

amtes Thiergarten konnten zwar vor Beginn der letztjährigen Fütterungsperiode Testbestände aufgenommen werden, wobei alte und frische Schäl-schäden, sowie ungeschälte Bäume kartiert und mit Farbe gekennzeichnet wurden. Aber auch diese Arbeiten sollen als Vorversuch gewertet werden, denn hier konnten keine O-Flächen ausgeschieden werden, weil sich der Rot-wildbestand auf der ganzen Fläche des Parks bewegt und so einzelne Fütte-rungen nicht ausgenommen werden konnten. Trotzdem sind die Ergebnisse der Aufnahmen vom Frühsommer 1966 ermutigend: Es zeigten von 15 172 aufgenommenen Fichten 69% Altschäden, 4% Schäl-schäden von 1964/65, während der prozentuale Anteil der Schäden von 1965/66 auf 2,5% zurück-ging.

Die Suche nach natürlichen Methoden und Stoffen wird im Bereich des forst-lichen Pflanzenschutzes fortgeführt werden.

## Ertragskundliche Ergebnisse neuer Dauerdüngungsversuche

Von R. KENNEL

### 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  $\frac{1}{3}$  auf die Düngung von Beständen, der Rest wurde für Düngungs- und Melio-rationsmaßnahmen bei der Bestandsbegründung verwandt. Die Wirkung einer Düngung ist bei jungen Kulturen an dem guten Gedeihen der Pflanzen auch ohne Messungen meist leicht festzustellen, dagegen ist der Erfolg einer Be-standsdüngung 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 drei-ßiger Jahren (FABRICIUS 1940, HAUSSER 1953, SEIBT und WITTICH 1965).

Seit 1950 wurden zahlreiche neue Bestandesdüngungsversuche angelegt. So be-richten 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 Veröffentlichun-gen 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 Netto-mehrerträge 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 Zusammen-arbeit mit der Bayerischen Ministerialforstabteilung auf verschiedenen, typi-schen Standorten Bayerns in den Jahren 1960 und 1962 acht Düngungsver-suchsflächen in mittelalten Kiefern-, Fichten- und Buchenbeständen angelegt.

## 2. Beschreibung der Versuchsanlage

Eine eingehende Beschreibung der Versuchsanlagen und Düngungspläne kann ich unter Hinweis auf die Ausführungen von Herrn Dr. KREUTZER unterlassen. Ich möchte nur noch einmal die ertragskundlich wichtigen Merkmale der Versuche wiederholen. Jeder der acht Versuche besteht aus sechs Parzellen von 0,15 ha, in einem Fall 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

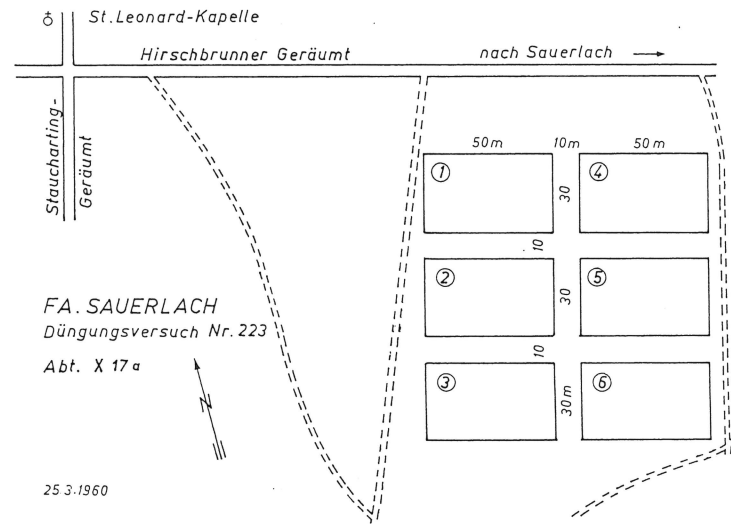


Abb. 1

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

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, möchte ich auf die hier angewandte Methode etwas ausführlicher eingehen. 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 Kluppung, 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 2. Aufnahme wurde für jede Versuchspartelle 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 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 habe ich mit dem sektionsweise kubierte Probestamm-Material aller bisher am Ertragskundeinstitut aufgenommenen Bestände, für die Fichte mit 5500 Bäumen (Funktion Fichte Nr. 72) und für die Kiefer mit etwa 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 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

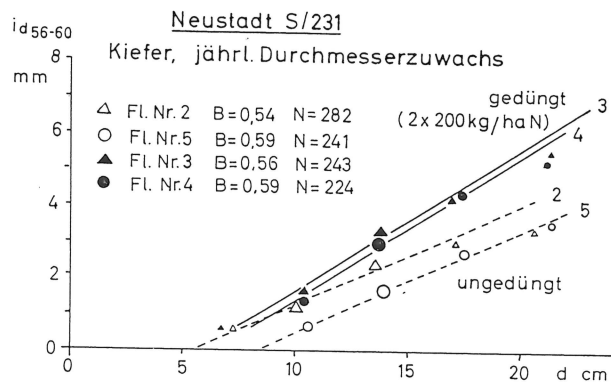


Abb. 2

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

Steigerung des jährlichen Durchmesserzuwachses während der ersten vier Jahre als Folge einer Stickstoffdüngung in Form von  $2 \times 9$  dz 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 unsre 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-

GEORDNET NACH DURCHM.			ABWEICHUNG VON DER AUSGLEICHSPARABEL 2.GRADES												
DURCHM.	HOEHE	STAMMNR.	HPAR.	DIFF.	ABWPRZ	AUSR	LT30	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	V.H.
10.0	14.3	161.	14.59	-0.29	-2.0		I				*I				I
10.5	14.5	138.	14.87	-0.37	-2.5		I				*I				I
10.7	16.0	178.	14.98	1.02	6.8		I				I	*			I
11.2	14.8	272.	15.24	-0.44	-2.9		I				*I				I
12.1	16.3	69.	15.69	0.61	3.9		I				I	*			I
12.5	16.0	152.	15.88	0.12	0.7		I				*				I
13.0	15.8	101.	16.12	-0.32	-2.0		I				*I				I
13.0	16.4	221.	16.12	0.28	1.8		I				I	*			I
13.4	15.0	215.	16.30	-1.30	-8.0		I				*	I			I
13.7	16.5	23.	16.43	0.07	0.4		I					*			I
13.9	16.8	109.	16.51	0.29	1.7		I				I	*			I
14.2	17.3	149.	16.64	0.66	4.0		I				I	*			I
14.3	16.7	105.	16.68	0.02	0.1		I				*				I
14.3	16.7	29.	16.68	0.02	0.1		I				*				I
14.4	16.0	117.	16.72	-0.72	-4.3		I				*	I			I
14.6	16.7	89.	16.80	-0.10	-0.6		I				*				I
14.6	16.8	188.	16.80	-0.00	-0.0		I				*				I
14.9	16.8	141.	16.92	-0.12	-0.7		I				*				I
14.9	17.0	266.	16.92	0.08	0.5		I				*				I
15.5	18.0	198.	17.15	0.85	5.0		I				I	*			I
15.8	17.5	61.	17.26	0.24	1.4		I				*	I			I
16.0	16.4	58.	17.33	-0.93	-5.4		I				*	I			I
16.1	17.3	189.	17.37	-0.07	-0.4		I				*				I
16.2	17.5	273.	17.40	0.10	0.6		I				*				I
16.2	17.8	132.	17.40	0.40	2.3		I				*				I
16.3	17.4	173.	17.44	-0.04	-0.2		I				*				I
16.4	18.1	174.	17.47	0.63	3.6		I				*	I			I
16.6	17.0	137.	17.54	-0.54	-3.1		I				*	I			I
17.0	16.6	37.	17.67	-1.07	-6.0		I				*	I			I
17.0	16.8	12.	17.67	-0.87	-4.9		I				*	I			I

Abb. 3

Ausschnitt aus der Ergebnisliste einer Höhenkurvenberechnung mit dem Elektronenrechner. Rechts sind die Abweichungen der gemessenen Höhenwerte von der Ausgleichskurve in Form eines Diagrammes ausgedruckt.

folge, dann die dazugehörigen Höhen und die Stammnummern. Die nächste Spalte enthält die Höhenwerte nach der Ausgleichsfunktion »Parabel« für die links angegebenen Durchmesser. Dann folgen die Abweichungen der gemessenen Höhenwerte von den berechneten, absolut in Metern und in Prozent der berechneten Höhen. Rechts sind die Abweichungen der gemessenen Höhen von der Ausgleichsparabel in einem Diagramm ausgedruckt und nachträglich von Hand geradlinig verbunden. In diesem Fall weicht kein Höhenwert um mehr als  $\pm 10\%$  von der Höhenkurve ab. Die Abweichungen sind unabhängig vom Durchmesser rein zufällig um die Höhenkurve verteilt. Weicht ein Wert um mehr als das dreifache der Standardabweichung von der Höhenkurve ab, wird er in einer eigenen Spalte als Ausreißer markiert. Fehlerhafte Werte können so mit einem Blick erkannt werden. Gleichzeitig mit der Textausgabe werden die Regressionskoeffizienten der Höhenkurve automatisch in Lochkarten gestanzt und stehen für weitere Berechnungen zur Verfügung.

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 Durchmessermittel der in die Stufe fallenden Bäume verwendet wird. So sind alle Klasseneinteilungsfehler ausgeschaltet. Für dieses Durchmessermittel 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 Durchmesserverteilung. Die reine Rechenzeit für 8 Versuchsreihen mit je sechs Parzellen und 2 Aufnahmen, im Ganzen also für 96 Berechnungen, betrug für alle 3 Programme zusammen etwa 7 bis 8 Minuten. Das Ausdrucken der Ergebnislisten nimmt dann allerdings noch einmal etwa 40 Minuten in Anspruch, wobei pro Sekunde 10 bis 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 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 5- bzw. in einem Falle der 4-jährige Mehrzuwachs in allen Fällen gesichert gegenüber dem Zuwachs der ungedüngten Parzellen. Die nächste Abb. 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 eine Grunddüngung mit 20 dz/ha kohlen-saurem Kalk, 1 und 4 wurden mit dreimal 4,5 dz Kalkammonsalpeter gedüngt, 3 und 5 erhielten zusätzlich noch 10 dz Thomasmehl und zweimal 2 dz Patentkali. Links ist der Volumenzuwachs in Vorratsfestmetern Schafftholz mit Rinde aufgetragen, rechts der Zuwachs in Prozent der beiden Vergleichsflächen. In der Mitte ist die Stickstoff- und Phosphor-Konzentration in den Nadeln, 6 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 Ordinate-richtung überdecken, ist der Unterschied im Zuwachs nicht ge-

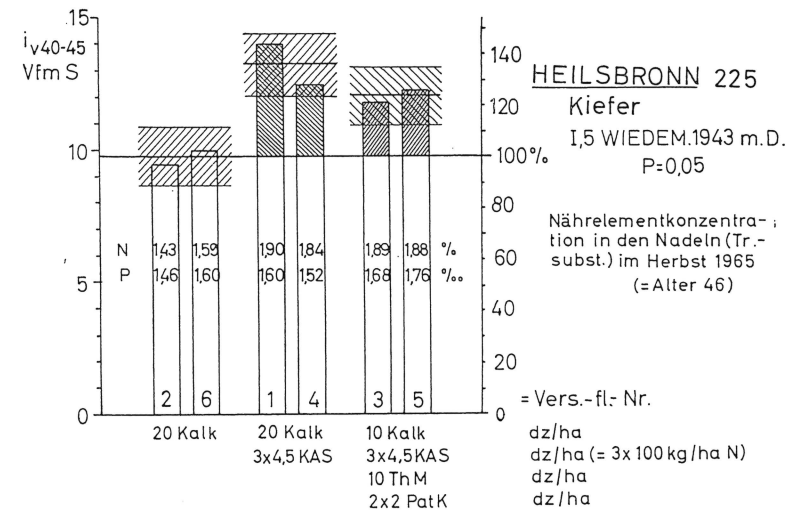


Abb. 4

Die Wirkung der Düngung auf den jährlichen Volumenzuwachs während der ersten 5 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

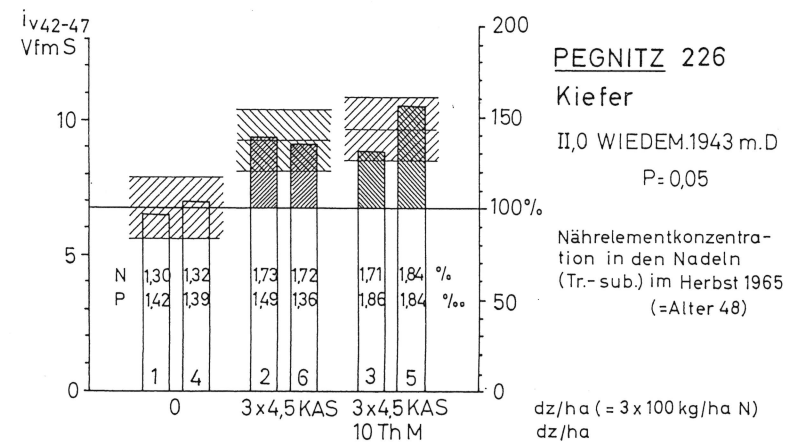


Abb. 5

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

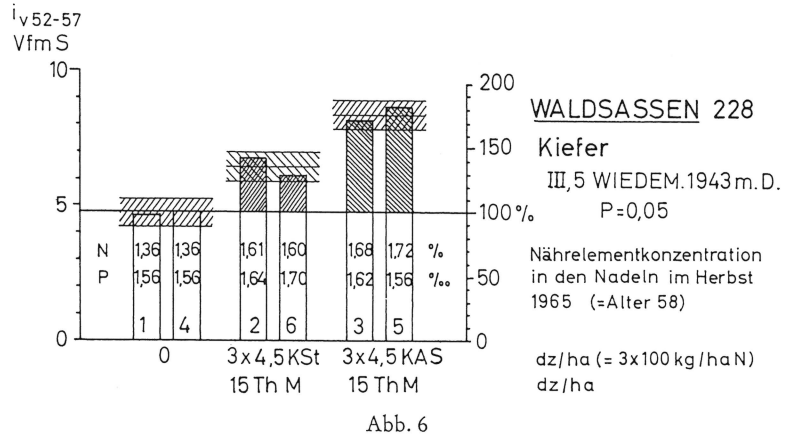


Abb. 6

In Waldsassen (Abb. 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.

Der vierte Kiefernversuch liegt im Bereich des Forstamtes Neustadt/Saale (Abb. 7), Bonität II,5, Alter 56 Jahre. Dieser Versuch wurde später angelegt, die Beobachtungsdauer ist deshalb kürzer und beträgt für den Zuwachs nur 4 Jahre. Die kräftige Stickstoffdüngung mit zweimal 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 z. B. war zwar ein Mehrzuwachs von etwa 10% festzustellen, eine statistische Sicherung war jedoch bei der geforderten Sicherheit von 95% nicht möglich. Daß trotzdem eine Wirkung der Düngung mit zweimal 100 kg/ha Reinstickstoff vorliegt, kann aus der Erhöhung der N-Konzentration in den Nadeln geschlossen werden (s. Abb. 8).

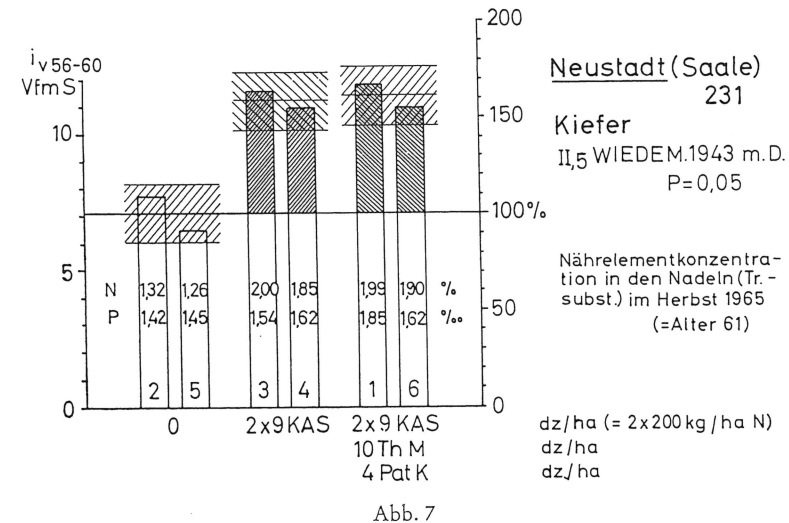


Abb. 7

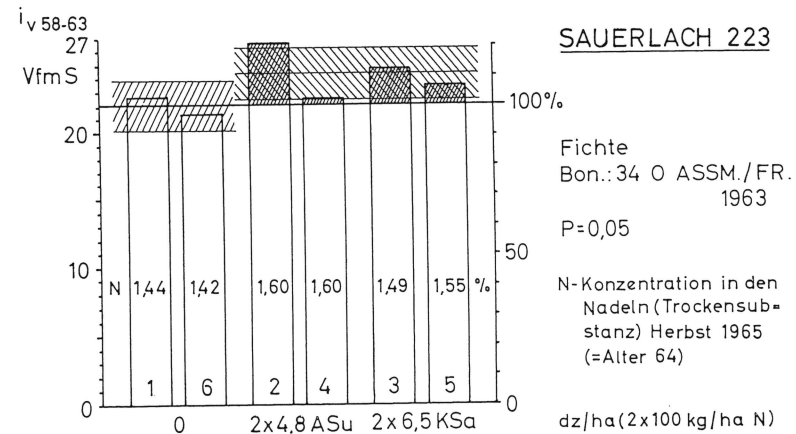


Abb. 8

Es handelt sich um einen 58jährigen Fichtenbestand sehr guter Bonität mit einem jährlichen Zuwachs auf den Nullflächen von 22 Vfm Schaftholz. In Welden (Abb. 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

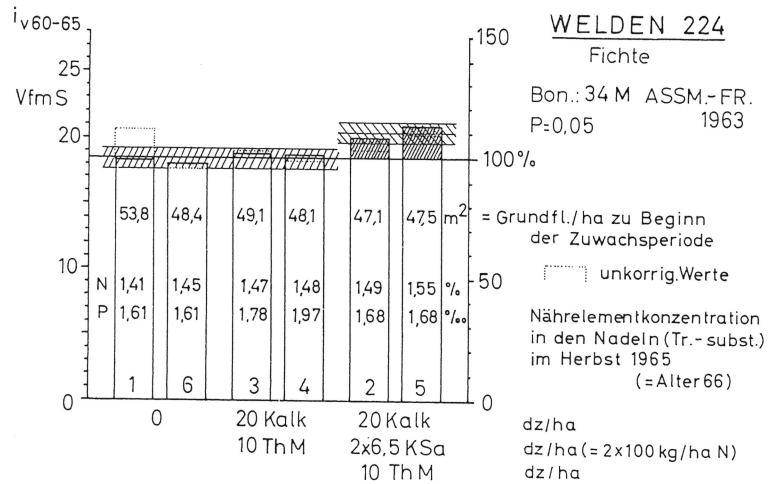


Abb. 9

Jährlicher Volumenzuwachs während der ersten 5 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.

Periode, so erkennt man, daß die Zuwachsunterschiede zum Teil auf unterschiedliche Grundflächenhaltungen zurückzuführen sind. In der Abb. 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 Streuungszerglegung 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 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 Fichtelberg (Abb. 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.

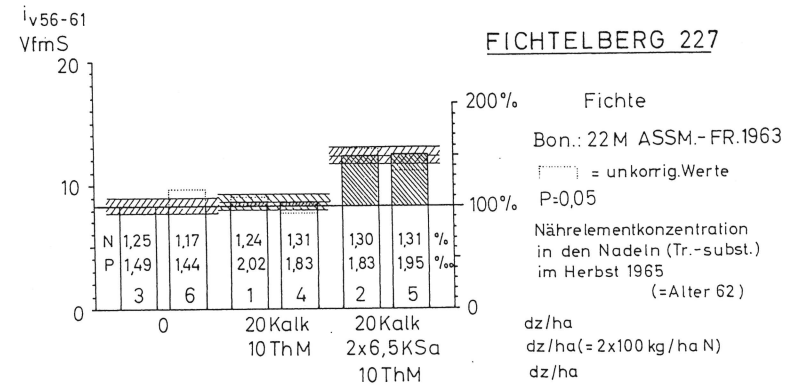


Abb. 10

#### 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 74-jährigen 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. 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. Abb. 11).

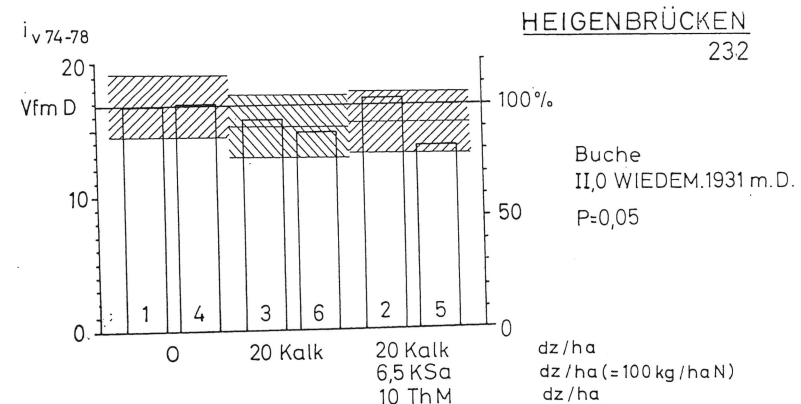


Abb. 11

### 5. Die Genauigkeit der Zuwachsbestimmung

Bevor ich noch kurz auf die wertmäßige Seite der Düngungsversuche eingehe, möchte ich einige Überlegungen zur Genauigkeit der Zuwachsbestimmung auf Versuchsflächen einfügen.

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 (s. Tabelle 1). In dieser Tabelle 1 sind die durchschnittlichen Standardabweichungen des Volumenzuwachses innerhalb gleichbehandelter Gruppen von je 2 Versuchsflächen angegeben und zwar einmal absolut in Vorratsfestmetern, daneben in Prozent vom mittleren Volumenzuwachs aller sechs Parzellen einer Versuchsreihe. Die unkorrigierten Abweichungen liegen zwischen  $\pm 5$  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  $\pm 1$  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 4- bis 5jährige 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 5jähriger Beobachtungszeit ein Zuwachsunterschied von etwa 5 bis 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 anhand der Hilftafeln 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 zweimal gedüngt, bei drei Kiefernreihen dreimal. Bei den dreifach 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 270 bis 340 DM (Tabelle 2). 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 Aushaltung wertvollerer Sortimente überhaupt erst ermöglichen. Es wird so der sehr steile Anstieg der Festmeterwertkurve der Kiefer über dem Durchmesser besser ausgenützt.

ASSMANN (Waldetragskunde 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.«

Tabelle 1

Baumart	Versuchsfläche	Mittlerer jährlicher Volumenzuwachs aller Parzellen einer Versuchsfläche	Durchschnittliche Standardabweichung des mittleren jährlichen Volumenzuwachses innerhalb der Gruppen			
			unkorrigiert		korrigiert mit Kovarianzanalyse	
		VfmS/D pro ha	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/Saale	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

Tabelle 2

## Aufwand und Ertrag pro Hektar

Baumart Versuchsreihe	Altersperiode	Bonität	Mehrzuwachs in 5 bzw. 4 Jahren		Überschuß in 5 bzw. 4 Jahren
			Erntekostenfreier Wert pro fm	Gesamt	
			DM	DM	DM
<i>Kiefer</i>					
Heilsbronn	225	I.5	41,4	515,—	245,—
Pegnitz	226	II.0	40,7	427,—	157,—
Waldsassen	228	III.5	39,2	424,—	154,—
Neustadt/Saale	231	II.5	40,9	487,—	—
<i>Fichte</i>					
Sauerlach	223	34 O	56,5	535,—	265,—
Welden	224	34 M	55,2	448,—	106,—
Fichtelberg	227	22 M	44,0	659,—	317,—

\* = gesichert; - = nicht gesichert (P = 0,05)



## Literaturhinweise

- Assmann, E.: Waldertragskunde. München, Bonn, Wien, 1961.
- Assmann, E.: Düngung und Melioration von Waldbeständen in ertragskundlicher Sicht. Allg. Forstzeitschr. 20, 241–251, 1965.
- Abetz, P., Merkel, O. und Schairer, E.: Düngungsversuche in Fichtenbeständen Südbadens. Allg. Forst- und Jagdzeitung, 135, 247–261, 1964.
- Fabricius, L.: Forstliche Versuche. XXII. Ein 10jähriger N-Düngungsversuch. Forstw. Cbl., 62, 76–94, 1940.
- Hausser, K.: Ergebnisse der neuesten Aufnahme des Owinger Forstdüngungsversuches. Allg. Forst- und Jagdzeitung, 122, 23–27, 1950/51.
- Hausser, K.: Ergebnisse von Forstdüngungs- und Meliorations-Versuchen in Süd-Württemberg. Ertragskundlicher Teil. Mitt. d. Württ. Forstl. Versuchsanst., 10, 1–64, 1953.
- Hausser, K.: Ergebnisse von Düngungsversuchen zu 50- bis 70jährigen Fichtenbeständen auf oberem Buntsandstein des Württemb. Schwarzwaldes. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 132, 269–291, 1961.
- Kennel, R.: Die Genauigkeit von Klappung und Umfangmessung nach einem Vergleichsversuch. Forstw. Cbl., 78, 243–251, 1959.
- Kennel, R.: Erfahrungen mit der Umfangmessung. Forstw. Cbl., 83, 314–320, 1964.
- Kennel, R.: Die Herleitung verbesserter Formzahltafeln am Beispiel der Fichte. Vortrag bei der Tagung der Sektion Ertragskunde des Deutsch. Verbandes F. Forsch.anst. in Gießen, 1965.
- Laatsch, W.: Bodenfruchtbarkeit und Nadelholzanbau. München, Basel, Wien, 1963.
- Mayer, H. A.: Forest-Mensuration, Pennsylvania, S. 135, 1953.
- Mitscherlich, G. und Wittich, W.: Düngungsversuche in älteren Beständen Badens. Allg. Forst- und Jagdzeitung, 129, 169–190, 1958.
- Seibt, G. und Wittich, W.: Ergebnisse langfristiger Düngungsversuche im Gebiet des nordwestdeutschen Diluviums und ihre Folgerungen für die Praxis. Schr.reihe der Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. Mitt. d. Nieders. F. Versuchsanst., 27/28, 1965.
- Schmidt, A.: Die Versuchsflächenbewertung mit elektronischen Rechenanlagen. Vortrag bei der Tagung der Sektion Ertragskunde des Deutsch. Verbandes F. Forsch.anst. in Gießen, 1965.
- Schmidt, A.: Gedanken zur elektronischen Auswertung von Versuchsflächenaufnahmen. Forstw. Cbl., 85, 178–188, 1966.
- Zöttl, H. und Kennel, R.: Die Wirkung von Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung in Kiefernbeständen. Forstw. Cbl., 81, 65–91, 1962.
- Zöttl, H. und Kennel, R.: Ernährungszustand und Wachstum von Fichten-Altbeständen nach Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung. Forstw. Cbl., 82, 76–100, 1963.

## Die Temperaturabhängigkeit der Photosynthese

Von W. KOCH

Die Temperaturabhängigkeit der Photosynthese umfaßt zwei Fragen. Die erste davon betrifft die allgemeine Form der Temperaturkurven sowie deren Abhängigkeit von den äußeren Faktoren. Die zweite Frage lautet: Gibt es eine Anpassung der Temperaturabhängigkeit an die so außerordentlich verschiedenen Temperaturverhältnisse der Pflanzenstandorte, die von den polaren Regionen bis zu den Tropen reichen? Es ist dies mit anderen Worten die Frage nach den spezifischen Unterschieden der Temperaturabhängigkeit von Art zu Art und von Pflanze zu Pflanze.

Beide Fragen sind von besonderer Bedeutung für das Verständnis der Fähigkeit unserer Waldbäume, bestimmte Standorte zu besiedeln.

Zur Erläuterung der allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der Temperaturabhängigkeit wähle ich ein Beispiel aus der klassischen Arbeit von PISEX (1959) über die Temperaturabhängigkeit der Nettoassimilation der Fichte (Abb. 1).

Die Nettoassimilation ist dargestellt als CO<sub>2</sub>-Aufnahme in mg CO<sub>2</sub> je g Trockengewicht und Stunde und aufgetragen gegen die Temperatur.

Wir können folgende allgemeingültige Feststellung machen:

1. Es sind Optimum-Kurven, also vom gleichen Kurventyp wie die Abhängigkeit der Photosynthese von der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Unterschied zu Kurven der Lichtabhängigkeit.
2. Es treten charakteristische Kardinalwerte auf:
  - a) das Optimum: die Temperaturkurve erreicht ihren maximalen Wert. Es kann sehr scharf ausgeprägt sein, aber auch einen weiten Temperaturbereich umfassen.
  - b) die beiden Kompensationspunkte: ein oberer bei der Maximaltemperatur und ein unterer bei der Minimaltemperatur, bei jenen Temperaturen, wo die Nettoassimilation Null wird. Nur in jenem Temperaturbereich, der durch die Kompensationspunkte festgelegt wird, kann die Pflanze mit Gewinn assimilieren.

7966

Forstwissenschaftliche  
Hochschultagung  
in München  
1966

---

veranstaltet von der Staatswirtschaftlichen Fakultät  
der Universität München und der Forstlichen Forschungs-  
anstalt München

(36. Heft der Mitteilungen  
aus der Staatsforstverwaltung Bayerns)

München 1967

1407

## Einführung

In den Tagen vom 26. bis 29. Oktober 1966 veranstaltete die Staatswirtschaftliche Fakultät der Universität München zusammen mit der Forstlichen Forschungsanstalt München eine Forstwissenschaftliche Hochschultagung an der Universität.

Nach der Begrüßung durch den Prodekan der Staatswirtschaftlichen Fakultät, Professor Dr. Ernst ROHMEDEK, sprach der Staatsminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Dr. Dr. Alois HUNDHAMMER, zu der Versammlung. Im Anschluß daran promovierte der Prodekan der Staatswirtschaftlichen Fakultät den ordentlichen Professor für Waldbau an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (den derzeitigen Rektor dieser Hochschule), Dr. Hans LEIBUNDGUT, zum Doktor oecologiae publicae honoris causa. Die Fakultät ehrt damit seine großen Verdienste um die Grundlagenforschung und ihre Anwendung in der Waldbau-Wissenschaft; sie würdigt seine Mitwirkung bei der fortschrittlichen Gestaltung des Forstwesens in der Schweiz und in anderen Ländern; sie anerkennt dankbar seine Bemühungen um die internationale Zusammenarbeit in Forstwissenschaft und Forstwirtschaft und insbesondere um enge Verbindungen zwischen den forstlichen Lehrstühlen und Instituten der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich und der Universität München.

Am Ende der Tagung überbrachte Forstpräsident FRANK im Auftrag von Ministerialdirektor Dr. WOELFLE, dem Leiter der Bayerischen Ministerialforstabteilung, den Dank der Verwaltung für die Durchführung der Forstwissenschaftlichen Hochschultagung. Im Namen der Besucher, vor allem der forstlichen Praktiker, dankte abschließend der 1. Vorsitzende des Bayerischen Forstvereins, Regierungsförstdirektor Dr. v. UNOLD, allen, die zum Gelingen der Veranstaltung beigetragen haben.

## Inhaltsverzeichnis

		Seite
LEIBUNDGUT	Über die Waldforschung	7
ASSMANN -	Die Schätzung jetziger und künftiger Ertragsleistungen	18 <del>←</del>
BACKMUND	Kennzahlen für den Grad der Erschließung von Forstbetrieben durch autofahrbare Wege	40
BAUMGARTNER u. a.	Waldbrände in Bayern 1950 bis 1959	57
BICHLMAIER	Voraussetzungen für die Beurteilung des Waldes als Element der Raumordnung	80
ERNST	Stellung und Aufgaben der jagdkundlichen Forschung im Rahmen einer forstlichen Forschungsanstalt	88
HUBER	Neues von Radiocarbon- und Jahrringdatierung	97
JUNG -	Hemmstoffe aus höheren Pflanzen im Pflanzenschutz	105 <del>←</del>
KENNEL -	Ertragskundliche Ergebnisse neuer Dauerdüngungsversuche	113 <del>←</del>
KLEMMER	Wetter und Dickenwachstum im Fichtenbaumbestand	*
KOCH	Die Temperaturabhängigkeit der Photosynthese	129
KÖSTLER	Die Begriffe »klassisch« und »modern« in einer weltweiten Betrachtung der waldbaulichen Möglichkeiten	136
KREUTZER -	Ernährungszustand und Ertragsbildung in neuen Dauerdüngungsversuchen zu Kiefer und Fichte	153 <del>←</del>
KROTH -	Die betriebswirtschaftlich optimale Bestockungsdichte	175 <del>←</del>
LAATSCH	Beziehungen zwischen Standort, Ernährungszustand und Wuchsleistung von Kiefernaufforstungen im Mittelmeergebiet	185
MÖLLER	Gibt es kosmische Einflüsse auf das Wetter?	199
VON PECHMANN	Ergebnisse neuerer Untersuchungen über Lagerschäden an Nadelrundholz	211