

Zum Wachstum der Fichte unter veränderten Umweltbedingungen

Einfluß der experimentellen Behandlung auf den Zuwachs von 1983 bis 1992

Von Heinz Röhle, Freising *)

In dem 85jährigen Fichtenbestand im Höglwald ist seit Versuchsbeginn kein Nachlassen der Höhenwuchsleistung feststellbar. Hinsichtlich der Grundflächen- und Vorratshaltung übertrifft der Bestand die Ertragstafelangaben deutlich. Der laufende Zuwachs zeigt zwischen 1950 und 1983 den erwarteten, altersbedingt fallenden Trend, von 1984 bis 1989 steigen die Wuchsleistungen wieder an. Dieser Anstieg fällt auf Parzelle B1 (sauer beregnet, nicht gekalkt) überproportional steil aus. Ergänzende Messungen in neubegründeten Fichtenbeständen und auf Dauerversuchsflächen deuten auf großräumig wirksame, anthropogen bedingte Standortveränderungen hin.

Erbanlagen und Umweltbedingungen bestimmen das Wachstum von Bäumen und Waldbeständen. Während bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts die Wachstumsgänge im wesentlichen den von ASSMANN (2) beschriebenen Gesetzmäßigkeiten folgten und nur von regionalen Witterungsverläufen überprägt waren, werden seit einigen Dekaden vermehrt Stoffeinträge für die vielerorts nachweisbaren, atypischen Zuwachsverläufe verantwortlich gemacht. Immissionen können sich, je nach Art und Zusammensetzung, sowohl in einer erhöhten Wuchsleistung (4, 8) wie auch in markanten Zuwachsdepressionen (11) äußern. Untersuchungen in Fichtenbeständen unterschiedlicher Schadgrade in Bayern ergaben, daß zwischen der Zuwachsleistung und dem Vitalitätszustand regional differenzierte Beziehungen bestehen (16). Allerdings wurden die Beziehungen zwischen Wuchsleistung und Schadgrad für die Fichte in Bayern bisher ohne Kenntnis der Stoffeinträge allein auf der Basis von Schadansprachen und Zuwachsbohrungen formuliert. In Waldökosystemen führen nach ULRICH (15) langjährige saure Immissionen zur Auswaschung von Kationen, zur Freisetzung toxischer Aluminium- und Schwermetallionen in der Bodenlösung und damit zwangsläufig zu Zuwachsverlusten.

Ziel und Methoden

Ziel der ertragskundlichen Beobachtungen im Höglwald war es, in einem kontrollierten Beregnungsexperiment mit definierten Stoffeinträgen zu prüfen, ob

und in welcher Weise das Zuwachsverhalten der Fichten auf den einzelnen Parzellen auf die Behandlungsvarianten (Kontrolle, Beregnung normal, Beregnung sauer, jeweils mit und ohne Kompensationskalkung) reagiert. Dazu wurden im Frühjahr 1983 insgesamt 8 Meßflächen (die 6 Meßparzellen A1, A2, B1, B2, C1, C2 und die 2 Sonderflächen S1 und S2) in dem damals 76jährigen Fichtenbestand angelegt und ertragskundlich aufgenommen. Der Zweitaufnahme im Herbst 1988 folgte im Frühjahr 1992 die Drittaufnahme und die abschließende Auswertung (10). In einzelnen wurden folgende Daten erhoben:

- Messung von Brusthöhendurchmesser und Baumhöhe bei allen 3 Aufnahmen.
- Entnahme von 2 Bohrspänen an 15 bis 20 Bäumen pro Parzelle bei der Aufnahme im Jahr 1992.

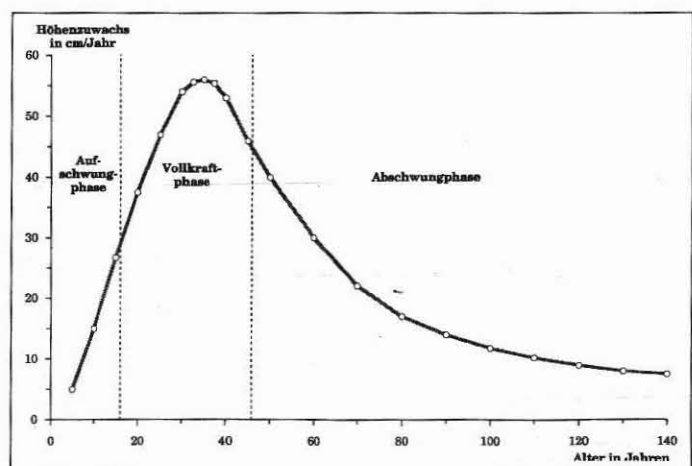
Beeinträchtigungen der Meßparzellen waren im Untersuchungszeitraum nicht

zu verzeichnen. Lediglich auf Parzelle A1 waren 3 Bäume durch Windwurf ausgefallen. Um auch für diese Fläche einen einheitlichen Datensatz zu erhalten, wurden die Angaben für den Ausgangszustand (zu Beginn der Beobachtung im Jahr 1983) auf Basis der bei der Drittaufnahme noch stehenden Fichten adjustiert. Die in dieser Arbeit für die Parzelle A1 aufgelisteten Werte weichen daher von den in der Erstveröffentlichung (12) angegebenen Daten ab.

Ertragskundliche Basisdaten

Tab. 1 stellt die ertragskundlichen Kennzahlen der 8 Meßparzellen den Angaben der Bonität 40, oberes Ertragsniveau (O40), der bayerischen Fichten-Ertragstafel nach ASSMANN/Franz (3) gegenüber. Auffallend ist, daß die Oberhöhen mit Ausnahme der Fläche A1 die Tafelangaben übertreffen. Die Grundflächen- und Vorratshaltungen zeigen sogar durchweg höhere Werte als die Ertragstafel. Angesichts dieser Befunde ist der Standort als äußerst wuchskräftig einzustufen: Vorräte bis zu 1485 VfmD/ha (1062 VfmD/ha nach ASSMANN/Franz) und Grundflächenhaltungen bis zu 90.1 qm/ha (68.7 qm/ha nach ASSMANN/Franz) im Alter von 85 Jahren unterstreichen die Wuchspotenz nachdrücklich.

Abb. 1: Typischer Verlauf von Zuwachskurven nach ASSMANN. Im gezeigten Beispiel (jährlicher Höhenzuwachs) treten Aufschwung-, Vollkraft- und Abschwungphase deutlich hervor.



*) Dr. H. Röhle ist Akademischer Oberrat am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der LMU München in Freising.

Tab. 1: Wichtige ertragskundliche Kenngrößen des Untersuchungsbestandes im Höglwald im Vergleich zur Bonität O 40 der Fichtenertragstafel ASSMANN/Franz

Parzelle	Aufnahmejahr	Alter in Jahren	N/ha	Grundfläche in qm/ha	Vorrat in VfmD/ha	Mitteldurchm. in cm	Mittelhöhe in m	Oberhöhe in m
A1	1983 F	76	678	62.6	978	34.3	32.7	34.8
	1988 H	82	678	68.8	1117	36.0	34.2	36.2
	1992 F	85	678	72.6	1177	36.9	34.2	36.6
B1	1983 F	76	611	71.4	1128	38.6	33.8	36.0
	1988 H	82	611	78.8	1278	40.4	35.1	37.2
	1992 F	85	611	81.6	1337	41.2	35.2	37.9
C1	1983 F	76	589	68.9	1092	38.6	33.8	35.8
	1988 H	82	589	76.8	1257	40.6	35.2	37.1
	1992 F	85	589	79.4	1302	41.4	35.3	37.6
A2	1983 F	76	567	80.6	1285	42.6	34.6	36.3
	1988 H	82	567	87.4	1433	44.3	35.9	37.6
	1992 F	85	567	90.1	1485	45.0	36.0	38.4
B2	1983 F	76	600	72.4	1149	39.2	33.9	35.7
	1988 H	82	600	79.0	1294	41.0	35.2	36.9
	1992 F	85	600	81.6	1339	41.6	35.3	37.4
C2	1983 F	76	644	66.0	1037	36.1	33.2	35.6
	1988 H	82	644	71.9	1168	37.7	34.5	36.9
	1992 F	85	644	74.4	1210	38.3	34.5	37.5
S1	1983 F	76	500	72.2	1153	42.9	34.9	36.1
	1988 H	82	500	80.3	1318	45.2	36.0	37.5
	1992 F	85	500	83.2	1374	46.0	36.2	38.1
S2	1983 F	76	589	69.3	1097	38.7	33.8	36.0
	1988 H	82	589	75.4	1231	40.4	35.1	37.2
	1992 F	85	589	77.6	1271	41.0	35.2	37.9
Fi-ET ASSMANN/Franz Bonität O40		75	744	65.0	939	33.3	32.0	35.0
		80	684	66.9	1004	35.3	33.4	36.2
		85	631	68.7	1062	37.3	34.6	37.3

Auswirkungen der experimentellen Behandlung auf den Zuwachs

ASSMANN (2) hat grundlegende Gesetzmäßigkeiten der Wachstumsrhythmik von Bäumen und Beständen beschrieben. Demzufolge zeigt der laufende Zuwachs in der Jugendphase einen steilen Anstieg, erreicht danach eine Phase konstant hoher Leistung, um bei weiter zunehmendem Alter in die Abschwungphase mit sinkenden Zuwachsraten einzutreten (Abb. 1). Der Beginn der Abschwung-

phase setzt bei der Fichte auf guten Standorten spätestens im Alter von 50 bis 60 Jahren ein. Modellkonformes Wachstum unterstellt, müßte der Zuwachstrend im Höglwald kontinuierlich fallen und dürfte nur durch witterungsbedingte Faktoren überprägt werden. Der Einfluß der Witterung schlägt sich normalerweise in einem mehr oder weniger stark fiebernden Kurvenverlauf nieder, bewirkt jedoch keine dauerhafte Trendänderung.

Zur Darstellung des Zuwachsgeschehens im Beobachtungszeitraum wurde

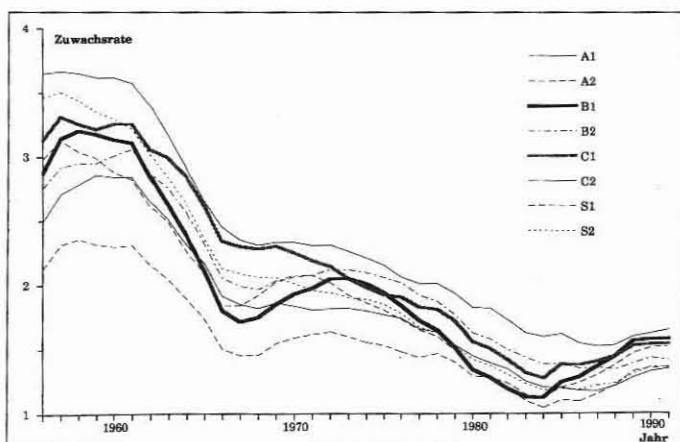


Abb. 1: Geglätteter Verlauf der Zuwachsraten (Grundflächenzuwachsprozent) über dem Alter für die Flächenmittelmittelwerte der 8 Parzellen, Parzellen B1 und C1 hervorgehoben.

das unmittelbar aus den Zuwachsbohrungen abgeleitete Grundflächenzuwachsprozent (Zuwachsraten) herangezogen. Diese Größe erleichtert den Vergleich von Zuwachsverläufen, da die in den Absolutwerten vorhandenen Unterschiede durch die Verwendung relativer Dimensionen nivelliert werden und sich somit das Streuband der Zuwachskurven einengt. Abb. 2 enthält eine Gegenüberstellung der Mittelwertkurven aller 8 Parzellen. Zur Verdeutlichung des Zuwachstrends wurden in der Darstellung geglättete Kurven mit gleitenden, 5jährigen Mittelwerten aufgetragen. Dabei fällt auf, daß alle Flächen in etwa gleichsinnige Kurvenformen aufweisen, die sich in zwei Zeiträume gegensätzlichen Wachstumsverhaltens mit folgenden Charakteristika einordnen lassen:

- eine erste Periode fallender Zuwachsraten, die Mitte der 50er Jahre einsetzt und bis Anfang der 80er Jahre anhält und
- eine daran anschließende, zweite Periode nahezu kontinuierlich steigender Zuwachsraten. Diese zweite Periode endet auf allen Parzellen im Jahr 1989.

Im folgenden werden für jede der beiden Perioden die Zuwachsraten als Funktion des Alters mit Hilfe linearer Regressionen ausgedrückt und geprüft, ob die Steigungsparameter der Regressionsgleichungen für die 8 Parzellen abweichende Werte aufweisen, was Rückschlüsse auf etwaige Behandlungseffekte erlauben würde. Tab. 2 ist zu entnehmen, daß die Regressionsgleichungen für die erste Periode ausnahmslos, die der zweiten Periode überwiegend signifikant und damit statistisch abgesichert

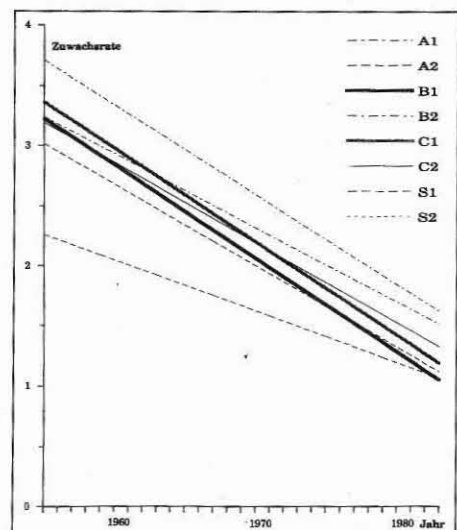


Abb. 2: Ausgleichsgeraden für die Schätzung der Zuwachsraten in Abhängigkeit vom Alter in der Periode fallender Zuwachsraten von 1955 bis 1983, Parzellen B1 und C1 hervorgehoben.

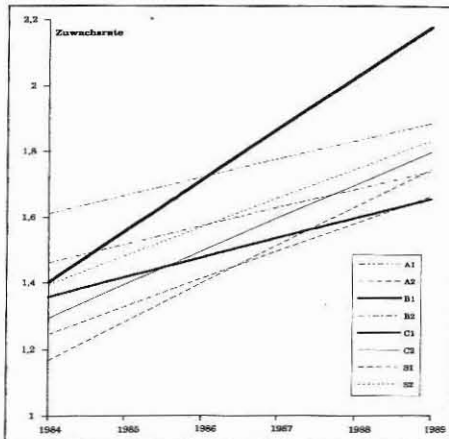


Abb. 4: Ausgleichsgeraden für die Schätzung der Zuwachsraten in Abhängigkeit vom Alter in der Periode steigender Zuwachsraten von 1984 bis 1989, Parzellen B1 und C1 hervorgehoben.

sind. Abb. 3 zeigt die Regressionsgeraden aller Parzellen in der Periode vor dem Behandlungsbeginn. Die im Mittelpunkt der Betrachtungen stehende Parzelle B1 bewegt sich durchaus innerhalb des Kollektives der Geraden. Bis auf den langsameren Rückgang der Zuwachsraten von Parzelle A2, die sich aber am Ende der Periode auf dem Niveau der restlichen Parzellen einpendelt, weisen alle Parzellen einschließlich B1 eine fast übereinstimmende, negative Steigung auf. Während in Abb. 3 kein auffälliger Verlauf der Ausgleichsgeraden der Fläche B1 zu erkennen ist, separiert sich diese in der zweiten Periode unter dem Einfluß der sauren Beregnung stark (Abb. 4): Im Gegensatz zu den 7 weiteren Parzellen, bei denen ein Ansteigen der Zuwachsraten um 0.2 bis 0.4 Einheiten zu verzeichnen ist, steigt die Zuwachsraten auf Parzelle B1 in diesem Zeitraum um 0.7 Einheiten und verläßt das Streuband der Geraden, in dessen Mitte sie sich zu Beginn der Periode befand. Offensichtlich reagiert die Fläche B1 auf die Behandlung ausgeprägter als die übrigen Parzellen. Somit zeigt im Behandlungszeitraum lediglich die sauer beregnete Parzelle B1 einen von den übrigen Flächen abweichenden Zuwachsgang. Der Säureeintrag hat allerdings, wie auch auf den 7 weiteren Parzellen, nicht zu einer Minderung der Zuwächse, sondern zu gesteigerter Wuchsleistung geführt.

Wertung der Ergebnisse im Höglwald

Untersuchungen von SCHMIDT (14) in Fichtenaltbeständen in Bayern belegen, daß die Zuwachsverläufe von Waldbe-

allgemeine Form der Regressionsgleichung
 $W = a + b \cdot A$
 W: Wachstumsrate
 A: Alter
 a, b: Koeffizienten

B: Bestimmtheitsmaß

Signifikanzniveau P:
 - = nicht signifikant (< 95 %)
 * = signifikant (95 - 99 %)
 ** = hochsignifikant (99 - 99,9 %)
 *** = höchstsignifikant (> 99,9 %)

Tab. 2: Statistische Kennwerte der Regressionsgleichungen zur Schätzung der Zuwachsraten W als Funktion des Alters A

Parzelle	Periode von 1955 bis 1983			Periode von 1984 bis 1989		
	B	Irrtumswahrscheinlichkeit	P	B	Irrtumswahrscheinlichkeit	P
A1	0.876	9.50E-14	***	0.286	0.274	-
A2	0.791	1.11E-10	***	0.727	0.031	*
B1	0.758	8.12E-10	***	0.900	0.004	**
B2	0.767	4.90E-10	***	0.678	0.044	*
C1	0.871	1.63E-13	***	0.443	0.149	-
C2	0.740	2.20E-09	***	0.805	0.015	*
S1	0.708	1.09E-08	***	0.867	0.007	**
S2	0.783	1.81E-10	***	0.967	0.004	**

ständen signifikant trendbehaftet sind, also autoregressive Komponenten beinhalten, und der Einfluß von Witterungsfaktoren überwiegend saisonaler Natur ist. Diese Aussage trifft für den Höglwald für jede der beiden betrachteten Perioden uneingeschränkt zu, in denen sich, abgesehen von witterungsbedingt fließenden Zuwachsgängen, eindeutige Trendverläufe abzeichnen. Erstaunlich ist die zu Beginn der Behandlungen auf allen Parzellen einsetzende und im 5-jährigen Folgezeitraum kontinuierlich ansteigende Zuwachsleistung. Dieser Zuwachs-

anstieg ist keine Folge von Durchforstungseingriffen, da in den Untersuchungsbestand weder unmittelbar vor noch im Lauf der Behandlungen eingegriffen wurde. Außerdem wiesen alle Parzellen bereits zu Beginn des Experiments Bestockungsgrade über 1.0 auf. Möglicherweise sind für die hohen Zuwachsleistungen Witterungseinflüsse mit verantwortlich. So lag die jährliche Mitteltemperatur ab 1988 mit deutlich über 8 Grad mehr als 1 Grad höher als im langjährigen Durchschnitt, für den 7.3 Grad Celsius gemessen wurden (6).

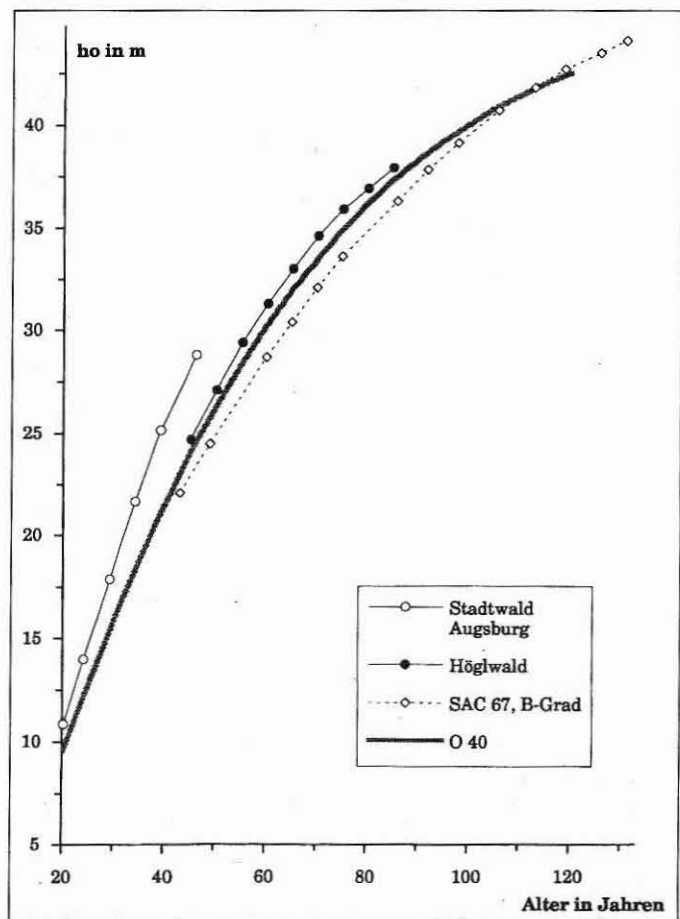


Abb. 5: Oberhöhenentwicklung über dem Alter im Höglwald (Mittelkurve) im Vergleich zu einem 46-jährigen Fichtenbestand im Stadtwald Augsburg, einem 131-jährigen Fichtenbestand im Forstamt Schongau und zur Bonität O40 der Fichtenertagstafel ASSMANN/FRAZ.

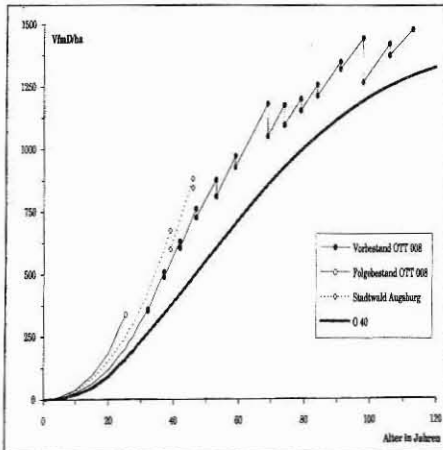


Abb. 6: Volumenentwicklung über dem Alter des in den 60er Jahren aufgegebenen Fichtenbestandes auf der Versuchsfläche Ottobeuren 008 im Vergleich zum Folgebestand, zu dem 46jährigen Fichtenbestand im Stadtwald Augsburg und zur Bonität O40 der Fichtenertragstafel ASSMANN/Franz.

Überraschend ist auch, daß auf der sauer berechneten Parzelle B1 im Vergleich zu den übrigen Flächen ein überproportionaler Anstieg des Zuwachses in der Phase zwischen 1984 und 1989 beobachtet wurde. Entgegen gängiger Lehrmeinung führte die saure Beregnung nicht zu einer Minderung der Wachstumsleistung. Ein Grund dafür ist in der fehlenden Nährstoffkonkurrenz der Bodenvegetation zu vermuten, deren Deckungsgrad auf Parzelle B1 aufgrund der sauren Beregnung drastisch zurückging (9). Dies kann zur kurzfristigen Verbesserung der Nährelementversorgung und damit zu Zuwachsfördernden Effekten führen, wie ABRAHAMSEN et al. (1) auf Beregnungsexperimenten an Fichte und Kiefer in Skandinavien demonstrieren.

Wachstum der Fichte unter veränderten Umweltbedingungen in Südbayern

Die im Höglwald ermittelten Grundflächen und Vorräte sind ebenso wie die über der Ertragsklasse O40 liegende Bonität für südbayerische Verhältnisse nicht unbedingt als Sonderfall anzusehen. Ähnlich weit über die Tafelangaben reichende Wachstumsleistungen wurden unter anderem in einem jüngeren Fichtenbestand im Stadtwald Augsburg (13) und im Alpenvorland auf über 100jährigen Fichten-Dauerversuchsflächen nachgewiesen (7). Bei Gegenüberstellung der Oberhöhenentwicklung (Abb. 5) fällt auf, daß der 46jährige, mäßig niederdurch-

forstete Fichtenbestand im Stadtwald Augsburg die Ertragstafelangaben deutlich übertrifft als der 85jährige Fichtenbestand im Höglwald. Noch bemerkenswerter erscheint die Tatsache, daß Fichtenaltbestände wie die Versuchsfläche Sachsenried 067 (Forstamt Schongau) seit etwa 30 bis 40 Jahren das alterstypische Abflachen der Höhenentwicklung nur in stark abgeschwächter Form zeigen.

Die Gründe für diese außergewöhnlichen Wachstumsgänge dürften nicht zuletzt in den sich durch anthropogene Einflüsse rasch wandelnden Umweltbedingungen liegen. Als wachstumsbegünstigende Faktoren kommen der zunehmende CO_2 -Gehalt der Atmosphäre wie auch der verstärkte Eintrag von Stickstoff in unsere Wälder in Betracht. Der Stickstoffinput erreicht nach HÜSER und REHFUESS (5) in Ost- und Südbayern Werte von über 20 kg pro Hektar und Jahr, was der Wirkung von Düngerapplikationen mittlerer Größenordnung gleichkommt und zweifellos zu einer Steigerung der Wuchsleistungen führt. Daß sich das Nährstoffangebot in den letzten 120 Jahren entscheidend verbessert haben muß, unterstreicht eine Analyse der Folgegeneration auf der in den 60er Jahren aufgegebenen Fichtenversuchsfläche Ottobeuren 008. Während auf dem A-Grad im Jahr 1882 eine Oberhöhe von 17,1 m bei einem Alter von 32 Jahren gemessen wurde, weist der nach Einschlag des Vorbestandes begründete Folgebestand im Jahr 1993 ebenfalls eine Oberhöhe von 17,1 m auf, dies allerdings im Alter von 25 Jahren und somit 7 Jahre früher.

Auch die Vorratsentwicklung (Abb. 6) demonstriert die ausgeprägte Überlegenheit des Folgebestandes, der mit einem Volumen von 341 VfmD/ha bereits im Alter 25 fast die Holzmasse des Vorbestandes von 356 VfmD/ha im Alter 32 erreicht hat. Mit dieser Massenleistung ist der Folgebestand auf der Versuchsfläche Ottobeuren 008 sogar noch wuchskräftiger als der sehr vitale, 46jährige Fichtenbestand im Stadtwald Augsburg.

In einem Sonderforschungsvorhaben am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde wird derzeit geprüft, ob die beschriebenen Abweichungen von den Ertragstafelvorgaben auf der breiten Basis der älteren Fichten-Dauerversuchsflächen verifiziert werden können.

Folgerungen

Die Ergebnisse der ertragskundlichen Analyse im Höglwald verdeutlichen, daß die saure Beregnung auf dem Standort

mit hoher Nährstoffausstattung bisher nicht zu nachweisbaren Zuwachsrückgängen geführt hat. Da zuwachsmindernde Effekte saurer Einträge durch zahlreiche Untersuchungen prinzipiell belegt sind, stellt sich die Frage, ob die Zeitdauer der Beregnung zu kurz und/oder die Säuregabe zu gering waren.

Die auf Dauerversuchsflächen darüber hinaus bayernweit festgestellten Abweichungen der tatsächlichen Wachstumsverläufe von den bisher gültigen Modellvorstellungen unserer Ertragstafeln zeigen, daß

- unsere Planungshilfen, und das gilt für alle gebräuchlichen Ertragstafeln, nur zur aktuellen Vorratsschätzung, nicht aber zur Prognose der künftigen Leistung geeignet sind, und
- die Standortkonstanz als Voraussetzung der traditionellen forstlichen Bonitierung nicht mehr gegeben ist.

Ob und in welcher Weise anthropogen bedingte Stoffeinträge dafür ursächlich sind, kann nur im Rahmen von interdisziplinären Forschungsvorhaben geklärt werden.

Literaturhinweise:

- 1) ABRAHAMSEN, G., TVEITE, B., STUANES, A.O., 1987: Wet acid deposition effects on soil properties in relation to forest growth. Experimental results. IUFRO-Conf. „Woody Plant Growth in a Changing Physical and Chemical Environment“, Vancouver.
- 2) ASSMANN, E., 1961: Waldertragskunde, BLV Verlagsgesellschaft, München-Bonn-Wien, 490 S.
- 3) ASSMANN, E., FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern, München, 104 S.
- 4) FRANZ, F., RÖHLE, H., MEYER, F., 1993: Wachstumsgang und Ertragsleistung der Buche, 120jährige Beobachtung des Buchen-Durchforstungsversuchs Fabriktschleibach 15, AFZ 48, (6), S. 262 - 267.
- 5) HÜSER, R., REHFUESS, K.-E., 1988: Stoffdeposition durch Niederschläge in ost- und südbayerischen Waldbeständen, Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 86, 153 S.
- 6) KREUTZER, K., 1994: Das Höglwaldprojekt. Zielsetzung, Versuchskonzept und Basisdaten.
- 7) MEYER, F., RÖHLE, H., JURSCHITZKA, P., 1985: Fichtendurchforstungsversuche Sachsenried 67 und 68 - Forstamt Schongau, Exkursionsführer MWV-EF 44, München, 24 S.
- 8) PRETZSCH, H., 1985: Wachstumsmerkmale süddeutscher Kiefernbestände in den letzten 25 Jahren, Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 65, 183 S.
- 9) RODENKIRCHEN, H., 1991: Entwicklung der Waldbodenvegetation auf den Versuchsflächen des Höglwald-Experiments im Beobachtungszeitraum 1983 - 1989, Parey, Hamburg und Berlin, Forstwiss. Forschungen, Heft 39, S. 74 - 85.
- 10) RÖDER, H. von, SPRINZL, N., 1993: Entwicklung des Fichtenaltbestandes auf dem Beregnungsexperiment im Höglwald in der Beobachtungsperiode von 1983 bis 1992, Diplomarbeit MWV - DA 100, Universität München, 92 S.
- 11) RÖHLE, H., 1987: Entwicklung von Vitalität, Zuwachs und Biomassenstruktur der Fichte in verschiedenen bayrischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluß der neuartigen Walderkrankungen, Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 83, 122 S.
- 12) RÖHLE, H., 1986: Ertragskundliche Zustandserfassung und Zuwachs des Fichtenaltbestandes im Höglwald vor der experimentellen Behandlung, FwCbl. (105), S. 283 - 287.
- 13) RÖHLE, H., HEISS, A., 1988: Die Wachstumsleistung von Abies grandis im Stadtwald Augsburg im Vergleich zu Douglasie und Fichte, AFZ (43), S. 311-312.
- 14) SCHMIDT, J., 1990: Überlegungen zur Erfassung und Beschreibung von Wachstumsgängen am Beispiel der Durchmesserentwicklung der letzten Jahrzehnte von Fichtenaltbeständen in Bayern unter besonderer Berücksichtigung witterungsbedingter Zuwachsreaktionen, Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 104, 156 S.
- 15) ULRICH, B., 1986: Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und Möglichkeiten, FwCbl. (105), S. 421 - 433.
- 16) UTSCHIG, H., 1989: Waldwachstumskundliche Untersuchungen im Zusammenhang mit Waldschäden - Auswertung der Zuwachstrendanalysenflächen des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde für die Fichte (Picea abies [L.] Karst.) in Bayern, Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 97, 198 S.