

Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar

Schlussbericht

zuhanden der Forstdirektion des BUWAL

Januar 2005

Autoren: Regina Koch, Peter Brang

Projektleitung: Peter Brang

Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf



Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar Schlussbericht

Die vorliegende Publikation ist der Schlussbericht des Projekts "Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar", das im Rahmen des Grundlagenprogramms "Lothar" der Forstdirektion des BUWAL von 2001 bis 2003 durchgeführt wurde. Finanziert wurde das Projekt von der Forstdirektion des BUWAL und der Eidg. Forschungsanstalt WSL sowie von den beteiligten Waldeigentümern.

Januar 2005

Autoren: Regina Koch, Peter Brang

Projektleitung: Peter Brang

Projektbegleitung BUWAL: Hans Peter Schaffer

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

Titelbild: Gepflanzte Eiche auf der Sturmfläche Bülach, Foto P. Brang, 15.4.2003

Kontakt

Dr. Peter Brang
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstr. 111
8903 Birmensdorf
Tel. 01 739 24 86
E-Mail brang@wsl.ch

Zusammenfassung

Dieser Projekt-Schlussbericht verfolgt zwei Ziele: Er soll die Forstdirektion des BUWAL als Auftraggeberin sowie die beteiligten Waldeigentümer und Förster über die Forschungsergebnisse informieren, und er dient als WSL-interne Dokumentation der angewendeten Methoden. Schwierig lesbare Passagen können übersprungen werden. Für eilige Lesende sind wesentliche Resultate zu Beginn jedes Resultatekapitels (6.1-6.9) zusammengefasst.

Die Ziele des Forschungsprojekts "Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar" waren, die Entscheidung für oder gegen Ergänzung der Naturverjüngung mit Kunstverjüngung auf Sturmflächen in Tieflagen mit Verjüngungsproblemen mit wissenschaftlichen Grundlagen zu unterstützen, mehrere extensive Verjüngungsverfahren zu testen und geeignete kostengünstige und wirksame Verfahren vorzuschlagen sowie in Zusammenarbeit mit der Forstpraxis Demonstrationsflächen solcher Verfahren aufzubauen. Diese Ziele wurden erreicht.

Während vier Jahren wurden in einem europaweit einmaligen Feldexperiment neun 1,1-1,8 ha grosse Versuchspflanzungen mit Stieleiche und Bergahorn auf mässig sauren Buchenwaldstandorten beobachtet. Verglichen wurden eine Reihenpflanzung, zwei Varianten der Truppelpflanzung und reine Naturverjüngung. Die meisten Versuchsflächen waren gezäunt.

Die Ausfälle der gepflanzten Bäume waren gering. Nach vier Jahren lebten noch 89,5% der gepflanzten Bäume. Die Dichte der Naturverjüngung (≥ 20 cm Höhe) inkl. Sträucher nahm durchschnittlich um 730 Pflanzen pro ha und Jahr zu. Im Jahr 2004 variierten die Dichten pro Versuchsfläche zwischen 624 und 8549 Pflanzen/ha. Dies sind für Tieflagenwälder vergleichsweise niedrige Werte; sie sind auch erheblich von kleinen Flecken mit sehr dichter Verjüngung geprägt. Bei den meisten ausgewählten Flächen handelt es sich also tatsächlich um solche mit Verjüngungsproblemen. In vier von neun Flächen dominierten Pionierarten, die sich vor allem nach dem Sturm angesamt hatten.

Die mittleren jährlichen Höhenzuwächse der gepflanzten Bäume lagen je nach Versuchsfläche bei Eichen zwischen 6 und 18 cm, bei Ahornen zwischen 10 und 27 cm. Dies weist auf Anwuchsschwierigkeiten hin. Natürlich verjüngte Pionierbäume wuchsen wesentlich rascher in die Höhe. An bei der Holzernte stark befahrenen Stellen war das Höhenwachstum gepflanzter Bäume reduziert.

Ausser Verbiss und Fegen traten keine namhaften Schäden an den gepflanzten Bäumen auf. Ohne Wildschutz sind Eichen auch auf grossen Windwurfflächen kaum aufzubringen. Auf sechs von neun Flächen erreichten die Brombeeren den höchsten Deckungsgrad, mit Spitzenwerten von 80%. Von 2001 bis 2004 nahm die Deckung von Himbeeren und Binsen zu, die von Brombeeren und Adlerfarn blieb etwa gleich, und diejenige von Seegrass und Hohlzahn nahm ab. Ein deutlicher Zusammenhang zwischen Deckungsgrad der Konkurrenzarten und Dichte der Naturverjüngung liess sich mit den verwendeten Methoden nicht nachweisen. Die meisten gepflanzten Bäume überragten die Bodenvegetation.

Der Begründungsaufwand für die Pflanzungen lag bei Einsatz von geschultem Personal zwischen 79 und 119 Stunden/ha. Die jährliche Kulturpflege dauerte bei Facharbeit zwischen 6 und 12 Stunden/ha, bei geringen Unterschieden zwischen den drei Varianten mit Pflanzung. Der Gesamtaufwand für Flächenvorbereitung, Pflanzung, Zäunung und Kulturpflege lag nach 4 Jahren zwischen 142 und 337 Stunden/ha, bei ausschliesslichem Einsatz von Fachkräften zwischen 142 und 152 Stunden/ha. Unterschiede im Zeitaufwand pro Versuchsfläche lassen sich nicht auf Unterschiede der Flächen zurückführen, sondern deuten auf unterschiedlich effizientes Arbeiten und somit auf Sparpotenzial.

Die Vor- und Nachteile der vier angewendeten Varianten sind noch nicht deutlich. Truppelpflanzungen mit Trupps im Endabstand von ca. 4 x 4 Bäumen können vorläufig auf Flächen mit Verjüngungsproblemen empfohlen werden. Die Flächen sollten weiter beobachtet werden, denn allfällige Unterschiede zwischen den Varianten werden erst in rund 15 Jahren deutlich nachweisbar sein, wenn die Pflanzungen das Stangenholzstadium erreichen. Weitere Zwischenresultate sind aber bereits in ca. 5 Jahren zu erwarten.

Inhalt

Zusammenfassung.....	3
1 Ausgangslage und Problemstellung.....	5
2 Zielsetzung.....	5
3 Stand der Kenntnisse.....	5
4 Forschungsfragen.....	7
5 Methoden.....	7
5.1 Forschungsansatz.....	7
5.2 Aufnahmemethoden.....	8
5.3 Datenmanagement.....	9
5.4 Datenauswertung.....	10
5.5 Fotografische Dokumentation.....	11
6 Resultate.....	11
6.1 Anwuchserfolg und Mortalität der Pflanzungen.....	11
6.2 Naturverjüngung.....	13
6.3 Höhenwachstum der gepflanzten Eichen und Ahorne.....	16
6.4 Höhenwachstum der Naturverjüngung.....	18
6.5 Schäden an gepflanzten Bäumen.....	19
6.6 Bodenvegetation.....	22
6.7 Aufwand für Bestandesbegründung und Kulturpflege.....	27
6.8 Weitere Resultate.....	31
6.9 Beurteilung der getesteten Varianten.....	31
7 Umsetzungsarbeiten.....	32
8 Ausblick.....	33
9 Dank.....	33
10 Literatur.....	34
11 Anhang.....	35
11.1 Projektbeschreibung.....	35
1. Ausgangslage / Problemstellung.....	36
2. Zielsetzung.....	36
3. Stand der Kenntnisse.....	36
4. Methoden.....	37
5. Erwartete Ergebnisse.....	48
6. Umsetzung / Bedeutung für die Praxis.....	48
7. Projektorganisation und Zusammenarbeit.....	48
8. Aufwand und Zeitplan.....	49
9. Finanzen 2000-2003.....	49
10. Weiterführung und langfristige Sicherung.....	50
11. Literatur.....	50
11.2 Detaillierte Aufnahmeanleitungen für die Feldaufnahmen.....	52
11.2.1 Feldaufnahmen Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar 2002: Planung.....	52
11.2.2 Feldaufnahmen Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar 2003: Planung.....	55
11.2.3 Feldaufnahmen Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar 2004: Planung.....	62
11.3 Pflanzschemas.....	70
11.4 Versuchsflächenpläne.....	72
11.5 Deckungsgrad Bodenvegetation 2001 und 2004 pro Versuchsfläche.....	79
11.6 Scatterplots Konkurrenzvegetation – Naturverjüngung.....	80
11.7 Beispiel einer Varianzanalyse.....	82

1 Ausgangslage und Problemstellung¹

Nach den Stürmen Lothar und Martin im Dezember 1999 wurden viele Lotharflächen geräumt. In vielen Fällen vertrauten Förster und Waldeigentümer auf Naturverjüngung. Es kamen aber auch ausgedehnte **Sturmflächen mit Verjüngungsschwierigkeiten** vor, sei es infolge fehlender Sämlingsbank, fehlender Samenbäume der gewünschten Baumart und/oder starker Konkurrenz der Bodenvegetation. Fichtenbestände auf Buchenwaldstandorten zum Beispiel weisen oft dichte Brombeerteppiche auf und sollen wieder in naturnähere Laubholzbestände umgewandelt werden. In solchen Fällen stellte sich die Aufgabe, die Wiederbewaldung der gewünschten Baumarten zu beschleunigen, und zwar mit kostengünstigen Verfahren der Bestandesbegründung und nachfolgenden Pflege.

In der Schweiz fehlen wissenschaftlich abgesicherte Kenntnisse zu extensiven Verfahren der Bestandesbegründung (Trupppflanzung, Nesterpflanzung weitständige Pflanzung, Saat) weitgehend, insbesondere unter Mittellandverhältnissen. Um diese Kenntnislücke zu füllen, führte die WSL, stark unterstützt von der Forstdirektion des BUWAL und einer Reihe von Waldeigentümern, das Projekt „Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar“ durch.

Nur eine **Konzentration** der Untersuchung **auf ein bis zwei Baumarten** liess verlässliche Resultate erwarten. Da mehrere Kantone (AG, VD, ZH) und auch die von der Forstdirektion des BUWAL unterstützte Vereinigung ProQuercus besonderes Interesse an der Vergrößerung des Eichenanteils bekundet haben, legten wir das Schwergewicht der Untersuchungen auf die Stieleiche (*Quercus robur* L.).

2 Zielsetzung

Ziele des Projekts sind:

1. Die Entscheidung für oder gegen Ergänzung der Naturverjüngung mit Kunstverjüngung mit wissenschaftlichen Grundlagen zu unterstützen;
2. Aufbauend auf den Erfahrungen nach Vivian (v.a. im Ausland) mehrere extensive Verjüngungsverfahren zu testen und geeignete kostengünstige und zugleich wirksame Verfahren vorzuschlagen;
3. In Zusammenarbeit mit der Forstpraxis Demonstrationsflächen solcher Verfahren aufzubauen. Damit lassen sich extensive Verfahren in der Praxis bekannter machen.

3 Stand der Kenntnisse

Im Ausland, u.a. in Deutschland, Frankreich und Österreich, wird seit Jahren mit extensiven Verjüngungsverfahren in Tieflagen experimentiert. Stichworte dazu sind Nester- oder Trupppflanzung (Kleinkollektive im Endabstand, „placeaux denses espacés“, „plantations par points d'appui“, Szymanski 1986, Gockel 1994, Demolis et al. 1997, Ruhm 1997 und 1999, Weinreich und Grulke 2001) und weitständige Bestandesbegründung. In Grossbritannien wurden Trupppflanzungen in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts propagiert (Anderson 1930, 1931, 1951, Kay 1928). Die ersten Pflanzungen wurden zwar in den fünfziger Jahren wieder besucht (Cameron 1950), aber nicht systematisch aufgenommen und ausgewertet. Auch Pioniergehölze (Bäume und Sträucher) können für die Wiederbewaldung auf Windwurf-flächen als Vorbau bedeutend sein (Schmidt-Schütz und Huss 1998). Zu **Reihenpflanzungen** besteht eine umfangreiche Literatur (CEMAGREF 1983, Spellmann und Baderschneider 1990).

¹ Die Kapitel 1-3 wurden praktisch unverändert aus dem Forschungsprojekt übernommen.

Die **Nesterpflanzung** (s. Kasten) wurde bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts beschrieben (Literatur in Szymanski 1986). Das Verfahren wurde später in Polen wieder aufgegriffen (Szymanski 1986) und in Niedersachsen getestet (Guericke 1996). Von 1970 bis 1980 wurde es in Frankreich bei Buche und Eiche auf mindestens 470 bzw. 180 ha angewendet, nachdem es vorher bei Nadelholz Verbreitung gefunden hatte (Demolis et al. 1997). Gockel (1994, 1995) untersuchte in Reihenspflanzung begründete Eichenjungbestände und entwickelte mit Hilfe von Simulationsmodellen das Verfahren der **Trupppflanzung** (s. Kasten). Vorteile der Trupp- gegenüber der Nesterpflanzung liegen darin, dass die definitive Auswahl innerhalb des Trupps erst im Stangenholz und nicht schon in der Dickung getroffen werden muss. Testpflanzungen mit der Trupppflanzung sind erst wenige Jahre alt.

Trupppflanzung oder Nesterpflanzung?

Bei Trupp- und Nesterpflanzung stehen in der Regel bis zu 30 Pflanzen nahe beieinander. Bei der Nesterpflanzung beträgt der Pflanzenabstand innerhalb der Nester 20-50 cm, bei der Trupppflanzung 1,0 m und mehr.

In der Schweiz fehlen bisher wissenschaftlich begleitete Versuche zu extensiven Verjüngungsverfahren. Einzelne Praktiker haben aber experimentiert (F. Lüscher in Rheinfelden, H. Walther in Büren a.d.A.). Sonst werden oft Pflanzabstände von 1,5-2,5 m benützt, zuweilen auch weitständige Einzelpflanzung im Verband von z.B. 5 x 6 m. Immerhin sind in der Schweiz Erfahrungen mit Saathilfen vorhanden (Cerkon-Saathilfen, Schönenberger et al. 1990). Der Kenntnisstand zur Naturverjüngung ist im Projekt von R. Lässig ("Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz", Angst et al. 2004, Angst 2004) und in der "Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald" (BUWAL 2000, S. 59), hier allerdings mit klarem Bezug zu Gebirgswäldern, dargestellt. Auf Flächen mit spärlicher Naturverjüngung, um deren Wiederbewaldung es in diesem Projekt geht, dürften Schutzmassnahmen gegen Wildschaden unumgänglich sein (BUWAL 2000, S. 68).

Extensive Verjüngungsverfahren dürfen nicht losgelöst von der **ganzen Bestandentwicklung** betrachtet werden. Entscheide in der Jungwaldphase beeinflussen die Baumartenzusammensetzung, Holzqualität, Störungsresistenz und die Pflegeeingriffe während der Jungwuchs-, Dickungs-, Stangenholz- und Baumholzphase.

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit Trupp- und Nesterpflanzungen kann folgendes Wissen als **gesichert** gelten:

- Von Eichen aus Reihenspflanzungen sind nach Gockel (1994) meist 8-15% (auf einigen Flächen auch 20-34%) nach einigen Jahren als **Z-Baum-Anwärter** zu bezeichnen. Kirpach (1978) findet in zwei Dickungen Anteile von 21 und 24% "qualitativ guter" Stieleichen. Gockel (1994, S. 127-130) rechnet bei der Entwicklung des Verfahrens der Trupppflanzung mit 8-20%. Daher geht er in der Pflanzenzahl pro Trupp nie unter 19, weil das auch bei nur 80 Trupps/ha noch 64 brauchbare Z-Bäume/ha ergibt (S. 129). Französische Trupppflanzungen wurden mit 25 Pflanzen/Trupp im Verband 1,2 m x 1,2 m begründet. Mindestens einen qualitativ befriedigenden Z-Baum wiesen hier nach 19-25 Jahren 72-87% (3 Flächen, bei 0 Pflegeeingriffen) bis 100% der Trupps (bei 3 Pflegeeingriffen, 1 Fläche) auf (Demolis et al. 1997). 42-62% (95%) der Trupps enthielten einen Ersatz-Z-Baum.
- Die **Randbäume** in Nestern setzen sich häufig durch, besonders wenn die Naturverjüngung die gepflanzten Bäume nur schwach konkurrenziert. Die Randbäume werden dann oft astig. Bei französischen Eichen-Nesterpflanzungen waren 50% der Elitebäume (nach 19-25 Jahren) Randbäume, 50% stammten aus dem Inneren der Nester (Demolis et al. 1997, S. 34).
- Die **Naturverjüngung** kann sich so stark entwickeln, dass die Trupps bzw. Nester mit Pflegeeingriffen vor ihr geschützt werden müssen. Die sich zwischen den Trupps bzw. Nestern entwickelnde **Naturverjüngung** kann aber auch zur Erziehung (Schafftreinigung)

der Zielbaumarten beitragen. Zeitmischungen mit Kirschbäumen (*Prunus avium* L.) sehen im Dickungsalter Erfolg versprechend aus (Beispiele in Rheinfeldern AG).

- Die **Pflege** kann sich auf die Trupps bzw. Nester beschränken. Dabei ist es manchmal **schwierig, die Nester wieder zu finden** (Demolis et al. 1997), so bei starker **Vegetationskonkurrenz** in den ersten Jahren, und später bei starker Naturverjüngung zwischen den Trupps bzw. Nestern (letzteres dürfte allerdings auf Flächen mit Verjüngungsschwierigkeiten kaum vorkommen). Nach Nüsslein und Lamatsch (1998) ist eine truppweise Pflege von Eichen-Reihenpflanzungen langfristig kaum mit Kostenersparnis verbunden.
- **Mischungen** innerhalb der Trupps sind problematisch, wenn wuchsstarke Baumarten wie Esche (*Fraxinus excelsior* L.), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) und Linde (*Tilia* sp.) die Eiche bedrängen.
- Die Nester reduzieren Schäden durch **Wildverbiss** nicht in ausreichendem Mass.
- Die Nester reduzieren die Konkurrenz der **Bodenvegetation** ausreichend.

4 Forschungsfragen

Folgende **Hypothesen** sollen (getrennt für die Baumarten) nach 3-4 Jahren geprüft werden (Die Verfahren sind in Kap. 5 erläutert):

1. Es bestehen keine Unterschiede im Höhenwachstum und in der Mortalität der Zielbaumart zwischen den Varianten mit Kunstverjüngung.
2. Die Begründungs- und Pflegekosten nehmen in folgender Reihenfolge zu: Variante „Naturverjüngung“, Variante „Trupp gross“, Variante „Trupp klein“, Variante „Reihenverband“.

Zusätzlich zu diesen bei Projektbeginn formulierten Hypothesen wurden folgende weiteren geprüft:

3. Die Dichte der Naturverjüngung hängt vom Deckungsgrad der Bodenvegetation ab.

Weitere Hypothesen sollen, getrennt für die Baumarten, in der nächsten Projektphase ca. im Jahr 2011 geprüft werden:

4. Die Stammqualität ist bei den Varianten mit Truppmpflanzung so hoch, dass auf jeder Fläche mindestens 80% der Trupps einen Z-Baum-Anwärter aufweisen.
5. Der Anteil Trupps mit Z-Baum-Anwärtern nimmt in der folgenden Reihenfolge zu: Variante „Naturverjüngung“, Variante „Trupp klein“, Variante „Trupp gross“, Variante „Reihenverband.“

5 Methoden

5.1 Forschungsansatz

Die Methoden sind im Anhang 11.1 genauer beschrieben. In Kürze hier das wichtigste: Die Hypothesen wurden mit einem **Feldexperiment** (Blockversuch) geprüft. Im Frühjahr 2001 wurden Testpflanzungen auf 8 Lothar-Sturmflächen (Abb. 1, Tab. 1, Anhang 11.1) mit Verjüngungsschwierigkeiten angelegt. Im Frühjahr 2002 folgte eine weitere Versuchsfläche in Bremgarten AG. In 6 Flächen wurden Stieleichen gepflanzt, in 3 Flächen Bergahorne.

Jede Versuchsfläche ist in **12 Teilflächen** (s. Abb. 1 im Anhang 11.1) unterteilt, die je 15 Aren (Eichenflächen) oder 8 Aren (Ahornflächen) gross sind. Auf jeder Teilfläche wurde eine der vier folgenden **Varianten** (Behandlungen) angewendet (Pflanzschemas s. Anhang 11.3):

- Reihenpflanzung (2'500 Eichen/ha)
- Trupppflanzung mit grossen Trupps (13 Eichen pro Trupp, umrandet von 8 Fichten, Trupps im Endabstand von 12 m, 1'050 Eichen/ha und 640 Fichten/ha)
- Trupppflanzung mit kleinen Trupps (9 Eichen pro Trupp, umrandet von 4 Fichten, 720 Eichen/ha und 320 Fichten/ha)
- Naturverjüngung

Bei Ahornflächen wurden weniger Bäume pro Trupp und insgesamt pro Fläche gepflanzt. Der Pflanzabstand innerhalb der Reihen und Trupps war bei Eiche 1,6 m, bei Ahorn 2,2 m. Auf sechs Versuchsflächen wurden die Pflanzen mit Zaun, auf zwei (Bülach, Lausanne) mit chemischen Mitteln vor Wildschäden geschützt.

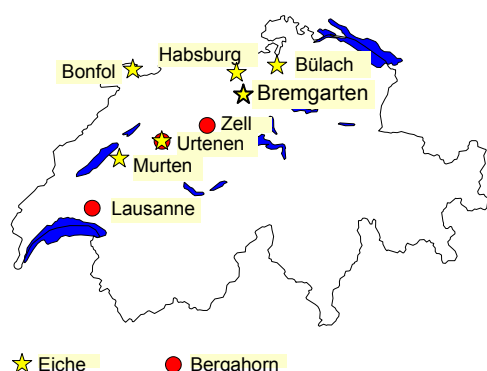


Abbildung 1: Lage der Versuchsflächen.

Tabelle 1: Versuchsflächen. Bei den Baumarten bedeutet Eiche Stieleiche, Ahorn Bergahorn.

Lokalname	Gemeinde	Kanton	Waldeigentümer	Flächen-grösse (ha)	Höhen-lage (m)	Pflanzen-gesell-schaft ²	Baum-art	Koordinaten
Le Chêtre	Bonfol	JU	Commune de Bonfol	1,80	450-460	7aS/7b, 7a/7d	Eiche	578900 / 257200
Höhragen	Bülach	ZH	Gemeinde Bülach	1,80	415-420	7d	Eiche	681400 / 262200
Äntenmoos, Folenweid, Schwandächer	Bremgarten	AG	Bürgergemeinde Bremgarten	1,80	360-365	7a, 7d, 7g	Eiche	667185 / 246340 667165 / 246225 666680 / 246370
Galgehübel	Habsburg	AG	Kanton Aargau	1,80	445-455	7a, 7d	Eiche	656900 / 256500
Grandes Côtes	Lausanne	VD	Ville de Lausanne	1,20	820-840	8a, 8aS	Ahorn	542250 / 160200
Bloster	Murten	FR	Stadt Murten	1,80	560-570	7a, 7b, 7aS	Eiche	578750 / 198300
Buebenloo	Urtenen	BE	Bürgergemeinde Urtenen	1,80	565-575	7d	Eiche	603500 / 208400
Buebenloo	Urtenen	BE	Bürgergemeinde Urtenen	1,20	560-575	7d	Ahorn	603500 / 208400
Arbergwald	Zell	LU	Alois Scherrer	1,20	750-760	7d (6)	Ahorn	635200 / 220800

5.2 Aufnahmemethoden

Im Juli und August 2001, 2002 und 2003 wurde der Zustand der Pflanzung und der Naturverjüngung auf 142 bis 144 Probeflächen (10 m² grosse Probekreise) pro Sturmfläche erfasst. Die Methoden sind im Anhang 11.1 beschrieben. Es wurden Daten zur Vitalität, zu Schäden und zur Konkurrenzvegetation aufgenommen. Auf jeder Eichenfläche wurden 527 bis 540

² Die Pflanzengesellschaften wurden von Dr. Walter Keller (WSL) grob angesprochen.

gepflanzte Bäume erfasst, auf jeder Ahornfläche 444 bis 468. Tab. 2 gibt über die erhobenen Daten und den Datenumfang Auskunft. Viele Parameter wurden nur in einzelnen Jahren und nicht auf allen Probestellen erfasst. Dies reduzierte den Aufwand für Feldarbeiten.

5.3 Datenmanagement

Alle Tätigkeiten und Ereignisse wurden in einem elektronischen **Tagebuch** erfasst (Datei Tagebuch_Extverj.xls in Excel). Alle im Zusammenhang mit diesem Projekt erstellten Dateien sind in der Datei Dateiübersicht_Extverj.xls (in Excel) aufgelistet. Die Daten für jeden Plot und jeden Einzelbaum sind auf Aufnahmeformularen erfasst. Die Daten sind in mehreren Datenbanken gespeichert (s. Tab. 3). Die Daten sind an der WSL auf dem Server O:\Verjuengung\MA\Daten abgelegt.

Tabelle 2: Aufnahmeparameter und Datenumfang. Der Datenumfang (Anzahl Werte) ist insgesamt angegeben; bei durch das Stichprobendesign vorgegebenem Datenumfang ist der Datenumfang pro Versuchsfläche 1/8 (2001) oder 1/9 (2002-2004) des gesamten Datenumfanges.

Parameter kategorie	Parameter	Anzahl Einzelwerte			
		2001	2002	2003	2004
A. Flächen- parameter	Waldeigentümer	9			
	Höhenlage	9			
	Pflanzengesellschaft	9			
	Bestandeszusammensetzung von Lothar	9			
	Koordinaten	9			
	Gemeinde	9			
	Kanton	9			
B. Teilflächen parameter	Begründungsaufwand (separat: Flächenvorbereitung, Pflanzung, Zäunung, Personen- und Maschinenstunden)	8	1	0	0
	Pflegeaufwand pro Teilfläche	96	108	108	108
C. Probestellenparameter. Ein Kreis mit $r=0,40$ m rund um das Zentrum wird nicht aufgenommen. Grösse "Aussenplot": 50 m^2 ; "Innenplot": 10 m^2 .	Plotnummer	1157	1299	1301	1295
	Aufnahmedatum	1157	1299	1301	1295
	Aufnahmeteam	2314	2598	2602	2590
	Variante	1157	1299	1301	1295
	Hangneigung	1152	1298	-	-
	Radius Aussenplot (Probestelle, Radius=4,01 m)	1152	1299	-	-
	Radius Innenplot (Probestelle, Radius=1,83 m)	1152	1299	1301	1295
	Anzahl Pionierbäume ≥ 20 cm n. Baumart im Aussenplot	1152	144	-	-
	Anzahl Bäume ≥ 20 cm nach Baumart im Innenplot	-	1299	-	1295
	Deckungsgrad Brombeere	1152	532	-	433
	Durchschnittliche Höhe Brombeere	1152	532	-	-
	Deckungsgrad Himbeere	1152	529	-	433
	Durchschnittliche Höhe Himbeere	1152	528	-	-
	Deckungsgrad Seegras	1151	447	-	433
	Durchschnittliche Höhe Seegras	1151	447	-	-
	Deckungsgrad Hohlzahn	1151	533	-	433
	Durchschnittliche Höhe Hohlzahn	1151	533	-	-
	Deckungsgrad Binse	1152	506	-	433
	Durchschnittliche Höhe Binse	1152	506	-	-
	Deckungsgrad Adlerfarn	1151	448	-	433
	Durchschnittliche Höhe Adlerfarn	1151	447	-	-
	Deckungsgrad andere Arten	1152	539	-	433
	Durchschnittliche Höhe andere Arten	1152	541	-	-
Artenliste andere Arten	1152	487 ³	-	193 ³	
Überschirmung durch Überhälter (BHD ≥ 20 cm)	1152	1234	-	433	
Überschirmung durch Vorwald (BHD < 20 cm)	1152	1234	-	433	
Bemerkungen zum Plot	955 ⁴	172 ⁴	38 ⁴	577 ⁴	

³ Bei Deckung durch "andere Arten" wurden die beteiligten "anderen" Arten nicht konsequent in allen intensiv erfassten Plots erfasst.

⁴ Nur Plots mit einer Bemerkung gezählt.

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Parameter kategorie	Parameter	Anzahl Einzelwerte			
		2001	2002	2003	2004
D. Einzelbaumparameter	Baumnummer	3690 ⁵	? ⁶	-	9944
	Azimut vom Stichprobenzentrum	3690	? ⁶	-	9408 ⁷
	Distanz zum Stichprobenzentrum	3690	? ⁶	-	9406 ⁷
	Baumart/Strauchart	3690	? ⁶	-	9944
	Höhe gepflanzter Bäume	3582	759	723	643
	Höhe Naturverjüngung ⁸	1909	1136	0	2447
	Verjüngungsart	3690	? ⁶	-	9941
	Überschirmung durch Überhälter (BHD≥20 cm)	3690	? ⁶	-	9939
	Überschirmung durch Vorwald (BHD<20 cm)	3690	? ⁶	-	9939
	Relative Höhe in Bezug zu Brombeere	3687	4872	302	-
	Relative Höhe in Bezug zu Himbeere	3688	4410	120	-
	Relative Höhe in Bezug zu Seegras	3689	4196	13	-
	Relative Höhe in Bezug zu Hohlzahn	3688	4190	2	-
	Relative Höhe in Bezug zu Binse	3689	4384	99	-
	Relative Höhe in Bezug zu Adlerfarn	3689	4329	49	-
	Relative Höhe in Bezug zu andere Vegetation	3687	4341	85	-
	Vorkommen von Binsen im Umkreis mit r = 50 cm rund um den Einzelbaum	-	803	-	-
	Endtriebverbiss	3582			643
	Seitentriebverbiss	3582			643
	Anderer Schäden	3582			643
Art anderer Schäden	3582			643	
Bemerkungen zum Einzelbaum	143 ⁹	487 ⁹	-	1309 ⁹	

Tabelle 3: Datenbanken.

Art der Daten	Dateiname	Software
Flächendaten	Extverj2004.mdb (Flächendaten01)	Microsoft Access
Plotdaten	Plotdaten.xls	Microsoft Excel
Einzelbaumdaten	Extverj2004.mdb (Baumdaten2003)	Microsoft Access

5.4 Datenauswertung

Bei der Datenauswertung wurden in erster Linie Verfahren der deskriptiven Statistik verwendet. Entsprechend dem experimentellen Split-Plot-Design wurden einige Auswertungen als Varianz- oder Kovarianzanalyse durchgeführt, nach folgendem Grundmodell:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \varepsilon_i \text{ mit}$$

y_i = i-te Beobachtung der Zielgrösse,

β_0 = Gesamtmittelwert,

β_1 = Schätzparameter für den Einfluss der Versuchsfläche (1-9),

x_1 = Versuchsfläche,

β_2 = Schätzparameter für den Einfluss der Wiederholung (1-3),

x_2 = Wiederholung,

β_0 = Schätzparameter für den Einfluss der Variante (1-4)

ε_i = Restfehler

⁵ Gezählt anhand aller ursprünglich vergebenen fünf bis siebenstelligen Baum- bzw. Strauchnummern, da erst 2002 durchgehend achtstellige Nummern eingeführt wurden.

⁶ Aus Aufwandgründen nicht nachvollzogen.

⁷ Bäume "ohne Koordinat." in Bremgarten und Habsburg fehlen.

⁸ Anzahl 2002 und 2004 v.a. wegen Einwüchsen (neu aufgenommene Pflanzen) so hoch.

⁹ Die leeren Felder wurden nicht gezählt.

Alle Effekte wurden als fix betrachtet. Als Fehlerterm für Tests wurde der Restfehler verwendet, mit Ausnahme des Einflusses der Versuchsfläche, für den die Interaktion Versuchsfläche × Wiederholung als Fehlerterm diente. Die Homogenität der Varianzen über den Wertebereich der Zielvariablen wurde grafisch kontrolliert; bei offensichtlichen Abweichungen wurde die Zielvariable transformiert. Die Normalverteilung der Residuen wurde mit einem Shapiro-Wilk-Test getestet (PROC UNIVARIATE in SAS®). Ausreisser wurden mit dem DFFITS-Kriterium identifiziert (PROC GLM, SAS 1988, S. 574). Bei DFFITS-Werten über 2,0 wurden Ausreisser eliminiert. Die Auswertungen erfolgten in Excel® und SAS® 8.

5.5 Fotografische Dokumentation

Es existieren ca. 600 Dias und 200 digital aufgenommene Bilder von den Versuchsflächen. Aufgenommen wurde die Pflanzung, der Zustand der Flächen vor der Pflanzung und Einzelfotos. Im Sommer 2002 wurden von einer Hebebühne aus ca. 20 m Höhe Übersichtsfotos jeder Fläche (total 562, die meisten Stereo, Foto 1) von versicherten Standorten aus (Wiederholung möglich) aufgenommen. Eine Auswahl der besten Dias (266) wurde gescannt und in der Bilddatenbank AVS/ImageAccess® der WSL aufgenommen. Diese Bilder sind ausführlich beschrieben (beschlagwortet).



Foto 1: Blick in die Versuchsfläche Blosser/Murten vor der Pflanzung.

6 Resultate

6.1 Anwuchserfolg und Mortalität der Pflanzungen

Fazit:

- Der Anwuchserfolg war sowohl bei Eichen- als auch bei Ahornflächen durchschnittlich 99,6% (Abb. 2).
 - Bis 2004 überlebten im Durchschnitt 89,5% der gepflanzten Eichen und Ahorne (Abb. 3).
 - In der Variante „Trupp klein“ waren die Ausfälle mit 9,1% leicht höher als in der Variante „Trupp gross“ mit 7,4% (Abb. 4).
- ⇒ Bei sorgfältiger Lochpflanzung und Zaunschutz wachsen Eichen und Ahorne problemlos an. Die etwas grösseren Ausfälle in der Variante "Trupp klein" könnten bei den ohnehin sehr geringen Pflanzenzahlen dazu führen, dass in manchen Trupps im Stangenholz kein befriedigender Z-Baum vorhanden ist.

Bei jedem gepflanzten Baum wurde zwei bis vier Monate nach der Pflanzung beurteilt, ob er noch lebte. Der Anwuchserfolg war sowohl bei Eichen- als auch bei Ahornflächen mit durchschnittlichen 99,6% sehr hoch (Abb. 2). Von der Pflanzung bis zur Aufnahme im Sommer 2001 starben nur 15 von 4033 aufgenommenen Bäumen. Es wurde also überall sehr sorgfältig gepflanzt.

Bis zum Sommer 2004 überlebten von den gepflanzten Eichen und Ahornen durchschnittlich 89,5%. Am wenigsten Ausfälle waren in den Flächen Habsburg mit 2,0% und Lausanne mit 2,6% zu verzeichnen, am meisten in den Flächen Bonfol mit 20,5% und Zell mit 19,4%. Darum wurden in diesen zwei Flächen im Jahre 2003 Eichen bzw. Ahorne in den Varianten mit Trupppflanzung nachgepflanzt (Tab. 4, in Abb. 3 nicht berücksichtigt). Die Gründe für den erhöhten Ausfall in diesen Flächen sind unklar. Eine Analyse der Verteilung der Schadensursachen ergab keine Auffälligkeiten.

Die Unterschiede der Mortalität zwischen den Varianten waren gering. In der Variante „Trupp klein“ starben mit 9,1% durchschnittlich leicht mehr Bäume ab als in der Variante „Trupp gross“ mit 7,4%. Zurückzuführen ist dies auf die Ausfälle in den Flächen Bonfol, Bülach und Zell. Die Gründe dafür sind unklar.

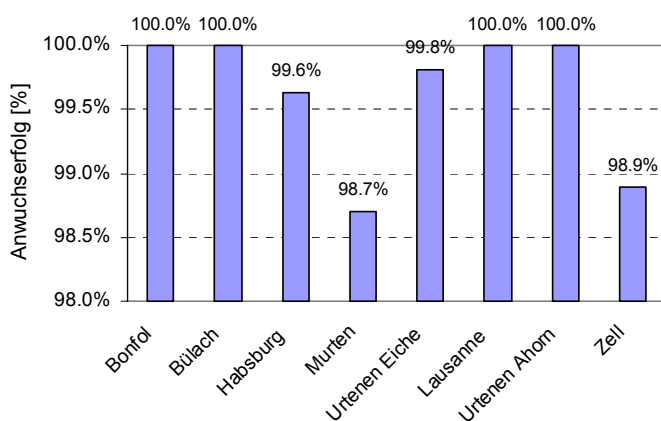


Abbildung 2: Anwuchserfolg der gepflanzten Eichen und Ahorne.

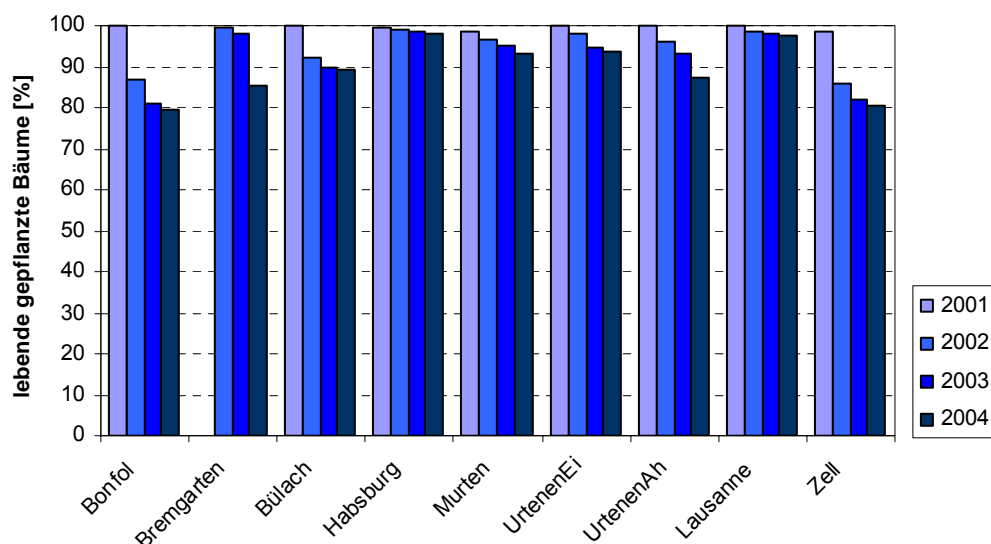


Abbildung 3: Überlebensrate der anfänglich gepflanzten Eichen und Ahorne pro Fläche in den Sommern 2001 bis 2004. Die Fläche Bremgarten kam erst 2002 dazu. Nachpflanzungen sind nicht berücksichtigt.

Tabelle 4: Nachpflanzungen

Ort	Zeitpunkt	Anzahl Pflanzen	Art
Zell	2003	35	Ahorn
Bonfol	2003	56	Eiche

Insgesamt war die Überlebensrate bis 2004 bei Eichen mit 89,9% und Ahornen mit 88,5% sehr ähnlich. Bei den Fichten überlebten bis 2003 durchschnittlich 86,8% der gepflanzten Bäume (2004 nicht aufgenommen). Eine Korrelation zwischen dem Anteil überlebender gepflanzter Eichen/Ahorne und gepflanzter Fichten ist nicht feststellbar (Abb. 4). So war auf der Fläche Bonfol die Sterberate bei den gepflanzten Fichten niedriger als bei den Eichen, auf der Fläche Lausanne hingegen bei den Fichten höher als bei den Ahornen, wo sie nahe bei 0% lag.

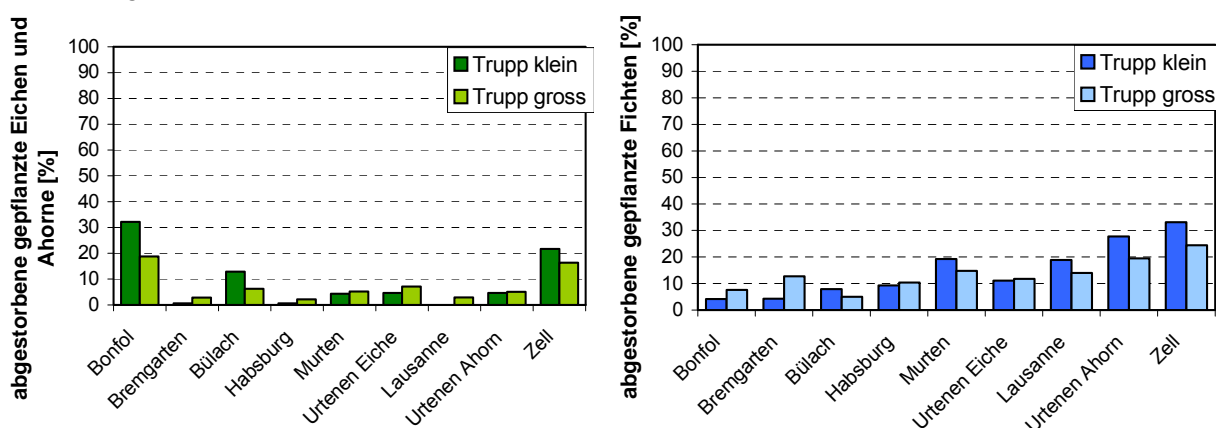


Abbildung 4: Links: Bis 2003 abgestorbene gepflanzte Eichen (Bonfol, Bremgarten, Bülach, Habsburg, Murten, Urtenen Eiche) und Ahorne (Lausanne, Urtenen Ahorn, Zell). Rechts: Bis 2003 abgestorbene gepflanzte Fichten.

Die Varianzanalyse (Beispiel s. Anhang 11.8) der Sterberaten der gepflanzten Bäume ergab Folgendes: Die niedrige Sterberate der Eichen und Ahorne bis 2004 hängt, wie in Abb. 3 ersichtlich, signifikant von der Fläche ab ($N=80$, $p=0,0042$), aber nicht von der Baumart ($p=0,8378$) und auch nicht von der Variante ($p=0,9221$). In separaten Varianzanalysen nur für entweder Eichen- oder Ahornflächen hing die Sterberate ebenfalls nur von der Versuchsfläche signifikant ab, nicht aber von der Variante.

6.2 Naturverjüngung

Fazit:

- Die Dichte der Naturverjüngung variierte stark zwischen den Versuchsflächen (Abb. 5), zwischen 624 ± 13 Pflanzen/ha und 8549 ± 308 Pflanzen/ha im Jahr 2004.
- Auch die Artzusammensetzung variierte sehr stark von Fläche zu Fläche. In vier Flächen dominierten Pionierarten (Birke, Weide, Vogelbeere, Aspe, Sträucher). Sonst prägten die Schlusswaldarten in folgender Reihenfolge das Bild: Buche, Fichte, Bergahorn, Esche, Stieleiche, Tanne.
- Die Naturverjüngung bestand 2001 zum grössten Teil aus Buchen (53%), Fichten (18%) und Sträuchern (14%). Die Artzusammensetzung der von 2001 bis 2004 hinzugekommenen Pflanzen wich davon erheblich ab: Weiden, Sträucher und Birken waren stärker vertreten, die Buche wesentlich schwächer (Abb. 6).

- Die Dichte der Naturverjüngung verdoppelte sich im Vergleich zum Sommer 2001 in den meisten Flächen oder nahm noch stärker zu. Die durchschnittliche jährliche Zunahme lag bei 730 ± 142 Pflanzen/ha.
- ⇒ Die niedrigen Dichten der Naturverjüngung bestätigen, dass es sich um verjüngungsarme Flächen handelt. Während die Naturverjüngung im Sommer 2001 vor allem aus Buchen (53%) und Fichten (18%) bestand, die sich vor dem Sturm angesamt hatten (Vorverjüngung), war der Anteil der Pionierbäume und –sträucher bei den 2001 bis 2004 neu hinzugekommenen Pflanzen deutlich grösser (58%).

Die ermittelten Dichten der Naturverjüngung (Foto 2) beziehen sich auf Bäume ab 20 cm Höhe. Die Dichte und Artzusammensetzung der Naturverjüngung sowie deren Zunahme zwischen 2001 und 2004 variierte zwischen den Flächen stark. Im Durchschnitt aller Flächen betrug die Dichte der Naturverjüngung im Sommer 2001 1080 ± 635 Pflanzen/ha (Mittelwert \pm Standardfehler)¹⁰ und im Sommer 2004 3162 ± 852 Pflanzen/ha. Die Fläche Habsburg wies mit 8549 ± 308 Pflanzen/ha im Jahr 2004 die grösste Dichte auf, die Fläche Zell mit 624 ± 13 Pflanzen/ha die geringste (Abb. 5). Bei den über 20 cm grossen Gehölzen waren die Sträucher zu 17% beteiligt, wovon 92% Holunder waren. Werden die Sträucher nicht miteinbezogen, so liegen die Werte im Sommer 2004 zwischen 610 und 8459, ohne die verjüngungsreiche Fläche Habsburg zwischen 610 und 3347 Bäumchen/ha.

Auf anderen Lotharflächen im Mittelland (Angst et al. 2004, S. 52-53, Rüegg und Nigg 2002) sind Dichten von über Zehntausend Pflanzen/ha häufig. Bei den Truppplantzungs-Versuchsflächen handelt es sich also, wie bei deren Auswahl beabsichtigt, tatsächlich um Flächen mit wenig Verjüngung und teilweise gar um Flächen mit eigentlichen Verjüngungsproblemen.



Foto 2: Natürlich verjüngte Föhren in Bülach.

Die Kovarianzanalysen zur Dichte der Naturverjüngung 2001 und 2004 ergaben Folgendes: Im Sommer 2001 hing die Dichte der Naturverjüngung nicht signifikant von der Variante ab (Kovarianzanalyse, $N=108$, $p=0,4515$); ebenfalls keine Rolle spielte der Deckungsgrad von Brombeeren, Himbeeren, Adlerfarn und Binsen (aufsummiert, Kovariable, $p=0,9793$)¹¹. Der einzige signifikante Unterschied bestand zwischen den Versuchsflächen ($p<0,0001$, Abb. 5). Im Sommer 2004 war die Dichte der Naturverjüngung nicht signifikant von den Varianten abhängig ($p=0,6149$) und auch nicht vom Deckungsgrad von Brombeeren, Himbeeren, Ad-

¹⁰ Interpretation: Bei Normalverteilung der Einzelwerte liegt der wahre Mittelwert mit 67% Wahrscheinlichkeit zwischen $1080-635$ Pflanzen/ha und $1080+635$ Pflanzen/ha, also zwischen 445 und 1715 Pflanzen/ha. Die Streuung der Einzelwerte ist also in diesem Fall sehr gross.

¹¹ Dieser Test geht von einem linearen Zusammenhang aus. Nicht-lineare Zusammenhänge sind nicht auszuschliessen, s. Kap. 5.4.

lerfarn und Binsen im Sommer 2001 ($p=0,7124$), hingegen von den gepflanzten Baumarten (geplanter Kontrast, $p=0,0200$) und den Versuchsflächen ($p=<0,0001$, Abb. 5).

Die **Artzusammensetzung** war in den Flächen sehr unterschiedlich. Auf der Fläche Habsburg dominierte im Jahr 2004 die Buche (4438 Bäume/ha) am zweithäufigsten kam dort die Fichte (2056 Bäume/ha) vor. Ganz anders sieht es in Lausanne aus, wo die Sträucher mit 1535 Pflanzen/ha überwogen, gefolgt von der Weide mit 1507 Bäumen/ha. Ebenfalls von der Pionierbaumart Weide und den Sträuchern dominiert war die Fläche Bonfol. Eine andere Pionierbaumart war in Urtenen (in der Ahornfläche) am besten vertreten, nämlich die Birke mit 868 Bäumen/ha. Die Pionierbaumarten (Birke, Weide, Aspe und Vogelbeere [letztere in Abb. 5 unter „übrige Baumarten“]) spielten bis jetzt in vier Flächen eine wichtige Rolle (Abb. 5, Bonfol, Lausanne, Urtenen Eiche und Urtenen Ahorn).

Die Zunahme der Naturverjüngung zwischen 2001 und 2004 unterschied sich von Fläche zu Fläche beträchtlich. So nahm die Dichte in der Fläche Lausanne um 3992 Pflanzen/ha zu, in der Fläche Zell jedoch nur um 253 Pflanzen/ha. Gemäss der Kovarianzanalyse zur Dichtezunahme 2001-2004 hing diese signifikant von der Versuchsfläche ab ($p<0.0001$) sowie von der gepflanzten Baumart (geplanter Kontrast, $p=0,0178$), aber nicht von der Variante ($p=0,3872$) und nicht vom Deckungsgrad von Brombeeren, Himbeeren, Adlerfarn und Binsen (aufsummiert) im Sommer 2001 (Kovariante, $p=0,9878$)¹². Besonders hoch war die Zunahme auf den Flächen Habsburg, Lausanne und Murten, besonders tief auf den Flächen Bülach und Zell.

Die im Jahre 2001 erfasste Verjüngung ≥ 20 cm dürfte ausschliesslich Vorverjüngung sein. Sie bestand zum grössten Teil aus Buchen (53%) und Fichten (18%) und ist stark durch die Naturverjüngung auf der verjüngungsreichen Fläche Habsburg geprägt. Bei den seither hinzugekommenen Gehölzen handelt es sich teilweise eher um Vorverjüngung (z.B. Buchen, Fichten), zum anderen Teil um Nachverjüngung (z.B. Weide, Sträucher, Birke, Esche). Dies zeigt Abb. 6: Die Pionierbaumarten Weide und Birke haben stark zugelegt.

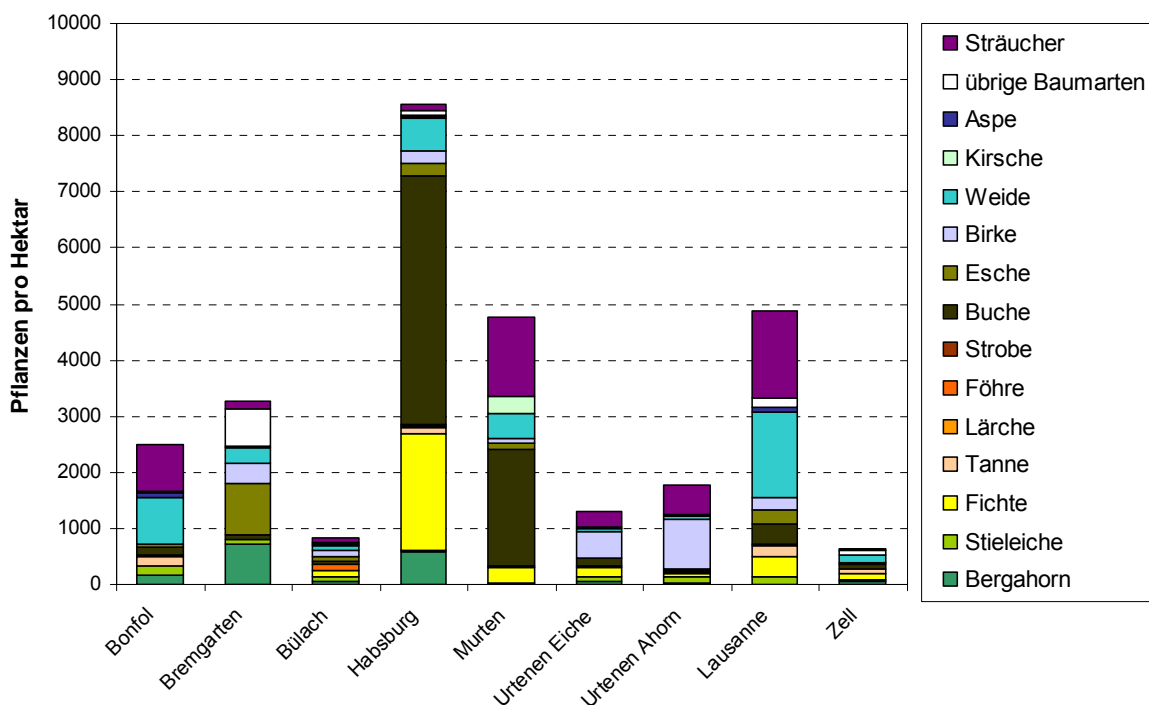


Abbildung 5: Dichte der Naturverjüngung im Sommer 2004.

¹² Dieser Test geht von einem linearen Zusammenhang aus. Nicht-lineare Zusammenhänge sind nicht auszuschliessen, s. Kap. 5.4.

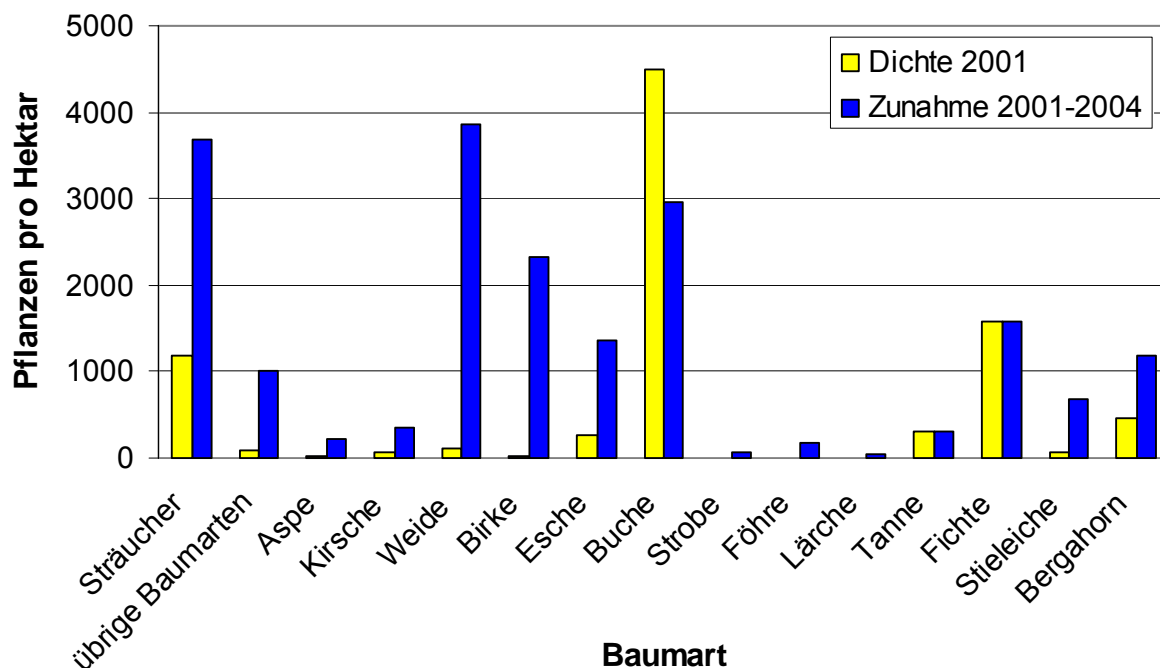


Abbildung 6: Artzusammensetzung der 2001 vorhandenen Naturverjüngung und der im Zeitraum 2001 bis 2004 hinzugekommenen Pflanzen.

Auf der Fläche Zell dürfte die Naturverjüngung wegen dem hohen Deckungsgrad von Brombeeren und Adlerfarn nur langsam zunehmen. Diese Arten sind für Fichten und Tannen ein Verjüngungshemmnis, weil sie nur wenig Licht zum Boden durchlassen und bei Schneefall die Bäume und Sträucher zu Boden drücken. Dieser Effekt dürfte in der Kovarianzanalyse nicht nachweisbar sein, weil diese nur Deckungsgradunterschiede *innerhalb* von Sturmflächen berücksichtigt. Auch auf der Fläche Bülach dürfte die starke Vegetationskonkurrenz durch Brombeere und Adlerfarn die Naturverjüngung behindern. Zudem spielt hier der Wildverbiss (kein Zaun vorhanden) eine Rolle. In beiden Flächen ist aber auch die Anzahl und Diversität der Samenbäume gering.

6.3 Höhenwachstum der gepflanzten Eichen und Ahorne

Fazit:

- Es besteht kein signifikanter Unterschied im Höhenwachstum der Zielbaumart zwischen den Varianten mit Kunstverjüngung.
- Der durchschnittliche jährliche Höhenzuwachs lag bei gepflanzten Eichen je nach Versuchsfläche bei 6 bis 18 cm. In der Fläche Bülach waren die Eichen im Jahr 2004 wegen Wildverbiss noch durchschnittlich gleich hoch wie zu Beginn. Bei Ahornen lag der durchschnittliche jährliche Höhenzuwachs pro Versuchsfläche bei 10 bis 27 cm.
- An stark befahrenen Stellen war der Höhenzuwachs gepflanzter Bäume vermindert.

⇒ Die eher geringen jährlichen Höhenzuwachsrate der gepflanzten Bäume deuten auf Anwuchsschwierigkeiten hin.

Die Hypothese 1¹³ (Kapitel 4) kann aufgrund der Kovarianzanalysen nicht widerlegt werden. Der Höhenzuwachs der gepflanzten Bäume hängt signifikant von den Versuchsflächen ($p < 0,0001$) und der Baumart ($p = 0,0002$) ab (Abb. 7), jedoch nicht von der Variante ($p = 0,8214$) oder dem Deckungsgrad von Brombeeren, Himbeeren, Adlerfarn und Binsen (aufsummiert) im Sommer 2001 ($p = 0,3684$)¹⁴. Auf der Fläche Bülach lag der Höhenzuwachs bei $-0,3$ cm (Abb. 7, die Kovarianzanalyse ergab, bei mittlerem Deckungsgrad der Konkurrenzvegetation, einen Schätzwert von $+3,7$ cm). Dieser niedrige Höhenzuwachs ist höchstwahrscheinlich auf die hohe Verbissbelastung zurückzuführen (kein Zaun). Es ist zu berücksichtigen, dass in alle Mittelwerte auch etliche Pflanzen einfließen, die nach Schäden durch Fegen etc. von unten neu austrieben und deren Höhe dann nahe bei 0 cm lag. In den Ahornflächen alleine war der Höhenzuwachs zwischen 2001 und 2004 signifikant von der Versuchsfläche abhängig ($p = 0,0047$). Von der Variante hing der Höhenzuwachs nicht ab ($p = 0,7320$). In den Eichenflächen war das Ergebnis gleich ($p = 0,0079$ und $p = 0,2588$).

Gepflanzte Ahorne wiesen im Durchschnitt einen Jahreszuwachs von $19,1$ cm auf, gepflanzte Eichen einen solchen von $8,5$ cm (ohne Bülach $10,1$ cm). Der grössere Zuwachs der Ahorne entspricht den Erwartungen.

Gepflanzte Bäume, in deren unmittelbarer Umgebung (Umkreis mit Radius 50 cm) Binsen vorkamen, wuchsen langsamer in die Höhe als solche ohne Binsen (Abb. 8). Die Mortalität war aber mit und ohne Binsen gleich. Dies ist ein Nachweis biologischer Folgen des Befahrens des Waldbodens bei der Holzernte.

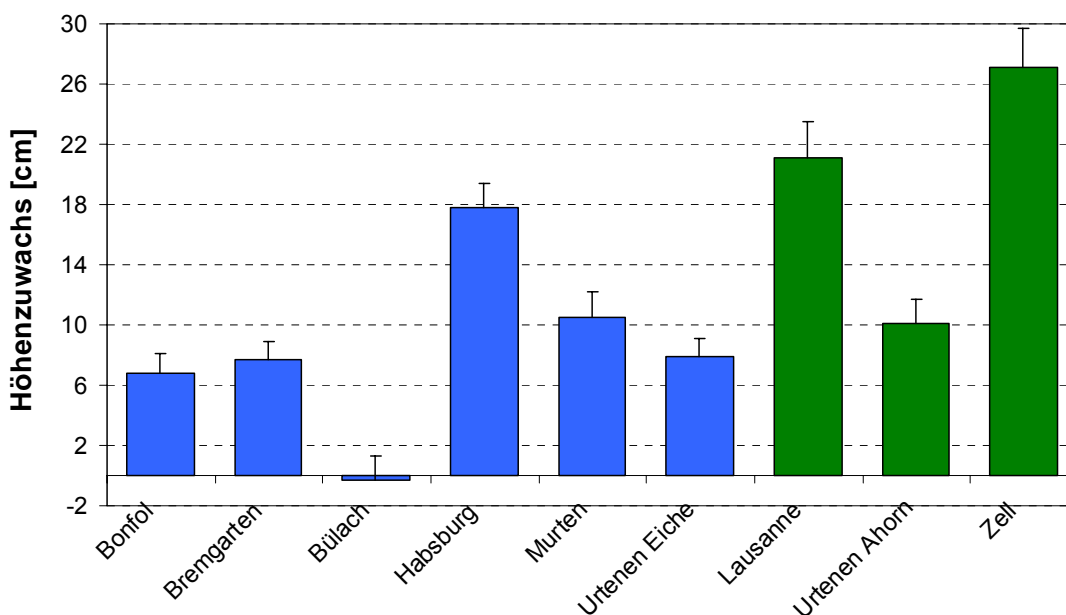


Abbildung 7: Durchschnittlicher jährlicher Höhenzuwachs pro Fläche der gepflanzten Eichen (blaue Balken) und Ahorne (grüne Balken) zwischen 2001 und 2004. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler an. Jede Säule steht für 63-76 Einzelwerte.

¹³ Es bestehen keine Unterschiede im Höhenwachstum und in der Mortalität der Zielbaumart zwischen den Verfahren mit Kunstverjüngung.

¹⁴ Dieser Test geht von einem linearen Zusammenhang aus. Nicht-lineare Zusammenhänge sind nicht auszuschliessen, s. Kap. 6.4.

6.4 Höhenwachstum der Naturverjüngung

Fazit:

- Der durchschnittliche jährliche Höhenzuwachs war bei Weiden mit 55 cm am grössten, gefolgt von Vogelbeeren mit 52 cm und Birken mit 46 cm (Abb. 9).
- Ausser in der Fläche Lausanne wuchsen in allen Flächen natürlich verjüngte Bäume rascher als gepflanzte (Abb. 10).

⇒ Pionierbäume wuchsen wie erwartet am raschesten in die Höhe.

Die Pionierbäume Weide, Vogelbeere und Birke hatten erwartungsgemäss das grösste durchschnittliche jährliche Höhenwachstum (Abb. 9). Beim roten und schwarzen Holunder war der Zuwachs niedriger als vermutet. Dies ist teilweise darauf zurückzuführen, dass der Holunder bei der Kulturpflege manchmal zurückgeschnitten wurde. Schwierigkeiten, die Jahrestriebe bei Holunder abzugrenzen, dürften auch eine Rolle gespielt haben.

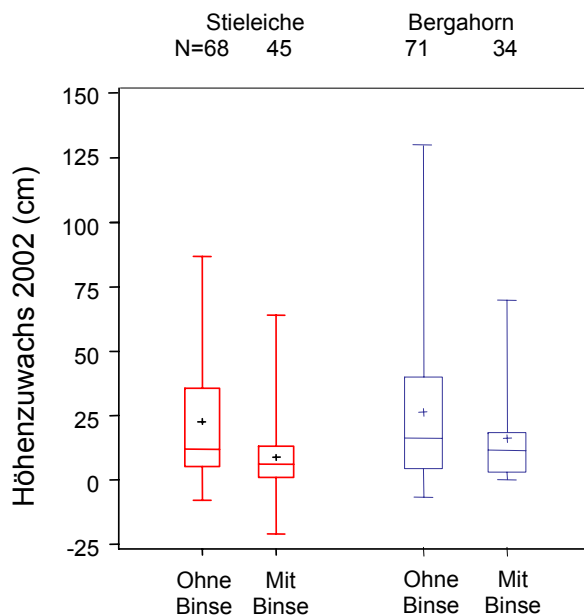


Abbildung 8: Höhenzuwachs 2002 gepflanzter Bäume mit und ohne Binsen im Umkreis mit Radius 50 cm rund um die Bäume. Die Box umschliesst 50% aller Werte.

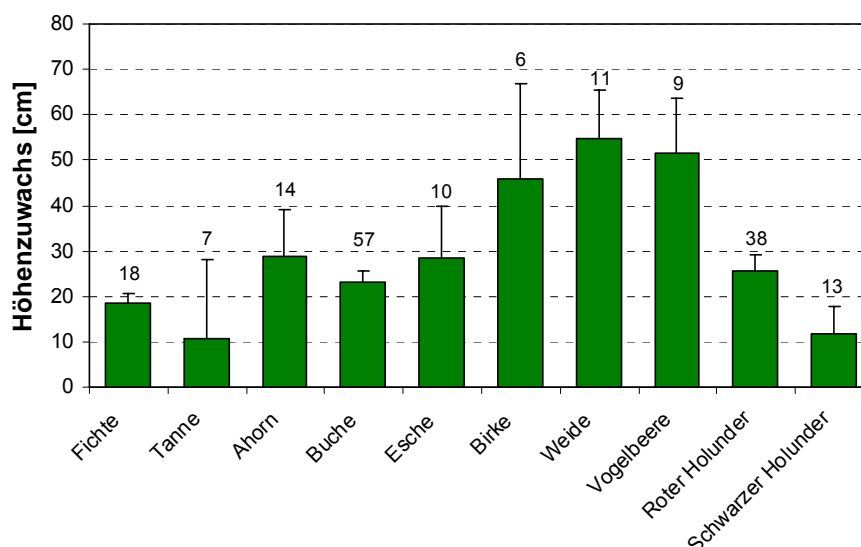


Abbildung 9: Jährlicher Höhenzuwachs der natürlich verjüngten Pflanzen zwischen 2001 und 2004. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler an, die Zahlen darüber die Anzahl Messwerte.

Die natürlich verjüngten Bäume und Sträucher, bei denen Pionierarten einen hohen Anteil aufwiesen, wuchsen rascher in die Höhe als die gepflanzten Bäume (Abb. 10). Eine Ausnahme ist die Fläche Lausanne.

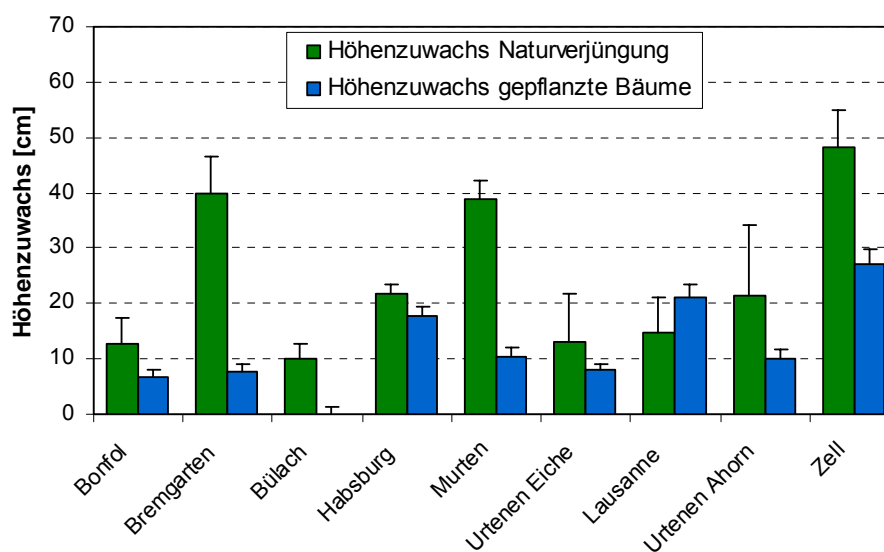


Abbildung 10: Jährlicher Höhenzuwachs pro Versuchsfläche gepflanzter und natürlich verjüngter Pflanzen zwischen 2001 und 2004. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler an. Jede Säule beruht auf 4-49 Werten (Naturverjüngung) bzw. 63-76 Werten (gepflanzte Bäume).

6.5 Schäden an gepflanzten Bäumen

Fazit:

- Schäden an den gepflanzten Bäumen waren im Sommer 2001 auf Ahornflächen weniger häufig als auf Eichenflächen. Im Sommer 2004 war der Unterschied nur noch undeutlich.
- Nur wenige gepflanzte Bäume waren verbissen, mit Ausnahme der Fläche Bülach, wo kein Zaun die Pflanzen vor dem Wild schützt.
- Mehltaubefall an Eichen und Blattfresser waren die häufigsten nicht verbissbedingten Schäden an gepflanzten Bäumen.

⇒ Rehwildverbiss und -fegen (v.a. auf ungezäunten Flächen) war der wichtigste Schaden an den gepflanzten Bäumen. Grosse Zäune (hier: 0,6-2,0 ha) sind kaum absolut rehfrei zu halten. Ohne Wildschutz sind gepflanzte Eichen auch auf grossen Sturmflächen kaum aufzubringen.

Bei den Schäden wurden Endtriebverbiss, Seitentriebverbiss (Foto 3) und „Andere Schäden“ (u. a. Mehltau und Blattfresser) unterschieden (Abb. 11). Schäden aller Art waren in den Sommern 2001 und 2004 auf Ahornflächen etwas weniger häufig als auf Eichenflächen.

Im Sommer 2001 lag der Anteil der Bäume mit anderen Schäden als Verbiss im Flächenmittel bei 29%, mit einem Minimum von 2% (Lausanne) und einem Maximum von 68% (Urtenen Eiche, Anzahl angesprochene Bäume pro Fläche 446-569). Verbiss wurde vor allem auf der ungezäunten Fläche Bülach festgestellt, kam aber auch in geringem Ausmass auf gezäunten Flächen vor (Abb. 11).

Im Sommer 2004 lag der Anteil der Bäume mit anderen Schäden als Verbiss im Flächenmittel bei 16%, auf den einzelnen Versuchsflächen zwischen 5% (Urtenen Ahorn und Zell) und 35% (Murten; Anzahl angesprochene Bäume pro Fläche 64-77). Nur ca. 3% aller

gepflanzten Bäumchen wiesen gravierende Schäden auf (tote Spitzen, gefegte Stämmchen). Unter den gefegten Bäumchen waren allerdings besonders viele geradwüchsige und vitale (Beobachtung).

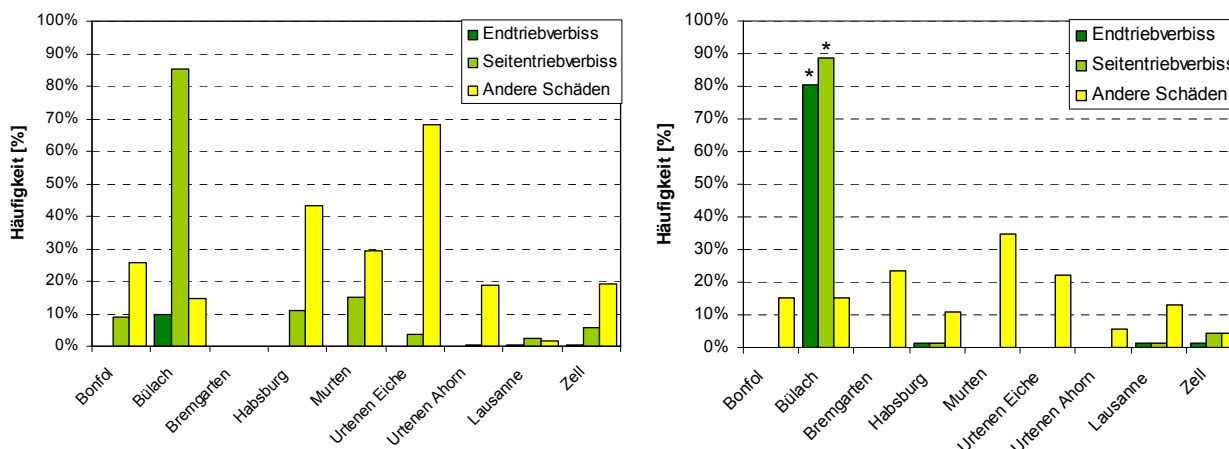


Abbildung 11: Links: Schäden an gepflanzten Eichen und Ahornen im Sommer 2001. Rechts: Schäden an gepflanzten Eichen und Ahornen im Sommer 2004. 2001 beträgt der Datenumfang total 1947 Bäume mit Schäden von total 4107, 2004 234 von 643.

*Auf der Fläche Bülach ist anzunehmen, dass 2004 alte Verbisschäden nochmals angesprochen wurden.

In allen Versuchsflächen nahm die **Verbissbelastung** (Foto 3) ab. Dies dürfte folgende Gründe haben:

- Es gelang zunehmend besser, die Zäune rehfrei zu halten.
- Die durchschnittlichen Höhen der Eichen (107 cm) und der Ahorne (137 cm) im Jahr 2004 erlaubten es dem Wild nicht mehr, die Endtriebe abzufressen. Rehwild verbeisst in der Regel Pflanzen über 60 cm Grösse nicht mehr am Terminaltrieb (Busch 1996, S. 549). Wie in der Fläche Bülach deutlich wird (Abb. 5 und 7), ist es ohne Zaun fast unmöglich, gepflanzte Eichen aufzubringen. Dies zeigen auch Erfahrungen auf anderen Lotharflächen (Rüegg und Nigg 2002).
- Viele Pionierbäume und -sträucher kamen zwischen 2001 und 2004 hinzu (Abb. 6) und lenkten wegen ihres höheren Futterwertes Wild auf sich (Kenk et al. 1991, S. 97).
- In der Fläche Bülach wurden jagdliche Massnahmen getroffen (Schwerpunktbejagung).



Foto 3: Verbissene Eiche

"Andere Schäden" wurden in folgende 7 Typen unterteilt:

- Mehltau
- Stamm gefegt
- Spitze tot
- Sonstiges
- Blätter dürr oder welk
- Blattfrass
- Pflegeschaden

Im Sommer 2004 waren Mehltau und Blattfrass unter den "anderen Schäden" an gepflanzten Bäumen am häufigsten (Abb. 12). Gefegte Bäumchen, solche mit dünnen oder welken Blättern, toten Spitzen, Pflegeschäden und sonstigen Schäden waren selten.

Mehltau trat in den Sommern 2001 bis 2004 (Abb. 12) häufig auf. Dies kommt in Eichenkulturen häufig vor. Da der Mehltau Wärme und Trockenheit bevorzugt (Kutter 2004), dürfte er sich im Sommer 2003 stark ausgebreitet haben. Im Jahr 2004 war das Infektionspotential aus dem Vorjahr noch sehr hoch (Kutter 2004).

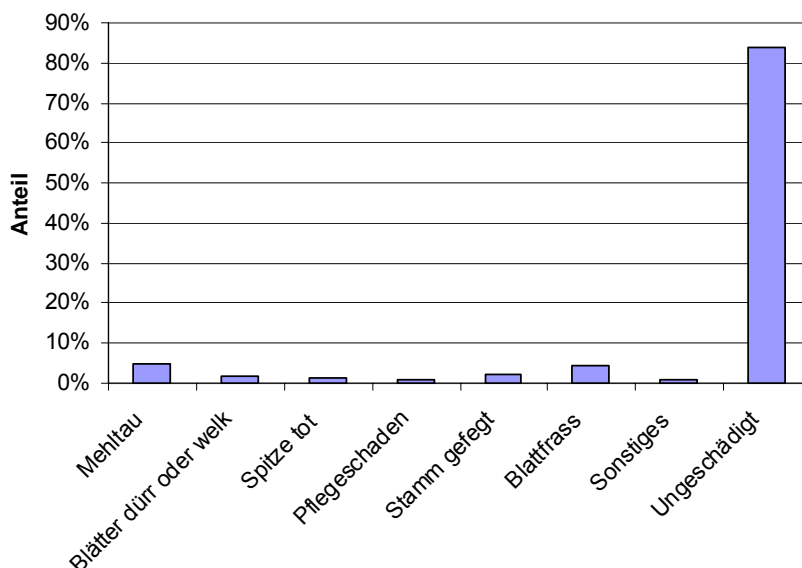


Abbildung 12: Art der anderen Schäden im Sommer 2004 an gepflanzten Bäumen in allen Flächen (total 104 von 643 angesprochenen Bäumen). Verbisschäden sind unberücksichtigt (vgl. Abb. 11).



Foto 4: Von Mehltau befallene Eiche in der Fläche Bülach. Foto J.-P. Mayland.

Besonderheiten der einzelnen Flächen im Jahr 2004 (pro Fläche wurden 64 bis 75 Pflanzen angesprochen):

- Bonfol: Von den 11 Pflanzen mit „anderen Schäden“ (15% der angesprochenen Pflanzen) wiesen 4 dürre oder welke Blätter auf, 3 waren vom Mehltau befallen und 3 wiesen Blattfrass auf.
- Bremgarten: 10 der 15 Pflanzen mit anderen Schäden wiesen Blattfrass auf.
- Bülach: Von den 11 Pflanzen mit „anderen Schäden“ waren alle 11 gefegt.
- Habsburg: 7 der 8 Pflanzen mit „anderen Schäden“ wiesen Blattfrass auf.
- Murten: 16 der 26 Pflanzen mit „anderen Schäden“ waren von Mehltau befallen.
- Urtenen Eiche: 10 der 17 Schäden Pflanzen mit „anderen Schäden“ wiesen Mehltau, 5 Blattfrass auf.
- Lausanne: 5 der 9 Schäden Pflanzen mit „anderen Schäden“ wiesen dürre oder welke Blätter auf.
- Urtenen Ahorn: Hier waren Schäden selten (nur 4 Pflanzen).
- Zell: Auch hier waren Schäden selten (nur 3 Pflanzen).

6.6 Bodenvegetation

Fazit:

- Die Brombeere erreichte 2001 und 2004 den höchsten Deckungsgrad aller Arten (Abb. 13), mit einem Gesamtdurchschnitt von 34 bzw. 39%.
 - Von 2001 bis 2004 nahm die Deckung von Himbeeren, Binsen und anderer Vegetation deutlich zu, die von Brombeeren und Adlerfarn blieb etwa gleich, und die Deckung von Seegras und Hohlzahn nahm deutlich ab (Abb. 13).
 - Ein Zusammenhang zwischen Deckungsgrad der Konkurrenzarten und Dichte der Naturverjüngung lässt sich nicht nachweisen (Abb. 16).
 - Die Pflanzung überragte die Bodenvegetation vor der Kulturpflege in allen Flächen sowohl 2001 als auch 2003 grösstenteils um mehr als 30 cm (Abb. 17 und 18).
- ⇒ Die Brombeere dominierte die Konkurrenzvegetation. Sie kam auf allen Versuchsflächen vor und erreichte im Sommer 2004 in drei Flächen einen Deckungsgrad von über 50%. Die meisten gepflanzten Bäume ragten aus der Bodenvegetation heraus.

Die Aufnahmen der Bodenvegetation erfolgten nicht aus vegetationskundlicher, sondern aus forstlicher Sicht, d.h. hinsichtlich der Fähigkeit konkurrierender Arten, die Entwicklung der Pflanzung und Naturverjüngung zu behindern. Daher wurden die Pflanzenarten nicht genau bestimmt. Die aufgenommenen Deckungsgrade verschiedener Pflanzen können 100% übersteigen. Mehrfachüberdeckung wurde also erfasst.

Im Mittel aller Versuchsflächen verdoppelte sich der mittlere Deckungsgrad von 2001 bis 2004 bei Himbeere (*Rubus idaeus*), Binse (*Juncus spec.*) und der „anderen Vegetation“ (Abb. 13). Brombeeren (Foto 7, *Rubus fruticosus aggr.*) und Adlerfarn (Fotos 5 und 6, *Pteridium aquilinum*) veränderten ihre Deckung wenig, die Deckung von Seegras (*Carex brizoides*) und Hohlzahn (*Galeopsis tetrahit*) nahm deutlich ab. Diese kurzlebigen Pflanzen besiedeln nach einem Windwurfereignis Sturmflächen rasch. Durch ungünstige Etablierungsbedingungen brechen ihre Bestände jedoch rasch wieder zusammen (M. Nobis in Angst et al. 2004). Im Durchschnitt aller Flächen erreichte die Brombeere mit Deckungsgraden von 35-40% mit Abstand die höchsten Werte.

Im **Sommer 2001** war der Deckungsgrad der Bodenvegetation auf Eichen- und Ahornflächen ähnlich (Abb. 14). Auf 5 von 8 Flächen hatten Brombeeren den höchsten Deckungsgrad, auf 2 Flächen (Lausanne, Urtenen Ahorn) der Hohlzahn und auf einer Fläche (Murten) Himbeeren. Brombeeren erreichten 2001 den höchsten mittleren Deckungsgrad mit 79% in der Fläche Zell. In Bülach und in Urtenen (Ahornfläche) lagen die mittleren Deckungsgrade von Himbeere beziehungsweise von Adlerfarn bei 0%. Diese Arten kamen dort im Sommer 2001 nicht oder kaum vor.

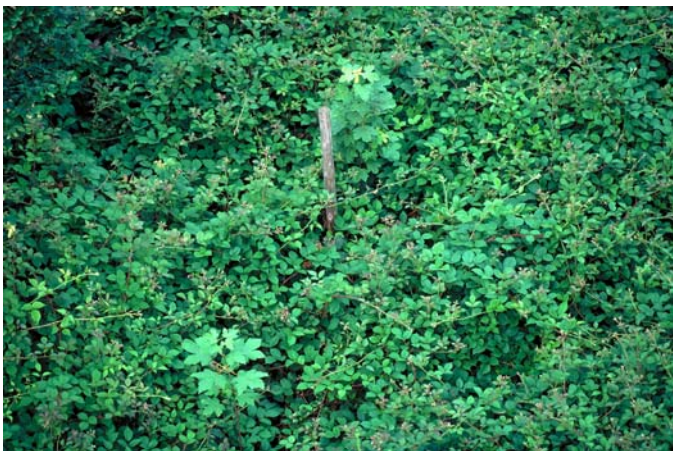


Foto 5 (oben): Adlerfarn und Brombeere beim Austreiben, Streu aus Vorjahr zu Boden gepresst. Fläche Bülach, Foto P. Brang, 19.5.2004.

Foto 6 (oben links): Gepflanzte Eichen überragen die Adlerfarntepiche (um mehr als 30 cm). Fläche Habsburg, Foto J.-P. Mayland, 1.7.2003.

Foto 7 (links): Gepflanzte Ahorne überragen die Brombeeren knapp (um 10-30 cm). Fläche Zell, Foto U. Wasem.

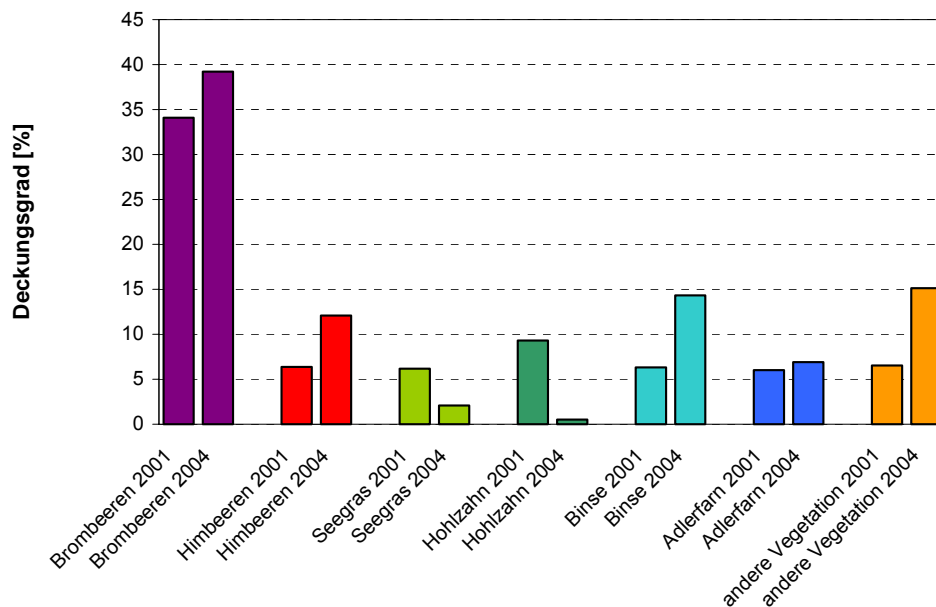


Abbildung 13: Deckungsgrad der Bodenvegetation 2001 und 2004 auf 8 Versuchsflächen (ohne Bremgarten). Jede Säule beruht im Sommer 2001 auf ca. 1150 Einzelwerten, im Sommer 2001 auf 433 Einzelwerten.

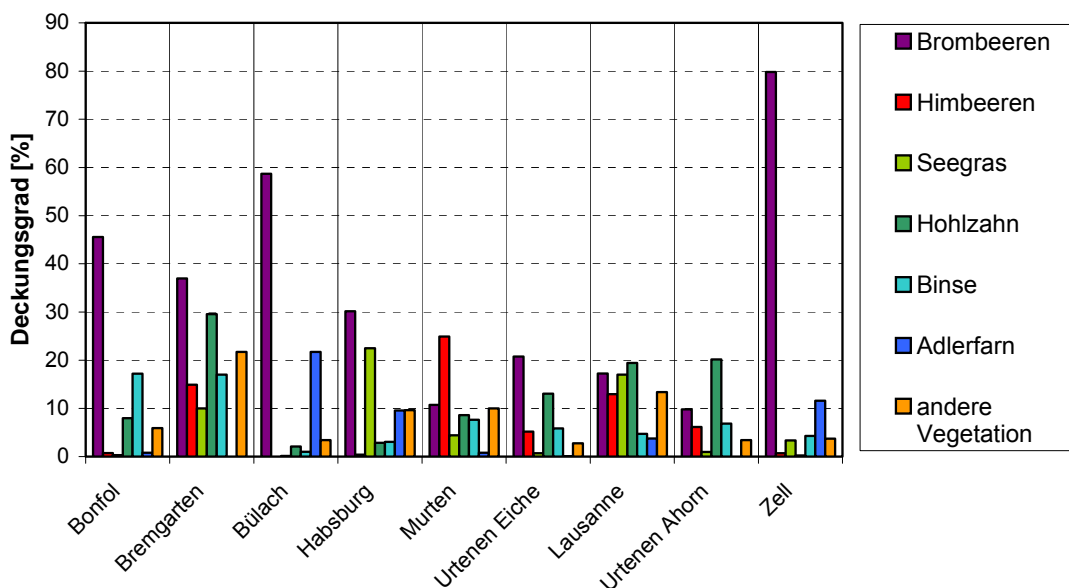


Abbildung 14: Deckungsgrad der Bodenvegetation 2001 (Bremgarten 2002) auf den Versuchsfeldern.

Auch im **Sommer 2004** war der Deckungsgrad auf Eichen- und Ahornflächen ähnlich (Abb. 15). Die Brombeere wies auf 6 von 9 Flächen den höchsten Deckungsgrad auf, die „andere Vegetation“ auf 2 Flächen (Bremgarten, Lausanne) und auf einer Fläche (Urtenen Ahorn) die Binse. Mit 72% erreichte die Brombeere wie 2001 den höchsten mittleren Deckungsgrad in der Fläche Zell. Auf den Flächen Lausanne, Urtenen Ahorn und Zell kam im Sommer 2004 der Hohlzahn nicht mehr vor, in Bülach und Murten fehlte 2004 das Seegras. Auch auf den anderen Flächen nahmen die Deckungsgrade von Hohlzahn und Seegras ab (Abb. 14 und 15). Im Anhang 11.6 sind detaillierte Grafiken zum Deckungsgrad 2001 und 2004 von Adlerfarn, Binse, Brombeere und Himbeere pro Versuchsfeld abgebildet.

Der vermutete direkte Zusammenhang zwischen der Dichte der Naturverjüngung und der Konkurrenzvegetation war nicht nachweisbar (Abb. 16). Zu erwarten wäre, dass sich bei hohem Deckungsgrad der Bodenvegetation (z.B. im Jahr 2001) in den Folgejahren (z.B. von 2001 bis 2004) weniger Pflanzen etablieren können als bei tiefem. Aus Abb. 16 geht immerhin hervor, dass bei sehr hohen Deckungsgraden keine hohen Dichten der Naturverjüngung vorkommen. Die Varianzanalysen (Kap. 5.4) ergaben zwar keinen statistisch signifikanten linearen Zusammenhang; dies dürfte aber darauf zurückzuführen sein, dass sie nur Deckungsgradunterschiede innerhalb der Versuchsfelder berücksichtigten. Die Auswertungen lassen somit folgende Vermutungen zu:

- In der Fläche Zell liegt ein Zusammenhang zwischen der fast vollständigen Bodenbedeckung durch Brombeeren und Adlerfarn (zusammen 92%) und dem spärlichen Vorkommen der Naturverjüngung nahe.
- Auch die Fläche Bülach ist durch eine niedrige Anzahl natürlich verjüngter Pflanzen und hohe Deckungsgrade von Brombeeren und Adlerfarn (zusammen 85%) geprägt.

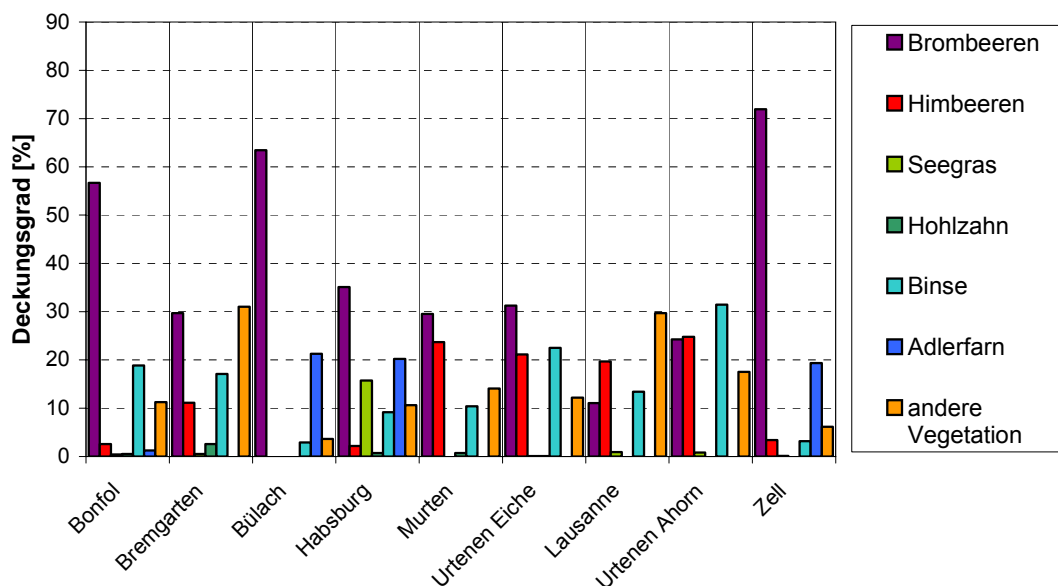


Abbildung 15: Deckungsgrad der Bodenvegetation 2004 auf den Versuchsflächen.

Eine schwache negative Wirkung der Brombeerbefdeckung auf die Etablierung der **Naturverjüngung** (Anflug neuer Pflanzen) ist trotz der nicht schlüssigen Resultate zu vermuten. Die verwendeten Methoden (Erhebung) waren ungeeignet, um schwächere Zusammenhänge nachzuweisen. Dafür wären experimentelle Ansätze geeigneter. Bei *gepflanzten* Bäumen ist die Situation anders zu werten: Falls sie die Brombeerbefdeckung überragen – und das war in diesem Versuch infolge Kulturpflege (Niedertreten rund um gepflanzte Bäume) meist der Fall – dürften die Brombeeren sie kaum beeinträchtigt haben. Ob *ohne* diese Pflegemassnahme die gepflanzten Bäume häufiger durch Schnee niedergedrückt worden wären, lässt sich nicht beantworten.

Die **relative Höhe** der gepflanzten Bäume zur Bodenvegetation, im Umkreis von 50 cm um die Bäume, wurde 2001 und 2003 beurteilt. Im Sommer 2001 waren auf 6 von 8 Flächen (ausser Bonfol und Zell) mindestens 20% der gepflanzten Bäume noch ohne jede Konkurrenz durch Bodenvegetation (Abb. 17). Auf den Flächen mit "sauberer" Schlagräumung (Lausanne und Urtenen) lag dieser Anteil sogar über 60%, der Mittelwert aller 8 Flächen betrug 39% Bäume ohne jede Konkurrenz durch Bodenvegetation. Wo Bodenvegetation vorhanden war, überragten die Bäume diese meist: Der Anteil Bäume, der die Bodenvegetation um 10 cm oder mehr überragte, lag im Sommer 2001 zwischen 23 und 59% (Abb. 17).

Im Sommer 2003, also in der vierten Vegetationsperiode nach dem Sturm, war der Anteil gepflanzter Bäume **ohne jede Bodenvegetation** im Umkreis von 50 cm in allen Versuchsflächen klein (Abb. 17), am höchsten mit 10,5% in der Fläche Lausanne.

Angenommen wurde, dass die Ahorn- gegenüber den Eichenflächen mehr gepflanzte Bäume aufweisen, die um 30 cm grösser sind als die Bodenvegetation. Der Grund dafür ist das langsamere Wachstum der Eiche während den ersten Jahren. Dies ist jedoch in dieser Untersuchung nicht generell der Fall (Abb. 7). Nur auf den Flächen Bonfol und Bremgarten wuchsen die gepflanzten Eichen merklich langsamer als Ahorne auf den drei Ahornflächen (Abb. 7). Als einzige Fläche hatte Bremgarten im Sommer 2003 den grössten Anteil der gepflanzten Bäume nicht in der Klasse >30 cm zu verzeichnen, sondern in der Klasse <-10 cm, dies allerdings bei um ein Jahr späterer Pflanzung (2002 statt 2001).

Aus Abb. 17 lässt sich für den Sommer 2003 ableiten, ob ein **Pflegeeingriff** durchgeführt werden sollte oder nicht. Falls die Klassen ">-10 cm" und "-10-10 cm" niedrige Werte aufweisen, dürfte ein Pflegeeingriff wenig wirksam sein. Dies war bei den Flächen Urtenen (Eiche), Lausanne und Zell der Fall.

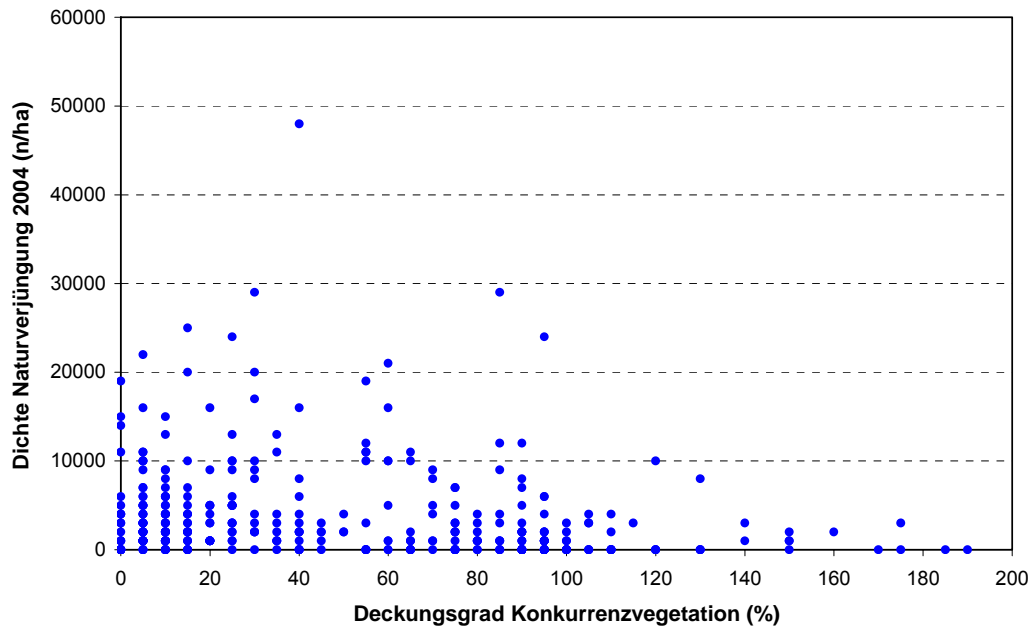


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad der Konkurrenzvegetation (Brombeere, Himbeere, Adlerfarn, Binse) 2001 und der Anzahl natürlich verjüngter Pflanzen im Sommer 2004. Die Abbildung beruht auf 431 Einzelwerten.

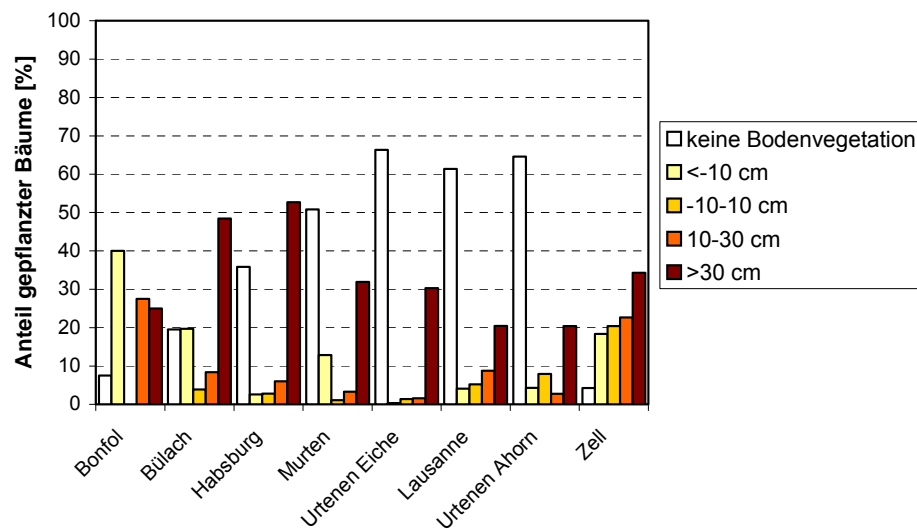


Abbildung 17: Relative Höhe der gepflanzten Bäume zur sie umgebenden Vegetation im Sommer 2001: >30 cm bedeutet, dass die Bäume die Vegetation um 30 cm oder mehr überragen; <-10 cm bedeutet, dass die Vegetation die Bäume um 10 cm oder mehr überragt. Die Abbildung beruht auf ca. 560 Einzelbaumwerten pro Versuchsfläche.

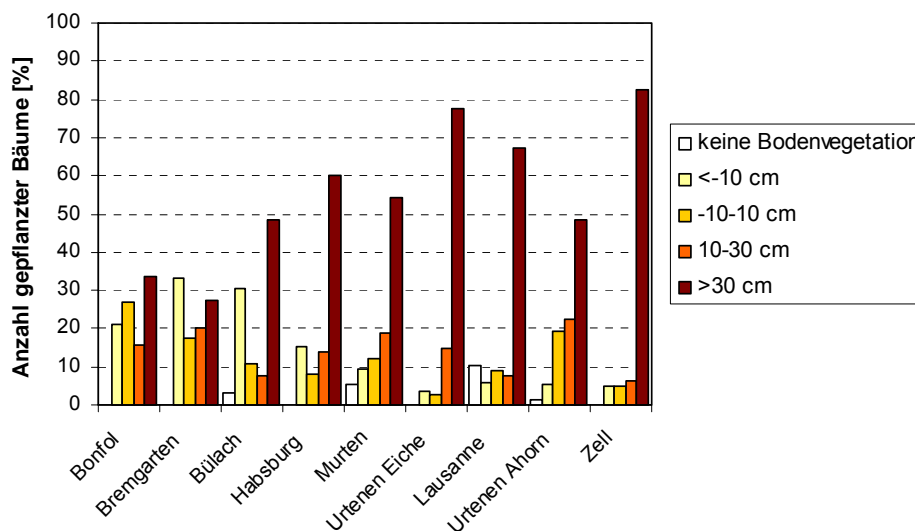


Abbildung 18: Relative Höhe der gepflanzten Bäume zur sie umgebenden Vegetation im Sommer 2003. Erklärung der Legende s. Abb. 17. Die Abbildung beruht auf ca. 50 Einzelbaumwerten pro Versuchsfläche.

6.7 Aufwand für Bestandesbegründung und Kulturpflege

Fazit:

- Der Begründungsaufwand für die Pflanzungen lag zwischen 79 und 119 Stunden/ha, bei Freiwilligeneinsätzen auch wesentlich höher.
 - Der Pflegeaufwand variierte zwischen 6,0 und 18,5 Stunden/ha und Jahr, auf Flächen mit ausschliesslich Facharbeitereinsatz zwischen 6,0 und 12,3 Stunden/ha und Jahr.
 - Der Gesamtaufwand für Bestandesbegründung (inkl. Zäunung) und Kulturpflege in den Jahren 2001 bis 2004 lag zwischen 142 und 337 Stunden/ha, auf 3 Flächen mit ausschliesslich Facharbeitereinsatz zwischen 142 und 152 Stunden/ha.
 - In der Kulturpflege ergaben sich zwischen den Varianten Reihenpflanzung, Trupp gross und Trupp klein nur geringfügige Unterschiede.
- ⇒ Profis brauchen weniger Zeit für die Kulturpflege. Die Unterschiede im Aufwand dürften zu einem erheblichen Teil auf unterschiedliche Ausführung und nicht auf Unterschiede in der Konkurrenzvegetation zurückzuführen sein. Es gibt also Sparpotenzial.

Die zuständigen Förster bzw. Waldeigentümer (Fläche Zell) erfassten den Zeitaufwand für die Pflegearbeiten selbst pro Teilfläche (also maximal 12 Werte pro Eingriff). Die Art der Eingriffe wurde mit wenigen Ausnahmen vor dem Eingriff auf der Fläche besprochen und in einer schriftlichen Pflegeanweisung festgelegt. In den Jahren 2001 und 2003 war J.-P. Mayland (Försterschule Lyss) dafür zuständig, 2004 die WSL (P. Brang und K. Häne). Den Begründungsaufwand erhoben die Förster ohne Trennung in Teilflächen.

Die Pflanzungen wurden z.T. durch Facharbeiter (Forstwarte), z.T. mit Hilfskräften (Bonfol, Zell) oder mit Freiwilligen (Bülach, Habsburg, Murten) durchgeführt. Dies erschwert Vergleiche erheblich. Der Freiwilligeneinsatz lässt sich nur abschätzen. Auf den Flächen, wo ausschliesslich Facharbeiter am Werk waren, variierte der Zeitaufwand für die Flächenvorbereitung zwischen 4,9 und 27,8 h/ha (ohne Lausanne bis 12,9 h/ha); für die Pflanzung zwischen 22,5 und 61,5 h/ha; und für die Zäunung zwischen 33,3 und 61,1 h/ha (Tab. 5). Der gesamte Zeitaufwand auf Flächen, wo ausschliesslich Facharbeiter am Werk waren, variierte zwischen 79 und 119 h/ha. Dazu kommen Maschinenstunden.

Tabelle 5: Aufwand für Bestandesbegründung. Kursiv: Flächen mit Freiwilligeneinsatz

Flächenname	Fläche (ha)	Baumart	Flächenvorbereitung (h/ha) ¹	Pflanzung (h/ha) ¹	Pflanzung (min/Pflanze)	Zaunlänge (lfm)	Wildschutz (h/ha)	Total Begründung (h/ha)
Bonfol	1,80	Eiche	9,6			650	39,4	
<i>Bülach</i>	<i>1,80</i>	<i>Eiche</i>	<i>8,3²</i>	<i>70,8³</i>	<i>4,4</i>		<i>6,1⁵</i>	<i>85,3</i>
Bremgarten	1,80	Eiche	12,9	22,5	1,4	966	43,3	78,8
<i>Habsburg</i>	<i>1,80</i>	<i>Eiche</i>	<i>187,5³</i>	<i>58,3</i>	<i>3,6</i>	<i>1015</i>	<i>61,1</i>	<i>306,9</i>
Lausanne	1,20	Ahorn	27,8 ⁸	59,0	5,0		15,7 ⁶	102,6
<i>Murten</i>	<i>1,80</i>	<i>Eiche</i>	<i>62,5³</i>	<i>118,8³</i>	<i>7,4</i>	<i>749</i>	<i>33,3</i>	<i>214,6</i>
Urtenen Eiche und Ahorn ⁴	2,88	Eiche, Ahorn	14,3	61,5	4,2	1478	43,1	118,8
<i>Zell</i>	<i>1,20</i>	<i>Ahorn</i>	<i>4,9</i>	<i>47,2</i>	<i>4,0</i>	<i>616</i>	<i>78,7⁷</i>	<i>130,8</i>

1 Ohne Teilflächen mit Variante Naturverjüngung

2 Ohne erheblichen Aufwand Freiwilliger

3 Grosser Einsatz Freiwilliger

4 Aufwand zwischen Eichen- und Ahornfläche nicht getrennt erhoben

5 Anstrich mit Abweismittel

6 Einzelschutz bei einem Teil der Bäume

7 Ausführung durch Jägeranwärter, Holzlattenzaun

8 Schlagabraum, Vegetation und Teil der Humusaufgabe maschinell zu Wällen zusammen geschoben

Der durchschnittliche Pflegeaufwand pro Fläche variierte im **Sommer 2001** von 0 (Fläche Lausanne) bis 22 (in Zell) Stunden/ha (Abb. 19). Die Variante Naturverjüngung wurde mit durchschnittlich 1,2 Stunden/ha am extensivsten gepflegt. Der Pflegeaufwand der übrigen Varianten war ähnlich (Reihenpflanzung 13,3, Trupp klein 11,5, Trupp klein 13 Stunden/ha, Abb. 21). Das Maximum pro Teilfläche von 0,08 bis 0,15 ha lag bei 50 Stunden/ha.

Auch im **Sommer 2004** wurde in der Fläche Lausanne kein Pflegeeingriff durchgeführt. Die Daten für die Flächen Bremgarten, Bülach und Murten konnten nur für die Auswertung des durchschnittlichen Pflegeaufwandes pro Variante (Abb. 21) verwendet werden, da hier die Arbeitszeiten für detailliertere Auswertungen zu wenig exakt¹⁵ erfasst wurden.

Der Pflegeaufwand pro Versuchsfläche variierte im Sommer 2004 zwischen 0 Stunden/ha in der Fläche Lausanne bis 12,3 Stunden/ha in der Ahornfläche in Urtenen (Abb. 20). Im Vergleich zum Sommer 2001 nahm der Pflegeaufwand für die Teilflächen mit Variante Naturverjüngung von 1,2 auf durchschnittlich 3,3 Stunden/ha zu (Abb. 21). Diese Variante wurde damit immer noch am extensivsten gepflegt. Danach folgten die Varianten Trupp klein mit 4,1 Stunden/ha, Trupp gross mit 5,5 Stunden/ha und die Reihenpflanzung mit 5,8 Stunden/ha. Diese Aufwände sind wesentlich tiefer als in den Vorjahren, vor allem weil viele gepflanzte Bäume der Konkurrenzvegetation entwachsen sind.

Hohe und tiefe Aufwände kamen sowohl bei Eichen- als auch bei Ahornflächen vor. Durchschnittlich betrug der Pflegeaufwand in den Eichenflächen im Sommer 2004 4,6 Stunden/ha und in den Ahornflächen 4,9 Stunden/ha.

Der zeitliche Verlauf des Pflegeaufwandes von 2001 bis 2004 unterscheidet sich zwischen den Varianten (Abb. 21): Während in der Variante Naturverjüngung der Pflegeaufwand zunahm, nahm er in allen anderen Varianten ab.

Im Durchschnitt der Jahre 2001 bis 2004 variierte der Aufwand zwischen 6,0 und 18,5 Stunden/ha und Jahr (ohne Bremgarten), bei Beschränkung auf die Flächen mit ausschliesslich Facharbeitereinsatz zwischen 6,0 und 12,3 Stunden/ha und Jahr (aus Tab. 6 ableitbar).

¹⁵ Der Zeitaufwand wurde nicht pro Teilfläche, sondern in Bülach für die ganze Versuchsfläche und in Bremgarten pro Wiederholung aufgenommen. In Murten wurden nur die Zäune repariert.

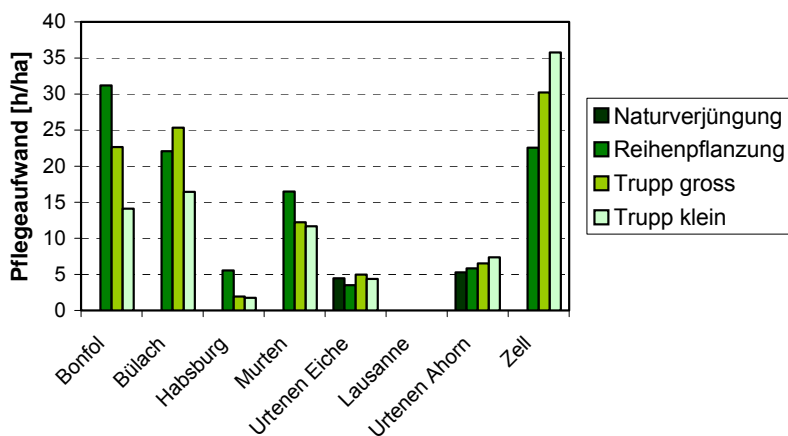


Abbildung 19: Pflegeaufwand im Sommer 2001 pro Fläche. Jede Säule beruht auf 3 Einzelwerten.

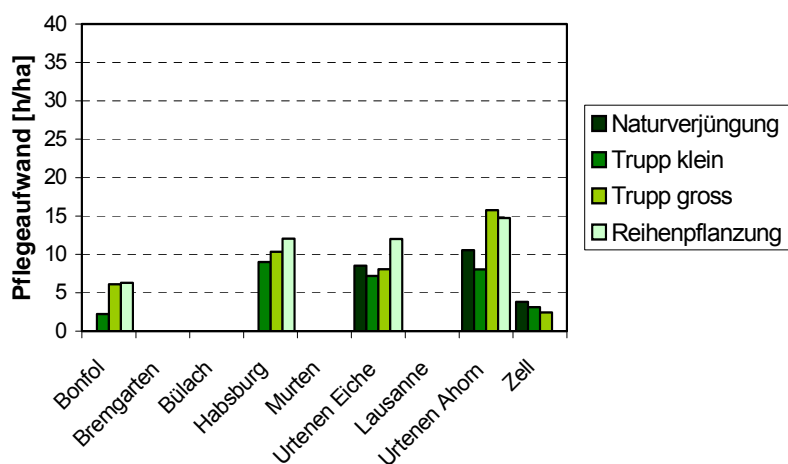


Abbildung 20: Pflegeaufwand im Sommer 2004. In Bülach, Bremgarten und Murten wurde kein Aufwand eingesetzt (s. Text). Jede Säule beruht auf 3 Einzelwerten.

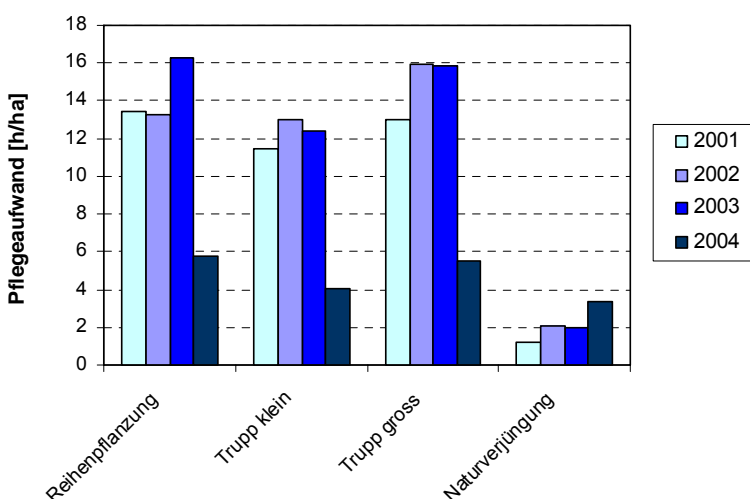


Abbildung 21: Pflegeaufwand pro Variante von 2001 bis 2004. Jede Säule beruht auf ca. 24 Einzelwerten von 8-9 Versuchsfächen.

Die Hypothese 2 (tiefster Aufwand in der Variante Naturverjüngung) kann nicht widerlegt werden (Abb. 21 und 22)¹⁶. Dies war tatsächlich der Fall, wurde aber auch durch die Pflegeanweisungen so vorgegeben. Die Unterschiede in der Kulturpflege zwischen den drei Varianten mit Pflanzung sind aber gering. Die von der Reihenpflanzung über die Variante Trupp gross zur Variante Trupp klein abnehmende Pflanzanzahl führt nicht parallel zu geringeren Aufwänden in der Kulturpflege. Offensichtlich ist die Pflanzanzahl für den Pflegeaufwand nicht bestimmend; die Unterschiede in der Art der Kulturpflege zwischen verschiedenen Ausführenden (Kamm et al. 2004) und die (in allen Varianten ähnlichen) Wegzeiten auf der Fläche sind entscheidender.

¹⁶ Die Begründungs- und Pflegekosten nehmen in folgender Reihenfolge zu: „Naturverjüngung“, „Trupp gross“, „Trupp klein“, „Reihenpflanzung“.

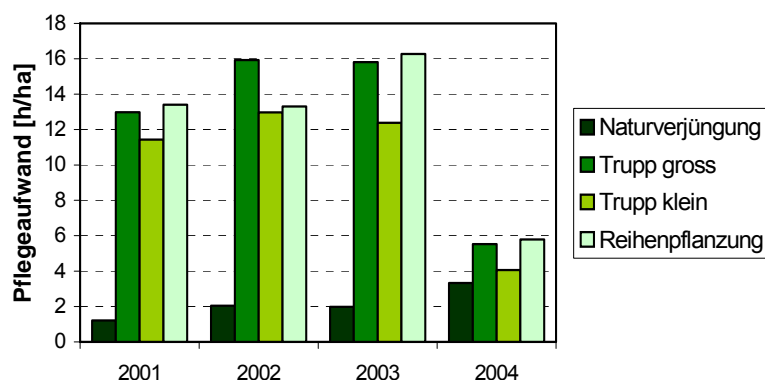


Abbildung 22: Pflegeaufwand von 2001 bis 2004 nach Varianten. Jede Säule beruht auf ca. 24 Einzelwerten von 8-9 Flächen.

Der Gesamtaufwand für Bestandesbegründung und Kulturpflege in den Jahren 2001 bis 2004 lag zwischen 142 und 337 h/ha (ohne Bremgarten, Tab. 6). Auf den Flächen Lausanne und Urtenen (2 Flächen), wo ausschliesslich Facharbeiter am Werk waren, variierte der Zeitaufwand nur zwischen 142 und 152 h/ha. Dies entspricht einer Investition von ca. 7500.- SFr./ha (Stundenansatz 50.-, ohne Maschinenkosten), mit Material (Pflanzen, Zaunmaterial) von 10'000.-/ha.

Aus einer Publikation (Brang et al. 2004) lassen sich weitere Aussagen ableiten:

- Bei höherem Deckungsgrad der Konkurrenzvegetation (Brombeere, Himbeere, Adlerfarn) war der Aufwand im Jahr 2001 signifikant höher. Die Streuung war allerdings erheblich, und der Zusammenhang war in den anderen Jahren undeutlich.
- Die grossen Unterschiede im Pflegeaufwand zwischen den Versuchsflächen, bei sehr ähnlichen Pflegeanweisungen, lassen auf erhebliches Sparpotenzial in der Kulturpflege schliessen.

Tabelle 6: Gesamtaufwand für Bestandesbegründung und Kulturpflege 2001-2004 auf den Teilflächen mit Pflanzung, also ohne Variante Naturverjüngung. Kursiv: Flächen und Eingriffe mit Freiwilligeneinsatz.

Flächenname	Baumart	Bestandesbegründung (h/ha)	Kulturpflege (h/ha)					Total 2001-2004 (h/ha)
			2001	2002	2003	2004	Total	
Bonfol	Eiche	fehlt	22,7	10,8	20,0	4,9	58,4	
<i>Bülach</i>	<i>Eiche</i>	85,3	21,3	23,0	23,0	0,3	67,6	152,9
Bremgarten ¹	Eiche	78,8	- ¹	- ¹	- ¹	3,5	3,5	82,3 ¹
<i>Habsburg</i>	<i>Eiche</i>	306,9	3,1	7,6	8,4	10,5	29,6	336,5
Lausanne	Ahorn	102,6	0,0	22,4	17,2	0,0	39,6	142,2
<i>Murten</i>	<i>Eiche</i>	214,6	13,5	17,5	15,0	3,3	49,3	263,9
Urtenen Ahorn	Ahorn	118,8 ²	6,6	6,3	7,0	12,8	32,7	151,5
Urtenen Eiche	Eiche	118,8 ²	4,3	4,7	6,0	9,1	24,1	142,9
<i>Zell</i>	<i>Ahorn</i>	130,8	29,5	20,4	22,0	1,9	73,8	204,6

¹ Pflanzung erst 2002

² Keine Auftrennung zwischen Ahorn- und Eichenfläche möglich

Die Wirksamkeit der durchgeführten Pflegemassnahmen ist schwierig zu beurteilen. Auf keiner Fläche kam es zu grossen Ausfällen infolge Niederdrückens der Konkurrenzvegetation durch Schnee. Einige Pflanzen wurden aber bei der Kulturpflege dort, wo entgegen den Anweisungen mit Sichel gearbeitet wurde, beschädigt (Abb. 12 und Anhang 11.5).

Weitere Informationen zum Aufwand in der Kulturpflege sind in einem Aufsatz in Wald und Holz zu finden (Brang et al., 2004).

6.8 Weitere Resultate

Einige Daten sind noch nicht fertig ausgewertet:

- Zusammenhang zwischen Samenbaumposition (2001), Deckungsgrad der Konkurrenzvegetation und Dichte der Verjüngung <20 cm im Jahr 2002: Erste Auswertungen für Fichte deuten darauf hin, dass sich die Dichte der (Nach-)Verjüngung auf grossen Sturmflächen mit der Distanz zu Samenbäumen und dem Deckungsgrad der Konkurrenzvegetation kaum erklären lässt. Die gefundenen Zusammenhänge sind nur schwach. Wie stark aufgrund von vorhandenen Samenbäumen mit Nachverjüngung zu rechnen ist, ist also schwierig abzuschätzen.
- Absterben von Bestandesrändern: Im Herbst 2001 wurde die Position von Samenbäumen erfasst. Viele von ihnen sind inzwischen abgestorben, v.a. Fichten, Buchen und Föhren. Durch eine Folgeaufnahme könnte das Ausmass dieses Absterbens quantifiziert werden.
- Dichte der Naturverjüngung: Anteil der Stichproben ohne jede Verjüngung.

6.9 Beurteilung der getesteten Varianten

Fazit:

- Für eine abschliessende Wertung der getesteten Varianten ist es zu früh.
 - Mit Trupppflanzung lassen sich im Vergleich zu Reihenpflanzung v.a. bei der Bestandesbegründung Kosten sparen.
 - Bei Trupppflanzungen sind einfache geometrische Pflanzmuster zu bevorzugen.
- ⇒ Weitergehende Aussagen sind erst nach längerer Beobachtungsdauer möglich.

In dieser Untersuchung wurden vier Verfahren der Bestandesbegründung bei zwei Baumarten verglichen: Eine Reihenpflanzung, zwei Varianten der Trupppflanzung und reine Naturverjüngung. Aus den bisher gewonnen Resultaten lassen sich folgende Empfehlungen für geräumte Sturmflächen ableiten:

- Potenzial der Naturverjüngung: Das Potenzial der natürlichen Verjüngung ist auch auf Problemflächen optimistisch einzuschätzen. Wenn der Bewirtschafter Fehlstellen von wenigen Aren pro Hektare akzeptiert, sind Ergänzungspflanzungen in den meisten Fällen unnötig. Ausnahmen sind Fälle, in denen die Samenbäume der Zielbaumarten fehlen und/oder Brombeeren oder Adlerfarn den Waldboden schon unmittelbar nach dem Sturm stark bedecken. Andere Konkurrenzarten wie Himbeeren und Seegrass dürften weniger problematisch sein.
- Tod von Samenbäumen: Da viele Samenbäume auf Sturmflächen und an deren Rand innert 1-3 Jahren absterben, ist deren Versamungspotenzial zeitlich beschränkt. Rasch absterben dürften insbesondere Buchen, Fichten und Föhren.
- Flexibilität der Waldbauziele: Falls die Baumartenzusammensetzung der Naturverjüngung stark von der gewünschten Zusammensetzung abweicht, ist zu überlegen, ob sich der Aufwand für korrigierende Eingriffe (Pflanzung und/oder Jungwaldpflege) lohnt.
- Jungwaldpflege vs. Pflanzung: Eine Korrektur der Baumartenzusammensetzung bei der Jungwaldpflege dürfte oft kostengünstiger sein als Pflanzung.
- Baumartenwechsel: Pflanzung ist vielfach die einzige Möglichkeit, um gewünschte Schlussbaumarten wie Eichen oder seltene Mischbaumarten wie Speierlinge, Elsbeeren oder Wildobst wieder einzubringen.

- Pflanzmuster: Bei Trupppflanzungen sind einfache geometrische Pflanzmuster zu bevorzugen (z.B. 3 x 3 oder 4 x 4). Dies spart Zeit bei der Jungwaldpflege. Zu kompliziert ist das Muster der Variante 'Trupp klein' bei Ahorn.
- Markierung: Bei hoher Konkurrenzvegetation hat sich die Markierung der Trupps mit 1,5 bis 2,0 m hohen Pfählen bewährt. Ohne diese Markierung sind manche Trupps nur schwer auffindbar.
- Varianten: Mit Trupppflanzung lassen sich im Vergleich zu Reihenpflanzung v.a. bei der Bestandesbegründung Kosten sparen.

Keine Aussagen sind möglich zu folgenden Fragen:

- Wie bewähren sich langsamwüchsige Fichten als Ummantelung der Trupps?
- Wie kostenwirksam ist das Niedertreten der Konkurrenzvegetation im Vergleich zum Ausmähen?
- Welche Vor- und Nachteile haben Trupppflanzungen im Vergleich zu weitständiger Einzelpflanzung?
- Welches der zwei bei Eichen angewandten Pflanzmuster der Trupppflanzung ist vorzuziehen?
- Für welche anderen Baumarten ist Trupppflanzung ein geeignetes Verfahren der Bestandesbegründung?

7 Umsetzungsarbeiten

Die Umsetzung der Resultate wurde mit Exkursionen, Vorträgen und Aufsätzen in den Zeitschriften „Informationsblatt Forschungsbereich Wald“ der WSL, Wald und Holz (Brang et al., 2004) und Zürcher Wald (Brang und Bürgi 2004) an die Hand genommen (s. Liste unten). Die Projektergebnisse flossen in die BUWAL-Synthese zur Lotharforschung ein (Raetz 2004). Auf jeder Fläche (ausser Bremgarten) steht zudem eine wetterfeste Informationstafel. Am 19.9.2001 wurden je ein Journalist der Aargauer und der Neuen Zürcher Zeitung auf der Fläche Habsburg über den Versuch und weitere Themen der Lotharforschung der WSL orientiert und berichteten darüber. Jeden Monat ca. 50-100 Mal wird die Projekt-Webseite (<http://www.wsl.ch/projects/extverj>) besucht, mit Informationen zu jeder Versuchsfläche.

Auflistung der Umsetzungsaktivitäten:

- Publikationen
 Brang, P. 2001. Sturmflächen kostengünstig wiederbewalden. Inf.bl. Forsch.bereich Wald (7): 3-5
 Widmer, H.-P. 2001. Das "Lothar"-Schlachtfeld ist kein Friedhof. Zwei Jahre danach. Wissenschaftliche Begleitung bei der Wiederherstellung des Habsburgerwaldes. Aargauer Zeitung 20. Dezember, S. 16
 Heusser, S. 2002. Wie sich der Wald nach dem Sturm "Lothar" entwickelt. Erforschung der Auswirkungen auf Borkenkäfer, Biodiversität und Naturverjüngung. Neue Zürcher Zeitung 223(234), S. 63
 Brang, P. 2002. Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar: Versuchsdesign und Aufnahmefethoden. In: Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Tagungsbericht der Sektion Waldbau im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten vom 12.-09.-14.09.2001 in Ludwigslust, 18-22.
 Brang, P., Kamm, S., Mayland, J.-P. 2004. Kulturpflege auf Sturmflächen: Erhebliches Sparpotenzial. Wald und Holz 85(3): 54-57
 Brang, P., Bürgi, A. 2004. Trupppflanzung im Test. Zürcher Wald 36(5):13-16

- Vorträge
 - 17.1.2001: Wintertagung Lothar-Rahmenprojekt, WSL
 - 22.8.2001: Waldwirtschaftsverband Zürich,
 - 13.9.2001: Jahrestagung Sektion Waldbau im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Ludwigslust, Deutschland
 - 30.6.2003: Förster Kanton AG, Habsburg.
 - 10.4.2003: Wintertagung Lothar-Rahmenprojekt, WSL
- Exkursionen:
 - 21.4.2001: Pflanzaktion mit Bevölkerung, Habsburg
 - 17.5.2001: Versammlung ProQuercus, Bonfol
 - 12.9.2003: Habsburg, 40 Forstwissenschaftler aus Deutschland und der Schweiz
 - 14.1.2004: Zell, 10 Luzerner Förster
 - 13.9.2004: Urtenen, Förster Kanton Bern
 Für die drei Flächen Bülach, Habsburg und Urtenen wurden Exkursionsführer (Flyer) erstellt.

8 Ausblick

Bis jetzt haben sich die Pflanzungen erfreulich entwickelt. Die spärliche Naturverjüngung und der hohe Deckungsgrad der Bodenvegetation belegen, dass es sich wirklich um Problemflächen handelt. Das Projekt war von Anfang an als **Langfristprojekt** angelegt. Über Erfolg oder Misserfolg der Varianten ist frühestens Anfang Stangenholz eine zuverlässige Prognose möglich.

In den nächsten Jahren sind, soweit nötig, weiter alljährliche Pflegebesprechungen mit den zuständigen Förstern auf jeder Fläche geplant. Aufnahmen der Pflanzung und der Naturverjüngung sind erst 2007 geplant.

Es gibt weitere Versuchsanlagen zur Trupppflanzung im Ausland. Die Versuchsanlage in der Schweiz entspricht allerdings den strengsten Anforderungen hinsichtlich Versuchsdesign. Auf Initiative der WSL haben die zuständigen Forscher eine Beschreibung ihrer Versuchsanlagen an P. Brang geschickt. Eine gemeinsame Auswertung der Daten nach der nächsten Aufnahme auf den Schweizer Trupppflanzungsflächen ist zu prüfen.

Eine weitere Umsetzungspublikation zu den bisherigen Resultaten in der Zeitschrift Wald und Holz ist geplant.

9 Dank

Ich möchte den beteiligten Waldbesitzern und Forstdiensten für die gute Zusammenarbeit danken. Die Projektbetreuung durch H. P. Schaffer am BUWAL war sehr konstruktiv. Auch den vielen Praktikanten und Praktikantinnen und den WSL-Mitarbeitern, die in den letzten vier Sommern auf den Flächen unterwegs waren, bin ich zu grossem Dank verpflichtet.

Am Projekt mitwirkende Praktikantinnen und Praktikanten

Marc Battaglia
Fabienne Progin
Karine Chevrot
Michael Margreth
Stefanie Töpferwien

Sang Won Bae
Thomas Reich
Christophe Trüb
Jan Wunder
Stephan Bernhard

Stefan Kamm
Stefanie von Felten
Marina Thurau
Regina Koch
Dein Barreiro

10 Literatur

- Anderson M.L. (1930). A new system of planting. *Scottish Forestry Journal*, 44: 78-87.
- . (1931). Planting in dense groups spaced at wide intervals. *Quarterly Journal of Forestry*, 25: 312-316.
- . (1951). Spaced-group planting and irregularity of stand structure. *Empire Forestry*, 30: 328-341.
- Angst C. (2004). Vielfältige Waldentwicklung auf Lothar-Versuchsflächen. *Informationsblatt Forschungsbereich Wald*, 17: 1-4.
- Angst C. et al. (2004): Waldentwicklung nach Lothar in tieferen Lagen der Schweiz 2000-2003. *Schlussbericht*. Zürich. 95 S.
- Brang P., Kamm S., Mayland J.P. (2004): Kulturpflege auf Sturmflächen: erhebliches Sparpotential. In: *Wald und Holz*, Nr. 3: S. 54-57.
- Busch J. (1996): Erfahrungen aus der Wiederbewaldung der Orkanschadensflächen. *AFZ/Der Wald*, Nr. 10: S. 547-552.
- Cameron R.D. (1950). A study of the development in plantations of small, closely-planted groups with wide interspaces. Manuscript in the Imperial Forestry Institute Library, Oxford.
- CEMAGREF (1983). Régénération artificielle des chênes. Note technique, Groupement de Nogent-sur-Vernisson, CEMAGREF, 50: 72.
- Demolis C., François D. & Delannoy L. (1997). Que sont devenues les plantations de feuillus par points d'appui? *Office National des Forêts, Bulletin Technique*, 32: 27-37.
- Gockel H.A. (1994). Soziale und qualitative Entwicklungen sowie Z-Baumhäufigkeiten in Eichenjungbeständen. Die Entwicklung eines neuen Pflanzschemas: "Die Trupp-pflanzung". Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- . (1995). Die Trupp-Pflanzung: Ein neues Pflanzschema zur Begründung von Eichenbeständen. *Forst und Holz*, 50: 570-575.
- Guericke M. (1996). Versuche zur Begründung von Eichenbeständen durch Nesterpflanzung. *Forst und Holz*, 51: 577-582.
- Kay J. & Anderson M.L. (1928). Douglas fir at home and abroad. *Empire Forestry*, 7: 22-40.
- Kenk G., Menges U., Bürger R. (1991): Natürliche Wiederbewaldung von Sturmwurf-flächen? *IAFZ*, Nr. 2: S. 96-100.
- Kutter K. (2004): Hamburgs Bäume im Stress (www.taz.de/pt/2004/10/19/a0264.nf/text).
- Kirpach C. (1978). Untersuchungen über die Struktur von Eichendickungen. Diplomarbeit. ETH Zürich.
- Rüegg D., Nigg, H. (2002): *UVSL Bulletin* Nr. 1/2002, 8 S.
- Ruhm W. (1997): Begründung von Eichenbeständen – alternative Verfahren. In: *Berichte der forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien*, Nr. 95: S. 99-103.
- Ruhm W. (1999). Versuche zur Teilflächenkultur als Massnahme zum Umbau sekundärer Nadelwälder. *Berichte, Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien*, 111: 209-217.
- SAS (1988): *SAS/STAT Users's Guide*. Release 6.03 Edition. SAS Institute Inc., Cary, USA, 1028 S.
- Schönenberger W., Wasem U. & Barbezat V. (1990). Mehr Keimlinge dank Plastikkegel. *Wald und Holz*, 71: 24-29.
- Spellmann H. & von Diest W. (1990). Entwicklung von Z-Baum-Kollektiven in langfristig beobachteten Eichen-Versuchsflächen. *Forst und Holz*, 45: 573-580.
- Strobel G. (2001): Eichen-Biogruppen (www.baumschule.de/aktuell/eichen-biogruppen.html).
- Szymanski S. (1986). Die Begründung von Eichenbeständen in "Nest-Kulturen". *Der Forst- und Holzwirt*, 41: 3-7.
- Wald.de (2002): www.wald.de/wald/baeume/bahorn.htm
- Weinreich A., Grulke M. (2001). Vergleich zwischen Nesterpflanzung und konventioneller Begründung von Eichenbeständen. *Berichte Freiburger Forstl. Forschung* 25: 41-54.