

Lassen sich stark geschädigte Schutzwaldbestände in den Bayerischen Alpen durch organische Spezialdünger nachhaltig vitalisieren?

Martin Bachmann, Teja Preuhsler und Hans Pretzsch

ZOLLNER ?

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

Kurzfassung: In der vorliegenden Untersuchung wird geprüft, inwieweit eine nachhaltige Vitalisierung stark geschädigter Schutzwälder durch organische Düngergaben möglich ist. Auf je drei nord- und südseitig exponierten Parzellen wurden im Jahr 1986 eine Kontrollvariante, eine mit BIOSOL (300 kg/1000 m²) und eine mit FRISOL gedüngte Variante (300 kg/1000 m² BIOSOL zzgl. 150 kg/1000 m² ACS) eingerichtet und seither turnusgemäß erfasst. Die 165- bis 195-jährigen, in Rotten strukturierten, hochmontanen bis subalpinen Fichtenwälder zeigen über 11 Jahre hinweg deutliche behandlungs- und expositionsabhängige Reaktionen. Hinsichtlich des Grundflächenzuwachses und Nadelverlustes unterscheiden sich gedüngte und ungedüngte Varianten signifikant voneinander. Dabei weisen die mit FRISOL behandelten Parzellen gegenüber den mit BIOSOL gedüngten Parzellen und den Kontrollvarianten insbesondere bei südseitiger Exposition und/oder in Zeiten sommerlich eingeschränkter Wasserversorgung bzw. erhöhter Temperaturen höhere Zuwächse und dichtere Benadelung auf.

Can Protected Mountain Forests in Heavy Air-polluted Regions be Vitalized by Organic Fertilizers?

Abstract: To answer this question, six plots were installed in the year 1986 in subalpine forests of Norway spruce. The plots vary in exposition (north, south) and fertilization treatment (untreated, BIOSOL (300 kg/1000 m²), FRISOL (300 kg/1000 m² BIOSOL plus 150 kg/1000 m² ACS). The stands, structured in rots, are between 165 and 195 years old. Height, diameter and needle loss were repeatedly measured during the last eleven years and results indicate clear dependence between exposition and fertilization treatment. Significant differences can be detected in basal area increment and in needle loss between treatments and controls. Positive effects on vitality caused by FRISOL are strongest, if the stands are exposed southwards and/or during a hot summer period with limited water availability. Contrary to FRISOL, BIOSOL treatments showed no significant vitality enhancement.

Key words: stabilization of protected forests, fertilization, BIOSOL, FRISOL, alpine mountain forests

1 Einleitung

Infolge von Überalterung, eingeschränkter Nährstoffversorgung, Vitalitätsminderung durch Waldschäden, ungünstiger Baumartenzusammensetzung oder unzureichender Verjüngung sind insgesamt 4800 Hektar oder 3,2 % des Schutzwaldes in den Bayerischen Alpen vordringlich sanierungsbedürftig. Die Labilität dieser Bestände ist Ausgangspunkt akuter Gefahren für Siedlungen oder Verkehrswege (BayStMinELF 1993; LWF 1998). Getragen von der Bayerischen Staatsforstverwaltung und der Wasserwirtschaftsverwaltung wird im Rahmen des Schutzwaldsanierungsprogrammes mit einem geplanten Volumen von 824 Mio. DM seit 1989 versucht, die Schutzfunktionen dieser bedrohten Wälder zu erhalten oder wieder herzustellen. Dabei stehen Pflanzungen, Förderung der Naturverjüngung, temporäre und permanente Verbauungen im Vordergrund, flankiert von Maßnahmen zur Regulierung der Wild- und Weideviehbestände.

Auf der langfristigen Versuchsfläche Füssen 262 prüft der Lehrstuhl für Waldwachstumskunde seit nunmehr 11 Jahren den Sanierungseffekt durch organische Düngung mit BIOSOL und FRISOL. Die in dem unter Beobachtung genommenen, labilen Fichtenaltholz feststellbare und im Folgenden behandelte Vitalisierung zeigt eine langfristige Wirkung. Ein neueres Projekt der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft über die Möglichkeiten und Grenzen der organischen Düngung mit BIOSOL zur Unterstützung der Schutzwaldsanierung kann auf den Ergebnissen des hier vorgestellten, bereits 1986 von F. Franz und T. Preuhsler angelegten Versuches aufbauen.

2 Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet mit der Versuchsfläche Füssen 262 befindet sich in den Mittleren Bayerischen Kalkalpen in einer Höhenlage von 1430 bis 1450 m über NN und damit im Übergangsbereich zwischen hochmontanen Fichten-Tannenwäldern und subalpinen Fichtenwäldern. Die 165- bis 195-jährigen, in Rotten strukturierten Fichtenreinbestände besitzen besondere Bedeutung für den Boden- und Lawinenschutz (BayStMinELF 1986). Sie stocken auf frischem, tonigem Lehm bis lehmigem Ton mit wechselnden Anteilen grusigen Dolomits, der wiederum von rohhumusartigem Moder bis Rohhumus überdeckt ist. Mit jährlich 80 Tagen, deren mittlere Tagestemperaturen 10 °C überschreiten, einer Jahresdurchschnittstemperatur von 4,0 °C, einer geschlossenen Schneedecke an 180 Tagen/Jahr und Jahresniederschlägen von über 2000 mm ist das Klima als kühl zu bezeichnen (Arbeitskreis Standortkartierung 1996). Das Gelände ist mit 16 bis 18 Grad sehr stark geneigt. Dies führt dazu, dass das bewegte, nach Norden bzw. Süden exponierte Relief die Standortverhältnisse kleinflächig modifiziert. Die Waldschadenssituation der beobachteten Fichten lässt sich zu Versuchsbeginn als heterogen, bei allgemein hohem Schad-niveau – Nadelverlust etwa 30 % – charakterisieren (Kärcher 1988).

Im Jahr 1986 wurden insgesamt sechs 15,0 m x 29,5 m große Parzellen zuzüglich 5 m breiter Umfassungen in Beständen eingerichtet, deren mittleres Alter im Anhalt an Ergebnisse von Stammanalysen und Beschreibungen der Forsteinrichtung zwischen 165 und 195 Jahren liegt. Getrennt durch ein West-Ost verlaufendes Hochtal, befinden sich je eine Kontrollpar-

3 Ergebnisse

zelle, eine Variante BIOSOL (300 kg/1000 m², handwürfig) sowie eine Variante FRISOL (300 kg/1000 m² BIOSOL zzgl. 150 kg/1000 m² ACS, gespritzt) in nord- bzw. südseitiger Exposition (Tab. 1). Auf den Parzellen 1, 3, 5 und 6 wurden die in Tabelle 1 vermerkten Düngermengen in den Jahren 1986 ausgebracht. Ein aus drei Parzellen bestehender Block (Kontrolle, Biosol-Düngung, Frisol-Düngung) liegt nördlich dieses Tals, ein gleich aufgebauter Block südlich davon. Bei der folgenden Ergebnisdarstellung geben wir neben der Behandlung immer die Zugehörigkeit der Parzellen zum südlich bzw. nördlich gelegenen Block an, weil zwischen den Blöcken erhebliche Standortunterschiede bestehen. Den zusätzlichen Belastungen durch Wildverbiss und Waldweide wurde durch Einzäunung des Versuchsareals begegnet.

Bei BIOSOL handelt es sich um granuliertes Mycel des Pilzes *Penicillium chrysogenum*, das über Fermentierungsprozesse aus einem Gemisch von Sojamehl, Milch- und Rübenzucker sowie Baumwollsaatmehl hervorgeht und zu etwa 70 bis 80 % aus proteinreicher organischer Substanz besteht. Der Vitalisierungseffekt beruht auf der langsamen und nachhaltigen Freisetzung der im Produkt enthaltenen Nährelemente Stickstoff (6,1 %), Phosphor (0,7 %) und Kalium (2,9 %), der Aktivierung der Bodenlebewesen sowie der damit verbundenen Verbesserung des Wurzelwachstums und der Mykorrhizaentwicklung (Gebrüder Friedrich GmbH 1996).

Die Kombination von BIOSOL mit ACS, einem organischen Zuckerphosphoramid, wird als FRISOL bezeichnet und soll nach Angaben des Herstellers die positiven Auswirkungen auf die Bodenlebewelt und das Wurzelwachstum noch steigern. Mit Wasser verdünnt, bildet FRISOL ein hochmolekulares, schwer bewegliches Gel, welches Feuchtigkeit speichert und die osmotischen Werte der Bodenlösung senkt, sodass sich der Energieverbrauch der Pflanze für die Wasser- und Nährstoffaufnahme verringert. FRISOL enthält 9,5 % Stickstoff und 4,7 % Phosphor als Nährstoffe.

Das im Zeitraum 1986 bis 1997 auf den Parzellen und Umfassungen absolvierte ertragskundliche Messprogramm beinhaltet die Vollaufnahme der Baumdurchmesser und -höhen in den Jahren 1986, 1992, 1997, die Bestimmung von Kronenkenngößen, Kraft'schen Baumklassen und Stammfußpositionen im Jahr 1986 und eine jährliche Ansprache der Nadelverlustprozent. Die Registrierung der Nadelverluste erfolgte nach 10-Prozentstufen (Schadstufe 0 = 0 - 9 %, 1 = 10 - 19 %, ..., 9 = 90 - 99 %, 10 = abgestorben).

Der ursprünglich einfaktoriell, mit drei Faktorenstufen und zwei Wiederholungen (3 x 2 = 6 Parzellen) konzipierte Versuch wurde nach Erkennenbarwerden a priori vorhandener Standort- und Leistungsunterschiede als zweifaktorielle Anlage ausgewertet (Faktor 1: Standort, Faktor 2: Düngung). Varianzanalyse und statistische Mittelwertvergleiche setzen dabei auf der Einzelbaumbene an. In den Grafiken werden der Faktor Standort durch einen Kreis (Süd) bzw. ein Dreieck (Nord) und der Faktor Düngung durch die Intensität der Symbolfarbe (Kontrolle-BIOSOL-FRISOL mit weiß-grau-schwarz) wiedergegeben.

3.1 Stammzahlen

Zu Beginn der Untersuchung im Herbst 1986 und damit vor Einsetzen einer Düngerwirkung variieren die Stammzahlen des verbleibenden Bestandes zwischen 569 und 1012 Stück ha⁻¹ (Horizontalfläche). Dabei besitzen die nordseitig exponierten und rund 30 Jahre jüngeren Bestände ein höheres Niveau (Abb. 1, Tab. 2). Auffällig ist mit 165 bis 405 Stück ha⁻¹ oder 18 bis 35 % ein hoher Anteil toter Fichten aus dem Unter- und Zwischenstand, der sich über Jahre hinweg akkumuliert hat. Während der 11 folgenden Jahre scheiden nur mehr 24 bis 118 Stück ha⁻¹ bzw. 2 bis 14 % des 1986 verbliebenen Bestandes – hauptsächlich infolge Windwurfs – aus.

3.2 Höhen

Die Oberhöhen steigen, ausgehend von Werten zwischen 19,2 m und 24,1 m, im Jahr 1986 auf 21,8 bis 26,2 m im Jahr 1997 an und zeigen deutlich, dass der Höhenzuwachs der Fichten auf den mit FRISOL gedüngten Parzellen mit 19 bzw. 26 cm a⁻¹ gegenüber 11 bzw. 13 cm a⁻¹ auf den Kontrollflächen am größten ist (Abb. 1, Tab. 2). Die beiden Parzellen mit BIOSOL zeigen sich mit 9 bzw. 17 cm a⁻¹ uneinheitlich. Einschränkend muss angemerkt werden, dass die Parzellen 2 (Kontrolle) und 6 (BIOSOL) am Ende des bisherigen Untersuchungszeitraumes am stärksten von Windwürfen betroffen wurden und diese vorrangig herrschende und vorherrschende Bestandesteile in Mitleidenschaft gezogen haben. Dies kommt in der stagnierenden Oberhöhenentwicklung dieser Bestände zum Ausdruck. Eine Bonitierung der Bestände – unter Extrapolation der Ertragstafelwerte – ergibt einen Wert von IV.5 nach Guttenberg (1915).

Tab. 1. Lage-, Bestandes- und Behandlungsmerkmale der sechs Versuchspartellen (-varianten).
Site, stand and treatment characteristics on the six plots of the experimental area Füssen 262.

Betrachtetes Merkmal	Einheit	BIOSOL Parz. 1	Kontrolle Parz. 2	FRISOL Parz. 3	Kontrolle Parz. 4	FRISOL Parz. 5	BIOSOL Parz. 6
Exposition	-	Süd	Süd	Süd	Nord	Nord	Nord
Höhenlage über NN	m	1450	1450	1450	1430	1430	1430
Horizontalfläche	m ²	420	415	422	425	425	425
Hangneigung	Grad	18	20	17	16	16	16
Hangfläche	m ²	442,5	442,5	442,5	442,5	442,5	442,5
Baumarten (neben Fichte)	-	-	-	-	Tanne	-	-
<u>Altersspanne</u> mittleres Alter (1986)	Jahre	120 – 220	120 – 220	120 – 220	100 – 220	100 – 220	100 – 220
		180	180	180	150	150	150
Düngermenge BIOSOL	kg ha ⁻¹	3000	-	3000	-	3000	3000
Düngermenge ACS	kg ha ⁻¹	-	-	1500	-	1500	-

Tab. 2. Ertragskundliche Zustands- und Leistungsdaten für die sechs Parzellen der Versuchsfläche Füssen 262 im Wachstumszeitraum 1986 bis 1997 (Angaben in % beinhalten Stammzahlanteile des verbleibenden Bestandes am Gesamtbestand).
Growth and yield characteristics on the six plots of the experimental area Füssen 262 between 1986 and 1997 (stem number of remaining stand in relation to stem number of total stand [%]).

Varianten (zugrundeliegende Parzelle)	Aufnahme- zeitpunkte [Jahr]/ [Alter in Jahren]	Verbleibender Bestand					Gesamtbestand	
		N [Stück ha ⁻¹] [%]	h ₀ [m]	d ₀ [cm]	G [m ² ha ⁻¹]	V [VfmS ha ⁻¹]	GWL [VfmS ha ⁻¹]	ZV [VfmS ha ⁻¹ a ⁻¹]
Kontrolle Süd (Parzelle 2)	1986/150	602 (78%)	21,7	49,9	46,0	389	446	5,8 5,9
	1992/156	602 (100%)	22,8	50,6	48,0	424	481	
	1997/161	506 (84%)	23,1	46,6	36,7	331	511	
Kontrolle Nord (Parzelle 4)	1986/180	753 (82%)	22,7	56,9	75,2	628	675	10,4 7,4
	1992/186	729 (97%)	23,4	58,2	79,4	685	737	
	1997/191	729 (100%)	23,9	58,7	81,3	721	774	
BIOSOL Süd (Parzelle 1)	1986/150	762 (65%)	19,9	42,5	43,0	325	386	7,0 6,5
	1992/156	738 (97%)	20,9	43,4	46,0	367	428	
	1997/161	714 (97%)	21,8	43,7	47,3	397	460	
BIOSOL Nord (Parzelle 6)	1986/180	871 (82%)	21,9	48,7	53,7	418	423	7,5 6,2
	1992/186	847 (97%)	22,7	49,6	56,8	460	468	
	1997/191	753 (89%)	22,9	48,1	48,9	405	499	
FRISOL Süd (Parzelle 3)	1986/150	569 (73%)	24,1	61,6	51,5	459	484	10,8 10,0
	1992/156	545 (96%)	25,2	63,8	56,2	524	549	
	1997/161	521 (96%)	26,2	65,0	58,9	574	599	
FRISOL Nord (Parzelle 5)	1986/180	1012 (75%)	19,2	46,2	42,5	303	309	10,8 12,1
	1992/186	1012 (100%)	20,8	47,6	48,1	368	374	
	1997/191	988 (98%)	22,1	48,8	52,4	428	434	

N = Stammzahl, h₀ = Oberhöhe, d₀ = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Bäume, G = Grundfläche, V = Volumen, GWL = Gesamtwachstum, ZV = Volumenzuwachs

3.3 Durchmesser

Auch auf der Basis des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Bäume zeigen sich erstens mit 42,5 bis 61,6 cm die heterogenen Ausgangsbedingungen auf den sechs Parzellen zu Versuchsbeginn. Zweitens sind deutliche Einbrüche bei Parzelle 2 und 6 infolge Ausfalls starker Individuen zu beobachten, und drittens ergeben sich mit 2,4 bis 3,1 mm a⁻¹ die größten Zuwachsanstiege bei den am intensivsten gedüngten Varianten (Abb. 1, Tab. 2). Zudem weisen diese Parzellen 3 und 5 mit 3,2 bis 79,1 cm bzw. mit 0,7 bis 50,0 cm auch die größte bzw. kleinste Durchmesserspreitung auf.

3.4 Grundfläche und Vorrat

Aus Abbildung 1 und Tabelle 2 wird deutlich, dass sich die nordseitig exponierte Kontrollfläche mit Grundflächenwerten zwischen 75,2 und 81,3 m² ha⁻¹ und Schaftholzvorräten zwischen 628 und 721 m³ ha⁻¹ zu allen Zeitpunkten von den übrigen

Parzellen abhebt. Mit 36,7 m² ha⁻¹ im Jahr 1997 weist die zweite Kontrollfläche lediglich 45 % dieses Niveaus auf. Alle Parzellen zeigen über 11 Jahre hinweg einen kontinuierlichen Anstieg von Grundfläche und Vorrat, der lediglich zu Versuchsbeginn durch geringe Ausfälle im Schwachholz und 1997 durch erhebliche Ausfälle im stärkeren Holz (9,6 bzw. 12,8 m² ha⁻¹ bei Parzellen 2 und 6) unterbrochen wird.

3.5 Volumenzuwachs

Während die Kontrollfläche auf der Nordseite mit 10,4 VfmS ha⁻¹ a⁻¹ in der ersten Zuwachsperiode noch ein ähnlich hohes Niveau wie die mit FRISOL gedüngten Varianten (10,8 VfmS ha⁻¹ a⁻¹) aufweist, gehen deren Zuwachswerte 1992 bis 1997 auf 7,4 VfmS ha⁻¹ a⁻¹ zurück (Abb. 1, Tab. 2). Nicht konform zu dem allgemein zu beobachtenden Zuwachsrückgang in der zweiten Periode verhalten sich lediglich Parzelle 5 (FRISOL, Nord) mit + 1,3 VfmS ha⁻¹ a⁻¹ und eingeschränkt Parzelle 2

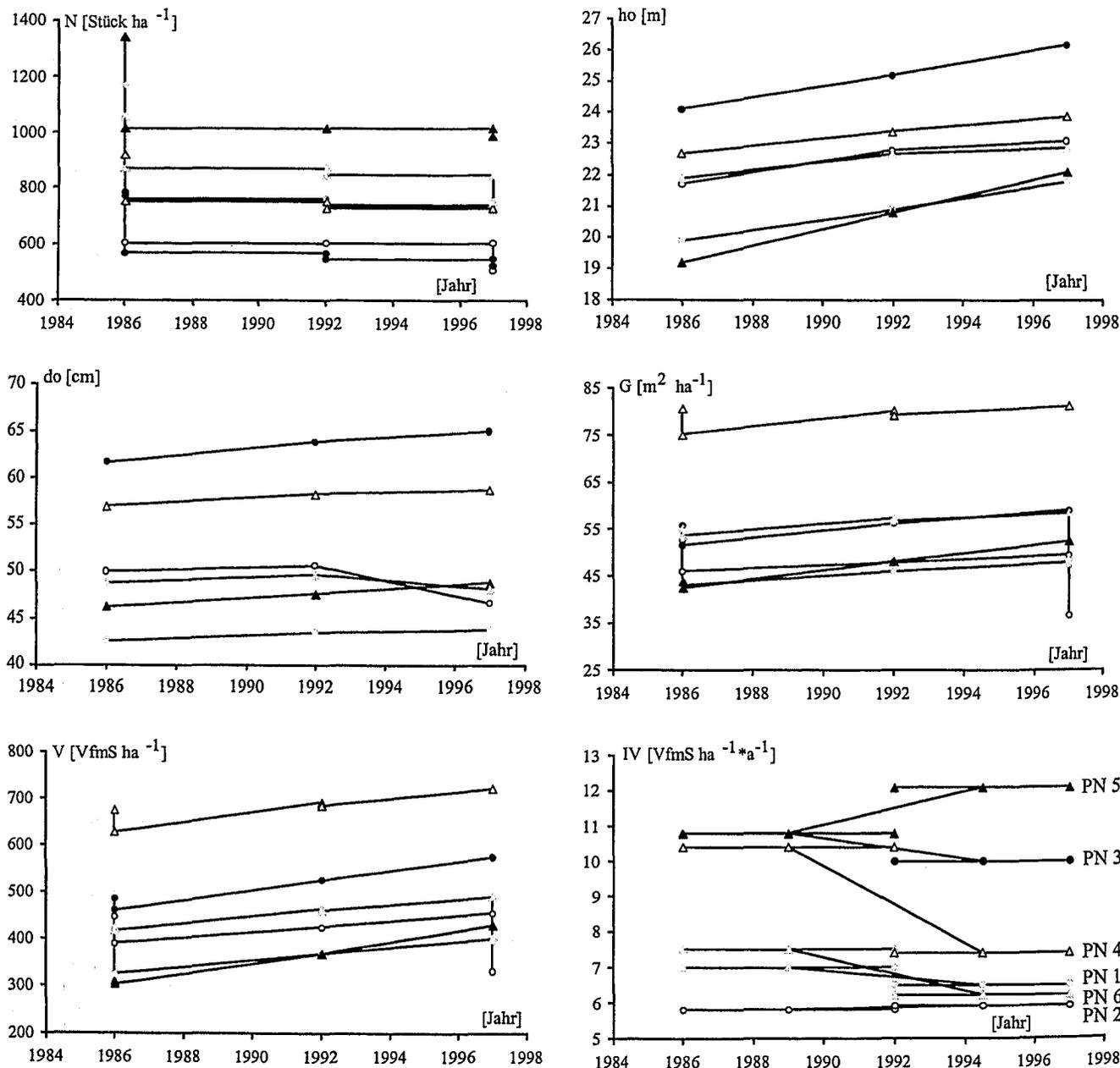
(Kontrolle, Süd) mit + 0,1 VfmS ha⁻¹ a⁻¹. Zusammenfassend zeigt sich einerseits die Zuwachsüberlegenheit der mit FRISOL gedüngten Varianten und andererseits das geringe Zuwachsniveau der südseitig exponierten Kontrollvariante.

3.6 Nadelverlust

Anhand der Nadelverluste von Fichten der Baumklassen 1 und 2 nach Kraft (1884) in den Beobachtungsjahren 1987 bis 1992 sowie 1994 und 1997 – insgesamt acht Ansprachejahre – lässt

sich die Auswirkung der Düngung auf die Baumvitalität ebenfalls erkennen. Abbildung 2 zeigt die mittlere Schadstufenentwicklung von 1987 bis 1997, Abbildung 2 den direkten Vergleich der Betrachtungsjahre 1987 und 1997, dargestellt als Box-Plot-Grafik.

Während sich die Ausgangsverhältnisse 1987 nur geringfügig unterscheiden (Wertebereich 2,3 bis 3,4, Differenz 1,1), machen sich in den Folgejahren, insbesondere ab 1992, deutliche Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten



Legende:

- Süd + Kontrolle (Parzelle 2)
- Süd + BIOSOL (Parzelle 1)
- Süd + FRISOL (Parzelle 3)
- △ Nord + Kontrolle (Parzelle 4)
- Nord + BIOSOL (Parzelle 6)
- ▲ Nord + FRISOL (Parzelle 5)

Abb. 1. Entwicklung von Stammzahl (N), Oberhöhe (ho) und Durchmesser des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Bäume (do) sowie von Grundfläche (G), Vorrat (V) und laufendem jährlichen Volumenzuwachs (IV) der sechs Parzellen auf der Versuchsläche Füssen 262. Development number of stem (N), height (ho) and diameter (do) of dominant trees, basal area (G), volume (V) and annual volume increment (IV) on the six plots of the experimental area Füssen 262.

bemerkbar (Wertebereich 1997 1,6 bis 4,9, Differenz 3,3). Anhand des in der Box-Plot-Grafik im Zentrum der jeweiligen Box dargestellten Medians lässt sich erkennen, dass sich der Nadelverlust der Kontrollvarianten stabil verhält bzw. verschlechtert (Änderung des Mittelwerts + 1,7 bzw. + 0,53). Bei den Varianten mit BIOSOL kommt es nur zu geringfügigen Veränderungen (+ 0,1 bzw. - 0,2). Bei den mit FRISOL gedüngten Varianten, deren Entwicklung bemerkenswert synchron verläuft, ergeben sich deutliche Verbesserungen (- 0,6 bzw. - 1,2). Lediglich 1997 scheiden auf zwei südseitig exponierten Parzellen (Parzelle 1 bzw. 2) ein bzw. drei Individuen der Schadstufe 10 infolge Windwurf (drei Bäume) bzw. Käferbefall (ein Baum) aus, was sich in einer zu schlechten Einschätzung des mittleren Nadelverlustes - insbesondere von Parzelle 2 - niederschlägt. Eine rein rechnerische Verbesserung der mittleren Schadstufe ist darüber hinaus erst bei späteren Auswertungen zu berücksichtigen.

4 Statistische Analyse der Düngungseffekte auf das Einzelbaumwachstum

Inwieweit Exposition oder Düngung die Vitalität vorherrschender und herrschender Fichten beeinflussen, wird mit Hilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse geprüft. Zu diesem Zweck wurden die vorherrschenden und herrschenden Bäume der insgesamt sechs Versuchspartellen nach Faktor 1 (Faktorstufen Süd, Nord) und Faktor 2 Düngung (Faktorstufen Kontrolle, BIOSOL, FRISOL) sortiert. Die Bäume innerhalb dieser Gruppen werden nun auf Unterschiede in ihren Vitalitätsmerkmalen geprüft. Die Einbeziehung der Exposition als zweiter Faktor der varianzanalytischen Auswertung ist in standörtlichen Unterschieden begründet. Die aus zwei Expositionen- und drei Behandlungsstufen resultierenden Gruppen entsprechen den sechs Parzellen. Neben den Reaktionsgrößen periodischer Grundflächenzuwachs und Nadelverlust werden zur Ausschaltung von Anfangsunterschieden die Kovariaten Durchmesser 1986 (Periode 1986 bis 1992) und 1992 (Periode 1992 bis 1997) bzw. Nadelverlust 1987 eingeführt. In Anschluss die Kovarianzanalyse erfolgt mittels der Methode von Bonferroni die paarweise Prüfung, welche Gruppen sich voneinander unterscheiden. In den Tabellen 3 und 4 sind die adjustierten Mittelwerte der Vitalitätsparameter Grundflächenzuwachs und Nadelverlust, deren prozentuale Abweichungen vom Vergleichswert der gleich exponierten Kontrollvariante sowie signifikante Gruppenunterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5 % dargestellt.

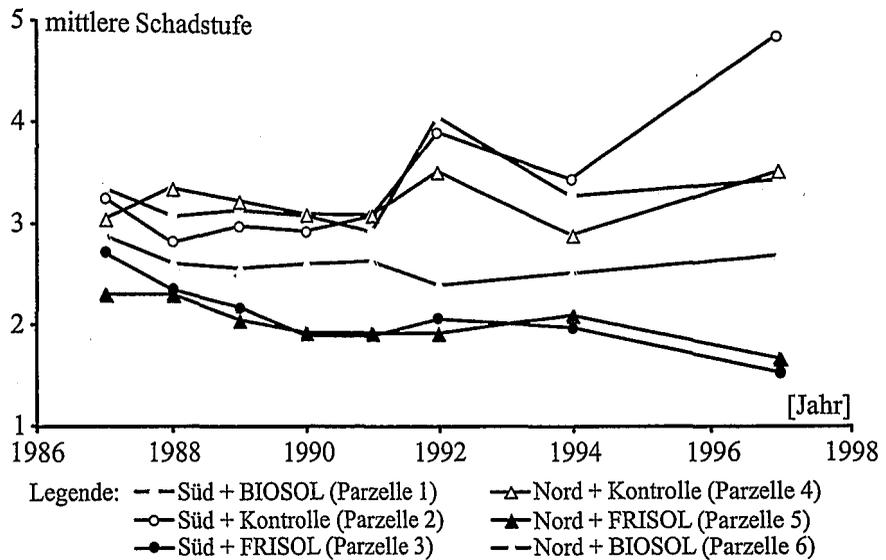


Abb. 2. Entwicklung der mittleren Schadstufe (Mittelwert von 11 bis 21 vorherrschenden und herrschenden Fichten je Parzelle) im Zeitraum 1987 bis 1997, getrennt nach Behandlungsvarianten. Development of needle losses between 1987 and 1997 on the six plots varying in exposition and fertilization treatment (average of 11 - 21 dominant trees for each plot).

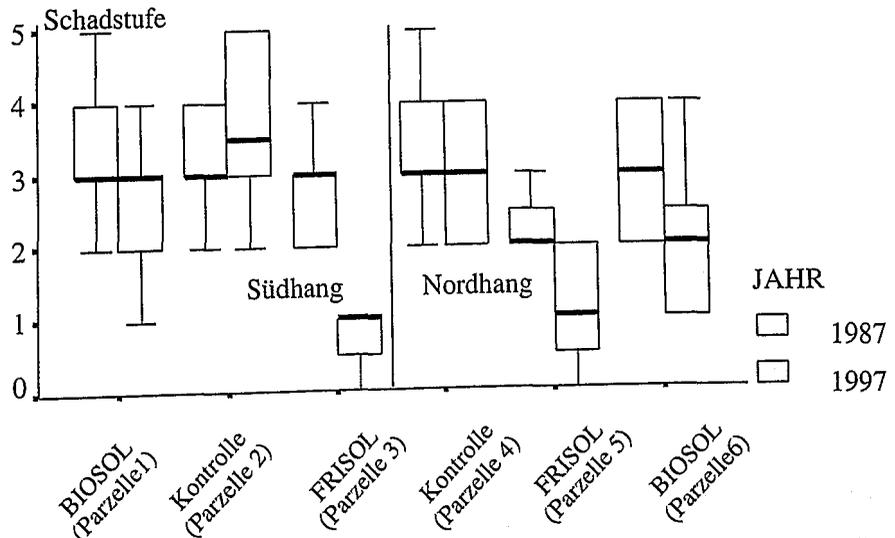


Abb. 3. Box-Plot-Grafik mit direktem Vergleich der Nadelverluste in den Erhebungsjahren 1987 (weiß) und 1997 (grau) getrennt nach Behandlungsvarianten. Comparison of needle losses in the years 1987 (white) and 1997 (grey) on the six plots varying in exposition and fertilization treatment.

Die jährlichen Zuwächse in den Perioden 1986 bis 1992 bzw. 1992 bis 1997 sowie die jährlichen Schadstufen in den sieben Betrachtungsjahren sind sowohl in absoluter Höhe als auch in Prozent zur Gruppe „Kontrolle“ der jeweiligen Exposition angegeben (= 100 %). Die Betrachtung des Grundflächenzuwachses (Tab. 3) basiert auf 4 bis 8 bzw. 11 bis 21 Individuen je Gruppe (Stratum 1: Baumklasse 1, Stratum 2: Baumklassen 1 und 2). Um die Kollektivgrößen aufzuwerten, wurden zwei bis sieben dominante Fichten aus den Umfassungen der Parzellen, welche je nach Variante ebenfalls gedüngt wurden, einbezogen. Beide Straten zeigen in der Periode 1992 bis 1997 ein erheblich geringeres Zuwachsniveau, welches vermutlich auf das reduzierte Niederschlagsangebot im Sommer 1991 und 1992 sowie die im

Tab. 3. Kovarianzanalytisch adjustierte Mittelwerte der Einzelbaum-Grundflächenzuwächse vorherrschender und herrschender Individuen auf Parzellen der Versuchsfläche Füssen 262 bei verschiedener Düngungsintensität. Verbindungslinien zwischen Gruppenmittelwerten stehen für signifikante Gruppentrennung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5 %.
Average basal area increment of dominant trees on the six plots (varying in exposition and fertilization treatment) in Füssen 262 adjusted by covariance analysis. Connecting lines refer to significant group differences with an error probability of 5 %.

Gruppe Parzelle	Einzelbaum-Grundflächenzuwächse 1986–1992 (cm ² a ⁻¹)		Einzelbaum-Grundflächenzuwächse 1992–1996 (cm ² a ⁻¹)	
	Baumklasse 1	Baumklasse 1+2	Baumklasse 1	Baumklasse 1+2
Kontrolle-Nord (4)	22,6 100 %	19,5 100 %	7,7 100 %	6,1 100 %
BIOSOL-Nord (6)	18,6 82 %	16,0 82 %	10,9 142 %	9,0 147 %
FRISOL-Nord (5)	23,3 103 %	21,2 109 %	17,5 228 %	16,5 271 %
Kontrolle-Süd (2)	10,0 100 %	10,8 100 %	7,1 100 %	7,2 100 %
BIOSOL-Süd (1)	7,8 78 %	11,9 110 %	4,2 59 %	5,9 82 %
FRISOL-Süd (3)	34,1 339 %	27,0 250 %	19,7 276 %	14,9 208 %

Obwohl sich die mit BIOSOL gedüngten Varianten häufig signifikant von den ausnahmslos Mehrzuwächse aufweisenden, mit FRISOL behandelten Varianten unterscheiden, ergibt sich ein heterogenes Bild. Am Südhang kann die gemischte Baumklasse 1 und 2 das Niveau der Kontrollfläche in der Periode 1986 bis 1992 geringfügig übertreffen (110 %), während es dieses mit Werten von 59 bis 82 % ansonsten erheblich unterschreitet. Am Nordhang werden nach Zuwächsen in Höhe von 82 % in der nachfolgenden Periode Zuwächse in Höhe von 142 bis 147 % geleistet.

Auch auf der Basis mittlerer jährlicher Nadelverluste von 11 bis 19 Individuen/Parzelle der Baumklassen 1 und 2 werden signifikante Unterschiede zwischen den Expositions- und Behandlungsvarianten deutlich (Tab. 4). In den Beobachtungsjahren 1989, 1990, 1991, 1992

Juli/August 1992 und 1994 erhöhten Temperaturen zurückgeht (Klimastation Schwangau-Horn, 796 m über NN).

Die mit FRISOL gedüngten Varianten unterscheiden sich in dieser zweiten Periode sowohl am Nord- und Südhang als auch expositionübergreifend signifikant von den jeweiligen Nullflächen, indem sie mit 208 bis 271 % einen erheblich höheren Zuwachs leisten. Am Südhang, auf welchem sich dieser Effekt bereits in der ersten Periode beobachten lässt, wird der Zuwachs von Baumklasse 1 mitunter vom Zuwachs der gemischten Baumklasse 1 und 2 übertroffen. Ein Zusammenhang mit Altersunterschieden, welche in den rottenförmig strukturierten Beständen sicher bestehen, kann in Ermangelung einzelbaumweiser Altersangaben nicht geprüft werden.

und 1997 ergeben sich am Nord- und Südhang, aber auch expositionübergreifend signifikante Unterschiede zwischen Kontrollflächen und mit FRISOL gedüngten Varianten. Während die Variante FRISOL am Südhang mit 1,8 bis 2,5 oder 37 bis 93 % den beständig geringsten Nadelverluste aufweist, sind die Nadelverluste auf den Kontrollflächen am Nordhang bis 1991 (3,1 bis 3,3) und am Südhang ab 1992 (3,3 bis 4,7) am größten. Es liegt nahe, diese Veränderung wiederum auf die klimatischen Besonderheiten in den Jahren 1992 und 1994 zurückzuführen, welche zudem in einer deutlichen Verschlechterung auf der nicht behandelten südexponierten Parzelle resultieren und 1997 zudem maßgeblich durch Windwurf und Käferbefall geprägt sind.

Tab. 4. Kovarianzanalytisch adjustierte Mittelwerte der Schadstufen von vorherrschenden und herrschenden Fichten auf Parzellen der Versuchsfläche Füssen 262 bei verschiedener Düngungsintensität. Verbindungslinien zwischen Gruppenmittelwerten stehen für signifikante Gruppentrennung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5 %.
Average needle losses of dominant trees on the six plots (varying in exposition and fertilization treatment) in Füssen 262 adjusted by covariance analysis. Connecting lines refer to significant group differences with an error probability of 5 %.

Gruppe (Parzelle)	Jahr der Schadstufenbegutachtung						
	1988	1989	1990	1991	1992	1994	1997
Kontrolle-Nord (4)	3,3 100 %	3,2 100 %	3,1 100 %	3,1 100 %	3,5 100 %	2,9 100 %	3,5 100 %
BIOSOL-Nord (6)	2,7 80 %	2,6 81 %	2,7 86 %	2,7 87 %	2,5 71 %	2,6 90 %	2,7 77 %
FRISOL-Nord (5)	2,7 80 %	2,4 75 %	2,3 73 %	2,2 73 %	2,5 70 %	2,6 90 %	2,3 64 %
Kontrolle-Süd (2)	2,7 100 %	2,9 100 %	2,8 100 %	3,0 100 %	3,7 100 %	3,3 100 %	4,7 100 %
BIOSOL-Süd (1)	2,9 108 %	3,0 104 %	2,9 102 %	2,7 91 %	3,7 100 %	3,0 90 %	3,1 66 %
FRISOL-Süd (3)	2,5 93 %	2,3 81 %	2,0 72 %	2,0 67 %	2,3 61 %	2,2 65 %	1,8 37 %

Die Applikation von BIOSOL hat den Effekt, dass in mehreren Beobachtungsjahren eine verbesserte Benadelungsdichte von bis zu 66 % erreicht wird, welche sich allerdings lediglich am Südhang in den Jahren 1988, 1989 und 1997 – mit den genannten Einschränkungen – signifikant von der Kontrollvariante abgrenzen lässt. Gegenüber der Variante FRISOL ergeben sich 1990 und 1991 signifikante, expositionsabhängige sowie -übergreifende Unterschiede.

Es liegt nahe, die deutlichere Reaktion der Vitalitätsparameter auf die Düngung mit FRISOL am Südhang bzw. in der trockeneren und heißeren Wachstumsperiode im Zusammenhang mit der Bodenlebewelt zu sehen. Die Freisetzung der Nährstoffe erfolgt durch Bodenorganismen, deren Aktivität ganz allgemein bei wärmeren Umgebungsbedingungen gesteigert oder erst ermöglicht wird. Eine Einschränkung durch zu große Wärme oder Trockenheit ist auf dem zwar steilen, aber frischen Standort mit verhältnismäßig hohen Niederschlägen und bei einem Überschirmungsprozent von 52 bis 73 in Verbindung mit den langen Kronen (Kärcher 1988) nicht zu erwarten.

5 Diskussion

Bei der Auswahl eines geeigneten Versuchsstandortes im Jahr 1986 standen folgende Kriterien im Vordergrund: Schutzwald-Altbestände mit deutlichen Schadmerkmalen in vergleichbarer Höhenlage, Etablierung von einer Kontroll- und zwei Düngungsvarianten in Verbindung mit deren Erreichbarkeit für Düngerapplikation, Zaunschutz und -kontrolle. Darüber hinaus konnten einige Kriterien nicht berücksichtigt werden, die den Aussagewert dieser Untersuchung beeinflussen. Hierzu zählen die mit 450 m² geringen Größen der Parzellen mit deren heterogenen, aber charakteristischen Rottenstrukturen, ausgeprägte kleinstandörtliche Unterschiede in Verbindung mit einer erheblichen Hangneigung von bis zu 20° sowie die notwendig gewordene Differenzierung in Nord- und Südhang. Letztere bedingt, dass keine Wiederholungen für die statistische Absicherung der Ergebnisse zur Verfügung stehen. Obwohl sich dieser Sachverhalt durch die Verwendung einzelbaumbezogener Vitalitätsbefunde nur bedingt heilen lässt, vertreten die Autoren die Meinung, dass die Aktualität der Untersuchungsergebnisse diese Einschränkungen zulässt.

Mehrere Autoren aus dem österreichischen Alpenraum haben bereits nachgewiesen, dass sich die Vitalität überalterter Schutzwälder, aber auch diejenige von Aufforstungen mit BIOSOL nachhaltig steigern lässt (Glatzel u. Fuchs 1986; Glatzel et al. 1989; Katzensteiner 1991a, b; Eckmüller 1995). Für die Zuwachsanalyse verwenden sie Bohrkerne und Dendrometer, da sie eine ausreichende Genauigkeit periodischer Durchmessererfassungen für diesen Verwendungszweck anzweifeln (Eckmüller 1995).

Auf der Basis des Mischkollektivs aus Baumklasse 1 und 2 ist eine gegenseitige Beeinflussung der Einzelbäume in ihrem Zuwachsverhalten nicht auszuschließen und lässt sich auch aus vorhandenen Kronenkarten ableiten. Da aber auch die 4 bis 8 vorherrschenden Individuen je Parzelle – zumindest unter süd-exponierten Bedingungen – signifikante Mehrzuwächse zeigen, lässt sich eine zuwachsvitalisierende Wirkung der Varianten

te FRISOL im Gegensatz zur reinen Variante BIOSOL und zur Nullvariante nachweisen.

Zudem ist eine wechselseitige Beeinflussung auf der Basis des zusätzlich herangezogenen Vitalitätsparameters, der Benadelungsintensität vorherrschender und herrschender Fichten, unwahrscheinlich. Die Ansprache des Nadelverlustes beschränkt sich auf den obersten Kronenraum. Dieser als Lichtkronen bezeichnete Bereich lässt sich als Kegel beschreiben, dessen maximale Kronenausdehnung sich zum Wipfel hin rasch verjüngt (Badoux 1946).

Wie Scheiring (1999) für die von ihm untersuchten Bestände ausführt, kommt es auch auf den hier vorgestellten Parzellen durch destabilisierende Stoffeinträge und vitalitätsmindernde Klimaereignisse zu Nadelverlusten oder Zuwachsrückgängen. Einmalige Applikation von FRISOL (300 kg/1000 m² BIOSOL zzgl. 150 kg/1000 m² ACS) führt dazu, dass sich nach 11-jähriger Versuchsbeobachtung ein vitalitätssteigernder Effekt gegenüber den Kontroll- und den lediglich mit BIOSOL gedüngten Varianten nachweisen lässt. Inwieweit aus dieser Verminderung des Verjüngungsrisikos ein ebenfalls zum Schutz befähigter junger Bergwald erwächst, wird die Weiterbeobachtung zeigen.

Literatur

- Arbeitskreis Standortkartierung. 1996. Forstliche Standortaufnahme. IHW Verlag und Verlagsbuchhandlung, Eching, 352 S.
- Badoux, E. 1946. Krone und Zuwachs. Mitteilungen der Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen 24, 405–513.
- BayStMinELF. 1986. Waldfunktionsplanung in Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 26 S.
- BayStMinELF. 1993. Der Schutzwald in den bayerischen Alpen. Funktionen – Zustand – Sanierung. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 48 S.
- Eckmüller, O. 1995. Zuwachskundliche Auswertungen von Düngeversuchen mit organischen Düngern. In: Glatzel, G.; Katzensteiner, K.; Leitgeb, E.; Hager, H. (Hrsg.). Organische Düngung im Forst. Rahmenbedingungen und Auswirkungen ihrer Anwendung. Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, Band 9, S. 91–106.
- Gebrüder Friedrich GmbH. 1996. Informationsblätter zu den Produkten BIOSOL und ACS. 10 S.
- Glatzel, G.; Fuchs, J. 1986. Zur Anwendung organischer Spezialdünger bei schwierigen Aufforstungen. Allg. Forstz. 41, 201–204.
- Glatzel, G.; Katzensteiner, K.; Sterba, H. 1989. Waldsanierungsversuche Lech und Schöneben. Unveröff. Zwischenbericht d. Institute für Forstökologie u. Forstliche Ertragslehre, Universität für Bodenkultur, Wien, 14 S.
- Guttenberg, 1915. Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge. Verlag Franz Denticke, Wien und Leipzig, 153 S.
- Kärcher, K.-H. 1988. Bestandesstruktur und Schadsituation in montanen Fichtenwäldern des Forstamtes Füssen. Unveröff. Diplomarbeit Lehrstuhl für Waldwachstumskunde LMU München, 209 S.
- Katzensteiner, K. 1991a. Walderhaltung und Waldsanierung in der Gemeinde Lech. Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur, Wien, 18 S.
- Katzensteiner, K. 1991b. Einsatz organischer Spezialdünger in der Forstwirtschaft. Österr. Forstztg. 102, 16–19.
- Kraft, G. 1884. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Verlag Keindworth, Hannover, 147 S.
- LWF. 1998. Waldzustandsbericht 1998. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 60 S.
- Scheiring, W. 1999. Der Wald in den Alpen und seine Leistungen im gesellschaftlichen Kräftefeld der Zukunft. Forstw. Cbl. 118, 97–107.