

# DÜNGUNGSVERSUCH FICHTE 337 PFALZGRAFENWEILER

## Waldwachstumskundliche Ergebnisse und Schlussfolgerungen

J. Klädtke, FVA Baden-Württemberg, Abt. Waldwachstum

Herrn LFDire. a.D. Dr. F.H. Evers zum 75. Geburtstag gewidmet

**Schlagwörter:** Fichte; *Picea abies*, Düngung; Auslesedurchforstung; Z-Baum; Z-Baum-Normen  
**Keywords:** Norway spruce; fertilisation; selective thinning; future crop trees; growth norms

### 1 EINLEITUNG

In den 1950er und 60er Jahren wurden von der damaligen Württembergischen Forstlichen Versuchsanstalt eine Reihe von Düngerversuchen mit Schwerpunkten im Nordschwarzwald und in Oberschwaben angelegt, mit denen die Möglichkeit einer Zuwachssteigerung von Beständen auf Stickstoffmangelstandorten erprobt werden sollte. Auch wenn Düngungen heute vor allem der Melioration von Waldböden und weniger der Steigerung der Volumenproduktion dienen, lassen sich aus diesen alten Versuchen doch wertvolle waldwachstumskundliche Erkenntnisse gewinnen.

Eine der bekanntesten, weil am besten untersuchten Anlagen dieser Reihe stellt der Versuch Fi 337 (früher: DV 58) im Forstamt Pfalzgrafenweiler dar, zu dem zahlreiche Publikationen erschienen sind, so z.B. von HAUSSER (1961), Hausser und Wittich (1969), Hausser et al. (1971), 1969, 1971), EVERS (1990), SPIECKER (1991) und SPIECKER et al. (1992). In enger Zusammenarbeit mit der Abteilung Bodenkunde der FVA Baden-Württemberg wurde dieser Versuch einer erneuten Auswertung unterzogen.

### 2 MATERIAL UND METHODIK

#### 2.1 STANDORT UND BESTAND

##### Standort

Höhe ü. NN: 610 m  
Niederschläge: Jahr: 950 mm  
Mai-Sept.: 440 mm  
Temperatur: Jahr: 7,0 °C  
Mai-Sept.: 13,9 °C  
Boden: mäßig frische, schwach podsolierte  
Braunerde bzw. Podsolbraunerde

##### Bestand

Alter bei Versuchsanlage (1952): 67 Jahre  
Bonität der Felder bei Versuchsanlage:  
 $dGz_{100} = 9-10,6 \text{ Vfm} \times \text{ha}^{-1} \times \text{J}^{-1}$  nach  
Fi-ET WIEDEMANN (1936/42), m.Df.  
Behandlung: vor Versuchsanlage nur  
schwach, danach mäßig durchforstet  
Tannen-Vorbau in den 60er Jahren

#### 2.2 DÜNGUNGSVARIANTEN

Tab. 1 gibt einen Überblick über die applizierten Düngemittel und -mengen:

#### 2.3 WALDWACHSTUMSKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN

##### 2.3.1 Datenmaterial

Für die waldwachstumskundlichen Auswertungen wurden zum einen die Daten der periodischen Versuchsflächenaufnahmen seit 1952 herangezogen. Allerdings waren diese Daten nur eingeschränkt verwendbar, da die Felder in den 60er Jahren mit Tanne vorgebaut und in diesem Zusammenhang unterschiedlich behandelt worden waren. Außerdem bestanden Unterschiede in der Ausgangsbonität (siehe Tab. 2, Spalte 6).

Die Untersuchungen stützen sich deshalb im Wesentlichen auf Jahrring- und Höhenanalysen. Hierzu wurden in den Jahren 1994 und 1997 an jeweils etwa 10 Bäumen pro Feld Stammscheiben in 1,3 m, 11,5 und 21,7 m Höhe entnommen und die Triebhöhen von der Spitze der Bäume bis hinunter auf etwa 21,7 m gemessen. Von Feld 1, das aufgrund von Bonitätsunterschieden zunächst aus der Auswertung herausgelassen werden sollte, standen Jahrringanalysen von nur 5 sowie Höhenanalysen von nur 4 Bäumen zur Verfügung. Entsprechend größer ist die Streuung dieser Werte, so dass die Aussagekraft der dieses Feld betreffenden Ergebnisse einer gewissen Einschränkung unterworfen ist.

---

Die nicht gedüngten Parzellen 3a und 3b wurden zum Nullfeld 3 zusammengefasst.

### 2.3.2 Auswertungsmethodik

Der Vergleich des mittleren Radialzuwachses ergab zwar eine sehr hohe Gleichläufigkeit der jährlichen Zuwachswerte der einzelnen Felder, aber ein deutlich höheres Niveau der gedüngten Felder gegenüber dem Nullfeld bereits *vor* der Düngung. Die Unterschiede waren mit Ausnahme von Feld 2 statistisch gesichert ( $p = 0,05$ ). Um eine Vergleichbarkeit des Zuwachsverlaufes der einzelnen Felder zu erreichen, wurden für jedes Feld die jährlichen Zuwachswerte zunächst in Relation zum mittleren Radialzuwachs im Zeitraum 1910-1952 gesetzt. Hierdurch sollten die Unterschiede im Ausgangsniveau beseitigt werden. In einem zweiten Schritt wurden die Relativwerte der gedüngten Felder jahresweise in Prozent des Nullfeldes berechnet, wodurch Witterung und Alterstrend weitgehend eliminiert werden (ABETZ et al. 1964). Schließlich wurde durch Multiplikation dieser Prozentwerte mit dem jährlichen Radialzuwachs des Nullfeldes der Zuwachsverlauf der gedüngten Felder in bonitätsbereinigte Absolutwerte umgerechnet (Abb. 1).

Auch der Höhenzuwachs wurde diesen 3 Berechnungsschritten unterzogen. Zur Bonitätsbereinigung (s.o.) stand hierfür allerdings nur der Zeitraum von 1946 bis 1952 zur Verfügung, weil das Baumalter in 21,7 m Höhe, der Scheibe, bis zu der die Höhenanalysen durchgeführt wurden, i.d.R. nicht weiter zurück reichte.

Die korrigierten Absolutwerte für Radial- bzw. Höhenzuwachs bilden die Grundlage zur Berechnung der Durchmesser- Grundflächen- und Volumenwerte für den Zeitraum 1952 (Versuchsbeginn) bis 1994.

Lässt man die Höhen- und Durchmesserentwicklung im Jahr vor der Düngung (1952) bei Null beginnen, liegen die Werte zunächst sehr niedrig. Gleiche *absolute* Zuwachsdifferenzen zwischen den Feldern führen deshalb anfänglich zu hohen *prozentualen* Unterschieden, die mit der Zunahme von Durchmesser bzw. Höhe dann immer kleiner werden. Zur Vermeidung dieser Verzerrung wurde deshalb für alle Felder der Durchmesser bzw. die Höhe des Grundflächenmittelstammes des Nullfeldes im Jahr 1952 als realistischer Ausgangswert verwendet (vgl. Tab. 2, Feld 3, Sp. 4 und 5), und die feldspezifischen Zuwachswerte hinzuaddiert.

Die Berechnung der Volumenentwicklung erfolgte einheitlich mit einer Formzahl von 0,5.

## 3 ERGEBNISSE

### 3.1 RADIALZUWACHS

**Nullfeld:** Der Zuwachs des Nullfeldes unterliegt den bekannten witterungsbedingten Schwankungen. In Abb. 2 ist der Radialzuwachs dem Ariditätsindex<sup>1</sup> gegenübergestellt. Es ergibt sich eine Gleichläufigkeit von Witterung und Zuwachs, wie sie für diesen Versuch bereits von SPIECKER et al. (1992) beschrieben wurde. Auffallend ist der negative Zuwachstrend vor Beginn des Versuches und das extreme Zuwachstief Ende der 40er Jahre. Zeitgleich mit der Anlage des Versuches steigt der Zuwachs des ungedüngten Nullfeldes sprunghaft an und zeigt bis heute eine steigende Tendenz, unterbrochen von witterungsbedingten Zuwachsdepressionen in der Mitte der 70er und zu Beginn der 90er Jahre. Das höchste Zuwachsniveau wird gegen Ende der Beobachtungen erreicht.

#### **Düngefelder:**

Abb. 3 stellt den Radialzuwachs der gedüngten Felder in Prozent des Nullfeldes dar, wodurch Ausmaß und Dauer der Zuwachsunterschiede deutlich werden. Die zu Versuchsbeginn mit Stickstoff gedüngten Bäume der Felder 2, 4 und 5 (durchgezogene Linien) reagieren mit einem spontanen Zuwachsanstieg. Besonders stark ist dieser Anstieg bei den Feldern 4 und 5. Ab 1957 kommt es auf diesen Feldern zu einem abrupten Zuwachsrückgang, der auf Feld 5 weniger stark ausfällt als auf Feld 2 und insbesondere Feld 4. In der 2. Hälfte der 60er Jahre steigt dann auf allen 3 Feldern der Zuwachs wieder an.

Auch der Zuwachs des 1953 zunächst mit Ca, dann mit 1966 mit NP nachgedüngten Feldes 1 steigt im Jahr nach der Nachdüngung mit Stickstoff an und erreicht das Niveau des ebenfalls mit N, P und Ca gedüngten Feldes 5. Obwohl die auf Feld 1 verbrachten Mengen von Ca und P gleich und die Stickstoffgabe nur um etwa 17% niedriger waren als auf Feld 5, erreicht die Zuwachsreaktion von Feld 1 bei weitem nicht das Maximum und die zeitliche Dauer der Reaktion von Feld 5. Dies ist wahr-

<sup>1</sup> Ariditätsindex nach DE MARTONNE, berechnet als gleitendes Mittel der letzten 3 Jahre für die Monate April bis September

scheinlich auf die ab 1973 wesentlich trockeneren Witterungsbedingungen zurückzuführen. Möglicherweise führte aber die auf 3 Jahre verteilte Stickstoffausbringung auf Feld 5 auch zu einer nachhaltigeren Versorgung der Bäume als die einmalig erfolgte Stickstoffdüngung von Feld 1. Bemerkenswerterweise macht sich auch auf dem schwach gedüngten Feld 6 und dem nicht nachgedüngten Feld 4 ein Zuwachsanstieg etwa ab 1965 bemerkbar.

Infolge der trockenen Witterungssituation kommt 1973 auf allen gedüngten Feldern es zu einem simultanen Zuwachseinbruch, dem ein nochmaliger kurzfristiger Zuwachsanstieg wiederum auf *allen* gedüngten Feldern in den Jahren 1976 und 1978 folgt. Ab etwa 1980 sinkt der Zuwachs aller Düngungsvarianten unter den Zuwachs des Nullfeldes, jedoch in einem Streurahmen, der dem vor der Düngung entspricht.

### 3.2 HÖHENZUWACHS

Der Höhenzuwachs weist gegenüber dem Radialzuwachs eine deutlich größere Streubreite auf und die Zusammenhänge zwischen Düngung und Zuwachs zeichnen sich nicht so klar ab (Abb. 4). Zwar reagieren die Felder 2, 4 und 5 wiederum auf die zu Versuchsbeginn, die Felder 1 und 2 auch auf die im Jahr 1966 durchgeführte KAS-Düngung. Es treten jedoch weitere Zuwachsspitzen auf (z.B. 1963 und 1978), bei denen kein klarer Zusammenhang zu den Düngungen zu erkennen ist.

### 3.3 VOLUMENZUWACHS UND VOLUMENENTWICKLUNG

Der Verlauf des Volumenzuwachses ist dem des Radialzuwachses sehr ähnlich. Aus Platzgründen wurde deshalb auf eine Darstellung verzichtet.

Die volumenbezogene *Mehrleistung* der Düngfelder, in Abb. 5 über der Mitte der Aufnahmeperiode dargestellt, liegt in einer Größenordnung, wie sie auch in einigen älteren Arbeiten über Düngungsversuche beschrieben wurde (z.B. MITSCHERLICH und WITTICH 1958; ABETZ et al. 1964; HAUBER und WITTICH 1969).

Bei den gleich zu Versuchsbeginn mit Stickstoff gedüngten Feldern 2, 4 und 5 erreicht sie kurz nach erfolgter Düngung etwa das anderthalbfache des Nullfeldes und liegt gegen Ende zwischen 110 und 118%. Trotz der Nachdüngung mit Stickstoff im Jahr 1966 erreicht Feld 1 nur 107% der Volumenleistung des Nullfeldes. Mit 104% am geringsten fällt der Mehrzuwachs des am schwächsten gedüngten Feldes 6 aus.

Um die Plausibilität der einzelbaumweise hergeleiteten Zuwachsunterschiede zu überprüfen, wurden die für die Aufnahme 1965 berechneten Zuwachsrelationen mit den flächenbezogen hergeleiteten, bonitätsbereinigten Werten von HAUBER und WITTICH (1969) für die gleiche Aufnahme verglichen (Tab. 3).

Für die Felder 2, 4 und 5 ist die Übereinstimmung recht gut. Etwas größer sind die Abweichungen für die Felder 1 und 6, die auch die größten Abweichungen in der Ausgangsbontät gegenüber dem Nullfeld aufweisen.

## 4 DISKUSSION

### 4.1 EINFLUSS DER BESTANDESBEHANDLUNG AUF DEN ZUWACHS

In Kap. 3.1 wurde dargelegt, dass alle gedüngten Felder in den Jahren 1966, 1976 und 1978 einen Zuwachsanstieg zeigen. Da dieser auch bei den nicht nachgedüngten Felder 4 und 6 zu beobachten ist, stellt sich die Frage, ob hierfür außer der Düngung nicht noch andere wachstumsbeeinflussende Faktoren verantwortlich sind.

Neben der Düngung kommen vor allem die Witterung und der Einfluss des Standraums hierfür in Frage. Auf die Interaktionen von Zuwachs, Düngung und Witterung sind insbesondere SPIECKER (1991) sowie SPIECKER et al. (1992) bereits näher eingegangen. Im Folgenden soll nun die Auswirkung der Bestandesbehandlung näher erörtert werden.

Leider stand kein Baumverteilungsplan zur Verfügung, mit dem die genaue Standraumsituation der Analysebäume hätte zurückverfolgt werden können. Statt dessen musste auf die Durchforstungsergebnisse je Hektar zurückgegriffen werden. Abb. 6 zeigt den Verlauf des Durchforstungsquotienten  $Df_Q$ , berechnet aus dem Durchforstungsvolumen in Prozent des Volumenzuwachses der zurückliegenden Periode. Während auf dem Nullfeld bei der Aufnahme im September 1955 188% des seit 1952 erfolgten Zuwachses entnommen wurde, waren es bei den gedüngten Felder nur 95 bis 163%, im Mittel

128%. Bei den Aufnahmen 3/61, 3/66 und 9/71 liegt das Nullfeld mit einem  $Df_Q$  von 39, 25 und 58% dagegen im unteren Bereich der Kurvenschar und der Durchforstungsquotient der gedüngten Felder ist um bis zu 43% höher. Ab der Aufnahme 9/76 wurde das Nullfeld dann wieder stärker durchforstet. Die zunehmende Streuung der Kurven bei der letzten Aufnahme 3/95 erklärt sich aus dem steigenden Einfluss von Sturmwurf.

Der obere Teil von Abb. 7 zeigt den Quotienten des Radialzuwachses aus 11,5 und 1,3 m Höhe ( $i_{rQ}$ ). Je niedriger dieser Wert wird, desto stärker verlagert sich der Radialzuwachs basalwärts, desto abholziger wird der Baum. Dies ist bekanntermaßen vor allem nach einer Standraumerweiterung der Fall. Im unteren Teil ist der Ariditätsindex dargestellt.

Zwar kann der Durchforstungsanfall je ha die individuelle Standraumsituation eines Baumes nur ungenügend beschreiben, weshalb eine Gegenüberstellung von flächenbezogenem Durchforstungsquotienten und einzelbaumbezogenem  $i_{rQ}$  auch keinen straffen Zusammenhang ergeben kann. Dennoch sind charakteristische Veränderungen des  $i_r$ -Quotienten in Abhängigkeit der Durchforstungseingriffe erkennbar<sup>2</sup>.

Der  $i_{rQ}$  des Nullfeldes nimmt nach der starken Durchforstung im Jahr 1955 rasch und deutlich ab. Da dieses Feld bereits 1953 stark durchforstet worden war, ist der in Abb. 1 beschriebene, plötzlich einsetzende und starke Anstieg des Radialzuwachses ab dem Jahr 1952 wohl neben der Witterung auch auf verbesserte Standraumverhältnisse zurückzuführen.

Im Vergleich zu den gedüngten Feldern liegt der  $i_{rQ}$  des Nullfeldes zunächst in einem mittleren Bereich. Nach dem schwächeren Eingriff 1961 sinkt der Quotient dann weniger stark als bei den meisten Düngefeldern und liegt nach dem sehr schwachen Eingriff 1966 am oberen Ende der Kurvenschar. Ab Aufnahme 1976 wird das Nullfeld wieder stärker durchforstet als die Düngfelder. Mit Ausklingen der Trockenzeit gegen Ende der 70er Jahre nimmt der  $i_{rQ}$  des Nullfeldes demzufolge ab, während er bei den Düngefeldern eine steigende Tendenz zeigt.

Zwischen 1961 und 1971 wurde auf den Düngefeldern 29 bis 64% mehr an Durchforstungsmasse entnommen als auf dem Nullfeld (im Mittel 165 m<sup>3</sup> gegenüber 109 m<sup>3</sup>), so dass der  $i_{rQ}$  dieser Felder stärker sinkt. Allerdings zeigt die Durchforstung im September 1971 keine Wirkung, vielmehr ist bei allen gedüngten Feldern ein Anstieg mit einem Maximum im Jahr 1975 zu verzeichnen. Dies steht möglicherweise in Zusammenhang mit der ab 1973 beginnenden Trockenheit. Trockenstress führt zunächst zu einer Reduktion des Radialzuwachses im unteren Stammbereich, was hier bekanntermaßen sogar zu Jahrringausfällen führen kann. Im Widerspruch hierzu steht freilich der deutliche Rückgang des  $i_{rQ}$  in den Jahren 1976 und 1977, in denen die Trockenperiode ihr stärkstes Ausmaß erreicht. Der sich anschließende leichte Anstieg korrespondiert dagegen wieder mit den relativ schwächeren Durchforstungen.

Die geschilderten Zusammenhänge lassen darauf schließen, dass die beschriebenen Mehrzuwächse der Düngfelder zumindest ab der Aufnahme 1966 nicht allein auf die Düngung, sondern auch auf die Behandlung zurückzuführen sind. Dies gilt insbesondere für die Felder 4 und 6, die lediglich zu Versuchsbeginn eine Stickstoff- bzw. Calcium-Phosphat Düngung erhalten haben, aber trotzdem ab 1966 einen deutlichen Zuwachsanstieg aufweisen. Die tatsächliche Dauer der Düngewirkung wäre damit kürzer als es nach Abb. 3 anzunehmen ist. Eine Trennung von Dünge- und Behandlungseffekten ist anhand der vorhandenen Daten jedoch nicht möglich, so dass die eigentliche Dauer der Düngewirkung unbestimmt bleibt. WEETMAN et al. (1995) nennen für einen Stickstoff-Düngungsversuch in einem undurchforsteten *Pinus banksiana* Bestand eine Wirkungsdauer von 7-9 Jahren. Dies entspricht in etwa der Dauer des ersten Zuwachsgipfels des N-gedüngten Feldes 4 (Abb. 3) und den Ergebnissen von SPIECKER (1991) für die Stickstoff-Felder von Düngungsversuchen aus dem Nordschwarzwald, so dass das zweite Maximum Ende der 60er zumindest bei Feld 4 und 6 wohl vor allem behandlungsbedingt sein dürfte.

## 4.2 ERTRAGSKUNDLICHE BEWERTUNG

Wie in Kap. 3.3 vermerkt, beträgt die Mehrleistung der mit Stickstoff gedüngten Varianten nach einem Zeitraum von 42 Jahren immerhin bis zu 18%. Das ursprüngliche Ziel, nämlich die langfristige Ertragssteigerung von Fichtenbeständen auf Stickstoffmangelstandorten, wurde damit ohne Zweifel erreicht. Es stellt sich jedoch die Frage, wie diese Ertragssteigerung aus heutiger Sicht unter völlig

---

<sup>2</sup> Da für die Berechnung des  $Df_Q$ , der laufende Volumenzuwachs der Vorperiode benötigt wird, ist ein Vergleich mit dem  $i_{rQ}$  erst ab der 2. Aufnahme im Jahr 1955 möglich.

veränderten Prämissen zu beurteilen ist. Aufgrund der geringen Nachfrage nach Industrieholz und Schwachholz hat die Gesamtwuchsleistung marktbedingt stark an Bedeutung verloren. Für eine aktuelle Beurteilung ist die Wertleistung das entscheidende Kriterium, insbesondere auch im Vergleich zu einer modernen Z-Baum bezogenen Auslesedurchforstung.

#### 4.2.1 Verwendung des $d_{200}$ für die Wertberechnung

Zur Beantwortung der Frage nach den finanziellen Auswirkungen der Düngung wäre eine Bewertung des ausscheidenden Bestandes insgesamt und des bleibenden Bestandes nach der letzten Aufnahme denkbar. Allerdings ergibt sich hieraus nur eine Wertreihung der Düngungsvarianten, der Vergleich mit einer Auslesedurchforstung wäre nicht möglich.

Deshalb wurde die Wertberechnung zunächst nicht für den Gesamtbestand, sondern für die Oberhöhenbäume ( $d_{200}$ ) durchgeführt, aus denen bei Fichte die Z-Bäume im Wesentlichen ausgewählt werden.

Da der  $d_{200}$  der Felder zu Versuchsbeginn behandlungs- und bonitätsbedingt nicht identisch war, wurde der  $d_{200}$  der gedüngten Felder zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme gleich dem des Nullfeldes (= 25,4 cm) gesetzt. Auf diesen einheitlichen Startwert wurden sodann die feldspezifische  $d_{200}$ -Zuwächse hinzuaddiert. Die Bonitätsunterschiede sind hierdurch zwar nicht eliminiert, da sie sich auch im weiteren Zuwachsverlauf niederschlagen, aber zumindest reduziert.

#### 4.2.2 Vergleich mit Z-Baum-Normen

Da die Versuchsfläche nie auslesedurchforstet worden waren, lässt sich ein direkter Vergleich mit den Auswirkungen einer modernen Bestandesbehandlung nicht vornehmen.

Dies wird jedoch möglich durch die Verwendung einer sogenannten Z-Baum-Norm, die die bonitätsspezifische Durchmesser- und Höhenentwicklung eines Z-Baums im Hinblick auf ein definiertes Produktionsziel beschreibt (KLÄDTKE 1993; ABETZ und KLÄDTKE 1997). Die Höhenentwicklung ist bekanntermaßen vor allem standorts- und weniger behandlungsabhängig (ASSMANN 1961; BRYNDUM 1980; STERBA 1983; KENK 1990). Deshalb wurde sie herkömmlichen Ertragstafeln entnommen, im Fall der Z-Baum-Norm für Fichte den Ertragstafeln WIEDEMANN (1936/42), m.Df.).

Die Durchmesserentwicklung dagegen ist weitgehend standraumabhängig (WIEDEMANN 1936/42; SCHÖBER 1979; KENK 1990) und lässt sich über die Durchforstung aufgrund konkreter Vorstellungen hinsichtlich Stabilität (h/d-Wert) und Produktionsziel (Durchmesser, Jahrringbreite) steuern.

Nach der Z-Baum-Norm sollte der Bruthöhendurchmesser im Alter von 100 Jahren bei dGz 9 knapp 50 cm, bei dGz 15 knapp 70 cm betragen. Vergleiche mit Auslesedurchforstungsversuchen belegen, dass die Durchmesserentwicklung der Normen durchaus realistisch ist und von Z-Bäumen erreicht werden kann, wenn sie entsprechend freigestellt werden (KLÄDTKE und ABETZ 2001).

#### 4.2.3 Einfluss der Bestandesbehandlung auf die Durchmesserentwicklung der Oberhöhenbäume

Die Sollentwicklung nach der Z-Baum-Norm ergibt für die Versuchsfläche Fi 337 folgendes Bild (Abb. 8), gestrichelte Linien): Nach der Z-Baum-Norm ergäbe sich im Alter von 100 Jahren ein Soll-durchmesser von 55 cm. Der tatsächliche Durchmesser der Oberhöhenbäume (durchgezogene Linien) liegt dagegen lediglich bei etwa 40 cm, so dass eine Differenz von 15, am Ende der Beobachtungen von bis zu 20 cm zu konstatieren ist. Demgegenüber hatte die Düngung selbst einen Mehrzuwachs von maximal 5 cm bewirkt.

Da die Differenz zwischen Ist- und Normdurchmesser bereits zu Versuchsbeginn mehr als 12 cm beträgt, ist die Ursache in der Vorbehandlung der Bestände zu sehen. Belegt wird dies dadurch, dass die 200 dicksten Bäume des Bestandes zu diesem Zeitpunkt bei einer Oberhöhe von ca. 25 m immer noch h/d-Werte zwischen 92 und 98, im Mittel von 95 aufwiesen. Entsprechend der Z-Baum Norm hätte der h/d-Wert etwa 65 betragen sollen.

Der deutlich stärkere Einfluss der Durchforstung im Vergleich zu einer Düngung auf die Durchmesser- und Sortenentwicklung geht auch aus einer neueren Arbeit von YANG (1998) hervor. In einem kombinierten Düngungs- und Durchforstungsversuch in *Pinus contorta* (Dougl.) stellte dieser nach 10 jähriger Beobachtungsdauer eine Überlegenheit der durchforsteten Düngungspartellen gegenüber den undurchforsteten im Durchmesserwachstum von 60 bis 70% fest, während die Düngung zu einer Steigerung von maximal 38% führte.

Dieses Ergebnis trägt auch zur Klärung der Frage bei, ob und unter welchen Bedingungen Durchforstungen in Fichtenbeständen ohne negative Folgen für Produktionsrisiko und Wertentwicklung aufgeschoben werden können. Dies kann nur in ausreichend und frühzeitig differenzierten Beständen der Fall sein (WEIHS et. al. 1999). In der vorliegenden Untersuchung zeigen die extrem hohen h/d-Werte der 200 dicksten Bäume des Bestandes und die beschriebenen Wertverluste, dass unter *homo-genen* Verhältnissen, in denen es nicht bereits frühzeitig zu einer stärkeren Differenzierung infolge Pflanzausfälle, Frost, Käfer, Schneebruch etc. gekommen ist, die Entwicklung der Oberhöhenbäume und damit Wertleistung und Risiko ganz entscheidend von der Behandlung abhängen.

#### 4.2.4 Finanzielle Bewertung der Zuwachsdifferenzen

Mit dem Programm „Holzernte“ der Abt. Biometrie der FVA Baden-Württemberg wurde für den tatsächlichen und den nach der Z-Baum-Norm erreichbaren Mittelstamm der 200 Oberhöhenbäume eine Wertberechnung durchgeführt (Abb. 9).

Betrachtet man zunächst die dem tatsächlichen Durchmesser der 200 dicksten Bäume entsprechenden Nettoerträge (ausgefüllte Balken), ergibt sich für Feld 5, das am meisten von der Düngung profitiert hat, und dem Nullfeld ein Mehrerlös von immerhin ca. 35 € pro Baum bzw. von 7000 €/ha.

Die durch eine Z-Baum-orientierte Behandlung erreichbaren Erlöse übersteigen die tatsächlichen dagegen um mehr als das Doppelte (schraffierte Balken). Berechnet man für die Felder 3 (Nullfeld) und 5 (Feld mit dem stärksten Düngeeffekt) den Nettoertrag für die bisher erfolgte Gesamtwuchsleistung (Gesamtvolumen der Durchforstungen und des bleibenden Bestandes der letzten Aufnahme), ergibt sich für Feld 3 ein Betrag von 32000 €/ha bzw. 38000 €/ha für Feld 5. Die *Gesamtwuchsleistung* der beiden Felder liegt damit wertmäßig immer noch um 14% (Feld 5) bzw. 20% unter dem Nettoertrag der 200 stärksten Bäume je ha nach der Modellrechnung Z-Baum-Norm, obwohl hierin der Wert sonstiger am Ende noch vorhandener Bäume und der Vornutzungen nicht enthalten ist. Nicht berücksichtigt ist bei diesem Modellvergleich das Produktionsrisiko auf den Düngefeldern infolge extrem hoher h/d-Werte.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Die im Wesentlichen auf Jahrring- und Höhenanalysen beruhende Auswertung eines über 40 Jahren laufenden Düngungsversuches ergab deutliche Zuwachsreaktionen in Abhängigkeit der verabreichten Düngergaben. Das mit Stickstoff, Calcium und Phosphat gedüngte Feld weist eine Mehrleistung an Volumen von 18% auf. Es folgt die Stickstoff-Calcium-Düngung (+17%), die reine Stickstoffdüngung (+10%), eine Calciumdüngungsvariante mit späterer Stickstoff-Nachdüngung (+7%) und schließlich die Phosphor-Calcium-Düngung (+4%).

Ein erhebliches Problem bei der Auswertung war, dass die einzelnen Felder in den 1960er Jahren z.T. mit Tanne vorgebaut und unterschiedlich behandelt worden waren. Der Vergleich des Radialzuwachses in verschiedenen Schaft Höhen zeigt, dass die beobachteten Zuwachsunterschiede tatsächlich nicht nur auf die Düngung, sondern auch auf Unterschiede in der Bestandesbehandlung zurückzuführen sind. Trotzdem kann kein Zweifel darüber bestehen, dass das ursprüngliche Ziel, die langfristige Ertragssteigerung von Fichtenbeständen auf Standorten mit mangelnder Stickstoffversorgung erreicht wurde.

Aus heutiger Sicht sind diese Ertragssteigerungen aufgrund veränderter Prämissen anders zu bewerten, da infolge der geringen Nachfrage nach Industrie- und Schwachholz die Gesamtwuchsleistung marktbedingt stark an Bedeutung verloren hat. Für eine aktuelle Beurteilung ist die Wertleistung das entscheidende Kriterium und der Vergleich mit modernen Behandlungsstrategien.

Durch die Verwendung von Z-Baum-Normen ließ sich die Durchmesser- und Wertentwicklung, die durch eine moderne Bestandesbehandlung erreichbar gewesen wäre, abschätzen und mit der tatsächlichen Entwicklung der 200 stärksten Bäume der Felder vergleichen. Danach ergibt sich, dass der Durchmesser der 200 dicksten Bäume um 15-20 cm unter dem waldbaulich Möglichen liegt und dass nach heutigen Bewertungsmaßstäben eine Auslesedurchforstung eine wesentlich höhere Wertsteigerung ermöglicht als eine Düngung (Abb.8). So beträgt der Wertunterschied des Kollektivs der 200 stärksten Bäume zwischen dem ungedüngten Feld und dem Feld mit dem höchsten düngedingten Mehrzuwachs ca. 7000 €/ha. Eine Auslesedurchforstung hätte dagegen einen Mehrertrag von bis zu 26000 € pro ha erbracht (Abb. 9). Selbst wenn man das gesamte bisher produzierte Bestandesvolumen (die Gesamtwuchsleistung) in die Wertberechnung der Düngfelder mit einbezieht, liegt dieser Betrag immer noch um 15-20% unter der möglichen Wertleistung von 200 Z-Bäumen.

Der Versuch zeigt nicht zuletzt, dass bei homogenen Bestandesstrukturen die Bestandesbehandlung einen bedeutenden Einfluss auch auf die Entwicklung der vorherrschenden Bäume hat und Durchforstungen daher nicht ohne negative Folgen für Wertentwicklung und Risiko aufgeschoben werden können. Bei der Anlage des Versuchs im Alter von 67 Jahren und einer Oberhöhe von etwa 25 m lag der h/d-Wert der 200 dicksten Bäume der Felder zwischen 92 und 98, was eine extreme Labilität während des bisherigen Bestandeslebens bedeutet. Aus Gründen der Produktionssicherheit und der Wertentwicklung sehen die Z-Baum-Normen für diese Oberhöhe einen h/d-Wert von 65 vor. Wie durch entsprechende Auslesedurchforstungsversuche belegt ist, ist dies auch ohne weiteres zu erreichen.

Nach dieser Untersuchung wird auch offensichtlich, dass auch die Entwicklung der Oberhöhenbäume ganz entscheidend von der Behandlung abhängt, vor allem in homogenen Beständen, in denen es nicht bereits frühzeitig zu einer stärkeren Differenzierung infolge Pflanzausfälle, Frost, Käfer, Schneebruch etc. gekommen ist.

# THINNING EXPERIMENT NORWAY SPRUCE 337, PFALZGRAFENWEILER

## Silvicultural Results and Conclusions

### SUMMARY

Subject of the paper is the analysis of a fertilization trial, located in a 110 year old Norway spruce stand in the northern part of the Black Forest in Southwest Germany. 42 years after fertilization, the periodic volume increment of plot n°5 fertilized with N, Ca, and P turned out to be superior by 18%, compared to the control plot. Plot 2 (N-fertilization and liming) was superior by 17%, plot 4 (pure N-fertilization) by 10%, plot 1 (liming followed by a later N-fertilization) by 7%. Plot 6, fertilized with P and Ca only, showed a not significant superiority in volume increment of only 4% (fig. 5).

Although the proportion and the order of the growth responses observed are in accordance with results gained from other thinning experiments, it has to be considered that the fertilization effects were partly overlapped by the silvicultural management. In the early sixties, the plots were underplanted with fir and, in this context, thinned differently (fig. 6). The effects of fertilization and silviculture could be distinguished by comparing the radial increment on stem disks taken from 1.3 and 11.5 m tree height. As a reaction on thinnings, the ratio of the radial increment in 11.5 and 1.3 m decreased (and therefore the taper, too), revealing that growth responses were not only due to fertilization, but also due to thinning (fig. 7). Nevertheless it is out of question that especially fertilization with nitrogen in combination with liming has long-term positive effects on the growth of spruce stands on sites with low nitrogen supply.

However, under today's market conditions, the benefits of fertilization for total volume growth have to be assessed differently, since total volume production has mostly lost its importance due to the low demand for industrial wood. Instead, value production is the decisive criterion. Therefore, the monetary effects of fertilization were compared to the effects modern thinning strategies would have had, aiming at the maximization of value production. For this purpose, growth norms describing the optimum tree growth in terms of value production were applied. The norms were derived from heavily and selectively thinned sample plots. Comparison of the growth of the 200 dominant trees of each plot with these norms revealed that the diameter of the 200 thickest trees was 15-20 cm below the optimum (fig. 8). The monetary difference between the control plot and the plot having the best fertilization effect was about 7000 €/ha (fig. 9). If the stand had been treated according to the principles of a modern and crop tree oriented thinning, the monetary gain would amount to 26.000 €/ha.

From the results of the experiment, also conclusions could be drawn on the effects of thinnings on the development of dominant trees. At the beginning of the experiment at the age of 67 and 25 m top height, the h/d-ratio of the 200 thickest trees ranged between 92 and 98. This is a clear indication for an extreme lability of the stand as a consequence of the insufficient thinning regime in the past. According to the norm, h/d-ratios at this top height should range somewhere between 60 and 70. This underlines the necessity of thinnings also for the development of the dominant trees, at least in homogenous stands.

## 6 LITERATUR

- ABETZ, P.; MERKEL O.; SCHAIRER E. (1964): Düngungsversuche in Fichtenbeständen Südbadens. AFJZ 135, 247-262.
- ABETZ, P.; KLÄDTKE, J. (1997): Bewirtschaftung von Mischbeständen beliebiger Struktur und Zielsetzung. AFZ 168, 2-4.
- ASSMANN, E. (1961): Waldertragskunde. Bayr. Landw. Verlag München, 491 S.
- BRYNDUM, H. (1980): Bøgehugtforsøget i Totterup Skov (der Buchen-Durchforstungsversuch im Waldort Totterup). Særtryk af det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark (38), 76 S.
- EVERS, F.H. (1990): Ergebnisse langfristiger Streufall-Untersuchungen in einem alten Düngungsversuch des Buntsandstein-Schwarzwaldes. Mitt. d. Vereins f. Forstl. Standortkunde u. Forstpflanzenzüchtung (35), 67-77.
- HAUSSER, K. (1961): Ergebnisse von Düngungs-Versuchen zu 50 bis 70jährigen Fichtenbeständen auf oberem Buntsandstein des Württ. Schwarzwaldes. AFJZ 132, 269-291.
- HAUSSER, K.; WITTICH, W. (1969): Ergebnisse eines Düngungs-Versuchs zu 66jährigen Fichten auf einem typischen Standort des oberen Buntsandsteins im Württ. Schwarzwald. AFJZ 140, 25-34, 49-62, 88-99.
- HAUSSER, K.; BILGER, W.; EVERS, F.H.; WERNER, H., (1971): Düngungsversuche zu 45- bis 90-jährigen Fichten-Tannen-Beständen auf oberem und mittlerem Buntsandstein des Württ. Schwarzwaldes. AFJZ 142, 1-11, 69-85.
- KENK, G. (1990): Fichtenbestände aus Weitverbänden, Entwicklung und Folgerungen. Forstw. Cbl. 109, 86-100.
- KLÄDTKE, J. (1993): Konstruktion einer Z-Baum-Ertragstafel am Beispiel der Fichte. Mitteilungen der FVA Baden-Württemberg, Heft 173, 122 S.
- KLÄDTKE, J.; ABETZ, P. (2001): Z-Baum-Normen für die Hauptbaumarten Südwest-Deutschlands. Überprüfung anhand von Versuchsflächendaten und Beispiele für die Anwendung in Versuchswesen und Forsteinrichtung. AFJZ 172 (4), 67-74.
- MITSCHERLICH, G.; WITTICH, W. (1958): Düngungsversuche in älteren Beständen Badens. AFJZ 129, 169-190.
- SCHOBER, R. (1979): Maßen- Sorten- und Wertertrag der Fichte bei verschiedener Durchforstung. AFJZ 150, 129-152, 174-183.
- SPIECKER H. (1991): Liming, nitrogen and phosphorus fertilization and the annual volume increment of Norway spruce stands on long-term permanent plots in Southwestern Germany. Fertilizer Research 27, 87-93.
- SPIECKER, H.; HILDEBRAND, E. E.; EVERS, F. H. (1992): Ernährung und Zuwachs von Fichten in einem langfristig beobachteten Düngungsversuch im Buntsandstein- Schwarzwald. Forst- u. Holz 47 (7), 181-185.
- STERBA, H. (1983): Single stem models from inventory data with temporary plots. Mittl. der Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien 147, 87-101.
- WEETMAN, G.F.; DALLAIRE, L.C.; FOURNIER R. (1995): Long-term effects of repeated N fertilization and straw application in a jack-pine forest. 1. Twenty-two-year growth response. Can. J. For. Res. 25, 1978-1983.
- WEIHS, U.; WILHELM, G.J.; ROOS, R. (1999): Wie sich unbehandelte Fichtenbestände aus Naturverjüngung entwickeln. AFZ 54, 4, 172-175.
- WIEDEMANN, E. (1936/42): Die Fichte, Teil 2. Mitteilungen aus Forstwirtschaft u. Forstwissenschaft, 103-248.
- YANG, C. (1998): Foliage and stand growth responses of semimature lodgepole pine to thinning and fertilization. Can. J. For. Res. 28, 1794-1804.

## 7 TABELLEN UND ABBILDUNGEN

Feld	Düngezeitpunkt			
	5/53	7/54	6/55	3 u. 5/66
1	2,0 Ca			1,0 P 1,0 KAS
2	2,0 Ca 0,4 KAS	0,4 KAS	0,4 KAS	0,5 KAS
3	Nullfeld			
4	0,4 KAS	0,4 KAS	0,4 KAS	
5	2,0 Ca 1,0 P 0,4 KAS	0,4 KAS	0,4 KAS	
6	2,0 Ca 1,0 P			
Ca: kohlenaurer Kalk mit 80-95% $\text{CaCO}_3$ , bis zu 15% $\text{MgCO}_3$ P: Thomasphosphat mit 15% zitr. lösl. $\text{P}_2\text{O}_5$ , 45% CaO, Spurenelemente KAS: Kalkammonsalpeter mit 21% N, 40% $\text{CaCO}_3$				

Tab. 1: Übersicht über Zeitpunkt, Zusammensetzung und Menge der Düngergaben

Tab. 1: Overview about date, amount (t/ha), and compound of the fertilisers applied

Feld	$d_{\text{Ao.R.}}$ [cm]	$h_A$ [m]	$d_{\text{gm.R.}}$ [cm]	$h_g$ [m]	$h_{100}$ [m]	$dGz_{100}$ [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> ]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	23,4	23,2	21,2	23,0	26,1	10,6
2	20,2	22,3	19,8	21,9	25,1	9,9
3	19,0	22,2	19,2	22,0	24,4	9,4
4	20,1	21,8	19,3	22,3	25,8	10,4
5	19,5	22,6	18,1	21,2	23,8	9,0
6	20,4	23,4	20,4	23,2	25,9	10,5

Tab. 2: Kennwerte der Analyseebäume (Sp. 2 u.3) und des Bestandes (Sp. 4-6) im Jahr 1952 bei einem Alter von 67 Jahren

Tab. 2: Data of the analysed trees (col. 2 u.3) and the stand (col. 4-6) in 1952 at the age of 67 years

	<b>Feld 1</b> (Ca [NP]) <sup>**</sup>	<b>Feld 2</b> (NCa [N]) <sup>**</sup>	<b>Feld 3</b>	<b>Feld 4</b> (N)	<b>Feld 5</b> (NPCa)	<b>Feld 6</b> (PCa)
Jahringanalysen	107	131	100	128	139	106
Hektarwerte <sup>*)</sup>	100	132	100	133	141	113

<sup>\*)</sup> nach HAUSER und WITTICH (1969)

<sup>\*\*</sup>) eckig eingeklammerte Düngemittel wurden erst 1966 verabreicht

---

*Tab. 3: Vergleich der einzelbaumweisen hergeleiteten Zuwachsunterschiede im Jahr 1965 mit den flächenbezogenen und bonitätsbereinigten Berechnungen von HAUSER und WITTICH (1969). Für die Felder 2, 4 und 5 ist die Übereinstimmung recht gut. Etwas größer sind die Abweichungen für die Felder 1 und 6, die auch die größten Abweichungen in der Ausgangsbonität gegenüber dem Nullfeld aufweisen*

*Tab. 3: Comparison of the treewise calculated relationships of volume increment with results gained from stand data per ha from 1965 acc. to the calculation of HAUSER and WITTICH (1969). The results are in the same range and of the same order as the findings of other investigations of fertiliser experiments and correspond also with the interim evaluation of this experiment by HAUSER and WITTICH*

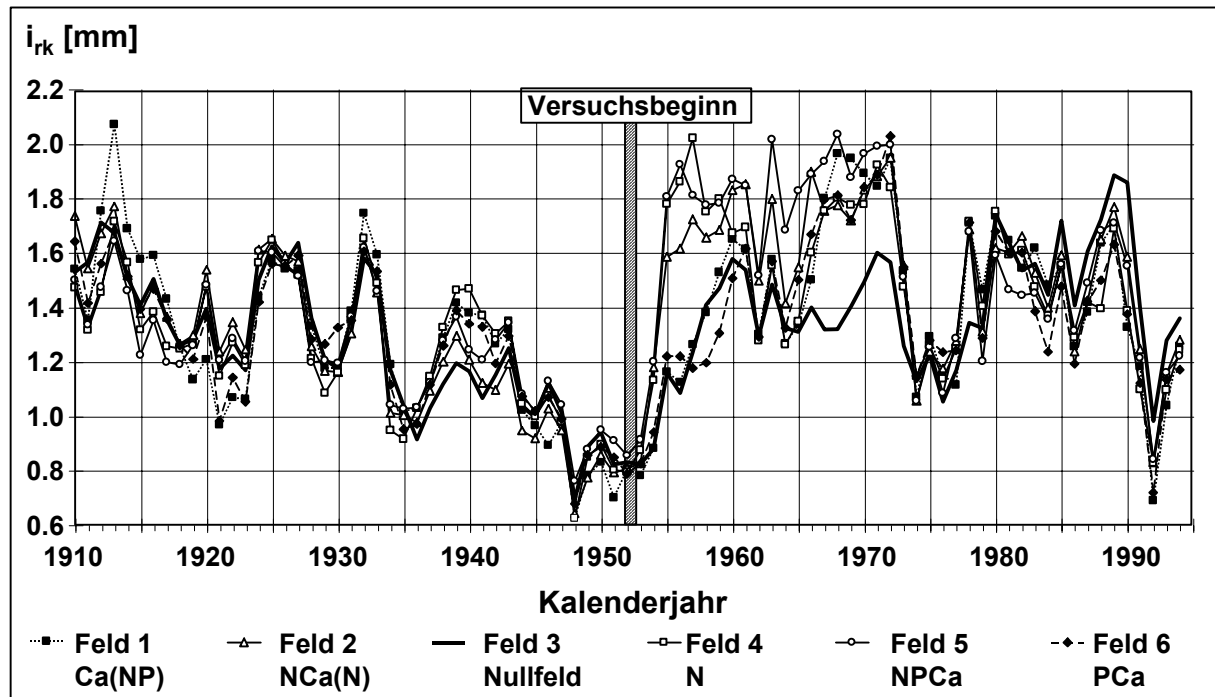


Abb. 1: Korrigierter jährlicher Radialzuwachs

Durch die Korrektur konnten die vor Versuchsbeginn bestehenden Unterschiede im Radialzuwachs der einzelnen Felder beseitigt werden. Die Wirkung der Düngung tritt klar zutage.

Fig. 1: Annual radial increment (adjusted)

Due to the adjustment, the differences of the radial increment of the plots before the beginning of the experiment could be equalised. The fertilisation effects get clearly visible.

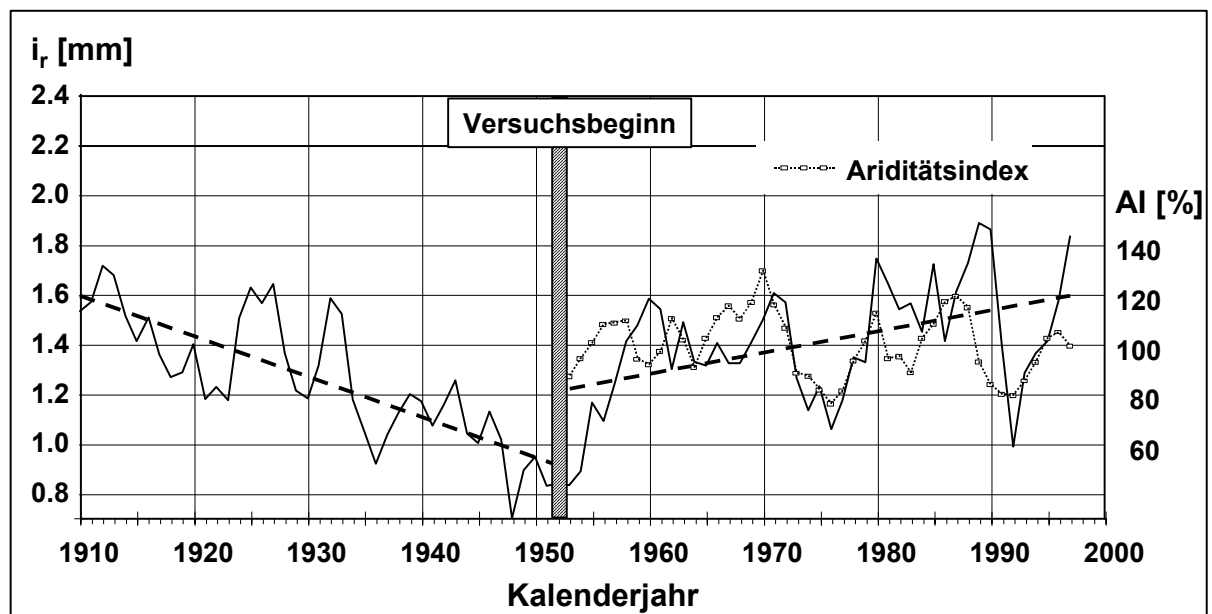


Abb. 2: Radialentwicklung des Nullfeldes und Ariditätsindex

Zwischen Radialzuwachs und Arriditätsindex besteht eine hohe Gleichläufigkeit.

Fig. 2: Radial increment of the control plot and aridity index

Radial increment and aridity index are strongly correlated.

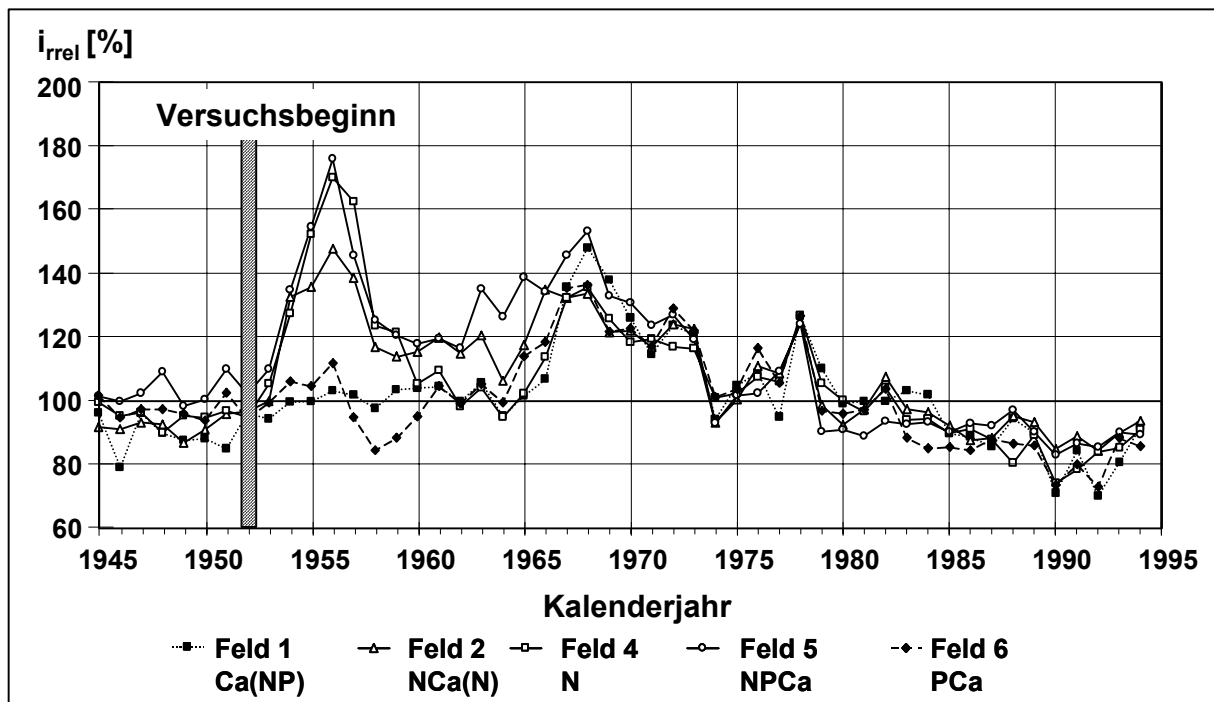


Abb. 3: Korrigierter jährlicher Radialzuwachs in Prozent des Nullfeldes  
Die zu Versuchsbeginn mit Stickstoff gedüngten Felder (durchgezogene Linien) reagieren mit einem spontanen Zuwachsanstieg.

Fig. 3: Adjusted radial increment in percent of the control plot  
The plots fertilised with nitrogen at the beginning of the experiment respond immediately to the fertilisation.

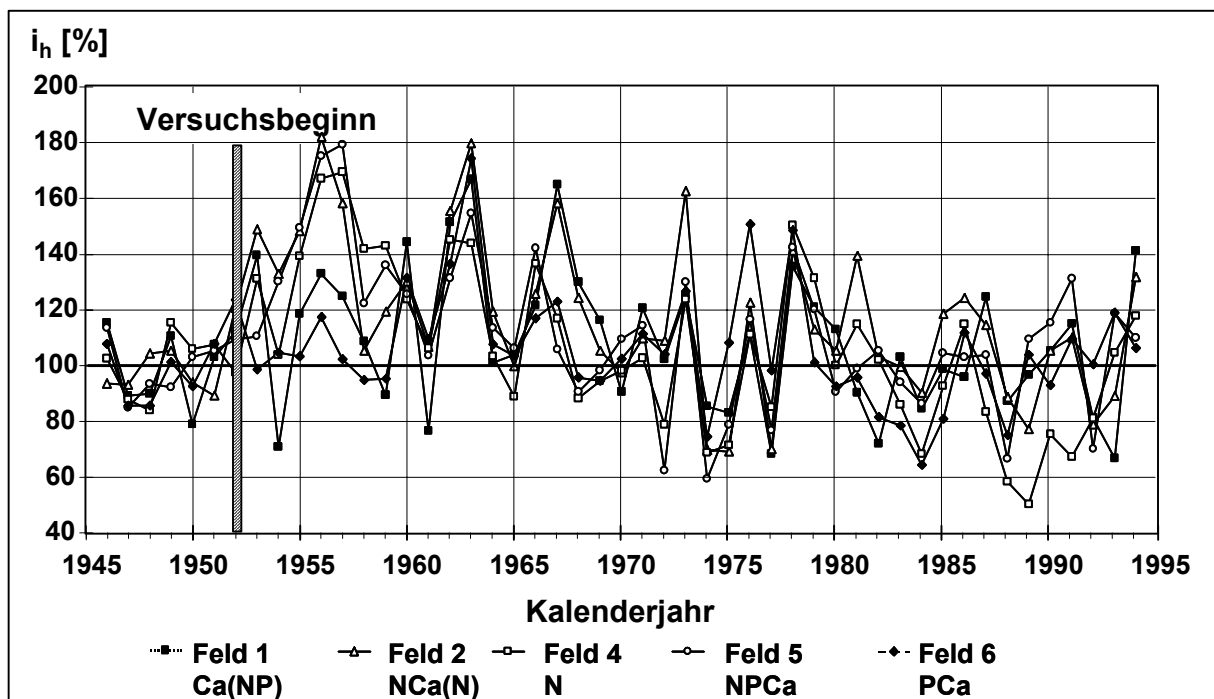


Abb. 4: Korrigierter jährlicher Höhenzuwachs in Prozent des Nullfeldes  
Der Höhenzuwachs weist gegenüber dem Radialzuwachs eine deutlich größere Streuung auf und die Zusammenhänge zwischen Düngung und Zuwachs zeichnen sich nicht so klar ab.

Fig. 4: Adjusted height increment in percent of the control plot  
Height increment has a much higher variation than radial increment, and the correlation to fertilisation is less evident.

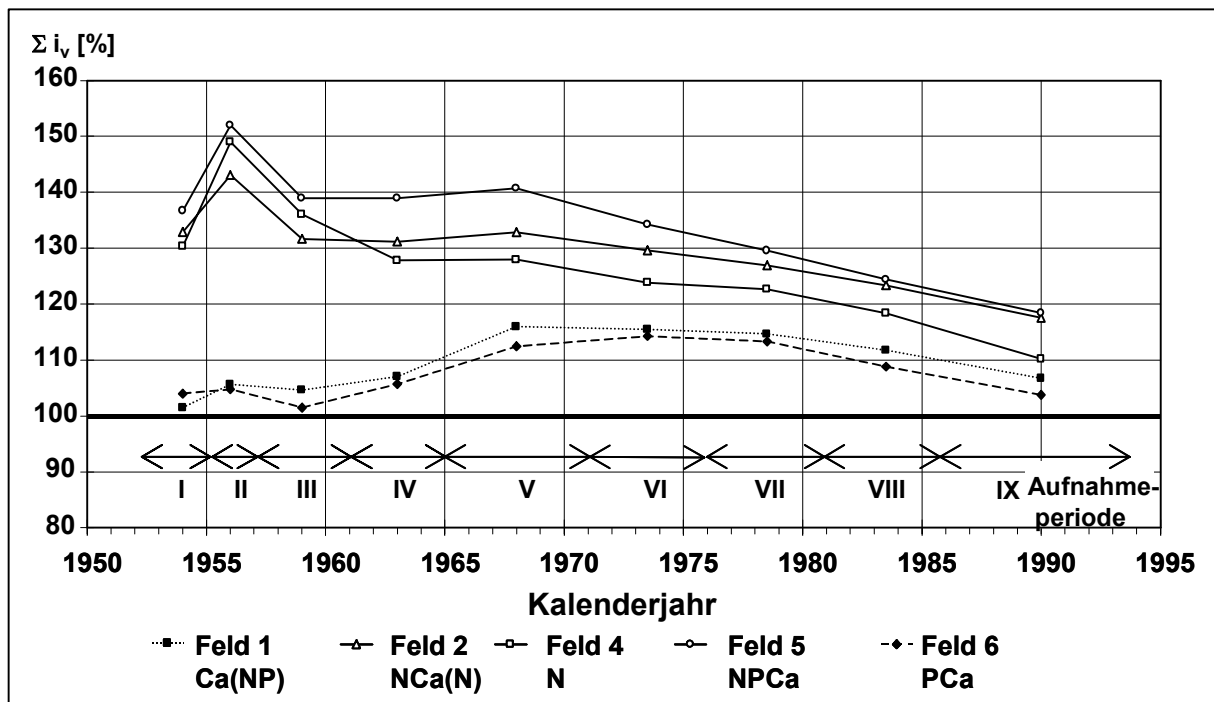


Abb. 5: Mehrleistung an Volumen in Prozent des Nullfeldes

Bei den gleich zu Versuchsbeginn mit Stickstoff gedüngten Feldern 2, 4 und 5 erreicht die Mehrleistung an Volumen kurz nach der Düngung etwa das anderthalbfache des Nullfeldes und liegt gegen Ende zwischen 110 und 118%. Trotz der Nachdüngung mit Stickstoff im Jahr 1966 erreicht Feld 1 nur 107% der Volumenleistung des Nullfeldes. Mit 104% am geringsten fällt der Mehrzuwachs des am schwächsten gedüngten Feldes 6 aus.

Fig. 5: Volume production in percent of the control plot

The comparison of volume growth reveals a surplus of the plots with an initial N fertilisation from 10 to 18%. Despite of the later N fertilisation in 1966, plot 1 reaches only +7%. Plot 6, fertilised with Ca and P only, has the lowest and statistically insignificant surplus of +4%.

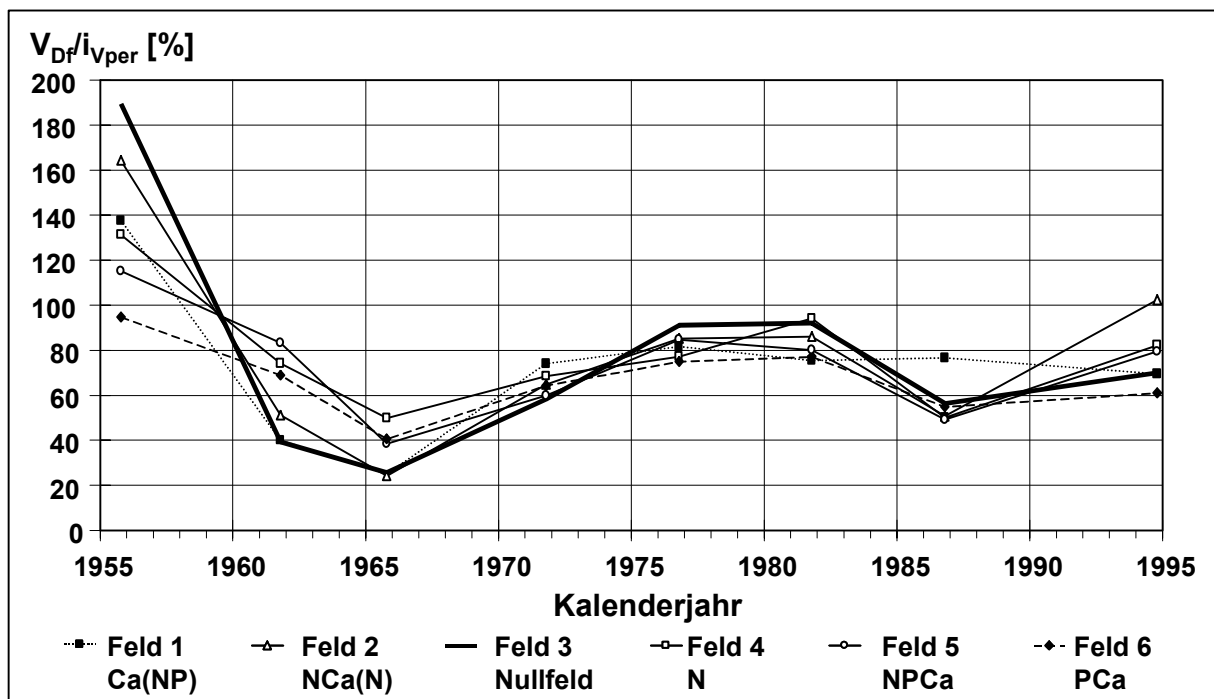


Abb. 6: Durchforstungsvolumen in Prozent des Volumenzuwachses der zurückliegenden Periode (=Durchforstungsquotient  $Df_0$ )

Die Durchforstung der Düngungs- und Kontrollfelder war unterschiedlich.

Fig. 6: Thinning volume in percent of the volume increment of the passed period (=thinning quotient  $Df_0$ )  
Fertilized plots and control plot had been thinned differently.

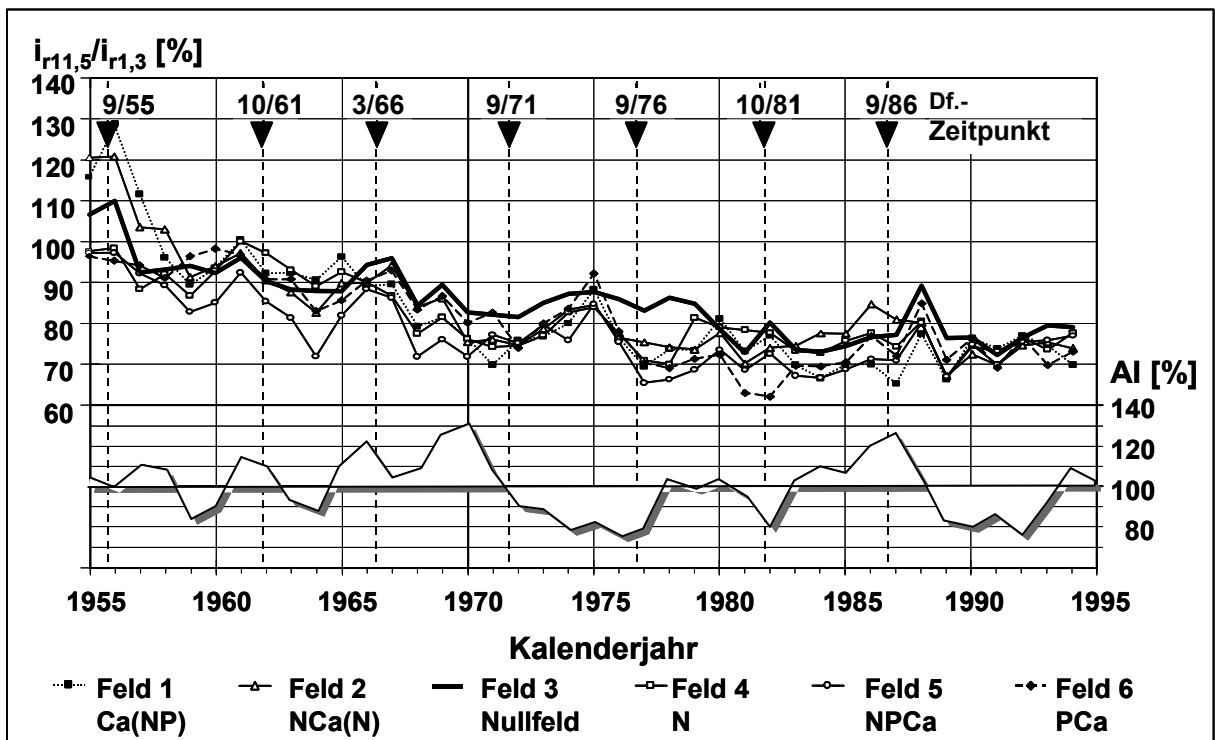


Abb. 7: Quotient des Radialzuwachses in 11,5 und 1,3 m Baumhöhe ( $i_{rQ}$ ), Durchforstungszeitpunkte und Niederschlagsmenge i. d. Vegetationsperiode in Prozent des langjährigen Mittels  
Als Folge der Standraumerweiterung sinkt der  $i_{rQ}$  nach einer Durchforstungen i.d.R. ab.

Fig. 7: Quotient of the radial increment in 11,5 and 1,3 m tree height, thinning date, and precipitation during the vegetation period in percent of the many year's mean  
As a consequence on enlarged growing spaces,  $i_{rQ}$  decreases generally after thinnings.

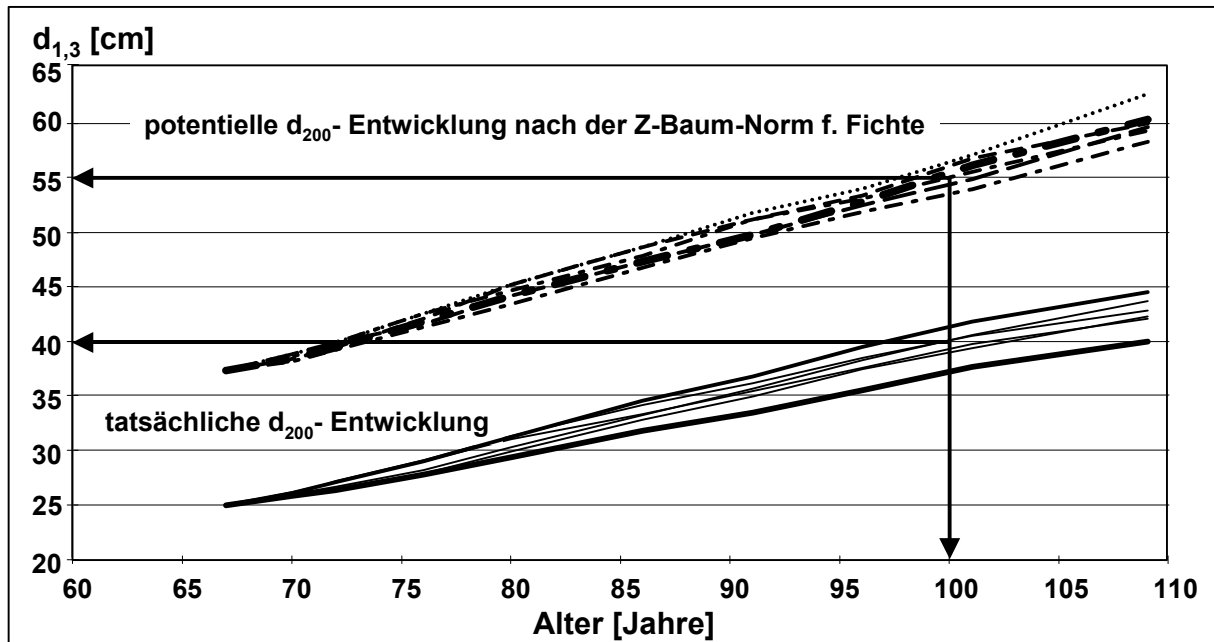


Abb. 8: Vergleich der tatsächlichen Durchmesserentwicklung der 200 dicksten Bäume der 6 Versuchsfelder von Vfl. Fi 337 mit der Sollentwicklung nach der Z-Baum-Norm  
Nach der Z-Baum-Norm ergäbe sich im Alter von 100 Jahren ein Solldurchmesser von etwa 55 cm. Der tatsächliche Durchmesser der Oberhöhenbäume (durchgezogene Linien) liegt dagegen lediglich bei etwa 40 cm.

Fig. 8: Real diameter development of the 200 thickest trees of the six plots of experiment Fi 337 and diameter development of the crop tree growth norm  
According to the growth norm, the target diameter at the age of 100 years should range somewhere around 55 cm. The real diameter of the 200 dominant trees at the same age is around 40 cm only.

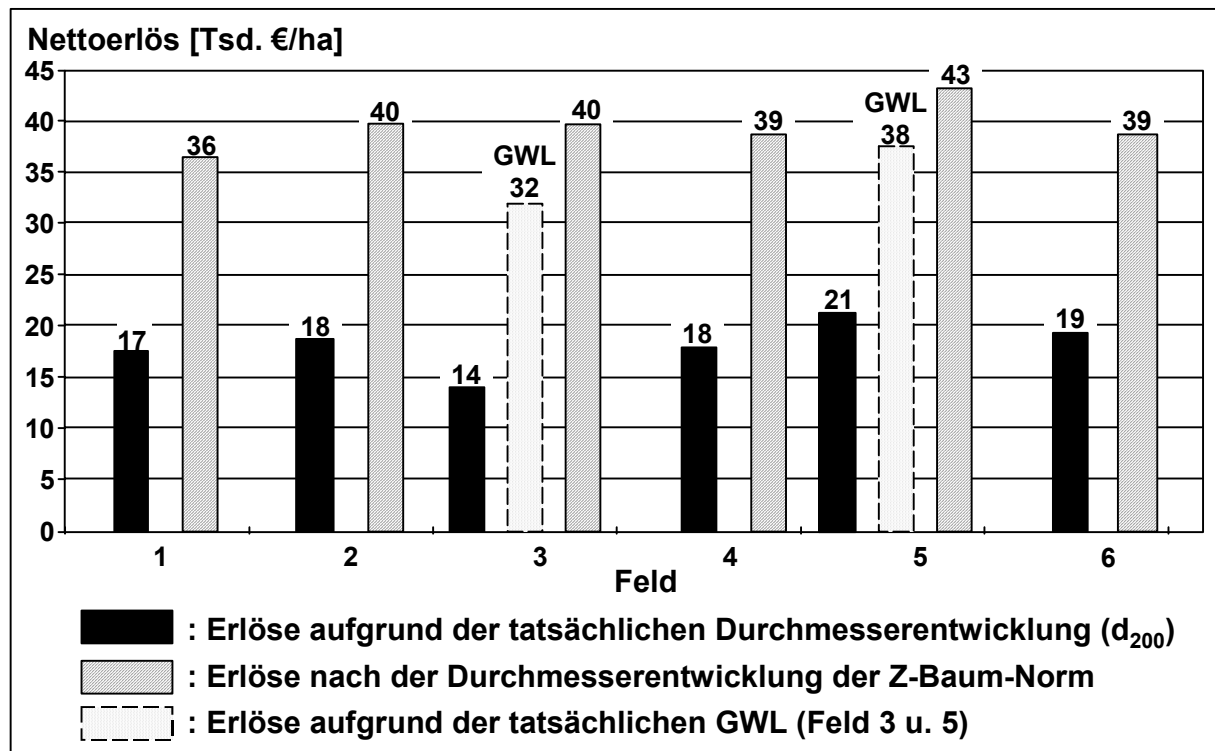


Abb. 9: Tatsächliche und mögliche erntekostenfreie Erlöse

Die durch eine Z-Baum-orientierte Behandlung erreichbaren Erlöse übersteigen die durch Düngung erreichbaren Mehrererlöse um mehr als das Doppelte.

Fig. 9: Real and attainable net values

Selective thinning assumed, the net results would exceed the surplus gained by fertilization by more than 200%.

## 8 TABELLEN- UND ABBILDUNGSÜBERSCHRIFTEN

- Tab. 1: Übersicht über Zeitpunkt, Zusammensetzung und Menge der Düngergaben.  
*Overview about date, amount, and compound of the fertilisers applied.*
- Tab. 2: Kennwerte der Analyseebäume (Sp. 2 u.3) und des Bestandes (Sp. 4-6) im Jahr 1952 bei einem Alter von 67 Jahren.  
*Data of the analysed trees (col. 2 u.3) and the stand (col. 4-6) in 1952 at the age of 67 years.*
- Tab. 3: Vergleich der einzelbaumweisen hergeleiteten Zuwachsunterschiede im Jahr 1965 mit den flächenbezogenen und bonitätsbereinigten Berechnungen von HAÜßER und WITTICH (1969). Für die Felder 2, 4 und 5 ist die Übereinstimmung recht gut. Etwas größer sind die Abweichungen für die Felder 1 und 6, die auch die größten Abweichungen in der Ausgangsbonität gegenüber dem Nullfeld aufweisen.  
*Comparison of the treewise calculated relationships of volume increment with results gained from stand data per ha from 1965 acc. to the calculation of HAUSSEER and WITTICH (1969). The results are in the same range and of the same order as the findings of other investigations of fertiliser experiments and correspond also with the interim evaluation of this experiment by HAUSSEER and WITTICH.*
- Abb. 1: Korrigierter jährlicher Radialzuwachs.  
*Durch die Korrektur konnten die vor Versuchsbeginn bestehenden Unterschiede im Radialzuwachs der einzelnen Felder beseitigt werden. Die Wirkung der Düngung tritt klar zutage.*  
*Annual radial increment (adjusted).*  
*Due to the adjustment, the differences of the radial increment of the plots before the beginning of the experiment could be equalised. The fertilisation effects are clearly visible.*
- Abb. 2: Radialentwicklung des Nullfeldes und Ariditätsindex.  
*Zwischen Radialzuwachs und Arriditätsindex besteht eine hohe Gleichläufigkeit.*  
*Radial increment of the control plot and aridity index.*  
*Radial increment and aridity index are strongly correlated.*
- Abb. 3: Korrigierter jährlicher Radialzuwachs in Prozent des Nullfeldes.  
*Die zu Versuchsbeginn mit Stickstoff gedüngten Felder (durchgezogene Linien) reagieren mit einem spontanen Zuwachsanstieg.*  
*Adjusted radial increment in percent of the control plot.*  
*The plots fertilised with nitrogen at the beginning of the experiment respond immediately to the fertilisation.*
- Abb. 4: Korrigierter jährlicher Höhenzuwachs in Prozent des Nullfeldes.  
*Der Höhenzuwachs weist gegenüber dem Radialzuwachs eine deutlich größere Streuung auf und die Zusammenhänge zwischen Düngung und Zuwachs zeichnen sich nicht so klar ab.*  
*Adjusted height increment in percent of the control plot.*  
*Height increment has a much higher variation than radial increment, and the correlation to fertilisation is less evident.*
- Abb. 5: Mehrleistung an Volumen in Prozent des Nullfeldes.  
*Bei den gleich zu Versuchsbeginn mit Stickstoff gedüngten Feldern 2, 4 und 5 erreicht die Mehrleistung an Volumen kurz nach der Düngung etwa das anderthalbfache des Nullfeldes und liegt gegen Ende zwischen 110 und 118%. Trotz der Nachdüngung mit Stickstoff im Jahr 1966 erreicht Feld 1 nur 107% der Volumenleistung des Nullfeldes. Mit 104% am geringsten fällt der Mehrzuwachs des am schwächsten gedüngten Feldes 6 aus.*  
*Volume production in percent of the control plot.*  
*The comparison of volume growth reveals a surplus of the plots with an initial N fertilisation from 10 to 18%. Despite of the later N fertilisation in 1966, plot 1 reaches only +7%. Plot 6, fertilised with Ca and P only, has the lowest and statistically insignificant surplus of +4%.*

- Abb. 6: Durchforstungsvolumen in Prozent des Volumenzuwachses der zurückliegenden Periode (=Durchforstungsquotient  $Df_Q$ ).  
 Die Durchforstung der Düngungs- und Kontrollfelder war unterschiedlich.  
 Thinning volume in percent of the volume increment of the passed period (=thinning quotient  $Df_Q$ ).  
 Fertilized plots and control plot had been thinned differently
- Abb. 7: Quotient des Radialzuwachses in 11,5 und 1,3 m Baumhöhe ( $i_{rQ}$ ), Durchforstungszeitpunkte und Niederschlagsmenge i. d. Vegetationsperiode in Prozent des langjährigen Mittels.  
 Als Folge der Standraumerweiterung sinkt der  $i_{rQ}$  nach einer Durchforstungen i.d.R. ab.  
 Quotient of the radial increment in 11,5 and 1,3 m tree height, thinning date, and precipitation during the vegetation period in percent of the many year's mean.  
 As a consequence on enlarged growing spaces,  $i_{rQ}$  decreases generally after thinnings.
- Abb. 8: Vergleich der tatsächlichen Durchmesserentwicklung der 200 dicksten Bäume der 6 Versuchsfelder von Vfl. Fi 337 mit der Sollentwicklung nach der Z-Baum-Norm.  
 Nach der Z-Baum-Norm ergäbe sich im Alter von 100 Jahren ein Solldurchmesser von 55 cm. Der tatsächliche Durchmesser der Oberhöhenbäume (durchgezogene Linien) liegt dagegen lediglich bei etwa 40 cm.  
 Real diameter development of the 200 thickest trees of the six plots of experiment Fi 337 and diameter development of the crop tree growth norm.  
 According to the growth norm, the target diameter at the age of 100 years should range somewhere around 55 cm. The real diameter of the 200 dominant trees at the same age is around 40 cm only.
- Abb. 9: Tatsächliche und mögliche erntekostenfreie Erlöse.  
 Die durch eine Z-Baum-orientierte Behandlung erreichbaren Erlöse übersteigen die durch Düngung erreichbaren Mehrerlöse um mehr als das Doppelte.  
 Real and attainable net values.  
 Selective thinning assumed, the net results would exceed the surplus gained by fertilization by more than 200%.