

~~Herrn Oberregierungsrat~~

Mit freundlichen Grüßen

~~J. Steigewald mit bestem Dank u.~~ überreicht vom Verfasser

Ertragskundliche Ergebnisse neuer Düngungsversuche in Kiefern-, Fichten- und Buchenbeständen Bayerns¹

VON R. KENNEL

Aus dem Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München

1. Einleitung

Die Bayerische Staatsforstverwaltung gibt seit 1950 jährlich etwa 800 000,- DM für die Düngung im Walde aus, davon entfielen in den letzten Jahren mehr als ein Drittel auf die Düngung von Beständen, der Rest wurde für Düngungs- und Meliorationsmaßnahmen bei der Bestandsbegründung verwandt. Die Wirkung einer Düngung ist

¹ Erweiterte Fassung eines Vortrages, gehalten am 27. Oktober 1966 bei der Forstwissenschaftlichen Hochschultagung in München.

bei jungen Kulturen an dem guten Gedeihen der Pflanzen auch ohne Messungen meist leicht festzustellen, dagegen ist der Erfolg einer Bestandsdüngung im allgemeinen äußerlich nicht sichtbar und nur mit feinen Meßmethoden nachzuweisen. Die ersten Düngungsversuche aus der Zeit vor dem ersten Weltkrieg waren daher auch meist Kulturdüngungen (HAUSSER 1950/51, 1953). Eine zweite Welle von Düngungsversuchen folgte in den dreißiger Jahren (FABRICIUS 1940, HAUSSER 1953, SEIBT und WITTICH 1965).

Seit 1950 wurden zahlreiche neue Bestandesdüngungsversuche angelegt. So berichten über Düngungsversuche in älteren Beständen Badens MITSCHERLICH und WITTICH 1958, in Württemberg HAUSSER 1961, in Bayern ZÖTTL und KENNEL 1962 und 1963, um nur einige zu nennen. In diesen Veröffentlichungen werden Mehrerträge auf den gedüngten Flächen von im Mittel 30 bis 50 % oder 3 bis 6 Vfm Derbholz pro Jahr und Hektar nachgewiesen. Für die kurze Laufzeit der Versuche (3 bis 7 Jahre) ergaben sich zum Teil schon Nettomehrerträge von mehr als 1000,- DM pro Hektar. LAATSCH schreibt 1963, daß für die bayerischen Fichten- und Kiefernbestände „... der Stickstoff neben dem Wasser der am stärksten begrenzende Ertragsfaktor ist, wenn wir einmal von den hochmontanen und subalpinen Lagen absehen, in denen der Wärmemangel den Ertrag ausschlaggebend begrenzt“. Auf Grund der bis dahin bereits gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen haben auf Anregung von Herrn Prof Dr. LAATSCH die Institute für Bodenkunde und für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München gemeinsam und in enger Zusammenarbeit mit der Bayerischen Ministerialforstabteilung auf verschiedenen, typischen Standorten Bayerns in den Jahren 1960 und 1962 acht Düngungsversuchsflächen in mittelalten Kiefern-, Fichten- und Buchenbeständen angelegt.

2. Beschreibung der Versuchsanlage

Eine eingehende Beschreibung der Versuchsanlagen und Düngungspläne kann unter Hinweis auf die Veröffentlichung von Herrn Dr. KREUTZER (1967) unterbleiben. Hier

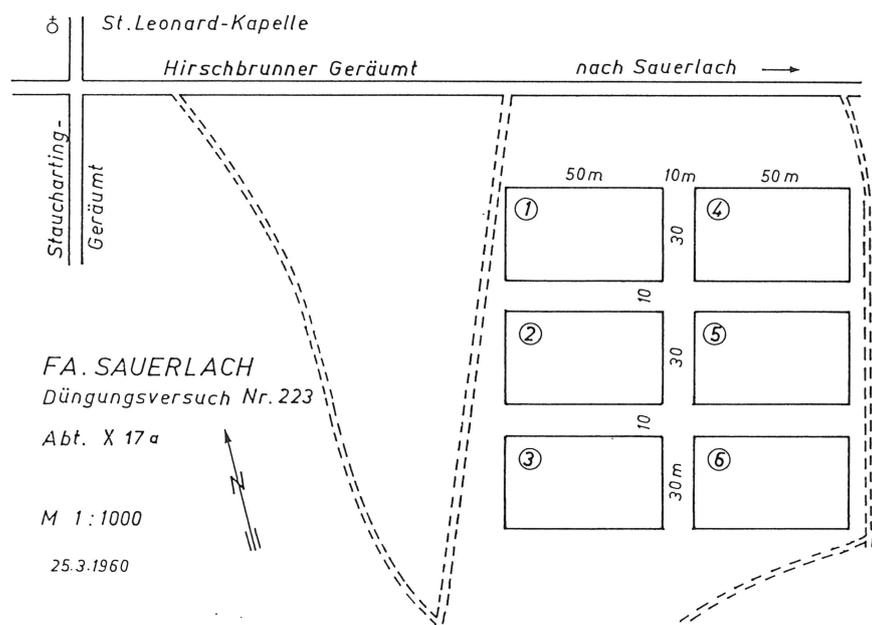


Abb. 1. Der Düngungsversuch Nr. 223 in Sauerlach als Beispiel für die Art der Versuchsanlage. Die Umfassungstreifen der Parzellen wurden auf 5 m Breite mitgedüngt

sollen nur noch einmal die ertragskundlich wichtigen Merkmale der Versuche wiederholt werden. Jeder der acht Versuche besteht aus sechs Parzellen von 0,15 ha, in einem Falle von 0,12 ha Größe. Zwischen die Parzellen wurden Zwischenstreifen von 5 bis 10 m Breite gelegt, die bis zur Mitte wie die angrenzenden Parzellen gedüngt wurden. Die Abbildung 1 zeigt als Beispiel die Versuchsanlage in Sauerlach auf der Münchener Schotterebene in einem heute 65jährigen Fichtenbestand sehr guter Bonität. Die Parzellen 1 und 6 blieben als Vergleichsflächen unbehandelt, jede Düngungsvariante wurde einmal wiederholt. Durch die Wiederholungen innerhalb jeder Versuchsreihe wird eine statistische Auswertung und Sicherung der Ergebnisse mit Hilfe der Varianz- oder Kovarianzanalyse möglich.

3. Methode der Zuwachsberechnung

Wegen der allgemeinen Bedeutung, die eine exakte Zuwachsberechnung für die Auswertung forstlicher Versuche hat, soll auf die hier angewandte Methode etwas ausführlicher eingegangen werden. Der Zuwachs wurde, wie bei Dauerversuchsflächen üblich, als Differenz zweier Aufnahmen errechnet. Das hat zur Voraussetzung, daß das Volumen zu Beginn und am Ende der Zuwachsperiode sehr genau ermittelt wird. Von den drei Komponenten, die das Volumen eines Bestandes bestimmen, nämlich Grundfläche, Höhe und Formzahl, sind Grundfläche und Höhe verhältnismäßig einfach durch direkte Messung zu erhalten.

Im Mittel aller Versuchsreihen standen bei Versuchsbeginn auf jeder der 48 Parzellen etwa 250 Bäume, die alle dauerhaft numeriert sind. Die *Durchmesser* der Bäume wurden mit einem Stahlbandmaß mit Durchmesserteilung gemessen, ein Verfahren, das einfacher ist als die kreuzweise Klappung, trotzdem aber genauere Zuwachswerte liefert (KENNEL, 1959 und 1964). Zur *Höhenbestimmung* wurden bei der ersten Aufnahme vor der Düngung zum Teil mehrere Flächen zu einer Höhenkurve zusammengefaßt, soweit keine gesicherten Unterschiede zwischen den Flächen bestanden. Bei der zweiten Aufnahme wurde für jede Versuchsparzelle eine eigene Höhenkurve aus je 40 Höhenmessungen berechnet. Die *Formzahl* dagegen zeigt eine so große Streuung, daß sie auf kleinen Versuchsflächen nur mit großer Unsicherheit bestandesindividuell bestimmt werden kann. Es ist daher für eine genaue Zuwachsbestimmung kurzer Perioden besser, von einer allgemeingültigen Formzahlfunktion auszugehen, das heißt die Formzahl als Funktion von Durchmesser und Höhe zu berechnen (ASSMANN 1961, S. 217). Dabei wird unterstellt, daß die Düngung keinen weiteren Einfluß auf die Form der Bäume hat als den, der mit der Dimensionsänderung nach Durchmesser und Höhe in der Formzahlfunktion schon erfaßt ist. Diese Annahme wird gestützt durch Untersuchungen von ABETZ, MERKEL und SCHAIRER (1964).

Nach eingehender Prüfung an sehr umfangreichem Material hat sich als bestes Formzahlfunktionsmodell eine von H. A. MEYER (1953, S. 135) vorgeschlagene hyperbelartige Funktion erwiesen, die den Durchmesser und die Höhe als unabhängige Variable in der Form von Quotienten enthält, und zwar als $1/d$, $1/h$, $1/d^2$, $1/dh$ und $1/d^2h$. Diese Formel wurde auf Grund der Testergebnisse noch um ein Glied $\ln^2 d$ erweitert, um auch im Bereich starker Durchmesser eine gute Anpassung an das vorhandene Material zu erreichen (KENNEL, 1965). Anschließend wurden mit dem sektionsweise kubierten Probestamm-Material aller bisher am Ertragskundeinstitut aufgenommenen Bestände, für die Fichte mit 5500 Bäumen (Funktion Fichte Nr. 72) und für die Kiefer mit ca. 3000 Stämmen (Funktion Kiefer Nr. 2), die Koeffizienten für diese Gleichung regressionsanalytisch berechnet. Etwa 2000 Buchen werden zur Zeit noch bearbeitet.

Da wir seit drei Jahren in der glücklichen Lage sind, an der Großrechenanlage IBM 7090 des Institutes für Plasmaphysik in Garching bei München rechnen zu können, ist auch die Voraussetzung für den rationellen Einsatz solcher komplizierter Funktionen gegeben. Die drei Assistenten des Institutes für Ertragskunde wurden in speziellen Lehrgängen im Programmieren ausgebildet. Das Absolvieren eines Programmierlehrganges war allerdings nur der erste Schritt, viel wichtiger ist die bei der praktischen Programmierarbeit gesammelte Erfahrung.

Als Beispiel für die Anwendung des Elektronenrechners im forstlichen Versuchswesen möchte ich den Rechengang bei der Volumenberechnung für die Düngungsflächen kurz schildern.

Als Nachteil gegenüber der Auswertung von Hand wird oft angeführt, daß der Elektronenrechner mit unheimlicher Geschwindigkeit nach einem vorliegenden Programm ein Endergebnis ausrechnet, ohne daß die einzelnen Schritte kritisch vom Menschen geprüft und notfalls Unstimmigkeiten oder Mängel rechtzeitig bereinigt werden können. Dieser Nachteil läßt sich jedoch durchaus vermeiden, wenn man den Rechengang in einzelne Schritte aufteilt und dem Rechner die Aufgabe stellt, in einem besonderen Prüfverfahren Unstimmigkeiten und Fehler selbst zu suchen. Hat er erst einmal dazu den Auftrag, dann führt er auch diese Aufgabe mit weit höherer Präzision durch, als es jemals ein Mensch könnte. So hat SCHMIDT (1965, 1966), der die Programme für die Volumenberechnung ausgearbeitet hat, den Rechengang in drei Programmschritte geteilt. Als erstes wird eine Durchmesserzuwachsgerade berechnet

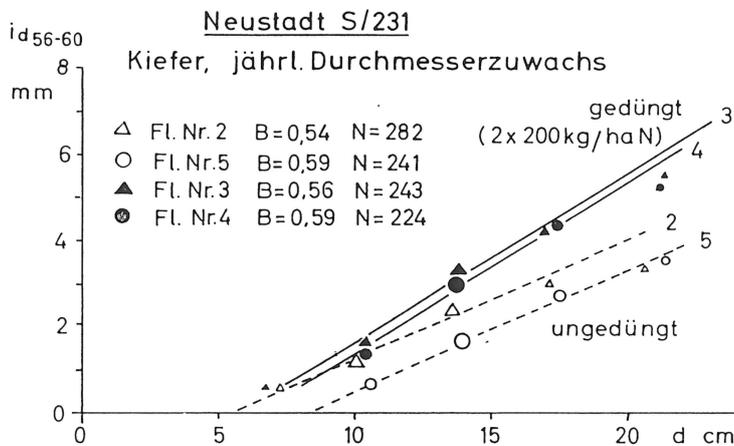


Abb. 2. Durchmesserzuwachsgerade von zwei ungedüngten und zwei gedüngten Parzellen des Versuches Nr. 231 in Neustadt/Saale. B = Bestimmtheitsmaß der Regression, N = Zahl der Bäume

Kalkammonsalpeter pro Hektar erkennen. Die Steigerung des Durchmesserzuwachses beträgt für das Mittel aller Bäume 70%.

Getrennt von dieser Rechnung werden die Höhenmessungen in einem eigenen Durchgang ausgewertet. Um feststellen zu können, welche Form der Höhenkurve für die entsprechende Baumart die beste Anpassung an die Höhen- und Durchmesserwerte ermöglicht, werden gleichzeitig sechs verschiedene Höhenfunktionen mit allen zugehörigen statistischen Kennwerten berechnet. Für unsere Flächen hat sich die Parabel 2. Grades als bestgeeignete Funktion erwiesen. Zur Prüfung der Daten auf Fehler werden im gleichen Arbeitsgang die Abweichungen der gemessenen Höhen von der Ausgleichsparabel berechnet. Einen Ausschnitt aus der Liste, wie sie der Schnelldrucker liefert, zeigt die nächste Abbildung 3. Links die Durchmesser in aufsteigender Reihen-

und der Zusammenhang zwischen Durchmesser und Durchmesserzuwachs auf Linearität geprüft. Dabei werden unwahrscheinliche Zuwachswerte einzelner Bäume erkannt und markiert.

Abbildung 2 zeigt vier so berechnete Zuwachsgerade für zwei ungedüngte und zwei gedüngte Kiefernparzellen in Neustadt an der Saale. Sie läßt die Steigerung des jährlichen Durchmesserzuwachses während der ersten vier Jahre als Folge einer Stickstoffdüngung in Form von 2x9 dz

Mit den bereinigten Durchmesserwerten und mit den Regressionskoeffizienten für die gewählte Höhenkurve wird nun in einem dritten Durchgang erst das Volumen berechnet, und zwar für 1-cm-Durchmesserstufen, wobei für jede Stufe nicht die Stufenmitte, sondern das tatsächliche, quadratische Durchmessermitte der in die Stufe fallenden Bäume verwendet wird. So sind alle Klasseneinteilungsfehler ausgeschaltet. Für dieses Durchmessermitte wird aus der Höhenkurvenfunktion der zugehörige Höhenwert und anschließend aus der im Programm gespeicherten Formzahlfunktion die Formzahl errechnet. Bis zu zehn Mischbaumarten können gleichzeitig verarbeitet werden. Das Programm liefert selbstverständlich alle nötigen ertragskundlichen Kennwerte, getrennt für verbleibenden und ausscheidenden Bestand und für alle vorkommenden Baumarten, angefangen von größtem und kleinstem Durchmesser über Mittelhöhe und Oberhöhe bis zum 3. und 4. Moment der Durchmesservertelung. Die reine Rechenzeit für acht Versuchsreihen mit je sechs Parzellen und zwei Aufnahmen, im ganzen also für 96 Berechnungen, betrug für alle drei Programme zusammen etwa sieben bis acht Minuten. Das Ausdrucken der Ergebnislisten nimmt dann allerdings noch einmal etwa 40 Minuten in Anspruch, wobei pro Sekunde 10–15 Zeilen mit 132 Zeichen gedruckt werden.

Die Differenz der so ermittelten Volumenwerte ist der gesuchte Volumenzuwachs. Auf die Frage nach der Genauigkeit der Zuwachsbestimmung werde ich später noch im Zusammenhang mit der Streuung der Zuwachswerte innerhalb gleichbehandelter Flächengruppen näher eingehen.

4. Die Wirkung der Düngung auf den Volumenzuwachs

4.1 Kiefer

Wie wir schon aus der Darlegung der bodenkundlichen und nadelanalytischen Ergebnisse (KREUTZER, 1967) gesehen haben, hat die Düngung bei der Kiefer stärker als bei der Fichte und bei geringen Bonitäten relativ stärker als bei guten angesprochen. Bei der Kiefer ist der fünf- bzw. in einem Falle der vierjährige Mehrzuwachs in allen Fällen gesichert gegenüber dem Zuwachs der ungedüngten Parzellen (Tabelle 1). Die Abbildung 4 zeigt das Ergebnis für Heilsbronn, Kiefer, Bonität I,5 (WIEDEMANN, 1943, m. D.), Alter zum Zeitpunkt der ersten Düngung 40 Jahre. Von den sechs Parzellen wurden jeweils zwei gleich behandelt. Die Parzellen Nr. 2 und 6 erhielten nur eine Grunddüngung mit 20 dz/ha kohlen-saurem Kalk, 1 und 4 wurden mit 3mal 4,5 dz Kalkammonsalpeter gedüngt, 3 und 5 erhielten zusätzlich noch 10 dz Thomasmehl und 2×2 dz Patentkali. Links ist der Volumenzuwachs in Vorratsfestmetern Schaffholz mit Rinde aufgetragen, rechts der Zuwachs in Prozent der beiden Vergleichsflächen. In der Mitte ist die Stickstoff- und Phosphor-Konzentration in den Nadeln, sechs Jahre nach der ersten Düngung, angegeben. Die eng schraffierten Flächen bedeuten Mehrzuwachs gegenüber dem Mittel aus den beiden Vergleichsflächen, die weit schraffierten Flächen bezeichnen den Vertrauensbereich des Mittelwertes aus je zwei Parzellen, hergeleitet aus den Grenzdifferenzen für 5% Überschreitungswahrscheinlichkeit. Wenn sich die Vertrauensbereiche in Ordinatendichtung überdecken, ist der Unterschied im Zuwachs nicht gesichert. Wir sehen, daß wohl beide mit Stickstoff gedüngten Gruppen gegenüber den Vergleichsflächen einen gesicherten Mehrzuwachs von etwa 20 bis 30% aufweisen, der Zuwachsunterschied zwischen den beiden Gruppen jedoch nicht gesichert ist. Abbildung 5 zeigt den Kieferndüngungsversuch in Pegnitz, Bonität II,0, Alter 42 Jahre. Der Mehrzuwachs von etwa 40% ist gesichert. Die Düngung mit Phosphor (10 dz Thomasmehl) hat zwar den P-Gehalt der Nadeln nach

Tabelle 1
Kiefer

Parzelle	Versuchsfläche (Bonität, Alter zu Beginn) dz/ha	n n/ha	Bestandeskennwerte (zu Beginn)				v Vfm S/ha	jährlicher Volumenzuwachs pro ha		Beob- achtungsdauer Jahre
			d g cm	h g m	g m ² /ha	Mittel aus 2 Parzellen		Vfm S	%	
225 Heilsbronn (I,5, 40 J.)										
2	20 Kalk	1800	14,0	14,5	27,6	194	9,43	9,76	100,0	5
6	20 Kalk	1875	13,8	15,3	27,9	207	10,09			
1	20 Kalk, 3×4,5 KAS	1908	14,2	14,6	30,1	213	14,02	13,26*	135,9	5
4	20 Kalk, 3×4,5 KAS	1850	13,9	15,3	28,3	210	12,50			
3	10 Kalk, 3×4,5 KAS,									
	10 ThM, 2×2 Patk	1683	13,8	14,4	25,1	176	11,82	12,05*	123,5	5
5	10 Kalk, 3×4,5 KAS,									
	10 ThM, 2×2 Patk	1725	14,2	15,4	27,4	204	12,28			
226 Pegnitz (II,0, 42 J.)										
1	ungedüngt	2007	12,0	12,7	22,6	143	6,48	6,73	100,0	5
4	ungedüngt	2107	12,5	13,7	25,9	177	6,98			
2	3×4,5 KAS	1860	12,0	12,7	21,1	133	9,38	9,24*	137,3	5
6	3×4,5 KAS	1900	11,8	13,4	20,9	140	9,10			
3	3×4,5 KAS, 10 ThM	1867	12,0	12,7	21,0	133	8,83	9,68*	143,8	5
5	3×4,5 KAS, 10 ThM	1653	13,3	14,1	22,8	158	10,54			
228 Wäldassen (III,5, 52 J.)										
1	ungedüngt	2700	10,1	10,3	21,5	113	4,69	4,73	100,0	5
4	ungedüngt	2700	10,2	10,6	22,1	120	4,78			
2	3×4,5 KSt, 15 ThM	2673	10,6	11,2	23,7	133	6,76	6,44*	136,2	5
6	3×4,5 KSt, 15 ThM	2420	11,0	10,9	23,0	127	6,12			
3	3×4,5 KAS, 15 ThM	2713	10,5	11,4	23,6	136	8,13	8,38*	177,2	5
5	3×4,5 KAS, 15 ThM	2227	11,5	11,6	23,1	133	8,64			
231 Neustadt/S. (II,5 56 J.)										
2	ungedüngt	1967	12,3	14,0	23,4	161	7,74	7,10	100,0	4
5	ungedüngt	1820	13,8	16,2	27,2	214	6,46			
3	2×9 KAS	1693	13,5	15,4	24,1	179	11,59	11,28*	158,9	4
4	2×9 KAS	1587	14,0	16,6	24,5	193	10,98			
1	2×9 KAS, 10 ThM, 4 PatK	1753	13,1	14,8	23,6	168	11,85	11,42*	160,8	4
6	2×9 KAS, 10 ThM, 4 PatK	1613	14,1	16,5	25,3	201	11,00			

* Mehrzuwachs gegenüber den Vergleichsflächen gesichert ($P = 0,05$).
 Abkürzungen: KAS = Kalkammonsalpeter, KSt = Kalkstickstoff, ThM = Thomasmehl, PatK = Patentkali.

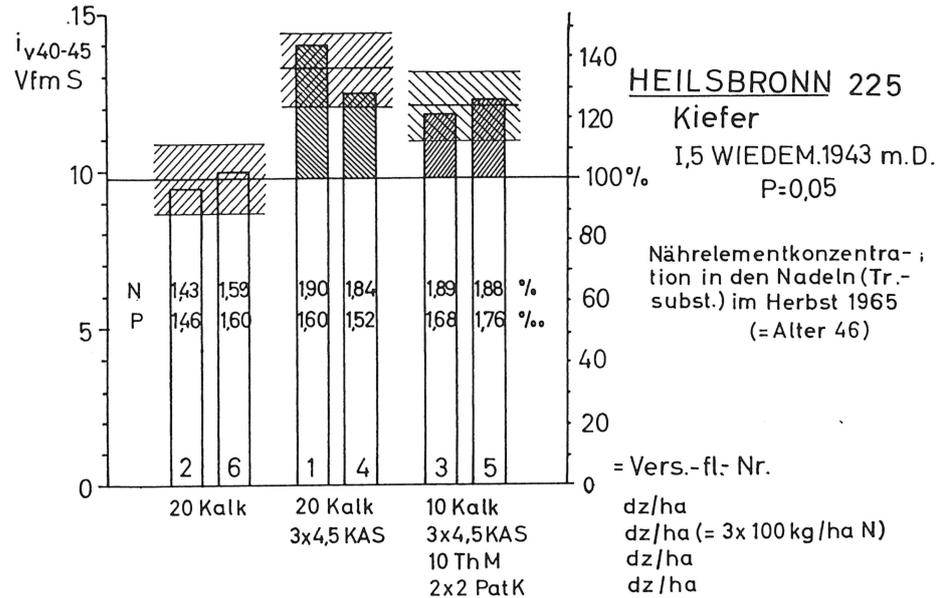


Abb. 4. Die Wirkung der Düngung auf den jährlichen Volumenzuwachs während der ersten fünf Jahre nach der Düngung (Altersperiode 40 bis 45 Jahre). Auf der linken Ordinate ist der Zuwachs absolut aufgetragen, rechts in Prozent der beiden Vergleichsparzellen Nr. 2 und 6, deren mittlerer Zuwachs gleich 100% gesetzt wurde. Die eng schraffierten Flächen bedeuten Mehrzuwachs gegenüber den Vergleichsparzellen, die weit schraffierten Flächen bezeichnen den Vertrauensbereich für 5% Überschreitungswahrscheinlichkeit

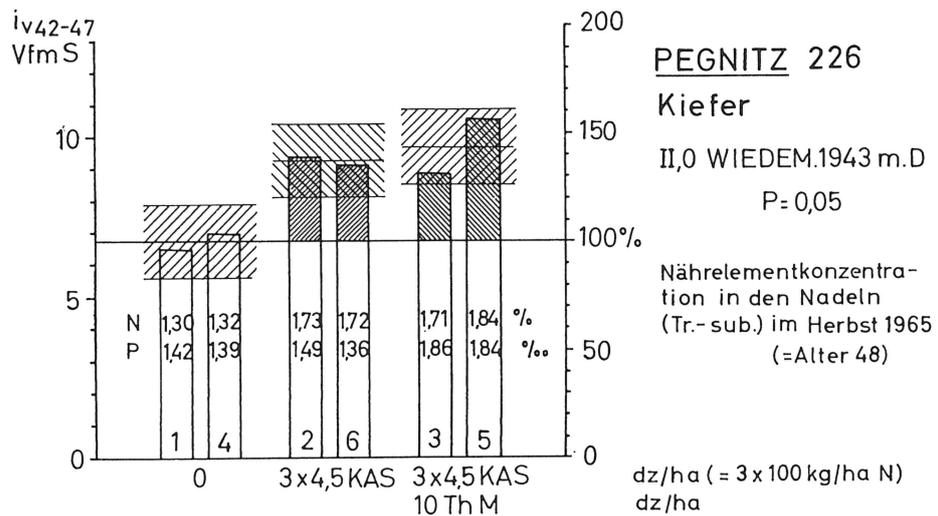


Abb. 5

sechs Jahren deutlich erhöht, eine Zuwachsreaktion ist jedoch noch nicht eingetreten.

In Waldsassen (Abbildung 6) beträgt die Höhenbonität der Kiefer nur III,5 bei einem Alter von 52 Jahren. Hier ist die relativ stärkste Zuwachssteigerung von fast 80% zu verzeichnen, allerdings bei einem der geringen Bonität entsprechenden niederen Zuwachsniveau. Außerdem ist ein gesicherter Zuwachsunterschied der mit verschiedenen Stickstoffdüngerformen gedüngten Parzellen vorhanden. Die gleiche Menge Reinstickstoff in Form von Kalkammonsalpeter hat wesentlich rascher gewirkt als in der Form von Kalkstickstoff.

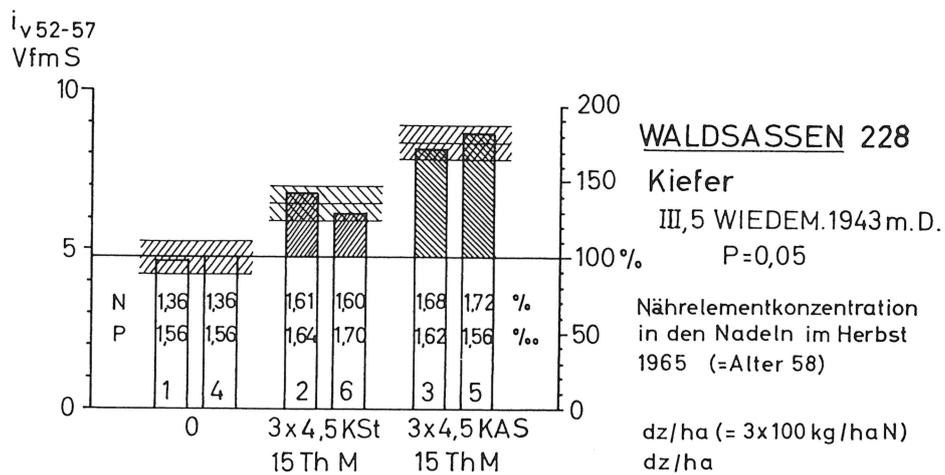


Abb. 6

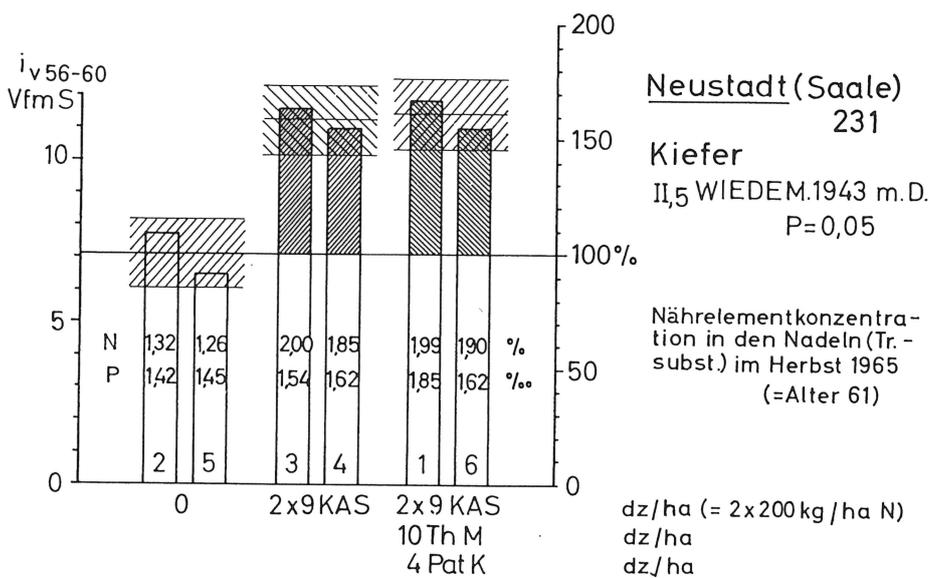


Abb. 7

Der vierte Kiefernversuch liegt im Bereich des Forstamtes Neustadt/Saale (Abbildung 7), Bonität II,5, Alter 56 Jahre. Dieser Versuch wurde später angelegt, die Beobachtungsdauer ist deshalb kürzer und beträgt für den Zuwachs nur vier Jahre. Die kräftige Stickstoffdüngung mit 2×200 kg/ha Reinstickstoff hatte einen gesicherten Mehrzuwachs von etwa 60% zur Folge.

4.2 Fichte

Schwieriger als bei der Kiefer war der Nachweis der Düngerwirkung auf den Zuwachs bei der Fichte, vor allem bei den guten Bonitäten. In Sauerlach zum Beispiel war zwar ein Mehrzuwachs von etwa 10% festzustellen, eine statistische Sicherung war jedoch bei der geforderten Sicherheit von 95% nicht möglich (Tabelle 2). Daß trotzdem eine Wirkung der Düngung mit 2×100 kg/ha Reinstickstoff vorliegt, kann aus der Erhöhung der N-Konzentration in den Nadeln geschlossen werden (s. Abbildung 8). Es handelt sich um einen 58jährigen Fichtenbestand sehr guter Bonität mit

Tabelle 2
Fichte

Parzelle	Versuchsfläche (Bonität, Alter zu Beginn) Düngung dz/ha	Bestandeskennwerte (zu Beginn)				jährlicher Volumenzuwachs pro ha			Beobachtungs- dauer Jahre		
		n n/ha	d _g cm	h _g m	g m ² /ha	v Vfm S/ha	pro Parzelle Vfm S	Mittel aus 2 Parzellen unkorrigiert Vfm S		korrigiert Vfm S	%
223 Sauerlach (34 O, 58 J.)											
1	ungedüngt	1580	20,4	21,7	51,6	552	22,73	22,07	100,0	5	
6	ungedüngt	1467	21,7	22,3	54,4	589	21,42				
2	2×4,8 ASu	1633	20,9	22,0	56,2	602	26,70	24,66—	111,7	5	
4	2×4,8 ASu	1627	19,8	21,5	50,0	531	22,63				
3	2×6,5 KSa	1733	19,7	21,4	53,0	564	24,80	24,21—	109,7	5	
5	2×6,5 KSa	1540	21,0	22,0	53,2	572	23,62				
224 Welden (34 M, 60 J.)											
1	ungedüngt	1440	21,8	23,9	53,8	632	20,65	19,12	18,11	100,0	5
6	ungedüngt	1507	20,1	22,5	48,4	539	17,60				
3	20 Kalk, 10 ThM	1426	20,9	23,5	49,1	573	18,91	18,55	18,73—	103,4	5
4	20 Kalk, 10 ThM	1693	18,8	22,0	48,1	530	18,19				
2	20 Kalk, 2×6,5 KSa, 10 ThM	1360	20,8	23,5	47,1	546	19,05	19,62	20,45*	112,9	5
5	20 Kalk, 2×6,5 KSa, 10 ThM	1540	19,6	22,3	47,5	526	20,19				
227 Fichtelberg (22 M, 56 J.)											
3	ungedüngt	1940	12,3	11,0	23,0	137	7,88	8,76	8,29	100,0	5
6	ungedüngt	2207	12,5	11,1	27,1	162	9,65				
1	20 Kalk, 10 ThM	1980	11,8	10,5	21,5	123	9,13	8,48	8,63—	104,1	5
4	20 Kalk, 10 ThM	1827	12,6	11,0	22,9	136	7,84				
2	20 Kalk, 2×6,5 KSa, 10 ThM	1913	12,7	11,2	24,0	144	12,95	12,06	12,39*	149,5	5
5	20 Kalk, 2×6,5 KSa, 10 ThM	1880	12,3	10,7	22,5	132	11,17				

* Mehrzuwachs gegenüber Vergleichsflächen gesichert, — nicht gesichert (P = 0,05).
Abkürzungen: ASu = schwefelsaures Ammoniak, KSa = Kalksalpeter, ThM = Thomasmehl.

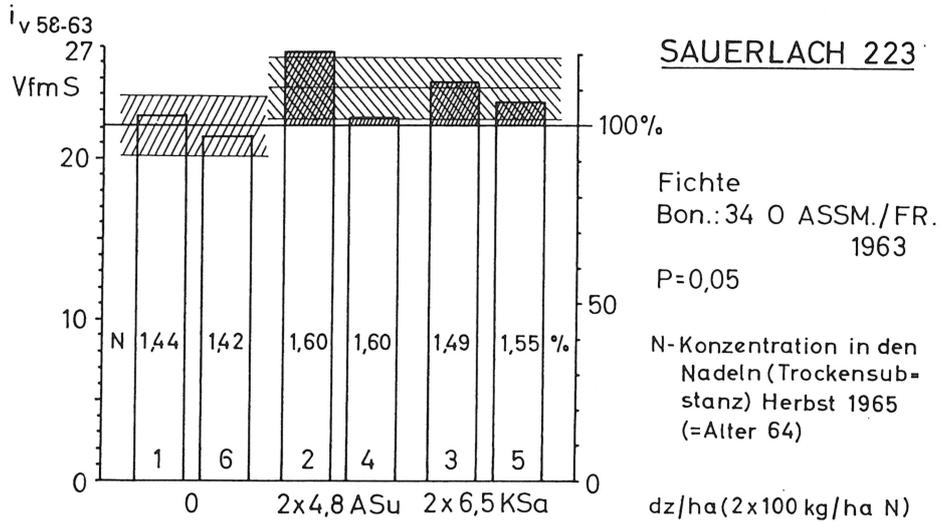


Abb. 8

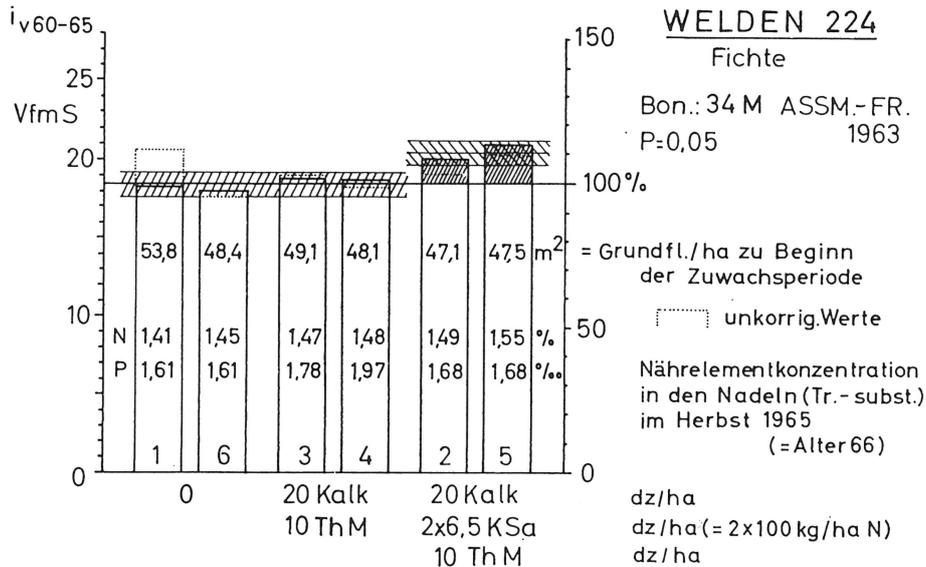


Abb. 9. Jährlicher Volumenzuwachs während der ersten fünf Jahre nach der Düngung (Altersperiode 60 bis 65 Jahre). Die unkorrigierten Zuwachswerte sind punktiert. Die korrigierten Zuwachswerte wurden mit Hilfe der Kovarianzanalyse unter Berücksichtigung der verschiedenen Anfangsgrundflächen gefunden

einem jährlichen Zuwachs auf den Nullflächen von 22 Vfm Schaffholz. In Welden (Abbildung 9) war die Streuung der Zuwachswerte innerhalb gleichbehandelter Flächengruppen zunächst auch so groß, daß keine gesicherte Aussage möglich war. Vergleicht man jedoch die Zuwachswerte innerhalb gleichbehandelter Gruppen mit den Stammgrundflächen zu Beginn der Periode, so erkennt man, daß die Zuwachswerte zum Teil auf unterschiedliche Grundflächenhaltungen zurückzuführen sind. In der Abbildung 9 sind die ursprünglichen Zuwachswerte punktiert dargestellt, die Grundflächen sind in den Säulen angegeben. Hohen Grundflächen entsprechen innerhalb der Gruppen auch hohe Zuwächse. Hier bietet sich als Rechenmethode zur Korrektur der Zuwachswerte die Kovarianzanalyse an, eine Kombination von Regressions- und Varianzanalyse. Die Kovarianzanalyse prüft zunächst den Zusammenhang zwischen den unabhängigen Variablen und der abhängigen Variable, in unserem Fall also zwischen Grundfläche und Zuwachs. Es errechnet sich ein t-Wert von 4,0 für

den Regressionskoeffizienten, das bedeutet, daß ein gesicherter Zusammenhang besteht. Die anschließende Streuungszerlegung mit den entsprechend der gefundenen Regression berichtigten Zuwachswerten zeigt, daß jetzt gesicherte Zuwachsunterschiede bestehen. Sie betragen etwa 10% für die mit Kalksalpeter gedüngten Parzellen. Die

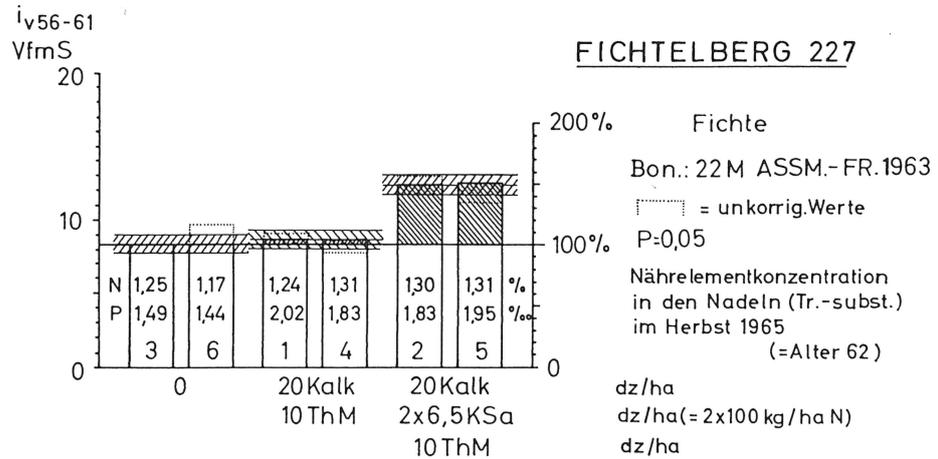


Abb. 10

Phosphat-Düngung hat auch hier den P-Gehalt der Nadeln, gemessen im Herbst 1965, erhöht, ohne daß bisher eine Wirkung auf den Zuwachs festzustellen ist. Das gleiche gilt auch für die nächste Versuchsreihe in Fichelberg (Abbildung 10). Hier wurden die Oberhöhe als Bonitätsweiser oder als Ausdruck für eventuell vorhandene Altersunterschiede und die Anfangsgrundfläche als kovariante Größen verwendet. Die Standardabweichung innerhalb der Gruppen wird dadurch von $\pm 10\%$ auf etwa $\pm 1\%$ vermindert. Die Oberhöhenbonität des Fichtenbestandes beträgt etwa 22 m nach ASSMANN-FRANZ, 1963.

4.3 Buche

Daß auch gedüngte Bäume nicht in den Himmel wachsen, zeigt vor allem der letzte Versuch in Heigenbrücken. Es handelt sich um einen 74jährigen Buchenbestand guter Bonität (II,0 nach WIEDEMANN, 1931, m. D.). Die Düngung hatte bis jetzt keine Wirkung auf den Zuwachs. Leider liegen für diesen Versuch noch keine Blattanalysen vor.

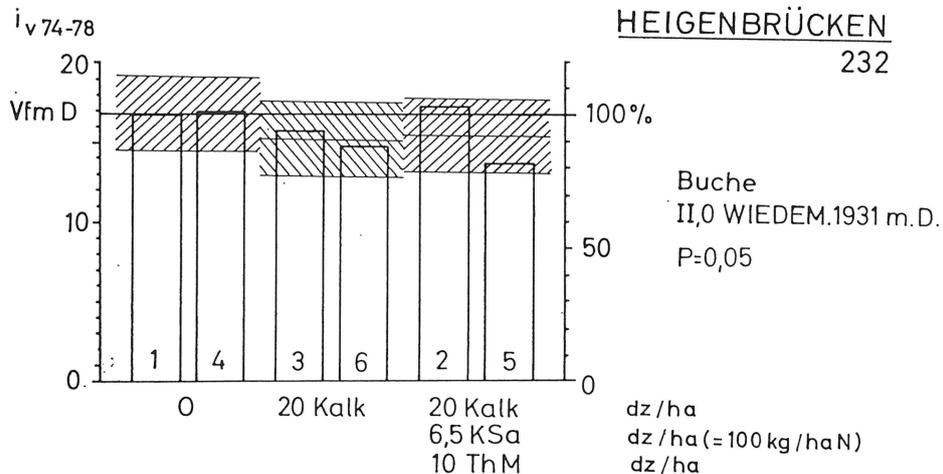


Abb. 11

Die große Streuung innerhalb gleichbehandelter Gruppen konnte zwar unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Mittelhöhen mit der Kovarianzanalyse vermindert werden, es ergaben sich aber trotzdem keine gesicherten Zuwachsunterschiede (s. Abbildung 11).

5. Die Genauigkeit der Zuwachsbestimmung

Dadurch, daß in jedem Versuch jede Behandlung einmal wiederholt wurde, ist die Möglichkeit gegeben, die Streuung der Zuwachswerte innerhalb gleichbehandelter Gruppen von Versuchsflächen zu berechnen, wenn auch jede Gruppe nur aus zwei Versuchsgliedern besteht. Diese Streuung des Zuwachses innerhalb der Gruppen ist auf der einen Seite durch Meßfehler bedingt, auf der anderen Seite aber auch durch wirkliche Unterschiede im Zuwachs von Fläche zu Fläche. Vor allem dort, wo die Streuung der Zuwachswerte innerhalb gleichbehandelter Flächengruppen besonders groß war, hat die Kovarianzanalyse durch die Berücksichtigung von Unterschieden im Bestandesaufbau die Streuung beträchtlich vermindern können, wie zum Beispiel in Welden oder Fichtelberg. In Tabelle 3 sind die durchschnittlichen Standardabweichun-

Tabelle 3

Baumart Versuchsfläche	Mittlerer jährlicher Volumen- zuwachs aller Parzellen einer Versuchs- fläche VfmS/D	Durchschnittliche Standardabweichung des mittleren jährlichen Volumenzuwachses innerhalb der Gruppen			
		unkorrigiert		korrigiert mit Kovarianzanalyse	
		VfmS/D	%	VfmS/D	%
		±	±	±	±
<i>Kiefer</i>					
Heilsbronn 225	11,69	0,70	6,0		
Pegnitz 226	8,55	0,74	8,6		
Waldsassen 228	6,52	0,34	5,2		
Neustadt/S. 231	9,94	0,67	6,8		
<i>Fichte</i>					
Sauerlach 223	23,77	1,74	7,2		
Welden 224	19,10	1,36	7,1	0,56	2,9
Fichtelberg 227	9,77	1,01	10,3	0,10	1,0
<i>Buche</i>					
Heigenbrücken 232 ...	15,91	1,49	9,4	0,72	4,5

gen des Volumenzuwachses innerhalb gleichbehandelter Gruppen von je zwei Versuchsflächen angegeben, und zwar einmal absolut in Vorratsfestmetern, daneben in Prozent vom mittleren Volumenzuwachs aller sechs Parzellen einer Versuchsreihe. Die unkorrigierten Abweichungen liegen zwischen ± 5 und $\pm 10\%$. Dort, wo trotz der geringen Zahl von Wiederholungen in der Kovarianzanalyse ein gesicherter Einfluß von dritten Größen, sei es der Grundfläche, der Höhe oder Stammzahl, nachzuweisen war, hat sich die Standardabweichung wesentlich vermindert. Es ist anzunehmen, daß der eigentliche Meßfehler für den Zuwachs in der Nähe dieser korrigierten Werte, also bei etwa 1 bis 3% liegt. Nach der Korrektur liegen die durchschnittlichen Standardabweichungen für den Volumenzuwachs zwischen ± 1 und $\pm 8,6\%$, im Mittel bei

$\pm 5,3\%$. Das gilt für Versuchsflächen von etwa 0,15 ha Größe in mittelalten Beständen bei der oben geschilderten Methode der Zuwachsberechnung für vier- bis fünfjährige Perioden. Die Standardabweichung innerhalb der Gruppen wird auch als Versuchsfehler bezeichnet. Die Größe des Versuchsfehlers ist neben der Zahl der Wiederholungen ausschlaggebend dafür, daß ein beobachteter Zuwachsunterschied als zufällig oder nicht zufällig gelten kann.

Bei der im forstlichen Versuchswesen möglichen und üblichen Zahl der Wiederholungen ist bei einer geforderten Sicherheit von 95 % ein Unterschied zwischen Mittelwerten dann gesichert, wenn er etwa das 2,5- bis 4fache des Versuchsfehlers überschreitet. Das bedeutet, daß unter günstigen Bedingungen nach fünfjähriger Beobachtungszeit ein Zuwachsunterschied von etwa 5–10 % statistisch gesichert werden kann.

6. Die Wirtschaftlichkeit der Düngung

Obwohl nach der ersten Aufnahme und Auswertung der besprochenen Versuche noch keine Aussage über die Wirtschaftlichkeit der Düngung gemacht werden kann, soll doch versucht werden, das Ergebnis auch wertmäßig zu erfassen. Für den Mehrzuwachs wurde der erntekostenfreie Wert des Durchschnittsfestmeters des Bestandes am Ende der Zuwachsperiode an Hand der Hilfstafeln für die Forsteinrichtung (1966) ermittelt. Dabei wurde für die Kiefer und die Fichte ein mittleres Meßzahlsteigerungsprozent von 220 % unterstellt. Als Düngemittelkosten wurden zunächst nur die Kosten für die bisher allein wirksame Stickstoffdüngung angesetzt. Bei vier Düngungsreihen wurde bisher 2mal gedüngt, bei drei Kiefernreihen 3mal. Bei den 3fach gedüngten Versuchen blieb auch die letzte Stickstoffdüngung außer Ansatz, da sie sich bis zum Aufnahmezeitpunkt nur in geringem Maß auf den Zuwachs ausgewirkt haben dürfte. Aus anderen Versuchen wissen wir, daß die Hauptwirkung der Stickstoffdüngung auf den Zuwachs erst nach zwei bis drei Jahren eintritt. Unter diesen Voraussetzungen errechnete sich auf sechs der acht Versuchsflächen bereits nach fünf Jahren ein Überschuß von 100,- bis 300,- DM pro Hektar, bei einem Aufwand von

Tabelle 4

Aufwand und Ertrag pro Hektar

Baumart Versuchsreihe	Alters- periode	Bonität	Mehrzuwachs in 5 bzw. 4 Jahren			Düngemittel- und Ausbringungs- kosten für 2 × 100 kg N/ha bzw. 2 × 200 kg N/ha DM	Über- schuß in 5 bzw. 4 Jahren DM
			Derbh. o. R. Efm	Erntekostenfreier Wert pro fm DM	Gesamt DM		
<i>Kiefer</i>							
Heilsbronn 225 ..	40—45	I,5	12,44 *	41,4	515,—	270,—	245,—
Pegnitz 226	42—47	II,0	10,50 *	40,7	427,—	270,—	157,—
Waldsassen 228 ..	52—57	III,5	10,82 *	39,2	424,—	270,—	154,—
Neustadt/S. 231 ..	56—60	II,5	11,91 *	40,9	487,—	540,—	—
<i>Fichte</i>							
Sauerlach 223 ...	58—63	34 O	9,47 —	56,5	535,—	270,—	265,—
Welden 224	60—65	34 M	8,12 *	55,2	448,—	342,—	106,—
Fichtelberg 227 ..	56—61	22 M	14,94 *	44,0	659,—	342,—	317,—

* Gesichert. — Nicht gesichert (P = 0,05).

270,- bis 340,- DM (Tabelle 4). Es ist aber mit Sicherheit anzunehmen, daß sich die Wirkung der Düngung auf den Zuwachs im Laufe der nächsten Jahre noch günstiger gestalten wird.

Bei welchen Beständen ist eine Düngung wohl am rentabelsten? Das sind meines Erachtens auf der einen Seite Bestände mittlerer bis guter Bonität höheren Alters, bei denen der Mehrzuwachs an Bäumen angelegt wird, die wegen ihrer Dimensionen schon einen hohen Durchschnittsfestmeterwert erreicht haben. Bei diesen Beständen läßt sich der Zuwachsgewinn am raschesten wieder realisieren. Daß selbst noch bei 120jährigen Fichten mittlerer Bonität eine Stickstoffdüngung fünf Jahre lang einen Mehrzuwachs von 30% bewirken kann bei einem erntekostenfreien Wert von mehr als 80,- DM für den Durchschnittsfestmeter, hat ein früherer Versuch im Forstamt München-Süd gezeigt (ZÖTTL und KENNEL, 1963).

Eine andere Möglichkeit, die jedoch mehr Zeit und Geduld erfordert, ist die Düngung von Beständen geringerer Bonität, vor allem der Kiefer, wenn durch die Düngung erreicht wird, daß die Bäume in Dimensionen hineinwachsen, die eine Auslaltung wertvollere Sortimente überhaupt erst ermöglichen. Es wird so der sehr steile Anstieg der Festmeterwertkurve der Kiefer über dem Durchmesser besser ausgenützt. ASSMANN (1961) schreibt zu diesem Problem am Schluß des Kapitels „Ertragsverbesserung durch Melioration und Düngung“: „Während die üblichen forstlichen Verfahren der Standraumregelung nur in Ausnahmefällen eine Erhöhung der Holzvolumenerzeugung gestatten und in der Regel sogar Volumenzuwachsverluste zur Folge haben, bieten uns Melioration und Düngung erstmalig Aussichten auf beträchtliche Steigerungen der organischen Produktion im Walde. Wenn wir diese Möglichkeit auf einwandfreier wissenschaftlicher Grundlage und mit der richtigen Zielsetzung ausnutzen, so können wir nicht nur die Wirtschaftlichkeit unserer Forstbetriebe erhöhen, sondern auch die Gesundheit und Gefahrensicherheit unserer Wirtschaftswälder.“

Literatur

- ASSMANN, E., 1961: Waldetragskunde. München, Bonn, Wien. — ASSMANN, E., 1965: Düngung und Melioration von Waldbeständen in ertragskundlicher Sicht. Allg. Forstzeitschr. **20**, 241-251. — ABETZ, P., MERKEL, O., und SCHAIRER, E., 1964: Düngungsversuche in Fichtenbeständen Südbadens. Allg. Forst- und Jagdzeitung, **135**, 247-261. — FABRICIUS, L., 1940: Forstliche Versuche. XXII. Ein zehnjähriger N-Düngungsversuch. Forstw. Cbl., **62**, 76-94. — HAUSSER, K., 1950/51: Ergebnisse der neuesten Aufnahme des Owinger Forstdüngungsversuches. Allg. Forst- und Jagdzeitung, **122**, 23-27. — HAUSSER, K., 1953: Ergebnisse von Forstdüngungs- und Meliorations-Versuchen in Süd-Württemberg. Ertragskundlicher Teil. Mitt. d. Württ. Forstl. Versuchsanst., **10**, 1-64. — HAUSSER, K., 1961: Ergebnisse von Düngungsversuchen zu 50- bis 70jährigen Fichtenbeständen auf oberem Buntsandstein des Württ. Schwarzwaldes. Allg. Forst- und Jagdzeitung, **132**, 269-291. — KENNEL, R., 1959: Die Genauigkeit von Klappung und Umfangmessung nach einem Vergleichsversuch. Forstw. Cbl., **78**, 243-251. — KENNEL, R., 1964: Erfahrungen mit der Umfangmessung. Forstw. Cbl., **83**, 314-320. — KENNEL, R., 1965: Die Herleitung verbesserter Formzahltafeln am Beispiel der Fichte. Vortrag bei der Tagung der Sektion Ertragskunde des Deutsch. Verbandes F. Forschungsanst. in Gießen, unveröffentlicht. — KREUTZER, K., 1967: Ernährungszustand und Volumenzuwachs von Kiefernbeständen neuer Düngungsversuche in Bayern. Forstw. Cbl., **86**, H. 1. — Ders.: Ernährungszustand und Volumenzuwachs von Fichtenbeständen neuer Düngungsversuche in Bayern. Forstw. Cbl., **86**, H. 2. — LAATSCH, W., 1963: Bodenfruchtbarkeit und Nadelholzanbau. München, Basel, Wien. — MEYER, H. A., 1953: Forest-Mensuration, Pennsylvania, S. 135. — MITSCHERLICH, G., und WITTICH, W., 1958: Düngungsversuche in älteren Beständen Badens. Allg. Forst- und Jagdzeitung, **129**, 169-190. — SEIBT, G., und WITTICH, W., 1965: Ergebnisse langfristiger Düngungsversuche im Gebiet des nordwestdeutschen Diluviums und ihre Folgerungen für die Praxis. Schriftenreihe der Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. Mitt. d. Nieders. F. Versuchsanst., **27/28**. — SCHMIDT, A., 1965: Die Versuchsflächenauswertung mit elektronischen Rechenanlagen. Vortrag bei der Tagung der Sektion Ertragskunde des Deutsch. Verb. F. Forschungsanst. in Gießen, unveröffentlicht. — SCHMIDT, A., 1966: Gedanken zur elektroni-

schen Auswertung von Versuchsflächenaufnahmen. Forstw. Cbl., **85**, 178-188. — ZÖTTL, H., und KENNEL, R., 1962: Die Wirkung von Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung in Kiefernbeständen. Forstw. Cbl., **81**, 65-91. — ZÖTTL, H., und KENNEL, R., 1963: Ernährungszustand und Wachstum von Fichten-Altbeständen nach Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung. Forstw. Cbl., **82**, 76-100.