

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 146 (1995)
Heft: 11

Artikel: Beginn der Wiederbewaldung auf Windwurfflächen
Autor: Lässig, Reinhard / Egli, Simon / Odermatt, Oswald
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-767004>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

Beginn der Wiederbewaldung auf Windwurfflächen

Von Reinhard Lässig, Simon Egli, Oswald Odermatt, Walter Schönenberger,
Benjamin Stöckli und Thomas Wohlgemuth

Keywords: windthrow, reforestation, seed dispersal, mycorrhiza, game impact.

FDK 181: 231: 421.1: (23)

1. Einleitung

Die Ausrichtung auf eine naturnahe Bewirtschaftung unserer Wälder sowie der zunehmende Zwang zu finanziellen Einsparungen haben bei Waldbesitzern, Forstdiensten und Naturschutzvertretern ein erhöhtes Interesse an der natürlichen Wiederbewaldung von Windwurfflächen ausgelöst. Aus dem Alpenraum fehlen bislang Untersuchungen zu dieser Thematik. In den Diskussionen um die Wiederbewaldung der 1990 in der Schweiz entstandenen Windwurfflächen wurden vor allem Beobachtungen und Untersuchungsergebnisse aus dem Nationalpark Bayerischer Wald angeführt, welche jedoch nur teilweise auf die Verhältnisse in den Gebirgswäldern der Alpen übertragbar sind. In Bayern wurden 1983 nach einem sommerlichen Gewittersturm insgesamt 87 ha Windwurf der natürlichen Entwicklung überlassen. Bereits fünf Jahre nach dem Sturmereignis hatte sich eine reichliche und standörtlich sehr differenzierte natürliche Waldverjüngung, bestehend aus Birken, Weiden, Vogelbeerbäumen und Fichten, eingestellt (Fischer *et al.*, 1990). 1993 waren die unterdessen herangewachsenen Vorwälder bereits 3 bis 4 Meter hoch und unter ihrem Schirm haben sich immer mehr Schlusswaldbaumarten etabliert, vor allem die Fichte (Fischer, 1995¹).

Im vorliegenden Bericht werden erste Erfahrungen und Untersuchungsergebnisse aus 4 Versuchs- und 16 Beobachtungsflächen (*Abbildung 2* in Wohlgemuth *et al.*, 1995), die auf Windwürfen in den Schweizer Nordalpen angelegt wurden, zusammengefasst und erste Perspektiven der Wiederbewaldungsvorgänge dargestellt.

¹ Mündliche Mitteilung.

Das Potential und der Erfolg der Naturverjüngung an einem Punkt auf den untersuchten Windwurfflächen werden massgeblich mitbestimmt von der Samenverbreitung und -qualität, den biotischen und abiotischen standörtlichen Bedingungen von der Keimung bis zur etablierten Jungpflanze einschliesslich ihrer Mykorrhizierung, dem vor dem Windwurf bereits vorhandenen Verjüngungsvorrat und einer ergänzenden Pflanzung.

In Anlehnung an *Kuoch* und *Amiet* (1970) werden folgende Begriffe für die natürliche Verjüngung verwendet:

- Keimling*: eine Jungpflanze bis zur voll entwickelten Epikotylknospe
- Sämling*: eine 1- bis 3jährige Jungpflanze
- Höckling*: eine fussfassende, in der Vegetationsschicht lebende Baumpflanze älter als drei Jahre bis etwa 20 cm Höhe (im Kollektiv *Anwuchs*)
- Reckling*: ein etabliertes, sich über die Vegetationsschicht erhebendes Bäumchen grösser als 20 cm (im Kollektiv *Aufwuchs*)
- Ansamung*: Keimlinge und Sämlinge

2. Samenverbreitung

Mit den Untersuchungen zur Samenverbreitung auf Windwurfflächen sollen die Anzahl, Verteilung und Qualität der Samen von Waldbäumen eingeschätzt werden. Mit Hilfe von 400 Samen-Auffangbehältern (*Abbildung 1*), die in vertikal und horizontal im Hang ausgerichteten Transekten angeordnet sind, werden die Samen aufgefangen und später einem Keimtest unterzogen.

Die Unterschiede des Samenflugs zwischen den verschiedenen Versuchsorten waren in den ersten Jahren nach dem Sturmereignis verhältnismässig klein (*Tabelle 1*). Im Vollmastjahr 1992/93 wurden z. B. für drei der vier Versuchsflächen mittlere Samenmengen zwischen 2,1 und 3,0 Millionen Samen/ha berechnet. Im Bestand wurden Maximalwerte von über 20 Mio. Samen/ha gemessen. In den Jahren 1991/92 und 1993/94 lagen die Mittelwerte mit 0,11–0,57 bzw. 0,10–0,41 Mio. Samen/ha wesentlich niedriger.

Tabelle 1. Mittlere Anzahl Fichtensamen/ha (in Tausend) auf den vier Versuchsflächen. In Disentis und Zweisimmen begannen die Messungen erst 1992/93 bzw. 1993/94.

	<i>Disentis</i>	<i>Pfäfers (geräumt)</i>	<i>Schwanden</i>	<i>Zweisimmen</i>
1991/92	–	570	110	–
1992/93	3010	2790	2120	–
1993/94	100	410	240	150



Abbildung 1.
Samen-Auffangbe-
hälter in der Versuchs-
fläche Schwanden.
Handelsübliche
«Kälbertränkeimer»
wurden mit einem
verzinkten Drahtgitter
bedeckt, die Samen
werden in einem Gaze-
netz zurückgehalten.

Die ersten Ergebnisse nach drei Messjahren zeigen eine erstaunlich grosse, mit den Jahren zunehmende Artenvielfalt der aufgefangenen Samen. Der Anteil einzelner Baumarten an der gesamten jährlichen Samenproduktion eines Bestandes ist sehr unterschiedlich; so variiert z. B. der Anteil der Fichtensamen an allen aufgefangenen Samen in den drei dargestellten Jahren zwischen 25 (1991/92) und 97% (1992/93) (Tabelle 2).

Mehrfache Auszählungen des Samenfalles auf jeweils 1 m² Schneedeckenoberfläche der Beobachtungsflächen deuten oberhalb 1200 m ü. M. lokal auf eine Zwischenmast 1991/92 hin und bestätigen das Vollmastjahr 1992/93. Im folgenden Jahr sank die Samenmenge auf 0–3 pro m².

Tabelle 2. Mittlere Anzahl Samen/ha (in Tausend), nach Baumarten, auf der Windwurffläche Schwanden 1992 bis 1994.

	<i>Fichte</i>	<i>Tanne</i>	<i>Lärche</i>	<i>Buche</i>	<i>Berg- ahorn</i>	<i>Birke</i>	<i>Grün- erle</i>	<i>Weiss- erle</i>	<i>Berg- ulme</i>	<i>Esche</i>	Σ
1991/92	28	1	1	59	20	0	0	0	2	0	111
1992/93	2049	2	4	27	18	5	15	0	0	0	2120
1993/94	65	1	0	5	31	47	64	26	1	1	241

Auf allen sechs bis zu diesem Zeitpunkt ausgewerteten Beobachtungsflächen wiesen die im Randbereich der Sturmflächen stehenden Fichten 1991/92 einen Zapfenbehang auf, der einer Zwischenmast entspricht. Bei 75% der gleichen Bäume wurde im folgenden Jahr erneut eine grosse Zapfenproduktion beobachtet. Der wiederholte Zapfenbehang könnte mit sturmbedingten Beschädigungen der Bäume zusammenhängen. Aus Untersuchungen in Samenplantagen ist bekannt, dass mit künstlich hervorgerufenen Rindenverletzungen der Fruchtbehang von Bäumen gesteigert werden kann (*Rohmeder*, 1972). 54% der Bäume, die ihre Kraft in beiden aufeinanderfolgenden Jahren für die Samenproduktion einsetzten, konnten erfolgreich von Borkenkäfern befallen werden. 1993/94 wurden in der ganzen Schweiz fast ausschliesslich alte Fichtenzapfen und kaum neue Samen beobachtet.

Besonders auf grossen Windwurfflächen stellt sich die Frage, wie weit und in welcher Anzahl die Samen der Waldbäume vom Wind verfrachtet werden. *Abbildung 2* zeigt am Beispiel Schwanden die Samenverbreitung längs eines Vertikal-Transektes auf einer zwischen zwei Bestandesrändern gelegenen Windwurffläche. Im Zentrum der Fläche ist die Samenanzahl erwartungsgemäss am geringsten. Bereits in 120 Meter Entfernung vom bergseitigen Bestandesrand beträgt sie weniger als 5% der im Bestand ermittelten Werte. Besonders die hangaufwärts gerichtete Verbreitung der Samen ist stark erschwert und auf günstig wehende Winde angewiesen. Bei der Samenverbreitung durch den Wind spielen besonders die Exposition und Hangneigung der Fläche, die Windhäufigkeit und -richtung sowie die Lufttemperatur und -feuchtigkeit zum Zeitpunkt der Samenreife eine Rolle. In einigen Alpentälern beschleunigt der häufig wehende trockenwarme Föhn das Austrocknen der Zapfen und die anschliessende Verbreitung der Samen.

Die Verbreitungskurven der Samen auf den vier Versuchsflächen sind sehr ähnlich. Ein Vergleich der in *Abbildung 2* und *3* dargestellten Daten aus Schwanden zeigt aber auch, dass die hanghorizontale und -vertikale Verteilung der Samen unterschiedlich ist.

Im Vollmastjahr 1992/93 wurden z. B. auf der Windwurffläche Disentis trotz ihrer für die Schweiz ungewöhnlichen Grösse bis zu einer Entfernung von 1000 m vom nächsten Bestand noch mehr als 100 000 Fichtensamen/ha (> 10 Samen/m²) festgestellt. Bei einer Entfernung von über 400 m ist am Boden mit

etwa 5 % der im Bestand ermittelten Samenanzahl zu rechnen (*Abbildung 3*). Die weitaus meisten Samen dürften allerdings kein geeignetes Keimbett finden oder als Keimling absterben.

Aus den *Abbildungen 2* und *3* kann abgeleitet werden, dass im Zentrum kleiner bis mittelgrosser, von Wald umgebener Windwurfflächen (Durchmesser bis 200 m) noch 20 bis 40 % der im Bestand ermittelten Samenmenge den Boden auf der Freifläche erreichen. Die Samenmenge dürfte für eine ausreichende Verjüngung im Normalfall gross genug sein, sind doch 94 % aller 1990 in der Schweiz entstandenen Windwurfflächen kleiner als 2,6 ha, was 59 % der gesamten Schadenfläche entspricht (*Scherrer, 1993*). Aus den Untersuchungen von *Veltsistas (1980)*, *Hesselman (1939)* und *Kuoch (1965)* auf unterschiedlich gestalteten Freiflächen ist zu schliessen, dass die Anzahl der Fichtensamen in 50 bis 100 m Entfernung vom nächsten Bestandesrand höchstens 50 % des Maximalwertes im Waldbestand beträgt. Einzelne Samen können jedoch Flugweiten von mehreren 100 Metern zurücklegen, so dass die Wiederbewaldung auch grösserer Flächen – mindestens im flacheren Terrain – längerfristig auch mit Fichte gesichert erscheint (*Rubner 1934, Hesselman 1939, Kohlermann 1950*).

Das Keimprozent der Fichtensamen auf den Transekten der Versuchsfelder ist sehr unterschiedlich. Es ist vorerst keine Beziehung zur Entfernung zum nächsten Bestandesrand erkennbar, wie sie *Hesselman (1939)* beschreibt. In dessen Untersuchung steigt der Hohlkornanteil mit zunehmender Entfernung vom Bestandesrand markant an. Auf den vier Versuchsfelder betrug

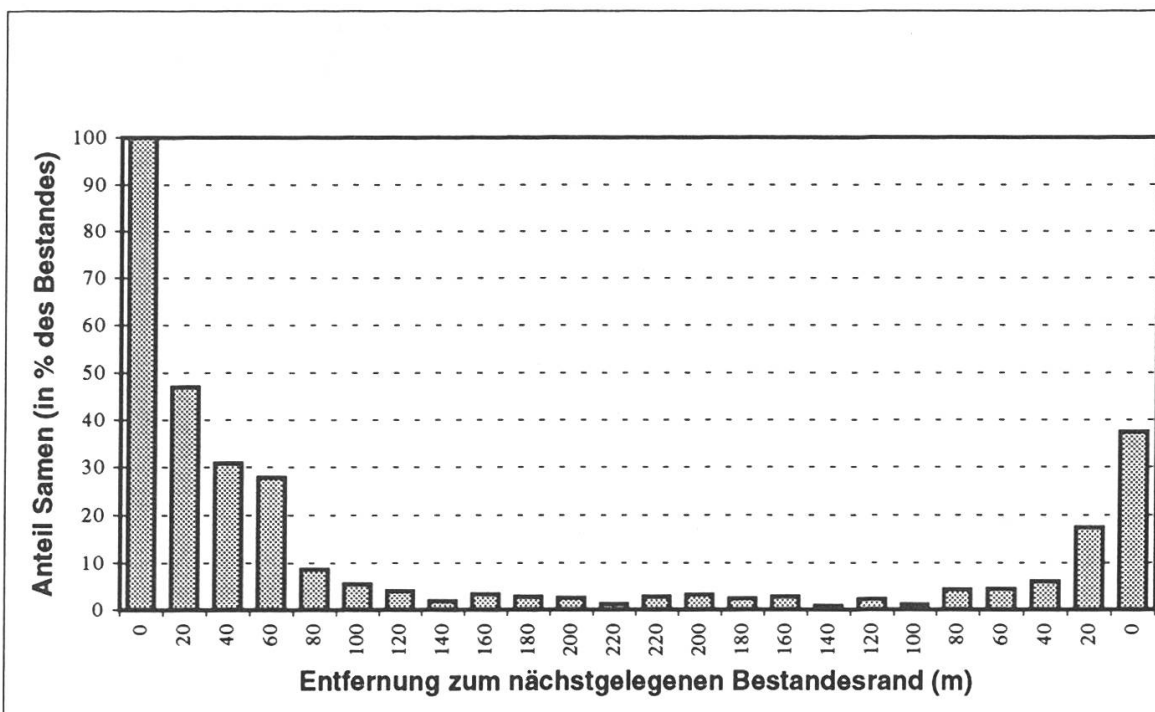


Abbildung 2. Verteilung von Fichtensamen zwischen zwei Bestandesrändern auf dem vertikal im Hang angelegten Transekt der Windwurffläche Schwanden (1992/93). (Links = bergseits, rechts = talseits; der Wert von 100% am bergseitigen Bestandesrand entspricht 26,7 Mio. Samen/ha).

das Keimprozent 1992/93 zwischen 29 und 47 %. Auf den ausgewerteten Beobachtungsflächen lagen die Keimprozent 1991/92 und 1992/93 zwischen 43 und 58 %, was etwa den Ergebnissen von *Kuoch* (1965) entspricht. Es lassen sich noch keine gesicherten Abhängigkeiten des Keimprozentes z. B. von Exposition oder Höhenlage erkennen.

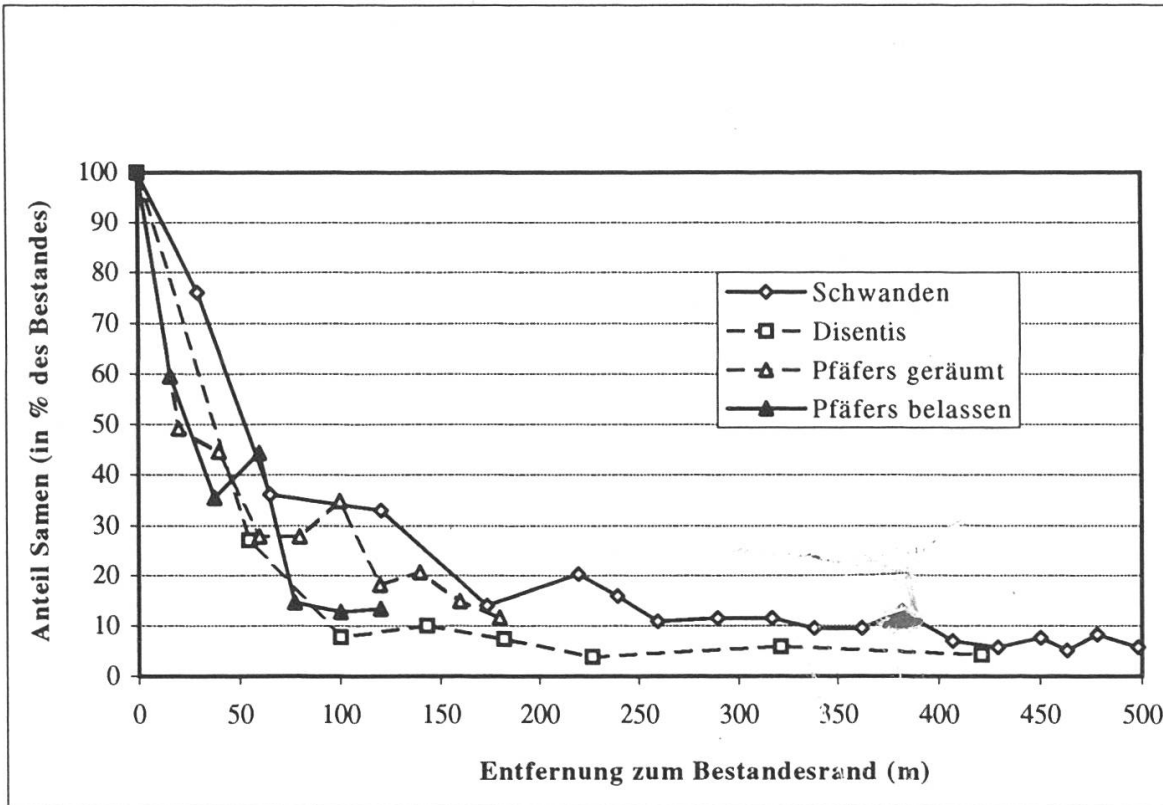


Abbildung 3. Verbreitung von Fichtensamen auf horizontal im Hang angelegten Transekten der Windwurfflächen Disentis, Schwanden und Pfäfers.

3. Verjüngung

Auf den vier Versuchsflächen wurde auf 241 Dauerquadraten (gesamt 26 Standortstypen mit 4 bis 15maliger Wiederholung) die Naturverjüngung aller Baumarten während 3 bis 4 Jahren registriert (*Wohlgemuth et al.*, 1995). Vergleichbare Beobachtungen wurden auf 875 Dauerkreisen der 16 Beobachtungsflächen (16 Pflanzengesellschaften in ein- bis neunfacher Wiederholung) durchgeführt.

3.1 Ansamlungsphase

a) Artenzusammensetzung

Die Artenzusammensetzung der Keimlinge und Sämlinge ist auf den einzelnen Versuchs- und Beobachtungsflächen sehr unterschiedlich (*Abbildung 4*).

Fast allen Flächen ist eine hohe Anzahl von Fichtenpflanzen eigen. In Pfäfers verjüngt sich der Bergahorn in der Nähe von Mutterbäumen besonders gut, in Zweisimmen und in Disentis der Vogelbeerbaum. In Zavrugia verjüngt sich nur die Fichte, da andere samenproduzierende Baumarten in der nächsten Umgebung fehlen. Die zahlenmässig sehr geringe Verjüngung auf der Versuchsfläche Risigässli ist auf die üppige Hochstaudenflur, auf den starken Wilddruck (Wildasyl) und die zeitweise Beweidung zurückzuführen. Die umfangreiche Verjüngung in Selun wurde durch die guten Lichtverhältnisse des vorgelichteten Altbestandes begünstigt. Neben der Ansamung und dem Anwuchs trägt dort auch der Verjüngungsvorrat zur hohen Individuenzahl bei. Am meisten Keimlinge und Sämlinge wurden auf der Beobachtungsfläche Schweiben festgestellt. Diese Windwurffläche ist klein. Vom angrenzenden baumartenreichen Altbestand sind Samen aller Art in grosser Zahl vorhanden. Die gute Wasserversorgung des Bodens, die Exposition (Besonnung), die längere Dauer der Vegetationszeit und die Seenähe (mildes Klima) begünsti-

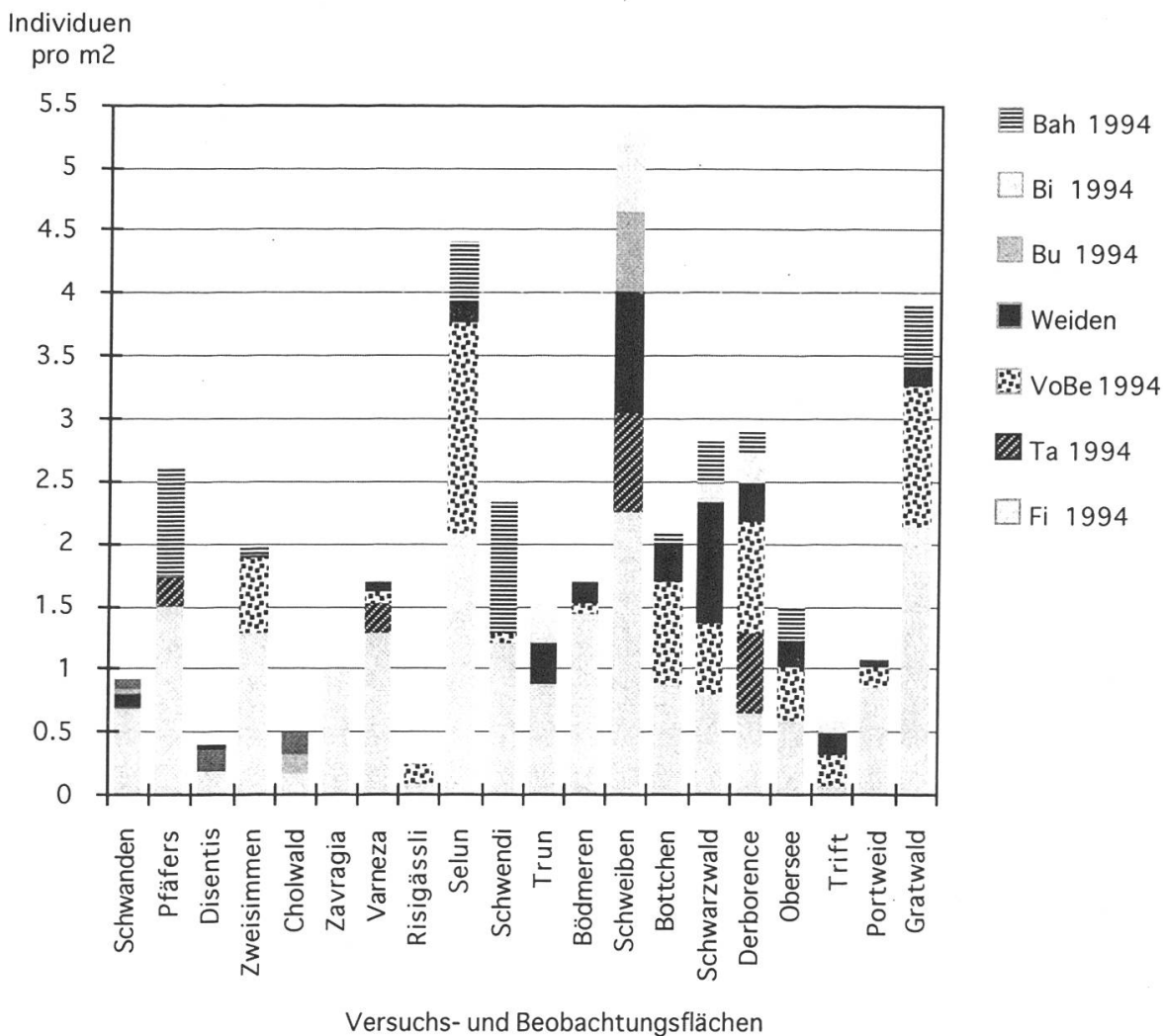


Abbildung 4. Artenspektrum der häufigsten an der Verjüngung beteiligten Baumarten 1994 auf allen Versuchsflächen (Individuenzahl/m²).

gen die Verjüngung zusätzlich. In einzelnen Versuchsflächen beeinträchtigten auch Erosionserscheinungen infolge starker Niederschläge und Wildverbiss örtlich die Ansamung und den Anwuchs.

Die Artenzusammensetzung der Keimlinge und Sämlinge widerspiegelt in der Regel die Waldstandorte und Waldgesellschaften; sie wird aber von der z.T. stark vom Menschen geprägten Artenzusammensetzung des umgebenden Bestandes beeinflusst. Die grosse Häufigkeit der Fichte in der Ansamung und im Anwuchs kann mit der Dominanz der Fichte in den Nachbarbeständen fast aller Versuchs- und Beobachtungsflächen erklärt werden. Die Fichte wird daher bei der Wiederbewaldung der meisten Flächen eine entscheidende Rolle spielen. Abgeschwächt kann in der Buchen-Tannenwaldstufe vom Bergahorn, welcher drei- bis viermal pro Jahrzehnt mässig bis viel Samen produziert (Rohmeder, 1972), und in der Fichtenwaldstufe vom Vogelbeerbaum eine ähnliche Rolle übernommen werden.

Die auf den Dauerquadraten der Versuchsflächen erfassten Keimlingszahlen wiesen 1993 eindeutige Höchstwerte gegenüber anderen Jahren auf (Abbildung 5). Dies ist auf das ausgeprägte Fichtensamenjahr 1992/1993 zurückzuführen (Kapitel 2). Lediglich in Disentis führte das Samenjahr kaum zu nennenswerten Keimlingszahlen, liegen doch die Dauerquadrate von den nächstmöglichen Samenbäumen mehrere hundert Meter entfernt.

**Fichten-Keimlinge auf Versuchsflächen
(mittlere Anzahl pro Dauerquadrat)**

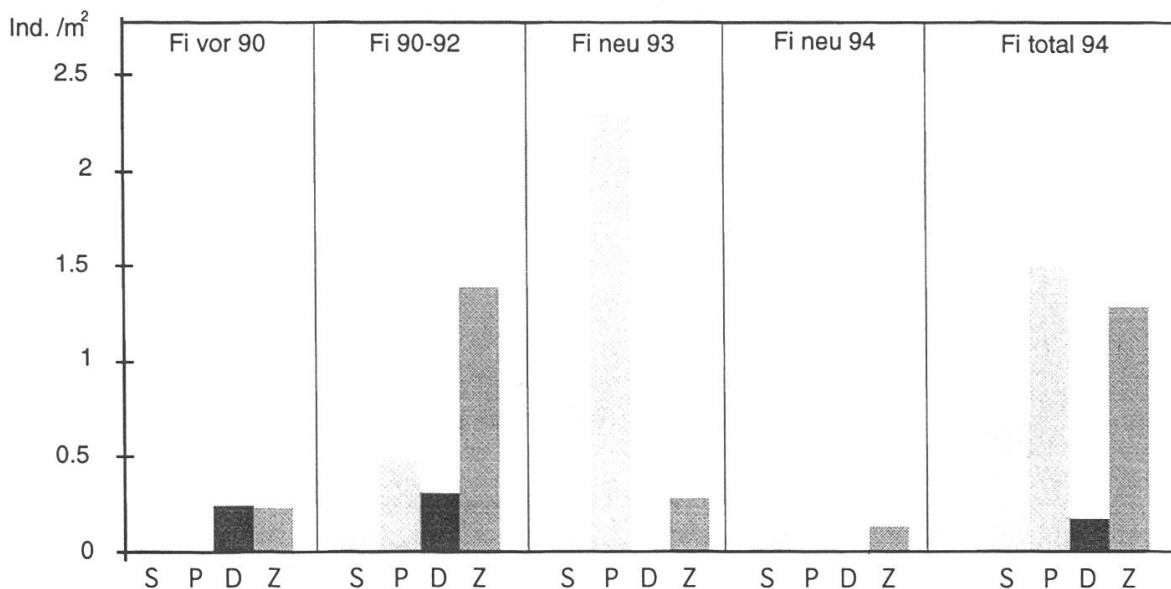


Abbildung 5. Zeitliche Entwicklung der Fichtenansamung auf den Dauerquadraten aller Versuchsflächen. S: Schwanden, P: Pfäfers, D: Disentis, Z: Zweismimmen.

b) *Quantität und Qualität der Vegetationsdecke bei der Keimung*

Aus *Abbildung 6* wird ersichtlich, dass sich Flächen mit wenig Vegetationsbedeckung für die Ansamung von Baumarten besonders eignen. Es sind vornehmlich Baumarten mit mittlerer bis starker Samenproduktion und geeigneten Verbreitungsmöglichkeiten, allen voran Fichte, Bergahorn und Salweide, die solche Stellen am schnellsten besetzen. Eine lückenlose Vegetationsdecke behindert die Naturverjüngung stark. Das Beispiel Zweisimmen scheint mit dieser Erklärung in Widerspruch zu stehen, da in einem Fall ein hoher Verjüngungswert einer Gesamtdeckung von praktisch 100% entspricht. Der betreffende Deckungswert wird jedoch zu über 80% von Moosen gebildet. Nach dem Windwurf erhalten gebliebene, nicht zu stark besonnte Moospolster eignen sich ebenfalls für die Ansamung, vor allem von Fichten.

Nach den bisherigen Untersuchungen auf den Versuchsflächen sind zusammenfassend zwei Fälle günstiger Ansamungsverhältnisse hervorzuheben (*Abbildung 6*):

1. Nur lückig mit Vegetation bedeckte Flächen: solche Verhältnisse überwiegen auf durch Sturm oder Räumung verletzten, kurzfristig vegetationsfreien Stellen, andererseits auf ursprünglich nur lückig mit Vegetation bedeckten Stellen.
2. Vorwiegend mit Moos bedeckte Flächen: hier handelt es sich um unbeschädigte, von Moosen dominierte Standorte, welche gute Bedingungen (geringe Austrocknungsgefahr) für die Keimung der Fichtensamen liefern.

c) *Ansamung und Abstand zum nächsten Samenbaum*

Günstige Stellen für eine Ansamung können nur dann optimal genutzt werden, wenn genügend Samen an diesen Ort gelangen. Dies wird besonders in Disentis deutlich (Kapitel 2). In den Jahren 1993 und 1994 wurden keine

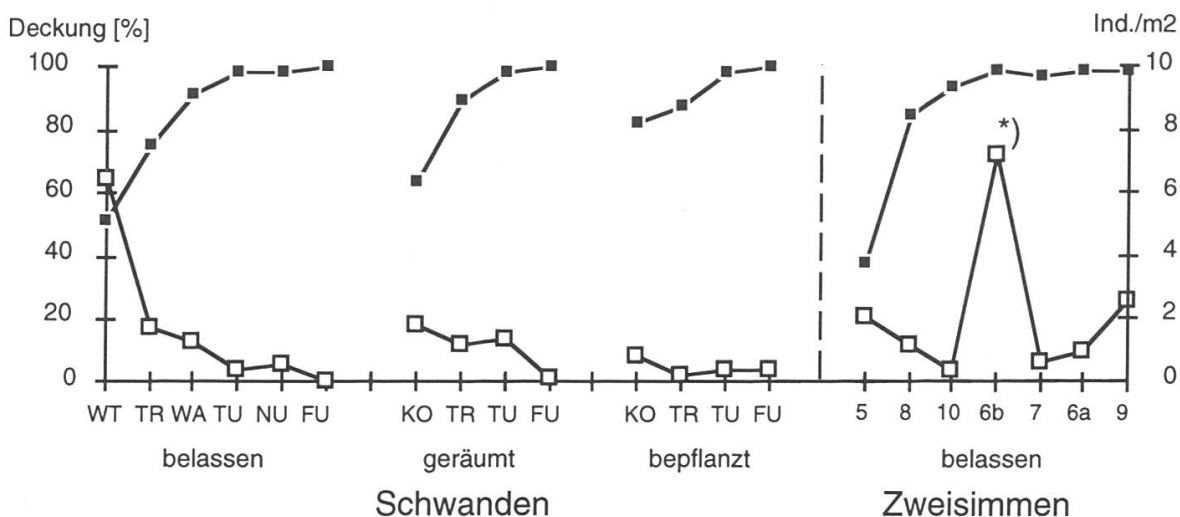


Abbildung 6. Mittlere Bodenbedeckung der Vegetation (obere Kurven) und Anzahl verjüngter Baumindividuen (untere Kurven) für die Standortstypen von Schwanden und Zweisimmen im Sommer 1993. Im mit *) bezeichneten Standort besteht die Vegetationsdecke zu 80% aus Moosen.

neuen Sämlinge auf den Dauerquadraten gefunden. Die vorhandene Verjüngung stammt aus der Zeit vor 1993.

Eine intensive Ansamung (Fichte und Ahorn) fand in Pfäfers, besonders in der geräumten Fläche, statt. Innerhalb der Windwurffläche beträgt dort der Maximalabstand zum nächsten Samenbaum (Fichte oder Ahorn) weniger als 100 m. Ähnliche Verhältnisse herrschen auf der belassenen Teilfläche in Schwanden, wo der Maximalabstand von den Wurzeltellern mit reichlicher Ansamung zur nächsten fruktifizierenden Fichte weniger als 100 m beträgt. Auf den lückig besiedelten Kolluvialstandorten (KO) und Trockenstandorten (TR) der geräumten Flächen mit guten Ansamungsbedingungen wurde noch keine umfangreiche Verjüngung festgestellt. Der Abstand jener Flächen zum Waldrand beträgt überall mehr als 100 m.

3.2 Anwuchsphase

Der mittelfristige Erfolg des Anwuchses hängt von den ökologischen Bedingungen ab, die am Standort herrschen. Wie aus *Abbildung 5* hervorgeht, sind die Sämlinge aus früheren Jahren im Jahre 1994 zu mehr als 50% noch erhalten geblieben (Disentis ausgenommen). Auf den Beobachtungsflächen dagegen hat von 374 einmal registrierten Keimlingen oder Sämlingen 1994 nur ein Drittel überlebt. 1994 kamen dort 140 Sämlinge neu dazu. Der üppige Wuchs der Staudenschicht nach einem Windwurf dürfte besonders den Anwuchs der Naturverjüngung stark behindern (Verknappung des Lichtangebotes). Demgegenüber wurde beobachtet, dass massenhaft auftretende, blätterfressende Insekten (z. B. Prachtkäfer) das Lichtangebot besonders im Spätsommer wieder verbessern können. Örtliche Erosion oder Wildverbiss und mechanische Beschädigungen durch herabfallendes Material oder Tritt beeinträchtigen die Ansamung ebenfalls stark.

In den abgelegeneren und damit ungestörteren Beobachtungsflächen ist der Einfluss des Schalenwildes auf den An- und Aufwuchs gross. Die Vegetation ist mit Ausnahme der am dichtesten mit Holz versperrten Flächenteile, in denen kaum Wildwechsel bestehen, stark verbissen. Auf 12 speziell für die Beobachtung der Keimlingsentwicklung angelegten Kleinflächen wurden die Keimlinge zusammen mit den krautigen Pflanzen stark verbissen. Dort wurde beobachtet, dass sich Sämlinge und Keimlinge offensichtlich nicht mehr erholen können, wenn sie abgeäst wurden. Die exakte Quantifizierung des Keimlingsverbisses ist schwierig.

3.3 Aufwuchsphase

Zur Erfassung des Aufwuchses (Recklinge > 20 cm) wurden in den Versuchsflächen in jeder Variante 25 permanente Stichproben zu je 50 m² im Abstand von 20 m angelegt, womit 12,5% der Gesamtfläche erfasst werden.

Interpretiert man den 1992 erfassten Aufwuchs als Vorrat aus der Zeit vor dem Windwurf, so muss dieser überall als zahlenmässig gering eingestuft werden. Im Mittel über alle Flächen, Räumungsvarianten und Gehölzarten betrug er nur 224 Recklinge/ha (*Tabelle 3*). Diese kleine Zahl ist kein guter Grundstock für eine rasche Wiederbewaldung, welche im wesentlichen durch Neubesiedlung aus Ansamung erfolgen muss.

Tabelle 3. Entwicklung des natürlichen Aufwuchses 1992 bis 1994 in den Versuchsflächen, nach Wiederbewaldungsvarianten, Anzahl vorhandene Recklinge/ha, Summe aller Baumarten, k.A. = keine Aufnahme.

	<i>Disentis</i>			<i>Pfäfers</i>			<i>Schwanden</i>			<i>Zwei-</i> <i>simmen</i>	<i>Mittel</i>
	<i>belassen</i>	<i>geräumt</i>	<i>bepflanzt</i>	<i>belassen</i>	<i>geräumt</i>	<i>bepflanzt</i>	<i>belassen</i>	<i>geräumt</i>	<i>bepflanzt</i>	<i>belassen</i>	
1992	56	470	390	119	138	21	199	77	482	239	224
1993	144	550	629	199	651	293	557	169	811	701	475
1994	k.A.	k.A.	k.A.	255	1171	576	668	246	1018	1171	–

Nach Versuchsorten war die Aufwuchsdichte 1993 recht unterschiedlich: in Zweisimmen mit 701 Recklingen/ha am dichtesten, gefolgt von Schwanden (511), Disentis (440) und Pfäfers (392).

Die Unterschiede in der Recklingsanzahl zwischen den Räumungsvarianten waren in allen Versuchsflächen sehr gross (*Tabelle 3*). Die Unterschiede zwischen den Varianten geräumt und bepflanzt können nicht auf der Behandlung beruhen, sondern sind nur aus der Vorgeschichte, aus Standortunterschieden und der zufälligen Nähe von Mutterbäumen erklärbar. Es ist nicht ersichtlich, dass der Verjüngungsvorrat durch die Räumung wesentlich zerstört wurde oder dass sich andererseits die Bodenverletzungen durch die Räumungsarbeiten schon nach drei Jahren günstig auf die Aufwuchsdichte auswirkten.

Die Verjüngungsdynamik ist in allen Versuchsflächen beträchtlich. Im Mittel über alle Flächen, Räumungsvarianten und Baumarten steigerte sich der Aufwuchsvorrat von 1992 bis 1993 von 224 auf 475 Recklinge/ha um mehr als das Doppelte (*Tabelle 3*). Dieser Trend hielt auch 1994 noch an. Vogelbeerbaum, Bergahorn und Weidenarten haben am meisten zugenommen.

Insgesamt wurden bei der Aufnahme 1993 14 Baumarten in der Aufwuchsphase festgestellt: Bergahorn, Vogelbeerbaum, Fichte, Weidenarten, Tanne, Lärche, Weisserle, Buche, Haselnuss, Birke, Esche, Alpenerle, Alpenkreuzdorn, Stieleiche (*Tabelle 4*). Der Vogelbeerbaum ist in den meisten Versuchsflächen die häufigste Recklingsart. In nennenswerter Anzahl kommen dazu noch Fichte, Bergahorn und Weidenarten sowie unter den Straucharten sehr viel Traubenholunder vor. Die übrigen Arten sind bisher selten, überraschenderweise auch die Birke. In Disentis und Zweisimmen sind nur wenige Arten

an der Wiederbewaldung beteiligt, in Schwanden und Pfäfers ist das Artenspektrum grösser.

Tabelle 4. Natürlicher Aufwuchs 1993 nach Versuchsflächen und Baumarten. Anzahl Recklinge (= Bäumchen > 20 cm)/ha.

	<i>Berg- ahorn</i>	<i>Birke</i>	<i>Buche</i>	<i>Esche</i>	<i>Fichte</i>	<i>Lärche</i>	<i>Tanne</i>	<i>Vogel- beerbaum</i>	<i>Erle</i>	<i>Weiden</i>	<i>Übrige</i>	<i>Summe</i>
Disentis	3	13	0	0	143	0	0	212	0	45	5	421
Pfäfers	199	3	0	0	60	43	9	54	14	9	3	394
Schwanden	70	16	13	21	36	0	0	199	31	103	23	512
Zweisimmen	16	0	0	0	159	0	0	446	0	64	16	701

Die Recklinge sind in Abhängigkeit vom Standort sehr ungleichmässig in den Windwurfflächen verteilt. Von den Stichproben in den Versuchsflächen wiesen 1993 42% überhaupt keinen Aufwuchs auf. In den meisten Windwurfflächen finden sich kleinere Verjüngungsgruppen aus dem Vorbestand, die von der Freistellung profitieren und prägende Elemente der Wiederbewaldung werden dürften.

Ältere und tiefergelegene Windwurfflächen, z. B. in den Kantonen Appenzell und Schwyz, geben Hinweise auf eine sehr schnelle Verjüngungsdynamik in Kahlflächen. Schon sechs Jahre nach einem Windwurf war die Wiederbewaldung mit einer reichen Artengarnitur von vorwiegend Laubhölzern weit fortgeschritten. Die Schlagvegetation mit viel Himbeere und Brombeere hat dort die Wiederbewaldung nicht verhindert. Eine positive Beurteilung des natürlichen Wiederbewaldungspotentials brachten auch Untersuchungen von älteren, natürlich eingewachsenen Windwurfflächen in Südwestdeutschland (*Schölch et al.*, 1994). In hohen Lagen braucht die Wiederbewaldung hingegen viel länger, wie das Beispiel der Brandfläche Müstair auf über 2000 m ü. M. zeigt. Dort hat sich die Naturverjüngung nach elf Jahren noch kaum in aspektbestimmender Anzahl und Grösse eingestellt.

Bisher gab es beim natürlichen Aufwuchs praktisch keine Ausfälle. Auch die Schäden waren, abgesehen vom Verbiss durch Schalenwild, gering. Zur künftigen Quantifizierung der Verbissbelastung wurden auf den 4 Versuchsflächen insgesamt 9 Kontrollzäune mit ungezäunten Vergleichsflächen angelegt. Während der Verbiss an der Naturverjüngung in Disentis und Zweisimmen unbedeutend war, wurden in Schwanden und in Pfäfers die Bergahorne, Tannen, Vogelbeerbäume, Eschen und Weiden sehr häufig und stark verbissen, was die Zusammensetzung des künftigen Bestandes beeinflussen wird. In den Teilflächen mit liegendem Holz werden die zugänglichen Stellen vom Schalenwild häufig begangen und gern als Deckung genutzt, wie es auch von *Hetzel und Reif* (1995) für belassene Windwurfflächen in Baden-Württemberg beschrieben wird. Es gibt jedoch auch schlecht zugängliche Stellen, an denen die Verjüngung vor Verbiss etwas geschützt ist. In manchen Beobachtungs-

flächen hat der vorher starke Verbiss 1994 unvermutet abgenommen. Die Frage bleibt offen, ob durch die Zunahme von Himbeeren und Hochstauden undurchdringliche Zonen entstanden sind und ob das bessere Äsungsangebot eine Entlastung für die Jungbäume bringt.

3.4 Pflanzung in den Varianten «bepflanzt»

Im Frühjahr 1993 wurden in Disentis, Pfäfers und Schwanden die Varianten «bepflanzt» mit bis zu neun Baumarten aufgeforstet. Die Nadelbaumarten wurden eher rottenartig, die Laubbaumarten einzeln, nicht mit anderen Baumarten gemischt und in kleineren Flächen gesetzt. Die Bepflanzung hat bisher ein Mehrfaches des natürlichen Aufwuchses zur Wiederbewaldung beigetragen, obwohl die Pflanzdichte nur gering war: in Disentis rund 1800, in Pfäfers 2640, in Schwanden 2370 Bäume/ha (Hochrechnung aufgrund der Stichproben). Es wird voraussichtlich noch einige Jahre dauern, bis die Naturverjüngung die Pflanzung zahlenmässig übertrifft.

Die bepflanzte Fläche in Pfäfers wurde teilweise eingezäunt, in Schwanden wurden verschiedene Einzelschutzmassnahmen (Schafwolle, Seife, Knospenschutz durch Plastikmanschetten, Sommer- und Winterschutz mit chemischen Verbisschutzmitteln) getroffen. Der Erfolg hielt sich aus unterschiedlichen Gründen in Grenzen. Die gepflanzten Tannen sind grösstenteils dem Verbiss zum Opfer gefallen oder vertrocknet. Ein direkter Vergleich zwischen natürlichen und gepflanzten Bäumchen ist beim Bergahorn möglich: Die Terminaltriebe waren bei gepflanzten Bäumchen in Pfäfers zu 59% bzw. in Schwanden zu 67% verbissen, bei natürlichem Aufwuchs nur zu 14 bzw. 17%. Daneben schädigten Rötelmäuse häufig Tannen durch Rinden- und Triebfrass.

Neben den Verbisschäden entstanden in Disentis Nageschäden an der Rinde von gepflanzten Fichten, verursacht vom Schwarzen Fichtenbastkäfer (*Hylastes cunicularius* Er.) und vom Grossen Braunen Rüsselkäfer (*Hylobius abietis* L.). Wie stark die Schlagflora die Pflanzungen beeinträchtigen wird und möglicherweise eine Pflege notwendig macht, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht beurteilt werden.

4. Entwicklung der Mykorrhiza auf Windwurfflächen

Am Beispiel der geräumten Variante in der Versuchsfläche Schwanden wird untersucht, wie sich ein Windwurf auf die Mykorrhiza auswirkt, das heisst, wie lange Mykorrhizapilze nach Elimination ihrer Wirtsbäume im Boden infektiös bleiben und ob sich eventuelle Veränderungen in der Mykorrhizadiversität auf das Sämlingswachstum auswirken.

Zu diesem Zweck werden jährlich auf Substrat aus der geräumten Teilfläche mit Naturverjüngung und aus einer Kontrollfläche im angrenzenden Wald Saatversuche mit Fichtensamen durchgeführt. Nach fünf Monaten Wachstum im Gewächshaus werden die während dieser Zeit gebildeten Mykorrhizen ausgewertet.

Die bisherigen Resultate aus den Jahren 1992 bis 1994 zeigen, dass sich die Mykorrhizaverhältnisse seit dem Windwurfereignis im Vergleich zum Bestand nicht wesentlich verändert haben. In allen drei Versuchsjahren waren die Wurzeln vollständig von Mykorrhizapilzen besiedelt; das Mykorrhiza-Infektionspotential hat sich also nicht verringert. Auch die Mykorrhizadiversität hat sich in den drei Jahren nicht verändert; allfällige Schwankungen von Jahr zu Jahr verliefen in den beiden Flächen parallel.

Im Sämlingswachstum sind zwischen der Windwurffläche und dem Bestand grosse Unterschiede festzustellen. In allen drei Jahren sind Fichtensämlinge auf Substrat aus der Windwurffläche signifikant schwächer gewachsen als Sämlinge auf Substrat aus dem Bestand.

Tabelle 5. Mykorrhizadiversität und Wachstum von Fichtensämlingen auf der Windwurffläche Schwanden, 1992 bis 1994.

<i>Jahr</i>	<i>Anzahl Morphotypen</i>		<i>Sprossbiomasse (mg Trockengewicht/Pflanze)</i>	
	<i>Windwurffläche</i>	<i>Bestand</i>	<i>Windwurffläche</i>	<i>Bestand</i>
1992	3	3	22,0 ^{a)}	36,0
1993	7	6	18,3 ^{a)}	36,7
1994	5	5	18,8 ^{a)}	46,2

a) Die gemittelten Werte aus der Windwurffläche sind alle signifikant kleiner als die entsprechenden Werte aus dem Bestand ($p < 0,001$; $n = 10$).

Für die Mykorrhizierung ergeben sich folgende vorläufige Folgerungen: auch vier Jahre nach dem Windwurf scheinen die Bedingungen für eine Mykorrhizierung der aufkommenden Verjüngung noch immer intakt zu sein. Die Mykorrhizaflora hat sich in dieser Zeitspanne noch nicht wesentlich verändert, weder in der Diversität noch im Infektionspotential. Es lässt sich folglich kein Zusammenhang zwischen dem Sämlingswachstum und den Mykorrhizaverhältnissen ableiten. Die Unterschiede im Wachstum der Sämlinge zwischen Windwurffläche und Bestand scheinen auf andere Faktoren zurückzuführen zu sein.

Die Resultate bestätigen die Hypothese, dass Myzelien von Mykorrhizapilzen nach der Elimination ihrer Wirtsbäume noch während einer begrenzten Zeitdauer im Boden lebensfähig bleiben können. Sie scheinen sich dabei von Reservestoffen der Wurzelstöcke zu ernähren.

5. Folgerungen

Aufgrund der grossen Vielfalt bezüglich Verjüngungsvorrat, Samenangebot, Standortbedingungen, Witterung sowie Schäden verlaufen die Wiederbewaldungsprozesse in den 20 Versuchs- und Beobachtungsflächen sehr unterschiedlich. Gemeinsam ist ihnen jedoch, dass selbst auf grösseren Windwurfflächen im Gebirge neben verschiedenen Laubbaumarten wie Vogelbeerbaum, Bergahorn, Birke, Weidenarten und Erle auch die auf den meisten Standorten heimische Fichte beteiligt ist. Auf Flächen bis zu etwa drei Hektar Grösse dürfte sie die häufigste Baumart sein. Obwohl die Daten noch nicht sehr umfangreich sind, macht es den Anschein, dass – bei gleicher Meereshöhe – mit der Grösse einer Windwurffläche auch der Anteil der leichtsamigen Weichlaubholzarten und der durch Vögel verbreiteten Baumarten, wie z. B. dem Vogelbeerbaum, zunimmt.

Der Vogelbeerbaum spielt bei der Wiederbewaldung grosser Freiflächen in den Alpen eine besondere Rolle. Die Häufigkeit dieser Baumart lässt erwarten, dass sie an vielen Orten wesentlicher Bestandteil eines Vorwaldes sein wird. Unter dem Schirm werden sich die Schlusswaldbaumarten geschützter entwickeln können, wenn der Verbiss durch Schalenwild nicht zu umfangreich ist. Die Bedeutung von Birke und Salweide kann zur Zeit noch nicht abgeschätzt werden. Beide Baumarten keimen bevorzugt auf Mineralerde, die nach einem Windwurfereignis in grossem Umfang vorhanden ist. Diese Standorte werden jedoch schnell durch Stauden und Sträucher besiedelt und sind wenige Jahre nach einem Windwurf kaum mehr für die Samen dieser Baumarten verfügbar.

Standorte mit lückiger oder moosreicher Vegetation sind im Hinblick auf eine erfolgreiche Wiederbewaldung besonders erfolgversprechend. Diese entstehen durch den Windwurf entweder vorwiegend in der Nähe aufgeklappter Wurzelteller oder auf den Schleifbahnen nach der Holzräumung, wenn sie nicht schon vor dem Windwurf vorhanden waren.

Die bisherigen Beobachtungs- und Messreihen sind noch zu kurz, um das Verjüngungspotential abschliessend zu beurteilen. Der starke Schalenwildverbiss und der hohe Aufwand an Verbisschutzmassnahmen an den gesetzten Pflanzen spricht für eine zurückhaltende Durchführung von Pflanzungen auf geräumten Windwurfflächen. Der erhoffte Zeitgewinn durch die Verwendung von mehrjährigen Pflanzen wird zu einem grossen Teil durch den Verbiss des Schalenwildes wieder zunichte gemacht.

Letztlich hängt der Erfolg der ersten Wiederbewaldungsphase von einer günstigen Kombination verjüngungsfreudiger Standorte, einem vorhandenen Verjüngungsvorrat, der Grösse der geworfenen Fläche, dem Eintritt eines guten Samenjahres, dem Konkurrenzeinfluss anderer Pflanzen, dem Vorhandensein von nahegelegenen Samenbäumen und Mykorrhizapilzen sowie von der Intensität des Schalenwildverbisses ab.

Um über die Wiederbewaldungsprozesse wirklich Verlässliches aussagen zu können, müssen wir wegen der unterschiedlichen Standortbedingungen der einzelnen Flächen längere Zeiträume untersuchen. Die vorliegenden Jungwuchszahlen und Trends sind eine Grundlage, auf der wir später die Verjüngungsdynamik über einen längeren Zeitraum beurteilen können.

Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden erste Erfahrungen und Untersuchungsergebnisse zur Wiederbewaldung von insgesamt 20 Windwurfflächen der Schweizer Nordalpen zusammengefasst.

Die Artenvielfalt der auf die Windwurfflächen gelangenden Samen von Waldbäumen ist gross. Die Samen der Fichte sind am häufigsten. Ihre Anzahl nimmt mit zunehmendem Abstand zum nächstgelegenen Bestandesrand schnell ab. In 200 m Entfernung beträgt sie etwa 10%, in 400 m 5% des Bestandeswertes, der in einem guten Samenjahr bei über 20 Millionen Samen/ha liegen kann. In schlechten Samenjahren ist auf grösseren Freiflächen nicht mit genügend Samen zu rechnen.

Fast überall ist der Fichtenanteil an der Ansamung und am Anwuchs gross. Das Fichtensamenjahr 1992/93 führte auf kleineren Windwurfflächen zu umfangreichen Keimlingszahlen, auf grösseren von Samenbäumen weit entfernten Flächen hingegen nicht. Bis zu zwei Drittel der Ansamung und des Anwuchses können in einem Jahr ausfallen. Etablierung und Wachstum der jungen Bäumchen wird durch lückenlose und hohe Vegetation sowie durch Schalenwildverbiss massiv behindert.

Der Verjüngungsvorrat aus dem Vorbestand (Aufwuchs) ist sehr spärlich und bietet keine ausreichende Grundlage für die Wiederbewaldung. Trotz der hohen Ausfälle nimmt der Aufwuchs mit jedem Jahr stark zu und lässt eine grosse Dynamik erkennen. In den tiefergelegenen Flächen ist der Aufwuchs artenreich. Verbiss durch Schalenwild ist auch hier die grösste Gefährdung.

Die Bepflanzung hat in den entsprechenden Flächenvarianten bisher ein Mehrfaches des natürlichen Aufwuchses zur Wiederbewaldung beigetragen, obwohl nur in geringer Dichte und nicht flächendeckend gepflanzt wurde. Tanne, Bergahorn und Vogelbeerbaum wurden stark verbissen.

Mykorrhizapilze sind vier Jahre nach einem Windwurf noch in ausreichendem Masse im Boden vorhanden und gewährleisten eine ausreichende Mykorrhizabildung an Sämlingen.

Die Aussichten für eine natürliche Wiederbewaldung auf den untersuchten Windwurfflächen werden als günstig beurteilt. Mittel- bis langfristig wird mit der Entwicklung baumartenreicher, vielseitig strukturierter Gebirgswaldbestände gerechnet.

Résumé

Le début des reboisements de chablis

Le présent rapport résume les premiers résultats et expériences de la recherche concernant le reboisement de 20 chablis suivis au nord des Alpes suisses.

Une grande diversité de semences d'arbres forestiers s'est déposée dans ces chablis. Les semences d'épicéas sont les plus abondantes. Ces quantités diminuent à la mesure de l'éloignement de la lisière de la forêt. Alors que les bonnes années de semences rapportent plus de 20 millions de graines par ha, il n'en reste que 10 % à 200 m de la lisière, voire 5 % à 400 m. On estime que durant les années moins propices, ces quantités seront insuffisantes sur les grandes aires dégagées.

La proportion d'épicéas en phase de semis non établis est élevée presque partout. Après l'année de semences d'épicéas 1992/93, de nombreuses plantules se sont implantées dans les chablis peu étendus, ce qui n'a pas été le cas dans les autres, plus larges. Les semis non établis peuvent compter jusqu'à deux tiers d'échecs en une année. La présence d'une haute végétation continue ainsi que l'abrutissement du gibier ongulé entravent sérieusement la croissance des jeunes arbres.

Le nombre de plants issus du peuplement préexistant (semis établis) n'est que faible et insuffisant pour assurer le reboisement. Il n'empêche que l'importance de l'augmentation annuelle révèle une forte dynamique de la régénération. En basse altitude, les semis établis sont riches en espèces. Mais là aussi, la dent du gibier ongulé les met sérieusement en péril.

Le reboisement artificiel effectué dans certaines surfaces a beaucoup plus largement contribué au repeuplement que les semis naturels, même si ces reboisements n'étaient que de faible densité et ne recouvraient pas intégralement le chablis. Sapins, érables sycomores et sorbiers des oiseleurs ont été gravement abroutis.

Quatre ans après la tempête, les champignons mycorhiziens sont encore largement répandus dans le sol et leur présence garantit aux semis une mycorhization suffisante.

Le reboisement naturel des chablis observés a bien des chances de réussir et il est probable qu'à moyen ou à long terme, on verra s'y développer des forêts de montagne riches en espèces ligneuses et dotées de structures variées.

Traduction: *Monique Dousse*

Summary

Beginning of reforestation of windthrow areas

This report summarizes preliminary experiences and results of reforestation studies in 20 windthrow areas in the subalpine zone of the Northern Swiss Alps.

High species diversity was found in tree seeds arriving on the windthrow areas. Seeds of Norway spruce were the most frequent. Seed quantity decreased rapidly with increasing distance from the nearest stand. Seed-fall decreased by 90% at 200 m and

by 95 % at 400 m from the nearest stand compared to seed-fall within the stand. In a mast year with seed densities of up to 20 million seeds per hectare this may be sufficient for successful colonization of windthrow areas. In years with lower seed production, however, there may not be enough seeds to restock larger open areas.

On most study sites seedlings and saplings mainly consisted of Norway spruce. The bumper seed year of 1992/93 in Norway spruce resulted in high numbers of seedlings in the smaller windthrow areas but not in the larger areas. Up to two thirds of the seedlings and saplings died during the first year after germination. Establishment and growth of the seedlings and saplings was hindered by dense and high vegetation cover, and by browsing ungulates.

Natural regeneration higher than 20 cm that had established itself before the storm was rare on most sites, providing a poor basis for reforestation. The yearly increase in number, however, was considerable. At lower elevations the established regeneration contained more species, but there too it was threatened by browsing ungulates.

To date, plantation contributes much more to reforestation than natural regeneration, even though trees were planted at low densities and patchily. Silver fir, mountain maples, and mountain ash were the species most severely affected by browsing.

Four years after the windthrow event there were still sufficient mycorrhizae in the upper soil layers for successful inoculations of tree seedlings.

Prospects for natural reforestation of the studied windthrow areas generally look well. Medium- to long-term development will lead to species-diverse, multi-structured mountain forests.

Literatur

- Fischer, A., Abs, G., Lenz, F. (1990): Natürliche Entwicklung von Waldbeständen nach Windwurf – Ansätze einer «Urwaldforschung» in der Bundesrepublik. *FwCbl.* 109: 309–326.
- Hesselman, H. (1939): Forsatta studier över tallens och granens fröspridning samt kalhyggets besåning (Weitere Studien über die Beziehung zwischen der Samenproduktion der Kiefer und Fichte und der Besamung der Kahlhiebe; dt. Zusammenfassung). *Meddelanden från Statens Sjöksförsöksanstalt* (31): 1–64.
- Hetzel, G., Reif, A. (1995): Die Vegetation auf Kahlflächen im Wald und ihre Beziehung zu Standort, vorangegangener Nutzung und Wildverbiss, mit besonderer Berücksichtigung der Bannwaldgebiete bei Bebenhausen, Langenau und Bad Waldsee. 3. Statuskolloquium des PAÖ, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 21–22.
- Kohlermann, L. (1950): Untersuchungen über die Windverbreitung der Früchte und Samen mitteleuropäischer Waldbäume. *FwCbl.* 69: 606–624.
- Kuoch, R. (1965): Der Samenanfall 1962/63 an der oberen Fichtenwaldgrenze im Sertigtal. *Mitt. EAFV* 41 (3): 61–85.
- Kuoch, R., Amiet, R. (1970): Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen mit Berücksichtigung von Vegetation und Ablegerbildung. *Gebirgsprogramm*: 10. Beitrag *Mitt. EAFV* 46 (4): 161–342.
- Rohmeder, E. (1972): *Das Saatgut in der Forstwirtschaft*. Paul Parey, Hamburg und Berlin: 273 S.
- Rubner, K. (1934): *Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues*. Verlag J. Neumann-Neudamm: 597 S.
- Scherrer, H. U. (1993): Projekt zur flächenhaften Erfassung und Auswertung von Sturmschäden. *Allg. Forstz. (Münch.)* 48 (14): 712–714.

- Schölch, M., Eh, M., Kenk, G.* (1994): Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen. *Allg. Forstztg.* 2: 92–95.
- Veltsistas, T.* (1980): Untersuchungen über die natürliche Verjüngung im Bergmischwald. Dissertation Univ. München: 180 S.
- 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.

Dank

Die dargestellten Untersuchungen hätten ohne die umfangreiche Mithilfe von C. Angst, F. Graf, P. Kull, C. Mayer, J. Polomski, D. Trummer, D. Rüetschi, U. Wasem und H. Wüthrich nicht durchgeführt werden können. Ihnen gilt unser besonderer Dank.

Gedruckt mit Unterstützung der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.

Verfasser:

Dr. Reinhard Lässig, Dr. Simon Egli, Oswald Odermatt, dipl. Forsting. ETH, Dr. Walter Schönenberger, Benjamin Stöckli, dipl. Forsting. ETH, Thomas Wohlgemuth, dipl. Natw. ETH, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.