

Einfluß von Grundwasserabsenkungen auf das Wuchsverhalten der Kiefernbestände im Gebiet des Nürnberger Hafens

Ergebnisse ertragskundlicher Untersuchungen auf der Weiserflächenreihe Nürnberg 317

Von H. PRETZSCH und M. KÖLBEL

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München

1. Problemstellung

Als Mitte der sechziger Jahre die Planungen für den Bau des Hafens Nürnberg am Rhein-Main-Donau-Kanal fertiggestellt wurden, leitete die Bayerische Staatsforstverwaltung ein Beweisverfahren ein mit dem Ziel festzustellen, wie sich die im Rahmen der Baumaßnahmen erforderlichen Grundwasserabsenkungen auf das Produktionsvermögen der im angrenzenden Staatswald gelegenen Kiefernbestände auswirken. Zu diesem Zweck wurden vom damaligen Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München die Weiserflächenreihe Nürnberg 317 (NBG 317) eingerichtet und vom Wasser- und Schiffsamt Nürnberg ergänzende Grundwasserpegel angelegt. – Mit der Grundabtretung der Kanalfächen an die Rhein-

Main-Donau AG ein Jahr nach Beendigung der Hafenaufarbeiten verlor die Weiserflächenreihe ihren Charakter als Kontrollanlage zur ertragskundlichen Beweissicherung. In den folgenden 20 Jahren hielt der Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde die Weiserflächenreihe wegen ihres hohen wissenschaftlichen Wertes jedoch weiter unter Beobachtung. Da unser Wissensstand über die Auswirkungen von Grundwasserstandsänderungen auf das Wuchsverhalten von Waldbeständen allgemein noch recht gering ist (ALTHERR und ZUNDEL, 1966; ALTHERR, 1969, 1972 a und 1972 b; PREUHSNER, 1986), kommt dieser Flächenreihe eine über die hier untersuchte Fragestellung weit hinausgehende Bedeutung zu.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, die Wachstumsreaktionen der Kiefern-Weiserbestände auf die Grundwasserabsenkungen im Zuge der Hafenaufbauten anhand von ertragskundlichen Flächenaufnahmen und ergänzenden Probebaumanalysen näher zu beschreiben. Die bisherigen Ergebnisse wurden in einer Diplomarbeit zusammengestellt, die Dipl.-Forstwirt M. KÖLBEL in den Jahren 1985 und 1986 am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde angefertigt hat (KÖLBEL, 1986).

Die Flächenreihe wird von Herrn Versuchsleiter DÖRR versuchstechnisch betreut. Ihm gilt unser besonderer Dank für seine wirkungsvolle Mitarbeit bei der Aufbereitung und Auswertung der ertragskundlichen Erhebungsdaten. Für die Bereitstellung der Grundwasserpegelwerte gebührt unser Dank dem Wasser- und Schiffsamt Nürnberg, dem Stadtreinigungs- und Fuhramt Nürnberg und der Hafenverwaltung; ferner danken wir dem Forstamt Feucht für die uns gewährte Unterstützung bei den Außenarbeiten.

2. Untersuchungsbestände und Probebaumaterial

Untersuchungsobjekte sind die Weiserbestände der Kiefern-Weiserflächenreihe Nürnberg 317. In Ergänzung der Bestandesaufnahmen wurden insgesamt acht Probebäume aus dem Bestandsumfeld der Weiserflächen entnommen und für Stamm-, Biomassen- und Kronenanalysen herangezogen. Die Flächenreihe wurde im Jahre 1966 unter der Leitung von Prof. ASSMANN angelegt. Hierbei wurden insgesamt sieben Flächen (Flächengröße 0,11–0,17 ha), ausgestattet mit flächenspezifischen Grundwassermeßpegeln, im Hafbereich so angeordnet, daß damit sowohl

kanalnahe als auch kanalferne Kiefernbestände erfaßt werden konnten (vgl. Abb. 2). Fläche 1 mußte im Winter 1976/77 im Zuge der Autobahnbaumaßnahmen im Untersuchungsgebiet aufgegeben werden.

Die Weiserflächen liegen in Kiefernreinbeständen (Alter 77–112) der Bonitäten I–II.5 nach der Ertragstafel von WIEDEMANN (1948) m.ä. Df. Sie stocken auf Gleyen und Pseudogleyen aus pleistozänem Verwitterungsmaterial (Fläche 4–7) bzw. diluvialen Sanden (Fläche 1–3) über Keuper-Blasensandstein. Der Grundwasserstand liegt heute mehr als 4 m unter Flur; die Böden weisen deutliche hydromorphe Merkmale aus der Zeit vor der Grundwasserabsenkung (Grundwasserstand 0,5–2 m unter Flur) auf. – In den pleistozänen Untergrund der Flächen 4 und 5 sind Schichten aus Kalkmergel und dolomitischer Arkose eingelagert, wodurch die Nährstoffversorgung relativ gut ist. Die Wüchsigkeit auf den diluvialen Deckschichten ist aufgrund ungünstiger Nährlementversorgung geringer. Auf allen Standorten wurde bis in die 50er Jahre hinein Streu genutzt. Mit Ausnahme der Flächen 3 und 4, die in der Zeit nach der Grundwasserabsenkung stärker aufgelichtet wurden, bedeckt die Untersuchungsflächen eine etwa 50 cm mächtige, biologisch wenig aktive Torfschicht.

Seit der Flächenanlage im Jahr 1966 wurden zwei Wiederholungsaufnahmen durchgeführt (1971, 1982). Im Zuge dieser Aufnahmen wurden Durchmesser, Höhe und Baumklasse erfaßt. Die wichtigsten ertragskundlichen Befunddaten aus der Flächenaufnahme im Winter 1982/83 sind in Tab. 1 zusammengestellt. – Im Frühjahr 1985 wurden aus dem Umfeld der Flächen 2, 3, 5 und 6 jeweils zwei herrschende Kiefern für Stamm-, Biomassen- und Kronenstrukturanalysen entnommen.

Tabelle 1: Ertragskundliche Befunddaten der Weiserflächenreihe Nürnberg 317 (NBG 317), Flächen 2–7, im Aufnahmejahr 1982; (f steht für kanalfern und n für kanalnah)

Fläche	Alter *)	Stammzahl N/ha	Mittelhöhe m	Oberhöhe m	Mitteldurchmesser cm	Grundfläche qm/ha	Vorrat VfmD/ha	Zuwachs/Jahr 1971 F–82H iG iV qm/ha VfmD/ha
1 Fläche 1 wurde im Winter 1976/77 aufgegeben								
2f	110	425	25,8	26,6	31,6	33,30	393,2	0,44 6,73
3n	112	517	23,2	24,0	26,9	29,27	308,5	0,32 4,63
4n	112	139	30,9	31,1	21,5	16,70	235,3	0,13 2,44
5n	77	600	25,4	26,2	27,7	36,03	412,5	0,46 7,31
6f	78	762	24,3	26,1	24,8	36,69	400,9	0,67 11,59
7f	77	924	23,3	26,2	23,7	40,66	430,2	0,67 13,35

*) Durchschnittsalter

3. Veränderung der Untersuchungsstandorte durch den Hafenaufbau

Die im Jahr 1962 aufgenommenen Verhandlungen zwischen dem Freistaat Bayern und der Stadt Nürnberg über den Bau des Hafens Nürnberg am Rhein-Main-Donau-Kanal wurden mit der Unterzeichnung eines Hafenvertrages am 11. 11. 1966 besiegelt und ermöglichten den Baubeginn im Jahre 1968, also zwei Jahre nach der Erstaufnahme der Weiserflächenreihe NBG 317. Zur Durchführung der Bauarbeiten (1968–71) wurde das Grundwasser, das zuvor im Nordwesten auf 312 m über NN, im Südwesten auf 317 m über NN stand, durch Gräben und Filterbrunnen in Verbindung mit Pumpenanlagen auf 308 m abgesenkt. Nach Fertigstellung des Hafens wurden die Pumpungen eingestellt, worauf der Grundwasserspiegel wieder leicht anstieg. Bis heute erreichte dieser aber nicht mehr den Ausgangszustand, denn weder die Hafensohle noch die Seitenwände wurden gedichtet; das Kanalwasser wird durch kontinuierlichen Grundwasserzustrom ergänzt.

Unsere Untersuchungsbestände waren also etlichen Störungen in ihrem Grundwasserhaushalt ausgesetzt: Im Zuge der Baumaßnahmen wurde der ursprünglich sehr hohe Grundwasserstand zunächst (1968–71) drastisch abgesenkt und stabilisierte sich nach der Bauzeit 1 bis 3 m unter dem Ausgangsniveau. Je größer die Wasserdurchlässigkeit des geologischen Substrats und die Nähe zum Kanal, um so schneller und nachhaltiger sank der Ausgangs-



Abb. 1: Blick auf den Bestand, in welchem die Versuchsfläche Nürnberg 317 (Parzelle 3) liegt, vor und nach dem Bau des Rhein-Main-Donau-Kanals

oben: Trassenaufrieb kurz vor Baubeginn im Jahre 1966

unten: Gleiche Blickrichtung (wie oben) nach Fertigstellung von Kanal und Uferstraße im Jahre 1986.

(Fotos: A. SCHMIDT, H. PRETZSCH)

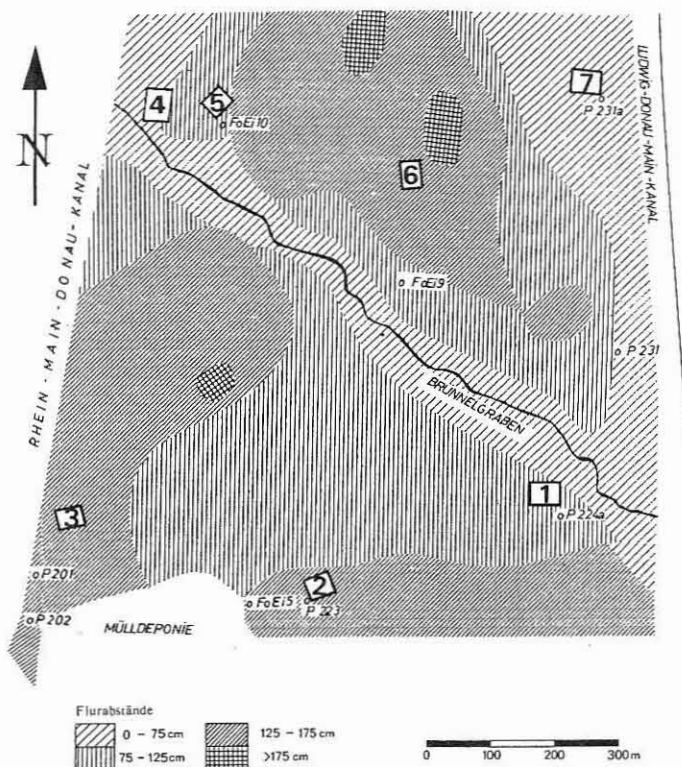


Abb. 2: Flurabstandskarte für das Gebiet östlich des Staatshafens Nürnberg (a. d. linken Seite der Abbildung) mit Darstellung der Grundwasserhältnisse im Januar 1965; eingezeichnet sind die Positionen der Weiserflächen Nürnberg 317 (Flächen 2–7) und der Grundwassermeßpegel.

Grundwasserstand auf den Flächen: Anhand der Pegelmessungen zeichnete sich ab, daß die Flächen 3, 4 und 5 stärker von den Grundwasserstörungen betroffen waren als die kanalferneren Flächen 2, 6 und 7 (vgl. Abb. 3).

4. Einzelbaumuntersuchungen

Bei den acht analysierten Probestämmen handelt es sich um herrschende Bäume (Baumklasse 2 nach KRAFT), die in ihren Dimensionen etwa dem Grundflächenmittelstamm der jeweiligen Entnahmefläche entsprechen (vgl. Tab. 2). In allen Fällen wurden vitale Bäume ohne erkennbare biotische oder abiotische Schäden ausgewählt. Um die Wuchskonstellation der Probestämme im Bestandesgefüge zu dokumentieren und deren Konkurrenz- und Standortverhältnisse beurteilen zu können, wurden die Probestämme mit ihren Bestandesnachbarn durch eine Reihe von Messungen (Stammfußmessung, Kronenablotung, Durchmesser- und Höhenmessung) als Biogruppe erfaßt.

Tabelle 2: Kronenkennwerte und Befunddaten aus der Biomassenanalyse von Probestämmen der Kiefern-Weiserflächenreihe Nürnberg 317; (f steht für kanalfern und n für kanalnah)

Fläche/ Probestamm	Alter	BHD	Höhe	Kronenlänge	Kronenschirmfläche	Trockengewicht Äste u. Nadeln	Nadeln	Nadelmasse pro Astbasisfläche	Zahl der Äste
	cm	m	m	m	qm	kg	kg	g/qmm	
2/1f	120	26,6	23,7	7,6	10,3	17,7	4,1	0,23	53
2/2f	118	25,5	23,9	6,0	15,7	24,7	4,9	0,23	70
3/1n	120	26,1	24,5	6,8	10,8	22,0	3,0	0,13	61
3/2n	107	27,7	21,6	4,5	14,0	20,5	4,0	0,18	59
5/1f	76	28,3	26,6	7,7	15,6	19,3	4,5	0,24	73
5/2n	76	26,6	25,7	5,9	14,5	29,6	4,4	0,18	63
6/1f	80	25,6	23,6	7,7	14,4	47,3	10,2	0,38	72
6/2f	79	25,6	23,3	7,5	7,7	27,1	5,9	0,27	68

4.1 Höhenwachstumsverläufe

Um zuverlässige Aussagen über die Höhen- und Kronenentwicklung der Probestämme zu gewinnen, wurden die jährlichen Längenzuwächse der Gipfel- und Seitentriebe soweit wie möglich zurückgemessen und den Jahrringzahlen aus den Stammanalysen in den entsprechenden Schafthöhen gegenübergestellt. Im Unter-

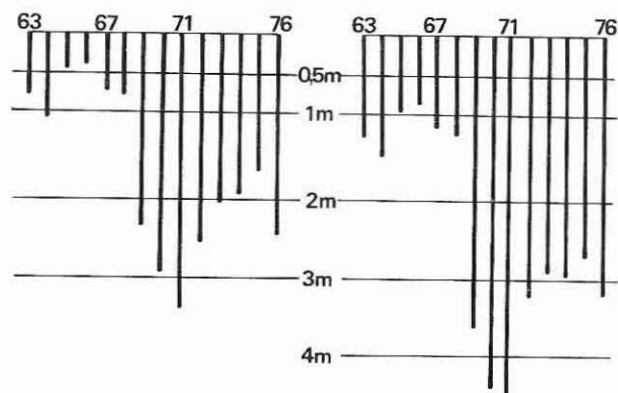


Abb. 3: Flurabstände für die Meßpegel FOE 9 – kanalfern – (links) und FOE 10 – kanalnah – (rechts) in den Jahren 1963–76; eingezeichnet sind die mittleren Pegelstände in den Monaten April bis September.

schied zu den jüngeren Bäumen von Fläche 5 und 6, bei welchen die Zahl der Jahrringe auf den Stammscheiben (synchronisierte, überprüfte Meßreihen) mit den rückgemessenen Höhenzuwächsen übereinstimmt, sind bei den älteren Bäumen von Ende der sechziger bis Mitte der siebziger Jahre bis zu 19 Höhentriebe völlig ausgefallen. – Wie auf Abbildung 4 beispielhaft für die Altkiefer 31 dargestellt, verläuft die Höhenentwicklung vor der Grundwasserabsenkung etwa ertragstafeltreu. Infolge des Trockenstresses während der Bauzeit und einige Jahre danach (eventuell verstärkt durch das Trockenjahr 1964) treten vorübergehende Wuchsstockungen auf, und der Höhenzuwachs setzt zeitweilig völlig aus. Erwartungsgemäß reagieren die kanalfern gelegenen Bestände kaum oder nur unmerklich auf den Kanalbau (Fläche 6 und 7), während auf den kanalnahen Flächen 3 bis 5 drastische Bonitätssenkungen zu verzeichnen sind (vgl. FEIERABEND, 1951). Ab Mitte der siebziger Jahre – nach Abschluß der Bauarbeiten und bei deutlich tieferem Grundwasserstand – normalisierte sich das Höhenwachstum; auf die Phase der Wuchsstockung folgte in vielen Fällen ein deutlicher Höhenwachstumsschub. Jüngere Bäume sind von dem vorübergehenden Trockenstreß weniger stark betroffen als Altkiefern.

4.2 Kronenentwicklung

Die äußere Kronenform der Kiefer wird durch das Zusammenspiel des Längenwachstums von Gipfel- und Seitentrieben geprägt. Je schlechter die Wachstumsbedingungen, in um so geringerer Baumhöhe beginnt die Stockung des Gipfelwachstums und damit die Kronenabwölbung; der Gipfeltrieb bleibt in der Entwicklung hinter den Seitentrieben zurück. Die kanalnah entnommenen Probestämme von Fläche 3 und 5 weisen – offensichtlich infolge der Grundwasserstandsveränderung – eine vorübergehende Kronenabwölbung auf, die an älteren Bäumen deutlicher ausgeprägt ist als an jüngeren (vgl. Abb. 5, links). In den Kronenaufrißzeichnungen der kanalfern entnommenen Probestämme lassen sich Phasen mit stagnierendem Kronenwachstum nicht oder kaum feststellen (vgl. Abb. 5, rechts). Einige Jahre nach Bauabschluß setzt an den vorübergehend geschwächten Probestämmen ein Regenerationsprozeß der Kronen ein, obgleich der Grundwasserstand, wie schon erwähnt, jetzt deutlich unter dem Ausgangsniveau liegt.

4.3 Biomassenanalysen

Neben den Kronenkennwerten enthält Tabelle 2 eine Zusammenstellung der Biomassendaten der Analysenbäume. Das Trockengewicht von Ast- und Nadelmasse liegt zwischen 18 und 47 kg pro Baum, wobei die Nadeln trocknen Massen 4 bis 10 kg betragen. Aus dem Verhältnis der Biomassen im trockenen und frischen Zustand läßt sich ein Wassergehalt von 45–50 % errechnen, wobei sich kanalnahe und kanalferne Probestämme nicht unterscheiden. Der Verhältniswert Nadeln trocknen Gewicht pro Astbasisfläche (g/qmm) gibt Auskunft über die relative Benadelungsdichte der Probestämme. Die kanalfernen Probenahmen von Fläche 6 weisen eine dichtere Benadelung auf als die Bäume von Fläche 3 in Kanalnähe. Die entsprechenden Werte von den Flächen 2 und 5 liegen zwischen diesen Rahmenwerten.

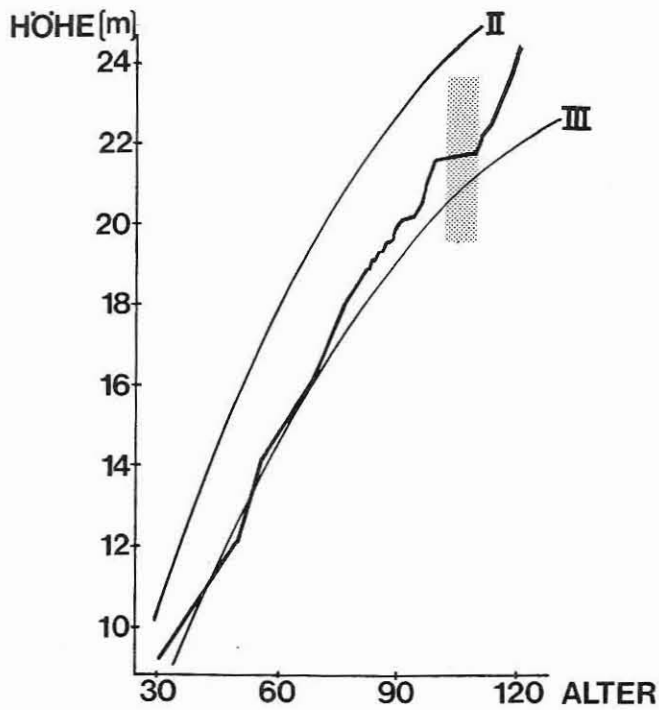


Abb. 4: Höhenwachstumsverlauf des in Kanalnähe entnommenen Probebaumes 31 im Vergleich zu den Altershöhenkurven nach WIEDEMANN (1948) mä. Df.; hervorgehoben ist der Zeitraum mit stagnierendem Höhenwachstum.

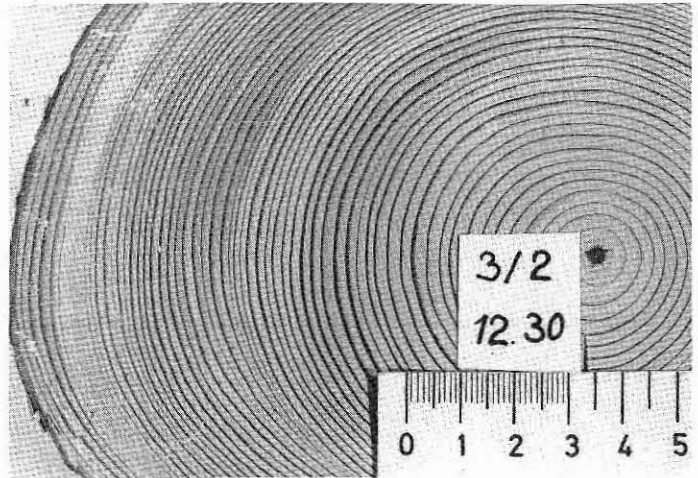
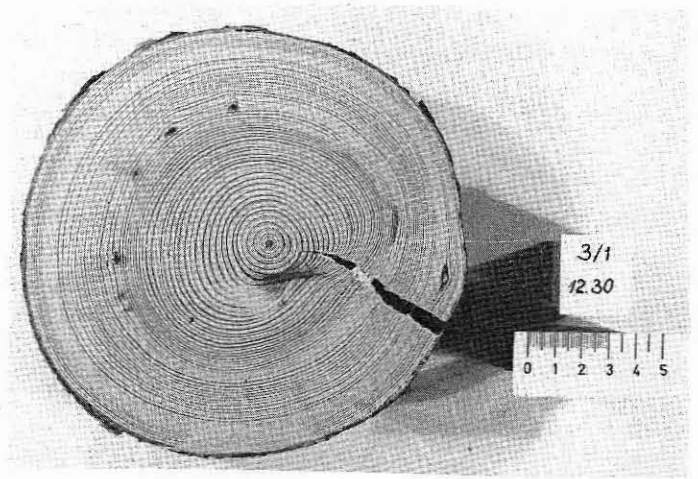


Abb. 6: Stammscheiben der in Kanalnähe entnommenen Probebäume 31 und 32 aus 12.3 m Schafthöhe.

(Fotos: ROSIN, Institut für Holzforschung, München)

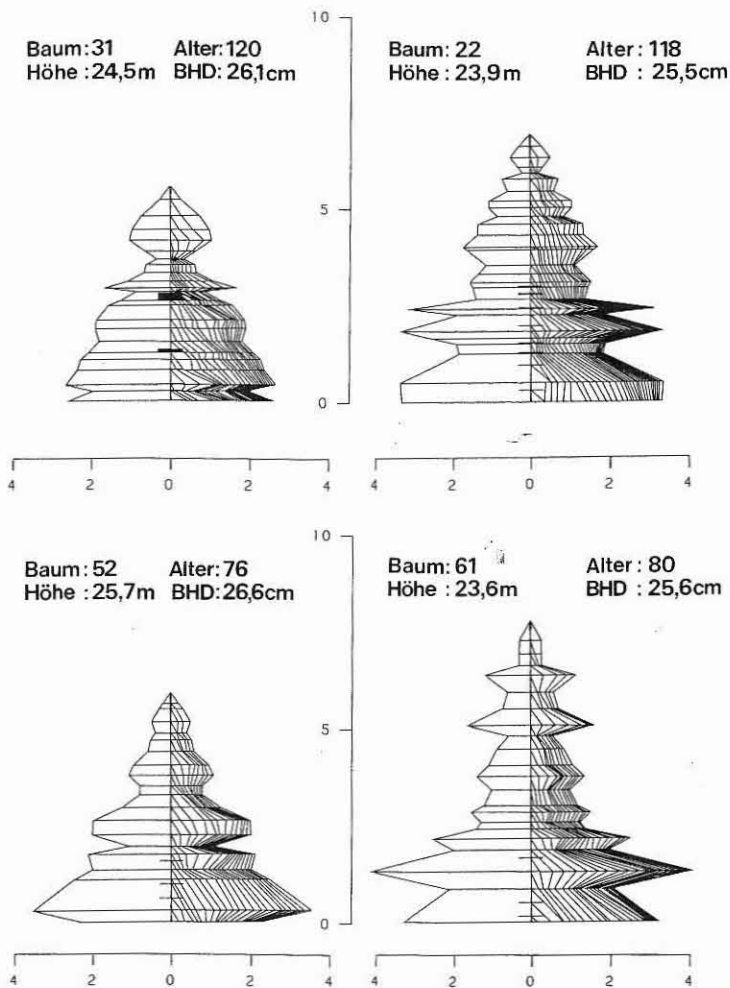


Abb. 5: Kronenstrukturentwicklung von Kiefern im Alter von 118–120 Jahren (oben) und 76–80 Jahren (unten) auf kanalnahen (links) bzw. kanalfernen Standorten (rechts); Phasen mit stagnierendem Kronenwachstum sind in den Kronenaufrißzeichnungen schwarz zониert.

4.4 Stammanalysen

In dem Jahrringmuster der Probebäume von den Flächen 3 und 5 in Kanalnähe zeichnet sich ab Ende der sechziger Jahre – also zeitgleich mit der Periode stärkster Grundwasserabsenkung – eine gut sichtbare Zone dicht gelagerter Jahrringe ab (vgl. Abb. 6). Im Anschluß daran, ab Ende der siebziger Jahre, werden wieder Jahrringbreiten von gleicher Größenordnung wie vor der Störungsperiode gebildet (vgl. JORDAN, 1951).

Vor Beginn der Bauzeit befanden sich die Volumenzuwachskurven aller Untersuchungsbäume in der Aufschwungphase; dies wird auf Abbildung 7 am Beispiel zweier Zuwachsverläufe (mit Dreiecken markierte Zuwachslinien) aufgezeigt. Infolge der Grundwasserabsenkungen (1968–71) kam es bei den kanalnah gelegenen Probebäumen (Flächen 3 und 5) zu einem drastischen Volumenzuwachs-Einbruch (Rückgang auf ein Drittel des Ausgangsniveaus). Über die Phase der extremen Grundwasserabsenkungen hinaus bleiben die Zuwächse bis Ende der siebziger Jahr weiter gering. – Die zuwachsschwachen Jahre in der Zeit nach dem Grundwasser-Tiefststand können als Regenerationsphase interpretiert werden. In dieser Zeit haben die Bäume möglicherweise einen Teil ihrer Wuchsennergie für den Ausbau ihres Wurzelsystems verwendet. Denn nach Bauabschluß stellte sich, wie schon erwähnt, ein neues Grundwasserstandsniveau ein, das 1 bis 3 m unter dem Ausgangsniveau lag und von dem aufstockenden Bestand nur über weitere Wurzelexpansion zu erreichen war. – Besonders hervorzuheben ist, daß sich die Volumenzuwächse der vorübergehend geschwächten Kiefern nach Überwindung der Regenerationsphase wieder auf unvermindert hohem Niveau bewegen und zum Entnahmezeitpunkt, ähnlich wie auf den kanalfernen Flächen, weiter ansteigen.

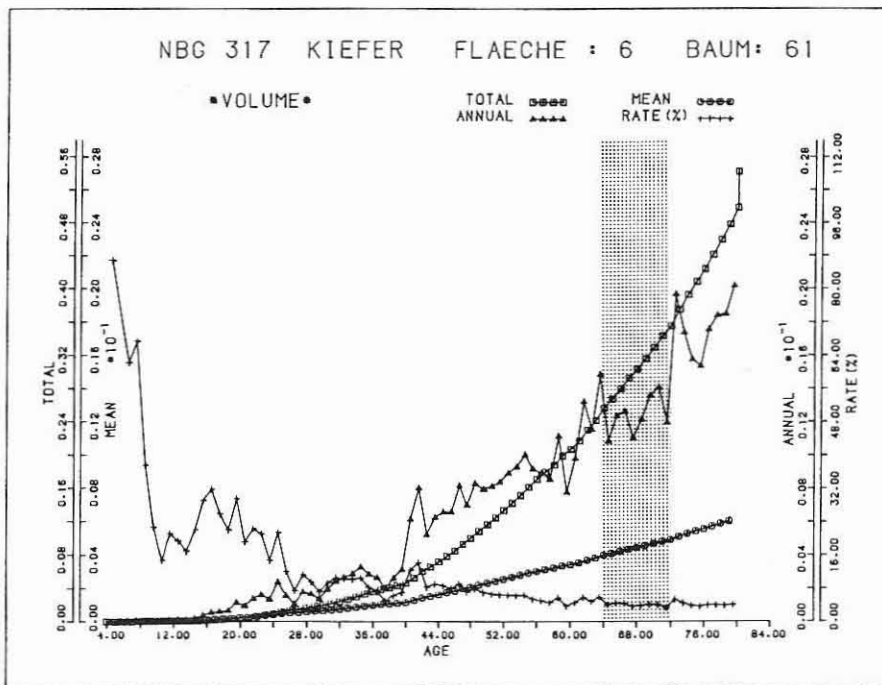
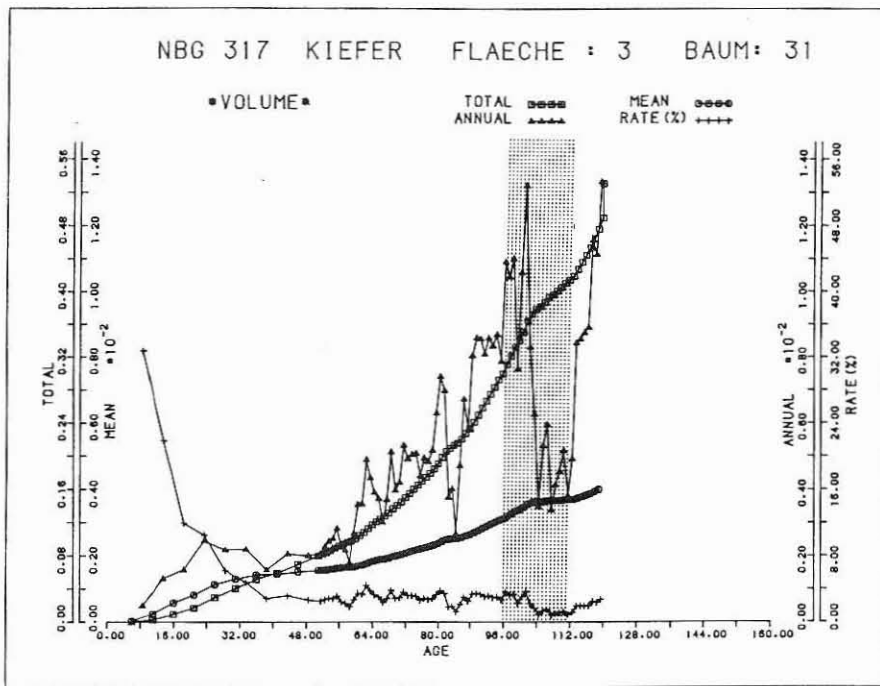


Abb. 7: Volumenentwicklung der Probestämme 31 (kanalnah, oben) und 61 (kanalfern, unten); hervorgehoben ist der Zeitraum mit stärkster Grundwasserabsenkung
 Total: Gesamtwachstum; Mean: durchschn. Zuwachs
 Annual: lfd. jährl. Zuwachs; Rate: Zuwachsprozent

5. Ergebnisse der Bestandesauswertung

5.1 Bestandeshöhen-Wachstum

Wäre infolge des reduzierten Grundwasserangebotes während und nach den Kanalbauarbeiten ein nachhaltiger Rückgang der Wachstumsleistung eingetreten, so müßte dies auch in den Alters-Mittelhöhenkurven zum Ausdruck kommen. Wie die Höhenwachstumsverläufe zeigen, hat sich auf keiner der Weiserflächen die Bonität verschlechtert; allerdings ist der Höhenwachstumstrend im kanalfernen Bereich günstiger als in Kanalnähe (vgl. Abb. 8). – Die drastischen Höhenzuwachs-Minderungen, die an den Probestämmen für die Jahre 1968–76 nachgewiesen wurden, können anhand periodisch erhobener Wachstumsgrößen zeitlich nicht auf Einzeljahre fixiert werden; sie prägen aber den langfristigen Trend der Höhenwachstumsverläufe wesentlich mit. In

dem zwanzigjährigen Beobachtungszeitraum sind die Bonitäten der kanalnahen Parzellen etwa gleich geblieben. Auf den entfernteren Flächen verzeichnen wir einen Anstieg um mehr als eine halbe Bonitätsstufe.

Gehen wir davon aus, daß die Höhen-Mehrzuwächse auf den Flächen 6 und 7 mit dem landesweit festgestellten Bonitätsanstieg in den letzten 20 Jahren übereinstimmen (vgl. FRANZ, 1983; PRETZSCH, 1987), so würde die ertragstafeltreue Höhenentwicklung auf den kanalnahen Flächen einer relativen Verschlechterung um etwa eine halbe Bonitätsstufe entsprechen.

5.2 Stammzahlentwicklung

Die Bestände 2, 5, 6 und 7 waren zu Beginn der Flächenbeobachtung leicht überbestockt und blieben auch im Beobachtungszeitraum weitgehend unbehandelt. Auf Fläche 4 wurden die Stammzahlen durch lichtungsartige Eingriffe in den Jahren 1971 bis 1982 stark reduziert. – Zu einschneidenden schadbedingten Absterbeprozessen kam es nur auf der unmittelbar am Kanal gelegenen Fläche 3. Die drastische Stammzahlminderung (um 100–150 Stämme pro ha) in den Jahren nach Beginn der Bauarbeiten steht sicher in ursächlichem Zusammenhang mit der Grundwasserabsenkung und wurde durch Randschadenseffekte infolge des Aufhiebs der Kanaltrasse weiter verstärkt. Nach Entnahme der abgestorbenen und der irreversibel geschwächten Bäume im Zuge der Aufnahme 1982 wurden bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine weiteren Ausfälle registriert. – Auf den übrigen Weiserflächen liegen die Stammzahlabgänge durchwegs in für schwach bis mäßig durchforstete Bestände bekannter Größenordnung.

5.3 Grundflächen- und Vorratsentwicklung

Trotz der Störungen des natürlichen Wasserhaushaltes liegen die Bestandesgrundflächen auf fast allen Flächen noch weit über den Erwartungswerten der Kieferntafel von WIEDEMANN (1948) für die mäßige Durchforstung (vgl. Tab. 1). Mit Ausnahme der kanalnah gelegenen Flächen 3 und 4 sind die Grundflächen auf allen Parzellen im Beobachtungszeitraum zudem auch deutlich angestiegen (vgl. Abb. 9). – Während sich das Niveau der Grundflächenzuwächse auf den kanalnahen Flächen von dem der kanalfernen Bestände deutlich unterscheidet, wobei die unterschiedliche Grundflächenhaltung auf den beiden Flächengruppen eine wichtige Rolle spielt, ist der Wachstumstrend außer auf

Fläche 3 einheitlich fallend. Die Grundflächenwerte der Fläche 4, deren Bestockungsdichte durch lichtungsartige Hiebe stark abgesenkt wurde, sind in die Darstellung (vgl. Abb. 9) nicht mit einbezogen worden. Es ist festzuhalten, daß sich die Grundflächenzuwächse infolge der Grundwasserstörungen in Kanalnähe in der Zuwachsperiode 1966–71 deutlich vermindert haben und daß sich nach Stabilisierung eines neuen Grundwasserspiegels wieder relativ günstige Zuwachsleistungen abzeichnen (Zuwachsperiode 1972–82), die z. T. deutlich über den alterstypischen Ertragstafelangaben liegen.

Besonders aufschlußreich ist die Grundflächenentwicklung auf der kanalnah gelegenen Fläche 3. Infolge von Absterbeprozessen, die ursächlich mit den Hafenaumaßnahmen in Verbindung stehen, sank die Grundfläche in den Jahren 1966 bis 1971 von 33 auf

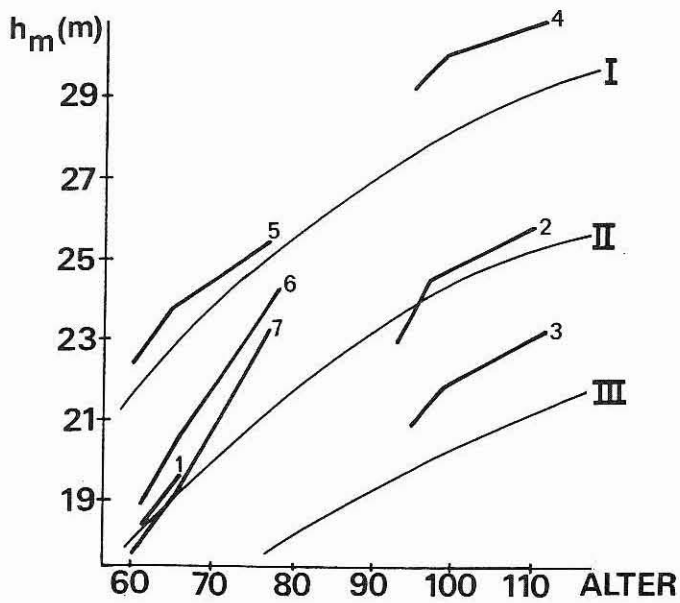


Abb. 8: Entwicklung der Bestandesmittelhöhen auf den Weiserflächen Nürnberg 317/1-7 in den Jahren 1966-82 im Vergleich zur Ertragstafel von WIEDEMANN (1948), mä. Df.

29 qm ab. Obgleich in der nachfolgenden Beobachtungsperiode 1972-82 weitere 100 Stämme pro ha, d. h. etwa 10 Prozent der Bestandesgrundfläche, ausgeschieden sind, ist die Bestandesgrundfläche in dem 120jährigen Kiefernbestand wieder angestiegen. Die schadbedingte Grundflächenreduktion wurde demnach durch einen Mehrzuwachseffekt des verbleibenden Bestandes kompensiert. Das spricht gegen die Auffassung, wonach in diesem Alter bei der Kiefer Stammzahlentnahmen in der beschriebenen Größenordnung irreversible Grundflächenzuwachs-minderungen nach sich ziehen.

Mit Ausnahme der kanalfern gelegenen Fläche 7 sind die Volumenzuwächse in dem betrachteten Wachstumszeitraum auf allen

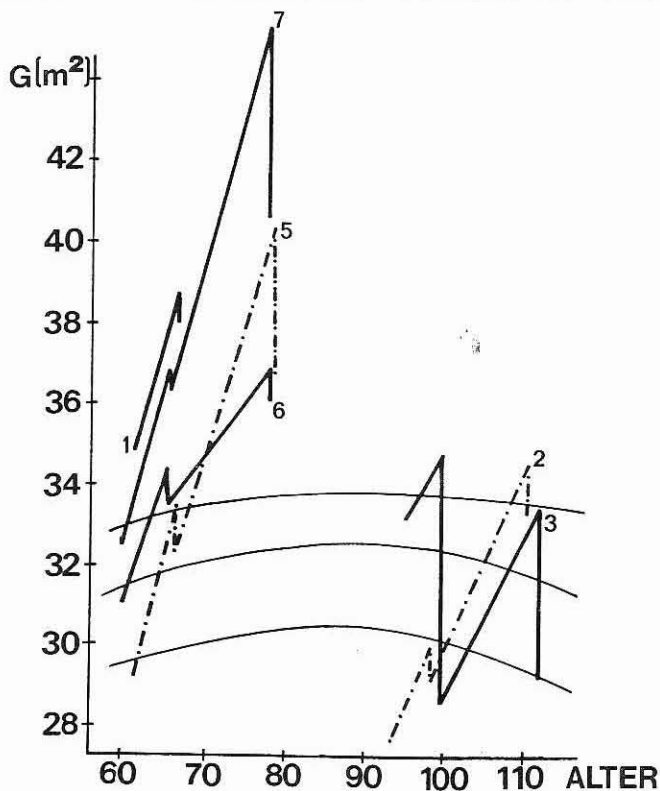


Abb. 9: Grundflächenentwicklung der Weiserflächenreihe Nürnberg 317 in den Jahren 1966-82 im Vergleich zu den Tafelangaben von WIEDEMANN (1948), mä. Df.

Weiserflächen rückläufig. Der Zuwachs liegt zu Beginn des Beobachtungszeitraumes auf den kanalfernen Flächen mit 9-13 VfmD/Jahr erheblich über dem der kanalnahen (6-10 VfmD/Jahr); infolge der Grundwasserabsenkung fällt die Zuwachsleistung in Kanalnähe stärker ab als im kanalfernen Bereich. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen die Volumenzuwächse in Kanalnähe auf dem Niveau der Ertragstafel, in kanalfernen Beständen liegen sie weiter um 50-100 % über den Tafelwerten.

6. Bestandeswachstum und Grundwasserverhältnisse als multivariater Faktorenkomplex

Die Fragestellung, ob tendenzielle Zusammenhänge zwischen dem Zuwachsverhalten der Untersuchungsbestände und den dargelegten Störeinflüssen bestehen, wurde mit Hilfe statistischer Standardverfahren durchleuchtet.

Eingangsdaten für die folgende statistische Auswertung sind die einzelbaumspezifischen periodischen Durchmesser- und Höhenzuwächse (1966-1971 und 1971-82) der Oberhöhenbäume auf den Weiserflächen 2 bis 7 sowie deren Ausgangsdurchmesser zu Periodenbeginn. Weiter wurden den Oberhöhenbäumen die jeweiligen bestandsspezifischen Merkmale Flächendurchschnittsalter, Bonität, Bestockungsgrad und Grundwasserstands-werte der einzelnen Vegetationsperioden zugeordnet.

Für die statistische Auswertung wurden nicht die Bestandeskennwerte der Weiserflächen herangezogen, sondern die darauf stokenden Oberhöhenbäume als Stichprobeneinheiten aufgefaßt. Eine solche Auflösung der ursprünglichen Untersuchungseinheit (Fläche) ist nur mit Einschränkung zulässig, denn die Oberhöhenbäume sind nicht zufallsverteilt, sondern stehen aufgrund des ursprünglichen Flächenverbandes zum Teil gruppiert. Wir haben uns bei der Ergebnisinterpretation darum auf Trendaussagen, ohne Anspruch auf eine weitergehende statistische Interpretation, beschränkt. Dieses Vorgehen erlaubt dennoch aufschlußreiche Einblicke in die Zusammenhänge zwischen Zuwachsgang und Störeinflüssen.

In die Untersuchung wurden 85 Oberhöhenstämme einbezogen. Für jeden der 85 Oberhöhenstämme ergibt sich bei diesem Vorgehen ein Vektor von Merkmalsgrößen, deren statistische Beziehungen unter folgenden Fragestellungen durchleuchtet werden sollten:

(1) Welche Unterschiede bestehen zwischen dem Zuwachsverhalten von Oberhöhenbäumen in kanalnaher und kanalferner Lage, nach rechnerischer Eliminierung der Unterschiede in der bestandsspezifischen Ausgangssituation?

(2) Welche Grundwasserstands-Kennwerte und ertragskundlichen Merkmalsgrößen leisten den größten Beitrag zur Unterscheidung zwischen kanalnahen und kanalfernen Standorten, d. h. zwischen gestörten und ungestörten Wachstumsbedingungen?

Während die erste Fragestellung im folgenden kovarianzanalytisch überprüft wird, wurde die letztgenannte Fragestellung mit Hilfe einer Zwei-Gruppen-Diskriminanzanalyse untersucht.

6.1 Welche Unterschiede bestehen zwischen dem Zuwachsverhalten von Oberhöhenbäumen in kanalnaher und -ferner Lage?

Für die kovarianzanalytische Auswertung wurden insgesamt 41 Oberhöhenstämme auf den Flächen 2, 6 und 7 zur Gruppe „kanalfern“ und 44 Oberhöhenstämme auf den Flächen 3, 4, und 5 zur Gruppe „kanalnah“ zusammengefaßt. Diese Gruppen sollten auf Unterschiede im durchschnittlich-jährlichen Durchmesser- und Höhenzuwachs der Perioden 1966-71 und 1971-82 hin betrachtet werden. Zur Ausschaltung der unterschiedlichen ertragskundlichen Ausgangssituation der Gruppenglieder wurden als Covariate die Variablen Bestandesbonität und Alter sowie der Ausgangsdurchmesser zu Beginn der Beobachtungsperioden in die Rechnung aufgenommen. Die Größen Bestockungsgrad und Durchforstungsstärke (Grundflächenentnahme) leisten, wie einleitende Rechnungen ergaben, als zusätzliche Covariate keinen signifikanten Erklärungsbeitrag.

Tabelle 3 zeigt die kovarianzanalytisch adjustierten Mittelwerte der Gruppen „kanalnah“ und „kanalfern“. In der ersten Beobachtungsperiode (1966-1971) sind auf den kanalnahen Flächen

Tabelle 3: Covarianzanalytisch adjustierte Mittelwerte der Höhen- und Durchmesserzuwächse von Oberhöhenbäumen in unterschiedlicher Distanz zum Kanal: die Höhen- und Durchmesserzuwächse in Kanalnähe sind in Relation zu den Zuwächsen im kanalfernen Bereich (= 100 %) angegeben.

Lage/ Flächen	Stich- proben- umfang n	Höhenzuwachs pro Jahr				Durchmesserzuwachs pro Jahr			
		1966F-71F		1971F-82H		1966F-71F		1971F-82H	
		(cm)	(%)	(cm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
kanalfern 2,6,7	41	35	100	24	100	3,5	100	2,9	100
kanalnah 3,4,5	44	21	60	13	54	2,3	66	2,3	79

mittlere Höhenzuwachsverluste von 40 Prozent und mittlere Durchmesserzuwachsverluste von 34 Prozent zu verzeichnen. In den Jahren 1972–1982 steigen die Höhenzuwachsverluste weiter auf 46 Prozent an, während sich in diesem Zeitraum Durchmesserzuwachsreduktionen von immerhin noch 21 Prozent abzeichnen. Das Höhen- und Durchmesserwachstum der Oberhöhenstämme, die aufgrund ihrer höheren Sorten- und Wertleistung den Hauptteil der Zielbestockung ausmachen, wird demnach infolge der Grundwasserstörung vorübergehend erheblich gemindert. – Da die Berechnung der prozentischen Zuwachsverluste unter der nur eingeschränkt gültigen Annahme erfolgte, daß es sich bei den Flächen 2, 6 und 7 um unbeeinflusste Vergleichsparzellen handelt, die ein 100 %-Referenzniveau widerspiegeln, dürften die wirklichen Zuwachsverluste wohl noch etwas höher liegen (vgl. ALTHERR, 1972a und 1972b).

6.2 Welche Grundwasserstands-Kennwerte und ertragskundlichen Merkmalsgrößen leisten den größten Beitrag zur Unterscheidung zwischen kanalnahen und kanalfernen Standorten?

Die Fragestellung, hinsichtlich welcher Grundwasserstandskennwerte bzw. ertragskundlicher Zustands- und Zuwachswerte die kanalnahen und kanalfernen Bestände die deutlichsten Unterschiede aufweisen, wurde mit Hilfe einer schrittweisen Diskriminanzanalyse untersucht. Ausgehend von der Gruppierung der Oberhöhenbäume in „kanalnah“ und „kanalfern“ wurde nach dem Modell der schrittweisen Zwei-Gruppen-Diskriminanzanalyse geprüft, welche der herangezogenen Kriteriumsvariablen (ertragskundliche Kennwerte: Durchmesser- und Höhenzuwächse in den Perioden 1966–1971, 1971–1982, Bestandesalter, Bonität; Grundwasserstandsdaten: mittlere Grundwasserstandsdaten in der ersten und zweiten Periode, Grundwasserstände im Februar–Mai 1968–1976) einen signifikanten Beitrag zur Gruppentrennung in „kanalnah“ und „kanalfern“ leisten.

Erwartungsgemäß ist der Grundwasserstand während der Bauzeit die am stärksten trennende Variable (Stand unter Flur: „kanalfern“: 3,83 m, „kanalnah“: 5,22 m). Aber auch vor Beginn der Bauarbeiten bestand ein gewisser Unterschied im Grundwasserstand 1968 („kanalfern“ 0,85 m, „kanalnah“ 1,28 m). Einen signifikanten Beitrag zur Gruppentrennung lieferte weiter der Höhenzuwachs in der Periode 1971–1982 („kanalnah“: 13 cm/Jahr, „kanalfern“: 24 cm/Jahr).

Anhand dieser drei signifikanten Trennvariablen errechneten sich hochgesicherte Unterschiede zwischen den Gruppenschwerpunkten „kanalfern“ und „kanalnah“. Auf Grundlage der hergeleiteten Klassifikationsfunktion wurden alle Oberhöhenbäume den richtigen Gruppen zugeordnet.

7. Diskussion und Wertung der Ergebnisse

Bei der Interpretation der Auswertungsergebnisse sind einige Mängel in der räumlichen Anordnung der Weiserflächenreihe und im Untersuchungskonzept zu berücksichtigen: Auch am Pegel P231a, der ca. 600 m vom Kanal entfernt bei Fläche 7 liegt (vgl. Abb. 2) und ursprünglich als Referenzpegel dienen sollte, sank der Grundwasserspiegel im Beobachtungszeitraum ab. In der Flächenreihe fehlen demnach Vergleichsbestände, die das Bestandeswachstum unter völlig ungestörten Grundwasserhältnissen repräsentieren. – Nach dem im forstlichen Versuchs-

wesen üblichen fünfjährigen Aufnahmeturnus erfolgte die erste Wiederholungsaufnahme im Jahre 1971. Mit den Beobachtungsjahren 1966–71 wird ein Zeitraum abgedeckt, in dem anfänglich ungestörte Wachstumsbedingungen herrschten, danach jedoch sehr starke Grundwasserabsenkungen erfolgten. Das Zuwachsverhalten unter den Ausgangsbedingungen, d. h. unter völlig ungestörten Verhältnissen, wurde demnach in den periodischen Aufnahmen nicht erfaßt. – Die zweite Wiederholungsaufnahme wurde erst im Jahr 1982 vorgenommen, was bedeutet, daß der Zuwachsverlauf in den siebziger Jahren – nach Abschluß der Baumaßnahmen – nicht genauer analysiert werden kann; aus den Auswertungsergebnissen kann daher lediglich auf den längerfristigen Zuwachstrend seit Bauabschluß geschlossen werden.

Erwartungsgemäß spiegelt sich der Kausalzusammenhang zwischen der baubedingten Grundwasserstandsänderung und dem Wuchsverhalten der aufstockenden Kiefernbestände je nach Pegelstand vor und während der Bauarbeiten sowie nach Bauabschluß in den ertragskundlichen Ergebnissen auf den Flächen 1–7 mehr oder minder deutlich wider. In der Zeit vor Beginn der Baumaßnahmen zeichneten sich alle Flächen durch einen relativ hohen Grundwasserstand aus; vermutlich waren zu dieser Zeit die Wachstumsbedingungen aufgrund einer begrenzten Durchwurzelungstiefe eher ungünstig (Tellerwurzelbildung). Infolge der Grundwasserabsenkung wurde auf den kanalfernen Flächen die durchwurzelbare Bodentiefe erweitert, ohne daß der Grundwasseranschluß verlorenging. In Kanalnähe führte die Grundwasserabsenkung von 3–4 m dagegen zu einer deutlichen Verschlechterung der Wasserversorgung (vgl. SCAMONI, 1950).

In der Wuchsdynamik der kanalnahen Bestände machte sich der Eingriff in den Grundwasserhaushalt während der Baumaßnahmen durch Stammabgänge, Zuwachsminderungen, Kronenstrukturänderungen und eine vorübergehende Bonitätsabsenkung bemerkbar. Nach Bauabschluß stellte sich ein neues Grundwasserstandsniveau ein, und nach einer etwa 5jährigen Regenerationsphase stieg die Zuwachsleistung wieder an: In kanalferner Lage folgte auf eine Phase leichter Zuwachsdepression zur Zeit des Grundwassertiefststandes ein regelrechter Wachstumsschub nach Abschluß der Bauarbeiten. In den kanalfernen Gebieten sind die Bestände heute offensichtlich gut wasserversorgt und die Wachstumsbedingungen günstiger als vor dem Eingriff.

Die Untersuchungsergebnisse lassen auf ein beachtliches Reaktionsvermögen der Kiefer auf Grundwasserstandsänderungen schließen. In den kanalnah gelegenen Beständen zeichnet sich infolge der baubedingten Grundwasserabsenkung eine vorübergehende tiefgreifende Leistungsminimierung ab. Wider Erwarten vermag die Kiefer sich der veränderten Wasserversorgungslage recht gut anzupassen: Nach einer 5jährigen Regenerationsphase bewegt sich die Wuchsleistung der Bestände wieder fast auf demselben Niveau wie vor der Störungsperiode.

Aus den Untersuchungen der Kronenstruktur geht hervor, daß an Bäumen, die stärker unter der Grundwasserabsenkung leiden, mit einem vermehrten Ausfall von Höhen- und Seitentrieben zu rechnen ist. Fehlende Jahrestriebe an Schaft und Ästen wurden durch Gegenüberstellung der Jahrringzahlen auf den Stammscheiben mit der Anzahl der rückgemessenen Höhen- und Astlängenzuwächse in unterschiedlichen Schafthöhen identifiziert. Jahrringausfälle waren selbst bei stärksten Zuwachseinbrüchen nicht festzustellen.

Die Verschlechterung der Wasserversorgung der Bestände in Kanalnähe spiegelt sich im Wuchsverhalten durch vorübergehende Zuwachseinbußen und durch vermehrte Stammabgänge wider. In der Phase maximaler Grundwasserabsenkung während der Baumaßnahmen reduzierten sich die Stammzahlen in Kanalnähe auf ein Niveau, das wohl in erster Linie durch das verminderte Wasserangebot vorgegeben war. In diesem Wachstumszeitraum bestimmten nur noch die fortschreitenden Absterbeprozesse das waldbauliche Handeln auf den Weiserflächen (vgl. ALTHERR, 1972a).

Denkbar wäre es, die Bestockungsdichte solcher Bestände schon vor dem Eingriff in den Grundwasserhaushalt zu senken, um dadurch den Absterbeprozessen vorzugreifen und die Zuwachs-

verluste der guten Zuwachsträger zu verringern. Im Zuge vorbeieitender Durchforstungen sollten gezielt die qualitativ schlechten Bestandeglieder entnommen werden, die aus waldbaulicher Sicht als „unökonomische“ Wasserverbraucher zu beurteilen sind. Ziel des Wirtschaftens in solchen Beständen sollte es sein, die baubedingten Zuwachsverluste so aufzufangen, daß die Minderung der Volumen-, Sorten- und Wertleistung des verbleibenden Bestandes möglichst gering gehalten wird.

8. Zusammenfassung

Aufbauend auf den ertragskundlichen Befunddaten aus 20jähriger Beobachtung der Weiserflächenreihe Nürnberg 317 und ergänzenden Probebaumanalysen werden die Auswirkungen von Grundwasserstandsänderungen auf das Wuchsverhalten der auf den Flächen stockenden mittelalten und älteren Kiefernbestände untersucht. Im Zuge der Bauarbeiten am Hafen des Rhein-Main-Donau-Kanals in Nürnberg wurde der Grundwasserstand der Untersuchungsbestände in Abhängigkeit von ihrer Lage zum Kanal vorübergehend stärker abgesenkt. Der Grundwasserlevel stellte sich nach Bauabschluß auf einem neuen Niveau ein, das um einen bis drei Meter unter dem Ausgangsniveau liegt.

Je geringer die Entfernung zum Kanal und die Wasserdurchlässigkeit des Bodensubstrats, um so deutlicher spiegelt sich die Veränderung des Grundwasserangebotes im Wuchsverhalten der Probabäume und Bestände wider. – An Probabäumen, die unterschiedlich stark von der Grundwasserabsenkung betroffen sind, wurden Biomassen- und Kronendimensionsanalysen durchgeführt, die Höhen- und Kronenentwicklung untersucht und Stammanalysen vorgenommen. Die ertragskundlichen Merkmalsgrößen der Probebaumserien werden vorgestellt und kanalfern und kanalnah gewonnene Probenahmen miteinander verglichen. – Die Befunddaten der Bestandesentwicklung aus fast 20jähriger Versuchsbeobachtung bilden die Grundlage für eine Analyse der Struktur- und Zuwachsverhältnisse auf den Weiserflächen. Aufbauend auf den Grundwasserpegel-Meßwerten werden einige Zusammenhänge zwischen den Grundwasserstandsveränderungen und den diagnostizierten Wachstumsreaktionen diskutiert und Zuwachsverluste abgeschätzt.

Im Zuwachsgang der Probabäume und Bestände zeichnet sich die Störung des Grundwasserhaushalts dergestalt ab, daß die Zuwächse etwa zeitgleich mit der Grundwasserabsenkung zurückgehen, sich innerhalb einer etwa 5jährigen Regenerationsphase an den neuen, veränderten Grundwasserstand anpassen und in den Folgejahren wieder auf ein relativ hohes Niveau ansteigen. Offensichtlich verfügen selbst ältere Kiefern über ein relativ gutes Anpassungsvermögen an veränderte Grundwasserstände. In einer abschließenden Wertung wird auf die Bedeutung der Ergebnisse für die forstliche Praxis hingewiesen.

Summary

On the effect of perturbations of the groundwater-level upon the growth of pine stands near Nürnberg harbour

Details on yield and increment about the series of experimental areas Nürnberg 317

The growth characteristics in the last 20 years of middle-aged and older pine stands on the series of experimental areas Nürnberg 317 and the information by additional stem analysis and crown analysis from sample-trees are the data base, to study the effects from perturbations of the groundwater-level upon the stand-growth. The building of the Rhein-Main-Donau-Channel required a severe temporary lowering of the groundwater-level in the experimental stands. The degree of groundwater-lowering in the surroundings of the Channel depends on the distance of the experimental areas from the Channel. After the completion of the channel-works the groundwater-level rose again, but up to now it still is about one to three metres lower, compared with the period without perturbations.

The lower the distance of the pine stands from the Channel and the lower the permeability of the soil, the stronger is the effect of the groundwater-perturbations upon the growth-dynamics of the stand and the effect upon the increment-curves of the sample-trees. – For a number of trees, which suffer in a different degree from the groundwater-lowering, measurements of biomass and analysis of crown dimension, analysis of height-growth, measurements on the structure of the crowns as well as stem-analysis were carried out. – The data from 20-years-survey on the series of experimental areas are presented and the development of stand-growth and changes in stand-structure on the different areas of the experimental series are discussed. The relationship between the perturbations of the groundwater-level and the growth-reactions are studied and the losses of annual increment, caused by the channel-works, are estimated.

During the period of the channel-works the annual increment of the sample-trees and the growth on the experimental areas fell down upon a significantly lower level. About five years later the trees regenerated and got adapted to the new growth-conditions; for that reason the annual increment rose upon a higher level again. Obviously even older pine trees have a good adaptability under changing ground-water-conditions. Finally the importance of the investigations results for the forest management is discussed.

Literatur

ALTHERR, E., und R. ZUNDEL (1966): Das Karlsruher Wasserwerk „Hardtwald“ aus forstlicher Sicht, Teil 1: Allgemeine Verhältnisse – Veränderung der Grundwasserstände – ertragskundliches Programm, Allg. Forst- und Jagdzeitung, 137. Jg., S. 237–261. – ALTHERR, E. (1969): Das Karlsruher Wasserwerk „Hardtwald“ aus forstlicher Sicht, Teil 2: Entwicklung der Grundwasserstände bis 1968, Allg. Forst- und Jagdzeitung, 140. Jg., S. 213–226. – ALTHERR, E. (1972a): Das Karlsruher Wasserwerk „Hardtwald“ aus forstlicher Sicht, Teil 3: Auswirkung der Grundwasserabsenkung auf den laufenden Zuwachs der Kiefer, Allg. Forst- und Jagdzeitung, 143. Jg., S. 109–117. – ALTHERR, E. (1972b): Das Karlsruher Wasserwerk „Hardtwald“ aus forstlicher Sicht, Teil 4: Prognose langfristiger Zuwachsschäden bei der Kiefer infolge Grundwasserabsenkung, Ertragssteigerung nach Einstellung der Streunutzung, Allg. Forst- und Jagdzeitung, 143. Jg., S. 245–253. – FEIERABEND, P. (1951): Forsteinrichtung am Oberrhein. Forstwiss. Centralbl., 70. Jg., S. 395–406. – FRANZ, F. (1983): Auswirkungen der Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung von Fichtenbeständen., Forstw. Cbl., 102. Jg., S. 186–200. – JORDAN, H. (1951): Ertragsrückgang und Bodenentartung infolge Grundwasserabsenkung, Forstw. Cbl., 70. Jg., S. 747–754. – KÖLBEL, M. (1986): Einfluß von Grundwasserabsenkungen auf die Entwicklung der Waldbestände im Gebiet des Nürnberger Hafens. Diplomarbeit, WW-DA 52, LMU München. – PRETZSCH, H. (1987): Zur Frage des „Normalwachstums“ der Kiefer in der Oberpfalz, Forst- und Holzwirt, 42. Jg., S. 286–293. – PREUSHLER, T. (1986): Zuwachsreaktionen auf Grundwasserabsenkungen in einem süddeutschen Auwaldgebiet, Allg. Forst- und Jagdzeitung, 157. Jg., S. 1–12. – SCAMONI, A. (1950): Waldkundliche Untersuchungen auf grundwassernahen Talsanden, Akademie-Verlag Berlin. – WIEDEMANN, E. (1948): Die Kiefer 1948. Hannover 1948.

Verfasser: Dr. H. PRETZSCH, Dipl.-Forstw. M. KÖLBEL, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, Amalienstraße 52, D-8000 München 40.