

Ergebnisse aus dem Fichtendurchforstungsversuch „Hochstift 990 B“

Axel Noltensmeier und Rüdiger Blome

Abteilung Waldwachstum, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen

Einleitung

Der Fichtendurchforstungsversuch „Hochstift 990“, ehemals „Paderborn 90“, der auch unter dem Namen „Schiffel- oder Schnellwuchsdurchforstung“ bekannt ist, wurde 1924 von Schwappach angelegt und zählt mit 21 ertragskundlichen Aufnahmen und einer fast 80 jährigen Beobachtungszeit zu den ältesten Fichtendurchforstungsversuchen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt.

Mit der Versuchsanlage wollte Schwappach klären, wie sich die von SCHIFFEL (1906) beschriebenen frühlichtungsartigen Eingriffe im Vergleich zu den seinerzeit üblichen schwachen bis mäßigen niederdurchforstungsartigen Behandlungen auf die Vitalität, Stabilität und den Ertrag von Fichtenbeständen auswirken.

Hintergrund

Ende des 18., Anfang des 19. Jahrhunderts war die Fichtenwirtschaft auf die Optimierung der Massenleistung ausgerichtet. Nach heutigen Maßstäben mit sehr hohen Stammzahlen begründet, wurden in diesen Beständen bestenfalls schwache, niedergebogene oder tote Bäume entnommen. Massenreiche, qualitativ gute, vollholzige, feinastige Fichtenbestände geringer Stabilität mit hohen Ausfallrisiken durch Schnee oder Wind waren die Folge.

Zu dieser Zeit bereits vertraten einige bedeutende Forstgelehrte ihrer Epoche die Meinung, dass sich die Vitalität, die Stabilität und der Wertertrag von Fichtenbeständen durch starke für Eingriffe in frühen Entwicklungsphasen unter Inkaufnahme von Einbußen im Massenertrag, zunehmender Ästigkeit und Abholzigkeit erreichen ließe (SCHWAPPACH, 1905; SCHIFFEL, 1906 u. 1910; GEHRHARDT, 1924, WIEDEMANN, 1936 U. 1937). In Ihrer Auffassung bestärkt wurden diese durch die praktischen Erfahrungen des Forstmeisters BOHDANNECKY, der im fürstlichen Schwarzenberg'schen Forst von Worlik zur Deckung der enormen Nachfrage nach Stangenhölzern gezwungen war, frühzeitig in junge Fichtenbestände einzugreifen und feststellte, dass der Durchmesserzuwachs zwar sehr stark ansteigt, es aber möglich ist, die Durchforstungszyklen und Eingriffsstärken so zu wählen, dass die Fichten lange, kräftige Kronen entwickeln und gleichzeitig astreine und vollholzige Stämme ausbilden können (SCHWAPPACH, 1905).

Nach REBEL (1905) hat Bohdannecky nach stammzahlreicher Kulturbegründung mit bis zu 10000 Fichten pro Hektar nach Dickungsschluss im Alter 15 bis 18 Jahren mit der Entnahme von beherrschten oder zurückbleibenden Fichten begonnen. Innerhalb von fünf Jahren sollte die Stammzahl auf 4800 Stück pro Hektar abgesenkt werden, um annähernd bis zum Boden beastete Fichten zu erziehen. In der nächsten Pflegephase bis zum Alter 35 wurde der Bestandschluss dann regelmäßig und oft so stark unterbrochen, dass er innerhalb von zwei Jahren wieder schließen konnte und die Kronenlänge nicht unter 2/3 der Baumlänge absinkt. Ab Alter 35 wurden die Durchforstungsstärken allmählich reduziert, um eine natürliche Astreinigung zu induzieren. Bei dieser gestaffelten Eingriffsstärke sollten ab Alter 50 noch 1400 Bäume pro Hektar stocken, die bis zur Haubarkeit nur noch in schwachen Eingriffen, die der Astreinigung und Schaftpflge dienen, gepflegt werden.

SCHIFFEL (1906) hat die Grundideen BOHDANNECKY's aufgenommen und in seinen Leitsätzen zur Fichtenbewirtschaftung übernommen. Für ihn stand bereits fest, dass durch die Regulierung des Bestandschlussgrades alle technischen Eigenschaften des Holzes, d. h. die qualitätsbeeinflussenden Parameter wie die Ästigkeit, die Vollholzigkeit und die Dimension gesteuert werden können. Zur Optimierung müsste nur noch der beste Weg zwischen den extremen Schlussgraden bei der Bestandenserziehung gefunden werden.

Ferner hatte er bereit erkannt, dass die Fichte in der Jugend keinen dichten Bestandesschluss benötigt, um gradschäftig zu wachsen und die Astreinigung einfacher als bei anderen Nadelbaumarten zu beeinflussen ist. Hierzu sollte der Bestandesschluss auf guten Standorten ab Bestandeshöhe von 8 m, auf geringeren Standorten bei einer Bestandeshöhe von 5 m, ausreichen, um die gewünschte Schaftausbildung zu gewährleisten. Er erkannte, dass die lebende Krone bis zur Kulmination des Höhenzuwachses in dicht geschlossenen Beständen am schnellsten nach oben rutscht und dadurch

Verluste an Assimilationsfläche und Zuwachs verbunden sind. Die Kronen sollten deshalb niemals kürzer als die halbe Baumlänge sein. Dies wollte er durch die Unterbrechung des Kronenschlusses (Lichtungen) mit Entnahmen von bis zu 50 % der Stammzahl bis zum Kulminationszeitpunkt erreichen. Die verbleibenden, bestgeformten Fichten könnten dann auf die Schlussunterbrechungen sehr schnell reagieren und Unterbrechungen im Kronenschluss wieder schließen.

Nach der Kulmination des Höhenzuwachses sollten Fichtenbestände anschließend nur noch mäßig durchforstet werden. Die Kronenlänge sollte aber nicht unter 40 % absinken. Auf Eingriffe im beherrschten Nebenbestand wollte er verzichten, weil er bereits erkannt hatte, dass nur Schlusslockerungen in der herrschenden Schicht Einfluss auf die Kronenentwicklung der verbleibenden Bäume haben.

Im Unterschied zu der Vorgehensweise SCHIFFEL's hat GEHRHARDT (1924 u. 1925) in seinem Konzept für den sogenannten „Schnellwuchsbetrieb“ am Grundsatz der ungehemmten Kronenausbreitung festgehalten und ist dafür eingetreten, dass die Erweiterung des Standraums des Einzelstammes auf den jeweiligen Bestzustand die größtmögliche Zuwachssteigerung hervorrufen kann. Er fordert, starke Eingriffe im Gegensatz zu Schiffel auch im höheren Alter fortzusetzen und stattdessen Ästungen auf etwa 2/3 der Schaftlänge, ggf. auch Grünästungen vorzusehen. Als Vorteile seiner Wirtschaftsweise sieht er die Steigerung der Widerstandsfähigkeit gegen Witterungsextreme, die Minderung der Humusanreicherung, die schnellere Dimensionierung des Einzelstammes und die dadurch zu erwarteten weitaus kürzeren Umtriebszeiten, was die Nachteile der geringeren Holzerlöse durch die größere Abholzigkeit, höhere Aststärken und weitere Jahrringbreiten überwiegt.

Versuchsfläche und Aufnahmemethodik

Standort

Die Versuchsfläche liegt, mit Niederschlagsmengen von 850-900 mm/a (~400 mm in der Vegetationszeit) versorgt, im Wuchsgebiet der „Paderborner Hochfläche“ im geographischen Gebiet der westfälischen Kreidemulde in einer Höhenlage von 290 m über NN in Plateaulage am Rand einer flach nach Norden ausstreichenden Mulde. Das geologische Ausgangsgestein ist Turon. Der Untergrund besteht aus Plänerkalk.

Die Bodenart ist ein schluffiger Lehm über lehmigem Ton. Als Bodentyp hat sich eine tiefgründige im Oberboden mittelmäßig nährstoffversorgte, schwach bis mäßig pseudovergleyte Braunerde gebildet. Der Unterboden ist kalkreich, was in Summe zu einer insgesamt mittleren bis guten Nährstoffausstattung führt.

Die Wasserversorgung ist jahreszeitlich wechselnd, von frisch bis mäßig trocken. Kurzzeitige Witterungsextreme führen nach SCHÖBER (1979) zeitweise zur oberflächlichen Austrocknung im Sommer oder temporärer, durch hohe Niederschläge verursachter, oberflächlicher Staunässe im Winter.

Versuchsfläche

Die Versuchsanlage 1924 erfolgte in einem 1909 mit vierjährigen Pflanzen in einem im 1,5*1,5 m Quadratverband begründeten Fichtenbestand durch Ausweisung einer Frühlichtungsfläche, die nach den Schiffel'schen Grundsätzen behandelt werden sollte und einer schwachen Niederdurchforstung (A-Grad) als Vergleichsfläche. Eine zweite Vergleichsparzelle wurde 1933 von WIEDEMANN mit der Behandlungsart mäßige Niederdurchforstung (B-Grad) ergänzt. Nach SCHÖBER (1979) wurde die Frühlichtungsparzelle nach den von BOHDANNECKY und SCHIFFEL beschriebenen Grundsätzen angelegt, von denen WIEDEMANN sich allerdings nach zwei Aufnahmen im Jahr 1933 wieder abwandte, um die Fläche nach GEHRHARDT's „Schnellwuchskonzept“ weiterzuentwickeln. WIEDEMANN (1929) bezeichnete sie deshalb auch als „Schnellwuchsfläche“.

Die Bestandsentwicklung erfolgte nicht ungestört. Mitte der 30er Jahre wurden in den A- und B-Grad Flächen zahlreiche Fichten durch Schneebruch zerstört. Die Bestände konnten sich in den darauffolgenden Jahren wieder schließen, denn auch in den nachfolgenden Aufnahmen ab 1941 wurden im Zuge der schwachen und mäßigen Niederdurchforstungen zahlreiche Parzellenbäume entfernt. In den Folgejahren waren vor allem in den beiden Niederdurchforstungspartellen immer wieder kleinere Verluste durch Schneebruch oder Sturmschäden zu verzeichnen. Zum Jahreswechsel

1999/2000 wurden dann große Teile des A-Grades bis auf eine kleine Restfläche und Teile des B-Grades zerstört.

Folgt man den Bereisungsberichten über die gesamte Untersuchungszeit hinweg, erkennt man, dass sich vor allen die Schiffelfläche verändert hat. Wurden die Fichten bis in die 80er Jahre noch als sehr abholzig charakterisiert, werden sie bei Bereisungen in den 90 er Jahren bereits als vollholzig beschrieben. Über die gesamte Versuchsgeschichte haben die Fichten der Schiffelfläche durch ihr enormes Einzelbaumwachstum und ihre „großen“ Kronen beeindruckt.

Ertragskundliche Aufnahmen

Bis zur Aufnahme im Herbst 2009 erfolgten in der Schiffelfläche 21, im A-Grad 18 und im B-Grad 17 ertragskundliche Aufnahmen. Bei diesen Aufnahmen wurden die Durchmesser in Brusthöhe vollständig durch Kreuzkluppung ermittelt und Höhen- und bei einzelnen Aufnahmen Kronenansätze repräsentativ über das gesamte Durchmesserspektrum ermittelt. Die A- und B-Gradfläche wurden aufgrund der Schäden in der Zeit von 2000-2004 nicht mehr ertragskundlich aufgenommen. Eine Schlusssaufnahme wurde im Herbst 2009 nachgeholt und entschieden, die verbleibenden Bäume noch für zusätzliche Untersuchungen zu nutzen. Neben detaillierten Stammverteilungsplänen innerhalb der Versuchspartellen wurden die Höhen aller Bäume, die des ersten Totastes, des ersten Grünastes, des Kronenansatzes und die Höhe der größten Kronenbreite gemessen. Bei allen Bäumen wurde die maximale Kronenausdehnung in 8 festgesetzten Radien erhoben.

Im Frühjahr 2010 wurden an jeweils 21 Probestämmen in der Schiffelfläche und im A-Grad Durchmesser sektionsweise im Abstand von 2 m unter Berücksichtigung der Stubbenhöhe und Ergänzung einer Sektionsmessung in 1,3 m Höhe per Kreuzkluppung in Nord-Süd- und West-Ost-Richtung vermessen. Aus den Volumen der 42 sektionsweise vermessenen Bäume, den BHD's und den Höhen wurden die Schaftholzformzahlen errechnet.

An den Probestämmen wurden auch Jahrestrieblängen von der Baumspitze beginnend gemessen. Bei jedem Quirl wurde die Anzahl der Äste und der Durchmesser des sichtbar stärksten Astes ermittelt.

Von den gefällten Probestämmen wurden jeweils 13 Bäume repräsentativ der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen Durchmesserklassen ausgewählt, von denen Stammscheiben zur Jahrringanalyse entnommen werden sollten. Die erste Stammscheibe wurde vom Stubben oder Erdstammstück geworben, die nächste Scheibe aus 1,3 m (BHD)- Höhe. Die Fichten wurden ortsüblich in 3 und 5 m Stammholz- und 2 m Industrieholzabschnitten ausgehalten und dazwischen jeweils eine Stammscheibe entnommen, an denen die Jahrringe in den vier Haupthimmelsrichtungen vermessen wurden.

Nach einer Fehlerprüfung und Korrektur wurden die Datensätze mit Hilfe des Programms Stanly eingelesen und der Wachstumsverlauf aus gemittelter Jahrringstärke und Scheibenhöhe berechnet. Die Höhen- und Volumenentwicklung wird im Programm durch lineare Funktionen interpoliert. Das Programm ermöglicht Durchmesserberechnungen in jeder gewünschten Höhe eines Baumes. Mit der Möglichkeit BHD's und Höhen zu jedem Zeitpunkt des Baumlebens zu errechnen, wurde die BHD-, Höhenentwicklung und des H/D-Verhältnisses dargestellt. Mit dem Programm Stanly wurden die Schaftholzvolumen der jahrringweise vermessenen Probestämme im zehnjährigen Turnus berechnet, parzellenweise gemittelt und verglichen. Die Entwicklung der unechten Schaftholzformzahlen der Probestämme wurde im zehnjährigen Turnus berechnet, parzellenweise gemittelt und mit der Schaftholzformzahl nach BERGEL (1973) verglichen.

Die Berechnung der Versuchsergebnisse erfolgte mit Hilfe des Programms Viswin06 (NAGEL, J. 2006) Stanly Version 2000a (NAGEL, J. 2010). Für die weiteren Auswertungen wurde die Programmpakete MS Office Excel 2007 und StatSoft Statistica Version 9.0 eingesetzt.

Ergebnisse

Stammzahl- und Höhenentwicklung

Die folgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der wichtigsten ertragskundlichen Kenngrößen über dem Alter. Als Vergleichswerte sind die Versuchsergebnisse mit Ertragstafelwerten nach WIEDEMANN (1936/1942) der Ertragsklasse I, mäßige Durchforstung ergänzt.

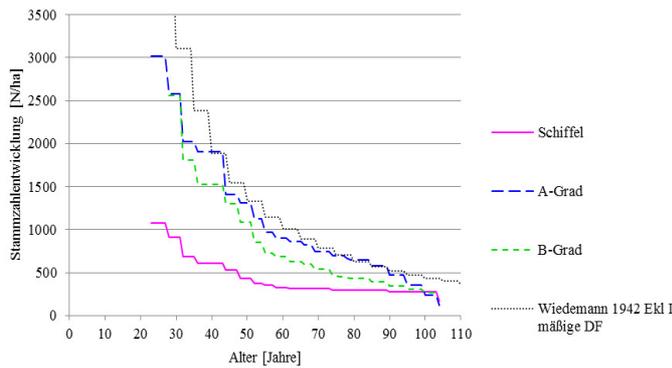


Abb. 1: Stammzahlentwicklung (N/ha) der Versuchspartellen (Schiffel, A-Grad und B-Grad) im Vergleich mit der Stammzahlentwicklung der Ertragstafel nach Wiedemann 1. Ekl, mäßige Df.

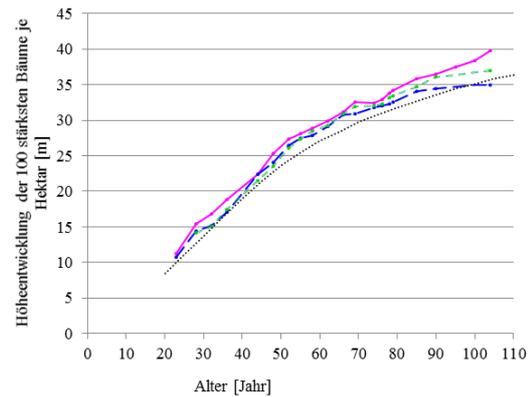


Abb. 2: Entwicklung der Spitzenhöhe H_{100} (m) der Versuchspartellen (Schiffel, A-Grad und B-Grad) im Vergleich mit der Oberhöhenentwicklung H_o (nach Weise) der Ertragstafeln nach Wiedemann 1. Ekl, mäßige Df.

Die Abbildung 1 zeigt die Stammzahlentwicklung (N/ha) des verbleibenden Bestandes der Versuchspartellen über dem Alter im Vergleich zur Stammzahlentwicklung nach der Ertragstafel. Diese beschreibt die höchste Stammzahlhaltung. Die Stammzahlhaltung auf der Schiffelfläche ist in jedem Alter deutlich geringer als die der Vergleichsflächen. Ab einem Alter von etwa 60 Jahren (1955) stagnieren die Baumzahlen etwa konstant bei ca. 300 N/ha. Hier erfolgt die von Schiffel geforderte Dichtschlussphase mit niedrigen Stammzahlentnahmen und Eingriffsstärken, während die Stammzahlen im A und B-Grad kontinuierlich weiter abnehmen. Im Alter von 31 Jahren (1936) sind in den Kurven des A- und B-Grades die kalamitätsbedingten Stammzahlabnahmen zu erkennen.

Die Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Spitzenhöhe H_{100} , die in der NW-FVA standardmäßig verwandt wird, der Versuchspartellen und als Referenz die Oberhöhe H_o nach Weise der Ertragstafeln über dem Bestandesalter. Es fällt auf, dass die Spitzenhöhen der Versuchspartellen bis ins Alter von 90 Jahren nur wenig voneinander abweichen. Tendenziell ist die Höhenwuchsleistung auf der Schiffelfläche am höchsten und die des A-Grades am geringsten. Die Spitzenhöhe der Schiffelparzelle steigt im Vergleich zu der Kontrollfläche und der Vergleichsfläche ab Alter 90 stärker an, was auf kalamitätsbedingte Ausfälle in den Vergleichspartellen zurückzuführen ist.

Grundflächen und Vorratsentwicklung

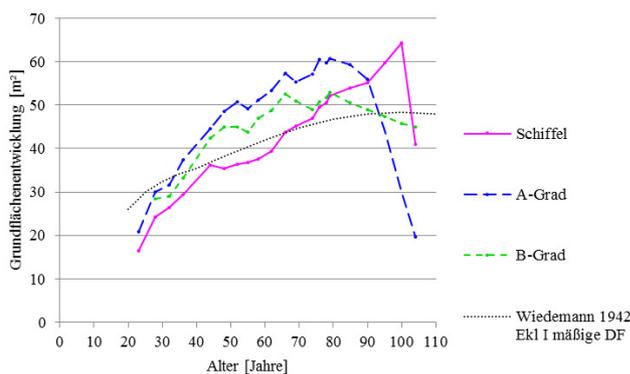


Abb. 3: Entwicklung der Grundflächenhaltung (m^2/ha) der Versuchspartellen (Schiffel, A-Grad und B-Grad) im Vergleich mit der Grundflächenentwicklung der Ertragstafeln nach Wiedemann, 1. Ekl., mäßige Df.

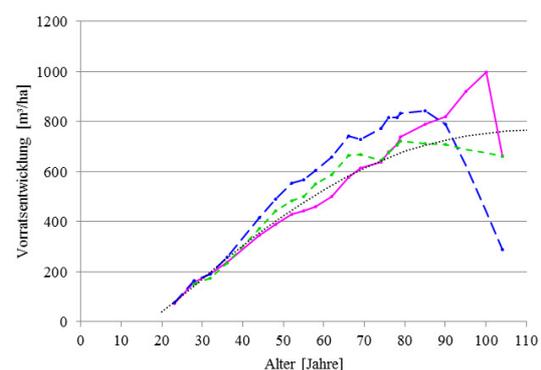


Abb. 4: Entwicklung des Vorrats (m^3/ha) der Versuchspartellen I, II und III (Schiffel, A-Grad und B-Grad) im Vergleich mit der Vorratsentwicklung der Ertragstafeln nach Wiedemann, 1. Ekl., mäßige Df.

Die Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der Grundfläche über dem Alter. Sehr deutlich sind die wesentlich höheren Grundflächen der Vergleichsflächen gegenüber der Schiffelfläche zu erkennen. Diese erreicht bis Alter 45 bereits das Ertragstafelniveau, wird dann aber nochmals stärker durchforstet. Sie benötigt knapp 20 Jahre, um das Tafelniveau wieder zu erreichen und wächst bis zur höchsten Grundflächenhaltung im Alter 99 gleichmäßig an. Der A-Grad erreicht seine höchste

Grundflächenhaltung im Alter 79. Dieses Niveau erlangte die Schiffelfläche erst im Alter 90 (59,7 m²). Das höchste Niveau des B-Grades erreicht sie etwa im Alter 74. Ab Alter 78 sinkt die Grundfläche im B-Grad bereits deutlich ab. Im Jahr 1995 (Bestandesalter 90) erfolgte die letzte Aufnahme vor der Teilerstörung (im Winter 1999/2000). Die mittlere Grundflächenhaltung auf der Schiffelfläche im Alter zwischen 23 und 90 Jahren bleibt nur etwa 8 % hinter der Grundflächenhaltung des A-Grades zurück.

In Abbildung 4 ist der Bestandesvorrat dargestellt. Die Grafik hat einen ähnlichen Verlauf wie die Grundflächenentwicklung. Der Vorrat des A- Grades liegt über bis Alter 90 weit oberhalb der Ertragstafelwerte, Der Vorrat des B-Grades liegt bis zum Alter 78 leicht darüber. Die Schiffelfläche liegt bis Alter 45 auf dem Ertragstafelniveau, bis Alter 65 leicht darunter. Ab Alter 70 wächst der Bestandesvorrat bis auf den Maximalstand von 997 m³ im Alter 99 extrem an.

Durchmesser, Durchmesserzuwachs und Jahrringbreiten

Die Durchmesser der Grundflächenmittelstämme D_g im A- und B-Grad sind bis ins Alter 44 Jahre annähernd gleich, danach steigt der D_g des B-Grades wenige Zentimeter (4 cm im Alter 90) über den D_g des A-Grades. Der D_g der Schiffelfläche liegt zu jedem Bestandesalter deutlich über denen der Vergleichsflächen (8 bzw. 12 cm im Alter 90). Die Mitterdurchmesser der D₁₀₀ Bäume liegen in allen drei Parzellen vergleichsweise nah (6 cm im Alter 90) zusammen. Auch bei dieser Kennzahl liegt die Schiffelfläche eindeutig vorn. Im A- und B-Grad sind bis zum Alter 32 kaum Unterschiede erkennbar, danach ab Alter 44 steigt der D₁₀₀ im B-Grad leicht gegenüber dem A-Grad und nähert sich mehr den D₁₀₀ Werten der Schiffelfläche. Ab 90 bricht der der D₁₀₀ im A-Grad kalamitätsbedingt ein.

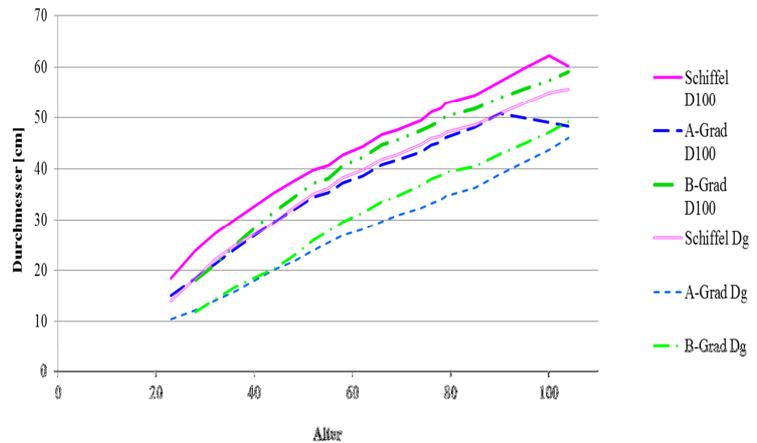


Abb. 5: Durchmesserentwicklung des Mittelstammes der 100 stärksten Bäume D₁₀₀ (cm) und des Grundflächenmittelstammes D_g (cm) der Versuchspartellen (Schiffel, A-Grad und B-Grad)

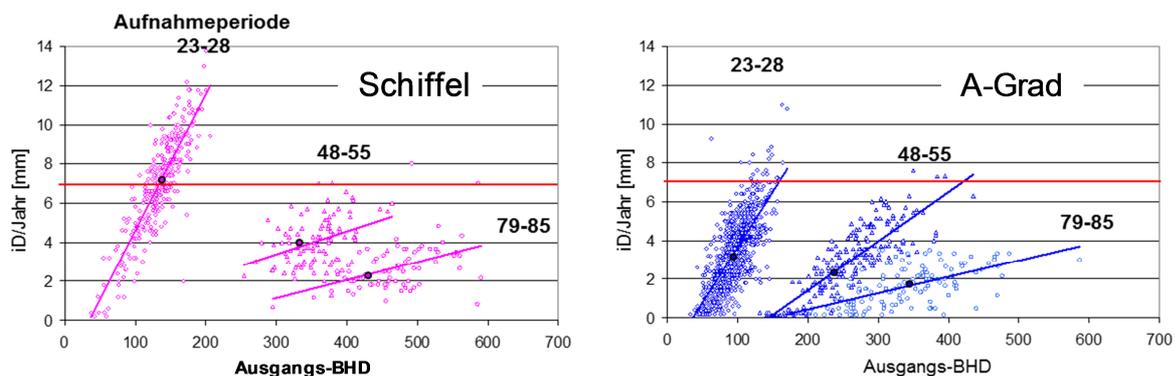


Abb. 6: Entwicklung des durchschnittlichen, jährlichen laufenden Durchmesser-Zuwachses der Schiffelfläche und des A-Grades über dem Ausgangs-BHD in drei Aufnahmeperioden.

In der Abbildung 6 ist der durchschnittliche laufende jährliche Durchmesserzuwachs im Bestandesalter 23-28, 48-55 und 79-85 Jahre als Vergleich zwischen der Schiffelfläche und dem A-Grad über dem Ausgangs-BHD aufgetragen. Deutlich wird, dass der laufende Durchmesserzuwachs mit höherem Bestandesalter in beiden Varianten absinkt. In der Schiffelparzelle liegt er in allen Perioden über den Zuwachswerten des A-Grades. Der Durchmesserzuwachs des Grundflächenmittelstammes D_g ist jeweils mit Punkten gekennzeichnet und liegt vor allem in der Beobachtungsperiode 23-28 Jahre mehr als doppelt so hoch wie im A-Grad. Mit der roten Linie ist der Grenzdurchmesser nach der Europäischen Norm EN1927-1, in der die Qualitätskriterien für maximale Jahrringbreite für Fichtenrohholz der Qualitätsklasse B mit maximal 7 mm angegeben ist, gekennzeichnet. Es lässt sich unschwer errechnen,

dass die durchschnittlichen Jahrringbreiten ($iD / 2$) auch in der Schiffelfläche in der Periode 23-28 nur in seltenen Ausnahmefällen die Grenze von 7 mm überschreiten.

Verdeutlicht wird dieses in der nachfolgenden Abbildung 7, in der die durchschnittlichen Jahrringbreiten aus der Jahrringanalyse von jeweils 10 Probestämmen in BHD-Höhe gegenübergestellt sind. Man erkennt, dass 7 mm Grenze nur in dem Zeitraum von 1925 bis 1928 in der Schiffelfläche überschritten wurde. In diesem Zeitraum hebt sich der Verlauf der Jahrringstärken-Kurven der Schiffelfläche deutlich von der Vergleichsfläche ab. Sie nähern sich bis Anfang der 50er Jahre wieder an und verlaufen bis ins Jahr 2010 annähernd parallel.

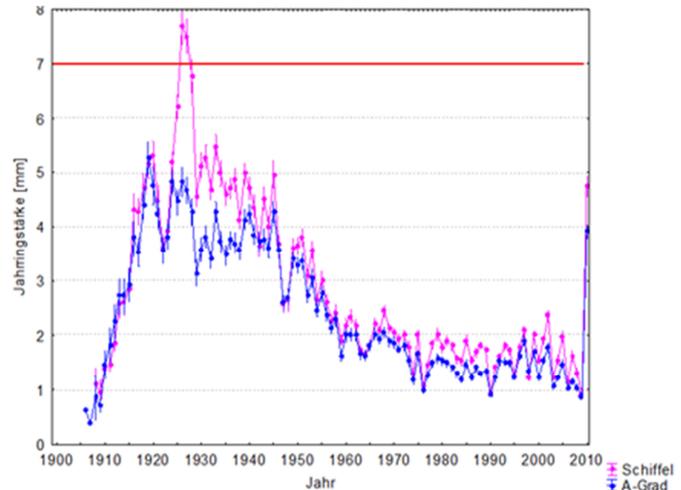


Abb. 7: Mittlere Stärke der Jahrringe vermessenen Probestämme der Schiffelfläche und dem A-Grad) in Brusthöhe über dem Wuchsjahr (geä. nach BLOME, 2011)

Über den gesamten Beobachtungszeitraum sind die mittleren Jahrringstärken der Schiffelfläche immer tendenziell stärker als die der Vergleichsfläche. Auffallend ist, dass der Jahrringbreitenzuwachs in der Schiffelfläche erst 2 Jahre nach dem Eingriff im Jahr 1923 deutlich auf die Durchforstungsmaßnahme reagiert und dass dieser Wuchsbeschleunigungseffekt in der maximalen Höhe nur wenige Jahre anhält. Anschließend noch ca. 15 Jahren mit bis zu 2 mm größeren Jahrringbreiten erkennbar ist und dann auf ein deutlich niedrigeres Niveau von wenigen Zehntelmillimetern Mehrzuwachs zurückfällt.

Schaffform und Schaffholzformzahl

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen die mittleren Durchmesser (ohne Rinde) der jahrringweise vermessenen Probestämme über der Höhe in 10 Jahresabständen von 1920 bis 2000. Die äußerste Schaffkurve zeigt den mittleren Durchmesser aus dem Jahr 2010 mit Rinde (vor der Vegetationsperiode) über der Höhe, alle anderen zeigen den Schaffkurverlauf ohne Rinde. Die Kurven der Bäume aus der Schiffelfläche zeigen deutliche stärkere Dimensionen als die Bäume der schwachen Niederdurchforstung. In beiden Abbildungen ist zu erkennen, wie sich die Schaffformen verändern. In den ersten Aufnahmen zeigen sie noch kurze, stumpfe Kegelformen mit breiten Abständen von einem Jahrzehnt zum nächsten. Ab Alter 60 lässt der Durchmesserzuwachs nach und die Schaffkurvenform verändert sich zu langgestreckten, spitzen Kegeln.

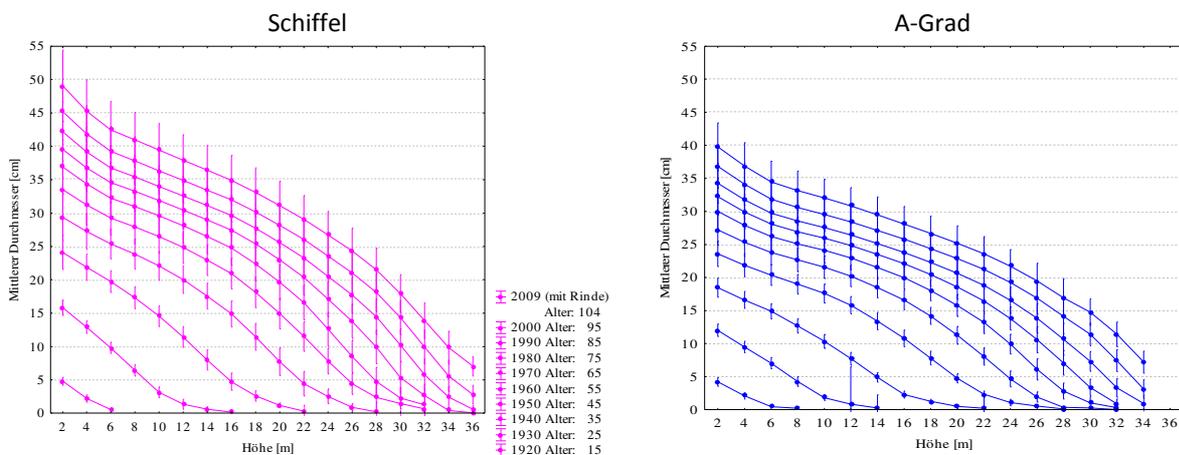


Abb. 8 u.9: Mittlerer Durchmesser (Schaffform) der jahrringweise vermessenen Probestämme der Schiffelfläche und des A-Grades 1920 bis 2000 ohne Rinde und 2009 mit Rinde dargestellt über der Höhe (geä. nach BLOME, 2011).

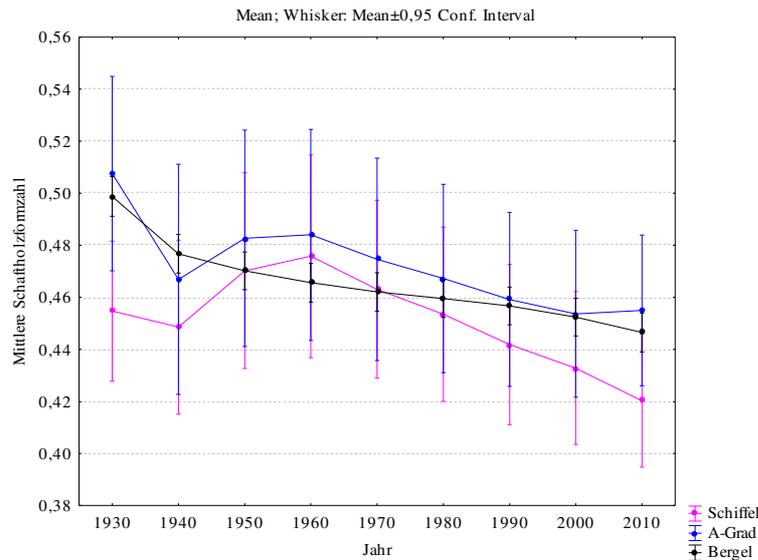


Abb. 10: Durchschnittliche Schaftholzformzahlen der jahringweise vermessenen Probestämme der Parzellen I und II (Schiffel und A-Grad) im Vergleich mit der Formzahl nach Bergel (1973) über dem Aufnahmejahr / Alter (Bestandesalter = Aufnahmejahr – 1905) (geä. nach BLOME, 2011).

Die Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der unechten Schaftholzformzahl und der Formzahl nach BERGEL (1973). Die unechten Formzahlkurven der jahringweise vermessenen Bäume der Schiffel- und der Kontrollfläche zeigen einen annähernd parallelen Verlauf über dem Alter. Im Alter von 35 Jahren (1940) ist ein Absinken der unechten Formzahlen zu erkennen. Hier zeigen sich die Auswirkungen der starken Stammzahlreduktionen in der Schiffelfläche und die Verluste durch Schneebruch im A- Grad. Mit dem Zusammenwachsen der Bestände bis 1960 steigen die Formzahlkurven an. In diesem Zeitraum zeigen sich die Bäume in beiden Parzellen besonders vollholzig. Dieses Maximum zeigt, dass das Volumen der Bäume im Alter zwischen 45 und 55 Jahren in Bezug zu ihrer Grundfläche und Höhe besonderes groß ist. Die Formzahl nach BERGEL (1973) verläuft über dem Alter abfallend, aber innerhalb der breiten Konfidenzintervalle der Kurven der unechten Schaftholzformzahl aus den Untersuchungsparzellen.

Gesamtwuchsleistung und Entnahmegründe

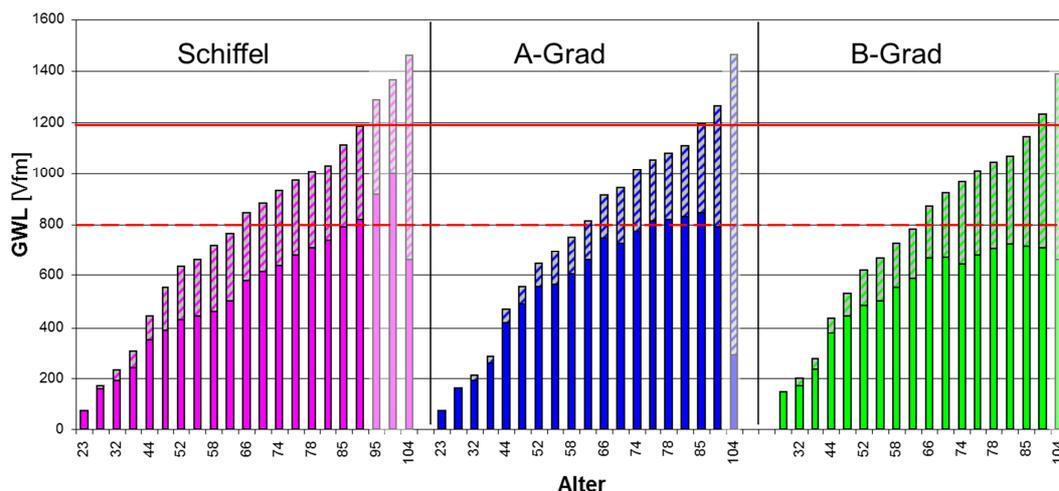


Abb. 11: Gesamtwuchsleistung (m^3/ha) der Schiffel, A-Grad und B-Grad Fläche als Summe des Bestandesvorrats und der zum jeweiligen Ausnahmezeitpunkt aufsummierten Vornutzungsmengen

In Abbildung 11 ist die Gesamtwuchsleistung über dem Alter als Bestandesvorrat in den geschlossenen Balken und der Summe der Vornutzungsmassen in den gestrichelten Balken aufgetragen. Abgeblendet sind alle Aufnahmen ab Alter 95, die durch Kalamitäten überprägt sind und deshalb eine direkte Vergleichbarkeit der Flächenergebnisse erschweren. Im Alter 90 liegt der Bestandesvorrat des A-Grades bei $791 m^3$. Zur Verdeutlichung ist hier eine gestrichelte Linie eingezeichnet. Annähernd in gleicher Höhe

liegt der Vorrat der Schiffelfläche mit 820 m³ und etwas niedriger der Vorrat des B- Grades mit 709 m³. Vergleicht man jedoch die Gesamtwuchsleistungen bis zum Alter 90, ist zu erkennen, dass die Schiffelfläche um 45 m³ hinter der Leistung des B-Grades und 78 m³ hinter der Gesamtwuchsleistung des A-Grades zurückbleibt.

Die Ausscheidensgründe in den Versuchspartellen sind in der Abbildung 12 zusammengestellt. Sie zeigt, dass in der Schiffelfläche von allen Bäumen, die bei der ersten Aufnahme im Alter 23 registriert wurden, 70 % regulär durchforstet wurden und ungefähr 15 % durch Witterungseinflüsse verloren gingen. Nur 1 % wurde als natürlich abgestorben registriert. Im A-Grad sind 37 % als natürlich abgestorben registriert, 38 % haben witterungsbedingte Gründe und nur 15 % wurden aktiv im Rahmen des Konzepts entnommen. Die Stammzahlreduktionen im B-Grad erfolgten vor allem durch Durchforstungen mit knapp 40 %, zu 35 % durch Wind oder Schnee.

Stabilitätsparameter

Die Entwicklung der H/D Verhältnisse des Grundflächenmittelstammes im Vergleich zu den Ertragstafelreferenzwerten ist in der Abbildung 13 aufgetragen. Das H/D -Verhältnis der Schiffelfläche ist am konstantesten und liegt zwischen 0,7 und 0,8. Im A-Grad steigt das H/D Verhältnis nach Versuchsanlage steil bis auf 0,95 an, fällt aber durch die Schneebruchschäden verursacht in den dreißiger Jahren wieder zurück auf 0,9 zurück. Im B-Grad ist ein ähnlicher Verlauf zu erkennen. Hier waren zwar Ausfälle durch Schneebruch zu registrieren, die aber im Bestandesgefüge schnell wieder geschlossen wurden und Durchforstungseingriffe im Sinne des Behandlungskonzeptes erforderlich machten. Bis zum Alter 45 ist das H/D Verhältnis im A-Grad wieder auf den Maximalwert 0,97 angestiegen und anschließend gleichmäßig bis auf 0,8 im Alter 90 gefallen. Die Entwicklung im B-Grad zeigt einen ähnlichen Verlauf auf niedrigerem Niveau. In beiden Parzellen

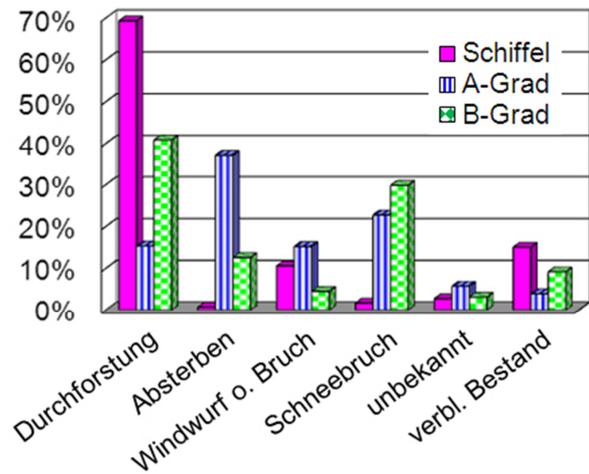


Abb. 12: Entnahme / Ausscheidensgründe in Prozent der Ausgangsbaumzahl in den Versuchspartellen von der ersten Aufnahme im Alter 23 bis zum Alter 104

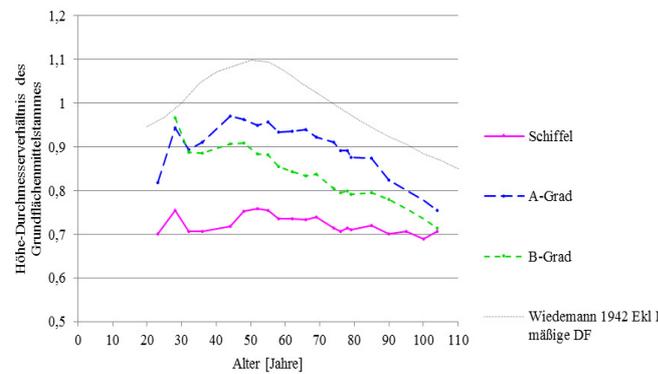


Abb. 13: H/D-Verhältnis des Grundflächenmittelstammes der Versuchspartellen im Vergleich mit dem H/D-Verhältnis des Grundflächenmittelstammes nach WIEDEMANN (1942) 1. Ertragsklasse, mäßige Durchforstung (geä. nach BLOME, 2011).

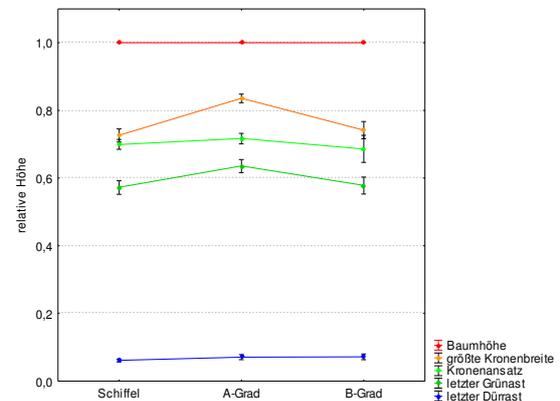


Abb. 14: Relative Höhe der durchschnittlichen Kronenparameter Versuchspartellen im Frühjahr 2010 (Bestandesalter 104 Jahre)(geä. nach BLOME, 2011)

spiegeln sich die Auswirkungen der fast regelmäßig auftretenden, unplanmäßigen Abgänge auch im H/D-Verhältnis wieder. Die Vergleichswerte der Ertragstafel liegen bis die ersten Maximalwerte im A-Grad im ersten Jahrzehnt nach der Versuchsanlage und vor den Schäden in den 30er Jahren, regelmäßig und 0,1 bis 0,15 Punkte höher als im A-Grad und 0,2 Punkte höher als im B-Grad.

In der Abbildung 14 sind die relativen Höhen der Kronenparameter in Bezug zur Gesamthöhe der Probestämme je Parzelle aus der letzten Aufnahme im Alter 104 dargestellt. Die Lichtkrone ist bei den Bäumen der Schiffelfläche am längsten und bei denen des A-Grades am kürzesten. Die unproduktive

Schattenkrone ist auf dem A-Grad am längsten und auf der Schiffelfläche am kürzesten. Die Unterschiede zwischen Schiffelfläche und B-Grad sind bei im Alter 104 nur gering.

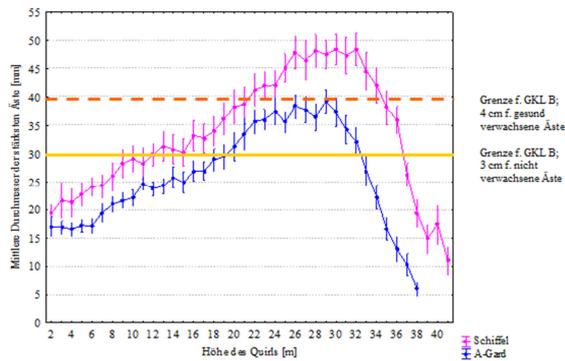


Abb. 15: Aststärken der sektionsweise vermessenen Fichten der Schiffelfläche und im A-Grad im Bestandesalter 104 Jahre über der Quirlhöhe in Metern (geä. nach BLOME, 2011).

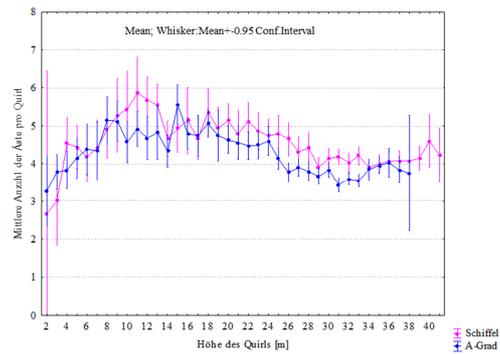


Abb. 16: Anzahl der Äste pro Quirl der sektionsweise vermessenen Fichten in der Schiffelfläche und im A-Grad im Alter 104 Jahre Quirlhöhe in Höhe in Metern (geä. nach BLOME, 2011).

Die Abbildung 15 zeigt die durchschnittlichen Durchmesser des jeweils stärksten Astes eines Quirls über der auf ganze Meter gerundeten Höhe der Astquirle. Hierzu aufgetragen sind die Grenzdurchmesser der Qualitätsklasse B von 3 cm bei nicht verwachsenen Ästen und von 4 cm und bei gesunden, verwachsenen Ästen nach EN1927-1.

Die Astdurchmesser der stärksten Äste pro Quirl an den Bäumen der Schiffelfläche steigen stetig von ca. 20 mm in 2 m Höhe bis zu ca. 47 mm in 26 m Höhe. Ab 12 m werden die Grenzdurchmesser für nicht eingewachsene Äste und bei 22 m für verwachsene Äste überschritten. Im A-Grad erreichen die Aststärken den Grenzwert von 4 cm mit Mittel nicht und überschreiten die 3 cm erst bei 19 m Quirlhöhe. Die Anzahl der Äste pro Quirl, die in der Abbildung 16 aufgetragen ist, zeigen keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten. Die Konfidenzintervalle beider Kurven überlappen sich bis auf wenige Ausnahmen.

Die Abbildung 17 und 18 zeigen die Ableitungen der Schaftformkurven der Schiffelfläche und des A-Grades zum Alter 45 und 104. Dargestellt ist die Durchmesserabnahme in Zentimeter pro Meter über der Höhe. Die horizontale, blaue Linie bei 1,0 cm kennzeichnet die Grenze zwischen Voll- und Abholzigkeit definiert nach KRAMER & AKÇA (1982). Die EN1927-1 definieren unterschiedliche Grenzwerte für Abholzigkeit über den Sortiments-Mittendurchmesser. Bei einem Mittendurchmesser ohne Rinde unter 20 cm ist eine maximale Abholzigkeit für B von 1,25 cm/m, für C von 2 cm/m erlaubt. Bei Mittendurchmessern zwischen 20 cm und 35 cm sind für B bis 1,5 cm/m und für C bis 2 cm/lfm erlaubt. Bei Rundhölzern mit Mittendurchmessern von über 35 cm o.R. sind für B bis 2 cm/m und für C bis 4 cm/m erlaubt.

Im Alter 45 zeigen die Kurven von beiden Flächen einen vergleichbaren Verlauf. Im Stammabschnitt zwischen 2 und 10 m ist die Durchmesserabnahme kleiner als 1 cm und ist nach KRAMER & AKÇA (1982) als vollholzig zu definieren. Im Höhenbereich von 10 bis 20 m sind beide wesentlich abholziger, wobei die Abholzigkeit der Schiffelbäume in diesem Bereich am größten ist. Im Alter 104 haben sich die Kurvenverläufe angeglichen. Die Schiffelbäume sind etwas abholziger und überschreiten im Mittel die Grenzwerte von 1 cm/m im Höhenbereich von 18 m, die A-Grad Bäume im Mittel erst bei 22 m.

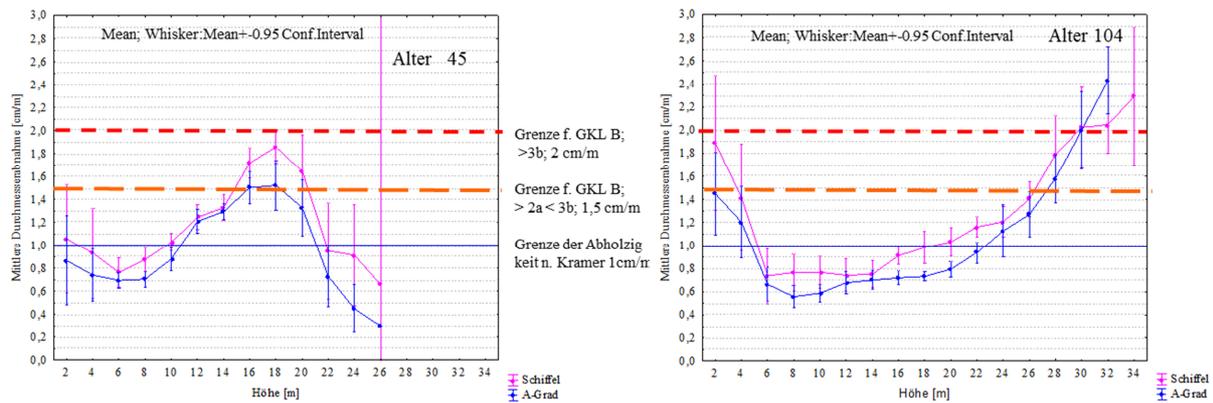


Abb. 17 u. 18: Mittlere Durchmesserabnahme (ohne Rinde) in Zentimeter pro Meter der jahringweise vermessenen Probestämme der Schiffel Fläche und des A-Grades im Jahr 1950 und 2010 (Bestandesalter 45 u. 104 Jahre) (geä. nach BLOME, 2011).

Diskussion

Von den Erfolgen der Worliker Fichtenwirtschaft angetan, ließ SCHWAPPACH Anfang des 20. Jahrhunderts zahlreiche Versuchsflächen anlegen, um die Theorien BOHDANNECKYS und SCHIFFELS zu prüfen. In der beschriebenen Versuchsfläche Paderborn 90 hat er in einem 19 Jahre alten Bestand bei einer Spitzenhöhe von ($H_{100}=9,8$ m) 2/3 der vorhandenen Bäume entfernen lassen und dadurch einen sehr starken, aus heutiger Sicht positiven Einfluss, auf das Einzelbaumwachstum genommen. Dass die Ausgangsvoraussetzungen nicht hundertprozentig mit den Böhmisches Verhältnissen übereinstimmten, sei dahingestellt. In Böhmen wurden Kulturen noch mit 10000 Pflanzen pro Hektar begründet, im Versuchsbestand nur mit 4500 Stück pro Hektar. Diese Differenz der Ausgangspflanzenzahlen hat Folgen für die spätere Behandlung, die in Worlik mit vielen Eingriffsschritten mit geringer Eingriffstärke mit dem Ziel erfolgte, im Alter von 50 Jahren noch möglichst 1400 Bäume pro Hektar zu halten. Diese Zahlen kommen der Baumzahlhaltung der mäßigen Durchforstung nach der Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/1942) sehr nahe. In der Paderborner Versuchsfläche hat SCHWAPPACH einen für seine Zeit radikalen Ansatz nach SCHIFFEL'S (1906, 1910) Leitgrundsätzen umgesetzt, der die physiologischen Wachstumsmerkmale, wie das geotrophe Wachstum oder das vermutete Leistungspotential durch bessere Ausnutzung des Jugendwachstums, in den Mittelpunkt seiner Betrachtungen stellt. Er kommt damit unseren heutigen Vorstellungen zur Fichtenbewirtschaftungen in punkto Bestandesbegründung, Pflege, Qualitäts- und Massenleistung sehr nahe (vgl. BRUNS & SPELLMANN, 1989).

Die Bestandesentwicklung der Schiffelfläche lässt sich in zwei Phasen unterteilen. In der ersten, der sogenannten Lichtwuchsphase mit sehr starken Stammzahlabstößen bei Versuchsanlage und anschließenden weiteren starken Eingriffen unter dem Einfluss von WIEDEMANN und SCHÖBER, die die Fläche bis zum Alter 60 nach GEHRHARDT's Leitgedanken (1925) der ungehinderten Kronenausdehnung behandelt haben, und einer anschließenden Dichtschlussphase, in der die Bestandesstabilität, Vorratshaltung und Flächenproduktivität im Vordergrund aller Maßnahmen stand. Trotz der geringen Stammzahlhaltung auf der Schiffelfläche von gerade 30 % bis 40 % des A-Grades in der Lichtwuchsphase, liegt der Vorrat im Alter von 60 Jahren bei 76 % des A-Grades und kurz vor dem Zusammenbruch des A-Grades im Alter von 90 Jahren bei ca. 94 %. Die lange Dichtschlussphase mit einer kontinuierlichen Vorratsakkumulation bewirkt, dass die Schiffelfläche im Alter 90 im mittleren periodischen Grundflächen- und Volumengesamtertrag nur etwa 8 % bzw. 3 % hinter dem A-Grad zurückbleibt. Die Ergebnisse der 2. Vergleichsfläche, des B-Grades liegen in ihren Ergebnissen zwischen dem A-Grad und der Schiffelfläche.

Die von SCHIFFEL vermutete Ausnutzung der Dynamik des Jugendwachstums durch frühzeitige Eingriffe zeigt sich im Vergleich der mittleren periodischen Durchmesserzuwächse, die im der Schiffelfläche im Alter von 23 - 28 Jahren beim Grundflächenmittelstamm mit 7 mm/Jahr ungefähr doppelt so hoch lagen wie im A-Grad. In späteren Zuwachsperioden (48 - 55 und 79 - 85 Jahre) zeigen sich deutliche Rückgänge im laufenden Durchmesserzuwachs, der allerdings absolut gesehen jeweils höher liegt als in der Vergleichsfläche. Dies ist nach ASSMANN (1961) mit dem sogenannten Wuchsbeschleunigungseffekt des Eingriffs von 1919 auf die Durchmesser- und davon abgeleitet auf die Grundflächen- und

Volumenentwicklung zu erklären. Dieser hat vor dem Erreichen des Zeitpunkts der natürlichen Kulminationspunkte die stärksten Auswirkungen. Der Effekt wird besonders in der Stammanalyse verdeutlicht. Im Kurvenvergleich zeigt sich die enorme Zunahme der Jahrringbreiten in der Schiffelfläche direkt nach der Stammzahlab senkung in der Altersspanne von 19 bis 30 Jahre. Danach gleichen sich die Jahrringbreiten bis zum Alter 40 langsam wieder der Vergleichsfläche an, bleiben aber im gesamten Untersuchungszeitraum bis ins Alter 104 signifikant höher.

Die Einzelbaumdimension hat besondere Auswirkungen auf den Wertertrag eines Bestandes. Neben früheren Vornutzungserträgen, geringeren Holzerntekosten und höheren Preisen aufgrund der größeren Stückmassen sind die positiven Auswirkungen auf die Bestandesstabilität bedeutsam. Denn nur in stabilen Beständen lassen sich Maßnahmen planmäßig verwirklichen. In der Schiffelfläche wurden 70% der Entnahmen konzeptgemäß durchforstet, nur 15% der Bäume sind während der Beobachtungszeit durch Witterungseinflüsse ausgeschieden. Im A-Grad sind dagegen sind erwartungsgemäß 37% natürlich abgestorben, 38% durch Witterungseinflüsse und nur 15% im Rahmen von planmäßigen Entnahmen ausgeschieden.

SCHÖBER (1980) ermittelte für die Schnellwuchsfläche, dass auf dieser 17 Jahre vor dem A-Grad positive Deckungsbeiträge zu erwirtschaften sind. SPELLMANN & SCHMIDT (2003) kalkulierten die Wertleistung des A-Grades und der Schiffelfläche bis zum Bestandesalter von 90 Jahren und ermitteln, dass die Wertleistung der Schiffeldurchforstung diejenige des A-Grades um etwa 20% übertrifft. BLOME (2011) konnte nachweisen, dass die Schiffelfläche zum Bestandesalter 90, vor Zerstörung der Vergleichsfläche, der bei reiner Betrachtung der Erlöse nach simulierten Abtrieb kalkuliert mit den Preisen und Sortimentsstrukturen von 2011 und Berücksichtigung der erzielten Erlöse aus Vornutzungen, die wirtschaftlich interessanteste ist.

Bei einer angenommenen Zielstärke von 45 cm erreichen die ersten Bäume in der Schiffelfläche zielstarke Dimensionen 20 Jahre früher als in der schwachen Niederdurchforstung. Bei einem mittleren H/D Verhältnis von 0,75 in der Schiffelfläche zum Alter 60 und 0,95 zum Alter 80 im A-Grad lassen die jeweils zielstarken Bäume unterschiedliche Stabilität erwarten. Aufgrund der deutlich besseren H/D Werte lassen sich in der Schiffelfläche waldbaulich interessante Optionen für langgestreckte Nutzungs- und Verjüngungsszenarien umsetzen. KRAMER & BJERG (1977) bestätigten, dass für weitständig erwachsene Fichten bei der Durchforstungsart und beim Zeitpunkt der Durchforstung eine größere Flexibilität gegeben ist, als bei Fichten aus Dichtschlussbeständen. Dieses spielt insbesondere bei Fragen zu Verjüngungsplanungen und -methoden im Zuge möglicher einzelstammgebundener Endnutzungsmethoden eine Rolle.

Die weitständige Erziehung bedeutet aber auch, dass sich die qualitätsbeeinflussenden Kriterien wie die Jahrringbreite, die Abholzigkeit oder Aststärken nachteilig verändern. Durch die Läuterung im Alter 19 bei einer mittleren Bestandeshöhe von 5-9 m liegen die gemessenen Aststärken bis in Höhe der Lichtkrone mit Mittel um 5 mm höher als in der Vergleichsfläche. SPELLMANN und BRUNS (1989) kommen bei ihren Untersuchungen in einem Fichtenstandraumversuch zu vergleichbaren Ergebnissen. BLOME (2011) konnte nachweisen, dass der Aststärkenzuwachs auf der Schiffelfläche bis zum Beginn der Dichtschlussphase im Alter 60 nicht proportional mit der Wuchsraumvergrößerung ansteigt, sondern durch die zügige Kronenexpansion vergleichsweise schnell im Dickenwachstum stagniert. Die zeitliche Länge der Dichtschlussphase bis 2010 hat auch in der Schiffelfläche dazu beigetragen, dass die Kronenansätze in letzten Jahrzehnten deutlich angestiegen sind und die Äste in ihrer Durchmesserentwicklung gebremst wurden. Die Aststärkenmessungen 2010 ergaben, dass die Grenzdurchmesser für die B-Qualität nach EN1927-1 für gesunde Äste von 4 cm Stärke erst in Höhe des ersten Grünastes (22 - 24 m) überschritten werden. In einer Höhe, in der die Masse der anfallenden Sortimente in der Vermarktung nur noch eine untergeordnete Rolle spielt.

Neben der Ästigkeit ist die Abholzigkeit ein wertbestimmender Faktor. Die Durchmesserabnahme der jahrringweise vermessenen Bäume bis Alter 45 zeigt, dass der Grenzwert für Vollholzigkeit nach KRAMER in der Schiffelfläche im Mittel in 10 m Höhe und im A-Grad in 11 m Höhe überschritten wird. Der stärkeklassenabhängige Grenzdurchmesser von 1,5 cm/m für die Güteklasse B nach EN 1927-1 wird in diesem Alter in annähernd gleichen Höhen von 15 m in der Schiffelfläche bzw. 16 m im A-Grad erreicht.

Im Alter 105 wird die Abholzigeitsgrenze nach KRAMER im Mittel der Probebäume erst in einer Baumhöhe von 18 m in der Schiffelfläche und 23 m im A-Grad überschritten. Die Überschreitung der 1,5 cm Grenze nach EN 1927-1 erfolgt im A-Grad in Höhe der Lichtkrone, in der Schiffelfläche bereits in der Höhe des Kronenansatzes.

Die Sektionsmessungen von BLOME (2011) haben ergeben, dass die Schafftholzformzahlen zwischen der Schiffelfläche und dem A-Grad keine signifikanten Unterschiede aufweisen. Die Formzahl der jahrringweise vermessenen Bäume liegt im Bereich der Formzahl nach BERGEL (1973).

Zusammenfassung

Der Fichtendurchforstungsversuch „Paderborn 90“ der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt wurde 1924 durch SCHWAPPACH angelegt und vergleicht eine von SCHIFFEL 1905 geprägte „Frühlichtungsartige“ Durchforstungsvariante mit zwei klassischen Niederdurchforstungsansätzen (A- und B-Grad). Seit der Anlage wurden alle Parzellen in regelmäßigen Abständen bis zur teilweisen Zerstörung des A- und B-Grades durch den Orkan „Lothar“ in Winter 1999/2000 ertragskundlich aufgenommen. Bei einer Schlusssaufnahme im Jahr 2010 wurden an ausgewählten Probebäumen Aststärken und Sektionsmessungen gemacht und Stammscheiben zur Jahrringanalyse genommen.

Im Ergebnis zeigt die Schiffeldurchforstung gegenüber den Vergleichsvarianten trotz geringerer Stammzahl und Grundflächenhaltung eine beeindruckende Volumenleistung. Bei den Schafftholmunteruntersuchungen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Probebäumen der Schiffelfläche und schwachen Niederdurchforstung nachgewiesen werden. Die stärkere Ästigkeit, größere Jahrringbreiten oder stärkere Abholzigkeit führen meist nicht zu einer Herabstufung aus der Sägeholzgüteklasse B.

Mit der Schiffeldurchforstung steigt die Einzelbaumstabilität und das Ausfallrisiko durch Witterungseinflüsse sinkt gegenüber den Vergleichsvarianten.

Literaturverzeichnis

- ASSMANN, E. (1961). Waldertragskunde - Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München: BLV Verlagsgesellschaft München Bonn Wien, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH.
- BERGEL, D. (1973). Formzahluntersuchungen an Buche, Fichte, europäischer Lärche und japanischer Lärche zur Aufstellung neuer Massentafeln. Allg. Forst- und Jagdzeitung, 144 (5/6) S. 117-124.
- BLOME, R. (2011). Ertragskundliche Auswertung des Fichtendurchforstungsversuchs Hochstift 990 B unter Berücksichtigung qualitätsbeeinflussender Wuchsmerkmale. Masterarbeit an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen
- BOHDANNECKY, J. (1926). Zur Frage der Erziehung junger Fichtenbestände. Forstwissenschaftliches Zentralblatt, S. 777 ff.
- BRUNS, H., & SPELLMANN, H. (1989). Fichtenfreistellungsversuch Bramwald 127. Forst und Holz, S. 150-154.
- EN 1927-1 DIN EN 1927-1:2008-06 (D) Qualitäts-Sortierung von Nadel-Rundholz - Teil 1: Fichten und Tannen; Deutsche Fassung EN 1927-1:2008 S.4-9
- GEHRHARDT, E. (1924). Über die Stammzahlhaltung in jungen Fichtenbeständen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, S. 343-352.
- GEHRHARDT, E. (1925). Fichten Schnellwuchsbetrieb. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, S. 276-283.
- KRAMER, H. AKÇA. (1982). Leitfaden zur Waldmesslehre. Frankfurt am Main: J.D. Sauerländer's Verlag.
- KRAMER, H., & BJERG, N. (1977). Zur Durchforstung in weiständig begründeten Fichtenbeständen. Der Forst- und Holzwirt, S. 21-25.
- NAGEL, J. (1999). Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumkundlichen Simulatorsystems für Nordwestdeutschland. Schriften aus der Forstl. Fak. der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanst., Bd. 128.
- NAGEL, J. (2010). ForestTools3, Selbstverlag J. Nagel, Hohe Linde 2 37075 Goettingen
- REBEL, (1905). Die Worliker Bestandeserziehung. Forstwissenschaftliches Centralblatt, S. 239-251.
- SCHIFFEL, A. (1906). Über Bestandeserziehung. Zentralblatt für das gesamte Forstwesen, S. 333-335 und S. 405-425.
- SCHIFFEL, A. (1910). Beitrag zur Begründung der Lehre über die Erziehung der Fichte. Wien: Wilhelm Frick.

- SCHÖBER, R. (1979). Massen-, Sorten-, und Wertertrag der Fichte bei verschiedener Durchforstung. Teil I. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, S. 129-152.
- SCHÖBER, R. (1980). Massen-, Sorten-, und Wertertrag der Fichte bei verschiedener Durchforstung. Teil II. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, S. 1-21.
- SCHWAPPACH, A. (1905). Wie sind junge Fichtenbestände zu Durchforsten. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, S. 11-30.
- SPELLMANN, H., & SCHMIDT, M. (2003). Massen-, Sorten-, und Wertertrag der Fichte in Abhängigkeit von der Bestandesbehandlung. Forst und Holz, S. 412-419.
- WIEDEMANN, E. (1929). Starke Durchforstung und Schnellwuchsbetrieb. Zeitung für Forst- und Jagdwesen, S. 701.
- WIEDEMANN, E. (1936). Die Fichte. Mitteilungen Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, S. 1-62.
- WIEDEMANN, E. (1937). Die Fichte 1936. Teil 2: Die Durchforstung und Lichtung, die neuen Ertragstafeln für verschiedene Durchforstung, die standörtlichen Untersuchungen, Zusammenfassung. Mitteilungen Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, S. 103-248.
- WIEDEMANN, E. (1936/42). Ertragstafeln für Fichte. Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung, neu bearbeitet von R. SCHÖBER, J. D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt, 3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage 1987