

Zum Einfluss des Altbestandes auf das Keimergebnis gesäter Bucheckern

Christian Ammer und Reinhard Mosandl
Lehrstuhl für Waldbau

Wissenschaftszentrum für Ernährung, Landnutzung und Umwelt,
Department für Ökosystem- und Landschaftsmanagement, TU München

1. Einleitung

Die flächenmäßig bedeutsame Umwandlung reiner Fichtenbestände in Mischbestände ist nach wie vor eine der großen Aufgaben der waldbaulichen Praxis (KENK 1992, ARENHÖVEL 1996, MOSANDL 1998, KAZDA und PICHLER 1998). Dem von fast allen großen Forstverwaltungen getragenen Ziel der Einbringung von Mischbaumarten in Nadelholzreinbestände stehen in vielen Fällen jedoch beschränkte finanzielle Mittel entgegen. Auf der Suche nach kostengünstigen Alternativen zur Pflanzung wurde die Saat, die bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts das Standardverfahren zur künstlichen Verjüngung von Beständen darstellte, wiederentdeckt (GOMMEL 1994, BAUMHAUER 1996, LEDER und WAGNER 1996, KÜSSNER und WICKEL 1998, STÄDTLER und MELLES 1999). Allerdings waren nicht alle der daraufhin durchgeführten Saaten erfolgreich, wobei die Gründe für Misserfolge in vielen Fällen unklar blieben (SCHMIDT-COLINET 1964, LEDER 1998).

Obwohl bereits Beobachtungen aus dem 19. Jahrhundert auf die Bedeutung der Bodenfeuchtigkeit für das Keimergebnis von Saaten hinweisen (ANONYMUS 1827, SEIDENSTICKER 1863, KOCH 1865), liegen bislang kaum Untersuchungen vor, die sich damit in planmäßig angelegten Versuchen unter Freilandbedingungen auseinandergesetzt haben. Dies gilt im besonderen Maße für Umbaustände in denen Buchensaat unter dem Schirm von Fichtenaltbeständen durchgeführt werden. Eine Beeinflussung der Bodenfeuchtigkeit durch Altbestände ist sowohl durch die Überschirmung, die die Menge des den Waldboden erreichenden Niederschlags bestimmt, als auch durch die Feinwurzeln gegeben, die dem Boden das für eine Keimung erforderliche Wasser unter Umständen entziehen. Vor diesem Hintergrund geht die vorliegende, durch eine Arbeitsgruppentagung der Sektion Waldbau in Arnsberg im Jahre 1996 initiierte Studie der Frage nach, welcher Rolle im Hinblick auf das Gelingen von Buchensaat unter Fichtenschirm dem Altbestand zukommt und welche waldbaulichen Schlussfolgerungen sich aus der Beantwortung dieser Frage ableiten lassen. Dazu sollen im Folgenden zwei Arbeitshypothesen getestet werden. Diese lauten: „Der Keimerfolg gesäter Bucheckern steigt mit abnehmender Überschirmung durch den Fichtenaltbestand“ (H_1) und „der Keimerfolg gesäter Bucheckern steigt mit abnehmender Feinwurzelbiomasse des Altbestands“ (H_2).

2. Material und Methoden

Versuchsanlage, -bestände und -standorte

Die im folgenden beschriebene Versuchsanlage wurde im Frühjahr 1997 in zwei 28 km voneinander entfernten, ca. 80 jährigen Fichtenbeständen (Fichtenanteil 99,3%, bzw. 98,7%) realisiert. Die Bestände sind jeweils nur einige Kilometer von den Städten Freising und Landshut entfernt, sind hinsichtlich Standort und Bonität

vergleichbar (Tab. 1) und repräsentieren für weite Teile Süddeutschlands typische Verhältnisse. Details zu den Standortbedingungen und zur Versuchsanlage finden sich bei AMMER (2000).

	Bestand nahe Freising	Bestand nahe Landshut
Geographische Lage	48°25'N, 11°41'E	48°35'N, 11°59' E
Meereshöhe (m)	490	465
Jahresniederschlag (mm a ⁻¹)	790	780
Vorherrschende Bodenart	sand. Lehm bis lehm. Sand	Sand. Lehm bis lehm. Sand
Alter im Jahr 1997	75	78
Oberhöhenbonität (ASSMANN und FRANZ 1963)	38	38
Vorrat (m ³ ha ⁻¹)	794	610
Spannweite des BHD (cm)	15.5-63.3	12.8-66.3
Stammzahl (N ha ⁻¹)	553	377

Tab. 1: Kennzahlen zur Charakterisierung der Versuchsbestände

In den Beständen wurden zwischen dem 2. und dem 6. Mai 1997 (Landshut) bzw. zwischen dem 7. und dem 11. Mai 1997 (Freising) Buchensaat durchgeführt. Dazu wurden nach dem Abziehen der Humusaufgabe auf insgesamt 2916 Plätzen von 0,5 m² Größe je 15 g Bucheckern auf den Mineralboden ausgebracht und leicht übererdet. Die zuvor im Labor ermittelte Keimfähigkeit des Saatguts lag bei 68 %. Aus dem Auszählen von 50 Stichproben ergab sich, dass die je Platz ausgebrachte Zahl an Bucheckern im Mittel 66 (Minimum 63, Maximum 70) betrug. Unter Berücksichtigung der Keimfähigkeit von 68 % lässt sich daraus eine potentiell mögliche Keimlingszahl von etwa 45 Pflanzen je Platz ableiten. Wie Abbildung 1 zeigt, waren die der Saat vorausgehenden und die ihr nachfolgenden ca. vier Wochen durch geringe Niederschläge gekennzeichnet.

Bei der Ausführung der Saaten kamen drei unterschiedliche Varianten zur Anwendung (Abb. 2). Diese bestanden aus a) einer Kontrolle (Saat mit Bodenvorbereitung), b) einer Kalkungsvariante (Saat mit Bodenvorbereitung und Kalkung) und c) einem Versuchsglied mit Laubstreu (Saat mit Bodenvorbereitung und Abdeckung durch Buchenlaub).

Zu a): Ein Drittel aller Saatplätze diente als Kontrolle, d.h. es wurden dort Bucheckern auf 0,5 m² großen Plätzen ausgebracht und mit einer ca. 2 cm mächtigen Mineralbodenschicht übererdet, aber sonst nicht weiter behandelt (Abb. 2). Zu b): Eine Anregung forstlicher Praktiker aufgreifend, die sich dadurch erhöhte Keimlingszahlen erwarteten, wurde auf einem weiteren Drittel aller Saatplätze 200 g pulverisierten Dolomits ausgebracht (Abb. 2). Dies entspricht der sowohl bei Kalkungen in der Praxis als auch in Kalkungsversuchen (vgl. KREUTZER und BITTERSÖHL 1986) verwendeten Menge von 4000 kg ha⁻¹. Zu c): Das verbleibende Drittel der Saatplätze wurde mit jeweils ca. 10 l Buchenlaub abgedeckt, das aus benachbarten Beständen stammte (Abb. 2). Diese Variante griff die positiven Erfahrungen auf, die bei der gleichzeitigen Ausbringung von Bucheckern mit Laubstreu gemacht wurden (vgl. LEDER und WAGNER 1996).

Die drei Saatvarianten wurden in den beiden rund 1 ha großen Beständen in jeweils sechsfacher Wiederholung auf Parzellen von 18 x 18 m Größe durchgeführt (Abb. 2). Auf jeder Parzelle wurden 81 Saatplätze in einem Gitternetz von 2 x 2 m angelegt (Abb. 2).

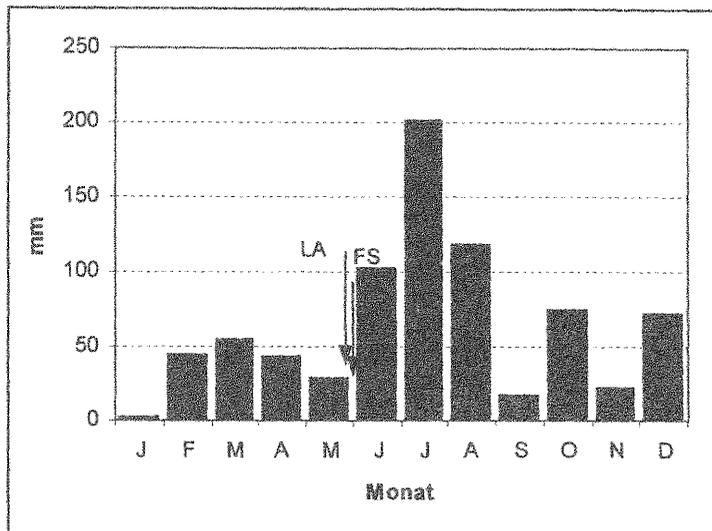


Abb. 1: Niederschlagsverteilung nahe des Versuchsstandorts Freising (die Daten sind den agrarmeteorologischen Monatsübersichten der Messstation Weihenstephan entnommen). Die Pfeile kennzeichnen den Beginn der Saaten auf den Versuchsflächen in Landshut (LA) bzw. Freising (FS).

3. Aufnahmen

Die Zahl der je Saatplatz aufgelaufenen Keimlinge bzw. der Sämlingszahl wurde zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten erfasst (3, 6, 9, 18, 52, 70, 122 und 174 Wochen nach der Saat). Dazu wurden die 25 im Kernbereich jeder Parzelle liegenden Saatplätze ausgezählt (Abb. 2). Die dauerhafte Markierung aller Keimlinge erlaubte die genaue Erfassung aller Zu- und Abgänge. Aus der Summenbildung aller Zugänge ließ sich so die Gesamtzahl der je Saatplatz gekeimten Buchen berechnen.

Erfassung der Überschirmung

1,5 m oberhalb des Mittelpunktes von neun ausgewählten Saatplätzen je Parzelle (Abb. 2) wurden hemisphärische Fotos angefertigt. Mittels einer von WAGNER und NAGEL (1992) entwickelten Programmroutine für die Bildverarbeitungssoftware Optimas, Version 6.1, die bei WAGNER (1994 und 1998) im Detail beschrieben ist, ließ sich daraus ein Überschirmungswert je Saatplatz berechnen. Der hierbei ausgegebene Wert („Schirm“) charakterisiert das Ausmaß der Überschirmung des Messpunktes in einem Zenitwinkel von 20° und bewegt sich zwischen 0 (entspricht vollständiger Überschirmung) und 1 (keine Überschirmung).

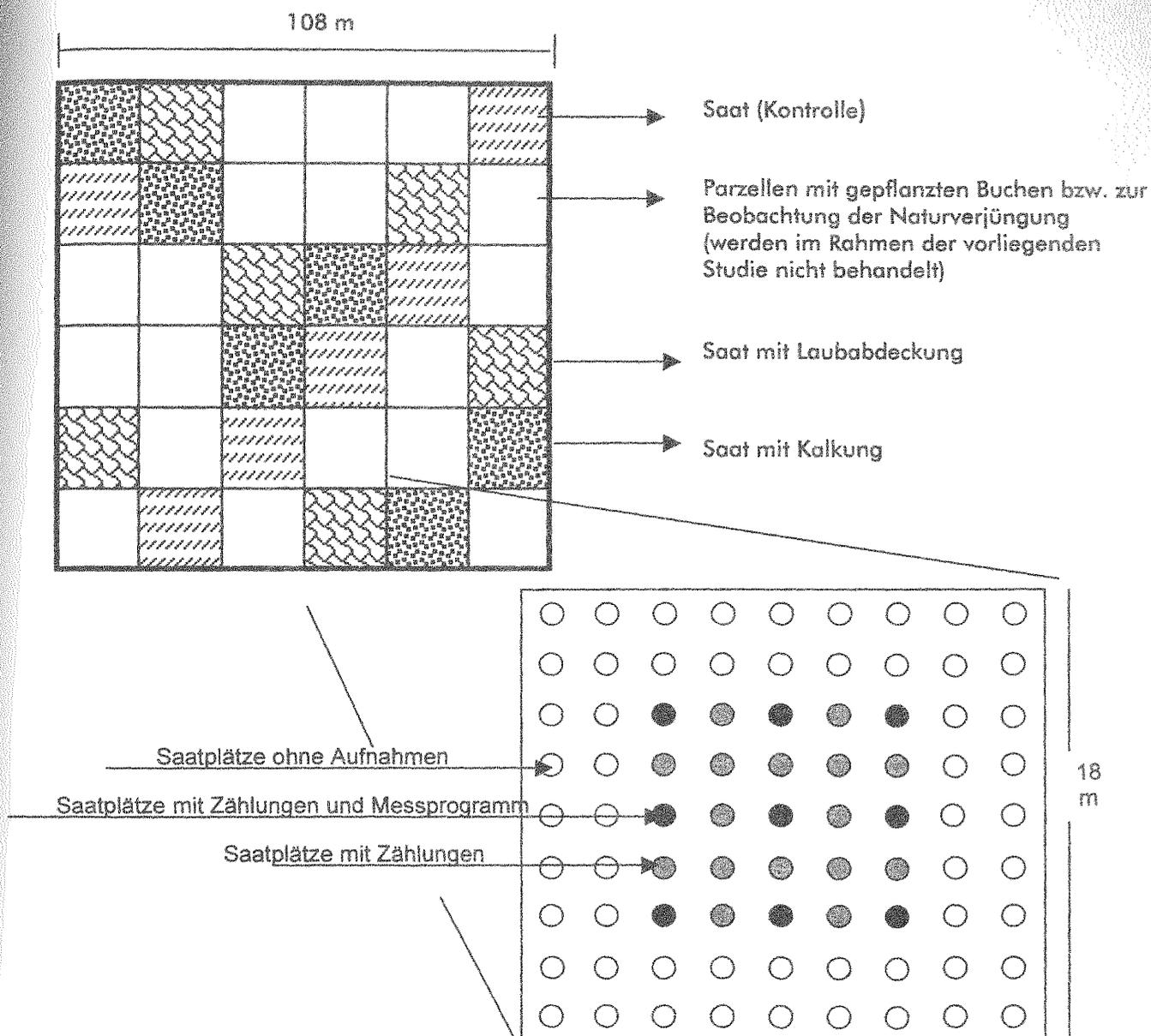


Abb. 2: Anordnung der Versuchsvarianten innerhalb eines Versuchsbestandes auf Parzellen von 18 x 18 m Größe. Jede Saatparzelle enthält 81 Saatplätze. Sämtliche Zählungen der Buchenpflanzen wurden auf den dunkel markierten 25 Plätzen durchgeführt. Die Bestimmung der Überschirmung erfolgte dagegen nur oberhalb der schwarz dargestellten Plätze.

Zum leichteren Verständnis (zunehmende Überschirmung mit zunehmenden Werten) wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht mit diesem Wert, sondern mit seiner Differenz von 1 gerechnet. Der so hergeleitete Überschirmungswert \bar{U} (=1-„Schirm“) wurde als Schätzwert für den an einem Messpunkt registrierbaren Bestandesniederschlag interpretiert, wobei in Anhalt an MITSCHERLICH et al. (1966) und ANDERSON et al. (1969) eine umgekehrt proportionale lineare Beziehung zwischen Überschirmung und Niederschlag unterstellt wurde. Dieser Ansatz geht auf eine Untersuchung von OLSSON et al. (1982) zurück, die feststellen, dass ein analog,

d.h. ebenfalls aus Fish-eye-Bildern mit einem Zenitwinkel von 20°, abgeleiteter Überschirmungswert mit der betreffenden Niederschlagsmenge eng korreliert war.

4. Schätzung der Feinwurzelbiomasse des Altbestandes je Saatplatz

Die Schätzung der Feinwurzelbiomasse je Saatplatz erfolgte mittels eines von AMMER (2000) im Detail beschriebenen Modells. Dieses berechnet die sogenannte relative Feinwurzelbiomasse (rFWB) eines Baumes an einem beliebigen Punkt in Abhängigkeit seiner Dimension (BHD) und Entfernung von diesem Punkt. Im vorliegenden Fall wurde für den Mittelpunkt jeden Saatplatzes die Summe der relativen Feinwurzelbiomassen aller diesen Punkt erreichenden Bäume gebildet. Dieser Wert, der sowohl mit der anhand von Bodenproben bestimmten tatsächlichen Feinwurzelbiomasse als auch mit Bodenwassersaugspannungsmessungen eng korreliert ist (AMMER 2000) wurde in Anhalt an WAGNER (1999) als Maß für die Altholzwurzelkonkurrenz interpretiert. Dieser Ansatz geht auf WU et al. (1985) zurück und erlaubt die indirekte Abschätzung einer von den Altbäumen noch „übriggelassenen“ Ressourcenmenge. An anderer Stelle (AMMER 2000) ist eingehend beschrieben, wie sich die für jeden Punkt berechneten summierten relativen Feinwurzelbiomassen auf eine Skala von 0 (keine verfügbare Bodenfeuchtigkeit durch maximale Altholzwurzelkonkurrenz) und 1 (maximale Ressourcenverfügbarkeit) umrechnen lassen. Analog zur Überschirmung wurden im vorliegenden Fall aber ebenfalls die Differenzen dieser Werte von 1 verwendet. Kleine Werte (um 0) repräsentieren im Folgenden daher eine geringe, hohe (bis 1) dagegen eine starke Altholzwurzelkonkurrenz.

5. Statistik

Eine ausführliche varianzanalytische Auswertung des Versuchs auf der Basis von Mittelwerten je Parzelle wurde von AMMER et al. (2001) durchgeführt. Die hier vorliegende regressionsanalytische Auswertung erfolgte dagegen auf der Basis der einzelnen Saatplätze. Als abhängige Variable diente hierbei die Gesamtzahl aller auf einem Saatplatz gekeimter Buchen. Die unabhängigen Variablen stellten die Überschirmung, die Summe der je Saatplatz errechneten relativen Feinwurzelbiomassen sowie – als Dummy-Variablen (z) kodiert – der Versuchsbestand (Freising: $z_1=-1$ Landshut: $z_1=1$) und die Behandlung der Saatplätze (Kontrolle $z_2=-1$, $z_3=-1$; Saat und Kalkung $z_2=-1$, $z_3=1$; Saat und Laubabdeckung $z_2=2$; $z_3=0$) dar. Wechselwirkungen zwischen den metrischen und den kodierten Variablen wurden ebenfalls berücksichtigt.

Eine weitere unabhängige Variable wurde durch die Multiplikation von Überschirmungs- und Altholzwurzelkonkurrenzwert gebildet. Diese Variable verbindet die beiden Wirkungen, mit denen der Altbestand die Bodenfeuchtigkeit beeinflusst. Durch die multiplikative Verknüpfung wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die Verringerung der Bodenfeuchtigkeit durch Altholzwurzelkonkurrenz von der Menge des den Boden erreichenden Niederschlages und damit von der Überschirmung abhängt. Dieser Ansatz orientiert sich an dem von WAGNER (1999) beschriebenen Beispiel der Verknüpfung zweier das Pflanzenwachstum beeinflussenden Ressourcen.

Sowohl die Berechnung der Altholzwurzelkonkurrenzwerte, als auch die schrittweise Regressionsanalyse wurden mit dem Statistikpaket SAS (Version 6.12) durchgeführt. Insbesondere bei der Suche nach geeigneten Transformationen zur bestmöglichen Anpassung und zur Überprüfung der Modellvoraussetzungen im Zuge der

Residualanalyse wurde auf Programmbeispiele von MUSSONG (1989) und DUFNER et al. (1992) zurückgegriffen.

6. Ergebnisse

Verlauf der Keimung und mittlere Keimlingszahlen

Abbildung 3 zeigt den Verlauf des Auflaufens der Saat und die weitere Entwicklung der Sämlingszahlen bis zum Herbst 2000. Angegeben ist die im Mittel aller Probekreise einer Fläche bzw. Behandlung je m² Saatfläche zu den verschiedenen Aufnahmezeitpunkten vorgefundene Sämlingszahl.

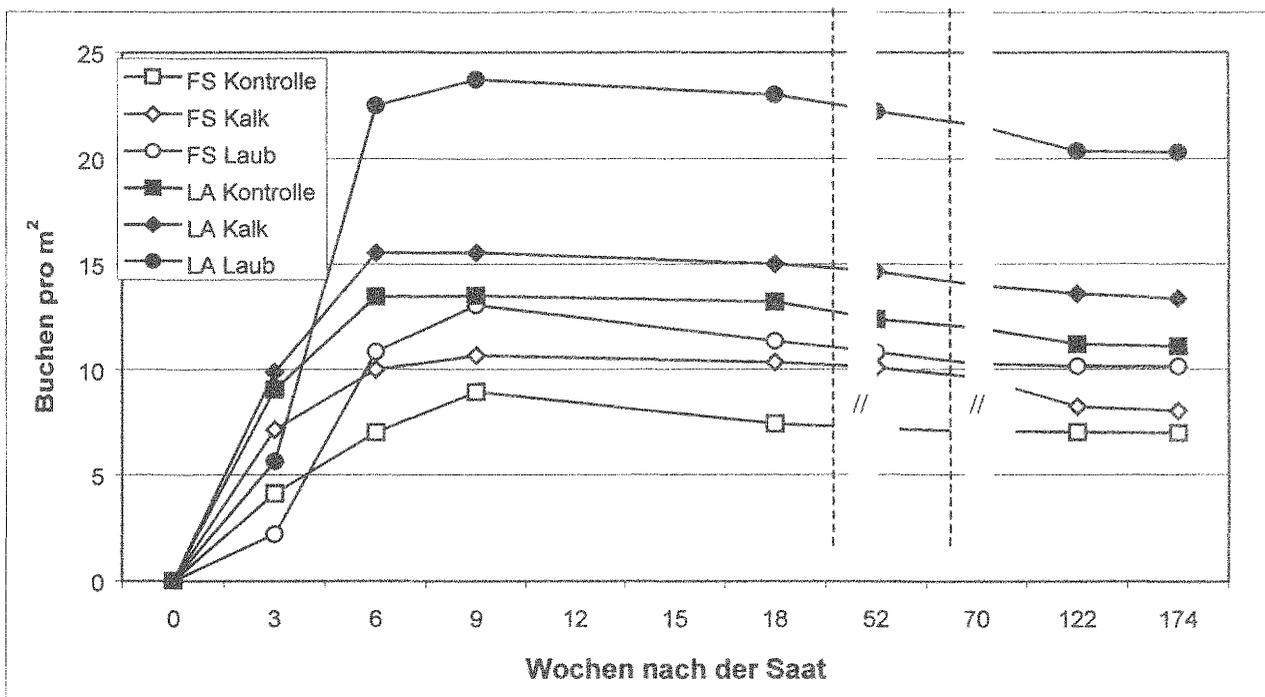


Abb. 3: Entwicklung der mittleren Pflanzenzahlen nach dem Ausbringen der Saat im Mai 1997

Aus der Abbildung lassen sich vier Befunde erkennen. Erstens fällt auf, dass die Zahl der gekeimten Pflanzen im Landshuter Versuchsbestand deutlich über jener des Freisinger Bestandes liegt. Dieser Unterschied ließ sich varianzanalytisch absichern (AMMER et al. 2001). Zweitens wird deutlich, dass die höchsten Keimlingszahlen sowohl in Freising als auch in Landshut von der Saatvariante mit Laubstreu erreicht wurden. Tatsächlich erwies sich im Zuge der Varianzanalyse der Unterschied zwischen der Variante mit Laubabdeckung und den beiden anderen Behandlungen als signifikant, während zwischen der Kontrolle und der Kalkungsvariante keine statistisch gesicherten Unterschiede festzustellen waren (AMMER et al. 2001). Drittens verdeutlicht Abbildung 3, dass die Bucheckern der Laubstreuvariante zeitlich verzögert aufliefen, da die Keimlinge das Buchenlaub erst durchwachsen mussten um bei den Aufnahmen erfasst zu werden. Viertens deutet die Entwicklung der Pflanzenzahlen bis zum Herbst 2000 darauf hin, dass sich die Überlebenschancen der Buchen bislang weder zwischen den Versuchsflächen noch zwischen den

Behandlungen unterscheiden. So haben die Sämlingszahlen in allen Fällen im selben geringen Ausmaß abgenommen.

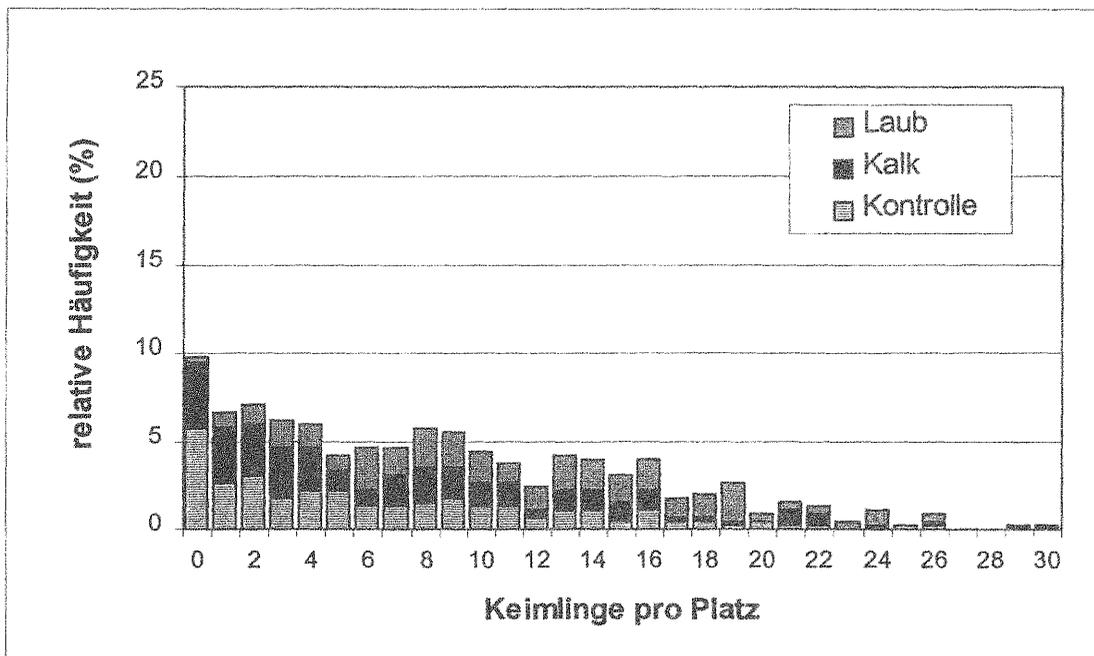
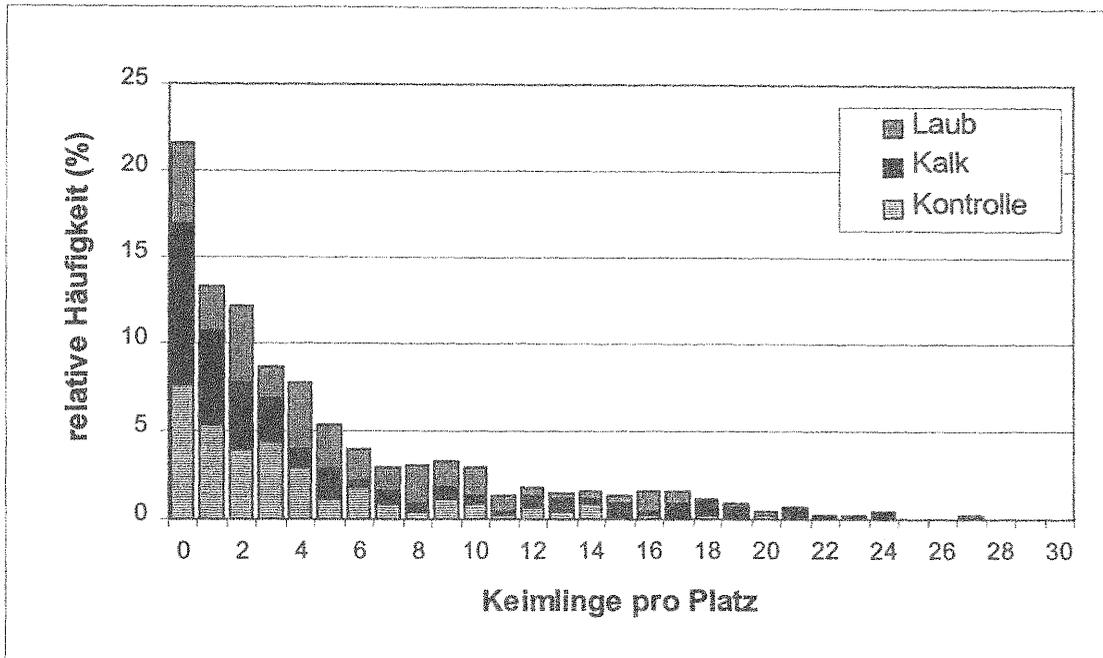


Abb. 4: Häufigkeitsverteilungen der Saatplätze klassifiziert nach der Zahl der je Platz gekeimten Buchen in Freising (oben) und Landshut (unten)

Aus Abbildung 3 lassen sich erste Hinweise auf einen Einfluss des Altbestandes auf das Keimergebnis ableiten. So kann man die geringeren Pflanzenzahlen der Saaten des Freisinger Versuchsbestandes mit dessen höheren Vorratswerten und Stammzahlen in Verbindung bringen. Wie der Altbestand das Keimergebnis jedoch genau beeinflusst, kann nur auf der Ebene des einzelnen Saatplatzes geklärt werden. Daraus lassen sich Hinweise darauf ableiten, ob und inwieweit die erhebliche Streuung der Zahl der je Saatplatz gekeimten Pflanzen (Abb. 4) innerhalb

eines Versuchsbestandes bzw. einer Behandlung durch Unterschiede in der Überschirmung bzw. der Altholzwurzelkonkurrenz erklärt werden kann.

7. Analyse des Einflusses des Altbestandes auf das Keimergebnis

Auf 324 Saatplätzen war es möglich, das Keimergebnis in Beziehung zu quantitativ bestimmten Altbestandsgrößen zu setzen. Dazu wurden Regressionsanalysen zur Erklärung der Variation der Zahl der je Saatplatz gekeimten Buchen in Abhängigkeit von der Überschirmung bzw. von der Altholzwurzelkonkurrenz, sowie von einer Variablen durchgeführt, die diese beiden Größen kombiniert (vgl. Abschnitt Statistik) und im Folgenden als Altbestandswirkung bezeichnet wird. Die Ergebnisse dieser Analysen werden im Folgenden vorgestellt und zwar

a) die Ergebnisse der Abhängigkeit der Keimlingszahl von der Überschirmung in Tabelle 2 und Abbildung 5.

b) die Ergebnisse der Abhängigkeit der Keimlingszahl von der relativen Altbestandsfeinwurzelbiomasse in Tabelle 3 und Abbildung 6.

b) die Ergebnisse der Abhängigkeit der Keimlingszahl von der Altbestandswirkung in Tabelle 4 und Abbildung 7.

Zu a): Stellt man die Zahl der je Platz gekeimten Buchen der oberhalb dieser Plätze gemessenen Überschirmung gegenüber so zeigt sich, dass zwischen beiden Variablen ein statistisch signifikanter Zusammenhang besteht (Abb. 5, Tab. 2).

Gleichung	n ^a	MSE	F	p>F	r ²
$y = 19,799 - 19,723x^{0,4} + 1,626z_1 + 1,2667z_2$	304	21,915	85,39	0,0001	0,461
		SE	F	p>F	
Ordinatenabschnitt		0,992	398,08	0,0001	
x=Überschirmung		1,580	155,89	0,0001	
z ₁ =dummy Bestand		0,274	35,34	0,0001	
z ₂ =dummy Behandlung		0,191	44,10	0,0001	

^a Zahl nach Ausreißerelimination

Tab. 2: Regressionsgleichung zum Zusammenhang zwischen der Zahl der pro Platz gekeimten Pflanzen und der Überschirmung

Dies bedeutet mit anderen Worten, dass sich die Variation der Zahl der je Platz gekeimten Buchen zu einem Teil aus der Überschirmung des betreffenden Platzes erklären lässt. Wie Abbildung 5 zeigt, nimmt dabei der Saaterfolg mit zunehmender Überschirmung ab. Neben der Überschirmung wurden in das Regressionsmodell aber auch zwei der drei Dummy-Variablen aufgenommen. Die Signifikanz von Variable z₂ bedeutet, dass bei gleicher Überschirmung auf den Plätzen der Variante mit Laubstreu mehr Pflanzen gekeimt sind, als auf den unbehandelten oder den gekalkten Saatplätzen. Die zuletzt genannten Saatvarianten unterschieden sich statistisch jedoch nicht voneinander (Variable z₃ ist nicht signifikant). Wie bereits bei der Interpretation von Abbildung 3 angesprochen wurde, erklärt sich die Variation der Zahl der je Platz gekeimten Buchen zu einem Teil also auch aus der Behandlungsvariante. Unerwartet war hingegen, dass das Regressionsmodell auch Variable z₁, die die beiden Versuchsstandorte kodiert, als signifikanten Einflussfaktor ausweist. Dies bedeutet, dass sich die Versuchsbestände nicht nur in der Bestandesdichte unterscheiden. In diesem Fall wäre Variable z₁ nicht in das Regressionsmodell aufgenommen worden, da sich solche Unterschiede in der platzweise bestimmten Überschirmung bereits widerspiegeln. Auf mögliche Erklärungen für diesen Befund sei auf die Diskussion verwiesen.

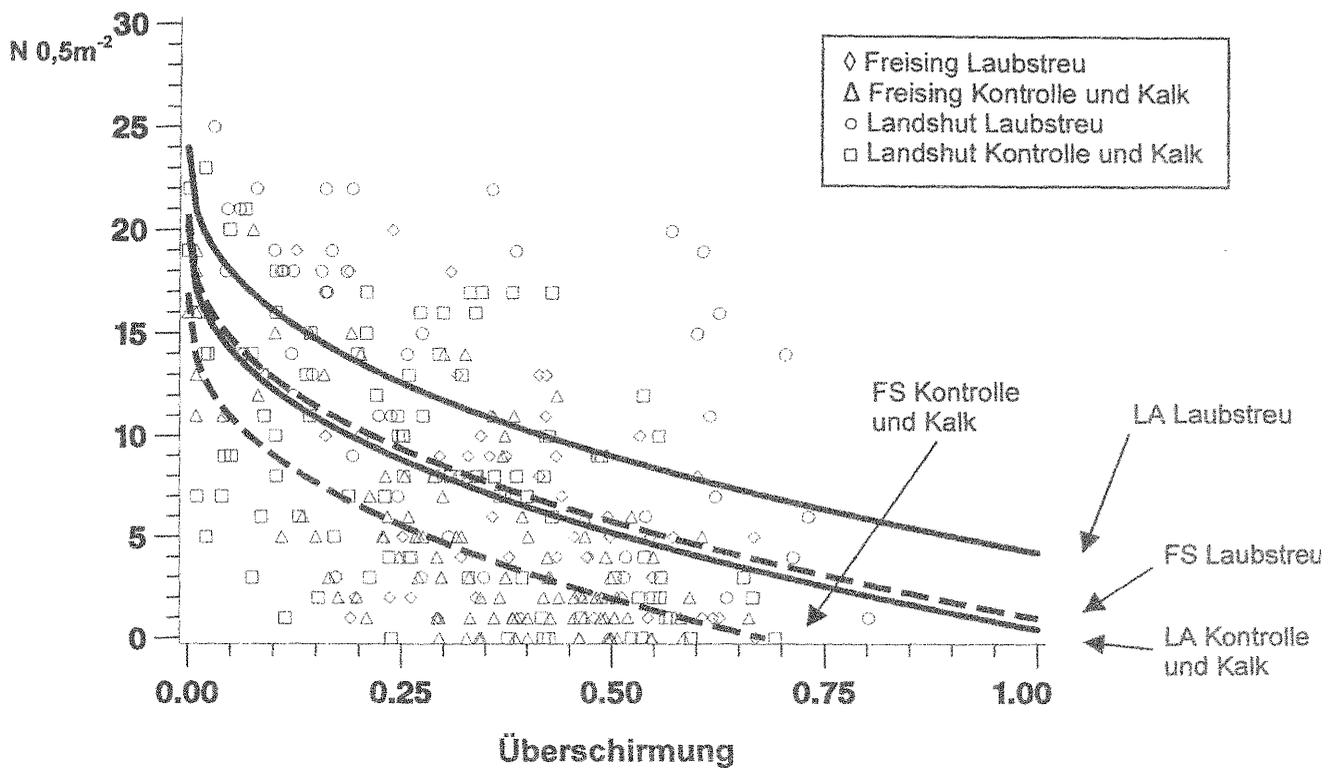


Abb. 5: Zusammenhang zwischen der Zahl der je Saatplatz gekeimten Buchen und der Überschirmung.

Analog zur Überschirmung wirkt sich auch der Anstieg der durch ein Modell errechneten relativen Feinwurzelbiomasse der Altbestandsfichten auf das Keimergebnis negativ aus, wenngleich der Verlauf der Abnahme der Zahl der je Saatplatz gekeimten Pflanzen ein etwas anderer ist als im Falle der Überschirmung (Abb. 6). Auch im Fall der Altholzwurzelkonkurrenz wurden die Dummy-Variablen z_1 und z_2 in das Regressionsmodell aufgenommen. Also auch hier haben der Bestand und die Behandlung Einfluss auf das Keimergebnis. Nicht signifikant ist wiederum die Dummy-Variable z_3 , d.h. zwischen gekalkten und ungekalkten Saatplätzen konnte kein Unterschied aufgedeckt werden. Wie bei der Überschirmung erwiesen sich Wechselwirkungen zwischen den Dummy-Variablen und der relativen Altbestandsfeinwurzelbiomasse für die Erklärung der Keimlingszahl als nicht signifikant.

Gleichung	n ^a	MSE	F	p>F	r ²
$y = 15,292 - 15,442x^{1,2} + 1,858z_1 + 1,085z_2$	307	25,319	59,81	0,0001	0,372
		SE	F	p>F	
Ordinatenabschnitt		0,845	327,43	0,0001	
x =relative Altbestandsfeinwurzelbiomasse		1,640	88,70	0,0001	
z_1 =dummy Bestand		0,292	40,41	0,0001	
z_2 =dummy Behandlung		0,204	28,23	0,0001	

^a Zahl nach Ausreißerelimination

Tab. 3: Regressionsgleichung zum Zusammenhang zwischen der Zahl der pro Platz gekeimten Pflanzen und der Altholzwurzelkonkurrenz (relative Feinwurzelbiomasse).

Wie Tabelle 3 entnommen werden kann, ist das Bestimmtheitsmaß der Regression zur Erklärung der Variation der Zahl der je Saatplatz gekeimten Buchen durch die

Altholzwurzelkonkurrenz geringer als jenes bei der Erklärung der abhängigen Variable durch die Überschirmung.
 $N\ 0,5m^{-2}$

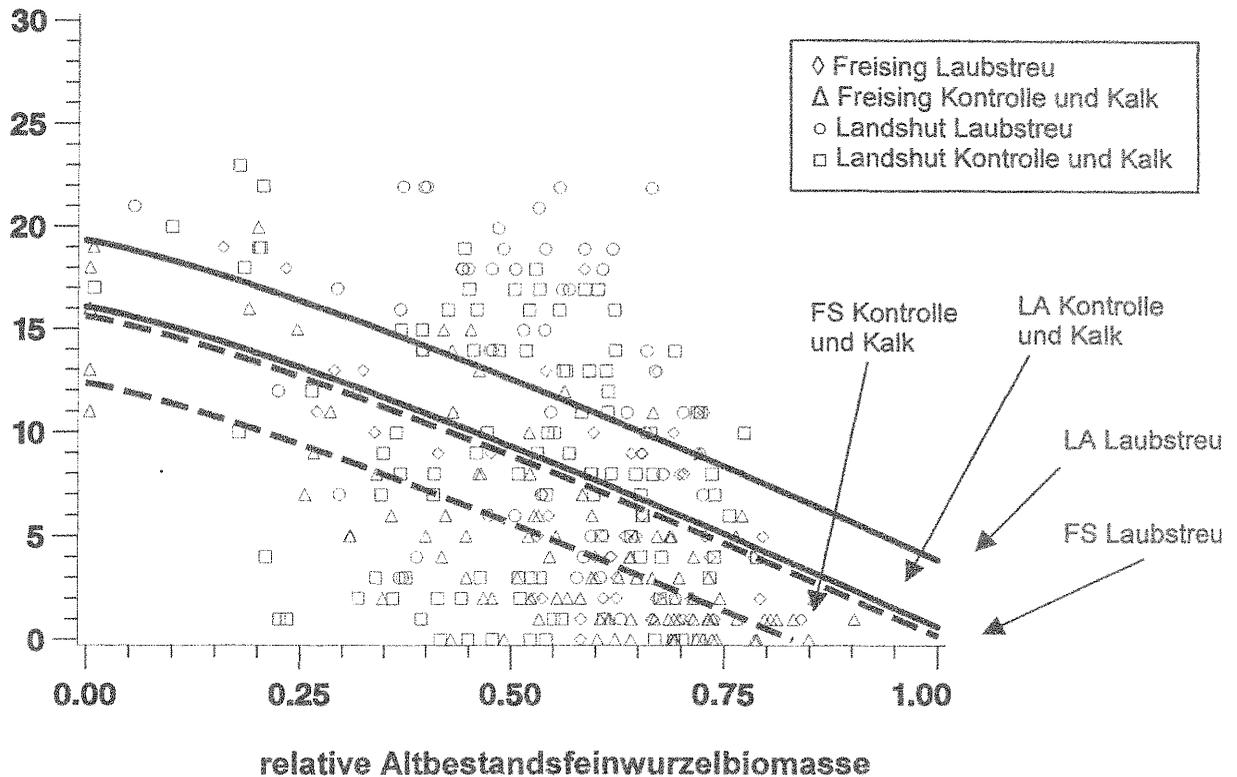


Abb. 6: Zusammenhang zwischen der Zahl der je Saatplatz gekeimten Buchen und der relativen Altbestandsfeinwurzelbiomasse.

Werden sowohl Überschirmung als auch Altholzwurzelkonkurrenz in einer Variablen kombiniert, so lassen sich dadurch - und durch die Dummy-Variablen z_1 und z_2 , die wie in den vorher erläuterten Fällen in das Regressionsmodell aufgenommen wurden - fast 55 % der Variation der je Platz gekeimten Buchen erklären (Tab. 4). Den Verlauf der Abnahme des Keimlingszahl mit der Zunahme der Altbestandwirkungen verdeutlicht Abbildung 7.

Gleichung	n°	MSE	F	$p>F$	r^2
$y = 17,054 - 18,059x^2 + 1,814z_1 + 1,230z_2$	300	18,840	116,04	0,0001	0,541
		SE	F	$p>F$	
Ordinatenabschnitt		0,670	648,04	0,0001	
x = Altbestandswirkung		1,246	210,06	0,0001	
z_1 =dummy Bestand		0,257	49,90	0,0001	
z_2 =dummy Behandlung		0,180	46,79	0,0001	

^a Zahl nach Ausreißerelimination

Tab. 4: Regressionsgleichung zum Zusammenhang zwischen der Zahl der pro Platz gekeimten Pflanzen und der Altholzbestandswirkung (Produkt aus Überschirmung und relativer Feinwurzelbiomasse des Altbestandes).

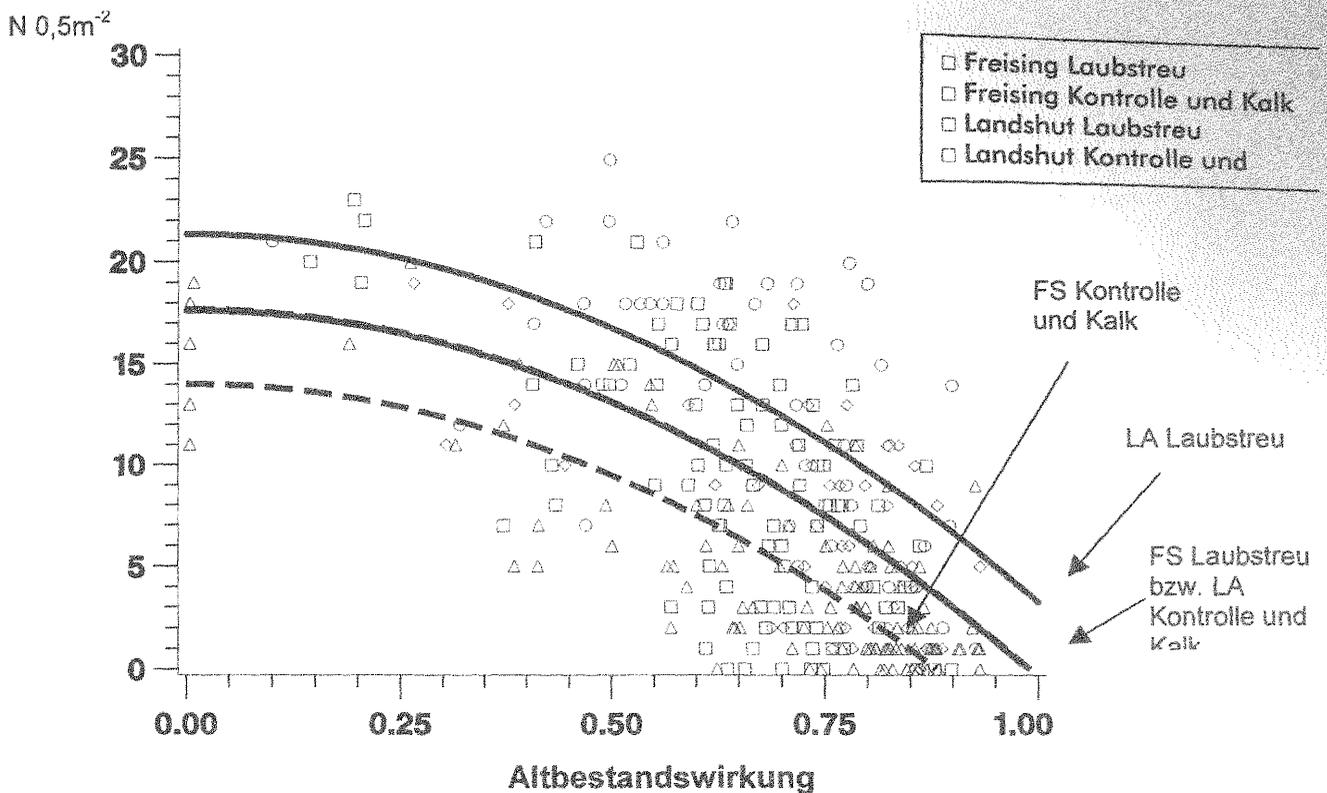


Abb. 7: Zusammenhang zwischen der Zahl der je Saatplatz gekeimten Buchen und der Altholzbestandswirkung (Produkt aus Überschirmung und relativer Feinwurzelbiomasse des Altbestandes). Die Ausgleichskurve für die Kontrolle und die gekalkte Variante in Landshut (untere durchgezogene Linie) überdeckt die Ausgleichskurve für die Variante mit Laubabdeckung in Freising.

8. Diskussion

Wie bei den in der waldbaulichen Praxis durchgeführten Buchensaaten unter Fichtenschirm, war der Keimerfolg auch im vorliegenden Fall von einer Vielzahl an Faktoren bestimmt. Nur einige davon konnten im Rahmen des durchgeführten Experiments - zumindest indirekt - quantitativ erfasst werden (wie z. B. die Altholzbestandswirkungen) oder waren genau bekannt (wie z.B. die Keimfähigkeit des Saatgutes). Trotz dieser Einschränkung konnte in den Regressionsanalysen über die Hälfte der Variation der je Saatplatz gekeimten Buchen aus dem Zusammenwirken der erfassten Einflussgrößen erklärt werden. Dabei zeigte sich, dass der Altbestand im vorliegenden Fall sowohl über die Überschirmung als auch über die Feinwurzelbiomasse für den Erfolg der Buchensaaten von entscheidender Bedeutung war. Beide der eingangs erwähnten Arbeitshypothesen („Der Keimerfolg gesäter Bucheckern steigt mit abnehmender Überschirmung durch den Fichtenaltbestand“ (H_1) und „der Keimerfolg gesäter Bucheckern steigt mit abnehmender Feinwurzelbiomasse des Altbestandes“ (H_2)) werden durch die Versuchsergebnisse also unterstützt.

Wie im methodischen Kapitel erwähnt wurde, haben sowohl die Überschirmung als auch die Feinwurzelbiomasse des Altbestandes erhebliche Auswirkungen auf die Bodenfeuchtigkeit. Diese scheint insbesondere in trockenen Frühjahren, wie im Jahr der Versuchsanlage (vgl. Abb. 1), von ausschlaggebender Bedeutung für das Auflaufen einer Saat zu sein. Dass die Wirkungen von Überschirmung und Altholzwurzelkonkurrenz nicht identisch sind, zeigt zum Einen die nur schwache Korrelation zwischen beiden Größen ($r=0,33$). Zum anderen weisen darauf aber

auch die Ergebnisse der Regressionsanalysen hin, bei denen sich das höchste Bestimmtheitsmaß bei der Erklärung der Variation der je Saatplatz gekeimten Buchen für jene unabhängige Variable ergab, die beide Altbestandwirkungen verknüpfte (Tab. 4). Die Verschiedenartigkeit der beiden analysierten erklärenden Variablen erklärt sich möglicherweise nicht zuletzt daraus, dass die horizontale Ausdehnung der Feinwurzeln eines Baumes insbesondere bei der Fichte den Kronenrand weit überschreitet (vgl. STONE und KALISZ 1991).

Möglicherweise ist die Bodenfeuchtigkeit auch die Erklärung für den Befund, dass Variable z_1 in allen Fällen in das Regressionsmodell aufgenommen wurde. Diese Variable steht für Unterschiede zwischen den beiden Versuchsbeständen. Solche Unterschiede können standörtlicher Natur sein, sie können die Bestandesdichte bzw. den Bestandaufbau und seine Zusammensetzung betreffen, aber auch Unterschiede in der Versuchsanlage widerspiegeln. Allerdings lässt sich weder aus den bisher durchgeführten Bodenansprachen (AMMER 2000), noch aus dem horizontalen oder vertikalen Aufbau der Bestände eine Verschiedenartigkeit der Versuchsflächen erkennen (AMMER 2000). Auch Unterschiede in der Bestandesdichte scheiden als Erklärung aus, denn diese hat über die beiden metrischen Größen „Überschirmung“ und „relative Feinwurzelbiomasse“ bereits Eingang in das Regressionsmodell gefunden. Eine denkbare Erklärung für die Signifikanz von Variable z_1 stellt dagegen der Zeitpunkt der Saat dar, denn dieser unterschied sich zwischen den beiden Flächen und dürfte sich unmittelbar auf die Bodenfeuchtigkeit ausgewirkt haben. So wurde in Freising eine Woche später gesät als in Landshut. Aufgrund der in den Wochen der Saat andauernden, ausgesprochen trockenen und heißen Witterung ist zu vermuten, dass die in Landshut ausgebrachten Bucheckern unter sonst gleichen Bedingungen eine oberflächennah höhere Bodenfeuchtigkeit vorfanden, als die in Freising gesäten Früchte. Entsprechend ist in den Regressionsanalysen das Vorzeichen der Parameter von Variable z_1 für den Freisinger Bestand negativ, d. h. es sind unter sonst gleichen Bedingungen weniger Buchen gekeimt als in Landshut. Die besondere Bedeutung einer für eine erfolgreiche Keimung ausreichenden Wasserverfügbarkeit ist für viele andere Pflanzenarten belegt (EVANS und ETHERINGTON 1990, BRONCANO et al. 1998). Betrachtet man die im Mittel dreieinhalb Jahre nach der Saat (Herbst 2000) je m^2 noch vorhandenen Pflanzenzahlen, so gewährleisteten diese auch im ungünstigsten Fall (Freising, Kontrolle, vgl. Abb. 3) leicht das beim Umbau aus waldbaulicher Sicht Erforderliche. Wie Abbildung 4 belegt, ist die Verteilung der Pflanzen auf der Fläche in diesem Fall allerdings nicht so gleichmäßig wie z. B. bei Pflanzungen, d.h. neben Plätzen mit vielen Sämlingen finden sich auch Bestandespartien ohne Buchen. Sowohl aus Abbildung 3 als auch aus den Ergebnissen der Regressionsanalysen wird deutlich, dass die Bedeckung der Bucheckern durch Laubstreu zu einer Erhöhung der Zahl der Keimlinge führte. Die Gründe für diesen Effekt sind nicht klar, wenngleich auch hierfür Feuchtigkeitsunterschiede zwischen den Saatvarianten als mögliche Erklärung dienen können. So ist es sehr wahrscheinlich, dass das Laub zu einer deutlich verringerten Evaporation führte und damit die Keimbedingungen verbesserte. Möglicherweise können diese spezifischen Bedingungen auch eine Erklärung dafür sein, dass die Laubstreu in einer anderen Untersuchung (LEDER 1998) nicht zu höheren Keimlingszahlen führte. Im Gegensatz zum hier vorgestellten Fall war dort die Keimung eventuell weniger durch Trockenheit behindert.

Im Gegensatz zur Laubstreu führte die gleichzeitig mit dem Saatgut ausgebrachte Kalkung nicht zu einer signifikanten Erhöhung der Keimlingszahlen. Inwieweit die Ausbringung des Kalkes ein Jahr vor der Saat ein anderes Ergebnis bewirkt hätte, kann nicht abgeschätzt werden. Möglicherweise war die Kalklösung aufgrund der

trockenen Witterung in den Wochen nach der Saat noch kaum fortgeschritten und konnte sich somit weder förderlich noch hemmend auf die Keimung der Bucheckern auswirken. Die bisherigen Erfahrungen mit Kalkungsmaßnahmen hinsichtlich der Zahl aufgelaufener Buchen sind widersprüchlich. Während SCHMIDT-COLINET (1964) keinen Kalkungseffekt feststellte, berichten KÜSSNER und WICKEL (1998) von höheren Pflanzenzahlen nach Kalkung eines sehr sauren Substrates. LJUNGSTRÖM et al. (1990) untersuchten die Auswirkungen unterschiedlich hoher Kalkgaben auf die Dichte einer Buchennaturverjüngung und stellten eine erhöhte Pflanzenzahl nur bei einer Kalkmenge von 2000 kg ha⁻¹ (also der Hälfte der im Rahmen des vorliegenden Experiments ausgebrachten Dosis) nicht aber bei Mengen von 5000 kg ha⁻¹ und mehr fest. Möglicherweise ist die Reaktion von Buchensaatgut auf Kalkungsmaßnahmen auch abhängig von der Herkunft der Bucheckern. So stellten LEPOUTRE und TESSIER DU CROS (1979) fest, dass Bucheckern die von Beständen auf saurem Standort stammten auf basenreichem Substrat schlechter keimten, als Früchte, die von den dort befindlichen Bäumen abgefallen waren. Im Gegensatz dazu war auf saurem Substrat zwischen den beiden Herkünften kein Unterschied im Keimverhalten festzustellen. Vor diesem Hintergrund wären höhere Keimlingszahlen bei der Kalkvariante im vorliegende Fall möglicherweise auch bei einer zeitlich deutlich vor der Saat liegenden Kalkung nicht zu beobachten gewesen, denn das hier verwendete Saatgut entstammte Beständen die auf basenreichen Böden stocken.

In welchem Ausmaß andere Faktoren die Zahl der gekeimten Pflanzen bestimmt haben, konnte in der vorliegenden Studie nicht quantifiziert werden. In Anhalt an KEBREAB und MURDOCH (1999) sind Interaktionen zwischen negativ wirkenden Trockenheits- und Temperatureffekten wahrscheinlich. Im Gegensatz dazu dürften weder die Strahlungsintensität noch die Strahlungsqualität das Keimergebnis beeinflusst haben. So ist nach FARMER (1997) Licht für die Keimung von Fagaceen im Unterschied zu anderen Arten (vgl. PONS 1983, LEINONEN und CHANATAL 1998) unerheblich, während das Überleben der Pflanzen in ganz entscheidender Weise von einer ausreichenden Strahlungsversorgung abhängt (MOSANDL und EL KATEB 1988, AMMER 1996). Wie die nur geringe und im wesentlichen auf Schäden durch Hasen verursachte Abnahme der Pflanzenzahl im bisherigen Versuchszeitraum zeigt (Abb. 3), scheint strahlungsbedingte Mortalität bei den aus Saat hervorgegangenen Buchen bisher keine Rolle zu spielen. Einen maßgeblichen Einfluss auf die Zahl gekeimter Pflanzen und das Überleben der Keimlinge üben mitunter Nager (vgl. GURNELL 1993, OSTFELD et al. 1997) und Vögel (vgl. STIMM und BÖSWALD 1994) aus. Vom Einfluss der Nager sind insbesondere Bucheckern betroffen (JENSEN 1985, NILSSON 1985). Vermutlich ist darauf zurückzuführen, dass auf einigen Saatplätzen keine Bucheckern keimten, aber zahlreiche, offenkundig leergefressene Bucheckernschalen gefunden werden konnten. Dennoch kann im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht abgeschätzt werden, in welchem Ausmaß Tiere für die nicht erklärte Variation der je Saatplatz gekeimten Buchen verantwortlich waren. Möglicherweise lässt sich ein Teil dieser Variation auch auf eine unterschiedlich mächtige Überdeckung des Saatgutes mit Mineralboden zurückführen. Diese Vermutung stützt sich auf Untersuchungen, aus denen die Bedeutung der Abdeckung von Bucheckern bzw. der Saattiefe für die Keimung von Buchen (BONNEMANN und BURSCHEL 1967, KÜSSNER und WICKEL 1998) und Eichen (NILSSON et al. 1996) hervorgeht.

Wie in der vorliegenden Studie gezeigt werden konnte, wird das Auflaufen einer Buchensaat durch den aufstockenden Altbestand erheblich beeinflusst. Gelungene Buchensaat unter dem Schirm von Fichtenbeständen sind bei unsicheren Witterungsbedingungen daher nur dann zu erwarten, wenn sichergestellt ist, dass

die betreffenden Bestände genügend aufgelichtet sind. Dadurch kann ein ausreichendes Auflaufen der Saat auch in Trockenperioden gewährleistet werden (vgl. GOMMEL 1994). Vermutlich sind viele Flächen, auf denen mit geringem Erfolg gesät wurde, zu dicht bestockt. Auflichtungen senken die Interzeptionsverluste und verringern die Altholzwurzelkonkurrenz. Sie sollten möglichst kurz vor der Saat durchgeführt werden, damit sich eine mit den Keimlingen konkurrierende Bodenvegetation nicht bereits vor der Saat etablieren kann. Neben der zielgerichteten Vorbereitung des Bestandes sollte in der forstlichen Praxis auch mit qualitativ hochwertigem Saatgut operiert werden. Dazu gehören die optimale Lagerung und Vorbereitung des Saatgutes (vgl. MULLER et al. 1999) und eine professionelle Bestimmung der Keimfähigkeit.

Literatur

- AMMER, Ch. (1996): Konkurrenz um Licht - zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 158. 198 S.
- AMMER, Ch. (2000): Untersuchungen zum Einfluss von Fichtenaltbeständen auf die Entwicklung junger Buchen. Habilitationsschrift, Forstwissenschaftliche Fakultät der TU München 183 S.
- AMMER, Ch., MOSANDL, R. und EL KATEB, H. (2001): Direct seeding of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands – effects of canopy density and fine root biomass on seed germination. For. Ecol. Manage., im Druck.
- ANDERSON, R.C., LOUCKS, O.L. und SWAIN, A.M. (1969): Herbaceous response to canopy cover, light intensity and throughfall precipitation in coniferous forests. Ecology, 50: 255-269.
- ANONYMUS (1827): Die Furchensaat, besonders mit Rothbuchen und Weisstannen. Allg. Forst-, u. J. Ztg., 3: 2-3.
- ARENHÖVEL, W. (1996): Waldumbau als Bestandteil des naturnahen Waldbaues. Allg. Forst Z./Der Wald, 51: 486-489.
- ASSMANN, E. und FRANZ, F. (1963): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsgb.): Hilfstafeln für die Forsteinrichtung. Auflage 1981. S. 52-63.
- BAUMHAUER, H. (1996): Verjüngung durch Saat – ein Beitrag zur Kostensenkung. Allg. Forst Z./Der Wald, 51: 1192-1194.
- BONNEMANN, A. und BURSCHEL, P. (1967): Die Bedeutung der Bodenbearbeitung für das Ankommen der Buchennaturverjüngung. Forstarchiv, 38: 37-44.
- BRONCANO, M.J., RIBA, M. und RETANA, J. (1998): Seed germination and seedling performance of two mediterranean tree species, holm oak (*Quercus ilex* L.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.): a multifactor experimental approach. Plant Ecology, 138: 17-26.
- DUFNER, J., JENSEN, U. und SCHUMACHER, E. (1992): Statistik mit SAS. Stuttgart: Teubner. 398 S.
- EVANS, C.E. und ETHERINGTON, J.R. (1990): The effect of soil water potential on seed germination of some British plants. New Phytol., 115: 539-548.
- FARMER, R.E. Jr. (1997): Seed ecophysiology of temperate and boreal zone forest trees. St. Lucie Press: Delray Beach. 253 S.
- GOMMEL, H.-J. (1994): Umbau von Fichtenbeständen durch Buchensaat. Allg. Forst Z./Der Wald, 49: 516-518.
- GURNELL, J. (1993): Tree seed production and food conditions for rodents in an oak wood in Southern England. Forestry, 66: 291-315.

- JENSEN, T.S. (1985): Seed-seed predator interactions of European beech, *Fagus sylvatica* and forest rodents, *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus flavicollis*. *Oikos*, 44: 149-156.
- KAZDA, M. und PICHLER, M. (1998): Priority assessment for conversion of Norway spruce forests through introduction of broadleaf species. *For. Ecol. Manage.*, 102: 245-258.
- KEBREAB, E. und MURDOCH, A.J. (1999): Modelling the effects of water stress and temperature on germination rate of *Orobanchae aegyptiaca* seeds. *J. Experimental Bot.*, 50: 655-664.
- KENK, G.K. (1992): Silviculture of mixed-species stands in Germany. In: CANNEL, M.G.R., MALCOLM, D.C. und ROBERTSON, P.A. (Hrsgb.): The ecology of mixed-species stands of trees. Special publication number 11 of the British Ecological Society. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, Paris, Berlin, Vienna: Blackwell Scientific Publishers. S. 53-63.
- KOCH, ? (1865): Eine neue Erfahrung bezüglich der Keimentwicklung der Bucheckern. *Allg. Forst-, u. J. Ztg.*, 41: 120.
- KREUTZER, K. und BITTERSÖHL, J. (1986): Untersuchungen über die Auswirkungen des sauren Regens und der kompensatorischen Kalkung im Wald. Zielsetzung, Anlage und bisherige Durchführung des Freilandexperimentes Höglwald einschließlich begleitender Untersuchungen. *Forstw. Cbl.*, 105: 273-282.
- KÜSSNER, R. und WICKEL, A. (1998): Entwicklung einer Buchensaat (*Fagus sylvatica* L.) unter Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) im Osterzgebirge. *Forstarchiv*, 69: 191-198.
- LEDER, B. (1998): Pflanzenprozentage nach Bucheckern-Voraussaaten unter Fichten-Schirm. *Forst u. Holz*, 53: 477-481.
- LEDER, B. und WAGNER, S. (1996): Bucheckern/Streu-Voraussaat als Alternative beim Umbau von Nadelholzzreinbeständen in Mischbestände. *Forstarchiv*, 67: 7-13.
- LEINONEN, K. und CHANTAL, M. de (1998): Regulation of *Picea abies* seed dormancy by red and far-red light at various moisture contents. *Scand. J. For. Res.*, 13: 43-39.
- LEPOUTRE, B. und TEISSIER DU CROS, E. (1979): Croissance et nutrition de semis d'un an de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) de différentes provenances, élevés sur substratum naturel acide et sur même substratum calcaire. *Ann. Sci. Forest*, 36: 239-262.
- LJUNGSTRÖM, M., GYLLIN, M. und NIHLGÅRD, B. (1990): Effects of liming on soil acidity and beech (*Fagus sylvatica* L.) regeneration on acid soils in South Swedish beech forests. *Scand. J. For. Res.*, 5: 243-254.
- MITSCHERLICH, G., MOLL, W., KÜNSTLE, E. und MAURER, P. (1966): Ertragskundlich-ökologische Untersuchungen in Rein- und Mischbeständen. IV. Niederschlag, Stammablauf und Bodenfeuchtigkeit. *Allg. Forst-, u. J. Ztg.*, 137: 1-12.
- MOSANDL, R. (1998): Die neue Zielbestockung: Der naturnahe Wald. *Forstl. Schriftenreihe d. Universität f. Bodenkultur Wien*, 12: 119-129.
- MOSANDL, R. und EL KATEB, H. (1988): Die Verjüngung gemischter Bergwälder – praktische Konsequenzen aus 10jähriger Untersuchungsarbeit. *Forstw. Cbl.*, 107:2-13.
- MULLER, C., LAROPPE, E. und BONNET-MASIMBERT, M. (1999): Further development in the redrying and storage of prechilled beechnuts (*Fagus sylvatica* L.): effect of seed moisture content and prechilling duration. *Ann. Sci. Forest*, 56: 49-57.
- MUSSONG M. (1989): Multiple Regressionsmodelle maximaler Treffsicherheit für die Anwendung im SAS-System. *Forstarchiv*, 60: 236-238.
- NILSSON, S.G. (1985): Ecological and evolutionary interactions between reproduction of beech *Fagus sylvatica* and seed eating animals. *Oikos*, 44: 157-164.
- NILSSON, U., GEMMEL, P., LÖF, M. und WELANDER, N.T. (1996): Germination and early growth of sown *Quercus robur* L. in relation to soil preparation, sowing depth and prevention against predation. *New Forests*, 12: 69-86.

- OLSSON, L., CARLSSON, H., GRIP, H. und PERTTU, K. (1982): Evaluation of forest-canopy photographs with diode-array scanner OSIRIS. *Can. J. For. Res.*, 12: 822-828.
- OSTFELD, R.S., MANSON, R.H. und CANHAM, C.D. (1997): Effects of rodents on survival of trees and seedlings invading old fields. *Ecology*, 78: 1531-1542.
- PONS, T.L. (1983): Significance of inhibition of seed germination under the leaf canopy in ash coppice. *Plant Cell Environ.*, 6: 385-392.
- SCHMIDT-COLINET, W. (1964): Untersuchungen über das Misslingen der Buchenverjüngungen im Elm. *Forst u. Holzwirt*, 19: 137-139.
- SEIDENSTICKER, ? (1863): Ueber Bodenbearbeitung und künstliche Besamung in den Buchen-Verjüngungsschlägen, namentlich über Streifen, Plätze und Löcher. *Allg. Forst-, u. J. Ztg.*, 39: 247-253.
- STÄDTLER, H. und MELLES, H. (1999): Bucheckern-Voraussaat - eine kostengünstige Alternative? *Allg. Forst Z./Der Wald*, 54: 945-946.
- STIMM, B. und BÖSWALD, K. (1994): Die Häher im Visier. Zur Ökologie und waldbaulichen Bedeutung der Samenausbreitung durch Vögel. *Forstw. Cbl.*, 113: 204-223.
- STONE, E.L. und KALISZ, P.J. (1991): On the maximum extent of tree roots. *For. Ecol. Manage.*, 46: 59-102.
- WAGNER, S. (1994): Strahlungsschätzung in Wäldern durch hemisphärische Fotos - Methode und Anwendung. *Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 123.* 172 S.
- WAGNER, S. (1998): Calibration of grey values of hemispherical photographs for image analysis. *Agric. Forest Meteorol.*, 90: 103-117.
- WAGNER, S. (1999): Ökologische Untersuchungen zur Initialphase der Naturverjüngung in Eschen-Buchen-Mischbeständen. *Schriften a. d. Forstlichen Fakultät d. Universität Göttingen u. d. Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 129.* Frankfurt a. Main: J. D. Sauerländer's Verlag. 262 S.
- WAGNER, S. und NAGEL, J. (1992): Ein Verfahren zur PC-gesteuerten Auswertung von Fish-eye-Negativfotos für Strahlungsschätzungen. *Allg. Forst- u. J. Ztg.*, 163: 110-116.
- WU, H., SHARPE, P.J.H., WALKER, J. und PENRIDGE, L.K. (1985): Ecological field theory: a spatial analysis of resource interference among plants. *Ecol. Modelling*, 29: 215-243.