

Wuchsverhalten eines Kiefern-Roteichen-Mischbestandes

Ertragskundliche Analyse des vor 38 Jahren mit Roteiche unterbauten Kiefern-Düngungsversuches Bodenwöhr 210

M. BACHMANN, W. FOERSTER, P. DÖRR und F. FRANZ

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München

Kurzfassung: Auf dem Standort des Kiefern-Düngungsversuchs mit Roteichen-Unterbau Bodenwöhr 210 herrschte zum Zeitpunkt der Versuchsanlage im Frühjahr 1953 gravierender Stickstoffmangel primär infolge von Streunutzung. Die Bonität des damals 86jährigen Kiefernaltholzes lag bei IV,0, die mittlere Bestandesgrundfläche war nach einer starken Durchforstung mit etwa 12 qm/ha sehr gering. Vier Behandlungsvarianten wurden auf 24 Parzellen von je 0,25 ha Größe verteilt. Variante 0 enthält die ungedüngten Vergleichsflächen. Variante A erhielt eine Kalkdüngung, Variante B wurde mit Wichtel und später mit mineralischem Stickstoff gedüngt, und Variante C wurde gekalkt und mit Wichtel gedüngt. Auf allen Parzellen mit Ausnahme von drei Kontrollflächen wurden Roteichen und Lupinen durch Streifensaaten eingebracht.

Der Versuchsbestand zeigt einen nicht ertragstafeltreuen und altersuntypischen Anstieg aller wichtigen ertragskundlichen Kenngrößen. Besonders ausgeprägt ist im Vergleich zur Kieferntafel WIEDEMANN 1943, m.ä. Df., der Anstieg im Höhenwachstum, dem eine Bonitätsverbesserung um mehr als zwei Bonitätsstufen in der 38jährigen Beobachtungsperiode entspricht. Der durchschnittliche jährliche Volumenzuwachs der Kiefern beträgt bei einem mittleren Bestockungsgrad von 0,63 mehr als 7,5 VfmD/ha. Die meliorierten Varianten zeigen im Vergleich zu den ungedüngten Parzellen durchweg positive Zuwachsreaktionen. Der Mehrzuwachs an Volumen betrug im 38jährigen Versuchszeitraum bis über 70 VfmD/ha. Die höchste Zuwachssteigerung wurde durch Kalkung erzielt, dabei erwiesen sich 2500 kg/ha kohlen-saurer Kalk als ausreichend. Die Roteichen erreichten im Alter von 38 Jahren Oberhöhen von bis zu 12 m und Vorräte zwischen 15 und 30 VfmS/ha bei einem laufenden Volumenzuwachs von zuletzt 2,0 bis 4,5 VfmS/ha jährlich und bleiben damit unter den Tafelwerten von BAUER für die IV. Bonität. Die Reaktion der Roteiche auf den Schirmdruck der Kiefer äußert sich außer in der geringen Leistung auch in sehr ungünstigen Schlankheitsgraden. Zunehmender Bestockungsgrad der Kiefer führte bei der Roteiche zu einem Absinken der Stammzahl bei gleichzeitiger Steigerung des Durchmesser- und Höhenwachstums sowie zu verbesserten h/d-Werten.

Die Roteichen bewirkten bei der Kiefer eine nur geringe Zuwachsminderung von ¼ VfmD/ha jährlich im Beobachtungszeitraum. Der gemeinsame Grundflächenzuwachs von Kiefer und Roteiche lag in der letzten Dekade deutlich über der Leistung der nicht unterbauten Kontrollflächen.

Growth behaviour of a mixed stand of pine and red oak – an analysis of the fertilizer experiment in a pine stand with red oak understorey, Bodenwöhr 210

Abstract: At the site of the pine-fertilizer experiment, established in 1953 in a pine stand with red oak understorey, located at "Bodenwöhr 210", a severe nitrogen deficiency prevailed, caused by litter raking. The 86 year old pine belonged to yield class IV.0. After a heavy thinning, the average basal area of the stand was very low; 12 m²/ha. The fertilizer experiment comprised 4 treatments located at 24 sites, each with an area of 0.25 ha.

Treatment 0 received no fertilizer. Treatment A was received lime fertilizer, treatment B received "Wichtel" followed by mineral nitrogen, and treatment C was limed and later "Wichtel" was added. With exception of 3 control sites, red oaks and lupins were sown in strips.

Growth in the investigated stands did not correspond to yield tables and displayed atypical increment for all the relevant yield parameters with respect to age. The most striking deviation, compared to pine yield tables from WIEDEMANN 1943, moderate thinning regime, was height increment which surpassed more than 2 yield classes over the 38 years period. The average volume increment for pine with a moderate stocking density was more than 7.5 m³/ha/yr.

At the treated sites the growth reaction was positive compared to sites where fertilizer was not added. Additional volume growth amounted to 70 m³/ha in 38 years. The sites treated with lime showed the highest growth rate. Thus 2500 kg/ha calcium carbonate was adequate.

After 38 years the red oak achieved a top height of 12 m, and exploitable volume between 15 and 30 m³/ha, a constant volume increment of 2.0 to 4.5 m³/ha/yr and thus less than the increment for class IV in BAUER's yield tables. The suppression of red oak by the pine overstorey is apparent from their inferior performance and unfavourable form. An increase in the pine stocking density resulted in a reduction in the number of red oak stems and corresponding increase in diameter and height growth, as well as improved H/D ratio. Red oaks caused a small decrease in pine growth (1.4 m³/ha/yr). The combined basal area increment for pine and red oak, however, revealed better growth rates in the last decade than the control areas where the red oak understorey was absent.

Einleitung

In den 60er und 70er Jahren wurden in Deutschland große Anstrengungen unternommen, das Wachstum ertragsschwacher Waldungen durch Düngungs- und Meliorationsmaßnahmen zu verbessern. Vor diesem Hintergrund wurde im Frühjahr 1953 vom damaligen Institut für forstliche Ertragskunde der Universität München ein umfangreicher Meliorations- und

Düngungsversuch zur Sanierung devastierter Waldböden in 86jähriger Kiefer IV. Bonität angelegt. Das Hauptgewicht der Untersuchung lag damals auf der Wirkung eines Humusmischdüngers („Wichtel“); daneben sollten die Auswirkungen einer Kalkung auf Unterbau und Hauptbestand des mit Dauerlupine und Roteiche unterbauten Kiefernaltholzes geprüft werden. Aus heutiger Sicht trägt der Versuch zur Beantwortung der folgenden Fragen bei:

- a) Welche Leistungssteigerungen lassen sich durch die Meliorationsmaßnahmen unter Wachstumsbedingungen der letzten Jahrzehnte erzielen?
- b) In welchem Ausmaß fand eine gegenseitige Beeinflussung der Baumarten statt, und welche Konsequenzen ergeben sich daraus für die weitere waldbauliche Behandlung des Bestandes?

Der Auswertung des Kiefern-Altbestandes liegt die Dissertation von W. FOERSTER (1990) zugrunde. Die dort verarbeiteten Daten wurden um die Aufnahme 1990 aktualisiert. Das Wachstum der Roteiche unter dem Einfluß der Überschirmung untersuchte M. BACHMANN. Der Versuch gehört dem Netz langfristig beobachteter Versuchsflächen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde Freising an. Die Betreuung wird durch die Bayerische Staatsforstverwaltung mitfinanziert.

Material

Lage und Standort

Das insgesamt 9,25 ha große Versuchsgelände liegt im Wuchsbezirk 9.1 „Oberpfälzer Becken- und Hügelland“ in einer Höhe von 380 m über NN. Bei einer mittleren Jahrestemperatur von 7,5 °C fallen 640 mm Niederschlag pro Jahr, davon 350 mm in der Vegetationsperiode. Die Geländeform ist fast eben, charakterisiert durch eine sehr sanfte Inklination nach Westen. Der Versuchsbestand stockt auf tiefgründigem, aber überwiegend trockenem, in der Tiefe zunehmend steinhaltigem Sandboden aus diluvial verlagerten Kreidesanden des Bodenwöhrer Beckens. Es gibt insgesamt geringe, auf der Versuchsfläche stark schwankende Lehmenteile und vereinzelte Letten im Unterboden. Die Bestandesfläche wird von einem diagonal von Nordwest nach Südost verlaufenden Band besserwüchsiger Kiefern durchzogen (s. hierzu die Verteilung der Mittelhöhen auf dem Versuchsfeld im Jahre 1958, Abb. 1). Bei an sich schon ungünstigen Eigenschaften des bodenbildenden Ausgangsgesteins war der Standort zusätzlich belastet durch Hüttenindustrie und Köhlereibetriebe sowie durch intensive Streunutzung. Zu Versuchsbeginn herrschte extremer Stickstoffmangel. Die Bodenvegetation setzte sich als eine typische Begleitflora armer Sandböden vorwiegend aus Heide, Preisel- und Heidelbeere sowie etwas Cladonia zusammen.

Versuchskonzept und Behandlungsplan

Im Frühjahr 1953 wurden in dem damals 86jährigen Kiefernbaumholz 24 Versuchsparzellen von je 0,25 ha Größe angelegt (Abb. 1) und nach den folgenden vier Varianten behandelt:

- Variante 0 = ungedüngte Vergleichsflächen (Kontrollflächen)
- Variante A = gekalkte Flächen
- Variante B = mit Wichtel (ab 1959 mit min. Stickstoff) gedüngte Flächen
- Variante C = gekalkte und mit Wichtel gedüngte Flächen.

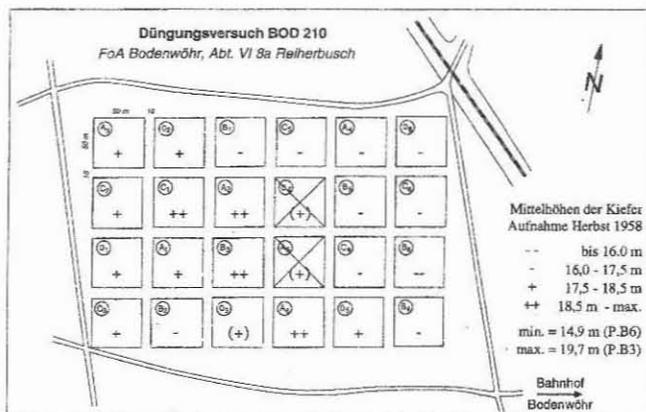


Abb. 1. Versuch Bodenwöhr 210: Lageskizze der Versuchsfläche. Experiment Bodenwöhr 210: site plan of the test area.

Alle Parzellen der Varianten A, B und C sowie die Flächen 03, 04 und 06 der ungedüngten Variante wurden zusätzlich mit dem Streifenpflug bearbeitet. Anschließend wurden Lupine und Roteiche durch Saat eingebracht. Die drei Parzellen 01, 02 und 05 nehmen als gänzlich unbehandelte Versuchsglieder eine Sonderstellung in dem großen Versuchsfeld ein. Das Behandlungskonzept der Variante B wurde 1958 umgestellt auf Düngung mit mineralischem Volldünger (vgl. Tab. 1), nachdem der Humatdünger Wichtel (Stickstoffgehalt 6,5 %) als für die forstliche Praxis großenteils ungeeignet eingestuft wurde. Die Varianten A, B und C werden im folgenden als „gedüngt“ bezeichnet, auch wenn die Kalkung der Varianten A und C einen eher meliorativen Charakter hat.

Der Versuchsflächenanlage ging ein sehr starker Durchforstungseingriff voraus, der zum Ziel hatte, Lupine und Roteiche ausreichend Licht zu verschaffen. Eine ertragskundliche Aufnahme vor diesem Eingriff erfolgte nicht, Informationen

TABELLE 1

Versuch Bodenwöhr 210: Düngungs- und Meliorationsplan

Experiment Bodenwöhr 210: fertilizing and melioration plan

Parzelle Nr.	1953					1959	1961	1964
	Streifenpflüfung	Kalk (CaCO ₃)	Wichtel	Dauerlupine	Roteiche	NPK	NPK	KAS
	kg/ha					----- kg/ha -----		
01, 02, 05	-	-	-	-	-	-	-	-
03, 06	+	-	-	10	250	-	-	-
A1, A4	+	2 500	-	10	250	-	-	-
A2	+	5 000	-	10	250	-	-	-
A3, A6	+	10 000	-	10	250	-	-	-
B1, B4	+	-	120	10	250	600*	600*	600*
B2, B5	+	-	240	10	250	600*	600*	600*
B3, B6	+	-	480	10	250	600*	600*	600*
C1	+	2 500	120	10	250	-	-	-
C2, C5	+	5 000	240	10	250	-	-	-
C3	+	10 000	480	10	250	-	-	-
C4	+	5 000	120	10	250	-	-	-
C6	+	5 000	480	10	250	-	-	-

* 72 kg Reinstickstoff/ha entsprechend

* 132 kg Reinstickstoff/ha entsprechend

über Ausgangsstammzahl und Bestockungsgrad zu Versuchsbeginn als Indikatoren für die Ertragsfähigkeit des Standortes zum damaligen Zeitpunkt fehlen deshalb.

Bis zum Jahr 1980 wurde auf der Fläche nur ZE aufgearbeitet. Im Anschluß an die Aufnahmen der Jahre 1980 und 1985 waren deshalb zur weiteren Förderung der Roteiche starke, für den Roteichenunterschied jedoch sehr schonend durchgeführte Eingriffe in der Kiefer erforderlich. Durch den Sturmwurf vom März 1990 entstanden insbesondere auf den westlichen Parzellen starke Schäden, die Altkiefern der Parzellen C2 und 01 wurden fast alle geworfen. Dem Sturm fielen im Flächendurchschnitt etwa 27 Prozent der Kiefern zum Opfer.

In den Roteichenunterstand wurde zum ersten Mal im Jahre 1981 eingegriffen. Die bestwüchsigen Roteichen wurden schonend herausgepflegt und zu dichte Partien aufgelichtet. Ziel war es, die geförderten Roteichen nicht völlig freizustellen, sondern ihnen zur Sicherung der Standfestigkeit eine angemessene Umfütterung zu erhalten. Ein ähnlich vorsichtiger Eingriff in den Roteichenunterstand fand nach der Aufnahme im Herbst 1985 statt. An dieser Stelle sei besonders Herrn Versuchsleiter P. Dörr gedankt, ohne dessen tatkräftigen Einsatz eine Reaktivierung des bereits aufgegebenen Versuches BOD 210 nicht möglich gewesen wäre.

Methoden

Ertragskundliche Aufnahmen des Kiefern-Altbestandes erfolgten in den Jahren 1953, 1958, 1963/64, 1980, 1985 und 1990 sowie für die Roteichen als Vollaufnahmen in den Jahren 1980, 1985 und 1990. Zusätzlich erhob 1953 bis 1957 das Forstamt Bodenwöhr jährlich die Stammzahlen und mittleren Höhen auf ca. 30 Stichprobenquadraten der Ausdehnung 50 cm × 50 cm.

Die Auswertung der Brusthöhendurchmesser und Höhenmeßwerte erfolgte mit Standardprogrammen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde (beschrieben bei PRETZSCH 1985). Weil bei der ersten Aufnahme im Frühjahr 1953 nur auf 12 von 24 Parzellen Höhenmessungen der Kiefer erfolgten und infolge des Sturms vor der Aufnahme im Herbst 1990 auf den am schlimmsten betroffenen Parzellen keine ausreichende Anzahl Bäume mehr verblieb, mußten die Höhenkurven einiger Parzellen im Anhalt an die Höhenentwicklung vergleichbarer Parzellen, unter Einbezug der Meßwerte der nachfolgenden bzw. vorherigen Aufnahme sowie unter Berücksichtigung der für die jeweilige Behandlungsvariante typischen Höhenentwicklung, neu konstruiert werden.

Als Vorerträge für die Kiefer errechneten sich nach einem Verfahren von FRANZ (1981, unveröff.), das sich eng an die

Tafelwerte der Kieferntafel WIEDEMANN 1943, mä. Df., anlehnt, Vornutzungswerte von 185,3 (B6) bis 296,9 (C1) VfmD je Hektar.

Für die Beurteilung der Düngungswirkungen wurde die jeweilige Variante stets mit den Durchschnittswerten der Parzellen 03 und 06 und nicht mit allen Kontrollflächen verglichen, weil diese beiden Parzellen zu Versuchsbeginn – wie auch alle gedüngten Flächen – mit Roteiche und Lupine unterbaut und gepflügt wurden und damit eine bis auf die jeweilige Düngungsmaßnahme vergleichbare Behandlung erfahren hatten.

Bei dem regressionsanalytischen Ausgleich der Roteichen-Durchmesser-Höhenbefunde der drei Aufnahmen mit der Formel von PETERSON zeigte sich, daß sich die Höhenkurven nicht voneinander unterscheiden. Für die weitere Auswertung wurde für die Roteiche eine einheitliche Höhenkurve verwendet. Die Volumenherleitung erfolgte im VfmS.

Auswertung der ertragskundlichen Aufnahmen des Kiefern-Altbestandes

Wuchsverhalten der Kiefern

Die Stammzahlen der Kiefern auf den Parzellen lagen zu Versuchsbeginn, nach der bereits erwähnten Durchforstung bzw. Lichtstellung, bei nur 428 (C5) bis 320 (03) Stämmen/ha. Bis zum Jahr 1980 erfolgte kein planmäßiger Eingriff in den Bestand. Nach der ertragskundlichen Aufnahme im Herbst 1980 (1980H) wurden der inzwischen beträchtliche Durchforstungsrückstand abgebaut und eine einheitliche Stammzahl von 300 Stämmen/ha angestrebt. Zur Förderung der Roteichen wurde 1985 die Stammzahl einheitlich auf allen Parzellen weiter auf 220 Stämme/ha reduziert. Durch den Sturm vom März 1990 wurden insbesondere die westlichen Parzellen stark geschädigt, so verblieben auf Parzelle C2 nur 12 und auf Parzelle 01 sogar nur sechs von ursprünglich 54 Kiefern. Entsprechend niedrig waren die Grundflächen. Die mittlere Bestandesgrundfläche betrug bei der ertragskundlichen Erstaufnahme im Frühjahr 1953 (1953F) nur etwa 12 qm/ha in den Grenzen von 9,9 (B6, Wichtel u. min. Stickstoffdüngung) bis 14,4 (B3, Wichtel u. min. Stickstoffdüngung) qm/ha und erreicht mithin nicht einmal die Hälfte des Ertragstafelwertes für die fünfte Bonität (Tab. 2). Der durchschnittliche Bestockungsgrad lag bei nur 0,4. In dem langen Zeitraum ohne jede Durchforstung stiegen die Bestockungsgrade zunächst auf Werte um 0,7 bis 0,8 an. Mit den beiden starken Eingriffen in den Jahren 1980 und 1985 wurden die Grundflächen jedoch erneut weit unter Ertragstafelniveau abgesenkt. Die Unterschiede in der Grundflächenhaltung auf den einzelnen Parzellen sind erheblich (vgl. Tab. 2, z. B. B3 zu B6).

TABELLE 2

Baumart Kiefer: Entwicklung der Grundflächen des verbleibenden Bestandes (qm/ha)

Tree species pine: development of the different basal areas within the remaining stand (square metres/hectare)

Jahr	Alter	Ungedüngt					Kalk					Wichtel, min. N					Kalk, Wichtel						
		01*	02*	03	05*	06	A1	A2	A3	A4	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1953 F	86	12,2	11,9	11,8	11,5	12,2	13,3	11,0	11,1	12,1	12,8	10,0	10,4	14,4	10,4	12,0	9,9	13,9	12,8	10,9	11,3	11,5	11,3
1958 H	92	15,1	14,5	13,9	13,8	14,8	16,1	13,7	13,9	14,6	15,2	12,6	13,1	17,5	13,1	14,5	12,6	16,6	15,9	14,0	13,6	14,5	14,2
1964 F	97	16,7	16,1	15,4	15,6	16,2	18,7	16,0	16,4	16,5	17,2	15,5	15,4	20,1	15,5	16,2	15,3	19,2	18,6	16,6	15,3	16,8	16,5
1980 H	114	20,4	20,8	21,7	20,0	19,0	23,4	23,0	23,4	20,4	23,0	21,1	22,1	25,1	20,5	18,9	19,3	23,6	23,8	22,7	20,1	21,7	19,9
1985 H	119	17,4	18,8	18,2	17,3	16,1	19,9	19,7	20,1	17,6	18,8	17,5	18,8	20,8	17,2	16,0	16,4	20,8	20,4	19,1	17,5	18,1	16,6
1990 H	124	2,2	16,5	16,3	15,4	14,7	13,3	15,6	17,9	16,2	18,0	16,0	17,3	17,9	15,1	15,0	15,7	14,4	5,8	17,6	15,7	16,5	14,8

* gänzlich unbehandelte Vergleichsflächen (ungepflügt und ohne Lupinen- und Roteichenunterbau)

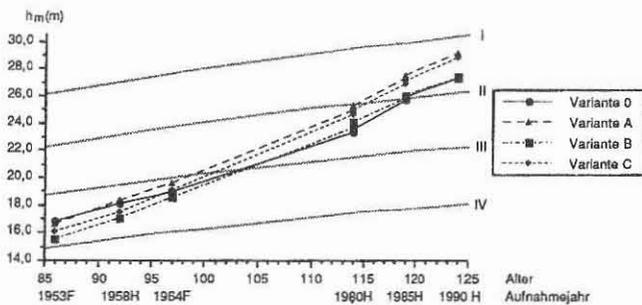


Abb. 2. Baumart Kiefer: Entwicklung der Mittelhöhen, verglichen mit den Bonitätslinien der Kiefern Tafel WIEDEMANN 1943, mä. Df. Die Parzellen sind nach Behandlungsvarianten zusammengefaßt.
Tree species pine: development of the average height, compared to the quality lines of the pine table of WIEDEMANN, mä. Df. The different parcels are united according to the different methods of treatment.

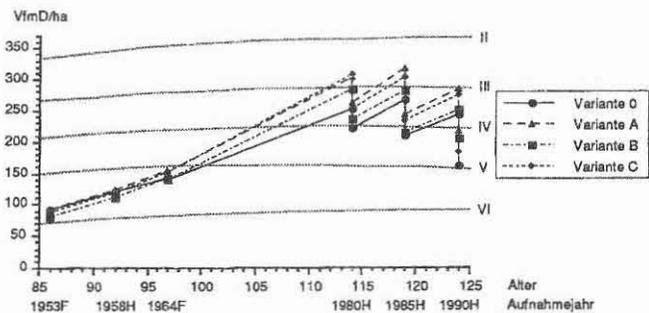


Abb. 3. Baumart Kiefer: Vorratshaltung, verglichen mit den Bonitätslinien der Kiefern Tafel WIEDEMANN 1943, mä. Df. Die Parzellen sind nach Behandlungsvarianten zusammengefaßt.
Tree species pine: stockpiling, compared to the quality lines of the pine table of WIEDEMANN, mä. Df. The different parcels are united according to the different methods of treatment.

Bei Ausgangshöhen von 14,1 (B6) bis 17,1 (05) m (1953F höhengemessene Parzellen) steigen die Mittelhöhen dieser Parzellen während der 38jährigen Beobachtungsdauer um durchschnittlich 11,7 m an. Ein Ertragstafelvergleich macht deutlich, welche Dynamik im Höhenzuwachs dieses Kiefernaltbestandes steckt: Die Tafelwerte für Kiefer (WIEDEMANN 1943) schon im Alter von 85 bis 125 Jahren einen Anstieg der Mittelhöhe um 4,3 m (mä. Df.) bzw. 3,6 m (Lichtung) für die beste (!) Bonität vor. Auf der Versuchsfläche Bodenwöhr 210 sind die Mittelhöhen der Parzellen im Alter von 86 bis 124 Jahren bei einer Ausgangshöhe von durchschnittlich etwa 15,5 m (einer Bonität von III.9 entsprechend) jedoch um 9,5 m (P.0 5) bis 13,6 m (P.A 3) angestiegen, das ist das Drei- bis Vierfache des Erwartungswertes der Ertragstafel (Abb. 2). Wegen der geringen Stammzahlen und des relativ hohen Bestandesalters entspricht die Entwicklung der Oberhöhen weitestgehend der Mittelhöhenentwicklung.

Die durchschnittliche Bonität des Bestandes lag bei Versuchsbeginn im Alter von 86 Jahren bei etwa III.9, wobei die Streuung der Bestandeshöhen erheblich war (vgl. Abb. 1). Auf den zwölf im Jahre 1953 höhengemessenen Parzellen stieg die Bonität in dem 38jährigen Beobachtungszeitraum bis zum Herbst 1990 durchschnittlich um 2,1 Einheiten auf I,8 an.

Die Vorräte der Parzellen betragen zu Versuchsbeginn durchschnittlich knapp 87 VfmD/ha in den Grenzen von 64,9 (B6) bis 119,8 (B3) VfmD/ha. Während die mittleren Vorräte der Behandlungsvarianten mit 80,1 (Var. B) bis 91,4 (Var. 0) VfmD/ha relativ eng beieinanderliegen, streuen die Einzelwerte der Parzellen, der jeweiligen Grundflächenhaltung (Tab. 2) entsprechend, beträchtlich. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, daß sich im Versuchszeitraum des Versuches die durchschnittlichen Vorräte der gedüngten Varianten immer stärker von denen der Kontrollflächen abheben, denn auf ihnen wurde ein erheblich höherer Zuwachs geleistet.

Allerdings liegt auch der Volumenzuwachs der Kontrollflächen mit durchschnittlich 6,44 VfmD/ha jährlich in den 38 Jahren der Versuchsbeobachtung auf einem sehr hohen Niveau und in den meisten Fällen sogar noch über den Erwartungswerten für die erste Bonität der Kiefern Tafel WIEDEMANN 1943, mä. Df. (Abb. 4).

Werden die mittleren Zuwachsgrößen der Düngungsvarianten miteinander verglichen, so ergibt sich folgendes Bild: Auf

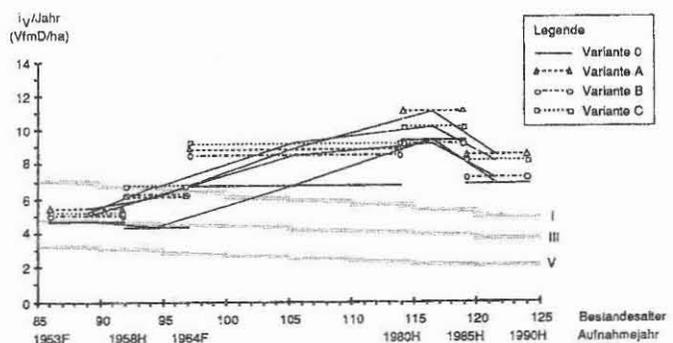


Abb. 4. Baumart Kiefer: Volumenzuwachs der Behandlungsvarianten (Durchschnittswerte), verglichen mit den Bonitätslinien der Kiefern Tafel WIEDEMANN 1943, mä. Df.
Tree species pine: volume increment of the different variants (mean values), compared to the quality line of the pine table of WIEDEMANN, mä. Df.

Variante C (Kalk und Wichtel) wurde in den 38 Jahren der Beobachtung ein Mehrzuwachs von insgesamt 68,1 VfmD/ha, das sind jährlich 1,79 VfmD/ha bzw. 28 %, erzielt. Der Mehrzuwachs der Variante A (Kalk) lag mit insgesamt 67,3 VfmD/ha bzw. 27,5 % auf fast gleicher Höhe. Variante B (Wichtel m. min. Stickstoffdüngung) fiel demgegenüber mit insgesamt +41,3 VfmD/ha bzw. +17 % etwas zurück (Abb. 4). Diese Differenzen können jedoch wegen der erheblichen Behandlungsunterschiede innerhalb der Varianten und wegen teilweise recht unterschiedlicher Ausgangsgrößen nicht vorbehaltlos als Erfolge der einzelnen versuchstechnischen Maßnahmen angesehen werden.

Die hohen Zuwachswerte auch auf den Kontrollflächen haben einen nach wie vor ansteigenden, ertragstafeluntypischen Verlauf der dGZ-Entwicklung zur Folge. So stieg der dGZ auf den Kontrollflächen von durchschnittlich 3,98 VfmD (1953F) auf 4,73 VfmD an (1990H). Es wurden maximale dGZ-Werte von über 6 VfmD auf den Parzellen B3 (Wichtel m. min. Stickstoffdüngung) und C1 (Kalk und Wichtel) erreicht.

Düngungserfolge

Kalkung

Die fünf Parzellen der Variante A lassen sich in Abhängigkeit von der ausgebrachten Kalkmenge in drei Gruppen unterteilen: A1 und A4 (2500 kg/ha), A2 (5000 kg/ha) sowie A3 und A6 (10 000 kg/ha) (vgl. Tab. 1). Es zeigte sich jedoch, daß sich die Zuwachswerte dieser Gruppen nur wenig voneinander unterscheiden und die Unterschiede nicht gerichtet in Abhängigkeit von der Dosierung aufgetreten sind. Offensichtlich war die Fähigkeit des Bodens, den aufgebrauchten Kalk zu speichern, bereits bei einer Gabe von 2500 kg/ha Kalk erreicht oder gar überschritten, darüber hinausgehende Mengen haben den Zuwachs nicht mehr maßgeblich beeinflusst. Deshalb wurde für einen Zuwachsvergleich der Variante A (Kalk) mit den ungedüngten, ebenfalls mit Roteiche und Lupine unterbauten und gepflügten Parzellen 03 und 06 mit den jeweiligen Durchschnittswerten gearbeitet und nicht weiter nach der ausgebrachten Kalkmenge differenziert. Da die durchschnittlichen Ausgangswerte der Parzellen 03/06 zu Versuchsbeginn im Frühjahr 1953 (hm: 17,4, G: 12,0 qm/ha, V: 91 VfmD/ha) in etwa denen der gekalkten Variante A (hm 17,2 m, G: 12,0 qm/ha, V: 91 VfmD/ha) entsprechen, ist Vergleichbarkeit gegeben.

Die Kalkung wirkte sich auf das Wachstum der Altkiefern sehr förderlich aus (Abb. 5). Dem hohen prozentualen Mehrzuwachs des Zeitabschnittes 1958H–1964F von +54 % liegt kein bedeutender Zuwachssprung auf den gekalkten Flächen zugrunde, er ist vielmehr auf eine Zuwachsdepression der Kontrollflächen nach Ausklingen des Lichtungszuwachses zurückzuführen (vgl. Abb. 4). Da diese Zuwachsdepression auf den gedüngten Parzellen nicht oder nur abgeschwächt beobachtet wurde, ist auch dies als Düngungserfolg zu werten. In den 38 Jahren der Beobachtung bezieht sich der Mehrzuwachs auf insgesamt rund 73 VfmD/ha, einer jährlichen Zuwachssteigerung von 1,9 VfmD/ha entsprechend. Auch das gute Versuchsergebnis auf Variante C (Kalk und Wichtel) von insgesamt etwa 74 VfmD/ha Mehrzuwachs spricht für die ausgezeichnete Wirksamkeit der Kalkung auf diesem Versuchsstandort (Abb. 5).

Düngung mit Wichtel

Der Humusmischdünger auf Torfbasis „Wichtel“ besitzt keinerlei praktische Bedeutung mehr. Deshalb sei an dieser Stelle nur der Vollständigkeit halber erwähnt, daß sich für den ersten Zeitabschnitt ein geringer, vermutlich aufgrund ungün-

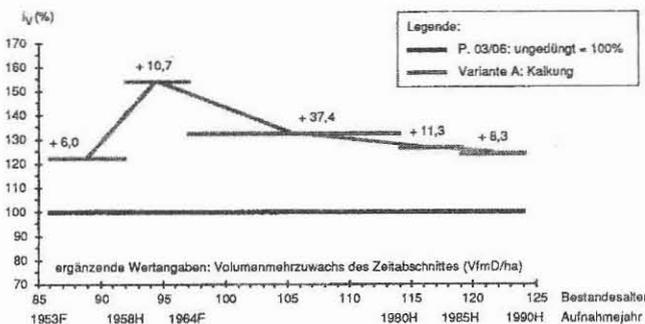


Abb. 5. Baumart Kiefer: Volumenzuwachs der Variante A (Kalkung) in Prozent zum Zuwachs der Kontrollparzellen 0 3/0 6 Durchschnittswerte).

Tree species pine: volume increment of variant A (liming) compared proportionally to the volume increment of the control parcels 0 3/0 6 (mean values).

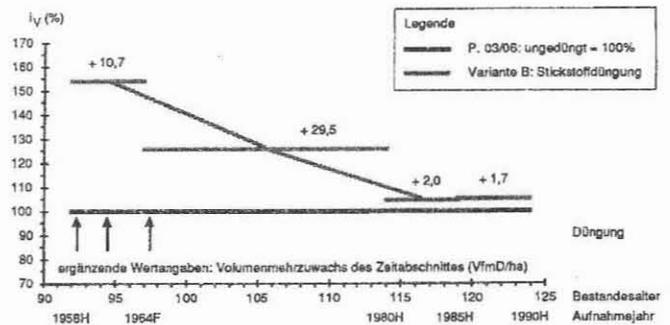


Abb. 6. Baumart Kiefer: Volumenzuwachs der Variante B (Düngung mit mineralischem Stickstoff) in Prozent zum Zuwachs der Kontrollparzellen 0 3/0 6 (Durchschnittswerte).

Tree species pine: volume increment of variant B (treated with nitrogenous fertilizer) compared proportionally to the volume increment of the control parcels 0 3/0 6 (mean values).

stiger Versuchsbedingungen allerdings unterschätzter Mehrzuwachs von knapp $\frac{1}{2}$ VfmD/ha jährlich errechnete.

Düngung mit mineralischem Stickstoff

Insgesamt wurden 276 kg Reinstickstoff je Hektar ausgebracht (vgl. Tab. 1). Dies sind auch nach heutigen Vorstellungen noch praxisnahe Werte, die sich allerdings an der Obergrenze des üblichen bewegen. Die Ausbringung der Stickstoffdünger in mehrjährigen Abständen ist vorteilhaft zu werten (s. a. BAULE und FRICKER 1967; GUSSONE 1988). Ein Vergleich der Variante B mit den Kontrollflächen 03 und 06 ist wegen ungleicher Ausgangsbedingungen (durchschnittlich um etwa 10 Prozent geringere Grundflächen und Vorräte bei höherer Stammzahl sowie eine etwas schlechtere Bonität auf Variante B) zwar zulässig, die Wirksamkeit der Düngung wird jedoch tendenziell unterschätzt; die Größenordnung des Ergebnisfehlers ist insbesondere wegen der großen Heterogenität der einzelnen Parzellen der Variante B nicht einschätzbar.

Der Mehrzuwachs nach Düngung mit mineralischem Stickstoff setzte erwartungsgemäß rasch ein. Er betrug zwischen 1958H und 1964F 2,1 VfmD/ha jährlich und lag für den mit 17 Jahren sehr langen folgenden Zeitabschnitt bei 1,7 VfmD/ha (Abb. 6). Der Mehrzuwachs erfolgte im Zeitabschnitt zwischen 1964 und 1980 sicherlich nicht so langanhaltend gleichmäßig, wie man es beim Betrachten der Abbildung 6 vermuten könnte, sondern es muß davon ausgegangen werden, daß er zunächst auf ähnlich hohem Niveau wie in der vorangegangenen Periode lag und sechs bis zehn Jahre nach der letzten Düngung gegen Null abgesunken ist (FOERSTER 1990). Insgesamt errechnete sich ein Mehrzuwachs von etwa 44 VfmD in 32 Jahren bzw. jährlich knapp 1,4 VfmD je Hektar.

Auswertung der ertragskundlichen Aufnahmen des Roteichen-Unterstandes

Entwicklung der Roteichen

Vor den ertragskundlichen Standardauswertungen ergab eine Plausibilitätsprüfung der Stammzahlen der Aufnahmen 1980, 1985 und 1990 eine Reihe von Unregelmäßigkeiten, deren Ursachen im Einwachsen sehr kleiner Bäume in den Meßbereich 1,3 m und in natürlichen Selektionsprozessen zu suchen sind. Die Anzahl der zusätzlich zur Durchforstung

ausgeschiedenen Bestandesglieder wurde rechnerisch ermittelt. Ihr zugehöriger Durchmesserwert wurde durch Interpolation zwischen dem Durchmesserwert des Durchforstungsmaterials (1985 bzw. 1990) und demjenigen des schwächsten Materials der vorangegangenen Periode (1980 bzw. 1985) gewonnen. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, daß hauptsächlich die Roteichen mit sehr geringen Durchmesserwerten (Durchmesserstufen 1 bis 2 cm) und entsprechend geringeren Höhen im Lichtgenuß (Lichtbaumart) stärker eingeschränkt sind und demzufolge eine höhere Mortalitätswahrscheinlichkeit aufweisen.

Die Stammzahlen variieren im Jahr 1990 von 600 (C2, Kalk und Wichtel) bis 8000 (06) N/ha. Sie liegen im Durchschnitt bei etwa 2500 N/ha.

Die Grundflächenentwicklung der Roteiche ist in Tabelle 3 dargestellt. Abgesehen von einzelnen Ausreißern (03, A5, C3), kommt es im Zeitraum von 1985 bis 1990 zu einer Annäherung der Grundflächenwerte der gedüngten Varianten A (Kalk), B (Wichtel m. min. Stickstoffdüngung) und C (Kalk u. Wichtel). Die Null-Flächen liegen demgegenüber auf einem tieferen Niveau.

Ausgehend von Werten zwischen 3,0 m (06) und 9,0 m (A2, C3) im Jahr 1980 steigt die Mittelhöhe bis 1990 auf Werte von 5,0 (06) bis 12,0 (C3) an. Der jährliche Höhenzuwachs beträgt 25–30 cm. Die Oberhöhen (Tab. 4) liegen bei allen Varianten um ca. 2,0 bis 2,5 m über den Mittelhöhen (h_m). Die beim Vergleich der Mittelhöhen in Führung liegende Variante A (Kalk) bleibt in der Oberhöhenentwicklung hinter Variante C (Kalk und Wichtel) zurück und wird im Zeitraum von 1980 bis 1985 auch von Variante B (Wichtel m. min. Stickstoffdüngung) übertroffen. Die Oberhöhenwerte der Null-Flächen liegen um 2,0–2,5 m tiefer.

Abbildung 7 zeigt die h_o/d_o -Relationen für die Jahre 1985 (weiße Säulen) und 1990 (schwarze Säulen). Auf der Abszisse sind die Parzellennummern und auf der Ordinate die h_o/d_o -Werte aufgetragen. Die Säulen beschreiben die Mittelwerte der einzelnen Parzellen, die eingefügten Balkenlinien die Durchschnittswerte der Behandlungsvarianten (1985 oben, 1990 unten).

TABELLE 3

Baumart Roteiche: Entwicklung der Grundfläche (vgl. Bestand in qm/ha)

Species red oak: development of the basal area (remaining stand in square metres/hectare)

Jahr	Alter	03 04 06 Ungedüngt			A1 A2 A3 A4 A5 A6 Kalk						B1 B2 B3 B4 B5 B6 Wichtel, min. N						C1 C2 C3 C4 C5 C6 Kalk, Wichtel					
		1980 H	27	3,8	1,3	1,4	3,4	3,1	3,0	2,1	2,2	3,3	3,2	4,3	4,0	3,8	2,4	3,4	2,5	2,8	3,8	2,0
1985 H	32	4,7	2,3	2,0	4,2	4,0	3,9	2,9	2,3	4,1	3,6	5,1	3,8	3,9	3,1	4,0	4,0	3,7	5,3	2,9	3,0	3,2
1990 H	37	5,4	4,0	4,2	5,0	5,6	4,7	6,0	3,6	6,2	5,4	5,6	5,4	4,8	4,7	4,7	4,5	3,1	6,2	4,7	5,5	4,2

TABELLE 4

Baumart Roteiche: Entwicklung der Oberhöhe (in m)

Species red oak: development of the average height (in metres)

Jahr	Alter	03 04 06 Ungedüngt			A1 A2 A3 A4 A5 A6 Kalk						B1 B2 B3 B4 B5 B6 Wichtel, min. N						C1 C2 C3 C4 C5 C6 Kalk, Wichtel					
		1980 H	27	9,7	8,4	6,2	11,1	11,6	11,0	8,2	9,6	11,2	10,2	11,0	11,9	11,1	9,6	10,2	10,2	10,8	12,1	9,4
1985 H	32	10,2	9,9	6,8	12,0	12,4	11,7	8,9	10,5	12,1	11,0	12,1	12,5	12,1	10,5	11,3	11,3	12,5	13,0	10,9	9,8	11,1
1990 H	37	10,6	11,0	7,1	12,8	13,1	12,2	9,6	11,3	12,6	11,5	12,9	13,7	12,9	11,2	12,5	11,9	13,3	13,6	12,2	10,7	11,7

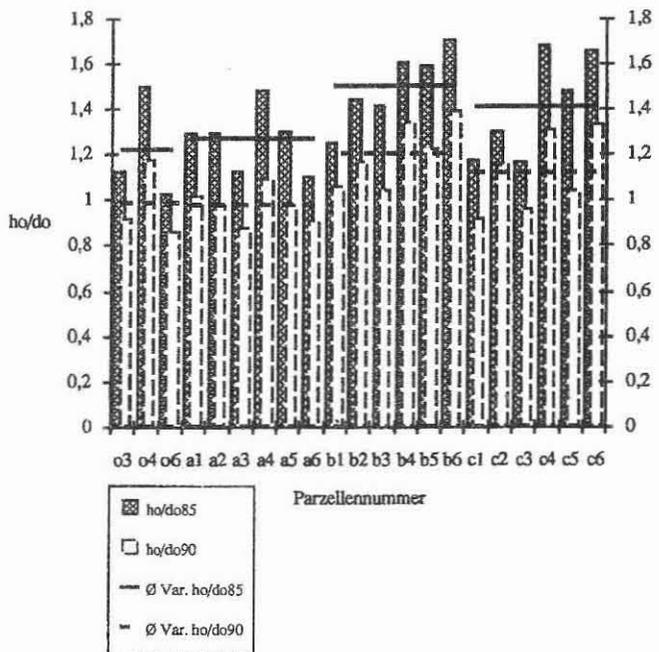


Abb. 7. Baumart Roteiche: Entwicklung h_o/d_o der Einzelparzellen sowie nach Behandlungsvarianten zusammengefaßt. Species red oak: development h_o/d_o according to different methods of treatment.

Mit zunehmendem Alter sinken erwartungsgemäß die h_o/d_o -Werte. Auffällig ist zum einen das allgemein hohe h_o/d_o -Niveau, da günstige Werte von unter 1,0 selten erreicht werden, zum anderen der stabilisierende Effekt des starken Eingriffes in die Kiefer 1980 sowie die allgemein höheren Werte der gedüngten Varianten.

Die Vorratswerte (Tab. 5) lagen 1980 im Alter von 27 Jahren zwischen 4,0 $VfmS/ha$ (04, 06) und 21,0 $VfmS/ha$ (B2, B3) und steigen bis 1990 auf 14,0 $VfmS/ha$ (06) bis 39,0 (C3)

TABELLE 5

Baumart Roteiche: Entwicklung der Vorratswerte (VfmS/ha)
Species red oak: development of the stock values (VfmS/hectare)

Jahr	Alter	Ungedüngt			Kalk						Wichtel, min. N											
		03	04	06	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1980 H	27	17	4	4	17	17	16	8	10	17	15	21	21	18	11	15	12	13	20	8	10	11
1985 H	32	22	10	6	23	23	21	12	11	23	19	28	22	21	15	20	21	20	32	13	14	15
1990 H	37	27	19	14	30	35	27	27	19	36	29	33	34	29	25	26	25	19	39	25	28	23

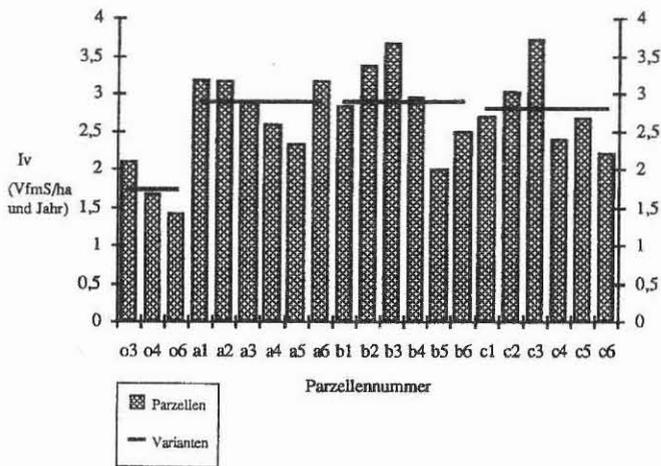


Abb. 8. Baumart Roteiche: laufender jährlicher Volumenzuwachs der Parzellen und Düngungsvarianten (VfmS/ha und Jahr).
Species red oak: constant volume increment of the parcels per annum and fertilizing variants (VfmS/hectare and year).

VfmS/ha. Die Vorratswerte 1985 und 1990 der gedüngten Flächen gleichen sich zunehmend an und übertreffen die Vorräte der ungedüngten Parzellen mit Ausnahme von Fläche 03 um über 50 %.
Der laufende Volumenzuwachs wurde zu einem Durchschnittswert für den Zeitraum 1980 bis 1990 zusammengefaßt. Mit Säulen wurden wiederum die Einzelflächenwerte und mit Balkenlinien die Mittelwerte der Behandlungsvarianten dargestellt (Abb. 8). Der Vorratsvergleich der Düngungsvarianten belegt zum einen das deutlich tiefere Produktionsniveau der ungedüngten Parzellen (1,7 VfmS/ha und Jahr), zum anderen eine auffallende Einheitlichkeit der gedüngten Varianten, deren Zuwachsgrößen bei 2,8–2,9 VfmS/ha und

Jahr liegen. Werden die jährlichen Volumenzuwächse in zwei Perioden gegliedert (1980–1985 und 1985–1990), so ergeben sich, abgesehen von wenigen Ausnahmen (03, B2, C3), steigende Zuwächse in der zweiten Periode. Dies kann wiederum in direkten Zusammenhang mit dem starken Eingriff in die Kiefer im Jahr 1980 zur Begünstigung des Roteichen-Unterstandes gebracht werden, da sich die Roteiche mit ihrem Assimilationsapparat zunächst auf den stark vermehrten Lichtgenuß einstellen mußte.

Düngerwirkung auf den Roteichen-Unterbau

Zunächst wurden die ertragskundlichen Parameter Stammzahl, Grundfläche, verbleibender Vorrat sowie Durchmesser und Höhe des Grundflächenmittel- und des Oberhöhenstammes der 1980er, 1985er und 1990er Erhebung nach den vier Düngungsvarianten gruppiert und varianzanalytisch auf signifikante Unterschiede getestet. Vorab wurde das Datenmaterial auf Normalverteilung und Homogenität mittels BARTLETT-Tests geprüft. Die Varianzanalysen ergaben, daß die Oberhöhen der Düngungsvarianten sich in allen drei Beobachtungsjahren, die Mittelhöhen nur in den Jahren 1980 und 1990 auf einem Signifikanzniveau von 5 % voneinander unterscheiden.

Im Zusammenhang mit einer Untersuchung von Düngungsversuchen unterschiedlicher Bestockungsdichte bei Versuchsbeginn wird von FRANZ (1965) auf Verfahrensvorschläge von RAO (1958) zum statistischen Vergleich von Zuwachswerten hingewiesen. Dabei werden die Einzelzuwächse zu einem linearisierten Wachstumsparameter „b“ verdichtet. Die Varianz der b-Werte wird um den Einfluß der Anfangshöhen, die Kovariate, korrigiert, d. h., der „kovariierende Faktor“ unterschiedlicher Ausgangshöhen wird erfaßt und als Variationsursache neutralisiert. Es verbleiben die bereinigten b-Werte, die nun mit Hilfe eines F-Tests auf signifikante Unterschiede geprüft werden. Nach diesem Verfahren wurden die mittleren Höhenwachstumsgänge, gruppiert nach den Düngungsvarianten, auf Unterschiede statistisch überprüft.

TABELLE 6

Baumart Roteiche: Ergebnisse der Kovarianzanalyse nach RAO (1958) (Erklärung im Text)
Species red oak: results of the co-variant-analysis according to RAO (1958) (for details refer to the text)

	Kombi. 1	Kombi. 2	Kombi. 3	Kombi. 4	Kombi. 5	Kombi. 6	Kombi. 7	Kombi. 8	Kombi. 9	Kombi. 10	Kombi. 11
Anfangswert	Y0	Y0	Y0	Y1	Y1	Y2	Y3	Y3	Y3	Y3	Y4
Zuwachswert	ZP5	ZP1–ZP5	ZP1–ZP6	ZP2–ZP5	ZP2–ZP6	ZP3–ZP5	ZP3–ZP6	ZP4	ZP4, ZP5	ZP4–ZP6	ZP5, ZP6
P-Wert	0,957	0,957	0,967	0,956	0,966	0,961	0,970	0,996	0,954	0,964	0,966
Signifikanz	*	*	*	*	*	*	*	**	*	*	*

Bei einer Analyse der in den Jahren 1953–1957 vom Forstamt Bodenwöhr jährlich erhobenen Höhenentwicklungen sowie derjenigen der Aufnahmen 1980 und 1990 zeigte sich deutlich, daß sich der Höhenwachstumsgang der Düngungsvarianten ein- bis zweifach gesichert voneinander unterscheidet. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 6 dargestellt. Es bedeuten

- * Signifikanzniveau (p) = 5 % (0,05) = einfach gesichert
- ** Signifikanzniveau (p) = 1 % (0,01) = zweifach gesichert
- Anfangshöhe Y 0 = 1953, Y 1 = 1954, –2 = 1955, Y 3 = 1956, Y 4 = 1957, Y 5 = 1980
- Zuwachswert ZP 1 = 1953–54, ZP 2 = 1954–55, ZP 3 = 1955–56, ZP 4 = 1956–57, ZP 5 = 1957–80, ZP 6 = 1980–1990

Mit beiden dargestellten Verfahren läßt sich damit auch im Unterbau ein Einfluß der Düngung nachweisen.

Diskussion

Die Altkiefern zeigen mit einer Zuwachsleistung von durchschnittlich mehr als 7,5 VfmD/ha jährlich bei einem Bestandesalter von 86 bis 124 Jahren eine hervorragende Wuchskraft. Trotz eines sehr geringen Bestockungsgrades von 0,63 wird das Zuwachsniveau der Ertragstafel weit übertroffen, die Bonitätssteigerung beträgt im Durchschnitt mehr als zwei Bonitätsstufen. Der Versuchsbestand zeigt damit zugleich auch die überraschende Wüchsigkeit vieler Bestände in jüngerer Zeit (FOERSTER 1990; PRETZSCH 1985, 1987; REINING 1991, SCHMIDT 1971). Ursachen hierfür sind wohl in erster Linie in den hohen Stickstoffeinträgen der letzten Jahrzehnte zu suchen, die für das betroffene Gebiet in den letzten Jahren 20 kg N/ha noch deutlich übertreffen können (vgl. HÜSER und REHFUESS 1988) und damit die Größenordnung einer praxisüblichen Forstdüngung erreichen (KREUTZER 1989). Auch der Anstieg des CO₂-Gehalts der Atmosphäre wirkt sich wohl wachstumsbegünstigend aus (BURSCHEL et al. 1988). Hinzu kommt beim vorgestellten Versuch eine Erholung des degradierten Bodens nach Aufgabe der Streunutzung.

Welche Leistungssteigerungen hatten nun die Meliorationsmaßnahmen bei dem allgemein hohen Wachstumsniveau im einzelnen zur Folge? Die Höhenentwicklung der Kiefer verlief auf den gedüngten Parzellen durchweg günstiger als auf den Kontrollflächen (Abb. 2). Die Anhebung der Mittelhöhen über das Maß der Kontrollflächen hinaus liegt mit knapp 2 m (Variante B) bzw. etwa 2,5 m (Varianten A, C) im bekannten Rahmen (FOERSTER 1990).

Der Volumenzuwachs der Kiefer wurde am stärksten durch die Kalkung angeregt. Es errechnete sich eine Ertragssteigerung von knapp 2 VfmD/ha jährlich in 38 Jahren. Die Kalkung hat damit einen unerwartet großen Einfluß auf das Bestandeswachstum ausgeübt (vgl. ASSMANN 1965), denn im allgemeinen gilt sie als überwiegend meliorativer Eingriff, von dem kein so bedeutender Einfluß auf den Zuwachs erwartet wird wie beispielsweise von Stickstoff- oder Volldüngung (BAULE und FRICKER 1967; KRAMER und ULRICH 1985). Die mineralischen Stickstoffdüngungen wirkten sich mit einer Ertragssteigerung von knapp 1,4 VfmD in dem 32jährigen Beobachtungszeitraum ebenfalls positiv auf die Zuwachsleistung aus. Im Zeitraum von Beginn bis fünf Jahre nach der letzten Düngung im Jahre 1964 dürfte der Mehrzuwachs mehr als 2 VfmD/ha

jährlich (über 150 Prozent) betragen haben. Er erreicht damit die Größenordnung der Zuwachserfolge, die auf anderen Versuchen festgestellt wurden (FOERSTER 1990; FRANZ und BIERSTEDT 1975; KENNEL und WEHRMANN 1967; KREUTZER 1967).

Bei der Interpretation aller Mehrzuwachs-Angaben muß stets berücksichtigt werden, daß sich auf den gedüngten Parzellen im Laufe der Zeit höhere Einzelbaumvorräte einstellten als auf den Kontrollflächen. Dadurch lagen auch, insbesondere nach Einführung gleicher Stammzahlen auf den Parzellen im Herbst 1980, deren mittlere Bestandesvorräte über denen der Kontrollflächen. So stieg der Vorrat der Variante A im Vergleich zu den Kontrollflächen 03 und 06 kontinuierlich an von –0,3 % zu Versuchsbeginn über +4,2 %, +12 % und +18,8 % bis auf +19,8 % zu Beginn des letzten Zeitabschnittes. Damit ist bei dem sehr geringen Bestockungsgrad des Versuchsbestandes der Mehrzuwachs nach einer gewissen Zeitspanne, mitbedingt durch die waldbauliche Behandlung, auch auf höhere Vorräte der gedüngten Flächen zurückzuführen.

Die 1953 erfolgte Einsaat von Roteiche in Kombination mit Pflügen und Lupineneinbringung kann sicherlich allein aus arbeitstechnischen, ernährungsphysiologischen wie auch landschaftsästhetischen Aspekten nur begrüßt werden. Sie war leicht durchzuführen, denn mehrere Vorhaben (Bodenbearbeitung, Dünger- und Saatgutausbringung) konnten in einem Arbeitsschritt realisiert werden.

Die vom Roteichen-Unterbau in der 38jährigen Versuchszeit bisher erbrachte Volumenleistung (GWL) liegt bei durchschnittlich 40,0 VfmS/ha und damit deutlich unter der GWL-Erwartung für unbeschirmt erwachsene Bestände, die z. B. nach der Ertragstafel von BAUER (1955, III. Bonität) 91 VfmD erreicht.

Für eine Quantifizierung der Leistung beider Baumarten wurden deren jährliche Grundflächenzuwächse in den zwei Periodenwerten für 1980 bis 1985 sowie für 1986 bis 1990 zusammengefaßt. Die Zuwächse aller Parzellen verlaufen auf ähnlich hohem Niveau, wobei sich die gedüngten Varianten mit jährlichen Werten um 1,0 qm/ha von den Kontrollflächen mit 0,8 qm/ha abgrenzen lassen. Der Vergleich der beiden Perioden zeigt, daß die Zuwächse der zweiten Periode mit wenigen Ausnahmen über denjenigen der ersten Periode liegen.

Auffällig ist zum einen, daß alle mit Roteiche unterbauten Parzellen in ihrem Zuwachs über den allein mit Kiefer bestockten Flächen liegen (Tab. 7). Im Durchschnitt beider Zuwachsperioden übertreffen die unterbauten, nicht gedüngten Parzellen (01, 02, 05) die ebenfalls ungedüngten Kiefern-Reinbestandsflächen (03, 06) somit um 90 %. Zum anderen leisten die Roteichen bereits einen maßgeblichen Anteil am gemeinsamen Grundflächenzuwachs. Im Zeitraum von 1980 bis 1985 deckt die Roteiche 22 % bis 56 %, in der Zuwachsperiode von 1986 bis 1990 48 % bis 66 % Prozent des gesamten jährlichen Grundflächenzuwachses der Einzelflächen ab. Bei der folgenden Beurteilung der gegenseitigen Beeinflussung soll zunächst der Einfluß der Roteiche auf die Kiefer diskutiert werden, da der Wirtschaftler seinen Blick zunächst auf das Volumenzuwachsverhalten der betroffenen Kiefern-Wertholzbestände richten wird.

Verglichen werden die Parzellen 01, 02 und 05 (gänzlich unbehandelt; Gruppe „ohne REi“) mit den Parzellen 03 und 06 (Roteichen- und Lupinensaat, Pflügen; Gruppe „mit REi“). Die beiden Gruppen sind wegen sehr ähnlicher ertragskundlicher Kenngrößen zu Versuchsbeginn gut vergleichbar:

TABELLE 7

Baumarten Kiefer und Roteiche: Zusammenfassung der Grundflächenzuwächse von Kiefer und Roteiche (in qm)

Species pine and red oak: summary of the basal area increment of pine and red oak (in square metres)

Jahr	Alter Kie/REi	Ungedüngt					Kalk					Wichtel, min. N											
		01*	02*	03	05*	06	A1	A2	A3	A4	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1980-85	119/32	0,49	0,50	0,90	0,47	0,63	1,11	0,82	0,99	0,88	0,97	0,99	1,08	1,09	0,93	0,70	0,76	1,00	0,92	1,18	0,69	0,92	0,63
1985-90	124/37	0,27	0,48	0,75	0,36	0,97	1,00	1,12	1,00	1,10	1,06	0,96	0,93	1,02	0,82	0,80	0,90	0,95	0,98	0,93	0,96	1,04	1,00

* gänzlich unbehandelte Vergleichsflächen (ungepflügt und ohne Lupinen- und Roteichenunterbau)

Einer durchschnittlichen Mittelhöhe von 16,9 m und einer Grundfläche von 11,8 qm/ha (ohne REi) stehen 16,6 m und 12,0 qm/ha (mit REi) gegenüber. Für beide Gruppen betrug der mittlere Vorrat im Frühjahr 1953 91 VfmD/ha.

Auf den gepflügten und unterbauten Parzellen wird von der Kiefer über die gesamte Beobachtungsdauer von 38 Jahren ein Volumenzuwachs in fast gleicher Höhe wie auf den gänzlich unbehandelten Flächen geleistet, es errechnet sich hier eine – nicht absicherbare – Zuwachsminderung um insgesamt rund 9 VfmD/ha. Der Unterbau hat somit zu einem nur geringen rechnerischen Zuwachsverlust an den Altkiefern von knapp $\frac{1}{4}$ VfmD je Hektar und Jahr geführt.

Allelophile Wirkungen zwischen Roteichen-Unterbau und Kiefern-Altholz, insbesondere eine begünstigte Bodenstreu-entwicklung durch das Roteichen-Laub, sind wahrscheinlich (MAYER 1984; TRILLMICH und UEBEL 1982), schlugen sich jedoch nicht erkennbar in Zuwachs- oder Höhenentwicklung der Kiefern nieder.

Die Frage, inwieweit sich bei größerem Dichtschluß des Altbestandes größere Zuwachsverluste durch Unterbau eingestellt hätten, kann aufgrund des vorliegenden schmalen Bestockungsgradspektrums nicht beantwortet werden.

Auswirkungen des Kiefern-Altholzschirmes auf die Entwicklung der Roteiche wurden mittels eines einfachen linearen Regressionsmodells untersucht. Dabei standen die Abhängigkeiten der Roteiche vom Bestockungsgrad der Kiefer im Vordergrund. Dieser variierte im Beobachtungszeitraum 1980 bis 1985 zwischen 0,5 und 0,8. Die Werte der 90er Erhebung lieferten infolge des Sturmereignisses keine plausiblen Zusammenhänge.

Wie zu erwarten war, ergaben sich für die Beziehung Bestockungsgrad Kiefer/Stammzahl Roteiche Bestimmtheitsmaße (1980: 0,654, 1985: 0,647), die deutlich negative Wirkung zunehmender Überschirmung durch die Kiefer auf die Roteiche belegen. Im Gegensatz dazu steigen die Bestandesgrundflächenwerte der Roteiche mit zunehmender Überschirmung an. Dies kann dahingehend interpretiert werden, daß besonders schwache Individuen aus dem Kollektiv ausscheiden und die verbleibenden, stärkeren in der Lage sind, den dargebotenen Wuchsraum besser auszunutzen. Dieselbe Aussage läßt sich für die Mittel- und Oberhöhen treffen. Auch die Schlankheitsgrade der Roteiche spiegeln die Zusammenhänge zwischen den beiden Baumarten wider. Die Tatsache, daß die Dimensionsquotienten der Roteiche mit zunehmendem Bestockungsgrad der Kiefer zunehmen, kann darauf zurückgeführt werden, daß die Entwicklung des Durchmesserwachstums letztlich weniger durch die Kiefer gebremst worden ist als das Höhenwachstum.

BAUER hat bereits 1953 gefordert, daß beim Unterbau von Kiefer mit Roteiche ab einer Höhe von 2 m der Bestockungsgrad der Kiefer auf 0,2 abgesenkt werden muß. Mittlerweile

haben die Mittelhöhen der Roteiche auf unseren Parzellen Werte um 12,0 m erreicht. Obwohl auch im vorliegenden Versuch die Stammzahlen des Altbestandes wiederholt aus Rücksicht auf den Unterbau abgesenkt wurden, lag der Grundflächen-Bestockungsgrad der Kiefer nie unter 0,4. Dies führte dazu, daß sich die hohen Ausgangsstammzahlen der Roteiche in Verbindung mit anfangs nicht rechtzeitig durchgeführten Pflegeeingriffen unter Schirm in ungünstigen Schlankheitsgraden der Roteiche niederschlugen. Die phototrophisch sehr reagible Roteiche entwickelte ungünstige, oftmals stark gekrümmte Schaftformen. Ausgeprägte natürliche Differenzierungsprozesse trugen darüber hinaus zu einer inhomogenen Verteilung im Bestand bei. Die deutliche Verbesserung der Schaftform in den letzten zehn Jahren belegt eindrucksvoll die Effektivität der waldbaulichen Maßnahmen in Ober- und Unterstand (Abb. 7).

Mit Ausnahme der vom Sturmereignis im Frühjahr 1990 stärker betroffenen Parzellen lassen weder die Sortimentsstruktur der Kiefer noch die Übernahmewürdigkeit der Roteiche an eine rasch einzuleitende Verjüngung denken. Deswegen wird sich das weitere Vorgehen schwerpunktmäßig auf eine vorsichtige Umlichtung der zur weiteren Förderung ausgewählten, hochwertigen Altkiefern konzentrieren. Langfristig wäre auch ein stammzahlreicher Überhalt denkbar. Für die weitere Bewirtschaftung der Roteiche stehen bereits ausreichend stabile, von der Schaftform her ansprechende Einzelstämme zur Verfügung, zu deren Förderung auch mäßig ins Kronendach der Kiefer eingegriffen werden sollte, ohne dabei deren Bestockungsgrad weiter nennenswert abzusenken.

Literatur

- Assmann, E. 1965. Düngung und Melioration von Waldbeständen in ertragskundlicher Sicht. *Allg. Forstz.* 10, 241-251.
- Bauer, F. 1953. *Die Roteiche*. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- Baule, H.; Fricker, C. 1967. *Die Düngung von Waldbäumen*. BLV Verlag, München.
- Burschel, P.; Weber, M. 1988. Der Treibhauseffekt – Bedrohung und Aufgabe für die Forstwirtschaft. *Allg. Forstz.* 43, 1009-1019.
- Foerster, W. 1990. *Zusammenfassende ertragskundliche Auswertung der Kiefern-Düngungsversuchsflächen in Bayern – ein Beitrag zur Beschreibung des Kiefernwachstums in Süddeutschland*. Forstl. Forschungsber. München 105.
- Franz, F. 1965. Auswertung von Düngungsversuchen mit unterschiedlicher Bestockungsdichte bei Versuchsbeginn. *Forstw. Cbl.* 84, 84-95.
- Franz, F.; Bierstedt, W. 1975. Wirkung großflächiger Flugzeugdüngung mit Kalkammonsalpeter auf den Volumenzuwachs von Kiefernbeständen im Bayerischen Forstamt Bodenwöhr/Opf. *Forstw. Cbl.* 94, 310-324.
- Gussone, H. A. 1988. Düngung. In: Kramer, H. (Hrsg.) *Waldwachstumslehre*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, Kap. 9.

- Hüser, R.; Rehfuess, K.-E. 1988. *Stoffdepositionen durch Niederschläge in ost- und südbayerischen Waldbeständen*. Forstl. Forschungsber. München 86.
- Kennel, R.; Wehrmann, J. 1967. Ergebnis eines Düngungsversuchs mit extrem hohen Stickstoffgaben in einem Kiefernbestand geringer Bonität. XIV. IUFRO-Kongreß, Section 25/6, 216-231.
- Kramer, W.; Ulrich, B. 1985. Ergebnisse eines Kalksteigerungsversuchs im Forstamt Syke. *Forst- u. Holzw.* 40, 147-154.
- Kreutzer, K. 1967. Ernährungszustand und Volumenzuwachs von Kiefernbeständen neuer Düngungsversuche in Bayern. *Forstw. Cbl.* 86, 28-53.
- Kreutzer, K. 1989. Einst zu wenig – nun zu viel. Das Kreuz des Waldes mit dem Stickstoff. *Nationalpark* 65, 6-9.
- Mayer, H. 1984. *Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- Pretzsch, H. 1985. *Wachstumsmerkmale süddeutscher Kieferbestände in den letzten 25 Jahren*. Forstl. Forschungsber. München 65.
- Pretzsch, H. 1987. Zur Frage des „Normalwachstums“ der Kiefer in der Oberpfalz. *Forst- u. Holzw.* 46, 286-293.
- Rao, C. R. 1958. [Einige statistische Methoden für den Vergleich von Wachstumskurven]. *Biometrics* 14, 1-17.
- Reining, F. 1991. Zum Wachstum der Kiefern im südlichen Oberrheintal. *Allg. Forstz.* 46, 888-890.
- Schmidt, A. 1971. *Wachstum und Ertrag der Kiefern auf wirtschaftlich wichtigen Standorteinheiten der Oberpfalz*. Forstl. Forschungsber. München 1.
- Trillmich, H.-D.; Uebel, E. 1982. Ergebnisse eines Roteichenvor-anbaues unter einem 65jährigen Kiefernbestand bei gleichzeitiger mineralischer Düngung. *Beitr. Forstwirtschaft.* 16, 34-39.

Verfasser: Prof. Dr. Dr. F. h. c. FRANZ, Dr. W. FOERSTER, Dipl.-Ing. (FH), P. DÖRR, Forstrat M. BACHMANN, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, Hohenbacherstr. 22, D 85354 Freising.