



Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003

Christoph Angst
Anton Bürgi
Peter Duelli
Simon Egli
Ursula Heiniger
Karin Hindenlang
Martin Kuhn
Reinhard Lässig

Peter Lüscher
Barbara Moser
Michael Nobis
Janina Polomski
Thomas Reich
Beat Wermelinger
Thomas Wohlgemuth



Eidgenössische Forschungsanstalt WSL

Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003

**Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des
Programms «Lothar Evaluations- und Grundlagenprojekte»**

Christoph Angst	Peter Lüscher
Anton Bürgi	Barbara Moser
Peter Duelli	Michael Nobis
Simon Egli	Janina Polomski
Ursula Heiniger	Thomas Reich
Karin Hindenlang	Beat Wermelinger
Martin Kuhn	Thomas Wohlgemuth
Reinhard Lässig	

Verantwortlich für die Herausgabe:
PD Dr. Mario F. Broggi, Direktor WSL

Die vorliegende Publikation ist der Schlussbericht des Projekts «Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz», das im Rahmen des «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprogramms» gemeinsam von der Eidg. Forschungsanstalt WSL in Birmensdorf und vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft massgeblich finanziert wurde.

Autorinnen und Autoren:

Christoph Angst, Anton Bürgi, Peter Duelli, Simon Egli, Ursula Heiniger, Karin Hindenlang, Martin Kuhn, Reinhard Lässig, Peter Lüscher, Barbara Moser, Michael Nobis, Janina Polomski, Thomas Reich, Beat Wermelinger, Thomas Wohlgemuth

Layout:

Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf:
Christoph Angst

Zitierung:

ANGST, C.; BÜRGI, A.; DUELLI, P.; EGLI, S.; HEINIGER, U.; HINDENLANG, K.; 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. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 98 Seiten.

Zitierung einzelner Kapitel:

AUTOREN, X. 2004: Titel. In: ANGST, C.; BÜRGI, A.; DUELLI, P.; EGLI, S.; HEINIGER, U.; HINDENLANG, K.; 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. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, XX-XY.

Bezug PDF:

<http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>

(eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich)

© Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2004

Umschlag (von oben nach unten):

- Brombeere (*Rubus fruticosus* agg.), auf den meisten Versuchsflächen prominent vertreten.
Foto: Ch. Angst, WSL.
- WSL-Mitarbeiter „beerntet“ eine Insekten-Kombifalle auf der Windwurffläche bei Messen.
Foto: B. Wermelinger, WSL.
- Gemeiner Spaltblättrling (*Schizophyllum commune*) an kürzlich abgestorbenem Buchenstamm. Foto: Ch. Angst, WSL.
- Ungeräumte Windwurffläche bei Habsburg, mit Windisch im Hintergrund. Foto: U. Wasem, WSL.
- Rötelmaus (*Clethrionomys glareolus*), häufigste Mäuseart auf Windwurfflächen. Foto: Th. Reich, WSL.

Abstract

Final report for the framework project “Forest development in the lower parts of Switzerland after windthrow”

At the end of 1999 storm Lothar caused widespread windthrow in many Swiss forests. This provided the Swiss Federal Research Institute WSL with the opportunity to establish research sites in windthrown forests and seven sites were set up, mainly in beech forests in the Swiss lowlands. Two sites were situated in the spruce-fir-forest of the Pre-Alps. Each study site was divided into two different treatments: (1) windthrown timber cleared and (2) uncleared. During the first four years after the storm we studied and compared natural succession in the different site treatments within the following sub-projects:

- the soils and their compaction by harvest machines,
- the dynamics of ground vegetation,
- the dynamics of natural forest regeneration,
- the dynamics of mycorrhiza,
- the dynamics of insect diversity,
- the dynamics of timber decay, and
- the interaction between vegetation and roe deer after windthrow.

This report describes the questions, the methods and the findings of these sub-projects.

Keywords

Storm damage, disturbance, vegetation succession, forest regeneration, insects, soil compaction, mycorrhiza, roe deer, wood decay, Switzerland

Vorwort

Der Orkan „Lothar“ am 26. Dezember 1999 hatte für die Waldwirtschaft Frankreichs, Süddeutschlands und der Schweiz einschneidende Folgen, welche auch den aktuellen Umbruch in den forstlichen Strukturen deutlich mitprägen und beschleunigen. Die im Schweizer Wald geworfene Holzmenge betraf etwa 3 % des stehenden Holzvorrats, d.h. 13.8 Mio. m³ Holz (BUWAL 2002). Unter dem Eindruck der immensen Schäden im Wald unterstützten der Bund und die betroffenen Kantone die Anstrengungen zur Bewältigung der direkten Schäden, zur Begrenzung von Folgeschäden und zur Wiederbewaldung mit Finanzhilfen und rückzahlbaren Darlehen.

Im Zusammenhang mit der finanziellen Unterstützung der Bewältigung der Lotharschäden im Wald gab das Parlament auch 10 Mio. Franken frei für Lothar-Forschungsprojekte in den Jahren 2000 bis 2003. Damit stellte es sich hinter das Anliegen der Eidg. Forstdirektion (F+D), Lothar und seine Folgen wissenschaftlich zu begleiten und zu untersuchen. Mit diesem Geld finanzierte die F+D die rund 40 Lothar-Forschungsprojekte, welche im Grundlagenprogramm Lothar zusammengefasst und koordiniert wurden. Das Lothar-Grundlagenprogramm hatte zum Ziel, wichtige Wissenslücken zu schliessen, um damit im Falle zukünftiger Schadenereignisse die Entscheidungs- und Handlungsabläufe auf allen Ebenen besser aufeinander abzustimmen und zu optimieren.

Innerhalb des Lothar-Grundlagenprogrammes wurden die Forschungsprojekte nach Themen unter neun Teilprogrammen eingeteilt (Abb. 1.0-1). An den Lothar-Forschungsprojekten hatte die WSL einen bedeutenden Anteil. Eines dieser WSL-Projekte war auch das in diesem Schlussbericht behandelte Projekt: „Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz“ („Rahmenprojekt Lothar“). Das „Rahmenprojekt Lothar“ der WSL bildete zusammen mit drei weiteren Projekten das Teilprogramm 1 „Dauerversuchsflächen, Waldbau, Wild und Forstschutz“.

Finanziert wurden das Rahmenprojekt und die darin zusammengeschlossenen Teilprojekte durch das BUWAL im Rahmen des Lothar-Kredites des Bundes. Für die Durchführung stellte die WSL Infrastruktur und zusätzliche Eigenmittel zur Verfügung.

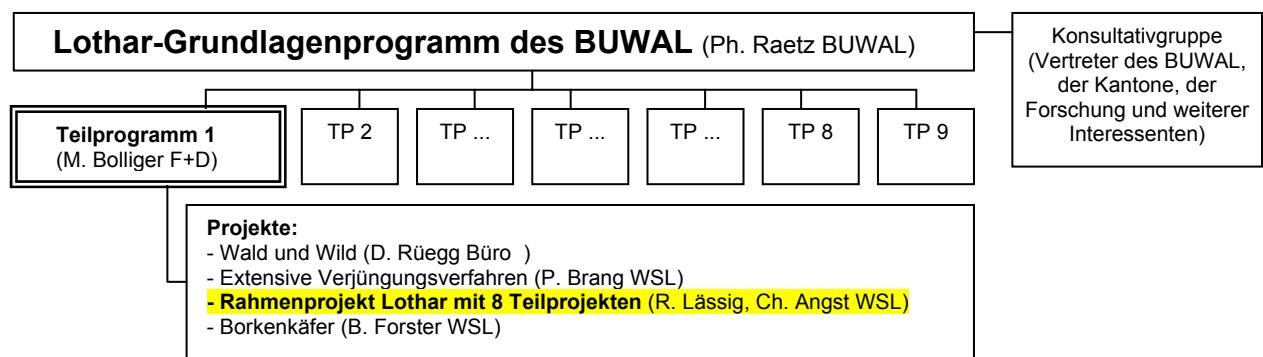


Abbildung 0.0-1: Position des Rahmenprojekts Lothar im Organisationsschema des Lothar-Grundlagenprogrammes des BUWAL

Dank

An erster Stelle geht unser Dank an die Eidgenössische Forstdirektion für die finanzielle Unterstützung des Rahmenprojekts. Auch gegenüber den Kantonen und Waldbesitzern, welche uns die Forschungsflächen zur Verfügung gestellt und auch mit Interesse und persönlichem Einsatz das Projekt unterstützt haben, sind wir zu grossem Dank verpflichtet. Insbesondere möchten wir uns bei denjenigen Personen der Forstdienste und Gemeinden herzlich bedanken, die uns bei unseren Arbeiten in zuvorkommender Weise unterstützten.

Birmensdorf, im März 2004

Christoph Angst

Inhalt

	Seite
Abstract	3
Vorwort	5
Dank	6
1 Einführung.....	9
1.1 Ausgangslage	9
1.2 Ziele und Aufgaben des Rahmenprojektes	9
1.3 Bedeutung für Praxis und Forschung	10
1.4 Projektorganisation	11
1.4.1 <i>Rahmenprojekt Lothar</i>	11
1.4.2 <i>Teilprojekte</i>	12
1.5 Ausgeführte Arbeiten im Rahmenprojekt.....	13
1.5.1 <i>Auswahl und Einrichtung der Versuchsflächen</i>	13
1.5.2 <i>Kartengrundlagen und Grunddokumentation</i>	13
1.5.3 <i>Publikationen</i>	13
1.5.4 <i>Tagungen, Führungen und Presseanlässe</i>	15
2 Beschreibung der Versuchsflächen	17
2.1 Orte und geographische Lage	17
2.2 Allgemeine Daten zu den Versuchsflächen in der Übersicht	18
2.3 Versuchorte der Teilprojekte.....	19
2.4 Situation der Versuchsflächen	20
3 Teilprojekte.....	21
3.1 Bodeninventar: Humusentwicklung und Veränderung von Bodeneigenschaften	21
3.1.1 <i>Einleitung</i>	21
3.1.2 <i>Zielsetzung und Methoden</i>	21
3.1.3 <i>Zusammenfassung der Resultate</i>	21
3.2 Bodenverdichtung	25
3.2.1 <i>Einleitung</i>	25
3.2.2 <i>Zielsetzung und Methoden</i>	25
3.2.3 <i>Ausgewählte Resultate</i>	28
3.2.4 <i>Folgerungen</i>	34
3.2.5 <i>Zusammenfassung der Resultate</i>	34
3.2.6 <i>Folgerungen für Massnahmen im Hinblick auf eine zukünftige Sturmschadenbewältigung</i>	35
3.3 Die Dynamik der Ektomykorrhizapilze nach einem Windwurf: Fallbeispiel Messen	36
3.3.1 <i>Einleitung</i>	36
3.3.2 <i>Material und Methoden</i>	37
3.3.3 <i>Ergebnisse</i>	37
3.3.4 <i>Diskussion</i>	38
3.4 Dauerbeobachtung der Vegetationsentwicklung auf Lothar-Windwurfflächen.....	39
3.4.1 <i>Ausgangslage und Problemstellung</i>	39
3.4.2 <i>Zielsetzung und Arbeitshypothesen</i>	39
3.4.3 <i>Material und Methoden</i>	39
3.4.4 <i>Ergebnisse und Diskussion</i>	40
3.4.5 <i>Ausgangslage und Limitierung</i>	40
3.4.6 <i>Ausblick</i>	52
3.4.7 <i>Dank</i>	52
3.5 Dauerbeobachtung der Waldverjüngung auf Lothar-Windwurfflächen.....	53
3.5.1 <i>Ausgangslage und Problemstellung</i>	53
3.5.2 <i>Zielsetzung und Arbeitshypothesen</i>	53
3.5.3 <i>Material und Methode</i>	54
3.5.4 <i>Ergebnisse</i>	55
3.5.5 <i>Diskussion</i>	61
3.5.6 <i>Ausblick</i>	64
3.5.7 <i>Dank</i>	64

3.6 Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Reh: Einfluss von Windwurf auf Nahrungsangebot und Nahrungsnutzung.....	65
3.6.1 <i>Einleitung</i>	65
3.6.2 <i>Material und Methoden</i>	65
3.6.3 <i>Ergebnisse</i>	66
3.6.4 <i>Diskussion</i>	71
3.6.5 <i>Ausblick</i>	72
3.6.6 <i>Dank</i>	72
3.7 Vergleich der Fauna auf Lothar-Windwurfflächen und im intakten Wald	73
3.7.1 <i>Einleitung</i>	73
3.7.2 <i>Material und Methoden</i>	73
3.7.3 <i>Ergebnisse</i>	74
3.7.4 <i>Diskussion und Folgerungen</i>	76
3.7.5 <i>Ausblick</i>	77
3.7.6 <i>Dank</i>	77
3.8 Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfflächen.....	78
3.8.1 <i>Ausgangslage und Problemstellung</i>	78
3.8.2 <i>Zielsetzung und Arbeitshypothesen</i>	78
3.8.3 <i>Material und Methoden</i>	78
3.8.4 <i>Ergebnisse und deren Diskussion</i>	79
3.8.5 <i>Ausblick</i>	84
3.8.6 <i>Dank</i>	85
3.9 Natürliches Recycling von Buchenholz: Sukzession von holzabbauenden Pilzen und Holzabbau.....	86
3.9.1 <i>Einleitung</i>	86
3.9.2 <i>Ziele</i>	86
3.9.3 <i>Material und Methoden</i>	86
3.9.4 <i>Ergebnisse und Diskussion</i>	87
3.9.5 <i>Folgerungen und Ausblick</i>	92
3.9.6 <i>Dank</i>	92
4 Zusammenfassung des Rahmenprojekt-Schlussberichts	93
4.1 Ausgangslage und Organisation des Rahmenprojektes.	93
4.2 Wichtige Forschungsergebnisse.....	93
4.2.1 <i>Veränderungen im Boden und Entwicklung der Biodiversität</i>	93
4.2.2 <i>Verjüngung und Vegetation</i>	95
4.2.3 <i>Nutzung der Windwurfflächen durch das Reh</i>	95
5 Ausblick.....	96
6 Literaturverzeichnis und Quellenangaben.....	96



1 Einführung

1.1 Ausgangslage

Nach dem Sturm „Vivian“ von 1990 begann die WSL mit der Untersuchung von Entwicklungen auf Windwurfflächen im schweizerischen Alpen- und Voralpenraum (Schönenberger et al. 1992). Die Ergebnisse dieser Forschungstätigkeit wurden in einem Sonderband der WSL-Schriftenreihe „Forest, Snow and Landscape Research“ (Schönenberger et al. 2002) und zusammenfassend als Merkblatt für die Praxis (Schönenberger et al. 2003) publiziert. Ihre praktische Umsetzung wurde in der „Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald“ (BUWAL 2000) realisiert. Anders als Vivian betraf der noch wirkungsvollere Sturm „Lothar“ im Dezember 1999 vor allem das Mittelland, die Voralpen und den Jura. Der Sturm warf dieses Mal Wälder auf anderen Standorten und in anderer Zusammensetzung als 1990; in vielen Regionen waren auch Laub-, Laubmisch- und Tannenwälder betroffen. Die bis dahin vorliegenden Forschungsergebnisse der WSL (Schönenberger et al. 2002) sowie ausländischer Untersuchungen gelten für diese Wälder und Regionen nur bedingt. Trotzdem führten die Ergebnisse der Untersuchungen auf den „Vivian“-Windwurfflächen zu einer deutlichen Versachlichung der Diskussionen nach „Lothar“. Im Vergleich zur Situation nach „Vivian“ wurden nach „Lothar“ deswegen auch erhebliche Subventionsbeiträge eingespart. Die Forst- und Naturschutzpraxis ist explizit an Forschungsergebnissen aus Windwürfen in tieferen Lagen interessiert. Dies gilt vor allem für Fragen der Waldbehandlung (räumen vs. nicht räumen), der Wiederbewaldung und der Biodiversität.

Um die bisherigen Erkenntnisse aus den Vivianflächen mit Untersuchungen auf Lotharflächen des Mittellandes und der Voralpen zu ergänzen, initiierten die Eidg. Forstdirektion (F+D) und die Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) das Rahmenprojekt „Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz“, kurz „Rahmenprojekt Lothar“. Das Rahmenprojekt wird von der WSL durchgeführt. Es ist finanziert durch die F+D im Rahmen des Lothar-Grundlagenprogrammes sowie durch Eigenmittel der WSL.

1.2 Ziele und Aufgaben des Rahmenprojektes

Im Schweizer Mittelland und in den Voralpen gab es bisher kaum Windwurfflächen, auf denen alles Sturmholz liegen gelassen wurde. Entsprechend fehlen die Erfahrungen über die natürliche Waldentwicklung auf solchen Flächen. Mit Hilfe der Beschreibung des Ausgangszustandes, wiederkehrender Stichprobenerhebungen und speziellen Untersuchungen wurden anhand von Teilprojekten die Entwicklung nach Windwurf dokumentiert und deren Einflussfaktoren erfasst.

Forschungsfragen:

- Inwiefern unterscheiden sich die natürlichen Prozesse der Wiederbewaldung auf geräumten und belassenen Windwurfflächen?
- Trägt das belassene Sturmholz zu einer natürlichen Strukturierung des Folgebestandes bei?
- Welche Auswirkungen hat das Belassen von Windwurfflächen auf die zukünftige Waldbewirtschaftung?
- Bestätigen sich die auf den höher gelegenen Vivian-Versuchsflächen gewonnenen Erkenntnisse auf den Lothar-Versuchsflächen des Mittellandes?

Mit dem Rahmenprojekt sollen u.a. die Entscheidungsgrundlagen für die zukünftige, multifunktionelle Nutzung von sturmgeschädigten Wäldern in tieferen Lagen verbessert werden. Ziel ist es, Grundlagen für die Erweiterung und Aktualisierung der bestehenden Entscheidungshilfen – „Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald“ (BUWAL 2000) und „Waldschadenhandbuch“ (BUWAL 1993) – zu erarbeiten. Das Rahmenprojekt dient der Dienstleistung für andere Forschungsgruppen (Flächeneinrichtung, Dokumentation, Luftbilder, Karten etc.). Es koordiniert die gleichzeitig eingegebenen Projekte (vgl. Kap. 2) und ist offen für weitere Forschungsthemen.

Zweck des Rahmenprojekts „Lothar“:

- Sichern von „Lothar“-Windwurfflächen (ungeräumt, geräumt, stehender Nachbarbestand) als Versuchs- und Demonstrationsflächen.
- Versuchsflächen einrichten, dokumentieren, vermessen, kartieren etc.
- Die Entwicklung der Waldverjüngung erheben und dokumentieren.
- Den Einfluss unterschiedlicher Varianten (Räumen vs. Liegen Lassen) auf die Wiederbewaldung und die Biodiversität in Wäldern tieferer Lagen der Schweiz prüfen und aus den Ergebnissen Folgerungen ziehen.
- Entwicklungen auf „Lothar“-Flächen mit denen auf „Vivian“-Flächen vergleichen.
- Grundlagen liefern für die Entwicklung von Pflegekonzepten auf grossen Windwurfflächen.
- Ergebnisse und Folgerungen publizieren und für die Überarbeitung forstlicher Entscheidungshilfen (z.B. BUWAL 1993, BUWAL 2000) zur Verfügung stellen.

1.3 Bedeutung für Praxis und Forschung

Die Forschungsergebnisse der vergangenen 16 (Bayerischer Wald), 10 (Vivian) bzw. 6 (Ural) Jahre haben in manchen Ländern ein Umdenken bezüglich eines naturnahen Waldmanagements nach Windwurf gefördert. Auch in der Schweiz ist ein solcher Wandel festzustellen. Allerdings lagen bis anhin nur wenige Ergebnisse aus Tieflagenwäldern vor, die auf schweizerische

Verhältnisse übertragbar sind. Darauf macht auch die „Entscheidungshilfe nach Sturmschäden im Wald“ (BUWAL 2000) aufmerksam. Fachleute aus der Forst- und Naturschutzpraxis haben nach „Lothar“ mehrfach Untersuchungen in Windwürfen tieferer Lagen und die Weiterführung der „Vivian“-Forschung gefordert. Im Hinblick auf kommende Windwurf-Ereignisse und potentielle Einsparungen im Bereich staatlicher Subventionen hat die Forschung auf „Lothar“-Flächen eine grosse Bedeutung für die Praxis. Vor allem zu Themen wie naturnaher Waldentwicklung, Wildnis, Biodiversität, aber auch Klimaveränderung ist die Bedeutung der „Lothar“-Forschung evident.

1.4 Projektorganisation

1.4.1 Rahmenprojekt Lothar

Das „Rahmenprojekt Lothar“ der WSL war Teil des Lothar-Forschungsprogrammes des BUWAL (vgl. Abb. 1.0-1). Finanziert wurden das Rahmenprojekt und die darin zusammengeschlossenen Teilprojekte durch das BUWAL im Rahmen des Lothar-Kredites des Bundes. Für die Durchführung stellte die WSL Infrastruktur und zusätzliche Eigenmittel zur Verfügung.

Die Leitung des Rahmenprojektes unterstand bis Ende 2002 Dr. Reinhard Lässig. Ab Januar 2003 übernahm Christoph Angst (Forsting. ETH) die Projektleitung für die restliche Projektdauer. Zur Ergänzung des Projektteams wurde Thomas Reich (Forsting. ETH) als Projektassistent eingestellt.

Während der Projektdauer bot das Rahmenprojekt den beteiligten Forschungsgruppen der WSL sowie externen Partnern Dienstleistungen an (Flächeneinrichtung, Dokumentation, Luftbilder, Karten etc.). Der Projektleiter koordinierte die unter Kapitel 1.4.2 aufgeführten Teilprojekte, organisierte Projekttagungen und war für die Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften sowie für die Fachinformation der Forstdienste und der breiten Öffentlichkeit verantwortlich.

Aufgaben des Rahmenprojektes:

- Kontaktstelle zwischen Forschung und Forstdirektion (BUWAL).
- Kontaktstelle zwischen Forschung und Praxis, d.h. den Kantonalen Forstverwaltungen und Forstkreisen (AG, BE, FR, SO) sowie den Gemeinden als Waldeigentümer).
- Verträge mit den Waldeigentümern und Kantonen ausarbeiten, Versuchsflächen markieren, Infotafeln im Gelände aufstellen, usw.
- Flächendokumentation, d.h. Zusammenstellen wichtiger Informationen zur Fläche.
- Fotodokumentation.
- Kartengrundlagen erstellen lassen aufgrund von Luftbildern, GIS-Daten bereitstellen.
- Öffentlichkeitsarbeit und Medienkontakte.

1.4.2 Teilprojekte

Zusammen mit der Dauerbeobachtung der Waldverjüngung waren im Rahmenprojekt Lothar insgesamt acht Teilprojekte eingegliedert:

- a) Bodeninventar: Humusentwicklung und Veränderung von Bodeneigenschaften auf Lothar-Windwurfflächen (P. Lüscher)
b) Folgeprojekt Bodenverdichtung (P. Lüscher und M. Kuhn)
- Dynamik der Ektomykorrhizapilze nach einem Windwurf: Fallbeispiel Messen (S. Egli)
- Dauerbeobachtung der Vegetationsentwicklung auf Lothar-Windwurfflächen (M. Nobis, Th. Wohlgemuth)
- Dauerbeobachtung der Waldverjüngung auf Lothar-Windwurfflächen (Ch. Angst, Th. Reich)
- Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Reh: Einfluss von Windwurf auf Nahrungsangebot und Nahrungsnutzung (B. Moser und K. Hindenlang)
- Vergleich der Fauna auf Lothar-Windwurfflächen und im intakten Wald (B. Wermelinger, P. Duelli)
- Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfflächen (M. Nobis, A. Bürgi)
- Natürliches Recycling von Buchenholz: Sukzession von holzabbauenden Pilzen und Holzabbau (J. Polomski und U. Heiniger)

Fragestellungen, Methoden und Ergebnisse der einzelnen Teilprojekte sind unter Kapitel 3 ausführlich beschrieben.

1.5 Ausgeführte Arbeiten im Rahmenprojekt

1.5.1 Auswahl und Einrichtung der Versuchsflächen

Als Grundlage für unsere Untersuchungen suchten wir im Jahr 2000 geeignete Windwurfflächen auf Buchenwaldstandorten des Mittellandes und in tannenreichen Wäldern der Voralpen. Aus den uns von den Kantonalen Forstdiensten gemeldeten Möglichkeiten wählten wir 5 Flächen im Mittelland und 2 Flächen in den Voralpen aus (vgl. Kap. 2). Bis auf Walkringen konnte an allen Orten je eine geräumte und eine belassene Variante eingerichtet werden. Bei den betreffenden Wäldern handelt es sich ausschliesslich um Staats- oder Gemeindewald.

Die Sicherung dieser Flächen als langfristige Versuchsflächen wurde zwischen der WSL und den Kantonen vertraglich geregelt. Im Falle von Gemeinde-Eigentum schlossen die Kantone ihrerseits mit den Waldbesitzern über Dauer und allfällige Abgeltungen des Nutzungsverzichts Verträge ab.

Wo nötig wurden die Grenzen der Versuchsflächen im Gelände verpflockt. Im Winter 00/01 richteten wir zur Erhebung der Waldverjüngung an allen Orten permanente Stichprobennetze ein (vgl. Kap. 3.5).

1.5.2 Kartengrundlagen und Grunddokumentation

Im Juni und August 2002 erfolgte durch Swisstopo eine Befliegung der Versuchsflächen. Aus den Luftbildern wurden Orthofotos für die GIS-Anwendung hergestellt und photogrammetrisch ausgewertet. Von allen Orten bestehen ausführliche Kartengrundlagen, die im ArcView verwaltet werden.

In einer Grunddokumentation sind die wichtigsten Daten über die Versuchsflächen zusammengetragen worden.

1.5.3 Publikationen

1.5.3.1 Artikelserie in den Fachzeitschriften „Wald und Holz“ und „La Forêt“

Im Sommer 2000 wurde anhand einer vierteiligen Artikelserie im „Wald und Holz“ und dessen französischsprachigen Partnerzeitschrift „La Forêt“ das in der Literatur vorhandene Wissen über die Wiederbewaldung von Windwurfflächen zusammengefasst und veröffentlicht. Es erschienen folgende Publikationen:

- *Wald und Holz:*

Angst, C.; Lässig, R.; Brang, P. 2000: Wiederbewaldung nach "Lothar" (1): Nach Windwürfen stabile Bestände schaffen. *Wald und Holz* 81(8): 27-30.

Angst, C.; Brang, P.; Lässig, R. 2000: Wiederbewaldung nach "Lothar" (2): Anspruchsvolle Waldbegründung nach Windwurf. *Wald und Holz* 81(9): 27-30.

Angst, C.; Brang, P.; Schönenberger, W. 2000: Wiederbewaldung nach "Lothar" (3): Windwurf im Gebirgswald: Verjüngung abwarten oder nachhelfen? *Wald und Holz* 81(10): 43-47.

- *La Forêt*

Angst, C.; Lässig, R.; Brang, P. 2000: Créer des peuplements résistant aux tempêtes. *La Forêt* 53(11): 13-16.

Angst, C.; Lässig, R.; Brang, P. 2000: Reconstituer la forêt est une tâche exigeante. *La Forêt* 53(12): 22-25.

Angst, C.; Brang, P.; Schönenberger, W. 2001: Le reboisement après Lothar. Les chablis en montagne: Faut-il aider la régénération ou attendre? *La Forêt* 54(1): 20-24.

1.5.3.2 Weitere Publikationen innerhalb des Rahmenprojekts inkl. Teilprojekte

Angst, C., 2003: Stand renewal of storm-damaged beech forests under the influence of competing vegetation. In: Ruck, B.; Kottmeier, C.; Mattheck, C.; Quine, C.; Wilhelm, G.: Proceedings of the International Conference Wind Effects on Trees: 91-97.

Gautier, R., 2001: Die xylobionte Insektenfauna im ersten Jahr nach dem Sturm Lothar. Diplomarbeit am Zoologischen Museum, UNI Zürich (Ref. Prof. P. Ward, Korr. B. Wermelinger).

Lässig, R.; Wermelinger, B., 2002: Aus Schaden wird der Förster klug. Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung 44 (3. Nov. 02): 64-65.

1.5.3.3 Presseartikel über Lothar-Versuchsflächen

Die in Tabelle 3.5-1 aufgeführten Presseberichte waren das Produkt von Informationen vor Ort, zu welchen wir bestimmte lokale und regionale Zeitungen einluden. Oftmals waren bei den Waldführungen auch Journalisten dabei, welche in der Folge darüber berichteten.

Tabelle 1.5-1: Presseartikel über die Versuchsflächen des Rahmenprojektes Lothar (2000-2003)

Datum	Versuchsfläche	Organ	Titel	Autor	Seite
05.10.00	Sarmenstorf	NZZ	Die Entwicklung des Waldes nach „Lothar“	H. Heusser	13
02.06.01	Messen	Neue Mittelland Zeitung	„Wie nutzt die Natur ihre Chance“	K. Berchtold	17
März 02	Châtel-St-Denis	gazette tcs	„L'Etat mène un test grandeur nature: exploiter et replanter ou laisser faire?“	?	9
Mai 02		Informationsblatt Nr. 10, Forschungsbereich Wald, WSL	„Lothar-Forschung eine lohnende Investition“	R. Lässig	1-3
20.06.02	Walkringen	Wochen-Zeitung für das Emmental und Entlebuch	„Der Wald wird sich selber überlassen“	B. Zürcher	16
01.09.02	Ural, Russland	NZZ am Sonntag	„Der Sturm in den Wäldern des Ural“	R. Lässig	83

19.09.02	Rorwald, OW	SF DRS, Schweiz Aktuell	„Beitrag über Kleinsäugeruntersuchung“	Interview mit A. Sjusko, P. Duelli u. J. Stalder	
20.09.02	Müntschemier / Brüttelen	Bieler Tagblatt	„Der wilde Wald von Finsterhennen“	S. Dickmann	19
20.09.02	Habsburg	Aargauer Zeitung	„Der Sturm wirkt wie ein Motor“	H. Lüthi	17
26.09.02	Müntschemier / Brüttelen	Der Bund	„Wie nach Lothar die jungen Bäume spriessen“	F. Lauber	19
09.10.02	Habsburg	Neue Zürcher Zeitung	„Wie sich der Wald nach dem Sturm Lothar entwickelt“	H. Heusser	63
27.05.03	Sarmenstorf	Bremgarter Bezirksanzeiger	„Brombeeren sind das Problem“	H. Crusius	32
27.05.03	Sarmenstorf	Aargauer Zeitung	„Was macht der Wald ohne Mensch?“	T. Widmer	?
23.06.03	Messen	Solothurner Zeitung	„Für die Natur war Lothar ein Segen“	U. Jaggi	13
10.10.03	Müntschemier	Der Bund	„Dem Sturm folgt das Reh“	F. Lauber	?
15.10.03	Müntschemier	Bieler Tagblatt	„Der Natur ihren freien Lauf lassen“	J. Zwahlen	?

1.5.4 Tagungen, Führungen und Presseanlässe

Zur Kontaktpflege und gegenseitigen Information zwischen den Wissenschaftern, den Projektpartnern aus der Forstpraxis und weiteren Interessierten organisierte die Leitung des Rahmenprojektes Lothar zwei Wintertagungen an der WSL.

Während der ganzen Projektzeit waren die Lothar-Versuchsflächen immer wieder gefragt für Führungen und Exkursionen und Berichte in der Presse. Manche Anlässe wurden zum einen Teil von Seiten des Rahmenprojektes initiiert, andere auf Initiative interessierter Gruppen und Vereine (Tab. 3.5-2).

Tabelle 1.5-2: Tagungen, Führungen und Presseanlässe im Rahmenprojekt Lothar (2000-2003)

Datum	Ort	Anlass
17.01.01	WSL, Birmensdorf	Jahrestagung Vivian und Lothar für die an den Rahmenprojekten Vivian und Lothar beteiligten Partner aus der Praxis und der Forschung, sowie für Interessierte aus anderen Institutionen und Lothar-Forschungsprojekten. Die Projektbearbeiter aus der WSL und anderen Institutionen stellten ihre Vivian- und Lotharprojekte anhand von Kurzvorträgen vor.
19.5.01	Birmensdorf	Exkursion mit Verein für Natur- und Vogelschutz Uitikon (B. Wermelinger, Th. Wohlgemuth)
31.05.01	Messen	Informationsabend für die Gemeinde über die Wald-Beobachtungsfläche Brunnenthal (R. Lässig, Ch. Angst)
22.05.02	Châtel-St-Denis	Führung mit TCS-Mitgliedern (Kreisförster J. Deschenaux)

19.09.02	Habsburg	Presseanlass für Aargauer Zeitung und NZZ (R. Lässig (WSL), P. Brang (WSL), B. Wermelinger (WSL), Ph. Raetz (BUWAL), P. Brogli (Förster))
20.09.02	Müntschemier / Brüttelen	Presseanlass für Bieler Tagblatt und Bund (R. Lässig (WSL), B. Förster (WSL), M. Zwahlen (Förster))
30.04.01	WSL, Birmensdorf	Jahrestagung für die am Rahmenprojekt Lothar beteiligten Partner aus der Praxis und der Forschung, sowie für Interessierte aus anderen Institutionen und Lothar-Forschungsprojekten. Die Projektbearbeiter aus der WSL und anderen Institutionen stellten ihre Lotharprojekte anhand von Kurzvorträgen vor.
24.05.03	Sarmenstorf	Waldumgang für Bevölkerung. ca. 25 Besucher. (WSL: U. Heiniger, J. Polomski, P. Lüscher, B. Wermelinger, M. Kuhn, Ch. Angst, Th. Reich, S. Martin; <i>Forstdienst</i> : W. Sonderegger, E. Jansen; <i>Gemeinde Sarmenstorf</i> : C. Widmer (Forstchefin); <i>Presse</i> : Crusius (Wohler Anzeiger), T. Widmer (Aargauer Zeitung)
06.06.03	Müntschemier / Brüttelen	Einweihungsfeier der Naturschutzprojekte in der Gemeinde. An einem Posten orientierten J. Schneider (Kreisförster) und Ch. Angst über das Waldreservat Grammetwald. Am Morgen für die Primarschulklassen der Gemeinde, am Nachmittag für die geladenen Gäste.
20.06.03	Messen	Waldumgang für Bevölkerung, organisiert durch den Natur- und Vogelschutzverein Bucheggberg. ca. 60 Besucher. (Kreisförster U. Stebler, Gemeindepräsident Beat Stähli, Vereinspräsident Max Jaggi, Martin Baumann (Amt f. Jagd, SO), Martin Kuhn (WSL), Christoph Angst (WSL))
30.06.03	Habsburg	Vorstellen des Rahmenprojekts Lothar anlässlich des Abteilungstages der BUWAL-Hauptabteilung Natur- und Landschaftsschutz (Ch. Angst)
22.08.03	Habsburg	Exkursion der SFV-Jahrestagung nach Windisch/Habsburg und in die Lothar-Versuchsflächen (Kreisförster A. Peyer, Förster P. Brogli, Ch. Angst (WSL))
08.10.03	Müntschemier / Brüttelen	Begehung Waldreservat Grammetwald, organisiert durch Grüne Liste Seeland. Beteiligt waren unter anderem drei GrossräätInnen des Kantons Bern. (Kreisförster A. Stauffer, Förster M. Zwahlen, Ch. Angst (WSL); <i>Presse</i> : Bieler Tagblatt und Der Bund)



Abbildung 1.5-1: Öffentliche Waldführung auf der Versuchsfläche bei Sarmenstorf am 25.5.2003

2 Beschreibung der Versuchsflächen

2.1 Orte und geographische Lage

An ursprünglich sechs Orten wurden Versuchsflächen für das Rahmenprojekt Lothar eingerichtet. Ende 2001 wurde das Projekt durch eine weitere Sturmfläche bei Wohlen (AG) ergänzt. Diese Fläche bot sich zusätzlich an, weil sie sich im von der WSL verwalteten Forstbetrieb Bremgarten-Wohlen-Waltenswil befindet. Fünf der Versuchsflächen befinden sich im Mittelland auf 400 - 600 m ü.M., während die Versuchsflächen bei Walkringen (930 m ü.M.) und Châtel-St-Denis (1220-1325 m ü.M.) in den Voralpen liegen (Abb. 4.1-1).

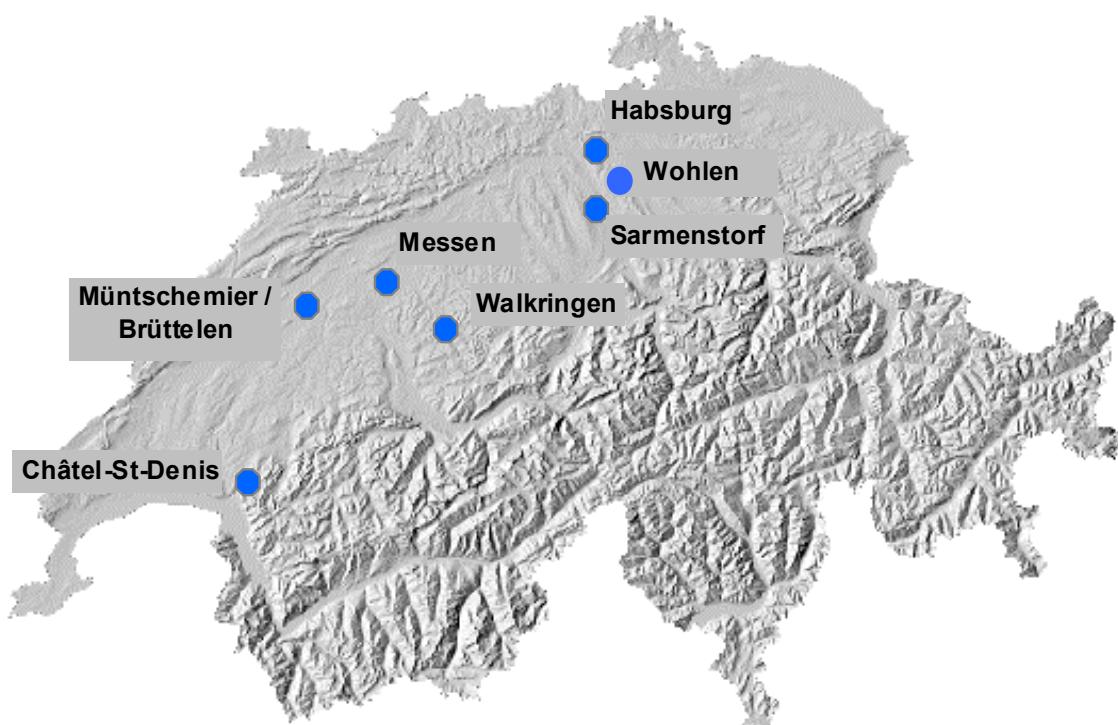


Abbildung 2.1-1: Die Versuchsorte des Rahmenprojektes Lothar

2.2 Allgemeine Daten zu den Versuchsflächen in der Übersicht

Tabelle 2.2-1: Allgemeine Daten zu den Versuchsflächen in der Übersicht

	Châtel-St-Denis	Habsburg	Messen	Müntschemier / Brüttelen	Sarmenstorf	Walkringen	Wohlen
Lokalname	Creux de l'Ours	Galgehübel / Boll	Krähenberg	Grammetwald / Bodelenwald	Buechwald	Brandiswald	Chintis
LK 1:25'000	1244, Châtel-St-Denis	1070, Baden	1146, Lyss	1145, Bieler See	1110, Hitzkirch	1167, Worb	1090, Wohlen
LK 1:50'000	262	215	233	232	225	243	225
Koordinaten belassen	564.900/ 154.350	657.650/ 258.000	601.900/ 215.150	579.250/ 207.400	661.870/ 241/175	615.550/ 200.800	664.780/ 245.800
geräumt	564.850/ 154.200	657.000/ 256.550	601.750/ 215.350	577.050/ 207.600	661.750/ 241.180	nicht vorhanden	664.690/ 245.740
Fläche belassen	ca. 3 ha	ca. 30 ha	ca. 3.5 ha	ca. 15 ha Reservat 20.7 ha	2.3 ha	ca. 3.7 ha	ca. 1.7 ha
Fläche geräumt	ca. 3 ha	ca. 13 ha	ca. 1.2 ha	ca. 3 ha	5 ha	-	ca. 4.5 ha
Eigentümer	Staat	Staat	Bürgergemeinde Messen	<i>Belassen:</i> Einwohnergemeinde Müntschemier / <i>Geräumt:</i> Staat	Ortsbürgergemeinde Sarmenstorf	Staat	Ortsbürgergemeinde Wohlen
Höhe ü. Meer belassen	1230-1325 m	425-430 m	535-540 m	470 m	570-585 m	930-935 m	460 - 470 m
geräumt	1220-1300 m	445-455 m	510-530 m	545-550 m	585-600 m	-	470 - 480 m
Exposition belassen	W	SSO	NO	NW-O-SO	NO	SW	NO
geräumt	W	O	NO	N	NO	-	NO
Hangneigung belassen	70-80 %	0-10 %	0-5 %	0-10 %	0-10 %	0-5 %	0-10 %
geräumt	70-80 %	0-5 %	0-5 %	0-10 %	0-20 %	-	0-20 %
Geologie belassen	Kalkhaltige Schiefer	Risseiszeitl. Hochterassenschotter	Moräne über oberer Süßwassermolasse	Grundmoräne / Moräne	Moräne mit Wällen, obere Süßwassermolasse	obere Süßwassermolasse, skelettarme Nagelfluh, fluvioglaziale Schotter	
geräumt	Kalkhaltige Schiefer	Risseiszeitl. Hochterassenschotter	Ob. Süßwasser-molasse mit geringer Moräne	Obere Meeres-molasse (Sandstein/Mergel)	Moräne mit Wällen, obere Süßwassermolasse	-	
Bodentyp geräumt	Braunerde	Schwach pseudogleyige Parabraunerde	Pseudogleyige Braunerde	Schwach pseudogleyige Parabraunerde	Schwach ausgeprägte Parabraunerde	Belassene Fläche: Pseudogleyige Braunerde	
Humusform geräumt	Typischer Mull	Moderartiger Mull	Typischer Mull	Moderartiger Mull	Moderartiger Mull	Moder bis Rohhumus	Moderartiger Mull
Niederschlag (Jahresmittel)	1906 mm	1032 mm	1187 mm	1187 mm	1108 mm	1274 mm	1110 mm

	Châtel-St-Denis	Habsburg	Messen	Müntschemier / Brüttelen	Sarmenstorf	Walkringen	Wohlen
Temperatur (Jahresmittel)	6.7 °C	9.5 °C	9.4 °C	9.4 °C	9.5 °C	7.8 °C	8.5 °C
Waldgesellschaften	Tannen-Buchenwald (18a, 18s); Typischer Alpendost-Fichten-Tannenwald (50a)	Typischer Waldmeister-Buchenwald (7a)	Typischer Waldmeister-Buchenwald(7a); Zweiblatt-Eschenmischwald (29)	Waldmeister-Buchenwald mit Hainsimse (6)	Typischer Waldmeister-Buchenwald (7a); Waldmeister-Buchenwald mit Hainsimse (6)	Typischer Heidelbeer-Fichten-Tannenwald (46a)	Typischer Waldmeister-Buchenwald (7a)
ehemaliger Bestand	Fi, Ta, Bu; Baumholz II - Altholz	Fi, Fö, Ta, Bu, Wey; Baumholz II - Altholz	Fi; starkes Stangenholz (Aufforstung nach Windwurf von 1967)	Bu, Ei	Bu; Baumholz II	Fi, Ta, Bu; in Überführung zu Plenterbestand	Bu (Fö, Ei, Fi); Altholz (Bestandesbegruendung 1877)
Besonderes	Auerhuhn-Schutzgebiet, Luchs anwesend	Kantonales Umweltbildungsprojekt (25 Jahre ohne Massnahmen)	Perimeter inkl. Nachbarbestände (12 ha); Reservat mit 100 Jahren Laufzeit	<i>Belassen:</i> Reservat mit Vertragsdauer 50 Jahre / <i>Geräumt:</i> 10 Jahre Nutzungsverzicht	Vertrag mit Kanton		<i>Belassen:</i> seit 1997 als Altholzinsel im Aargauer Wald-Naturschutz-Programm

2.3 Versuchsorte der Teilprojekte

Die im Rahmenprojekt zusammengefassten Teilprojekte wurden hauptsächlich auf den Versuchsflächen des Rahmenprojekts durchgeführt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Versuchsorte der einzelnen Teilprojekte.

Tabelle 2.3-1: Versuchsorte der Teilprojekte

Projekt:	Versuchsfäche:						
	Müntschemier / Brüttelen (BE)	Sarmenstorf (AG)	Wohlen (AG)	Habsburg (AG)	Messen (SO)	Châtel-St-Denis (FR)	Walkringen (BE)
3.1 Bodeninventar: Humusentwicklung und Veränderung von Bodeneigenschaften auf Lothar-Windwurfflächen (P. Lüscher)	✓	✓		✓	✓	✓	✓
3.2 Bodenverdichtung (P. Lüscher und M. Kuhn)					✓		
3.3 Die Dynamik der Ektomykorrhizapilze nach einem Windwurf: Fallbeispiel Messen (S. Egli)					✓		
3.4 Dauerbeobachtung der Vegetationsentwicklung auf Lothar-Windwurfflächen (M. Nobis, Th. Wohlgemuth)	✓	✓		✓	✓		
3.5 Dauerbeobachtung der Waldverjüngung auf Lothar-Windwurfflächen (Ch. Angst)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.6 Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Reh: Einfluss von Windwurf auf Nahrungsangebot und Nahrungsnutzung (B. Moser, K. Hindenlang)	✓			✓			
3.7 Vergleich der Fauna auf Lothar-Windwurfflächen und im intakten Wald (B. Wermelinger, P. Duelli)		✓		✓	✓		
3.8 Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfflächen (M. Nobis, A. Bürgi)		✓		✓			
3.9 Natürliches Recycling von Buchenholz: Sukzession von holzabbauenden Pilzen und Holzabbau (U. Heiniger, J. Polomski)		✓					

2.4 Situation der Versuchsflächen

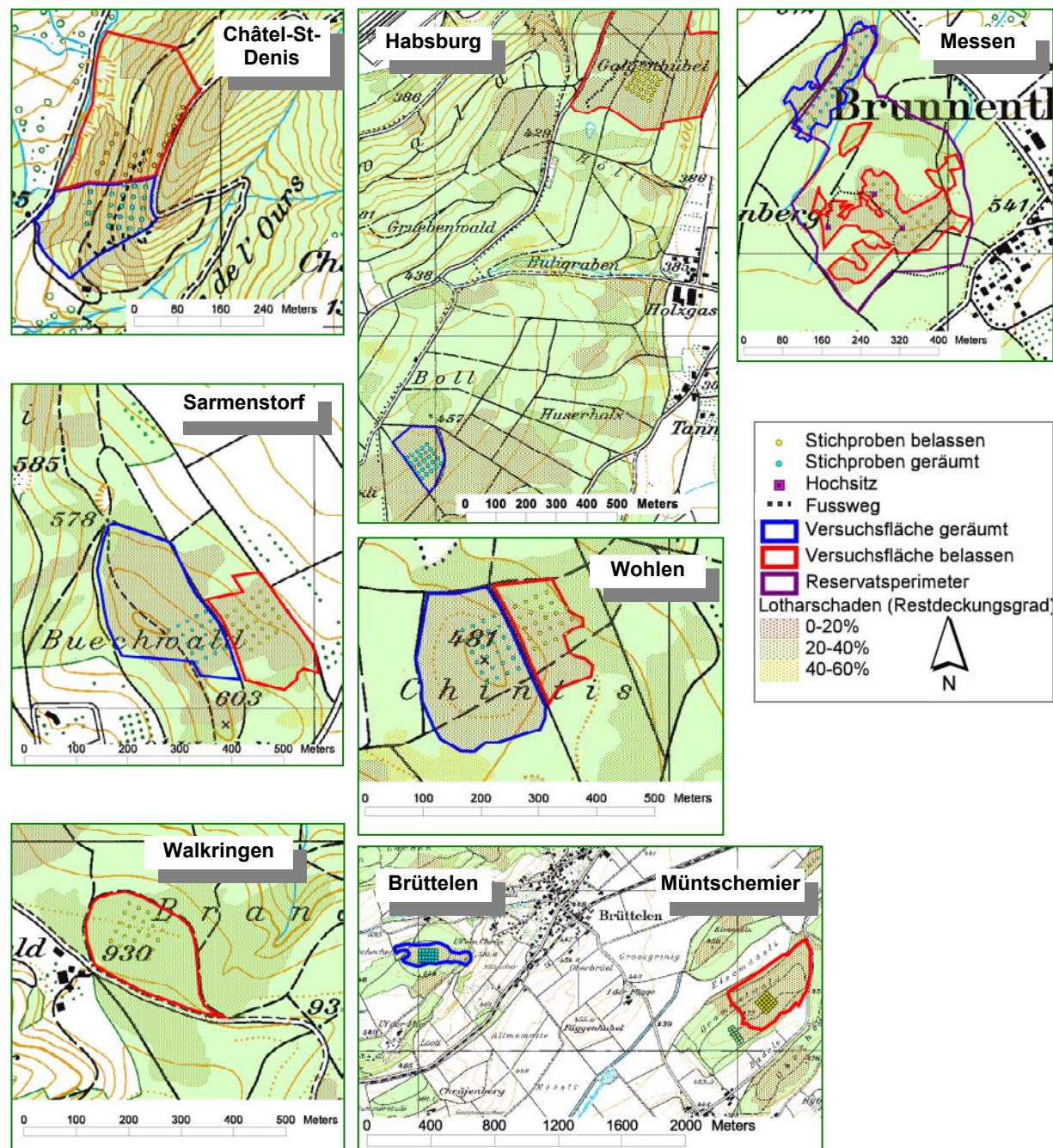


Abbildung 2.4-1: Kartenausschnitte der 7 Versuchsflächen des Rahmenprojektes.
Digitale Daten aus der Landeskarte der Schweiz: © Bundesamt für Landestopographie.

3 Teilprojekte

3.1 Bodeninventar: Humusentwicklung und Veränderung von Bodeneigenschaften

Peter Lüscher

3.1.1 Einleitung

3.1.1.1 Fragestellungen

Welchen Einfluss haben die veränderten standörtlichen Voraussetzungen auf Sturmschadenflächen auf die Humusentwicklung und die physikalischen Eigenschaften des Bodens?

3.1.1.2 Ausgangslage

Der vorliegende Schlussbericht beruht auf den erhobenen Bodendaten auf Lothar-Versuchsflächen Habsburg, Sarmenstorf, Messen, Brüttelen, Walkringen und Châtel-St-Denis (Grundlagenprogramm TP 1).

3.1.2 Zielsetzung und Methoden

Mit diesem Teilprojekt soll mittels bodenkundlicher Aufnahmen (Leitprofile und systematischer Bodenbohrungen auf einem vorgegebenen Stichprobenraster) ein Überblick über die Bodenverhältnisse auf den einzelnen Windwurf-Versuchsflächen erarbeitet werden.

Ein Schwergewicht der Ansprachen liegt im Oberboden, um – ausgehend vom Zustand unmittelbar nach dem Sturm – die Humusentwicklung aber auch die Regenerationsfähigkeit nach Schäden verfolgen zu können. Eine enge Zusammenarbeit erfolgt mit dem Projekt „Entscheidungshilfen bei Räumungsarbeiten nach Flächenschäden“ (M. Zürrer, ENVICO, später myx, Uster).

3.1.3 Zusammenfassung der Resultate

3.1.3.1 Verbesserte, biologisch aktivere Humusform im Oberboden

Durch den nach dem Sturm quantitativ und qualitativ veränderten Streueintrag und durch das völlig veränderte bodennahe Mikroklima bezüglich Wärme- und Wasserhaushalt wurde die biologische Aktivität generell über alle Standortstypen hinweg beschleunigt.

Inaktive Nährstoffreserven in organischen Auflagehorizonten wurden umgesetzt und verfügbar gemacht. Eine deutlich verbesserte Durchmischung mit Ansätzen von Gefügebildung unter dem Schirm einer ausgleichenden Krautschicht setzte ein. Verletzungen an der Bodenoberfläche durch Räumungsarbeiten hatten örtlich erhöhte Dichtewerte zur Folge (vgl. Kap. 3.2 TP 6, Bodenverdichtungen). Ein kleinflächig zerstörtes Bodengefüge mit ver-

schlechterten Wassersickerungsverhältnisse hatte – je nach Witterungsverlauf – Konsequenzen für den Wasserhaushalt im Wurzelraum.

3.1.3.2 Veränderungen im Wurzelraum

Erhöhte Dichtewerte beeinflussten das Hohlraumsystem deutlich und führten zu verminderten Durchlüftungsverhältnissen.

Verlagerungsprozesse von Feinpartikeln im Porenraum des Wurzelraumes führten zu beginnenden Verschlämmlungen im Hohlraumsystem (vorwiegend bei Parabraunerden). Je weiter die Bodenentwicklung vorangeschritten war, umso eher bestand im gefügelablen Bereich (beispielsweise bei Verletzungen an der Bodenoberfläche oder auf Stellen ohne geschlossene Vegetationsdecke) die Gefahr, dass vor allem Feinporen verstopft wurden und dass die Wasserdurchlässigkeit darunter litt. Bei zusätzlich fehlender Transpiration (mangels Durchwurzelung) ergaben sich Durchlüftungsschwierigkeiten (Brütstellen).

Der potentielle Wurzelraum musste neu mit Grobwurzeln und Starkwurzeln erschlossen werden, was eine standortsgerechte Bestockung und vor allem Zeit braucht. Deutliche Spuren der Wiederbesiedlung waren oberflächennah im Bereich der Feinwurzeln erkennbar (Brüttelen).

Die standortsgerechte Bestockung und die Bestandesstruktur spielten für die Ausnutzung des vorhandenen Wurzelraumes und damit auch für die künftige Bestandesstabilität eine wichtige Rolle.

3.1.3.3 Schäden durch Holzerntemassnahmen

Das Befahren von natürlich gelagerten Waldböden mit Forstmaschinen verursacht auf einem Grossteil der im Schweizer Wald vorkommenden Bodenverhältnissen im Bereich der Fahrspuren tief greifende und lang anhaltende Bodenveränderungen, die wichtige Bodenfunktionen beeinträchtigen. Eingeschränkte Porenvolumina und Porenkontinuität verringern die Transportleistung des Bodens für Wasser und Luft, eine unabdingbare Voraussetzung für das Wurzelwachstum.

Die erste Überfahrt verursacht nicht nur im Oberboden Verdichtungen und Verformungen.

In grösseren Tiefen erfolgen Auswirkungen der Bodenverdichtung durch hohe Gewichte und dynamische Belastungsspitzen beim Maschineneinsatz.

Ergänzende Ausführungen im Schlussbericht zum Teilprojekt: Bodenverdichtung

Quellen (vgl. Kap. 6): Niedermair 2001, Ressel 2001.

Abbildung 3.1-1a: Humusbildung und Bodenentwicklung im Überblick auf den Lothar-Reservatsflächen Habsburg, Sarmenstorf, Messen und Brüttelen

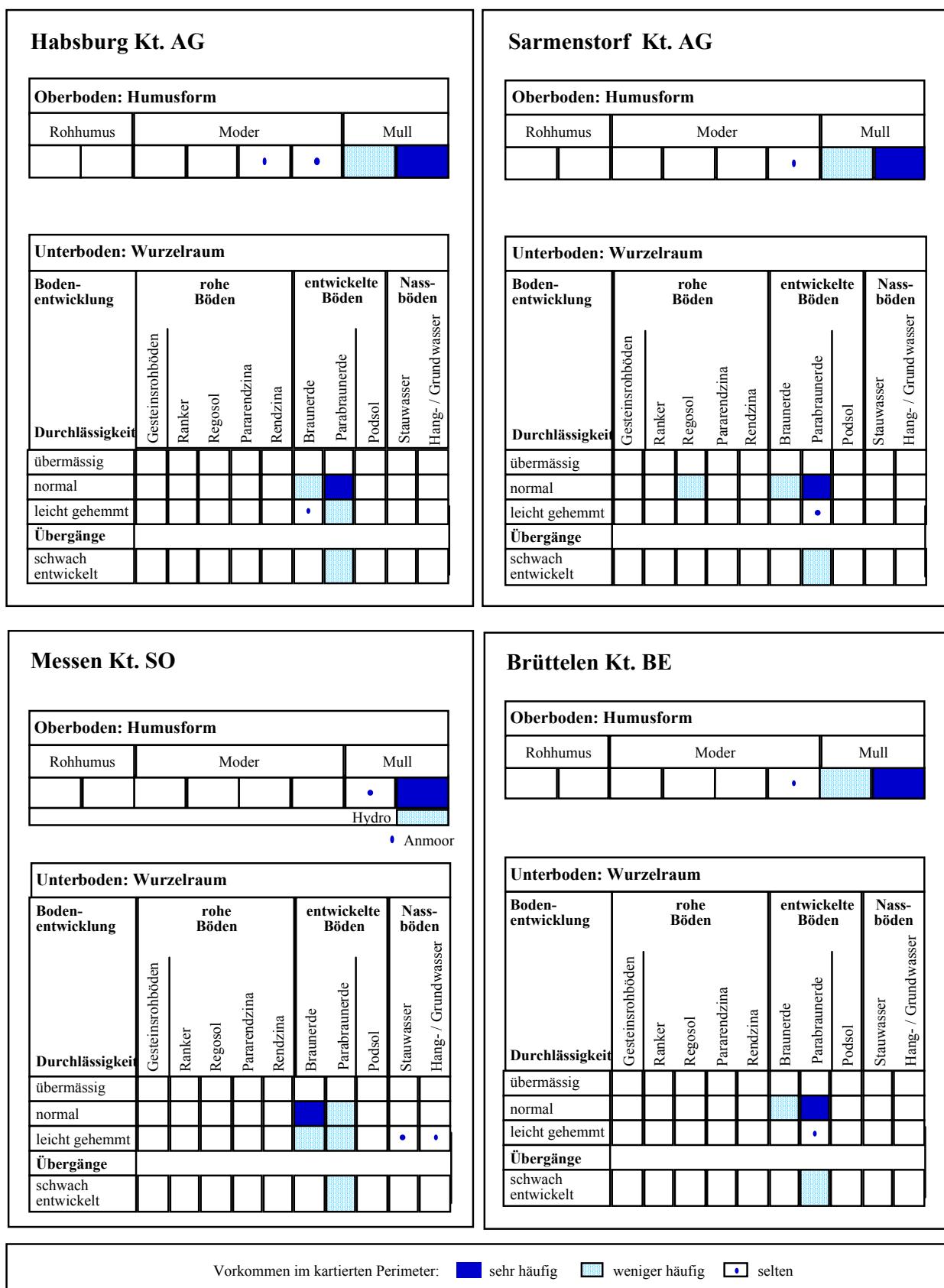
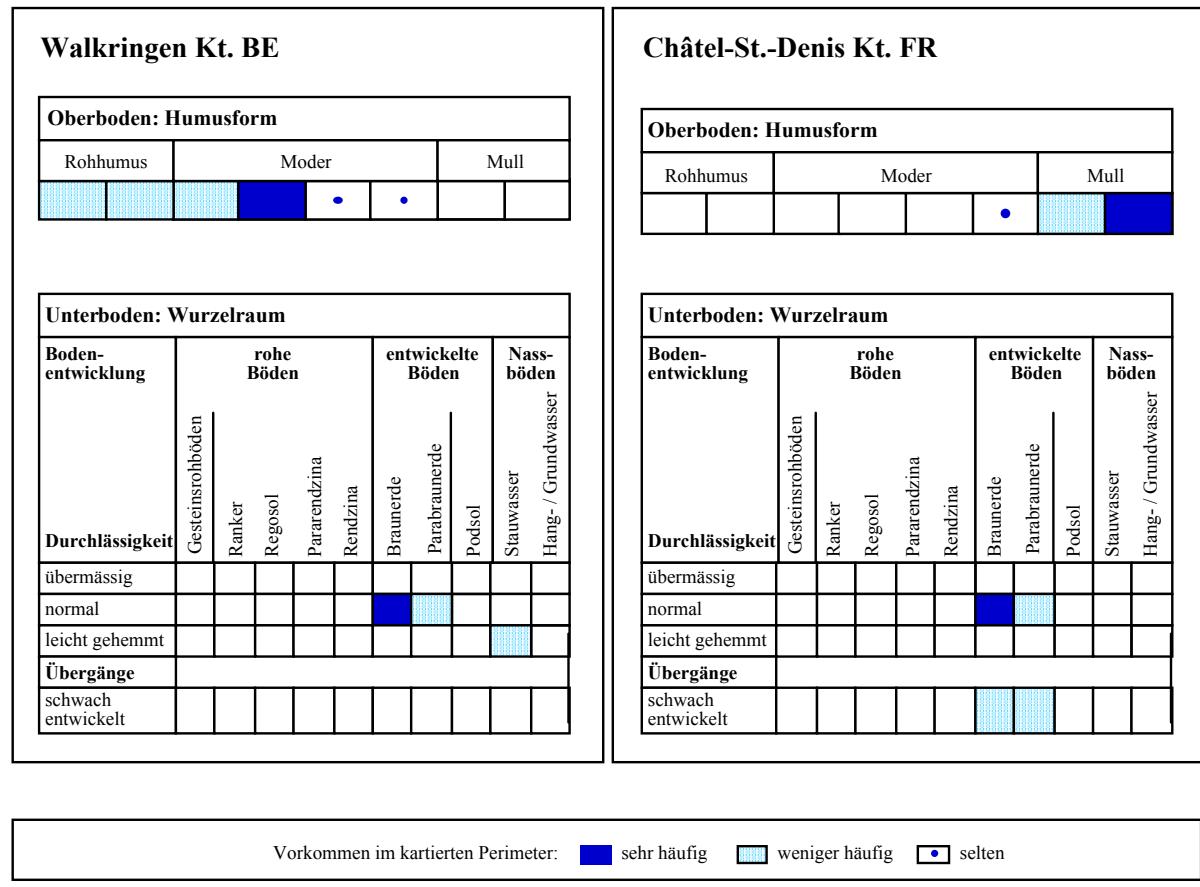


Abbildung 3.1-1b: Humusbildung und Bodenentwicklung im Überblick auf den Lothar-Reservatsflächen Walkringen und Châtel-St-Denis



3.2 Bodenverdichtung

Peter Lüscher und Martin Kuhn

3.2.1 Einleitung

3.2.1.1 Fragestellungen

Welchen Einfluss haben Art und Ausmass der Räumung von Sturmschadenflächen auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens und welche Rolle spielt dabei der Standort?

3.2.1.2 Ausgangslage

Der vorliegende Schlussbericht beruht auf den erhobenen Bodendaten auf Lothar-Versuchsflächen (Grundlagenprogramm TP 1) und den Zusatzerhebungen auf dem 1 x 1 km-Stichprobennetz des Landesforstinventars im Kanton Freiburg (TP 6, Regeneration, Zusatz Kt. FR).

3.2.2 Zielsetzung und Methoden

Dieser Beitrag berücksichtigt die folgenden Teilaspekte:

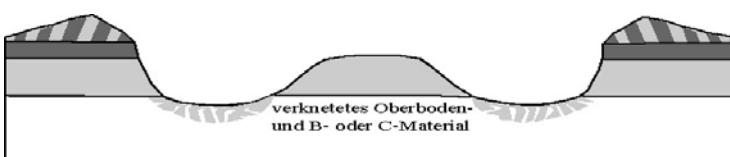
- Charakterisierung der aufgetretenen Bodenschäden nach Räumungsarbeiten
- Störungsgrade durch vergleichende Punktaufnahmen (Störung / Referenz)
- Flächige Betrachtung von Störungsgraden mit Verdichtungsschäden
- Betrachtung von Bodenschäden nach Holzerntemassnahmen auf einem Stichprobennetz

Für die Untersuchung und die Charakterisierung der Bodenschäden am Profil wurden folgende Parameter erfasst:

- Ansprache des Bodenaufbaus und der Bodeneigenschaften durch verschiedene Profilaufnahmen (Referenzprofile und Schadprofile)
- Lagerungsdichte der Feinerde
- Grobporenanteil / Porosität
- Eindringwiderstand (PANDA-Sonde)
- Durchwurzelung (TP 6 Regeneration)
- Bodenatmung (TP 6 Regeneration)

Ein visuelles Typisierungsschema für die Einteilung der gestörten Profilaufnahmen in Fahrspuren und zur flächigen Erhebung wurde erarbeitet (Tabelle 3.2-1). Es bietet die Voraussetzung dafür, dass die erfassten Schadkategorien auch messtechnisch belegt und unterschieden werden können.

Tabelle 3.2-1: Visuelle Typisierung der Fahrspuren.

visuelle Typisierung	Beschreibung des Schadenbildes
Typ I Leicht gestört	<p>Die organische Auflagehorizonte (L-Horizont oder L-, F-Horizonte oder L-, F-, H-Horizonte) sind in der Radspur vorhanden und intakt. Eine natürliche Horizontabfolge ist immer vorhanden. Meist sind Anzeichen einer Pressung der organischen Auflage erkennbar.</p> <p>Keine seitlichen Aufwölbungen. Spurtiefe immer kleiner als 10 cm</p> 
Typ II Mittel gestört	<p>Die organische Auflagehorizonte (L-Horizont oder L-, F-Horizonte oder L-, F-, H-Horizonte) fehlen vollständig oder wurde mit Ah- oder A-Material vermischt. Der Boden in der Radspur besteht aus einem Ah- oder A-Horizont oder einer vernetzten Masse aus Material vom Oberboden (L-, F-, H- und Ah- oder A-Horizont). Die Farbe des Bodenmaterials ist aufgrund des hohen Anteils an organischem Material dunkel bis schwarz.</p> <p>teilweise seitliche Aufwölbungen. Spurtiefe meist kleiner als 10 cm</p> 
Typ III Schwer gestört	<p>Die organische Auflagehorizonte (L-Horizont oder L-, F-Horizonte oder L-, F-, H-Horizonte) und der Ah- oder A-Horizont fehlen vollständig oder wurden mit dem darunterliegenden Mineralboden (meist B oder C-Horizont) bzw. mit dem Übergangshorizont AB oder BC-Horizont vermischt. Die Farbe des Bodens ist deutlich heller als beim Typ II.</p> <p>in der Regel seitliche Aufwölbungen. Spurtiefe immer grösser als 10 cm</p> 
Typ IV Zone mit flächigen Schäden (chaotisch)	<p>Die Fahrspuren gehen in alle Richtungen und können vom Typ I, II oder III sein. Ein einziger Fahrspurtyp kann nicht definiert werden. Eine grosse Fläche ist durch das Befahren mit Forstmaschinen betroffen. Die organischen Auflagehorizonte (L-Horizont oder L-, F-Horizonte oder L-, F-, H-Horizonte), der Ah-Horizont und/oder der B bzw. C-Horizont werden vermischt. Die Tiefe ist unterschiedlich und nicht eindeutig bestimmbar.</p>

<p>Typ V</p> <p>Vermutete und/oder nicht typisierte Fahrspur</p>	<p>Mit Feinerde überdeckte (oft Ah- oder A-Material) oder überwachsene Fahrspuren. Ein Indiz für Befahrung können Nässezeiger bzw. Verdichtungszeiger (z.B. Binse, Hängesegge...) sein. Die Tiefe ist nicht eindeutig bestimmbar.</p> <p>Durch einen Bodenaufschluss ist oft eine Blaufärbung der Feinerde erkennbar (Hinweis auf mangelhafte Durchlüftung).</p>
<p>Zusätzlich sind allenfalls unabhängig vom Schadtyp Schleifspuren vom Holzrücken sichtbar. Diese werden ebenfalls auf dem Schadenformular aufgenommen und beschrieben.</p>	

Für die flächige Betrachtung wurde das Schadenausmass nach Störungsgraden auf ausgewählten Lothar-Versuchsflächen kartiert (Abb. 3.2-1a+b). Die gleichen Beurteilungskriterien wurden auch für die Stichprobenaufnahmen im Kanton Freiburg verwendet.

Beispielhaft werden in diesem Schlussbericht zwei kartierte Schadbilder von Lothar-Versuchsflächen (Habsburg: Schadbilder längs Rückegassen und Brüttelen: Flächenschaden, vgl. Abb. 3.2-1a+b) mit unterschiedlichem Ausmass erläutert.

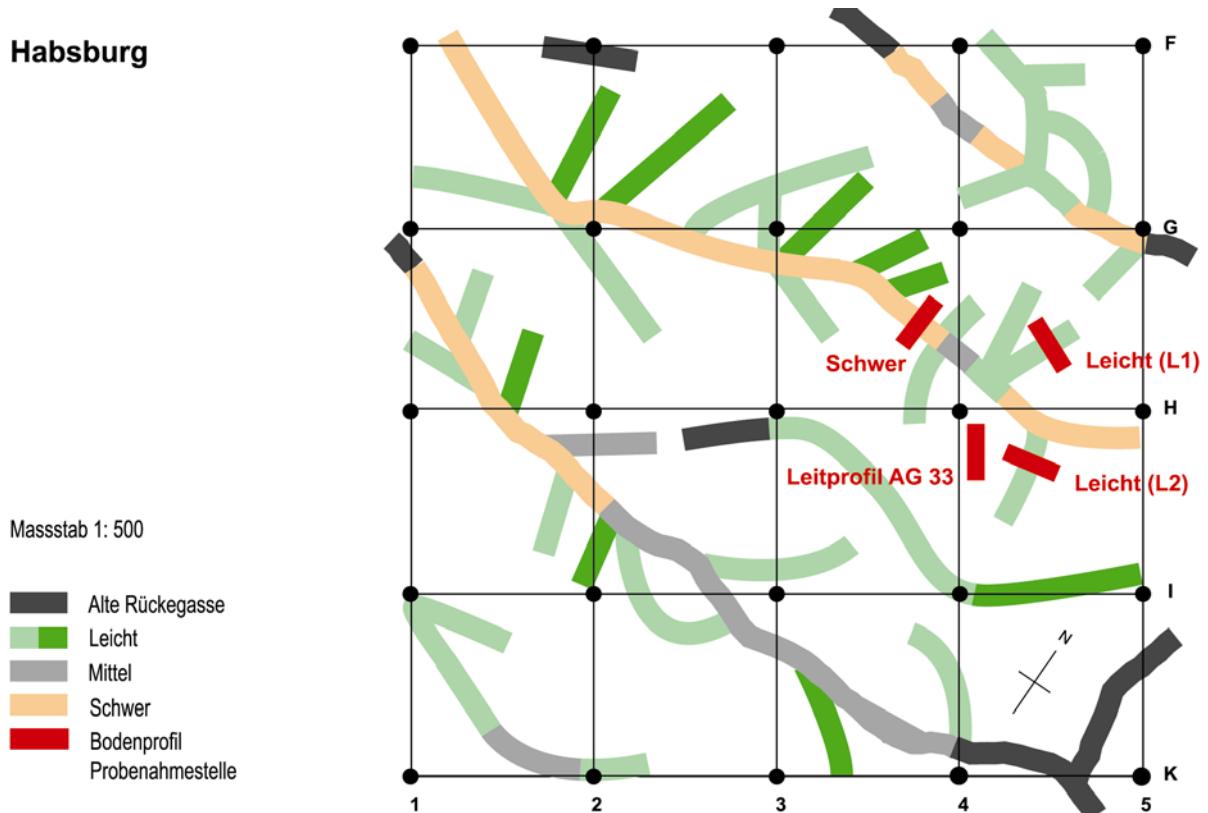


Abbildung 3.2-1a: Fahrspuren auf der geräumten Lothar-Reservatsfläche von Habsburg, differenziert nach den Störungsgraden (vgl. Tab. 3.2-1).

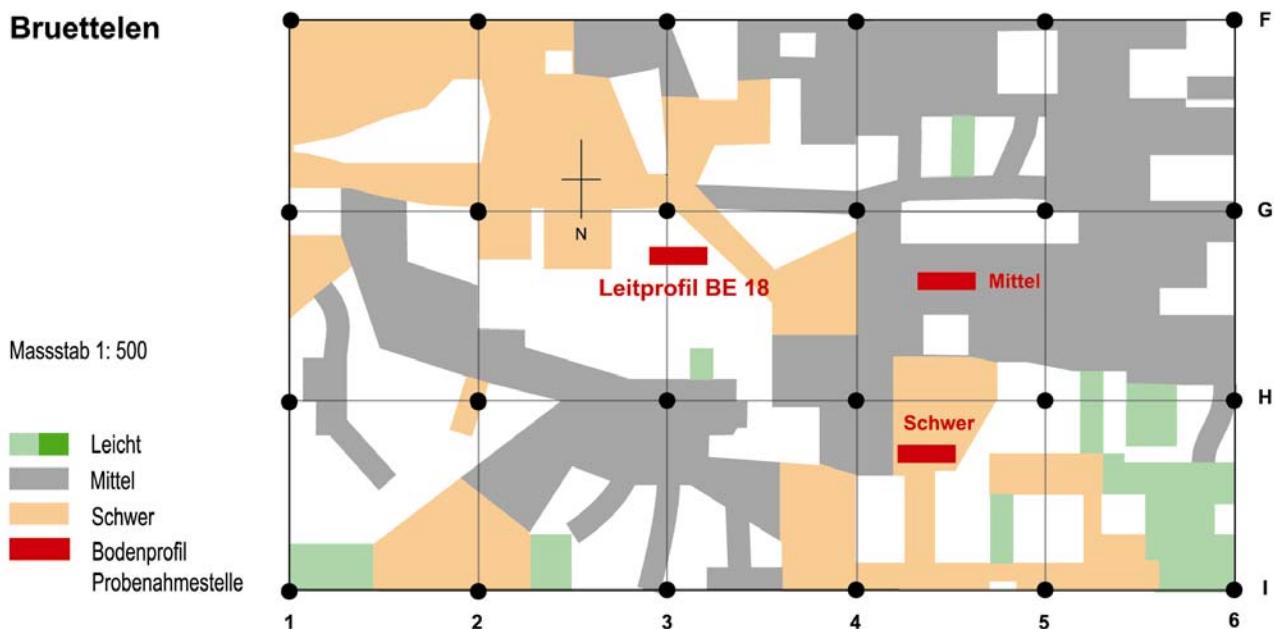


Abbildung 3.2-1b: Fahrspuren auf der geräumten Lothar-Reservatsfläche von Brüttelen, differenziert nach den Störungsgraden (vgl. Tab. 3.2-1).

3.2.3 Ausgewählte Resultate

In natürlich gelagerten Waldböden haben Baumwurzeln durch das vorhandene Poresystem auf kleinstem Raum Kontakt zu Wasser, Nährstoffen und Luft.

3.2.3.1 Verdichtungsschäden, veränderte Porenvolumina und Eindringwiderstand

Die Lagerungsdichte ist eine häufig verwendete Größe zur Beurteilung von Verdichtungsschäden. Sie hängt stark von der Textur, dem Gehalt an organischem Material und dem Gehalt an Feinskelett ab.

Abbildungen 3.2-2a und 3.2-2b zeigen, dass die Lagerungsdichten der befahrenen Stellen in 8 von 10 Fällen signifikant höher liegen als die entsprechenden Werte der Leitprofile. In allen Fällen von mittleren und schweren Schäden (Typen II und III) sind die Werte eindeutig höher.

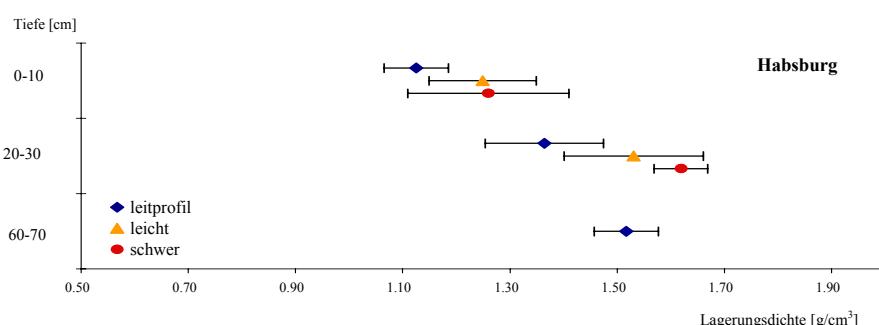


Abbildung 3.2-2a: Lagerungsdichte der Feinerde in den Tiefen 0-10 cm und 20-30 cm, Fläche Habsburg

Typ I, leicht ; Typ II, mittel ; Typ III, schwer gestört (vgl. Tab. 3.2-1).

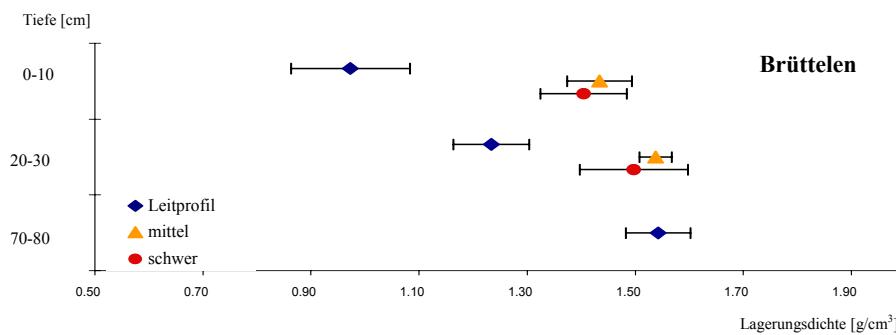


Abbildung 3.2-2b: Lagerungsdichte der Feinerde in den Tiefen 0-10 cm und 20-30 cm, Fläche Brüttelen

Type I, leicht ; Type II, mittel ; Type III, schwer gestört (vgl. Tab. 3.2-1).

Grobporen sind in erster Linie ein Resultat sekundärer gefügebildender Prozesse bei der Entstehung eines Bodens (biogen entstandene Poren, sog. Sekundärporen). Im Gegensatz dazu sind die Fein- und Mittelporen (körnungsbedingte Poren, sog. Primärporen) weitgehend durch Bodenart und Lagerungsdichte bestimmt. Die Grobporen sind der am „stärksten verdichtungsgefährdete Teil des Hohlraumsystems“ und ein wichtiges Mass für die funktionelle Leistungsfähigkeit eines Bodens in Bezug auf dessen Transportvermögen für Gas und Wasser.

Im ungestörten Boden entfallen 50-65 % des Bodenvolumens auf Hohlräume (Gesamtporenvolumen). Das Gesamtporenvolumen in gestörten Profilen beträgt ca. 42 - 60 %.

Abbildung 3.2-3 zeigt, dass im ungestörten Boden rund 20-30 % des Bodenvolumens auf Grobporen entfallen. In der Tiefe 0-10 cm ist deren Anteil etwas grösser als in 20-30 cm Tiefe. Das Grobporenvolumen sinkt im gestörten Boden eindeutig. Es erreicht für den Lufthaushalt kritische Bereiche zwischen 6 und 12 %. In Brüttelen ist der Oberboden sehr stark betroffen mit einem Verlust von 75 % des Grobporenvolumens. Der mittlere Verlust liegt bei ca. 50 %.

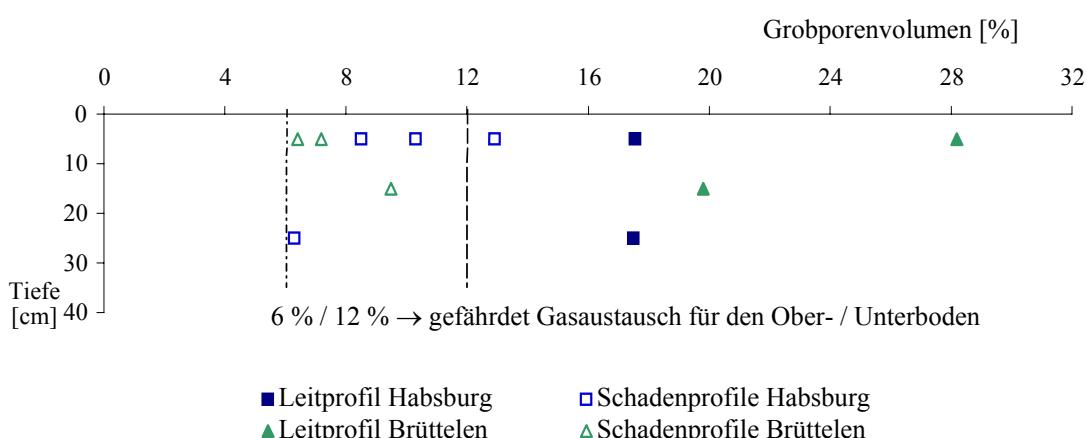


Abbildung 3.2-3: Grobporenanteil für die Leitprofile und Schadenprofile, Flächen Habsburg und Brüttelen.

Eine Verdichtung des Bodens führt zu einem Anstieg der Lagerungsdichte (Abb. 3.2-2), einer Verminderung der Grobporen (ca. $20 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ auf ca. $8 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ für die ersten 20 cm) und einem Unterbruch in der Porenkontinuität.

Durch diese Veränderungen wird der Lebensraum der Wurzeln, die sich in den obersten Dezimetern der Waldböden befinden (zwischen 65 und 85 % des gesamten lebenden Wurzelsystems) geschädigt. Dadurch sind direkte und indirekte Schäden zu erwarten.

Direkte Wurzelschäden: Die Feinwurzeln regenerieren sich in der Regel sehr schnell; bereits nach 20 bis 30 Tagen hatten sich in der Nähe von Schadstellen neue Wurzeln gebildet. Folgenschwerer sind Verletzungen von Grobwurzeln.

Indirekte Wurzelschäden: Neben dem erhöhten Durchwurzelungswiderstand verschlechtert sich insbesondere die Verhältnisse für eine normale Bodendurchlüftung (O_2 -Mangel) und die geringe Wasserdurchlässigkeit (Staunässe) die Lebensbedingungen für Wurzeln.

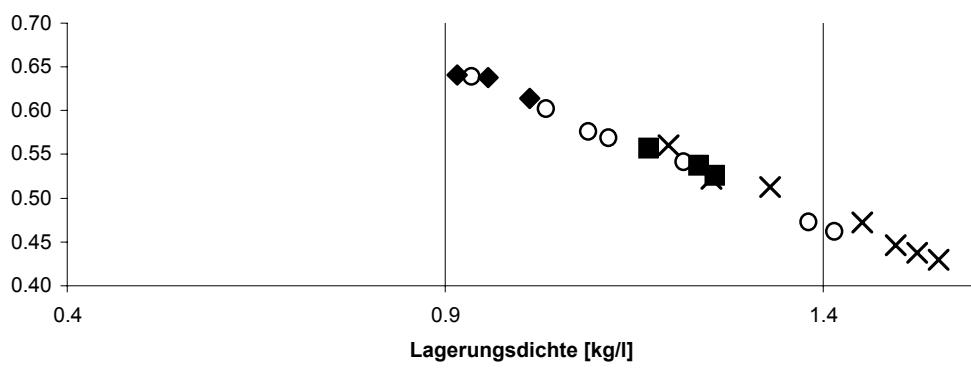


Abbildung 3.2-4: Zusammenhang zwischen Lagerungsdichte der Feinerde und Durchwurzelbarkeit.

Bewertung: < 0.9 g/cm^3 : "sehr locker", $0.9 - 1.4 \text{ g/cm}^3$: "gut durchwurzelbar", ab > 1.4 g/cm^3 : "schlecht durchwurzelbar".

Die Grenze von 1.4 g/cm^3 wurde in Brüttelen (mittel gestört 0-10 cm sowie mittel und schwer gestört 20-30 cm) sowie in Habsburg (leicht und schwer gestört 20-30 cm) überschritten.

Die Lagerungsdichten > 1.5 g/cm^3 führen beim Wurzelwachstum zu relativen Wachstumsminderungen und sind als „kritisch“ einzustufen. Eine solche Bewertung ist häufig unspezifisch und darf nicht für alle Baumarten verallgemeinert werden. Die hier zugrunde gelegte kritische Marke von $1.4 - 1.5 \text{ g/cm}^3$ ist vermutlich eher am unteren Ende des "kritischen Bereichs" anzusiedeln.

Die Eindringwiderstände wurden mit einer PANDA-Sonde (**P**enetrometre **A**utomatique **N**umerique **D**ynamique **A**siste par ordinateur) bestimmt. Das Grundprinzip der Sonde basiert darauf, dass ein Sondiergestänge mit Hammerschlägen in den Boden vorgetrieben wird. Für jeden Schlag werden die Schlagkraft (Geschwindigkeit) und die Eindringtiefe des Sondiergestänges mit einem Logger erfasst und die Daten gespeichert. Aus diesen beiden Größen errechnet sich der Eindringwiderstand gemäss der sog. „Holländer-Formel“ (FABO, 1998).

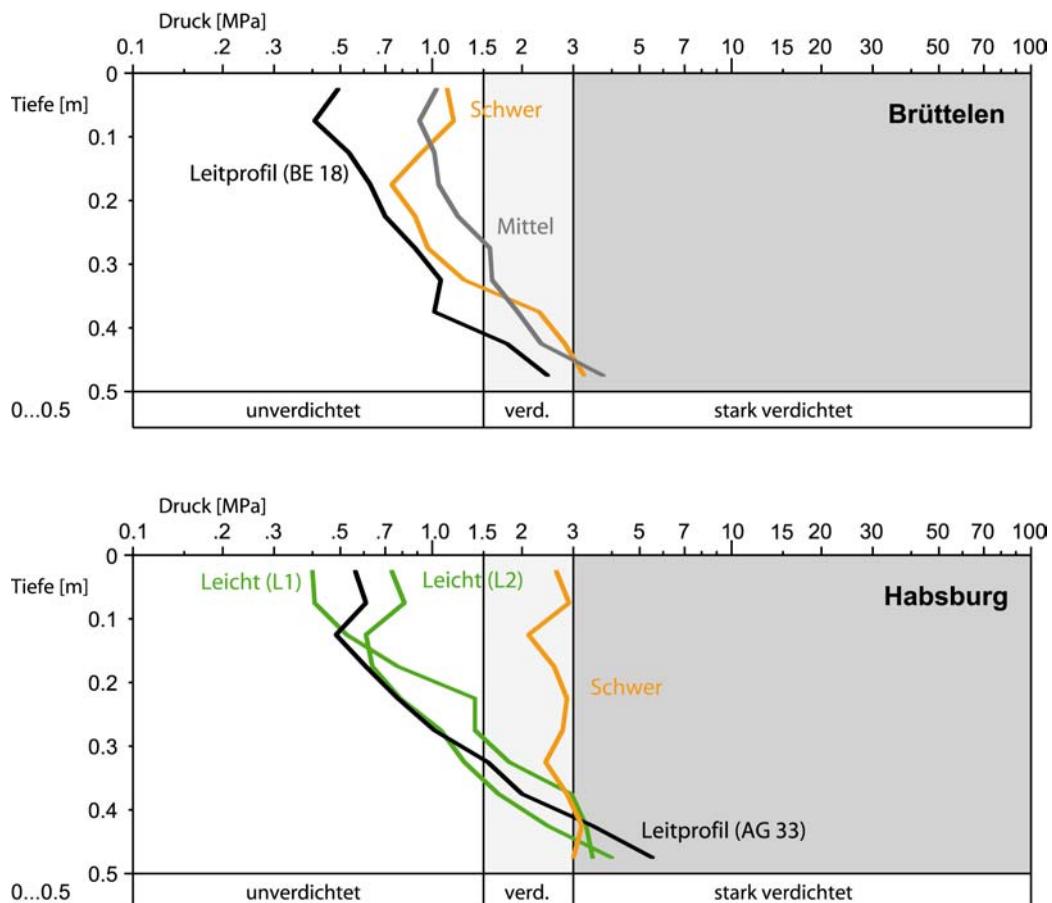


Abbildung 3.2-5: Eindringwiderstände – gestört im Vergleich zu ungestört (Leitprofile). Flächen Brüttelen und Habsburg

Aus Abbildung 3.2-5 geht hervor, dass die gestörten Profile tendenziell höhere Eindringwiderstände aufweisen als die vergleichbaren Referenzprofile: Bereiche mit erhöhtem Eindringwiderstand befinden sich in Brüttelen in der „mittel gestörten“ Spur zwischen 0-30 bzw. 40-50 cm sowie in der „schwer gestörten“ Spur zwischen 0-15 bzw. 45-50 cm. In Habsburg ist eine sehr deutliche Verdichtung in der „schwer gestörten“ Spur zwischen 0-30 cm festzustellen. Die beiden „leicht gestörten“ Profile (L1 bzw. L2) unterscheiden sich vom Referenzprofil (AG 33) nicht signifikant.

3.2.3.2 Standörtliche Heterogenität

Die standörtliche Heterogenität der Lothar-Versuchsflächen wurde durch rund 25 Bohrungen ermittelt, die auf einen Rasternetz (20 x 20 m) aufgenommen wurden.

Die Resultate haben gezeigt, dass ausgewählte Bodeneigenschaften von Punkt zu Punkt sehr unterschiedlich sein können. Verschiedene Mächtigkeiten wie beispielsweise die organischen Auflagehorizonte, der Ah-Horizont oder der B-Horizont sowie der Haupt- bzw. Nebenwurzelraum haben gezeigt, dass der Boden keineswegs homogen ist (Abb. 3.2-6).

3.2.3.3 Störungsgrad und Flächenanteile:

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden die geräumten Perimeter der Lothar-Versuchsflächen nach den ausgeschiedenen Schadtypen (Tab. 3.2-1) kartiert.

Für eine detailliertere Beschreibung der befahrenen Flächen wurde das Ausmass der befahrungsbedingten Verformung an der Bodenoberfläche (Störungsgrad) nach den in Tabelle 3.2-1 aufgelisteten Kriterien visuell klassifiziert. Der Begriff "Störungsgrad" verweist somit auf den Zustand der Bodenoberfläche und nicht zwangsläufig auf die Ausprägung mit bodenphysikalischen Kenngrössen.

Die summierten Anteile der befahrenen Flächen nach Störungsgrad gehen aus Tabelle 3.2-2 hervor.

Tabelle 3.2-2: Befahrene Flächenanteile im Perimeter Habsburg bzw. Brüttelen

Störungsgrad	Habsburg	Brüttelen
Summe befahren [%], davon:	26,9	67,3
Leicht	64,0	9,3
Mittel	12,7	54,4
Schwer	23,2	36,2

Die zwei aufgeführten Räumungsverfahren haben den Boden sehr unterschiedlich beeinträchtigt. Von den befahrenen Flächenanteilen her hat das flächige Aufräumen hauptsächlich zum Schadtyp IV geführt. Da ein grosser Teil der Fläche betroffen ist, ist dieses Vorgehen nicht zu empfehlen.

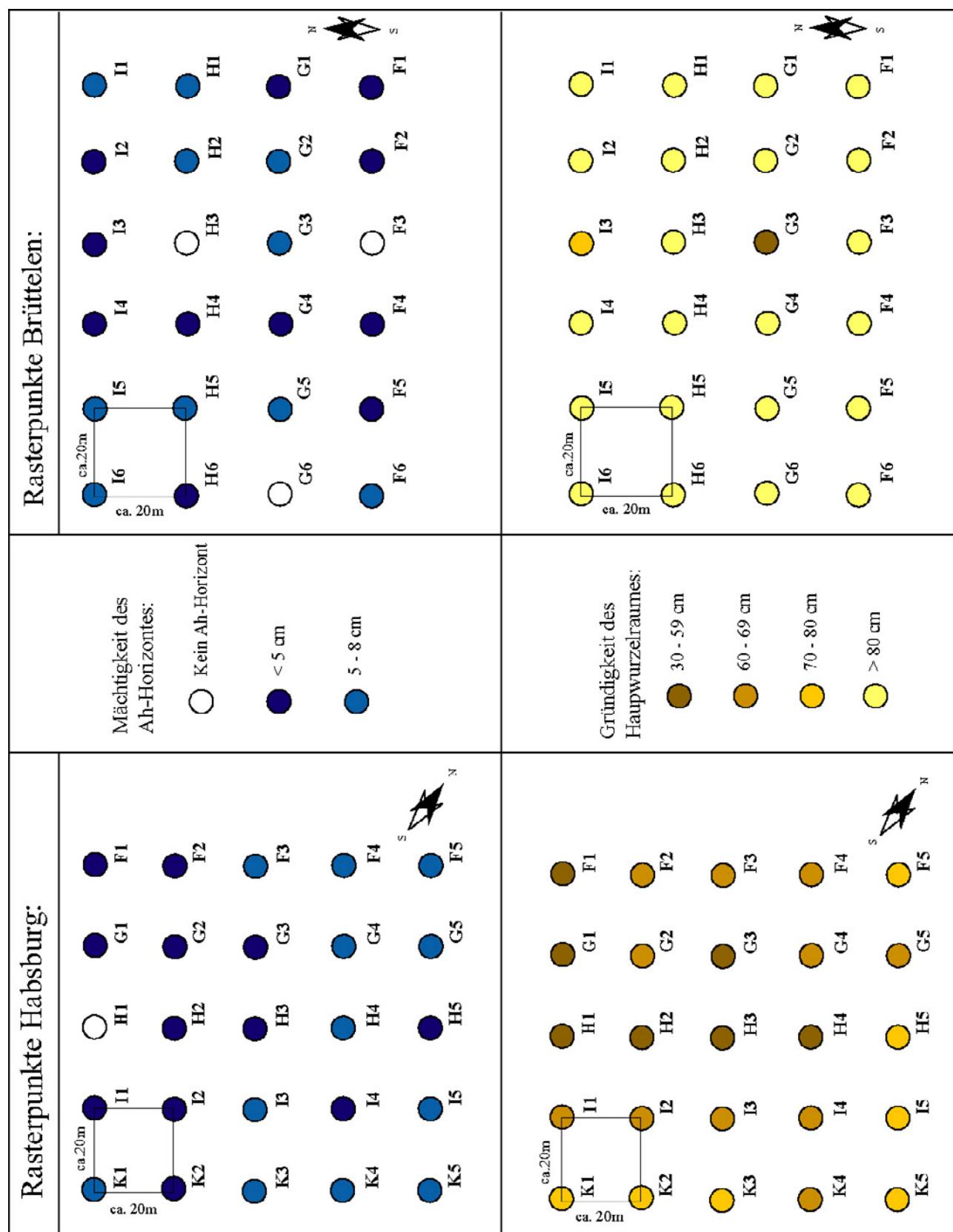


Abbildung 3.2-7: Rasterbohrungen auf den Lothaer-Reservatsflächen von Habsburg und Brüttelen mit der Mächtigkeit des Ah-Horizontes und Angaben zur Gründigkeit des Hauptwurzelraumes

3.2.3.4 Arten von Verdichtungsschäden

Befahrungsbedingte Verdichtungsschäden sind bis zu einer Tiefe von 50-60 cm beobachtet worden.

Die folgende Auflistung soll beispielhaft verdeutlichen, welche vielfältigen Auswirkungen eine Befahrung auf (Wald-)Böden haben kann:

- **Volumetrische Veränderungen des Hohlraumsystems:**
Volumetrische Veränderungen äussern sich in einer Zunahme der Lagerungsdichte und oft auch einer Abnahme des Grobporenanteils.
- **Veränderungen der mechanischen Festigkeit der Bodenmatrix:**
Die mechanische Überbelastungen führt zu einer dichten Packung der Festsubstanz bzw. zu einer Zunahme der Anzahl der Kontaktpunkte unter den Bodenteilchen. Dies äussert sich in einer Erhöhung der Scherfestigkeit, einer Zunahme des Eindringwiderstands und in einer Erhöhung des Vorbelastungswerts.
- **Veränderungen von Leitfähigkeitseigenschaften (Strukturschäden):**
Die Zunahme der Lagerungsdichte und die Abnahme des Grobporenanteils verändern die Leitfähigkeitseigenschaften des Bodens. Das-selbe gilt für die Zerstörung der Porenkontinuität. Die Grobporen werden bei einer befahrungsbedingten Verformung teilweise abgeschert und können dann wichtige Leitungsfunktionen nicht mehr wahrnehmen.

3.2.4 Folgerungen

Die unterschiedlichen Anteile befahrener Flächen sowie das unterschiedliche Ausmass der Bodenbeeinträchtigung auf den ausgewählten Versuchsfächern geben Anlass zur Vermutung, dass für die Minimierung der Bodenbeeinträchtigung im Rahmen solcher Räumungsarbeiten Optimierungsspielraum besteht.

Ansätze zur Minimierung der Bodenbeeinträchtigung durch Räumungsarbeiten sind bekannt. Eine sorgfältige Vorausplanung des Erschliessungsnetzes kann das Ausmass der Bodenbeeinträchtigung stark beeinflussen.

Rolle des Standortes bzw. der Bodeneigenschaften ist zentral.

3.2.5 Zusammenfassung der Resultate

Das Befahren von natürlich gelagerten Waldböden mit Forstmaschinen verursacht auf einem Grossteil der im Schweizer Wald vorkommenden Bodenverhältnisse im Bereich der Fahrspuren tief greifende und lang anhaltende Bodenveränderungen, die wichtige Bodenfunktionen beeinträchtigen. Eingeschränkte Porenvolumina und Porenkontinuität verringern die Transportleistung des Bodens für Wasser und Luft, eine unabdingbare Voraussetzung für das Wurzelwachstum.

Die erste Überfahrt verursacht nicht nur im Oberboden Verdichtungen und Verformungen.

In grösseren Tiefen erfolgen Auswirkungen der Bodenverdichtung durch hohe Gewichte und dynamische Belastungsspitzen beim Maschineneinsatz.

3.2.6 Folgerungen für Massnahmen im Hinblick auf eine zukünftige Sturmschadenbewältigung

3.2.6.1 Voraussetzungen, Grundsätze

Wechselwirkungen zwischen standörtlichen, maschinenbedingten und verfahrenstechnischen Faktoren sind gesamtheitlich schwierig fassbar und daher nur schwer abschätzbar. Prognosen von Bodenschäden sowie die Herleitung und Begründung von Grenzwerten sind für einen ökosystemverträglichen Maschineneinsatz schwierig und anspruchsvoll.

Eine nötige Vorsorge hat sich allerdings an folgender Regel zu orientieren:

Flächiges Befahren ist unter allen Umständen zu vermeiden, d.h. Beschränkung von Bodenschäden auf „Rückegassen“!

3.2.6.2 Risiko- / Empfindlichkeitsstufen einzelner Waldstandortstypen

Ausgehend von ersten Untersuchungen, die zur Beurteilung der Verdichtungsrisiken ausgewählte Bodeneigenschaften der einzelnen Waldstandortstypen berücksichtigen, ist ein umfassendes Verfahren zur Priorisierung von Holzerntemassnahmen standortspezifisch zu entwickeln.

3.2.6.3 Richtlinien und Entscheidungshilfen bei Holzerntemassnahmen

Erarbeitung von verbindlichen Richtlinien und Entscheidungshilfen für den physikalischen Bodenschutzes im Wald (vgl. auch Projekt Entscheidungshilfen, M. Zürrer).

3.2.6.4 Ausbildung

Die konsequente Umsetzung der Erkenntnisse ist stufengerecht zu fördern und zu überwachen (vgl. auch TP 6-32-Schulung).

Quellen (vgl. Kap. 6): FABO 1998, Lüscher et al. 2003a+b, Niedermair 2001, Ressel 2001.

3.3 Die Dynamik der Ektomykorrhizapilze nach einem Windwurf: Fallbeispiel Messen

Simon Egli

3.3.1 Einleitung

Mykorrhizapilze sind wichtige Bestandteile des Ökosystems Wald, sie verbessern die Wasser- und Nährstoffaufnahme von Waldbäumen, erhöhen ihre Stresstoleranz gegenüber Umwelteinwirkungen und schützen das Wurzelsystem vor krankheitserregenden Bodenorganismen (Smith & Read, 1997). Mykorrhizapilze benötigen auf der andern Seite die vom Baum produzierten Kohlenhydrate für ihr Wachstum. Ein Windwurf – wie auch ein Kahlschlag – bedeutet für den Mykorrhizapilz den Ausfall seiner Lebensgrundlage. Bisherige Studien zeigen, dass nach einem Kahlschlag oder nach Waldbrand die Mykorrhizapilzflora stark beeinträchtigt ist (Visser & Parkinson, 1999). Eigene Untersuchungen auf Vivian-Windwurfflächen haben diese Befunde bestätigt (Egli et al. 2002). Die Artenanzahl war stark zurückgegangen, aber trotzdem konnten 10 Jahre nach dem Sturm auf der Sturmschadenfläche Schwanden (GL) noch etliche Mykorrhizapilze im Boden nachgewiesen werden. Mykorrhizapilze können also – auch wenn sie keine Fruchtkörper mehr bilden – nach einem Windwurfereignis erstaunlich lange im Boden überleben. Offenbar vermögen sie sich von Reservestoffen aus den verbleibenden Wurzelstöcken noch einige Zeit zu ernähren, oder sie können auf den wenigen den Sturm überlebenden Bäumen oder Sämlingen die Phase bis zum Aufkommen eines neuen Waldbestandes überbrücken.

Die vorliegende Untersuchung auf der Windwurffläche Messen (BE) soll abklären, ob die im Fichtenwald von Schwanden erzielten Erkenntnisse auch auf einen Waldbestand im Mittelland übertragbar sind.

Folgende Fragen sollen dabei beantwortet werden:

- Wie lange bleiben Mykorrhizapilze im Boden lebensfähig bzw. infektionsfähig nach einem Sturmschadenereignis, das heisst wenn sie nicht mehr durch ihre Wirtsbäume mit Kohlenhydraten versorgt werden?
- Welche Pilzarten überleben am längsten?
- Haben Veränderungen in der Artenzusammensetzung der Mykorrhizapilze Auswirkungen auf das Aufkommen der natürlichen Verjüngung?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde der Ansatz des Bioteests verwendet. Die Mykorrhizadiversität wurde mit einer Kombination herkömmlicher Methoden (Morphotypen-Klassierung) und moderner molekularbiologischer Methoden (PCR-RFLP) erfasst.

3.3.2 Material und Methoden

3.3.2.1 Biotest

Analog zu den Untersuchungen auf der Vivian-Windwurffläche Schwanden wurde auch hier eine Biotest-Methode verwendet, die es erlaubt, das Infektionspotential der Mykorrhizapilze in einer Bodenprobe zu erfassen:

In den Jahren 2001-2003 wurden auf der ungeräumten Teilfläche und im angrenzenden Waldbestand auf 5 Probepunkten jeweils im Frühjahr nach der Schneeschmelze je 2 Bodenproben à 0.5 l entnommen. Die Bodenproben wurden gesiebt, in sterile Pflanztöpfe gefüllt und mit je 10 Fichtensamen angesät. Die Samen wurden vorgängig in 30 % Wasserstoffperoxid oberflächensterilisiert. In einer klimatisierten Gewächshauskammer wurden die Pflanzen unter standardisierten Bedingungen während 4 Monaten wachsen gelassen. Danach wurden die Pflanzen geerntet: Der Spross wurde von der Wurzel getrennt, das Trockengewicht bestimmt, die Wurzeln wurden sorgfältig unter fliessendem Wasser für die weiteren Untersuchungen ausgewaschen.

3.3.2.2 Sämlinge

Im Dezember 2000 wurden auf der Windwurffläche 10 Sämlinge gesammelt, im Frühjahr 2002 8 Sämlinge aus dem angrenzenden Waldbestand. Analog zu den Biotestpflanzen wurden auch hier die Wurzeln ausgewaschen und für die weiteren Untersuchungen verwendet.

3.3.2.3 Analyse des Wurzelmaterials

Gepoolt pro Topf wurden die ausgewaschenen Wurzeln der Sämlinge unter dem Stereomikroskop untersucht und die Morphotypen bestimmt und quantifiziert. Von jedem Morphotyp wurden pro Topf Proben für die DNA-Extraktion entnommen, stratifiziert nach Häufigkeit des Morphotyps (Häufigkeit < 25 %: 2 Proben, 25 - 50 %: 3 Proben, > 50 %: 4 Proben). Das ergab insgesamt 152 Proben.

Von jeder Probe wurde die pilzliche DNA extrahiert und der Pilz mittels molekularbiologischer Methoden identifiziert (methodische Details siehe Egli et al. 2002).

3.3.3 Ergebnisse

Resultate liegen zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Schlussberichts erst provisorische vor. Es können deshalb hier keine ausgewerteten Ergebnisse präsentiert werden, sondern lediglich erste Tendenzen vorgestellt werden.

- 3 Jahre nach dem Windwurf ist die Anzahl der Mykorrhizapilzarten, die fähig sind, die Wurzeln der Testpflanzen zu besiedeln, auf der Windwurffläche deutlich reduziert im Vergleich zum angrenzenden geschlossenen Waldbestand. Es sind jedoch noch immer genügend infektionsfähige Mykorrhizapilze im Boden, um aufkommende Sämlinge erfolgreich und vollständig zu besiedeln.

- Die Veränderungen in der Artenzusammensetzung sind sehr ähnlich zu den auf der Windwurffläche Schwanden festgestellten: es dominieren einige wenige Arten, wie *Telephora terrestris*, *Tylospora asterophora*, *Cenococcum geophilum*. Es sind dies Pilzarten, die keine von Auge sichtbaren Fruchtkörper bilden, sondern Dauerorgane, welche im Boden über mehrere Jahre überleben können.
- Die Unterschiede im Sämlingswachstum sind weniger ausgeprägt als auf der Windwurffläche Schwanden, d.h. die produzierte Biomasse (Spross-Trockengewicht) unterscheidet sich nicht deutlich auf den beiden Böden.

3.3.4 Diskussion

Es können aufgrund der vorläufigen Ergebnisse analoge Schlussfolgerung gezogen werden für forstliche Massnahmen wie aus der Forschung nach dem Sturm Vivian:

Bei einer allfälligen Räumung von Windwurfflächen sollte zu den noch verbleibenden Waldbäumen Sorge getragen werden – vom ausgewachsenen Baume bis zum Sämling. Diese Bäume sind Refugium für Mykorrhizapilze, die ihre Baumpartner verloren haben und sie helfen mit, diese Mykorrhizapilze in die nächste Baumgeneration hinüberzutragen und damit optimale Voraussetzungen für eine erfolgreiche Naturverjüngung zu schaffen.

Auch wenn die Artenzahl der Mykorrhizapilze 3 Jahre nach einem Windwurf bereits deutlich reduziert ist, vermögen die verbleibenden Mykorrhizapilze die Wurzeln von aufkommenden Sämlingen immer noch vollständig zu mykorrhizieren. Was für Auswirkungen die festgestellte Verarmung an Mykorrhizapilzarten für das Funktionieren des neu aufwachsenden Waldes hat, können wir jedoch heute noch nicht abschätzen.

3.4 Dauerbeobachtung der Vegetationsentwicklung auf Lothar-Windwurfflächen

Michael Nobis und Thomas Wohlgemuth

3.4.1 Ausgangslage und Problemstellung

Die Forschung auf Vivian-Windwurfflächen konzentrierte sich auf die Gebirgslagen. Vegetationskundliche Fragestellungen vonseiten der WSL drehten sich primär um die Erhaltung der Schutzwalfunktion, z.B. die Verminderung der Erosionsgefahr durch aufkommende Pioniergebiete oder das Aufkommen der natürlichen Verjüngung. Das vorliegende Projekt befasste sich dagegen mit Lothar-Windwurfflächen in Wäldern mit Nutz- und Wohlfahrtsfunktion im Mittelland. Die Standortverhältnisse im Mittelland unterscheiden sich stark von jenen im Gebirge und haben im Wesentlichen einen hohen Laubbaumanteil mit entsprechend unterschiedlicher Begleitvegetation zur Folge. Produktive Mittellandwälder entwickeln nach der Verjüngungsphase (z.B. nach Schlag) einen geschlossenen Schirm. Licht wird damit für Waldpflanzen zur Mangelware – ein grosser Unterschied im Vergleich zu oft lückigen Gebirgswäldern. Im Fokus des Projektes lagen Fragen zur Biodiversität und zur Etablierung der Naturverjüngung im Verlauf der frühen Sukzession.

3.4.2 Zielsetzung und Arbeitshypothesen

Zur detaillierten Untersuchung der Vegetationsentwicklung wurden Behandlungsvarianten der Windwurfflächen mit angrenzenden, nicht geworfenen Waldbeständen verglichen. Die Analyse der Vegetationsentwicklung in den verschiedenen Varianten diente dem Ziel, Unterschiede bezüglich der Artenzusammensetzung, der Artenvielfalt und der Etablierung von Baumarten festzustellen und deren räumliche Entwicklung abschätzen zu können. Die wichtigsten Arbeitshypothesen des Projekts lauteten:

- Die Vegetation der Windwurfflächen ist artenreicher als die der ursprünglichen Wälder.
- Geräumte und belassene Windwurfflächen unterscheiden sich in der Artenzusammensetzung der Vegetation.
- Die Vegetationsentwicklung wie auch die Dynamik einzelner Arten ist deutlich mit dem Schlüsselfaktor Licht korreliert.

3.4.3 Material und Methoden

Es wurden acht Windwurfflächen in den vier Gebieten Habsburg, Messen, Müntschemier/Brüttelen und Sarmenstorf untersucht. In jedem Gebiet stand eine geräumte und eine ungeräumte Variante zur Verfügung. Die Datenerhe-

bung erfolgte auf zwei unterschiedlichen Flächentypen: Zum einen wurden auf allen Windwurfflächen fünf 9 m x 9 m grosse Probeflächen durch Vegetationsaufnahmen dokumentiert. Sie dienen dem Vergleich der Windwurfstandorte untereinander. Zum anderen wurden sieben 27 m x 27 m Intensivflächen mit einem 3 m-Raster und geschachteltem Probeflächen-Design eingerichtet: 25 Flächen à 3 m x 3 m, vier Flächen à 9 m x 9 m, eine Fläche à 27 m x 27 m. Zusätzlich zu den Vegetationsaufnahmen wurden auf den Intensivflächen Angaben zu Kleinstandorten und Verjüngung (Gehölzart, Anzahl, Höhe) sowie Verbissdaten erhoben. Auf diese Weise war die Verknüpfung zum Projekt „Wiederbewaldung“ (Ch. Angst) und zum Projekt „Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Reh“ (B. Moser, K. Hindenlang) gewährleistet. Auf den Intensivflächen erfolgten zusätzlich indirekte Lichtmessungen durch hemisphärische Fotos (3 m-Raster, Aufnahmehöhen 20 cm und 100 cm über dem Boden). Intensivflächen wurden in folgenden Gebieten angelegt: in Habsburg: Varianten „Wald“ und „geräumt“; in Müntschemier / Brüttelen: Varianten „Wald“, „geräumt“, „belassen“ und 2 x „Windwurf-Rand“. Die Variante „Wald“ in Habsburg ging als Referenzfläche verloren, da auf ihr nach der Ersterhebung Käferfichten entfernt werden mussten und anschliessend eine Pflanzung erfolgte. Die Datenerhebung wurde auf den Vergleichs- und Intensivflächen über drei Jahre durchgeführt (2001-2003). Sie umfasst 747 Vegetationsaufnahmen und rund 4000 indirekte Lichtmessungen durch hemisphärische Aufnahmen.

3.4.4 Ergebnisse und Diskussion

Im Projekt wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte der Vegetationsentwicklung analysiert. Die Ergebnisse werden im folgenden in Themengruppen dokumentiert und diskutiert.

3.4.5 Ausgangslage und Limitierung

Der Sturm Lothar hat eine grosse Zahl von Windwürfen verursacht. Im Rahmenprojekt wurden im Vergleich dazu nur wenige Windwurfflächen nach verschiedenen Kriterien ausgewählt. Das Rahmenprojekt ist damit eine Fallstudie und repräsentiert nicht die Gesamtheit der Windwürfe im schweizerischen Mittelland. Die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse bleibt vor diesem Hintergrund beschränkt.

Der Status der Fallstudie ist in Abbildung 3.4-1 anschaulich dargestellt. Durch Klassifikation der Vergleichsaufnahmen in den Windwurfflächen nach ihrer floristischen Ähnlichkeit geht hervor, dass zu Beginn der Untersuchung die Unterschiede zwischen den Gebieten oft grösser waren als zwischen den Varianten. Die Möglichkeit der Generalisierung ist daher durch die unterschiedliche Vegetation der Gebiete zu Beginn der Untersuchung weiter eingeschränkt. Die floristischen Unterschiede zwischen den Varianten eines Gebietes waren dagegen oft grösser als innerhalb einzelner Varianten. Ausgehend von diesen Rahmenbedingungen wurde im Projekt auf die kleinräumige Dynamik nach Windwurf fokussiert.

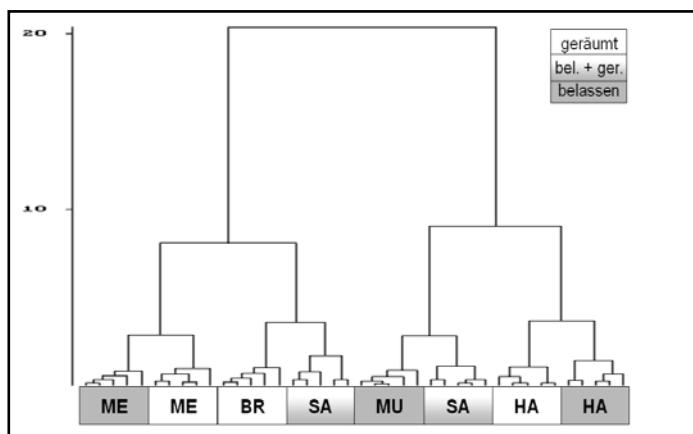


Abbildung 3.4-1: Klassifikation von 40 Vergleichsaufnahmen im Jahr 2001 in 8 Windwurfflächen. Die Daten sind Histogramm-transformiert und wurden nach WARD (1963) auf Basis der Sehnendistanz klassifiziert (nur Arten der Krautschicht; ME = Messen, BR = Brüttelen; SA = Sarmenstorf, MU = Müntschemier; HA = Habsburg).

3.4.5.1 Entwicklung der Vegetationsdecke

Zu Beginn der Erhebungen 2001 war der Anteil vegetationsfreier Flächen auf geräumten Windwürfen sehr unterschiedlich und hing stark vom Räumungszeitpunkt sowie von der Ausbreitung der Brombeere ab. Deutlich ist das in Abb. 3.4-2 zu sehen, wo unmittelbar nach dem Windwurf geräumte Flächen wie Sarmenstorf schon im Jahr 2001 praktisch vollständig bedeckt sind.

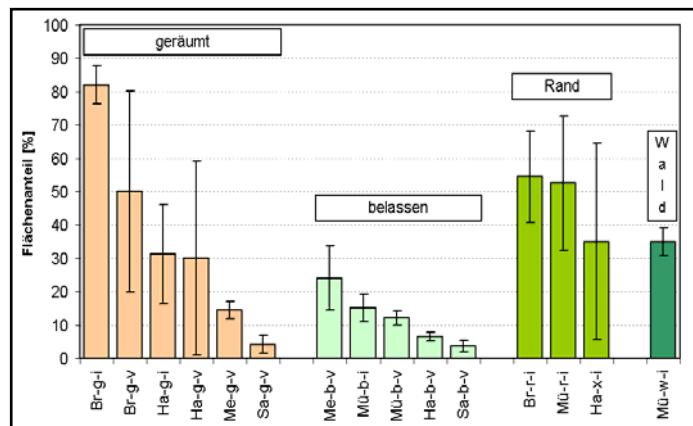


Abbildung 3.4-2: Anteil vegetationsfreier Flächen 2001. Alle Angaben ohne Baumschicht. Mittelwerte aus je 4-5 Werten der 9 m x 9 m Probeflächen; Br = Brüttelen, Ha = Habsburg, Me = Messen, Mü = Müntschemier, Sa = Sarmenstorf; g = geräumt, b = belassen, r = Rand, x = instabiler Rand, w = Wald; v = Vergleichsfläche, i = Intensivfläche.

Die Vegetationsdecke hat sich auf allen Windwurfflächen inzwischen nahezu vollständig geschlossen (Abb. 3.4-3). Dieser Vorgang fand an den untersuchten Windwurfrändern trotz deutlicher Lichtzunahme (Streuwurfsituation) und gerichtetem Wandel der Artenzusammensetzung (Sukzession) nicht in gleichem Umfang statt. Neben höherem Verbissdruck (s.u.) und weiterhin bestehender Licht- und Wurzelkonkurrenz durch die nicht vollständig gewordene Baumschicht dürften auch mikroklimatische Unterschiede gegenüber Freiflächen eine Rolle spielen (z.B. durch Interzeption – vgl. Burger 1951).

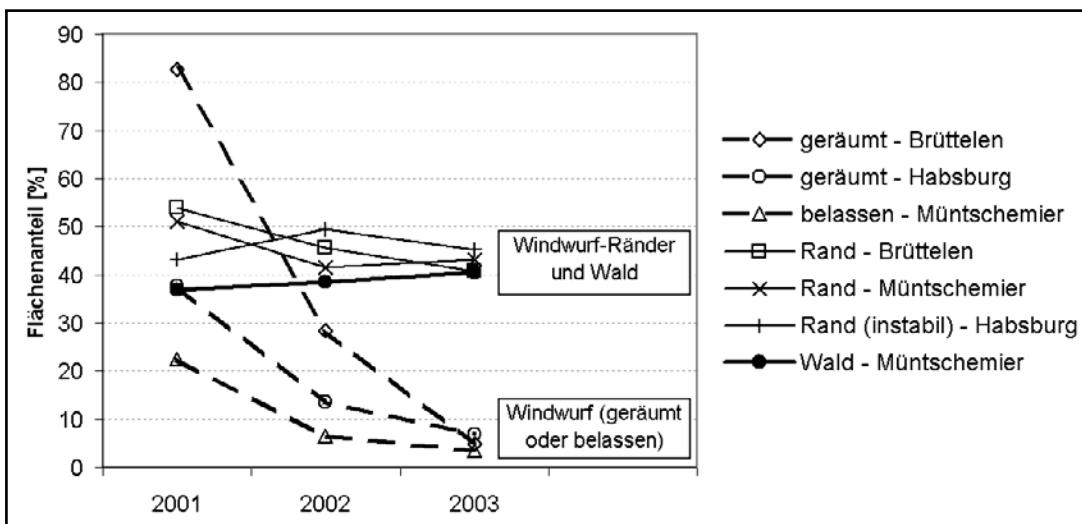


Abbildung 3.4-3: Entwicklung der vegetationsfreien Flächen zwischen 2001 und 2003. Alle Angaben ohne Baumschicht; Mittelwerte aus 25 Einzelwerten der 3 m x 3 m Probeflächen.

Die Resultate aus den Lothar-Windwurfflächen entsprechen hinsichtlich der Geschwindigkeit der Wiederbegrünung weitgehend denen der Vivian-Windwurfflächen im Berggebiet. Die Brombeere verliert ihre Bedeutung in Wäldern über 1000 m ü.M., während Hochstauden und Himbeere stärker auftreten.

3.4.5.2 Artenvielfalt

Die Vegetation auf Windwurfflächen ist in den ersten Jahren nach dem Windwurfereignis artenreicher als im ursprünglichen Wald. Dies geht indirekt aus dem Vergleich der Windwurfflächen mit Windwurf-Rand- bzw. Wald-Referenzflächen hervor (space-for-time substitution). Dass durch eine markante Störung im Sinne einer Dominanzreduktion (Wohlgemuth et al. 2002a) die Vegetation tatsächlich artenreicher wird, konnte in der Versuchsfläche Habsburg auch direkt beobachtet werden. Nachdem dort auf der Intensivfläche „Wald“ Käferbäume entnommen wurden, nahmen die Artenzahlen zu (3.4-5.C).

Geräumte Windwürfe waren artenreicher als belassene (Abb. 3.4-4; 2001 bis 2003 $p < 0.001$; Wilcoxon, einseitig, ungepaart). Am artenreichsten war der kurz vor der Ersterhebung geräumte, sehr vegetationsarme Windwurf bei Brüttelen. Zum hohen Artenreichtum geräumter Windwurfflächen tragen auch walfremde Arten bei. Diese gelangen u.a. mit dem Maschineneinsatz, mit Pflanzgut oder via Windausbreitung auf die Windwurfflächen. Auf der geräumten Fläche in Messen traten 2003 im unmittelbaren Pflanzbereich von eingebrachten Weiden und Erlen (Projekt P. Lüscher) 25 walfremde Arten in der Krautschicht neu auf. Sie wurden offensichtlich mit Abdeckmaterial eingeschleppt und fehlten auf der übrigen Windwurffläche.

Durch Räum- und Pflanzarbeiten werden neben waldfremden Arten auch typische Windwurf- bzw. Schlagflurarten gefördert. Viele dieser Arten überdauern während langer Zeit als Samen im Waldboden und können durch Bodenstörungen nach mehreren Jahrzehnten wieder keimen (Fischer et al. 1990). Dazu gehören z.B. die nach Räumung im Schweizerischen Mittelland oft Dominanzbestände bildenden Binsen *Juncus effusus* und *Juncus conglomeratus*. Andere Pflanzenarten können auf vegetationslosen Flächen, die durch Räumung oft grossflächig entstehen, bestens anfliegen und sich etablieren: Pioniergehölze, *Epilobium angustifolium*. Brombeeren und Himbeere können als Rhizome im Boden überdauern und treiben nach einer Bodenstörung rasch aus. Zusätzlich werden ihre Früchte durch Vögel ausgebreitet.

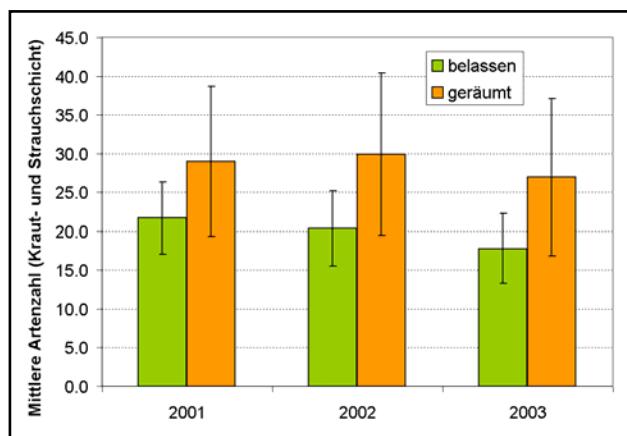


Abbildung 3.4-4: Entwicklung der mittleren Artenzahl für Gefäßpflanzen der Kraut- und Strauchschicht auf den 9 m x 9 m-Probeflächen der Intensiv- und Vergleichsflächen
(belassen N = 22; geräumt N = 27).

Während den ersten zwei Vegetationsperioden nach Lothar ist allgemein von einer Zunahme der Artenzahlen auszugehen. Da die Felderhebungen erst im Jahr 2001, in der zweiten Vegetationsperiode nach dem Sturmereignis begannen, konnte diese Dynamik nicht direkt erfasst werden. Eine geringe Zunahme der mittleren Artenzahl war 2002 noch auf den geräumten Probeflächen zu verzeichnen (Abb. 3.4-4; nicht signifikant). Der Rückgang auf belassenen Windwürfe war dagegen bereits 2002 signifikant ($p<0.005$; Test der Anzahl Zu- bzw. Abnahmen gegen Binomialverteilung). Auf geräumten Probeflächen folgte verzögert im Jahr 2003 ebenfalls ein signifikanter Rückgang der mittleren Artenzahl ($p<0.005$). Deutlich zugenommen hat die Artenvielfalt von Einzelflächen nur, sofern waldbauliche Eingriffe wie Räumung und das Entfernen von Käferbäumen nicht länger als zwei Vegetationsperioden zurücklagen (Abb. 3.4-5).

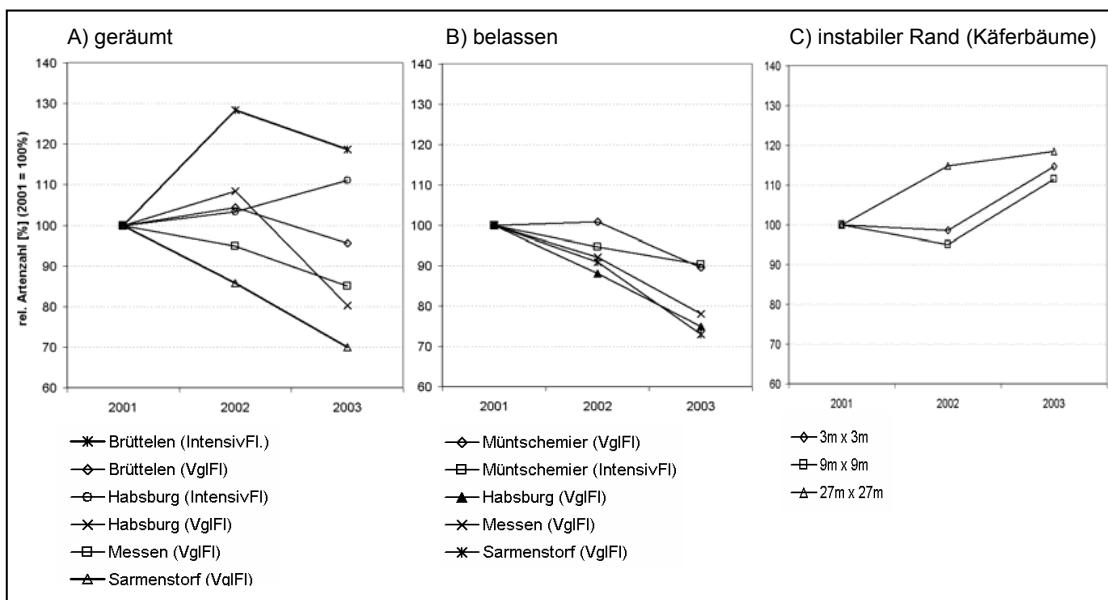


Abbildung 3.4-5: Entwicklung der mittleren Artenzahlen für Gefäßpflanzen der Kraut- und Strauchschicht. Relative Darstellung (2001 = 100 %). Für Intensivflächen (IntensivFl.) und Vergleichsflächen (VglFl.) der geräumten bzw. belassenen Variante wurden Mittelwerte aus vier bis fünf 9 m x 9 m Probeflächen berechnet.

Analoge Untersuchungen zur Entwicklung der floristischen Artenvielfalt nach Windwurf in Gebirgswäldern sind erst teilweise ausgewertet (z.B. Wohlgemuth et al. 1995). Auf den Vivian-Windwurfflächen hat die Artenvielfalt pro Quadratmeter auf geräumten Flächen während der ersten 10 Jahre nach dem Windwurf generell zugenommen. Die Zunahme ist teilweise mit der recht grossen Vielfalt an Hochstaudenarten im Berggebiet zu erklären. Die Ergebnisse der Lothar-Windwurfflächen belegen im Vergleich eine höhere Dynamik der Artenvielfalt in tieferen Lagen.

3.4.5.3 Unterschiede in der Artenzusammensetzung geräumter und belassener Flächen

Häufige Arten der Krautschicht mit Präferenzen für geräumte oder belassene Flächen sind in Abbildung 3.4-6 dargestellt. Mehrere Arten weisen eine starke Präferenz für geräumte Flächen auf – z.B. *Polygonum persicaria*, *Epilobium angustifolium*, Jungpflanzen der Pioniergehölze *Salix caprea* und *Betula pendula*. Entsprechend ihrer Lebensstrategie profitieren diese Arten offensichtlich von den offenen und vegetationsarmen Standortbedingungen unmittelbar nach Räumungen. Besonders deutlich ist die Präferenz bei Arten, die offenbar durch die Räumung eingeschleppt werden (z.B. *Polygonum persicaria*). Demgegenüber zeigen nur wenige häufigere Arten eine schwache Präferenz für belassene Flächen. Es handelt sich dabei um Waldarten bzw. Arten der Binnensäume, die halbschattige bis schattige Standorte bevorzugen.



Abbildung 3.4-6: Präferenzen von Arten der Krautschicht für geräumte und belassene Windwurfflächen: 40 Vergleichsaufnahmen 2001; nur häufige Arten mit Vorkommen in mind. 10 Probeflächen. Arten mit geringeren Präferenzen sind nicht dargestellt.

3.4.5.4 Dynamik von Einzelarten

Signifikante Veränderungen der Vorkommen einzelner Arten zwischen 2001 und 2003 sind in Tabelle 3.4-1 zusammengefasst. Die meisten Arten lassen sich anhand von Strategietypen und Prozessen den folgenden drei Gruppen zuordnen. Arten ohne signifikante Dynamik bleiben ungenannt.

(1) Waldbodenarten (S-Strategen; stress tolerant): Ausschlaggebend für den Rückgang schattentoleranter Waldbodenarten wie *Oxalis acetosella*, *Hylocomium splendens*, *Veronica montana* dürften verschiedene Effekte der erhöhten Einstrahlung sein. Zum einen erhöht sich die Konkurrenz zwischen den Arten in der rasch aufwachsenden Krautschicht. Zum anderen konnten auch direkte Schäden – ähnlich dem „Sonnenbrand“ bei plötzlich freigestellten Buchen – besonders bei *Oxalis acetosella* und *Dryopteris carthusianorum* beobachtet werden. Der Rückgang der Arten hält nach dem Windwurfereignis offenbar über mehrere Jahre an.

(2) Kurzlebige R-Strategen: Nach dem Windwurfereignis können kurzlebige R-Strategen, d.h. Arten mit besonders gutem Ausbreitungs- und/oder Vermehrungsvermögen, Windwürfe rasch besiedeln („R“ von ruderal). Hierzu zählen Arten dynamischer Waldökosysteme wie *Moehringia trinervia*, *Galeopsis tetrahit*, *Atrichum undulatum*. Mit einem Verbreitungsschwerpunkt ausserhalb von Wäldern kommen in dieser Gruppe *Taraxacum officinale*, *Plantago major* s.l. – z.T. *Plantago intermedia*, *Poa annua*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Solanum nigrum*, *Sonchus oleraceus* und *Hypericum humifusum* vor. Durch ungünstigere Etablierungsbedingungen brechen die Bestände der kurzlebigen Arten jedoch auch rasch wieder zusammen. Neben erhöhter Konkurrenz können besonders bei Acker- und Ruderalarten bereits Veränderungen der ungestörten Bodenoberfläche den Rückgang bewirken (Nobis 1999). Das vorübergehende Auftreten der Arten reicht jedoch aus, ihre Samenbank zu erneuern oder sich andernorts neu anzusiedeln. Die Dynamik dieser Gruppe ist sehr hoch. Auf den Probeflächen

waren die Vorkommen einiger eingewanderter oder verschleppter Acker- bzw. Ruderalarten bereits 2002 wieder vollständig erloschen.

Auch auf den Vivian-Windwurfflächen wurde ein vergleichbares An- und Abschwellen von verschiedenen Arten festgestellt: in allen Flächen für den Hohlzahn *Galeopsis tetrahit*, und gebietsspezifisch z.B. für *Cardamine impatiens* oder *Silene rupestris* (Wohlgemuth et al. 2002b).

(3) K-Strategen („K“ von Konkurrenz): Arten wie *Rubus fruticosus* agg., *Rubus idaeus*, *Epilobium angustifolium*, *Urtica dioica* sowie die Pioniergehölze *Salix caprea*, *Fraxinus excelsior*, *Larix decidua*, *Betula pendula*, *Populus tremula* haben auf den Windwürfen im Untersuchungszeitraum signifikant zugenommen. Diese Arten besitzen in der aktuellen Vegetation einen Konkurrenzvorteil durch ihr rasches Höhenwachstum und/oder ihre laterale Ausbreitung. Obwohl einige dieser Arten derzeit oft dominieren, werden auch sie im Verlauf der Sukzession weitgehend ersetzt.

Nicht zugeordnet sind aus Tabelle 3.4-1 die zwischen Gruppe 2 und 3 vermittelnden Arten *Carex sylvatica* und *Juncus conglomeratus*. Sie können sich ausgehend von einer Samenbank rasch etablieren, entwickeln jedoch als horstbildende Mehrjährige eine höhere Konkurrenzkraft. Ferner ist das Moos *Polytrichum spec.* zu nennen, das besonders vegetationsfreie oder von *Atrichum undulatum* bewachsene Bodenanrisse und Wurzelsteller besiedelt.

Zunahme 2001 - 2003	Abnahme 2001 - 2003
*** !!! <i>Polytrichum spec.</i>	*** !!! <i>Moehringia trinervia</i>
*** <i>Rubus fruticosus</i>	*** !!! <i>Taraxacum officinale</i>
*** <i>Rubus idaeus</i>	*** !! <i>Galeopsis tetrahit</i>
*** <i>Salix caprea</i>	** !! <i>Plantago major</i> s.l.
** <i>Fraxinus excelsior</i>	** !! <i>Poa annua</i>
** ! <i>Larix decidua</i>	** <i>Atrichum undulatum</i>
* ! <i>Betula pendula</i>	** <i>Oxalis acetosella</i>
* <i>Carex sylvatica</i>	* ! <i>Chenopodium album</i>
* <i>Epilobium angustifolium</i>	* ! <i>Echinochloa crus-galli</i>
* <i>Juncus conglomeratus</i>	* ! <i>Hypericum humifusum</i>
* ! <i>Populus tremula</i>	* ! <i>Solanum nigrum</i>
* <i>Urtica dioica</i>	* ! <i>Sonchus oleraceus</i>
	* ! <i>Veronica montana</i>
	* <i>Hylocomium splendens</i>

Tabelle 3.4-1: Arten mit signifikanten Veränderungen zwischen 2001 und 2003. Berücksichtigt sind alle 9 m x 9 m Flächen mit Ausnahme des Waldes (N = 60). Das Signifikanzniveau der Veränderungen bezüglich der erweiterten Londo-Skala ist durch Sternchen, jenes für Neubesiedlung bei Zunahme bzw. Erlöschen bei Abnahme durch Ausrufezeichen angegeben (*!/!: p<0.01; **/!!: p<0.001; ***/!!!: p<0.0001). Für den Signifikanztest wurde die Anzahl der Zu- und Abnahmen bzw. neuer und erloschener Vorkommen ohne Bonferroni-Korrektur gegen die Verteilung für zufällige Bernoulli-Ketten getestet.

3.4.5.5 Verjüngung

Die häufigste Gehölzart der Verjüngung war in den Untersuchungsflächen die Buche, gefolgt von Esche und Eiche (weitere Arten s. Abb.3.4-7). Dies entspricht den Erwartungen, da es sich um Buchenwaldstandorte handelt und die Buche im Vorbestand mest dominierte. Die Dichte der Verjüngung variiert jedoch zwischen einzelnen Windwürfen stark. Zu Beginn der Untersuchung konnte ein bedeutender Anteil an Vorverjüngung für alle häufigeren Arten festgestellt werden. Die Anzahl der Vorkommen sowie die Verjüngungsdichte der meisten Baumarten blieb über den Untersuchungszeitraum weitgehend konstant (Abbildungen 3.4-7 und 3.4-8.). Deutlich zugenommen haben die durch Wind ausgebreiteten Pionierarten *Salix caprea*, *Betula pendula* und *Populus tremula* – in geringerem Umfang auch Eschen und Fichten. Für die Naturverjüngung von Schlussbaumarten der tieferen Lagen (v.a. Buche und Eiche) ist daher die Ausgangssituation direkt nach dem Sturmereignis entscheidend. Hinsichtlich des Wuchshöhen haben im dritten bzw. vierten Jahr nach dem Sturmereignis Esche und Pioniergehölze die Buchen und Eichen übertroffen (nicht dargestellt). Ein dichter Vorwald bildete sich bisher aber nur auf einer der Untersuchungsflächen (Birkenvorwald auf der geräumten Fläche bei Messen).

Zur Konkurrenzsituation zwischen Verjüngung und verdämmenden Konkurrenzarten siehe Angaben zum Projekt „Jungwaldpflege“ (M. Nobis, A. Bürgi).

Die Situation der Naturverjüngung auf Windwurfflächen in Gebirgswäldern unterscheidet sich bezüglich der Verjüngungsdichte markant von jener in Windwurfflächen im Flachland. Die hochgerechneten Verjüngungszahlen in den hier untersuchten Untersuchungsflächen weisen z.T. bereits höhere Werte auf als die Vivian-Versuchsflächen 10 Jahre nach dem Sturmereignis. Natürlich verjüngter (Vor)Wald entsteht in Wirtschaftswäldern des Flachlandes relativ rasch nach Windwurf. In Gebirgswäldern ist dagegen mit längeren Wartezeiten der Wiederbewaldung zu rechnen, da die lang andauernde Hochstauden-, Himbeeren- oder Reitgrasvegetation die Ansammlung und den Aufwuchs stark verzögern kann.

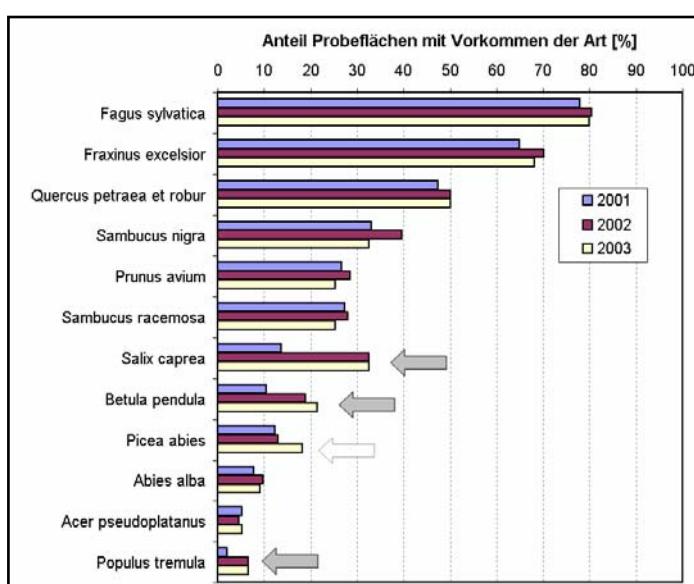


Abbildung 3.4-7: Vorkommen von Gehölzarten in den Probe- flächen (N = 154; Vergleichsflächen und 3 m x 3 m-Probeflächen). Mit weiter abnehmender Frequenz ferner: *Lonicera xylosteum*, *Corylus avellana*, *Sorbus aucuparia*, *Crataegus cf. monogyna*, *Viburnum opulus*, *Cornus sanguinea*, *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, *Populus alba*, *Ulmus glabra*, *Pinus strobus*, *Quercus rubra*.

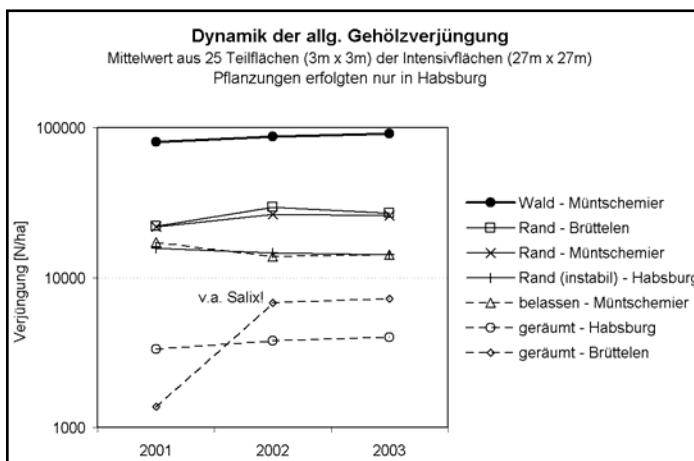


Abbildung 3.4-8: Entwicklung der Verjüngungsdichte in den sieben untersuchten Intensivflächen.

3.4.5.6 Lichtverhältnisse und ihre Beziehung zur Vegetation

Auf der geräumten Fläche bei Brüttelen wurden 2001 die höchsten Lichtwerte gemessen (auf Basis der canopy openness als indirektes Mass für die Lichtverhältnisse; Abb. 3.4-9). Die Werte waren 2001 sehr einheitlich und zeigten mit zunehmender Vegetationsentwicklung im Folgejahr bereits eine heterogenere Lichtverteilung.

Im Fall der ungeräumten Fläche bei Müntschemier war die Lichtverteilung im Bestand von Beginn an heterogen. Die niedrigsten Werte lagen bereits 2001 in der Größenordnung maximaler Waldwerte.

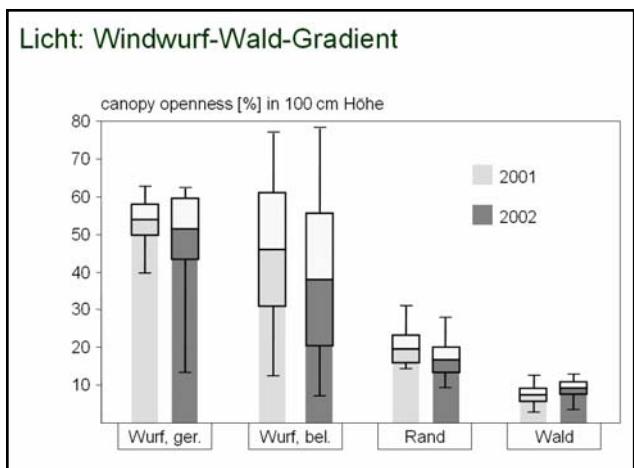


Abbildung 3.4-9: Lichtverhältnisse auf den Intensivflächen im Jahr 2001 und 2002. Dargestellt ist die mittlere canopy openness von jeweils 100 hemisphärischen Bildern in ca. 100 cm Aufnahmehöhe, deren Streuung (Standardabweichung) sowie Extremwerte.

Für einzelne häufige Arten waren die Unterschiede in den Artmächtigkeiten zwischen Beständen von Windwurf-, Rand- und Waldstandorten mit der allgemeinen Lichtsituation deutlich korreliert (Abb. 3.4-10). Besonders eindrücklich ist die Beziehung zum Standortfaktor Licht bei der Himbeere.

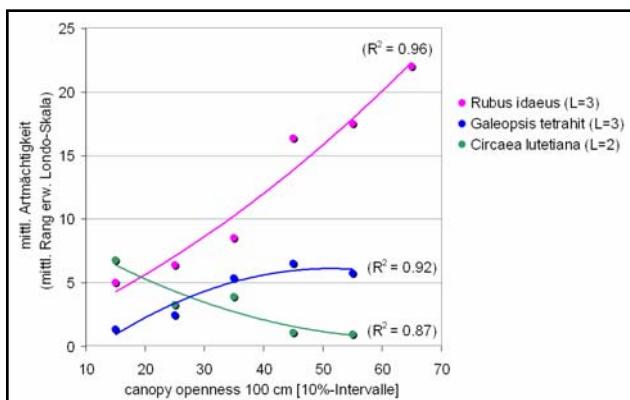


Abbildung 3.4-10: Korrelation der mittleren Artmächtigkeit ausgewählter Arten mit der canopy openness.

Die kleinräumige Heterogenität der Lichtverhältnisse innerhalb der Bestände ist mit den Vorkommen bestimmter Pflanzenarten korreliert. Himbeere und Hainsimse bevorzugen als typische Arten nach Windwurf generell hellere Standorte. Lokal waren sie auch am Windwurfrand an helleren Orten zu finden (Tab. 3.4-2) und trugen hier zur Beschattung innerhalb der Krautschicht bei (s. Differenz). Verjüngung von Esche, Buche und Kirsche wuchs dagegen besonders an Stellen, die auch bodennah höhere Lichtwerte aufwiesen. *Oxalis acetosella*, *Galium odoratum* und *Hedera helix* waren als typische Waldarten negativ mit der canopy openness korreliert und bevorzugten kleinräumig schattigere Standorte. Der Charakter der Arten als typische Windwurf- oder Waldarten, bzw. Licht- und Schattenarten, zeigt sich so auch innerhalb der Bestände durch Vergleich ihrer Verbreitungsmuster mit dem Faktor Licht.

Korrelationen			
Artmächtigkeit (Hist.Tr.) vs. canopy openness (mean 2x2)			
	100 cm	20 cm	Diff.
Luzula luzuloides	0.709	0.289	0.490
Rubus idaeus	0.383	-0.020	0.439
Fraxinus excelsior	0.290	0.359	-0.038
Fagus sylvatica	0.260	0.405	-0.115
Prunus avium	0.185	0.370	-0.163
Juncus effusus	0.178	-0.077	0.271
Galeopsis tetrahit	0.128	0.274	-0.131
...			
Rubus fruticosus agg.	0.059	-0.064	0.128
Impatiens parviflora	0.039	-0.262	0.302
Moehringia trinervia	-0.160	-0.105	0.043
...			
Oxalis acetosella	-0.370	-0.607	0.195
Galium odoratum	-0.518	-0.276	-0.294
Hedera helix	-0.519	-0.636	0.060

Bem.: Arten der Krautschicht s.l.
Diff. = CO₁₀₀ - CO₂₅

Tabelle 3.4-2: Beispiel für die Korrelationen der Artmächtigkeiten mit der kleinräumigen Lichtverteilung an einem Windwurfrand bei Müntschemier im Jahr 2001: mittlere canopy openness aus vier Aufnahmen an den Ecken der 3 m x 3 m Aufnahmeflächen; Aufnahmehöhen 20 cm und 100 cm; Artmächtigkeiten Histogramm-transformiert.

Auf belassenen Windwürfen sterben geworfene Bäume oft nicht direkt ab und können im Kronenbereich noch über Jahre eine stark beschattende Wirkung entwickeln. (Abb. 3.4-11).

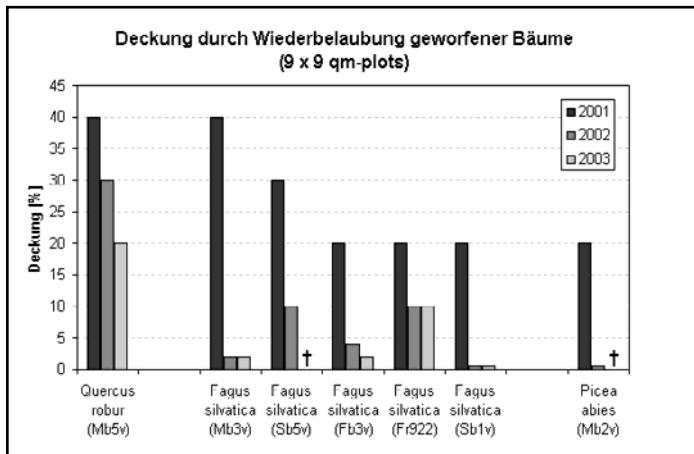


Abbildung 3.4-11: Entwicklung der Deckungswerte geworfener, jedoch 2001 noch nicht abgestorbener Baumkronen.

3.4.5.7 Verbiss

Im Gegensatz zum Projekt „Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Reh“ wurden ausschliesslich Sommerzählungen an verbissenen Trieben durchgeführt. Die Zählungen erfolgten in den Intensivflächen zwischen 2001 und 2003, womit Aussagen zur Entwicklung der kleinräumigen Verbissaktivität möglich sind. Neben Rehen wurden auf den Probeflächen in Müntschemier mehrfach auch Hasen beobachtet.

Auf den Probeflächen wurden vor allem die dominanten Brombeer-Kleinarten sowie die Himbeere befressen. Der relative Anteil verbissener Vorkommen zeigt, dass auch einige seltene Arten hohe Verbissraten aufweisen und teilweise bevorzugt befressen werden (z.B. *Prunus avium*, *Prenanthes purpurea*).

Die Verbisszahlen haben im Mittel über alle Varianten zwischen 2001 und 2003 stetig zugenommen (Abb. 3.4-12.A). Hohe Werte traten v.a. in der Variante „geräumt“ und „Rand“ auf, während für „belassen“ die Werte gegenüber 2001 zurückgingen. Für die untersuchte Variante „Wald“ konnte trotz zahlreicher Beobachtungen von Rehen und Hasen kaum Verbiss festgestellt werden. Ein Grund hierfür dürfte sein, dass im geschlossenen, dunklen Bestand die anderenorts befressenen Pflanzenarten nahezu vollständig fehlten.

Die kleinräumige Verbiessdynamik in Abbildung 3.4-12.B zeigt, dass auf der zunächst sehr vegetationsarmen, geräumten Intensivfläche bei Brüttelen die Anzahl verbissener Triebe mit der Wiederbegrünung der Fläche angestiegen ist und nahezu auf der gesamten Fläche hohe Werte erreicht. Demgegenüber blieben die Verbisszahlen auf der belassenen Fläche bei Müntschemier auf allgemein niedrigem Niveau. Sie zeigten nur lokal begrenzt höhere Werte (Abb. 3.4-12.C), obwohl am benachbarten Windwurf-Rand ein deutlich stärkerer Verbiss registriert wurde (nicht dargestellt). Auf der Intensivfläche des instabilen Windwurf-Randes bei Habsburg stieg die Zahl verbissener Triebe

nach der Entnahme von Käferbäumen stark an (Abb. 3.4-12.D). Generell ist die Entwicklung der räumlichen Verbisszahlen positiv mit der Entwicklung des Äungsangebotes korreliert und negativ mit dem Rückgang der Zugänglichkeit (Zunahme des Raumwiderstand).

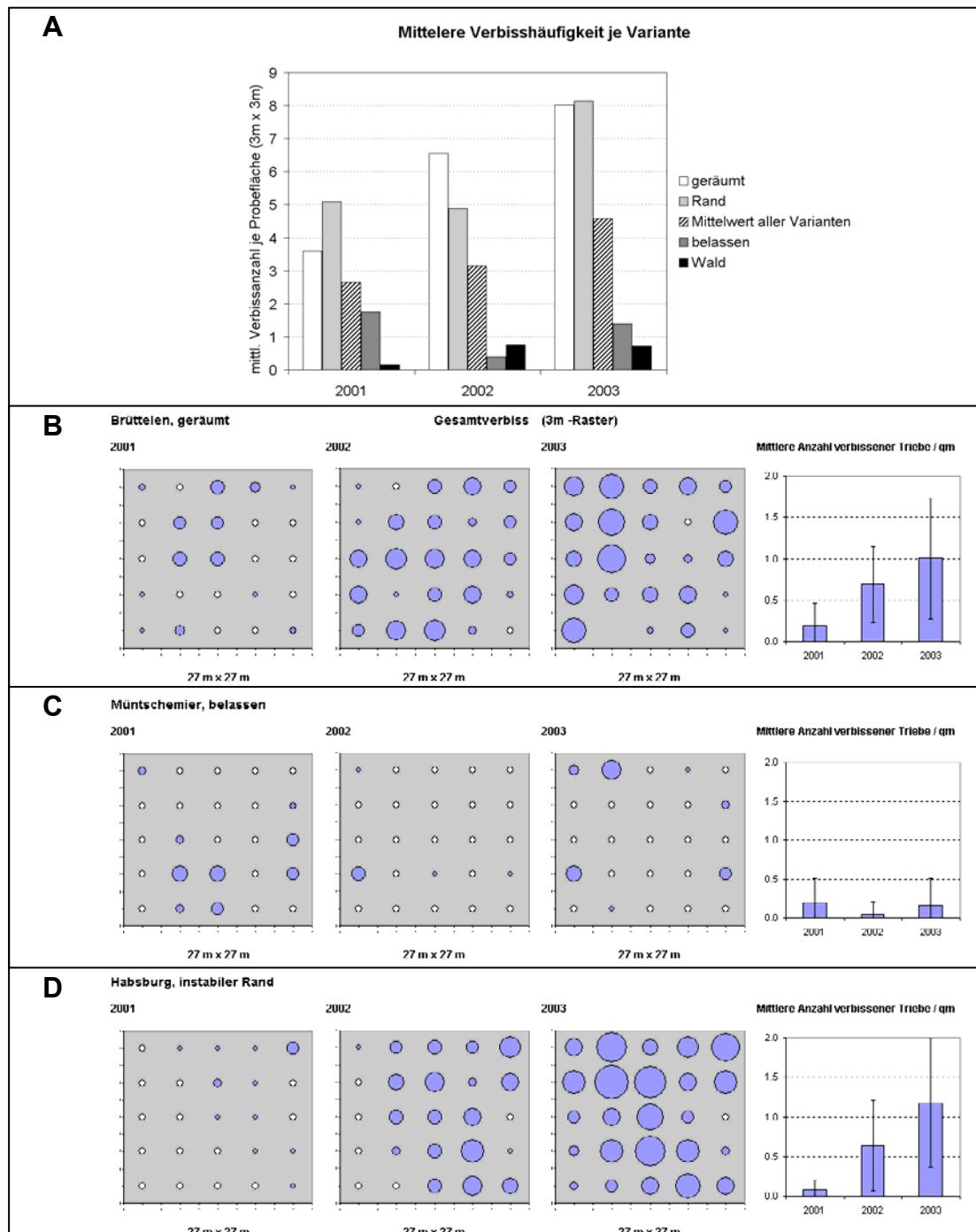


Abbildung 3.3-12: Mittlere Anzahl verbissener Triebe der Gesamtvegetation und Beispiele für die kleinräumige Verteilung (B-D). Die Kreisflächen sind proportional zur Anzahl verbissener Triebe und für alle Abbildungen gleich skaliert (weisse Kreise ohne Verbiss).

3.4.6 Ausblick

Zum Abschluss des Projekts sind mehrere Publikationen geplant, in Vorbereitung oder eingereicht: Ergebnisse zur räumlich-zeitlichen Verbissdynamik, wie sie aus mehreren Lothar-Projekten der WSL vorliegen, sollen in eine gemeinsame Publikation einfließen. Resultate zur Vegetationsentwicklung nach Windwurf im Mittelland werden denen der Vivian-Forschung in Gebirgslagen gegenüber gestellt und sind für eine nationale oder internationale Publikation vorgesehen. Die Ergebnisse zu Beziehungen zwischen der Vegetationsentwicklung und dem Schlüsselfaktor Licht sollen in einem internationalen Journal publiziert werden. Ein Manuscript zum Thema indirekter Lichtmessungen durch hemisphärische canopy-Aufnahmen wurde eingereicht (Nobis, M. & Hunziker, U. - *in review - Automatic thresholding for hemispheric canopy-photographs based on edge detection. Agricultural and Forest Meteorology*).

Die Intensivflächen des Projekts wurden als langfristige Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Weitere Erhebungen mit mehrjährigem Turnus sind notwendig, um die bisherigen Ergebnisse auch für die Phase der eigentlichen Wiederbewaldung abzusichern und zu ergänzen. Hierdurch wäre ferner der Vergleich mit den Resultaten der langjährigen Vivian-Erhebungen möglich.

3.4.7 Dank

Unser Dank gilt Ulrich Wasem für seine Mithilfe beim Einrichten der Probeflächen. Christoph Angst und Reinhard Lässig danken wir für die logistische Unterstützung durch das Rahmenprojekt.

3.5 Dauerbeobachtung der Waldverjüngung auf Lothar-Windwurfflächen

Christoph Angst und Thomas Reich

3.5.1 Ausgangslage und Problemstellung

Die Orkane „Lothar“ und „Martin“ am 26./27. Dez. 1999 verwandelten innert weniger Stunden knapp 2 % des Schweizer Waldes in Wiederbewaldungsflächen (WSL und BUWAL 2001). Im Zuge der nachfolgenden Sturmschadensbewältigung und Wiederbewaldung wurde, wie auch schon nach „Vivian“ 1990, von verschiedenen Seiten gefordert, mehr Holz liegen zu lassen und damit mehr Freiraum für die natürliche Entwicklung zu schaffen. Auch die Waldwirtschaft ist gewillt, sich vermehrt den natürlichen Prozesse zu bedienen und damit auf naturnahem und hoffentlich auch kostengünstigerem Wege die Erfüllung der verschiedensten Waldfunktionen zu gewährleisten. Nach einer Serie verheerender Windwurfereignisse verspricht man sich von naturnahen und vielfältig aufgebauten Wäldern eine bessere Risikoverteilung gegenüber Sturmschäden.

Wie weit waldbauliche und wirtschaftliche Ziele durch „biologische Automation“ erreicht werden können ist unsicher. Bisher wurde aber das Potential der natürlichen Verjüngung häufig unterschätzt. Auf vielen Windwurfflächen hat sich inzwischen eine genügend dichte und vielfältige natürliche Verjüngung eingestellt. Dennoch wird mancherorts eine rasche Verjüngung durch Hochstauden, Brombeere, Adlerfarn etc. in Frage gestellt.

Es hat sich nach Lothar gezeigt, dass praktische Anschauungsbeispiele den Waldbesitzern und Förstern bezüglich der Wiederbewaldung ihrer Windwurfflächen wertvolle Impulse und Hinweise geben können. Repräsentative Demonstrationsflächen mit guter Beschreibung des Ausgangszustands und der zeitlichen Entwicklung gibt es allerdings nur wenige.

3.5.2 Zielsetzung und Arbeitshypothesen

3.5.2.1 Ziele

Durch die Dauerbeobachtung der Waldverjüngung auf Lothar-Windwurfflächen wollen wir

- den Ausgangszustand ausgewählter Windwurfflächen nach dem Sturmereignis beschreiben, und die Wiederbewaldung nach dem Windwurf periodisch erfassen und dokumentieren,
- beitragen zum Verständnis der natürlichen Waldentwicklung auf Windwurfflächen mit unterschiedlicher Ausgangslage (Windwurfholz nicht geräumt bzw. geräumt) mit Schwerpunkt auf typischen Buchenwaldstandorten des Schweizer Mittellandes.

- beitragen zur Beantwortung offener Fragen, z.B.:
 - welchen Einfluss haben verdämmende Arten (Brombeere, Adlerfarn, etc.) für die Waldverjüngung?
 - wie entwickeln sich Windwurfflächen, die in den ersten Jahren nur sehr wenig (Vor-)Verjüngung aufgewiesen haben?
 - sind auf belassene Windwurfflächen ohne menschlichen Einfluss langfristig horizontal und vertikal strukturreichere Bestände zu erwarten als dort, wo das Holz geräumt wurde?

3.5.2.2 Hypothesen

Nebst der Dokumentation der Entwicklung der Waldverjüngung sollen mit den Verjüngungserhebungen folgende Hypothesen geprüft werden:

1. In belassenen Windwurfflächen der kollinen bis submontanen Stufe sind die Verjüngungszeiträume länger und es entwickeln sich reicher strukturierte Folgebestände als auf geräumten Flächen.
2. Auf Standorten mit Brombeere oder Adlerfarn erfolgt nach einem Windwurfereignis die Wiederbewaldung stark verzögert.
3. Je höher der Deckungsgrad durch Brombeere, umso kleiner ist die Dichte der Waldverjüngung.
4. Monopodial wachsende Baumarten (z.B. Fichte, Tanne, Ahorn, Esche, Kirsche) sind bei starkem Brombeerengewuchs gegenüber dem sympodialen Wuchstyp (z.B. Buche, Eiche) im Vorteil.

3.5.3 Material und Methode

Zur Dokumentation des Ausgangszustandes und der Wiederbewaldung wurden auf allen Versuchsfächern (vgl. Kap. 2) sowohl in den geräumten wie auch in den belassenen Varianten permanente Stichprobennetze eingerichtet (Abb. 3.3-1). Je nach Flächengrösse variiert die Anzahl der Stichprobenkreise (Plots) je Variante zwischen 18 und 25. Sie sind im Abstand von 20 m mit Alupflocken verpflockt und je 20 m^2 gross. Dadurch sind 5 % der repräsentierten Fläche abgedeckt. Die Plot-Zentren wurden im Herbst und Winter 2000/01 mit Hilfe des GPS (Leica GS50) eingemessen. Zum leichteren Auffinden markierten wir die Punkte mit 1,50 m langen, oben mit orangem Kunststoffrohr überzogenen Eisenstäben. Bei Sarmenstorf und Müntschemier wurde in den wenig geschädigten Nachbarbeständen auch noch eine dritte Vergleichsvariante eingerichtet. Die Versuchsfäche Wohlen kam erst im Frühjahr 2002 hinzu.

Während des Projekts erhoben wir die Waldverjüngung in den Jahren 2001, 2002 und 2003, jeweils von Mai bis Juli. Es wurden einerseits flächenbezogene Parameter, andererseits Parameter von den Einzelbäumen und Sträuchern ab 20 cm Höhe in den Plots erhoben (vgl. Tab. 3.5-1). Zur Erfas-

sung der Daten diente uns ein Feldcomputer (Husky fex21). Die Daten werden in einer relationalen Datenbank (MS-Access) verwaltet.

Tabelle 3.5-1: Erhobene Parameter für die Stichprobenflächen und alle Bäume ab 20 cm Höhe.

Je Stichprobenfläche	Je Einzelbaum innerhalb der Stichprobe
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flächenanteile der Kleinstandorte (z.B. ungestörte Fläche, Wurzelsteller, Wurzelsteller-Mulde) ▪ Flächenanteil, der durch Stammholz, Baumkrone, Asthaufen, Astteppich überdeckt ist ▪ Flächenanteile und Höhe der Vegetationsarten (Brombeere, Himbeere, Adelfarn, Seegras, Binse) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Polarkoordinaten ▪ Kleinstandort ▪ Baumart ▪ Baumhöhe im vorangegangenen Winter (ab 20 cm) / BHD ab 300cm Höhe ▪ Keimjahr ▪ Vitalität ▪ Begleitvegetation ▪ Verbiss ▪ Schäden

3.5.4 Ergebnisse

Im vorliegenden Bericht wird eine Auswahl wichtiger Aspekte der Wiederbewaldung dargestellt.

3.5.4.1 Baumarten und Verjüngungszahlen

Die ermittelten Baumzahlen beziehen sich auf die Bäume ab 20 cm. Im Vergleich zu den Vivian-Versuchsflächen, wo sich die natürliche Verjüngung drei Jahre nach dem Sturm in Bereichen von 500 bis 1'000 Bäumen/ha bewegte, wiesen die tiefer gelegenen Lotharflächen in der Regel deutlich höhere Verjüngungszahlen auf. Selbst auf den verjüngungsärmsten belassenen Flächen von Messen und Habsburg waren die Baumzahlen noch mindestens doppelt so hoch wie in den Vivian-Versuchsflächen (Abb. 3.5-1). Die

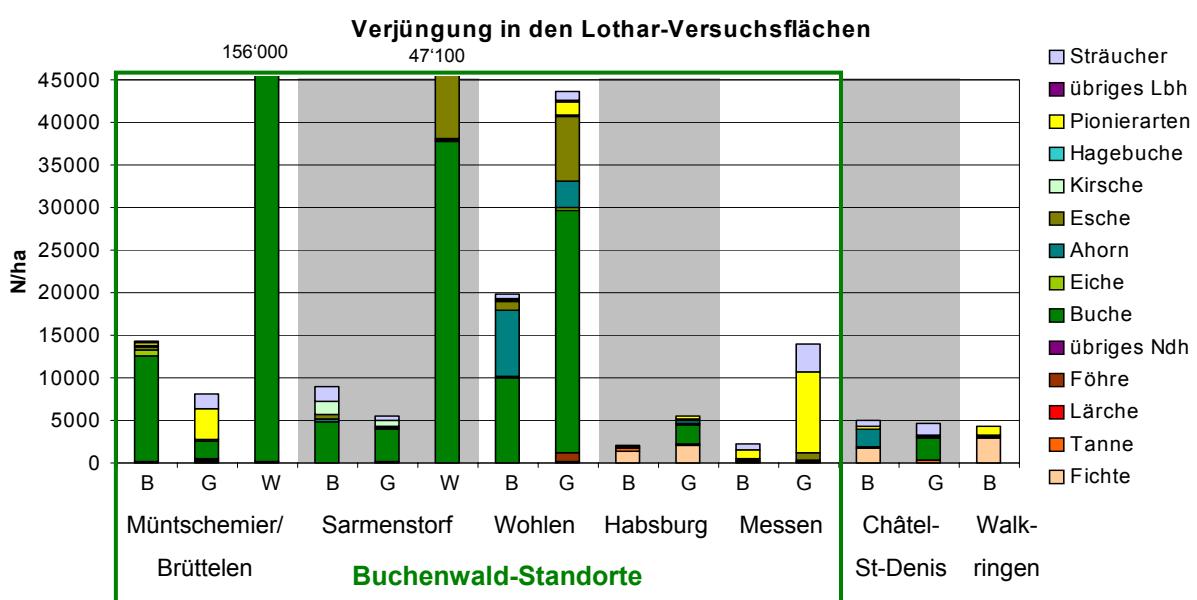


Abbildung 3.5-1: Verjüngung im Jahr 2003 (Bäume und Sträucher). „Pionierarten“ sind: Birke, Weide, Pappel, Vogelbeere. „Verjüngung“ sind alle Jungbäume, die im Winter 2001/02 zw. 20 u. 300 cm gross waren oder in den beiden Folgejahren hinzukamen. B = belassen, G = geräumt, W = Wald.

Baumzahlen pro ha variierten sowohl zwischen den Versuchsflächen als auch örtlich zwischen den Versuchsvarianten. Am wenigsten Bäume wies die nicht geräumte Fläche bei Messen (Variante „belassen“) mit hochgerechnet rund 1'500 Pflanzen/ha auf, während in der geräumten Variante bei Wohlen über 42'000 Bäume/ha standen. Die höchsten Baumdichten fanden wir in den Wald-Varianten Sarmenstorf und Müntschemier mit hochgerechnet 47'100 bzw. 156'000 Jungbäumen pro ha. Abgesehen vom Bestandesrand bei Müntschemier und den Orten mit massgeblicher Beteiligung der Pionierbaumarten haben sich die Verjüngungszahlen in den Versuchsflächen während der drei Erhebungsjahre nur schwach erhöht (Abb. 3.5-2).

Pionierbaumarten (Birke, Weide, Pappel oder Vogelbeere) spielten bisher auf den belassenen und i.d.R. auch auf den geräumten Windwurfflächen eine marginale Rolle. Massgeblich an der Waldverjüngung beteiligt waren sie lediglich bei Messen und Brüttelen (Abb. 3.5-1). Auf allen Versuchsflächen des Mittellandes waren die Pionierbaumarten in den ersten drei Jahren nach Lothar auf den geräumten Teilflächen stärker vertreten als auf den nicht geräumten. Im Gegensatz zur Buche hat sich ihr zahlenmässiger Anstieg bisher an den meisten Orten noch nicht abgeflacht.

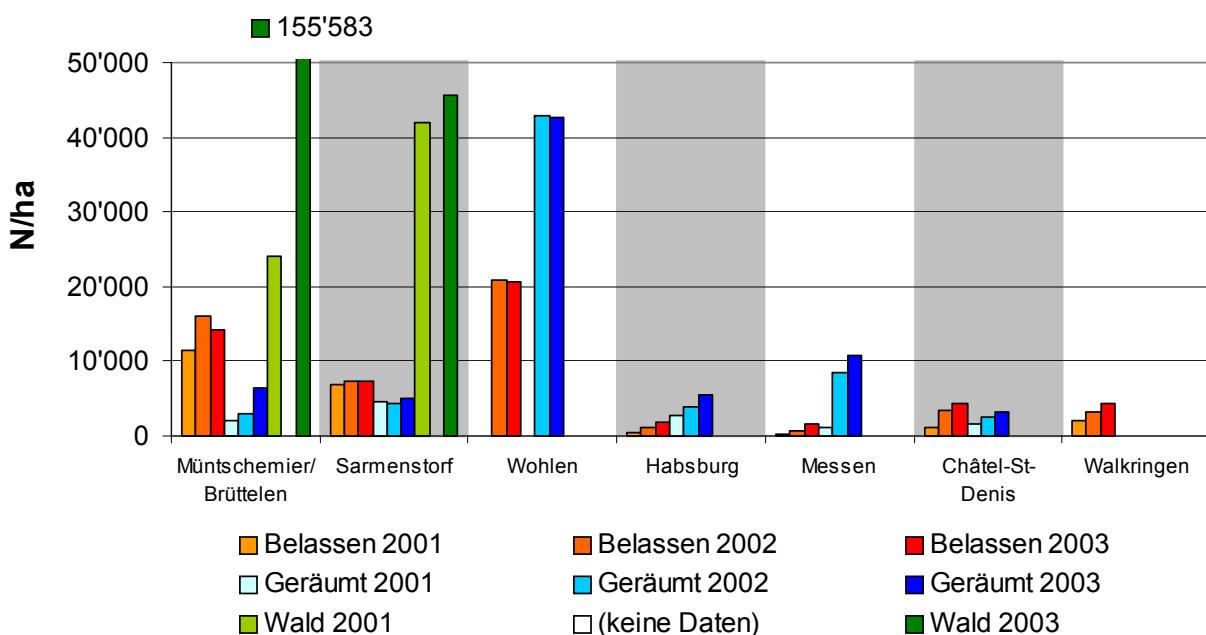


Abbildung 3.5-2: Stammzahlentwicklung der Baumverjüngung (ohne Sträucher) von 2001 bis 2003. Alle Bäume, die im Winter 2001/02 zw. 20 u 300 cm gross waren oder in den beiden Folgejahren hinzukamen.

3.5.4.2 Verjüngung vor und nach dem Sturm

Bei den Felderhebungen wurde auch das Keimjahr der aufgenommenen Jungbaume geschätzt. Die allermeisten keimten entweder bereits vor dem Sturm oder in der Vegetationsperiode danach. Besonders viele Bäume keimten im Jahr 2000 in der Variante „belassen“ bei Müntschemier belassen (98 % Buche) sowie in den geräumten Varianten bei Wohlen (75 % Buche, 18 % Esche) und Messen (65 % Birke, 27 % Weiden) (vgl. Abb. 3.5-3). Bäume

mit Keimjahr 2001 und 2002, die bis zum Winter 2002/03 die Höhe von mindestens 20 cm erreicht hatten, wurden nur wenige gezählt.

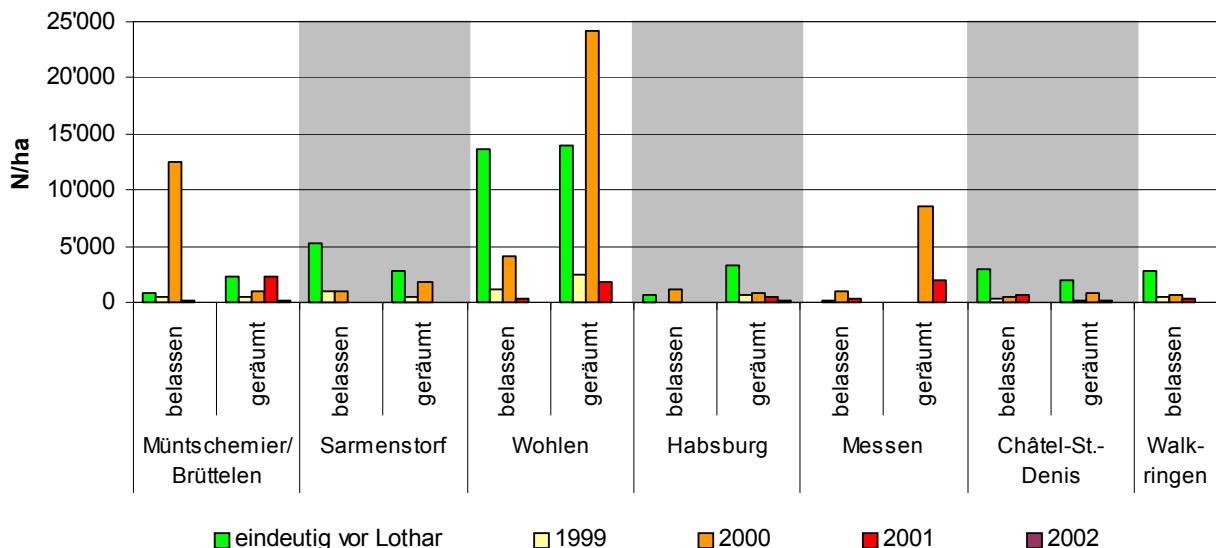


Abbildung 3.5-3: Verjüngung (ohne Sträucher) in Anzahl/ha nach geschätztem Keimjahr. Bei den Bäumen mit Keimjahr 1999 war die Altersschätzung (vor/nach dem Sturm) z.T. unsicher. Berücksichtigt wurden alle Bäume die im Winter 01/02 zw. 20 u 300 cm gross waren oder in den beiden Folgejahren hinzukamen.

3.5.4.3 Räumliche Verteilung der Baumverjüngung

An den meisten Orten variiert die räumliche Verteilung der Verjüngung innerhalb einer Behandlungsvariante beträchtlich. Dies gilt sowohl für die geräumten als auch für die nicht geräumten Varianten. Auf einer Teilfläche konnte die 2003 erhobene Stammzahl pro Plot zwischen 0 und 215 Bäumen betragen (Wohlen „geräumt“, vgl. Abb. 3.5-4). Mit Ausnahme der Flächen bei Sarmenstorf und Wohlen waren im Jahr 2003 in den Varianten ohne Räumung deutlich mehr Stichprobenkreise ohne Baumverjüngung (Abb. 3.5-5).

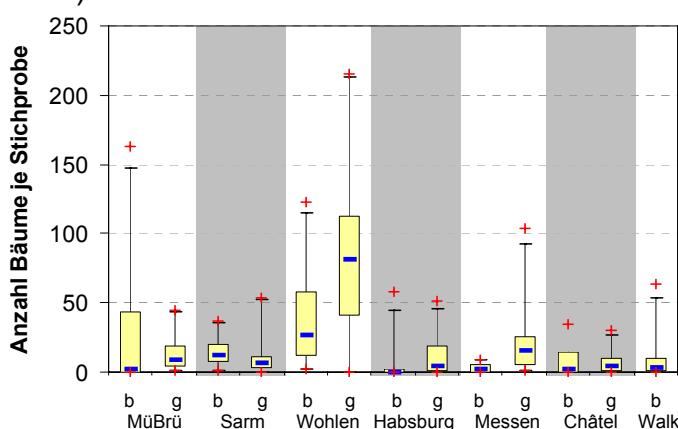


Abbildung 3.5-4: Verteilungen der Stammzahlen 2003 pro Stichprobenfläche (b = Variante „belassen“, g = Variante „geräumt“), dargestellt in Box-and-Whisker-Plots. Die gelben Kästchen umfassen jeweils 50 % der Stichproben einer Variante. Blauer Strich = Median

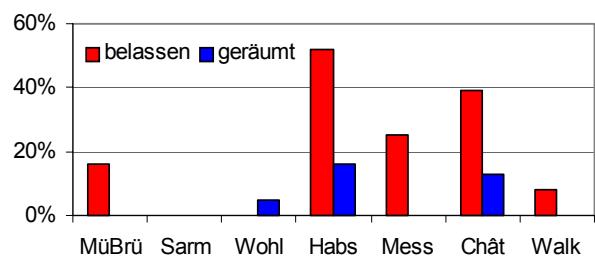


Abbildung 3.5-5: Anteil Stichproben pro Variante ohne Verjüngung im Sommer 2003 (Sträucher nicht berücksichtigt).

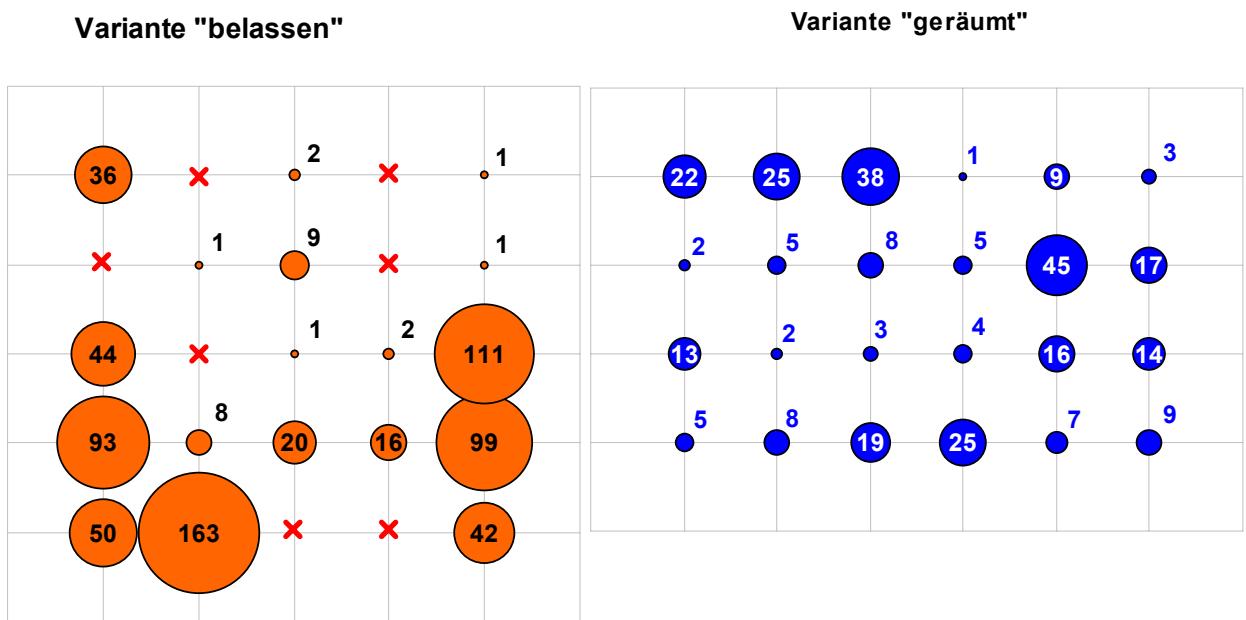


Abbildung 3.5-6: Verteilung der Verjüngung (ohne Sträucher) am Beispiel des Versuchsflächen-paares Müntschemier (belassen) / Brüttelen (geräumt). Die Kreisgrösse ist proportional zur angegebenen Anzahl Bäume pro Stichprobe im Jahr 2003. Stichprobengrösse: 20 m²; Gitterabstand: 20 m. In der belassenen Fläche waren 7 Stichproben ohne Bäume.

3.5.4.4 Bodendeckende Vegetation

Unter den verdämmenden Arten der Krautschicht war die Brombeere die auffälligste Artengruppe. Sie kam abgesehen von den oberhalb 1250 m ü.M. liegenden Partien der Versuchsfläche Châtel-St-Denis auf allen Versuchsflächen vor. An den meisten Orten hatte sie inner 2-3 Jahren Gesamtdeckungsgrade von bis zu 80 % erreicht, wobei sie in den geräumten Varianten zu Beginn generell schwächer vertreten war als auf den nicht geräumten Varianten (Abb. 3.5-7). Insbesondere in den ungeräumten Flächen hatte ihr Anteil zwischen 2002 und 2003 nicht mehr zugenommen. Die Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten verwischen sich mehr und mehr.

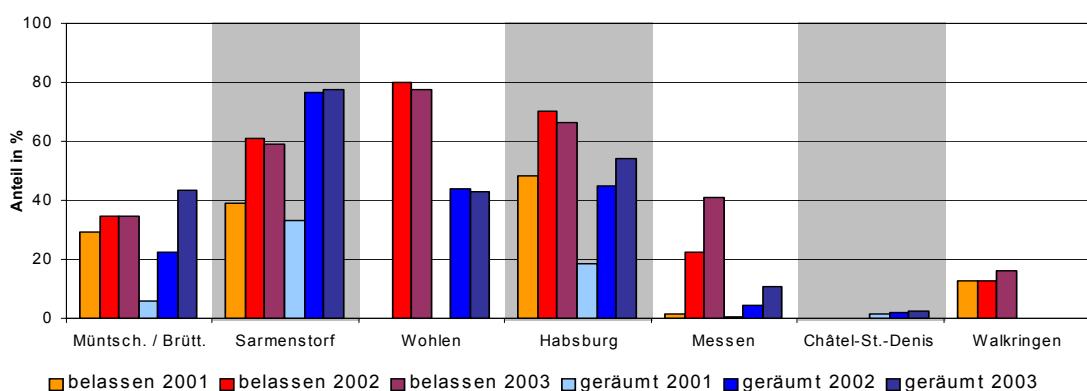


Abbildung 3.5-7: Entwicklung der Brombeer-Deckungsgrade auf den Versuchsflächen in den Jahren 2001 bis 2003. Rote Farben für Varianten „belassen“, blaue für Varianten „geräumt“.

Ein direkter Zusammenhang zwischen der Bodenbedeckung durch die Brombeeren und der Verjüngungsdichte ist in unseren Daten bisher kaum feststellbar. Für die Buchenverjüngung kann mit Hilfe der mittleren Stammzahl je Plot eine schwache negative Korrelation zwischen Brombeerendeckung und Baumdichte gezeigt werden (Abb. 3.5-8). Gemäss der gleichen Darstellungsart verhielt sich die Ahornverjüngung gegenüber der Brombeerendeckungsgrade praktisch indifferent. Deutlichere Zusammenhänge ergaben sich aus den Daten von M. Nobis und A. Bürgi (vgl. Kap. 3.8.4.1).

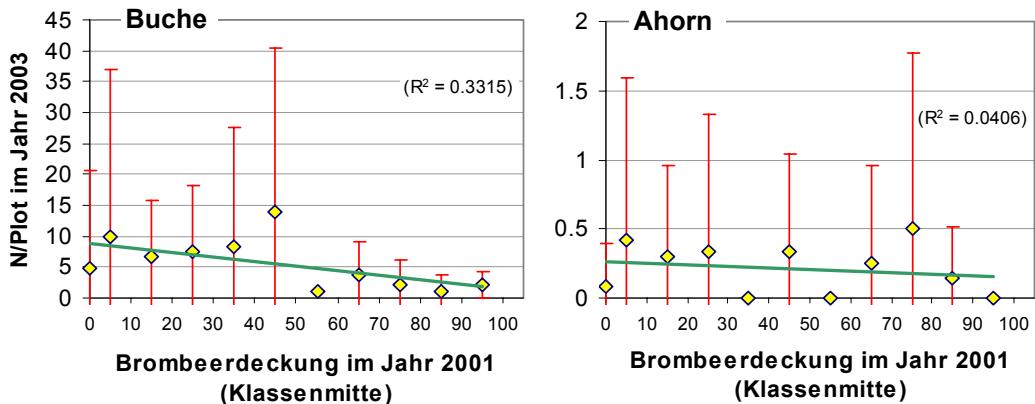


Abbildung 3.5-8: Zusammenhang zwischen mittlerer Anzahl Buchen bzw. Ahorne pro Plot im Jahr 2003 und der zu Beginn (2001) vorhandenen Brombeerendeckung in %.

3.5.4.5 Verbiss der Baumverjüngung

Betrachtet man alle Jungbäume der verbissgefährdeten Baumarten als Grundgesamtheit, so sind die Unterschiede der Verbissanteile zwischen den Varianten „belassen“ und „geräumt“ sind in der Gegenüberstellung der

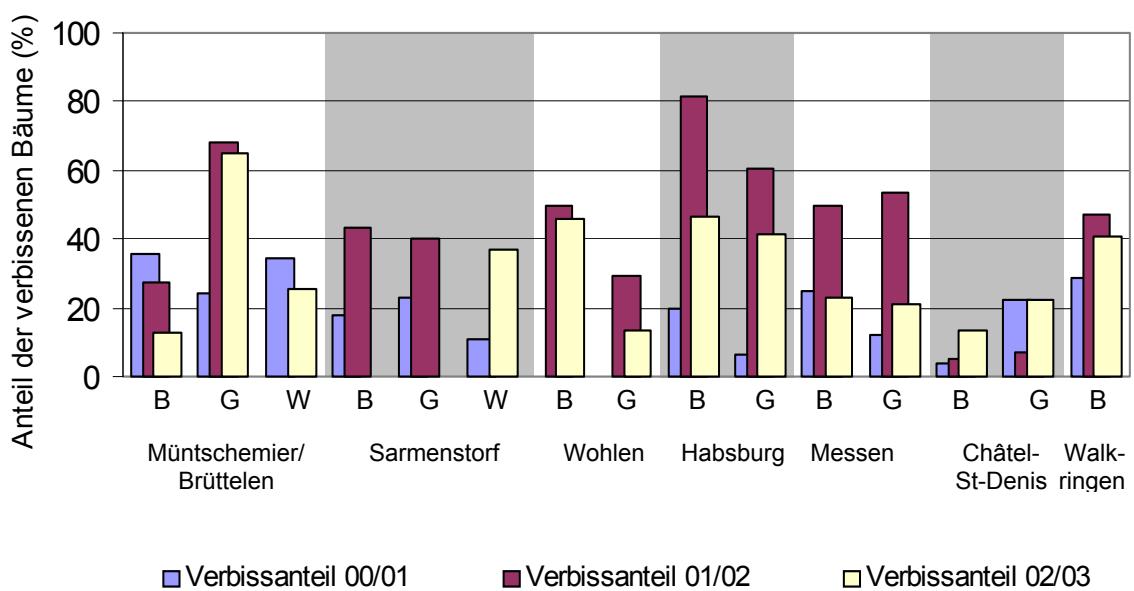


Abbildung 3.5-9: Verbissanteile an der Verjüngung mit Höhe zw. 20 und 130 cm. Die Zahlen beziehen sich auf den Endtrieb-Verbiss des Vorjahres bei den verbissgefährdeten Baumarten (Ah, Ki, Ei, Ta, Wei, Vobe, Es, Er). Beurteilt wurde jeweils. B = belassen, G = geräumt, W = Wald. Für Sarmenstorf fehlen die Angaben 02/03.

Versuchsf lächen und der Erhebungsjahre nicht einheitlich (Abb. 3.5-9). Im Vergleich zum ersten Jahr nahm der Verbiss in den Folgejahren praktisch überall zu. Die höchste Verbissrate war mit Ausnahme von Châtel-St-Denis im zweiten Erhebungsjahr zu verzeichnen.

Für die Mittellandflächen ergibt sich ein einheitlicheres Bild, wenn man die Plots betrachtet, die Jungbäume von besonders verbissgefährdeten Baumarten enthalten. Auf mindestens vier der fünf Mittellandflächen (in Abb. 3.5-10 grün hinterlegt) fanden wir im Jahr 2003 in den belassenen Varianten weniger Plots mit Verbiss als in den geräumten (vgl. Abb. 3.5-10 unten). Hierin unterschieden sich die beiden Behandlungsvarianten deutlich, d.h. der Mittelwert der einen Variante war ausserhalb des 95 %-Konfidenzintervall es

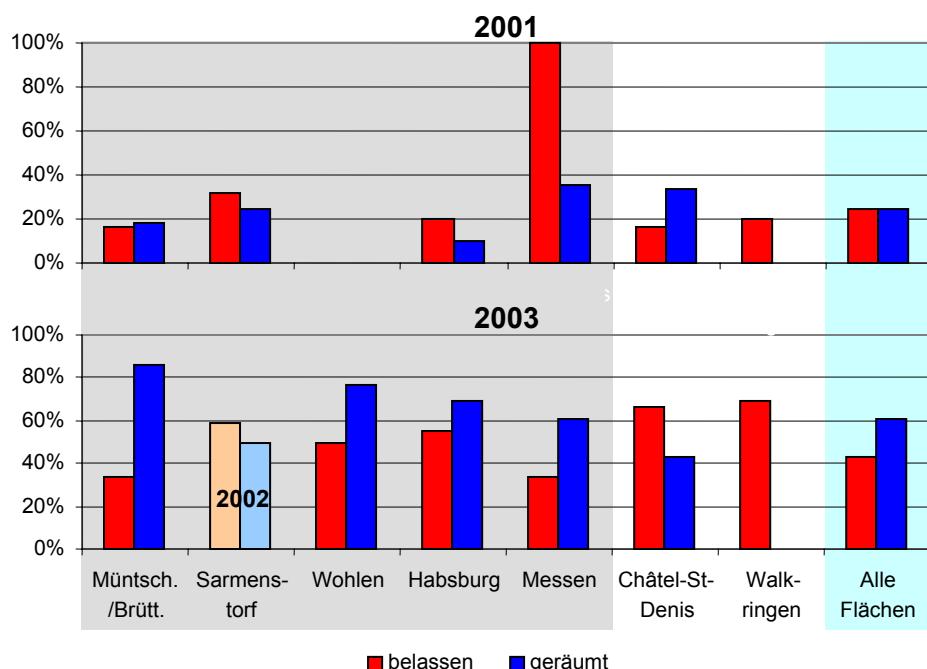


Abbildung 3.5-10: Anteile der Plots mit verbissenen Bäumen gemessen an der Anzahl Plots mit verbissgefährdeten Baumarten (Ah, Ki, Ei, Ta, Wei, Vobe, Es, Er) in den Jahren 2001 und 2003. Höhe der berücksichtigten Bäume: 20-130 cm. Von Sarmenstorf fehlen die Angaben 2003. Walkringen ist ohne geräumte Vergleichsfläche. Die Mittellandflächen sind grau hinterlegt.

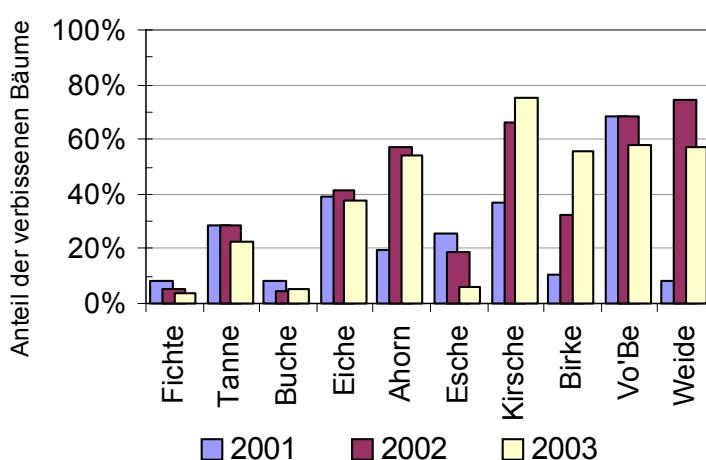


Abbildung 3.5-11: Anteile der verbissenen Bäume nach den häufigsten Baumarten, in den Jahren 2001-2003. Höhe der berücksichtigten Bäume: 20-130 cm.

um den Mittelwert der andern. Im Jahr 2001 war dieser Unterschied zwischen „belassen“ und „geräumt“ noch eher umgekehrt (vgl. Abb. 3.5-10 oben).

Am stärksten verbissen waren Eiche, Ahorn, Kirsche und die Pionierbaumarten (Abb. 3.5-11). Buche und Fichte waren mit Abstand am wenigsten gefährdet. Der Verbissrückgang von 2002 auf 2003 ist auch bei der Gegenüberstellung der Baumarten zu erkennen mit Ausnahme von Kirsche und Birke.

3.5.5 Diskussion

Obwohl die Mittellandstandorte bezüglich Höhenlage und Waldgesellschaft miteinander vergleichbar sind, weichen deren Rahmenbedingungen zum Teil stark voneinander ab. Sie unterscheiden sich beispielsweise in Struktur und Baumartenzusammensetzung der Vorbestände, Flächengrösse, Räumungszeitpunkt und -intensität, Wildbestand, etc. Diese Eigenheiten und die kleine Zahl an Versuchsflächen, müssen bei der Interpretation der Daten und beim Vergleichen der einzelnen Versuchsflächen berücksichtigt werden. Es bestätigt sich dadurch der in der „Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald“ (BUWAL 2000) gewählte Ansatz, bei dem für einen adäquaten Entscheid über Tun und Lassen auf Windwurfflächen jeweils die spezielle Situation der zu beurteilenden Fläche unbedingt in die Überlegungen mit einbezogen werden muss.

Da das Jahr unmittelbar nach Lothar ausgefüllt war mit Projektentwicklung und Flächensicherung konnte der Ausgangszustand leider nicht ganz von Beginn an erfasst werden. Die Ersterhebung erfolgte von Mai-Juli 2001.

3.5.5.1 Baumarten, Verjüngungszahlen und Zeitpunkt der Keimung

ALDINGER und KENK (2000) beurteilen eine Naturverjüngung als ausreichend, wenn nach der Initialphase – das sind gemäss unseren bisherigen Resultaten mindestens die ersten 2-3 Jahre nach dem Sturm – die gewünschten Wirtschaftsbaumarten „in Mindestzahl flächendeckend vorhanden“ sind, d.h. mind. 1'000 Nadelbäume bzw. 2'000 Laubbäume pro ha. Wird diese Zahl unterschritten, können Pionerbäume als Lückenfüller akzeptiert werden. Abgesehen von den Versuchsflächen bei Messen ist diese Richtzahl an allen Orten sowohl mit wie auch ohne Räumung mindestens deutlich überschritten (Abb. 3.5-1). Bezuglich der räumlichen Verteilung müsste aber an manchen Orten (z.B. in der Variante „belassen“ bei Müntschemier, vgl. Abb. 3.5-6) eine Ergänzungspflanzung in Erwägung gezogen werden. Betrachtet man die Birke ebenfalls als mögliche Wirtschaftsbaumart, so kann man auch die natürliche Verjüngung auf der geräumten Fläche als genügend beurteilen. Das gleiche Resultat ist auch aus den Ergebnissen des Projektes „Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfflächen“ von M. Nobis und A. Bürgi ersichtlich. Dass es aber auch Flächen gibt, auf welchen die natürliche Verjüngung deutlich unter dem Minimum liegt, zeigen beispielsweise die Zahlen aus dem WSL-Projekt „Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar“ von P. Brang.

Die Bedeutung der Baumartenzusammensetzung des geworfenen Vorbestandes für die natürliche Verjüngung ist an allen Orten deutlich zu erkennen.

Dank des Glückfusses, dass dem Sturm Lothar eine Buchen-Vollmast direkt voranging, war es der Buche v.a. in der Variante „belassen“ bei Müntschemier sowie auf beiden Varianten der Versuchsfläche bei Wohlen möglich, ihr Startpotential deutlich zu verbessern. Ein klarer Baumartenwechsel ist nur dort festzustellen oder zu erwarten, wo die Vorverjüngung bzw. ein Samenanflug der bisherigen Hauptbaumarten in den ersten 2-3 Jahren weitgehend fehlte (z.B. Varianten „belassen“ und „geräumt“ bei Messen) oder durch die Holzernte stark beeinträchtigt wurde (Variante „geräumt“ bei Brüttelen). Infolge des nach der Holzernte grossflächig brach liegenden Bodens wird die Verjüngung auf den geräumten Flächen bei Brüttelen und Messen verhältnismässig stark durch die Pionierbaumarten Birke und Weiden geprägt.

3.5.5.2 Räumliche Verteilung der Verjüngung

Innerhalb der Versuchsflächen ist die räumliche Verteilung der Verjüngung oft recht heterogen (Abb. 3.5-4, 3.5-5, 3.5-6). Dies kann weitgehend mit speziellen Strukturen im Vorbestand und damit auch in der Vorverjüngung, mit der räumlich unterschiedlichen Entwicklung verdämmender Arten sowie mit den Folgen der Holzernte erklärt werden. Die Resultate deuten an den meisten Orten darauf hin, dass gegenüber geräumten Flächen die Verjüngung auf belassenen Windwurfflächen lückiger aufkommt. Dort dürfte die Bedeckung und die daraus folgende starke Beschattung des Bodens durch die Kronen der geworfenen Bäume sowie die raschere Ausbreitung der Brombeere für zusätzliche Diversifizierung gesorgt haben (vgl. Projekt Nobis & Wohlgemuth, Kap. 3.4.5.6).

Die innerhalb derselben Variante oft grosse Spannbreite der Baumzahlen pro Stichprobe ist aber vermutlich auch auf die mit 20 m² relativ kleine Fläche der Aufnahmekreise zurückzuführen. Dennoch deutet auch die mit verhältnismässig hohe Anzahl baumloser Stichproben (Abb. 3.5-5) in den belassenen Varianten darauf hin, dass bei Belassen des Sturmholzes i.d.R. mit grösseren Verjüngungslücken zu rechnen ist als nach einer Räumung. Mindestens in den ersten Jahren nach dem Sturm dürfte deshalb das flächige Liegenlassen des Sturmholzes eine zeitliche Staffelung der Wiederbewaldung fördern. Dadurch wird die Hypothese 1 (Kap. 3.5.2.2) zumindest teilweise bestätigt, d.h. der Trend zu einem stufenigen Bestandesaufbau ist bei natürlicher Verjüngung wenigstens in den ersten Jahrzehnten auf belassenen Flächen eher gegeben als auf geräumten. Im Laubwald ist ohne menschliche Eingriffe daraus keine anhaltende vertikale Strukturierung für den Folgebestand zu erwarten; die sich später in den Lücken einfindende Verjüngung vermag i.d.R. durch umso rascheres Höhenwachstum den Rückstand innert weniger Jahre aufzuholen, um das Kronendach der älteren Bäume zu schliessen.

3.5.5.3 Einfluss verdämmender Arten auf die Verjüngung

Für die Wiederbewaldung erweist sich die Zeit vor und unmittelbar nach dem Sturm als besonders wichtig. Bereits im zweiten oder dritten Jahr nach dem Sturm ist in vielen Fällen keine wesentliche Zunahme der Baumzahlen mehr festzustellen (Abb. 3.5-2). Wegen ihrer kurzen Reichweite sind die schwiersamigen Schlussbaumarten ohne Vorverjüngung kaum mehr fähig, nach dem Sturm die Verjüngung auf grösseren Windwurfflächen wesentlich

mitzubestimmen. Für die übrigen Baumarten dürfte die kurze Zeit der Regenerationsmöglichkeit in erster Linie durch die sehr rasche Ausbreitung verjüngungshemmender Vegetation (v.a. Brombeeren, *Rubus fruticosus*) begrenzt sein (vgl. auch die Resultate der Projekte von Nobis & Wohlgemuth Kap. 3.4.5.4 und von Moser & Hindenlang Kap. 3.6.3.1). Nobis und Wohlgemuth zeigten ebenfalls, dass sich in den Jahren 2001-2003 mit Ausnahme der leichtsamigen Pionierbaumarten und der Esche auf den untersuchten Windwurfflächen kaum mehr neue Bäume angesamt haben (vgl. Kap. 3.4.5.5). Bezuglich der Neuansamung von Bäumen nach dem Sturm spricht diese Feststellung bisher für die Hypothese 2 (Kap. 3.5.2.2). Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad der Brombeeren und der Dichte der Verjüngung (vgl. Hypothese 3) konnten wir nur für die Buche ansatzweise erkennen (Abb. 3.5-8). Dass dieser Zusammenhang für die Buche immerhin etwas deutlicher ist als beim monopodial wachsenden Ahorn, spricht schwach für die Hypothese 4. Voraussichtlich werden die Wechselwirkungen zwischen Brombeeren und bestehender Baumverjüngung – auch bezüglich der Vorverjüngung – erst in den Folgejahren richtig zum Tragen kommen. Die durch die Holzernte verursachte, anfänglich verlangsamte Entwicklung der Brombeeren-Teppiche hält nicht nur für sehr kurze Zeit an. Beginnt die Ausbreitung der Brombeere auf einer frischen Windwurffläche gleichzeitig mit der Ansamung und Entwicklung der Waldverjüngung, dann findet man in den ersten Jahren vielerorts relativ hohe Baumdichten trotz hoher Deckungsgrade der Brombeeren. Vermutlich ist dies ein Grund, weshalb unsere Daten zur Zeit keine deutlich negative Korrelation zwischen Brombeeren-Deckung und Verjüngungsdichte erkennen lassen (Abb. 3.5-8).

3.5.5.4 Verbiss der Baumverjüngung

Da die einzelnen Plots auch innerhalb derselben Fläche sehr unterschiedliche Verjüngungsdichten aufwiesen, kann die Anzahl verbissener Bäume je Variante wenig zum Vergleich der Verbiss situation auf belassenen und geräumten Windwurfflächen beitragen (Abb. 3.5-9). Der Vergleich der Anzahl Plots mit verbissenen Bäumen gemessen an der Anzahl Plots mit verbissgefährdeten Baumarten zeigt jedoch einen recht klaren Trend (Abb. 3.5-10). Demgemäß nutzt das Reh die geräumten Windwurfflächen flächendeckender zur Nahrungsaufnahme als die belassenen. In Übereinstimmung damit fanden M. Nobis wie auch B. Moser in den von ihnen untersuchten belassenen Flächen signifikant weniger Verbisssspuren als in den geräumten Flächen und im Wald (vgl. Kap. 3.4.5.7 und 3.6.3.2). Diesen Trend stellten wir im Jahr 2001 noch nicht fest; wahrscheinlich hat das Zusammenwirken des liegenden Holzes und der überhandnehmenden Brombeeren die Zugänglichkeit der belassenen Flächen in der Zwischenzeit nochmals deutlich erschwert. Ob sich dies auch in Zukunft bestätigt, muss sich aus den Folgeerhebungen weisen. Bei allen Versuchsflächen unabhängig von der Behandlungsart war festzustellen, dass die Verbissbelastung nach einem Maximum in der Erhebungsperiode 2001/02 im folgenden Jahr wieder abgenommen hat. Die Ursache dafür könnte wiederum im generell stärker gewordenen Brombeerbewuchs liegen, welcher entweder die Zugänglichkeit erschwert oder als beliebte Äsungspflanze (vgl. Projekt von B. Moser, Kap. 3.6) von den Jungbäumen ablenkt.

3.5.6 Ausblick

Vier Jahre nach Lothar sind die Wiederbewaldungsprozesse noch bei weitem nicht abgeschlossen. Trotz der hohen Bedeutung der ersten Jahre nach dem Sturm ist die weitere Entwicklung der Wiederbewaldung noch schwer voraussehbar. Beispielsweise wird es interessant sein, wie sich Waldverjüngung und verdämmende Arten, wie z.B. die Brombeeren, in den kommenden Jahre gegenseitig beeinflussen werden. Die Lothar-Versuchsflächen wurden von Beginn an mit dem Ziel langfristiger Beobachtungen angelegt. Mit den ersten drei Erhebungen konnten wir eine für die Verjüngung dynamische und entscheidende Phase erfassen und den Grundstein für weitere Erhebungen und Untersuchungen auf diesen Flächen legen.

Die Erkenntnisse über die ersten Entwicklungsjahre der Waldverjüngung auf den Lothar-Versuchsflächen wurden noch nicht publiziert. Entsprechende Publikationen in Fach- und wissenschaftlichen Zeitschriften sind für das Jahr 2004 vorgesehen, z.T. in Zusammenarbeit mit Kollegen aus den andern Teilprojekten.

3.5.7 Dank

Bei der Durchführung der Felderhebungen 2001 bis 2003 wurde ich jeweils durch die PraktikantInnen Karine Chevrot, Fabienne Progin, Stefan Bernhard, Salome Martin und Andrea Walther unterstützt, denen ich für ihren Einsatz herzlich danke. Im Besonderen danke ich meinem Projektmitarbeiter Thomas Reich, der während der Erhebungen 02 und 03 ein konstanter Faktor im Aufnahmeteam war und dadurch für Kontinuität und Zuverlässigkeit der aufgenommenen Daten sorgte. Mein Dank geht auch an Ueli Wasem, welcher für die Feldarbeiten bei personellen Engpässen einsprang und nicht zuletzt an Reinhard Lässig, der das Rahmenprojekt Lothar von Beginn bis Dezember 2003 leitete.

3.6 Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Reh: Einfluss von Windwurf auf Nahrungsangebot und Nahrungsnutzung

Barbara Moser, Karin Hindenlang, Martin Schütz

3.6.1 Einleitung

Die ausgedehnten Windwurfflächen, die durch den Sturm „Lothar“ entstanden sind, haben den Lebensraum von freilebenden Pflanzenfressern wie dem Reh stark verändert. Es ist anzunehmen, dass Änderungen im Äsungsangebot, bei Deckungsstrukturen und Einständen auch die räumliche Verteilung der Rehe und die Nutzung der einzelnen Waldbestände beeinflusst.

Ziel dieses Projektes war es, den Einfluss von Windwurf, Vegetation und Jahreszeit auf die Nahrungswahl des Rehs zu erfassen und für zwei grössere Waldgebiete zu beurteilen. Dazu wurden Angebot und Nutzung der Äsung in verschiedenen Waldstrukturtypen aufgenommen.

Das Projekt „Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Reh“ ist Teil der Dissertation von B. Moser, die von Prof. O. Holdenrieder ETHZ und K. Hindenlang WSL betreut wird. Der zweite, ausserhalb des Rahmenprojekts durchgeführte Teil der Dissertation untersucht die Pflanzenreaktion auf Verbiss in einem Gartenexperiment.

3.6.2 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in Habsburg (AG) und Müntschemier (BE) durchgeführt. Die belassenen Windwurfflächen beider Gebiete sowie die geräumte Windwurffläche in Habsburg entsprechen den Flächen des Rahmenprojektes Lothar der WSL. Die in Müntschemier untersuchte geräumte Windwurffläche ist **nicht** Teil des Rahmenprojektes.

Äsungsangebot und Nahrungsnutzung wurden auf insgesamt 120 Stichprobenflächen von je 1 m x 20 m erfasst. Die beiden Waldgebiete wurden nach Waldstrukturtyp (stehender Wald, belassene Windwurffläche, geräumte Windwurffläche) stratifiziert. Als „stehender Wald“ wurden Bestände definiert, die vom Sturm nicht betroffen waren und demzufolge keine Streuschäden enthielten. Jungwüchse und Dickungen wurden nicht in die Untersuchungen einbezogen. In Habsburg beschränkten sich die Erhebungen auf folgende Waldgesellschaften bzw. Vegetationstypen: *Galio odorati-Fagetum typicum* mit den Ausprägungen „artenarm“, „*Rubus*“ und „*Carex brizoides*“. Das Untersuchungsgebiet wurde hier zusätzlich zur Waldstruktur nach Vegetationstyp stratifiziert. In jedem Stratum wurden zufällig 6-10 Stichprobenpunkte ausgewählt. Das Äsungsangebot wurde über den Deckungsgrad der verschiedenen Pflanzenarten (Bäume, Sträucher und Kräuter) bestimmt, während die Nahrungsnutzung anhand von Frassspuren an Kraut- und Holzpflanzen erfasst wurde. Alle Parameter wurden bis zu einer Höhe von 1.5 m erhoben. Als Frassspuren wurden alle fehlenden, vom Reh gefressenen Pflanzenteile gezählt. Diese Definition unterscheidet sich erheblich von der „Verbiss“-Definition anderer Autoren im Lothar-Rahmprojekt (z.B. Projekte Ch. Angst, M.

Nobis). Zusätzlich zu den Vegetations- und Verbissaufnahmen wurden mikrohistologische Kotanalysen durchgeführt.

Die Vegetations- und Verbissparameter wurden im Sommer 2001 (Juli-August), Winter 2001/02 (Februar) und Frühling 2002 (April) erhoben, der Kot wurde jeweils Ende Januar, Februar, April, August und September 2002 gesammelt. Leider stand die geräumte Windwurffläche bei Müntschemier nur im Sommer 2001 für Aufnahmen zur Verfügung (Pflegemassnahmen durch den Forstdienst im Herbst 2001).

3.6.3 Ergebnisse

3.6.3.1 Nahrungsangebot

Das Nahrungsangebot variierte je nach Untersuchungsgebiet, Waldstrukturtyp und Jahreszeit relativ stark. Gemessen am gesamten Nahrungsangebot (Gesamtdeckungsgrad aller Pflanzenarten) gab es jedoch zu keiner Jahreszeit, weder in Habsburg noch in Müntschemier, einen signifikanten Unterschied zwischen der belassenen und der geräumten Sturmfläche. Das Gesamtangebot an Nahrung war im Wald nicht immer gleich wie in den Sturmflächen, wobei die Differenzen je nach Jahreszeit und Untersuchungsgebiet sehr unterschiedlich ausfielen. Innerhalb eines Waldstrukturtyps waren die jahreszeitlichen Schwankungen beträchtlich. Das Nahrungsangebot war im Sommer jeweils höher als im Winter und Frühling. Nur in Müntschemier war das Angebot im Wald im Frühling höher als im Sommer.

In **HABSBURG** war die Brombeere im Sommer und Winter die vorherrschende Art. Weitere häufige Arten waren *Carex brizoides* (Sommer) sowie *Luzula luzuloides* und verschiedene Moose (beide Winter; s. Tab. 3.6-1). Während die Brombeere im Frühling in der belassenen Sturmfläche weiterhin am häufigsten war, traten im Wald und in der geräumten Windwurffläche andere Arten in den Vordergrund: *Anemone nemorosa*, *Carex brizoides* und *Luzula luzuloides*.

Tabelle 3.6-1. Habsburg: Anteil des Deckungsgrads einzelner Arten am Gesamtdeckungsgrad innerhalb eines Waldstrukturtyps

	Wald	Windwurf belassen	Windwurf geräumt
Sommer			
Brombeere	32 %	69 %	24 %
<i>Carex brizoides</i>	32 %	<1 %	37 %
Winter			
Brombeere	42 %	49 %	7 %
<i>Luzula luzuloides</i>	<1 %	<1 %	19 %
Moose	24 %	32 %	51 %
Frühling			
Brombeere	14 %	55 %	3 %
<i>Anemone nemorosa</i>	30 %	0 %	<1 %
<i>Carex brizoides</i>	19 %	<1 %	21 %
<i>Luzula luzuloides</i>	<1 %	<1 %	19 %
Moose	10 %	27 %	39 %

Tabelle 3.6-2. Müntschemier: Anteil des Deckungsgrads einzelner Arten am Gesamtdeckungsgrad innerhalb eines Waldstrukturtyps. Laubbäume: *Fagus silvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus* ssp.

	Wald	Windwurf belassen	Windwurf geräumt
Sommer			
Brombeere	<1 %	59 %	36 %
Laubbäume	40 %	6 %	<1 %
Winter			
Brombeere	<1 %	4 %	
<i>Abies alba</i>	31 %	10 %	
<i>Hedera helix</i>	9 %	10 %	
Laubbäume	18 %	3 %	
Moose	10 %	48 %	
Frühling			
Brombeere	<1 %	9 %	
<i>Anemone nemorosa</i>	59 %	53 %	
<i>Ranunculus ficaria</i>	24 %	1 %	
Laubbäume	4 %	1 %	
Moose	2 %	15 %	

Auch in **MÜNTSCHEMIER** wurde die Vegetation in den Windwurfflächen im Sommer von der Brombeere dominiert (s. Tab. 3.6-2.). Im Wald hingegen waren Laubbäume vorherrschend (*Fagus silvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus* ssp.). Im Winter war der Anteil der Brombeere sowohl im Wald wie auch in der belassenen Sturmfläche gering. Im Wald bildete zu dieser Zeit *Abies*

alba den grössten Teil des Nahrungsangebotes, gefolgt von Laubbäumen und *Ranunculus ficaria*. In der belassenen Windwurffläche waren primär Moose vorhanden, aber auch *Abies alba* und in geringerem Masse *Hedera helix*. Auch im Frühling war der Anteil der Brombeere klein, während *Anemone nemorosa* sowohl im Wald wie auch in der belassenen Windwurffläche den grössten Teil des Nahrungsangebotes ausmachte.

3.6.3.2 Nutzung des Nahrungsangebots durch das Reh

Obwohl das Nahrungsangebot je nach Waldstrukturtyp und Jahreszeit stark variierte, wurden in **HABSBURG** die Strukturtypen Wald und geräumte Windwurffläche in allen Jahreszeiten gleich intensiv genutzt. Die belassene Windwurffläche hingegen wurde ganzjährig kaum genutzt. Im Durchschnitt wurden nur gerade 11 % aller Frassspuren in der belassenen Windwurffläche beobachtet. Das Reh nutzte sowohl den Wald wie auch die geräumte Sturmflächen rund 4 mal intensiver für die Nahrungsaufnahme als die belassene Sturmfläche. Auch in **MÜNTSCHEMIE** war die mittlere Anzahl Frassspuren pro Aufnahmefläche im Sommer in der geräumten Windwurffläche nicht signifikant verschieden von derjenigen im Wald. Der Unterschied in der Nutzungsintensität zwischen Wald/geräumter Sturmfläche und belassener Sturmfläche war jedoch sehr gross: weniger als 2 % aller Frassspuren konnten in der belassenen Sturmfläche beobachtet werden. Im Gegensatz zu Habsburg wurde die belassene Windwurffläche im Winter gleich intensiv genutzt wie der Wald, während im Frühling erneut mehr Frassspuren im Wald als auf der belassenen Sturmfläche erhoben wurden.

Sowohl in **HABSBURG** wie auch in **MÜNTSCHEMIE** war die Brombeere im Sommer die wichtigste Nahrungspflanze (s. Tab. 3.6-3 und 3.6-4). Im Wald und in der belassenen Sturmfläche wurden die Laubbäume am zweit häufigsten gefressen.

Tabelle 3.6-3. Habsburg: Anteil der Frassspuren an einzelnen Arten an der Gesamtzahl der Frassspuren innerhalb eines Waldstrukturtyps. Laubbäume: *Acer pseudoplatanus*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica*.

	Wald	Windwurf belassen	Windwurf geräumt
Sommer			
Brombeere	76 %	81 %	95 %
Laubbäume	15 %	10 %	<1 %
Winter			
Brombeere	82 %	61 %	16 %
<i>Luzula luzuloides</i>	0 %	3 %	62 %
<i>Carex</i> ssp.	0 %	12 %	12 %
<i>Juncus effusus</i>	0 %	11 %	6 %
Laubbäume	6 %	3 %	0 %
Frühling			
Brombeere	24 %	53 %	6 %
<i>Anemone nemorosa</i>	48 %	0 %	0 %
<i>Carex brizoides</i>	4 %	<1 %	26 %
<i>Juncus effusus</i>	0 %	22 %	9 %
<i>Luzula luzuloides</i>	0 %	<1 %	53 %
Laubbäume	11 %	2 %	0 %

Während in **HABSBURG** im Winter die Brombeere im Wald und in der belassenen Sturmfläche weiterhin die mist gefressene Art war, nutzte das Reh in der geräumten Sturmfläche vor allem *Luzula luzuloides* (s. Tab. 3.6-3). Im Frühling war die Nahrungswahl in den verschiedenen Waldstrukturtypen sehr unterschiedlich: Im Wald wurde vor allem *Anemone nemorosa* gefressen, gefolgt von Brombeere und Laubbäumen. In der belassenen Sturmfläche war die Brombeere – wie zuvor im Sommer und Winter – die mist genutzte Art, während in der geräumten Sturmfläche vorwiegend *Luzula luzuloides* und *Carex brizoides* gefressen wurden.

In **MÜNTSCHEMIER** wurde die Brombeere vor allem im Sommer auf der geräumten Sturmfläche gefressen, während sie im Wald kaum vorhanden war und dort nur einen geringen Teil der gefressenen Nahrung ausmachte (s. Tab. 3.6-4). Im Wald wurden vor allem die Laubbäume genutzt. Wie in Habsburg war *Luzula luzuloides* im Winter auch in Müntschemier eine wichtige Nahrungspflanze, dort vor allem in der belassenen Sturmfläche. Im Wald waren *Hedera helix* und die Laubbäume die mist genutzten Pflanzengruppen. Im Frühling war *Anemone nemorosa* sowohl im Wald wie auch in der belassenen Sturmfläche die am häufigsten gefressene Art. Neben *Anemone* wurden im Wald auch *Ranunculus ficaria* sowie Laubbäume gefressen.

Tabelle 3.6-4. Müntschemier: Anteil der Frassspuren an einzelnen Arten an der Gesamtzahl der Frassspuren innerhalb eines Waldstrukturtyps. In der belassenen Windwurffläche konnten im Sommer praktisch keine Frassspuren beobachtet werden, die Angaben wurden deshalb weggelassen. Laubbäume: *Fagus silvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus* ssp.

	Wald	Windwurf belassen	Windwurf geräumt
Sommer			
Brombeere	7 %	-	48 %
Laubbäume	57 %	-	<1 %
Winter			
Brombeere	<1 %	11 %	
<i>Luzula luzuloides</i>	2 %	41 %	
<i>Hedera helix</i>	42 %	14 %	
Laubbäume	46 %	7 %	
Frühling			
Brombeere	<1 %	7 %	
<i>Anemone nemorosa</i>	55 %	84 %	
<i>Ranunculus ficaria</i>	22 %	0 %	
Laubbäume	19 %	4 %	

3.6.3.3 Einfluss verschiedener Umweltfaktoren auf die Nahrungswahl des Rehs

Mit Hilfe multivariater Analyseverfahren (Partial Canonical Correspondence Analysis) wurde der Einfluss verschiedener Umweltfaktoren auf die qualitative und quantitative Nahrungswahl des Rehs getestet. Folgende Faktoren wurden getestet: Artenzusammensetzung der Vegetation, Vegetationshöhe, Waldstruktur (stehender Wald, belassener Windwurf, geräumter Windwurf), Jahreszeit.

Aus den Analysen folgt, dass die Vegetationszusammensetzung der bestimmende Faktor für die Nahrungswahl des Rehs ist – unabhängig von Untersuchungsgebiet und Jahreszeit. Die Waldstruktur spielt für die Nahrungswahl nur eine untergeordnete Rolle: In Müntschemier beeinflusst die Waldstruktur die Nahrungswahl nur insofern, als sich die Vegetationszusammensetzung zwischen den Waldstrukturtypen unterscheidet (nur Daten Sommer vorhanden). In Habsburg ist die Nahrungswahl im Sommer vollständig unabhängig von der Waldstruktur. Dieser Unterschied zwischen den Untersuchungsgebieten deutet darauf hin, dass die Vegetation vor dem Sturmereignis entscheidend ist für dessen Auswirkungen auf den Lebensraum des Rehs: In Habsburg war die Brombeere bereits vor dem Sturm grossflächig vorhanden, was dazu führte, dass sich das Nahrungsangebot durch das Sturmereignis – im Gegensatz zu Müntschemier – nicht massgeblich veränderte. Mit den jahreszeitlichen Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung ändert sich in Habsburg auch die Bedeutung der Waldstruktur: Im Winter und Frühling ist sie nach der Vegetationszusammensetzung der zweit wichtigste Faktor für die Nahrungswahl des Rehs. Dies erklärt sich dadurch,

dass sich die Vegetation im Winter und im Frühling (im Gegensatz zum Sommer) je nach Waldstrukturtyp stark unterscheidet (s. Nahrungsangebot). Die Vegetationshöhe hat keinen Einfluss auf die Nahrungswahl des Rehs.

3.6.4 Diskussion

Die Resultate sind stark ortsabhängig, dies gilt insbesondere für Angebot und Nutzung der Holzpflanzen. Die Vegetationszusammensetzung vor dem Sturmereignis ist entscheidend für dessen Auswirkungen auf den Rehlebensraum. Eine allgemeine Übertragbarkeit der Resultate ist damit nicht gegeben (vgl. Projekte Ch. Angst, M. Nobis).

Das Nahrungsangebot (Gesamtdeckungsgrad) ist abhängig von Waldstruktur und Jahreszeit allgemein sehr variabel. Die jahreszeitlich verschiedenen ausfallenden Unterschiede bestehen insbesondere zwischen stehenden Waldbeständen und Windwurfflächen. Die beiden Behandlungsvarianten Windwurf hingegen unterscheiden sich im Nahrungsangebot nicht.

Die Nahrungsnutzung der Rehe hingegen ist über das ganze Jahr betrachtet etwa konstant. Unterschiede bestehen in der Nutzung der Waldstrukturen: Die Variante belassener Windwurf wird deutlich weniger genutzt als die geräumte Variante und als der stehende Wald. Damit wird die These, dass liegendes Holz für Rehe ein Hindernis bedeutet, gestützt. Kein Unterschied besteht zwischen der Nutzungsintensität der geräumten Windwurffläche und derjenigen des stehenden Waldes. Auf der Ebene der einzelnen Pflanzenarten betrachtet, unterscheidet sich die Nahrungszusammensetzung je nach Angebot jahreszeitlich stark. Dieser Befund wird durch die Bedeutung der Vegetationszusammensetzung für die Nahrungswahl des Rehs (multivariate Analysen) bestätigt. Im Sommer ist die Brombeere sowohl im Angebot wie auch bei der Nutzung in allen Waldstrukturen die bedeutendste Art (vgl. Projekt Ch. Angst). Im Frühling und im Winter gibt es Unterschiede, die mit jahreszeitlich wechselnder Dominanz einzelner Arten in den verschiedenen Waldstrukturen zusammenhängen (z.B. *Luzula luzuloides* im Winter im geräumten Windwurf, *Annemone nemorosa* im Frühling im stehenden Wald, vgl. saisonale Bedeutung der Waldstruktur in multivariater Analyse). Abgesehen von wenigen Arten, die vom Reh gemieden werden (z.B. *Pteridium aquilinum*), scheint die Nahrungswahl unabhängig von der Waldstruktur opportunistisch zu sein.

Windwurfflächen bieten zwar ein grosses Äsungsangebot, daraus kann jedoch nicht auf eine intensive Nutzung dieser Waldstrukturen geschlossen werden. Die Rehe halten sich nicht länger in Windwurfflächen auf, als im stehenden Wald (K. Bühler 2002, unpubl. Diplomarbeit: Die Anzahl Kothäufen als Mass für die Aufenthaltsdauer unterscheiden sich zwischen Waldstrukturen nicht).

Belassene Windwurfflächen bieten ein grosses Deckungsangebot und sollen dementsprechend wichtige Rückzugsgebiete sein (vgl. „Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald“, BUWAL 2000, S. 68). Wahrscheinlich aus verschiedenen Gründen (reduzierte „Begehbarkeit“, Übersicht) werden sie vom Reh jedoch kaum für die Nahrungsaufnahme genutzt. Auch ist die Grösse des Sichtschutzes in belassenen Windwurfflächen nicht unabhängig

von der Distanz des Rehs zum Beobachter. Auf kurze Distanz (5 m) war in Habsburg die visuelle Deckung in belassenen Windwurfflächen zwar am grössten, über grössere Sichtdistanzen (20 m) hingegen, unterschieden sich belassene Windwürfe nicht mehr von geräumten Flächen oder stehenden Waldbeständen (K. Bühler 2002, unpubl. Diplomarbeit).

3.6.5 Ausblick

Im Verlaufe des ersten Halbjahres 2004 werden weitere Daten ausgewertet. Zum einen erwarten wir von den Kotanalysen ergänzende Resultate zur Nahrungswahl des Rehs in den zwei Untersuchungsgebieten. Zum anderen soll die Verbissintensität an Jungbäumen in Abhängigkeit der Vegetationszusammensetzung näher betrachtet werden. Es ist vorgesehen, die Resultate dieser Dissertation in verschiedenen Fachzeitschriften zu publizieren.

Die vorliegenden Untersuchungen sind nur eine Momentaufnahme aus einem langfristigen Entwicklungsprozess. Es wäre deshalb wichtig, die mittel- und längerfristigen Veränderungen der Vegetationszusammensetzung und damit des Nahrungsangebotes zu erfassen und gleichzeitig die Nahrungswahl des Rehs weiterzuverfolgen.

In der „Entscheidungshilfe für Sturmschäden im Wald“ (BUWAL 2000; S. 69) wird darauf hingewiesen, dass Rehe bereits bei kleinen Landschaftsveränderungen mit populationsdynamischen Anpassungen reagieren und bei grossflächigen Windwürfen mit einer erhöhten Vermehrungsrate zu rechnen sei. Wir können mit unseren Resultaten keine Aussagen über populationsdynamische Veränderungen machen. Allerdings sind diese bei den in günstigen Rehlebensräumen des Mittellandes erreichten Bestandesdichten auch nicht ausgeprägt zu erwarten. Eher wahrscheinlich sind kurzfristige Veränderungen in der räumlichen Verteilung der Rehe. Zu den Auswirkungen von Naturereignissen auf die Populationsdynamik von wildlebenden Huftieren liegen bis heute in Europa keine wissenschaftlichen Untersuchungen vor. Es wäre jedoch wünschenswert, den Einfluss von Sturmereignissen auf die Populationsentwicklung von wildlebenden Huftieren abschätzen zu können. Vorgeschlagen wird ein langfristiges Monitoring eines browsing index (Morellet et al. 2001) und der Vergleich mit Abschuss und Zähldaten. Dies würde sich insbesondere bei den im Rahmenprojekt der WSL untersuchten Lotharflächen anbieten, da hier geeignete Grundlagen aus der Dissertation von B. Moser vorliegen.

3.6.6 Dank

Ein grosser Dank geht an die Praktikantinnen Nadine Guthapfel, Judith Meilwes und Lea Wirth, die mit ihrem Engagement bei den Felderhebungen massgebend zum Gelingen des Projektes beigetragen haben. Ebenfalls danken möchten wir Ursula Suter für die Analyse der Kotproben.

3.7 Vergleich der Fauna auf Lothar-Windwurfflächen und im intakten Wald

Beat Wermelinger, Peter Duelli

3.7.1 Einleitung

Die Untersuchungen nach dem Sturm Vivian lieferten Erkenntnisse darüber, wie sich die Kleinsäuger- und Insektenfauna nach dem Sturm auf Sturmflächen in Gebirgsfichtenwäldern entwickelten. Der Sturm Lothar 10 Jahre nach Vivian bot eine ideale Gelegenheit, diese Untersuchungen auch in Mischwäldern des Mittellandes durchzuführen und die Hauptaussagen aus der Vivianuntersuchung in tieferen Lagen und in anderen Waldtypen zu überprüfen. Die wichtigsten Hypothesen waren:

- Die Insektenfauna ist auf Windwurfflächen vielfältiger als im intakten Wald.
- Die Räumungsverfahren „belassen“ und „geräumt“ unterscheiden sich nur unwesentlich in der Artenzahl, wohl aber in der Artenzusammensetzung.
- Eine Kombination von belassenen und geräumten Flächen erhöht die Faunenbiodiversität am meisten.

3.7.2 Material und Methoden

3.7.2.1 Insekten

Die Untersuchungen wurden im Wesentlichen mit denselben Methoden durchgeführt wie bei den Vivianerhebungen. Die untersuchten Habitate waren „Sturmfläche belassen“, „Sturmfläche geräumt“ und „intakter Wald“. Es kamen Kombifallen für fliegende und Trichterfallen für bodenoberflächenaktive Insekten zum Einsatz. Die Sammelperiode lief jeweils von März bis September mit wöchentlichen Leerungen der Fallen. Die gefangenen Insekten wurden nach verschiedenen systematischen Taxa sortiert und bisher teilweise bestimmt.

Als erste Untersuchung wurde im Jahr 2000 im Rahmen einer Diplomarbeit an vier Orten (Sarmenstorf, Habsburg, Birmensdorf, Meisterschwanden) je eine belassene Sturmfläche und ein vergleichbarer Wald mit je 3 Kombifallen beprobt. Geräumte Flächen standen zu diesem Zeitpunkt noch nicht zur Verfügung.

Im Jahr 2001 wurden in den drei Versuchsgebieten Sarmenstorf, Habsburg und Messen in jedem der drei Habitate „belassen“, „geräumt“ und „Wald“ je 3 Kombifallen und 5 Trichterfallen aufgestellt.

Es stehen somit Daten von insgesamt 5 Gebieten mit 13 Teilflächen (Habitate) und von 2 Jahren zur Verfügung, die jedoch nicht homogen beprobt wurden und deshalb nicht voll vergleichbar sind.

3.7.2.2 Kleinsäuger

Im September 2002 wurden vom russischen Gastwissenschaftler Anatolji Sjusko in vier Wäldern (Rorwald, Habsburg, Messen und Sarmenstorf) Kleinsäuger (Nagetiere, Spitzmäuse) mit Lebendfallen erfasst. Als Ködermaterial diente ein Gemisch aus Haferflocken, Erdnussbutter, Rosinen und Haselnusskernen.

In den beiden Behandlungsvarianten „geräumt“ und „belassen“, sowie in der Kontrollfläche (intakter Wald) wurden je 30 Fallen gestellt. Zunächst wurde während zwei Tagen „angefüttert“, das heisst die Fallen blieben geöffnet und wurden zweimal im Tag mit Futter versehen. Dann wurden während drei Tagen die Fallen scharf gestellt und jeweils einmal morgens und abends kontrolliert.

Die gefangenen Kleinsäuger wurden bestimmt und gewogen. Zudem wurden die Tiere vor der Freilassung mit Farbe markiert, um Wiederfänge feststellen zu können.

3.7.3 Ergebnisse

Bisher sind von den gefangenen Insekten erst 8 Käferfamilien und die Schwebfliegen bestimmt. Dies sind insgesamt 302 Arten mit 46'164 Individuen (s. Tab. 3.7-1).

Tabelle 3.7-1: Zusammenstellung der bisher bestimmten Insektenarten und deren Abundanzen auf den Lotharversuchsfächlen.

A) Vergleich Habitate (Probenumfang 2000/01 ungleich)

		belassen	geräumt	Wald
2000	Arten	152	-	85
	Individuen	2925	-	4067
2001	Arten	133	136	75
	Individuen	16342	8869	13958

B) Vergleich Jahre (nur vergleichbare Standorte und Taxa)

		belassen	Wald
Arten	2000	49	34
	2001	61	36
Individuen	2000	496	1758
	2001	2819	5206

3.7.3.1 Artenzahlen

Die belassenen Sturmflächen wiesen zwischen 20 und 200 % mehr Arten auf als der intakte Wald. Am extremsten zeigte sich dies bei Blatt- und Prachtkäfern. Auch die im Wald viel häufigeren Borkenkäfer hatten auf den Sturmflächen mehr Arten, die Zahl der Aaskäferarten war bei beiden Verfahren etwa gleich. Die Artenzahl der beiden Räumungsverfahren (belassen, geräumt) unterschied sich nicht, wohl aber die Artenzusammensetzung: 1/3 der Arten kam nur in einer der beiden Varianten vor. Eine rechnerische Kombination beider Räumungsvarianten erhöht die Artenzahl um ca. 20 %. Rund 7 % der Arten kamen nur im Wald vor (v.a. Borkenkäfer und Schwebfliegen).

3.7.3.2 Häufigkeiten

Die Abundanzen auf den Sturmflächen und im Wald unterschieden sich nicht konsistent. Im ersten Jahr wurden im Wald mehr Individuen gefangen als auf den Sturmflächen. Dies ist das Resultat der sehr zahlreichen Borken- und Aaskäfer im Wald, während die übrigen Käfer und die Schwebfliegen auf den Sturmflächen häufiger waren. Auch in Bezug auf ihre Abundanzen bevorzugten die Blatt- und Prachtkäfer klar die offenen Sturmflächen. Von den 1'948 Prachtkäfern wurden nur 2 Exemplare im Wald gefangen. Die Schwebfliegen wurden zu 2/3 auf belassenen und 1/3 auf geräumten Flächen gefangen. Im Wald waren es nur 2 %.

3.7.3.3 Zeitliche Entwicklung

In den zwei Jahren nahm die Artenzahl auf den Sturmflächen um 1/4 zu (im Wald nur 6 %). Es waren v.a. Borkenkäferarten. Die Individuenzahl verfünffachte sich auf den belassenen Sturmflächen, im Wald verdreifachte sie sich.

3.7.3.4 Borkenkäfer

Der Buchdrucker (*Ips typographus*) machte insgesamt nur 1 % aller gefangenen Borkenkäfer aus, auf den belassenen Flächen waren es 5 %. Die häufigsten Arten waren der Schwarze Nutzholzborkenkäfer (*Xylosandrus germanus*; 98 % im Wald) und der forstlich unbedeutende Fichtenbastkäfer *Hylurgops palliatus* (89 % im Wald). Zusammen stellten sie 70 % aller Borkenkäfer. Auf den Sturmflächen war der Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) die häufigste Art.

3.7.3.5 Kleinsäuger

Insgesamt gingen in den jeweils drei Fangtagen 565 Individuen aus neun Arten in die Fallen: Sieben Nagetierarten und zwei Spitzmausarten.

Fasst man alle Standorte zusammen, wurden in den geräumten und belassenen Flächen je sieben Arten gefunden, in der Kontrolle (intakter Wald) nur 5 Arten. Nur im Rorwald (Kt. OW) hatte es im Wald mehr Arten als auf den Windwurfflächen, wobei hier der Fang von zwei Exemplaren des Garten-



Abbildung 3.7-1: Eine der 254 Rötelmäuse, die vor allem auf den Windwurfflächen gefangen wurden. Foto: Th. Reich, WSL

schläfers (*Eliomys quercinus*, ein Verwandter des Siebenschlängers und der Haselmaus) besonders hervorzuheben ist.

Die mit Abstand häufigste Maus war mit 254 Individuen die Rötelmaus (*Clethrionomys glareolus*) (Abb. 3.7-1), gefolgt von der Waldmaus und der Gelbhalsmaus. Während die Rötelmaus und die Waldmaus die Windwurfflächen klar bevorzugten, liess sich die Gelbhalsmaus an allen Standorten am häufigsten im Wald fangen.

3.7.4 Diskussion und Folgerungen

Es muss betont werden, dass ausser bei den Kleinsäugern die obigen Resultate auf vorläufigen Auswertungen und auf einem limitierten Datensatz beruhen. Es wird noch einiges an Zeit und Finanzen brauchen, bis der Datenstand dem aus dem Vivianprojekt entspricht. Erst dann können breiter abgestützte Folgerungen gezogen und Vergleiche mit Vivian gemacht werden. Folgende Tendenzen zeichnen sich jedoch ab:

1. Die Sturmflächen weisen im Vergleich zum Wald eine deutlich höhere Zahl an Arten wie auch an Individuen auf.
2. Geräumte und belassene Sturmflächen weisen etwa gleich viele Tierarten auf, aber in anderer Zusammensetzung. Eine Kombination beider Räumungsvarianten ergibt eine deutlich höhere Artenzahl als bei der Anwendung nur einer Variante.
3. Die Artenzahl der Insekten und ihre Abundanzen nahmen in den ersten zwei Jahren nach dem Sturm zu.

Die ersten Analysen der Lothardaten bestätigen somit die Erkenntnisse aus den Vivianuntersuchungen.

3.7.5 Ausblick

Einerseits werden die Insektenfänge 2000 und 2001 weiter ausgewertet. Daneben wird 2004 mit einer weiteren Erhebung auch die mittelfristige Entwicklung der Fauna (fünf Jahre nach dem Sturm) verfolgt, wiederum an den drei Orten Sarmenstorf, Habsburg, Messen. Dies ermöglicht den Vergleich der zeitlichen Entwicklung der Räumungseffekte mit den Viviandaten sowie Aussagen zur Artensukzession generell.

3.7.6 Dank

Folgende Personen haben durch ihre Feldeinsätze die Datenerhebung überhaupt ermöglicht: B. Fecker, R. Gautier, Y. Mikhailov, R. Rutishauser, D. Schneider Mathis, P. Wirz. Die Insekten wurden u.a. von folgenden Spezialisten bestimmt: R. Bärfuss, A.C. Grandchamp, M. Knizek, Y. Mikhailov, P. Zahradník. Ihnen allen gebührt ein herzliches Dankeschön.

3.8 Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfflächen

Michael Nobis und Anton Bürgi

3.8.1 Ausgangslage und Problemstellung

Der Orkan „Lothar“ hat in der Schweiz zu Flächenschäden im Wald – und damit zu Jungwaldflächen – geführt, wie sie in dieser Grössenordnung bei einer normalen Bewirtschaftung nie auftreten. Für stark betroffene Betriebe mit grossen zusammenhängenden Windwürfen bedeutete dies durch die Kosten bei der Bewältigung der Schäden sowie durch den Substanzverlust am Wald eine drastische Verschärfung der ohnehin angespannten finanziellen Situation. Es zeichnete sich früh ab, dass die entstandenen, grossen Jungwaldflächen, ob Naturverjüngung oder Pflanzung, nicht im bisher üblichen Umfang gepflegt werden können. Es müssen daher kosteneffizientere Pflegetechniken gefunden werden, um die waldbaulichen Ziele – naturnahe, stabile Bestände mit gewünschter Baumartenmischung und grosser Wertleistung – trotz geringem Mitteleinsatz zu erreichen.

3.8.2 Zielsetzung und Arbeitshypothesen

Das Projekt hatte zum Ziel, eine Basis zu liefern für die mittelfristige Formulierung geeigneter Jungwald-Pflegevarianten auf grossen Windwurfflächen im Mittelland. Hierfür wurde auf Lothar-Windwürfen die Verjüngung und potentiell verdämmende Begleitvegetation erfasst sowie durchgeführte und geplante waldbauliche Massnahmen dokumentiert. Die Arbeitshypothesen lauten:

- Hinsichtlich Verjüngung und Konkurrenzvegetation treten bereits bei Betrachtung weniger Windwurfflächen und entsprechend kleiner Stichprobe markante Unterschiede auf.
- Ebenso finden sich deutliche Differenzen hinsichtlich Art, Umfang und Kosten bereits durchgeföhrter sowie geplanter waldbaulicher Massnahmen.
- Diese Unterschiede beruhen auf abweichenden Ausgangssituationen der Windwürfe aber auch auf der waldbaulichen Praxis der Betriebe.
- Verdämmende Arten haben eine Einfluss auf die Dichte und Zusammensetzung der Verjüngung und sind von Relevanz für die Jungwaldpflege.

3.8.3 Material und Methoden

Im Projekt konnten fünf geräumte Windwurfflächen bearbeitet werden. Neben drei Versuchsfächern des Rahmenprojekts (Habsburg, Sarmenstorf und Wohlen; s. Kap. 3) wurden zwei zusätzliche Windwurfflächen bei Murten berücksichtigt.

3.8.3.1 Erhebungen im Gelände

Die Erfassung der Verjüngung sowie der potentiell verdämmenden Problemarten erfolgte in 10 m x 10 m Probeflächen. Ihre Lage in einem 30 m-Raster wurde mit GPS (Leica GS50) ermittelt. Die Anzahl der Probeflächen je Windwurf variierte je nach der zur Verfügung stehenden Gesamtfläche (Habsburg: 30 Probeflächen; Murten/Nord: 18; Murten/Süd: 20; Sarmenstorf: 31; Wohlen: 20). Erfasst wurden die Individuenanzahlen je Gehölzart in den Höhenklassen < 70 cm, 70-130 cm sowie > 130 cm. Bäume über 12 cm BHD wurden separat dokumentiert. Weitere Angaben beziehen sich auf die Konkurrenzsituation der Verjüngung (dominiert, mitherrschend, herrschend) und deren Klumpungsgrad (zufällig, mehrfach geklumpt, lokal stark geklumpt). Für Problemarten wurde neben der artspezifischen Gesamtdeckung ferner deren Anteil in den Höhenklassen der Gehölzverjüngung sowie der Anteil in den Deckungsklassen < 25 %, 25-75 % und > 75 % erfasst.

3.8.3.2 Befragung in den Betrieben

In Zusammenarbeit mit den Forstbetrieben wurden für die Probeflächen folgende waldbauliche Angaben erfasst (Interview): Flächengrösse, Informationen zum Vorbestand (Baumartenzusammensetzung, Alter, Bestockungsgrad, Pflegezustand); Bestockungsziel; Art, Umfang und Kosten bisheriger (Ergänzungs-)Pflanzungen; Art und Stärke der bisherigen und geplanten Pflege (Werkzeuge, Maschinen, Verfahren); Schätzung des bisherigen und geplanten Mittelaufwands (technische Mittel, Arbeits- und sonstige Kosten); Modus der Auftragserteilung und -kontrolle.

3.8.3.3 Literaturrecherche

Zusammenstellen der Erfahrungen über Wiederbewaldung und Pflege nach Sturmereignissen der vergangenen 20 Jahre in Mitteleuropa.

3.8.4 Ergebnisse und deren Diskussion

3.8.4.1 Verjüngung und Problemarten

Die Verjüngungsdichten variieren zwischen den untersuchten Windwürfen stark (Abb. 3.8-1). Bis auf die geringe Verjüngungsdichte auf der Windwurffläche Murten/Nord wird die vorhandene Naturverjüngung als ausreichend für die Wiederbewaldung eingestuft, kleinräumig können z.T. jedoch durch geklumpte Verteilungen (siehe Rasterkarten in Abb. 3.8-1) Bestandeslücken entstehen.

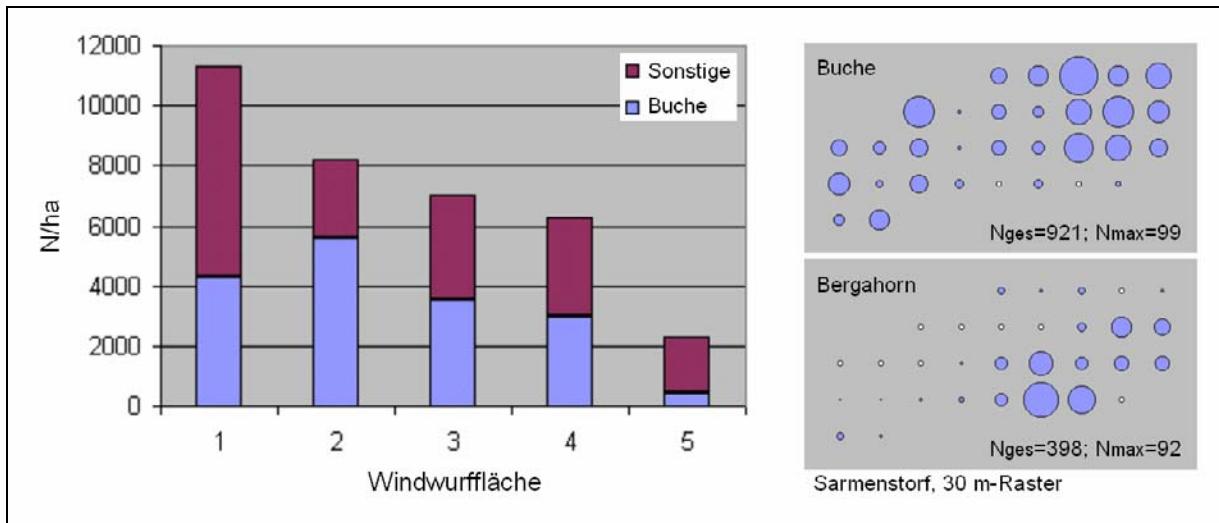


Abbildung 3.8-1: Verjüngungsdichte der untersuchten Windwurfflächen (1 = Wohlen; 2 = Murten, Süd; 3 = Habsburg; 4 = Sarmenstorf; 5 = Murten, Nord). Die Rasterkarten zeigen die geklumpte Verteilung der Verjüngung für Buche und Bergahorn in Sarmenstorf (Kreisfläche proportional zur Individuenzahl).

Problemartern als potentielle Konkurrenten der Gehölzverjüngung erreichen auf allen untersuchten Windwürfen zumindest lokal hohe Deckungswerte. Ihre mittlere und maximale Deckung schwankt jedoch zwischen den Windwurfflächen stark. Die grösste Bedeutung erreichen verschiedene Brombeer-Kleinarten (*Rubus fruticosus* agg.) gefolgt von der Himbeere. Deutlich seltener – auch im Vergleich mit weiteren hier nicht dargestellten Windwürfen – ist der Adlerfarn. Hohe Deckungen durch Binsen (*Juncus effusus*, *J. conglomeratus*) bleiben auf Bereiche beschränkt, deren Boden während der Räumung stark gestört wurde.

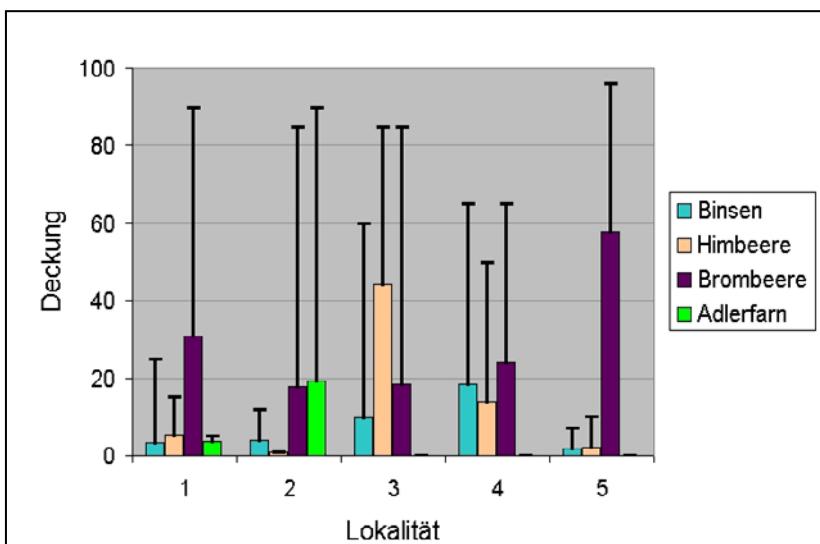


Abbildung 3.8-2: Mittlere und maximale Deckung der vier häufigsten Problemartern auf fünf Lothar-Windwurfflächen im Mittelland (1 = Wohlen; 2 = Habsburg; 3 = Murten/Nord; 4 = Murten/Süd; 5 = Sarmenstorf).

Zwischen dem Auftreten verdämmender Problemarten und der Verjüngungsdichte konnte auf allen Untersuchungsflächen eine korrelative Beziehung festgestellt werden. In Abbildung 3.8-3 sind die Verhältnisse für die Buche dargestellt. Auf allen Untersuchungsflächen nahm ihre Dichte mit zunehmender Deckungssumme der Problemarten Brombeere, Himbeere und Adlerfarn ab. Da dieser Effekt in der Höhenklasse unter 70 cm am deutlichsten war, gehen wir von Konkurrenz und damit verdämmender Wirkung der Problemarten als kausalem Hintergrund aus. Es traten artspezifische Unterschiede auf: Baumarten mit einem starken Haupttrieb und geringer Entwicklung von Seitentrieben zeigten die genannte negative Korrelation nicht (monopodiales Wachstum bei Laubbäumen; z.B. Esche und Bergahorn). Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass Problemarten nicht nur die Dichte sondern auch die Artenzusammensetzung der Verjüngung beeinflussen können. Sie dürften so teilweise Mischbestände begünstigen, wenn zum Beispiel bei Buchendominanz Ahorn und Esche indirekt gefördert werden. Da der negative Einfluss auf die Verjüngungsdichte eine Abhängigkeit zur Höhe der Verjüngung zeigt (v.a. Buche), unterstreicht der Befund die Bedeutung der guten Vorverjüngung, da diese durch frühzeitiges Höhenwachstum den Konkurrenzdruck durch Begleitvegetation vermindern kann.

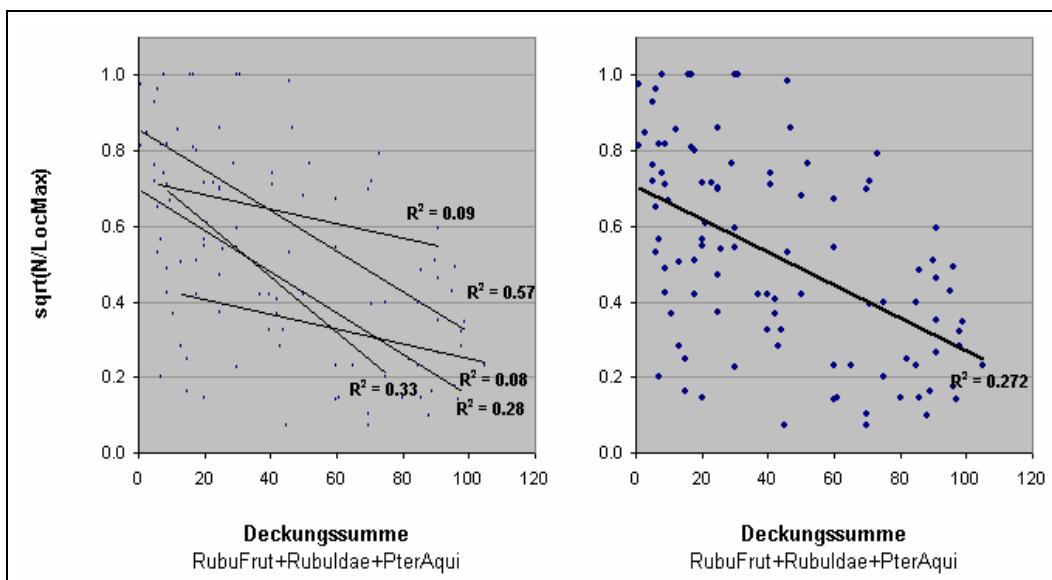


Abbildung 3.8-3: Negative Korrelationen der Verjüngungsdichte mit der Deckungssumme verschiedener, potentiell verdämmender Problemarten (Dichte wurzeltransformiert und am Maximum der einzelnen Windwurfflächen relativiert; RubuFrut = Brombeere, Rubuldae = Himbeere; PterAqui = Adlerfarn; linke Darstellung mit Regressionen der einzelnen Windwurfflächen; rechte Darstellung mit Regression des Gesamtdatensatzes).

Einschränkend ist zu bemerken, dass die verdämmende Wirkung nicht direkt beobachtet wurde, sondern eine Interpretation des Vergleichs benachbarter Bestände dargestellt (space-for-time substitution). Ferner konnten die genannten Beziehungen im Projekt „Dauerbeobachtung der Waldverjüngung“ (Ch. Angst; Kap. 3.5) nicht bestätigt werden. Zu bedenken ist dabei das unterschiedliche sampling-design (u.a. Grösse der Probeflächen) sowie der

Umstand, dass im Vergleich zu jenem Projekt mist grössere Bereiche auf den Windwurfflächen durch die Erhebung abgedeckt wurden. Die unterschiedlichen Ergebnisse bedürfen aber noch genauerer Abklärung.

3.8.4.2 Befragung in den Betrieben

Die Förster sind sich bewusst, dass die Ihnen zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel weder für eine herkömmliche flächige Pflanzung noch für eine traditionelle Pflege der durch den Sturm verursachten Jungwaldflächen ausreichen werden. Sorgen bereitet ihnen der zum Teil sehr starke Bewuchs mit konkurrierenden Pflanzen, v.a. Brombeeren, die mit herkömmlichen Pflegemethoden besser kontrolliert werden konnten als mit den beabsichtigten, extensiveren Methoden. Unsicherheiten bestehen in der Beurteilung des Verjüngungszustandes: ob eine nach zwei Jahren vorhandene Verjüngung ausreichend ist oder mit Pflanzung ergänzt werden muss, wird sehr unterschiedlich beurteilt. Entsprechend unterschiedlich fallen auch die prognostizierten Kosten für die Wiederbewaldung aus. Falls gepflanzt wird, werden dafür Arten verwendet, die in der Naturverjüngung wenig vorhanden, aber von einem waldbaulichen und betrieblichen Gesichtspunkt aus betrachtet wertvoll sind: Lä, Ei, Ki, Ah und Erle, wobei die beiden letzteren auch als Mittel zur Kontrolle der Konkurrenzvegetation eingebracht werden. Ebenfalls sehr unterschiedlich wird die in Zukunft erforderliche Pflege beurteilt. Die aufgrund der Angaben der Förster über die geplanten Massnahmen geschätzten Kosten unterscheiden sich um das 2 bis 3-fache. Lediglich einer der Förster geht davon aus, dass wahrscheinlich ein erster Eingriff erst im schwachen Stangenholz ausgeführt wird. Die anderen Interviewpartner sehen zwar keine konventionelle flächige Pflege vor – die Pflege in Form von Austrichtern wird teilweise jedoch jährlich vorgesehen. Neuere Erkenntnisse, wonach mindestens teilweise auf eine Mischungsregulierung und Pflege in der Verjüngungs- und Dickungsphase verzichtet werden kann, finden derzeit kaum Eingang in die Konzepte der befragten Förster. Massgebend dafür scheint die Befürchtung zu sein, durch konkurrierende Vegetation (Brombeeren) und Konkurrenz von Pionierbaumarten zu viele Verluste bei den im Bestockungsziel enthaltenen Baumarten zu erleiden.

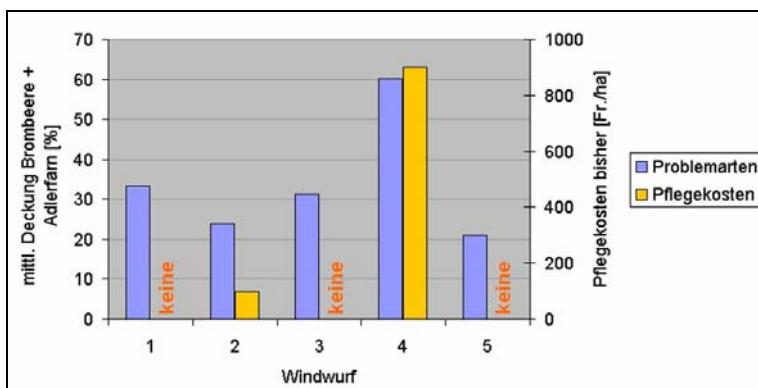


Abbildung 3.8-4: Auftreten von Problemarten und bisherige Pflegekosten.

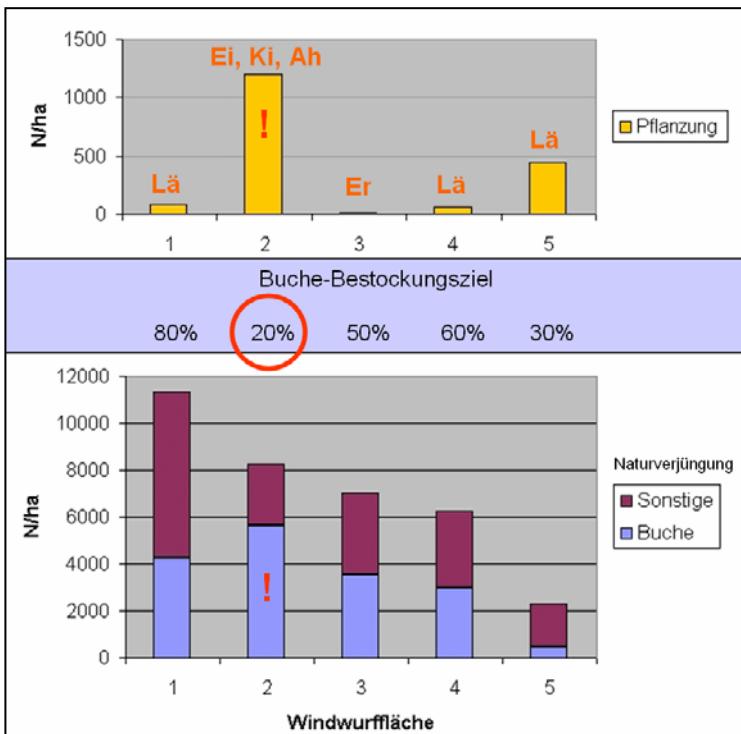


Abbildung 3.8-5: Naturverjüngung und Pflanzmassnahmen.

3.8.4.3 Literaturrecherche

Spezifische Literatur zur Pflege grosser durch Stürme entstandener Verjüngungen gibt es wenig. Einige Hinweise, die sich allerdings weitgehend auf die Wiederbewaldung beziehen, finden sich bei Otto (2000). Er weist auf die Schonung der stehengebliebenen Samenbäume zur Förderung der Naturverjüngung hin und auf die Wichtigkeit pfleglicher Ernte des geworfenen und gebrochenen Holzes zur Schonung des Oberbodens. Huss (1993) befasst sich ebenfalls vorwiegend mit der Bestandesbegründung, und schlägt die Verwendung grösserer Pflanzen dafür in kleinerer Anzahl vor, mit der Absicht die Pflanzkosten und die nachfolgenden Pflegekosten zu reduzieren. Brang (2002) legte mit der gleichen Absicht einen Versuch mit „Truppfanzungen“ auf Lothar-Flächen an, Resultate liegen noch nicht vor.

Im Zusammenhang mit der schwierigen ökonomischen Situation der Forstbetriebe befassten sich aber verschiedene Autoren mit Möglichkeiten, bei der teuren Pflege von Jungbeständen Kosten einzusparen, unabhängig davon, auf welche Weise diese Jungbestandesflächen entstanden. Abetz (1979) schuf mit seiner Z-Baum-Methode die Grundlage zur Abkehr von einer flächendeckenden Dickungs- und Stangenholzpfllege und Schütz (1996) prägte den Begriff der biologischen Rationalisierung, die in gewisser Weise als Verallgemeinerung der Z-Baum-Methode aufgefasst werden kann. Eingeflossen sind dabei Erkenntnisse von Leder (1992) über die wichtige Rolle von Weichlaubhölzern bei der Erziehung von Buche und Eiche. Duc und Zbinden (1997) haben diese Erkenntnisse in einen Vorschlag zusammengefasst, in dem statt einer flächigen Pflege sogenannte Pflegezellen im Endabstand

behandelt werden, wobei sie die anzuwendenden Verfahren nach Baumarten differenzieren. In eine ähnliche Richtung, aber noch stärker schematisiert, gehen das „Jungwaldpflegemodell Baden-Württemberg“ (Kenk, 1999) und die Vorschläge zur waldbaulichen Behandlung von vier stark vereinfachten Reinbestandestypen von v. Lüpke (1996). Grundsätzlich gehen aber alle Autoren davon aus, dass eine frühe Mischungsregulierung und eine frühe Förderung der Kandidaten durch eine Standraumregulierung der Erzielung stabiler Bestände mit hoher Wertleistung förderlich ist.

Einige Autoren stellten sich auch die Frage, was passiert, wenn junge Bestände überhaupt nicht mehr gepflegt werden (Kenk, 1999; Ammann, 1999) und kamen zum Schluss, dass das unter Umständen möglich ist, gewisse Risiken dabei aber in Kauf genommen werden müssen (Schneedruck, Wind). Dazu kommen wirtschaftliche Verluste durch das spätere Erreichen interessanter Durchmesser und der Verlust vermarktbarer Vorerträge (Kenk, 1999; Ammann, 1999; Ammann und Burkhard, 1997). Das sind nur teilweise neue Erkenntnisse, im Grundsatz finden sich diese Überlegungen auch in den einschlägigen Waldbau-Lehrbüchern (u.a. Leibundgut, 1984; Mayer, 1984).

Als bezüglich der Jungwaldpflege kostengünstigste waldbauliche Verfahren gelten der Plenter- und der Dauerwald (Mohr und Schori, 1999; Reininger, 2000; Schütz 2001), wo auch betriebswirtschaftliche Vergleichszahlen existieren. Im Zusammenhang mit Sturm sind diese Verfahren aber vor allem deshalb von Interesse, weil in solchen Wäldern wegen der überall vorhandenen Verjüngung Sturmschäden weniger gravierende Folgen zeitigen als in gleichförmigen Beständen.

Beim Problem der Pflege grosser, durch Sturmwind entstandener Verjüngungsflächen treffen also zwei Probleme zusammen: die angespannte wirtschaftliche Situation vieler Forstbetriebe, die eine konventionelle Pflege grosser Flächen nicht zulassen und die fehlende Erfahrung mit der Pflege solch grosser Flächen. Kennziffern, wie sich verschiedene intensive Pflegeverfahren auf die spätere Stabilität und Wertleistung von Beständen auswirken, existieren allenfalls für Fichte (z.B. Raab, 1999), über gemischte, laubholzdominierte Bestände gibt es bisher keine solchen Zahlen.

3.8.5 Ausblick

In Diessenhofen konnte in Zusammenarbeit mit dem Forstdienst des Kantons Thurgau ein Pflegeversuch auf einer Lothar-Fläche angelegt werden, in dem vier vorgängig definierte Pflegeverfahren bezüglich des Aufwandes als auch der Entwicklung der Kandidaten miteinander verglichen werden:

- Variante A: kein Eingriff (Kontrolle)
- Variante B: extensive Z-Baum-Durchforstung im Endabstand bei $h_{\text{dom}} \sim 12 \text{ m}$
- Variante C: extensive Pflege der Kandidaten beginnend bei einer Oberhöhe von $\sim 5 \text{ m}$

- Variante D: konventionelle Jungwuchs-/Dickungspflege mit flächiger Mischungsregulierung und Entnahme von 1-2 Konkurrenten pro Kandidat

Auf diese Weise ist es möglich, den allfälligen Erfolg, ausgedrückt in Zahl, Qualität und Mischung der Kandidaten mit den für die Pflege aufgewendeten Mitteln zu vergleichen. Neben dem auf Kandidaten ausgerichteten sampling-design wurde die Verjüngung und das Vorkommen von potentiell verdämmenden Arten in Diessenhofen zusätzlich mit der in Kapitel 3.8.3.1 beschriebenen Methode erfasst. So ist es möglich, die Ergebnisse des experimentellen Blockansatzes mit den Resultaten aus der Forstpraxis des hier dargestellten Projekts zu verknüpfen.

Schliesslich ist geplant, die Ergebnisse des Projekts in zwei Beiträgen zu publizieren (Manuskripte in 2004 eingereicht). Während die erste Arbeit (Nobis & Bürgi) auf die gefundenen Beziehungen zwischen Verjüngung und verdämmenden Problemarten abhebt (vorgesehen für: Forest Ecology and Management), stehen beim zweiten Manuskript (Bürgi & Nobis) die unterschiedlichen Ausgangssituationen und die bisherigen bzw. geplanten Pflegemassnahmen im Mittelpunkt (vorgesehen für: Wald und Holz).

3.8.6 Dank

Unser Dank gilt zunächst besonders Thomas Reich für seine umfangreiche Unterstützung im Gelände und während der Dateneingabe. Bei der Feldarbeit half ferner Konrad Häne, bei der Verwendung des GPS Patrick Thee und Christoph Angst. Auch ihnen danken wir für die geleistete Unterstützung.

3.9 Natürliche Recycling von Buchenholz: Sukzession von holzabbauenden Pilzen und Holzabbau

Janina Polomski, Ursula Heiniger

3.9.1 Einleitung

Holzzersetzungspilze bilden eine heterogene, aus zahlreichen Pilzarten bestehende und vorwiegend saprophytisch lebende Gemeinschaft. Sie kolonisieren, zersetzen, mineralisieren und humifizieren das Totholz und sind somit für den Stoffkreislauf in jedem Waldökosystem unentbehrlich.

Zugleich verursachen die Fäuleerreger am Lagerholz grosse Schäden, weil sich infolge der Zersetzung dessen chemische und technologische Eigenschaften negativ verändern. Zersetzen die Pilze neben den Kohlenhydraten auch Lignin, resultiert daraus sog. Weissfäule, eine für das Laubholz typische Fäuleart. Die Pilzsukzession läuft in drei Phasen ab: Initial-, Optimal- und Finalphase, wobei sich während jeder Phase eine typische Pilzgemeinschaft etabliert.

Beide Prozesse, die Pilzsukzession und der Holzabbau sind von diversen standörtlichen Gegebenheiten beeinflusst.

3.9.2 Ziele

In diesem Projekt versuchen wir zu ermitteln, ob die Lagerungsbedingungen das Aufkommen holzzerstörender Pilze sowie die Holzzersetzung beeinflussen. Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

1. Wie verläuft die Sukzession der holzabbauenden Pilze auf Buchenholz?
2. Wie beeinflussen die Räumungsvarianten und Lagerungsbedingungen die Artenvielfalt der holzabbauenden Pilze?
3. Wie verändern sich die physikalischen Eigenschaften des Buchenholzes mit fortschreitender Zersetzung?
4. Wie beeinflussen die Räumungsvarianten und Lagerungsbedingungen die Zersetzung des Buchenholzes?

Die 3 Jahre dauernden Untersuchungen erfassten lediglich das Anfangsstadium der Pilzsukzession und lassen langfristige, allgemeingültige Prognosen nur begrenzt zu.

3.9.3 Material und Methoden

In der Sturmfläche Sarmenstorf wurden im Frühjahr 2001 in der „geräumten“ und der „belassenen“ Fläche je 120 Buchenrugen in Beigen von 30 Stück in 2 Schichten ausgelegt und offen (Variante „Holz offen“) oder mit einer Blache zugedeckt (Variante „Holz zugedeckt“) gelagert.

Die Hälfte der Rugel stammte von frisch geschlagenen Buchenstämmen, die andere Hälfte vom Sturmholz, das zu Projektbeginn bereits 15 Monate auf der Fläche lagerte. So erhielten wir eine Zeitreihe von 0 Monaten bis 44 Monaten.

Die Rugel wurden nummeriert und so markiert, dass sie nach der Beprobung wieder in der gleichen Lage deponiert werden konnten.

3.9.3.1 Pilzaufnahmen

Zwischen 2001 und 2003 wurden mehrmals pro Jahr die neuen Pilzfruchtkörper auf dem Holz erfasst und die Pilzarten bestimmt.

3.9.3.2 Holzparameter

- *Gewicht*: Im Herbst 2001 und 2003 wurden von jeder Holzbeige je 6 Rugel im Feld gewogen, um die Gewichtsveränderung zu ermitteln.
- *Holzdichte*: Von frisch gefällten Buchenstämmen (0-Proben), sowie von den gelagerten Rugeln wurden ca. 5 cm dicke Scheiben zur Dichte- und Wassergehaltbestimmung abgeschnitten.
- *Biegefestigkeit*: Mit einem Zuwachsbohrer wurden jährlich von 6 Rugeln pro Holzbeige je 2 bis 3 Bohrkerne entnommen und mit dem Fraktometer die Biegefestigkeit bestimmt.

3.9.4 Ergebnisse und Diskussion

3.9.4.1 Pilzsukzession

Nach den 3-jährigen Erhebungen lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Räumungsvarianten „geräumt“ und „belassen“ erkennen. Weder der Sukzessionsablauf, noch die Pilzartenvielfalt, noch die Populationsdichte der Pilze waren verschieden. Einzig auf der belassenen Fläche kamen die schwarzen, radialen Rasen von *Bispora monilioides* auf den Schnittflächen der offen gelagerten Rugeln auffallend häufiger vor (Abb. 3.9-1).



Abbildung 3.9-1: Die ersten Pilzbesiedler auf der Buchenschnittfläche: Schwarze, radiale Streifen von *Bispora monilioides* und Fruchtkörper von *Schizophyllum commune* (in der Mitte).



Abbildung 3.9-2: Vier Jahre nach dem Sturmereignis weisen die zugedeckt lagernden Buchenholzrugel noch intakte, nur geringfügig durch Pilze gelöste Rinde auf (links). Die offen lagernden Holzrugel sind beinahe vollständig entrindet und stark von holzabbauenden Pilzen befallen (rechts).

Die Lagerungsvariante (offen, zugedeckt) hingegen beeinflusste die Entwicklung der holzabbauenden Pilze und die Holzzersetzung sehr deutlich.

Bereits nach 7 Monaten breiteten sich auf der Rinde und auf den Schnittflächen sowohl der offen als auch der zugedeckten Lagernden Buchenrugel zwei Pilzarten stark aus, der Gemeine Spaltblättling (*Schizophyllum commune*) und die Gemeine Kohlenbeere (*Hypoxyylon fragiforme*). Sie waren die häufigsten Vertreter der Zersetzergesellschaft der Initialphase.

Obwohl die Rugel durch die beiden Pilzarten intensiv besiedelt wurden, war die Rinde des zugedeckten Holzes nach 44 Monaten immer noch intakt. Lediglich 3 % der Rinde war durchschnittlich abgefallen, verglichen mit 90 % beim offen lagernden Holz (Abb. 3.9-2), auf dessen Rinde sich zahlreiche andere rindenbewohnende Pilze etabliert hatten.

Während auf dem zugedeckten Holz das Artenspektrum konstant blieb, erschienen auf dem offen lagernden Holz im zweiten Jahr der Lagerung die ersten Fruchtkörper der Striegeligen Tramete (*Trametes hirsuta*). Allmählich traten auch andere Weißfäuleerreger, wie die Schmetterlings-Tramete (*Trametes versicolor*), der Birkenblättling (*Lenzites betulina*) (Abb. 3.9-3), der Angebrannte Rauchporling (*Bjerkandera adusta*), und nach 44 Monaten der Zinnoberschwamm (*Pycnoporus cinnabarinus*) auf. Die vorangeschrittene Holzzersetzung begünstigte die Ansiedlung dieser typischen Vertreter der



Abbildung 3.9-3: Auf den feuchten Stellen entrindeter offen gelagerter Buchenrugeln wurde vermehrt der Birkenblättling (*Lenzites betulina*) gefunden (Herbst 2003).

„Gesellschaft der Striegeligen Tramete“ (*Trametetum hirsutae*) (Jahn, 1979). Diese Pilze zählen zu den wichtigsten Arten des Anfangsstadiums der Optimalphase.

Im dritten Jahr der Sukzession auf dem offen gelagerten Holz war ein Populationsrückgang des Gemeinen Spaltblättlings und der Gemeinen Kohlenbeere zu beobachten. Die Trameten-Arten, insbesondere die Schmetterlings-Tramete, die ein starker zersetzes Substrat bevorzugen, bildeten auf dem offen gelagerten Holz ihre Fruchtkörper vermehrt aus. Im vierten Sukzessionsjahr wiesen bereits zwischen 20 bis 60 % der offen lagernden Rugel solche Pilze auf, während auf dem zugedeckten Holz keine Trameten-Fruchtkörper gefunden wurden (Tab. 3.9-1a,b). Auf den feuchten Stellen der Rugelschnittflächen wurde vermehrt der Eichenhörnling (*Calocera cornea*) gefunden. Auch die schwarzen, radialen Streifen von *Bispora monilioides* (Weißfäule) breiteten sich, besonders auf der Fläche „belassen“, weiterhin aus. Rhizomorphen von *Armillaria* sp. traten an den offen gelagerten Rugeln auf beiden Flächen auf.

Tabelle 3.9-1a: Pilzpopulation auf den Buchenrugel während vier Jahren Lagerungsdauer. Mittlerer prozentueller Bedeckungsgrad auf allen Rugel der jeweiligen Behandlung.

Fläche geräumt

Pilzarten	Lagerungsdauer (Jahre)				Holz offen	Holz zugedeckt
	1	2	3	4		
<i>Hypoxylon fragiforme</i>						
<i>Schizophyton commune</i>						
Trameten						
<i>Exidla glandulosa</i>						
<i>Armillaria</i> Hyphen						
Andere Arten						

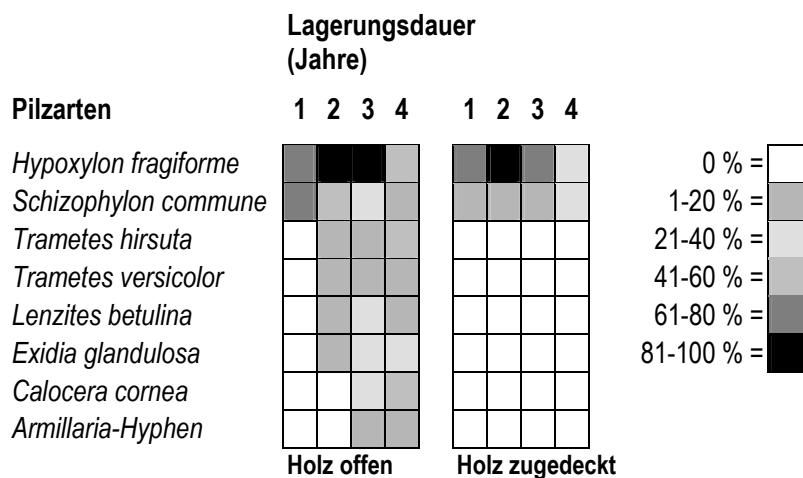
Legende: 1-20 % = 21-40 % = 41-60 % = 61-80 % =

Fläche belassen

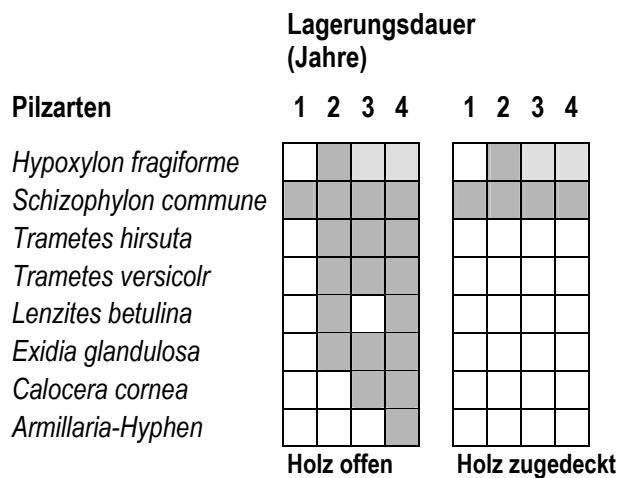
Pilzarten	Lagerungsdauer (Jahre)				Holz offen	Holz zugedeckt
	1	2	3	4		
<i>Hypoxylon fragiforme</i>						
<i>Schizophyton commune</i>						
Trameten						
<i>Exidla glandulosa</i>						
<i>Armillaria</i> Hyphen						
Andere Arten						

Tabelle 3.9-1b: Prozentueller Anteil von Buchenrugel auf denen sich während den vier Jahren Lagerungsdauer die Pilze entwickelten (Mittelwerte von allen Rugel der jeweiligen Behandlung).

Fläche geräumt



Fläche geräumt



3.9.4.2 Holzzersetzung

Nach 44-monatiger Lagerung war der weit fortgeschrittene Abbau des offen lagernden Buchenholzes im Vergleich zu den zugedeckten Rugeln gut erkennbar, sowohl visuell (Abb. 3.9-2) als auch mittels physikalischer Messungen.

Einige der physikalischen Parameter erwiesen sich als gute Zeiger für die Veränderungen der Holzeigenschaften.

- *Biegefestigkeit*

Die Biegefestigkeit des offen gelagerten Holzes nahm in 34 Monaten stark ab, während sie am zugedeckten Holz leicht anstieg. Die Veränderungen der Biegefestigkeit korrelierten mit den Wassergehalten des Holzes; z.B. nahm mit dem Anstieg des Feuchtigkeitsgrades des offen lagernden Holzes dessen Biegefestigkeit rapid ab.

- *Dichte*

Die fortschreitende Holzzersetzung manifestierte sich in einer Holzdichteabnahme, deren Geschwindigkeit stark von der Lagerungsvariante beeinflusst wurde. In 44 Monaten verringerte sich die Dichte von 0.68 g/cm^3 signifikant auf 0.40 g/cm^3 beim offen lagernden Holz und auf 0.54 g/cm^3 beim zugedeckten Holz (Tab. 3.9.2). Die Holzdichteverluste waren von den Aufräumungsvarianten unabhängig und auf den beiden Flächen „geräumt“ und „belassen“ sehr ähnlich.

In den ersten 44 Lagerungsmonaten nahm die Holzdichte linear ab. Auf Grund der Literaturdaten und persönlicher Erfahrung ist anzunehmen, dass die Abbaurate sich verlangsamen wird. Deswegen ist zur Einschätzung der Zeitdauer des Holzabbaus eine exponentielle Regression besser geeignet als eine lineare. Der vollständige Abbau der offen gelagerten Buchenrugeln, ermittelt als 95 % Reduktion der Holzdichte, wird unter den klimatischen Bedingungen des Mittellandes mindestens 20 Jahre dauern. Das Zudecken des Holzes verzögert dessen Abbau um Jahrzehnte.

Der Abbau ist abhängig vom Durchmesser der liegenden Stämme, weshalb die Zersetzung von grossen, hängenden Stämmen wesentlich länger dauern wird.

Tabelle 3.9-2: Holzdichte von offen lagernden Buchenrugeln für die Räumungsvariante „belassen“, bezogen auf die Lagerungsdauer.

Lagerungs-dauer Monate	Anzahl Holz-scheiben	Mittlerer Durchmesser cm	Dichte g/cm^3	Dichte %	StAbw g/cm^3	Signifikanz** $p = 0.01$	Zeitdauer* Jahre	Berechnung
0	5	8	0.67	100	0.05	d	9	lineare Regression
16	5	7	0.59	88	0.03	cb	20	exponentielle Regression
33	12	14	0.50	75	0.08	b		
44	12	10	0.38	57	0.07	a		

- **Gewichtsverlust des Holzes**

Der Gewichtsverlust des Holzes kann als ein Mass der Anfälligkeit des Holzes gegenüber holzzersetzenden Pilzen interpretiert werden. Das Buchenholz gilt als wenig widerstandsfähig. Auf beiden Flächen verlor das offen gelagerte Holz während den 3 Jahren sukzessiv 30 % seines ursprünglichen Trockengewichts, während das zugedeckte Holz lediglich 3 % verlor (Abb. 3.9-4).

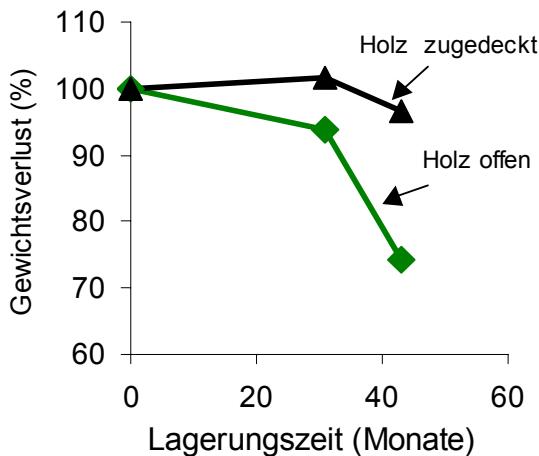


Abbildung 3.9-4: Prozentuelle Abnahme des Holzgewichts von offen und zugedeckten lagernden Buchenrügen auf der geräumten Fläche (Mittlerer Rugeldurchmesser beträgt 12 cm).

3.9.5 Folgerungen und Ausblick

Auf den beiden Sturmflächen hat sich innerhalb von vier Jahren eine vielfältige holzabbauende Pilzflora angesiedelt. Die Pilzgesellschaft auf dem offen lagernden Holz befindet sich bereits im Anfangsstadium der Optimalphase. Das zugedeckte Holz wurde bisher kaum zersetzt, vermutlich wegen den trockenen Bedingungen unter der Abdeckung.

Ein Sturmereignis schafft günstige Voraussetzungen für die Etablierung eines breiten Spektrums von holzzersetzenden Pilzarten und trägt zur Biodiversität bei. Zugleich können aber fakultativ parasitische Pilze für lebende Nachbarbäume gefährlich sein, wie z.B. *Armillaria*-Arten für das Laubholz.

In den ersten 4 Jahren nach dem Sturmereignis konnte kein Einfluss der Räumungsvarianten, weder auf die Pilzsukzession, noch auf die Geschwindigkeit des Holzabbaus nachgewiesen werden. Beide Flächen waren allerdings relativ stark durch die Strauchschicht (Brombeeren, Himbeeren) beschattet, sodass der Einfluss der Räumung überdeckt wurde.

3.9.6 Dank

Wir danken Oberförster Erwin Jansen für die ideenreiche Unterstützung, sowie dem Förster Herrn Sonderegger für die Mithilfe. Bei den Feldaufnahmen wurden wir durch Ueli Wasem, Dieter Trummer, Thomas Graf, Freddy Potzinger, Tobias Dirr, Helen Blauenstein und Tamara Herzig unterschützt. An dieser Stelle bedanken wir uns für ihren zuverlässigen Einsatz.

4 Zusammenfassung des Rahmenprojekt-Schlussberichts

4.1 Ausgangslage und Organisation des Rahmenprojektes.

Die durch den Jahrhundertsturm „Lothar“ verursachten immensen Windwurfschäden in den Wäldern Mitteleuropas haben unter anderem auch viele Fragen aufgeworfen. Mit Bezug auf die unterschiedlichen Auswirkungen vom Liegenlassen und Räumen des Sturmholzes formulierte die WSL daher acht verschiedene Projekte. Diese wurden organisatorisch unter dem Projekt „Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz“, kurz „Rahmenprojekt Lothar“, zusammengefasst und koordiniert. Das Projekt wurde vom BUWAL und von der WSL finanziert und dauerte von Mitte 2000 bis Ende 2003. Die Fragestellungen des Rahmenprojektes beruhten im wesentlichen auf dem Vergleich der Entwicklung auf ungeräumten Windwurfflächen und auf Flächen, wo das Holz nach dem Sturm geräumt wurde. Insgesamt handelt es sich um fünf Flächenpaare („geräumt“ und „belassen“) im Buchenwald des Mittellandes (Habsburg, Messen, Müntschemier, Sarmenstorf und Wohlen) und zwei Flächen im Fichten-Tannen-Buchenwald der Voralpen (Châtel-St-Denis und Walkringen). Untersucht wurden insbesondere die Veränderungen im Boden, die Auswirkungen des grossflächigen Wegfalls der Bäume auf die Mykorrhiza-Pilzflora, die Dynamik der Vegetation und der natürlichen Waldverjüngung im speziellen, die Wechselbeziehungen zwischen Rehwild und Nahrungsangebot, die Bedeutung des Windwurfes auf die Biodiversität bei Pflanzen, Insekten und Kleinsäugern sowie die Zersetzungabläufe beim Buchenholz.

4.2 Wichtige Forschungsergebnisse

Die Resultate der Forschungsprojekte des Rahmenprojekts Lothar beziehen sich auf die ereignisreichen und für die weitere Wiederbewaldung entscheidenden ersten vier Jahre nach dem Sturm.

4.2.1 Veränderungen im Boden und Entwicklung der Biodiversität

Der plötzliche Wegfall der Baumschicht und das damit verbundene radikal veränderte bodennahe Mikroklima löste in den oberflächennahen Horizonten des Bodens und in der Vegetation eine hohe Dynamik aus. Als Folge der Veränderungen im Wasserhaushalt setzten im Wurzelraum Verlagerungsprozesse ein, die insbesondere bei Parabraunerden zu Verschlämmlungen im Hohlraumsystem und damit zu erhöhten Dichtewerten führten. Noch tiefgreifendere und oft auch lang anhaltende Bodenveränderungen stellten P. Lüscher und M. Kuhn auf den Versuchsflächen fest, die mit Holzerntemaschinen befahren wurden. Dadurch werden je nach Ernteverfahren z.T. grossflächig wichtige Bodenfunktionen beeinträchtigt und die Wiedererschliessung durch neue Wurzeln erschwert. Das Ausmass solcher negativen Auswirkun-

gen kann durch sorgfältiges Vorausplanen und Einhalten des Erschliessungsnetzes stark beeinflusst werden.

Die beschleunigten Abbauprozesse im Oberboden setzten Nährstoffe frei, welche zusammen mit dem erhöhten Lichtgenuss von zahlreichen neu auftretenden Pflanzenarten genutzt wurden. Umgekehrt nahm die Zahl der schattentoleranten Waldarten ab. Auf den Lotharflächen des Mittellandes registrierten M. Nobis und Th. Wohlgemuth eine deutlich dynamischere Vegetationsentwicklung als nach Vivian im Gebirgswald. Der Reichtum an Pflanzenarten war auf den geräumten Windwurfflächen grösser als auf den ungeräumten Flächen, während die Variante Wald am artenärmsten blieb. Als Folge der Räumung waren Störungszeiger wie Binsen sowie einige Arten der angrenzenden Waldwege und umliegenden Landwirtschaftsflächen deutlich häufiger als auf belassenen Flächen. Der anfängliche Artenreichtum ging auf den belassenen Flächen bereits drei Jahre nach dem Sturm und mit einem Jahr Verzögerung auch auf den geräumten Flächen wieder signifikant zurück. Ein wesentlicher Grund hierfür war das rasche Überhandnehmen konkurrenzstarker Arten wie Brombeeren und Himbeere.

Auch die Insektenfauna erfuhr durch die grossflächige Öffnung des Kronendaches eine markante Erhöhung der Artenvielfalt. Auf den Sturmflächen fand B. Wermelinger im Jahr 2002 zwischen 20 und 200 % mehr Arten als im intakten Wald. Am extremsten zeigte sich dies bei Blatt- und Prachtkäfern. Auch die im Wald zahlenmässig viel häufigeren Borkenkäfer wiesen auf den Sturmflächen eine höhere Artenzahl auf. Bezogen auf die bisher bestimmten Insektenarten unterschieden sich die Varianten „belassen“ und „geräumt“ in der Artenzahl nicht, wohl aber in der Artenzusammensetzung. Bei einer örtlichen Kombination beider Behandlungsvarianten errechnet sich gegenüber einer einzelnen Variante eine Erhöhung der Artenvielfalt um ca. 20 %.

Kleinsäugerarten wurden gemäss den Untersuchungen von P. Duelli in den Sturmflächen insgesamt 7, im Wald 5 gefunden. Die am häufigsten gefangenen Arten Rötelmaus und Waldmaus bevorzugten eindeutig die Sturmflächen.

Während die Biodiversität im allgemeinen von dem Windwurfereignis profitierte, bewirkte bei Messen der Wegfall der Bäume auf grosser Fläche in den ersten vier Jahren nach „Lothar“ eine deutliche Reduktion der Mykorrhiza-Pilzarten. Trotzdem vermochten die verbleibenden Mykorrhizapilze die Wurzeln von aufkommenden Sämlingen immer noch vollständig zu mykorrhizieren. Dies bestätigt den Befund der Untersuchungen von S. Egli in der höher gelegenen Vivianfläche bei Schwanden.

Der Zersetzungsprozess des liegenden Holzes trägt ebenfalls zur Bereicherung der Artenvielfalt auf Windwurfflächen bei. J. Polomski und U. Heiniger zählten bisher auf den belassenen und geräumten Varianten gleichviele holzzersetzende Pilzarten. Im vierten Jahre hatten sich im vor der Witterung ungeschützten Buchenholz bereits Pilzarten angesiedelt, die bezüglich der Holzzersetzung den Übergang von der Initialphase zur Optimalphase kennzeichnen. Bis zur vollständigen Auflösung eines Buchenholzrugels von 10-20 cm Dicke dürfte es aber noch mindestens 20 Jahre dauern.

4.2.2 Verjüngung und Vegetation

Im allgemeinen hatten die Vorverjüngung und die Buchen-Vollmast 1999 für die Verjüngung der Schlussbaumarten ungleich grössere Bedeutung als die Ansammlung nach dem Sturm. Nach dem Sturm samten sich nur wenige neue Buchen, Eichen oder Ahorne erfolgreich an. Die negative Auswirkung der Dominanz konkurrenzstarker Arten, v.a. Brombeeren, auf die Verjüngungsdichte in den ersten Jahren nach dem Sturm konnte im Projekt von M. Nobis und A. Bürgi vor allem für niedrige Buchenverjüngung – im Gegensatz zu anderen Baumarten – indirekt aufgezeigt werden. Beim Projekt von Ch. Angst und Th. Reich machte sich dieser Zusammenhang allerdings nur sehr schwach bemerkbar. Auf geräumten Flächen mit anfänglich offenen Böden konnten Birke, Weiden und anderen Pionierbaumarten die kurze vegetationsarme Zeit für die Ansammlung nutzen und dadurch mancherorts die Baumartenzusammensetzung in der Verjüngung wesentlich mitbestimmen.

Im allgemeinen konnte die natürliche Baumverjüngung auf der Mehrzahl der Flächen als ausreichend beurteilt werden. Allerdings stellten Ch. Angst und Th. Reich gegenüber den geräumten Flächen auf den ungeräumten signifikant mehr grössere Lücken fest, für welche im Wirtschaftswald die Notwendigkeit nachträglicher Ergänzungspflanzungen zu überlegen wäre. Ob die Verjüngung auf belassenen Flächen zahlreicher oder spärlicher aufkommt als auf geräumten, kann nicht generell beantwortet werden. Mindestens ebenso entscheidend wie das Belassen bzw. Räumen des Sturmholzes ist die Verjüngungssituation im Vorbestand, die Schonung der vorhandenen und sich einstellenden Verjüngung im Falle der Sturmholznutzung und die Distanz zu Samenbäumen. Ein noch offenes Problem stellt die zukünftige Pflege grosser, durch Sturmwind entstandener Verjüngungsflächen dar, einerseits wegen der angespannten wirtschaftlichen Situation vieler Forstbetriebe, die eine konventionelle Pflege grosser Flächen nicht zulassen und andererseits weil die Erfahrung mit der Pflege solch grosser Flächen fehlt. Hierzu werden auch aus der weiteren Sturmflächenforschung praxisnahe Lösungsansätze erwartet.

4.2.3 Nutzung der Windwurfflächen durch das Reh

Bezüglich Anzahl und Verteilung der Verbisssspuren an der Vegetation stellten B. Moser und K. Hindenlang fest, dass das Reh die untersuchten belassenen Flächen deutlich weniger nutzte als die Varianten Wald und geräumte Windwurffläche. Im Durchschnitt wurden in Habsburg und Müntschemier nur gerade 11 % bzw. 2 % aller Frassspuren in der belassenen Windwurffläche beobachtet. Die Unterschiede zwischen belassenen und geräumten Flächen werden durch die Resultate von M. Nobis und Th. Wohlgemuth gestützt. Auch die Verjüngungserhebungen von Ch. Angst und Th. Reich weisen darauf hin, dass das Reh die belassenen Flächen im Gegensatz zu den geräumten nicht flächendeckend nutzen kann, d.h. dass liegendes Holz und starker Brombeerenbewuchs auch für das Reh ein bedeutendes Hindernis darstellen. Die Analyse der Häufigkeit gefundener Kothaufen ergab, dass Rehe sich nicht länger in Windwurfflächen aufhalten, als im stehenden Wald.

Mengenmässig wurden die Blätter und Triebe der Brombeeren und Himbeere eindeutig am häufigsten gefressen. Je nach Jahreszeit waren auch

noch andere Kräuter und Bäume wichtiger Bestandteil im Speiseplan des Rehs. Im Nahrungsangebot (Gesamtdeckungsgrad aller Pflanzenarten) unterschieden sich die Varianten „belassen“ und „geräumt“ in den von B. Moser und K. Hindenlang untersuchten Windwurfflächen Müntschemier und Habsburg zu keiner Jahreszeit.

5 Ausblick

Bei vielen der im Rahmenprojekt begonnenen Untersuchungen hat der Langfrist-Aspekt eine hohe Bedeutung (Dauerbeobachtung der Wiederbewaldung und der Vegetationsentwicklung, Bodenentwicklung und Revitalisierung verdichteter Böden). In der bisherigen Zeitspanne von vier Jahren war lediglich die Beschreibung und Analyse des Ausgangszustandes und der ersten dynamischen Jahre nach dem Sturm möglich. Die langfristigen Auswirkungen von Liegenlassen bzw. Räumen des Sturmholzes, beispielsweise auf die Qualitätsentwicklung der Verjüngung, die Biodiversität, die Wildpopulation oder auf eine spätere Bewirtschaftbarkeit, sind damit erst ansatzweise geklärt.

Der Schlussbericht stellt den Stand der Untersuchungen Ende 2003 dar. Einzelne Projekte, wie das Mykorrhiza-Projekt mit einem Zeithorizont von 10 Jahren, werden ohne Unterbruch weitergeführt oder haben bereits die Überleitung in ein Folgeprojekt vollzogen. Resultate wurden bis anhin nur vereinzelt veröffentlicht. Für das Jahr 2004 sind mehrere Publikationen in Wissenschafts- und Fachzeitschriften vorgesehen bzw. bereits in Vorbereitung.

Die Sturmflächenforschung hat für die WSL einen hohen Stellenwert. Nebst dem Rahmenprojekt Lothar untersucht die WSL bereits seit „Vivian“ die Entwicklung auf Windwurfflächen. Die vertraglich gesicherten Vivian- und Lotharflächen sollen weiterhin als Forschungsflächen genutzt werden. Dabei kann nun auf der in den Rahmenprojekten Vivian und Lothar erarbeiteten Grundlage aufgebaut werden. Für die weitere Sturmflächenforschung ist es zweckmäßig, Vivian- und Lotharforschung zusammenzulegen und als ein gemeinsames Projektpaket weiterzuführen. Ein entsprechendes Projekt soll bis Herbst 2004 ausgearbeitet werden. Darin ist einerseits die Fortführung langfristig angelegter Erhebungen und andererseits die Untersuchung neuer Forschungsfragen vorgesehen.

6 Literaturverzeichnis und Quellenangaben

- Abetz, P., 1979: Brauchen wir „Durchforstungshilfen“? Schweiz. Z. Forstwes., 130 (11): 945-963.
- Aldinger, E. und Kenk, G., 2000. Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen. Merkblatt. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Freiburg. 11 S.
- Ammann, P., 1999: Analyse unbehandelter Jungwaldbestände als Grundlage für neue Pflegekonzepte. Schweiz. Z. Forstwes., 150 (12): 460-470.

- Ammann, P., Burhard, M., 1997: Untersuchungen zur Wirksamkeit der Jungwaldpflege: Analyse des waldbaulichen Zustandes von unbehandelten Dickungen und Stangenhölzern im Vergleich zu normal gepflegten Beständen und Kosten-Nutzen-Betrachtungen zu diesen Pflegekonzepten und Massnahmen. Diplomarbeit Waldbau, ETHZ (unveröffentlicht).
- Brang, P., 2002. Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar: Versuchsdesign und Aufnahmemethoden. In: Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Tagungsbericht der Sektion Waldbau im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten vom 12.-14.09.2001 in Ludwigslust, 18-22.
- Böhler K., 2000: Die Nutzung verschiedener Habitatstypen durch das Reh (*Capreolus capreolus*) in einem vom Orkan Lothar betroffenen Wald. Diplomarbeit ETH Zürich.
- Burger, H., 1951. Waldklimafragen. IV. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes. 27: 19-75.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 2000: Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 100 S.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 2002. Lothar Zwischenbericht – Materielle und finanzielle Bilanz Ende 2001. Bern. 14 S.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 2003: Waldschaden-Handbuch. 2. überarbeitete Auflage. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Ordner.
- Duc, P., Zbinden, A., 1997: Rationalisierung der Waldpflege. Schweiz. Z. Forstwes., 148 (3): 197-220.
- Duelli, P.; Obrist, M.K.; Wermelinger, B., 2002: Windthrow-induced changes in faunistic biodiversity in alpine spruce forests. For. Snow Landsc. Res. 77: 117-131.
- Egli, S., Peter, M., Falcato, S. 2002: Dynamics of ectomycorrhizal fungi after windthrow. For. Snow Landsc. Res. 77: 81-88.
- 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.
- FABO, 1998: Messung von Bodenverdichtungen im Feld. Teilprojekt Methodik. Hrsg. Fachstelle Bodenschutz Kt. ZH, Zürich
- Fischer A., Abs G., Lenz F., 1990: Natürliche Entwicklung von Waldbeständen nach Windwurf. Ansätze einer „Urwaldforschung“ in der Bundesrepublik. Forstwiss. Centralbl. 109, 309-326.
- Gautier, R., 2001: Die xylobionte Insektenfauna im ersten Jahr nach dem Sturm Lothar. Diplomarbeit am Zoologischen Museum, UNI Zürich (Ref. Prof. P. Ward, Kor. B. Wermelinger).
- Huss, J., 1993: Waldbau vor neuen Herausforderungen bei Waldverjüngung und Jungbestandespflege, Forstw. Centralblatt, 112 (5): 278-286.
- Jahn Hermann, 1979: Pilze die an Holz wachsen, Busse Verlag, 268 S.
- Kenk, G., 1999: Das Jungwaldpflegemodell Baden-Württemberg. Schweiz. Z. Forstwes., 150 (12): 471-477.
- Leibundgut, H., 1984: Die Waldpflege. Aufl.3, überarb.& erg. - Bern ; Stuttgart : Haupt, 214 S.
- Lüpke v., B., 1996: Waldbau unter ökonomischen Sachzwängen? Allg. Forst u. Jagdztg., 167 (9-10): 178-184.
- Lüscher P., Kuhn M., Walser M., 2003a: Inventur von Bodenschäden nach Holzerntemassnahmen auf den LFI-Stichproben im Kanton Freiburg. Dokumentation. WSL, Abt. Bodenökologie, Birmensdorf (deutsche und franz. Fassung)
- Lüscher P., Kuhn M., Walser M., 2003b: Inventur von Bodenschäden nach Holzerntemassnahmen auf den LFI-Stichproben im Kanton Freiburg. Erste Ergebnisse. WSL, Abt. Bodenökologie, Birmensdorf (deutsche und franz. Fassung)
- Mayer, H., 1984: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Aufl. 3, Stuttgart; New York: Gustav Fischer, 514 S.

- Mohr, C., Schori, C., 1999: Femelschlag oder Plenterung – Ein Vergleich aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Schweiz. Z. Forstwes., 150 (2): 49-55.
- Morellet, N.; Champely, S.; Gaillard, J.-M.; Ballon, Ph.; Boscardin, Y. 2001: The Browsing Index: new tool uses browsing pressure to monitor deer populations. Wildlife Society Bulletin 29(4): 1243-1252.
- Niedermaier M., 2001: Bodenschäden durch Räumungsarbeiten nach Windwurfschäden. Diplomarbeit, Abt. Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich und der Abt. Bodenökologie WSL.
- Nobis, M. (1999): Sukzessionslinien in der Pioniergevegetation auf Lockersedimentböden. Diss. Univ. Freiburg i. Br., 147 S.
- Otto, H.-J., 2000: Waldbauliche Erfahrungen nach Sturm katastrophen – eine Rückschau in Niedersachsen. Forst und Holz, 55 (12): 371-376.
- Raab, S., 1999: Arbeitsverfahren für die Pflege in der Fichte. Ber. Bay. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr. 20, 86 S.
- Reininger, H., 2000: Das Plenterprinzip oder die Überführung des Altersklassenwaldes. Graz; Stuttgart: Stocker, 238 S.
- Ressel D., 2001: Bodenverdichtung durch Forstmaschineneinsatz: Verdichtung und Regeneration des Waldbodens nach Aufräumarbeiten des Orkans Lothar in der Region Habsburg (AG). Diplomarbeit, Abt. Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich und der Abt. Bodenökologie WSL.
- Schönenberger, W.; Angst, C.; Bründl, M.; Dobbertin, M.; Duelli, P.; Egli, S.; Frey, W.; Gerber, W.; Kupferschmid Albisetti, A.D.; Lüscher, P.; Senn, J.; Wermelinger, B.; Wohlgemuth, T., 2003: Vivians Erbe - Waldentwicklung nach Windwurf im Gebirge. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Merkblatt für die Praxis Nr. 36. 12 S.
- Schönenberger, W.; Fischer, A.; Innes, J., 2002 (Hrsg.): Vivian's Legacy in Switzerland – impact of windthrow on forest dynamics. For. Snow and Landsc. Res. 77 (1/2): 224 S.
- Schönenberger, W.; Kasper, H.; Lässig, R., 1992: Forschungsprojekte zur Wiederbewaldung von Sturmschadenflächen. Schweiz. Z. Forstwes. 143, 10: 829-847.
- Schütz, J.-Ph., 1996: Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. Schweiz. Z. Forstwes., 147 (5): 315-349.
- Schütz, J.-Ph., 2001: Der Plenterwald. Berlin: Parey, 207 S.
- Smith, S.E.; Read, D.J., 1997: Mycorrhizal symbiosis. London, UK: Academic press.
- Visser, S; Parkinson, D., 1999: Wildfire vs. clearcutting: impacts on ectomycorrhizal and decomposer fungi. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, General technical report PNW-GTR-461: 114-123.
- Ward, J.H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. J. Amer. Stat. Ass. 58: 238-244.
- Wermelinger, B.; Duelli, P.; Obrist, M.K., 2002: Dynamics of saproxylic beetles (Coleoptera) in windthrow areas in alpine spruce forests. For. Snow Landsc. Res. 77 (1/2): 133-148.
- Wohlgemuth T., Kull P., Wüthrich H., 2002b. 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., Kuhn, N., Lüscher, P., Kull, P., Wüthrich, H., 1995: Vegetations- und Bodendynamik auf rezenten Windwurfflächen in den Schweizer Nordalpen. Schweiz. Z. Forstwes. 146, 11: 873-891.
- Wohlgemuth, T., M. Bürgi, C. Scheidegger, and M. Schütz., 2002a: Dominance reduction of species through disturbance - a proposed management principle for central European forests. Forest Ecology and Management 166:1-15.