et al. 2007), doch in einer Studie in Streuschadenflächen blieb die Behandlung ohne Einfluss auf die Verjüngungsdichte (Peterson & Leach 2008). Die Räumungsarbeiten dürften zwar einen Teil der Vorverjüngung zerstören. Einen Hinweis hierzu bietet der Vergleich der Vorverjüngung in der Sturmflächen-Stichprobe (Tabelle 7) mit der erheblich dichteren Verjüngung im Unterwuchs unter Baumhölzern im Schweizer Wald (Tabelle 8). Doch die Räumung schürft auch den Boden und legt so Mineralerde frei, die für viele Gehölzarten, z.B. die Fichte, ein bevorzugtes Keimbett bildet (Brang 1998; Wohlgemuth et al. 2002).

Totholz auf belassenen Flächen hat bisher keine Rolle als Verjüngungssubstrat gespielt. In Lotharflächen war das Totholz noch zu wenig stark vermodert, und in Vivianflächen waren die Verjüngungsdichten auf Totholz gleich gross wie auf dem Waldboden (Priewasser et al. 2013). Da vermoderndes Totholz aber weniger als 10% der Fläche bedeckte, fällt die Verjüngung auf dem Waldboden, die auch doppelt so hoch gewachsen war wie auf Totholz, viel stärker ins Gewicht. Immerhin bleibt Totholz, im Gegensatz zum rasch mit Vegetation zuwachsenden Waldboden, als Substrat für Gehölzpflanzen viel länger verfügbar. Bis Moderholz als Substrat namhaft zur Verjüngung beiträgt, dürfte es also mindestens 20 Jahre dauern. Es dürfte v.a. dort eine wichtige Rolle spielen, wo starke Vegetationskonkurrenz die Etablierung von Gehölzpflanzen hemmt, z.B. in Hochstauden-Fichtenwäldern (Imbeck & Ott 1987, Ott et al. 1997, Svoboda et al. 2010).

Vegetationskonkurrenz

Bei geschlossener Konkurrenzvegetation war die Verjüngungsdichte vermindert (Abbildung 10), ausser in Fichten-Tannenbeständen (Tabelle 9). In Tieflagen waren dichte Brombeeren- und Adlerfarnteppiche mit geringer Verjüngungsdichte verbunden (Abbildung 10), in Fichtenbeständen waren es Farne oder Beerengesträucher (Brombeere, Himbeere, Heidelbeere; Tabelle 9). Die Mechanismen dahinter sind die Erschwerung der Ansammlung, indem Samen die Bodenoberfläche gar nicht erreichen

(Brang 1996, Mosandl & El Kateb 1988, Schreiner 2001), Lichtmangel (Priewasser 2013) und das Niederdrücken der zarten Keimlinge durch die Schneelast auf dem dichten Vegetationsteppich. Allelopathie dürfte dagegen als Grund für das Ausbleiben von Verjüngung unter Adlerfarn keine wesentliche Rolle spielen (Priewasser 2013).

Dass dichte Vegetation die Ansamung erschwert, wiesen schon Wohlgemuth et al. (2002) in den Vivian-Beobachtungsflächen nach. Unsere Ergebnisse decken sich mit solchen aus Käfer-Totholzbeständen im Kanton Glarus, wo Fichten sich in montanen Wäldern zwar langsam gegenüber Himbeerfluren durchsetzen dürfen, in subalpinen Lagen aber durch Farne und Reitgrasfluren während Jahrzehnten behindert werden (Kupferschmid & Bugmann 2005). Die Einflüsse von Brombeerfluren auf Fichten- und Tannenverjüngung stellt Schreiner (2001) detailliert dar. Brombeeren vermindern die Sämlingsdichte und das Wachstum der Sämlinge, wobei sie sich auf Fichten stärker auswirken als auf Tannen. Die dämmende Wirkung von Brombeeren auf die Verjüngung in Sturmflächen im Mittelland wurde auch von Nobis & Bürgi (in Angst et al. 2004) bereits beschrieben.

Distanz vom Sturmflächenrand

Es liegt auf der Hand, dass die Distanz zu Samenbäumen am Rand von Sturmflächen mit der Verjüngungsdichte zusammenhängt. Dies wurde auch schon mehrfach nachgewiesen (z.B. Greene & Johnson 1996, Greene et al. 1999). Wir konnten diesen Zusammenhang für Lothar-Buchenbestände sowie Lothar-Tannen-Buchenbestände bestätigen (schwache Signifikanz), nicht aber für die Sturmflächen mit Fichten- oder Fichten-Tannen-Vorbeständen und auch nicht für die Vivian-Flächen. Offensichtlich fallen Distanzen von 80 m für leichte Samen (Fichten, Tannen) noch nicht ins Gewicht, wogegen bei Buchen mit schwereren Samen bereits eine Abnahme der Verjüngungsdichte ins Innere einer Windwurffläche nachweisbar ist. Wir vermuten, dass andere Faktoren wie auf den Sturmflächen verbleibende einzeln stehende Samenbäume oder das Vorhandensein von Vorverjüngung (Sämlingsbank) die Verjüngungsdichte stark beeinflussen.

Verbiss

Wir fanden einen schwach negativen Einfluss von Verbiss auf die Dichte der Gehölzpflanzen. Wie weit dabei das Schalenwild Mortalität verursacht oder nur die Pflanzen unter der Erfassungsschwelle hält, können wir nicht belegen. Aus früheren Studien auf Lothar-Sturmflächen ist bekannt, dass Verbiss in geräumten Sturmflächen häufiger auftritt als in belassenen Flächen (Moser et al. 2008).

Höhenlage

Die früher festgestellte Abhängigkeit der Verjüngungsdichte von der Höhenlage (Wohlgemuth et al. 2008) ist aufgrund dieser Studie zu relativieren. Der Zusammenhang besteht zwar, wie auch die LFI-Zahlen zur Verjüngung unter Baumhölzern deutlich zeigen (Tabelle 8), seine Richtung hängt aber vom Vorbestand ab: Z.B. war in Lotharflächen mit Fichten-Vorbeständen die Verjüngungsdichte in höheren Lagen grösser als in tieferen Lagen. Die Höhenlage als sogenannter Proxy-Faktor ist ein Indikator für primäre ökologische Faktoren wie Vegetationszeit, mittlere Wärme oder Niederschlagssummen. Sie korreliert in unserer Stichprobe aber auch mit dem pH bzw. mit dem kalkhaltigen Untergrund, der in den Schweizer Voralpen häufig vorliegt.

Dichteentwicklung

Die Dichten nahmen auf den meisten Sturm-Beobachtungsflächen während der ersten 10 bzw. 20 Jahre nach dem Sturm zu, wobei sich die Zunahme in den letzten Jahren teils abflachte (Abbildung 31, logarithmische Skala der vertikalen Achse beachten). Bei sehr hoher Dichte sind Abnahmen festzustellen (Abbildung 31). Die mittleren Zunahmeraten lagen zwischen 100 und 230 Gehölzpflanzen pro ha und Jahr; auf einzelnen Sturmflächen traten aber wesentlich höhere und tieferen Werte auf (Abbildung 37).

Vorverjüngung spielte für die Dichteentwicklung v.a. in tiefen Lagen eine wichtige Rolle. In Hochlagen war sie dagegen spärlich (Abbildung 7). Dies bestätigen Auswertungen von LFI-Daten zur Verjüngung in Wartsaal-Position (Tabelle 8). Die spärliche Vorverjüngung in Sturmflächen in Hochlagen steht vermeintlich im Widerspruch mit Resultaten aus Vivian-Beobachtungsflächen (Wohlgemuth et al. 2002). Dort wurden alle Gehölzpflanzen berücksichtigt, ohne Einwuchsschwelle, und 10 Jahre nach dem Sturm Vivian wurde ein Anteil der Vorverjüngung an der gesamten Verjüngung von 10 bis 50% festgestellt. Aufgrund der grossen Mortalität von jungen Bäumen (z.B. Hirsiger et al. 2013) dürfte der Anteil der Vorverjüngung am Jungwald im Laufe der Entwicklung abnehmen. Die Abflachung der Verjüngungszunahme und die geringen Dichten von Pflanzen unter 20 cm Höhe zeigen, dass die Verjüngungsgunst 10 bzw. 20 Jahre nach dem Sturm stark zurückgegangen ist. Wo der Boden nicht von Gehölzen dicht überschirmt ist, hat sich eine deckende Bodenvegetation eingestellt.

Baumartenzusammensetzung

Das bemerkenswerteste Resultat zur Baumartenzusammensetzung ist die Seltenheit von Sukzessionsstadien mit Dominanz von Pionierbaumarten. Sowohl in Tief- als auch in Hochlagen dominieren die Schlussbaumarten Fichte und Buche zahlenmäßig in der Verjüngung. Dabei beeinflusst die Behandlung den Anteil der Pionierbaumarten kaum. Ein ähnliches Resultat beschreiben Lang et al. (2009); auch dort dominierten in geräumten und belassenen Flächen dieselben bestandesbildenden Baumarten. In einer anderen Studie in Deutschland herrschten im Jungwuchs von Buchenwäldern mit tiefgründigen kalkreichen Böden die Klimaxbaumarten des Standorts vor, unabhängig von der Schadenintensität. In Buchenwäldern auf sauren Böden dagegen waren Pioniergebüscharten mit zunehmender Schadenintensität immer dominanter (Kompa & Schmid 2006). Im Nationalpark Bayrischer Wald dominierten dagegen Schlussbaumarten in belassenen Sturmflächen, während sich in geräumten Flächen Pionierbaumarten ausbreiteten (Fischer et al. 2002). In unserer Studie gehören Pionierbäume wie Birken und Weiden trotz fehlender zahlenmässiger Übermacht häufig zu den zurzeit grössten Individuen; sie sind also in der Oberschicht der Jungwaldstadien stark vertreten bzw. dominieren den Bestand visuell (Abbildung 41).

Auf allen Sturmflächen war die Verjüngung artenreich, wobei der Reichtum mit Werten von 4,8 bis 7,1 Arten pro Sturmfläche wenig schwankte (Tabelle 10). Nur auf wenigen Flächen dominierte eine einzige Art (Abbildung 33).

Insgesamt war die Baumartenzusammensetzung von Vor- und Nachverjüngung ähnlich (Abbildung 13). Die Gründe dafür dürften sein, dass die lokale Baumartenzusammensetzung der adulten Bäume räumlich nicht stark variiert und daher vor und nach einem Sturm ähnlich ist, und dass Arten mit flugfähigen Samen (v.a. die meisten Pionierbaumarten) sich über weite Distanzen ausbreiten können. Fichten

und Buchen sowie teilweise auch Tannen waren in der Vorverjüngung häufiger als in der Nachverjüngung. Umgekehrt war es bei Eschen, Birken und Weiden: diese Arten waren entsprechend der klassischen Sukzessionstheorie nach dem Sturmereignis häufiger. Bei Bergahorn waren die Anteile in Vor- und Nachverjüngung uneinheitlich.

Baumhöhe und Höhenwachstum

Zehn Jahre nach Lothar und 20 Jahre nach Vivian hatten die höchsten Bäume der Jungwälder eine Höhe von rund 5-12 m, mit starken lokalen Abweichungen vom Mittelwert. Die Baumhöhen in den hoch gelegenen Vivianflächen mit 20 Jahren Entwicklungszeit nach dem Sturm waren den Höhen in den tiefer gelegenen Lotharflächen mit 10 Jahren Entwicklungszeit ähnlich (Abbildung 38-40). Die Höhenzuwachsrate der Bäume war in Lotharflächen etwa 2,5 Mal so gross wie in Vivianflächen.

Baumhöhe und Höhenwachstum unterschieden sich zwischen den Baumarten wie erwartet stark. Am schnellsten wuchsen Pionierarten wie Birken, Weisserlen und Aspen. Auf Lotharflächen gehörten auch Bergahorne und Eschen zu den schnellwüchsigen Baumarten (Abbildung 38-40). Die kleinsten Höhenzuwächse wiesen Fichten, Tannen, Buchen und Vogelbeeren auf. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Zuwächse stark von der erreichten Baumhöhe abhängen: grosse Bäume wachsen i.d.R. rascher als kleine Bäume. Somit vermindert ein zahlreicher Einwuchs, wie er bei Fichten und Buchen auftrat, den mittleren Höhenzuwachs einer Baumart und kaschiert das rasche Wachstum grosser Individuen. Der geringe Zuwachs der Vogelbeere dürfte mindestens teilweise auf den wiederholt starken Verbiss von Pflanzen unter 2 m Höhe (Abbildung 18) zurückzuführen sein.

Die grössten Individuen pro Probekreis – und damit die lokal grössten Bäume, die den Jungwald noch viele Jahre dominieren dürften – hatten sich auf Vivianflächen durchschnittlich drei Jahre vor den übrigen Bäumen etabliert. Auf Lotharflächen gab es keinen solchen Altersunterschied. Auf Vivianflächen war der Altersvorsprung der grössten gegenüber den übrigen Pflanzen besonders bei Lärchen mit 7 Jahren und bei Fichten mit 5 Jahren Vorsprung deutlich, bei Vogelbeeren mit 1 Jahr und bei Weiden mit 2 Jahren Vorsprung hingegen sehr klein. Die zuerst ankommenden bzw. die schon vorhandenen Bäumchen werden also nicht durchwegs eher dominant als später sich einstellende. Bei diesen Interpretationen ist zu berücksichtigen, dass sie auf dem Überwachsen der Erfassungsschwelle von 20 cm Baumhöhe und nicht auf dem Keimjahr beruhen.

Gepflanzte Individuen waren je nach Baumart teils grösser als natürlich verjüngte (Abbildung 40). Der Höhenvorsprung gepflanzter Fichten in Disentis von durchschnittlich 2,4 m bedeutet einen Zeitvorsprung von rund 5-10 Jahren.

4.3 Totholz

Die hohen Totholzvolumina von rund 75 m^3 pro ha auf geräumten Flächen waren eine Überraschung (Priewasser et al. 2012). Die effektiven Totholzmengen sind mit Sicherheit noch grösser, weil Totholz im Boden nicht erfasst wurde. Zwei Gründe dürften hauptsächlich zu diesen hohen Werten beitragen. Erstens war es nach den Stürmen oft nicht möglich, das Sturmholz kostendeckend zu vermarkten, weshalb bei der Räumung von Sturmflächen viele Stämme minderer Qualität zurückgelassen wurden. Dazu trugen die Räumungsprioritäten bei, die aufgrund der Gefahr des Bor-

kenkäferbefalls bei Streuschadenflächen und nicht bei Totalschadenflächen lagen, was die Verschlechterung der Holzqualität durch Pilz- und Insektenbefall begünstigte. Zweitens sind die Holzvorräte in der Schweiz im internationalen Vergleich sehr hoch; zum Beispiel liegen die Vorräte in Schweden bei 111 m^3 pro ha (MCPFE 2007), also bei weniger als einem Drittel der Schweizer Werte, und von dort gelegenen Sturmflächen werden fünf Mal geringere Totholzvolumina berichtet (Gibb et al. 2005). Noch höher als in unserer Studie war mit 108 m^3 pro ha das Totholzvolumen auf einer Windwurffläche in den italienischen Alpen (Bottero et al. 2013).

Im Gegensatz zu geräumten Flächen waren die Totholzvolumina auf belassenen Totalschadenflächen mit 270 m^3 pro ha tiefer als erwartet, indem dieser Wert unter dem Durchschnittsvorrat im Schweizer Wald von z.B. 327 m^3 pro ha in den Alpen und 475 m^3 pro ha in den Voralpen liegt (Cioldi et al. 2010). Wir vermuten, dass ein Beweggrund für das Liegenlassen von Holz nach Sturmwind ein unterdurchschnittliches Holzvolumen war (Priewasser et al. 2012).

Das Totholz auf geräumten und belassenen Flächen war divers, was die Abbaustadien (Abbildung 21-22) und die Stammdurchmesser (Tabelle 11) betrifft. Die stärkere Zersetzung des Holzes in Vivianflächen gegenüber Lotharflächen führen wir auf die längere Zersetzungsdauer zurück. In Lotharflächen zeigt sich auch eine raschere Holzzersetzung in tieferen Lagen (Abbildung 23), was Resultate aus Schweizer Naturwaldreservaten bestätigt (Herrmann et al. 2012).

Die auf geräumten Flächen gefundenen Totholzmengen liegen deutlich über dem durchschnittlichen Totholzvolumen von $21,5\text{ m}^3$ pro ha im ganzen Schweizer Wald (Brändli et al. 2010). Die gefundenen Mengen liegen aber auch über den Minimalmengen von 20 bis 50 m^3 pro ha, welche aus Sicht der Biodiversität für Schweizer Wälder vorgeschlagen wurden (Müller & Bütscher 2010). Dass belassene Windwurfflächen zu den regionalen Totholzmengen punktuell wichtige Beiträge leisten, ist offensichtlich; dies gilt aber aufgrund unserer Resultate auch für geräumte Sturmflächen.

Die Wirkhöhe der liegenden Stämme gegenüber Naturgefahren lag in Vivianflächen mehrheitlich unter 100 cm, in Lotharflächen aber meist noch höher (Abbildung 24 und 44).

4.4 Vergleich von Sturmflächen-Stichprobe und Sturm-Beobachtungsflächen

Die Standorttypen der Sturm-Beobachtungsflächen (Tabelle 13) lassen sich nicht direkt mit den vier Vorbestandestypen der Sturmflächen-Stichprobe (Tabelle 3) vergleichen, weil die Zuordnung bei den Beobachtungsflächen standortkundlich erfolgte, bei der Stichprobe aufgrund des Vorbestandes. Mehrere Sturm-Beobachtungsflächen, die jetzt als Buchenwälder klassiert sind (Tabelle 13, Standorttypen 6-8), wären in der Sturmflächen-Stichprobe aufgrund des Vorbestandes als Fichten- oder Fichten-Tannenwälder eingeteilt worden.

Insgesamt ist die Wiederbewaldung auf den intensiv untersuchten Sturm-Beobachtungsflächen und in der grösseren Sturmflächen-Stichprobe in vielem ähnlich. Dies gilt vor allem für die 4 Vivian- und die 7 Lotharflächen. Hingegen unterscheiden sich die 8 Lothar-Truppflanzungsflächen durch stärkere Vegetationskonkurrenz und spärlichere Verjüngung von den Lotharflächen der Sturmflächen-Stichprobe, was ja

bei der Versuchsanlage beabsichtigt war. Die Sturm-Beobachtungsflächen entsprechen mit ihrer grossen Variabilität der Verjüngung den Stichprobenflächen. Im Gegensatz zu den vier Vivian-Fallbeispielen lassen sich nun mit der Stichprobe viele der gefundenen Resultate generalisieren.

Die teils heterogenen Resultate aus den Sturm-Beobachtungsflächen legen nahe, dass die unterschiedlich behandelten Teilflächen (belassen, geräumt, geräumt und bepflanzt) nicht als Beobachtungseinheiten in Behandlungsexperimenten betrachtet werden dürfen. Die behandelten Flächen unterscheiden sich oft nicht nur durch die Behandlung, sondern auch bezüglich Standortsfaktoren oder dem Vorbestand.

Die Verjüngungsdichten sind auf den Sturm-Beobachtungsflächen tendenziell etwas geringer als in der Sturmflächen-Stichprobe (Abbildung 27). Bezüglich Baumartenzusammensetzung ergeben sich keine Unterschiede (Abbildung 13 und 30). Eine grosse Variabilität der Baumartenzusammensetzung zwischen den Sturmflächen zeigt sich deutlicher in den Sturm-Beobachtungsflächen, weil dort eine grössere Stichprobe von deutlich mehr als 10 Probekreisen pro Behandlungsfläche vorliegt. Die Behandlungseffekte auf die Verjüngungsdichte zeigen sich in beiden Datensätzen, wobei bei den Sturm-Beobachtungsflächen Müntschemier deutlich abweicht (vgl. letzter Abschnitt, Abbildung 27). In beiden Datensätzen zeigt sich zudem der Effekt der Höhenlage (Abbildung 36) und der Vegetationskonkurrenz (Abbildung 37) auf die Verjüngungsdichte. Auch die Höhen-Rangfolge der Baumarten ist in beiden Datensätzen ähnlich (Abbildung 16-17 sowie 38-40).

4.5 Bedeutung der Ergebnisse für die Entscheidungsfindung auf Totalschadenflächen

Die vielfältigen Ergebnisse dieser Studie bedürfen vertiefter Diskussionen mit Fachleuten aus Wissenschaft und Praxis. Diese Diskussionen sollen 2014 u.a. im Rahmen der Gebirgswaldflegegruppe geführt werden. Als Folge sind evtl. weitere Auswertungen der Daten dieser Studie nötig. Ziel der Diskussionen und allfälliger Folgeauswertungen ist zu klären, ob und inwiefern die bestehende Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald (Angst 2008) angepasst werden soll. Da es bei diesen Entscheiden aber wegen des Klimawandels in Zukunft noch stärker als bisher um die Wahl der passenden Baumarten (bzw. ihrer Diversität) oder Herkünfte gehen wird, ist in Erwägung zu ziehen, vor einer Überarbeitung weitere Ergebnisse aus dem Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» von BAFU und WSL abzuwarten.

4.6 Ausblick

Die Ergänzung einer Wiederholungserhebung in 19 Sturm-Beobachtungsflächen mit einer Stichprobe von 90 Sturmflächen hat wesentliche neue Erkenntnisse ermöglicht, die bisherigen Fallstudien-Resultate grundsätzlich erhärtet und das Verständnis der Verjüngungsprozesse auf eine solide empirische Basis gestellt.

Mit den Daten dieser Erhebung wird weitere vertiefte Auswertungen möglich, z.B. zur Ähnlichkeit der Verjüngungsnischen der Baumarten und zur Wirkung der Bodenvegetation auf die Ansamung. Auch Vergleiche der Sturmflächendaten mit Daten des Landesforstinventars, der Indikatorflächen zur Verjüngungskontrolle und der Verjüngungsschlitz (Hirsiger et al. 2013) könnten neue Erkenntnisse bringen.

Sowohl der Detaillierungsgrad der Untersuchungen auf den Beobachtungsflächen als

auch die Sturmflächen-Stichprobe sind für windgeworfene Wälder in Mitteleuropa einzigartig. Die Sturm-Beobachtungsflächen sind so eingerichtet, dass weitere Erhebungen möglich sind. Ob eine Folgeerhebung durchgeführt werden soll, ob schon 2015 oder erst 2020, ob die Erhebung die Sturmflächen-Stichprobe umfassen soll oder nicht und welche Zusatzfragen durch ergänzende Erhebungen beantwortet werden könnten, ist zu gegebenem Zeitpunkt diskutieren. Rasch ist aber die Frage zu beantworten, ob in den Beobachtungsflächen Jungwaldpflegeeingriffe durchgeführt werden sollen und wenn ja, welche. Mehrere Bewirtschafter sind bereits mit dieser Frage an die WSL herangetreten.

Episodisch auftretende Winterstürme werden die Schweizer Wälder weiterhin treffen. Die Bewirtschafter werden daher auch in Zukunft immer wieder vor der Frage stehen, wie im Ereignisfall vorzugehen ist und insbesondere auch, welche Massnahmen zu treffen sind.

Ob eine Folgeinventur in den Sturm-Beobachtungsflächen nach weiteren 5 oder 10 Jahren weitere Erkenntnisse erwarten lässt, ist später zu prüfen. Die Versuchsanlagen sind so versichert, dass eine Folgeinventur möglich wäre.

5 Literatur

- Angst C. 2008. Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald. Vollzugshilfe für die Wahl der Schadensbehandlung im Einzelbestand. Umwelt-Vollzug 0801: 132 S.
- Angst C, Bürgi A, Duelli P, Egli S, Heiniger U, Hindenlang K, Kuhn N, Lässig R, Lüscher P, Moser B, Nobis M, Polomski J, Reich T, Wermelinger B, Wohlgemuth T. 2004. Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000-2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms "Lothar Evaluations- und Grundlagenprojekte". Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 98 S.
- Arévalo JR, DeCoster JK, McAlister SD, Palmer MW. 2000. Changes in two Minnesota forests during 14 years following catastrophic windthrow. *J Veg Sci* 11: 833-840.
- Bachofen H. 2002. Erfassung der Verjüngung in Versuchsflächen der Waldwachstumsforschung; Methode und erste Resultate. In: Kenk G. (Hrsg.) Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung 2002, Schwarzburg, 13.-15. Mai 2002. Freiburg, Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten.
- Bachofen H. 2009. Nachhaltige Verjüngung in ungleichförmigen Beständen. *Schweiz Z Forstwes* 160: 2-10.
- Bottero A, Garbarino M, Long JN, Motta R. 2012. The interacting ecological effects of large-scale disturbances and salvage logging on montane spruce forest regeneration in the western European Alps. *For Ecol Manage* 292: 19-28.
- Brändli UB, Abegg M, Duc P, Ginzler C. 2010. Biologische Vielfalt. In: Brändli UB (Red.) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004-2006. Birmensdorf, Bern, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt BAFU: 187-228.
- Brändli UB, Abegg M. 2009. Ergebnisse des Landesforstinventars LFI3. Der Schweizer Wald wird immer natürlicher. *Wald Holz* 90, 7: 27-29.
- Brang P. 1996. Experimentelle Untersuchungen zur Ansamungsökologie der Fichte im zwischenalpinen Gebirgswald. Dissertation, Professur für Waldbau, ETH Zürich. 375 S.
- Brang P. 1998. Early seedling establishment of *Picea abies* in small forest gaps in the Swiss Alps. *Can J For Res* 28(4): 626-639.
- Brang P, Duc P. 2002. Zu wenig Verjüngung im Schweizer Gebirgs-Fichtenwald: Nachweis mit einem neuen Modellansatz. *Schweiz Z Forstwes* 153: 219-227.
- Brang P, Kull P. 1999. Verjüngungsaufnahmen auf LWF-Flächen: Ziele und Methoden. Unveröff., 11 S.
- Cioldi F, Baltensweiler, A, Brändli UB, Duc P, Ginzler C, Herold Bonardi A, Thürig E, Ulmer U. 2010. In: Brändli UB (Red.) Waldressourcen. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004-2006. Birmensdorf, Bern, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt BAFU: 31-113.
- Cooper-Ellis S, Foster DR, Carlton G, Lezberg A. 1999. Forest response to catastrophic wind: Results from an experimental hurricane. *Ecology* 80: 2683-2696.
- Eidg. Forschungsanstalt WSL und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (Hrsg.) 2001. Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Birmensdorf, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. 365 S.
- Fischer A, Fischer HS. 2012. Individual-based analysis of tree establishment and forest stand development within 25 years after windthrow. *Eur J For Res* 131: 493-501.
- Fischer A, Lindner M, Abs C, Lasch P. 2002. Vegetation dynamics in Central European forest ecosystem (near-natural as well as managed) after storm events. *Folia Geobotanica* 37: 17-32.
- Gibb H, Ball JP, Johansson T, Atlegrim O, Hjältén J, Danell K. 2005. Effects of management on coarse woody debris volume and composition in boreal forests in northern Sweden. *Scand J For Res* 20: 213-222.
- Greene DF, Johnson, EA. 1996. Wind dispersal of seeds from a forest into a clearing. *Ecology* 77:

595-609.

Greene DF, Zasada JC, Sirois L, Kneeshaw D, Morin H, Charron I, Simard MJ. 1999. A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species. *Can J For Res* 29: 824-839.

Herrmann S, Conder M, Brang P. 2012. Totholzvolumen und -qualität in ausgewählten Schweizer Naturwaldreservaten. *Schweiz Z Forstwes* 163(6): 222-231.

Hirsiger E, Gmür P, Wasem U, Wunder J, Brang P. 2013. 10 Jahre Erfolgskontrolle in schlitzförmigen Lücken. *Wald Holz* 94(3): 29-32.

Holeksa J. 1998. Rozpad drzewostanu i odnowienie swierka a struktura i dynamika karpackiego boru gornoreglowego [Breakdown of tree stand and spruce regeneration versus structure and dynamics of a Carpathian subalpine spruce forest]. *Monographiae Botanicae* 82: 209 S.

Holenstein B. 1994: Sturmschäden 1990 im Schweizer Wald. *Schriftenreihe Umwelt* Nr. 218, Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft (BUWAL), Bern 41 S.

Hylander K, Dynesius M. 2006. Causes of the large variation in bryophyte species richness and composition among boreal streamside forests. *J Veg Sci* 17:333-346.

Illiison T, Köster K, Vodde F, Jogiste K. 2007. Regeneration development 4-5 years after a storm in Norway spruce dominated forests, Estonia. *For Ecol Manage* 250: 17-24.

Imbeck H, Ott E. 1987. Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneeeablagerung und der Lawinenbildung. *Mitteilungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung* 42: 202 S.

Indermühle M, Raetz P, Volz R. 2005. Lothar. Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. *Umwelt-Materialien* 184, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 145 S.

Jonášová M, Vávrová E, Cudlín P. 2010. Western Carpathian mountain spruce forest after a windthrow: Natural regeneration in cleared and uncleared areas. *For Ecol Manage* 259: 1127-1134.

Koch R, Brang P. 2005. Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar. *Schlussbericht zuhanden der Forstdirektion des BUWAL*. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 90 S.

Kompa T, Schmidt W. 2006. Zur Verjüngungssituation in südniedersächsischen Buchen-Windwurffgebieten nach einem lokalen Orkan von 1997. *Forstarchiv* 77: 3-19.

Kreyling J, Schmiedinger A, Macdonald E, Beierkuhnlein C. 2008. Potentials of natural tree regeneration after clearcutting in subalpine forests. *West J Appl Forestry* 23: 46-52.

Kupferschmid AD, Bugmann H. 2005. Predicting decay and ground vegetation development in *Picea abies* snag stands. *Plant Ecol* 179: 247-268.

Lang KD, Schulte LA, Guntenspergen GR. 2009. Windthrow and salvage logging in an old-growth hemlock-northern hardwoods forest. *For Ecol Manage* 259: 56-64.

Lässig R, Schönenberger W. 1993. Forschung auf Sturmschadenflächen in der Schweiz. *Forst Holz* 48(9): 244-249.

MCPFE. 2007. State of Europe's forests 2007. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe. In: MCPFE, UNESCO, FAO (Eds.), Warsaw, 263 S.

Mills SE, Macdonald SE. 2004. Predictors of moss and liverwort species diversity of microsites in conifer-dominated boreal forest. *J Veg Sci* 15:189-198.

Močalov SA, Lässig R. 2002. Development of two boreal forests after large-scale windthrow in the Central Urals. *For Snow Landsc Res* 77: 171-186.

Mosandl R, El Kateb H. 1988. Die Verjüngung gemischter Bergwälder - Praktische Konsequenzen aus zehnjähriger Untersuchungsarbeit. *Forstwiss Cbl* 107: 2-13.

Moser B, Schütz M, Hindenlang KE. 2008. Resource selection by roe deer: Are windthrow gaps attractive feeding places? *For Ecol Manage* 255: 1179-1185.

Müller J, Büttler R. 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *Eur J For Res* 129: 981–992.

Ott E, Frehner M, Frey HU, Lüscher P. 1997. Gebirgsnadelwälder: Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern, Stuttgart, Wien, Paul Haupt. 287 S.

- Palik B, Kastendick D. 2009. Woody plant regeneration after blowdown, salvage logging, and prescribed fire in a northern Minnesota forest. *For Ecol Manage* 258: 1323-1330.
- Peterson CJ, Leach AD. 2008. Salvage logging after windthrow alters microsite diversity, abundance and environment, but not vegetation. *Forestry* 81: 361-376.
- Priewasser K, Wohlgemuth T, Brang P, Bachofen H, Bugmann H. 2012. High deadwood volume and diversity after windthrow in cleared and uncleared deciduous and coniferous Swiss forests. *Eur J For Res* [DOI 10.1007/s10342-012-0670-1]
- Priewasser K. 2013. Factors influencing tree regeneration after windthrow in Swiss forests. PhD dissertation, ETH Zurich, Zurich, 151 S.
- Scherrer Ingenieurbüro AG. 2001. Sturmschadeninventar Lothar 1999. Bericht über die Ergebnisse der Sturmschadenerfassung vom Orkan Lothar anhand von normalfarbigen Luftbildern. Nesslau, Scherrer Ingenieurbüro AG, 52 S.
- Schönenberger W. 2002. Windthrow research after the 1990 storm Vivian in Switzerland: objectives, study sites, and projects. *For Snow Landsc Res* 77: 9-16.
- Schreiner M. 2000. Vorkommen und Ausbreitung von Brombeeren sowie ihre Bedeutung für die Naturverjüngung von Tannen-Fichten-Wäldern - dargestellt am Beispiel der Region "Oberer Neckar". Dissertation Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i.Br., 198 S.
- Svoboda M, Fraver S, Janda P, Bace R, Zenáhliíková J. 2010. Natural development and regeneration of a central European montane spruce forest. *For Ecol Manage* 260: 707-714.
- Van Couwenberghe R, Collet C, Lacombe E, Pierrat JC, Gegout JC. 2010. Gap partitioning among temperate tree species across a regional soil gradient in windstorm-disturbed forests. *For Ecol Manage* 260: 146-154.
- Van Couwenberghe R. 2011. Tree-seedling and forest-vegetation dynamics defined by local and broad scale ecological variables. Thèse AgroParisTech, Nancy.
- Vellak K, Paal J, Liira J. 2003. Diversity and distribution pattern of bryophytes and vascular plants in a boreal spruce forest. *Silva Fennica* 37: 3-13.
- Wohlgemuth T, Kull P, Wüthrich H. 2002. Disturbance of microsites and early tree regeneration after windthrow in Swiss mountain forests due to the winter storm Vivian 1990. *For Snow Landsc Res* 77(1/2): 17-47.
- Wohlgemuth T, Conedera M, Moser B, Nobis M, Brang P, Dobbertin M. 2008. Klimawandel, Extremereignisse und Walddynamik. *Schweiz Z Forstwes* 159: 336-343.
- Zhao DH, Allen B, Sharitz RR. 2006. Twelve year response of old-growth southeastern bottomland hardwood forests to disturbance from Hurricane Hugo. *Can J For Res* 36: 3136-3147.
- Zielonka T. 2006. Quantity and decay stages of coarse woody debris in old-growth subalpine spruce forests of the western Carpathians, Poland. *Can J For Res* 36: 2614-2622.

6 Anhang

6.1 Methoden

6.1.1. Merkmale der Erhebung in der Sturmflächen-Stichprobe

Tabelle 16. In der Sturmflächen-Stichprobe erfasste Gehölzarten.

Typ	Code	Kürzel	lateinischer Name	Deutsche Bezeichnung
Bäume	25	As	<i>Populus tremula</i>	Aspe
	18	Av	<i>Pinus cembra</i>	Arve
	4	Bah	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn
	66	BFö	<i>Pinus mugo</i>	Aufrechte Bergföhre
	71	Bi	<i>Betula pendula</i>	Hängebirke
	10	Bu	<i>Fagus sylvatica</i>	Buche
	44	BUI	<i>Ulmus glabra</i>	Bergulme
	49	Bux	<i>Buxus sempervirens</i>	Buchsbaum
	28	Dou	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Douglasie
	37	Els	<i>Sorbus torminalis</i>	Elsbeere
	11	Es	<i>Fraxinus excelsios</i>	Esche
	2	FAh	<i>Acer campestre</i>	Feldahorn
	59	Faulb	<i>Frangula alnus</i>	Faulbaum
	30	FEi	<i>Quercus pubescens</i>	Flaumeiche
	17	Fi	<i>Picea abies</i>	Fichte
	21	Fö	<i>Pinus sylvestris</i>	Waldföhre
	9	HaBu	<i>Carpinus betulus</i>	Hagebuche
	46	Ilex	<i>Ilex aquifolium</i>	Stechpalme
	16	JLÄ	<i>Larix leptolepis</i>	Japanische Lärche
	26	Ki	<i>Prunus avium</i>	Kirschbaum
	52	KornKi	<i>Cornus mas</i>	Kornellkirsche
	15	Lä	<i>Larix decidua</i>	Europäische Lärche
		Li	<i>Tilia sp.</i>	Linde
	35	MBe	<i>Sorbus aria</i>	Mehlbeere
	8	MBi	<i>Betula pubescens</i>	Moorbirke
	14	Nu	<i>Juglans regia</i>	Nussbaum
	2	Pa	<i>Populus sp.</i>	Pappel
	32	REi	<i>Quercus rubra</i>	Roteiche
	33	Rob	<i>Robinia pseudacacia</i>	Robinie
	3	SAh	<i>Acer platanoides</i>	Spitzahorn
	31	SEi	<i>Quercus robur</i>	Stieleiche
	5	SEr	<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarzerle
		SFö	<i>Pinus nigra</i>	Schwarzföhre
	41	SLi	<i>Tilia platyphyllos</i>	Sommerlinde
	23	SPa	<i>Populus nigra</i>	Schwarzpappel
	68	SWei	<i>Salix caprea</i>	Salweide
	1	Ta	<i>Abies alba</i>	Tanne
	39	Tax	<i>Taxus baccata</i>	Eibe
	29	TEi	<i>Quercus petraea</i>	Taubeneiche
	27	TKi	<i>Prunus padus</i>	Traubenkirsche
	69	UI	<i>Ulmus sp.</i>	Ulme

Typ	Code	Kürzel	Lateinischer Name	Deutsche Bezeichnung
	36	Vobe	<i>Sorbus aucuparia</i>	Vogelbeere
	34	Wei	<i>Salix sp.</i>	Weide
	6	WEr	<i>Alnus incana</i>	Weisserle
	20	Wey	<i>Pinus strobus</i>	Strobe
	40	WLi	<i>Tilia cordata</i>	Winterlinde
	22	WPa	<i>Populus alba</i>	Weisspappel
	42	üL		Übrige Laubbäume
	43	üN		Übrige Nadelbäume
Sträucher	48	Berb	<i>Berberis vulgaris</i>	Berberitze
	50	Gbl	<i>Lonicera sp.</i>	Geissblatt
	61	GSchn	<i>Viburnum opulus</i>	Gewöhnlicher Schneeball
	53	Hasel	<i>Corylus avellana</i>	Hasel
	56	KDorn	<i>Rhamnus cathartica</i>	Kreuzdorn
	67	LegFö	<i>Pinus mugo subsp.</i>	Legföhre
	57	Lig	<i>Ligustrum vulgare</i>	Liguster
	58	Pfa	<i>Euonymus europaeus</i>	Pfaffenhütchen
	51	RHatr	<i>Cornus sanguinea</i>	Roter Hartriegel
	55	RHo	<i>Sambucus racemosa</i>	Roter Holunder
	65	Rose	<i>Rosa canina</i>	Hundsrose
	62	SDorn	<i>Prunus spinosa</i>	Schwarzdorn
	54	SHo	<i>Sambucus nigra</i>	Schwarzer Holunder
	45	Wachh	<i>Juniperus communis</i>	Gewöhnlicher Wachholder
	63	WDorn	<i>Crataegus sp.</i>	Weissdorn
	60	WSchn	<i>Viburnum lantana</i>	Wolliger Schneeball
	64	üSt		Übrige Sträucher
	0	Ueb		Übrige Gehölze



Abbildung 45. Ausrüstung für die Erhebung in der Sturmflächen-Stichprobe. Foto: H. Bachofen, 8.10.2011.

Tabelle 17. Beschreibung der in der Sturmflächen-Stichprobe erhobenen Merkmale.

Merkmal	Einheit/Kategorien	Bemerkungen
Probekreis-Parameter		
Probekreis-ID		
X-Y-Z-Koordinaten	Landeskoordinaten	Für die Punkte V00, H00 und HE (aus GIS)
X-Y-Z-Koordinaten der 6 Probekreise	Landeskoordinaten	In Excel berechnet
Exposition	Gon	Gemessen mit Meridianbussole
Hangneigung	%	Gemessen mit Meridianbussole (Hangfalllinie vom Kreiszentrum aus bergwärts bis zur Peripherie des Kreisplots)
Samenbaum-Merkmale		
Gehölzart-S		s. Tabelle 19
Baumhöhe-S	cm	Mit Nikon Forestry 550 gemessen
Distanz zum Probekreiszentrums	cm	Mit Nikon Forestry 550 gemessen
Neigung Probekreiszentrums-Stammfuss des Samenbaums	Gon	Messung mit Meridian Kompasbussole
Azimut Probekreiszentrums-Samenbaum	Gon	Messung mit Meridianbussole
Transektt-Merkmale		
Punkt-ID		

Merkmal	Einheit/Kategorien	Bemerkungen
Bedeckende Art	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Gehölz • 2 Farn <ul style="list-style-type: none"> - 2a Adlerfarn • 3 Beerensträucher <ul style="list-style-type: none"> - 3b Brombeeren - 3h Himbeeren • 4 Süßgräser <ul style="list-style-type: none"> - 4c <i>Calamagrostis sp.</i> • 5 Binsengewächse (<i>Juncus sp.</i>, <i>Luzula sp.</i>) • 6 Sauерgräser (<i>Carex</i>-Arten) • 7 Kräuter • 8 Hochstauden <ul style="list-style-type: none"> - 8a Alpendost - 8p Pestwurz • 9 keine Vegetation (Totholz, Stein, Weg, etc.) 	Punktentscheid

Einzelbaumparameter für Gehölzpflanzen ≥ 20 cm (im Kreis)

Gehölzart≥20		s. Tabelle 19
BHD	mm	
Baumhöhe≥20	cm	Lotrechte Höhe gemessen mit 4 m-Höhenmessstab, über ca. 6 m Höhe mit Nikon Forestry
Verjüngungszeitpunkt	<ul style="list-style-type: none"> • vorverjüngt • nachverjüngt 	Astquirl- oder Knospenschuppenzählung Jahrringzählung an Bäumen ausserhalb der Stichprobe Jahrringzählung an bodennahen Ästen oder Schätzung
Schäden≥20	<ul style="list-style-type: none"> • Haupttrieb mehrmals verbissen • Gefegt/geschält • Andere Schäden 	Siehe unter Schäden
Substrat	<ul style="list-style-type: none"> • Moderholz • Waldboden 	

Einzelbaumparameter für Gehölzpflanzen < 20 cm und älter 1 Jahr (im Quadrat)

Gehölzart<20		s. Tabelle 19
Baumhöhe<20	cm	Lotrechte Höhe gemessen mit Doppelmeter
Schäden<20		Siehe unter Schäden

Boden-Merkmale

Mächtigkeit der Streuschicht	cm	
Deckungsgrad der Streuschicht	%	
Mächtigkeit der organischen Auflage	cm	Probenahme
Tiefe der Kalkgrenze	cm	Distanz zur Bodenoberfläche Mit Bohrstock und verdünnter HCl-Lösung bestimmt Im Labor bestimmt
pH		

6.1.2. Merkmale der Verjüngungserhebung 2010 in den Sturm-Beobachtungsflächen

Tabelle 18. Beschreibung der auf den Sturm-Beobachtungsflächen erhobenen Merkmale.

Merkmal	Einheit/Kategorien	Bemerkungen
Plotdaten i.e.S.		
Aufnahmedatum		
Aufnahmeteam		Sandra Hilfiker (SH), Barbara Roth (BR)
Deckungsgrad	%	Auf 1% genau, die Summe aller Deckungsgrade ohne Gehölzdeckungsgrad beträgt 100%
Deckungsgrad Brombeeren	%	
Deckungsgrad Himbeere	%	
Deckungsgrad Adlerfarn	%	
Deckungsgrad andere Farne	%	
Deckungsgrad Gräser, Seggen, Simsen	%	
Deckungsgrad Hochstauden	%	<i>Adenostyles sp., Epilobium montanum, Cicerbita alpina, Petasites albus</i>
Deckungsgrad Zwersträucher	%	<i>Vaccinium sp., Rhododendron sp., Erica sp.</i>
Deckungsgrad Binsen	%	
Deckungsgrad Moose	%	
Deckungsgrad andere	%	
Vegetation (ohne Gehölze)		
Deckungsgrad nicht bewachsen	%	
Deckungsgrad Gehölze	%	Auch von Gehölzen mit Stammfuss ausserhalb des Probekreises
Totholz: liegende Stammstücke		
Holzart		<ul style="list-style-type: none"> • Lb = Laubbaum • Nd = Nadelholz • 99 = unbekannt
Länge	cm	Länge des Stammes zwischen den beiden äussersten Messpunkten (1 & 2) innerhalb des Plots mit Stammdurchmesser ≥ 10 cm
Durchmesser 1	cm	Stammdurchmesser ≥ 10 cm bei Messpunkt 1
Durchmesser 2	cm	Stammdurchmesser ≥ 10 cm bei Messpunkt 2
Höhe 1	cm	Höhe am Messpunkt 1, lotrecht gemessen von der Unterseite des Stammes bis zum Boden
Höhe 2	cm	Höhe am Messpunkt 2, lotrecht gemessen von der Unterseite des Stammes bis zum Boden
Festigkeit (Abbaustadium)	1, 2, ... , 7, 8	Kriterien s. Tabelle 4. Prüfung an drei Stellen
Totholz: Strünke < 100 cm Höhe		
Holzart		<ul style="list-style-type: none"> • Lb = Laubbaum • Nd = Nadelholz • 99 = unbekannt
Durchmesser der Schnittfläche des Strunks	cm	
Anteil (%) der Strunkfläche innerhalb des Plots	%	
Festigkeit (Abbaustadium)	1, 2, ... , 7, 8	Kriterien s. Tabelle 4.
Gehölzverjüngung auf Moderholz		
1. Gehölzart auf Moderholz		Artenliste Codes s. Tabelle 19
Anzahl 1. Gehölzart < 20 cm auf Moderholz (im Plot)		Aufnahme nur falls Totholz im entsprechenden Plot vorhanden und nur von Gehölzen < 20 cm Höhe.

Merkmal	Einheit/Kategorien	Bemerkungen
Anzahl Gehölzpflanzen < 20 cm auf Strunk bzw. Stamm (im Plot)		
Gehölzverjüngung < 20 cm		
1. Gehölzart		Zählung aller Gehölzpflanzen < 20 cm in quadratischer 1 m ² -Probefläche (ohne Neigungskorrektur), deren Diagonale in Nordrichtung verläuft, mit Eckpunkt auf äusserstem Plotrand; Codes s. Tabelle 19
Anzahl Pflanzen 1. Gehölzart		
2. Gehölzart		Codes s. Tabelle 19
Anzahl Pflanzen 2. Gehölzart		
3. Gehölzart		Codes s. Tabelle 19
Anzahl Pflanzen 3. Gehölzart		
Baumdatenformular		
Azimut	Gon	Richtung vom SP-Zentrum zum Stammfuss der Pflanze
Distanz	cm	Abstand der Pflanze vom SP-Zentrum zum Stammfuss der Pflanze
Gehölzart		Codes s. Tabelle 19
Verjüngungsart	<ul style="list-style-type: none"> • Nat Naturverjüngung • Pflanz Pflanzung • SA Stockausschlag 	
Baumhöhe bei der letzten Erhebung Höhe09	cm	Vorgabe zur Erleichterung der Identifizierung
	cm	Die Höhe Anfang Vegetationsperiode 2010 wird von der Stammbasis senkrecht bis zum Ansatz der im letzten Jahr gebildeten Knospe auf 1 cm genau (Bäume < 350 cm) bzw. 10 cm genau (Bäume > 350 cm) gemessen. Als Messgeräte dienen Jalon mit Doppelmeter, und ab ca. 5 m Höhe das Vertex-Messgerät. Bei Stockausschlägen wird der höchste Trieb gemessen. Bei Bäumen, die durch Totholz oder andere Gehölze überdeckt oder umgedrückt sind, wird der höchste Punkt gemessen. Höhenschätzungen (bei Dichtstand, kein Einsatz des Vertex-Messgerätes möglich) werden mit Stern [*] markiert.
Verbissform10	<ul style="list-style-type: none"> • K Kollerbusch (Geissentannli) • Sp Spindel • St Stummel • M Mehrstämmig • B Busch 	Typen s. Abbildung 46, wie bei der Verjüngungserhebung 2005 auf Vivian-Versuchsfächern. „N“ für „Normaler Wuchs“ wurde 2010 nicht vergeben.
BHD	mm	Brusthöhendurchmesser bei Bäumen mit Höhe ≥ 130 cm, wird mit Schieblehre bei 130 cm gemessen. Die Messstelle wird nicht markiert. Im Jahr 2010 erstmals erfasste Einzelbäume erhalten als Einwuchsjahr „2010“, als Jahr der Erstaufnahme.
Einwuchsjahr		Gilt ein Einzelbaum als verschwunden oder tot (s. Merkmal Vitalität), so wird das Todesjahr (als Jahr der ersten Feststellung des Todes bzw. des
Todesjahr		

Merkmal	Einheit/Kategorien	Bemerkungen
Vitalität	<ul style="list-style-type: none"> • 0 tot • 1 lebend • 9 verschwunden 	Verschwindens) erfasst.
Schaden10	<ul style="list-style-type: none"> • FE Stamm gefegt: Schaden durch Wild verursacht • SC Stamm geschält: Schaden durch Wild verursacht, meist durch das Ritzen mit den Zähnen an der Rinde. • DU Überdeckt: Zumessendes Gehölz wird von einem anderen Baum oder Totholz überdeckt. Stamm oft nicht vertikal nach oben wachsend, sondern gekrümmmt oder gebeugt und eher horizontal wachsend. • SB Stammbroch • WU Entwurzelt • LI Liegend • And Andere Schäden 	Aufgrund einer Prüfung der Häufigkeit der Anteile der Schäden in früheren Erhebungen (s. «Anzahl Schaden1 und Schaden2 in Viviandaten.doc») wurden die häufigsten Schäden im Aufnahmehr Jahr 2010 definiert. «überdeckt» kam nicht häufig vor, ist aber für das Wiederauffinden relevant.
Bemerkungen10	<p>Beschreibender Text, oder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ES Einzelschutz • MO wächst auf Moderholz • GV Gipfeltriebverbiss • Schnitt Gehölz wurde geschnitten • SA Stockausschlag • WT wächst auf Wurzelsteller 	
KollAnfAzi	Gon	Anfangsrichtung (Azimut) des Kollektivs (Vorgabe)
KollEndAzi	Gon	Endrichtung (Azimut) des Kollektivs (Vorgabe)
KollAnzahl03		Anzahl Bäume, die im Kollektiv integriert sind (Vorgabe)

Tabelle 19. Codierung der Gehölzarten in den Sturm-Beobachtungsflächen.

Kürzel	Baumart	Code	TKi	Traubenkirsche	27
			ueb	übrige	0
As	Aspe	25	üL	übrige Laubbäume	42
Av	Arve	18	Ul	Ulme	69
BAh	Bergahorn	4	üSt	übrige Sträucher	64
Berb	Berberitze	48	Vobe	Vogelbeere	36
BEs	Blumenesche	12	Wachh	Gewöhnlicher Wachholder	45
BFö	Aufrechte Bergföhre	66	WDorn	Weissdorn	63
Bi	Birke	71	Wei	Weide	34
Bu	Buche	10	Wer	Weisserle	6
BUI	Bergulme	44	Wey	Strobe, Weymouth-Kiefer	20
Bux	Buchsbaum	49	WLi	Winterlinde	40
Dou	Douglasie	28	WPa	Weisspappel	22
Els	Elsbeere	37	WSchn	Wolliger Schneeball	60
Es	Esche	11			
FAh	Feldahorn	2			
Faulb	Faulbaum	59			
FEi	Flaumeiche	30			
Fi	Fichte	17			
Fö	Waldföhre	21			
Gbl	Geissblatt	50			
GSchn	Gewöhnlicher Schneeball	61			
HaBu	Hagebuche	9			
Hasel	Hasel	53			
HBi	Hängebirke	7			
Ilex	Stechpalme	46			
JLä	Japanische Lärche	16			
KDorn	Kreuzdorn	56			
Ki	Kirsche	26			
KornKi	Kornellkirsche	52			
Lä/Lae	Europäische Lärche	15			
LegFö	Leg-Föhre	67			
Lig	Liguster	57			
MBe	Mehlbeere	35			
MBi	Moorbirke	8			
Nu	Nussbaum	14			
Pa	Pappel	24			
Pfa	Pfaffenhütchen	58			
REi	Roteiche	32			
RHatr	Roter Hartriegel	51			
RHo	Roter Holunder	55			
Rob	Robinie	33			
Rose	Hundsrose	65			
SAh	Spitzahorn	3			
SDorn	Schwarzdorn	62			
SEi	Stieleiche	31			
SEr	Schwarzerle	5			
SFö	Schwarzföhre	19			
SHo	Schwarzer Holunder	54			
SLi	Sommerlinde	41			
SPA	Schwarzpappel	23			
SWei	Salweide	68			
Ta	Weisstanne	1			
Tax	Eibe	39			
Tei	Traubeneiche	29			

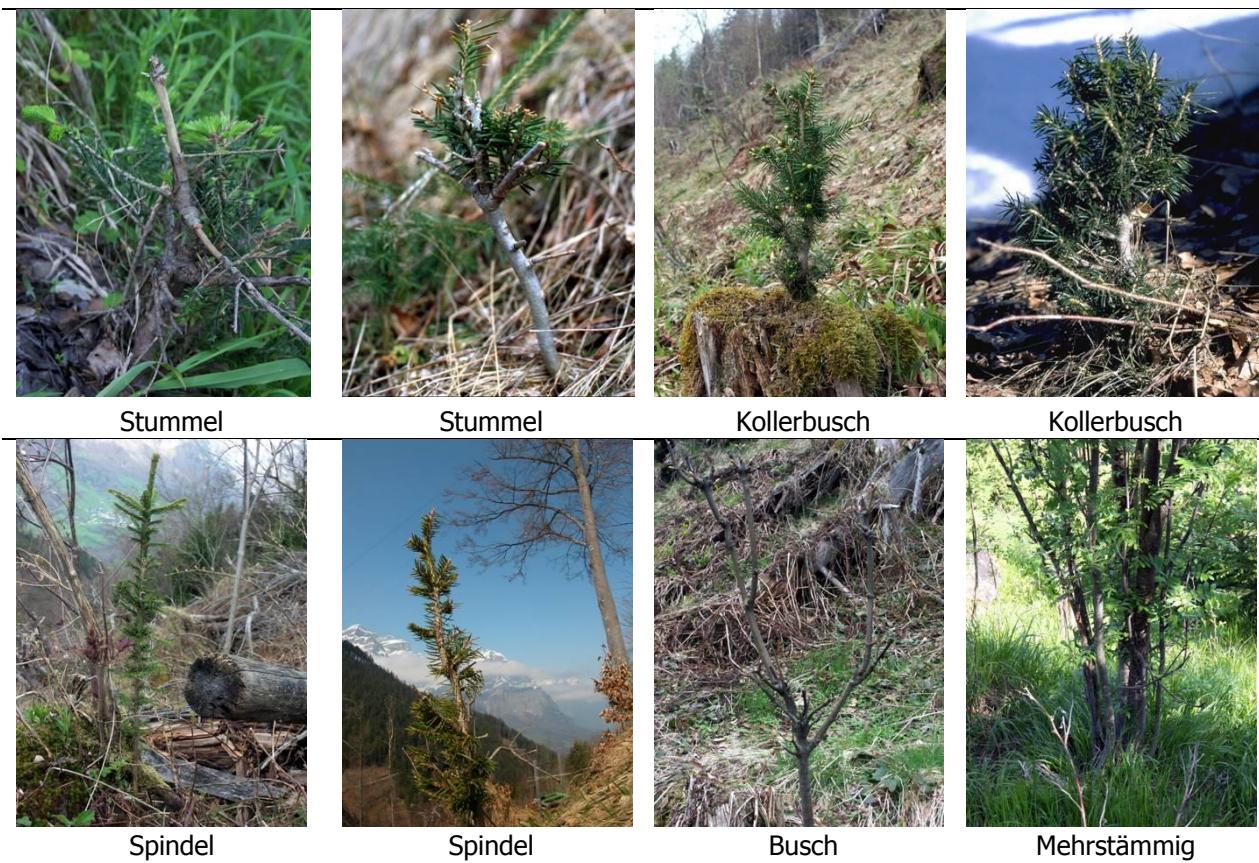


Abbildung 46. Verbissform-Typen der Inventur 2010.



Abbildung 47. Stamm gefegt (Code FE, links) bzw. geschält (Code SC, rechts).

Kollektive

Bei früheren Erhebungen wurden dicht stehende Bäume in Lothar-Versuchsflächen tw. als Kollektive aufgenommen. Kriterien für Kollektive waren: a) optisch eine Einheit bildend, b) gleiche Höhenklasse, c) gleiche Art. In Kollektiven wurden die Individuen inkl. eines Repräsentanten gezählt. Der Repräsentant wurde gemessen, er musste etwa im Zentrum des Kollektivs stehen und durchschnittlichen Wuchs aufweisen, d.h. das Kollektiv repräsentieren. Im Aufnahmejahr 2010 wurden alle früher in Kollektiven integrierte Bäume als Einzelbäume aufgenommen.

6.2 Zusatzinformationen zur Sturmflächen-Stichprobe

Tabelle 20. Sturmflächen-Stichprobe: Charakteristiken der Sturmflächen und Datenumfang. – Flächen-ID = Kantonsabkürzung und Laufnummer; Behandlung: B = belassen, R = geräumt, RP = geräumt und Jungwaldpflege durchgeführt. Vorbestandestyp: Bu = Buchenbestände, Ta-Bu = Tannen-Buchenbestände, Ta-Fi=Fichten-Tannenbestände, Fi = Fichtenbestände. Die Koordinaten beziehen sich auf die Flächenmitte.

Flächen-ID	X-Koordinate	Y-Koordinate	Gemeinde	Lokalname	Höhe ü. M. [m]	Grösse der Windwurffläche [ha]	Sturmereignis	Behandlung	Vorbestandestyp	Probekreisgrösse [m ²]
AG 1	639021	258315	Wittnau	Limpberg	644	5,3	Lothar	B	Fi-Ta	20
AG 2	657670	257777	Haufen	Galgehübel	425	16,0	Lothar	B	Ta-Bu	20
AG 3	664755	245776	Wohlen	Chintis	464	6,0	Lothar	B	Bu	20
AG 4	664713	245658	Wohlen	Chintis	473	6,0	Lothar	R	Bu	20
AG 5	643503	236179	Bottwil	Sulbach	620	4,2	Lothar	B	Ta-Bu	20
AG 6	641142	258496	Wittnau	Alteberg	581	3,2	Lothar	R	Bu	20
AG 7	657529	258156	Haufen	Galgehübel	406	6,0	Lothar	B	Ta-Bu	20
AG 8	666746	246205	Bremgarten	Schwändacher	370	9,7	Lothar	R & P	Bu	20
AG 9	656927	256627	Haufen	Tannhübel	453	20,5	Lothar	R	Ta-Bu	20
AG 10	658322	245653	Dintikon	Hohwacht	652	14,9	Lothar	R & P	Bu	20
AG 11	647687	239468	Schöftland	Chlack	581	3,2	Lothar	B	Fi-Ta	20
AG 12	664726	256932	Baden	Baregg	524	20,2	Lothar	B	Bu	20
AG 13	667146	246241	Bremgarten	Fohlenweid	373	12,0	Lothar	R & P	Bu	20
AG 14	661883	241142	Sarmenstorf	Buechwald	584	8,1	Lothar	B	Bu	20
AG 15	661787	241140	Sarmenstorf	Buechwald	590	8,1	Lothar	R	Bu	20
BE 1	597054	158295	Zweisimmen	Mariedwald	1537	5,2	Vivian	B	Fi	50
BE 2	645628	173941	Brienz	Windegg	1646	4,0	Vivian	R	Fi	50
BE 3	604279	165964	Därstetten	Pfuerndweid	1197	4,9	Lothar	R	Fi-Ta	20
BE 4	630088	210307	Sumiswald	Chäpplergfäl	943	10,4	Lothar	R	Ta-Bu	20
BE 5	594575	164496	Boltigen	Uf de Flüene	1341	5,7	Lothar	B	Fi	50
BE 6	620592	211274	Rüegsau	Mützige-Buechacher	773	3,2	Lothar	R	Fi-Ta	20
BE 7	619783	209763	Rüegsau	Bachhus	711	4,2	Lothar	R	Fi-Ta	20
BE 8	577094	207644	Brüttelen	Uf der Flue	543	4,3	Lothar	R	Bu	20
BE 9	614293	182095	Steffisburg	Hubel	759	12,7	Lothar	B	Bu	20
BE 10	622671	162987	Reichenbach	Bürtweid	1403	5,4	Lothar	R	Fi	50
BE 11	602036	158861	Diermtigen	Weeri	1456	11,0	Lothar	B	Fi	50
BE 12	584379	139837	Gsteig	Schwänd	1435	3,8	Lothar	R	Fi-Ta	50
BE 13	603528	208422	Urtenen	Buebeloo	554	11,3	Lothar	R & P	Bu	20
BE 14	626992	206230	Trachselwald	Vorderholz	891	4,5	Lothar	R	Ta-Bu	20
BE 15	602367	161851	Diermtigen	Grundmatte	1364	16,6	Lothar	B	Fi	50
BE 16	579384	207509	Müntschemier	Grampert	456	19,2	Lothar	B	Bu	20
BE 17	619276	199184	Landiswil	Hinderegg	999	10,9	Lothar	R	Fi	20
BE 18	625458	185153	Röthenbach	Buechschache	978	3,9	Lothar	R	Fi-Ta	20
BE 19	617259	158677	Frutigen	Hofuri	921	9,7	Lothar	R	Fi	20
BE 20	618733	152546	Kandergrund	Uf der Flue	1180	8,8	Lothar	B	Fi-Ta	20
BE 21	615530	200812	Walkringen	Brandiswald	926	11,9	Lothar	B	Fi-Ta	20
FR 1	565941	178252	La Brillaz	La Daude	741	3,1	Lothar	R	Bu	20
FR 2	579229	158047	Villard-Vollard	La Générale	1507	9,3	Lothar	B	Fi-Ta	50

Flächen-ID	X-Koordinate	Y-Koordinate	Gemeinde	Lokalname	Höhe ü. M. [m]	Grösse der Windwurffläche [ha]	Sturmereignis	Behandlung	Vorbestandestyp	Probekreisgrösse [m ²]
FR 3	578563	156708	Charmey	L'Egretse	1515	4,4	Lothar	B	Ta-Bu	50
FR 4	564749	154207	Châtel-St-Denis	Creux de l'Ours	1245	7,4	Lothar	R	Fi-Ta	50
FR 5	564846	154336	Châtel-St-Denis	Creux de l'Ours	1266	7,4	Lothar	B	Ta-Bu	50
FR 6	578768	198257	Murten	Bloster	570	17,9	Lothar	R & P	Bu	20
GL 1	725451	202410	Schwanden	Auerenwald	1393	6,2	Vivian	R	Fi	50
GL 2	731139	217393	Obstalden	Firzwald	1342	12,1	Vivian	R	Fi	50
GL 3	725912	204592	Schwanden	Nüenhüttenwald	1076	10,0	Vivian	B	Fi	50
GL 4	725785	204591	Schwanden	Nüenhüttenwald	993	10,0	Vivian	R	Fi	50
GR 1	707017	170660	Disentis	Fontaunas	1480	59,6	Vivian	B	Fi	50
GR 2	706909	170559	Disentis	Fontaunas	1469	59,6	Vivian	R	Fi	50
GR 3	771307	195438	Jenaz	Varnexatobel	1456	10,7	Vivian	B	Fi	50
GR 4	705519	171503	Disentis	Run Cunel	1549	11,4	Vivian	R	Fi-Ta	50
GR 5	707481	169292	Medel	Plaun Pardatsch	1619	12,0	Vivian	R	Fi	50
GR 6	745441	176033	Safien	Chopf	1505	15,4	Vivian	R	Fi	50
GR 7	713270	173763	Sumvitg	Bostg	1565	4,0	Vivian	R	Fi	50
JU 1	578942	257145	Bonfol	Bois des Boulats	461	1,9	Lothar	R & P	Bu	20
LU 1	635188	220753	Zell	Zeller Wald	756	5,2	Lothar	R & P	Bu	20
LU 2	667869	215652	Ebikon	Hundsrücke	464	3,3	Lothar	B	Fi	20
LU 3	650513	204540	Entlebuch	Flachsbody	1024	3,3	Lothar	R	Fi	20
NE 1	541944	204521	La Chaux-du-Milieu	Plans Dernier	1202	11,7	Lothar	R	Ta-Bu	50
NE 2	545089	199439	Noiraigue	Les Oeuillons	1103	4,7	Lothar	R	Ta-Bu	20
NW 1	668415	198764	Ennetmoos	Hinterlaui	1237	4,0	Lothar	R	Fi-Ta	50
NW 2	684718	200939	Emmetten	Schellenberg	1162	4,7	Lothar	B	Ta-Bu	20
NW 3	676678	199700	Beckenried	Seeroli	1286	8,9	Lothar	R	Fi	50
OW 1	649188	187037	Giswil	Rorwald	1415	5,1	Lothar	B	Fi-Ta	50
OW 2	671802	188473	Engelberg	Obermatt	922	6,9	Lothar	R	Ta-Bu	20
OW 3	657925	197495	Sarnen	Unter Teufibachwald	1179	6,9	Lothar	R	Fi-Ta	20
SG 1	756648	202467	Pfäfers	Tschugg	1507	29,5	Vivian	B	Fi	50
SG 2	756690	202731	Pfäfers	Tschugg	1469	29,5	Vivian	R	Fi	50
SG 3	746942	219023	Walenstadt	Gastilun	1588	6,6	Lothar	R	Fi	50
SG 4	743115	231059	Wildhaus	Stein	1411	5,0	Vivian	R	Fi-Ta	50
SG 5	734959	217419	Quarten	Bergwald	1063	5,0	Vivian	R	Fi-Ta	50
SG 6	747680	209852	Mels	Schattenberg	894	15,6	Vivian	R	Fi-Ta	50
SG 7	757183	204191	Pfäfers	St. Margretenberg	1547	25,4	Vivian	R	Fi	50
SO 1	634364	242753	Olten	Schnaller	535	7,1	Lothar	R & P	Bu	20
SO 2	601898	215081	Messen	Burg	536	3,5	Lothar	B	Fi	20
SO 3	601747	215296	Messen	Burg	526	2,6	Lothar	R	Fi	20
SZ 1	697205	213329	Alpthal	Husegg	1123	7,1	Lothar	R	Ta-Bu	20
SZ 2	698068	216445	Einsiedeln	Stafel	1015	4,1	Lothar	R	Ta-Bu	20
TG 1	709622	275461	Hüttwilen	Hörnli	654	3,1	Lothar	R	Fi	20
UR 1	694855	185789	Silenen	Ronen	1502	5,7	Vivian	B	Fi	50
UR 2	693497	178590	Silenen	Schniderblätz	1215	9,0	Vivian	R	Fi-Ta	50
VD 1	542338	160143	Lausanne	Grandes Côtes	833	9,3	Lothar	R & P	Bu	20
VD 2	569199	142026	Château-d'Oeux	Les Coques	1300	3,5	Lothar	B	Fi-Ta	50

Flächen-ID	X-Koordinate	Y-Koordinate	Gemeinde	Lokalname	Höhe ü. M. [m]	Grösse der Windwurffläche [ha]	Sturmereignis	Behandlung	Vorbestandestyp	Probekreisgrösse [m ²]
VS 1	597454	110843	Hérémence	Chèques	1783	8,3	Vivian	R	Fi	50
VS 2	574842	89151	Orsières	Forêt i Bô	1688	8,3	Vivian	R	Fi	50
VS 3	566999	100789	Martigny-Combe	Pro du Sex	1579	3,1	Vivian	R	Fi-Ta	50
ZG 1	683800	219060	Walchwil	Fiselstudien	988	5,2	Lothar	R	Fi	20
ZG 2	683043	224276	Zug	Blasenberg	656	7,8	Lothar	R & P	Bu	20
ZH 1	700416	265947	Winterthur	Schönbüel	497	11,6	Lothar	R	Fi	20
ZH 2	681314	262147	Bülach	Höhragen	420	6,9	Lothar	R & P	Bu	20
ZH 3	696597	245847	Uster	Gschwader	482	15,0	Lothar	R & P	Bu	20

Tabelle 21. Verjüngungsdichten nach Baumarten und Vorbestandestyp in der Sturmflächen-Stichprobe.

	Vivian-Sturmflächen								Lothar-Sturmflächen												
	Fichten-Tannenbestände				Buchenbestände				Tannen-Buchenbestände				Fichten-Tannenbestände				Fichtenbestände				
	Geräumt		Belassen		Geräumt		Belassen		Geräumt		Belassen		Geräumt		Belassen		Geräumt		Belassen		
	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	
Alle Gehölzarten	4'631	839	2'778	857	10'564	3'019	7'583	2'267	7'133	1'345	4'494	1'909	7'583	2'624	6'678	2'810	6'898	2'043	5'193	1'607	
Nur Baumarten	4'098	742	2'161	898	9'936	2'910	7'333	2'355	6'258	1'375	4'372	1'947	6'419	2'104	6'336	2'799	6'262	1'945	3'460	1'396	
Schluss-Baumarten	<i>Abies alba</i>	7	6	22	16	172	97	233	133	271	80	883	774	733	291	375	190	100	41	150	130
	<i>Acer platanoides</i>	0	0	0	0	74	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	0	0
	<i>Carpinus betulus</i>	0	0	0	0	559	411	0	0	0	0	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Fagus sylvatica</i>	137	118	11	11	5'181	2'529	5'683	2'107	1'400	958	1'864	1'267	273	143	42	28	345	240	30	19
	<i>Picea abies</i>	1'720	424	922	437	230	114	67	41	1133	687	544	460	2017	953	1569	1144	830	392	853	453
	<i>Quercus spec.</i>	0	0	0	0	167	51	250	179	21	21	56	56	21	14	0	0	100	52	17	17
	<i>Tilia spec.</i>	0	0	0	0	5	5	0	0	10	10	14	14	0	0	42	42	8	8	0	0
	<i>Ulmus spec.</i>	9	9	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Acer campestre</i>	0	0	0	0	15	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Acer pseudoplatanus</i>	765	461	189	70	583	265	500	290	1'348	552	350	185	1494	602	2217	1382	1'258	685	630	487
Andere Baumarten	<i>Alnus incana</i>	2	2	17	17	0	0	0	0	21	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Berberis vulgaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0
	<i>Betula pendula</i>	370	195	28	22	78	37	17	17	104	56	111	70	8	8	17	11	1'225	1'135	33	33
	<i>Fraxinus excelsior</i>	167	161	17	11	1'819	594	67	31	1'167	732	139	98	408	372	611	467	1'293	780	0	0
	<i>Juglans regia</i>	0	0	0	0	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	0
	<i>Larix decidua</i>	235	139	478	471	10	10	0	0	31	31	0	0	0	0	0	0	17	17	0	0
	<i>Pinus montana</i>	0	0	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Pinus strobus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Pinus sylvestris</i>	2	2	0	0	25	16	0	0	0	0	56	56	0	0	0	0	25	18	0	0
	<i>Populus tremula</i>	19	9	50	34	348	304	0	0	42	31	0	0	21	21	0	0	42	42	0	0
	<i>Prunus avium</i>	0	0	0	0	93	38	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	158	95	0	0
	<i>Prunus padus</i>	0	0	0	0	54	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Salix spec.</i>	187	37	211	98	314	135	300	242	317	66	167	107	419	165	625	232	215	89	107	36
	<i>Sorbus aria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	42	42	0	0	58	33	111	111	3	3	147	81
	<i>Sorbus aucuparia</i>	478	172	206	107	191	151	17	17	342	175	119	56	967	506	722	464	608	220	1'493	698
	<i>Taxus baccata</i>	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sträucher	<i>Alnus viridis</i>	174	138	89	58	0	0	0	0	0	14	14	227	218	6	6	0	0	0	0	0
	<i>Buddleja davidii</i>	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Corylus avellana</i>	39	19	11	7	45	18	150	130	198	125	6	6	15	11	33	27	145	115	67	52
	<i>Crataegus oxyacantha</i>	0	0	0	0	20	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Cornus sanguinea</i>	0	0	0	0	50	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	83	0	0
	<i>Daphne mezereum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0
	<i>Eonymus europaeus</i>	0	0	0	0	83	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Frangula alnus</i>	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	383	383

	Vivian-Sturmflächen								Lothar-Sturmflächen											
	Fichten-Tannenbestände				Buchenbestände				Tannen-Buchenbestände				Fichten-Tannenbestände				Fichtenbestände			
	Geräumt		Belassen		Geräumt		Belassen		Geräumt		Belassen		Geräumt		Belassen		Geräumt		Belassen	
	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE	n/ha	±SE
<i>Ilex aquifolium</i>	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Juniperus communis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
<i>Lonicera spec.</i>	107	48	61	36	74	38	0	0	327	145	14	14	558	420	136	86	137	71	547	417
<i>Prunus spinosa</i>	0	0	0	0	0	0	17	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhamnus spec.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	80
<i>Ribes</i>	0	0	0	0	0	0	17	17	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
<i>Rose spec.</i>	48	29	0	0	0	0	0	0	42	27	11	11	62	52	11	11	12	9	273	113
<i>Sambucus nigra</i>	0	0	0	0	98	49	50	50	21	14	28	28	21	21	0	0	0	0	0	0
<i>Sambucus racemosa</i>	165	52	456	156	118	40	0	0	279	180	50	32	246	107	117	78	252	101	330	122
<i>Laburnum anagyroides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	39	0	0	0	0
<i>Viburnum lantana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0
<i>Viburnum opulus</i>	0	0	0	0	123	103	17	17	0	0	0	0	21	21	0	0	0	0	33	33

Tabelle 22. Resultate der Generellen Linearen Modelle auf der Ebene der Sturmflächen Vivian und Lothar. Variablen mit hochgestelltem ** sind stark signifikant ($p < 0.01$), Variablen mit hochgestelltem * signifikant ($p < 0.05$), Variablen mit hochgestelltem ° tendenziell signifikant ($p < 0.10$). Z = Zielvariable, # = Anzahl erklärende Variablen im statistischen Modell, D² = Deviance, AIC = Akaike Information Criterion. BEH = Behandlung, DG_{fb} = Deckungsgrad von Farn und Beerensträchern, EXP = Exposition, pH_m = pH des Mineralbodens, pH_o = pH der organischen Auflage, H = Höhenlage, VB = Verbiss. Quelle: Priewasser et al. 2013.

Vivian & Lothar (N=89)				Vivian (N=24)				Lothar (N=65)			
Z	#	Erklärende Variablen	D ²	AIC	Erklärende Variablen	D ²	AIC	Erklärende Variablen	D ²	AIC	
Dichte aller Gehölzarten	1	H**	0,083	1740	EXP°	0,095	446	pH _o **	0,248	1276	
		pH _o **	0,195	1727				DG _{fb} **			
		DG _{fb} **	0,239	1722							
	2	H* DG _{fb} **	0,282	1718	pH _m ° BEH*	0,178	446	pH _o ** DG _{fb} **	0,395	1262	
		pH _o ** DG _{fb} **	0,296	1716	H* pH _m *	0,199	445				
		H** pH _o **	0,317	1713							
	3	VB° pH _o ** H**	0,344	1712	BEH° H* pH _m *	0,287	444	BEH° pH _o ** DG _{fb} **	0,417	1262	
		BEH* pH _o ** H**	0,352	1710							
		DG _{fb} ** pH _o ** H**	0,374	1707							
	4	VB* BEH** pH _o ** H**	0,395	1706	VB* BEH** H** pH _m **	0,445	440				
Dichte der Baumarten		BEH* DG _{fb} ** pH _o ** H**	0,406	1704							
	1	H**	0,093	1723	BEH°	0,102	441	VB°	0,040	1283	
		pH _o **	0,150	1717				pH _o **	0,191	1270	
		DG _{fb} **	0,213	1709				DG _{fb} **	0,306	1259	
	2	pH _o * DG _{fb} **	0,250	1706	H° pH _m °	0,164	442	pH _o * DG _{fb} **	0,342	1257	
		H** DG _{fb} **	0,259	1705	pH _m ° BEH*	0,216	440				
		H** pH _o **	0,273	1703							
	3	VB° pH _o ** H**	0,295	1702	H° BEH* pH _m **	0,293	439				
		BEH* pH _o ** H**	0,307	1701							
		DG _{fb} ** pH _o ** H**	0,324	1698							
Dichte der Baumarten	4	VB* BEH** pH _o ** H**	0,342	1697	VB* BEH** H** pH _m **	0,409	437				
		BEH* DG _{fb} ** pH _o ** H**	0,353	1696							

Tabelle 23. Resultate der Gemischten Linearen Modelle auf der Ebene der Probekreise in den Sturmflächen. AIC-Werte für Nullmodelle, Modelle mit der höchsten Anzahl signifikanter Variablen und Modelle mit weniger Variablen und tieferen AIC-Werten. Variablen mit hochgestelltem ** sind stark signifikant ($p < 0.01$), Variablen mit hochgestelltem * signifikant ($p < 0.05$), Variablen mit hochgestelltem ° tendenziell signifikant ($p < 0.10$). AIC = Akaike Information Criterion. H = Höhe ü.M., BEH = Behandlung, DG_{fb} = Deckungsgrad von Farn und Beerensträchern, DG_{ab} = Deckungsgrad von Adlerfarn und Brombeeren, EXP = Exposition, JAH = Jahr des Sturms, DIS = Distanz zum Rand der Sturmfläche, pH_m = pH des Mineralbodens. Quelle: Priewasser et al. 2013.

Stratum	Null modell	Modell mit der höchsten Zahl signifikanter Variablen			Modelle mit kleineren AIC-Werten bei Weglassen von jeweils einer erklärenden Variablen		
		AIC	Variablen	AIC	Variablen	AIC	
Lothar & Vivian: N=90x6	992	DG _{fb} ** pH _m * JAH* BEH° EXP°	978	DG _{fb} ** pH _m * JAH* BEH°	DG _{fb} ** pH _m * JAH°	974	
					DG _{fb} ** pH _m * BEH°	973	
					DG _{fb} ** pH _m *	971	
					DG _{fb} ** JAH°	969	
					DG _{fb} **	967	

Stratum	Null modell	Modell mit der höchsten Zahl signifikanter Variablen		Modelle mit kleineren AIC-Werten bei Weglassen von jeweils einer erklärenden Variablen	
		AIC	Variablen	AIC	Variablen
Vivian: N=24x6	226	DG _{fb} ** BEH*	232	DG _{fb} ** BEH*	231 226
Lothar: N=66x6	651	DG _{fb} ** pH _m ** EXP* DIS*	644	DG _{fb} ** pH _m ** DIS* DG _{fb} ** pH _m ** EXP* DG _{fb} ** pH _m **	643 634 633
Lothar _{Bu} : N=22x6	233	DG _{ab} ** pH _m ** EXP* DIS°	239	DG _{ab} ** pH _m ** DIS° DG _{ab} ** pH _m ** EXP* DG _{ab} ** pH _m **	236 230 226
Lothar _{Ta-Bu} : N=14x6	141	DG _{fb} ** DIS*	152	DIS* DG _{fb} **	148 144
Lothar _{Fl-Ta} N=15x6	125	pH _M * EXP°	130	EXP° pH _m *	128 128
Lothar _{Fi} : N=15x6	132	DG _{fb} ** H*	150	DG _{fb} **	138

Tabelle 24. Resultate der Generellen Linearen Modelle in Lothar-Sturmflächen nach Vorbestandestypen. Variablen mit hochgestelltem ** sind stark signifikant ($p < 0.01$), Variablen mit hochgestelltem * signifikant ($p < 0.05$), Variablen mit hochgestelltem ° tendenziell signifikant ($p < 0.10$). Z = Zielvariable, # = Anzahl erklärende Variablen im statistischen Modell, D² = Deviance, AIC = Akaike Information Criterion. BEH = Behandlung, DG_{ab} = Deckungsgrad von Adlerfarn und Brombeeren, DG_{fb} = Deckungsgrad von Farn und Beerensträuchern, pH_m = pH des Mineralbodens, pH_o = pH der organischen Auflage, H = Höhenlage.

Bu (N=22)				Bu-Ta (N=14)				Ta-Fi (N=14)				Fi (N=15)			
Z	#	Erklärende Variablen	D ²	AIC	Erklärende Variablen	D ²	AIC	Erklärende Variablen	D ²	AIC	Erklärende Variablen	D ²	AIC		
Dichte aller Gehölzarten n	1	pH _o	0,402	442				DG _{fb} *	0,209	279	DG _{fb}	0,457	287		
		DG _{ab}	0,664	428				pH _m	0,636	267					
	2	pH _o * DG _{ab}	0,725	426	BEH* H*	0,318	272				BEH* DG _{fb}	0,573	285		
Dichte der Baumarten	3				pH _o BEH* H	0,428	271				H° BEH* DG _{fb}	0,641	284		
	1	pH _o	0,345	442				DG _{fb} *	0,191	276	DG _{fb}	0,376	285		
		DG _{ab}	0,675	425				pH _m	0,556	267					
	2	pH _o * DG _{ab}	0,710	424	BEH* H*	0,289	271				H° DG _{fb}	0,455	285		
											BEH* DG _{fb}	0,595	280		
	3										H BEH DG _{fb}	0,729	276		

Tabelle 25. Dichten der Gehölzpflanzen in der Sturmflächen-Stichprobe nach Sturmfläche und Baumarten: Pflanzen ≥ 20 cm. Sturm: L = Lothar, V = Vivian. Weitere Erläuterungen s. Tabelle 20. Nb. = Nadelbäume, Lb. = Laubbäume. Die Dichten sind Mittelwerte von jeweils 6 Probekreisen, mit einer Fläche von je 20 m^2 (unterhalb 1200 m ü. M.) bzw. 50 m^2 (oberhalb 1200 m ü. M.). Die Dichtewerte können zwischen den Probekreisen stark streuen und haben daher nur Hinweischarakter. Graue Schattierung: belassene Sturmflächen.

Flächen-ID	Gemeinde	Sturm	Behandlung	Verjüngungsdichte [N/ha] (beim Total mit Standardfehler)																Sträucher	
				F <small>i</small>	T <small>a</small>	F <small>ö</small>	L <small>ä</small>	A <small>Nb</small>	Total Nb	B <small>u</small>	B <small>Ah</small>	E <small>s</small>	E <small>i</small>	V <small>obe</small>	B <small>i</small>	V <small>wei</small>	A <small>lb</small>	Total Lb	SF	Total +	
AG 1	Wittnau	L	B	0	1167	0	0	0	1167	167	9000	3333	0	0	0	167	250	12917	14083	± 5643	0
AG 2	Hausen	L	B	2833	4833	333	0	167	8167	3000	0	0	0	0	333	0	250	3583	11750	± 5730	0
AG 3	Wohlen	L	B	417	0	0	0	0	417	6583	4083	2083	0	0	0	0	83	12833	13250	± 4805	0
AG 4	Wohlen	L	R	1333	0	250	83	0	1667	6833	1583	250	417	0	417	167	83	9750	11417	± 2413	83
AG 5	Bottenwil	L	B	1083	2000	0	0	83	3167	1250	0	0	0	0	0	0	83	1333	4500	± 3209	417
AG 6	Wittnau	L	R	0	0	0	0	0	0	53417	1333	6083	250	0	83	0	167	61333	61333	± 18135	2500
AG 7	Hausen	L	B	250	417	0	0	0	667	11250	1667	667	333	0	0	0	417	14333	15000	± 2999	0
AG 8	Bremgarten	L	R & P	0	0	0	0	0	0	83	250	6083	167	0	250	83	1750	8667	8667	± 4627	83
AG 9	Hausen	L	R	5750	0	0	250	0	6000	167	0	0	167	0	250	83	83	750	6750	± 5134	83
AG 10	Dintikon	L	R & P	1500	500	83	167	0	2250	1083	333	7000	83	83	83	417	0	9083	11333	± 8197	167
AG 11	Schöftland	L	B	583	83	0	0	0	667	83	0	0	0	0	0	0	0	83	750	± 310	0
AG 12	Baden	L	B	667	1250	0	0	0	1917	11333	3333	0	667	0	83	250	250	15917	17833	± 7075	83
AG 13	Bremgarten	L	R & P	250	0	0	0	0	250	917	3333	1083	750	0	83	0	1167	7333	7583	± 1423	417
AG 14	Sarmenstorf	L	B	0	0	0	0	0	0	9750	417	417	0	0	167	83	833	11667	11667	± 4713	0
AG 15	Sarmenstorf	L	R	83	0	0	0	0	83	18000	167	167	250	0	167	333	917	20000	20083	± 12517	0
BE 1	Zweisimmen	V	B	2200	0	0	0	0	2200	0	367	33	0	800	0	100	0	1300	3500	± 1225	1033
BE 2	Brienz	V	R	600	0	0	0	0	600	0	0	0	0	2467	0	167	0	2633	3233	± 982	300
BE 3	Därstetten	L	R	8083	2167	0	0	0	10250	333	4833	0	0	4000	0	1333	250	10750	21000	± 5691	4667
BE 4	Sumiswald	L	R	500	250	0	0	0	750	500	167	583	0	750	0	167	0	2167	2917	± 1028	1083
BE 5	Boltigen	L	B	4467	1000	0	0	0	5467	233	300	33	0	1167	0	67	133	1933	7400	± 1690	2067

Flächen-ID	Gemeinde	Sturm	Behandlung	Verjüngungsdichte [N/ha] (beim Total mit Standardfehler)																	
				Fi	Ta	Fö	Lä	ANb	Total Nb	Bu	BAh	Es	Ei	Vobe	Bi	Wei	Alb	Total Lb	Total + SF	Sträucher	
BE 6	Rüegsau	L	R	1167	750	0	0	0	1917	83	0	0	83	0	0	0	0	167	2083	±800	0
BE 7	Rüegsau	L	R	1167	250	0	0	0	1417	0	83	0	83	83	0	0	0	250	1667	±1083	83
BE 8	Brüttelen	L	R	167	0	0	0	0	167	1167	0	167	0	333	167	500	0	2333	2500	±949	750
BE 9	Steffisburg	L	B	167	833	0	0	0	1000	0	250	250	0	167	0	0	833	1500	2500	±753	1333
BE 10	Reichenbach	L	R	1367	0	0	0	0	1367	0	6167	0	0	1700	0	400	33	8300	9667	±3857	567
BE 11	Diemtigen	L	B	3333	0	0	0	0	3333	0	467	0	0	3933	0	100	233	4733	8067	±1748	1333
BE 12	Gsteig	L	R	800	0	0	0	0	800	0	867	0	0	2467	0	333	0	3667	4467	±1146	400
BE 13	Urtenen	L	R & P	0	250	0	0	0	250	583	0	0	83	0	250	0	83	1000	1250	±423	167
BE 14	Trachselwald	L	R	333	417	0	0	0	750	167	833	0	0	0	417	333	250	2000	2750	±2081	417
BE 15	Diemtigen	L	B	800	0	0	0	0	800	0	3400	0	0	3733	0	200	433	7767	8567	±2665	4033
BE 16	Müntschemier	L	B	167	83	0	0	0	250	13500	0	167	1167	83	0	1250	167	16333	16583	±8114	167
BE 17	Landiswil	L	R	1000	1167	0	0	0	2167	0	0	0	83	583	0	0	417	1083	3250	±1063	83
BE 18	Röthenbach	L	R	4750	2333	0	0	0	7083	333	1500	3500	0	417	0	0	0	5750	12833	±3803	417
BE 19	Frutigen	L	R	4167	333	0	0	0	4500	2917	5833	6917	250	83	83	83	1000	17167	21667	±7316	2167
BE 20	Kandergrund	L	B	9250	667	0	0	0	9917	83	3583	500	0	4083	0	1583	750	10583	20500	±3183	1000
BE 21	Walkringen	L	B	1917	167	0	0	0	2083	0	83	83	0	667	0	167	0	1000	3083	±1228	83
FR 1	La Brillaz	L	R	333	0	0	0	0	333	3250	0	1250	250	0	0	167	333	5250	5583	±2039	1167
FR 2	Villard-Vollard	L	B	667	0	0	0	0	667	33	1100	0	0	267	33	1033	0	2467	3133	±753	133
FR 3	Charmey	L	B	267	33	0	0	0	300	0	200	0	0	300	0	100	0	600	900	±262	600
FR 4	Châtel St. Denis	L	R	700	1300	0	0	0	2000	2633	2833	0	0	600	67	500	33	6667	8667	±2446	600
FR 5	Châtel St. Denis	L	B	33	300	0	0	0	333	233	1133	0	0	233	0	233	0	1833	2167	±652	367
FR 6	Murten	L	R & P	167	0	0	0	0	167	1500	0	0	0	0	500	250	5583	7833	8000	±5335	500
GL 1	Schwanden	V	R	6400	0	0	0	0	6400	0	0	0	0	0	33	33	0	67	6467	±1986	267
GL 2	Obstalden	V	R	1067	0	0	0	0	1067	0	467	0	0	1333	0	167	100	2067	3133	±686	900
GL 3	Schwanden	V	B	0	0	0	0	0	0	133	167	67	0	0	0	100	100	567	567	±216	133

Flächen-ID	Gemeinde	Sturm	Behandlung	Verjüngungsdichte [N/ha] (beim Total mit Standardfehler)																	Straucher	
				Fi	Ta	Fö	Lä	ANb	Total Nb	Bu	BAh	Es	Ei	Vole	Bi	Wei	Alb	Total Lb	SF	Total +		
GL 4	Schwanden	V	R	1000	0	0	0	0	1000	2367	67	0	0	33	100	200	33	2800	3800	±1640	167	
GR 1	Disentis	V	B	167	0	0	0	0	167	0	0	0	0	100	33	467	200	800	967	±692	900	
GR 2	Disentis	V	R	933	0	0	0	0	933	0	0	0	0	0	200	200	67	0	467	1400	±529	1000
GR 3	Jenaz	V	B	2867	0	0	2833	0	5700	0	33	0	0	33	133	567	0	767	6467	±2643	33	
GR 4	Disentis	V	R	3467	0	0	33	0	3500	0	0	0	0	0	0	1067	133	67	1267	4767	±2584	0
GR 5	Medel	V	R	867	0	0	0	0	867	0	0	0	0	433	133	67	0	633	1500	±412	67	
GR 6	Safien	V	R	5867	0	0	2400	0	8267	0	200	0	0	100	533	533	0	1367	9633	±5314	367	
GR 7	Sumvitg	V	R	1667	0	0	0	0	1667	0	0	0	0	233	33	100	33	400	2067	±1551	433	
JU 1	Bonfol	L	R & P	0	500	0	0	0	500	167	83	83	333	0	0	667	833	2167	2667	±1116	333	
LU 1	Zell	L	R & P	0	500	0	0	0	500	0	0	0	0	250	0	0	0	250	750	±423	167	
LU 2	Ebikon	L	B	0	83	0	0	0	83	83	83	0	0	333	167	0	0	667	750	±335	1167	
LU 3	Entlebuch	L	R	917	667	0	0	0	1583	167	83	0	0	2250	0	583	0	3083	4667	±2305	500	
NE 1	La Chaux-du-Milieu	L	R	800	667	0	0	0	1467	2833	267	0	0	1833	0	533	400	5867	7333	±2782	1767	
NE 2	Noiraigue	L	R	417	583	0	0	0	1000	8917	2000	0	0	333	0	83	0	11333	12333	±6332	1167	
NW 1	Ennetmoos	L	R	733	267	0	0	0	1000	400	2767	267	0	300	0	800	133	4667	5667	±970	1700	
NW 2	Emmetten	L	B	1667	250	0	0	0	1917	2250	83	333	0	250	417	667	0	4000	5917	±3716	83	
NW 3	Beckenried	L	R	800	0	0	0	0	800	67	1733	400	0	1000	0	133	0	3333	4133	±832	1000	
OW 1	Giswil	L	B	2400	0	0	0	0	2400	0	0	0	0	833	67	433	33	1367	3767	±953	0	
OW 2	Engelberg	L	R	83	417	0	0	0	500	1417	500	1333	0	0	0	333	167	3750	4250	±1548	1500	
OW 3	Sarnen	L	R	5917	83	0	0	0	6000	83	83	0	0	167	0	417	333	1083	7083	±4939	0	
SG 1	Pfäfers	V	B	500	167	0	33	0	700	0	333	0	0	100	0	33	0	467	1167	±543	400	
SG 2	Pfäfers	V	R	633	0	0	800	0	1433	0	2633	0	0	233	33	367	0	3267	4700	±1475	400	
SG 3	Walenstadt	L	R	367	0	0	0	0	367	0	167	0	0	1400	0	200	0	1767	2133	±891	1167	
SG 4	Wildhaus	V	R	700	100	0	0	0	800	67	8133	100	0	1367	33	433	0	10133	10933	±5520	900	
SG 5	Quarten	V	R	1067	67	0	0	0	1133	0	33	0	0	33	1300	0	33	1400	2533	±349	133	

Flächen-ID	Gemeinde	Sturm	Behandlung	Verjüngungsdichte [N/ha] (beim Total mit Standardfehler)																	
				Fi	Ta	Fö	Lä	ANb	Total Nb	Bu	BAh	Es	Ei	Vobe	Bi	Wei	Alb	Total Lb	Total + SF	Sträucher	
SG 6	Mels	V	R	1267	0	0	33	0	1300	333	1300	2900	0	100	133	300	300	5367	6667 ±2723	1400	
SG 7	Pfäfers	V	R	1500	33	0	0	0	1533	0	1033	0	0	67	0	0	0	1100	2633 ±914	0	
SO 1	Olten	L	R & P	0	167	0	0	0	167	45000	14667	15000	0	0	0	583	2667	77917	78083 ±13151	583	
SO 2	Messen	L	B	417	83	0	0	0	500	0	0	0	333	0	83	167	0	583	1083 ±352	583	
SO 3	Messen	L	R	83	0	83	0	0	167	833	0	833	583	0	1583	1500	167	5500	5667 ±1810	167	
SZ 1	Alpthal	L	R	583	500	0	0	0	1083	417	4333	2000	0	83	0	500	0	7333	8417 ±2570	583	
SZ 2	Einsiedeln	L	R	1750	83	0	0	0	1833	83	3000	6083	0	250	250	500	167	10333	12167 ±5451	667	
TG 1	Hüttwilen	L	R	1083	250	167	167	0	1667	750	583	5333	83	167	0	0	250	7167	8833 ±4814	250	
UR 1	Silenen	V	B	700	33	0	0	67	800	0	333	0	0	400	0	67	100	900	1700 ±790	1333	
UR 2	Silenen	V	R	6200	0	33	0	0	6233	0	0	0	0	100	3433	367	0	3900	10133 ±6314	400	
VD 1	Lausanne	L	R & P	1833	250	0	0	0	2083	83	167	917	167	2583	583	2333	167	7000	9083 ±2818	1083	
VD 2	Château-d'Oeux	L	B	333	533	0	0	0	867	0	967	167	0	67	33	367	33	1633	2500 ±942	2100	
VS 1	Hérémence	V	R	1233	0	0	700	0	1933	0	0	0	0	33	133	267	0	433	2367 ±616	67	
VS 2	Orsières	V	R	1833	0	0	267	0	2100	0	0	0	0	0	1833	0	100	0	1933	4033 ±1821	233
VS 3	Martigny-Combe	V	R	1300	0	0	233	0	1533	0	0	0	0	0	1000	200	67	0	1267	2800 ±820	267
ZG 1	Walchwil	L	R	500	0	0	0	0	500	0	83	0	0	417	11750	0	0	12250	12750 ±3922	0	
ZG 2	Zug	L	R & P	167	2250	0	0	0	2417	5917	833	4500	83	0	0	0	333	11667	14083 ±4961	667	
ZH 1	Winterthur	L	R	0	83	0	0	0	83	250	0	0	250	0	0	0	667	1167	1250 ±964	1000	
ZH 2	Bülach	L	R & P	167	83	83	0	0	333	167	0	333	83	0	0	167	667	1417	1750 ±783	417	
ZH 3	Uster	L	R & P	0	0	0	0	0	0	9750	167	1750	833	83	0	333	10333	23250	23250 ±8085	1833	

6.3 Zusatzinformationen zu den Sturm-Beobachtungsflächen

Tabelle 26. Anzahl der bei der Inventur 2010 aufgenommenen Stichprobenkreise auf den Sturm-Beobachtungsflächen. In Klammern steht die Anzahl Probekreise bei der Erstinventur. W1-W3 = Wiederholung 1-3.

Sturmfläche	Belassen	Geräumt		Bepflanzt	Total
Vivianflächen					
Disentis	24 (25)	21 (25)		24 (25)	69
Pfäfers	19 (25)	17 (19)		18 (19)	54
Schwanden	23 (25)	26 (26)		26 (26)	75
Zweisimmen	25 (25)	-		-	25
Zwischenthal	91	64		68	223
Lotharflächen					
Châtel-St-Denis	15 (18)	21 (23)		-	36
Habsburg 1	25 (25)	24 (25)		-	49
Messen	17 (20)	23 (24)		-	40
Müntschemier	24 (25)	22 (24)		-	46
Sarmenstorf	23 (25)	22 (22)		-	45
Walkringen	24 (25)	-		-	24
Wohlen	21 (22)	21 (24)		-	42
Zwischenthal	149	133		-	282
Lothar-Trupppflanzungsflächen					
Bonfol	-	12 (12)	12 (12)	9 (12)	- 33
Bülach	-	12 (12)	12 (12)	12 (12)	- 36
Habsburg 2	-	12 (12)	12 (12)	7 (12)	- 31
Lausanne	-	11 (12)	11 (12)	12 (12)	- 34
Murten	-	11 (12)	11 (12)	10 (12)	- 32
Urtenen Ahorn	-	10 (12)	6 (12)	5 (12)	- 21
Urtenen Eiche	-	12 (12)	10 (12)	12 (12)	- 34
Zell	-	12 (12)	8 (12)	10 (12)	- 30
Zwischenthal	-	92 (96)	82 (96)	77 (96)	- 251
Summe aller Wiederholungen	-	251 (288)	-	-	- 251
Gesamttotal	240	448	-	68	756

Tabelle 27. Datenumfang der Erhebung 2010 in den Sturm-Beobachtungsflächen.

Versuchs- flächen- gruppe	Probekreise (Gehölzpflanzen ≥ 20 cm)			Probequadrate (Gehölzpflanzen < 20 cm)			Anzahl erfasste Totholzstücke	
	erfasste Fläche [m ²]	Anzahl Pflanzen		erfasste Fläche [m ²]	Anzahl Pflanzen			
		natürlich	verjüngt					
Vivian	11'250	3'441	896	174	62	725		
Lothar	5'600	6'706	1	277	12	479		
Lothar-T	2'620	591	2	261	0	64		
Total	19'470	10'738	899	712	74	1'268		

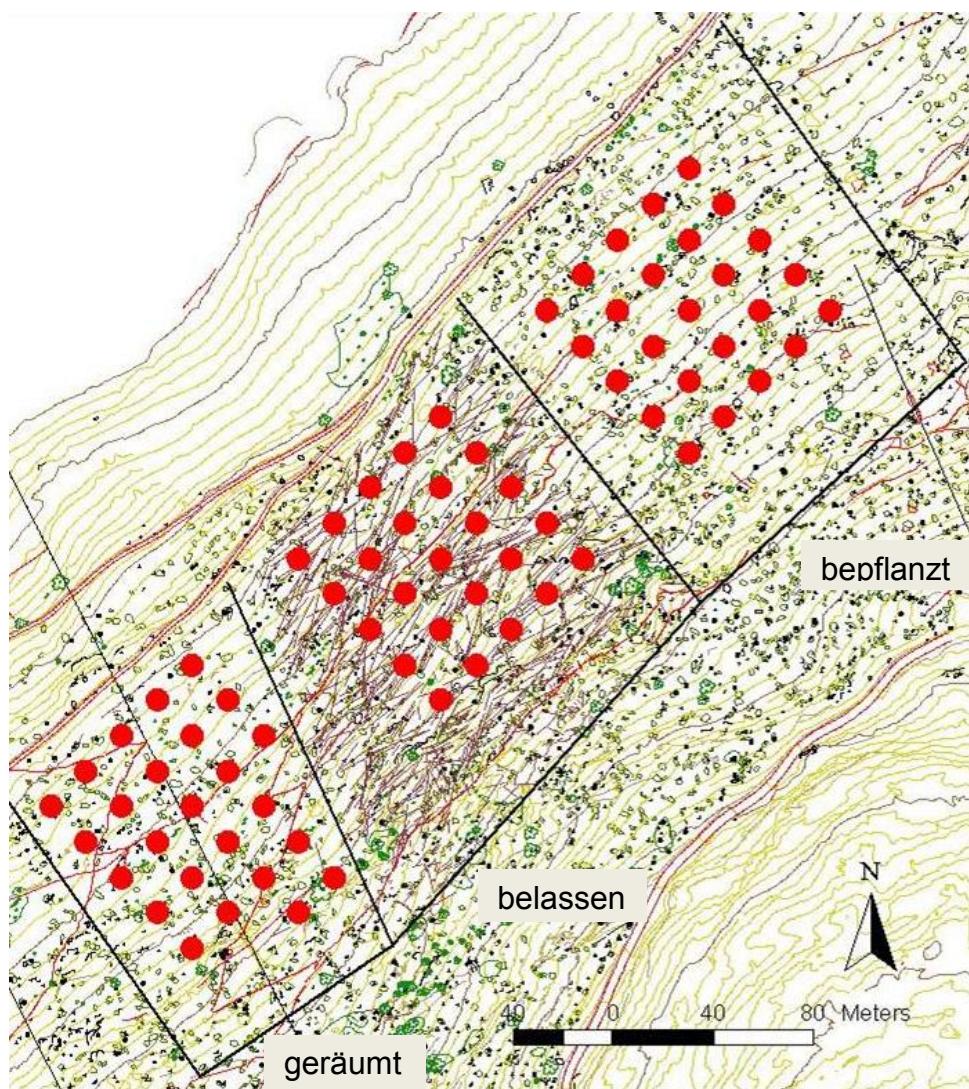


Abbildung 48. Beispieldesign für eine Vivian-Sturm-Beobachtungsfläche: die Fläche Disentis mit drei Behandlungen. Jeder Kreis repräsentiert einen Probekreis.

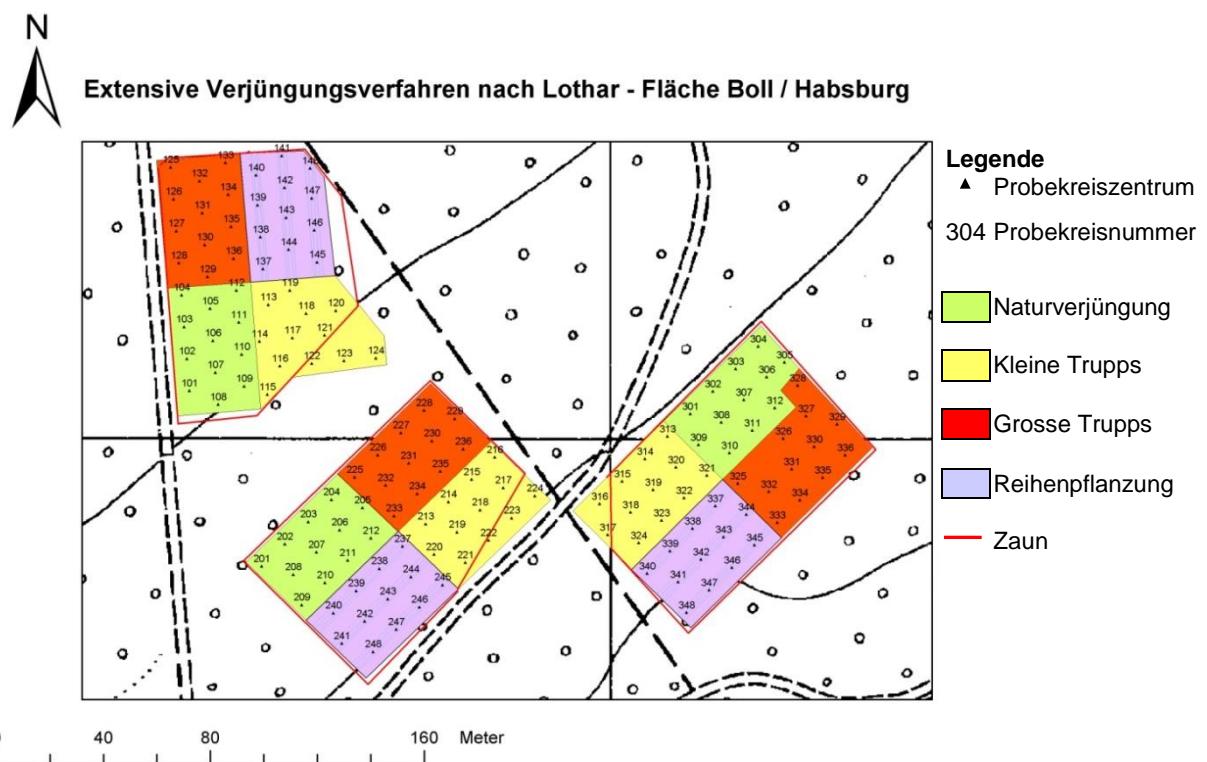


Abbildung 49. Beispieldesign für eine Truppfanzungs-Fläche: die Fläche Habsburg. Die Erhebung 2010 beschränkte sich auf die grün markierten, nicht bepflanzten Teilflächen.

Tabelle 28. Verjüngungsdichten in den Sturm-Beobachtungsflächen nach Etablierungszeitpunkt, Wuchsform und Sturmereignis. Angegeben sind Mittelwerte \pm einfache Standardfehler. Vgl. Tabelle 7, S. 22 für die Sturmflächen-Stichprobe.

Etablierungszeitpunkt	Wuchsform	Vivian		Lothar		Lothar-Trupp
		geräumt	belassen	geräumt	belassen	
Nur Nachverjüngung	Alle verholzten Arten	3'731 \pm 298	2'233 \pm 257	7'478 \pm 1'266	6'355 \pm 1'178	1'565 \pm 166
	Nur Bäume	3'630 \pm 301	2'078 \pm 265	7'315 \pm 1'269	6'260 \pm 1'180	1'451 \pm 165
Nur Vorverjüngung	Alle verholzten Arten	101 \pm 24	78 \pm 32	1'594 \pm 315	1'564 \pm 270	198 \pm 54
	Nur Bäume	101 \pm 24	78 \pm 32	1'543 \pm 316	1'541 \pm 269	179 \pm 53
Nach- und Vorverjüngung	Alle verholzten Arten	3'833 \pm 301	2'311 \pm 265	9'072 \pm 1'428	7'908 \pm 1'248	1'762 \pm 192
	Nur Bäume	3'731 \pm 304	2'155 \pm 273	8'858 \pm 1'434	7'791 \pm 1'248	1'629 \pm 191

Tabelle 29. Jährlicher Höhenzuwachs der Bäume auf den Sturm-Beobachtungsflächen von 1992 bis 2010 (Vivianflächen) bzw. 2001 bis 2010 (Lothar- und Lothar-Truppflanzungsflächen) nach Baumart. Zellen mit weniger als 10 Höhenzuwachswerten sind leer.

Baumart	Vivianflächen	Lotharflächen	Lothar-Truppflanzungsflächen	Gesamtergebnis
Andere Laubbäume		69,6 ± 3,4 (N=92)		68,6 ± 3,4 (N=94)
Bergahorn	17,7 ± 3,0 (N=24)	67,6 ± 1,5 (N=359)		64,3 ± 1,6 (N=392)
Buche		43,2 ± 0,4 (N=2'204)	39,3 ± 3,9 (N=66)	43,1 ± 0,4 (N=2'271)
Eiche		55,1 ± 4,5 (N=52)		53,1 ± 4,4 (N=55)
Esche		62,7 ± 1,8 (N=196)		62,1 ± 1,8 (N=203)
Fichte	9,3 ± 0,8 (N=47)	27,0 ± 2,0 (N=244)	47,9 ± 3,6 (N=22)	25,8 ± 1,6 (N=313)
Tanne		26,7 ± 4,8 (N=54)		29,1 ± 4,2 (N=62)
Vogelbeere	17,8 ± 1,1 (N=136)	32,2 ± 2,8 (N=52)		22,4 ± 1,2 (N=193)
Weiden	22,7 ± 3,5 (N=20)	67,4 ± 2,8 (N=132)		62,0 ± 2,7 (N=156)
Alle Baumarten	18,2 ± 1,0 (N=250)	47,2 ± 0,5 (N=3'393)	44,2 ± 2,4 (N=120)	45,2 ± 0,4 (N=3'763)

Tabelle 30. Pendants zwischen der Sturmflächen-Stichprobe und den Sturm-Beobachtungsflächen in der Struktur der Kapitel 2, 3 und 6.

Sturmflächen-Stichprobe	Sturm-Beobachtungsflächen
2.1 Material und Methoden	3.1 Material und Methoden
2.1.2 Erhebungsmethoden	3.1.2 Erhebungsmethoden
2.1.3 Datenumfang	3.1.3 Datenumfang
2.1.4 Datenanalyse	3.1.4 Datenanalyse
2.1.5 Darstellung der Ergebnisse	-
2.2 Charakteristiken der Sturmflächen-Stichprobe	3.2 Charakteristiken der Sturm-Beobachtungsflächen
2.3 Dichte der Gehölzverjüngung	3.3 Dichte der Gehölzverjüngung
2.3.1 Dichte nach Sturmereignis und Behandlung	3.3.1 Dichte nach Sturmereignis und Behandlung
2.3.2 Unterschiede der Verjüngungsdichte zwischen Vorbestandestypen in Lotharflächen	-
2.3.3 Kleinräumige Heterogenität der Verjüngungsdichte	-
2.3.4 Erklärungsmodelle der Verjüngungsdichte	3.3.2 Bestimmende Faktoren der Verjüngungsdichte
2.3.5 Artenzusammensetzung der Vor- und Nachverjüngung	3.3.3 Artenzusammensetzung der Vor- und Nachverjüngung
2.3.6 Dichte nach Baumarten, Behandlung und Vorbestandestyp	-
-	3.3.4 Zeitliche Entwicklung der Verjüngungsdichte
2.4 Baumartenvielfalt	-
-	3.4 Einwuchsjahr und Mortalität
2.5 Baumhöhe	3.5 Baumhöhe und Höhenzuwachs
2.6 Wildverbiss	3.6 Schäden an der Verjüngung
2.7 Totholz	3.7 Totholz
6.1.1 Merkmale der Erhebung in der Sturmflächen-Stichprobe	6.1.2 Merkmale der Verjüngungserhebung 2010 in den Sturm-Beobachtungsflächen
6.2 Zusatzinformationen zur Sturmflächen-Stichprobe	6.3 Zusatzinformationen zu den Sturm-Beobachtungsflächen