

- periode, Drucksache 16/3828, 24.02.2010. München. http://www.bayern.landtag.de/www/ElanTextAblage_WP_16/Drucksachen/Basisdrucksachen/0000001000/0000001332.pdf (Abrufdatum: 21.07.2011)
- TZSCHUPKE, W. (2009): Überlegungen zur Notwendigkeit der Borkenkäferbekämpfung im Nationalpark Bayerischer Wald mit Hilfe einer einfachen Nutzwertanalyse. Vortrag im Rahmen des „2. Borkenkäfer-Symposium im Bayerischen Wald“, gehalten am 2. Juli 2009 in Ludwigsthal bei Zwiesel. http://www.nationalpark-bayerischer-wald.de/doc/nationalpark/management/waldmanagement/vortrag_prof_dr_tzschupke.pdf (Abrufdatum: 22.06.2012).
- WARD, J. (2003): The Net Economic Benefits of Recreation and Timber Production in Selected New South Wales Native Forests. In: BUCKLEY, R., C. PICKERING and D. B. WEAVER (Eds.): Nature-Based Tourism, Environment and Land-Management. Cabi, Wallingford, 61–76.
- WELLS, M. (1992): Biodiversity Conservation, Affluence and Poverty: Mismatched Costs and Benefits and Efforts to Remedy them. *Ambio* **21** (3): 237–243.
- WOLF, M. und H. BORCHERT (2010): Die wirtschaftliche Entwicklung in der Sägeindustrie. LWF aktuell 77: 4–6.
- WOLTERING, M., M. MAYER, B. HARRER, D. METZLER und H. JOB (2008): Nachfrageseitige Analyse des Tourismus in der Nationalparkregion Bayerischer Wald. In: JOB, H. (Hrsg.): Die Destination Nationalpark Bayerischer Wald als regionaler Wirtschaftsfaktor. Nationalpark Bayerischer Wald, Grafenau, 21–65.

Lassen sich degradierte Fichtenhochlagenwälder (*Picea abies* [L.] KARST.) durch organisch-ökologische Melioration stabilisieren? Ergebnisse einer Langzeitstudie

Aus der TU München, Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement,
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde

(Mit 7 Abbildungen und 6 Tabellen)

MATTHIAS ULBRICHT^{*,1)}, ENNO UHL^{*,2)}, PETER BIBER^{*,3)} und HANS PRETZSCH^{*,4)}

(Angenommen Juni 2012)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Organische Düngung; Biosol; Frisol; ACS; Fichte; Hochlagen; Wachstum; Vitalität; Schutzwald.

Organic fertilisation; Biosol; Frisol; ACS; Norway spruce; high-altitude forests; growth; vitality; protection forest.

1. EINLEITUNG

Der Einsatz von Düngern ist ein wirksames, in den letzten Jahren jedoch wenig angewandtes Verfahren zur

Steigerung der Ertragskraft forstwirtschaftlicher Kulturen. Neben der Ertragssteigerung spielen bei der Walddüngung auch die Aspekte der Aktivierung des Umsatzes vorhandener Nährstoffvorräte durch Melioration sowie die Verbesserung der Puffereigenschaften der Böden durch Kalkungen eine entscheidende Rolle. Wegen der in den 1970er Jahren aufgekommenen Waldschäden rückte die Bedeutung der Düngung zur Vitalisierung und Stabilisierung geschädigter Waldbestände in den Fokus und wurde intensiv beleuchtet. Bosch et al. (1986) untersuchten beispielsweise die Wirkung von Magnesium- und Calciumdüngung auf die Frosthärte junger Fichten (*Picea abies* [L.] KARST.). KENK et al. (1984) werteten Düngeversuche zur Minderung neuartiger Waldschäden an der Fichte aus. WÖLFLE et al. (2000) berichteten über Ergebnisse einer Untersuchung zum Einfluss mehrmaliger Ammoniumnitrat-Düngung auf Ernährungszustand und Wachstum junger Fichten in

¹⁾ E-Mail: Matthias.Ulbricht@lrz.tum.de

²⁾ E-Mail: Enno.Uhl@lrz.tum.de

³⁾ E-Mail: Peter.Biber@lrz.tum.de

⁴⁾ E-Mail: Hans.Pretzsch@lrz.tum.de

^{*}) Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, D-85354 Freising.

den Hochlagen des Bayerischen Waldes. Neben den üblicherweise eingesetzten Mineraldüngern wurden in den 1980er und 1990er Jahren auch organische Spezialdünger getestet. Die Testflächen liegen überwiegend in Hochlagenwäldern (GLATZEL et al., 1991; ECKMÜLLNER, 1995; AESCHT und FOISSNER, 1995). Aufgrund ihrer besonderen Bedeutung für den Objekt- und Bodenschutz sind Stabilität und Vitalität wichtige Zustandskriterien dieser Wälder. In Bayern wurde der Einsatz der biologisch-organischen Spezialdünger Biosol und Frisol als flankierende Maßnahme zum bayerischen Schutzwaldsanierungsprogramm getestet (BACHMANN et al., 2000; BAIER, 2003 und 2004).

Bei Biosol handelt es sich um einen Langzeitdünger mit bodenverbessernder Wirkung, der im Wesentlichen die Nährstoffe N, P und K enthält, und der aus dem abgestorbenen Mycel des Pilzes *Penicillium chrysogenum* ([C.] THOM) hergestellt wird. Dieser Pilz fällt in großen Mengen als Abfallprodukt bei der Penicillinherstellung an. Getrocknet und in Granulatform gepresst soll der organisch-ökologische Volldünger nach der Ausbringung die Funktion einer aufgrund mikrobiellen Abbaus langsam fließenden Nährstoffquelle übernehmen, welche die Humusbildung fördert und das Pflanzenwachstum verbessert (GEBRÜDER FRIEDRICH GMBH, Broschüre Biosol, 1996).

Frisol besteht aus Biosol, das mit der energiereichen Nährstoffkomponente ACS angereichert wird. ACS ist ein organisches Zuckerphosphoramid, das in Verbindung mit Wasser hochmolekulare und schwer bewegliche Gele und Sole im Boden bildet, welche langfristig die Wasserspeicherkapazität des Bodens erhöhen und zugleich die Nährstoffauswaschung verhindern. Durch die Ausbringung von ACS in flüssiger Form wird zudem eine Nährstoffquelle in den tieferen Bodenschichten angelegt, welche die Aktivität der Mikroorganismen im Boden anregt und das Wurzelwachstum erhöht (GEBRÜDER FRIEDRICH GMBH, Broschüre ACS, 1996).

Zur Analyse der Effektivität von Biosol- und Frisol-düngung sowie ihrer kurz- bzw. langfristigen Wirkung auf Wachstum, Stabilität und Vitalität wurde im Jahr 1986 die Dauerbeobachtungsfläche Füssen (FUS 262) eingerichtet. Die Flächen werden seitdem regelmäßig ertragskundlich erfasst. Zwischenergebnisse wurden bisher von KÄRCHER (1988) und BACHMANN et al. (2000) publiziert.

Die vorliegende Untersuchung basiert auf den Messdaten bis 2009 und konzentriert sich auf die Fragen, ob (i) die Applikation von Frisol/Biosol grundsätzlich den Zuwachs der gedüngten Flächen steigert, (ii) zu einer Vitalisierung degradierter Waldbestände führt und (iii) die Stabilität labiler Schutzwälder günstig beeinflusst.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Datengrundlage

Die Versuchsfläche FUS 262 liegt im Allgäu (Nähe Füssen) im Hangbereich des Ochsenkopfes in den bayerischen Kalkalpen. Durch ein in Ost-West Richtung verlaufendes Hochtal getrennt, wurden jeweils drei zusammenhängende Versuchspartellen (Parzelle 1–3) an den südlich exponierten und drei zusammenhängende Versuchspartellen (Parzelle 4–6) an den gegenüber liegenden, nördlich exponierten Flanken des Bergmassivs angelegt. Mit einer Höhe von 1430–1450 m über NN liegen die Flächen im Übergangsbereich von hochmontanen Tannen-Fichtenwäldern zu subalpinen Fichtenwäldern (WALENTOWSKI et al., 2001). Die aktuell etwa 150- bis 170-jährigen Bestände aus überwiegend Fichte mit vereinzelter Tannen- und Bergahornbeimischung sind rottenförmig strukturiert. Sie stocken auf frischen, tonigen Lehm- bis lehmigen Tonböden mit wechselnden grusigen Dolomitanteilen, die mit einer Streuauflage aus rohhumusartigem Moder bis Rohhumus bedeckt sind. Das Gelände ist mit 16°–20° stark geneigt. Mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 4°C, einer

Tab. 1

Übersicht der wichtigsten Parzellenparameter auf der Versuchsfläche FUS 262 getrennt nach Behandlungsvariante.
Overview of the most important parcel parameters on the experimental plot FUS 262 by application variant.

FUS262	0-Fläche		Biosol		Frisol	
Parzellennummer	Parzelle 2	Parzelle 4	Parzelle 1	Parzelle 6	Parzelle 3	Parzelle 5
Höhenlage über NN [m]	1450	1430	1450	1430	1450	1430
Exposition	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord
Hangneigung [Grad]	20	16	18	16	17	16
Flächengröße [m ²] am Hang	442,5	442,5	442,5	442,5	442,5	442,5
Flächengröße [m ²] Horizontalprojektion	415	425	420	425	422	425
Düngemittel	0-Fläche	0-Fläche	Biosol	Biosol	Frisol	Frisol
Düngemenge Biosol [t/ha]	0	0	3	3	3	3
Düngemenge ACS [t/ha]	0	0	0	0	1,5	1,5

mittleren Temperatur von mehr als 10°C an 80 Tagen/Jahr, einer geschlossenen Schneedecke an 180 Tagen/Jahr und einem durchschnittlichen jährlichen Niederschlag von über 2000 mm ist das Klima im Versuchsgebiet kühl-humid. Zu Versuchsbeginn (1986) wies ein Großteil der Bäume einen Benadelungsverlust von mehr als 30% auf.

Alle Parzellen sind rechteckig (15 m x 29,5 m) und jeweils von einem 5 m breiten Umfassungstreifen umgeben. Von den nördlich bzw. südlich exponierten

Parzellen wurde je eine mit Biosol und eine mit Frisol gedüngt. Die dritte Parzelle blieb als Referenzfläche jeweils unbehandelt. Die Düngung der Parzellen 1 und 6 mit Biosol (3 t/ha) und der Parzellen 3 und 5 mit Frisol (3 t/ha Biosol + 1,5 t/ha ACS) erfolgte im August des Jahres 1986 (s. *Tabelle 1*). Biosol wurde in Granulatform händisch ausgebracht, ACS flächig gespritzt.

In den Jahren 1986, 1992, 1997, 2004, und 2009 erfolgten Vollaufnahmen auf den Parzellen. Dabei wurden Baumhöhe, Kronenansatz, BHD und die Kraft'sche

Tab. 2

Übersicht der wichtigsten Naturaldaten auf Bestandesebene getrennt nach Behandlungsvariante (NV: Stammzahl verbleibend, NA: Stammzahl ausscheidend, DO: Durchmesser des Grundflächenmittelstamms der 100 stärksten Bäume je ha, DGV: Durchmesser des Grundflächenmittelstamms, HO: Höhe des Grundflächenmittelstamms der 100 stärksten Bäume je ha, HGV: Höhe des Grundflächenmittelstamms, GV: Grundfläche verbleibend, GA: Grundfläche ausscheidend, VV: Vorrat verbleibend, VA: Vorrat ausscheidend, iG: Laufender, jährlicher Grundflächenzuwachs, iV: Laufender, jährlicher Vorratzuwachs, DGZ: Durchschnittlicher Gesamtwuchs, GWL: Gesamtwuchsleistung). Die Angaben zu Zuwachs- und Gesamtwuchsleistung in den letzten 4 Zeilen der Tabelle beziehen sich in der Spalte 1986 auf den Zeitraum 1987–1992 und in der Spalte 2009 auf den Zeitraum 2005–2009.

Overview of the most important growth and yield data on stand level by application variant (NV: Number of remaining trees, NA: Number of removed trees, DO: Quadratic mean diameter of the 100 thickest trees per ha, DGV: Quadratic mean diameter of the remaining trees, HO: Height corresponding to DO, HGV: Height corresponding to DGV, GV: Remaining basal area, GA: Removed basal area, VV: Remaining growing stock, VA: Removed growing stock, iG: Current annual basal increment, iV: Current annual volume increment, DGZ: Mean annual volume increment, GWL: Total volume production. The specifications of increment and total volume production in the last 4 rows of the table and in the column of 1986 refer to the period 1987–1992 and in the column of 2009 to the period 2005–2009.

FUS262	0-Fläche				Biosol				Frisol			
	Parzelle 2		Parzelle 4		Parzelle 1		Parzelle 6		Parzelle 3		Parzelle 5	
Jahr	1986	2009	1986	2009	1986	2009	1986	2009	1986	2009	1986	2009
NV	602	458	753	706	762	690	871	659	569	474	1012	965
NA [N/ha]	169	0	165	23	405	0	188	0	213	0	329	0
DO	49,9	48,4	56,9	61,5	42,5	45,5	48,7	49,6	61,6	68,2	46,2	51,5
DGV [cm]	31,2	33,8	35,6	40,1	26,7	31,1	28,0	32,0	34,0	41,3	23,1	28,8
HO	21,7	23,7	23,9	26,5	19,9	21,9	21,9	23,9	24,1	28,5	19,2	24,0
HGV [m]	18,1	19,8	15,9	19,8	15,0	17,5	14,6	17,9	20,1	24,4	13,2	18,0
GV	45,99	41,06	75,24	89,62	42,66	52,32	53,68	52,99	51,54	63,44	42,48	62,90
GA [m ² /ha]	6,75	0	5,50	0,02	9,02	0	1,53	0	4,18	0	1,53	0
VV	389	379	604	834	322	442	418	469	459	663	303	566
VA [m ³ /ha]	57	0	47	0	61	0	5	0	25	0	6	0
iV [m ³ /ha/a]	5,7	4,7	11,6	12,3	7,1	5,8	7,5	6,4	10,8	9,8	10,8	10,7
GWL [m ³ /ha]	446	559	651	885	383	515	423	577	484	717	309	572

Tab. 3

**Mittelwerte der wichtigsten Naturaldaten auf Basis der gebohrten Einzelbäume
getrennt nach Behandlungsvariante, Werte in Klammern bezeichnen die Spannweite der Einzelwerte.
Arithmetical means of the most important natural data of the cored trees by application variant.
Values in brackets describe the range of the single tree values.**

FUS262	0-Fläche		Biosol		Frisol		Sa.	Ø
	Parzelle 2	Parzelle 4	Parzelle 1	Parzelle 6	Parzelle 3	Parzelle 5		
Anzahl / Number	12	20	16	18	15	23	104	
Alter / age [Jahre / years]	143 (124 - 178)	174 (146 - 192)	161 (130 - 222)	176 (142 - 210)	147 (124 - 200)	160 (114 - 188)		160 (114 - 222)
Durchmesser / Diameter [cm]	35,8 (24,0 - 46,9)	43,0 (15,3 - 69,9)	37,2 (23,1 - 47,9)	34,5 (15,4 - 54,6)	38,3 (15,9 - 68,9)	36,4 (14,2 - 53,5)		37,5 (14,2 - 69,9)
Höhe / Height [m]	21,2 (15,5 - 24,2)	21,0 (7,9 - 28,8)	19,9 (13,7 - 24,3)	18,5 (7,4 - 27,4)	20,0 (7,1 - 30,9)	20,2 (5,9 - 27,0)		20,1 (5,9 - 30,9)
Kronenlänge / Crown length [m]	17,7 (9,8 - 21,9)	17,2 (5,0 - 24,3)	15,6 (6,9 - 21,8)	14,8 (4,8 - 24,3)	17,0 (4,6 - 24,6)	17,3 (4,5 - 23,9)		16,5 (4,5 - 24,6)
Kronenbreite / Crown width [m]	4,4 (2,7 - 5,7)	4,7 (3,3 - 7,3)	4,3 (3,0 - 6,1)	4,2 (3,1 - 6,1)	4,7 (2,7 - 7,3)	4,7 (3,2 - 6,5)		4,5 (2,7 - 7,3)
Durchmesserzuwachs / Diameter increment (1960-1986) [mm/Jahr / mm/year]	1,43 (0,94 - 1,74)	1,37 (0,91 - 1,75)	1,20 (0,91 - 1,49)	1,16 (0,78 - 1,34)	1,29 (0,89 - 1,54)	1,94 (1,44 - 2,47)		1,40 (0,78 - 2,47)
Durchmesserzuwachs / Diameter increment (1987-2009) [mm/Jahr / mm/year]	1,67 (1,09 - 2,31)	1,68 (1,31 - 2,14)	1,97 (1,04 - 2,57)	1,55 (0,98 - 1,94)	2,30 (1,04 - 3,01)	3,51 (1,75 - 4,83)		2,11 (0,98 - 4,83)

Klasse für jeden Baum erhoben. Bei der Erstaufnahme im Jahr 1986 wurden zudem die Stammfußkoordinaten eingemessen. Des Weiteren wurden in den Jahren 1986 und 2009 die Baumkronen in den vier Haupt- und den vier Nebenhimmelsrichtungen abgelotet. *Tabelle 2* gibt einen Überblick zur Entwicklung wichtiger Bestandeskennwerte für jede Parzelle seit 1986. Die Zuwachsdaten beruhen hier auf Wiederholungsaufnahmen. Die als ausscheidend bezeichneten Bestandesparameter sind durch einen natürlichen Ausleseprozess bzw. durch Schadereignisse bedingt.

Neben diesen Messungen wurde in einem jährlichen Turnus eine Schadstufenansprache der Baumkronen durchgeführt. Nach der Methodik der Waldzustandserhebung (Arbeitsgemeinschaft Dauerbeobachtungsflächen der Länder und des Bundes in Deutschland) wurden die Kronen dabei gemäß ihrem Benadelungsverlust in 10 Schadstufen eingeteilt (Schadstufe 0 = 0%–9%, 1 = 10%–19%, ..., 9 = 90%–99%, 10 = tot).

Im Jahr 2009 erfolgten Zuwachsbohrungen an allen noch lebenden und für die Bohrungen ausreichend starken Bäumen, um die jährlichen Radialzuwächse in den zurückliegenden 50 Jahren zu ermitteln. Dabei wurden pro Baum zwei Bohrkerne in einer Höhe von 1,20 m entnommen, einer immer hangoberseits, der zweite jeweils

um 90° gegen den Uhrzeigersinn versetzt. An drei vorherrschenden Bäumen pro Parzelle erfolgten Bohrungen bis ins Mark des Stammes, um das exakte Alter der entsprechenden Bäume zu bestimmen. Anhand dieser Kernbohrungen wurde anschließend für jede Parzelle das Durchschnittsalter errechnet. *Tabelle 3* gibt einen Überblick über Kennwerte der gebohrten Einzelbäume.

Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs wurde in dieser Untersuchung auf die Berücksichtigung der Exposition verzichtet. Stattdessen wurden die sechs Parzellen in drei Behandlungsvarianten stratifiziert. Die Parzellen 2 und 4 wurden in der 0-Variante (Kontrollvariante), die Parzellen 1 und 6 in der Biosolvariante und die Parzellen 3 und 5 in der Frisolvariante zusammengefasst.

2.2 Methoden

2.2.1 Jahrringmessung und Standardauswertung

Zunächst wurden die aus den Bohrkernen ersichtlichen Radialzuwächse mit einem Digitalpositionimeter Typ 2 nach K. Johann (Biritz GmbH, 2012) gemessen und jeweils über die beiden Probebohrungen je Stamm gemittelt. Die Auswertung der ertragskundlichen Vollaufnahmen erfolgte parzellenweise nach Standard-

verfahren (PRETZSCH, 2001). Die dabei berechneten Volumina verstehen sich als Vorratsfestmeter Schaftholz, basierend auf den Schaftholzformzahlen von KENNEL (1965). Die in *Tabelle 2* gezeigten Bestandeskennwerte auf der Basis der in die Horizontale projizierten Fläche (s. *Tab. 1*) sind Ergebnis dieser Auswertung.

2.2.2 Normierter Radialzuwachs

Um bei der weiteren Analyse der Düngewirkung die vor der Düngung vorliegenden Unterschiede im Zuwachsniveau zu berücksichtigen, wurde das Zuwachstrendverfahren nach PRETZSCH und UTSCHIG (1989) angewendet. Bei diesem Verfahren werden die Werte des absoluten Radialzuwachses folgendermaßen normiert: Als Referenzfläche wurde die 0-Variante und als Referenzzeitraum die Periode vor der Düngung von 1960 bis 1986 herangezogen. Für diesen Zeitraum wurden aus den Einzelbaumwerten parzellenweise durchschnittliche Jahrringbreiten berechnet, die anschließend pro Behandlungsvariante gemittelt wurden. Dann wurden sowohl die Biosol- als auch die Frisolvariante ins Verhältnis zur 0-Variante gesetzt (erste Prozentuierung). Die nachfolgende Formel zeigt die erste Prozentuierung am Beispiel der Biosolvariante mit dem Normierungsfaktor der Biosolvariante Q_{iJ_B} als Ergebnis (Formel 1).

$$Q_{iJ_B} = \frac{\bar{iJ}_B}{\bar{iJ}_0} \quad (1)$$

Q_{iJ_B} = Normierungsfaktor für den Radialzuwachs der Biosolvariante

\bar{iJ}_B = Durchschnittlicher Radialzuwachs der Biosolvariante von 1960 bis 1986

\bar{iJ}_0 = Durchschnittlicher Radialzuwachs der 0-Variante von 1960 bis 1986

Daraus resultierend ergibt sich für die Biosolvariante ein Quotient von 0,84 und für die Frisolvariante von 1,21. Für die 0-Variante erhält man automatisch den Wert 1. Der normierte Radialzuwachs (iJ_{norm}) der einzelnen Bäume wurde nun für jedes Jahr innerhalb der Periode von 1960 bis 2009 durch die Division des absoluten Radialzuwachses (iJ_{abs}) durch den Normierungsfaktor (Q_{iJ}) der entsprechenden Variante errechnet. Im Folgenden wird dieser Rechenschritt wiederum am Beispiel der Biosolvariante gezeigt (Formel 2).

$$iJ_{norm_B} = \frac{iJ_{abs_B}}{Q_{iJ_B}} \quad (2)$$

iJ_{norm_B} = Normierter Radialzuwachs der Biosolvariante 1960 bis 2009

iJ_{abs_B} = Absoluter Radialzuwachs der Biosolvariante 1960 bis 2009

Q_{iJ_B} = Normierungsfaktor für den Radialzuwachs der Biosolvariante

Anschließend wurde wiederum zunächst parzellenweise für jedes Jahr von 1960 bis 2009 der Mittelwert des normierten Jahrringzuwachses gebildet und dann ein Mittelwert pro Behandlungsvariante gebildet.

Anhand einer Varianzanalyse wurden die Unterschiede im Zuwachsniveau der drei Behandlungsvarianten

auf Signifikanz untersucht. Dabei wurde jahresweise für den Zeitabschnitt nach der Düngung (1987 bis 2009) der normierte Radialzuwachs auf Einzelbaumebene als abhängige Variable und die Behandlungsvariante als unabhängige Variable herangezogen. Dies erlaubt Aussagen sowohl über den sofortigen, als auch den mittel- und längerfristigen Einfluss der Düngung.

2.2.3 Normierte Gesamtwuchsleistung und periodischer Volumenzuwachs

Als Indikator für die Ertragsleistung wurde die Gesamtwuchsleistung (GWL) herangezogen. Um auch hier die bereits bestehenden Unterschiede vor der Düngung zu berücksichtigen, wurde für das Jahr 1986 die GWL der gedüngten Parzellen an der Kontrollvariante normiert. Formel 3 zeigt am Beispiel der Biosolvariante die Berechnung des Normierungsfaktors. Pro Behandlungsvariante wird dabei der Mittelwert aus den jeweils zwei Parzellen verwendet.

$$Q_{GWL_B} = \frac{GWL_B}{GWL_0} \quad (3)$$

Q_{GWL_B} = Normierungsfaktor für die Gesamtwuchsleistung der Biosolvariante

GWL_B = Gesamtwuchsleistung der Biosolvariante 1986

GWL_0 = Gesamtwuchsleistung der Referenzfläche 1986

Für die 0-Variante ergibt sich ein Quotient von 1, für die Biosolvariante von 0,73 und für die Frisolvariante 0,72. Die normierte Gesamtwuchsleistung (GWL_{norm}) pro Behandlungsvariante wurde nun für die Aufnahmezeitpunkte 1986, 1992, 1997, 2004 und 2009 durch die Division der absoluten Gesamtwuchsleistung (GWL_{abs}) durch den entsprechenden Normierungsfaktor (Q_{GWL}) berechnet. Am Beispiel der Biosolvariante wird die Berechnung der normierten Gesamtwuchsleistung verdeutlicht (Formel 4).

$$GWL_{norm_B} = \frac{GWL_{abs_B}}{Q_{GWL_B}} \quad (4)$$

GWL_{norm_B} = Normierte Gesamtwuchsleistung der Biosolvariante

GWL_{abs_B} = Absolute Gesamtwuchsleistung der Biosolvariante

Q_{GWL_B} = Normierungsfaktor für die Gesamtwuchsleistung der Biosolvariante

Die normierte GWL diente zur Herleitung des mittleren periodischen Volumenzuwachses (MPZ) pro Behandlungsvariante. Dieser ergibt sich als Differenz der GWL zu zwei Aufnahmezeitpunkten dividiert durch die Anzahl der dazwischen liegenden Jahre. Die drei Behandlungsvarianten wurden auf signifikante Unterschiede zwischen den Beständen überprüft. Als abhängige Variable wurde der mittlere periodische Volumenzuwachs der vier Zeitabschnitte, als unabhängige Variable die Behandlungsvariante (Kontrollfläche, Biosol- und Frisolvariante) herangezogen.

2.2.4 Normiertes Benadelungsprozent

Zur Bewertung der Vitalität wurde der Benadelungszustand herangezogen. Aus den gemittelten Werten der

terrestrischen Einzelbaumannsprache wurde pro Parzelle und Jahr, in dem eine Schadstufenansprache stattfand, ein durchschnittliches Benadelungsprozent ermittelt.

Analog zur GWL repräsentiert das Jahr 1986 den Status quo vor der Düngung. Exakt wie bei der GWL wurden für jede Behandlungsvariante normierte Benadelungsprozente berechnet (Normierungsfaktor Biosol = 1,1; Frisol = 0,90). Anhand einer Varianzanalyse auf Einzelbaumbasis mit Benadelungsprozent als abhängige Variable und Behandlungsvariante als unabhängige Variable wurden die Behandlungsvarianten auf signifikante Unterschiede untersucht.

2.2.5 Korrigierter Blattflächenindex

Als weiteres Vitalitätsmerkmal wurde der Blattflächenindex (LAI) herangezogen. Für dessen Berechnung war es zunächst notwendig, die oberirdische Biomasse jedes Baumes in Abhängigkeit von dessen Brusthöhendurchmesser und Höhe zu schätzen (Verfahren nach PRETZSCH und DIELER, 2012). Darauf aufbauend konnte die Blattfläche nach PRETZSCH et al. (2012) berechnet werden. Der Blattflächenindex ergab sich aus der Summe der Einzelbaumblattflächen bezogen auf die Parzellenflächen der jeweiligen Behandlungsvariante. Anschließend wurde der Blattflächenindex mit dem durchschnittlichen absoluten Benadelungsprozent der entsprechenden Aufnahmejahre multipliziert (s. Tab. 4), da die Blattflächenschätzung nach PRETZSCH (2012) von voll benadelten Bäumen ausgeht. Formel 5 zeigt die Berechnung der oberirdischen Biomasse des Einzelbaums, Formel 6 die Berechnung der Blattfläche des Einzelbaums und Formel 7 die Berechnung des Blattflächenindex:

$$\ln(Bm) = (a_0 + a_1 \ln(d) + a_2 \ln(h)) * Rd \quad (5)$$

Bm = Oberirdische Biomasse des Einzelbaums

a_0 = -8,972828

a_1 = 1,878132

a_2 = 0,797018

d = BHD des Einzelbaums

h = Höhe des Einzelbaums

Rd = Raumdichte für die Baumart Fichte (0,3771 g/cm³)

$$\ln(la) = a_1 + a_{la,m} \ln(m) \quad (6)$$

la = Blattfläche des Einzelbaums

a_1 = 0,13428421

$a_{la,m}$ = 0,7235698

m = Masse des Einzelbaums

$$LAI = \frac{\sum_{i=1}^n la_i}{\text{Behandlungsvariantenfläche}} \quad (7)$$

LAI = Blattflächenindex

la = Blattfläche des Einzelbaums

n = Anzahl der Fichten je Behandlungsvariante

2.2.6 Zusammenhang zwischen Benadelung und Zuwachs

Für die Jahre 1990, 1997 und 2005 wurden lineare Regressionsmodelle getrennt nach Behandlungsvariante angepasst (Formel 8). Als zu untersuchende Variablen

wurden auf Einzelbaumbasis das normierte Benadelungsprozent und der normierte Radialzuwachs in den Jahren 1990, 1997 und 2005 herangezogen. Diese Jahre repräsentieren die Zeitpunkte kurz nach der Düngung (1990), in etwa der Hälfte des Zeitabschnitts nach der Düngung (1997) und kurz vor Ende des Zeitabschnitts nach der Düngung (2005).

$$\hat{y} = a * x + b \quad (8)$$

\hat{y} = Schätzwert des normierten Radialzuwachses je Behandlungsvariante

x = Normiertes Benadelungsprozent je Behandlungsvariante

a = Steigung der Regressionsgeraden

b = Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der y-Achse

2.2.7 Normierte Kronenentwicklung

Als Indikatoren für die Baumstabilität und die Vitalität wurden die Kronenparameter Bekronungsgrad, Plumpheitsgrad, Spreitungsgrad und Kronenauslastungsverhältnis in den Jahren 1986 und 2009 ausgewählt, die dann ebenfalls normiert wurden, so dass auch hier ein möglicher Einfluss der Biosol-/Frisoldüngung abgelesen werden kann. Formel 9 verdeutlicht die Berechnung des Normierungsfaktors am Beispiel des Bekronungsgrades der Biosolvariante:

$$Q_{BG_B} = \frac{BG_B}{BG_0} \quad (9)$$

Q_{BG_B} = Normierungsfaktor für den Bekronungsgrad der Biosolvariante

BG_B = Bekronungsgrad der Biosolvariante 1986

BG_0 = Bekronungsgrad der Referenzfläche 1986

Daraus ergibt sich ein Normierungsfaktor von 1 für die 0-Variante, von 0,86 für die Biosolvariante und von 0,90 für die Frisolvariante. Der normierte Bekronungsgrad (BG_{norm}) pro Behandlungsvariante wurde nun für die Jahre 1986 und 2009 durch die Division des absoluten Bekronungsgrades (BG_{abs}) durch den entsprechenden Normierungsfaktor (Q_{BG}) berechnet. Am Beispiel der Biosolvariante wird die Berechnung des normierten Bekronungsgrades veranschaulicht (Formel 10).

$$BG_{norm_B} = \frac{BG_{abs_B}}{Q_{BG_B}} \quad (10)$$

BG_{norm_B} = Normierter Bekronungsgrad der Biosolvariante

BG_{abs_B} = Absoluter Bekronungsgrad der Biosolvariante

Q_{BG_B} = Normierungsfaktor für den Bekronungsgrad der Biosolvariante

Die statistische Auswertung wurde mit Microsoft Office Excel 2003 und SPSS Statistics 17.0 durchgeführt.

3. ERGEBNISSE

3.1 Normierter Radialzuwachs

Abbildung 1 zeigt den normierten Radialzuwachs zwischen 1960 und 2009 getrennt nach Behandlungsvariante. Nachfolgend ist bei der Erwähnung des Radialzuwachses der normierte Radialzuwachs gemeint.

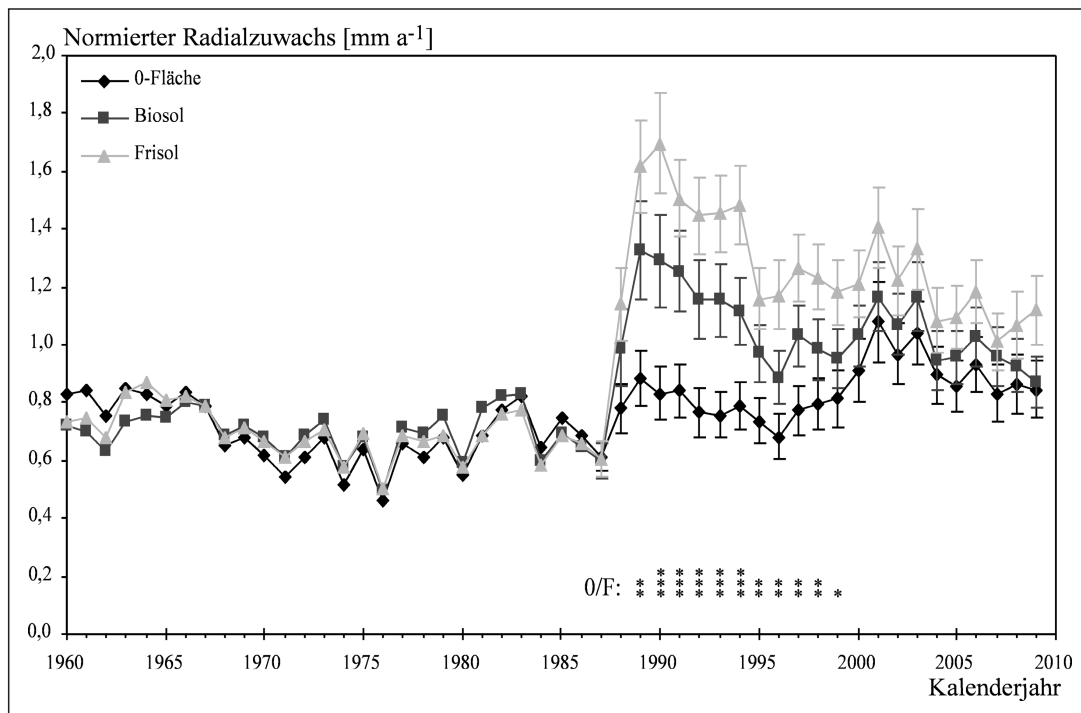


Abb. 1

Normierter Radialzuwachs im Zeitraum von 1960 – 2009 getrennt nach Behandlungsvariante.
 Nach 1987 ist der einfache Standardfehler durch Querbalken dargestellt.
 Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten (0-Variante=0, Frisolvariante=F)
 sind mit einem Stern (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$) gekennzeichnet.
 Standardised radial increment by application variant in the period of 1960–2009.
 The error bars for the years after 1987 represent the standard error.
 Significant differences between the application variants (0-variant=0, Frisol variant=F)
 are marked with asterisks (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$).

Der jährliche Radialzuwachs liegt im Zeitraum 1960–1986 im Mittel bei 0,70 mm und schwankt zwischen 0,5 und 0,9 mm. Im Zeitabschnitt von 1987 bis 2009 zeigt sich nach einer Verzögerung von einer Vegetationsperiode auf den gedüngten Versuchseinheiten eine z.T. deutliche Reaktion auf die Düngung. Dabei hebt sich der Verlauf des Radialzuwachses auf der mit Frisol behandelten Versuchsfläche deutlich ab und liegt, mit einem Maximum im Jahr 1990, in der gesamten Periode von 1987 bis 2009 über den beiden anderen Behandlungsvarianten. Im Durchschnitt wird dabei ein Radialzuwachs von 1,25 mm/a erreicht. Die Biosolvariante reagiert im Vergleich zur 0-Variante ebenfalls mit einem gesteigerten Radialzuwachs, wobei der Unterschied hier geringer ausfällt als bei der Frisolvariante. Der höchste relative Zuwachs wird 1989 und 1990 mit einem Maximum von 1,33 mm/a geleistet. Der durchschnittliche Radialzuwachs liegt hier bei 1,04 mm/a. Der Radialzuwachs auf der unbehandelten Versuchseinheit zeigt einen in den jährlichen Schwankungen annähernd synchronen Verlauf mit den beiden Düngevarianten, bleibt aber immer darunter. Gegen Ende des Beobachtungszeitraums ist auf der 0-Variante ein leichter Anstieg des Radialzuwachses zu beobachten. Der durchschnittliche

Radialzuwachs im Zeitraum 1987–2009 beträgt hier 0,84 mm/a.

Generell ergibt die Varianzanalyse signifikante bis höchst signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten (Abb. 1). Der paarweise Vergleich der einzelnen Behandlungsvarianten zeigt zwischen 1990 und 1994 höchst signifikante, im Jahr 1989 und zwischen 1995 und 1998 hoch signifikante und im Jahr 1999 signifikante Unterschiede zwischen der Kontrollfläche und der Frisolvariante. Unterschiede zwischen der Kontroll- und Biosolvariante bzw. zwischen Biosol- und Frisolvariante sind nicht signifikant.

Wird der durchschnittliche Radialzuwachs der Biosol- und der Frisolvariante für den Zeitraum von 1987 bis 2009 am entsprechenden durchschnittlichen Radialzuwachs der Kontrollfläche relativiert, lässt sich die prozentuale Mehrleistung durch Düngung ablesen. Der durchschnittliche Radialzuwachs der 0-Variante entspricht dabei 100% (s. Abb. 2).

Die Frisolvariante steigt im Zuwachs bis auf 204% im vierten Jahr nach der Düngung an und bleibt bis 2009 bei mehr als 40% über der ungedüngten Variante. Dies bedeutet über den Zeitraum von 1987 bis 2009 einen

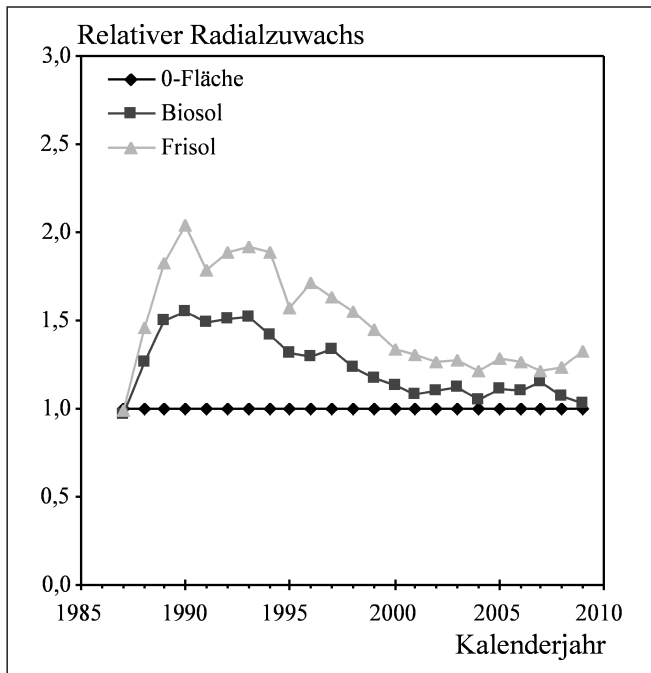


Abb. 2

Normierter Radialzuwachs der Biosol- und Frisolvariante in Relation zur ungedüngten 0-Variante im Zeitraum von 1987–2009.

Standardised radial increment of the Biosol- and Frisol variant in relation to the unfertilised 0-variant in the period of 1987–2009.

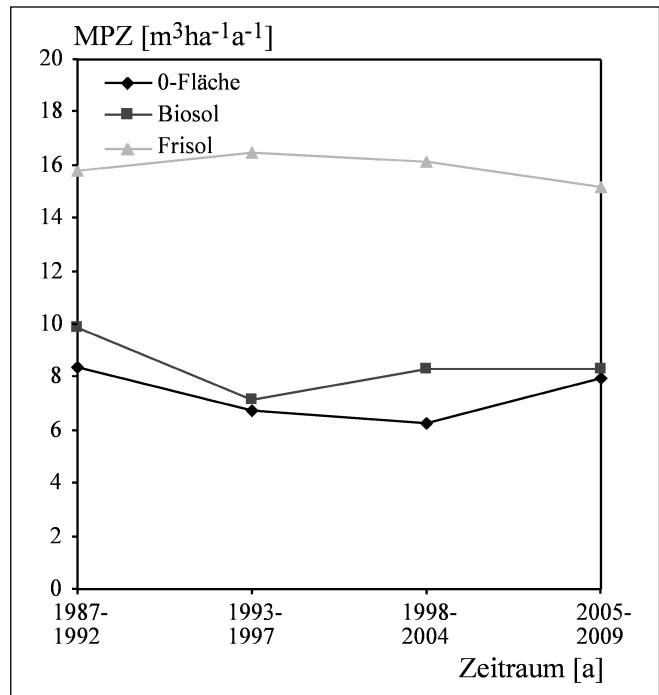


Abb. 3

Mittlerer periodischer Volumenzuwachs (MPZ) nach der Düngung getrennt nach Behandlungsvariante.

Average periodic increment (MPZ) by application variant after fertilisation.

durchschnittlichen Mehrzuwachs von 50%. Für die Biosolvariante liegt das durchschnittliche Niveau an Zuwachsüberlegenheit bei 24%.

3.2 Normierte Gesamtwuchsleistung

Im Jahr 1986 liegt die normierte Gesamtwuchsleistung (GWL) auf den drei Behandlungsvarianten einheitlich bei $549 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Während im weiteren Verlauf die Biosolvariante nur unwesentlich von der Kontrollvariante abweicht, hebt sich die Frisolvariante deutlich von den anderen beiden ab. Sie steigert sich hier auf $914 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ und liegt damit 27% über dem Wert der Kontrollvariante ($717 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Die Biosoldüngung führt zu einer Zunahme der GWL von etwa 4%.

3.3 Mittlerer periodischer Zuwachs

Ähnlich wie bei der GWL liegen die normierten mittleren periodischen Volumenzuwächse (MPZ) der Kontrollfläche und der Biosolvariante eng beieinander. In der zweiten Beobachtungsperiode ist ein Rückgang des MPZ zu verzeichnen, die bis 2009 dann aber annähernd stabil bleibt (Abb. 3). Der Zuwachs auf der Frisolvariante nimmt bis zur zweiten Beobachtungsperiode zu und sinkt danach schwach ab. Insgesamt liegt er auf einem deutlich höheren Niveau als bei der Kontroll- bzw. Biosolvariante. Durchschnittlich werden hier über einen Zeitraum von 23 Jahren $15,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ erreicht. Das entspricht 215% der Volumenleistung der ungedüngten Kontrollvariante.

Trotz des offensichtlich deutlich höheren MPZ der Frisolvariante im Vergleich zu den beiden anderen Behandlungsvarianten zeigten sich innerhalb des Versuchszeitraums aufgrund des geringen Stichprobenumfangs keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungsvarianten.

3.4 Normiertes Benadelungsprozent

Die organische Düngung bewirkt eine Verbesserung der Benadelung der Fichten. *Abbildung 4* zeigt den Verlauf des normierten Benadelungsprozents für den Zeitraum nach der Düngung 1986–2009 getrennt nach Behandlungsvariante. Nachfolgend ist bei der Erwähnung des Benadelungsprozents das normierte Benadelungsprozent gemeint.

Nach der Düngung liegt die Benadelung der gedüngten Flächen gegenüber der Kontrollvariante um etwa 10 Prozentpunkte höher. Ab etwa 1997 differenzieren sich die Benadelungsprozente der Biosol- und der Frisolvariante ebenfalls, wobei die Frisolvariante ein um ca. 5 Prozentpunkte höheres Benadelungsprozent zeigt. Die Relationen bleiben bis in die Gegenwart ähnlich. Von 1987 bis 2009 liegt das durchschnittliche Benadelungsprozent der ungedüngten Flächen bei 61%, das der Biosolvariante bei 68% und der Frisolvariante bei 71%.

Bemerkenswert ist der Rückgang des Benadelungsprozents auf allen drei Behandlungsvarianten im Jahr 1992, welcher möglicherweise auf den Wechsel des für

die Schadstufenansprache zuständigen Sachverständigen zurückzuführen ist.

Der paarweise Vergleich der Behandlungsvarianten im Rahmen einer Varianzanalyse ergibt oft signifikante Unterschiede. Die Biosolvariante unterscheidet sich demnach häufig signifikant bis höchst signifikant von der Kontrollvariante. Der Signifikanzgrad der Frisolvariante für die einzelnen Jahre liegt noch darüber (s. Abb. 4).

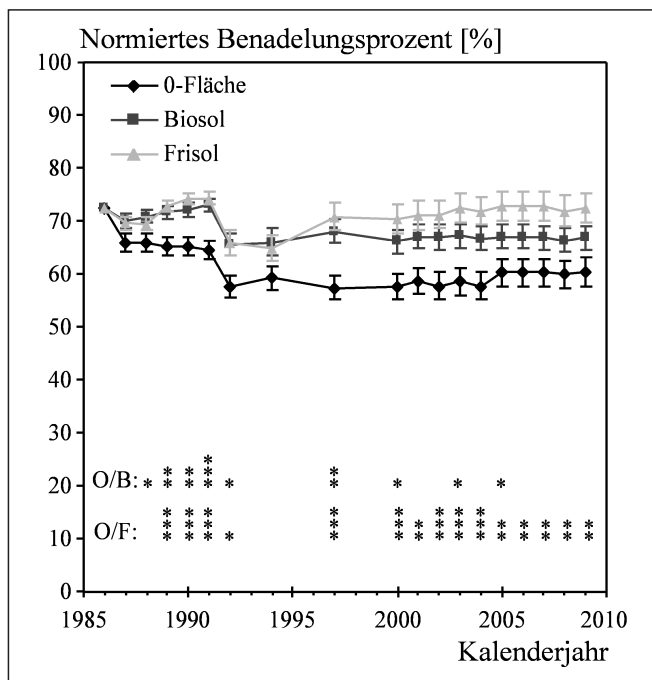


Abb. 4

Normiertes Benadelungsprozent im Zeitraum von 1986–2009 getrennt nach Behandlungsvariante. Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten (0-Variante = 0, Biosolvariante = B, Frisolvariante = F) sind mit einem Stern (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$) gekennzeichnet. Der einfache Standardfehler ist in der Periode nach der Düngung von 1987 bis 2009 grafisch dargestellt.

Standardised foliage percent by application variant in the period of 1986–2009. Significant differences between the application variants (0-variant = 0, Biosol variant = B, Frisol variant = F) are marked with asterisks (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$). The error bars represent the standard error for the period after fertilisation from 1987 to 2009.

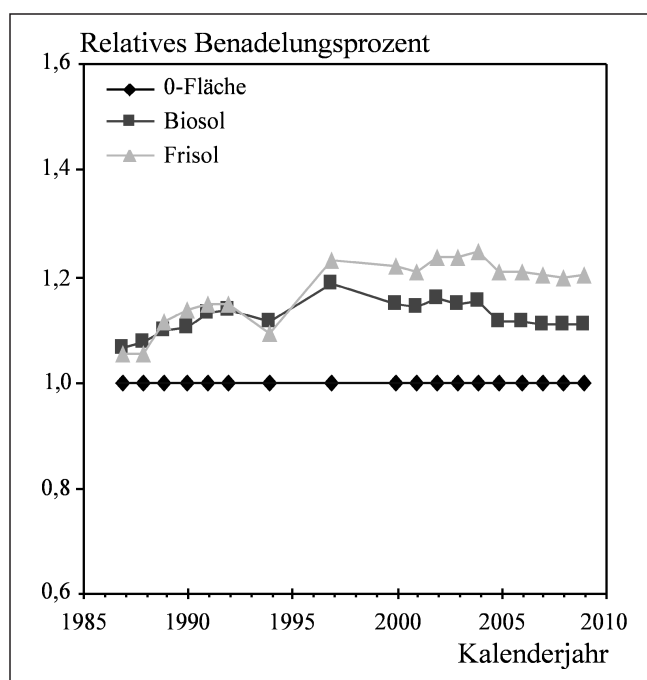


Abb. 5

Normiertes Benadelungsprozent der Biosol- und Frisolvariante in Relation zur ungedüngten 0-Variante im Zeitraum von 1987–2009.

Standardised foliage percent of the Biosol- and Frisol variant in relation to the unfertilised 0-variant in the period of 1987–2009.

Wird analog zum Radialzuwachs die Benadelung der Kontrollvariante als 100% betrachtet, ergibt sich für die Frisolvariante ein seit der Düngung im Schnitt um 18% höheres Benadelungsprozent, für die Biosolvariante liegt der Wert bei 12% (s. Abb. 5).

3.5 Blattflächenindex

Anhand des mit dem absoluten Benadelungsprozent korrigierten Blattflächenindex (LAI) kann ein Zusammenhang zwischen der Düngung mit Biosol/Frisol und der Benadelungsentwicklung aufgezeigt werden. Nachfolgend ist bei der Erwähnung des Blattflächenindex der korrigierte Blattflächenindex gemeint. Die Tabelle 4 zeigt das absolute Benadelungsprozent je

Tab. 4

Absolutes Benadelungsprozent in den Jahren 1986, 1992, 1997, 2004 und 2009 getrennt nach Behandlungsvariante.

Absolute foliage percent by application variant in the years 1986, 1992, 1997, 2004 and 2009.

Jahr	0-Fläche	Biosol	Frisol
1986	72	69	75
1992	58	62	69
1997	57	65	74
2004	58	63	75
2009	60	63	75

Behandlungsvariante in den Jahren 1986, 1992, 1997, 2004 und 2009.

Die *Abbildung 6* zeigt den Blattflächenindex in den Jahren 1986, 1992, 1997, 2004 und 2009 getrennt nach Behandlungsvariante.

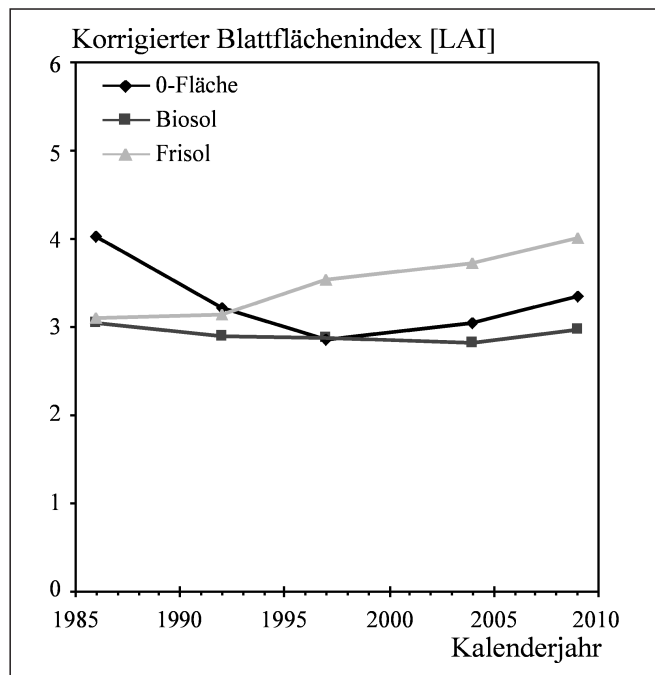


Abb. 6

Korrigierter Blattflächenindex in den Jahren 1986, 1992, 1997, 2004 und 2009 getrennt nach Behandlungsvariante.

Adjusted leaf area index by application variant in the years 1986, 1992, 1997, 2004 and 2009.

In der Zeit vor der Düngung im Jahr 1986 ergibt sich auf der 0-Variante ein Blattflächenindex von 4,02. Die Frisolvariante und die Biosolvariante weisen mit 3,11 bzw. 3,05 einen geringeren LAI auf. Interessant ist nun der weitere Verlauf des Blattflächenindex auf den drei Behandlungsvarianten im Zeitraum nach der Düngung. So nimmt der LAI auf der 0-Variante bis zum Jahr 1997 mit 2,86 ab, bevor er dann wieder auf 3,35 im Jahr 2009 ansteigt. Auf der Biosolvariante zeigen sich nur geringfügige Schwankungen des LAI, wobei das Ausgangsniveau des Jahres 1986 im gesamten Zeitraum nach der Düngung in etwa gleich bleibt. Zum Ende des Beobachtungszeitraums liegt der LAI hier bei 2,98. Die Frisolvariante nimmt auch hier wiederum eine Ausnahmestellung ein. So ist hier im gesamten Versuchszeitraum nach der Düngung ein kontinuierlicher Anstieg des LAI bis zu einem Maximum von 4,00 im Jahr 2009 zu beobachten.

3.6 Normiertes Benadelungsprozent und normierter Radialzuwachs

Anhand einer linearen Regression kann ein Zusammenhang zwischen Benadelung und Zuwachs aufgezeigt werden. *Abbildung 7* stellt die Streudiagramme der 0-Variante und der Frisolvariante mit entsprechenden Regressionsgeraden dar. Auf die Darstellung der Biosolvariante wurde aus Platzgründen verzichtet. Die ausgewählten Jahre 1990, 1997 und 2005 sind relativ gleichmäßig über den Versuchszeitraum nach der Düngung von 1987 bis 2009 verteilt, so dass ein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen innerhalb der gesamten Versuchsperiode chronologisch veranschaulicht werden kann.

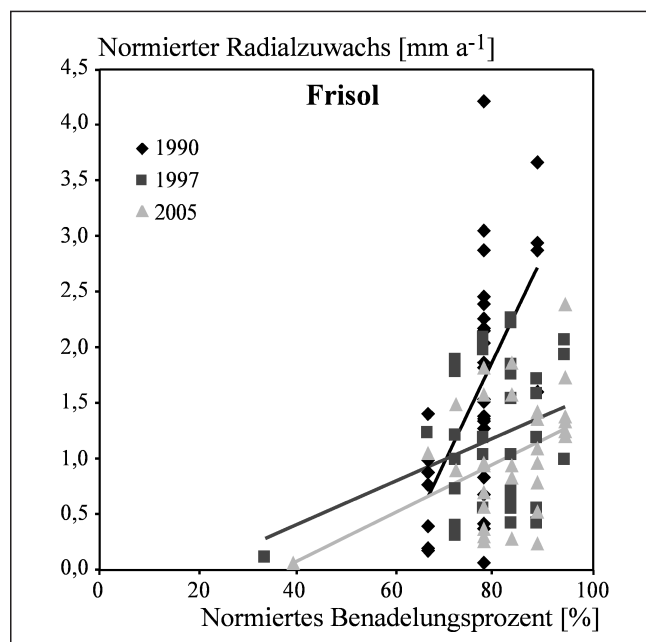
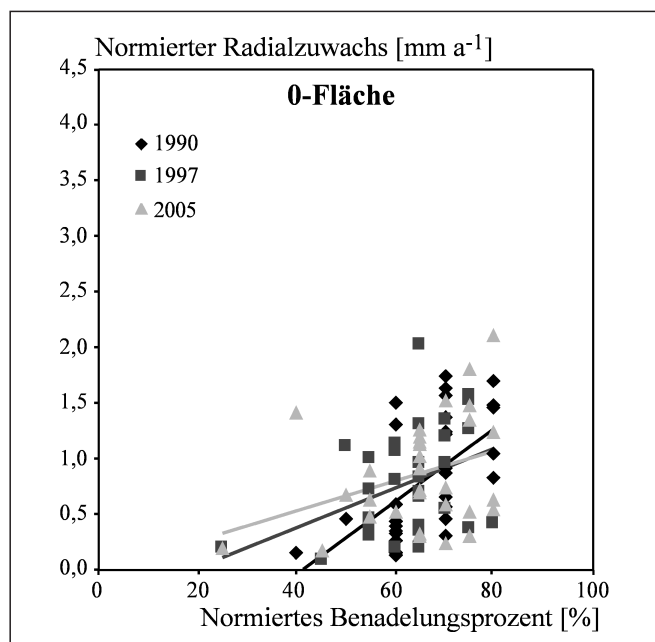


Abb. 7

Streudiagramm von normiertem Radialzuwachs gegen normiertes Benadelungsprozent in den Jahren 1990, 1997 und 2005 getrennt nach 0-Variante und Frisolvariante mit entsprechenden Regressionsgeraden.

Scatterplot of standardised annual radial increment vs. foliage percent by 0-variant and Frisol variant in the years 1990, 1997 and 2005 with corresponding regression lines.

Tab. 5

Werte der Regressionsparameter a und b, Bestimmtheitsmaße R² und Irrtumswahrscheinlichkeiten p.
Values of the regression coefficients a and b, coefficients of determination R²
and the overall levels of significance p.

Jahr	0-Variante				Biosolvariante				Frisolvariante			
	a	b	R ²	p	a	b	R ²	p	a	b	R ²	p
1990	0,0322	-1,325	0,3038	0,001	0,0291	-0,8634	0,0684	0,135	0,0927	-5,5187	0,3115	0,001
1997	0,0177	-0,3305	0,1487	0,029	0,0271	-0,9483	0,3007	0,001	0,0196	-0,3715	0,1121	0,053
2005	0,0134	-0,0121	0,1134	0,059	0,0228	-0,674	0,2861	0,2861	0,022	-0,8017	0,1806	0,012

Tab. 6

Übersicht der wichtigsten normierten Kronenparameter in den Jahren 1986 und 2009
getrennt nach Behandlungsvariante.

Overview of the most important standardised crown parameters by application variant in the years 1986 and 2009.

FUS 262	Jahr	Behandlungsvariante								
		0-Fläche			Biosol			Frisol		
		Mittel	SE	%	Mittel	SE	%	Mittel	SE	%
Bekronungsgrad	1986	0,78	0,020	100	0,78	0,028	100	0,78	0,025	100
	2009	0,77	0,020	100	0,81	0,031	105,2	0,80	0,028	103,9
Plumpheitsgrad	1986	0,48	0,070	100	0,48	0,103	100	0,48	0,051	100
	2009	0,42	0,051	100	0,48	0,129	114,3	0,40	0,042	95,2
Spreitungsgrad	1986	0,32	0,026	100	0,32	0,020	100	0,32	0,022	100
	2009	0,28	0,020	100	0,29	0,020	103,6	0,28	0,018	100
Ausladungsverhältnis	1986	15,74	1,058	100	15,74	0,925	100	15,74	1,225	100
	2009	14,52	0,874	100	14,43	0,842	99,4	14,31	0,901	98,6

Die Regressionsgeraden in den Jahren 1990, 1995 und 2005 weichen innerhalb der Biosol- und der 0-Variante nur geringfügig voneinander ab, wobei ihr Verlauf mit zunehmender Zeitdauer flacher wird. Innerhalb der Frisolvariante liegen die Regressionsgeraden der Jahre 1997 und 2005 auf ähnlichem Niveau und verlaufen fast parallel. Durch ihren wesentlich steileren Verlauf hebt sich dagegen die Regressionsgerade des Jahres 1990 deutlich ab. Da auf allen drei Behandlungsvarianten die Regressionsgeraden innerhalb der Versuchsperiode ansteigen, kann also allgemein ein positiver Zusammenhang zwischen dem Benadelungsprozent und dem Radialzuwachs festgestellt werden.

Die *Tabelle 5* zeigt die ermittelten Werte für die Variablen a und b, das Bestimmtheitsmaß R², sowie die Signifikanzniveaus p der Parameter.

3.7 Kronenentwicklung

Die *Tabelle 6* zeigt den nach Behandlungsvariante getrennten Vergleich der normierten Kronenparameter Bekronungsgrad, Plumpheitsgrad, Spreitungsgrad und Kronenausladungsverhältnis zwischen den Jahren 1986 (vor der Düngung) und 2009 (nach der Düngung).

Bei allen Kronenparametern zeigt sich eine durch die Normierung bedingte einheitliche Ausgangslage zwischen den einzelnen Behandlungsvarianten. Im Vergleich dazu ergeben sich, mit einer Ausnahme beim Plumpheitsgrad der Biosolvariante, bei allen drei Behandlungsvarianten nur marginale Differenzen zwischen den Jahren 1986 und 2009. Ein positiver Einfluss durch die Biosol bzw. Frisolapplikation auf die Bestandesstabilität kann anhand der Kronenparameter, Bekronungsgrad, Plumpheitsgrad, Sprei-

tungsgrad und Kronenausladungsverhältnis nicht nachgewiesen werden.

4. DISKUSSION

Die Ergebnisse der Jahrring- und der Benadelungsprozentanalyse bestätigen die Befunde der vorangegangenen Untersuchung von BACHMANN et al. (2000), der nach 12-jähriger Beobachtung den positiven Effekt der Düngung mit Frisol und in abgeschwächter Form auch der Düngung mit Biosol, auf Zuwachs und Vitalität beschrieben hatte. Des Weiteren decken sie sich mit den Forschungsergebnissen von GLATZEL und FUCHS (1986), GLATZEL et al. (1989), KATZENSTEINER (1991), ECKMÜLLNER (1995) und JOHANN (2000). Untersuchungen von BAIER (2003 und 2004) an mit Biosol gedüngten Jungfichten aus Container-Anzucht zeigen ebenfalls eine positive Auswirkung auf das Triebhängenwachstum und die Vitalität der Einzelbäume, im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung ist der Einfluss des Biosols allerdings auf nur etwa 4 Jahre begrenzt. Die kurze Wirkdauer führt Baier dabei auf die oberflächliche Auswaschung durch hohe Niederschläge und das mangelnde Vermögen der Fichten das hohe Nährstoffangebot vollständig zu nutzen zurück.

(i) Zuwachs auf Baum- und Bestandesebene

Die Ergebnisse der Jahrringanalyse zeigen auf Einzelbaumbene ebenfalls einen klaren positiven Einfluss der Frisoldüngung auf die Jahrringbreiten. Dies trifft in abgeschwächter Form auch auf die Biosolapplikation zu. Obwohl die Unterschiede zwischen den drei Behandlungsvarianten statistisch nur zwischen der 0-Variante und der Frisolvariante innerhalb der ersten 10 Jahre nach der Düngung signifikant sind und der Einfluss der Düngung mit zunehmender Zeitdauer generell abnimmt, bleibt die Steigerung des Zuwachsniveaus von der 0- über Biosol- zur Frisolvariante über den gesamten bisher beobachteten Zeitraum nach der Düngung erhalten (s. *Abb. 1* und *2*). Der Radialzuwachsverlauf lässt allerdings vermuten, dass sich das Niveau der drei Varianten weiter angleicht. Der Anstieg des Radialzuwachses auf der 0-Variante gegen Ende des Beobachtungszeitraums bestätigt dies und deutet auf eine allgemeine Verbesserung der Wuchsbedingungen, möglicherweise bedingt durch einen erhöhten Nährstoffeintrag im Versuchsgebiet hin.

Untersuchungen von PECHMANN und WUTZ (1960) zufolge ist der wachstumssteigernde Effekt bei anorganischer Düngung durch das kurzzeitige Überangebot an Nährstoffen im Allgemeinen auf 5–10 Jahre begrenzt. Im Vergleich dazu können die gespeicherten Nährstoffe durch die Anregung der Mikroorganismen in Verbindung mit einem sukzessiven Abbau der Nährstoffe beim Biosol, sowie der erhöhten Speicherkapazität des Bodens durch die zusätzliche ACS-Komponente beim Frisol, über eine wesentlich längere Periode pflanzenverfügbar bereitgestellt werden. Obwohl die physiologischen Prozesse aufgrund der extremen klimatischen Bedingungen des Hochgebirges langsamer ablaufen als im Flachland, ist das hohe Reaktionsvermögen der im Durchschnitt

ca. 160-jährigen Fichten auf die Applikation von Biosol und Frisol in diesem Zusammenhang bemerkenswert.

Auf Bestandesebene ergibt sich anhand des periodischen jährlichen Zuwachses und der GWL ein etwas anderes Bild. Die Frisolvariante zeigt hier einen deutlich erhöhten Zuwachs und liegt damit weit über den beiden anderen Varianten, die Biosolvariante dagegen hebt sich im Gegensatz zur Jahrringanalyse auf Einzelbaumbene nur geringfügig von der 0-Variante ab (s. Kap. 3.2 und *Abb. 4*). Daraus kann ein deutlich positiver Einfluss der Frisoldüngung auf das Bestandeswachstum abgeleitet werden, während sich der Einfluss einer Biosolapplikation, anders als man nach den Ergebnissen der Jahrringanalyse auf Einzelbaumbene vermuten könnte, nur marginal bemerkbar macht. Dies kann aber ebenfalls auf die zurückliegenden Schadereignisse, von denen v.a. die mit Biosol gedüngte Parzelle 1 betroffen war, zurückgeführt werden.

(ii) Benadelung als Vitalitätsweiser

Anhand der Analyse des Benadelungsprozents ist ein langfristiger Einfluss einer Biosol- und Frisoldüngung auf die Vitalität des Gesamtbestandes erkennbar. Die günstigste Entwicklung des Benadelungsprozents ist dabei wiederum auf der Frisolvariante zu beobachten. Das Benadelungsprozent bleibt hier zwischen 1986 und 2009 in etwa gleich, während es auf der Biosolvariante geringfügig abnimmt. Im Vergleich dazu zeigt sich auf der 0-Variante eine deutliche Verschlechterung des Benadelungsprozents (s. *Abb. 4* und *5*). Das Benadelungsprozent des Gesamtbestandes lässt sich durch die Düngung mit Biosol und Frisol also nicht generell steigern, einer zunehmenden Degradierung der Hochlagenfichten durch anhaltenden Benadelungsverlust kann hier aber entgegengewirkt werden. Wird nun die Entwicklung des Benadelungsprozents auf Einzelbaumbene betrachtet, so zeigt sich auf den mit Biosol und Frisol behandelten Flächen mit zunehmender Zeitdauer ebenfalls ein steigender Anteil an vitalen Individuen mit einem hohen Benadelungsprozent (s. *Abb. 7*). Dies lässt Rückschlüsse zu, dass sich zumindest auf Einzelbaumbene das Benadelungsprozent durch die Düngung erhöhen lässt, wobei vor allem die verhältnismäßig vitalen Fichten hier mehr von der Düngung profitieren. Das durchschnittliche Benadelungsprozent auf Bestandesebene bleibt über den gesamten Versuchszeitraum hinweg allerdings auf der Frisolvariante in etwa gleich, auf der Biosolvariante nimmt es dagegen leicht ab. Daraus ergibt sich, dass auch auf den gedüngten Flächen Individuen vorkommen, deren Benadelungsprozent sich verschlechtert. Dies kann allerdings auf einen natürlichen Ausleseprozess, bei dem hauptsächlich unter- und zwischenständige Bäume der Kraft'schen Klasse 3–5 betroffen sind, zurückgeführt werden. Dies wird durch die Analyse des Blattflächenindex bestätigt. Der LAI auf der Frisolvariante nimmt zwar zu, ein Ausbau der Baumkronen findet dabei aber nicht statt (s. *Tab. 6*). Daraus folgt, dass die Kronen der herrschenden Bäume hier dichter werden. Im Zusammenhang mit dem Verlauf des durchschnittlichen Benadelungsprozents deutet dies darauf hin, dass sich vor allem die Vitalität der Bäume der Kraft'schen Klasse 1 und 2 durch die Verab-

rechnung von Frisol erhöhen lässt. Der LAI auf der Biosol- und der 0-Variante nimmt dagegen ab. Er liegt auf der mit Biosol behandelten Variante sogar den kompletten Beobachtungszeitraum unter dem der Kontrollvariante (s. Abb. 6). Der relativ hohe LAI auf der ungedüngten Variante zu Beginn der Versuchsperiode ist hier auf die stammzahl- und vorratsreiche Parzelle 4 zurückzuführen. Der geringe LAI auf der Biosolvariante ist dagegen durch die Schadereignisse, welche besonders auf der Parzelle 1 zum Tragen kamen, bedingt. Trotzdem kann anhand des LAI keine erkennbare Verbesserung der Vitalität durch Biosolapplikation konstatiert werden.

(i/ii) Ein insgesamt positiver Einfluss der Düngung auf Zuwachs und Vitalität kann durch die Regression Radialzuwachs gegen Benadelungsprozent nachgewiesen werden. Auffällig hierbei ist, dass sich die Verteilung der Benadelungsprozente von der 0-Fläche über die Biosolfläche zur Frisolvariante hin einerseits in Richtung höherer Werte verschiebt, und gleichzeitig die Steigung der Regressionsgeraden zunimmt (s. Abb. 8). Daraus kann abgeleitet werden, dass die Anzahl der vitalen Einzelbäume innerhalb des gesamten Versuchszeitraums aufgrund des höheren Benadelungsprozents ansteigt, der Radialzuwachs von der 0-Variante über die Biosolvariante zur Frisolvariante ebenfalls deutlich zunimmt, und dass der Radialzuwachs damit bei gleichem Benadelungsprozent auf der Biosol- und vor allem der Frisolvariante im Vergleich zur 0-Variante höher ist. Daher ist auch im Speziellen ein positiver Zusammenhang zwischen Düngung, Benadelungsprozent und Radialzuwachs zu beobachten. Allerdings muss an dieser Stelle auch das niedrige Bestimmtheitsmaß bei allen drei Behandlungsvarianten erwähnt werden, so dass sich hier nur ein relativ kleiner Prozentsatz der Variablen Radialzuwachs und Benadelungsprozent durch eine lineare Abhängigkeit erklären lassen.

(iii) Im Gegensatz zum Radialzuwachs und der Vitalität kann anhand der ausgewählten Kronenparameter Bestockungsgrad, Plumpheitsgrad, Spreitungsgrad und Kronenausladungsverhältnis kein Einfluss der Düngung mit Biosol und Frisol auf die Bestandesstabilität nachgewiesen werden. Die zentrale Versuchsfrage iii muss hier also zugunsten der Nullhypothese verneint werden. Bestätigt wird dies auch durch die Schadereignisse, von denen hauptsächlich die mit Biosol behandelte Parzelle 1 betroffen war.

Synopse

Insgesamt gesehen stellt sich das Frisol als das wirksamere Düngemittel heraus. Die Komponente ACS führt damit im Vergleich zum reinen Biosolgranulat zu einem zusätzlichen positiven Effekt auf Wachstum und Vitalität der Einzelbäume. Aufgrund einer fehlenden Variante mit reiner ACS-Düngung kann dessen reiner Beitrag nicht bestimmt werden, da Wechselwirkungen zwischen ACS und Biosol nicht auszuschließen sind. Die Ergebnisse können nicht ohne Weiteres auf andere Standorte übertragen werden, da davon ausgegangen werden muss, dass die Wirkung von ACS abhängig vom Ausgangssubstrat und Humusgehalt des Bodens ist (BULIR, 2007).

Praktische Konsequenzen

Die langfristige Wirkung einer einmaligen Düngung mit dem organischen Spezialdünger Frisol auf die Ertragsleistung und Vitalität auch älterer Bestände erscheint sinnvoll für die Stabilisierung von Hochlagenwäldern. Sie erweitert das Zeitfenster für notwendige Verjüngungsmaßnahmen der Bestände ohne Einbußen der Schutzfunktion. Kosten- und Arbeitsaufwand sind im Vergleich zu notwendigen mehrmaligen Düngergaben mit mineralischen Düngern im schwierigen Gelände geringer. Damit bietet sie sich als ergänzende Maßnahme zu Pflanzung und Verbauung im Rahmen der Schutzwaldsanierung an.

5. DANKSAGUNG

Die Untersuchung erfolgte im Rahmen des Projektes W07 „Ertragskundliche Betreuung der langfristigen Versuche in Bayern“. In diesem Zusammenhang danken die Autoren dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die finanzielle Unterstützung, Herrn ULRICH KERN für die Gestaltung der Illustrationen, sowie den beiden Gutachtern für die konstruktive Kritik.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit prüft die Wirkung von Biosol- und Frisoldünger auf das Wachstum und die Vitalität von Fichtenhochlagenbeständen (*Picea abies* [L.] KARST.). Biosol ist ein organischer Dünger, der im Wesentlichen die Nährstoffe N, P und K enthält. Bei Frisol handelt es sich um Biosol, das zusätzlich mit einem Zuckerphosphoramid angereichert ist. Auf der seit 1986 kontinuierlich beobachteten Fichtenversuchsfläche FUS262 bei Füßen kann folgende Wirkung nachgewiesen werden: Anhand des Radialzuwachsverlaufs zeigt sich kurz nach der Düngung eine deutliche Reaktion auf die Applikation von Frisol. Die Biosolvariante reagiert ebenfalls mit einem gesteigerten Radialzuwachs; hier liegen die Jahrringbreiten aber weniger deutlich über denen der ungedüngten Variante. Die Ergebnisse zeigen auf, dass sich der Zuwachs auf Baum- und Bestandesebene durch die Verabreichung von Biosol und Frisol steigern lässt, wobei Frisol das weitaus wirksamere Düngemittel ist.

Der günstigste Verlauf des Benadelungsprozents innerhalb der Periode nach der Düngung von 1987 bis 2009 findet sich bei der Frisolvariante. Das Benadelungsprozent bleibt hier mit ca. 70% in etwa auf dem Niveau des Ausgangsjahres 1986. Auf der Biosolvariante liegt das Benadelungsprozent anfangs auf etwa dem gleichen Niveau der Frisolvariante, nimmt im weiteren Verlauf dann aber ab und befindet sich zum Ende des Zeitabschnitts hin knapp unterhalb des Benadelungsprozents der Frisolvariante. Damit zeigt die Benadelung eine ähnlich positive Reaktion auf die Düngung wie der Zuwachsgang. Dabei profitieren vor allem die herrschenden und verhältnismäßig vitalen Fichten von der Düngung; bemerkbar macht sich dies durch eine abnehmende Transparenz der Kronen.

Für die ausgewählten Kronenparameter Bekronungsgrad, Plumpheitsgrad, Spreitungsgrad und Kronenausladungsverhältnis in den Jahren 1986 und 2009 kann im Gegensatz dazu kein erkennbarer Einfluss der Düngung mit Biosol oder Frisol auf die Bestandesstabilität nachgewiesen werden.

Damit stellt die Applikation von Biosol und Frisol eine Option für die langfristige Revitalisierung von Fichtenhochlagenwäldern dar, die an Wirksamkeit über die herkömmlichen Dünger hinaus gehen kann.

7. SUMMARY

Title of the paper: *Can degenerated high-altitude Norway spruce forests (Picea abies [L.] KARST.) be stabilised by organic-ecological melioration? Results of a long-term study.*

While fertilisation is an effective practice for improving soil quality and stand productivity, it has been rarely applied in recent years. It could, however, play a role as a supporting measure to protective forest restoration. In this context, this study reports the results of a melioration experiment with two organic fertilisers, Biosol and Frisol, in a highland forest in the Bavarian Alps.

Because of their prominent protective functions, the stability and vitality of high mountain forests is of particular importance. At the same time, many such forest stands cannot sufficiently fulfil their protective functions due to degradation, ageing and lacking natural regeneration.

As an accompanying research measure within the restoration programme for protective forests in Bavaria, the experiment FUS262 has been established in 1986, and since then it is continuously maintained and observed by the Chair for Forest Growth and Yield at Technische Universität München, Germany. The experiment is located in an altimontane Norway spruce (*Picea abies* [L.] KARST.) forest in the Bavarian Alps near the town of Füssen. Research questions are (i) whether the increment can be increased by organic fertiliser application, (ii) whether this enhances forest vitality, and (iii) whether a higher mechanical stability of forest stands can therewith be achieved.

Biosol is an organic fertiliser, which mainly contains the nutrients N, P and K. It is a granulate made from penicillin production residues. When Biosol is enriched with the organic sugarphosphoramidate ACS it is called Frisol. According to the manufacturer, it improves water and nutrient uptake by plants and a general activation of the soil organisms.

The experiment FUS262 consists of six parcels which are attributed to three application variants (Biosol variant, Frisol variant and 0- or control variant, each with two repetitions). *Table 1* shows site and treatment information on parcel level; *Table 2* presents growth and yield data on stand level, while *Table 3* contains growth and yield data on single tree level based on cored trees.

The main results are as follows: (i) On tree level, an explicit reaction to Frisol application appears shortly after the fertilisation. Within the entire period from

1988 to 2009 the highest radial increment is observed for the Frisol variant. In the same period, compared to the control variant, the Biosol variant also shows an increased radial increment. In contrast, the radial increment of the control variant behaves rather indifferently. Marginally increased increments can be observed at the end of the observation period only (*Figures 1* and *2*). On stand level, total volume production (GWL) and average periodic increment (MPZ) react analogously: The increment of the Frisol variant is located clearly above the other both other variants, while the increment of the Biosol variant contrasts with the control variant to a minor extent only (section 3.2 and *Figure 3*).

These results indicate that tree and stand increment can be increased by the application of Biosol and Frisol, at which Frisol is by far the more potent fertiliser.

(ii) Taking foliage percentage as an indicator for vitality, the most auspicious development can be found on the Frisol variant. With approx. 70% it remains nearly constant since 1986. The foliage percentage on the Biosol variant is approximately on a level with the Frisol variant at the beginning, but decreases over time. At the end of the observation (2009), however, it is barely below the foliage percentage of the Frisol variant. The control variant shows the most adverse development. Its foliage percentage keeps consistently below both other variants. Thus, the foliage percentage shows a positive reaction to the fertilisation, similar to the radial increment (*Figures 4* and *5*).

Another proxy for vitality, the leaf area index (LAI), was adjusted with absolute foliage percentage (*Table 4*). The adjusted LAI and the correlation between tree-wise radial increment and foliage percentage indicate that especially the dominant and relatively vital spruces profit from the fertilisation; this results in a decreasing crown transparency (*Figures 6* and *7*).

(iii) Selected crown shape parameters that were used as stability indicators do not show any noticeable influence of the fertilisation with Biosol or Frisol (*Table 6*).

In summary, the application of Biosol and Frisol is an option for a long-term revitalisation of high-altitude Norway spruce forests. This finding is in accordance with several other studies that report a positive influence of organic-ecological fertilisation on growth and vitality in degraded high-altitude Norway spruce forests.

8. RÉSUMÉ

Titre de l'article: *Les forêts dégradées d'épicéa d'altitude (Picea abies [L.] Karst.) peuvent-elles être stabilisées par une amélioration organique écologique? Résultats d'une observation de longue durée.*

Ce travail teste les effets d'une fertilisation avec Biosol et Frisol sur la croissance et la vitalité de peuplements d'épicéas d'altitude (*Picea abies* [L.] Karst.). Biosol est un engrais organique qui se compose essentiellement des éléments minéraux N, P et K. Frisol correspond à l'engrais Biosol enrichi de phosphoramidate de sucre. Dans les parcelles d'expérimentation d'épicéas FUS262, observées de manière continue depuis 1986, on a pu constater

les effets suivants: en s'appuyant sur le suivi de l'accroissement radial, on observe, juste après la fertilisation, une réaction claire à l'application du Frisol. La variante Biosol réagit également avec une augmentation de l'accroissement radial, mais ici les largeurs de cernes sont beaucoup moins nettes par rapport à la variante non fertilisée. Les résultats font apparaître que l'accroissement à l'échelle de l'arbre et du peuplement est accru par l'administration de Biosol et de Frisol, avec une réaction largement plus remarquable sous l'action du fertilisant Frisol.

L'évolution la plus favorable du pourcentage foliaire, observée dans la période de 1987 à 2009, après fertilisation, est apparue dans la variante fertilisée avec le Frisol. Le pourcentage foliaire est ici resté relativement constant, avec environ 70% de son niveau de l'année 1986. Pour la variante fertilisée avec le Biosol, le pourcentage foliaire se trouve, au début, environ au même niveau que dans la variante fertilisée avec le Frisol, mais ensuite il diminue et se situe à la fin de la période un peu au-dessous du pourcentage foliaire de la variante fertilisée avec le Frisol. Ainsi la masse foliaire réagit positivement à la fertilisation comme l'accroissement de l'arbre. Ceux qui profitent avant tout de la fertilisation, sont les épicéas dominants et relativement vitaux. On remarque cela par la diminution de la transparence des couronnes.

En ce qui concerne les relations des paramètres caractéristiques de la couronne observés entre les années 1986 et 2009, on ne peut distinguer au contraire aucune influence reconnaissable de la fertilisation avec Biosol ou Frisol sur la stabilité du peuplement.

Ainsi l'application de Biosol et de Frisol s'avère être une option pour la revitalisation à long terme des forêts d'épicéas d'altitude qui dépassent les fertilisants traditionnels.

9. LITERATUR

- AESCHT, E. und W. FOISSNER (1995): Auswirkungen organomineralischer Dünger auf Bodenorganismen des Böhmerwaldes in Oberösterreich. In: Forstliche Schriftenreihe der Universität für Bodenkultur, Wien (9): 91–106.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN DER LÄNDER UND DES BUNDES IN DEUTSCHLAND (1997): Waldbäume. Bilderserien zur Einschätzung von Kronenverlichtungen bei Waldbäumen. Verlag M. Faste, Kassel. 160 S.
- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (1996): Forstliche Standortsaufnahme. IHW Verlag und Verlagsbuchhandlung, Eching. 352 S.
- BACHMANN, M., T. PREUHLER und H. PRETZSCH (2000): Lassen sich stark geschädigte Schutzwaldbestände in den Bayerischen Alpen durch organische Spezialdünger nachhaltig vitalisieren. Forstarchiv 71(5): 183–189.
- BAIER, R. (2003): Düngemaßnahmen in der Schutzwaldsanierung. LWF aktuell 41, S. 22.
- BAIER, R. (2004): Ernährungszustand und mögliche Anpassungsmechanismen der Fichte (*Picea abies* L. [KARST.]) auf Dolomitstandorten der Bayerischen Kalkalpen – Ergebnisse eines Düngeversuches an jungen Schutzwaldsanierungspflanzen. Schweiz. Z. Forstwes. 155 (9): 378–391.
- BAYSTMINELF (1986): Wald funktionsplanung 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.
- BIRITZ GMBH: Digitalpositionimeter Typ 2. Online unter <http://www.biritz.at/messger%C3%A4te/digitalpositionimeter/digitalpositionimeter-typ-2/>. Zuletzt aufgerufen am 27. 3. 2012.
- BOSCH, CHR., E. PFANNKUCH, K. E. REHFUESS, K. H. RUNKEL, P. SCHRAMEL und M. SENSER (1986): Einfluss einer Düngung mit Magnesium und Calcium, von Ozon und saurem Nebel auf Frosthärte, Ernährungszustand und Biomasseproduktion junger Fichten (*Picea abies* [L.] KARST.). Forstw. Cbl. 105: 218–229.
- BULIR, P. (2007): Effects of varying doses of Frisol on European ash (*Fraxinus excelsior* L.) planted on spoil banks. Journal of Forest Science 53 (1): 35–40.
- ECKMÜLLNER, 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 (9): 91–106.
- GEBRÜDER FRIEDRICH GMBH (1996): Informationsblätter zu den Produkten BIOSOL und ACS. 10 S.
- GLATZEL, G. und J. FUCHS (1986): Zur Anwendung organischer Spezialdünger bei schwierigen Aufforstungen. Allg. Forstz. 41: 201–204.
- GLATZEL, G., K. KATZENSTEINER, und H. STERBA (1989): Waldsanierungsversuche Lech und Schöneben. Unveröff. Zwischenbericht d. Institute für Forstökologie u. Forstliche Ertragslehre, Universität für Bodenkultur, Wien. 14 S.
- GLATZEL, G., K. HASELWANDTER, K. KATZENSTEINER, H. STERBA und J. WEISSBACHER (1991): The use of organic and mineral fertilizers in reforestation and in revitalization of declining protective forests in the Alps. Water, Air and Soil Pollution 54: 567–576.
- GUTTENBERG, A. VON (1915): Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge. Verlag Franz Denticke, Wien und Leipzig. 153 S.
- JOHANN, K. (2000): Ergebnisse von Düngeversuchen nach 30 Jahren ertragskundlicher Beobachtung. FBVA-Berichte 114, Institut für Waldwachstum und Betriebswirtschaft, Wien. 39 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.
- KENK, G., P. UNFRIED, F. H. EVERS und E. E. HILDEBRAND (1984): Düngung zur Minderung der neuartigen Waldschäden. Auswertungen eines alten Düngeversuches zu Fichte im Buntsandstein-Odenwald. Forstw. Cbl. 103: 307–320.

- KENNEL, R. (1965): Formzahl aus dem EDV-Programm VOLUM entnommen. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- 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.
- LWF (2008): Waldzustandsbericht 2008. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 56 S.
- V. PECHMANN, H. und A. WUTZ (1960): Haben Minereraldüngung und Lupinenanbau einen Einfluß auf die Qualität von Fichten- und Kiefernholz? Forstw. Cbl. **79**: 91–105.
- PRETZSCH, H. und H. UTSCHIG (1989): Das „Zuwachstrend-Verfahren“ für die Abschätzung krankheitsbedingter Zuwachsverluste auf den Fichten- und Kiefern-Weiserflächen in den bayerischen Schadgebieten. Sonderdruck aus „Forstarchiv“, 60. Jahrgang, Heft Nr. **5**: 188–193.
- PRETZSCH, H. (2001): Grundlagen der Waldwachstumforschung. Blackwell Verlag, Berlin. 380 S.
- PRETZSCH, H. und J. DIELER, J. (2012): Evidence of variant intra- and interspecific scaling of tree crown structure and relevance for allometric theory. *Oecologia* DOI 10.1007/s00442-011-2240-5.
- PRETZSCH, H., C. MATTHEW und J. DIELER (2012): Allometry of tree crown structure. Relevance for space occupation at the individual plant level and for self-thinning at the stand level. *Ecological Studies*, Springer-Verlag GmbH, Berlin. Accepted.
- WALENTOWSKI, H., H.-J. GULDER, C. KÖLLING, J. EWALD und W. TÜRK (2001): Die regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns. *Berichte aus der LWF* **32**: 1–97.
- WÖLFLE, C., K.-H. HÄBERLE, C. KÖLLING und K. E. REHFUESS (2000): Über den Einfluss von wiederholter Ammoniumnitrat-Düngung auf Substrat, Ernährungszustand und Wachstum junger Fichten (*Picea abies* [L.] KARST.) in den Hochlagen des Bayerischen Waldes – Ergebnisse eines Container-Experiments. *Forstw. Cbl.* **119**: 114–127.

Manuelle Ernte von Kurzumtriebsplantagen in Südwestdeutschland

(Mit 1 Abbildung und 5 Tabellen)

JANINE SCHWEIER*) und GERO BECKER

(Angenommen Juni 2012)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Kurzumtriebsplantage; manuelle Ernte; Verfahrenskosten; Ernteleistung; Arbeitszeitstudie.

Short rotation coppice; manual harvest; harvesting costs; harvest productivity; working time study.

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die nachhaltige Erzeugung von Energie aus heimischer Biomasse gilt als weitgehend klimaneutral und wird deshalb in den letzten Jahren zunehmend propagiert. Insbesondere die Anpflanzungen schnellwachsender Bäume in so genannten Kurzumtriebsplantagen (KUP), sind durch ihr Potenzial zur effizienten Produktion von Biomasse besonders interessant geworden (DJOMO et al., 2011; ROWE et al., 2011). Zugleich kann im Rahmen regionaler Lieferketten Wertschöpfung in der produzierenden Region erzielt werden (SCHMIDT und

GEROLD, 2008). Die vermehrte Nutzung heimischer Energieträger bringt größere Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern und Importen und kann helfen, unabhängiger von Energiekrisen oder Preissteigerungen zu sein.

Trotz dieser und noch weiterer Vorzüge werden KUP in Deutschland nur zögernd angelegt (BEMMANN und KNUST, 2010; BEMMANN et al., 2010; BEMMANN et al., 2011; KNUST, 2008; KNUST, 2009). Die Ursachen sind vielschichtig und liegen u.a. in der für die Landwirtschaft ungewöhnlich langen Kapitalbindung, die bei mehreren Rotationen bis zu 20 Jahren dauern kann. Auch die fehlende Erfahrung bei der Ernte von KUP ist ein Hemmnis, denn die Ernte stellt neben der Begründung der Fläche oft das teuerste Glied der Produktionskette dar (HEINRICH, 2011; MANZONE et al., 2009). PALLAST et al. (2005) kamen in einer Untersuchung zu dem Ergebnis, dass sich eine hochmechanisierte Ernte aus wirtschaftlicher Sicht nicht immer lohnt. Es sind dazu spezielle Maschinen nötig (Maishäcksler mit Gehölzschnidevorsätzen), über die der Landwirt oft nicht selber verfügt, da er sie für die konventionelle Landwirtschaft nicht benötigt oder nur temporär aus-

*) Korrespondierender Autor: JANINE SCHWEIER. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft, Werthmannstraße 6, 79085 Freiburg. E-Mail: janine.schweier@fobawi.uni-freiburg.de