

Sonderdruck aus
Forstwissenschaftliches Centralblatt

94. Jahrgang (1975), H. 6, S. 310—324

ite, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und Speicherung in
Datenverarbeitungsanlagen, vorbehalten.

© 1975 Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

Wirkung großflächiger Flugzeugdüngung mit Kalkammonsalpeter auf den Volumenzuwachs von Kiefernbeständen im Bayerischen Forstamt Bodenwöhr/Opf.

Von F. FRANZ und W. BIERSTEDT

1. Anmerkungen zur Waldgeschichte des Düngungsgebietes

Die Wälder der mittleren Oberpfalz, in der das Untersuchungsgebiet liegt, wurden bereits im frühen Mittelalter intensiv genutzt. Unter dem Einfluß dieser Nutzungen, die in erster Linie der Holzversorgung der damals zahlreichen Oberpfälzer Eisenhütten (Eisenhämmer) dienten, wurden auch der Waldaufbau und die Baumartenzusammensetzung der einheimischen Wälder grundlegend verändert. Die ehemals vorhandenen Laubwälder mit hohem Eichen- und Lindenanteil waren, wie ERNST in seiner aufschlußreichen Beschreibung der Waldentwicklung in der Oberpfalz (1951) hervorhebt, bereits zu Beginn des 17. Jahrhunderts völlig verschwunden. An ihre Stelle waren ausgedehnte reine Kiefernwälder getreten (s. hierzu auch LUTZ 1941; NILLE 1974; SCHMIDT 1971; SEITSCHKE 1962, 1969; TRETZEL 1968).

Der hohe Holzverbrauch für die Eisenverhüttung, den ERNST (1951) für die Blütezeit des Hammerwesens im 15. Jahrhundert mit jährlich rund 500 000 Festmetern beziffert, stellte

nur ein Glied in der Kette waldverändernder, größtenteils sogar waldzerstörender Ursachen dar. Ein weiterer wichtiger Faktor war die Waldweide, vor allem die Schafweide. Kahlflächen und Blößen wurden immer wieder abgebrannt, um alte, holzige Heide zu verjüngen und damit ein möglichst günstiges Futterangebot zu erhalten. Die Folgen dieser Eingriffe stellten sich schon frühzeitig ein. Bereits Anfang des 16. Jahrhunderts wird in Berichten über Waldbereitungen über den zunehmend schlechten Wuchs der Waldungen Klage geführt.

Neben vorratsabbauender Nutzung und Waldweide hat auch eine Jahrhunderte lange intensive Streugewinnung entscheidend zur Verschlechterung des Waldzustandes beigetragen. Der Bedarf an Waldstreu stieg insbesondere mit Beginn der Stallfütterung um 1720 bis 1750 stark an. Erst mit zunehmender Verwendung mineralischer Dünger in der Landwirtschaft gingen die Streunutzungen zurück; um 1950 wurden sie eingestellt. Heute liegt der Stickstoffvorrat der stark streugenutzten Kiefernstandorte nach Angaben von KREUTZER (1972) um 1100 bis 2000 kg unter dem vergleichbarer streugeschonter Flächen.

2. Ausgangslage, Problemstellung und Ziel des Düngungsvorhabens

Die derzeitige Ertragsleistung der Kiefernbestände auf den durch Übernutzung, Brände, Waldweide und Streugewinnung degradierten Standorten des Untersuchungsgebietes liegt auf großer Fläche unterhalb der Rentabilitätsschwelle. Mit dem Nähr-elementhaushalt dieser Standorte und den Möglichkeiten seiner Verbesserung hat sich das Münchner Institut für Bodenkunde und Standortslehre unter der Leitung des Jubilars in den letzten beiden Jahrzehnten eingehend befaßt. Seine Mitarbeiter WEHRMANN (1959), ZÖTTL (1960), REHFUESS (1965) und KREUTZER (1967) wiesen nach, daß vor allem ein zu geringes Stickstoffangebot die Wuchsleistung der Kiefernbestände begrenzt hat. Diese Feststellungen wurden durch zahlreiche, in den letzten zwanzig Jahren gemeinsam mit dem Münchner Institut für Ertragskunde, dem heutigen Institut für Waldwachstumskunde angelegte und beobachtete Düngungsversuche untermauert (ZÖTTL und KENNEL 1962; KENNEL und WEHRMANN 1967; KENNEL 1967, 1968; REHFUESS und SCHMIDT 1972; u. a. m.).

Die aufschlußreichen Ergebnisse der Oberpfälzer Stickstoff-Düngungsversuche lieferten wichtige Entscheidungsgrundlagen für ein regionales Düngungs- und Meliorationsvorhaben, das von der Oberforstdirektion Regensburg vor rund 10 Jahren auf Veranlassung ihres damaligen Waldbaureferenten und späteren Leiters, Herrn Forstpräsident TRETZEL, in breitem Umfange eingeleitet und vom derzeitigen Waldbau-referenten, Herrn Oberforstdirektor WAGNER, konsequent weitergeführt worden ist. Das Meliorationsgebiet wird großflächig mit Stickstoff gedüngt. Die Ausbringung erfolgt mit Flugzeugen. Auf die in der Praxis bislang verwendeten kleinflächigen Meliorationsverfahren wurde wegen ihres hohen finanziellen und arbeitstechnischen Aufwandes hierbei nicht zurückgegriffen.

Langfristiges Hauptziel des Vorhabens ist es, die Bodenfruchtbarkeit auf den herabgewirtschafteten, degradierten Standorten nachhaltig zu verbessern und sie damit ihrer natürlichen Produktivität wieder anzunähern (s. hierzu auch REHFUESS, HÜSER und BIERSTEDT 1974).

Wichtigstes kurzfristiges Ziel ist auch hier die Steigerung der Holzproduktion und des wirtschaftlichen Ertrages der derzeitigen Bestockung in den Kieferngebieten, vor allem auf den Flächen, deren Vorratsstruktur durch gezielte Düngung bereits in wenigen Jahren eine nennenswerte Werterhöhung erwarten läßt.

3. Die Kontrollflächenreihe im Forstamt Bodenwöhr

Eine erste Flugzeugdüngung erfolgte im Frühjahr 1967 auf 225 ha Fläche im Forstamt Bodenwöhr. Ausgebracht wurden 115 kg Stickstoff/ha in Form von Kalk-

ammonsalpeter. Über Planung, Ablauf und Kosten der Düngung hat BIERSTEDT (1974) berichtet. Den Einfluß der ausgebrachten Düngermengen auf den Stickstoffgehalt des Grundwassers untersuchten REHFUESS, HÜSER und BIERSTEDT (1974) an einer größeren Zahl von Probenahmen in repräsentativen Beständen des Düngungsgebietes. Zur Kontrolle des ertragskundlichen Düngungserfolges wurden vor Beginn der Düngung im Winter 1966 im Befliegungsgebiet zahlreiche Probekreise markiert. Da in den folgenden Jahren ein großer Teil von ihnen durch Schneebruch und Windwurf ausfiel, mußte das Probekreis-Kontrollnetz aufgegeben werden. Es wurde durch eine Kontrollflächenreihe ersetzt, die Ende 1971, fünf Vegetationsperioden nach der Düngerausbringung, in damals rd. 40- bis 110jährigen Beständen II. bis IV. Bonität (n. d. ET v. WIEDEMANN 1943/48, mäßige Durchforstung) angelegt wurde.

3.1. Standortsverhältnisse

Die Bestände, in denen Kontrollflächen ausgewählt wurden, stocken auf mäßig trockenen, sehr schwach lehmigen, umgelagerten Kreidesanden, einem Standort, der große Flächen in der Oberpfälzer Beckenlandschaft einnimmt. Vorherrschende Bodentypen sind Podsol-Braunerden und Braunerde-Podsole. Die Rohhumusaufgabe ist geringmächtig (3–4 cm). Der pH-Wert in der F + H-Lage liegt bei 2.4 bis 2.8. Vor der Düngung im Jahre 1967 durchgeführte Nadelanalysen lassen erkennen, daß das Stickstoffangebot mangelhaft war. Die Stickstoffgehalte in den Nadeln lagen zwischen 1,28 ‰ und 1,48 ‰ N i. Tr.

3.2. Flächengliederung der Kontrollflächenreihe

Die Kontrollflächenreihe umfaßt vier Flächengruppen verschiedenen Alters mit insgesamt 25 Probeflächen:

Flächen- gruppe Nr.	Alter Ende 1971	Zahl der Flächen		Insges.
		gedüngt	ungedüngt	
1	46	2	4	6
2	48	2	4	6
3	75	3	4	7
4	107	2	4	6
1–4		9	16	25

Jede Flächengruppe enthält ungedüngte, außerhalb des Befliegungsgebietes liegende Vergleichsflächen und gedüngte Kontrollflächen. Ihre Größe beträgt 0,04 bis 0,07 ha (Flächengruppen 1 und 2) bzw. 0,09 bis 0,1 ha (Flächengruppen 3 und 4). Die Flächen wurden so ausgewählt, daß eine optimale Vergleichbarkeit gewährleistet

ist. Es war zunächst vorgesehen, jede Flächengruppe mit der gleichen Anzahl ungedüngter und gedüngter Flächen auszustatten, und zwar mit vier Wiederholungen je Prüfglied. Da jedoch zu wenige ungedüngte Flächen zur Verfügung standen, die für einen Vergleich mit den gedüngten Beständen geeignet waren, konnte die Ungedüngt-Variante nur mit jeweils 2 bzw. 3 Flächenwiederholungen besetzt werden.

3.3. Ertragskundliche Aufnahme 1971

Die Flächenreihe wurde Ende 1971 nach dem in München angewandten Verfahren der Kontrollflächenmessung ertragskundlich aufgenommen. Neben den Baumhöhen und Brusthöhendurchmessern wurden auch ihre Zuwächse in den letzten 10 Jahren

vor dem Aufnahmezeitpunkt erhoben. Die Durchmesserzuwächse wurden durch Zuwachsbohrungen ermittelt. Die auf den Flächen, mit Ausnahme zweier Ungedüngt-Flächen, etwa 5 Jahre vor der Aufnahme durchgeführten, ausnahmslos sehr schwachen bis mäßigen Nutzungen (zwischen 5 und 13 Vfm Schaftholz/ha) wurden mit Hilfe einer eingehenden Stockinventur unter Heranziehung vergleichender Stockdurchmesser/Brusthöhendurchmesser-messungen geschätzt. Die Aufnahmen wurden von Mitarbeitern der Oberforstdirektion Regensburg und des Forstamtes Bodenwöhr unter Leitung von W. BIERSTEDT ausgeführt. Planung und Auswertung der Kontrollflächenreihe lagen in Händen des Münchner Institutes für Waldwachstumskunde¹.

4. Der Volumenzuwachs in der zehnjährigen Kontrollperiode

4.1. Zusammenstellung der Aufnahmeergebnisse

In Tabelle 1 sind die wichtigsten ertragskundlichen Bestandes-Zustandsgrößen der 25 Kontrollflächen (Mittelhöhen h_g , mittlere Durchmesser d_g , Hektarwerte für Stammzahl [N], Grundfläche [G] und Schaftholzvolumen [V]) sowie die laufend-jährlichen und die fünfjährig-periodischen Volumenzuwächse I_v nach dem Ergebnis der Flächenaufnahme am Ende der zehnjährigen Kontrollperiode im Spätherbst 1971 zusammengestellt. Die Volumenzuwächse wurden retrospektiv aus den Durchmesserzuwachswerten der Bohrspananalyse mit Hilfe des EDV-Programmes BOHR 2 (FRANZ und SCHMIDT 1968; SCHMIDT 1970) hergeleitet. Dieses Programm liefert neben den Volumenzuwächsen auch Rückschätzungen für die Anfangswerte der o. g. Bestandesgrößen zu Beginn eines jeden Zuwachsjahres sowie gegebenenfalls Schätzwerte für den in der Kontrollperiode ausgeschiedenen Bestand, die aus entsprechenden Zusatzerhebungen (vgl. Abschnitt 3.3) gewonnen werden.

Die Kontrollperiode umfaßt einen fünfjährigen Zuwachszeitraum vor der Düngung (1962—1966) und eine fünfjährige Zuwachsreaktionsphase nach der Düngung (1967—1971). Für diese beiden Perioden sind die mittleren Bestandeswerte der 4 aus der Zusammenfassung jeweils altersgleicher Kontrollflächen gebildeten Flächengruppen für den verbleibenden und den ausscheidenden Bestand sowie für den Gesamtbestand (Rückschätzungen für die Jahre 1962 und 1967, Aufnahme-Auswertungen 1971) in Tabelle 2 aufgeführt.

4.2. Allgemeine Anmerkungen zum Zuwachsverhalten der Kontrollflächenreihe

Wichtigster und zugleich reagentester ertragskundlicher Indikator für ernährungsbedingte Zustandsänderungen von Waldbeständen ist der laufende Volumenzuwachs. Zum Zuwachsverhalten der Kontrollflächen in der zehnjährigen Beobachtungsperiode seien hier zunächst einige allgemeine Anmerkungen vorangestellt:

Der laufend-jährliche Volumenzuwachs zeigt in den einzelnen Jahren vor wie auch nach der Düngung innerhalb der gleichen Düngungsvarianten und Flächengruppen erwartungsgemäß deutliche Unterschiede, wobei eine Schichtung nach der Bestandesdichte (G/ha) und der Bestandesmittelhöhe h_g (Höhenbonität) erkennbar ist. Wie aus Tab. 1 hervorgeht, ist andererseits der Zuwachsablauf in den 5 Jahren vor der Düngung, bei unterschiedlicher Zuwachshöhe innerhalb der Flächengruppen, weitgehend ähnlich. Überwiegend hohe Zuwächse treten in den Jahren 1965 und

¹ Herrn Dr. E. KENNEL vom IfWWK München danken wir für seine Unterstützung bei der rechnerischen Auswertung.

Tabelle 1

Ergebnisse der Kontrollflächenaufnahmen 1971 und der Zuwachsberechnung
für die Kontrollperioden 1962 bis 1971

Flä- Nr.	Dü- Var.	Bestandeswerte Ende 1971						laufend-jährlicher Volumenzuwachs I_v /ha in VfmS											I_v /ha in VfmS	
		Alter Jhr.	hg m	dg cm	N/ha Stck.	G/ha qm	V/ha VfmS	vor der Düngung					nach der Düngung					1962 — 1966	1967 — 1971	
								1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971			
1.1	U	46	16,0	14,7	1500	25,6	195	6,0	5,8	5,9	6,5	7,7	8,2	7,3	5,8	7,1	6,6	31,9	35,0	
1.2	U	46	16,3	15,2	1450	26,4	205	7,4	7,4	7,0	8,6	8,3	10,2	9,8	7,6	10,0	10,1	38,7	47,7	
1.3	D	46	14,5	14,0	1725	26,6	185	5,7	5,8	5,2	6,3	6,7	9,2	11,1	7,4	8,2	7,2	29,7	43,1	
1.4	D	46	15,3	14,0	1675	25,7	189	5,6	6,3	5,8	6,9	7,4	9,9	11,7	7,3	9,0	7,8	32,0	45,7	
1.5	D	46	14,5	13,2	1525	20,9	147	5,1	5,6	5,2	5,5	5,9	8,2	10,8	7,4	8,1	8,0	27,3	42,5	
1.6	D	46	13,8	13,5	1500	21,4	142	4,6	4,9	4,7	5,2	5,7	8,4	10,8	7,1	8,0	7,2	25,1	41,5	
2.1	U	48	12,6	11,2	3275	32,0	198	7,5	6,2	7,2	8,3	8,8	10,4	11,0	8,3	8,3	6,4	38,0	44,4	
2.2	U	48	12,5	11,0	3225	30,8	191	5,4	5,7	5,5	6,2	5,8	7,2	7,6	6,4	6,4	5,5	28,6	33,1	
2.3	D	48	11,4	10,1	3875	31,0	178	5,6	4,7	5,9	6,6	6,2	9,3	11,6	9,2	10,3	8,2	29,0	48,6	
2.4	D	48	13,1	12,2	2525	29,4	189	5,3	4,6	5,4	6,8	8,0	9,7	11,2	8,2	10,1	7,4	30,1	46,6	
2.5	D	48	13,3	11,4	2575	26,2	171	6,4	5,7	6,0	7,1	8,5	10,5	13,8	10,1	10,2	8,9	33,7	53,5	
2.6	D	48	12,0	10,7	3200	28,8	172	5,9	5,5	6,0	7,2	8,2	10,1	12,6	9,9	9,5	7,0	32,8	49,1	
3.1	U	75	15,1	18,6	822	22,4	156	4,5	5,5	4,6	4,8	6,0	8,1	8,9	7,0	7,5	6,3	25,4	37,8	
3.2	U	75	14,7	18,1	450	11,5	78	2,2	2,6	2,3	2,5	2,6	3,8	4,1	3,5	3,5	3,1	12,2	18,0	
3.3	U	75	15,6	19,3	600	17,5	126	3,6	4,3	4,0	3,9	3,2	5,1	6,0	5,2	5,0	3,9	19,0	25,2	
3.4	D	75	14,4	17,7	767	18,9	126	3,5	4,3	3,9	4,0	5,0	6,7	8,6	7,2	8,0	6,5	20,7	37,0	
3.5	D	75	15,5	19,2	744	21,5	153	4,4	5,0	4,6	4,7	5,1	6,5	9,8	8,3	8,9	7,0	23,8	40,5	
3.6	D	75	13,7	18,7	756	20,6	130	3,7	4,1	3,7	3,7	4,7	5,4	7,9	6,2	6,9	5,2	19,9	31,6	
3.7	D	75	15,2	17,9	856	21,6	152	4,0	4,9	4,3	4,1	5,2	6,7	11,0	8,2	8,5	7,8	22,5	42,2	
4.1	U	107	22,2	29,3	289	19,5	186	3,6	3,8	3,5	3,5	3,5	3,6	4,6	3,8	3,8	3,5	17,9	19,3	
4.2	U	107	20,6	27,9	278	17,0	152	2,9	3,0	2,8	2,6	3,1	3,0	3,9	3,8	3,0	2,7	14,3	16,4	
4.3	D	107	20,8	25,9	389	20,5	188	3,2	3,8	3,4	3,4	3,3	4,0	5,9	4,6	4,1	3,9	17,1	22,5	
4.4	D	107	21,1	26,4	344	18,8	175	4,1	4,6	4,1	4,0	3,8	3,8	6,0	5,3	5,1	4,8	20,6	25,0	
4.5	D	107	20,7	24,6	478	22,8	209	4,0	4,2	3,9	4,1	3,6	5,1	8,2	6,7	5,8	5,9	19,8	31,7	
4.6	D	107	20,6	23,2	544	22,9	212	4,0	4,6	3,7	3,5	3,2	4,7	7,6	6,4	6,5	6,5	19,0	31,7	

Mittlere Bestandeswerte der vier Flächengruppen der Kontrollflächenreihe Bodenwöhr für die Zuwachsperiode vor und nach der Düngung

Flä- Gr.	Dü- Var.	Anz. d. Flä		Alter Jhr.	hg m	dg cm	N/ha Stck.	G/ha qm	v/ha VfmS	v VfmS	v in %	Iv/J-/ha VfmS	Iv in %
1	U	2	1962 v.B.	36	13,4	12,7	1662	21,0	136	.082	100	7,06	100
			67 G.B.	41	14,4	13,6	1662	24,4	172	.103	126		
			67 a.B.	41			187	2,0	13	.071			
			67 v.B.	41	14,8	13,9	1475	22,4	159	.107	100	8,28	117
	D	4	1971 G.B.	46	16,2	15,0	1475	26,0	200	.135	126		
			1962 v.B.	36	11,6	11,3	1831	18,4	105	.057	100	5,71	100
			67 G.B.	41	12,6	12,2	1831	21,4	134	.073	128		(81)
			67 a.B.	41			225	1,9	11	.049			
			67 v.B.	41	12,9	12,4	1606	19,5	123	.077	100	8,64	151
			1971 G.B.	46	14,5	13,7	1606	23,7	166	.103	134		(122)
			2	U	2	1962 v.B.	38	10,5	9,4	3625	25,3	134	.037
67 G.B.	43	11,3	10,2			3625	29,3	168	.046	124			
67 a.B.	43					375	2,2	12	.032				
67 v.B.	43	11,5	10,3			3250	27,1	156	.048	100	7,74	116	
D	4	1971 G.B.	48	12,6	11,1	3250	31,4	195	.060	125			
		1962 v.B.	38	9,8	9,0	3256	20,5	102	.031	100	6,28	100	
		67 G.B.	43	10,7	9,8	3256	24,4	134	.041	132		(94)	
		67 a.B.	43			212	1,1	6	.026				
		67 v.B.	43	11,0	9,9	3044	23,3	128	.042	100	9,89	157	
		1971 G.B.	48	12,4	11,0	3044	28,9	177	.058	138		(148)	
		3	U	3	1962 v.B.	65	12,6	15,7	760	14,8	88	.116	100
67 G.B.	70				13,5	16,8	760	16,8	106	.139	120		
67 a.B.	70						136	2,2	13	.095			
67 v.B.	75				13,7	17,2	624	14,6	93	.149	100	5,40	143
D	4		1971 G.B.	70	15,1	18,7	624	17,1	120	.192	129		
			1962 v.B.	65	11,8	15,2	917	16,6	93	.101	100	4,34	100
			67 G.B.	70	12,7	16,2	917	19,0	115	.125	124		(115)
			67 a.B.	70			136	2,1	12	.089			
			67 v.B.	70	13,0	16,6	781	16,9	103	.132	100	7,56	174
			1971 G.B.	75	14,7	18,3	781	20,6	140	.179	136		(201)
			4	U	2	1962 v.B.	97	19,9	26,4	283	15,5	135	.477
67 G.B.	102	20,6				27,5	283	16,8	151	.534	112		
67 a.B.	102						0	0	0	0			
67 v.B.	102	20,6				27,5	283	16,8	151	.534	100	3,57	111
D	4	1971 G.B.		107	21,4	28,6	283	18,2	169	.597	111		
		1962 v.B.		97	19,2	22,1	478	18,4	159	.333	100	3,82	100
		67 G.B.		102	19,8	23,1	478	20,1	178	.372	112		(119)
		67 a.B.		102			39	1,1	10	.256			
		67 v.B.		102	19,9	23,4	439	19,0	168	.383	100	5,54	145
		1971 G.B.		107	20,8	24,9	439	21,4	196	.446	116		(172)

1966 (Flächengruppen 1—3) bzw. 1963 (Flächengruppe 4) auf. In den Jahren nach der Düngung steigt der Zuwachs auch auf den ungedüngten Flächen (U) noch deutlich an. Hierbei handelt es sich um eine periodentypische Zuwachsreaktion, keineswegs jedoch um „ungewollte“ Zuwachsausschläge etwa versehentlich mitgedüngter Bestände. Alle Ungedüngt-Vergleichsflächen wurden so weit außerhalb des Befliegungsgebietes angelegt, daß jeder Düngungseinfluß ausgeschlossen ist. Die fünfjährig-periodischen Volumenzuwächse 1967–1971 sind durchwegs höher als die Zuwächse in der Periode 1962–1966 (vgl. auch Tabelle 2, Spalten 13 u. 14).

4.3. Zuwachsgang vor und nach der Düngung

Die in dieser Periode ansteigender Zuwachsleistung durchgeführte Flugzeugdüngung bewirkte nun auf den Gedüngt-Flächen (D) einen zusätzlichen erheblichen Mehrzuwachs. Bereits in der unmittelbar auf die Düngerausbringung folgenden Vegetationsperiode 1967 ist ein deutlicher Zuwachsanstieg erkennbar, der sich in den folgenden Jahren gegenüber dem Zuwachs auf Ungedüngt i. w. noch stärker ausprägt (vgl. Tabelle 1). Auf Abbildung 1 sind die mittleren jährlichen Volumenzuwächse der gedüngten Flächen der 4 Flächengruppen in Prozenten der vergleichbaren Zuwächse auf Ungedüngt nach Korrektur um die Zuwachsdifferenzen vor der Düngung dargestellt. Die Zuwachskorrektur, die besonders die graphische Vergleichbarkeit wesentlich verbessert, erfolgte einzelflächenweise nach der bewährten Methode von R. KENNEL (1968).

Wie Abbildung 1 zeigt, haben 3 der 4 Flächengruppen (2, 3 und 4) einen weitgehend übereinstimmenden Zuwachstrend. Ihre (adjustierten) Zuwächse liegen im

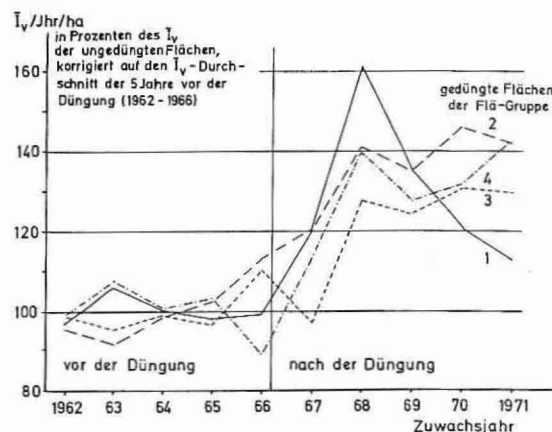


Abb. 1. Kiefern-Kontrollflächenreihe Bodenwöhr. Laufendjährlicher Volumenzuwachs der im Jahre 1967 gedüngten Flächen der vier Flächengruppen in der zehnjährigen Kontrollperiode (Werte in Prozent von Ungedüngt, adjustiert nach der Methode von R. KENNEL 1968)

zweiten bis fünften Jahr nach der Düngung um rd. 25 bis 45 % über den vergleichbaren Zuwächsen auf Ungedüngt. Eine Staffelung nach dem Alter ist, ebenso wie ein Rückgang der prozentischen Mehrleistung gegenüber Ungedüngt, bis zum Aufnahmezeitpunkt Ende 1971 nicht zu erkennen.

Demgegenüber zeigt die Flächengruppe 1 mit den jüngsten Beständen (46 J. Ende 1971) einen abweichenden Zuwachsverlauf. Nach Erreichen einer prozentischen Mehrleistung von über 60 % im zweiten Jahr nach der Düngung (1968) nähert sich ihr Zuwachs den ohne Düngung geleisteten Zuwachsgrößen wieder stetig an. Er liegt im letzten Beobachtungsjahr (1971) nur noch rd. 12 % über dem vergleichbaren Ungedüngt-Zuwachs.

Der periodische Durchschnittszuwachs, der in den 5 Jahren nach dem Düngungszeitpunkt auf den ungedüngten Flächen auf 111 bis 117 % der davor geleisteten fünfjährigen Durchschnittszuwächse ansteigt (Ausnahme: Flächengruppe 3 mit einem Anstieg von 143 %), wird unter dem Einfluß der Düngung erheblich, nämlich auf 145 bis 157 % (Flächengruppen 1, 2 und 4) bzw. 174 % (Flächengruppe 3) angehoben (vgl. Tabelle 2, Spalten 13 und 14). Analog hierzu verhält sich die Volumenzunahme der (arithmetischen) Mittelstämme ($\bar{v}$) gegenüber den Mittelstammwerten der ungedüngten Flächen (vgl. Tabelle 2, Spalten 11 und 12), wobei einleuchtet, daß innerhalb einer nur fünfjährigen Periode der Mehrleistung eine nutzungstechnisch ins Gewicht fallende Volumendifferenzierung noch nicht erwartet werden kann.

4.4. Nadelstickstoffgehalt und Volumenzuwachs

Der festgestellte deutliche Zuwachsanstieg wurde augenscheinlich durch eine erhebliche, bereits kurz nach der Düngung einsetzende Verbesserung des Ernährungszustandes bewirkt, die sich erwartungsgemäß auch in den Nährelementgehalten der Nadelbiomasse der gedüngten Bestände widerspiegelt. Zur Abschätzung der Düngerwirkung auf den Ernährungsgang wurden in

den Jahren 1967 (im Februar vor der Düngung und im Herbst, eine Vegetationsperiode nach der Düngung) bis 1970 jährlich Nadelproben in je 10 ungedüngten Beständen entnommen und auf ihren Nährelementgehalt hin analysiert (BIERSTEDT, Oberforstdirektion Regensburg, 1971).

Die hieraus gewonnenen Schätzwerte für den Nadel-Stickstoffgehalt (in Prozenten der Trockensubstanz) sind auf Abbildung 2 oben graphisch dargestellt. Den Nadel-Stickstoffwerten sind auf Abbildung 2 unten die jährlichen Durchschnittszuwächse 1966 bis 1971 der Ungedüngt- und Gedüngt-Variante der Kontrollflächenreihe gegenübergestellt. Bei dieser Gegenüberstellung ist zu berücksichtigen, daß die Nadelprobenahme- und Kontrollflächenbestände zum großen Teil nicht identisch sind. Der Vergleich kann somit nur orientierenden Charakter haben. Er läßt dennoch recht aufschlußreiche Übereinstimmungen erkennen. So folgen z. B. die Zuwachsausschläge i. w. mit einjähriger Verzögerung den Änderungen der Stickstoffspiegelwerte, was bei den Ungedüngt-Werten noch deutlicher als bei den Werten für die gedüngten Flächen zutage tritt. Das Vergleichsbild wird

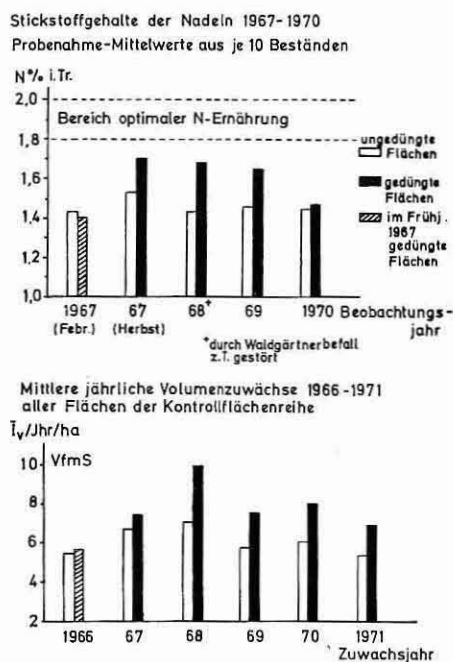


Abb. 2. Kiefern-Kontrollflächenreihe Bodenwöhr. Stickstoffgehalte 1967–1970 von Nadelprobenahmen aus je 10 Beständen (oben) und mittlere jährliche Volumenzuwächse 1966–1971 (unten)

hier — wenn auch nur in geringfügigem Maße — durch einen Waldgärtnerbefall auf Teilen der Beobachtungsfläche im Jahre 1968 störend beeinflusst. Die Nährelementdifferenzen zwischen Ungedüngt und Gedüngt entsprechen in etwa den festgestellten

Zuwachsunterschieden. Da die Stickstoffwerte auch nach der Düngung den Bereich mutmaßlich optimaler N-Ernährung noch nicht erreicht haben, ist nach den vorliegenden Ergebnissen aus zahlreichen Düngungsversuchen anzunehmen, daß mit einer weiteren Steigerung des Nährelement-Angebotes, besonders der Stickstoffzufuhr in einer auf die örtlichen Standortverhältnisse abgestimmte Form, auch der Volumenzuwachs noch erheblich angehoben werden kann.

Wie lange das Zuwachshoch in den untersuchten Beständen nach der erstmaligen Flugzeugdüngung anhalten wird, kann zur Zeit noch nicht übersehen werden. Nach den bisherigen Erfahrungen wird es voraussichtlich spätestens nach 8 bis 12 Jahren, wahrscheinlich jedoch schon früher abklingen. Um eine möglichst stetige und nachhaltige Hebung des Ernährungszustandes sicherzustellen, wurde das Untersuchungsgebiet darum inzwischen ein zweites Mal mit dem Flugzeug gedüngt.

4.5. Signifikanzprüfung des düngungsbedingten Zuwachseffektes

Die festgestellten Zuwachsreaktionen unter dem Einfluß der Düngung wurden mit Hilfe von Covarianzanalysen auf ihre biometrische Eindeutigkeit hin überprüft. Zunächst wurden die fünfjährig-periodischen Zuwächse der beiden Düngungsvarianten

Tabelle 3

Prüfung des Unterschiedes zwischen dem periodischen Volumenzuwachs 1962—1966 der ungedüngten und der 1967 gedüngten Flächen der Kontrollflächenreihe Bodenwöhr

N = 25 Flächen; eingegebene covariate Größen: Alter und Grundfläche/ha F 1962

Streuungsursache	FG ₁	SQ _{yy}	SQ cov.	SQ var.	FG ₂	MQ
Zwischen den Dü-Varianten	1	.05				
Innerhalb der Dü-Varianten	23	1236.18	984.84	251.3354	21	11.9684
Insgesamt	24	1236.23	984.78	251.4421	22	
F = 0.009 —				.1067	1	.1067
F _{0.05} (1;21) = 4.325						
<i>Koeffizienten für die Covariaten Alter und Grundfläche sowie deren Standardfehler und t-Werte</i>						
Streuungsursache		Koeffizient	Standardfehler	t-Wert	Signifikanzgrad der Koeffizienten	
Dü-Varianten	A	— .4160				
(Zwischen den Dü-V.)	G	.9847				
Fehler	A	— .1814	.0316	—5.7312	***	
(Innerhalb der Dü-V.)	G	.8488	.2210	3.8414	***	
Dü-V. und Fehler	A	— .1815	.0309	—5.8698	***	
(Insgesamt)	G	.8480	.2158	3.9304	***	
<i>Ursprüngliche und korrigierte Volumenzuwachs-Durchschnitte und die Standardfehler der korrigierten Durchschnitte</i>						
Düngungsvariante		unkorrigierter Iv-Durchschnitt	korrigierter Iv-Durchschnitt	Standardfehler		
Ungedüngt		25.1067	25.0726	1.1538		
Gedüngt 1967		25.1843	25.2034	0.8651		

ten vor und nach der Düngung miteinander verglichen (vgl. Tabellen 3 und 4). Als covariate, den Zuwachs mitbestimmende Ertragsselemente wurden die jeweiligen Perioden-Anfangswerte für das Bestandesalter (A) und die Bestandesgrundfläche (G) in die Analyse mit eingegeben. Die Mittelhöhe (h_g), die keinen zusätzlichen covariaten Einfluß zeigte, wurde nicht einbezogen (s. hierzu auch Tabelle 5). Die beiden Covarianzanalysen brachten ein sehr klares Ergebnis:

1. Die durchschnittlichen Zuwachsleistungen der beiden Flächenvarianten in der fünfjährigen Periode vor der Düngung (1962—1966) zeigen keine signifikanten Unterschiede ($F[1;21] = 0.009$). Die Abweichungen zwischen den beiden Zuwachsdurchschnitten sind auch nach Eliminierung des Alters- und Bestandesdichte-Einflusses minimal ($I_v[U] = 25,07$, $I_v[D] = 25,20$, $\Delta I_v = 0.13$). Siehe hierzu auch Tabelle 3.

Tabelle 4

Prüfung des Unterschiedes zwischen dem periodischen Volumenzuwachs 1967—1971 der ungedüngten und der gedüngten Flächen der Kontrollflächenreihe Bodenwöhr
N = 25 Flächen; eingegebene covariate Größen: Alter und Grundfläche/ha F 1967

Streuungsursache	FG ₁	SQ _{yy}	SQ _{cov.}	SQ _{var.}	FG ₂	MQ
Zwischen den Dü-Varianten	1	443.29				
Innerhalb der Dü-Varianten	23	2264.85	1726.36	538.4910	21	25.6424
Insgesamt	24	2708.14	1732.72	975.4255	22	
F = 17.040 ***				436.9346	1	436.9346
F _{0.001} (1;21) = 14.588						
Koeffizienten für die Covariaten Alter und Grundfläche sowie deren Standardfehler						
Streuungsursache	Koeffizient		Standardfehler	t-Wert	Signifikanzgrad der Koeffizienten	
Dü-Varianten	A	—14.0383				
(Zwischen den Dü-V.)	G	2.9153				
Fehler	A	— .2897	.0463	—6.2539	***	
(Innerhalb der Dü-V.)	G	.6680	.3234	2.0654	(*)	
Dü-V. und Fehler	A	— .2951	.0609	—4.8467	***	
(Insgesamt)	G	.6176	.4250	1.4532	—	
Ursprüngliche und korrigierte Volumenzuwachs-Durchschnitte und die Standardfehler der korrigierten Durchschnitte						
Düngungsvariante	unkorrigierter Durchschnitt		korrigierter Durchschnitt	Standardfehler		
Ungedüngt	30.7666		30.8026	1.6888		
Gedüngt	39.5393		39.5191	1.2663		

2. Der covariate Einfluß der Periodenanfangswerte 1962 von Alter und Grundfläche auf den Zuwachs 1962—1966 ist hochsignifikant ($t[A] = 5.87$, $t[G] = 3,93$).
3. In der fünfjährigen Zuwachsperiode nach der Düngung (1967—1971) weichen die Volumenzuwächse der beiden Düngungsvarianten dagegen hochsignifikant voneinander ab ($F[1;21] = 17,04$).

Tabelle 5

Prüfung der Unterschiede zwischen dem jährlichen Volumenzuwachs 1962—1971
der ungedüngten und der 1967 gedüngten Flächen der Kontrollflächenreihe Bodenwöhr
N = 25 Flächen; eingegebene covariate Größen: a = Alter, Grundfläche, b = Alter, Mittelhöhe, Grundfläche

Zuw. Jahr		$\bar{Iv}$ unkor.	Covarianzanalyse a						Covarianzanalyse b					
				Cov		$\bar{Iv}$ kor.	Std. fhl.	F-Wert		Cov		$\bar{Iv}$ kor.	Std. fhl.	F-Wert
1962	U	4.79	A	***	U	4.78	.24	.087	A	**	U	4.71	.23	.005
	D	4.68	G	***	D	4.69	.18	—	hg G	— **	D	4.73	.17	—
1963	U	4.92	A	**	U	4.91	.24	.001	A	**	U	4.84	.23	.149
	D	4.91	G	**	D	4.91	.18	—	hg G	— *	D	4.95	.17	—
1964	U	4.75	A	***	U	4.75	.20	.001	A	**	U	4.70	.20	.063
	D	4.74	G	***	D	4.74	.15	—	hg G	— **	D	4.77	.15	—
1965	U	5.19	A	***	U	5.18	.26	.000	A	***	U	5.11	.26	.139
	D	5.19	G	***	D	5.19	.20	—	hg G	— **	D	5.23	.19	—
1966	U	5.45	A	***	U	5.45	.34	.243	A	**	U	5.41	.35	.384
	D	5.67	G	*	D	5.66	.26	—	hg G	— —	D	5.69	.27	—
1967	U	6.63	A	***	U	6.66	.31	3.254	A	***	U	6.65	.33	3.203
	D	7.40	G	**	D	7.39	.24	(*)	hg G	— **	D	7.38	.24	(*)
1968	U	7.00	A	***	U	7.04	.42	30.141	A	—	U	7.10	.43	26.526
	D	9.91	G	*	D	9.89	.31	***	hg G	— *	D	9.86	.32	***
1969	U	5.72	A	**	U	5.75	.35	15.488	A	—	U	5.87	.33	13.829
	D	7.47	G	*	D	7.46	.26	***	hg G	* **	D	7.39	.24	**
1970	U	6.07	A	***	U	6.10	.38	14.790	A	—	U	6.17	.38	12.599
	D	7.93	G	—	D	7.92	.28	***	hg G	— *	D	7.88	.29	**
1971	U	5.34	A	**	U	5.36	.40	8.544	A	*	U	5.29	.40	9.499
	D	6.83	G	—	D	6.82	.30	**	hg G	— —	D	6.86	.30	**

Die mittlere periodische Volumen-Mehrleistung 1967—1971 der gedüngten Flächen liegt, nach Korrektur um den Alters- und Grundflächeneinfluß, bei rund 8,7 VfmS ($I_v[U] = 30,80$, $I_v[D] = 39,52$), das entspricht einer jährlichen Mehrleistung von etwa 1,7 VfmS/ha bzw. einer prozentischen Zuwachserhöhung von rd. 28 %. Siehe hierzu Tabelle 4.

4. Auch hier ist der covariate Einfluß der Periodenanfangswerte 1967 des Bestandesalters erwartungsgemäß hochsignifikant, nicht dagegen der Einfluß der Grundfläche, der bei den „Insgesamt-Werten“ mit $t(G) = 1,45$ deutlich unterhalb der Signifikanzschwelle blieb.

Neben den periodischen wurden auch die jährlichen Zuwächse einer Covarianzanalyse unterzogen. Als Covariate wurden in einer ersten Rechnung das Alter A und die Grundfläche G, in einer zweiten erweiterten Rechnung zusätzlich noch die Mittelhöhe h_g (jeweils die Periodenanfangswerte 1962 bzw. 1967) eingegeben. Tabelle 5 enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse, die die bisherigen Feststellungen über den Zuwachsgang der beiden Düngungsvarianten in der zehnjährigen Kontrollperiode (s. Abbildung 1) breit untermauern:

1. In keinem der 5 Jahre vor der Düngung bestehen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Zuwachsdurchschnitten.
2. Im Jahr der Düngung (1967) differenzierten sich die Zuwächse von Ungedüngt und Gedüngt in einem zwar deutlichen, jedoch erst schwach signifikanten Ausmaß ($0.10 < p[+] \leq 0.05$).
3. Für die Jahre 1968 bis 1971 errechneten sich hochsignifikante (***) bzw. eindeutig signifikante (**) Zuwachsunterschiede, wobei auffällt, daß die F-Werte aus beiden Covarianzanalysen von Jahr zu Jahr stetig abnehmen.
4. Der covariate Einfluß der Mittelhöhe ist in der Analyse b nur in einem Jahr (1969) signifikant, in allen anderen nicht signifikant. Als Covariate kann die Mittelhöhe darum eliminiert werden. Ihre Einbeziehung hat das Prüfergebnis kaum verbessert, in mehreren Fällen (z. B. für das Jahr ihrer signifikanten Existenz, 1969) sogar verschlechtert.
5. Der covariate Einfluß von Alter und Bestandesdichte auf den Volumenzuwachs tritt in den Jahren vor der Düngung eindeutig klarer zutage als in den Jahren nach der Düngung. Hieraus läßt sich schließen, daß nicht nur die Zuwächse selbst, sondern auch ihre Beziehung zum Alter und besonders zur Bestockungsdichte unter dem Einfluß des veränderten Ernährungszustandes abgewandelt worden sind.

Ganz allgemein ist festzustellen, daß die um den Covariateneinfluß korrigier-

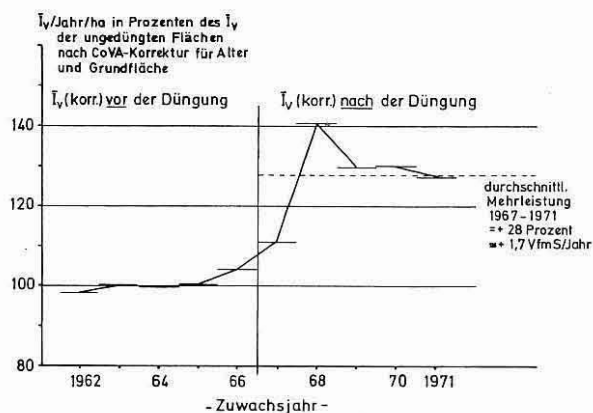


Abb. 3. Kiefern-Kontrollflächenreihe Bodenwöhr. Mittlerer prozentischer Jahreszuwachs 1962 bis 1971, der i. J. 1967 gedüngten Flächen, korrigiert um den covariaten Einfluß der Periodenanfangsalter und -grundflächen

ten Zuwachswerte von den ursprünglichen Zuwachsdurchschnitten nur geringfügig abweichen.

Auf Abbildung 3 sind die nach der Covarianzanalyse (vgl. Tabelle 5) korrigierten laufend-jährlichen Zuwächse der gedüngten Kontrollflächen in Prozenten der ungedüngten Flächen zusammenfassend wiedergegeben. In der Gesamtkurve ist ebenso wie in den F-Werten der Covarianzanalysen in Tabelle 5, ein tendenzieller, geringfügiger Rückgang der düngungsbedingten Volumenmehrleistung angedeutet. Ein ausgeprägter Zuwachsabfall konnte am Ende der Kontrollperiode noch nicht festgestellt werden (s. hierzu auch Abbildung 1).

Zusammenfassung

Im Frühjahr 1967 wurden im bayerischen Forstamt Bodenwöhr/Oberpfalz 225 ha Kiefernbestände auf degradierten Standorten von Flugzeugen aus mit 115 kg Stickstoff/ha in Form von Kalkammonsalpeter gedüngt. Zur ertragskundlichen Kontrolle der Düngerwirkung wurde Ende 1971, 5 Vegetationsperioden nach der Düngung, von der Oberforstdirektion Regensburg in Zusammenarbeit mit dem Münchner Institut für Waldwachstumskunde eine Kontrollflächenreihe mit 9 ungedüngten und 16 gedüngten Vergleichsflächen angelegt und ertragskundlich aufgenommen. Die Flächenreihe umfaßt 4 Flächengruppen unterschiedlichen Alters im Altersbereich 46 bis 107 (Alter Ende 1971). Erhoben wurden alle wichtigen Bestandes-Zustandsgrößen, ferner Schätzwerte für den ausscheidenden Bestand sowie der laufend-jährliche Volumenzuwachs der letzten 10 Jahre vor der Flächenaufnahme, der an Hand von Bohrsplanproben bestimmt wurde. Die Düngung bewirkte augenscheinlich eine schnelle und beachtliche Verbesserung des Ernährungszustandes, die sich in zunehmenden Stickstoffgehalten der Nadelbiomasse und steigendem Volumenzuwachs der gedüngten Bestände widerspiegelt. Der Zuwachsgang folgt i. w. mit einjähriger Verzögerung der Bewegung der Stickstoffgehalte in den Nadeln. Er erreicht mit durchschnittlich + 40 % im zweiten Jahr nach der Düngung (1968) seinen höchsten positiven Ausschlag und liegt in den anschließenden 3 Zuwachsjahren (1969—1971) im Bereich von + 30 % über dem vergleichbaren Zuwachs der ungedüngten Bestände. Der durchschnittliche jährliche Mehrzuwachs in der fünfjährigen Zuwachsperiode nach der Düngung beträgt rund 1.7 VfmS/ha, das entspricht einer prozentischen Mehrleistung von rund 28 %. Ein eindeutiger Zuwachsrückgang war am Ende der Kontrollperiode noch nicht feststellbar. Ein statistischer Vergleich der durchschnittlichen Volumenzuwächse der ungedüngten und gedüngten Kiefernbestände mit Hilfe von Covarianzanalysen mit den Periodenanfangsgrößen des Alters, der Grundfläche und der Mittelhöhe als Covariaten ergab, daß sich die mittleren bereinigten Zuwächse in den 5 Jahren vor der Düngung nicht signifikant voneinander unterscheiden. In den folgenden 5 Jahren nach der Düngung sind die Zuwachsunterschiede dagegen eindeutig bis hoch signifikant.

Summary

Effect of a large area nitrogen fertilization by airplane on volume increment of pine stands in the Bodenwöhr Forestry District in Bavaria

In the spring of 1967 a 225 ha area of pine stands stocking on degraded sites in the Bavarian forestry district of Bodenwöhr/Oberpfalz was fertilized by airplane, with 115 kg nitrogen/ha in the form of calcium carbonate ammonium nitrate. At the end of 1971, five growing seasons after fertilization, its effectiveness was tested by means of a control plot series of 16 fertilized and 9 unfertilized plots for comparison.

The plot series include four plot groups of different ages ranging from 46 to 107 years (age at the end of 1971). All important values were surveyed pertaining to stand structure and site quality. Furthermore, the current annual volume increment of the last 10 years before plot survey was calculated by means of increment core measurements. It proved that fertilization brought about a quick and considerable improvement of the state of nutrition, which was reflected in an increase of nitrogen in needle biomass and rising volume increment of the fertilized stands. The trend of increment mainly follows the movement of the nitrogen contents in the needles, with a one year's delay. It reaches its highest value in the second year after fertilization (1968), with + 40 percent on the average. During the following 3 years (1969—1971) it pertains at a rate of + 30 percent above the comparable increment values of the unfertilized stands. The average annual increase of increment in the five years' period after fertilization amounts to about 1.7 cubic meter of total stem volume/ha, which is an increased output of about 28 percent. A significant decrease of increment was not yet noticeable at the end of the control period. A statistical comparison of the average volume increments of the fertilized and unfertilized pine stands, making use of analyses of covariance with the initial periodical values of age, basal area and mean height as covariates, proved that the increments produced in the five years before fertilization do not differ significantly. During the following five years after fertilization, however, the differences of increment are highly significant.

Literatur

- BIERSTEDT, W., 1971: Analysen von Nadelprobenahmen aus dem Flugzeugdüngungsgebiet Bodenwöhr/Oberpfalz. Unveröffentl. Auswertungsunterlagen der Oberforstdirektion Regensburg. — Ders., 1974: Ausbringung granulierter Dünger mit dem Flugzeug. AFZ 29, 114-115. — ERNST, F., 1951: Aus der Waldgeschichte der schlechtwüchsigen Kieferngebiete der Bayer. Oberpfalz (und Oberfrankens) vom ausgehenden Mittelalter bis zum Dreißigjährigen Krieg. Mitt. a. d. Staatsforstverw. Bayerns Nr. 26. — FRANZ, F.; SCHMIDT, A., 1968: Programm BOHR 2 zur Bestimmung des Bestandes- und Einzelstammzuwachses für Durchmesser, Grundfläche und Volumen aus Bohrschneidmessungen. Programm FFA 68.001E, München. — KENNEL, R., 1967: Ertragskundliche Ergebnisse neuer Düngungsversuche in Kiefern-, Fichten- und Buchenbeständen Bayerns. Forstw. Cbl. 86, 13-28. — Ders., 1968: Auswertung eines Praxisdüngungsversuches als einfaches Beispiel integrierter Datenverarbeitung in der Forstwirtschaft. Forstw. Cbl. 87, 269-275. — KENNEL, R.; WEHRMANN, J., 1968: Ergebnisse eines Düngungsversuches mit extrem hohen Stickstoffgaben in einem Kiefernbestand geringer Bonität. XIV. IUFRO-Kongreß München VI, 216-231. — KREUTZER, K., 1967: Ernährungszustand und Volumenzuwachs von Kiefernbeständen neuer Düngungsversuche in Bayern. Forstw. Cbl. 86, 28-53. — Ders., 1972: Über den Einfluß der Streunutzung auf den Stickstoffhaushalt von Kiefernbeständen. Forstw. Cbl. 91, 263-270. — LUTZ, J., 1941: Die ehemaligen Eisenhämmer und Hüttenwerke und die Waldentwicklung im nordöstlichen Bayern. Mitt. a. d. Staatsforstverw. Bayerns, S. 277-294. — NILLE, B., 1974: Ertragskundliche Untersuchung von Rekultivierungsbeständen im Rekultivierungsgebiet der Bayerischen Braunkohlen-Industrie AG in Wackersdorf/Opf. Forsch.ber. FFA München Nr. 19, 328 S. — REHFUESS, K. E., 1965: Ernährung und Wachstum der Dauerlupine (*Lupinus polyphyllus* L.) unter Kiefernschirm auf Oberpfälzer Standorten. Forstw. Cbl. 84, 265-292. — REHFUESS, K. E.; SCHMIDT, A., 1971: Die Wirkung von Lupinenunterbau und Kalkammonsalpeterdüngung auf den Ernährungszustand und den Zuwachs älterer Kiefernbestände in der Oberpfalz. Forstw. Cbl. 90, 237-259. — REHFUESS, K. E.; HÜSER, R.; BIERSTEDT, W., 1974: Einfluß einer großflächigen Kalkammonsalpeter-Düngung auf den Stickstoffgehalt des Grundwassers in einem Oberpfälzer Kieferngebiet. AFZ 29, 116-119. — SCHMIDT, A., 1970: EDV-Programme des Institutes für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München. Stand 1. 4. 1970, 6 S. — SEITSCHKE, O., 1962: Oberpfalz — Stammland der forstlichen Melioration in Bayern. AFZ 17, 459-460. — Ders., 1969: Einführung in die Wald- und Bestockungsgeschichte des Oberpfälzer Kieferngebietes. Vortrag a. d. Tagung der Arb.-gem. Forsteinrichtung in Regensburg. — TRETZEL, R., 1968: Die Melioration der Oberpfälzer Kiefernbestände. Regensburg, Manuskript, 8. S. — SCHMIDT, A., 1971: Wachstum und Ertrag der Kiefer auf wirtschaftlich wichtigen Standorteinheiten der Oberpfalz. Forsch.ber.

FFA München Nr. 1, 187 S. — WEHRMANN, J., 1959: Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen (*Pinus silvestris*) in Bayern. Forstw. Cbl. **78**, 129-150. — ZÖTTL, H., 1960: Untersuchungen über den Stickstoffgehalt bayerischer Nadelholzbestände. Ber. dt. Bot. Ges. **72**. — ZÖTTL, H.; KENNEL, R., 1962: Die Wirkung von Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung in Kiefernbeständen. Forstw. Cbl. **81**, 65-91.

Anschriften der Verfasser: Prof. Dr. F. FRANZ, Institut für Waldwachstumskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München, 8 München 40, Amalienstr. 52; Oberforstrat W. BIERSTEDT, 8473 Pfreimd, Staatliches Forstamt

Betriebswirtschaftliche Beurteilung einer großflächigen Kalkammonsalpeter-Düngung in Kiefernbeständen der Oberpfalz

Von W. KROTH

Seit Mitte der fünfziger Jahre wurden in der Oberpfalz Düngungsversuche mit dem Ziele angelegt, die durch jahrhundertelange Ausbeutung der Wälder verursachten Schäden am Nährstoffhaushalt der Böden wiedergutzumachen und die Ertragsleistung der Bestände nachhaltig zu verbessern. Es stellte sich heraus, daß ehemals stark streugennutzte Standorte unter einem ausgesprochenen Stickstoffmangel leiden und die aufstockenden Bestände bei entsprechender Düngung mit einer beachtenswerten Zuwachssteigerung reagieren (ZÖTTL und KENNEL 1962; KENNEL 1967; KENNEL und WEHRMANN 1967; KREUTZER 1967, 1972; REHFUESS und SCHMIDT 1971). Auf Grund dieser Versuchsergebnisse wurden seit 1967 großflächige Stickstoffdüngungen durch Ausbringung von Kalkammonsalpeter mittels Flugzeugen durchgeführt, über die BIERSTEDT (1974) berichtete. Die erste Düngung in dieser Form erstreckte sich auf rd. 226 ha Kiefernbestände der Altersstufen 30-110 Jahre des Forstamtes Bodenwöhr. Die dadurch erzielten Waldwachstumseffekte haben FRANZ und BIERSTEDT im vorstehenden Beitrag dargestellt. Auf diesen Ergebnissen baut die nachfolgende betriebswirtschaftliche Beurteilung auf.

1. Die zu analysierenden Faktoren

Bei der Forstdüngung wird, wie bei jeder anderen betrieblichen Investition, Kapital in der Erwartung eingesetzt, daß der damit verbundene Effekt (output) den Einsatz (input) übersteigt. Die zu beurteilenden Komponenten sind somit die Produktionsmittelseinsätze im Vergleich zum Nutzen bzw. Vorteil der Düngung. Da zwischen input und output eine Zeitdifferenz besteht, sind darüber hinaus die Zeitpunkte der Einsätze sowie der Realisierung der Düngungsvorteile festzuhalten.

Die input-Analyse bezieht sich auf die Höhe sowie den Zeitpunkt der Produktionsmittelseinsätze. Die Produktionsmittel, die zum Einsatz gelangen, sind erstens die Arbeitskräfte, die mit der Düngerausbringung, sei es organisatorisch oder manuell, beschäftigt sind, zweitens die ausgebrachten Düngermengen und drittens die zur Düngerausbringung eingesetzten Maschinen und Geräte.

