

## **Schlussbericht des BMBF-Projektes „Buche-Küstentanne“**

### **Teilprojekt 2: Verwendungs- und holzproduktorientierte Untersuchungen der zukunftsfähigen Baumart *Abies grandis* aus nachhaltig unterschiedlich bewirtschafteten Buchen-Mischbeständen**

#### **Autoren des Berichtes:**

Christian Hof und František Hapla

#### **Berichtszeitraum:**

01.10.2005 – 31.07.2009

#### **Am Teilprojekt beteiligte Personen:**

Prof. Dr. Dr. h.c. František Hapla (Projektleiter)

Christian Hof, MSc (Projektbearbeitung, Doktorand)

Bodo Caspar Kielmann, MSc (Projektbearbeitung)

Rainer Grathwohl (Masterarbeit)

Babara Ritzhaupt-Kleissl (Masterarbeit)

Ulrich Schleenstein (Masterarbeit)

#### **Vorhabensbezeichnung:**

Verwendungs- und holzproduktorientierte Untersuchungen der zukunftsfähigen Baumart *Abies grandis* aus nachhaltig unterschiedlich bewirtschafteten Buchen-Mischbeständen

#### **Anschrift:**

Burckhardt-Institut

Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte

Georg-August Universität Göttingen

Büsgenweg 4

37077 Göttingen

## 1) Aufgabenstellung

Dieses Projekt soll mit der Untersuchung von Holzeigenschaften der Großen Küstentanne (*Abies grandis*) dazu beitragen, die sachgerechte und ressourceneffiziente Verwendung dieser Holzart zu fördern.

In den 90er Jahren vorigen Jahrhunderts war die Situation der Forstwirtschaft durch niedrige Holzpreise und Absatzprobleme gekennzeichnet. Das war der Auslöser für tiefgreifende Umstrukturierungen in den deutschen Forstverwaltungen. Das LÖWE- Programm der niedersächsischen Landesforstverwaltung ist ein Beispiel hierfür. Ziel der Reformen war weiterhin die Gewährleistung von Nutz- Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes. Gleichzeitig sollte ein Umbau in Richtung stabilerer Ökosysteme gepaart mit einer geringeren Eingriffsintensität auch zu einer höheren Wirtschaftlichkeit führen. Die veränderte Waldbewirtschaftung ist gekennzeichnet durch einzelstammorientierte Pflege- und Hiebsorganisation, weitmögliche Nutzung von Naturverjüngung und eine Bevorzugung von Mischbeständen. Zusammen mit der noch stärker standortgerechten Baumartenwahl mit Berücksichtigung der sogenannten potentiellen natürlichen Vegetation, der nach den aktuellen Erkenntnissen im Falle einer vom Menschen unbeeinflussten Entwicklung zu erwartenden Zusammensetzung des Bewuchses, werden so langfristig stabile und strukturreiche Bestände geformt.

Die Buche spielt als Vertreter der potentiellen natürlichen Vegetation auf den meisten Flächen in Mitteleuropa somit in den aktuellen Waldbaukonzepten eine sehr große Rolle.

Die Buche ist gegenüber anderen Baumarten sehr konkurrenzstark. Eine Mischung mit gängigen Nadelhölzern ist daher problematisch und mit geringer Eingriffsintensität nicht zu erreichen. Das bedeutet, dass die großflächige Orientierung auf Buche zu einem Rückgang der Nadelholzfläche führt. Andererseits ist mit der Errichtung moderner Großsägewerke die Nachfrage nach Nadelholz nachhaltig gestiegen. Eine Möglichkeit, einer künftigen Verknappung von Nadelholz zu begegnen, besteht in einer Ergänzung des vorhandenen Baumartenspektrums.

Die Große Küstentanne ist wie die Buche sehr konkurrenzstark. Sie hat geringe Standortansprüche und allgemein sehr positive waldbauliche Eigenschaften. Zudem zeichnet sie sich durch eine sehr große Zuwachsleistung aus und wird in wesentlichen Punkten den Anforderungen moderner Waldbewirtschaftungskonzepte gerecht. Ein weiterer positiver Aspekt besteht darin, dass eine erhöhte Biomasseproduktion bei Weiterverarbeitung zu relativ langlebigen Produkten auch eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Bindung bedeutet.

Die Raschwüchsigkeit sowie die vergleichsweise niedrige Rohdichte lassen diese Holzart prädestiniert erscheinen für die Herstellung diverser Holzwerkstoffe. Hierfür können künftig auch plantagenartige Anbauformen wirtschaftlich und möglicherweise klimapolitisch sinnvoll werden.

Ziel dieses Teilprojektes ist jedoch die Untersuchung der Frage, inwieweit dieses Holz auch im Bereich klassischer Nadelschnittholz Anwendungen einsetzbar ist. Dabei sollte nach Möglichkeit der Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungskonzepte in die Untersuchungen einbezogen, in jedem Falle aber Bestände mit einem Buchen-Mischwald-Charakter berücksichtigt werden. Um die Variabilität der untersuchten Kenngrößen durch Standorteinflüsse zu berücksichtigen, wurden zusammen mit Voruntersuchungen insgesamt vier verschiedene Bestände in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen beprobt.

Im Vordergrund der Untersuchungen standen Holzeigenschaften, die für Vollholzanwendungen von besonderem Interesse sind. Die Arbeiten verfolgten drei wesentliche Ziele:

- 1) Die Bestimmung klassischer Holzeigenschaften und Kennwerte dient der Ergänzung von und dem Abgleich mit vorliegenden Untersuchungen um eine breitere, verlässliche Datenbasis für diese Holzart aus mitteleuropäischen Anbauten zu schaffen. Hierzu wurden Sorptionseigenschaften, Festigkeitswerte kleiner fehlerfreier Prüfkörper und weitere Kenngrößen ermittelt.
- 2) Anwendungsspezifische Untersuchungen sollten die Verwendungsmöglichkeiten dieses Holzes aufzeigen. Da der Anwendungsschwerpunkt von Nadelschnittholz im Baubereich liegt, waren hierfür Festigkeitsprüfungen in Gebrauchsabmessungen, Untersuchungen zur Anwendbarkeit visueller Sortierung, Untersuchungen zum Einsatz eines Systems zur zerstörungsfreien Festigkeitssortierung sowie des Trocknungsverhaltens vorgesehen.
- 3) Die Suche nach Einsatzgebieten, die die Nutzung aktuell anfallender Sortimente mit möglichst hoher Wertschöpfung ermöglichen, um so Bekanntheit und Image dieses Holzes zu fördern, rundet die Arbeiten im Teilprojekt 2 ab. Orientiert an spezifischen Eigenschaften dieses Holzes wurden als solche Einsatzbereiche die Thermomodifizierung, der Saunabau und die Bleistifttherstellung ins Auge gefasst. Hierfür erfolgten Arbeiten gemeinsam mit Partnern aus der Holzverarbeitenden Industrie, in deren Rahmen Küstentannenholz verarbeitet und die Produkte getestet und untersucht wurden.

## 2) Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt "Küstentanne" soll einen Beitrag zur Erschließung von Wertschöpfungspotentialen entlang der Forst-Holz-Kette entsprechend der BMBF-Ausschreibung leisten. Im Rahmen eines transdisziplinären Verbundprojektes wurden technologisch relevante Eigenschaften des Holzes der Küstentanne untersucht. Wissenschaftliche Erkenntnisse über diese bisher unzureichend erforschten Holzeigenschaften sind eine Voraussetzung für die Erschließung von Potenzialen zur ganzheitlichen Nutzung dieser Holzart. Die Ergebnisse aus dem Projekt dienen neben der Lösung konkreter praxisrelevanter Fragestellungen bezüglich Einsatzmöglichkeiten und Verarbeitungsbedingungen auch der Entwicklung nachhaltiger Konzepte zur optimalen, verwendungsorientierten Bereitstellung dieses Holzes aus naturnaher Bewirtschaftung.

Zusätzlich wurde die Eignung des Küstentannenholzes für die Herstellung höher veredelter Schnittholzprodukte und die Behandlung mit innovativen Holzmodifizierungstechnologien untersucht.

## 3) Wissenschaftlicher und technischer Stand

Im Vergleich zu anderen Baumarten, die in Deutschland angebaut werden, gibt es bezüglich der Holzeigenschaften der Küstentanne nur wenige Publikationen (Hapla und Wellhausen, 2003). Amerikanische Arbeiten älteren Datums beziehen sich dabei oft auf Holz aus Beständen, die ohne nennenswerten Einfluss des Menschen gewachsen sind und sehr alte Baumindividuen enthielten (Johnson und Brundage, 1934; Markwardt und Wilson, 1935). Daten, die auf dieser Basis gewonnen wurden, sind nicht ohne weiteres auf europäische Verhältnisse übertragbar. Deutsche Arbeiten befassten sich bisher fast ausschließlich mit wenigen mechanischen Eigenschaften des Holzes von *Abies grandis* und basierten oft auf einer geringen Anzahl untersuchter Stämme (Knigge, 1960; Schwab und Stratmann, 1983). In einer umfangreichen Veröffentlichung von Riebel (1994) werden mechanische Eigenschaften des Holzes von Küstentannen aus kollinen und submontanen Bereichen in Süddeutschland beschrieben. Der Autor untersuchte dabei auch die Biegefestigkeit und den E-Modul in Gebrauchsabmessungen. Arbeiten über technologische und verarbeitungsrelevante Eigenschaften europäischer Anbauten sind nicht vorhanden.

Die Küstentanne galt in Nordamerika auf Grund der niedrigen Holzdicke lange Zeit als minderwertig. Den dortigen Holzeinschlagsmethoden entsprechend, wird sie auch heute noch vorwiegend in diversen Mischsortimenten vermarktet. Daher liegen auch aus dem nord-

amerikanischen Raum relativ wenige Untersuchungen vor, die sich speziell dem Holz der Küstentanne widmen.

### **Literatur**

Hapla, F. und Wellhausen, K. (2003): Verwendungsrelevante Holzeigenschaften und Verwendungsbereiche der Großen Küstentanne - *Abies grandis* (Douglas) Lindley- mit Aufkommensanalyse im Staatswald Niedersachsens. Literaturstudie, Eigenverlag.

Johnson, R. P. A. und Brundage, M. R. (1934): Properties of white fir and their relation to the manufacture and uses of the wood. US Department of Agriculture, Washington, Tech. Bull. 408: 75 S.

Knigge, W. (1960): Die Holzeigenschaften der Küstentanne (*Abies grandis*). AFZ 15 (7), S. 94-100

Markwardt, L.J. und Wilson, T.R.C. (1935): Strength and related properties of woods grown in the United States. US Department of Agriculture, Washington, Tech. Bull. 479

Riebel, H. (1994): Über einige Eigenschaften der Großen Küstentanne (*Abies grandis* (Dougl.) Lindley) aus südwestdeutschen Anbauten. Mitteilungen der Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg/i. Brsg., Heft 177, 277 S.

Schwab, E. und Stratmann, J. (1983) Holzeigenschaften norddeutscher Küstentannen. Der Forst- und Holzwirt 38 (10): S. 252-256

## **4) Ergebnisse**

### ***Mechanische Eigenschaften aus Prüfungen an Kleinproben***

#### ***Probenmaterial***

Für die hier vorgestellten Untersuchungen stand Probenmaterial in Form von 12, 10 und 10 Bäumen von drei verschiedenen Standorten zur Verfügung. Die Prüfkörper wurden in vier Höhenstufen und drei Querschnittszonen ausgewiesen. Die Höhenstufen umfassen die

Bereiche 0 m-2,5 m, 5,0 m-7,5 m, 10,0 m- 12,5 m und 15,0 m- 17,5 m der Stammlängen. Als Querschnittszonen wurden Splintholz (Splint), Reifholz („Kern“) und juveniles Holz („Mark“) unterschieden.

### ***Stadtwald Meschede***

Im Stadtwald von Meschede wurden jeweils 4 Stämme aus drei Abteilungen entnommen. Je 2 davon gehörten als Bäume der Kraft'schen Klasse 1 (KK1) zu den im Kronenbereich herrschenden Individuen, die anderen beiden waren der Klasse 3 zugeordnet. Das Alter betrug 50 bzw. 64 Jahre. Die insgesamt sechs Bäume der KK1 wiesen einen extrem weiten Jahrringbau auf, die der KK3 waren vergleichsweise feinringig. Alle Stämme waren geastet.

### ***Stadtwald Höxter***

Das zweite aus dem Stadtwald von Höxter stammende Probenkollektiv kam aus einem sehr gleichmäßig strukturierten, hochdurchforsteten Reinbestand. Entsprechend waren 9 der Stämme der KK2 zugehörig, einer zählte in die Kraft'sche Klasse 1. Die Bäume waren ebenfalls geastet. Dieses Material war durchweg extrem grobringig. Die Stämme im Alter von 43 Jahren wiesen großteils Brusthöhendurchmesser über 50 cm auf.

### ***Stadtwald Schmalleberg***

Die 10 Bäume dieses Kollektivs (64 Jahre) stammen aus einem Mischbestand mit Lärchen (64 Jahre) und Douglasien (69 Jahre). Auch sie waren geastet. Das Material war im Mittel wesentlich feinringiger als die anderen beiden Kollektive.

### ***Methoden***

Die Biegefestigkeit wurde in einem Dreipunkt-Biegeversuch an kleinen, fehlerfreien Prüfkörpern nach DIN 52186 bestimmt. Aufgrund der relativ breiten Jahrringe der Küstentanne wurden die Abmessungen der Prüfkörper in radialer und tangentialer Richtung jeweils mit 25 mm und longitudinal mit 450 mm gewählt. Anhand der Probenabmessungen und der Probenmasse im klimatisierten Zustand wurde auch die Rohdichte der Prüfkörper bei 12 % Holzfeuchte erfasst.

### **Rohdichte**

Die drei Standortkollektive unterscheiden sich signifikant auf dem 5%-Niveau. Die höchste mittlere Rohdichte besitzt das Kollektiv aus Schmallenberg gefolgt von dem aus Meschede und zuletzt Höxter.

	N	Mittel	Std. Abw.	Std.- Fehler	95% Konfidenzintervall		Minimum	Maximum
Schmallenberg	272	0,438	0,050	0,003	0,432	0,444	0,326	0,609
Meschede	389	0,390	0,053	0,003	0,385	0,395	0,241	0,543
Höxter	301	0,364	0,035	0,002	0,360	0,368	0,293	0,467
Total	962	0,396	0,055	0,002	0,392	0,399	0,241	0,609

Tabelle 1: Rohdichte in  $\text{g/cm}^3$  der drei Standortkollektive

Die Betrachtung aller Proben nach der Zugehörigkeit zu den Querschnittsbereichen ergibt eine Zunahme der Rohdichte vom juvenilen Holz über das Reifholz nach außen zum Splint. Die Mittelwerte der Rohdichte für die drei Zonen sind signifikant verschieden.

	N	Mittel	Std. Abw.	Std. - Fehler	95% Konfidenzintervall		Minimum	Maximum
Splint	378	0,422	0,055	0,003	0,417	0,428	0,241	0,609
Kern	356	0,389	0,049	0,003	0,384	0,394	0,300	0,559
Mark	228	0,362	0,039	0,003	0,357	0,367	0,293	0,534
Total	962	0,396	0,055	0,002	0,392	0,399	0,241	0,609

Tabelle 2 : Rohdichte in  $\text{g/cm}^3$  der drei Stammquerschnittszonen

Die zusammenfassende Betrachtung der Rohdichte der Proben nach Höhenstufen ergibt kein so eindeutiges Bild. Deutlich und statistisch abgesichert ist nur der Unterschied zwischen den Rohdichten der ersten Höhenstufe und der Gesamtheit der weiteren Prüfkörper.

Zur Übersicht werden in Tabelle 3 die Mittelwerte der einzelnen Wiederholungen je eines Standortes, einer Höhenstufe und einer Querschnittszone wiedergegeben.

Tendenziell ist jeweils von außen nach innen und von unten nach oben eine Abnahme der Rohdichte zu beobachten. Da die Anzahl der Proben für einen Standort, eine Höhenstufe und einen Querschnittsbereich gerade in den oberen Höhen aufgrund der dort schon beträchtlichen Astigkeit des Stammholzes oftmals noch erheblich unter 20 Wiederholungen lag, sind Unterschiede hier nicht immer statistisch abgesichert, bzw. laufen dem Trend auch entgegen. Gerade die Werte der vierten Höhenstufe haben dabei wenig Aussagekraft, da sie häufig auf nur wenigen Messwerten beruhen.

	Meschede			Höxter			Schmallenberg		
	Mark	Kern	Splint	Mark	Kern	Splint	Mark	Kern	Splint
1	0,341	0,418	0,468	0,357	0,366	0,392	0,433	0,455	0,506
2	0,346	0,366	0,418	0,339	0,351	0,369	0,395	0,443	0,456
3	0,359	0,374	0,403	0,342	0,355	0,384	0,394	0,410	0,447
4	0,360	0,389	0,409	0,346	0,368	0,373	0,386	0,420	0,441
Total	0,352	0,381	0,422	0,345	0,358	0,383	0,400	0,432	0,464

Tabelle 3: Rohdichte in  $\text{g/cm}^3$  in den einzelnen Höhen und Querschnittszonen der drei Standortskollektive

### ***Biegefestigkeit***

Die mittlere Biegefestigkeit aller getesteten Probehölzer liegt bei  $67 \text{ N/mm}^2$ . Der kleinste Wert wurde mit  $17 \text{ N/mm}^2$ , der höchste Wert mit  $125 \text{ N/mm}^2$  gemessen. Die höchste Biegefestigkeit erreicht das Kollektiv aus Schmallenberg. Der Unterschied zwischen dem Standort Schmallenberg und der Gesamtheit der anderen beiden Standorte ist signifikant. Höxter und Meschede bilden in Bezug auf die Biegefestigkeit hingegen eine homogene Untergruppe.

	N	Mittel	Std. Abw.	Std. Fehler	95% Konfidenzintervall		Minimum	Maximum
Schmallenberg	272	78,65	13,789	0,836	77,00	80,30	33	125
Meschede	389	62,13	13,171	0,668	60,81	63,44	17	101
Höxter	301	61,24	11,104	0,640	59,98	62,50	31	88
Total	962	66,52	14,844	0,479	65,58	67,46	17	125

Tabelle 4: Biegefestigkeit in  $\text{N/mm}^2$  der drei Standortskollektive

Die Biegefestigkeit nimmt vom Mark her nach außen hin zu. Das Ergebnis der Varianzanalyse ist hoch signifikant und der multiple Rangtest nach DUNCAN bestätigt für die Querschnittszonen drei Untergruppen.

	N	Mittel	Std. Abw.	Std. Fehler	95% Konfidenzintervall		Minimum	Maximum
Splint	378	72,93	14,389	0,740	71,47	74,38	31	125
Kern	356	65,46	13,378	0,709	64,07	66,86	17	107
Mark	228	57,56	12,577	0,833	55,92	59,20	27	91
Total	962	66,52	14,844	0,479	65,58	67,46	17	125

Tabelle 5: Biegefestigkeit in  $\text{N/mm}^2$  der drei Stammquerschnittszonen

Auch der Zusammenhang zwischen Höhenstufe und Biegefestigkeit gestaltet sich weitgehend analog zu den Ergebnissen der Rohdichtetermittlung. Die besten Festigkeitswerte werden im Splint der unteren Stammabschnitte erreicht. Auch in den Kernbereichen nehmen die Festigkeitswerte nach oben hin ab. Höhenbezogene Unterschiede im Markbereich innerhalb der Kollektive sind kaum ausgeprägt und auch nicht abzusichern. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die gefundenen Mittelwerte der Wiederholungen.

	Meschede			Höxter			Schmallenberg		
	Mark	Kern	Splint	Mark	Kern	Splint	Mark	Kern	Splint
1	49,64	73,45	81,13	55,35	61,31	70,09	69,64	78,64	94,59
2	50,61	57,22	68,55	56,00	59,68	60,00	75,56	79,90	83,42
3	51,50	59,98	64,57	57,26	59,67	62,83	68,09	73,92	81,04
4	54,45	60,74	67,13	54,40	61,63	61,20	68,00	73,96	80,87
Total	51,47	61,07	69,60	56,17	60,38	65,50	69,54	76,69	85,25

Tabelle 6: Biegefestigkeit in N/mm<sup>2</sup> in den einzelnen Höhen und Querschnittszonen der drei Standorte

### ***Schnittholzsortierung und mechanische Eigenschaften in Gebrauchsabmessungen***

In Deutschland muss für Bauholz, das tragende oder aussteifende Funktionen erfüllt, ein Nachweis der Tragfähigkeit vorliegen, d.h. entsprechendes Holz muss nach Festigkeit sortiert sein. Dazu stehen das visuelle und verschiedene maschinelle Sortierverfahren zur Auswahl. DIN 4074 1 – 4 regeln die Details.

Die visuelle Sortierung stützt sich dabei auf normierte Merkmale des Schnittholzes, die möglichst einfach und objektiv erfassbar sind. So wird die Astigkeit durch den jeweils größten auftretenden Quotienten verschiedener Astdurchmesser und Bezugsseitenlängen der jeweiligen Schnittholzprodukte berücksichtigt. Andere festigkeitsrelevante Merkmale wie beispielsweise die Markröhre werden nur als vorhanden oder nicht vorhanden klassifiziert. Insgesamt werden 11 Merkmale herangezogen, von denen aber nur wenige die allermeisten Sortierentscheidungen bestimmen.

Neben der maschinellen Sortierung im Durchlaufverfahren, die in größeren Firmen der Holzindustrie im Einsatz ist, etabliert sich aktuell ein apparativ unterstütztes, manuell durchführbares Verfahren auf der Basis der Erfassung des dynamisch gemessenen E-Moduls des Schnittholzes. Das zugehörige Instrument ist der von der niederländische Firma Brookhuis Micro-Electronics hergestellte „Timber grader“. Diese Sortierung wird hier stellvertretend für maschinelle Sortierverfahren eingesetzt. Unabhängig vom Verfahren weisen alle Sortierungen dem Schnittholz eine Festigkeitsklasse zu, deren unteren Grenzwert

das Holz nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit unterschreiten soll. Die Ermittlung der tatsächlichen Biegefestigkeit ist naturgemäß zerstörenden Prüfungen vorbehalten.

### **Material**

Die hier vorgestellten Ergebnisse zu Schnittholzsortierung und mechanischen Eigenschaften des Holzes der Küstentanne in Gebrauchsabmessungen beruhen ausschließlich auf Daten des Materials vom Standort Höxter (vgl. Abschnitt *Mechanische Eigenschaften aus Prüfungen an Kleinproben*). Ähnliche Untersuchungen an Holz der weiteren Standorte sind Ende Februar 2009 abgeschlossen und werden zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

Bemerkenswert sind die erreichten Durchmesser- und Höhenwerte des Stammholzes aus dem 43-jährigen Bestand. Der stärkste Stamm hatte einen BHD von 57 cm, der größte erreichte eine Höhe von 34 m. Auch die anderen Stämme waren mehr als 30 m hoch. Der massenreichste Stamm brachte 3,2 Vfm, während die durchschnittliche Masse bei 2,2 Vfm lag. Die 10 Stämme waren in 2,5 m-lange Abschnitte unterteilt. Das Erdstammstück trug jeweils die Nummer eins. Die Nummerierung erfolgte nach oben fortlaufend. Von allen Stämmen waren zumindest 8 verwertbare Abschnitte vorhanden.



Bild 1: Küstentannen-Stammabschnitte mit unterschiedlicher Farbausprägung der Kernholzbereiche

### **Methoden**

Zur Beurteilung der Schnittholzqualität wurden ca. 90 2,5 m lange Stammabschnitte zu Kanteln mit einem Querschnitt von 80 mm \* 25 mm aufgeschnitten. Diese wurden entsprechend den Kriterien nach DIN 4074 -1 visuell sortiert. Eine Auswahl von 200 Kanteln

daraus wurde weiterhin einer Sortierung mit dem Timber Grader und anschließend der zerstörenden Vierpunkt-Biegeprüfung nach EN 408 unterzogen.

### ***Schnittholzqualität und –ausbeute (Standort Höxter)***

Nur zwei von 1345 untersuchten Kanthölzern, das entspricht 0,2 %, erfüllten die Anforderungen der Klasse S13, weitere 1,6 % können der Klasse S10 zugeordnet werden, und 3,9 % fallen in die Sortierklasse S7. Der Anteil des mittels visueller Sortierung nach aktuell gültiger Normung nicht klassifizierbaren Materials beträgt für das vorliegende Untersuchungsmaterial somit 94,3 %.

Die hier gefundene Ausbeute spiegelt so nicht die unmittelbaren Möglichkeiten der Schnittholzverwendung wider. Insbesondere der bewusst sehr klein gewählte Querschnitt der Proben bedingt einen extremen Einfluss der Astigkeit. Bei identischer Versuchsmethodik würde beispielsweise auch die Fichte ähnlich extreme Klassifizierungen im Kriterium Astigkeit erhalten, da die maximalen Astdurchmesser für den Einzelast bei den hier verwendeten Dimensionen bereits bei 16 mm auf der Schmalseite bzw. 32 mm auf der breiten Seite liegen. Die geringen Querschnitte sind einer möglichst fein unterteilten Erfassung der Eigenschaften und der nachfolgenden Verwendung des sortierten Holzes in weiteren Untersuchungen geschuldet.

Der immense Einfluss der Jahrringbreite ist typisch für solch zuwachsstarkes Holz. Während die Normung im Falle der Douglasie eine Anpassung der zulässigen Jahrringbreiten vornahm, gilt für die Küstetanne das reguläre Kriterium. Das mittlere Festigkeitsniveau dieses Holzes liegt natürlich unter der Douglasie und auch der Fichte. Die Rohdichte- und Biegefestigkeitswerte aus den Prüfungen von Kleinproben belegen das deutlich. Andererseits erreichen Splintholzbereiche und auch Holz aus etwas langsamer gewachsenen Beständen durchaus der Fichte vergleichbare Festigkeiten.

Die zugehörigen Jahrringbreiten überschreiten dabei auch noch oft die in DIN 4074-1 zugrunde gelegten Grenzen. Damit stellt sich die Frage, ob eine angepasste, auf das etwas geringere Festigkeitsniveau ausgelegte und den weiten Jahrringbau berücksichtigende visuelle Sortiervorschrift künftig die Nutzungsmöglichkeiten dieses Holzes ausbauen kann.

Abbildung 1 gibt die Verteilung der dynamischen E-Modul-Messwerte in den Festigkeitsklassen der EN 338 wieder. Die Sortierung mit dem Timber grader ergibt selbst für das sehr weitringig gewachsene Holz dieser Untersuchung noch eine Ausbeute von 72 % in den Sortierklassen S7 – S13.

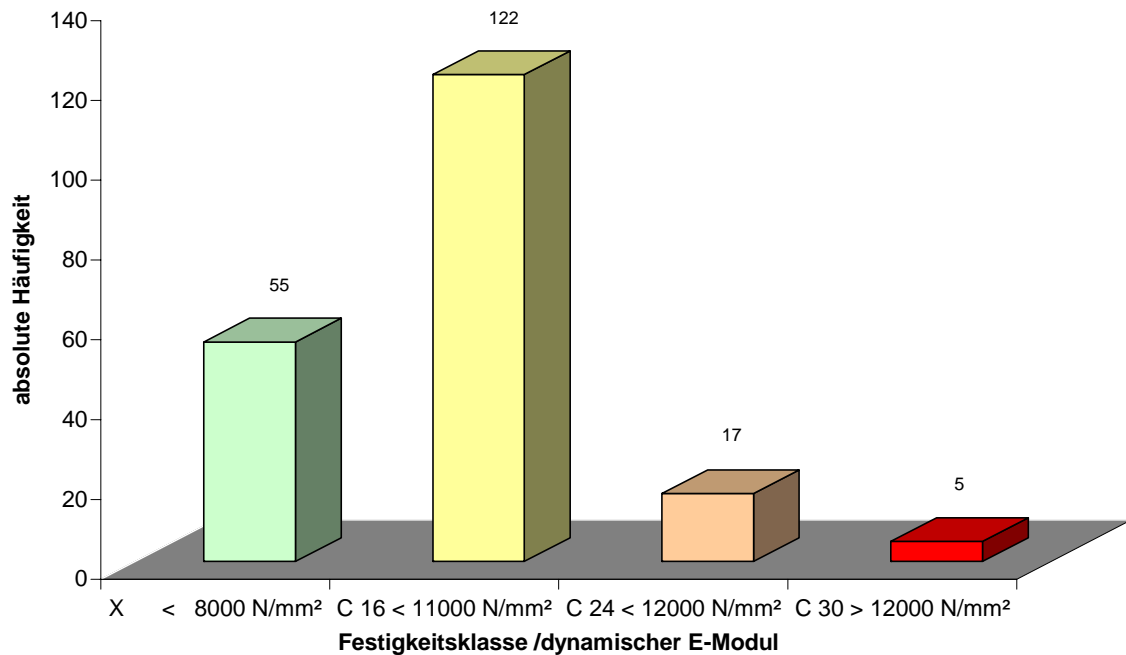


Abb. 1: Absolute Häufigkeiten der Kanthölzer (n = 199) an den Festigkeitsklassen nach EN 338 (2003) gemessen mit dem Timber grader.

Nach dieser Norm wurden 60 % der Proben in die Festigkeitsklasse C 16 (S7) sortiert. Die Klasse C 24 (S10) erreichten 9 %. Auf die beste Klasse C 30 (S13) entfielen 3 %. Aus der Sortierung fielen 28 %, weil sie die Mindestfestigkeit von 8000 N/mm<sup>2</sup> nicht erfüllten. Die Ergebnisse des zerstörenden Vierpunkt-Biegeversuchs nach EN 408 bestätigen, dass die visuelle Sortierung nach DIN 4074 die Festigkeitseigenschaften dieses Holzes unterschätzt. Zur Übersicht gibt Abbildung 2 die Häufigkeitsverteilung der Biegefestigkeit der 199 untersuchten Kanteln wieder.

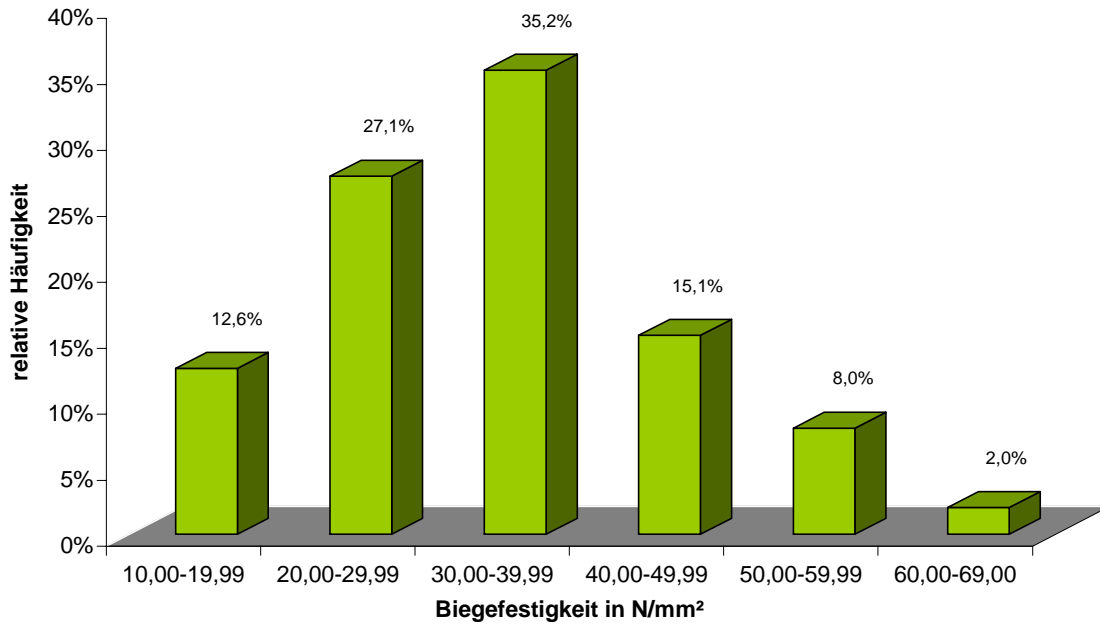


Abb. 2: Verteilung der im Vierpunkt-Biegeversuch ermittelten Biegefestigkeit von 199 Prüfkörpern

### *Einfluss ausgesuchter Kriterien der visuellen Sortierung*

Auch für das Holz der Küstentanne sind regelmäßig nur sehr wenige der Kriterien der visuellen Sortierung sortierentscheidend. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Häufigkeit von Merkmalen. Die Summe zeigt, dass meist mehrere Kriterien gleichzeitig eine Herabstufung verursachen.

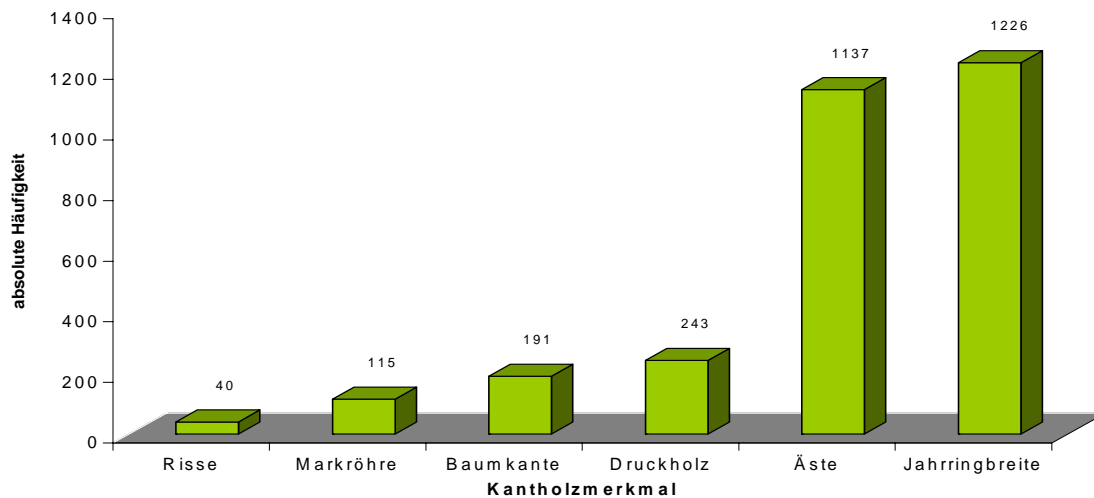


Abb. 3: Absolute Häufigkeiten der Kantholzmerkmale sortiert nach DIN 4074 (n = 1345)

Die Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Jahrringbreitenverteilung der Küstentannen-Kanthölzer.

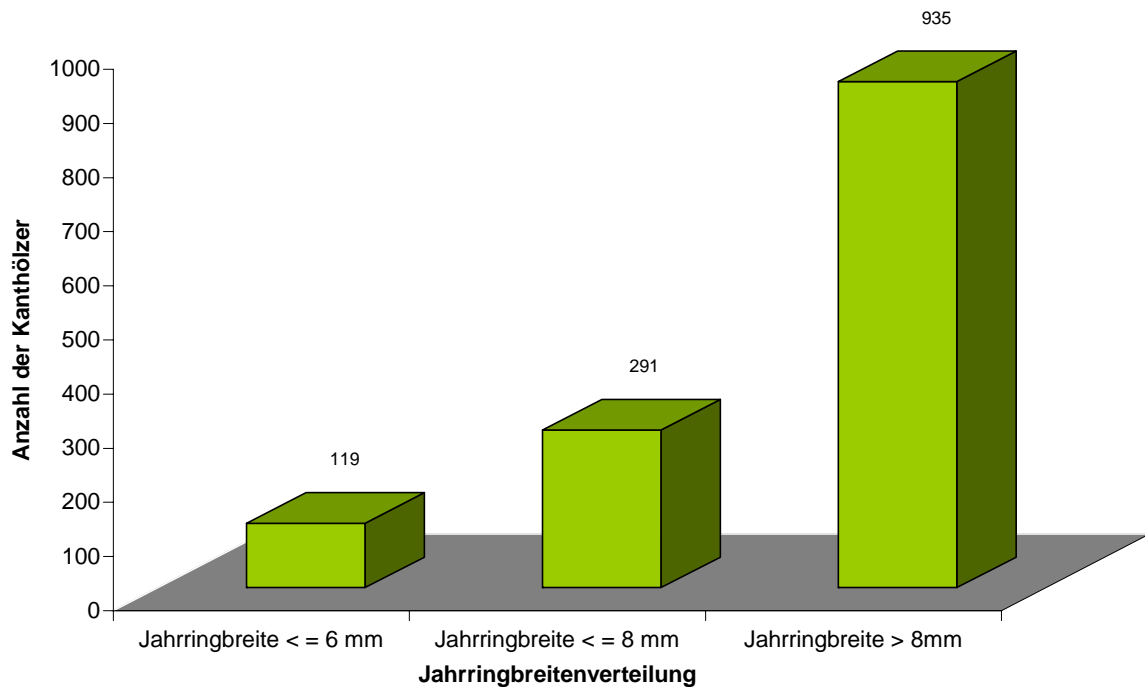


Abb. 4: Absolute Häufigkeiten der unterschiedlichen Jahrringbreiten am Gesamtprobenumfang (n = 1345)

### ***Jahrringbreite***

Danach haben nur ca. 9 % der Kanthölzer Jahrringbreiten  $\leq 6$  mm, was die Voraussetzungen für die Zuordnung in die Sortierklassen S10 und S7 erfüllt. Weitere 22 % besitzen Jahrringe, deren Breite  $\leq 8$  mm ist, und der Rest, nämlich 69 %, verfügen über Jahrringe, deren Breite über 8 mm liegt und damit die Sortierung in eine der nach DIN 4074 definierten Klassen ausschließt.

### ***Astigkei***

Der zweithäufigste Grund für die Zuordnung in die entsprechende Sortierklasse ist die Astigkeit. Die folgende Abbildung soll den Einfluss der Astigkeit der verschiedenen Abschnitte (d.h. Höhenstufen) auf die Sortierung veranschaulichen und zeigt, wie sich das Sortierergebnis bei ausschließlicher Berücksichtigung des Astkriteriums auf die Abschnitte verteilt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Bäume bis auf 6 m geastet waren und die grüne Krone bei Fällung ab dem 7. bis 8. Abschnitt begann.

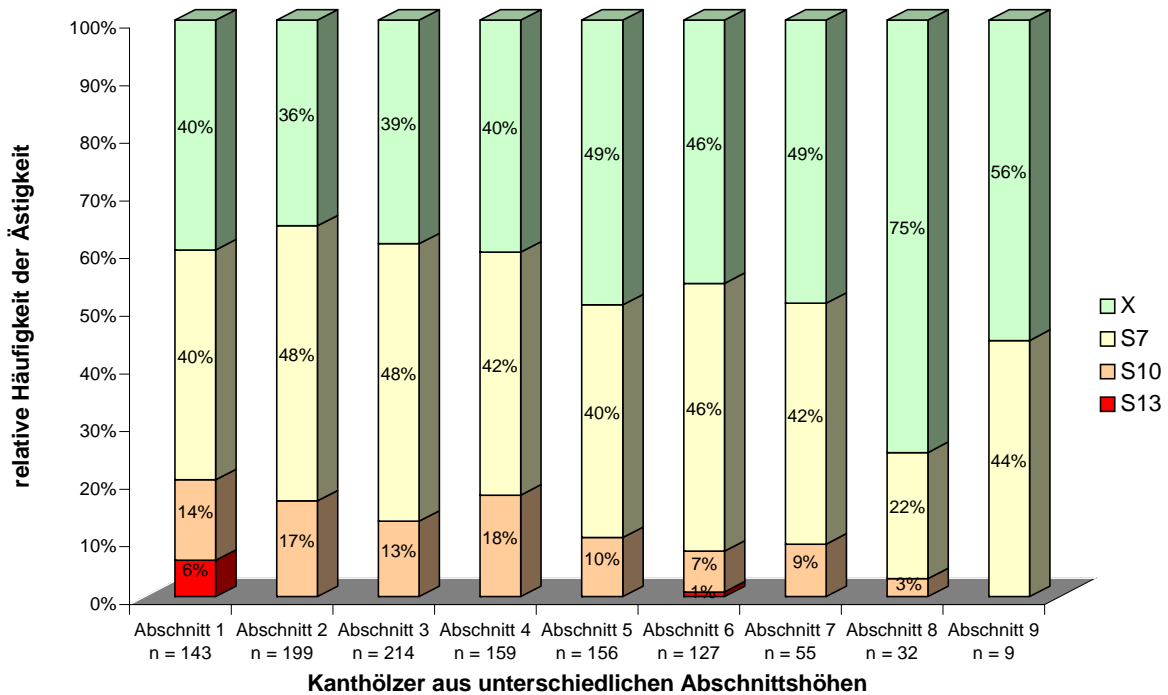


Abb. 5: Relative Häufigkeit der Astigkeit in den unterschiedlichen Stammhöhen (n = 1345)

Der Vergleich der unteren Abschnitte lässt schließen, dass die wohl recht spät erfolgte Astung keinen sehr erheblichen Einfluss auf die Schnittholzqualität entfalten konnte. Andererseits erfüllen selbst im 9. Abschnitt noch 44 % der Kanteln das Astigkeitskriterium für S7.

### **Markröhre**

Das Kriterium Markröhre der visuellen Sortierung nach DIN 4074 bestimmt, dass Proben, welche Teile der Markröhre aufweisen, höchstens in S10 zu sortieren sind. Für S13 ist das Vorhandensein von Teilen der Markröhre unzulässig. Die Markröhre wird als Hinweis auf verminderte Tragfähigkeit gewertet, da durch sie eindeutig auf Juvenilholz geschlossen werden kann. Weiterhin haben vorhandene Äste im Bereich der Markröhre querschnittsbezogen einen großen Einfluss. Anhand der Biegefestigkeitsergebnisse der 199 im Vierpunkt-Biegeversuch geprüften Kanthölzer wurde die Auswirkung dieses Merkmals betrachtet (Abb. 6). Die mittlere Biegefestigkeit der Kanthölzer mit Markröhre liegt bei ca. 20 N/mm<sup>2</sup>, die der Proben ohne Markröhre bei 33 N/mm<sup>2</sup>.

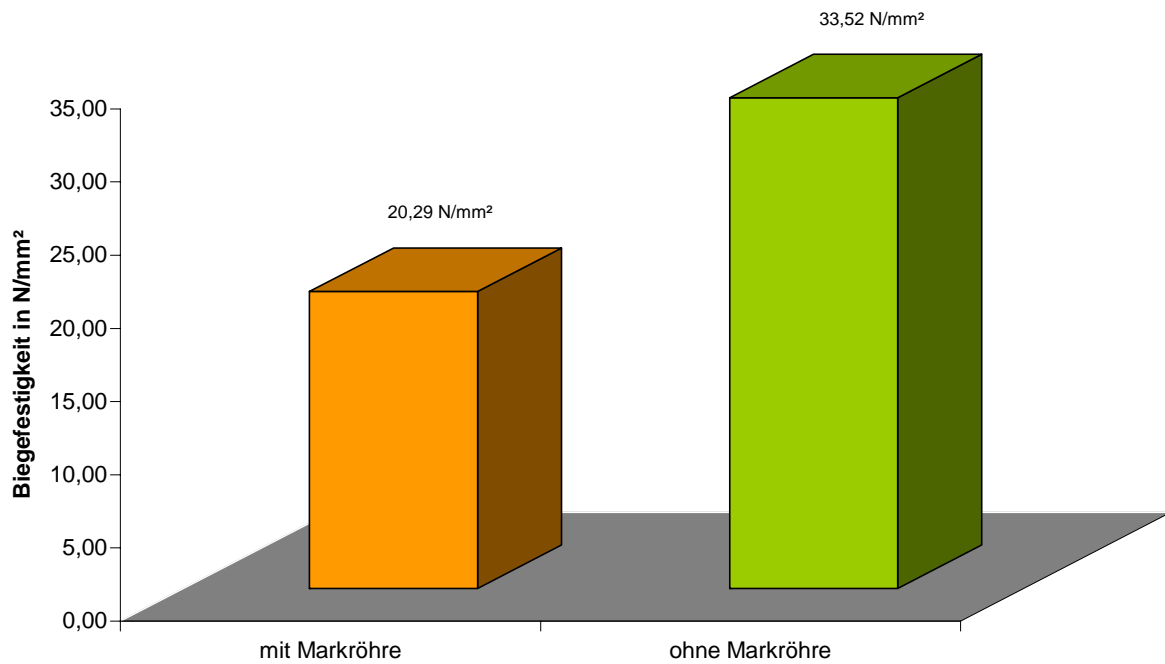


Abb. 6: Biegefestigkeit mit und ohne Berücksichtigung der Markröhre (n = 199)

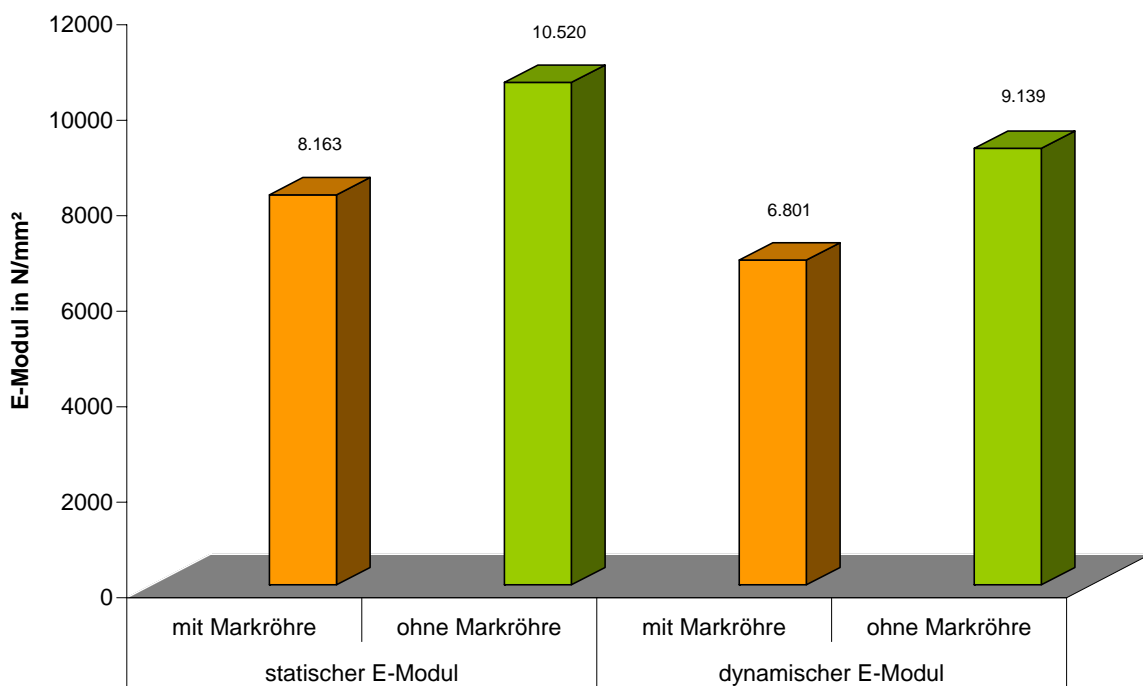


Abb. 7: Statischer und dynamischer E-Modul mit und ohne Berücksichtigung der Markröhre (n = 199)

Ganz ähnlich verhalten sich sowohl der statisch im Biegeversuch wie auch der dynamisch ermittelte E-Modul (Abb. 7). Die mittleren Werte der Proben mit Markröhre liegen deutlich über denen ohne Markröhre. Die Unterschiede in allen drei Vergleichen sind signifikant.

Dagegen zeigt die Rohdichte keinen signifikanten Unterschied beider Kollektive. Damit ist festzustellen, dass sich der Einfluss der Markröhre bei dieser Untersuchung stärker auf die Festigkeiten auswirkt, als bei den Untersuchungen von RIEBEL (1994) und GROSS (1988).

## **Literatur**

Riebel, H. (1994): Über einige Holzeigenschaften der Großen Küstentanne (*Abies grandis* [Douglas] Lindley) aus südwestdeutschen Anbauten. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Heft 177. 277 S. Freiburg i. Breisgau

Gross, M. (1988): Untersuchung über das Festigkeitsverhalten von Tannenholz: vergleichende Bruchversuche an DIN-Normproben und an Kanthölzern in Gebrauchsabmessungen. Freiburg, Univ., Forstwiss. Fakultät, Dissertation, 205 S.

## ***Verklebungseigenschaften***

### ***Material***

Für die Untersuchungen zum Klebeverhalten des Holzes der Großen Küstentanne wurde Holz aus den ersten Abschnitten des Höxter-Kollektivs eingesetzt. Bei der Holz Auswahl wurde auf gute Holzqualitäten insbesondere in Bezug auf gleichmäßige Jahrringe und Jahrringlage sowie geringe Astigkeit Wert gelegt. Für die Tests wurden fünf verschiedene Klebstoffsysteme, die über die MPA-Zulassung verfügen, eingesetzt. Es handelte sich dabei um zwei Klebstoffe auf Polyurethanbasis, einen Phenol-Resorcinolklebstoff, zwei Melamin-Harnstoffklebstoffe sowie einen Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoff mit Härter.

### ***Methoden***

Die für die Prüfung des Klebeverhaltens von Küstentannenholz gewählten Prüfabläufe sind an Tests nach DIN EN 302-2 und DIN EN 302-3 orientiert. Diese Normen werden in Verbindung mit DIN EN 301 eingesetzt, um die Eignung von Klebstoffen nachzuweisen. Die Prüfverfahren werden hier herangezogen, um das Zusammenspiel der im Fokus dieser Untersuchungen stehenden Holzart *Abies grandis* mit etablierten Klebstoffsystemen zu überprüfen.

### ***Delaminierungsprüfung***

Der Prüfablauf entspricht dem in DIN EN 302-2 angegebenen Verfahren B1.

Dabei werden Bretter definierter Holzfeuchte gehobelt, beleimt und verpresst. Daraus werden dann Blöcke geschnitten, welche wieder klimatisiert und anschließend einer wiederholten Abfolge aus Vakuum-Druck-Imprägnierung mit Wasser und einem Trocknungsprozess unterzogen werden.

Anschließend werden die Blöcke auf Spalten und Öffnungen der Klebefugen untersucht. Die Längen der außen am Block wahrnehmbaren geöffneten Fugen werden addiert. Eventuelle Öffnungen in unmittelbarer Umgebung von Ästen gelten dabei nicht als Delaminierung. Auch Holzbruch und Absplitterungen in direkter Nähe zur Klebefuge werden nicht berücksichtigt. Der Fehler muss in der Leimfuge vorliegen und darf, um gewertet zu werden, nicht weniger als 5 mm von der folgenden Fehlstelle entfernt sein, wenn diese kleiner als 3 mm ist. Das Verhältnis dieser Summe zur Gesamtlänge der Leimfuge ergibt den Prozentsatz der Delaminierung. Dieses Maß der Delaminierung gilt als Maß für die Leimfugenqualität.

### ***Prüfung der Querkzugfestigkeit***

Die Vorbereitung der Querkzugs-Prüfkörper entspricht den in der Norm gegebenen Hinweisen. Aufgrund der vom Hintergrund der Norm abweichenden Fragestellung wurde keine Säure- und Temperaturbeeinflussung vorgesehen. Ziel der Untersuchung war es, die für die mechanische Zerstörung der Leimfuge durch senkrecht zu dieser angreifende Kräfte zu bestimmen.

Die Prüfkörper wurden nach der Klimatisierung im Normklima 20°C und 65 % rel. Luftfeuchte auf einer Universalmaterialprüfmaschine mit Prüfwerkzeugen, die den Vorgaben der DIN EN 302-3 entsprechen, bis zum Bruch belastet. Das Prüfergebnis umfasst die maximale Querkzugbeanspruchung und den Anteil des Holzbruchs an der Bruchfläche.

### ***Ergebnisse***

#### ***Delaminierungsprüfung***

Für die verschiedenen verwendeten Klebstoffe ergaben sich 0 % bis 2,5 % offene Klebefugen. Die Mehrzahl aller Prüfkörper wies bei allen Klebstoffen keinerlei sichtbare Delaminierung auf. Maximal 2 von 10 Delaminierungsproben je Klebstoff zeigten Delaminierungen.

Die Prüfkörper eines der Polyurethanklebstoffe erlitten keinerlei Delaminierungen. Der andere Klebstoff wies ca. 1 % offene Fugen auf. Der höchste Delaminierungswert ergab sich

bei einem der Melamin-Harnstoffklebstoffe mit 2,5 %. Die weiteren Klebstoffe lagen bei etwa 0,5 %.

### ***Prüfung der Querkzugfestigkeit***

Die ermittelten Werte der Querkzugfestigkeit liegen zwischen  $1,94 \text{ N/mm}^2$  und  $2,11 \text{ N/mm}^2$ . Der Durchschnittswert beträgt  $2,04 \text{ N/mm}^2$ .

Der größte Teil der Bruchbilder war durch deutlich sichtbares Versagen in einem oder beiden Holzkörpern der Proben gekennzeichnet. Brüche, die auf den unmittelbaren Bereich der Klebefuge beschränkt waren, traten in 7,1 % der Fälle auf. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Holzbruchanteil und Querkzugfestigkeit konnte nicht nachgewiesen werden. In einem vergleichbaren Versuch mit Buchenholz bezeichnen Becker et al. (2003) die Werte des Holzbruchanteils auch als „nicht weiter aussagekräftig“.

### ***Optimierung von Eigenschaften durch thermische Holzmodifizierung***

#### ***Material und Methoden***

##### ***Thermobehandlung***

Diese Untersuchungen wurden mit Holz der Küstentanne in Form von Brettware in einer Stärke von ca. 30 mm durchgeführt. Ein Teil des Materials blieb als Referenz unbehandelt. Die Thermobehandlung wurde von der Thermoholz Spreewald GmbH in einer Produktionsanlage unter Zugrundelegung eines dort üblichen BICOS- Nadelholzprozesses vorgenommen.

Die Behandlung erfolgt unter Luftabschluss bei einer Temperatur von ca.  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ .

##### ***Quellungs-Schwindungsverhalten und Sorptionscharakteristik***

Die Bestimmung der Sorption (Aufnahme von Wasser aus der Luft), erfolgte nach DIN 52 184. Dazu wurden zunächst viereckige Probenkörper, mit den Maßen  $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}$ , von unbehandeltem sowie thermisch modifiziertem Holz der Küstentanne hergestellt. Um eine gleichmäßige Oberfläche zu erzeugen wurden die Probenkörper nach dem Zuschneiden gehobelt.

Die Messpunkte wurden markiert um die nachfolgenden Messungen immer an derselben Stelle durchführen zu können. Diese Messungen wurden in den Klimata  $20^\circ\text{C} / 30 \%$ ,  $20^\circ\text{C} / 50 \%$ ,  $20^\circ\text{C} / 65 \%$ ,  $20^\circ\text{C} / 80 \%$  und  $20^\circ\text{C} / 90\%$  durchgeführt, wobei die Probenkörper stets ca. eine Woche in jedem der Klimaschritte verblieben.

### ***Resistenz gegen Abbau durch Basidiomyceten***

Die Resistenz des thermisch behandelten Holzes der Küstentanne gegenüber holzerstörenden Pilzen wurde nach DIN EN 113 (Bestimmung der Grenze der Wirksamkeit gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten, die auf Agar gezüchtet wurden) untersucht. Diese Norm dient der Bewertung der Wirksamkeit von Holzschutzmitteln und ist auch für die Einschätzung der Holzmodifizierungen etabliert.

Als Prüfpilze wurden die Braunfäuleerreger *Coniophera puteana* und *Poria placenta* sowie der Weißfäuleerreger *Trametes versicolor* eingesetzt.

Je Prüfpilz wurden neben 10 thermisch behandelten und 10 unbehandelten Küstentannen Prüfkörpern zu Vergleichszwecken zusätzlich 20 Kiefernplintholz- (*Pinus sylvestris*) und 20 Fichten- (*Picea abies*) bzw. im Falle des Weißfäuleerregers *Trametes versicolor* Buchenprüfkörper (*Fagus sylvatica*) dem Abbau durch die Prüfpilze ausgesetzt. Den Vorgaben der DIN EN 113 entsprechend dienten Virulenzproben zur Überprüfung der Aktivität der Prüfpilze.

Vor dem Einbau in die vollständig mit Mycel überwachsenen Prüfgefäße wurden die Darmmassen der Prüfkörper ermittelt, diese anschließend eine Woche konditioniert (20°C; 65 % relative Luftfeuchte) und dann im Autoklav mit Wasserdampf sterilisiert.

Die Probenkörper wurden im Versuchsgefäß auf ein Gitter gelegt, damit sie das Mycel nicht direkt berühren konnten. Nach Ablauf der Versuchsdauer wurden die Probenkörper ausgebaut und vom Oberflächenmycel der Prüfpilze gereinigt. Das Mycel wurde mit einem weichen Schwamm entfernt damit die teilweise recht brüchigen Probenkörper unversehrt blieben. Hiernach wurde das Frischgewicht sowie nach erneutem Darren das Endtrockengewicht bestimmt.

### ***Veränderung mechanischer Eigenschaften***

Die Prüfung der Biegefestigkeit von unbehandeltem Holz und Thermoholz der Küstentanne wurde in Anlehnung an DIN 52186 durchgeführt. Die Proben waren auf einen Querschnitt von 20 mm \* 20 mm gehobelt. Für diesen Versuch wurde auch die Rohdichte der Prüfkörper ausgewertet. Die Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Faser erfolgte in Anlehnung an DIN 52185. Die Prüfkörper wurden auf eine Kantenlänge von 20x20x20 mm zugeschnitten. Für beide Prüfungen erfolgte zuvor die Konditionierung bei einem Klima von 20°C und 65 % relativer Luftfeuchte.

## Ergebnisse

### Quellungs-Schwindungsverhalten und Sorptionscharakteristik

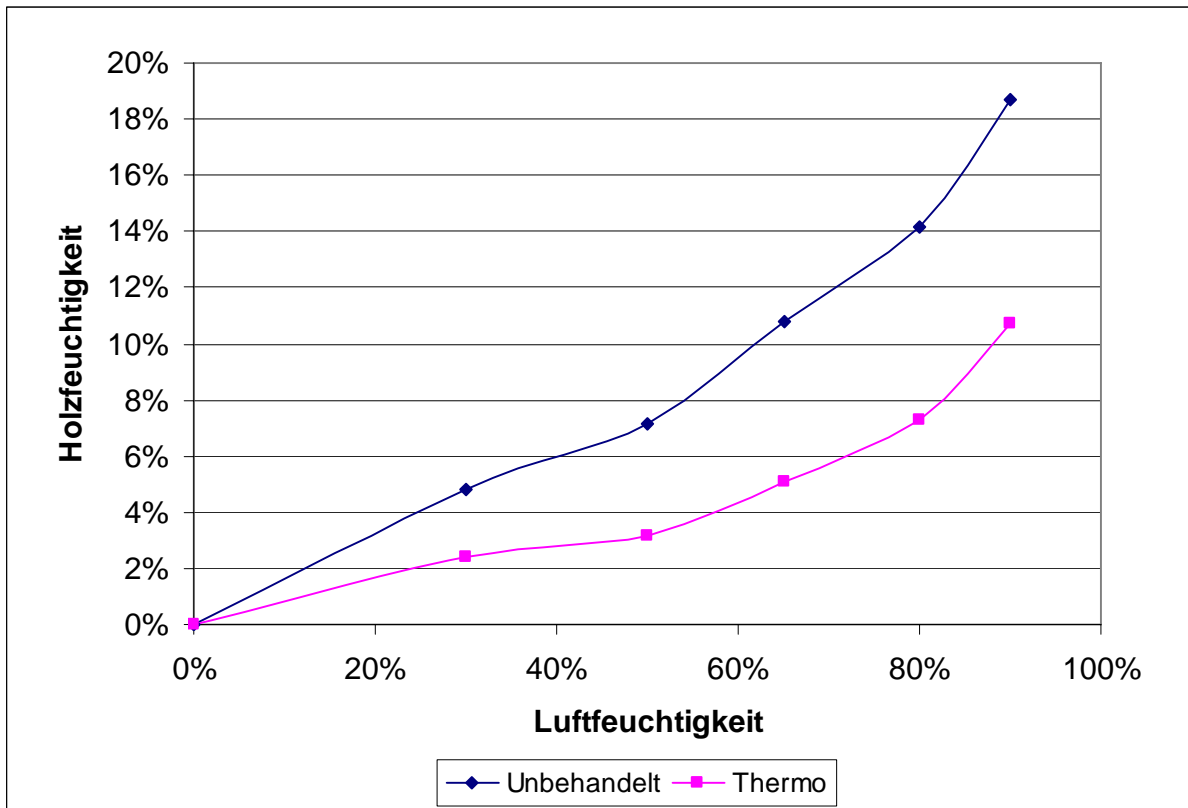


Abb. 8: Sorptionsisothermen des modifizierten (n=50) und des unbehandelten (n=50) Holzes bei 20°C

Die Feuchtaufnahme des thermisch modifizierten Holzes ist gegenüber dem unbehandelten Holz deutlich reduziert. Im feuchtesten Klimaschritt bei 90 % umgebender Luftfeuchtigkeit hat das modifizierte Material mit einer Ausgleichsfeuchte von 11,7 %, 8 % weniger Wasser aufgenommen als das unbehandelte Holz. Die Volumenquellung (ohne Abbildung) zeigt einen ganz ähnlichen Verlauf. Während die unbehandelten Prüfkörper eine Volumenquellung um 8 % im Bereich zwischen 0 % und 90 % rel. Luftfeuchte zeigen, bleiben die Thermoholzproben noch unter 5 %.

### Resistenz gegen Abbau durch Basidiomyceten

Die Virulenzprüfung bestätigt mit einem Masseverlust über 20 % der Prüfkörpertrockenmasse bei allen drei Prüfpilzen die Gültigkeit des Versuchs.

Die Vergleichsbaumarten Fichte, Kiefer und Buche wiesen bei allen drei Prüfpilzen ähnlich hohe oder höhere Abbauraten auf als die Küstentanne. Bei dem Weißfäuleerreger *Trametes versicolor* ist der Masseverlust von Buche fast doppelt so hoch wie bei der Küstentanne. Insgesamt weist die Küstentanne im unbehandelten Zustand eine ähnliche Pilzresistenz

gegenüber den drei verwendeten Prüfpilzen auf wie die Nadelhölzer Fichte und Kiefernspiltholz. Die Versuchsergebnisse würden bei der Bewertung der Dauerhaftigkeit nach EN 350-1 (Klassen der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz gegen Pilzbefall aufgrund von Laborversuchen auf der Basis von EN 113) für Fichte und unbehandelte Küstentanne im Kontakt zu den Braunfäuleerregern nur die Einstufung in die Klasse 5 – nicht dauerhaft – ergeben. Der eher auf Laubholz spezialisierte Weißfäuleerreger *Trametes vesicolor* baute die unbehandelte Küstentanne im Prüfzeitraum deutlich weniger ab als das Splintholz der Kiefer. Die thermisch behandelte Küstentanne würde bei allen Prüfpilzen in die Dauerhaftigkeitsklassen 1 oder 2 eingestuft werden. Für den Prüfpilz *Coniophora puteana* konnte dabei gar kein Masseverlust nachgewiesen werden.

### ***Veränderung mechanischer Eigenschaften***

Die Biegefestigkeit der thermisch behandelten Prüfkörper (n=78) ist mit  $55 \text{ N/mm}^2$  signifikant geringer als die der unbehandelten (n=107) mit  $60 \text{ N/mm}^2$ . Damit weisen die Thermoholz-Prüfkörper eine um ca. 8 % reduzierte Biegefestigkeit gegenüber den unbehandelten Prüfkörpern auf. Der E-Modul erscheint gegenüber den unbehandelten Prüfkörpern mit  $9010 \text{ N/mm}^2$  hingegen um nahezu 7 % höher. Bei beiden Kennwerten ist die Standardabweichung des thermisch behandelten Probenkollektivs stets größer als bei dem unbehandelten Kollektiv. Die Anzahl der getesteten Thermoholz-Prüfkörper (n=78) war niedriger als die der unbehandelten Prüfkörper (n=107).

Die Untersuchung der Druckfestigkeit von unbehandeltem und thermisch behandeltem Holz der Küstentanne zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Die Druckfestigkeit des Thermoholzes ist hier mit ca.  $44,2 \text{ N/mm}^2$  um etwa 7 % höher als die Druckfestigkeit des unbehandelten Holzes ( $41,1 \text{ N/mm}^2$ ). Die durchschnittliche Darrdichte mit  $0,373 \text{ g/cm}^3$  der thermisch behandelten Prüfkörper ist dabei geringer als die des unbehandelten Holzes mit  $0,386 \text{ g/cm}^3$ .

Der scheinbare Anstieg der Druckfestigkeit infolge der Thermobehandlung wird als Effekt der verringerten Ausgleichsfeuchte angesehen.

Die mit  $180^\circ\text{C}$  erfolgte vergleichsweise milde Thermobehandlung führt letztlich eben auch zu einer nachweislichen Verminderung der Biegefestigkeit.

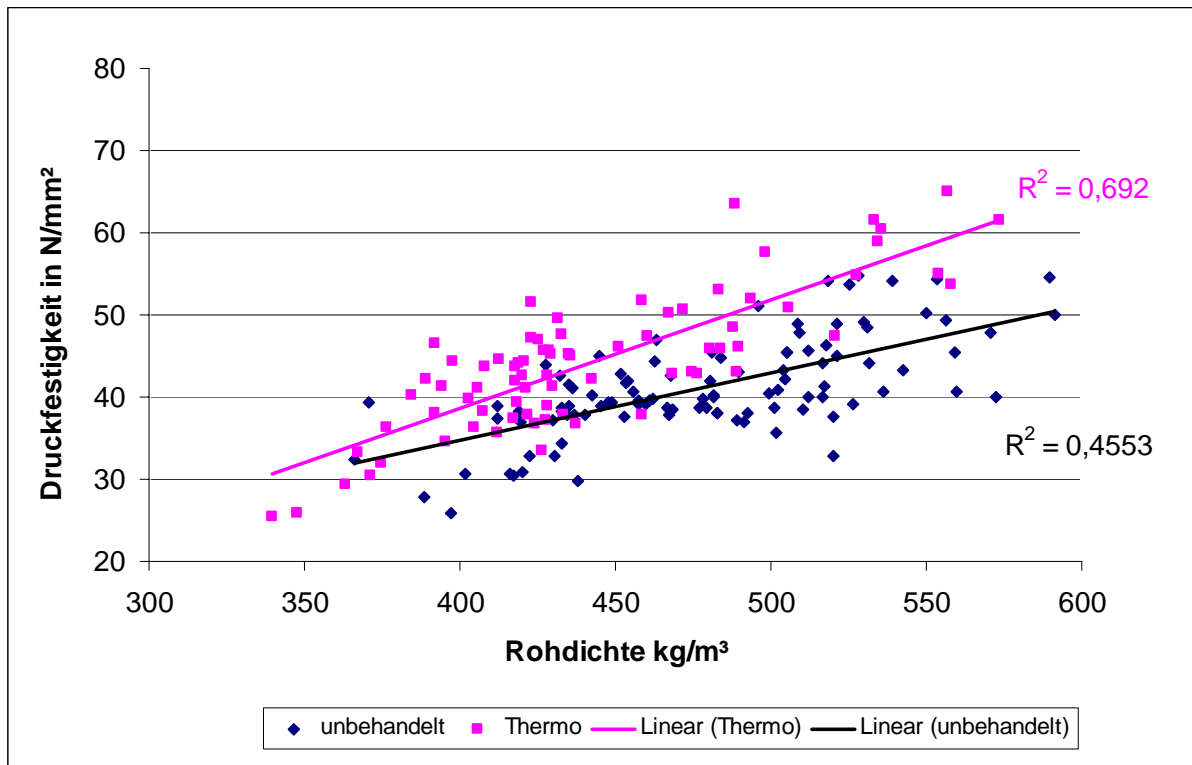


Abb. 9: Wechselbeziehung zwischen Druckfestigkeit und Rohdichte

Abbildung 9 zeigt die Beziehung zwischen Rohdichte und Druckfestigkeit für die zwei Probenkollektive. Beide Gruppen zeigen einen Anstieg der Druckfestigkeit mit zunehmender Rohdichte. Bei vergleichbarer Rohdichte weist das unbehandelte Holz eine niedrigere Druckfestigkeit als das thermisch behandelte auf. Mit zunehmender Rohdichte verstärkt sich dieses Verhältnis.

### **Zusammenfassung**

Das Holz der Küstentanne dieser Untersuchung weist bei 12% Holzfeuchte im Mittel eine Rohdichte von  $0,422 \text{ g/cm}^3$  im Splint,  $0,389 \text{ g/cm}^3$  im Reifholz und  $0,362 \text{ g/cm}^3$  im Bereich des juvenilen Holzes auf.

Die mittleren Biegefestigkeiten dieser Bereiche liegen bei  $73,0 \text{ N/mm}^2$  (Splint),  $65,5 \text{ N/mm}^2$  (Reifholz) und  $57,6 \text{ N/mm}^2$  (Juvenilholz). Die Untersuchung zeigt anhand des Vergleiches dreier Standortkollektive auch, dass die Jahrringbreite als Ergebnis standörtlicher Bedingungen und waldbaulicher Maßnahmen einen wesentlichen Einfluss auf die Ausprägung von Rohdichte und Festigkeit dieses Holzes hat. Der bekannte Trend abnehmender Dichten und Festigkeiten innerhalb der Stämme von außen nach innen und von unten nach oben findet sich auch hier. Dabei ist die Höhenabhängigkeit in den oberen Stammbereichen schwach oder nicht ausgeprägt.

Das Festigkeitsniveau liegt unterhalb dessen der Fichte (*Picea abies*), überlappt sich mit diesem jedoch insbesondere für äußere Splintholzbereiche und bei engerem Jahrringbau.

Die Verwendung der Küstentanne für Schnittholz im konstruktiven Bereich setzt aktuell beinahe zwingend eine maschinelle Sortierung voraus. Der selbst bei vergleichsweise langsam gewachsenen Beständen noch relativ grobe Jahrringbau führt bei visueller Sortierung zu inakzeptabel geringen Ausbeuten. Die maschinelle Sortierung kann hier ein vorhandenes gutes Festigkeitsniveau nachweisen. Das sehr schnell gewachsene Holz hier im Versuch erreichte bei einer apparativ unterstützten Sortierung auf Basis der Messung des dynamischen E-Moduls mit dem Timber grader noch eine Gesamtausbeute von über 70 % in den Sortierklassen ab S7 aufwärts, während die visuelle Sortierung nach DIN 4074 nahezu 95 % dieses Schnittholzes ausschließt.

Die Verarbeitung des Küstentannenholzes mit aktuell verfügbaren Klebstoffsystemen erscheint problemlos. Auch das mit der geringeren Rohdichte zusammenhängende weniger stark ausgeprägte Quellen und Schwinden unter Feuchtewechseln trägt zu einer sehr guten Beständigkeit der Klebefugen unter Last und bei Feuchtebeanspruchung bei.

Eine thermische Modifizierung mit dem BICOS-Verfahren senkt die Ausgleichsfeuchte um ca. 50 % und erhöht die Resistenz des Holzes gegen Abbau durch Basidiomyceten sehr deutlich. Eine Einstufung entsprechend EN 350-1 ergibt je nach Prüfpilz Dauerhaftigkeitsklassen von 1 oder 2. Dabei werden wichtige mechanische Eigenschaften nur moderat beeinflusst. Während Elastizitätsmodul und Druckfestigkeit geringfügig erhöht gegenüber dem unbehandelten Vergleichskollektiv erscheinen, nimmt die Biegefestigkeit um etwa 8 % ab.

## Referenzen

- Alden, H.A. (1997): Softwood of North America. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, Wisconsin, Gen.Tech.Rep. 102
- Becker, P. *et al.* (2003): Eigenschaften von Buchen-Brettschichtholz Institut für Holzphysik und Mechanische Technologie des Holzes, Hamburg
- Blaß, H.-J., Schmid, M. (2000): Querkzugfestigkeit von Vollholz und Brettschichtholz Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 58, S. 456-466
- Foiles, M.W. *et al.* (1990): *Abies grandis* (Dougl. Ex D. Don) Lindl., Grand fir. Aus: Burns, R.M. ; Honkala, B.H. (Hrsg.) : Agriculture Handbook 654, Silvics of North America, Vol.1: Conifers, Washington D.C.
- DIN EN 301 1992: Klebstoffe für tragende Holzbauteile, Phenoplaste und Aminoplaste, Klassifizierung und Leistungsanforderungen.
- DIN EN 302-2 1992 : Klebstoffe für tragende Holzbauteile; Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit.
- DIN EN 302-3 1992 : Klebstoffe für tragende Holzbauteile; Bestimmung der Querkzugfestigkeit.
- DIN EN 301: Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Phenoplaste und Aminoplaste - Klassifizierung und Leistungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 301:2006
- DIN EN 302-2: Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Prüfverfahren - Teil 2: Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit; Deutsche Fassung EN 302-2:2004
- DIN EN 302-3: Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Prüfverfahren - Teil 3: Bestimmung des Einflusses von Säureschädigung der Holzfasern durch Temperatur- und Feuchtezyklen auf die Querkzugfestigkeit; Deutsche Fassung EN 302-3:2004 + A1:2005

DIN 4074-1: Sortierung von Holz nach Tragfähigkeit (Nadelschrittholz); 2003

DIN EN 338: Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen; CEN Brüssel;  
Deutsche Fassung EN 338: 2003

DIN EN 408: Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz –  
Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften;  
Deutsche Fassung EN 408: 2003

*Weitere DIN EN – Standards werde im Textteil erklärt.*

### **Eigene Veröffentlichungen**

Hapla, F. (2006): Use- and wood product-orientated investigation on *Abies grandis* with  
different growth dynamics – an experimental design.

5<sup>th</sup> International Symposium “Wood Structure and Properties 2006, IUFRO-Division 5,  
Sliač-Sielnica, Slovakia. Proceedings, p. 51-52, Arbora Publishers, Zvolen, Slovakia,  
ISBN 80-968869-4-3

Hof, C. und Hapla, F. (2006): Holztechnologischer Untersuchungen an *Abies grandis*  
(Douglas) Lindley – Versuchskonzept.

Forstwissenschaftliche Tagung 2006 in Dresden / Tharandt,  
20.-22. September 2006 zum Thema: „Ökosystem Wald – Rohstoff Holz  
- Prinzip Nachhaltigkeit“, Tagungsband, Poster-Abstract, S. 194

Hapla, F. and Militz, H. (2008): Wood Quality and Product Properties of Grand Fir  
Timber.

Conference proceedings, p.101-104, COST Action E44 Wood Processing Strategy,  
May 30<sup>th</sup> and June 2<sup>nd</sup> – 3<sup>rd</sup> 2008, Milan-Italy

- Hof, C., Hapla, F. und Koch, G. (2008): Küstentanne häufig zu Unrecht unter Wert  
Verkauft - Einfluss der Feuchteverteilung (Nasskernbildung) auf Verfärbungen  
im Kernholz der Küstentanne (*Abies grandis*) -  
Holz-Zentralblatt, Nr. 29, S. 806-807
- Hapla, F. und Hof, C. (2008): Holzproduktorientierte Untersuchungen an Küstentanne.  
Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 76, S. 59, ISSN: 1436-1566,  
Herausgeber: Institut für Waldwachstum, Fakultät für Forstwissenschaften und  
Umweltwissenschaften, Universität Freiburg.
- Hof, C., Kielmann, B.C. und Hapla, F. (2008): Verwendungsorientierte Untersuchungen  
am Schnittholz der *Abies grandis*.  
holztechnologie, Nr. 6, S. 7-11
- Hapla, F., Hof, C. und Kielmann, B.C. (2008): Innovative Holzprodukte aus  
Küstentanne. Technologie-Informationen, S. 4, Technologietransfer aus  
Hochschulen – Innovation Niedersachsen.