

Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik
der Studienfakultät Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement
der Technischen Universität München

Fichtenstarkholz (*Picea abies* (L.) Karst.) -
Untersuchungen zur Rundholzqualität und deren Einfluss auf die Schnittholzqualität

Johannes Maximilian Georg Reiter

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät
Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der
Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften

(Dr. rer. nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Peter Glos

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. Gerd Wegener

2. Univ.-Prof. Dr. Thomas F. Knoke

Die Dissertation wurde am 19.08.2005 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für
Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 29.11.2005 angenommen

Vorwort

„Meinen“ beiden Professoren, Prof. Dr. Dr. habil. Dr. h. c. Gerd Wegener und Prof. Dr. Peter Glos, danke ich sehr herzlich für ihr Vertrauen und die stets vorbildliche Zusammenarbeit.

Den Kolleginnen und Kollegen des Lehrstuhls für Holzkunde und Holztechnik der Technischen Universität München danke ich herzlich für das kollegiale Arbeitsklima und ihre Unterstützung. Besonders danke ich Dipl. Forstwirt univ. Peter Linsenmann.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der beteiligten Forstämter und Sägewerke gilt mein besonderer Dank. Stellvertretend seien Herr Peter Fickler und Herrn Josef Haggemüller erwähnt, die mit ihrer steten Diskussionsbereitschaft und ihrer tatkräftigen Unterstützung beim Rundholzeinschnitt die aufwändige Durchführung des Projekts erst ermöglicht haben. Dem Holzforum Allgäu e.V. gebührt mein Dank für die vorbildliche Organisation eines Starkholzseminars in Waltenhofen bei Kempten.

Dem Kuratorium der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft sowie dem Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten danke ich für die Förderung dieses Forschungsprojekts.

Ihnen allen gilt mein sehr herzlicher Dank.

Johannes Reiter

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung	1
2. Hintergrund	2
2.1 Definition des Begriffs Fichtenstarkholz	2
2.2 Vorräte an starkem Fichtenholz in Deutschland, Österreich und der Schweiz	3
2.3 Gründe für die Entwicklung des Starkholzvorrats	5
3. Problemstellung und Ziel der Untersuchung	7
3.1 Rundholzqualität von Fichtenstarkholz	7
3.2 Hochwertige Produkte aus Fichtenstarkholz	8
3.3 Hypothesen	9
4. Stand des Wissens	10
4.1 Forstwirtschaft und Starkholz	10
4.2 Sägeindustrie und Starkholz	11
4.3 Qualität von starkem Fichtenrundholz	12
4.4 Holzeigenschaften von Fichtenstarkholz	13
4.5 Schnittholzsortierung	14
4.6 Zusammenhang zwischen Rundholz- und Schnittholzqualität	15
4.7 Empfehlungen für die Vermarktung von Fichtenstarkholz	16
5. Untersuchungsmaterial	17
5.1 Beteiligte Forstämter und Sägewerke	17
5.2 Auswahl der Probebäume und der Rundholzabschnitte	19
5.3 Entnahme und Behandlung der Prüfkörper	20
5.4 Identifikation hochwertiger Produkte aus Starkholz	21
5.5 Einschnitt, Trocknen und Hobeln	22
6. Untersuchungsmethoden	24
6.1 Untersuchungen an Bäumen	24
6.1.1 Brusthöhendurchmesser, Länge und Volumen	24
6.1.2 Kronenablotung, Kronenansatz und äußere Astigkeit	25
6.1.3 Struktur der Konkurrenzgruppe	25
6.2 Untersuchungen an Stammscheiben und Astquirlen	26
6.2.1 Jahringaufbau	26
6.2.2 Exzentrizität und Ovalität	26
6.2.3 Stammform und Querschnittsfläche	27
6.2.4 Harzgallen	28
6.2.5 Reaktionsholz	29
6.2.6 Kernfäule	29
6.2.7 Normalrohddichte	30
6.2.8 Innere Astigkeit	30

6.3	Untersuchungen an Rundholzabschnitten	31
6.3.1	Rundholzsortierung nach ENV 1927-1	31
6.3.2	Zopfdurchmesser	32
6.3.3	Kernrisse an der Stirnfläche des Rundholzes	32
6.3.4	Äste am Stammmantel und weitere Merkmale	34
6.4	Untersuchungen an Schnittholz	35
6.4.1	Kernrisse im Schnittholz	35
6.4.2	Sortierung hochwertiger Starkholzprodukte nach DIN 4074	36
6.4.2.1	Visuelle Sortierung nach DIN 4074	36
6.4.2.2	Maschinelle Sortierung nach DIN 4074	37
6.4.2.3	Güte des nach DIN 4074 sortierten Schnittholzes	38
6.5	Vergleich von Starkholz mit schwächerem Holz	38
7.	Ergebnisse und Diskussion	41
7.1	Qualitätsmerkmale von Bäumen	41
7.1.1	Brusthöhendurchmesser, Länge und Volumen	41
7.1.2	Kronenablotung, Kronenansatz und äußere Astigkeit	43
7.1.3	Struktur der Konkurrenzgruppe	47
7.2	Rundholzqualität	48
7.2.1	Jahrringe	48
7.2.2	Exzentrizität und Ovalität	50
7.2.3	Harzgallen	51
7.2.4	Reaktionsholz	53
7.2.5	Kernfäule	57
7.2.6	Normalrohddichte	58
7.2.7	Innere Astigkeit	64
7.2.8	Rundholzsortierung nach ENV 1927-1	67
7.2.9	Zopfdurchmesser	69
7.2.10	Kernrisse	71
7.2.10.1	Risse an der Stirnfläche des Rundholzes	71
7.2.10.2	Risse am Schnittholz	76
7.2.10.3	Vergleich der Risse an Rund- und Schnittholz	79
7.2.10.4	Risse im Sägewerk C	81
7.2.11	Äste am Stammmantel und weitere Merkmale	83
7.3	Schnittholzqualität	88
7.3.1	Dachlatten 40 x 60 mm	88
7.3.2	Bretter für Brettschichtholz 40 x 160 mm	92
7.3.3	Kanthölzer für Konstruktionsvollholz 60 x 120 mm	95
7.3.4	Kanthölzer für Konstruktionsvollholz 80 x 180 mm	98
7.3.5	Sortierentscheidende Äste und deren Verteilung in Kanthölzern	100
7.3.6	Vergleich von Produkten aus Starkholz mit denen aus schwächerem Holz	101
7.3.6.1	Entwicklung der Holzeigenschaften vom Mark zur Rinde	101
7.3.6.2	Vergleich zwischen Schwachholz- und Starkholzbereich	107
7.4	Zusammenhang zwischen Rundholz- und Schnittholzqualität	120

7.5 Zusammenfassende Diskussion	126
7.5.1 Beurteilung der Hypothesen	126
7.5.2 Kritische Würdigung des methodischen Ansatzes	130
8. Zusammenfassung	132
8.1 Ziel des Forschungsprojekts	132
8.2 Untersuchungen	133
8.3 Ergebnisse	135
8.4 Schlussfolgerungen und Ausblick	140
9. Publikationen und Vorträge	141
10. Literatur	142
I Abkürzungen	148
II Abbildungs-, Tabellen- und Formelverzeichnis	149
III Anhang	I

1. Einleitung

Auf nahezu einem Drittel der Fläche Deutschlands schützt der Wald unsere Böden vor Erosion, speichert und filtert unser Trinkwasser, bietet Lebensraum für zum Teil seltene Tier- und Pflanzengemeinschaften, versorgt uns mit Sauerstoff und dient insbesondere der Stadtbevölkerung als Naherholungsgebiet. Neben diesen monetär nur schwer erfassbaren Funktionen, liefern uns die Bäume mit ihrem Holz seit Jahrtausenden den wertvollen Rohstoff für Werkzeuge, Sportgeräte und Gebäude sowie die umweltfreundliche Energie zum Kochen und Heizen.

Über diesen langen Zeitraum haben sich die Anforderungen an das Produkt Holz verändert. Wie in anderen Bereichen verlangt die Gesellschaft nach neuen Produkten, die möglichst homogen, unkompliziert zu verarbeiten, qualitativ hochwertig und gleichzeitig preisgünstig sind. Moderne Holzwerkstoffe und standardisiertes, veredeltes Schnittholz aus relativ schwachen Bäumen erfüllen diese Ansprüche. Daher haben sich die Forschung und die Entwicklung von Produkten und Ver- und Bearbeitungstechnologien auf schwächeres Holz konzentriert und diesem einen Vorteil gegenüber starkem Holz verschafft.

Gleichzeitig sind unsere Wälder so vorratsreich und damit unsere Bäume so stark wie nie. Das wird sich in absehbarer Zukunft noch verstärken, da einerseits der Zuwachs nur bis zu 70% genutzt wird andererseits die Forderung nach stabilen Wäldern, biologischer Automation und rentabler Forstwirtschaft, auf Grund des Stück-Masse-Gesetzes, zu starken Bäumen führt.

Die Ziele der Forst- und Holzwirtschaft entwickeln sich auf Grund der unterschiedlichen Anforderungen der Gesellschaft an den Wald und das Holz auseinander. Fraglich ist, ob die multifunktionale Forstwirtschaft in Mitteleuropa langfristig sowohl die Anforderungen an den Wald als auch an das Holz erfüllen kann und in welcher Form sich die Gesellschaft eine derartige Bewirtschaftung leisten kann und will. Zur Klärung dieser Fragen ist es von grundlegender Bedeutung, die Eigenschaften des Produkts Fichtenstarkholz zu analysieren, mit schwächerem Holz zu vergleichen und Wege zu finden, ein eventuell vorhandenes Potential zu nutzen.

2. Hintergrund

2.1 Definition des Begriffs Fichtenstarkholz

Für die Definition von Fichtenstarkholz existieren keine einheitlichen Kriterien. Deshalb wird der Begriff unterschiedlich besetzt. Allgemein gilt Nadelholz oberhalb einer bestimmten Durchmesserchwelle (Brusthöhendurchmesser, Mittendurchmesser, Zopf) als Starkholz, wobei der Schwellenwert sowohl ein Kriterium für Forstinventuren als auch eine Grenze für Be- und Verarbeitungstechnologien sein kann. Prinzipiell wird zwischen Baumstarkholz (mit Rinde [m. R.]) und Sägestarkholz (ohne Rinde [o. R.]) unterschieden.

Aus Sicht der Forstwirtschaft in Bayern beginnt das Baumstarkholz der Fichte bei der Langholzklasse H5 (Heilbronner Sortierung), der Schwerpunkt liegt bei H6. Legt man eine Abholzigkeit von 1 cm/lfm zu Grunde, ergibt sich ein Grenz-Brusthöhendurchmesser (BHD) von 40 cm für H5 bzw. 48 cm für H6.

Sortimente, die nicht mehr mit der Spanertechnologie verarbeitet werden können („Nichtspanerholz“), werden unter dem Begriff Sägestarkholz zusammengefasst. Die Verarbeitungsgrenze für Profilerspaner liegt bei ca. 40 cm Zopf oder ca. 45 cm Mittendurchmesser (MDM).

Die Bayerische Staatsforstverwaltung zählt Nadelholz ab einem BHD von 48 cm zu Baumstarkholz. Zum Sägestarkholz werden Rundholzabschnitte ab einem Zopf von 40 cm und Stämme ab H5 gerechnet. Unter Sägestarkholz versteht man in der Schweiz Rundholz ab 45 cm Zopf, in Österreich und Baden-Württemberg ab 40 cm Mittendurchmesser. Die Grenze für Baumstarkholz liegt in Österreich bei BHD 48, in Baden-Württemberg bei BHD 50 und in der Schweiz bei BHD 52 (Tab. 1, SENITZA 1992, ZELTNER et al. 1999).

Tab. 1: Definition von Starkholz in der Schweiz, Österreich, Baden-Württemberg und Bayern

Definition für	Schweiz	Österreich	Baden-Württemberg	Bayern
Baumstarkholz BHD [cm m. R.]	≥ 52	≥ 48	≥ 50	≥ 48
Sägestarkholz Zopf/MDM [cm o. R.]	Zopf ≥ 45	MDM ≥ 40	MDM ≥ 40 (≥ H5)	Zopf ≥ 40 (≥ H5)

2.2 Vorräte an starkem Fichtenholz in Deutschland, Österreich und der Schweiz

Im Rahmen der BUNDESWALDINVENTUR II (2004) wurde für Deutschland eine Gesamtwaldfläche von 11,1 Millionen ha und ein Holzvorrat von 3,4 Milliarden Vfm ermittelt. Damit ist der Holzvorrat so hoch wie noch nie. Im europäischen Vergleich liegt Deutschland beim Holzvorrat an der Spitze und bezogen auf die Waldfläche mit 320 Vfm/ha nur knapp hinter den Alpenländern Schweiz (336 Vfm/ha) und Österreich (325 Vfm/ha). Bei diesem Vergleich liegen die Länder Bayern (403 Vfm/ha) und Baden-Württemberg (365 Vfm/ha) europaweit an der Spitze.

In deutschen Wäldern stehen 1,2 Milliarden Vfm (35%) Fichtenholz auf einer Fläche von ca. 3,0 Millionen ha (27%). In Fichtenbeständen steht ein Vorrat von 404 Vfm/ha. Das ist etwa ein Viertel mehr als im Durchschnitt über alle Baumarten und wird nur von Tannenbeständen (480 Vfm/ha) übertroffen. Wie der Vergleich mit der Bundeswaldinventur I zeigt, wuchsen im alten Bundesgebiet zwischen 1987 und 2002 jährlich 16,4 Vfm/ha Fichtenholz zu, insgesamt 43,9 Millionen Vfm. Davon wurden jährlich 27,1 Millionen Vfm (62%) genutzt. Der Vorratsaufbau hat insbesondere im Starkholzbereich stattgefunden.

Der Vorrat an Fichtenstarkholz (> BHD 50) beträgt 174,8 Millionen Vfm, was einem Starkholzanteil von 14,6% entspricht. Der Großteil des starken Fichtenholzes (72%) stockt in Bayern und Baden-Württemberg, hier sind mit 18% auch die höchsten Starkholzanteile zu finden (**Tab. 2**). Etwa 49% des Fichtenstarkholzes stocken im Privatwald, 35% im Staatswald und 16% im Körperschaftswald (**Tab. 3**). Der Starkholzanteil ist im Privat- und Körperschaftswald mit 14,0% und 13,7% etwas niedriger als im Staatswald (16,9%). Die Holzaufkommensmodellierung mit WEHAM¹ gibt den Anteil des Starkholzes am Fichteneinschlag im Jahr 2003 mit 6,3 Millionen Efm (25%) an. Dieser wird über 10 Millionen Efm im Jahr 2013 (30%) auf 16 Millionen Efm im Jahr 2038 (43%) ansteigen. Der Starkholzeinschlag besteht zu über 90% aus Stämmen mit BHD 50 bis BHD 69.

Tab. 2: Starkholzvorrat in Deutschland, Daten der Bundeswaldinventur II

Süddeutsche Länder / Deutschland	Vorrat Fichte [Mio. m ³]	Vorrat BHD > 50 [Mio. m ³]	Starkholz Anteil [%]	Anteil am Starkholz in D [%]
Bayern	499,7	88,5	17,7	50,7
Baden-Württemberg	205,7	37,1	18,1	21,3
Deutschland	1.193,0	174,8	14,6	100

¹ Simulationsprogramm zur Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung der FVA Baden-Württemberg, gespeist mit Daten der Bundeswaldinventur I und II

Tab. 3: Starkholzvorrat nach Besitzarten, Daten der Bundeswaldinventur II

Besitzart	Vorrat Fichte [Mio. m ³]	Vorrat BHD > 50 [Mio. m ³]	Starkholz Anteil [%]	Anteil am Starkholz in D [%]
Staatswald (Bund)	12,5	1,3	10,4	0,7
Staatswald (Land)	349,7	59,1	16,9	33,8
Körperschaftswald	200,3	27,4	13,7	15,7
Privatwald	616,1	86,1	14,0	49,2
Treuhandwald	14,4	0,9	6,7	0,6
Alle Besitzarten	1.193,0	174,8	14,6	100

Für Bayern gibt MÖSSMER (2004) den Holzvorrat mit 979 Millionen Vfm an, davon sind 743 Millionen Vfm (76%) Nadelholz. Der Anteil der Fichte am Nadelrundholz wird mit 69% angegeben. Somit ergibt sich ein Fichtenanteil am Holzvorrat von etwa 52%. Auch der Flächenanteil der Fichte liegt mit 44,5% (1,06 Millionen ha) deutlich über dem bundesdeutschen Durchschnitt. Bezogen auf Deutschland, stellt Bayern etwa ein Drittel der Fichtenbestände und rund 42% des Fichtenvorrats.

Mit 16,5 Vfm/ha jährlichem Zuwachs liegt die Fichte in Bayern nur knapp hinter der Douglasie (17,2 Vfm/ha) und deutlich vor den restlichen Baumarten (im Durchschnitt 13,0 Vfm/ha). Der Zuwachs an Fichtenholz wird über alle Durchmesserklassen (10 cm bis 60 cm) zu gleichen Anteilen genutzt. Das Nutzungsprozent liegt mit 70% knapp 8% über dem bundesdeutschen Durchschnitt und deutlich über dem von Eiche (34%) und Buche (33%).

Nach BROSINGER (2001) liegen regionale Schwerpunkte von Fichtenstarkholz in Oberbayern, Niederbayern-Oberpfalz und Schwaben. Der Starkholzanteil beträgt in Oberbayern im Flachland 17%, im Hochgebirge 28%, in Niederbayern-Oberpfalz 26% und in Schwaben 24%.

Der Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München gibt für den Staatswald in Bayern (ohne Hochgebirge), bei gleich bleibender Nutzung, ein nachhaltiges Nutzungspotential² für Fichtenstarkholz von 420.000 Efm bis 510.000 Efm pro Jahr an. Der Einschlag könnte somit in den nächsten 10 Jahren um 50% bis 80% im Vergleich zum mittleren Einschlag seit 1995 gesteigert werden, ohne den Vorrat abzusenken. Langfristig wird mit einer weiteren Zunahme des Nutzungspotentials gerechnet (BROSINGER et al. 2001).

Für die Sägeindustrie ist jedoch die Marktverfügbarkeit dieser Vorräte in Form von Starkholzabschnitten entscheidend. KÄNDLER et al. (2003) legen am Beispiel des Staatswaldes von Baden-Württemberg dar, dass nur knapp ein Drittel des Baumstarkholzes tatsächlich zum

² Simulation der Waldentwicklung mit dem positionsabhängigen Einzelbaummodell SILVA 2.2 des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der TU München.

Sägestarkholz gerechnet werden kann. Aus dem Gesamtwald Baden-Württemberg könnten so jährlich etwa 800.000 Efm o. R. an Starkholzabschnitten (5 m, Zopf > 40 cm) genutzt werden. Für diese Prognose wurden relativ vorsichtige Mobilisierungsquoten angesetzt.

Für Österreich ergibt die Forstinventur von 1992 und 1996 einen Holzvorrat an starker Fichte und Tanne von 0,48 Millionen Vfm. Der Anteil am Baumstarkholz ist mit 18,5% mit dem in Bayern und Baden-Württemberg vergleichbar. Jedoch sind laut GRIESHOFFER (2002) nur 7% des Vorrats Sägestarkholz (Sortiment 5+ = MDM > 50 cm). Das entspricht in etwa den Ergebnissen von KÄNDLER et al. (2003) für Baden-Württemberg. Bei gleich bleibender Nutzung steigt der Anteil des Baumstarkholzes in Österreich bis zum Zeitraum 2012/2016 auf 30%.

In der Schweiz beträgt der Starkholzanteil am Nadelholzvorrat nach RIME (2002) 32%. Auch stocken in Schweizer Wäldern mit 370 Vfm/ha im Durchschnitt die größten Vorräte in Europa. Laut der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) wird die Starkholzfläche bis 2015 um 20% zunehmen. Selbst wenn die Nutzung von Starkholz um 25% erhöht wird, steigt dessen Fläche noch um 11%. ZELTNER et al. (1999) gehen bei gleich bleibender Nutzung davon aus, dass die Vorräte bis 2015 auf 405 Vfm/ha ansteigen. Nur eine deutliche Nutzungssteigerung von 30% gegenüber der Periode 1985 bis 1995 führt zu einem leichten Absinken der Vorräte auf 347 Vfm/ha. Der Anteil des Fichte-/Tannen-Starkholzes an der Gesamtnutzung steigt dabei jedoch von 20% auf 42%.

2.3 Gründe für die Entwicklung des Starkholzvorrats

Derzeit steigen die Vorräte an starkem Fichtenholz aus folgenden Gründen, während die Nachfrage nach Produkten aus Starkholz stagniert:

Einflüsse auf das Angebot³

- Die erhöhte Kohlendioxid (CO₂)-Konzentration in der Atmosphäre hat zum einen eine düngende Wirkung auf die Wälder, zum anderen handelt es sich zumindest um einen entscheidenden Faktor bei der Klimaerwärmung. Das führt gerade bei älteren Beständen zu einer starken Ertragssteigerung, die z. T. deutlich über den mit den Ertragstafeln prognostizierten Werten liegt. Durch den erhöhten Verbrauch fossiler Brennstoffe wird die CO₂-Konzentration weiter zunehmen (BENGTSSON und HAMMER, 2001).
- Das Wachstum der Wälder wird darüber hinaus durch die Zunahme der Stickoxide (NO_x) in der Atmosphäre gefördert. Der Großteil des vom Menschen verursachten Anstiegs geht auf Verbrennungsprozesse und die landwirtschaftliche Produktion zurück (WELLBURN, 1997). Auch für die Konzentration der Stickoxide ist mit einem weiteren Anstieg zu rechnen (HOUGHTON, 2004).

³ Nachhaltiges Nutzungspotential von starkem Fichtenholz

- Aufgrund der Windwürfe und Insektenkalamitäten der letzten Jahrzehnte stieg der Anteil des zwangsbedingten Einschlags (ZE) am Gesamteinschlag, sodass notwendige Erntemaßnahmen verschoben werden mussten, da einerseits die Erntekapazitäten nicht ausreichten, andererseits der Markt nicht mehr aufnahmefähig war. Bedenklich wird es, wenn qualitativ unbefriedigende Bestände in für Massensortimente problematische BHD-Stufen einwachsen. Für die Zukunft muss mit einer Häufung derartiger Ereignisse gerechnet werden.
- Qualitativ hochwertiges Starkholz war und ist auf Grund seines hohen Wertes und der ökologischen Vorteile (Schutz-, Erholungsfunktion) ein angestrebtes Zielsortiment nachhaltiger Forstwirtschaft in Mitteleuropa. Mit einer Abkehr von diesem Ziel wird mittelfristig nicht gerechnet (4.1).

Einflüsse auf die Nachfrage

- Die traditionell aus Starkholz erzeugten Produkte mit großen Abmessungen werden, aufgrund veränderter Anforderungen im Bauwesen, zunehmend durch geklebte Massivholzprodukte und Holzwerkstoffe ersetzt, die aus schwächerem Holz hergestellt werden.
- Andere Baustoffe, wie Beton, Stahl, Aluminium und Kunststoff verdrängen und ersetzen Produkte aus Starkholz, wie zum Beispiel die Entwicklung auf dem Fenstermarkt verdeutlicht. Hochwertige Produkte aus Starkholz mit hoher Wertschöpfung fehlen bislang oder sind nur marginal auf dem Markt.
- Die Nachfrage nach starkem Fichtenholz ist aufgrund der traditionell daraus erzeugten Produkte stark von der Baukonjunktur abhängig, die nach der Wiedervereinigung einen großen Aufschwung erfuhr, seit Mitte der 90er Jahre allerdings rückläufig ist.
- Die Einführung der Spanertechnologie führte zu einem wirtschaftlicheren Einschnitt und damit zur Spezialisierung der Sägeindustrie auf schwächere Sortimente. Eine vergleichbar schnelle und damit rentable Verarbeitungstechnologie existiert bisher für Starkholz nicht. Der Übergang zu schwächeren Sortimenten ist auch auf deren günstigeren Rundholzpreis zurückzuführen.
- Nach Kalamitäten und Windwürfen werden die Holzlager relativ preisgünstig gefüllt, was die Nachfrage nach Starkholz, auch über das eigentliche Ereignis hinaus, negativ beeinflusst.

In **Tab. 4** sind die oben genannten Gründe für das Ansteigen des Starkholzvorrats zusammengefasst.

Tab. 4: Gründe für das Ansteigen des Starkholzvorrats

Gründe für das höhere Angebot	Gründe für die geringere Nachfrage
<ul style="list-style-type: none">• CO₂-Konzentration• Konzentration der Stickoxide• Schadereignisse• Waldbauliche Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none">• Substitution durch andere Baustoffe• Rückgang der Baukonjunktur• Veränderung in der Sägetechnologie• Ersatz durch preisgünstigeres Holz u. a. aus Schadereignissen

3. Problemstellung und Ziel der Untersuchung

3.1 Rundholzqualität von Fichtenstarkholz

Bedingt durch die Entwicklung im Rundholzeinschnitt von der Gatter- zur Spaner- und Profiliertechnik, bevorzugt die Sägeindustrie, wie beschrieben (2.3), zunehmend schwächeres Rundholz, während die Nachfrage nach Starkholz stagniert oder teilweise sogar zurückgeht.

Der Vorrat an starkem Fichtenstammholz steigt dagegen kontinuierlich an und wird bei gleich bleibender Nutzung weiter zunehmen. Das birgt neben der Gefahr einer Überalterung auch das Risiko einer strukturellen Veränderung der Bestände und des Holzangebots mit negativen Folgen für den zukünftigen Holzabsatz. Um den weiteren Anstieg der Starkholzvorräte zu verhindern, müsste allein in Bayern die Nutzung von Starkholz in den nächsten zehn Jahren um mehr als die Hälfte gesteigert werden.

Ein Hauptargument, das dem verstärkten Einsatz von Starkholz entgegengebracht wird, ist dessen behauptete schlechtere Qualität bezüglich der Exzentrizität, vorhandener Harzgallen, des Reaktionsholzanteils sowie der inneren Astigkeit. Darüber hinaus würden verstärkt innere Holzfehler auftreten, wie z. B. Kernrisse oder versteckte Fäulen (VDS 2002, TEISCHINGER 2002a). Bisherige Untersuchungen beschäftigen sich ausschließlich mit Schnittholz aus Starkholz und beschränken sich zudem auf einzelne Forstämter. Diese Ergebnisse werden daher von der Sägeindustrie als nicht repräsentativ angesehen. Daher sollen in den Hauptwuchsgebieten der Fichte in Bayern 55 repräsentative Stämme der Stärkeklassen H5 und H6 ausgewählt und die Holzqualität an den unteren drei 5 m langen Stammabschnitten sowie an Stammscheiben und Astquirlen untersucht werden. Ziel ist es, repräsentative Aussagen über die Holzqualität und mögliche Risiken bezüglich der Qualität von Fichtenstarkholz zu treffen.

An den Querschnittsflächen der 55 Fichten aus den Hauptwuchsgebieten in Bayern konnten unmittelbar nach dem Auftrennen im Wald keine Kernrisse festgestellt werden. Kernrisse werden jedoch von Vertretern der Sägeindustrie als wirtschaftlich bedeutender Holzfehler

benannt. In der Literatur finden sich zur Häufigkeit des Auftretens von Kernrissen in starkem Nadelholz keine verwertbaren Angaben. Jedoch ist nicht auszuschließen, dass Kernrisse erst im Laufe der Trocknung erkennbar werden. Daher sollen in zwei bayerischen Sägewerken, die Fichtenstarkholz aus den Hauptwuchsgebieten der Fichte einschneiden, repräsentative Rundholzabschnitte sowie teilweise das daraus gewonnene Schnittholz auf Kernrisse untersucht werden. Ziel ist es, Aussagen über die Häufigkeit von Kernrissen bei Fichtenstarkholz zu treffen, um die wirtschaftliche Bedeutung dieses Holzfehlers abschätzen zu können.

3.2 Hochwertige Produkte aus Fichtenstarkholz

Wie bereits in **2.2** ausgeführt, nimmt der Vorrat an Fichtenstarkholz bei gleich bleibender Nutzung stetig zu, mit weitreichenden Konsequenzen für die Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland. Die Situation wird dadurch verschärft, dass die Nachfrage nach klassischem Bauholz aus Starkholz stark rückläufig ist, da einerseits zunehmend Schnittholz mit kleineren Querschnitten nachgefragt wird und andererseits Schnittholz mit größeren Querschnitten wegen steigender Qualitätsanforderungen durch geklebte Hölzer aus schwächeren Dimensionen ersetzt wird.

Starkholz bietet jedoch dank seiner technologischen Vorteile (höhere Rohdichte und Festigkeit, geringere Rissbildung und Krümmung bei kernfreiem Einschnitt) ein bisher kaum genutztes Potential, hochwertiges Schnittholz zu erzeugen, mit dem die steigenden Anforderungen von Architekten und Bauherren teilweise besser erfüllt werden können als mit Schnittholz aus schwächerem Rundholz (GLOS 1995a).

Wegen des aufwändigeren und damit kostenintensiveren Einschnitts müssen Produkte aus Starkholz, um wettbewerbsfähig zu sein, im Vergleich zu Produkten aus Schwachholz einen deutlichen Mehrerlös erzielen. Dieser kann dem Kunden gegenüber entweder durch bessere optische oder durch bessere mechanische Eigenschaften gerechtfertigt werden. Der Absatz auf dem Markt für optisch hochwertige Produkte stellt preislich eine lukrative Alternative zum üblichen Bauholz dar, ist aber zu gering, um die Masse an Starkholz aufzunehmen. Zudem gibt es für die Rundholzqualitäten, die den hohen Anforderungen für optische Verwendungen genügen, kein Vermarktungsproblem.

Daher werden gemeinsam mit Vertretern der Holzwirtschaft hochwertige Produkte im konstruktiven Holzbau erarbeitet, bei denen das höhere Festigkeitspotential von starkem Fichtenholz eine höhere Wertschöpfung erwarten lässt. Diese Produkte werden aus 12 starken Fichten aus dem Forstamt Kempten eingeschnitten und die Qualität des Schnittholzes wird mit Produkten aus schwächerem Holz verglichen. Um den bisher geäußerten Bedenken der Sägeindustrie Rechnung zu tragen, werden dabei nicht nur die Erdstammstücke, sondern die unteren 20 m des Stammes in die Untersuchungen einbezogen.

Bisherige Untersuchungen beschäftigen sich entweder mit der Rundholzqualität oder der Schnittholzqualität. Hinzu kommt, dass die Anforderungen der hochwertigen Starkholzprodukte an die Rundholzqualität weitgehend unbekannt sind. Daher soll für die 12 Fichten sowohl die Rundholzqualität als auch die Schnittholzqualität erfasst und der Zusammenhang zwischen Rundholzqualität und Produktqualität untersucht werden.

3.3 Hypothesen

Zusammenfassend werden drei Hypothesen formuliert, die auf den Ausführungen in **3.1** und **3.2** basieren.

- Hypothese 1: Die Rundholzqualität von Fichtenstarkholz ist geringer als die Qualität von schwächeren Fichten.
- Hypothese 2: Die Qualität von Schnittholz aus starkem Fichtenholz unterscheidet sich nicht von der Schnittholzqualität schwächerer Fichten.
- Hypothese 3: Die Schnittholzqualität lässt sich nicht durch die Rundholzqualität abschätzen.

4. Stand des Wissens

4.1 Forstwirtschaft und Starkholz

Nach WARTBURG (1971) muss sich die Forstwirtschaft in Mitteleuropa ihrer naturgegebenen Vorteile bewusst werden und diese konsequent ausnützen, um der Konkurrenz auf dem Weltmarkt langfristig gewachsen zu sein. Dazu muss der Qualität der Vorrang vor der reinen Holzmasse eingeräumt werden. Der Autor sieht die Produktion von hochwertigem Stark- und Wertholz, die im kühleren Klima des borealen Nadelwalds nicht möglich ist, als Chance. Gleichzeitig fordert er jedoch die zielbewusste Ausrichtung der Holzverwertung auf jene Holzsortimente. Zwar ist Wertholz nach WARTBURG (1968) nicht wettbewerbsimmun, es ist jedoch in geeigneter Dimension und Qualität „weniger dem Konkurrenzdruck ausgesetzt“. Die Stark- und Wertholzproduktion bietet der „Gesamtwirtschaft evidente Vorteile“ mit realen „Erfolgsmöglichkeiten für Forst- und Holzindustrie“. Jedoch stellt BURSCHEL (1989) fest, dass „die Wertholzproduktion von zu vernachlässigender Größenordnung ist.“ Nach FORNEFELD et al. (2004) liegt der Anteil hochwertiger Nadelholzqualitäten bei 5% bis 15%.

HUSS (1987) betont, dass „Stämme mit geringer Werterwartung bei Zeiten entnommen“ werden müssen, da die Produktion von Starkholz nur lohnt, „wenn es eine gute Qualität hat“. Jedoch ist der Anteil von Holz guter Qualität „durchweg enttäuschend gering“. Die Multifunktionalität der Wälder und die Umstellung auf Naturverjüngung führen zu einer Heraufsetzung der Umtriebszeit und letztendlich zu mehr Starkholz. Das sei auch bei sinkenden Preisen für Starkholz betriebswirtschaftlich günstiger. Wollte man die Umtriebszeit absenken, „würde für eine längere Zeit das vorhandene Starkholz auf den Markt gedrückt.“

SENITZA (1992) hält den Vorschlag, die Umtriebszeit zur Verringerung der Erntedimension abzusenken, zwar innerhalb von 40 Jahren für realisierbar, allerdings würde während dieser Zeit der doppelte Starkholzeinschlag anfallen. Auch ist es fast nicht mehr möglich, zur ursprünglichen Produktionsdauer und der dafür notwendigen Vorratsausstattung zurückzukehren. Darüber hinaus sind die Entwicklungen im Bereich der Holzverwendung und der Holzverarbeitung auf 40 Jahre nicht vorhersehbar. Die geplante Umtriebszeit sollte eingehalten werden, auch wenn das aufgrund des hohen ZE-Anteils nicht immer möglich ist. JÖBSTL (1997) nimmt für Fichten der Stärkeklassen 1a bis 6 vier verschiedene Preissituationen an und berechnet für Umtriebszeiten von 60 bis 150 Jahren den Gesamtdeckungsbeitrag pro Hektar und Jahr. Bei hohen Bonitäten liegt die Umtriebszeit mit dem größten Gesamtdeckungsbeitrag, je nach Preissituation, zwischen 100 und 120 Jahren. Bei schlechter Bonität ist die Umtriebszeit entsprechend länger. Tatsächlich liegt die Umtriebszeit nach SPÖRK (2002) jedoch zwischen 130 und 160 Jahren. JÖBSTL (1997) sieht eine Ursache für die hohen Starkholzvorräte in dieser unplanmäßigen Überalterung. Zwar berücksichtigen diese

Betrachtungen von JÖBSTL (1997) nur Holzpreise, jedoch lässt sich daraus ableiten, dass mit zunehmender Holzqualität längere Umtriebszeiten anzustreben sind.

Nach KLEBES (1991) liefert die Auftrennung des Stammes in Wertholz und Reststammholz im Mittel 16% höhere erntekostenfreie Erlöse als die Langholzaushaltung. Dabei beeinflusst der Radius des astfreien Mantels entscheidend den Erlös. Nach seinen Überlegungen, anhand der Grenzwerte der DIN 4074, soll die Astgröße für die Erzeugung von Brettern und Kanthölzern 4 cm bzw. 5 cm bis 6 cm möglichst nicht überschreiten.

4.2 Sägeindustrie und Starkholz

Laut TRATZMILLER (2001) weisen 46 der 2113 Sägewerke in Deutschland eine Einschnittkapazität von mehr als 100.000 fm pro Jahr auf. Diese Werke schneiden mit 13,7 Millionen fm die Hälfte des Gesamteinschnitts von 27,7 Millionen fm ein. Dagegen schneiden 73% der Sägewerke jährlich weniger als 5.000 fm ein. In Bayern ist die Sägeindustrie traditionell wesentlich kleiner strukturiert. Bayerische Sägewerke sind mit 8.200 fm/Jahr im Mittel deutlich kleiner als der durchschnittliche Betrieb in Deutschland (19.000 fm/Jahr). Auch liefern Betriebe mit mehr als 100.000 fm/Jahr in Deutschland 59% des Gesamteinschnitts, dagegen sind es in Bayern nur 38%.

Besonders deutlich wird die Kleinstrukturierung der bayerischen Sägeindustrie beim Vergleich mit Baden-Württemberg. Nach MANTAU et al. (2003) wurden in Deutschland im Jahr 2000 aus 29,2 Millionen fm Nadelrundholz 17,8 Millionen m³ Schnittholz erzeugt. Das entspricht einer durchschnittlichen Ausbeute von 61%. Mehr als die Hälfte des Rundholzes (16,6 Millionen fm) wurde dabei in Süddeutschland eingeschnitten. In den 539 Betrieben in Baden-Württemberg, die Nadelholz verarbeiten (Nadelholz- und Mischbetriebe), wurden durchschnittlich 16.600 fm/Jahr (100%) eingeschnitten, in den 1.309 bayerischen Sägewerken waren es 5.820 fm/Jahr (36%).

Nach FUNK (2002) schneiden in Deutschland 94 Betriebe, mit einer Einschnittkapazität von jeweils mehr als 50.000 fm, zwei Drittel des Schnittholzes ein. Die Starkholzsortimente L4 bis L6 werden zu 80% von kleinen und mittleren Betrieben (bis 50.000 fm/Jahr) eingeschnitten, deren Anteil jedoch weiter schrumpft. Diese besitzen vorwiegend Gatteranlagen, je nach Betriebsgröße liegt deren Anteil zwischen 81% und 98% (TRATZMILLER, 2001). Blockbandsägen besitzen knapp ein Fünftel der Betriebe⁴; erst ab einer Größe von mehr als 20.000 fm/Jahr steigt deren Anteil auf 43%. In größeren Sägewerken, die kaum Starkholz verarbeiten, dominiert bis 100.000 fm/Jahr die Spanertechnik (63% der Werke), in größeren Werken kommt hauptsächlich Profiliertechnik zum Einsatz. FRONIUS (1987) stellt die gängigen Einschnittstechniken für Starkholz vor.

⁴ Mehrfachnennungen möglich

Die Einschnittskosten pro Festmeter belaufen sich nach FUNK (2002) bei Spaneranlagen auf 27 €/fm, bei Gattersägen auf 43 €/fm und bei Bandsägen auf 54 €/fm (**Tab. 5**). Durch Kombination von Band- und Kreissägetechnik lässt sich Starkholz zwar kostengünstiger einschneiden, dennoch benötigen Starkholzsägewerke auf Grund der Einschnitttechnik höhere Erlöse. Diese lassen sich nur mit höherwertigen Produkten erzielen.

Tab. 5: Kenngrößen wichtiger Einschnitt-Technologien nach FUNK (2002)

Einschnitt technologie	Zopf [cm o. R.]	Ausbeute [%]	Einschnittkosten	
			[€/fm]	[%]
Spaner	11 bis 40	56	27	100
Sägegatter	20 bis 70	58	43	159
Blockbandsäge	40 bis 130	65	54	200

Kleinen Sägewerken (bis 20.000 fm/Jahr) fehlt es laut TRATZMILLER (2001) häufig an Rundholzsortier-, Trocknungs- und leistungsfähigen Hobelmöglichkeiten. Mittlere Sägewerke (bis 80.000 fm/Jahr) haben gegenüber großen Betrieben Kostennachteile, gegenüber kleinen Sägewerken einen relativ hohen Verwaltungsaufwand und sind, vor allem bei kleinen Auftragsgrößen, nicht so flexibel. Sowohl kleine als auch mittlere Sägewerke haben eine geringe Verarbeitungstiefe und sind daher relativ stark vom Bauholz (Vollholz) und damit von der Baukonjunktur abhängig. Die Substitution des traditionellen Bauholzes durch Konstruktionsvollholz oder verklebte Produkte (z. B. BSH, Duo-/Triolam) trifft die Starkholzsäger zusätzlich.

4.3 Qualität von starkem Fichtenrundholz

KRENN et al. (1992a) stellen an 45% der Rundholzabschnitte Kernrisse fest, die sich jedoch kaum auf die Sortierung des Schnittholzes auswirken. Die Autoren sehen kein besonderes Risiko beim Einschnitt von Starkholz, jedoch scheint ihnen eine Risikoprämie bei inneren Holzfehlern zum Teil berechtigt. Für TEISCHINGER (2002a) stellen Kernrisse, versteckte Kernfäulen und die Grobastigkeit den größten Nachteil von Fichtenstarkholz dar. Dagegen liegen Vorteile in großen astfreien Bereichen, längeren Holzfasern und einem geringen Altersdrehwuchs.

Nach BECKER et al. (1988) „ist die Qualität starken Holzes heute häufig weniger gut, als dies die Forstwirtschaft unterstelle - mindestens aber sei das Risiko verborgener Qualitätsmängel im starken Stamm ungleich höher.“ Der Verband der deutschen Säge- und Holzindustrie veröffentlichte 2002 ein Positionspapier zum Thema Starkholz-Nutzung (VDS 2002). Darin beklagt der Verband die geringere Ausbeute von Starkholz gegenüber Schwachholz auf Grund von starken Ästen, Abholzigkeit, Harzgallen, Kernrissen und versteckten Fäulen.

4.4 Holzeigenschaften von Fichtenstarkholz

Für unterschiedliche Herkünfte in Bayern zeigen GLOS und TRATZMILLER (1996b), GLOS und AUKOFER (1999) sowie GLOS et al. (1999), dass die Astigkeit des Schnittholzes mit zunehmender Entfernung von der Markröhre abnimmt. Die Astigkeit der äußeren Kanthölzer (DEK) war im Mittel um 0,06 bis 0,09 (18% bis 26%) geringer als im Stamminneren. Bei Brettern war die Abnahme auf Grund der abweichenden Messung der Äste (DIN 4074) deutlicher. Die Bretter aus dem äußeren Stammbereich hatten im Mittel eine um 0,22 bis 0,26 geringere Astigkeit (DAB). Das entspricht einer mittleren Abnahme von 47% bis 59%. PERSTORPER et al. (1995a) zeigen an 28 starken Fichten aus Schweden, dass die Astigkeit des Schnittholzes (KAR) mit zunehmender Entfernung von der Markröhre im Mittel um 0,10 (32%) abnimmt. Zwar werden die Äste vom Mark zur Rinde größer, doch nimmt auch die Wahrscheinlichkeit ab, dass ein Ast durch den Querschnitt verläuft.

Die Rohdichte nimmt mit zunehmender Entfernung von der Markröhre zu. Bei GLOS und TRATZMILLER (1996b), GLOS et al. (1999) sowie AUKOFER und GLOS (2000), ist die Rohdichte außen im Mittel um etwa 27 kg/m^3 bis 45 kg/m^3 , somit 6% bis 10%, höher als im Stamminneren. KUFNER (1985) bemerkt an fehlerfreien Kleinproben einer Fichte mit BHD 73 eine Zunahme vom 40. zum 161. Jahrring um 78 kg/m^3 oder 21%. Bei 10 starken Fichten aus dem Frankenwald stellt BUES (1996) im Mittel eine Zunahme der Rohdichte vom Alter 0-20 bis zum Alter 81-100 von 103 kg/m^3 (25%) fest. Bei 28 Fichten aus Schweden nimmt die Rohdichte laut PERSTORPER et al. (1995a) vom Mark zur Rinde im Mittel um 50 kg/m^3 (14%) zu.

Auf Grund der geringeren Astigkeit des Schnittholzes bei gleichzeitig höherer Rohdichte, steigen sowohl die Steifigkeit als auch die Biegefestigkeit mit zunehmender Entfernung von der Markröhre. Der Biege-E-Modul nimmt bei 5 m langem Schnittholz laut GLOS und TRATZMILLER (1996b), GLOS und AUKOFER (1999), GLOS et al. (1999) im Mittel um 15% bis 17% (1.500 N/mm^2 bis 2.000 N/mm^2) zu. Die Biegefestigkeit steigt bei den oben genannten Autoren vom Stamminneren nach außen im Mittel um $5,3 \text{ N/mm}^2$ bis $9,3 \text{ N/mm}^2$. Das entspricht einer Zunahme von 13% bis 22%. Laut KUFNER (1985) nimmt an fehlerfreien Kleinproben einer Fichte der Zug-E-Modul vom 40. zum 161. Jahrring im Mittel um 2.500 N/mm^2 (21%) und die Zugfestigkeit um 43 N/mm^2 (54%) zu. LARSSON et al. (1998) zeigen, dass Schnittholz aus dem äußeren Stammbereich gegenüber marknahem Holz eine höhere Biegesteifigkeit und Biegefestigkeit besitzt.

Laut PERSTORPER et al. (1995b) ist Schnittholz nahe der Markröhre häufiger und stärker verdreht und längsgekrümmt (in Richtung der Schnittholzbreite) als weiter außen im Stamm. Zum gleichen Ergebnis kommen Studien von KLOOT und PAGE (1959), HALLOCK (1965) und DANBORG (1991). Hinsichtlich der Längskrümmung in Richtung der Schnittholzdicke stellen PERSTORPER et al. (1995b), HALLOCK (1965) und KLIGER et al. (2003) keinen signifikanten Unterschied zwischen marknah und markfern gewonnenem Schnittholz fest. Dagegen

zeigen Untersuchungen von HALLOCK und MALCOLM (1972) und DANBORG (1991) eine geringere Längskrümmung in Richtung der Dicke im äußeren Stammbereich. Nach GLOS (1995a) verdrehen sich markhaltige Kanthölzer bei gleicher Faserabweichung stärker als kernfreie. Darüber hinaus weisen kernfreie Kanthölzer etwa 30% weniger und kleinere Trocknungsrisse auf. Zusätzlich sind nur halb so viele kritische Risse vorhanden wie bei markhaltigen Kanthölzern (GLOS und RICHTER 2002).

4.5 Schnittholzsortierung

„Da die Eigenschaftswerte von Holz als einem Naturprodukt mehr streuen als bei industriell erzeugten Werkstoffen ..., muß daher eine nachträgliche Auslese durch Sortieren erfolgen“ (KUFNER 1977). In zahlreichen Arbeiten wurden die wesentlichen Einflüsse auf die Biege-Festigkeit von Schnittholz untersucht. Nach GLOS (1995b) lässt sich die Biege-Festigkeit am besten mit einer Kombination aus Steifigkeit, Rohdichte und Astigkeit anschätzen ($R^2 = 0,55 \dots 0,80$). Die Astigkeit allein kann die Festigkeit nur zu 15% bis 35% erklären ($R^2 = 0,15 \dots 0,35$). Mit den sich daraus ergebenden Unterschieden zwischen visueller und maschineller Schnittholzsortierung beschäftigen sich unter anderem KUFNER (1977), GLOS und Schulz (1980), SCHICKHOFER et al. (1997) sowie BLASS und FRESE (2004). Die Untersuchung von KESSEL und SANDOZ (1989) an 132 Kantholzbalken zeigt, dass die visuellen Sortiernormen aus Österreich, der Schweiz und Deutschland bezüglich Trennschärfe, Handhabung, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit wenig effizient sind. Das angestrebte Ziel einer visuellen Sortierung in Festigkeitsklassen wurde nicht erreicht. Auch GLOS (1983) hält die Qualität der visuellen Sortierung von vornherein für begrenzt.

Für Fichtenstarkholz vergleichen GLOS und TRATZMILLER (1996b) und GLOS und AUKOFER (1999) die Ausbeute der visuellen mit der maschinellen Sortierung. In beiden Untersuchungen ist die Ausbeute in der besten Sortierklasse (S13) bei maschineller Sortierung etwa 13% höher als bei visueller Sortierung. Bei GLOS et al. (1999) wird maschinell 18% mehr Schnittholz in S13 sortiert. GLOS und AUKOFER (1999) vergleichen zusätzlich die Ausbeute im inneren Stammbereich (0 - 50 mm Markabstand) mit der im äußeren Stammbereich (151 - 200 mm Markabstand). Dabei war die Ausbeute in S13 außen stets größer als innen. Der Unterschied beträgt bei visueller Sortierung 16% bei maschineller Sortierung 36%. Die Autoren schließen daraus, dass gerade der markferne Bereich des Starkholzes von einer maschinellen Sortierung profitieren kann. In Österreich zeigen KRENN et al. (1992b) an 164 Starkholzblochen, dass die Seitenware einen deutlich höheren Anteil in den guten Klassen 0 bis II nach den Österreichischen Handelsusancen (ÖHHU) aufweist als die marknah erzeugte Hauptware.

4.6 Zusammenhang zwischen Rundholz- und Schnittholzqualität

Nach MAYER-WEGELIN (1963) hängt die Schnittholzqualität „... von der Rundholzbeschaffenheit, daneben aber auch von der Art des Einschnitts und von der anschließenden Schnittholzbehandlung ab.“ Ein Nachweis anhand einer konkreten Untersuchung erfolgt jedoch nicht. Der Autor führt weiter aus, dass die Festigkeitssortierung von Schnittholz, bei breiter Anwendung in der Praxis, für die Beurteilung der Rundholzbeschaffenheit beachtliche Konsequenzen hätte.

Anhand von drei starken Fichten beschreibt LIPPEMEIER (1977) die Beziehungen zwischen der Lage der Äste im Stammquerschnitt und der Güteklasse des Schnittholzes nach den „Tegernseer Gebräuchen“. Da abgestorbene Äste bei dieser Sortierung deutlich kritischer bewertet werden, wird das Schnittholz aus dem äußeren Stammbereich schlechter eingestuft als bei einer Festigkeitssortierung nach DIN 4074. „Trotz vieler Zusammenhänge ... können aber weder Forstmann, Säger noch Holzkäufer die zu erwartende mittlere Schnittholzqualität eines Stammes schon am stehenden Stamm mit Sicherheit beurteilen.“

MAHLER et al (1991) stellen einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Rundholz- und der Schnittholzqualität fest. Die Autoren vergleichen für 2.300 Efm o. R. Fichtenholz die Rundholzausbeute in fünf selbst gewählten Gütestufen mit der Ausbeute der Schnittholzsortierung nach den Tegernseer Gebräuchen. Eine einzelbaumweise Betrachtung unterbleibt. Darüber hinaus zeigen die Autoren die Entwicklungen bei der Bewertung und der Verwendung von Fichten- und Tannenstarkholz der letzten 200 Jahre auf.

KRENN et al. (1992b) vergleichen die Rundholzeigenschaften und die Schnittholzqualität am Erdstamm und dem folgenden Bloch von 100 starken Fichten. Entscheidend für die Einstufung des Schnittholzes sind die Rundholzmerkmale Reaktionsholz und nicht verwachsene Äste. PETUTSCHNIGG und KATZ (2005) entwickelten für die Lärche ein Modell zur Vorhersage der Schnittholzqualität in Abhängigkeit der Rundholzqualität. Wesentliche Einflussgröße ist dabei das gemeinsame Auftreten von Krümmung und Verfärbung am Rundholz. Jedoch ist es den Autoren nicht möglich, allgemeingültige Aussagen über den Zusammenhang von Rundholz- und Schnittholzqualität zu treffen. BECKER et al. (1988) zeigen an 34 Rundholzabschnitten von starken Fichten und Tannen, dass sich Verfärbungen, Rotfäule und Insektenfraß im Schnittholz mit relativ großer Sicherheit schon am Rundholz prognostizieren lassen.

HECKER et al. (2000) untersuchten in Schweden, England und Deutschland den Zusammenhang zwischen der nationalen sowie der europäischen Rundholzsortierung mit den Ausbeuten einer visuellen Festigkeitssortierung von Schnittholz (DIN 4074, Trävaruschemat). Weder eine Rundholzsortierung nach nationalen Normen noch nach der europäischen Vornorm (ENV 1927-1) ermöglichen eine hinreichend genaue Prognose der Festigkeit des Schnittholzes. Um das forstliche Angebot stärker an der Verwendung zu orientieren, fordern die Auto-

ren eine sorgfältige und noch handhabbare Rundholzsortierung. Vergleiche zwischen einer Sortierung von Rundholz nach HKS und ENV 1927-1 finden sich auch bei WALTER et al. (1997), RITTER (1998) und WEIDNER et al. (1999, 2000).

Im Hinblick auf die spätere Festigkeitssortierung des Schnittholzes beobachten ROSS et al. (1997) an 193 Rundholzabschnitten nordamerikanischer Fichten- und Tannen einen engen Zusammenhang zwischen dem E-Modul der Abschnitte und der durchschnittlichen Steifigkeit des Schnittholzes. Das Bestimmtheitsmaß beträgt für Fichte 0,82.

4.7 Empfehlungen für die Vermarktung von Fichtenstarkholz

SENITZA (1992), ADLER et al. (2001), TEISCHINGER (2002b) und FORNEFELD et al. (2004) beschäftigen sich mit den Möglichkeiten, die Absatzpotentiale für heimisches Nadelstarkholz zu erhöhen. Dazu sind nach Ansicht der Autoren alle Marktpartner aufgefordert, die Wertschöpfungskette für Starkholz zu optimieren. Verbesserungspotentiale werden in den Bereichen Produktion, Markt- und Produktentwicklung sowie bei Logistik und Marketing gesehen. ADLER et al. (2001) betonen die Notwendigkeit eines wesentlich verbesserten Informationsflusses in der gesamten Vermarktungskette. Auch FORNEFELD et al. (2004) sehen Potential an den Schnittstellen der Wertschöpfungskette.

Verwendungsmöglichkeiten von hochwertigen Produkten sind laut ADLER et al. (2001) im konstruktiven Holzbau für Balken mit schlanken Querschnitten und Lamellen für Brettschichtholz gegeben. FORNEFELD et al. (2004) erkennen darüber hinaus Absatzchancen von Thermoholz sowie Produktsystemen für das Bauen im Bestand. Die Autoren räumen jedoch ein, dass gerade Produkte aus Massenware und geringer Qualität fehlen. Das bestätigt auch SENITZA (1992), der ferner ein differenzierteres Angebot von Rund- und Schnittholz fordert, wobei die Anforderungen der Kunden (Sägeindustrie, Architekten und Bauherren) verstärkt zu berücksichtigen sind.

TEISCHINGER (2002b) empfiehlt ein über die gesamte Wertschöpfungskette reichendes Logistik- und Marketingkonzept wie es bereits im Agrarbereich erfolgreich angewandt wird. Dabei sollte beim Starkholz besonderer Wert auf das Ökosystem Wald, die naturnahe Forstwirtschaft und auf die landeskulturelle Bedeutung strukturierter Wälder gelegt werden. Nach SENITZA (1992) und FORNEFELD et al. (2004) muss ein Marketingkonzept dem Kunden die Vorteile von Produkten aus Starkholz gegenüber solchen aus Schwachholz und Konkurrenzbaustoffen vermitteln und die Bedürfnisse der Kunden nach hochwertigen Produkten wecken. ADLER et al. (2001) geben Handlungsempfehlungen, um die vorliegenden Kenntnisse über Starkholz besser umzusetzen und Hemmnisse bei der Holzverwendung abzubauen.

Sollten die oben genannten Maßnahmen nicht erfolgreich sein, sehen FORNEFELD et al. (2004) die Wertschöpfungskette Forstwirtschaft - Sägeindustrie - Veredelungsindustrie - Bauwirtschaft im Bereich Starkholz gefährdet, mit drastischen Folgen für den Arbeitsmarkt.

5. Untersuchungsmaterial

5.1 Beteiligte Forstämter und Sägewerke

Für die Analyse der Rundholzqualität (3.1) wurden in den Hauptwuchsgebieten der Fichte in Bayern Forstämter mit hohen Starkholzvorräten ausgewählt (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN; 2001). In Baden-Württemberg wurde auf Grund einer Empfehlung der „Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg“ in Freiburg das Forstamt Kandern gewählt. Die geographische Lage der Entnahmestandorte kann **Abb. 1** entnommen werden. **Tab. 6** enthält die Zuordnung der Forstämter zu den Wuchsgebieten.

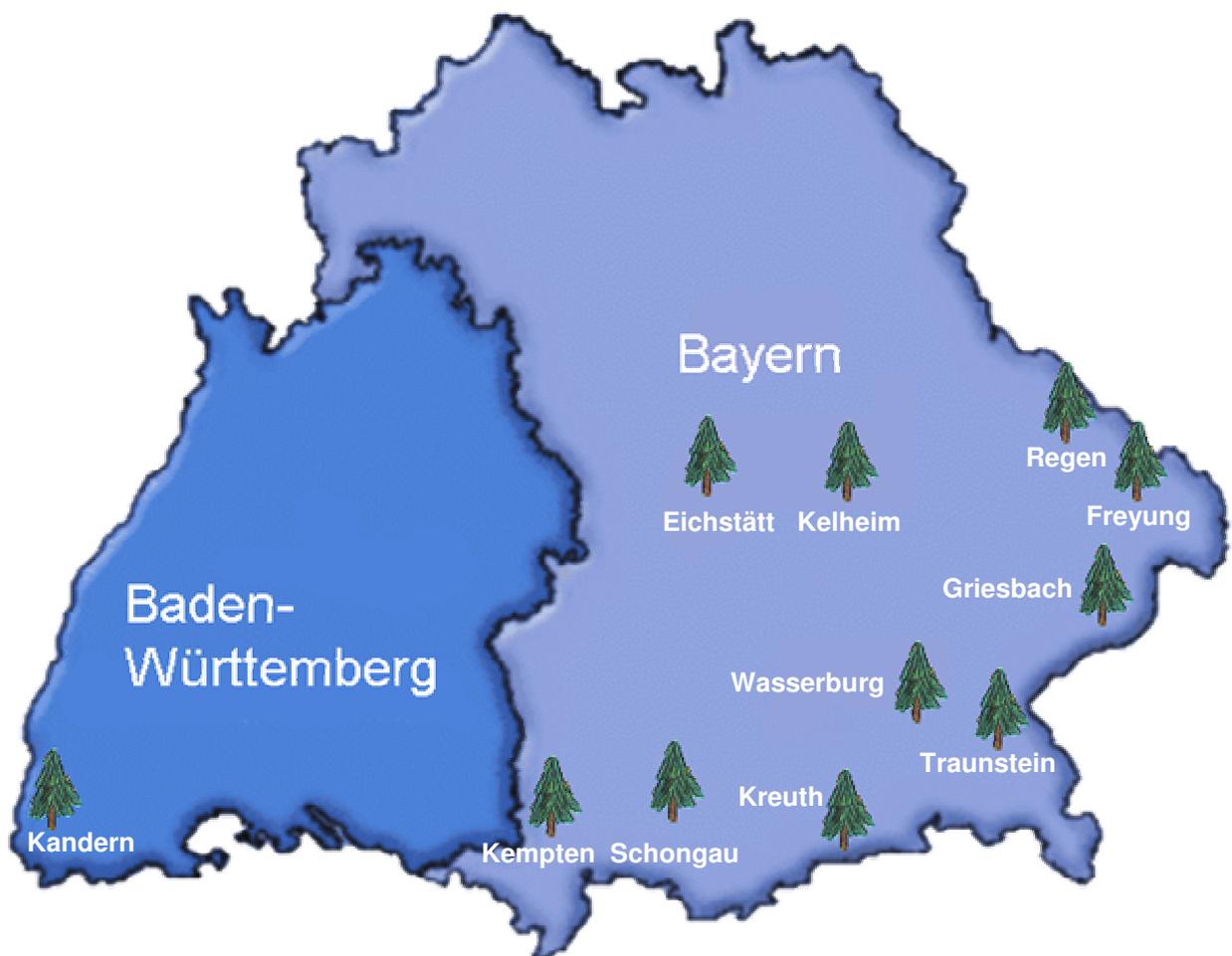


Abb. 1: Beteiligte Forstämter in Bayern und Baden-Württemberg

Tab. 6: Beteiligte Forstämter in Bayern und Baden-Württemberg

Süddeutsche Länder	Wuchsgebiete	Forstamt
Bayern	6	Eichstätt, Kelheim
	11	Regen, Freyung
	12	Griesbach
	13 / 14	Wasserburg/Obb., Traunstein
	14	Kempton, Schongau
	14 / 15	Kreuth
Baden-Württemberg	BW 1 / BW 2	Kandern

6 Frankenalb und Oberpfälzer Jura

11 Bayerischer Wald

12 Tertiäres Hügelland

13 Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten- und
Altmoränenlandschaft

14 Schwäbisch-Bayerische Jung-
moräne und Molassevorberge

15 Bayerische Alpen

BW 1 Schwarzwald

BW 2 Oberrheinisches Tiefland

Für die Untersuchung über die Häufigkeit und wirtschaftliche Bedeutung von Kernrissen (**3.1**) wurden zwei Sägewerke ausgewählt, die Fichtenstarkholz aus den Hauptwuchsgebieten der Fichte in Bayern einschneiden. Sägewerk A in Oberbayern verfügt über ein Sägegatter und schneidet vorwiegend Bauholz ein; Sägewerk B in Niederbayern erzeugt mittels Bandsäge Schnittholz für den Ausbau- und Innenausbereich. Der Hauptteil der Untersuchung fand in den beiden Sägewerken A und B statt. Sägewerk C in der Oberpfalz wurde nachträglich in die Untersuchung aufgenommen, nachdem bekannt wurde, dass in diesem Sägewerk an 40 m³ Blochware aus einer Submission ungewöhnlich große Risse aufgetreten waren.

Um hochwertige Produkte aus Fichtenstarkholz zu identifizieren (**3.2**), wurden Interviews mit sechs Besitzern von Starkholzsägewerken sowie den Mitarbeitern einer großen bayerischen Holzhandelsfirma geführt (**5.4**). Das Forstamt Kempton stellte 12 Fichten zur Verfügung. Im Sägewerk Josef Haggenmüller oHG in Wiggensbach wurde das Rundholz bewertet und eingeschnitten. Die Weiterbearbeitung sowie die Schnittholzsortierung fanden im Säge- und Hobelwerk Waltenhofen GmbH statt.

5.2 Auswahl der Prohebäume und der Rundholzabschnitte

Die 55 repräsentativen Fichtenstarkholzstämme, deren Rundholzqualität analysiert wurde (**3.1**), stammen aus 11 Forstämtern in den Hauptwuchsgebieten in Bayern und Baden-Württemberg. Dabei wurden aus laufenden Hieben auf unterschiedlichen Standorten je 5 Bäume pro Forstamt ab Mittenstärkensortierung 4a bzw. Heilbronner-Sortierung H6 entnommen. Innerhalb des Hiebes wurden sehr hochwertige Stämme (HKS A) sowie solche mit außen sichtbaren Sekundärschäden ausgeschlossen. Aus dem restlichen Kollektiv wurde systematisch jeder fünfte Baum ausgewählt.

Bei der Untersuchung von Kernrissen (**3.1**) wurden auf den Rundholzlagerplätzen der Sägewerke A und B bis zu einer Stapelhöhe von 2,50 m alle Rundholzabschnitte ab einem Durchmesser von ca. 40 cm am stärkeren Ende ausgewählt. Dieser Grenzdurchmesser wurde gewählt, um die am Starkholz vorhandenen Risse mit denen an schwächerem Holz vergleichen zu können. Die Holzqualität der Abschnitte war kein Auswahlkriterium. Insgesamt wurden 1712 Rundholzabschnitte, davon 1149 im Sägewerk A und 563 im Sägewerk B, aufgenommen.

Die 12 Fichten, die zu hochwertigen Produkten eingeschnitten wurden (**3.2**), stammen aus dem Forstamt Kempten, der größte Teil aus dem Revier Wegscheidel. Zwei Bäume befanden sich bereits auf dem Polter des Sägewerks Haggenmüller, die restlichen 10 wurden an zwei Terminen gemeinsam mit dem Revierleiter im Bestand ausgewählt. Damit die Stämme zum Starkholz gerechnet werden, musste ihr Brusthöhendurchmesser (BHD) mehr als 48 cm betragen. Der Revierleiter teilte die stehenden Bäume nach der Handelsklassensortierung (HKS) in Qualitätsklassen ein. Um die notwendige Differenzierung der Rundholzqualität zu erreichen, wurden zu etwa gleichen Teilen Bäume von besserer B-Qualität bis besserer C-Qualität nach HKS ausgewählt. Kernfäule, die erst am Fällschnitt sichtbar war, wurde ausgeschlossen (Sortierklasse D), um den späteren Vergleich zwischen innerem und äußerem Stammbereich, vor allem hinsichtlich der Rohdichte und des E-Moduls, nicht zu verfälschen. Stämme mit außen sichtbaren Sekundärschäden wurden nicht in die Untersuchung einbezogen. Die Bäume wurden von Waldarbeitern des Forstamts gefällt. Die Stämme wurden je nach Stärke des Baumes in drei bis vier je 5 m lange Abschnitte aufgeteilt, die mit einer Nummer für den Baum und den Abschnitt versehen wurden. Nach dem Transport ins Sägewerk wurden die Abschnitte unverzüglich entrindet.

5.3 Entnahme und Behandlung der Prüfkörper

Aus jedem der 55 Probestämme (3.1) wurden vier astfreie Stammscheiben und zur Bestimmung der inneren Astigkeit drei Abschnitte mit je einem Astquirl entnommen. Die unterste Scheibe wurde bei 1,30 m auf Höhe des BHD entnommen. In Abständen von 4 bis 5 m wurden anschließend drei weitere ca. 10 cm dicke Stammscheiben sowie je ein Stammabschnitt mit Astquirl entnommen. Die je nach Aushaltung zwischen 4,10 m und 5,10 m langen drei unteren Rundholzabschnitte wurden nach ENV 1927-1 sortiert (6.3.1) und durch das Forstamt vermarktet (Abb. 2).

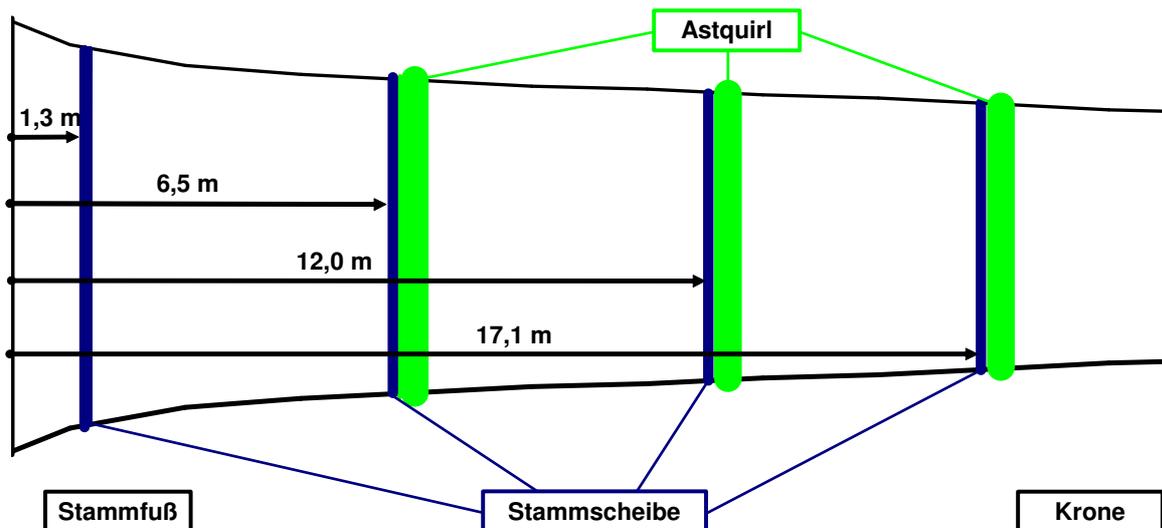


Abb. 2: Skizze des liegenden Stammes: Entnahme der Probekörper

Die astfreien Stammscheiben wurden mit einem Entlastungsschnitt⁵ versehen, im Holztrockner (Lauber MB 4000) auf 12% Holzfeuchte getrocknet und im Anschluss auf der Oberseite für die Jahrringanalyse fein geschliffen. Für die Bestimmung der Rohdichte wurden aus der untersten und obersten Stammscheibe eines Baumes in den vier Haupthimmelsrichtungen radial je vier Probestreifen mit einem Querschnitt von 2 x 2 cm herausgesägt und diese, ausgehend vom äußersten Jahrring, in 4 cm lange Klötzchen gespalten. Die verbliebenen Scheibensegmente wurden entlang eines Durchmessers von NO nach SW gespalten. Die Abschnitte mit Astquirl wurden so aufgesägt, dass alle erkennbaren Äste, von der Markröhre ausgehend, sichtbar waren.

⁵ Radialer Schnitt, um Trocknungsrisse in den Stammscheiben zu vermeiden

5.4 Identifikation hochwertiger Produkte aus Starkholz

Um hochwertige Produkte für den Einsatz im konstruktiven Holzbau zu identifizieren, wurden sechs Besitzer von Starkholzsägewerken in Bayern und Baden-Württemberg interviewt. Sie beantworteten Fragen nach der Rundholzbeschaffung (Baumarten, Kurz- oder Langholz), deren Qualitätskriterien, der vorhandenen Sägewerkstechnik, deren Produkten und den Preisen für das Rund- und das Schnittholz. Die Sägewerksbesitzer nannten darüber hinaus Probleme und schätzten die zukünftige Entwicklung ihrer Unternehmen und des Forst-Holz-Sektors ein. Die Auswertung dieser Gespräche ergab im Wesentlichen drei Produktgruppen, bei denen eine höhere Festigkeit des Starkholzes nutzbar sein kann. Das sind als Hauptprodukte Lamellen für Brettschichtholz und Kanthölzer für Konstruktionsvollholz (KVH), insbesondere kernfrei eingeschnittene Kernhölzer für einen Einsatz im sichtbaren Bereich (KVHsi) und als Nebenprodukt Dachlatten, vor allem aus der Seitenware.

Darüber hinaus entstand bei den Gesprächen Kontakt zum Holzforum Allgäu sowie zu Herrn Peter Fickler und Herrn Josef Haggenmüller, zwei Inhabern von Starkholzsägewerken im Raum Kempten, bei denen die Untersuchung zu hochwertigen Produkten aus Starkholz durchgeführt werden konnte.

Nach einem weiteren Gespräch mit Mitarbeitern einer großen bayerischen Holzhandelsfirma wurden vier Schnittholzquerschnitte festgelegt (**Tab. 7 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Diese Produktgruppen kommen auch den Vorschlägen von ADLER et al. (2001) nahe, die überdurchschnittliche Tragfähigkeit von Starkholz für hochwertige Lamellen für Brettschichtholz sowie für Kanthölzer, auch für sichtbare Verwendungen, zu nutzen. Die Autoren betonen die Bedeutung von kernfrei eingeschnittenem, getrocknetem und gehobeltem Bauschnittholz, um den steigenden Qualitätsanforderungen gerecht zu werden.

Tab. 7: Produktgruppen und Schnittholzquerschnitte

Produktgruppe	Querschnitte [mm]
Dachlatten	40 x 60
Lamellen für Brettschichtholz	40 x 160
Konstruktionsvollholz	60 x 120 / 80 x 180

5.5 Einschnitt, Trocknen und Hobeln

Im Rahmen der Untersuchung zur Häufigkeit von Kernrissen (**3.1**) wurden insgesamt 195 der 1712 Rundholzabschnitte eingeschnitten. Im Sägewerk A wurden auftragsbedingt aus 82 Abschnitten Kanthölzer mit einem Querschnitt von 13 x 16 cm und aus 91 Abschnitten Kanthölzer mit 16 x 18 cm eingeschnitten (**Abb. 3** links). Im Sägewerk B wurde an 22 Rundholzabschnitten der marknahe Bereich speziell für die vorliegende Untersuchung in 3 cm dicke Bretter aufgetrennt (**Abb. 3** rechts).

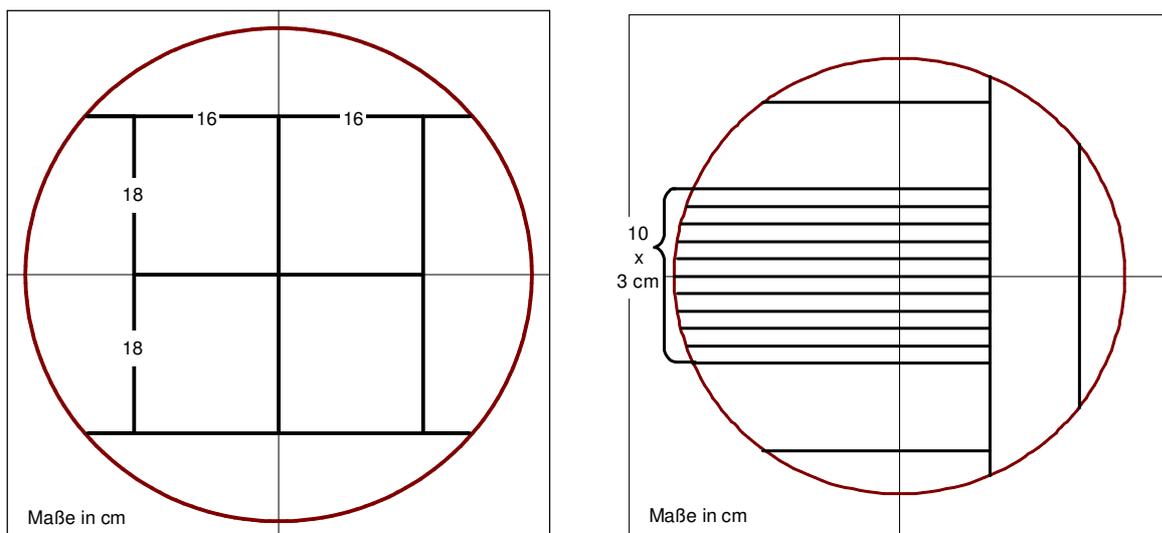


Abb. 3: Einschnittmuster im Sägewerk A (links) und im Sägewerk B (rechts)

Innerhalb der Untersuchung zu hochwertigen Starkholzprodukten (**3.2**) wurden drei Einschnitte mit je 4 Bäumen und anschließender Zwischenauswertung geplant, um gemeinsam mit den Partnern flexibel auf die Ergebnisse reagieren zu können. Der Einschnitt erfolgte systematisch, d. h. aus einem Rundholzabschnitt wurde jeweils nur ein Schnittholzquerschnitt erzeugt. Das ermöglicht zum einen die Vergleichbarkeit von innerem und äußerem Stammbereich und damit erst Aussagen über Starkholz im Vergleich zu schwächerem Holz, zum anderen ermöglicht es die Zuordnung der Rundholzqualität zur Schnittholzausbeute.

Der systematische Einschnitt erfolgte im Sägewerk Josef Haggemüller mit einer Bandsäge. Dabei wurde für die Holzrocknung ein Übermaß von 5% und für das Hobeln von 2 mm je Seite gewählt. Nachdem der Abschnitt auf dem Wagen fixiert und die Lage des Bezugsradius (**6.3.4**) erfasst war, wurde das Rundholz in Bohlen aufgeteilt, aus denen das jeweilige Schnittholzprodukt erzeugt wurde. Der Sägenführer legte den ersten Schnitt so, dass alle Produkte scharfkantig waren und die erste Bohle möglichst weit außen lag. Zusätzlich wurde darauf geachtet, von welcher Seite der Bohle mit dem Auftrennen begonnen wurde. Dadurch kann jedem Schnittholz eine eindeutige Position im Stammquerschnitt zugeordnet werden. Auf einer Skizze des Zopfquerschnitts wurde neben der Lage des Bezugsradius auch die

Position der Bohlen, der Schnitthölzer und der Markröhre vermerkt. Die Schnitthölzer wurden am Zopfende mit einer Nummer versehen. Diese setzt sich aus einer Zahl für den Baum, den Abschnitt, die Bohle und das Produkt innerhalb der Bohle zusammen. Die Dachlatten wurden aus Platzgründen auf der Breitseite nummeriert.

Insgesamt wurden 44 Abschnitte eingeschnitten, und zwar 8 Fichten mit je 4 Abschnitten und 4 Fichten mit je 3 Abschnitten. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich innerhalb einer Produktgruppe die verwendeten Rundholzabschnitte in der Anzahl der Äste und dem Astdurchmesser am Stammmantel unterscheiden. **Tab. 8** enthält die Anzahl der Fichten und der Rundholzabschnitte sowie die Menge des daraus erzeugten Schnittholzes. Aus 65,7 m³ Rundholz wurden 36,6 m³ Schnittholz erzeugt. Die relativ geringe Ausbeute von 55,7% ist auf den systematischen Einschnitt zurückzuführen. Die Ausbeute war bei den Dachlatten mit 75% am höchsten und mit 43% bei den Lamellen und großen Kanthölzern am niedrigsten.

Tab. 8: Anzahl der Fichten und der Abschnitte sowie die Menge des daraus erzeugten Schnittholzes

Schnittholz-querschnitt [mm]	Anzahl Fichten [Stück]	Anzahl Abschnitte [Stück]	Anzahl Schnittholz [Stück]
40 x 60	2	7	704
40 x 160	3	11	283
60 x 120	4	15	296
80 x 180	3	11	107

Das Schnittholz wurde mit Leisten luftig gestapelt und zum Säge- und Hobelwerk Waltenhofen transportiert. Dort wurden die Lamellen und Kanthölzer in einer Kammer schonend auf Holzfeuchten von 15 ± 3% getrocknet und anschließend auf den endgültigen Querschnitt gehobelt. Die Dachlatten wurden ausschließlich luftgetrocknet.

6. Untersuchungsmethoden

Für die Analyse der Holzqualität (3.1) wurden Untersuchungen an 55 Bäumen (6.1) durchgeführt. Die Aufnahmen im Bestand waren relativ umfangreich, um eventuell auftretende Ausreißer erklären zu können und um nachzuweisen, dass es sich um durchschnittliche Bestände und damit repräsentative Probestämme handelt. Da mit der einmal durchgeführten Aufnahme nur die momentane Situation der Bestände erfasst wurde, werden die Bestandesdaten zwar dokumentiert, jedoch nicht mit der Rundholz- und Schnittholzqualität von Fichtenstarkholz verknüpft. Die Untersuchungen an 220 Stammscheiben und 165 Astquirlen (6.2) dienen ebenfalls der Analyse der Rundholzqualität.

Die Häufigkeit von Kernrissen (3.1) wurde sowohl an 1712 Rundholzabschnitten (6.3.3) als auch an Schnittholz von 195 Rundholzabschnitten (6.4.1) untersucht.

Um die Eignung von Fichtenstarkholz für die Erzeugung hochwertiger Produkte und deren Anforderungen an die Rundholzqualität (3.2) festzustellen, wurden an 44 Rundholzabschnitten, neben anderen Merkmalen, alle am Stammmantel sichtbaren Äste (6.3.4) erfasst sowie das Schnittholz visuell und maschinell nach DIN 4074 sortiert (6.4.2.1, 6.4.2.2).

6.1 Untersuchungen an Bäumen

6.1.1 Brusthöhendurchmesser, Länge und Volumen

Am stehenden Baum wurde der BHD mit einem Umfangmessband aufgenommen und seine Position für die Messungen am liegenden Stamm markiert. Der Baum wurde im Norden markiert und mit einer Nummer, bestehend aus einer Zahl für das jeweilige Forstamt und einer für den jeweiligen Probestamm, versehen.

Nach der Fällung wurde die Stammlänge mit einem Maßband bestimmt und die Baumlänge durch die Addition der Stammlänge mit der Höhe des verbleibenden Baumstumpfs berechnet. Um sowohl das Volumen des Stammes als auch das der astfreien Stammwalze zu erhalten, wurden die liegenden Stämme in fixen Längen im Abstand von 2 m sektionsweise kubiert sowie der Durchmesser und die Höhe des darüber liegenden Internodiums mit einer geeichten Kluppe ermittelt.

6.1.2 Kronenablotung, Kronenansatz und äußere Astigkeit

Die Krone wurde mittels Hochblickmethode in acht Himmelsrichtungen auf den Dezimeter genau abgelotet.

Ausgehend vom Fällschnitt wurden die Lage des untersten Totasts am Stamm, die Position des untersten Lebendasts sowie der Kronenansatz (die untersten drei Lebendäste an einem Astquirl) auf 5 cm gerundet gemessen.

Ausgehend von der Baumspitze, wurde jeder 10. Astquirl aufgenommen. Dabei wurde für jeden Ast der Durchmesser ca. 5 cm vom Stamm entfernt, um die Astanläufe zu vermeiden, gemessen sowie die Himmelsrichtung festgehalten. Die gemessenen Durchmesser sind nicht mit Astdurchmessern im Schnittholz zu vergleichen, da Erstere aufgrund des verstärkenden Holzkörpers um die Äste deutlich größer sind. Als Maß für die äußere Astigkeit wurde der Durchmesser des kleinsten, des größten und des mittleren Asts eines Quirls bestimmt und jeweils auf den Stammdurchmesser bezogen.

6.1.3 Struktur der Konkurrenzgruppe

Um einen Eindruck über die umgebende Konkurrenzgruppe zu erhalten, wurden am Standort des jeweiligen Probebaums eine 6-Baum-Stichprobe nach PRODAN und eine Winkelzählprobe mit dem Spiegelrelaskop nach BITTERLICH (Zählfaktor 4) durchgeführt. Dabei ging der Probebaum selbst nicht in die Berechnung der Grundfläche ein. Daneben wurden für alle in der 6-Baum-Stichprobe und der Winkelzählprobe erfassten Bäume die Baumart, der BHD sowie der Abstand und die Position zum Probebaum aufgenommen.

Zusätzlich wurde der A-Wert nach JOHANN für den nächsten Nachbarn berechnet (**Formel 1**).

Formel 1: A-Wert nach JOHANN

$$A - \text{Wert} = \frac{H_j}{E_{ij}} \cdot \frac{d_i}{D_j}$$

A-Wert: A-Wert nach JOHANN [°]
H_j: Höhe des Probebaums [m]
E_{ij}: Entfernung zwischen Probebaum und Nachbarbaum [m]
d_i: Durchmesser des Nachbarbaums [cm]
D_j: Durchmesser des Probebaums [cm]

6.2 Untersuchungen an Stammscheiben und Astquirlen

An den 220 Stammscheiben (5.3) wurden die Holzeigenschaften Jahrringaufbau, Exzentrizität (E) und Ovalität (O), Harzgallen, Reaktionsholz (Rh), Kernfäule und Rohdichte (ρ) bestimmt. An den 165 Abschnitten mit Astquirl wurde die innere Astigkeit erfasst.

6.2.1 Jahrringaufbau

Die Jahrringbreite wurde mit einer modifizierten Jahrringmessanlage nach EKLUND bestimmt (KLEINSCHMIT V. L. 2001, mündlich). Die Stammscheiben wurden mit der geschliffenen Seite nach oben auf den Messtisch gelegt und horizontal ausgerichtet. Das Auflichtmikroskop, dessen Bild auf einem Schwarz-Weiß-Bildschirm dargestellt wird, wird mittels Kettenantrieb bewegt und ist mit einer digitalen Messschiene verbunden. Die Daten der Messschiene wurden direkt in ein Tabellenkalkulationsprogramm im angeschlossenen Rechner übertragen.

Die Messung des Radialzuwachses erfolgte in den vier Haupthimmelsrichtungen (Nord, Ost, Süd, West) von der Markröhre aus. Der Radialzuwachs unterscheidet sich von der Jahrringbreite dadurch, dass er entlang des Radius, also nicht streng rechtwinklig zu den Jahrringen, ermittelt wird. Nur im Ausnahmefall, der konzentrischen Jahrringbildung, entsprechen sich die beiden Werte.

Im Anschluss wurde eine Jahrringsynchronisation durchgeführt. Dabei wurden zunächst die vier Radien einer Stammscheibe und danach die vier Scheiben eines Baumes an Hand von Weiserjahren (z. B. 1976) in zeitliche Übereinstimmung gebracht.

6.2.2 Exzentrizität und Ovalität

Die Markröhre wurde mit der Markierung der Nordrichtung verbunden und, von dieser Linie ausgehend, die sieben restlichen Himmelsrichtungen bestimmt. Für die acht so festgelegten Himmelsrichtungen wurde der Abstand zwischen Markröhre und dem Ende des äußersten Jahrrings mit einem Lineal mit einer Genauigkeit von 1 mm gemessen.

Für die Bestimmung der Exzentrizität wurden die Fläche und der Flächenschwerpunkt dieses Achtecks sowie der Abstand zwischen diesem Punkt und der Markröhre berechnet. Die Exzentrizität ist das prozentuale Verhältnis dieses Abstands zum Radius eines Kreises, dessen Fläche der des Achtecks entspricht (**Formel 2**).

Formel 2: Exzentrizität

$$E = \frac{a_{MR-SP}}{r_{Kreis}} \cdot 100$$

E: Exzentrizität [%]
 a_{MR-SP} : Abstand zwischen Markröhre und Flächenschwerpunkt des Achtecks [mm]
 r_{Kreis} : Radius eines zum Achteck flächengleichen Kreises [mm]

Um die Ovalität zu bestimmen, wurden von den acht Eckpunkten der acht Radian aus Geraden durch den Flächenschwerpunkt des Achtecks gezogen und diese auf der gegenüberliegenden Seite mit dem Achteck geschnitten. Die Differenz zwischen der längsten und der kürzesten der acht Strecken wurde ins Verhältnis zur längsten Strecke gesetzt (**Formel 3**).

Formel 3: Ovalität

$$O = \frac{s_{\text{Max}} - s_{\text{Min}}}{s_{\text{Max}}}$$

O: Ovalität [/]
 s_{Max} : längste Strecke [mm]
 s_{Min} : kürzeste Strecke [mm]

6.2.3 Stammform und Querschnittsfläche

Ausgehend von den acht gemessenen Radian (**6.2.2**), wurde die Form und Fläche der Stammscheibe, die mit dem Achteck deutlich unterschätzt wird, an die Realität angenähert. Das ist zum einen im Hinblick auf die Berechnung der Reaktionsholzanteile von Bedeutung, zum anderen ermöglicht es eine bessere Vergleichbarkeit von Starkholz mit schwächerem Holz, vor allem beim Schnittholz (**6.5**).

Um die Form der Stammscheibe nachzubilden, wurde eine beliebige Anzahl (N) von Radian aus jeweils zwei benachbarten, der acht gemessenen Radian, durch lineare Interpolation erzeugt (**Formel 4**, **Abb. 4**). Diese Vorgehensweise ist bei der Fichte, aufgrund der regelmäßigen Stammform, gerechtfertigt.

Formel 4: Form von Stammscheiben

$$r_N = r_{kl} + \frac{(r_{gr} - r_{kl})}{N}$$

r_n : Radius (berechnet) [mm]
 r_{kl} : benachbarter kleinerer Radius (gemessen) [mm]
 r_{gr} : benachbarter größerer Radius (gemessen) [mm]
N: Anzahl der eingefügten Radian [Stück]

Abb. 4 zeigt, wie die Form und Fläche von Stammquerschnitten modelliert wurde. Mit jedem der gemessenen und interpolierten Radian wurde ein Kreissegment gebildet und dessen Fläche berechnet. Die Summe der Flächen aller Kreissegmente ergibt die Fläche der Stammscheibe. Mit zunehmender Anzahl der berechneten Radian nähert sich die Fläche der Kreissegmente der tatsächlichen Fläche der Stammscheibe an. Um festzustellen wann dieser Punkt erreicht ist, wurden zwei Modelle entwickelt. Bei Modell 1 wurden die Kreissegmente mit den kleineren von zwei benachbarten Radian gebildet, bei Modell 2 mit den größeren Radian. Mit zunehmender Anzahl der Radian nähert sich Modell 1 von unten und Modell 2 von oben an die tatsächliche Fläche an. Die Anzahl der Radian wurde solange erhöht, bis die Differenz der beiden Modelle unter 1 mm² lag.

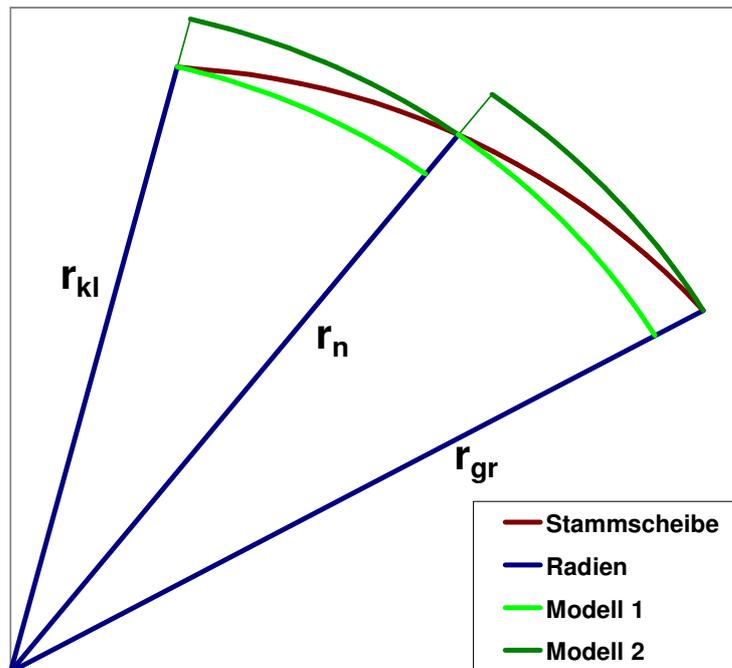


Abb. 4: Modellierung der Form und Berechnung der Fläche von Stammquerschnitten

Um die Ergebnisse der beiden Modelle zu verifizieren, musste die tatsächliche Fläche der Stammscheibe experimentell bestimmt werden. Dazu wurde die Scheibe fotokopiert, das Bild in den Rechner eingescannt und mit einem Grafikanalyseprogramm (Scion Image) die Fläche gemessen. Vergleicht man die berechnete mit der tatsächlichen Fläche der Stammscheibe, so ergibt sich eine Abweichung von unter 2%. Da das Kontrollverfahren sehr zeitaufwändig ist, wurde es nur an wenigen Stammscheiben durchgeführt.

6.2.4 Harzgallen

Für die Bestimmung der Merkmale Harzgallen, Reaktionsholz und Kernfäule wurde eine in einem vorhergehenden Projekt entwickelte Schablone mit einem Durchmesser von 70 cm verwendet (KLEINSCHMIT V. L. 2001, mündlich). Die Schablone besteht aus 27 konzentrischen Kreisen im Abstand von 1,25 cm, wobei der erste Ring mit 2,5 cm doppelt so groß ist. Die Kreise werden in 24 Segmente unterteilt, die im Uhrzeigersinn mit 0 bis 11,5 bezeichnet werden (**Abb. 5**).

Der Mittelpunkt der Schablone wird auf die Markröhre gelegt und die Linie mit 0 Uhr nach Norden ausgerichtet. Die Breite und die Höhe einer Harzgalle wurden mit einem Lineal auf 1,0 mm bzw. 0,5 mm genau gemessen und der entsprechende Sektor festgehalten.

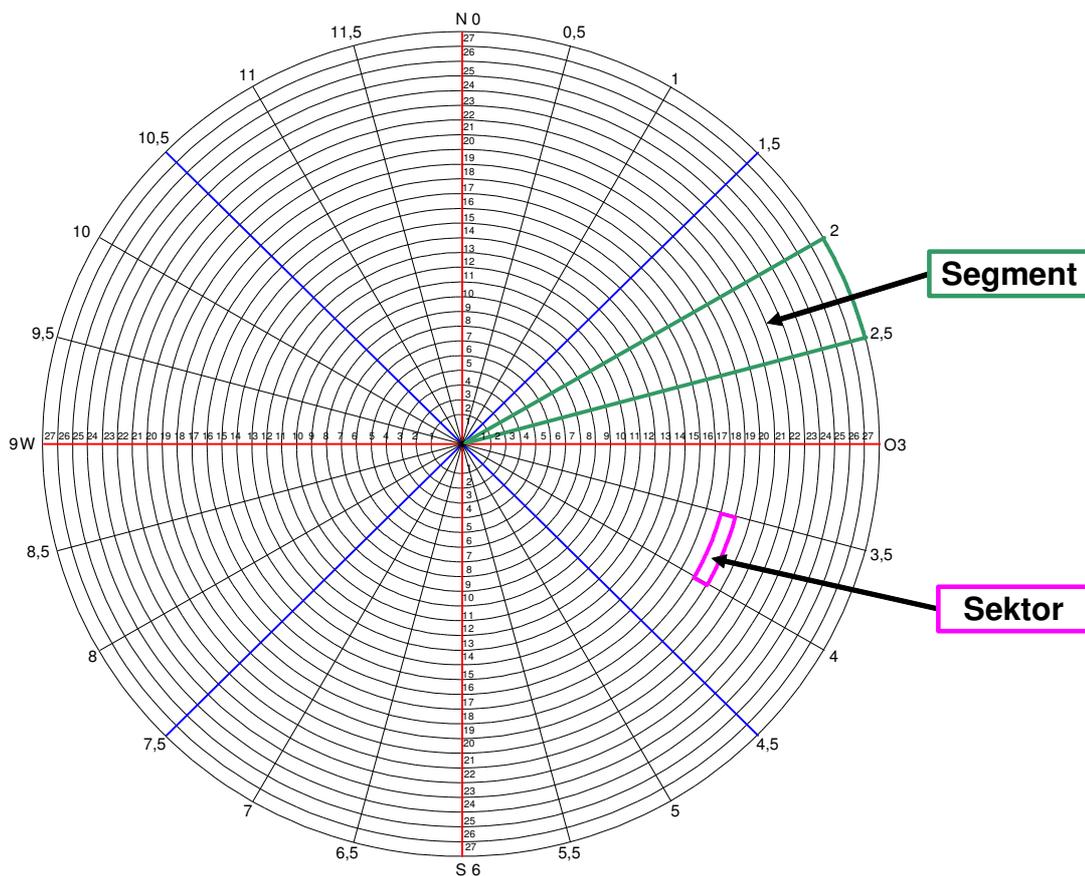


Abb. 5: Schablone zur Aufnahme von Harzgallen, Reaktionsholz und Kernfäule; Durchmesser 70 cm

6.2.5 Reaktionsholz

Um das Reaktionsholz deutlich sichtbar zu machen, wurde die Oberfläche der Stammscheibe befeuchtet, bevor die in 6.2.4 beschriebene Schablone aufgelegt wurde.

Der Sektor mit Reaktionsholz wurde notiert und die Menge des Reaktionsholzes in diesem Sektor geschätzt. Bei einem Reaktionsholzanteil an der Sektorfläche von weniger als 50% wurde er mit „1“ codiert, bei 50% und mehr mit „2“. Dieses einfache Schätzverfahren ermöglicht eine Gewichtung der Reaktionsholzfläche. Dabei wurde die Größe der einzelnen Sektoren berücksichtigt.

Bei der Auswertung wurden mit „1“ codierte Sektoren mit 25% ihrer Fläche, mit „2“ codierte Sektoren mit 75% ihrer Fläche berücksichtigt. Dieses Vorgehen beruht auf der Annahme, dass der Reaktionsholzanteil gleich verteilt ist. Das bedeutet, dass z. B. der mittlere Reaktionsholzanteil über alle mit „1“ codierten Sektoren bei 25% liegt.

6.2.6 Kernfäule

Zur Dokumentation der Kernfäule wurde ebenfalls die unter 6.2.4 beschriebene Schablone verwendet. In den entsprechenden „Uhrzeiten“ wurden der Anfangs- und Endsektor notiert und die Fläche der Fäule berechnet.

6.2.7 Normalrohddichte

Aus den untersten und obersten Stammscheiben in 1,30 m bzw. ca. 17,0 m Baumhöhe wurden in den vier Haupthimmelsrichtungen Prüfkörper mit 2 x 2 x 4 cm ausgeformt (**5.3**). Von diesen wurde nach Lagerung im Normklima 20/65 (Lufttemperatur von 20°C, relative Luftfeuchte von 65% [DIN 50 014]) die Normal-Rohddichte ρ_{12} nach DIN 52 182 in kg/m³ bestimmt (**Formel 5**). Die Masse wurde durch Wägung, das Volumen über eine Auftriebsmessung (Archimedisches Prinzip) bestimmt.

Formel 5: Normalrohddichte ρ_{12}

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

ρ_{12} : Rohddichte bei 12% Holzfeuchte [kg/m³]
 m_{12} : Masse bei 12% Holzfeuchte [kg]
 V_{12} : Volumen bei 12% Holzfeuchte [m³]

6.2.8 Innere Astigkeit

An den 165 Abschnitten mit Astquirl wurde die innere Astigkeit bestimmt. An jedem Ast eines Quirls wurden dazu folgende Parameter aufgenommen (**Abb. 6**):

- Die Länge des Lebend- (LL) und Totastabschnitts (LT) sowie die Gesamtlänge des Astes (LG).
- Die maximale Höhe des Astes (HMax).
- Der Radius des Stammes am Astansatz- (Runten) und Astaustrittspunkt (Roben), maßgebend ist die Markröhre des Astes.
- Der Höhenunterschied zwischen Ansatz- und Austrittspunkt (ΔH).

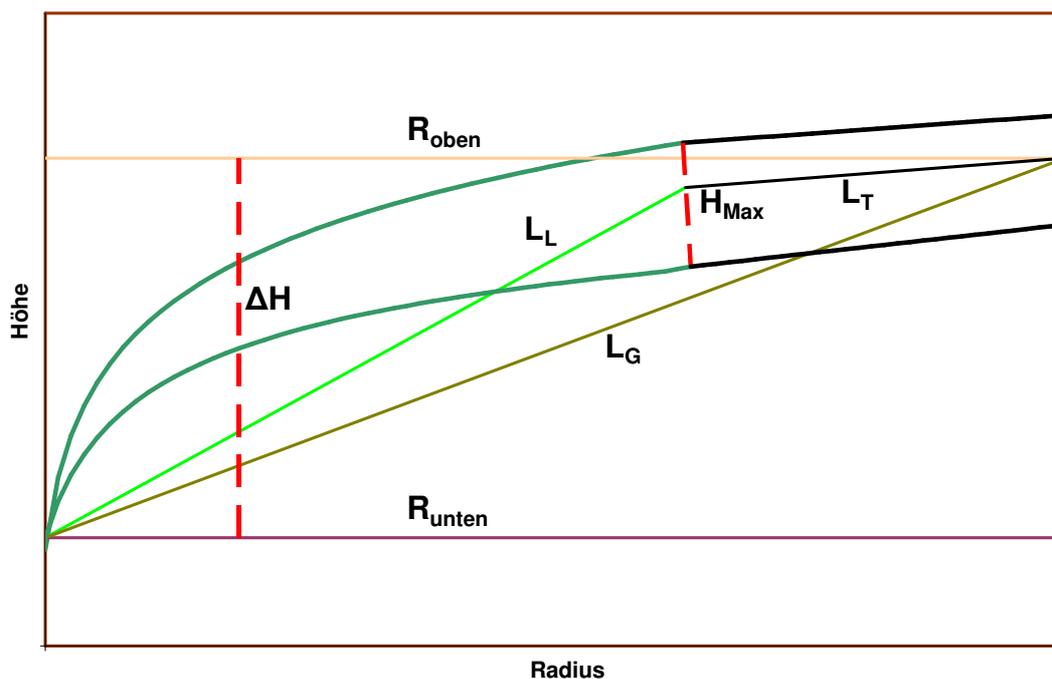


Abb. 6: Radialschnitt durch einen Ast: Erfassung der inneren Astigkeit

6.3 Untersuchungen an Rundholzabschnitten

6.3.1 Rundholzsortierung nach ENV 1927-1

Die unteren drei je 5 m langen Rundholzabschnitte jedes Baumes wurden nach der Europäischen Vornorm zur Qualitätssortierung von Laub- und Nadelrundholz (ENV 1927-1) sortiert. Die Sortierkriterien sind in **Tab. 9** zusammengestellt.

Dabei wurden die Merkmale Äste, Harzgallen, Drehwuchs, Krümmung, Insektenbefall sowie Fäule und Verfärbungen im Bestand an den Rundholzabschnitten aufgenommen. Die Merkmale Jahrringbreite, Exzentrizität und Ovalität sowie Reaktionsholz wurden an den entnommenen Stammscheiben bestimmt bzw. gemessen (6.2).

Tab. 9: Grenzwerte für die Sortierkriterien in ENV 1927-1

Sortierkriterium	Qualitätsklasse			
	A	B	C	D
Äste [cm]				
gesunde, verwachsene	nicht erlaubt	≤ 4	erlaubt	erlaubt
nicht verwachsene	nicht erlaubt	≤ 3	≤ 6	erlaubt
faule	nicht erlaubt	nicht erlaubt	≤ 6	erlaubt
Harzgallen	nicht erlaubt	1 pro Schnitt	erlaubt	erlaubt
durchschnittliche Jahrringbreite [mm]	≤ 4	≤ 7	unbegrenzt	unbegrenzt
Drehwuchs [cm/m]	≤ 3	≤ 7	unbegrenzt	unbegrenzt
Exzentrizität [%]	≤ 10	≤ 15	unbegrenzt	unbegrenzt
Reaktionsholz [%]	nicht erlaubt	≤ 10	≤ 30	unbegrenzt
Krümmung [cm/m]				
< 20 cm ¹	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 5
< 35 cm ¹	≤ 1	≤ 1	≤ 1,5	≤ 5
> 35 cm ¹	≤ 1	≤ 1,5	≤ 2	≤ 5
Insektenbefall				
< 3 mm	nicht erlaubt	nicht erlaubt	nicht erlaubt	erlaubt
> 3 mm	nicht erlaubt	nicht erlaubt	nicht erlaubt	erlaubt
Weichfäule	nicht erlaubt	nicht erlaubt	nicht erlaubt	nicht erlaubt
Hartfäule	nicht erlaubt	nicht erlaubt	nicht erlaubt	erlaubt
Verfärbungen	nicht erlaubt	nicht erlaubt	erlaubt ²	erlaubt

¹ Mitteldurchmesser

² nur im Splintbereich

6.3.2 Zopfdurchmesser

Am stärkeren Ende der 1.712 Rundholzabschnitte, die auf Kernrisse untersucht wurden (3.1), wurde der kleinste und größte Durchmesser der Stirnfläche kreuzweise aufgenommen. Die einzelnen Messwerte sowie das Mittel der beiden Messungen, das im Folgenden als „Rundholzdurchmesser“ bezeichnet wird, wurden jeweils auf ganze Zentimeter abgerundet.

Die 44 Rundholzabschnitte, an denen die Eignung von Fichtenstarkholz für hochwertige Produkte untersucht wurde (3.2), wurden jeweils am Tag vor dem Einschnitt vermessen. Neben der Länge und dem Zopf-Durchmesser wurden an beiden Querschnittsflächen die Größe und die Position von Rissen und Harzgallen, wie in 6.3.3 und 6.2.4 beschrieben, bestimmt.

6.3.3 Kernrisse an der Stirnfläche des Rundholzes

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden am stärkeren Ende der 1.712 Rundholzabschnitte an der Stirnfläche durchgeführt und sind in **Abb. 7** veranschaulicht. Von allen Rissen, die ihren Ursprung in der Markröhre haben, wurden in einer zwölfteiligen Skala entsprechend dem Zifferblatt einer Uhr (6.2.4), die Richtung und die Strecke s auf Zentimeter genau erfasst. Die Strecken von näherungsweise in einer Richtung verlaufenden Rissen wurden addiert. Die größte Summe in einer Stirnfläche wird im Folgenden als Risstiefe t [cm] bezeichnet. Das Verhältnis von Risstiefe t [cm] zum Rundholzdurchmesser wird relative Risstiefe tr [%] genannt.

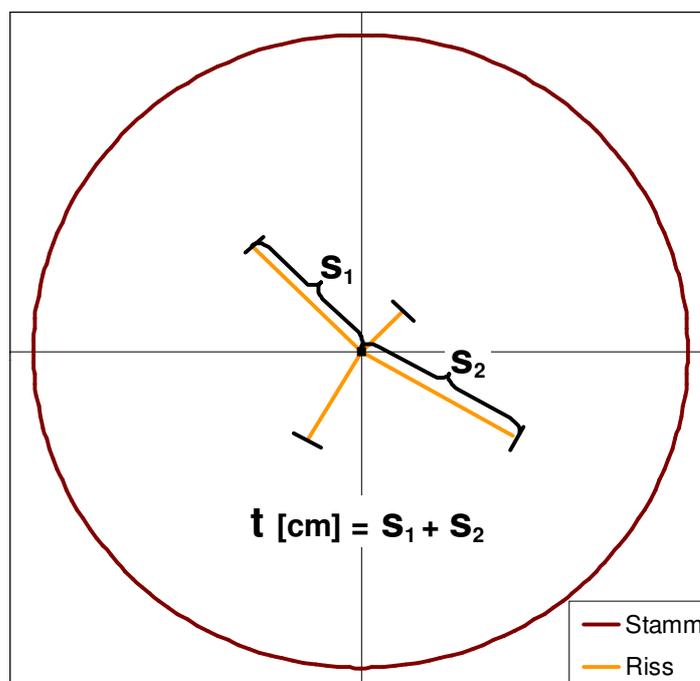


Abb. 7: Skizze des Stammquerschnitts mit Kernrisse

Die Rundholzabschnitte wurden mit einer laufenden Nummer versehen, um die später am Schnittholz erhobenen Daten der zugehörigen Stirnfläche zuordnen zu können. Alle erfassten Stirnflächen wurden mit einer digitalen Kamera fotografiert. Anhand dieser Aufnahmen wurden die Risse in 5 Klassen nach Risstiefe und Rissbreite eingestuft. Die Grenzen der 5 Klassen sind in **Tab. 10** aufgelistet, die **Abb. 8** bis **Abb. 10** zeigen exemplarisch drei Stirnflächen der Klassen 1, 3 und 5.

Tab. 10: Optische Klassifizierung der Risse nach Tiefe und Breite

Klasse	Definition
Klasse 1	Risssfrei bis schmaler, kurzer Riss; Abb. 8
Klasse 2	Risstiefe ca. 1/3 des Durchmessers
Klasse 3	Breiter Riss, Tiefe 1/2 des Durchmessers; Abb. 9
Klasse 4	Breiter Riss, Tiefe 2/3 des Durchmessers
Klasse 5	Sehr breiter, fast durchgehender Riss; Abb. 10



Abb. 8: Riss der Klasse 1



Abb. 9: Riss der Klasse 3



Abb. 10: Riss der Klasse 5

6.3.4 Äste am Stammmantel und weitere Merkmale

An den 44 Rundholzabschnitten, die zu hochwertigen Produkten eingeschnitten wurden, wurden die Lage der Markröhre und die Ovalität des Abschnitts am Zopfquerschnitt erfasst, indem von der Markröhre zum Stammmantel acht Radien gemessen wurden (**6.2.2**). Einer dieser Radien wurde am Querschnitt markiert und diente dazu, die Rundholzdaten mit den Schnittholzdaten verknüpfen zu können und als Bezugspunkt der Asterfassung am Rundholz.

Von allen am Stammmantel sichtbaren Ästen wurde der Astdurchmesser senkrecht zur Stammachse gemessen. Die Position des Astes wurde sowohl in Stammlängsrichtung als auch im Stammquerschnitt bestimmt. Dazu wurde dieser in 24 Sektoren, vergleichbar einer Uhr mit halben Stunden (**6.2.4**), eingeteilt und Hilfslinien am Stammmantel angebracht. Jede Astposition ist somit mit einer Längskoordinate und einer Sektorzahl eindeutig bestimmt. Dieser Aufwand war notwendig, um eine dreidimensionale Verteilung der Äste im Stamm zu erhalten und den Einschnitt zu optimieren.

6.4 Untersuchungen an Schnittholz

6.4.1 Kernrisse im Schnittholz

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden an jedem der 195 Rundholzabschnitte jeweils an dem Kantholz bzw. Brett durchgeführt, das die größten Kernrisse aufwies. Erfasst wurden alle am Schnittholz sichtbaren Risse. Dabei wurde zwischen den vom Hirnholz ausgehenden, bereits an der Stirnfläche erfassten Rissen (Typ 1) und den im Schnittholz von der Markröhre ausgehenden Rissen (Typ 2) unterschieden. Von Rissen des Typ 1 wurde die Länge l auf Zentimeter genau erfasst. Von Rissen des Typs 2 wurde, als Maß für die Beeinträchtigung des Schnittholzes, der maximale Abstand a des Kernrisses von der Markröhre, ebenfalls auf Zentimeter genau, bestimmt. **Abb. 11** veranschaulicht die Messungen graphisch.

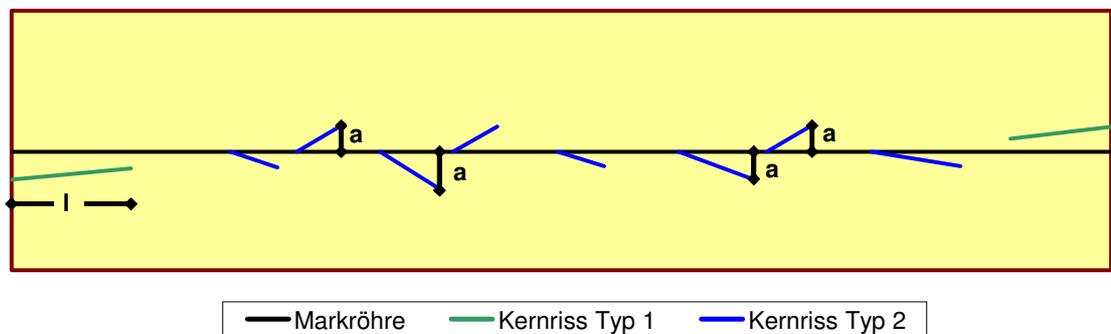


Abb. 11: Schematische Darstellung der Messung der Kernrisse in Sägwerk A und B

Im Sägwerk C wurden 101 von insgesamt 270 eingeschnittenen Bohlen untersucht. Dabei wurde als Maß für die Beeinträchtigung der eingeschnittenen Blochware die Länge l der Risse des Typ 1 an beiden Enden der Bohlen bestimmt und addiert sowie die maximale Ausbreitung m der Risse in Richtung der Schnittholzbreite b erfasst, wobei die Breite b jeweils am stärkeren Ende der Bohlen gemessen wurde. Sowohl m als auch b wurden in Zentimetern bestimmt (**Abb. 12**).

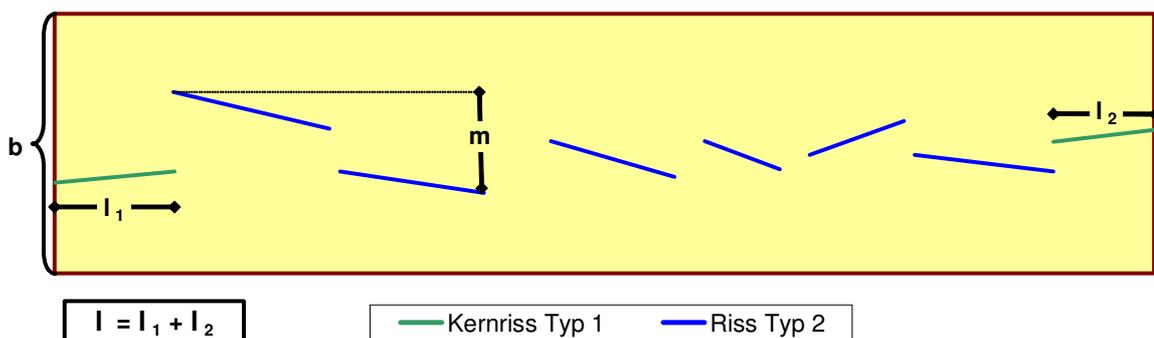


Abb. 12: Schematische Darstellung der Messung der Kernrisse im Sägwerk C

6.4.2 Sortierung hochwertiger Starkholzprodukte nach DIN 4074

Die einzelnen Produktgruppen wurden nach den entsprechenden Teilen der DIN 4074: „Sortierung von Holz nach der Tragfestigkeit“ (Kantholz, Bretter und Bohlen, Latten) visuell sortiert. Zusätzlich wurden die Bretter und Kanthölzer nach den Kriterien der maschinellen Sortierung nach DIN 4074 sortiert.

6.4.2.1 Visuelle Sortierung nach DIN 4074

Die Dachlatten, Bretter und Kanthölzer wurden nach den Kriterien der entsprechenden Teile der DIN 4074 bewertet (**Tab. 11**). Zusätzlich wurde für jede Produktgruppe stichprobenartig die Holzfeuchte mit einem elektrischen Holzfeuchtemessgerät bestimmt. Die Messung erfolgte in den Drittelpunkten auf der Breitseite des Schnittholzes parallel zur Faser. Das war notwendig, um die Grenzwerte der DIN 4074 für Krümmung und Verdrehung, die auf eine Holzfeuchte von 20% bezogen sind, linear anzupassen. Bei den Dachlatten wurden der Durchmesser [ganze mm] und die Längskoordinate [halbe cm] des größten Breit- und Schmalseitenastes erfasst. Bei den Kanthölzern wurde der größte Einzelast (DEK) und bei den Lamellen sowohl der größte Einzelast (DEB) als auch die größte Astansammlung (DAB) in ein Asterfassungsprogramm eingegeben.

Über die DIN 4074 hinausgehend, wurden bei den Kanthölzern mittels einer Schablone alle Äste ermittelt, die zu einer Einstufung in die Sortierklassen S10 und S7 sowie in Ausschuss führen. Von diesen Ästen, die im Folgenden als „sortierentscheidend“ bezeichnet werden, wurden die Lage, ausgehend vom stärkeren Ende des Rundholzabschnitts, sowie die Einstufung in die Sortierklasse erfasst. Für jedes Kantholz wurde der Bereich berechnet, der nach Herauskappen aller sortierentscheidenden Äste verbleibt. Dieser Bereich wird im Folgenden als „S13-Bereich“ bezeichnet. Für jede Kappstelle wurden 8 cm abgezogen und alle Kantholzabschnitte mit mehr als 100 cm Länge addiert. Von Ästen, die näher als 15 cm nebeneinander liegen, wird nur der schlechter eingestufte Ast zur Anzahl der sortierentscheidenden Äste addiert. In die Berechnung des S13-Bereichs gehen jedoch die Längskoordinaten beider Äste ein. Auf Grund der komplexeren Bewertung der Äste (DIN 4074) wurde diese Untersuchung nicht an Brettern durchgeführt.

Tab. 11: Kriterien der DIN 4074 für Dachlatten, Bretter und Kanthölzer

Kriterien der DIN 4074
Markröhre
Jahringbreite
Risse (Blitz-, Ringschäle)
Krümmung (Längs- ^{1,2,3} /Quer- ²)
Verdrehung
Äste: Schmalseitenast ¹ , Breitseitenast ¹ Einzelast [DEB ² , DEK ³] Astansammlung [DAB ²]
Baumkante
Verfärbungen, Fäule
Insektenbefall

¹ Dachlatten, ² Bretter,
³ Kanthölzer

6.4.2.2 Maschinelle Sortierung nach DIN 4074

Da keine Sortiermaschine zur Verfügung stand, wurde bei den Brettern und Kanthölzern die maschinelle Sortierung durch händische Messung der Sortierparameter einer nach DIN 4074 anerkannten Sortiermaschine und Eingabe in den Sortieralgorithmus dieser Maschine (Euro Grecomat 706) simuliert. In den maschinellen Sortierwert gingen die Astigkeit (DAB, DEK) der visuellen Sortierung sowie die Rohdichte und der dynamische E-Modul ein. Die Rohdichte wurde berechnet, indem die Masse durch Wägung bestimmt wurde und die Länge, die Breite und die Höhe des Schnittholzes gemessen wurden (**Formel 6**). Der dynamische E-Modul wurde durch eine Schwingungsmessung ermittelt. Dabei wird das Schnittholz mit einem Hammerschlag auf eine Stirnseite zu Längsschwingungen angeregt. Mit einem Mikrofon werden diese Schwingungen erfasst und an einen Rechner übertragen, der mittels einer Frequenzanalyse die erste Eigenfrequenz bestimmt. Aus der Eigenfrequenz, der Länge des Schnittholzes und seiner Rohdichte wird nach **Formel 7** der dynamische E-Modul berechnet.

Formel 6: Rohdichte

$$\rho = \frac{m}{l \cdot b \cdot h}$$

ρ : Rohdichte [kg/m³]

m: Masse der Probe [kg]

l: Länge [m]

b: Breite [m]

h: Höhe [m]

Formel 7: Dynamischer E-Modul

$$E_{\text{dyn}} = \frac{4}{n^2} \cdot f^2 \cdot l^2 \cdot \rho \cdot 10^{-3}$$

E_{dyn} : dynamischer E-Modul [N/mm²]

n: Faktor (hier gleich 1)

f: erste Eigenfrequenz [Hz]

l: Länge des Prüfkörpers [m]

ρ : Rohdichte [g/cm³]

6.4.2.3 Güte des nach DIN 4074 sortierten Schnittholzes

Tab. 12 enthält die Güte von Schnittholz, das nach DIN 4074 sortiert wird. In DIN 1052 werden den Sortierklassen nach DIN 4074 europäische Sortierklassen zugeordnet. Deren Güte wird in EN 338 festgelegt.

Beim Vergleich von visueller und maschineller Sortierung ist zu berücksichtigen, dass die Sortierklasse mS13 bessere Eigenschaften aufweist als S13. Um einen praxisrelevanten Vergleich der beiden Methoden zu ermöglichen, wurde bewusst darauf verzichtet die Werte der mS13 der S13 anzupassen.

Tab. 12: Güte des nach DIN 4074 sortierten Schnittholzes

Kriterium	Visuelle Sortierung			Maschinelle Sortierung		
	S7	S10	S13	mS7	mS10	mS13
Europäische Sortierklasse ¹	C16	C24	C30	C16	C24	C35
Biegefestigkeit ² [N/mm ²]	16	24	30	16	24	35
E-Modul ³ [N/mm ²]	8.000	11.000	12.000	8.000	11.000	13.000
Rohdichte ³ [kg/m ³]	370	420	460	370	420	480

¹ nach DIN 1052

² 5%-Fraktil nach EN 338

³ Mittelwert nach EN 338

6.5 Vergleich von Starkholz mit schwächerem Holz

Ein zentraler Punkt dieser Arbeit ist, die am Fichtenstarkholz erhobenen, qualitativ relevanten Holzmerkmale und Sortierausbeuten mit denen von schwächerem Holz zu vergleichen. Damit das Ergebnis nicht durch unterschiedliche Holzqualität, forstliche Behandlung, Standortbedingungen, Einschnitt oder Trocknung beeinflusst wird, darf zu diesem Vergleich kein reales Kollektiv schwächerer Fichten herangezogen werden. Daher wurde für jede Stammscheibe und jeden Rundholzabschnitt ein „Schwachholzbereich“ ausgewiesen, der dem äußeren „Starkholzbereich“ gegenübergestellt wird.

Die an den Stammscheiben erfassten Holzmerkmale (**3.1**, **6.2**) wurden mit denen einer Fichte mit BHD 35 verglichen. Dabei wurde für den Schwachholzbereich die beim Starkholz festgestellte Abholzigkeit angenommen. Für die Scheibe 2 ergibt sich somit ein Schwachholzbereich von 30 cm, für Scheibe 3 von 25 cm und für Scheibe 4 von 18 cm (**Abb. 13**). Näherungsweise wurde dabei ein konzentrischer Stammquerschnitt unterstellt, damit die, mit der konzentrischen Schablone, erfassten Daten (**6.2.4**, **6.2.5**, **6.2.6**), vor allem das Reaktionsholz, auswertbar sind.

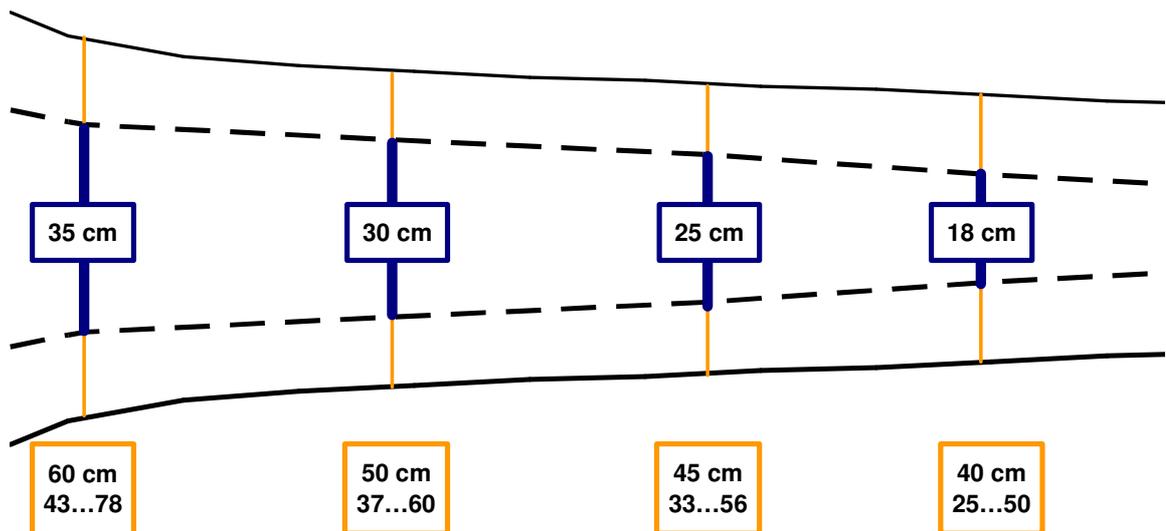


Abb. 13: Vergleich des Starkholzstammes mit dem Schwachholzstamm bei den Holzmerkmalen, die an Stammscheiben erhoben wurden

Blaue Kästen: Durchmesser des Schwachholzbereichs

Orange Kästen: Mittlerer Durchmesser sowie Klein- und Größtwert des Starkholzstammes

Die Größe des Schwachholzbereichs der 44 Rundholzabschnitte, aus denen hochwertige Produkte erzeugt wurden (3.2), hängt einerseits vom Durchmesser des Abschnitts andererseits vom Querschnitt des erzeugten Schnittholzes ab, da sich für die statistische Auswertung die Schnittholzanzahl innen und außen nicht zu stark unterscheiden soll. Anders als bei den Stammscheiben, kann hier die Ovalität und Exzentrizität des Starkholzstammes berücksichtigt werden, da jedem Schnittholz und somit jedem Holzmerkmal eine genaue Position im Stammquerschnitt zugeordnet ist. Dazu wurde die Stammform des Starkholzstammes linear gestreckt, indem die einzelnen Radien mit dem Verhältnis von Schwachholz- zu Starkholzdurchmesser multipliziert werden (6.2.2, Formel 8). Schnittholz, das mit mehr als 60% des Querschnitts im inneren Stammbereich liegt, wird zum Schwachholzbereich gezählt. Dabei dient der Mittelpunkt des Schnittholzes zur Orientierung. **Abb. 14** zeigt beispielhaft für den zweiten Abschnitt der Fichte Nr. 5 die Größe des gewählten Schwachholzbereichs.

Formel 8: Radien des Schwachholzbereichs

$$r_{\text{schwach}} = r_{\text{stark}} \cdot \frac{d_{\text{schwach}}}{d_{\text{stark}}}$$

r_{schwach} : Radius des Schwachholzbereichs [mm]

r_{stark} : Radius des Starkholzstammes [mm]

d_{schwach} : mittlerer Durchmesser des Schwachholzbereichs [cm]

d_{stark} : mittlerer Durchmesser des Starkholzstammes [cm]

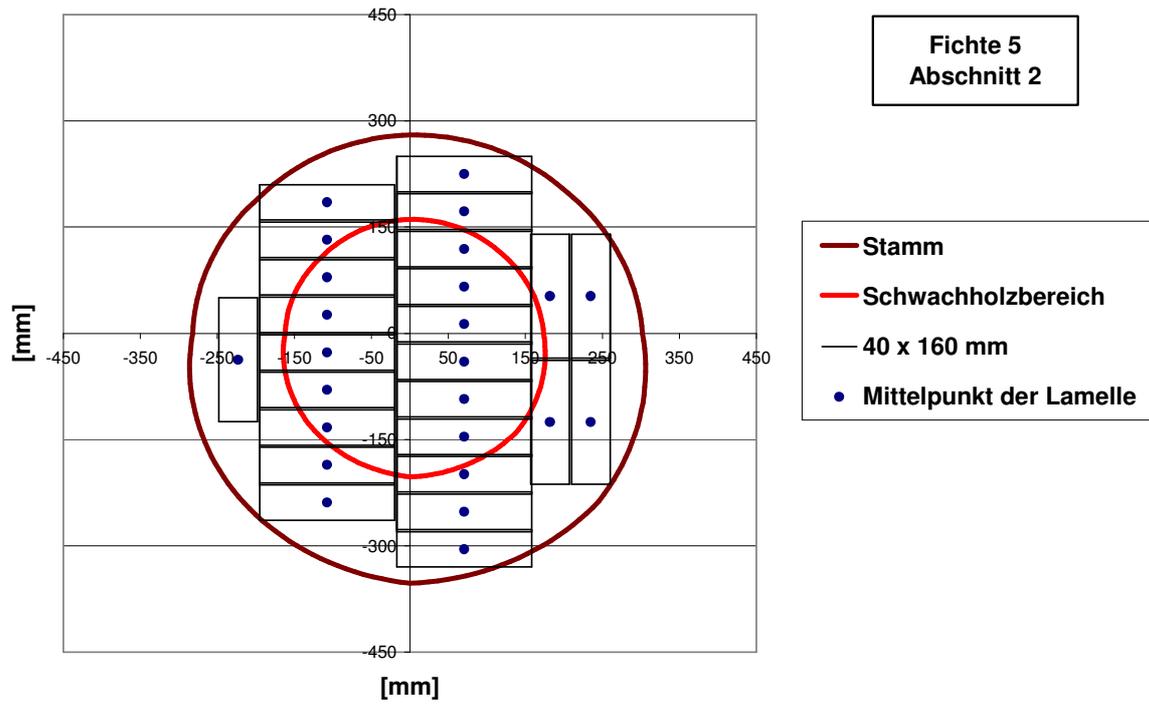


Abb. 14: Schwachholzbereich von Fichte Nr. 5 im Abschnitt 2

7. Ergebnisse und Diskussion

7.1 Qualitätsmerkmale von Bäumen

7.1.1 Brusthöhendurchmesser, Länge und Volumen

Tab. 13 und **Abb. 15** stellen für den Brusthöhendurchmesser, die Baumhöhe und das Volumen der 55 Bäume jeweils den Mittelwert, die Standardabweichung sowie den Kleinst- und den Größtwert dar. Der BHD liegt zwischen 46 cm und 82 cm, im Mittel bei 64,8 cm. Die Höhe der Bäume variiert von 26,5 m bis 45,1 m bei einem Mittelwert von 37,1 m. Die drei kleinsten Bäume stammen aus dem Forstamt Kandern. Sie wurden aufgrund der dortigen Lage mehrfach vom Schnee gebrochen. Das Volumen⁶ der Bäume reicht von 2,35 Vfm bis 8,24 Vfm bei einem Mittel von 4,74 Vfm.

Tab. 13: BHD, Baumhöhe und Volumen der Probebäume (N = 55)

Messgröße	Min	Max	MW	s
BHD [cm]	46	82	64,8	7,8
Baumhöhe [m]	26,5	45,1	37,1	4,4
Volumen [Vfm]	2,35	8,24	4,74	1,29

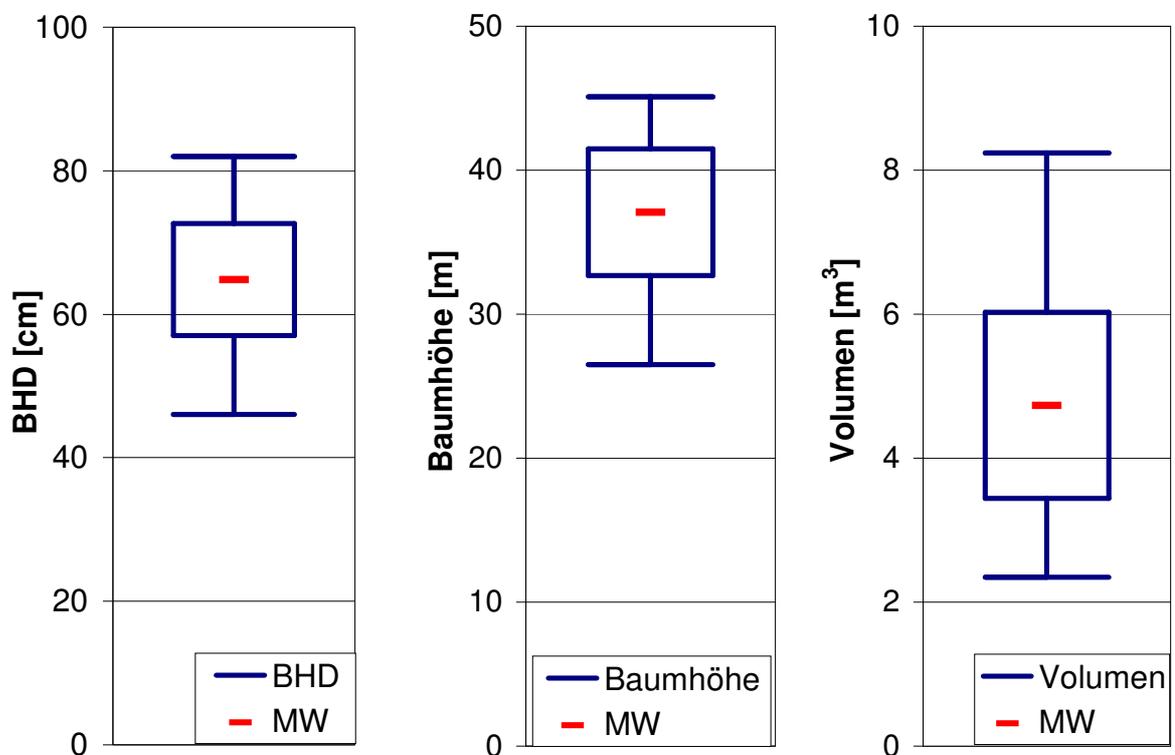


Abb. 15: BHD, Baumhöhe und Volumen der 55 Probebäume; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert

⁶ Schaftholz ohne Stock bis zu einem kleinsten Durchmesser von 7 cm

Die Abholzigkeit der Bäume wurde für die Rundholzabschnitte bis 23 m Baumhöhe berechnet, da bis dort alle Bäume gekluppt wurden. Dabei ist die Abholzigkeit im untersten Abschnitt im Mittel mit 2,44 cm/lfm deutlich höher als in den beiden darauf folgenden Abschnitten. Weder bis 17 m noch bis 23 m erreichen die Werte ein für die Verwendung kritisches Niveau (**Tab. 14**).

Tab. 14: Abholzigkeit der Probebäume

Gegliedert nach	Abholzigkeit [cm/lfm]				
	Min	Max	MW	s	N
Gesamt (1 bis 23 m)	1,00	2,23	1,36	0,24	55
1. RH-Abschnitt (1,3 bis 7m)	1,23	4,04	2,44	0,66	55
2. RH-Abschnitt (7 bis 12m)	0,50	1,60	0,89	0,24	55
3. RH-Abschnitt (12 bis 17m)	0,50	1,90	1,00	0,27	53 ¹

¹ ohne zwei Bäume, die unterhalb von 17 m gezwieselt sind

7.1.2 Kronenablotung, Kronenansatz und äußere Astigkeit

Die Kronenablotung ergab eine mittlere Kronenschirmfläche von 34,6 m², die kleinste wurde mit 17,1 m² im Forstamt Kreuth, die größte mit knapp 57 m² im Forstamt Kelheim gemessen. Die mittlere Kronenbreite wurde aus den vier Kronendurchmessern gebildet, sie liegt zwischen 4,80 m und 9,10 m, im Mittel bei 6,88 m.

Der unterste Totast liegt im Mittel 14,1 m unter dem untersten Lebendast, der im Mittel knapp 2,5 m unter dem Kronenansatz (drei Lebendäste an einem Astquirl) liegt. Der Bekronungsgrad, das Verhältnis von Kronenlänge zu Baumhöhe, reicht von 0,25 bis 0,73. Dabei sind zwei Drittel der Bäume zwischen 34% und 56% ihrer Höhe bekront. Die beiden kleinsten Werte weisen Bäume in Schongau, den größten Wert ein Baum aus Wasserburg/Obb. auf. Der Mittelwert aus den fünf Bäumen eines Forstamts reichte von 0,36 (Schongau) bis 0,58 (Kandern).

Die Kronenlänge liegt im Mittel bei 16,7 m, das Minimum bei 7,8 m, das Maximum bei 25,8 m. Dabei liegen zwei Drittel der Werte zwischen ca. 13 und 20 m. Der Plumpheitsgrad, das Verhältnis von mittlerer Kronenbreite zur Kronenlänge, reicht von 0,24 (lange schmale Krone) bis 0,93 (Krone ist fast so breit wie lang). Im Mittel war die Krone 43% länger als breit. **Tab. 15** gibt einen Überblick über diese Daten.

Tab. 15: Ergebnisse der Kronenablotung und der Aufnahme der Äste (N = 55)

Messgröße	Min	Max	MW	s
Kronenschirmfläche [m ²]	17,1	56,9	34,6	9,1
Mittlere Kronenbreite [m]	4,80	9,10	6,88	1,00
Unterster Totast [m]	0,95	11,05	3,90	2,22
Unterster Lebendast [m]	5,85	27,30	17,99	5,58
Kronenansatz [m]	9,75	29,05	20,38	5,13
Bekronungsgrad	0,25	0,73	0,45	0,11
Kronenlänge [m]	7,80	25,80	16,70	3,64
Plumpheitsgrad	0,24	0,93	0,43	0,12

An den Probebäumen wurde jeder 10. Astquirl erfasst. Pro Baum waren das zwischen 5 und 11, in 80% der Fälle 8 bis 10, insgesamt 477 Astquirle (**Abb. 16**). Der Mittelwert liegt bei 8,67. Die Anzahl der Quirle, die ausschließlich Lebendäste aufweisen, liegt im Mittel bei 5,53, die Anzahl der Totastquirle bei 3,15. Durchschnittlich wurden 3,64 Äste pro Quirl aufgenommen. **Tab. 16** enthält die oben genannten Daten.

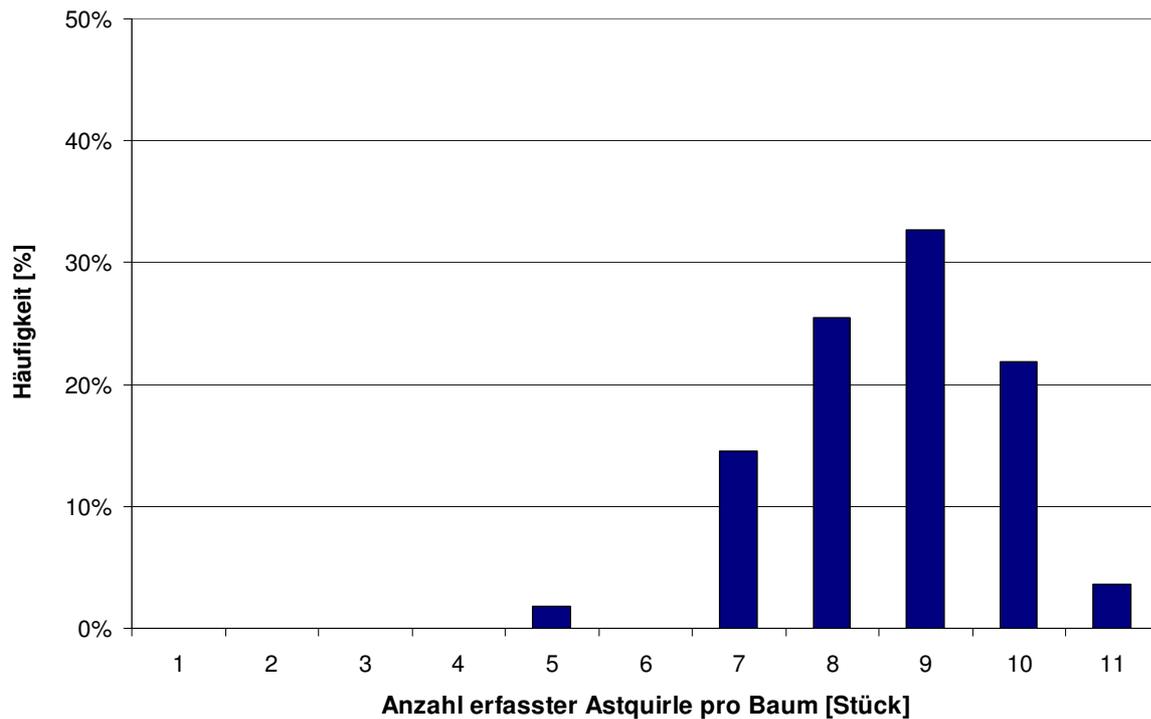


Abb. 16: Erfasste Astquirle je Probebaum, N = 477

Tab. 16: Anzahl der erfassten Astquirle. Erfasst wurde jeder 10. Astquirle

Messgröße	Min	Max	MW	s	N
Anzahl Astquirle je Baum	5	11	8,67	1,19	55
Anzahl Lebendastquirle je Baum	2	8	5,53	1,26	55
Anzahl Totastquirle je Baum	0	5	3,15	1,15	55
Anzahl Äste pro Quirl	1	8	3,64	1,14	477

An den 477 Astquirle wurden insgesamt 1.736 Äste erfasst. **Abb. 17** stellt die Entwicklung des äußeren Astdurchmessers dieser Äste entlang der Baumhöhe dar. Der äußere Astdurchmesser steigt im Mittel von 2 cm im untersten Astquirle auf knapp über 4 cm in einer Baumhöhe von ca. 23 m und fällt bis zum obersten Astquirle wieder unter 2 cm ab. Das Bestimmtheitsmaß der polynomisch angepassten Kurve beträgt 0,28. Zu beachten ist, dass die äußeren Astdurchmesser nicht mit Astdurchmessern am Schnittholz verglichen werden dürfen (6.1.2). Erstere sind teilweise deutlich größer, da neben der Rinde auch Teile des verstärkenden Holzkörpers zum eigentlichen Astdurchmesser dazu gemessen werden.

Abb. 18 veranschaulicht die Entwicklung des äußeren Astdurchmessers des jeweils kleinsten, größten sowie des mittleren Asts der 477 Astquirle. Die Kurven der drei Werte verlaufen nahezu parallel, wobei die Maxima leicht versetzt sind (größter Ast in 23 m, mittlerer Ast in 23,5 m, kleinster Ast in 24 m).

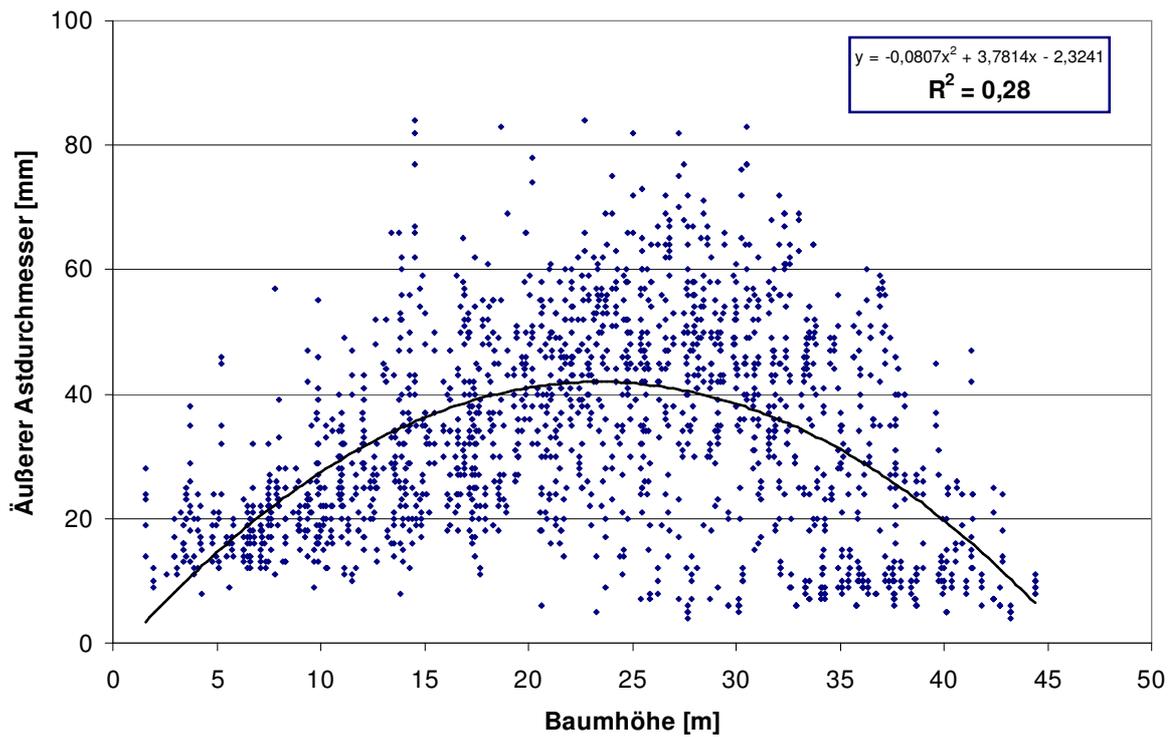


Abb. 17: Entwicklung des äußeren Astdurchmessers entlang der Baumhöhe, N = 1.736

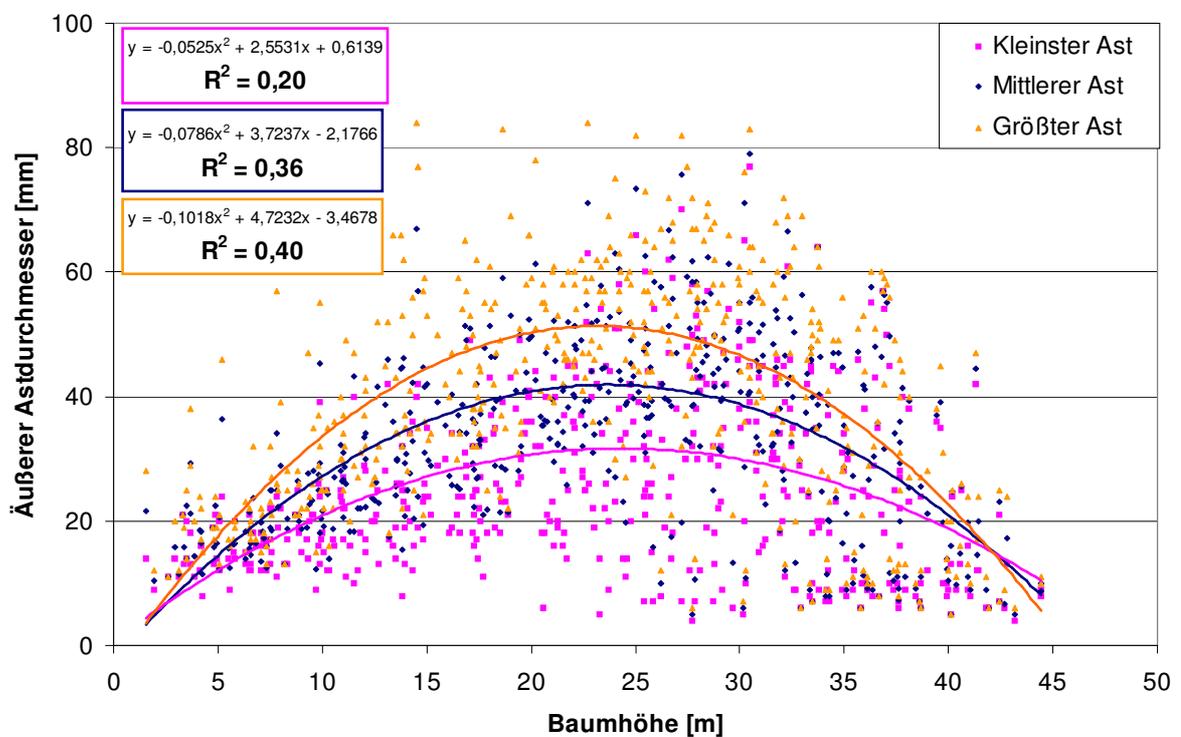


Abb. 18: Entwicklung der äußeren Astigkeit des kleinsten, des größten und des mittleren Asts der 477 erfassten Astquirle entlang der Baumhöhe

Abb. 19 zeigt die Entwicklung der äußeren Astigkeit, bestimmt als das Verhältnis zwischen dem äußeren Astdurchmesser der 1.736 Äste und dem Stammdurchmesser auf Höhe des Astquirls, entlang der Baumhöhe. Die äußere Astigkeit steigt mit zunehmender Baumhöhe exponentiell an. Das Bestimmtheitsmaß der angenäherten Kurve ist mit 0,76 sehr hoch, wenn man die unterschiedlichen Höhen der Bäume (7.1.1) berücksichtigt.

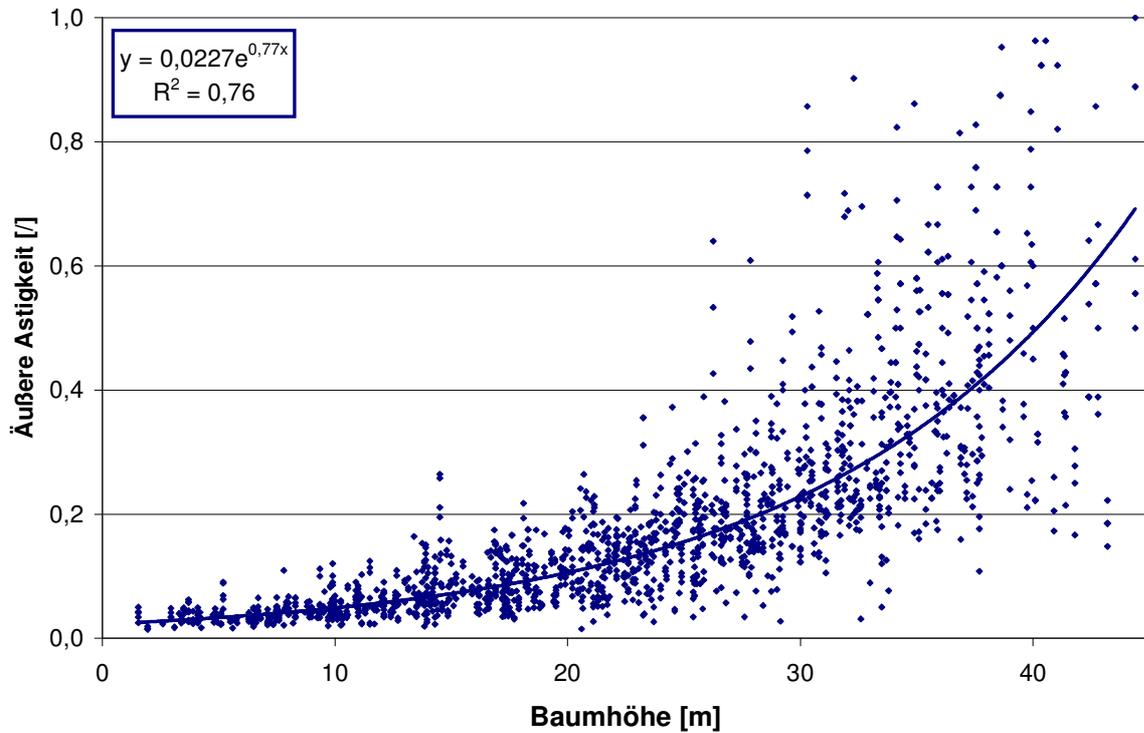


Abb. 19: Entwicklung der äußeren Astigkeit entlang der Baumhöhe, N = 1.736

7.1.3 Struktur der Konkurrenzgruppe

Abb. 20 zeigt eine Aufsicht auf den Bestand im Forstamt Schongau, im Zentrum befindet sich der Probebaum Nr. 1. Da die umgebende Konkurrenzgruppe erfasst werden sollte, ging der Probebaum selbst nicht in die Berechnung der Grundfläche ein (**6.1.3**). Die Bäume der 6-Baumstichprobe sind blau, die der Winkelzählprobe (WZP) orange eingezeichnet. Die beiden Kreise stellen die Grenze der jeweiligen Aufnahmemethode dar. In der linken oberen Ecke sind der BHD und die Kronenschirmfläche angegeben, in der rechten oberen Ecke die Grundflächen, die mit der 6-Baumstichprobe und der Winkelzählprobe berechnet wurden.

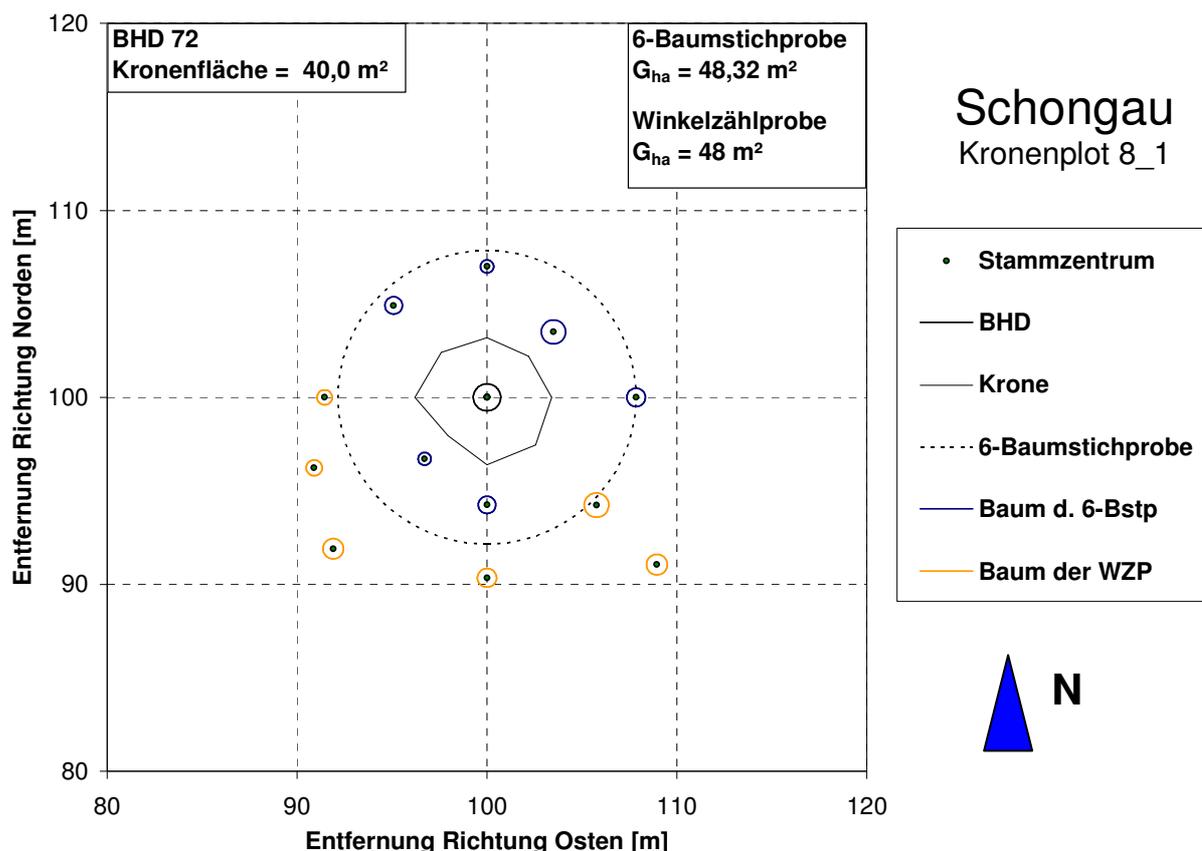


Abb. 20: Kronenplot und Konkurrenzgruppe eines Probebaums aus dem Forstamt Schongau

Die beiden Verfahren zur Bestimmung der Grundfläche (G) unterscheiden sich im Mittel um $0,5 \text{ m}^2/\text{ha}$. Im Vergleich zur 6-Baumstichprobe werden bei der Winkelzählprobe mehr Bäume erfasst, diese feinere Auflösung führt zu einer geringeren Streuung. Der deutliche Unterschied zwischen den Maxima der beiden Verfahren ergibt sich durch den relativ großen Zählfaktor von 4. Bei einem weiteren Baum in der betreffenden WZP läge der Unterschied der Maxima bei $1,6 \text{ m}^2/\text{ha}$ statt $5,6 \text{ m}^2/\text{ha}$ (**Tab. 17**).

Der A-Wert nach JOHANN (**6.1.3**) liegt zwischen 1 (sehr geringer) und 18 (sehr hoher Konkurrenzdruck) im Mittel bei 7.

Tab. 17: Grundfläche [G] aus der 6-Baumstichprobe und der Winkelzählprobe sowie A-Wert nach JOHANN (N = 55)

Messgröße	Min	Max	MW	s
6-Baumstichprobe G [m²/ha]	11,7	73,6	37,4	15,4
Winkelzählprobe G [m²/ha]	12,0	68,0	36,9	12,9
A-Wert nach JOHANN [-]	1	18	7	4

7.2 Rundholzqualität

7.2.1 Jahrringe

Abb. 21 zeigt exemplarisch die Entwicklung der Jahrringbreiten eines Baumes aus dem Forstamt Schongau. Die Stammscheibe stammt aus der vierten Höhenstufe, die in einer Baumhöhe von ca. 17 m liegt. Die Radien verlaufen in den vier Himmelsrichtungen synchron, wobei der jährliche Zuwachs im Norden und Osten (blaue und rote Linie) ein wenig größer ist.

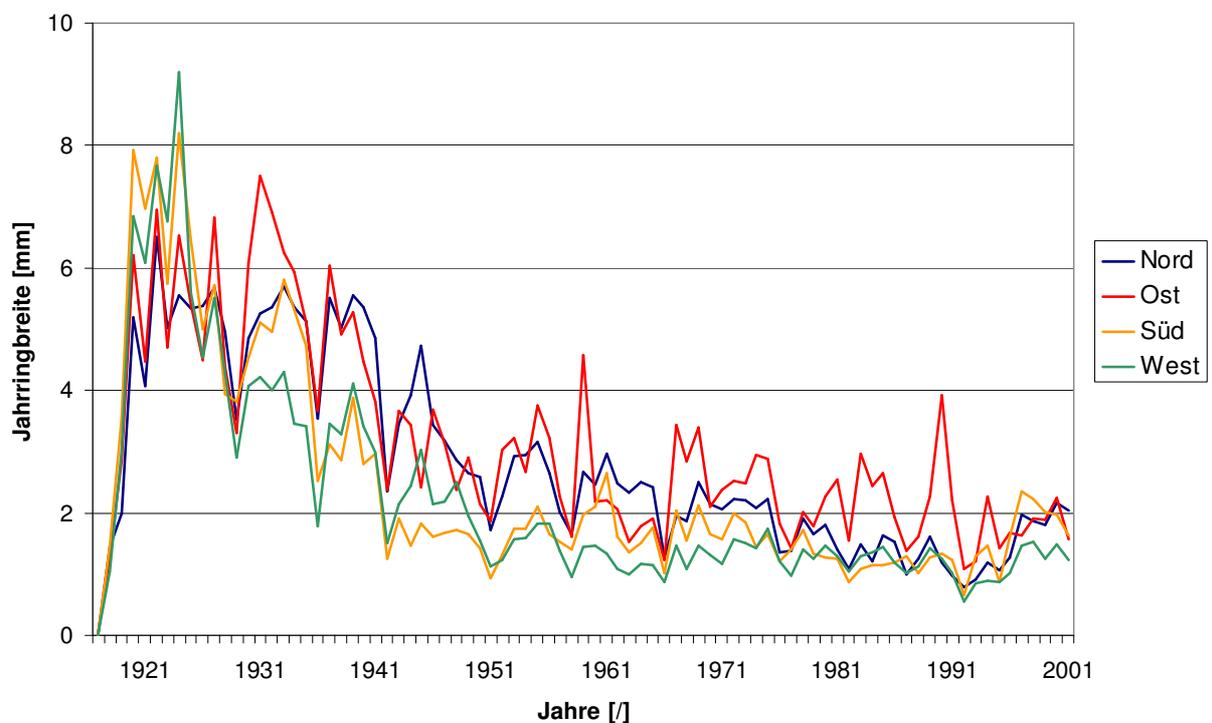


Abb. 21: Entwicklung der Jahrringbreiten eines Baumes aus dem Forstamt Schongau in ca. 17 m Baumhöhe

Die Jahrringbreite wurde als Mittelwert aus den Werten der vier Radien bestimmt. Das Minimum, das Maximum und der Mittelwert der Jahrringbreite liegen im Mittel der 220 Stammscheiben bei 0,7 mm (JR_{Min}), 5,6 mm (JR_{Max}) und 2,5 mm (JR_{Mw}) (**Tab. 18**).

Tab. 18: Minimale, mittlere und maximale Jahrringbreite (N = 220)

Messgröße	Min	Max	MW	s
JR_{Min} [mm]	0,2	2,5	0,7	0,3
JR_{Mw} [mm]	1,3	4,5	2,5	0,6
JR_{Max} [mm]	3,0	8,9	5,6	1,2

In **Abb. 22** ist die mittlere Entwicklung der Jahrringbreiten in den vier Baumhöhen in 10-Jahresschritten dargestellt. Deutlich erkennbar ist die über den gesamten Stammquerschnitt etwa 0,5 mm größere Breite der Jahrringe in der BHD-Scheibe, während sich im weiteren Verlauf über die Baumhöhe die Jahrringbreite nicht signifikant ändert. Die Schwankung am Ende der Kurven ist auf die aufgrund des unterschiedlichen Baumalters rückläufige Stückzahl zurückzuführen.

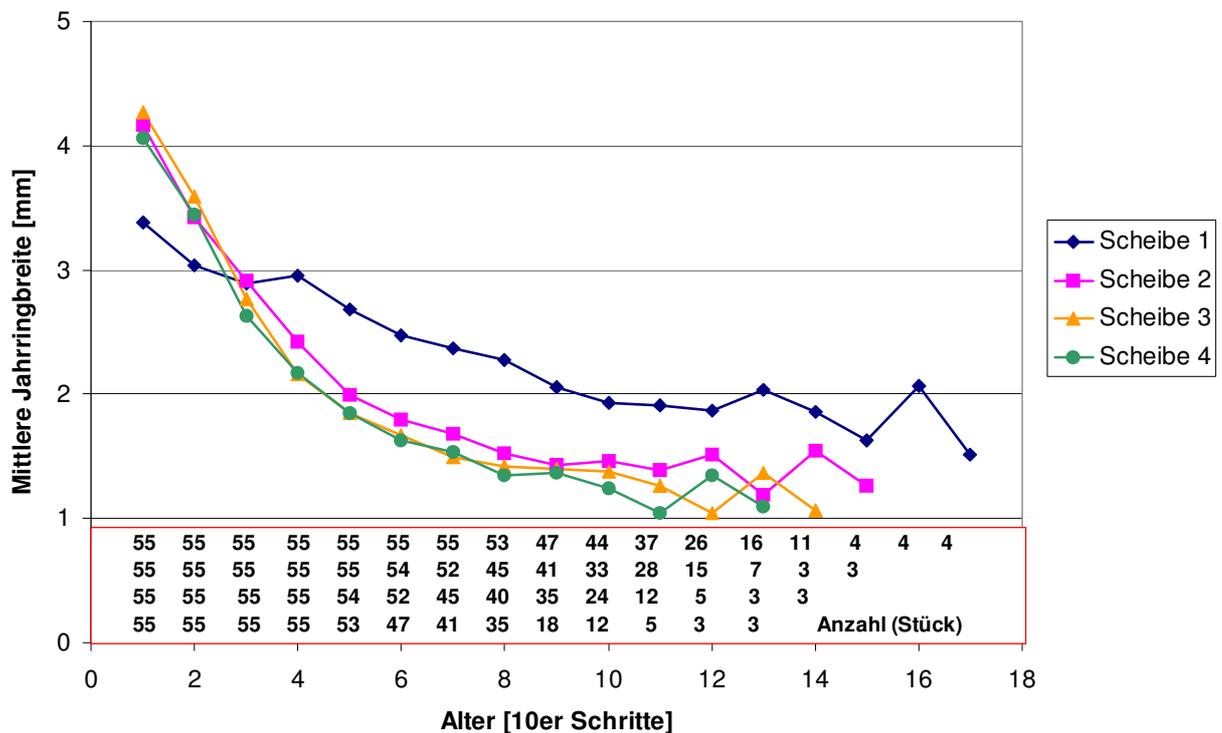


Abb. 22: Über 10 Jahre gemittelte Jahrringbreite in den vier Baumhöhen

7.2.2 Exzentrizität und Ovalität

Der Abstand a zwischen der Markröhre und dem Flächenschwerpunkt des Achtecks liegt im Mittel bei 34,4 mm bei einer Standardabweichung von 20,2 mm. Die Exzentrizität beträgt im Mittel 14,7% des Radius der Stammscheiben. Die mittlere Ovalität liegt bei 0,08 (Tab. 19, 6.2.2).

Tab. 19: Abstand zwischen Markröhre und Schwerpunkt sowie Exzentrizität und Ovalität (N = 220)

Messgröße	Min	Max	MW	s
a [mm]	3	110	34,4	20,2
Exzentrizität [%]	1	35	14,7	7,2
Ovalität [-]	0,01	0,19	0,079	0,035

Abb. 23 stellt das Maximum, das Minimum, den Mittelwert und die Standardabweichung der Exzentrizität in den vier Baumhöhen dar. Die Exzentrizität liegt in der BHD-Scheibe bei etwa 15%, geht dann auf etwa 13% zurück und ändert sich ab der zweiten Scheibe nicht mehr signifikant. Der Verlauf stimmt mit dem der Jahrringe überein, bei denen ein größerer mittlerer Zuwachs in der BHD-Scheibe festgestellt wurde.

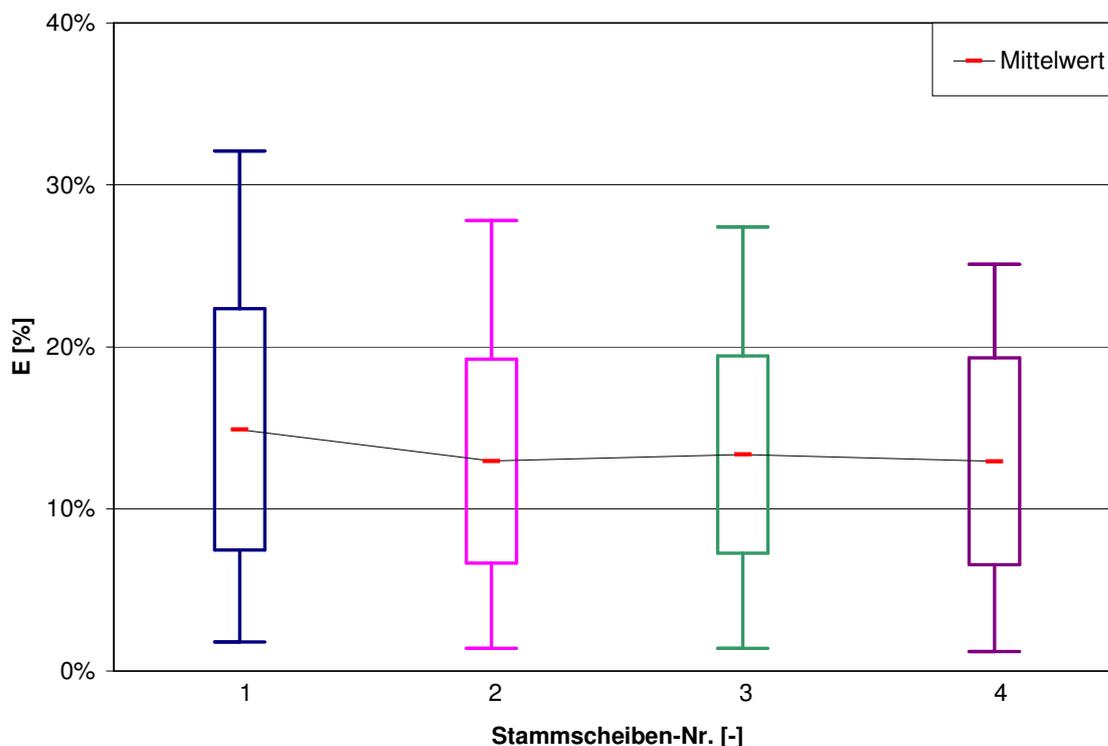


Abb. 23: Exzentrizität in den vier Baumhöhen

7.2.3 Harzgallen

Harzgallen wurden in 109 der 220 untersuchten Stammscheiben (S) festgestellt. In diesen 109 Scheiben befanden sich insgesamt 281 Harzgallen (N). Je Stammscheibe waren 1 bis 14, im Mittel 2,6 Harzgallen vorhanden. Die Harzgallen sind im Mittel 15,5 mm breit (b_{Ges}), 1,3 mm hoch (h_{Ges}) und sind im Mittel 12,7 cm von der Markröhre (d_{MRGes}) entfernt (Tab. 20).

Berücksichtigt man nach ENV 1927-1 nur Harzgallen mit einer Breite von mehr als 20 mm, dann ergibt sich folgendes Bild: Auf 47 Stammscheiben von 30 Probedäumen befinden sich 67 Harzgallen mit einer mittleren Breite von 28,0 mm und einer mittleren Höhe von 1,8 mm. Mit 13,2 cm sind diese Harzgallen nicht wesentlich weiter von der Markröhre entfernt als die Summe aller Harzgallen (Tab. 20).

Tab. 20: Anzahl, Breite und Höhe der Harzgallen sowie deren Entfernung von der Markröhre für alle Harzgallen (Ges) und Harzgallen breiter als 20 mm (20)

N: Anzahl Harzgallen, S: Anzahl Stammscheiben, B: Anzahl Bäume

Harzgallen	Min	Max	MW	s	N	S	B
N_{Ges}	1	14	2,6	2,0	281	109	48
b_{Ges} [mm]	2	65	15,5	9,2	281	109	48
h_{Ges} [mm]	0,5	7	1,3	0,7	281	109	48
d_{MRGes} [cm]	2,5	31,3	12,7	7,9	281	109	48
N_{20}	1	5	1,4	0,8	66	47	30
b_{20} [mm]	20	65	28,0	9,2	66	47	30
h_{20} [mm]	0,5	7,0	1,8	1,0	66	47	30
d_{MR20} [cm]	3,75	31,3	13,2	7,6	66	47	30

Tab. 21 enthält das Ergebnis des Vergleichs zwischen dem Starkholz- und Schwachholzstamm unter Berücksichtigung der mindestens 20 mm breiten Harzgallen. Angegeben sind die Gesamtanzahl der erfassten Harzgallen, deren mittlere Breite (b_{20}) und mittlere Entfernung von der Markröhre (d_{20}). Die Daten sind zusätzlich nach den vier Baumhöhen aufgegliedert. Für das Starkholz-Kollektiv gilt: Die Anzahl der Harzgallen steigt, auf Grund der höheren mechanischen Beanspruchung der Krone, mit der Baumhöhe von 6 Stück (Scheibe 1) auf 32 Stück (Scheibe 4) an. Im Mittel sind die Harzgallen zwischen 26 mm und 29 mm breit, wobei kein Höheneinfluss nachzuweisen ist. Nur bei Scheibe 4 unterscheiden sich die mittlere Breite des Schwachholz- und Starkholzkollektivs signifikant (t-Test mit $\alpha = 0,05$). Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Untersuchungen an Stammscheiben die Breite der Harzgalle auch davon abhängt, an welcher Stelle der Harzgalle diese angeschnitten wird. Die mittlere Entfernung von der Markröhre sinkt von 18 cm (Scheibe 1) auf 10 cm (Scheibe 3). Wären die

Bäume bereits mit einem BHD von 35 cm geerntet worden, wären je nach Baumhöhe bereits zwischen 25% und 86% der Harzgallen vorhanden, die im Starkholz gefunden wurden.

Tab. 21: Mittlere Breite, mittlere Entfernung von der Markröhre und Anzahl der Harzgallen > 20 mm für das Starkholz- und das Schwachholzkollektiv

Harzgallen	Starkholz ¹			Schwachholz			
	Mittl. b ₂₀ [mm]	Mittl. d ₂₀ [cm]	N [Stück]	Mittl. b ₂₀ [mm]	Mittl. d ₂₀ [cm]	N [Stück]	N [%] von Starkholz
Scheibe 1	29	18	6	23	6	3	50
Scheibe 2	29	15	14	24	9	7	50
Scheibe 3	26	10	14	27	8	12	86
Scheibe 4	28	13	32	22	7	8	25

¹ Werte über den gesamten Stammquerschnitt

Die Verteilung der Harzgallen über den Stammquerschnitt wird in **Tab. 22** noch differenzierter betrachtet. Dort ist die Anzahl der Harzgallen, bezogen auf den mittleren Stammquerschnitt der jeweiligen Baumhöhe, angegeben. Dabei bezeichnet „innen“ den Schwachholzstamm, „außen“ die sich anschließende Starkholzzone und „gesamt“ den ganzen Starkholzstamm („innen“ und „außen“). In allen Höhenstufen liegen im Schwachholz, auf die Querschnittsfläche bezogen, mehr Harzgallen als im gesamten Starkholzstamm. Bezogen auf die Fläche, liegen die wenigsten Harzgallen in der Starkholzzone.

Tab. 22: Anzahl der Harzgallen, bezogen auf die Fläche der mittleren Stammscheibe, für das Starkholzkollektiv und das Kollektiv mit BHD 35

Anzahl der Harzgallen/cm ² mittlere Scheibenfläche	Schwachholz	Starkholz	
	innen	außen	gesamt
Scheibe 1	0,003	0,002	0,002
Scheibe 2	0,011	0,007	0,008
Scheibe 3	0,028	0,002	0,010
Scheibe 4	0,037	0,027	0,029

Während WESLIEN (1995) zum gleichen Schluss kommt, stellen SCHUHMACHER et al. (1997) und HOLZMANN (1998) an 47 Jahre alten Fichten eine Zunahme der Anzahl und der Größe der Harzgallen vom Mark zur Rinde fest. Die Autoren weisen jedoch nach, dass in den Folgejahren nach Durchforstungen und Stürmen (Orkan Wiebke) vermehrt Harzgallen entstehen. Diese Ereignisse traten bei den untersuchten Beständen erst im Alter von 25, 32 und 41 Jahren auf. Somit lässt sich die Zunahme vom Mark zur Rinde nicht eindeutig auf das höhere Alter oder die größere Dimension der Bäume zurückführen.

7.2.4 Reaktionsholz

Der für die Rundholzsortierung nach ENV 1927-1 maßgebende Reaktionsholzanteil ist in **Abb. 24** und **Abb. 25** dargestellt. **Abb. 24** zeigt die Einstufung in die Sortierklassen A bis D der ENV 1927-1. Aus **Abb. 25** ist zu ersehen, dass sich der Reaktionsholzanteil über die Stammhöhe praktisch nicht ändert, da die drei Summenhäufigkeiten, außer im Bereich von 6% bis 10% Reaktionsholzanteil, nahezu gleich verlaufen.

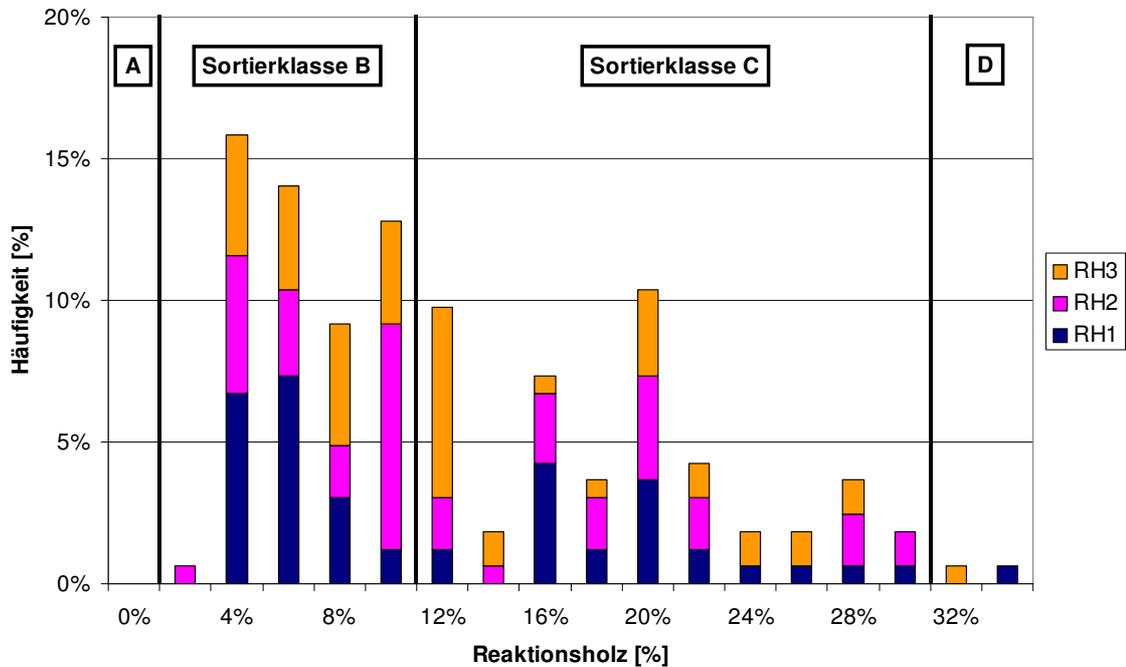


Abb. 24: Häufigkeit des Reaktionsholzes⁷ in 164 erfassten Stammscheiben.

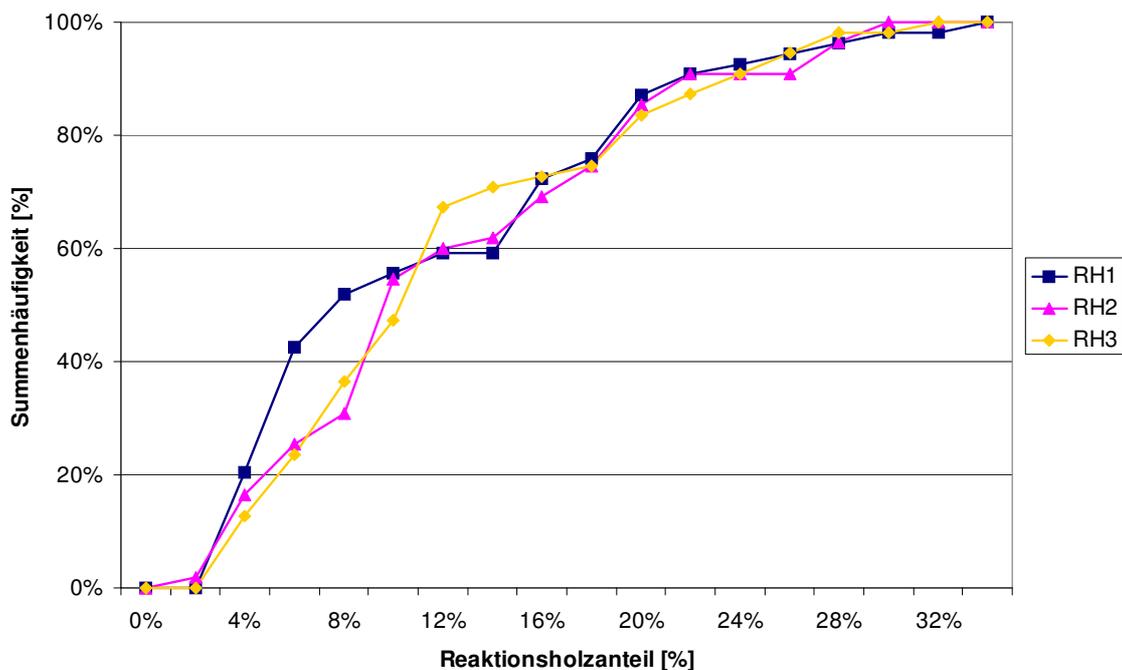


Abb. 25: Summenhäufigkeit des Reaktionsholzes⁶ in 164 Stammscheiben.

⁷ Berechnet gemäß ENV 1927-1, bezogen auf den Durchmesser mit dem größten Reaktionsholzanteil

In **Abb. 26** ist die Reaktionsholzfläche aller Stammscheiben über der Nummer des Segments der Schablone, getrennt nach Flächen mit geringem Reaktionsholzanteil (Rh1) und mit hohem Reaktionsholzanteil (Rh2), aufgetragen. Reaktionsholz tritt verstärkt in den Segmenten 1,0 bis 4,0 auf ($> 2.000 \text{ cm}^2$), das Maximum liegt mit ca. 3.200 cm^2 im Segment 2,5. Diese Häufung im Osten (Segment 3,0), mit leichter Tendenz Richtung Norden (Segment 0,0), passt zu den Ergebnissen der Exzentrizität. Im Süden (Segment 6,0) und Westen (Segment 9,0) befindet sich dagegen mit ca. 500 cm^2 wenig Reaktionsholz. Bei SEELING (1999) kommt Reaktionsholz übereinstimmend mit den größten Stammradien gehäuft in nord- bis nordöstlicher Richtung vor. Dagegen tritt Reaktionsholz nach BERNHART (1966), KUFNER (1985) und KLEINSCHMIT V. L. (2005), deren Untersuchungen sich auf den Bayerischen Wald konzentrieren, bedingt durch die dort vorherrschende Windrichtung und Hangexposition, verstärkt im Südosten bis Südwesten auf.

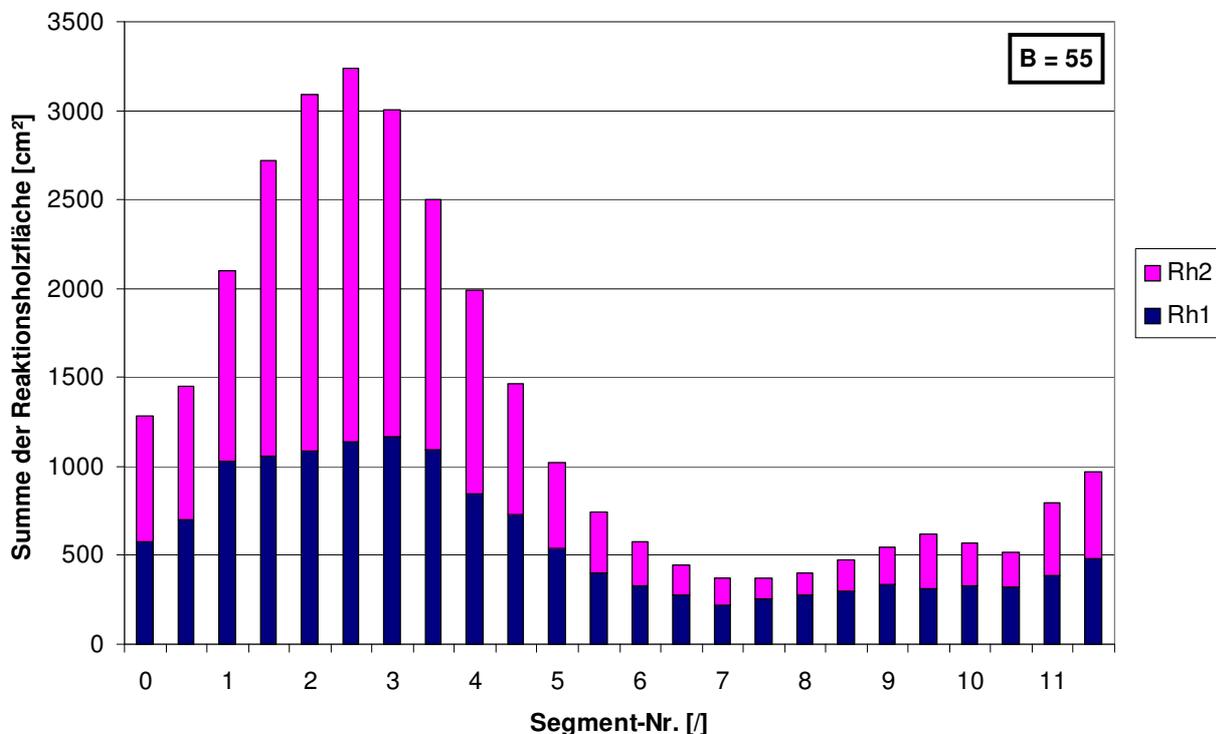


Abb. 26: Summe der Reaktionsholzfläche aller 220 Stammscheiben über der Segment-Nr. (0 = Nord, 3 = Ost, 6 = Süd, 9 = West)

In **Tab. 23** sind die Reaktionsholzfläche je Stammscheibe, die Fläche der Stammscheibe und der auf die Stammquerschnittsfläche bezogene Reaktionsholzanteil zusammengestellt. Die Reaktionsholzfläche (Rh) bleibt in den vier Baumhöhen mit ca. 65 cm^2 etwa konstant. Scheibe 4 liegt im Mittel um 4% unter den Werten der unteren drei Stammscheiben. Der Mittelwert des Reaktionsholzanteils (Rh%) steigt mit zunehmender Baumhöhe entsprechend der abnehmenden Stammscheibenfläche (A_{Scheibe}) nahezu linear an. **Abb. 27** verdeutlicht das graphisch.

Tab. 23: Reaktionsholzfläche (Rh), Fläche der Stammscheibe (A) sowie Reaktionsholzanteil (Rh%) gesamt und nach Baumhöhen getrennt

Messgröße	Kollektiv	Min	Max	MW	s	N
Rh [cm ²]	Gesamt	2,0	271,3	64,8	41,9	219
	Scheibe 1	2,0	209,3	65,4	47,1	54
	Scheibe 2	9,3	175,0	65,1	38,9	55
	Scheibe 3	4,2	271,3	65,4	47,1	55
	Scheibe 4	8,4	175,0	63,1	34,0	55
A _{Scheibe} [cm ²]	Gesamt	489,3	4.893,3	1.902,0	794,0	220
	Scheibe 1	1.460,2	4.893,9	2.905,3	723,7	55
	Scheibe 2	1.101,1	2.875,7	1.899,3	412,5	55
	Scheibe 3	863,6	2.435,9	1.578,6	386,8	55
	Scheibe 4	489,3	1.997,5	1.224,6	357,1	55
Rh% [%] = Rh [cm ²] / A _{Scheibe} [cm ²]	Gesamt	0,1	13,2	3,8	2,4	219
	Scheibe 1	0,1	9,6	2,5	2,1	54
	Scheibe 2	0,6	8,6	3,4	1,8	55
	Scheibe 3	0,3	11,1	4,0	2,3	55
	Scheibe 4	1,0	13,2	5,2	2,4	55

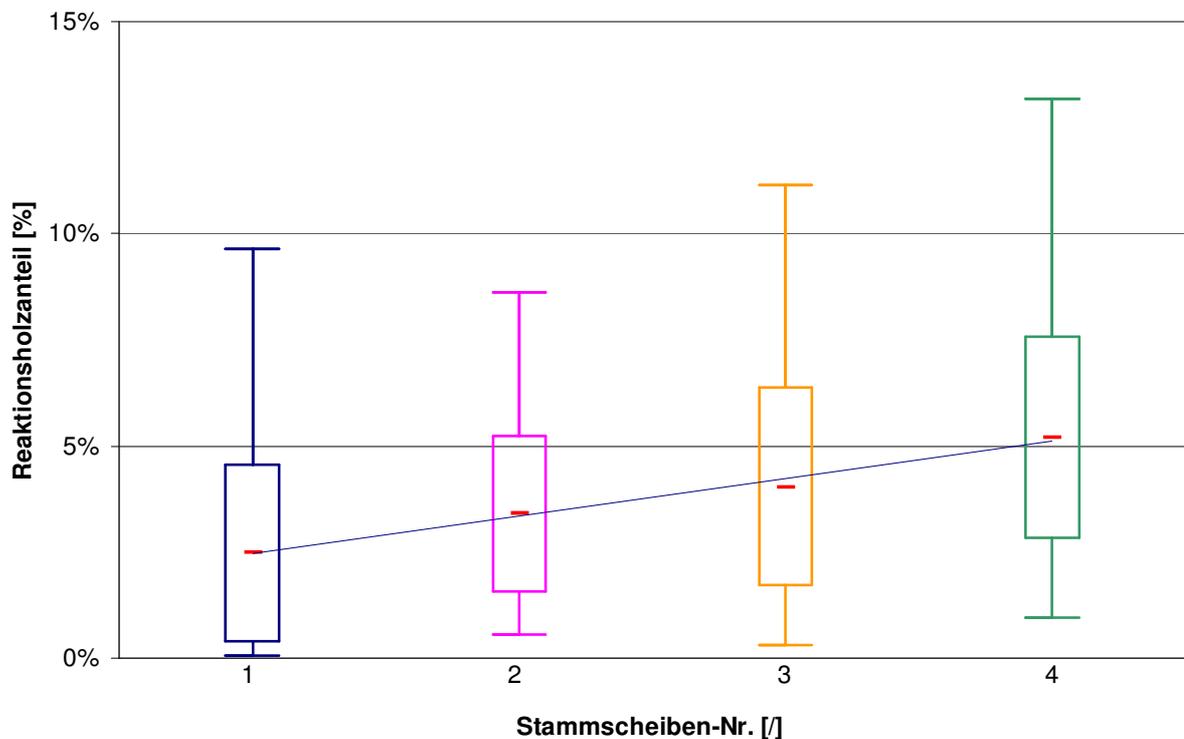


Abb. 27: Reaktionsholzanteil in den vier Baumhöhen (1 = 1,3 m, 4 = 17,1 m)

Abb. 28 stellt exemplarisch die BHD-Scheibe eines Baumes aus dem Forstamt Schongau dar. Die Sektoren der Schablone, die Reaktionsholz enthalten, sind eingezeichnet. Sektoren mit geringem Reaktionsholzanteil sind rot umrandet (Rh 1), Sektoren mit hohem Reaktionsholzanteil sind schwarz umrandet (Rh 2). Der Schwachholzbereich mit einem BHD von 35 cm (6.5) ist durch einen grünen Kreis dargestellt.

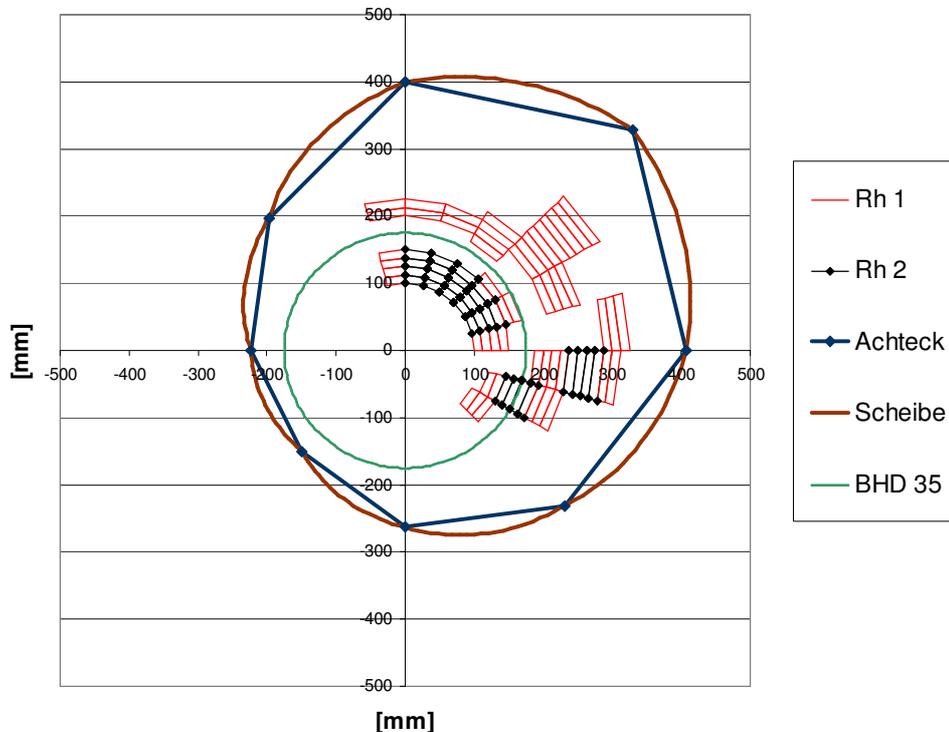


Abb. 28: Stammscheibe eines Baumes aus dem Forstamt Schongau mit Sektoren, die Reaktionsholz enthalten

In **Tab. 24** wird der Reaktionsholzanteil des Schwachholzbereichs dem Stammquerschnitt des Starkholzstammes gegenübergestellt. Beim Vergleich der Mittelwerte schneidet Starkholz bei der BHD-Scheibe um 0,8% besser ab, während Schwachholz in den Scheiben 2 bis 4 um 0,2% bis 0,9% weniger Reaktionsholz aufweist. Diese Unterschiede sind nicht signifikant (t-Test mit $\alpha=0,05$). Berücksichtigt man, dass der Reaktionsholzanteil des Schwachholzes bei diesem Vergleich unterschätzt wird, weil die reaktionsholzbedingte Exzentrizität des Schwachholzquerschnitts vernachlässigt wurde (**Abb. 28**), weisen die Ergebnisse bezüglich des Reaktionsholzanteils auf keinen deutlichen Unterschied zwischen Schwachholz und Starkholz hin.

Tab. 24: Reaktionsholzanteil des Schwachholz- und Starkholzkollektivs in den vier Baumhöhen

Reaktionsholz- anteil [%]	Schwachholz				Starkholz ¹			
	Min	Max	Mw	s	Min	Max	Mw	s
Scheibe 1	0,0	11,9	3,6	2,7	0,1	10,8	2,8	2,3
Scheibe 2	0,0	11,8	3,6	2,8	0,6	9,7	3,8	2,1
Scheibe 3	0,0	15,1	4,0	3,1	0,4	12,4	4,5	2,6
Scheibe 4	0,0	23,8	4,9	4,0	1,1	14,7	5,8	2,6

¹ Werte über den gesamten Stammquerschnitt

7.2.5 Kernfäule

Kernfäule trat bei 14 von 55 Probebäumen an 17 Stammscheiben auf. In 13 der 14 Fälle war nur die BHD-Scheibe betroffen. Nur an einem Baum aus dem Forstamt Kreuth wurde Fäule in allen vier Stammscheiben bis 15 m Baumhöhe festgestellt. Eine „versteckte“ Kernfäule, die nicht an der BHD-Scheibe, sondern erst weiter oben im Stamm beginnt und daher am nicht aufgeteilten Stamm nicht zu erkennen ist, trat nicht auf.

In **Tab. 25** ist sowohl die Fläche der Kernfäule als auch der Kernfäuleanteil über alle Stammscheiben und in den vier Baumhöhen zusammengefasst.

Tab. 25: Von Kernfäule befallene Fläche F sowie Kernfäuleanteil F% in den vier Baumhöhen
N: Anzahl Stammscheiben mit Kernfäule

Messgröße	Kollektiv	Min	Max	MW	s	N
F [cm²]	Gesamt	72	1775	475	450	17
F% [%]	Gesamt	2	43	16	13	17
	Scheibe 1	2	43	14	13	14
	Scheibe 2	-	-	23	-	1
	Scheibe 3	-	-	37	-	1
	Scheibe 4	-	-	24	-	1

7.2.6 Normalrohddichte

In **Tab. 26** ist die Normalrohddichte (ρ_{12}) der einzelnen Prüfkörper dargestellt. Sie reicht von 277 kg/m^3 bis 647 kg/m^3 und liegt im Mittel bei 431 kg/m^3 . Die Standardabweichung beträgt 48 kg/m^3 .

Tab. 26: Normalrohddichte (ρ_{12}) der 2.424 Prüfkörper in der untersten und obersten Stammscheibe

Messgröße	Kollektiv	Min	Max	MW	s	N
$\rho_{12} [\text{kg/cm}^3]$	Gesamt	277	647	431	48	2.424
	Scheibe 1	277	638	426	49	1.489
	Scheibe 4	332	647	441	45	935

In **Abb. 29** ist die Rohddichte gegliedert nach Forstämtern aufgetragen. Der Mittelwert der Prüfkörper liegt in den einzelnen Ämtern zwischen 407 kg/m^3 , Forstamt Kelheim, und 446 kg/m^3 , Forstamt Freyung.

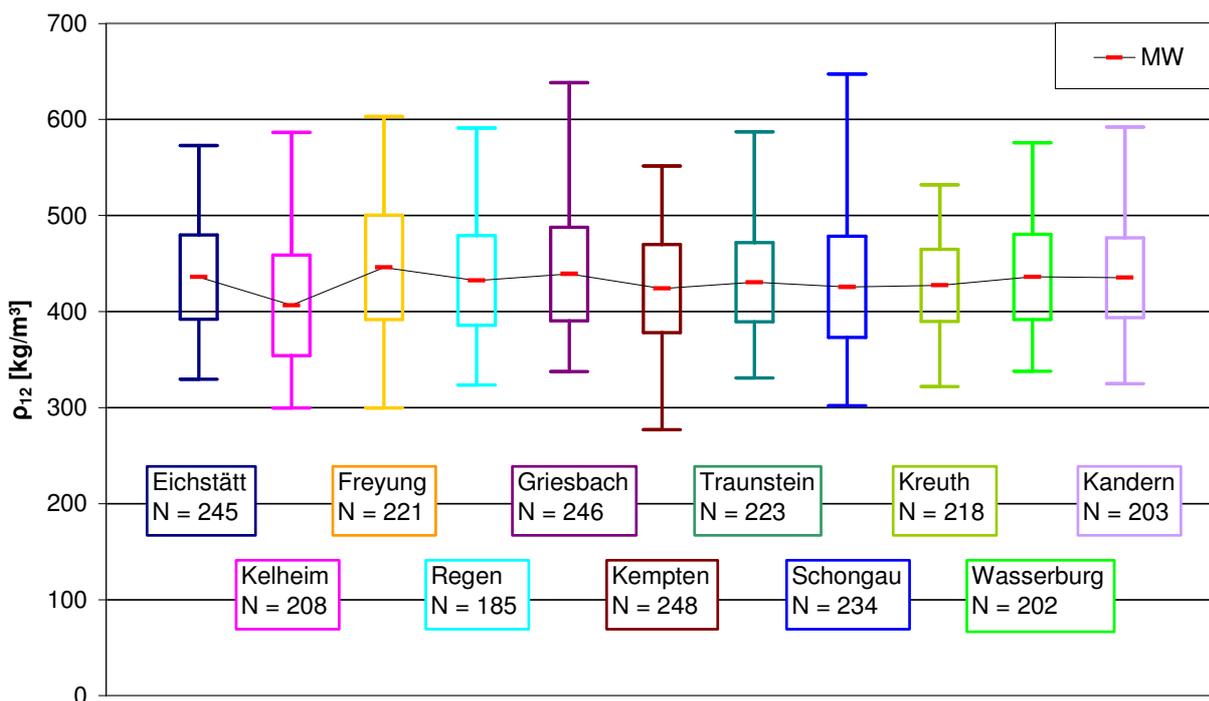


Abb. 29: Normalrohddichte der Probebäume, getrennt nach Forstämtern

Tab. 27 enthält die Werte der Normalrohddichte der Stammscheiben, die aus den zugehörigen Prüfkörpern gemittelt wurden. Dabei liegt der Mittelwert der obersten Stammscheibe 3% über dem der untersten Stammscheibe. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Rohddichte nicht an fehlerfreien Proben erhoben wurde und damit vor allem in der unteren Stammscheibe der Einfluss der Kernfäule zum Tragen kommt (**6.2.6** und Kleinstwerte in **Tab. 26**).

Tab. 27: Normalrohddichte der untersten und obersten Stammscheibe (N = 55)

Kollektiv	ρ_{12} [kg/cm ³]			
	Min	Max	MW	s
Scheibe 1	360	500	427	30
Scheibe 4	388	524	440	27

In **Tab. 28** ist die Entwicklung der Rohddichte mit zunehmender Entfernung von der Markröhre dargestellt. Dazu wurden aus den Prüfkörpern aller Scheiben an der jeweils gleichen Position, nach den zwei Baumhöhen getrennt, die Mittelwerte gebildet. Bei einem Baum steigt die Jahrringbreite in der BHD-Scheibe von der Markröhre nach außen von 1 mm auf ca. 7 mm an. Die Rohddichte fällt dabei von innen nach außen um 31% von 540 kg/m³ auf 380 kg/m³. Wegen dieses absolut atypischen Verlaufs bleibt diese Scheibe bei den folgenden Betrachtungen unberücksichtigt. Dadurch sinkt die Anzahl der Probekörper in der unteren Stammscheibe von 220 auf 216 Stück.

Innerhalb der unteren Stammscheibe steigt die Rohddichte nach außen bis Probekörper 6 an und fällt dann bis zum Probekörper 10 wieder ab. Das ist im Wesentlichen auf die geringere Probekörperanzahl in größerer Entfernung von der Markröhre zurückzuführen, womit unterschiedliche Teilkollektive verglichen werden. Aus **Abb. 30** ist zu ersehen, dass die Rohddichte mit zunehmender Länge des Radius tendenziell abnimmt. Das belegt beispielhaft die mittlere Rohddichte der Prüfkörper der 8 längsten Radien mit 10 Prüfkörpern, die mit 392 kg/m³ knapp 8% unter der mittleren Rohddichte aller BHD-Scheiben (Scheibe 1) liegt. Innerhalb der Stammscheibe 4 steigt die mittlere Rohddichte von innen nach außen um 18% von 425 kg/m³ auf 505 kg/m³, wobei der letzte Wert allerdings aus nur vier Prüfkörpern gemittelt wurde.

Tab. 28: Mittelwerte der Normalrohddichte mit zunehmender Entfernung von der Markröhre

Messgröße	Kollektiv	Position der Prüfkörper									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mittlere ρ_{12} [kg/cm ³]	Scheibe 1	402	405	422	432	440	445	441	434	429	414
	Scheibe 4	425	427	444	458	470	493	505	-	-	-
N Prüfkörper [Stück]	Scheibe 1	216	216	216	216	211	175	113	58	29	8
	Scheibe 4	220	220	216	179	74	22	4	-	-	-
Standardfehler [kg/m ³]	Scheibe 1	3,5	3,1	3,2	3,1	3,1	3,5	4,4	5,8	8,4	10,5
	Scheibe 4	2,7	2,6	2,5	3,2	5,9	11,4	27,0	-	-	-

Abb. 30 zeigt am Beispiel der Stammscheibe 1 die Entwicklung der Rohdichte mit zunehmender Entfernung von der Markröhre, nach Radien getrennt. Dargestellt sind sieben Radien mit jeweils gleicher Prüfkörperanzahl sowie der Verlauf des Mittelwerts der Prüfkörper an der gleichen Position (schwarze Linie mit grünen Punkten), der den Werten in **Tab. 28** entspricht. In den Kästchen über der Legende ist die Anzahl der Radien vermerkt, die aus der gleichen Anzahl von Probekörpern bestehen (4 bis 10) und die jeweils eine Kurve bilden. Der Einfluss der Exzentrizität bewirkt, dass die Rohdichte mit zunehmender Radienlänge abnimmt. Die mittlere Rohdichte nimmt in den einzelnen Radien vom inneren zum äußeren Prüfkörper von 8% (Radius 10) bis 15% (Radius 6) zu.

Für jede Scheibe wurde die prozentuale Zunahme vom inneren zum äußeren Probekörper als Mittelwert aus den vier Himmelsrichtungen ermittelt. Die mittlere Zunahme ist in **Tab. 29** aufgeführt. Im Mittel steigt die Rohdichte von innen nach außen in Scheibe 1 um 20% und in Scheibe 4 um 16%.

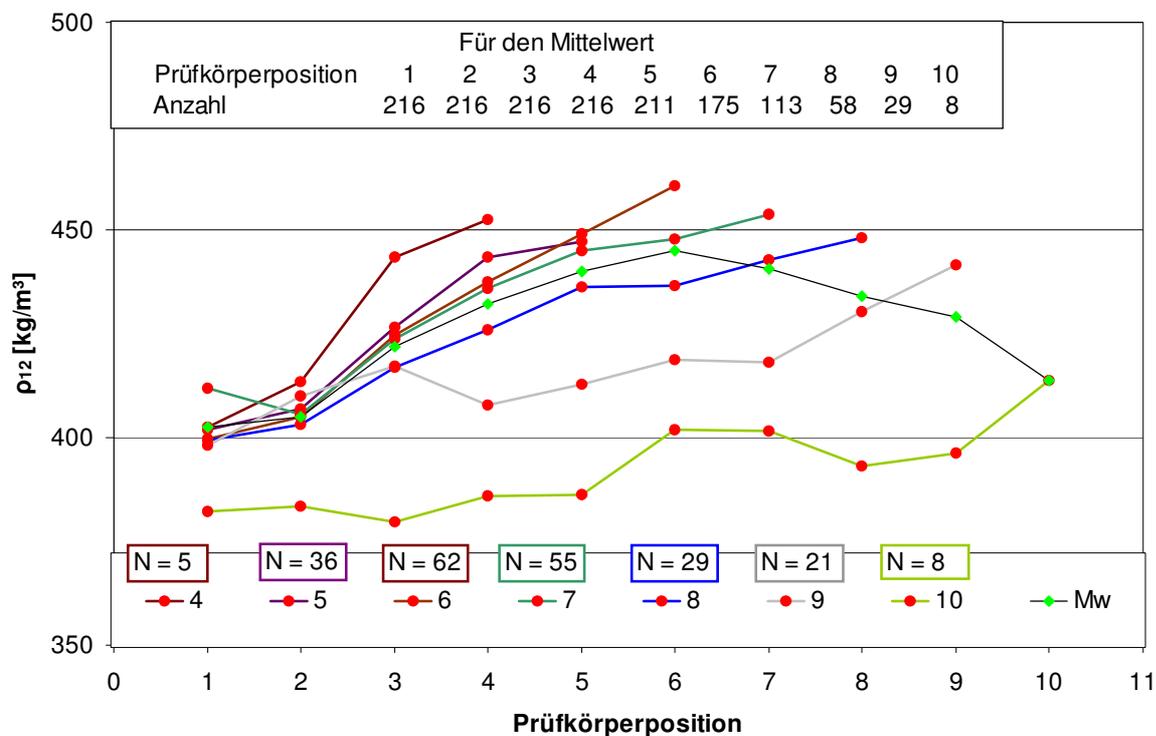


Abb. 30: Normalrohichte vom Mark (Probe 1) zum Rand der Scheibe (Probe 10) als Mittelwert über alle Prüfkörper gleicher Position und getrennt nach Radien gleicher Länge

Tab. 29: Mittlere Zunahme der Normalrohichte vom innersten zum äußersten Probekörper

Messgröße	Kollektiv	Min	Max	MW	s	N
Zunahme der ρ_{12} [%]	Scheibe 1	2	46	20	10	54
	Scheibe 4	3	42	16	8	55

Abb. 31 zeigt den Zusammenhang zwischen der mittleren Jahrringbreite und der mittleren Rohdichte der Stammscheiben. Mit zunehmender mittlerer Jahrringbreite sinkt die mittlere Rohdichte, wobei sich jedoch nur 15% bis 25% der Streuung der mittleren Rohdichte mit der mittleren Jahrringbreite erklären lassen. Diese Bestimmtheitsmaße unterscheiden sich signifikant von 0 (Signifikanzniveau = 0,00). Der Unterschied zwischen Scheibe 1 und Scheibe 4 ist verhältnismäßig gering. In **Abb. 32** ist die Rohdichte der einzelnen Prüfkörper über der Anzahl Jahrringe pro Prüfkörper dargestellt. Mit zunehmender Jahrringanzahl bzw. abnehmender Jahrringbreite steigt die Rohdichte an. Die Mittelwerte der vier Himmelsrichtungen unterscheiden sich nur unwesentlich. Der Erklärwert der Jahrringbreite ist mit Bestimmtheitsmaßen zwischen 0,13 und 0,24 gering, das Signifikanzniveau beträgt in allen vier Fällen 0,00. Da die Streuung der Rohdichte mit zunehmender Anzahl der Jahrringe pro Prüfkörper abnimmt, ist zwar formell die Voraussetzung für eine Regression nicht gegeben, jedoch ergeben sich ähnliche Bestimmtheitsmaße im Bereich mit homogener Streuung.

Den geringen Zusammenhang zwischen Jahrringbreite und Rohdichte bei Fichte bestätigen BRÄKER (1980) und KLEINSCHMIT v. L. (2005) mit Bestimmtheitsmaßen von 0,25 und 0,31. BERNHART (1964) zeigt an 10 Fichten aus dem Bayerischen Wald, dass die Beziehung Rohdichte - Jahrringbreite innerhalb eines Baumes enger ist. Die Bestimmtheitsmaße reichen von 0,36 bis 0,78. Schwerere Fichten weisen höhere Spätholzanteile und dickere Zellwände auf. Nach TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN (1955) können Hölzer mit gleicher Jahrringbreite auf Grund unterschiedlicher Früh- und Spätholzanteile unterschiedliche Rohdichte aufweisen.

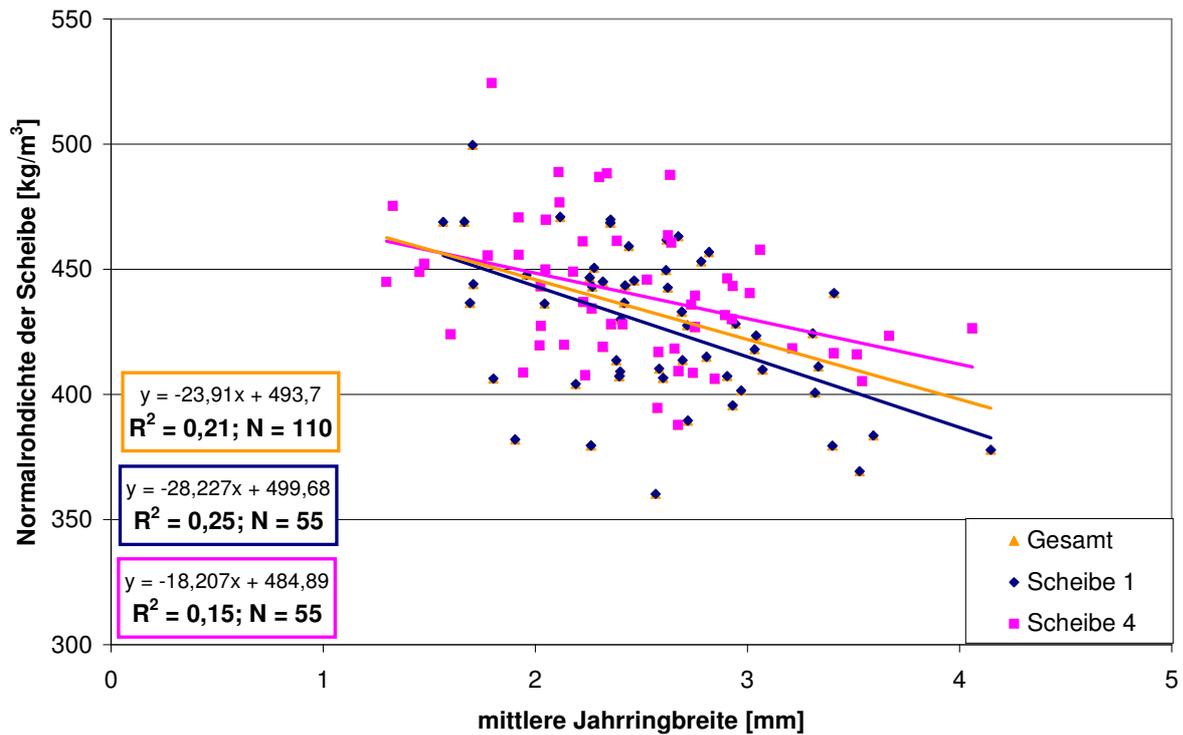


Abb. 31: Zusammenhang zwischen der Normalrohddichte und der mittleren Jahrringbreite der Stammscheiben, N = 55

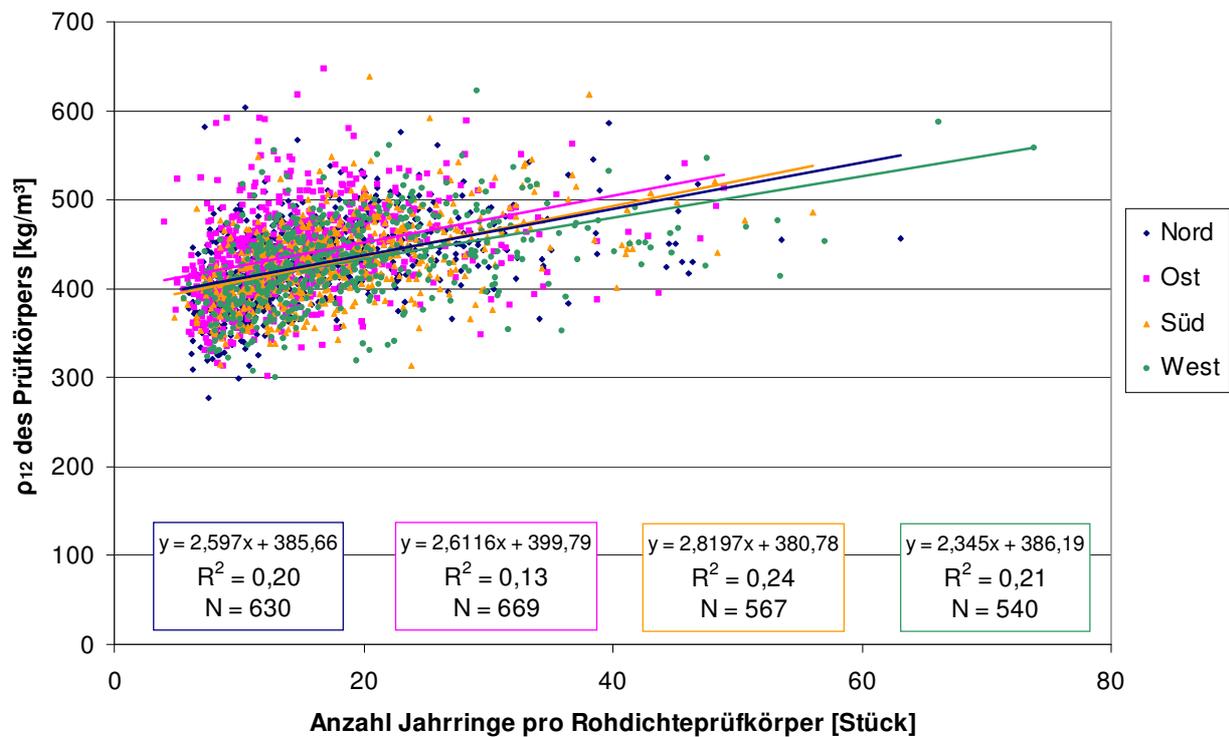


Abb. 32: Zusammenhang zwischen der Normalrohddichte und der Anzahl der Jahrringe pro Rohddichteprüfkörper

Um die am Starkholz erhobene Rohdichte mit der in schwächeren Bäumen zu erwartenden zu vergleichen, wurden an jedem Probebaum zusätzlich die Rohdichteprüfkörper ausgewertet, die bis zu einem BHD von 35 cm (= 4 Prüfkörper) entstanden sind. In der obersten Scheibe wurden in jedem Radius 2 Prüfkörper berücksichtigt.

In **Tab. 30** wird Starkholz und Schwachholz anhand der Zunahme der Rohdichte vom innersten zum äußersten Probekörper verglichen. Innerhalb des Schwachholzkollektivs nimmt die Rohdichte im Mittel nur um 3% (Scheibe 4) und 13% (Scheibe 1) zu, während die Zunahme beim Starkholz mit 16% und 20% im Mittel signifikant höher liegt (t-Test mit $\alpha = 0,05$). Diese Zunahme von 16% bis 20% entspricht in etwa den Ergebnissen, die KUFNER (1985) und BUES (1996) an Kleinproben ermittelten. Dagegen ist nach GLOS und TRATZMILLER (1996a), GLOS und AUKOFER (1999), GLOS et al. (1999) sowie PERSTORPER et al. (1995a) die Zunahme bei Gebrauchsproben mit 10% bis 14% etwas geringer (**4.4**).

Tab. 30: Vergleich zwischen Schwachholz und Starkholz; Zunahme der Normalrohichte vom innersten zum äußersten Probekörper

Zunahme der ρ_{12} [%]	Schwachholz				Starkholz			
	Min	Max	Mw	s	Min	Max	Mw	s
Scheibe 1	2	39	13	9	2	46	20	10
Scheibe 4	0	12	3	3	3	42	16	8

7.2.7 Innere Astigkeit

Die mittlere Anzahl der Äste pro Astquirl liegt bei ca. 4,3 Stück, wobei kein Höheneinfluss festzustellen ist. Dagegen steigen der mittlere Astdurchmesser und der Durchmesser des größten Astes mit zunehmender Baumhöhe im Mittel von 19,0 mm auf 29,9 mm bzw. von 24,0 mm auf 41,0 mm an (**Tab. 31**).

Tab. 31: Anzahl der Äste sowie mittlerer und größter Astdurchmesser pro Astquirl in unterschiedlichen Baumhöhen (N = 55)

Messgröße	Kollektiv	Min	Max	MW	s
N Äste pro Astquirl [Stück]	Abschnitt 1	1	9	4,28	1,45
	Abschnitt 2	1	9	4,24	1,78
	Abschnitt 3	1	9	4,40	1,50
Mittlerer Astdurchmesser [mm]	Abschnitt 1	6	30	19,0	5,5
	Abschnitt 2	9	43	25,3	8,2
	Abschnitt 3	14	45	29,9	7,0
Durchmesser des größten Asts [mm]	Abschnitt 1	7	42	24,0	7,1
	Abschnitt 2	14	55	33,2	9,6
	Abschnitt 3	19	80	41,0	10,2

In **Abb. 33** ist die Astigkeit, berechnet als Quotient aus der Summe der Astdurchmesser und dem Stammdurchmesser an der Stelle des Astquirls, dargestellt. Die Astigkeit verdoppelt sich mit zunehmender Baumhöhe von 0,17 auf 0,35.

Die Anzahl der Grünäste nimmt ebenfalls mit zunehmender Baumhöhe von 2 (1%) auf 55 (23%) zu (**Tab. 32**).

Tab. 32: Anzahl der Grünäste in unterschiedlichen Baumhöhen

Messgröße	Kollektiv	N [Stück]	N [%]
Anzahl Grünäste	Abschnitt 1	2	1%
	Abschnitt 2	12	5%
	Abschnitt 3	55	23%

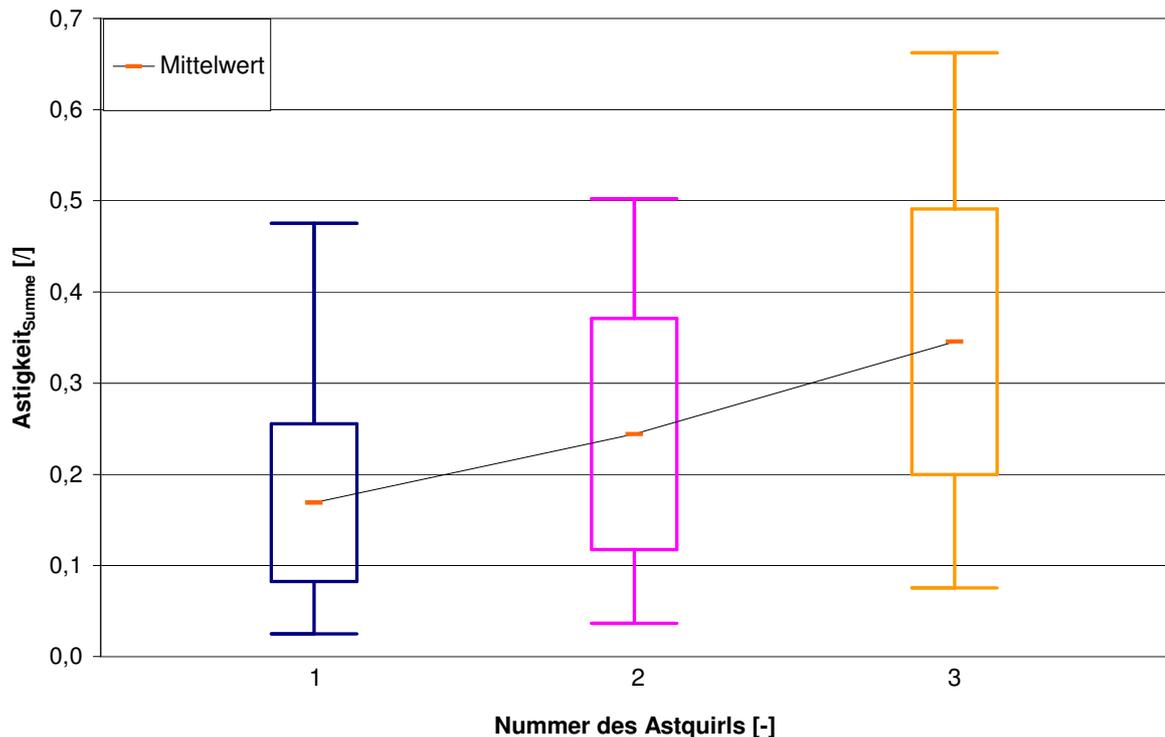


Abb. 33: Astigkeit aus der Summe der Astdurchmesser, bezogen auf den Durchmesser des Abschnitts

Abb. 34 zeigt die kumulative Verteilung der horizontalen Lebendastlänge der Äste, die aus einem Gesund- und Totastbereich bestehen. 90% der Äste im unteren Abschnitt sterben spätestens nach 150 mm, während im mittleren und oberen Abschnitt 90% der Äste erst nach 170 mm bzw. 180 mm abgestorben sind. Da ab der Übergangszone zwischen Lebend- und Totast der Astdurchmesser nicht mehr zunimmt, ist die Entfernung dieses Bereichs vom Mark von besonderer Bedeutung.

Vergleicht man die Astigkeit des Schwachholzbereichs (BHD 35) mit der Astigkeit des Starkholzstammes, dann ergibt sich in den verschiedenen Stammhöhen folgendes Bild: Im unteren Stammabschnitt sind 90% der Äste nach 150 mm, also noch im Schwachholzbereich, abgestorben. Der Durchmesser dieser Äste wächst damit im Starkholzbereich nicht weiter an. Gleichzeitig nimmt die Astigkeit, d. h. der Quotient aus der Summe der Astdurchmesser und dem Stammdurchmesser, mit zunehmender Stammstärke ab. Somit weist das Starkholz im ersten Stammabschnitt etwa die gleichen Astdurchmesser, aber eine deutlich geringere Astigkeit als das Schwachholz auf. Mit zunehmender Baumhöhe wächst die Lebendastlänge an (**Abb. 34**). Somit sind im zweiten und dritten Stammabschnitt des Schwachholzes bei den dort vorhandenen Zopfdurchmessern von 25 cm und 18 cm erst 57% bzw. 18% der Äste abgestorben. Dadurch werden die Astdurchmesser im stärkeren Holz noch um 25% bis 80% zunehmen, wogegen die Astigkeit als Quotient von Ast- und Stammdurchmesser, wegen des Anstiegs des Stammdurchmessers von 25 cm auf 53 cm bzw. 18 cm auf 48 cm, auch im zweiten und dritten Stammabschnitt niedriger als im Schwachholz ist.

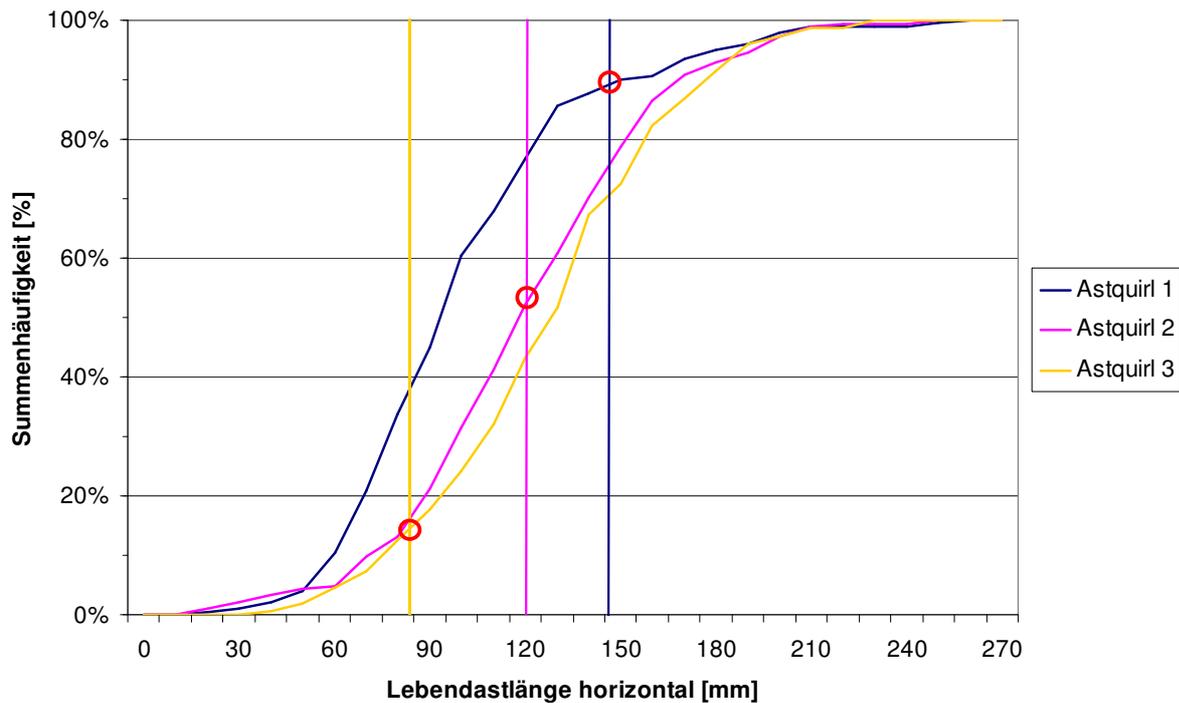


Abb. 34: Summenhäufigkeit der Lebendastlänge in unterschiedlichen Baumhöhen

Mit zunehmender Lebendastlänge steigt der Astdurchmesser am Übergang vom Lebend- zum Totast an (**Abb. 35**). Ein t-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Astquirlen. Das Bestimmtheitsmaß liegt mit 0,40 bis 0,45 signifikant über 0 (Signifikanzniveau $< 0,05$) und nur geringfügig unter dem von KLEINSCHMIT v. L. (2005) an Fichten aus Zwiesel ermittelten (0,60).

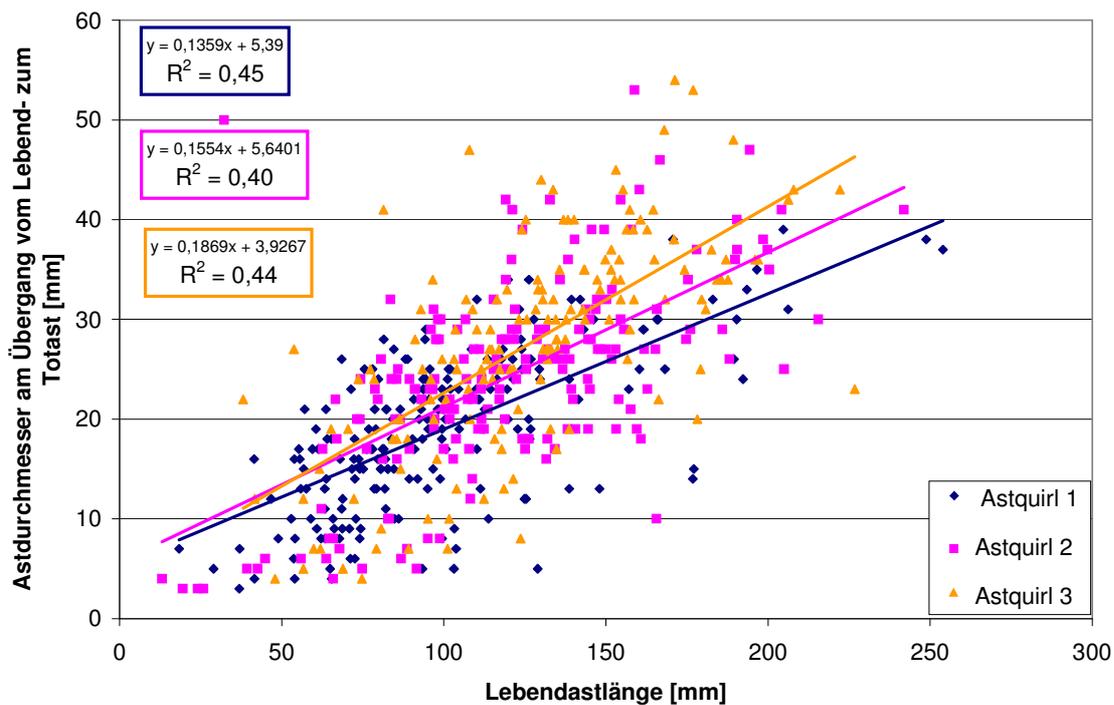


Abb. 35: Astdurchmesser am Übergang vom Lebend- zum Totast über der Lebendastlänge

7.2.8 Rundholzsortierung nach ENV 1927-1

Äste und Harzgallen wurden in den Forstämtern Kandern und Kreuth nicht aufgenommen, da zum Zeitpunkt der dortigen Aufnahmen eine Sortierung der Rundholzabschnitte nicht vorgesehen war. Daher wurden diese beiden Merkmale an 135 Abschnitten von 45 Bäumen erfasst. Die anderen Merkmale wurden mit Ausnahme des Reaktionsholzes, bei dem ein Abschnitt nicht erfasst wurde, an allen 165 Abschnitten aufgenommen.

Werden die Rundholzabschnitte nur nach einem der in ENV 1927-1 aufgeführten Kriterien sortiert, ergeben sich die in **Tab. 33** aufgeführten Ausbeuten.

Tab. 33: Anzahl der Rundholzabschnitte, die aufgrund nur eines Kriteriums in die Sortierklassen A bis D eingeteilt werden

Kriterium	Sortierklasse nach ENV 1927-1									
	A	B	C	D	Summe	A	B	C	D	Summe
	N [Stück]					N [%] ¹				
Äste	4	72	59	0	135	3	53	44	0	100
Harzgallen	91	36	8	0	135	67	27	6	0	100
Verfärbung	143	0	22	0	165	87	0	13	0	100
Fäule	149	0	0	16	165	90	0	0	10	100
Reaktionsholz	0	86	76	2	164	0	52	46	1	100
Exzentrizität	135	27	3	0	165	82	16	2	0	100
Mittlere Jahrringbreite	162	3	0	0	165	98	2	0	0	100

¹ Angaben gerundet

Auf Grund des größten vorhandenen **Astes** wurden 53% der Abschnitte in Sortierklasse B, 44% in Klasse C und nur 3% in Klasse A eingestuft.

Harzgallen wurden an den Abschnitten nur mit ihrer Anzahl, an den Stammscheiben mit ihrer Ausdehnung und Position erfasst. Die Aufnahmen am Rundholzabschnitt und der Stammscheibe führten zur gleichen Sortierklasse.

Verfärbungen traten an 22 Rundholzabschnitten auf, was 13% aller Abschnitte entspricht.

Auf Grund von **Fäule** wurden 10% in die Qualitätsstufe D eingestuft. Dabei waren, bis auf einen Baum, nur die untersten Abschnitte von Fäule betroffen.

Alle 164 untersuchten Rundholzabschnitte wiesen **Reaktionsholz** auf (**Abb. 24**). Aus **Tab. 33** ist zu ersehen, dass nach dem in der Norm vorgegebenen Kriterium keiner der Abschnitte

in die Qualitätsklasse A eingestuft werden konnte. 52% der Abschnitte entsprechen der Sortierklasse B, 46% der Sortierklasse C und 1% der Sortierklasse D.

Die **Exzentrizität** spielt für die Einstufung in die Qualitätsklassen nur eine geringe Rolle, da 82% in Klasse A, 16% in Klasse B und nur 2% der Abschnitte in Sortierklasse C eingeordnet werden.

Die **mittlere Jahringbreite** spielt bei der Sortierung von Fichtenstarkholz nach ENV 1927-1 keine Rolle. Bis auf einen Baum, der den Grenzwert nur um 0,3 mm überschreitet, erfüllen alle aufgenommenen Bäume die Anforderungen der Qualitätsklasse A (**Tab. 33**).

Sortiert man nach allen Kriterien der ENV-1927-1 (**Abb. 36, Tab. 34**), dann können nur 18 der 134 komplett sortierten Abschnitte in Klasse B eingestuft werden. 104 Abschnitte werden nach C sortiert und 12 Abschnitte fallen in die Sortierklasse D. Für diese sehr ungünstige Einstufung sind im Wesentlichen die Kriterien Äste und Reaktionsholz maßgebend. **Tab. 33** zeigt, dass das Reaktionsholz das sortierentscheidende Holzmerkmal ist.

35 Rundholzabschnitte werden ausschließlich wegen des Kriteriums Reaktionsholz in C eingestuft, davon stammen 15 aus dem untersten Abschnitt, 14 aus dem zweiten und 6 aus dem dritten Stammabschnitt. 25 Rundholzabschnitte werden auf Grund ihrer großen Äste in C eingestuft, davon stammen 13 aus dem dritten Abschnitt, 8 aus dem zweiten und 4 aus dem ersten Abschnitt. Diese gegenläufige Ausprägung von Astdurchmesser und Reaktionsholz ist für die überraschend schlechte Einstufung der Stammabschnitte in die Sortierklassen nach ENV 1927-1 verantwortlich.

10 der 44 unteren Abschnitte weisen Fäule auf. In allen Fällen war die Fäule am Fällschnitt erkennbar. Sie stellt daher keinen versteckten Fehler dar und kann bei der Sortierung der Rundholzabschnitte problemlos berücksichtigt werden.

Tab. 34: Anzahl der Rundholzabschnitte, die aufgrund aller Kriterien in die Sortierklassen A bis D eingeteilt werden; für alle Abschnitte und getrennt nach der Baumhöhe

Gegliedert nach	Sortierklasse nach ENV 1927-1									
	A	B	C	D	Summe	A	B	C	D	Summe
	N [Stück]					N [% ¹]				
Gesamt	0	18	104	12	134	0	13	78	9	100
1. RH-Abschnitt	0	5	28	11	45	0	11	64	25	100
2. RH-Abschnitt	0	10	35	0	45	0	22	78	0	100
3. RH-Abschnitt	0	3	41	1	45	0	7	91	2	100

¹ Angaben gerundet

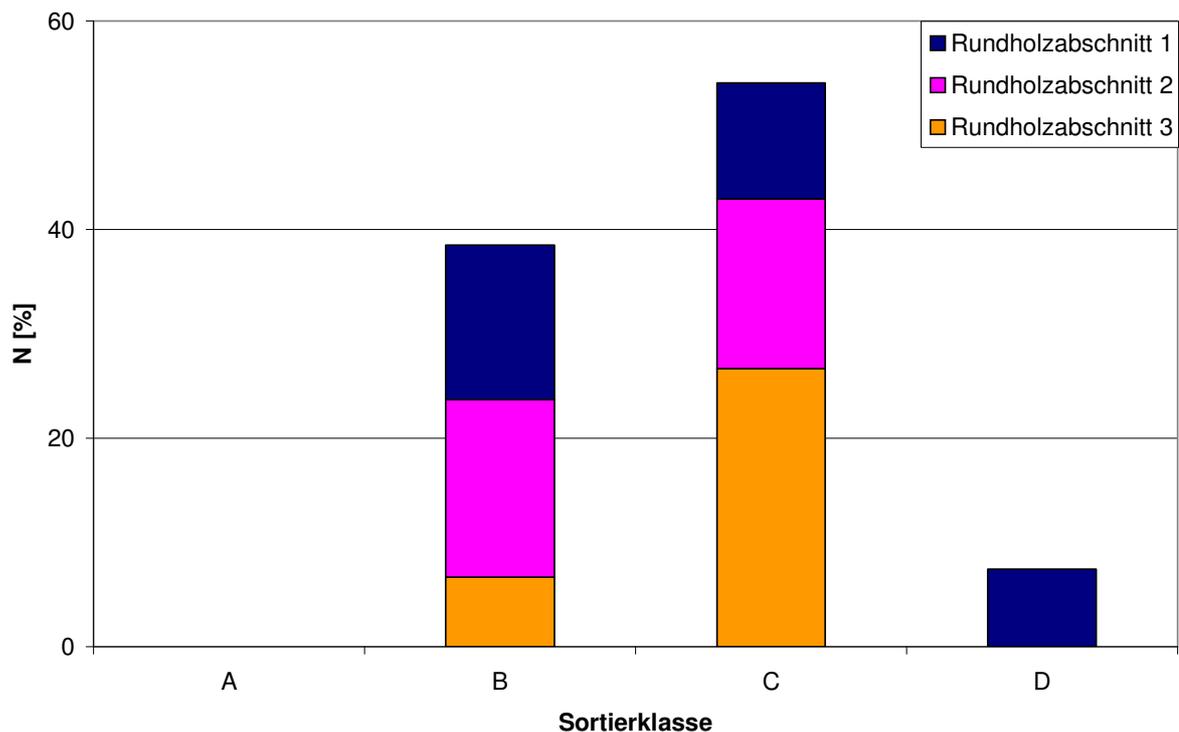


Abb. 36: Einstufung der Rundholzabschnitte aufgrund aller Kriterien in die Sortierklassen A bis D, getrennt nach der Baumhöhe

7.2.9 Zopfdurchmesser

Abb. 37 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Rundholzdurchmesser der in den Sägewerken A und B auf Kernrisse untersuchten 1.712 Stammabschnitte (3.1). Die Durchmesser reichen von 36 cm bis 108 cm, der Mittelwert liegt bei 54 cm. Im Mittel sind die Abschnitte im Sägewerk B mit 65 cm deutlich stärker als im Sägewerk A mit 49 cm. Während 60% der Abschnitte in Sägewerk A schwächer als 50 cm sind, wiesen 60% der Abschnitte im Sägewerk B einen Durchmesser von mehr als 60 cm auf.

Wie bereits in 2.1 ausgeführt, zählen Fichten in Bayern ab einem Brusthöhendurchmesser (BHD) von 48 cm zum Baumstarkholz. Bei einer Abholzigkeit im erdnahen Stammbereich von 2 cm/lfm ergibt sich daraus ein Rundholzdurchmesser am stärkeren Ende von ca. 50 cm. Somit können mehr als 1.000 der untersuchten Abschnitte als Sägestarkholz eingestuft werden. Die ca. 700 schwächeren Abschnitte wurden aufgenommen, um die am Starkholz vorhandenen Risse mit denen an schwächerem Holz vergleichen zu können.

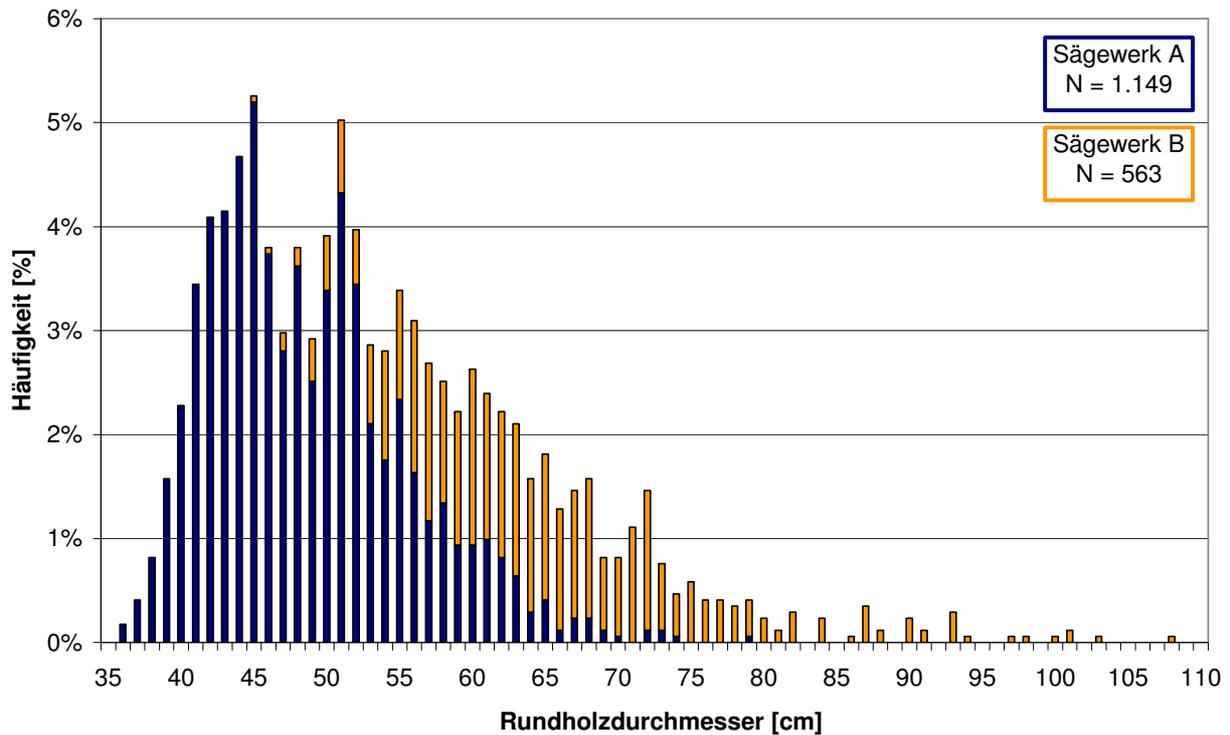


Abb. 37: Häufigkeit der Rundholzdurchmesser, N = 1.712

Abb. 38 stellt die Zopfdurchmesser der 44 Abschnitte der 12 Fichten aus dem Forstamt Kempton dar (3.2). Der Zopfdurchmesser der ersten Abschnitte lag im Mittel bei 64,5 cm, er sinkt bis zum vierten Abschnitt in etwa 20 m Stammlänge linear auf 50 cm. Damit zählen alle Abschnitte zum Sägestarkholz (Zopf > 40 cm).

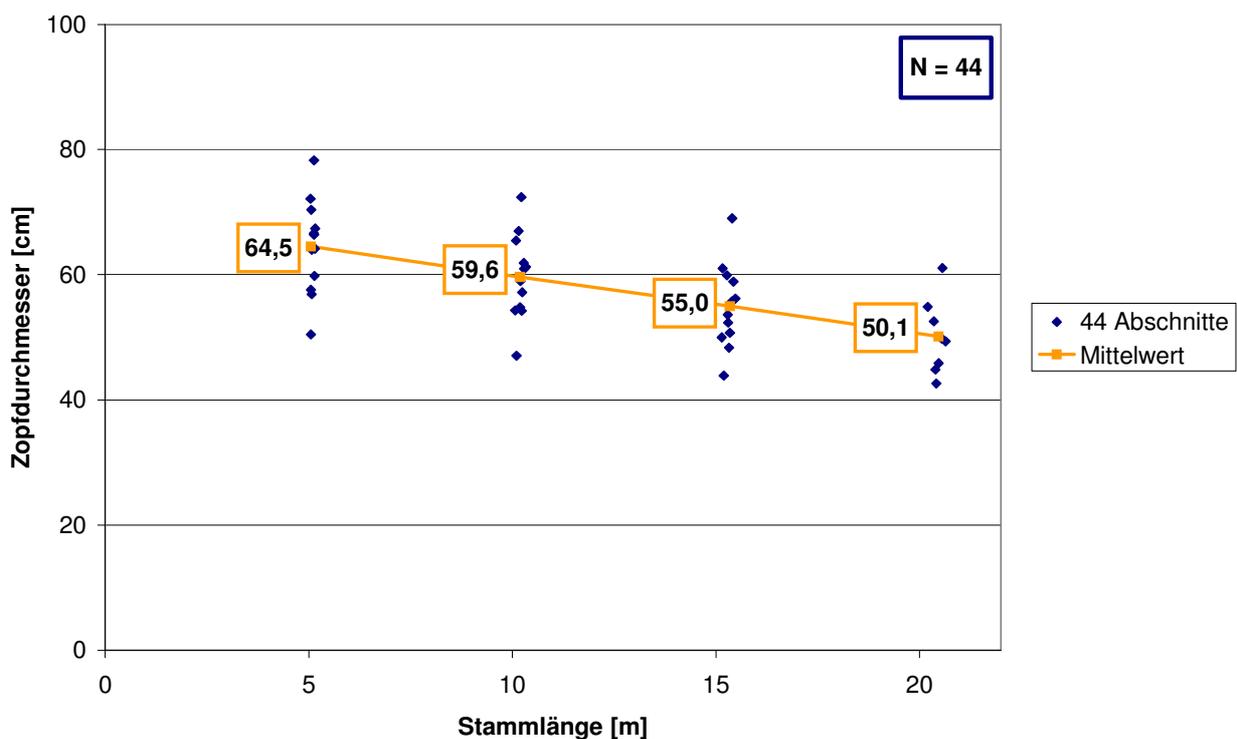


Abb. 38: Zopfdurchmesser in Abhängigkeit von der Stammlänge, N = 44

7.2.10 Kernrisse

7.2.10.1 Risse an der Stirnfläche des Rundholzes

Abb. 39 zeigt die Häufigkeit der Risse pro Stirnfläche. 12% der untersuchten Rundholzabschnitte waren rissfrei. Knapp die Hälfte der Abschnitte wiesen pro Stirnfläche zwei Risse, 20% drei Risse und 13% vier Risse auf. Bei 1% der Abschnitte waren fünf Risse vorhanden. Die mittlere Anzahl pro Stirnfläche liegt bei 2,2 Rissen, wobei zwischen dem Rundholz der Sägewerke A und B kein Unterschied besteht.

In **Abb. 40** ist der Zusammenhang zwischen der Anzahl Risse pro Stirnfläche und dem Rundholzdurchmesser dargestellt. Der Mittelwert des Durchmessers bleibt mit zunehmender Anzahl Risse mit 55 cm nahezu konstant. Die Ergebnisse lassen somit keinen Einfluss des Rundholzdurchmessers auf die Anzahl der Risse pro Stirnfläche erkennen.

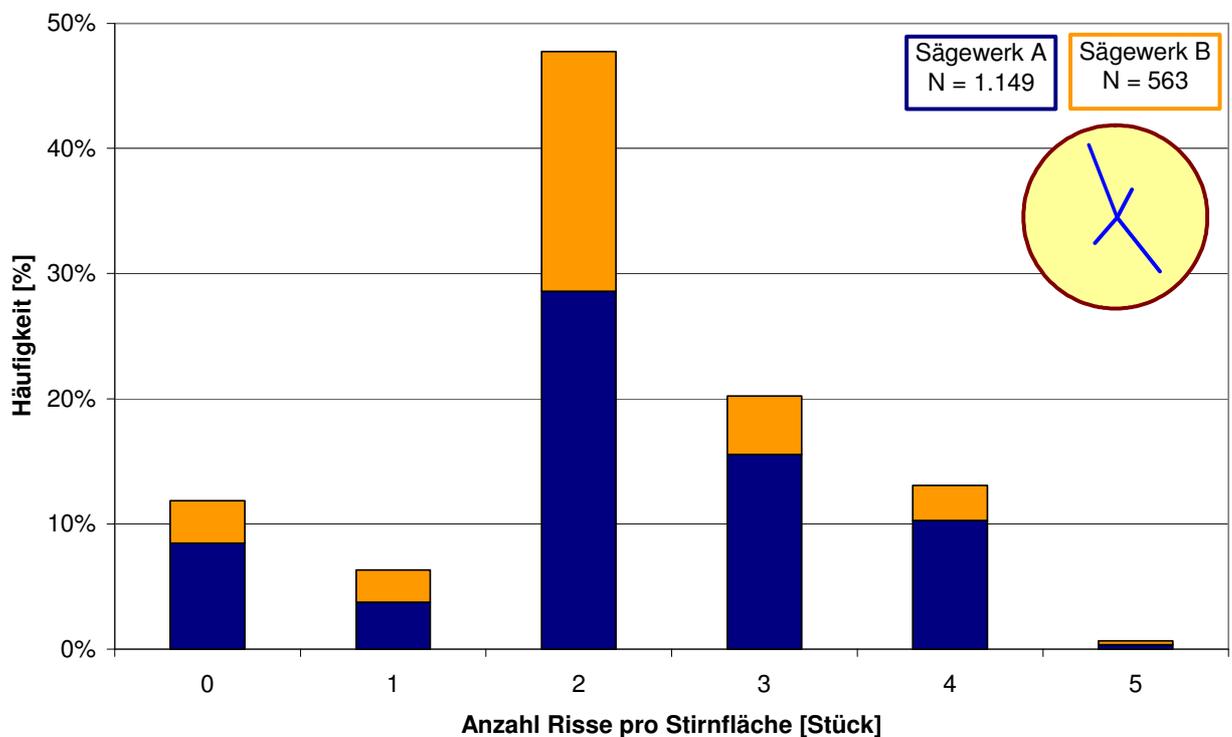


Abb. 39: Häufigkeit der Anzahl Risse pro Stirnfläche, N = 1.712

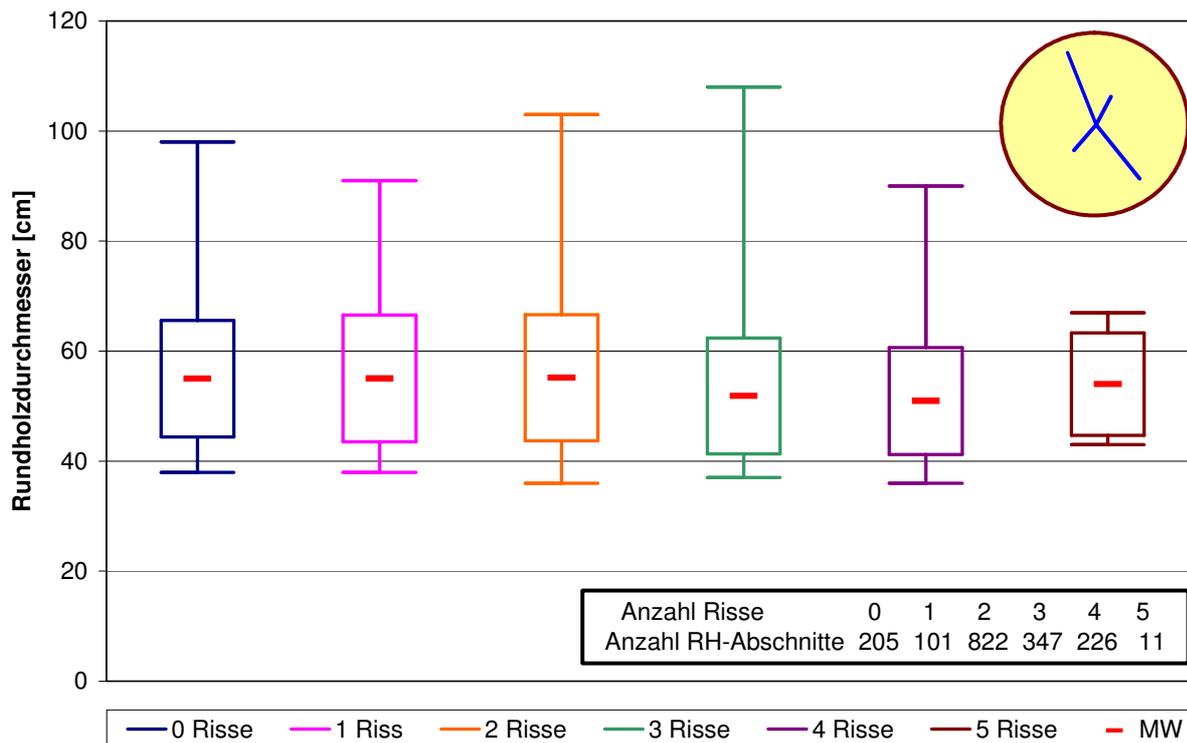


Abb. 40: Rundholzdurchmesser in Abhängigkeit der Anzahl Risse pro Stirnfläche, N = 1.712; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert

Abb. 41 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Risstiefe t der 1.712 Rundholzabschnitte. Die Risstiefe t reicht von 0 cm bis 66 cm und liegt im Mittel bei 15 cm. Im Sägewerk A beträgt die mittlere Risstiefe 13 cm, im Sägewerk B 18 cm. Bei 20% der Abschnitte im Sägewerk A liegt die Risstiefe über 20 cm, während der gleiche Anteil im Sägewerk B einer Risstiefe von mehr als 32 cm entspricht. Dieser Unterschied ist auf die größeren Durchmesser im Sägewerk B und die damit verbundenen größeren absoluten Schwindmaße zurückzuführen.

Das belegt **Abb. 42**, in der die Häufigkeit der relativen Risstiefe t_r ⁸ dargestellt ist. Die relative Risstiefe t_r reicht von 0% bis 108% und liegt im Mittel bei 28%. Dabei besteht kein Unterschied zwischen Sägewerk A und B. Werte von mehr als 100% können bei Abschnitten mit ovalem Querschnitt auftreten, wenn der Riss sich in Richtung des größeren Durchmessers erstreckt. Bei drei Viertel der Abschnitte beträgt die relative Risstiefe höchstens 40%.

Abb. 43 zeigt die relative Risstiefe t_r in Abhängigkeit des Rundholzdurchmessers. Die relative Risstiefe nimmt mit zunehmendem Rundholzdurchmesser geringfügig ab. Das bedeutet, dass die absolute Risstiefe t mit zunehmendem Rundholzdurchmesser ansteigt. Jedoch sind diese Zusammenhänge mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,01 bei einem Signifikanzniveau von 0,00 nicht signifikant.

⁸ Risstiefe, bezogen auf den Rundholzdurchmesser

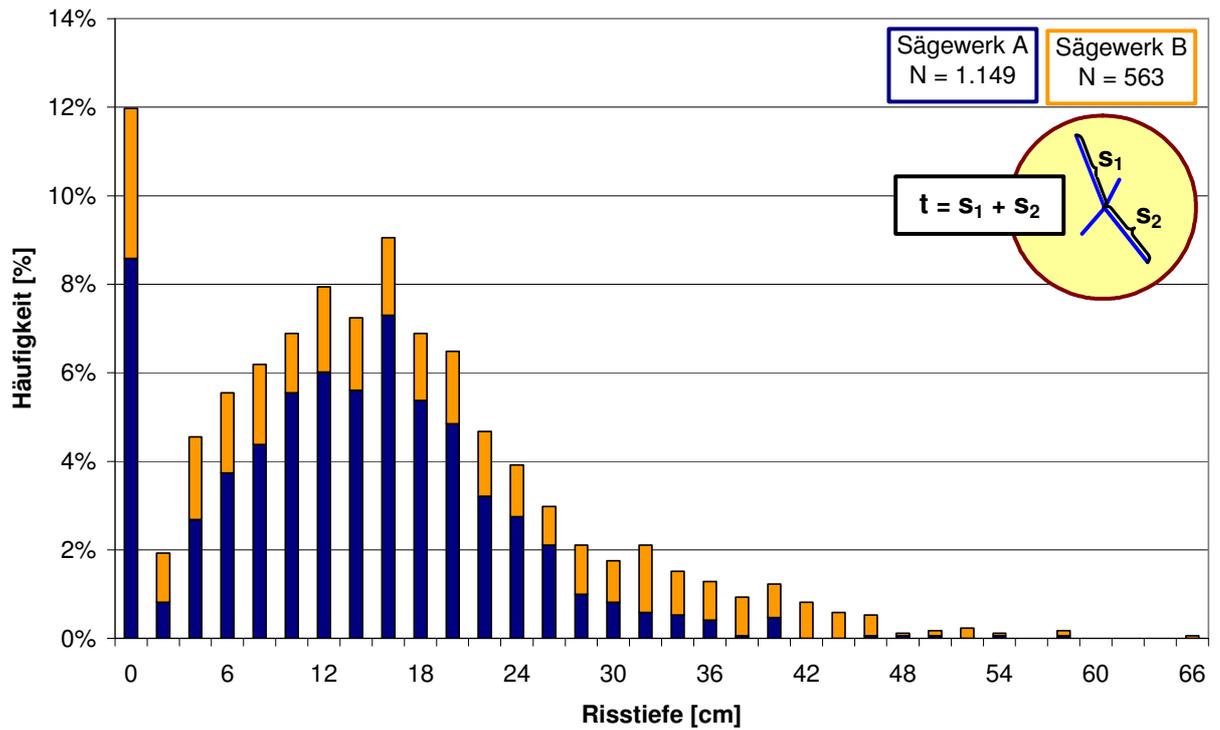


Abb. 41: Häufigkeit der Risstiefe t , N = 1.712

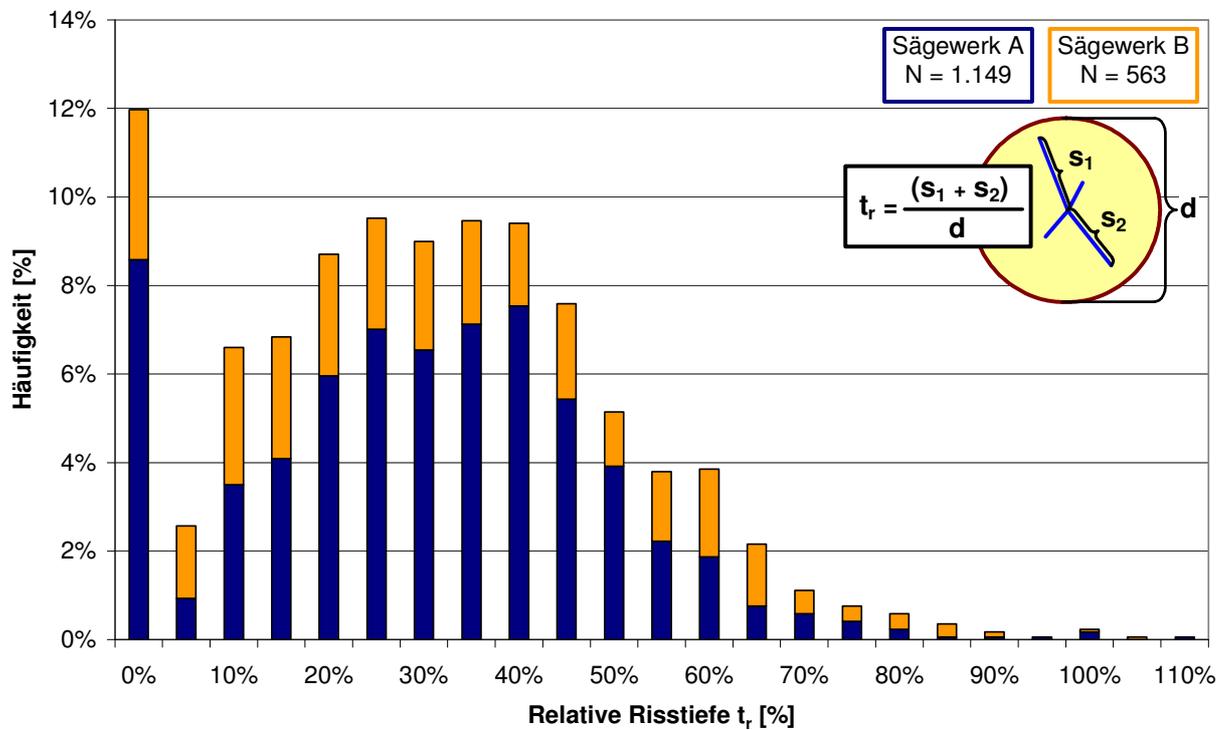


Abb. 42: Häufigkeit der relativen Risstiefe t_r , N = 1.712

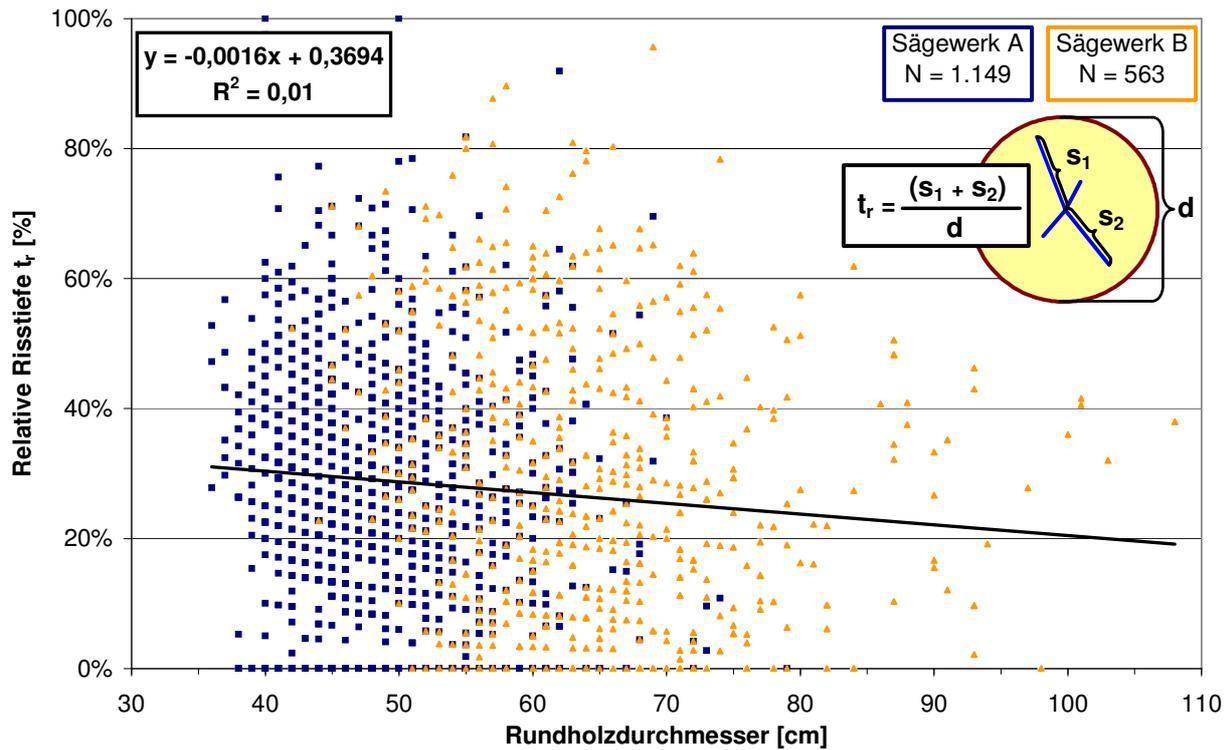


Abb. 43: Relative Risstiefe in Abhängigkeit des Rundholzdurchmessers, N = 1.712

In **Abb. 44** ist die Häufigkeit der Rissklassen dargestellt, die optisch aus Risstiefe und Rissbreite bestimmt wurden (**6.3.2**). Zwei Drittel der Abschnitte weisen höchstens schmale Risse mit einer Risstiefe von unter einem Drittel des Durchmessers auf. Sehr breite und fast über den gesamten Durchmesser reichende Risse (Rissklasse 5) kamen nur in 2% der Fälle vor.

Der Zusammenhang zwischen der Rissklasse und dem Rundholzdurchmesser ist in **Abb. 45** dargestellt. Der mittlere Durchmesser liegt in den fünf Rissklassen zwischen 52 cm und 56 cm. Somit ist ein Einfluss der Stammstärke auf die Rissklasse nicht festzustellen.

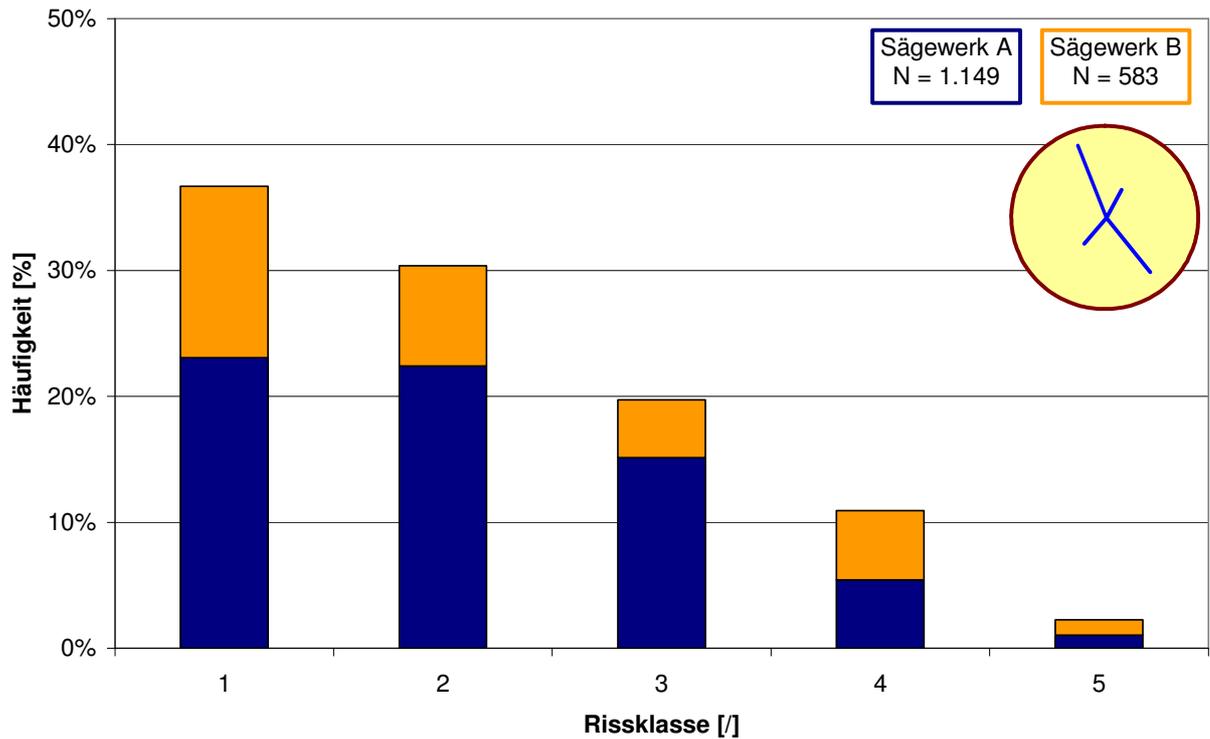


Abb. 44: Häufigkeit der Rissklassen nach Tab. 10, N = 1.712

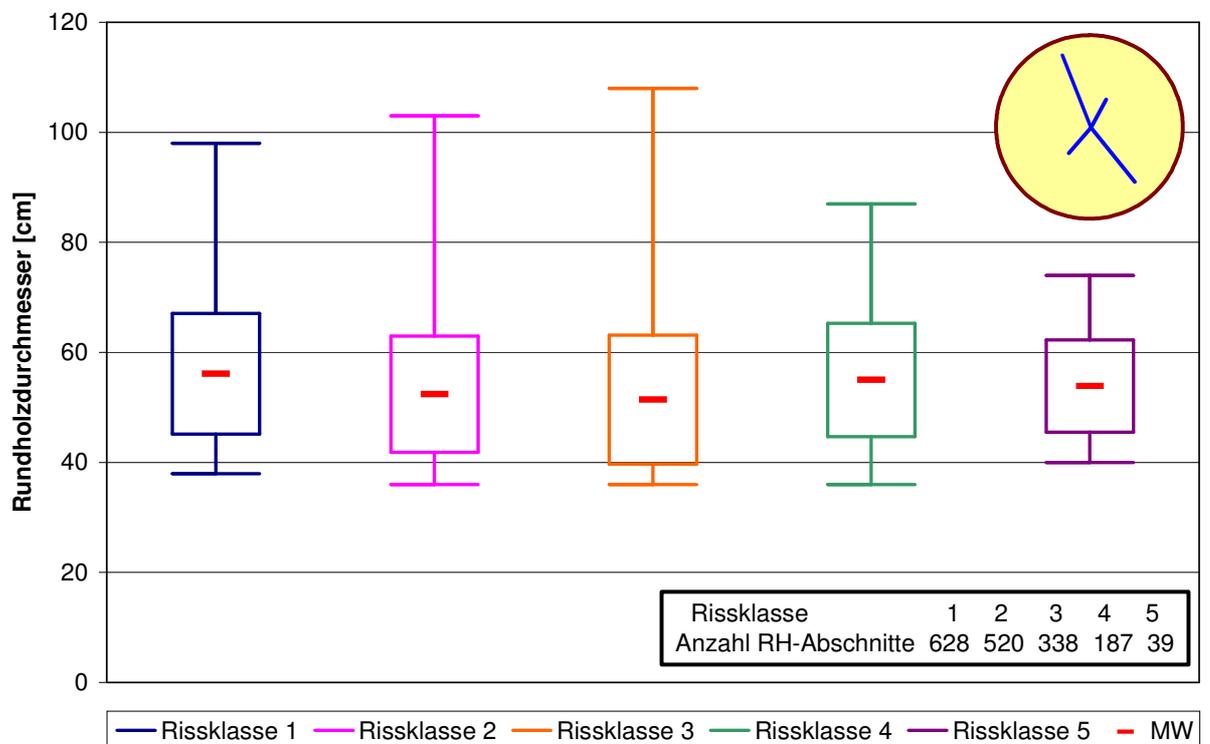


Abb. 45: Rundholzdurchmesser [cm] in Abhängigkeit der Rissklasse [/], N = 1.712; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größt-wert

7.2.10.2 Risse am Schnittholz

Risse des Typs 1

Abb. 46 zeigt die Häufigkeit der Länge ℓ der Risse des Typs 1 (6.4.1), die jeweils am stärksten gerissenen Schnittholz eines Stammabschnitts bestimmt wurden. 184 der 195 eingeschnittenen Abschnitte wiesen vom Hirnholz ausgehende Risse auf. Deren Länge ℓ reicht von 0 cm bis 80 cm und liegt im Mittel bei 19,4 cm. Bei 80% der Abschnitte enden die Risse des Typ 1 nach 25 cm, 11% der Risse sind länger als 30 cm.

In **Abb. 47** ist die Länge ℓ der Risse des Typs 1 in Abhängigkeit des Rundholzdurchmessers dargestellt. Steigt der Rundholzdurchmesser von 40 cm auf 80 cm, so nimmt die Länge ℓ im Mittel von 15 cm auf 27 cm zu, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass sich nur 5% ($R^2 = 0,05$) der Streuung der Länge ℓ erklären lassen. Das Signifikanzniveau, die Wahrscheinlichkeit mit der sich das Bestimmtheitsmaß nicht von 0 unterscheidet, beträgt 0,00.

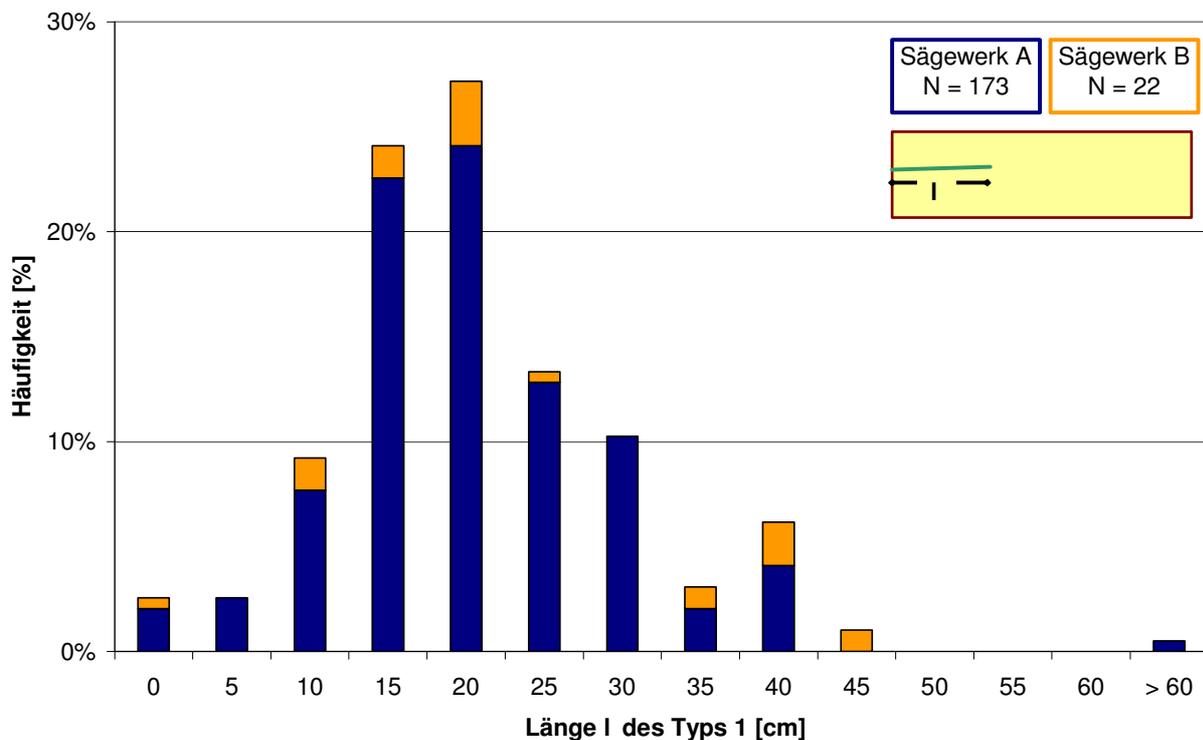


Abb. 46: Häufigkeit der Länge ℓ der Risse des Typs 1, N = 195

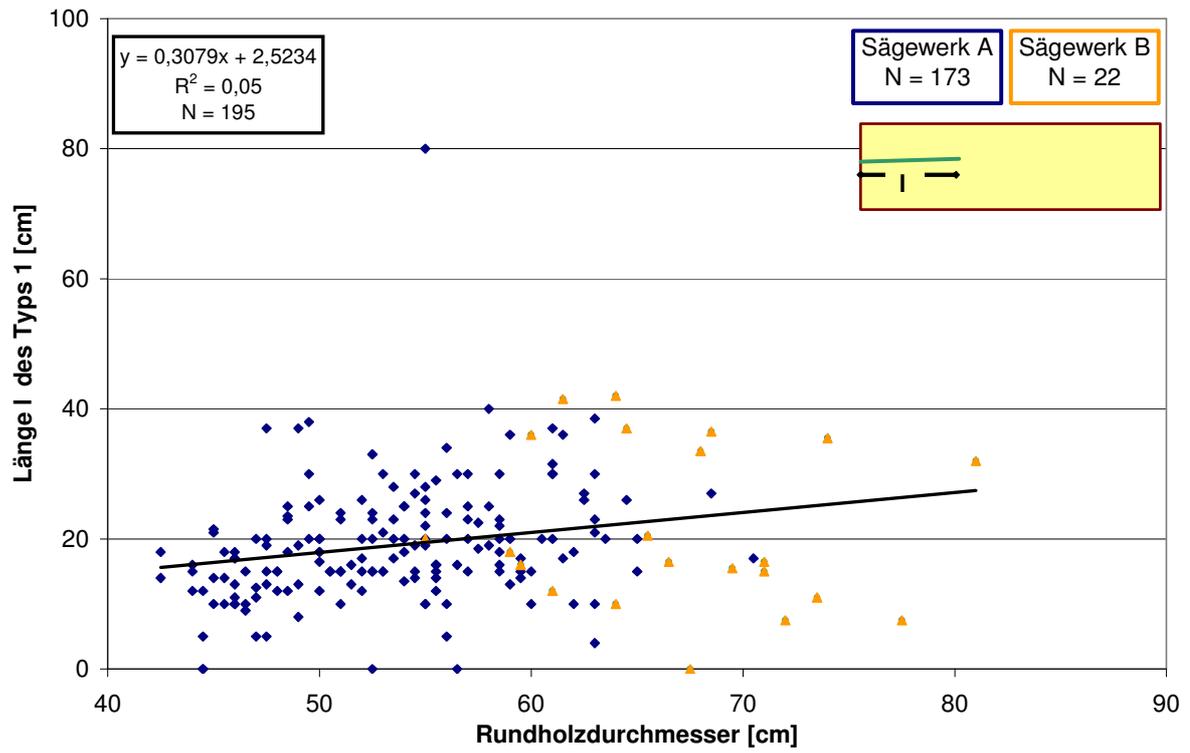


Abb. 47: Länge l der Risse des Typs 1 in Abhängigkeit des Rundholzdurchmessers, $N = 195$

Risse des Typs 2

Abb. 48 zeigt die Häufigkeit des maximalen Abstands a der Risse des Typs 2 (6.4.1). Bei etwa 3% der Abschnitte war der marknahe Bereich des Schnittholzes frei von Rissen. Der von Rissen des Typs 2 betroffene Bereich erstreckte sich im Mittel bis 2,9 cm von der Markröhre. Bei 10% der Abschnitte reichten die Risse weiter als 4 cm von der Markröhre. Zwei der 195 eingeschnittenen Rundholzabschnitte wiesen mit einem maximalen Abstand a von 20 cm und 26 cm erhebliche Kernrisse auf.

In **Abb. 49** ist der maximale Abstand a der Risse des Typs 2 in Abhängigkeit des Rundholzdurchmessers dargestellt. Die Ausgleichsgerade vernachlässigt die zwei Schnitthölzer mit sehr großen Rissen. Bei den verbleibenden 193 Schnitthölzern steigt der maximale Abstand a im Mittel von 2 cm bei einem Durchmesser von 44 cm auf 4,5 cm bei einem Durchmesser von 80 cm. Jedoch lassen sich mit der Stammstärke nur 14% ($R^2 = 0,14$) der Streuung des maximalen Abstands a erklären. Das Bestimmtheitsmaß unterscheidet sich signifikant von 0 (Signifikanzniveau = 0,00).

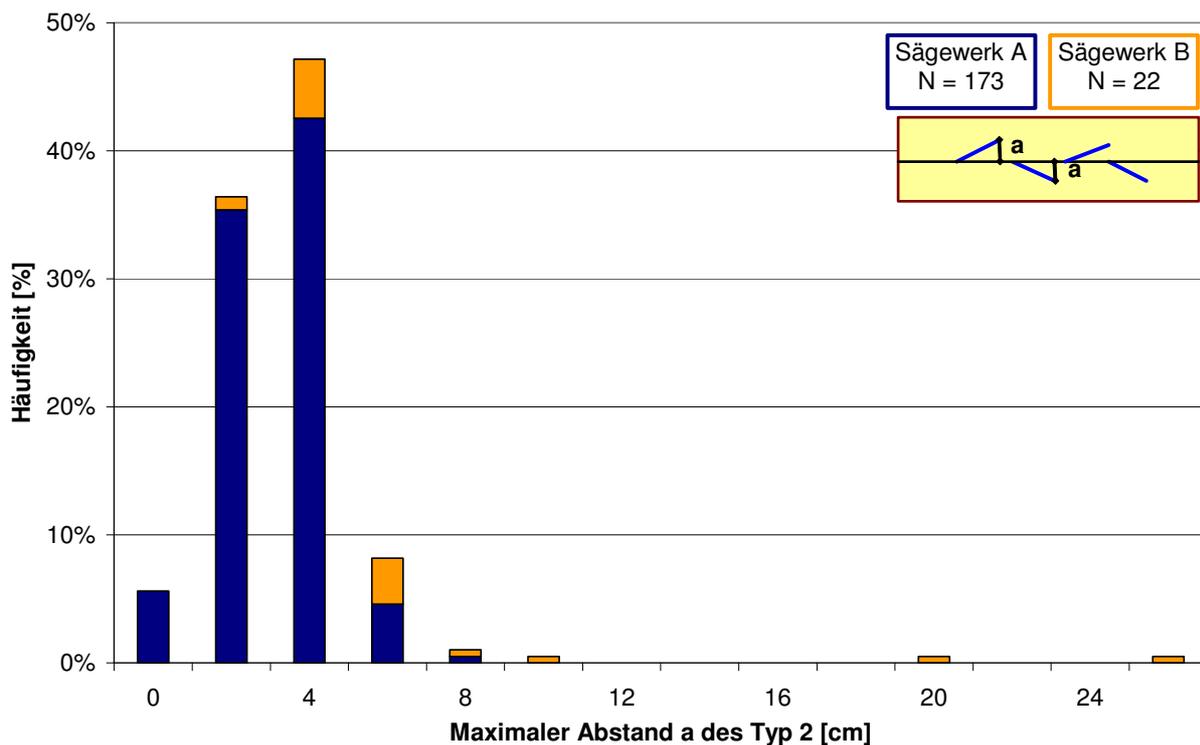


Abb. 48: Häufigkeit des maximalen Abstands a der Risse des Typs 2, $N = 195$

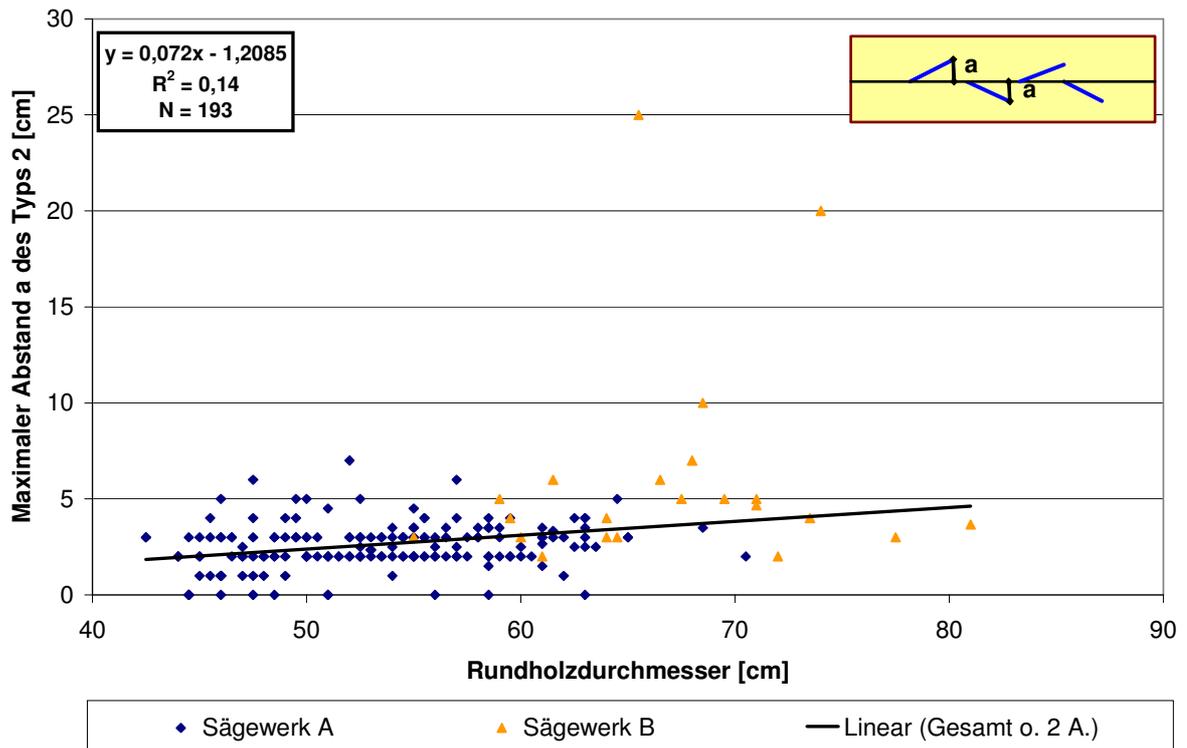


Abb. 49: Maximaler Abstand a der Risse des Typs 2 in Abhängigkeit des Rundholzdurchmessers, N = 195

7.2.10.3 Vergleich der Risse an Rund- und Schnittholz

Abb. 50 und **Abb. 51** zeigen den Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Risse des Typs 1 bzw. des Typs 2 und der am Rundholz erfassten Risstiefe t . In beiden Fällen ist dieser Zusammenhang mit Bestimmtheitsmaßen von 0,14 und 0,02, die sich signifikant von 0 unterscheiden (Signifikanzniveau $< 0,05$), nur schwach ausgeprägt. Das weist darauf hin, dass es sich bei den Rissen an der Stirnfläche der Rundholzabschnitte im Wesentlichen um übliche Trocknungsrisse handelt.

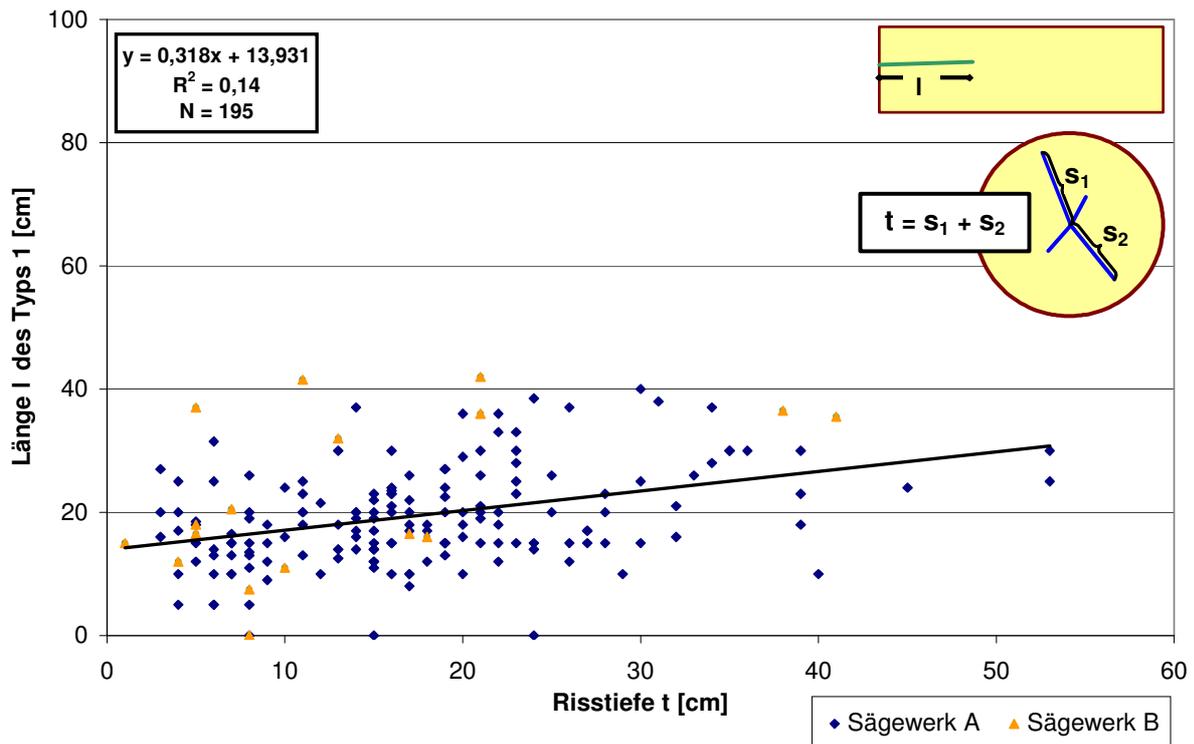


Abb. 50: Länge l der Risse des Typs 1 in Abhängigkeit der Risstiefe t , $N = 195$

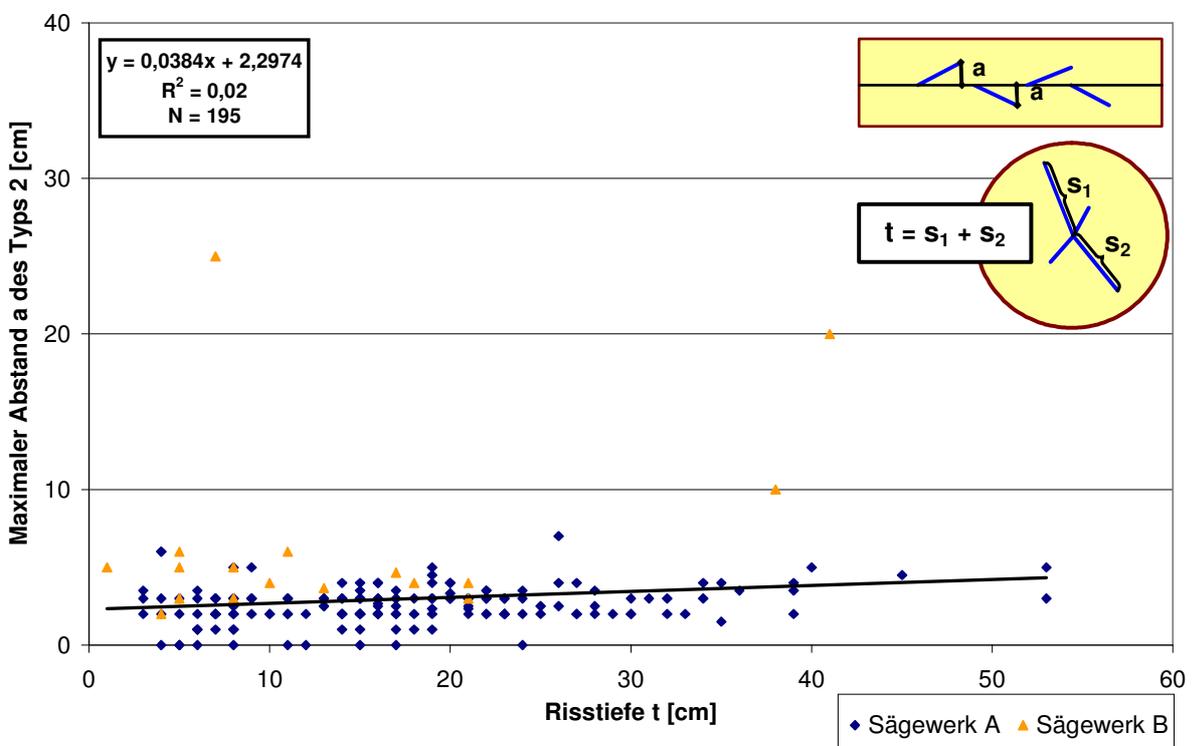


Abb. 51: Maximaler Abstand a der Risse des Typs 2 in Abhängigkeit der Risstiefe t , $N = 195$

7.2.10.4 Risse im Sägewerk C

Im Sägewerk C wurde die Länge l der Risse des Typs 1 an beiden Enden der als Blochware eingeschnittenen Bohlen bestimmt und addiert. **Abb. 52** zeigt die addierte Risslänge in Abhängigkeit der Schnittholzbreite b . Bei 101 erfassten Bohlen reichen die Werte von 4 cm bis 330 cm und liegen im Mittel bei 77,5 cm. Mit zunehmender Schnittholzbreite steigt die Summe der Länge l leicht an, bei einem R^2 von 0,00 ist ein Einfluss der Schnittholzbreite nicht erkennbar. Das bestätigt die getrennte Auswertung der Bohlen mit Markröhre, bei denen die Risslänge mit zunehmender Bohlenbreite tendenziell abnimmt sowie das hohe Signifikanzniveau von 0,71 für alle Bohlen und von 0,51 für die Bohlen mit Markröhre.

Abb. 53 zeigt die maximale Ausbreitung m der Risse in Abhängigkeit der Schnittholzbreite b . Die 27 Bohlen mit Markröhre, deren Breite näherungsweise dem Rundholzdurchmesser entspricht, sind gesondert dargestellt. Etwa die Hälfte der Bohlen mit Markröhre und damit der zugehörigen Rundholzabschnitte weisen extrem starke Rissbildung auf. Die besonders stark gerissenen Bohlen sind alle breiter als 57 cm. Bei ihnen liegt die Ausbreitung m zwischen 15 cm und 40 cm, während bei den restlichen Bohlen die Ausbreitung m 10 cm überwiegend nicht überschreitet. Auf Grund dieser Zweiteilung des Kollektivs wurde auf die Darstellung von Trendlinien verzichtet.

Der Vergleich mit dem Schnittholz der Sägewerke A und B zeigt, dass etwa die Hälfte der Bohlen aus besonders starkem Rundholz im Sägewerk C außergewöhnlich stark gerissen sind. Die Risse des Typs 1 sind bei diesen Bohlen im Mittel doppelt so lang, die maximale Ausbreitung m im Mittel sechs mal so groß wie der maximale Abstand a des Schnittholzes in den Sägewerken A und B. Die Risse in diesen Bohlen stellen innerhalb dieser Untersuchung und nach den Erfahrungen der beteiligten Sägewerke und Forstämter einen extremen Einzelfall dar. Die Ursache der starken Rissbildung konnte bisher nicht geklärt werden. Vermutet wird, dass die Risse im Rundholz auf extreme Klimabedingungen zwischen Fällung und Einschnitt zurückzuführen sind.

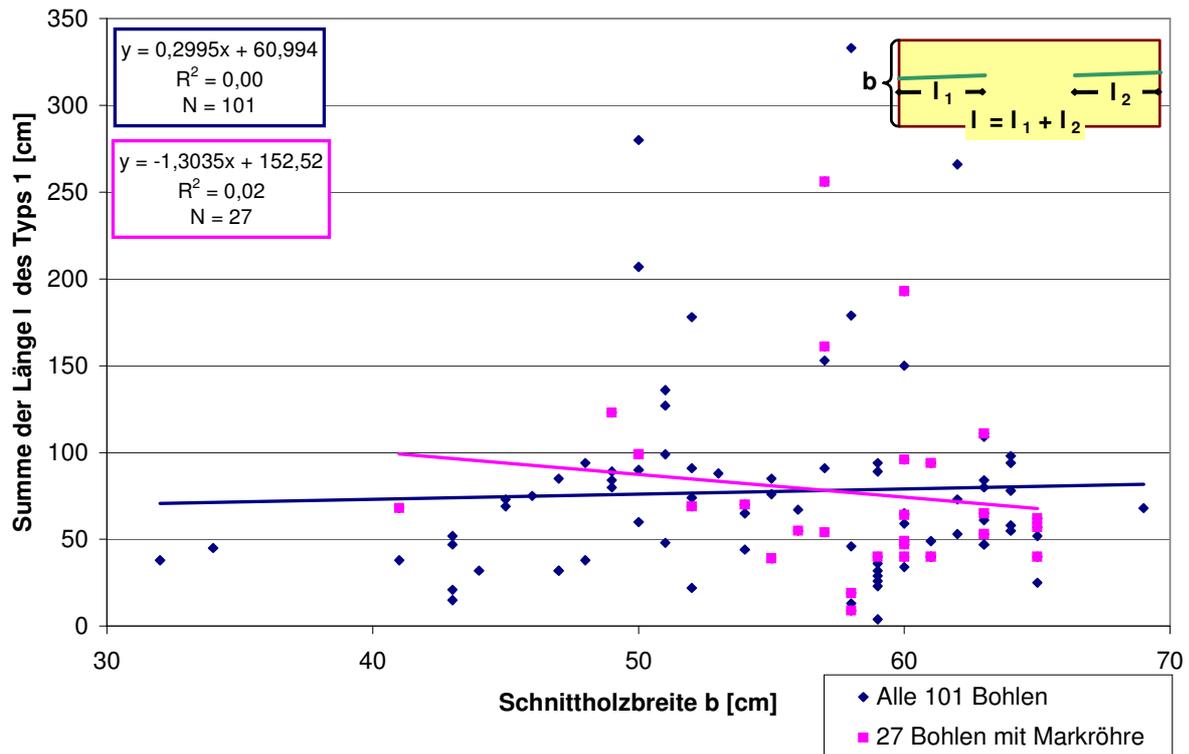


Abb. 52: Summe der Länge l der Risse des Typs 1 in Abhängigkeit der Schnittholzbreite b , $N = 101$

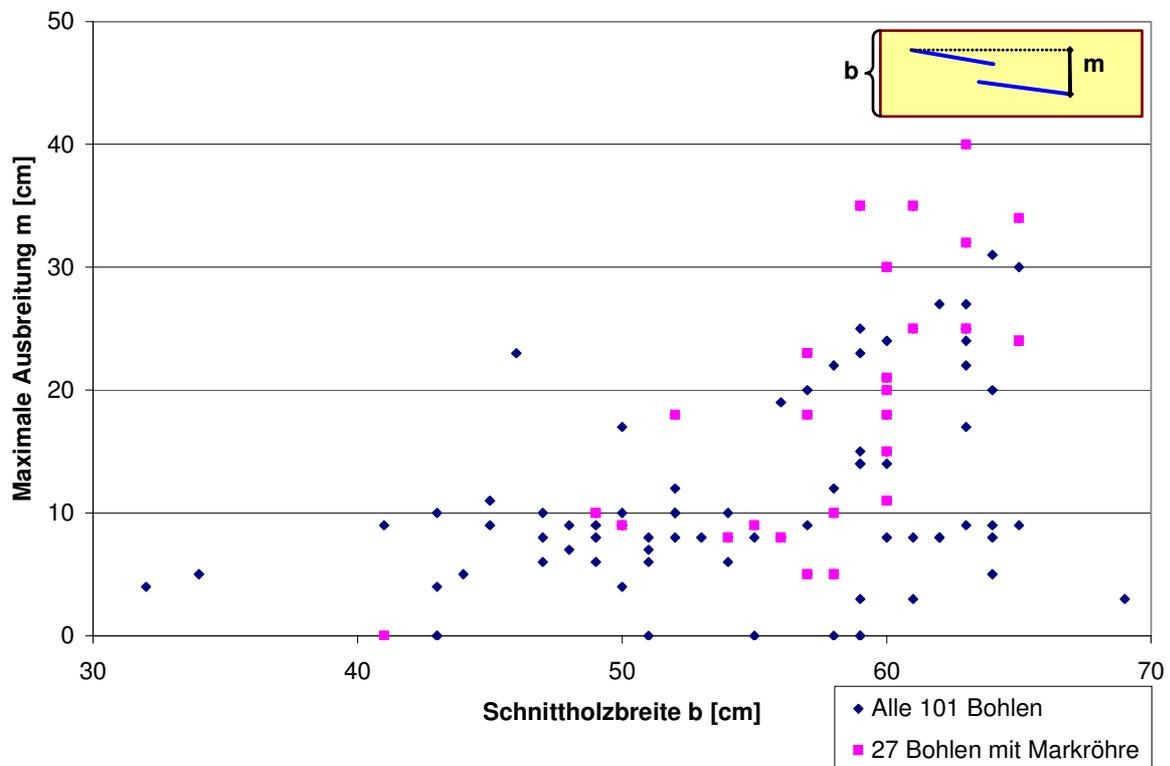


Abb. 53: Maximale Ausbreitung m der Risse des Typs 2 in Abhängigkeit der Schnittholzbreite b , $N = 101$

7.2.11 Äste am Stammmantel und weitere Merkmale

Die 44 Rundholzabschnitte der 12 Fichten, aus denen hochwertige Produkte für den konstruktiven Holzbau eingeschnitten wurden, wurden an den Stirnflächen auf Harzgallen und Risse untersucht (6.3.2).

Harzgallen traten bei einem Drittel der Abschnitte 1 und 2, bei der Hälfte der Abschnitte 3 und bei drei Viertel der Abschnitte 4 auf. Harzgallen größer als 20 mm waren vorwiegend auf den vierten Abschnitt beschränkt. Die mittlere Breite der Harzgallen lag in den Abschnitten 1 bis 3 unter 20 mm, sie ist im vierten Abschnitt mit 33 mm deutlich höher. Dort lag mit 60 mm Breite auch die größte Harzgalle.

Risse, die von der Markröhre ausgehen, waren am Querschnitt zwar vorhanden, wirkten sich jedoch nicht auf die Qualität des Schnittholzes aus. Das bestätigt die Ergebnisse der Untersuchung über die Häufigkeit und wirtschaftliche Bedeutung von Kernrissen (7.2.10; GLOS et al. 2003a).

Abb. 54 enthält die am Stammmantel erhobenen Astdaten. Die Anzahl der Äste am Stammmantel steigt im Mittel von 14 Ästen im untersten Abschnitt, über 34 Äste im zweiten, auf 45 Äste im dritten und auf 42 im vierten Abschnitt. Der mittlere Astdurchmesser am Stammmantel steigt von 14 mm im ersten Abschnitt auf 33 mm im vierten Abschnitt nahezu linear an. Der maximale Astdurchmesser am Stammmantel reicht im Mittel von 22 mm im ersten Abschnitt bis 62 mm im vierten Abschnitt. Lässt man einen Steilast mit 120 mm außer Acht, sinkt der Wert im vierten Abschnitt auf 57 mm. Die Streuung von Anzahl und Durchmesser der Äste am Stammmantel zeigt, dass das Ziel einer Qualitätsdifferenzierung bei der Auswahl des Rundholzes erreicht wurde.

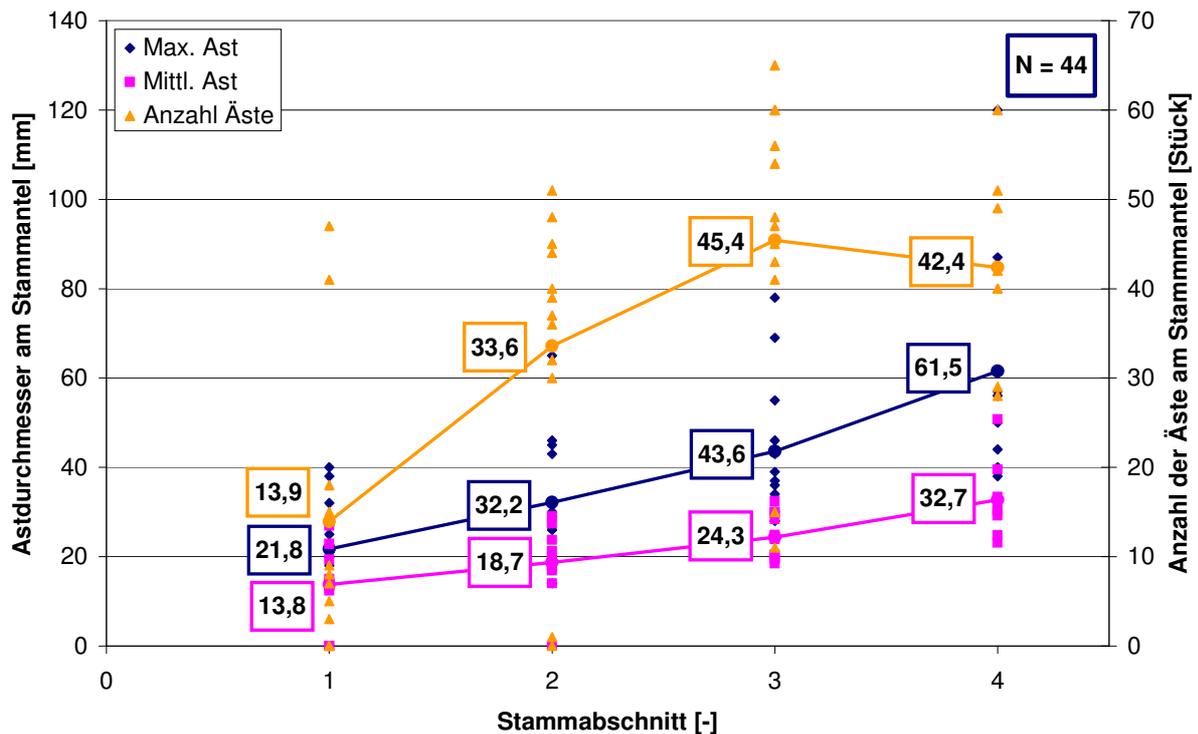


Abb. 54: Anzahl der Äste am Stammmantel sowie mittlerer und maximaler Astdurchmesser; umrandet ist der jeweilige Mittelwert

Tab. 35 enthält die Anzahl und den maximalen Durchmesser der Äste am Stammmantel im jeweiligen Rundholzabschnitt der 12 Fichten (6.3.4).

Tab. 35: Anzahl und maximaler Durchmesser der Äste am Stammmantel der 44 Rundholzabschnitte

Baum nummer	Anzahl Äste im Abschnitt [Stück]				Maximaler Astdurchmesser im Abschnitt [mm]			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	5	32	47	49	20	65	78	120
2	15	37	48	50	32	43	69	87
3	47	51	65	51	38	46	55	57
4	41	48	60	60	40	45	46	56
5	9	39	60	-	20	30	34	-
6	3	30	41	40	18	32	37	44
7	14	36	54	42	20	30	39	50
8	0	0	11	28	0	0	28	38
9	8	44	45	-	25	26	43	-
10	0	1	15	29	0	14	30	40
11	18	40	43	-	21	26	28	-
12	7	45	56	-	27	29	37	-

Die Menge der erfassten Astdaten am Stammmantel veranschaulichen **Abb. 55** und **Abb. 56** beispielhaft. **Abb. 55** zeigt am Beispiel der Fichten Nr. 4 und Nr. 7 die Größe und Verteilung der Äste am Stammmantel über der Stammlänge. Die Abschnitte sind durch senkrechte schwarze Striche getrennt, in den Kästchen sind die Anzahl und der mittlere Durchmesser der Äste des Abschnitts vermerkt. Während die unteren zwei Abschnitte der Fichte Nr. 7 deutlich weniger und im Mittel kleinere Äste aufweisen, nähert sich die Astigkeit im dritten Abschnitt an und zeigt im vierten Abschnitt kaum Unterschiede zur mittleren Astgröße der Fichte Nr. 4.

Abb. 56 zeigt die Lage der Äste im Stammquerschnitt am dritten Abschnitt der Fichte Nr. 7. Die x- und y-Achse verlaufen durch die Markröhre. Der Stammmantel wurde aus den acht gemessenen Radien durch Interpolation berechnet (6.2.2). Als blaue Dreiecke sind die jeweils größten Äste in jedem der 24 Sektoren eingetragen (6.3.4). Die Breite am Stammmantel entspricht dem jeweiligen Astdurchmesser. Bei der inneren Astigkeit, die an einem Astquirl gemessen wurde (7.2.7), ergab sich trotz zunehmender Astdurchmesser für Starkholz ein Vorteil durch die relativ großen astfreien Bereiche. Bei den Rundholzabschnitten sind jedoch auf der gesamten Länge von 5 m die Äste nahezu gleichmäßig um den Stamm verteilt, um die Photosyntheseleistung zu optimieren. Die geringere innere Astigkeit des Starkholzes wirkt sich über die gesamte Länge des Kantholzes weniger durch eine geringere Astigkeit des Schnittholzes und somit eine höhere Ausbeute bei visueller Sortierung nach DIN 4074 aus als durch längere astarme bis astfreie Bereiche (7.3.6).

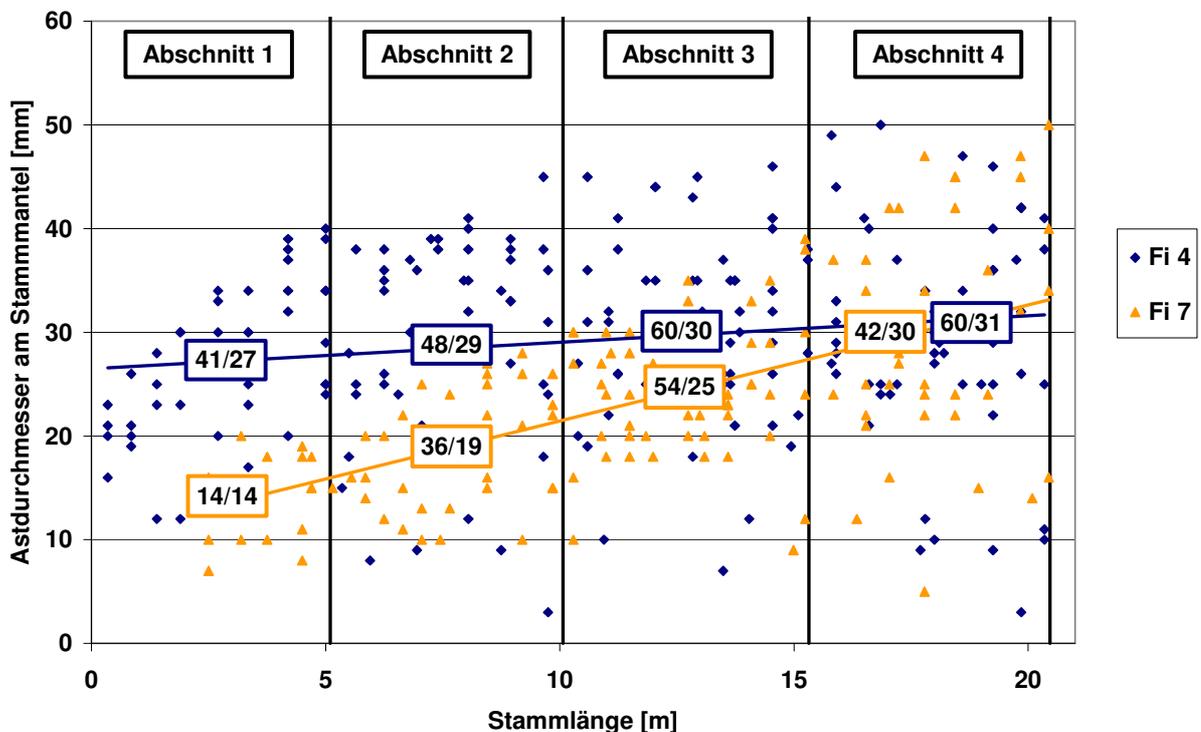


Abb. 55: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stammmantel über der Stammlänge der Fichten Nr. 4 und Nr. 7

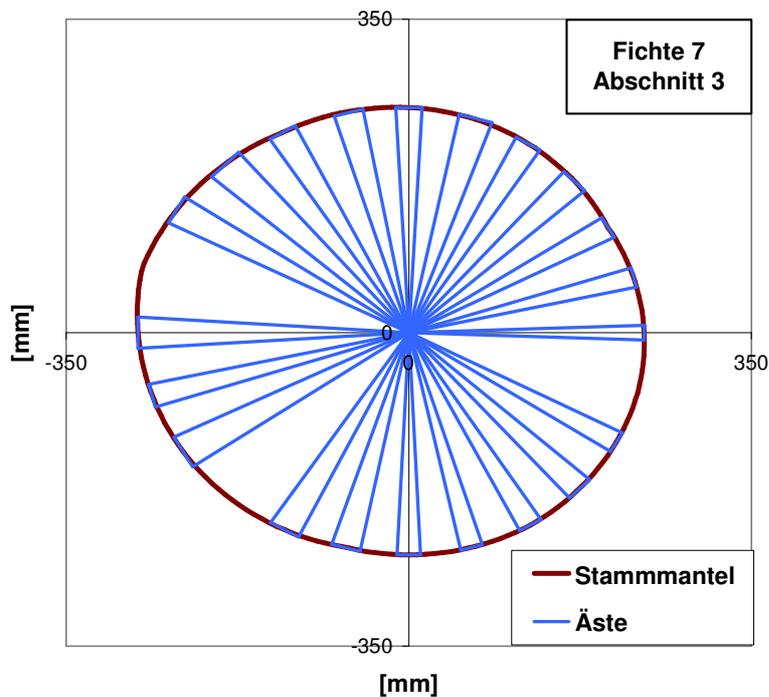


Abb. 56: Zopfquerschnitt des dritten Abschnitts der Fichte Nr. 7

Abb. 57 zeigt den ersten Abschnitt der Fichte Nr. 7, dargestellt sind die größten Äste am Stammmantel sowie das Ergebnis der visuellen Sortierung nach DIN 4074. Auf der rechten Seite sind kaum Äste am Stammmantel vorhanden, daher sind die meisten Kanthölzer in S13. Beim einzigen Kantholz, das in S10 eingestuft wird, tritt ein Ast an der Schmalseite auf, dessen Durchmesser durch das Dreieckmodell unterschätzt wird (7.2.7). In der mittleren Reihe sind die äußeren Kanthölzer in S10 einzuordnen, da die Äste an der Schmalseite austreten. Dagegen stimmen auf der linken Seite des Stammes die Astdaten mit den Sortierklassen der Kanthölzer weniger gut überein. Deutlich wird das bei dem mit einem Pfeil gekennzeichneten Ast, der durch die Schmalseiten der beiden in S13 eingestuften Kanthölzer verläuft. Auf Grund der relativ groben Auflösung in 24 Sektoren zu 15° , wird gerade im äußeren Stammbereich der Sektor so groß, dass dieser Ast auch durch die Schmalseite des darüber liegenden Kantholzes (S10) verlaufen könnte. Grundsätzlich kann jedoch neben den Astdurchmessern auch die räumliche Verteilung der Äste eine wichtige Information sein, um die Ausbeute der visuellen Sortierung nach DIN 4074 abzuschätzen oder durch ein angepasstes Schnittbild zu optimieren.

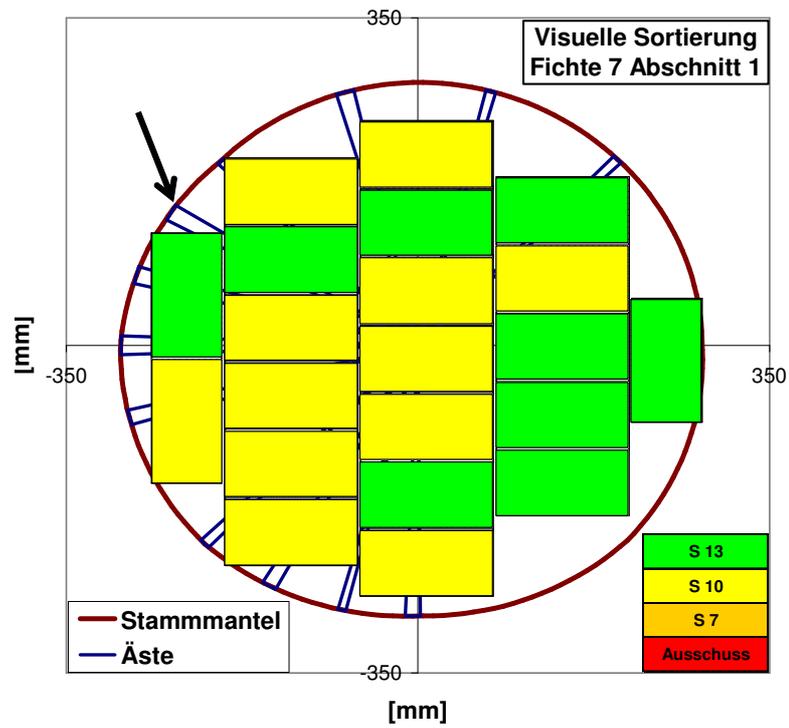


Abb. 57: Zopfquerschnitt des ersten Abschnitts der Fichte Nr. 7; dargestellt sind die Äste am Stammmantel sowie die Ausbeute der visuellen Sortierung nach DIN 4074

7.3 Schnittholzqualität

7.3.1 Dachlatten 40 x 60 mm

Aus den 7 Abschnitten von Fichte Nr. 1 und Fichte Nr. 11 wurden 704 Dachlatten eingeschnitten. Fichte Nr. 1 war im Mittel etwa 20 cm stärker als Fichte Nr. 11 (**Tab. 36**).

Die erste Zahl in den Kästchen in **Abb. 58** bezeichnet die Anzahl der Äste am Stammmantel, die zweite Zahl deren mittleren Durchmesser. Die beiden Fichten unterscheiden sich in den Abschnitten 1 und 2 nur unwesentlich voneinander. Die Anzahl der Äste größer als 40 mm steigt bei Fichte Nr. 1 jedoch im dritten und besonders im vierten Abschnitt deutlich an.

Tab. 36: Dimension der Abschnitte und Anzahl der Latten

Fichte Nr.	Abschnitt Nr.	Zopf [cm]	Anzahl Latten [Stück]
1	1	78	161
1	2	72	134
1	3	69	119
1	4	61	93
11	1	57	74
11	2	54	66
11	3	50	57

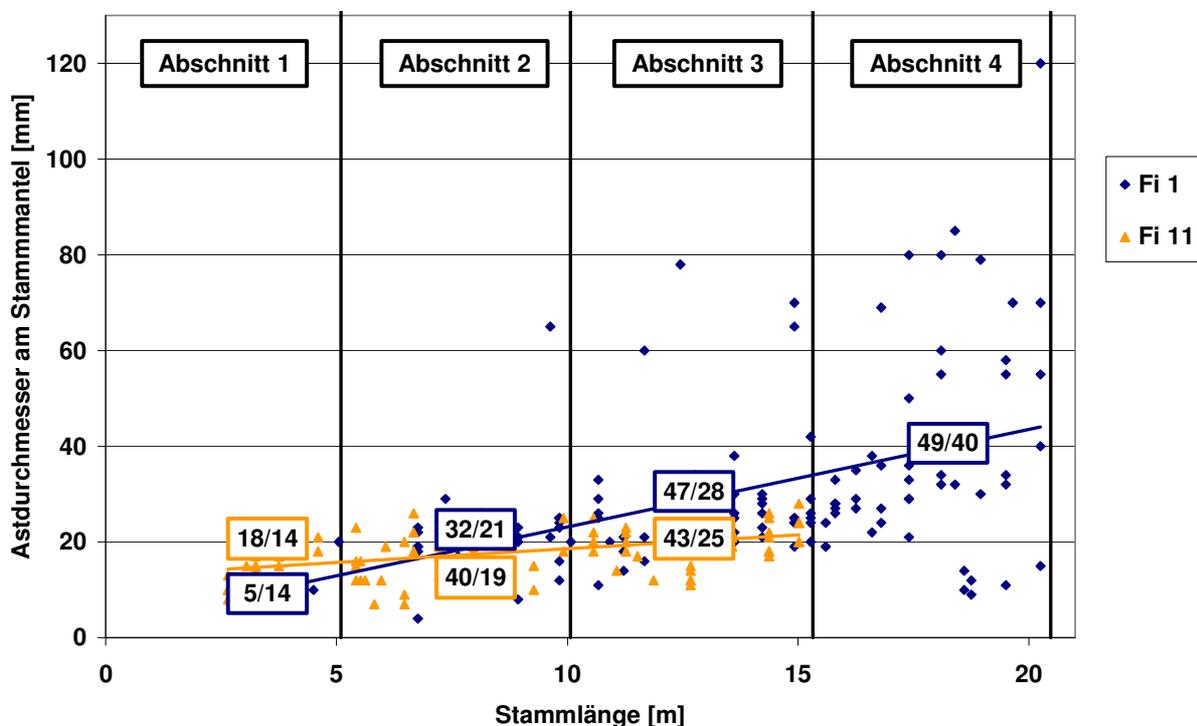


Abb. 58: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stamm der Fichten Nr. 1 und Fichte Nr. 11

Die Ausbeute der visuellen Sortierung nach DIN 4074 der beiden Fichten ist in **Abb. 59** und **Abb. 61** dargestellt. Dachlatten werden in die Sortierklassen S10 und S13 eingestuft. Bei Fichte Nr. 1 entsprechen 74% der Latten in Abschnitt 1 den Sortierklassen S10 und S13 nach DIN 4074, bei Fichte Nr. 11 sind es 84%. Der Ausschuss steigt bei Fichte Nr. 1 ab dem zweiten Abschnitt auf mehr als 60% und liegt im vierten Abschnitt bei knapp 80%. Bei Fichte Nr. 11 liegt der Ausschuss-Anteil, trotz ähnlicher Astigkeit im zweiten Abschnitt, bei nur 26%. Im Vergleich zum zweiten Abschnitt steigt im dritten Abschnitt der Anteil an S10-Dachlatten, der Ausschuss-Anteil bleibt unverändert.

Abb. 60 und **Abb. 62** zeigen die Verteilung der Sortierklassen der visuellen Sortierung im Stammquerschnitt. Die unterschiedliche Ausbeute der Sortierung ist auf verschiedene Einschnittmuster zurückzuführen. Während bei Fichte Nr. 1 die Dachlatten im äußeren Stammbereich mit der Schmalseite zur Markröhre orientiert sind, wurden sie bei Fichte Nr. 11 mit der Breitseite zur Markröhre eingeschnitten. Da Schmalseitenäste⁹ bei Dachlatten nicht zulässig sind, liegen die Latten, die als Ausschuss sortiert wurden, in allen Abschnitten in einem x-förmigen Bereich mit der Markröhre als Schnittpunkt. Seitlich wird dieser Bereich von S10-Latten begrenzt, bei denen Äste zwar auf der Schmalseite auftreten, jedoch nicht durchlaufen. Bei Fichte Nr. 1 wurde im ersten Abschnitt bereits soviel astfreies Holz gebildet, dass links, oben und unten im äußeren Stammbereich sogar S13 erreicht wird. Dadurch unterscheiden sich die Ausbeuten der beiden Fichten im ersten Abschnitt nur unwesentlich. In den höheren Abschnitten der Fichte Nr. 1 senkt das ungünstige Schnittbild die Ausbeute deutlich (**Abb. 60**). Bei Fichte Nr. 11 endet der Ausschussbereich sobald die Breitseite der Dachlatten zur Markröhre orientiert wird. Der anschließende S10-Bereich verläuft bis zum Stammmantel (z. B. **Abb. 62**, unten im Abschnitt 1).

Die Verwendung von Starkholz bietet für die Produktion von visuell sortierten Dachlatten den Vorteil astfreier Bereiche, die jedoch mit höherwertigen Nischenprodukten, z. B. Leisten, Möbelfriese, besser genutzt werden können. Als Nebenprodukt sollten Dachlatten mit Brettern kombiniert werden, da die Orientierung der Breitseite zur Markröhre die Ausbeute bei gleicher Rundholzqualität deutlich erhöht. Dabei sollten die Bretter im S10-Bereich der Latten gewonnen werden, da Äste auf der Schmalseite sich bei der Brettsortierung weniger auf das Ergebnis auswirken.

⁹ Äste, die von einer Schmalseite zur anderen durchlaufen

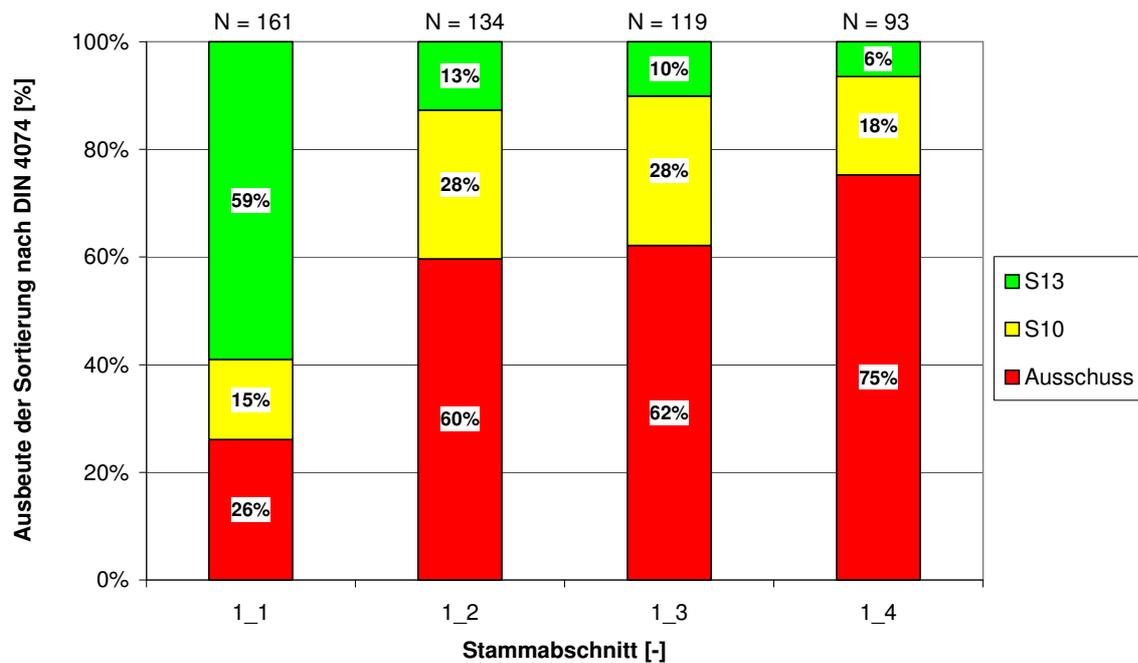


Abb. 59: Ausbeute der visuellen Sortierung nach DIN 4074 der Fichte Nr. 1

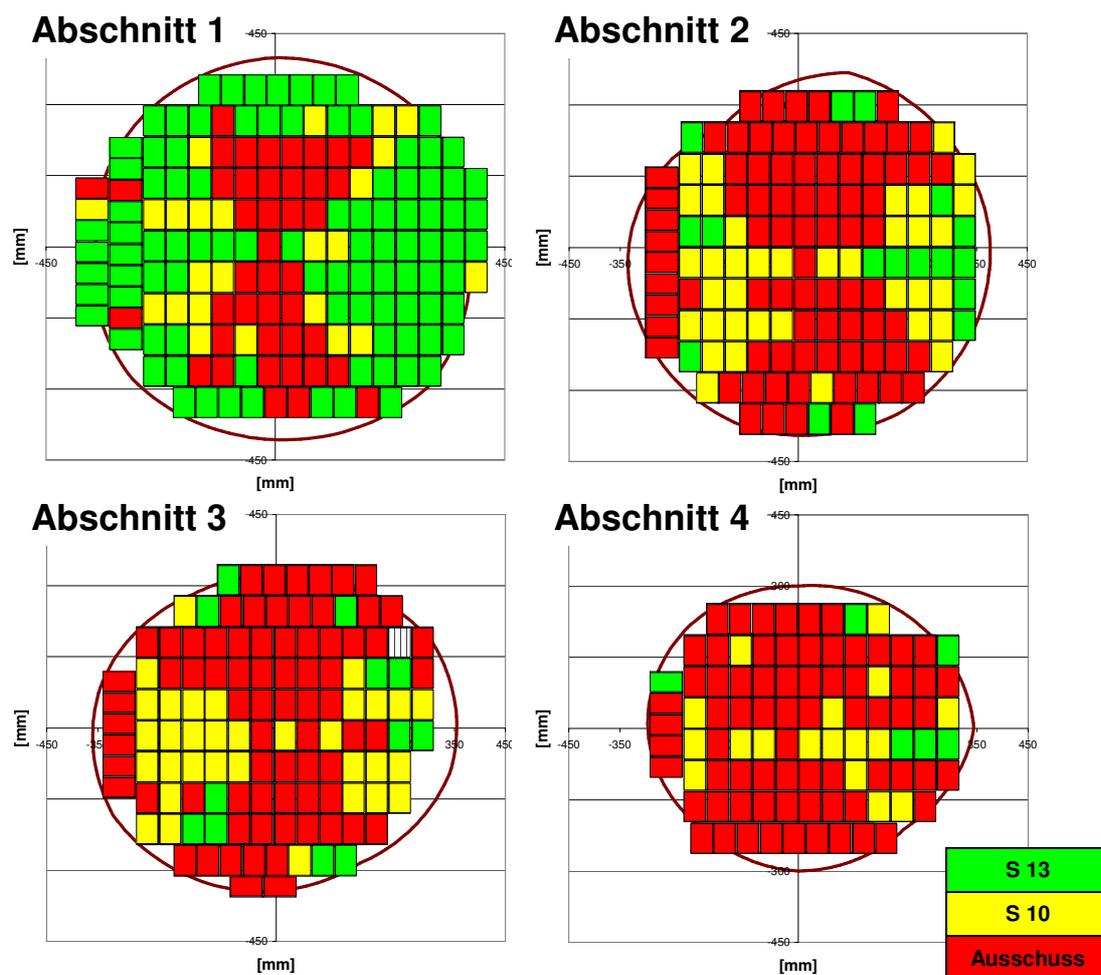


Abb. 60: Verteilung der visuellen Sortierklassen im Stammquerschnitt in den Abschnitten 1 (links oben) bis 4 (rechts unten) der Fichte Nr. 1

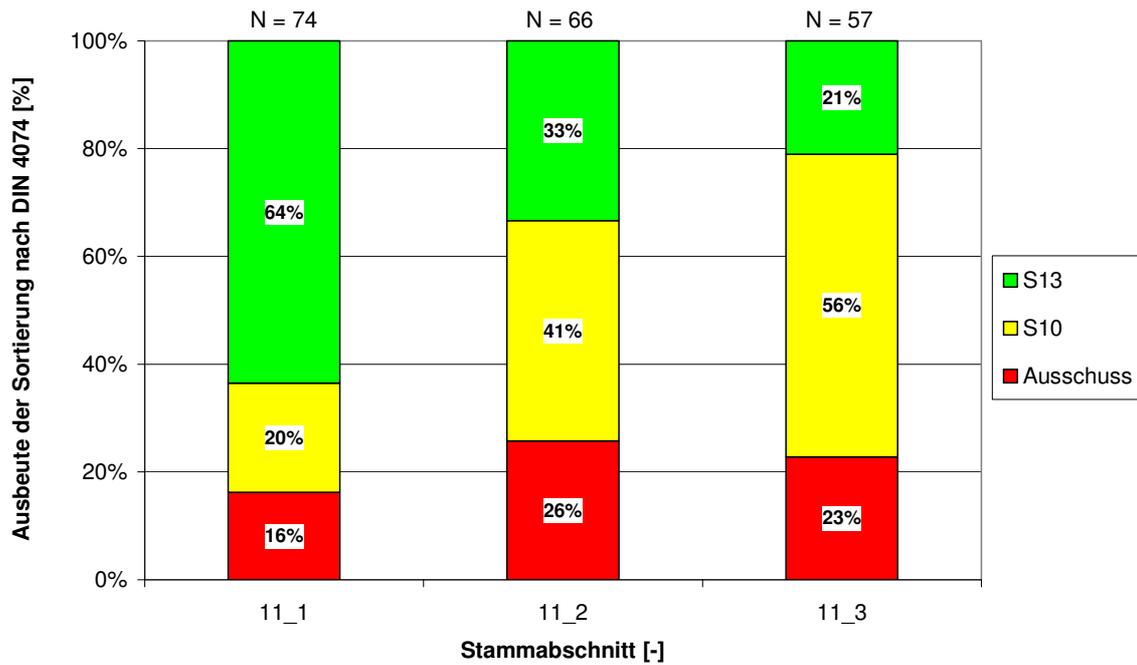


Abb. 61: Ausbeute der visuellen Sortierung nach DIN 4074 der Fichte Nr. 11

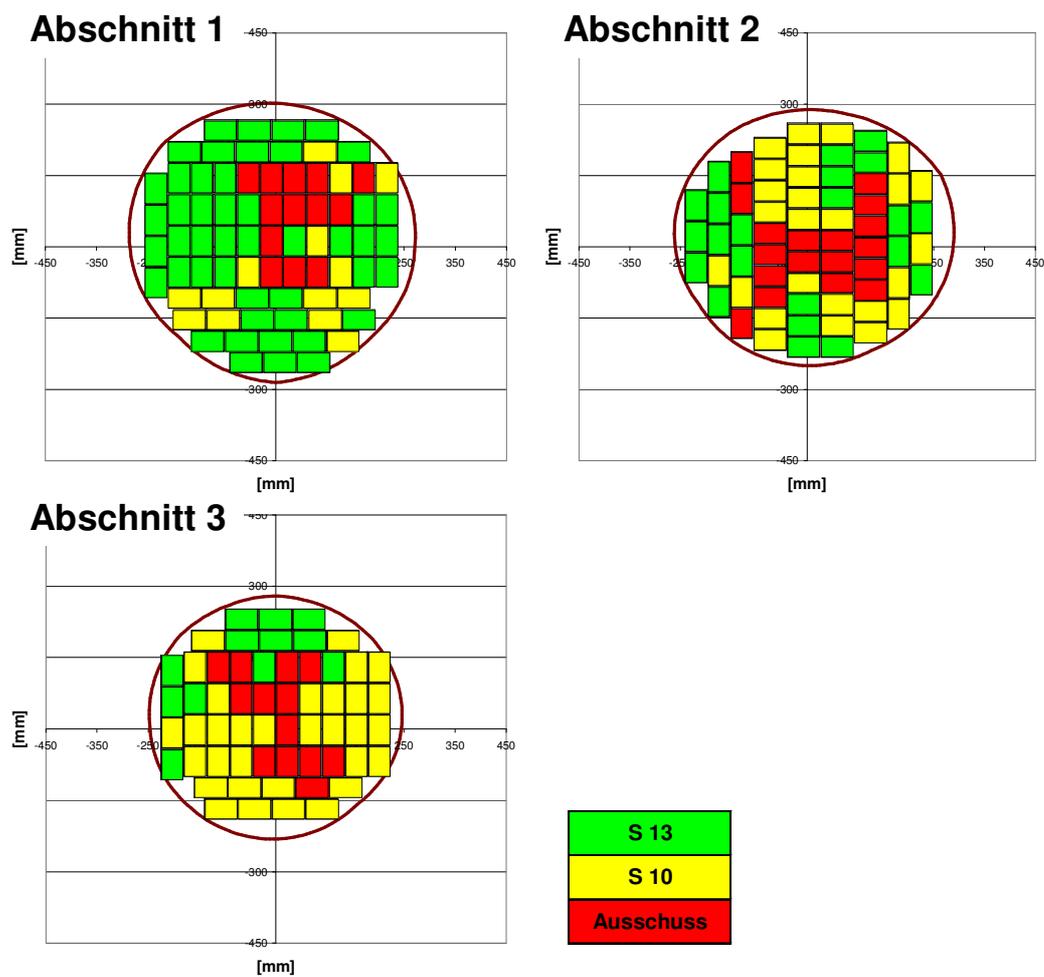


Abb. 62: Verteilung der visuellen Sortierklassen im Stammquerschnitt in den Abschnitten 1 (links oben) bis 3 (links unten) der Fichte Nr. 11

7.3.2 Bretter für Brettschichtholz 40 x 160 mm

Aus den 11 Abschnitten der Fichten Nr. 2, Nr. 5 und Nr. 10 wurden 283 Bretter für Brettschichtholz eingeschnitten. Die Fichte Nr. 10 war mit 70 cm Zopf im ersten Abschnitt ca. 3 cm stärker als die beiden anderen (Tab. 37). Am Stammmantel weist Fichte Nr. 10 die wenigsten und kleinsten Äste auf. Fichte Nr. 5 besitzt zwar deutlich mehr Äste, der mittlere Astdurchmesser in den Abschnitten 2 und 3 ist jedoch mit Nr. 10 vergleichbar. Der mittlere Astdurchmesser der Fichte Nr. 2 liegt im ersten und zweiten Abschnitt nur wenig über dem von Nr. 5, steigt jedoch im dritten und vierten Abschnitt deutlich bis auf 50 mm an. Im Vergleich zu den beiden anderen Fichten streut der Astdurchmesser stärker, eine große Anzahl von Ästen ist stärker als 40 mm (Abb. 63).

Tab. 37: Dimension der Abschnitte und Anzahl der Bretter

Fichte Nr.	Abschnitt Nr.	Zopf [cm]	Anzahl Bretter [Stück]
2	1	67	36
2	2	61	28
2	3	56	25
2	4	50	17
5	1	67	30
5	2	61	25
5	3	56	20
10	1	70	32
10	2	67	29
10	3	60	25
10	4	53	16

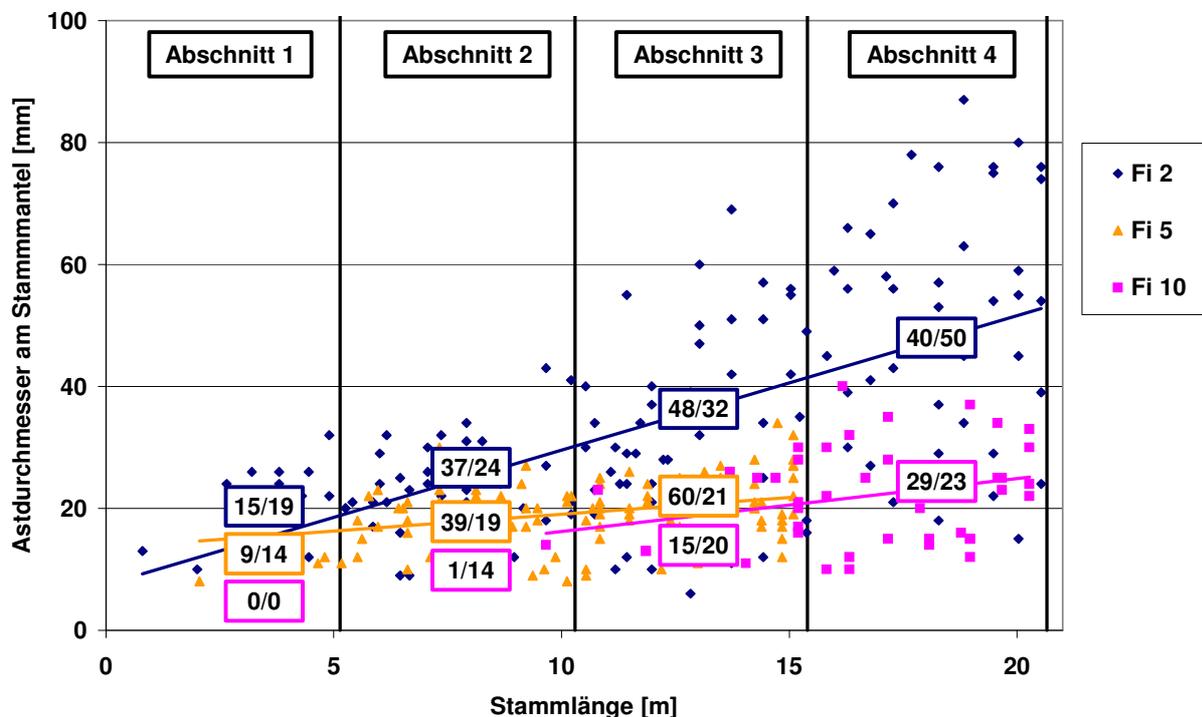


Abb. 63: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stamm der Fichten Nr. 2, Nr. 5 und Nr. 10

Die Ausbeuten der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074 sind in **Abb. 64** dargestellt. Bretter werden visuell den Sortierklassen S7, S10 und S13 sowie maschinell mS7, mS10 und mS13 zugeordnet.

Die Rangfolge der Fichten bei der Astigkeit des Rundholzes bleibt auch bei der visuellen Sortierung erhalten. Bei Fichte Nr. 2 wirken sich die zum Teil deutlich größeren Astdurchmesser in den Abschnitten 3 und 4 nicht auf den Ausschuss aus, da sie nicht in Astansammlungen¹⁰ auftreten. Die im Vergleich zur Fichte Nr. 2 geringere Astigkeit am Stamm wirkt sich bei Fichte Nr. 5 vor allem auf den höheren S10-Anteil aus. Abschnitt 2 und 3 der Fichte Nr. 5 unterscheiden sich hauptsächlich durch die Anzahl der Äste und nur geringfügig durch den mittleren Astdurchmesser. Das führt in Abschnitt 3 zu einer geringeren Ausbeute an S13 und einem höheren Anteil an S7 und Ausschuss, der Anteil an S10 ist nahezu gleich. Bei Fichte Nr. 10 führt die geringe Anzahl und Größe der Äste am Stamm in Abschnitt 1 und 2 zu einem sehr hohen Anteil an S13. Bezüglich der Astigkeit sind der Abschnitt 3 der Fichte Nr. 10 mit dem Abschnitt 2 der Fichte Nr. 5 sowie der Abschnitt 4 der Fichte Nr. 10 mit dem Abschnitt 3 der Fichte Nr. 5 vergleichbar. Die Ausbeute an der Sortierkombination S10/S13 unterscheidet sich in den Abschnitten mit vergleichbarer Astigkeit nur um knapp 4%.

Ausführlich wird der Zusammenhang zwischen den Ästen am Rundholz und der Ausbeute der visuellen Sortierung in Kapitel 7.4 beschrieben.

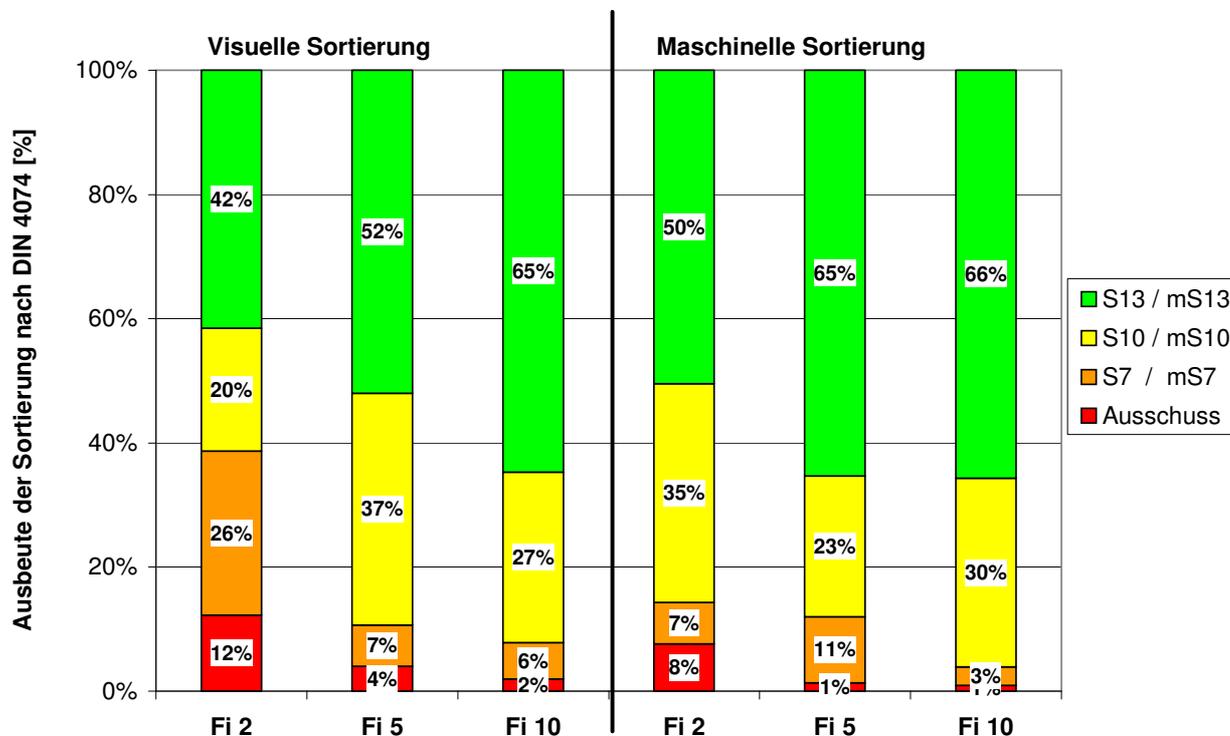


Abb. 64: Ausbeute der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074 der Fichten Nr. 2, Nr. 5 und Nr. 10

¹⁰ Äste, die sich überwiegend innerhalb einer Messlänge von 150 mm befinden

Im Vergleich zur visuellen Sortierung steigt bei Fichte Nr. 2 der Anteil an mS13 nur leicht an, während der Anteil an mS10 deutlich zunimmt. Der Ausschuss wird in den Abschnitten 1 und 4 um 6% und 12% abgesenkt. Im dritten Abschnitt bleibt er gleich, da dort verstärkt Reaktionsholz und somit ein niedriger E-Modul vorhanden ist. Bei Fichte Nr. 5 verringert die maschinelle Sortierung den Anteil an mS10 zu Gunsten von mS13, der Ausschuss der visuellen Sortierung wird maschinell fast vollständig in mS7 eingestuft. Bei Fichte Nr. 10 bleibt im Vergleich zur visuellen Sortierung der Anteil an mS13 nahezu gleich. Der Anteil an Ausschuss und mS7 wird jeweils halbiert.

Bei Fichte Nr. 2, deren Schnittholzastigkeit nach außen hin zunimmt, und bei Fichte Nr. 5 verbessert die maschinelle Sortierung die Ausbeute vor allem im äußeren Bereich. Bei Fichte Nr. 10 profitiert hauptsächlich der innere Stammbereich von der maschinellen Sortierung, da hier der E-Modul und die Rohdichte ungewöhnlich hoch waren. Dennoch ist auch hier die Festigkeit im äußeren Stammbereich höher.

Die zum Teil deutlich höhere Ausbeute der maschinellen Sortierung ist darauf zurückzuführen, dass neben der Schwachstelle Ast auch die Eigenschaften des umgebenden Materials, wie Rohdichte und Steifigkeit, zur Beurteilung der Festigkeit berücksichtigt werden.

7.3.3 Kanthölzer für Konstruktionsvollholz 60 x 120 mm

Aus 15 Abschnitten von vier Fichten wurden 296 Kanthölzer 60 x 120 mm eingeschnitten. Fichte Nr. 8 war der stärkste, Fichte Nr. 12 der schwächste Baum (**Tab. 38**).

Abb. 65 zeigt die Verteilung und Größe der Äste am Stammmantel. Die erste Zahl in den Kästchen bezeichnet die Anzahl der Äste am Stammmantel, die zweite Zahl den mittleren Astdurchmesser. Die meisten und größten Äste weist Fichte Nr. 4 auf, deren vier Abschnitte sich nur geringfügig in der Astigkeit unterscheiden. Die wenigsten und kleinsten Äste zeigte Fichte Nr. 8, die im ersten und zweiten Abschnitt keine Äste am Stamm aufweist. Bei den Fichten Nr. 7 und Nr. 12 kommen im ersten Abschnitt nur wenige, im Mittel etwa 14 mm große, Äste vor. In den folgenden Abschnitten nimmt die Anzahl der Äste bei beiden

Tab. 38: Dimension der Abschnitte und Anzahl der Kanthölzer 60 x 120 mm

Fichte Nr.	Abschnitt Nr.	Zopf [cm]	Anzahl Kanthölzer [Stück]
4	1	64	29
4	2	57	23
4	3	52	18
4	4	45	14
7	1	57	21
7	2	55	18
7	3	51	15
7	4	46	13
8	1	72	35
8	2	65	28
8	3	61	23
8	4	55	20
12	1	50	15
12	2	47	13
12	3	44	11

Fichten zwar in gleichem Umfang zu, der Astdurchmesser steigt bei Fichte Nr. 7 jedoch stärker und ist mit 30 mm im Abschnitt 4 ähnlich hoch wie bei Fichte Nr. 4.

In **Abb. 66** ist die Ausbeute der visuellen und der maschinellen Sortierung der Kanthölzer aus den vier Fichten dargestellt. Kanthölzer werden visuell den Sortierklassen S7, S10 und S13 sowie maschinell mS7, mS10 und mS13 zugeordnet. Das Schnittholz von Fichte Nr. 4 ist am astigsten und hat mit 27% Ausschuss und 52% S7 die schlechteste Ausbeute. Die höchste Ausbeute in S13 und S10 zeigte sich bei Fichte Nr. 8. Die Ausbeuten der Fichten Nr. 7 und Nr. 12 sind nahezu gleich, wobei Nr. 12 geringfügig besser abschneidet. Das entspricht in etwa dem Ergebnis der Astigkeit am Stammmantel.

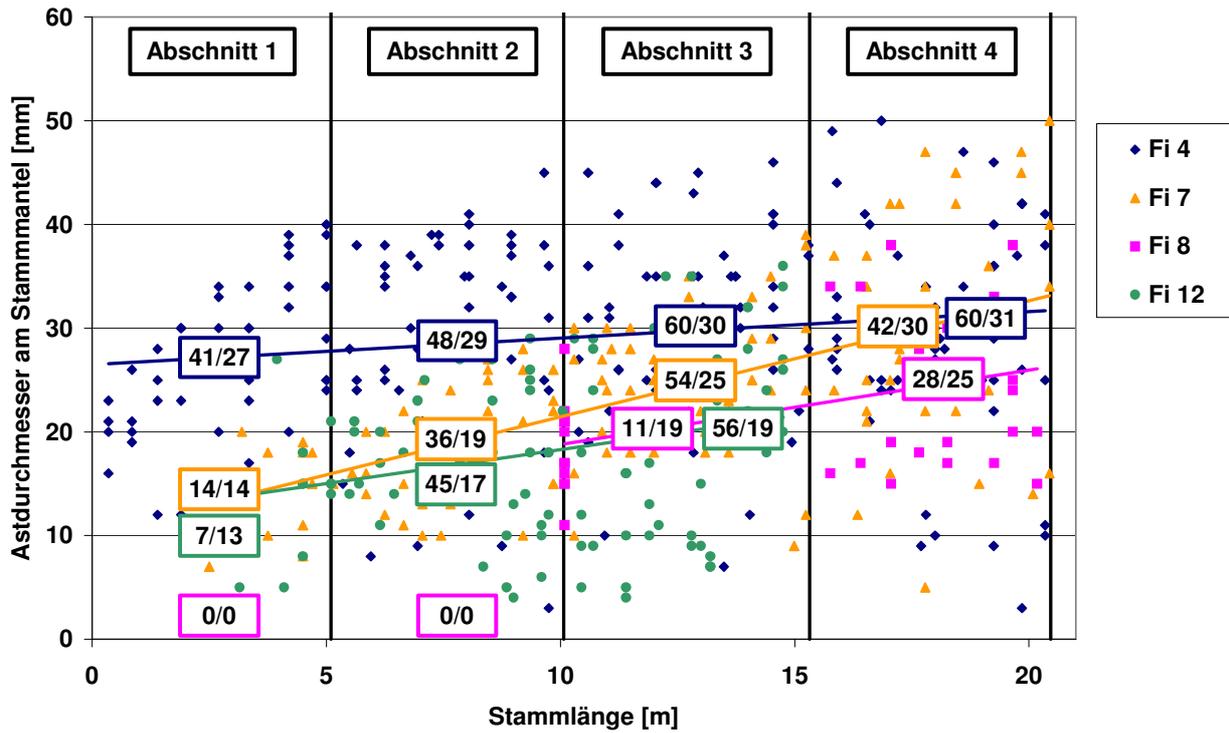


Abb. 65: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stamm der Fichten Nr. 4, Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 12

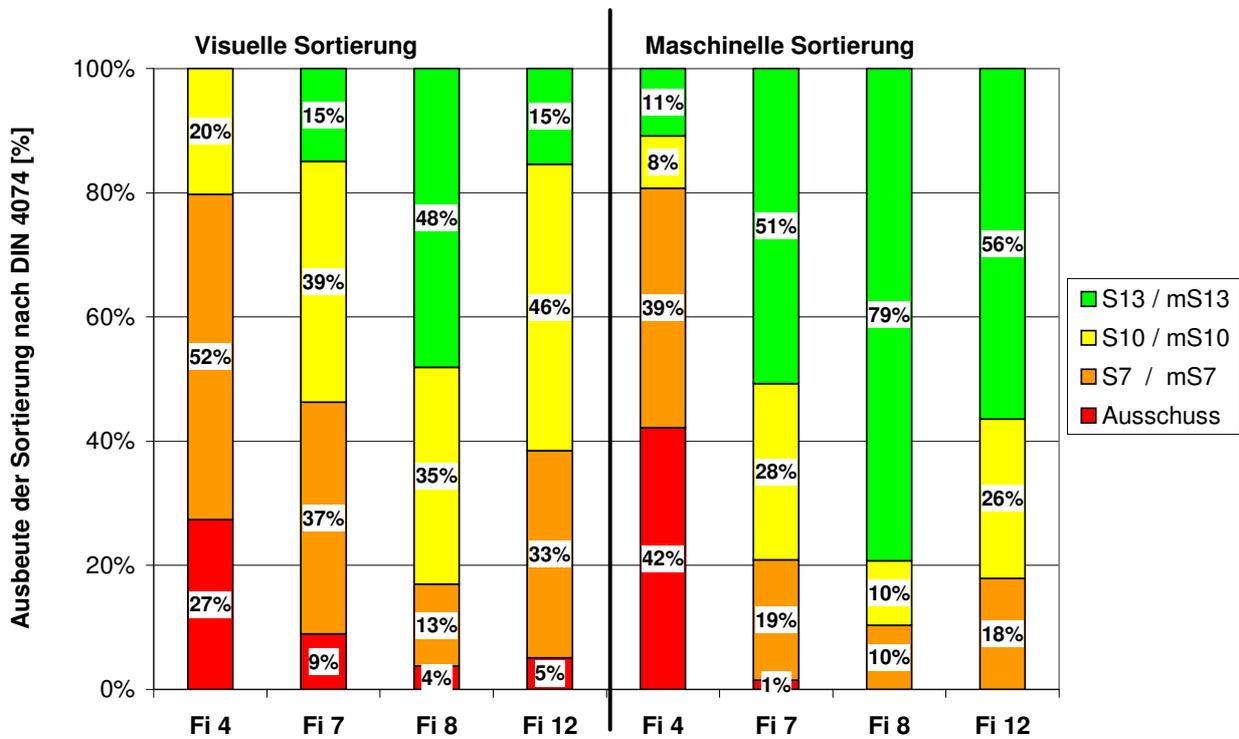


Abb. 66: Ausbeute der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074 der Fichten Nr. 4, Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 12

Verglichen mit der visuellen Sortierung, bleibt bei der maschinellen Sortierung die Rangfolge hinsichtlich der Qualität der Fichten erhalten. Bei Fichte Nr. 4 zeigt sich mit Abstand der höchste Anteil an mS7 und Ausschuss. Fichte Nr. 8 erreicht den höchsten Anteil an mS13. Fast gleiche Ausbeuten weisen die Fichten Nr. 7 und Nr. 12 auf. Im Vergleich zur visuellen Sortierung wurde bei den Fichten Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 12 deutlich mehr mS13 erzielt, der Ausschuss wird deutlich reduziert. Fasst man mS13 und mS10 zusammen, so liegen die Fichten Nr. 7 und Nr. 12 nur ca. 10% hinter Fichte Nr. 8. Bei Fichte Nr. 4 bleibt das Verhältnis von mS10/mS13 zu Ausschuss/mS7 zwar gleich, der Anteil an Ausschuss steigt aber auf mehr als 40%, da der E-Modul bei gleicher Rohdichte um etwa 20% niedriger ist als bei den anderen Bäumen.

Die Kanthölzer der Fichte Nr. 7 profitieren sehr stark von der maschinellen Sortierung. Im ersten Abschnitt verdoppelt sich der Anteil an mS13 auf 86%, im zweiten Abschnitt sinkt der Anteil an mS7 von 50% auf 6% und im dritten Abschnitt steigt der Anteil von mS13 und mS10 von 20% auf über 50%. Bei Fichte Nr. 8 sind im dritten Abschnitt fast drei Viertel der Kanthölzer S13. Selbst in Abschnitt 4 sind 60% der Kanthölzer in S10 und S13 einzustufen (**Anhang**).

7.3.4 Kanthölzer für Konstruktionsvollholz 80 x 180 mm

Aus 11 Abschnitten von drei Fichten wurden 107 Kanthölzer 80 x 180 mm eingeschnitten. Fichte Nr. 6 war der stärkste, Fichte Nr. 3 der schwächste Baum (**Tab. 39**).

Fichte Nr. 3 weist von den drei Fichten die meisten und größten Äste am Stammmantel auf. Fichte Nr. 6 zeigt etwas weniger Äste als Fichte Nr. 9, diese sind in den ersten beiden Abschnitten aber etwas größer (**Abb. 67**).

Abb. 68 zeigt die Ausbeute der visuellen Sortierung nach DIN 4074 der Kanthölzer aus den drei Fichten. Kanthölzer werden visuell in die Klassen S7, S10 und S13 sowie maschinell in mS7, mS10 und mS13 sortiert. Bei Fichte Nr. 3 sind mehr als 90% der Kanthölzer S7 und S10. Trotz der großen mittleren Astdurchmesser fallen nur 6% der Kanthölzer

in den Ausschuss. Die weniger astigen Fichten Nr. 6 und Nr. 9 haben beide etwa 70% Anteil in S10. Der Anteil an S13 ist bei Nr. 9 mit 26% etwa doppelt so groß, der Anteil an S7 ist geringer als bei Fichte Nr. 6. Die qualitative Reihenfolge der Fichten bei der visuellen Sortierung entspricht in etwa dem Ergebnis der Astigkeit am Stamm.

Im Vergleich zur visuellen Sortierung bleibt bei der maschinellen Sortierung bei den Fichten Nr. 6 und Nr. 9 der Anteil an mS7 gleich, der Anteil an mS13 nimmt um mehr als 40% zu. Bei Fichte Nr. 3 ist die Ausbeute der maschinellen Sortierung schlechter als die visuelle Sortierung. Zwar erhöht sich der Anteil an mS13 leicht, die Kanthölzer, die in mS7 und in den Ausschuss fallen, nehmen jedoch deutlich zu. Das liegt daran, dass der E-Modul im Vergleich zu den anderen beiden Fichten bei gleicher Rohdichte etwa 25% niedriger ist.

Die maschinelle Sortierung erfasst die tatsächliche Festigkeit des Schnittholzes treffender. Es ist daher möglich, gute und schlechte Qualitäten besser zu entdecken als bei der visuellen Sortierung. Das führt im Regelfall zu höheren Ausbeuten in den besseren Sortierklassen. Im Einzelfall können jedoch eine geringe Rohdichte und damit verbunden eine geringe Steifigkeit zu schlechteren Ausbeuten führen als bei der visuellen Sortierung.

Tab. 39: Dimension der Abschnitte und Anzahl der Kanthölzer 80 x 180 mm

Fichte Nr.	Abschnitt Nr.	Zopf [cm]	Anzahl Kanthölzer [Stück]
3	1	60	11
3	2	54	9
3	3	52	8
3	4	45	5
6	1	66	14
6	2	62	12
6	3	59	9
6	4	50	8
9	1	64	12
9	2	59	10
9	3	54	9

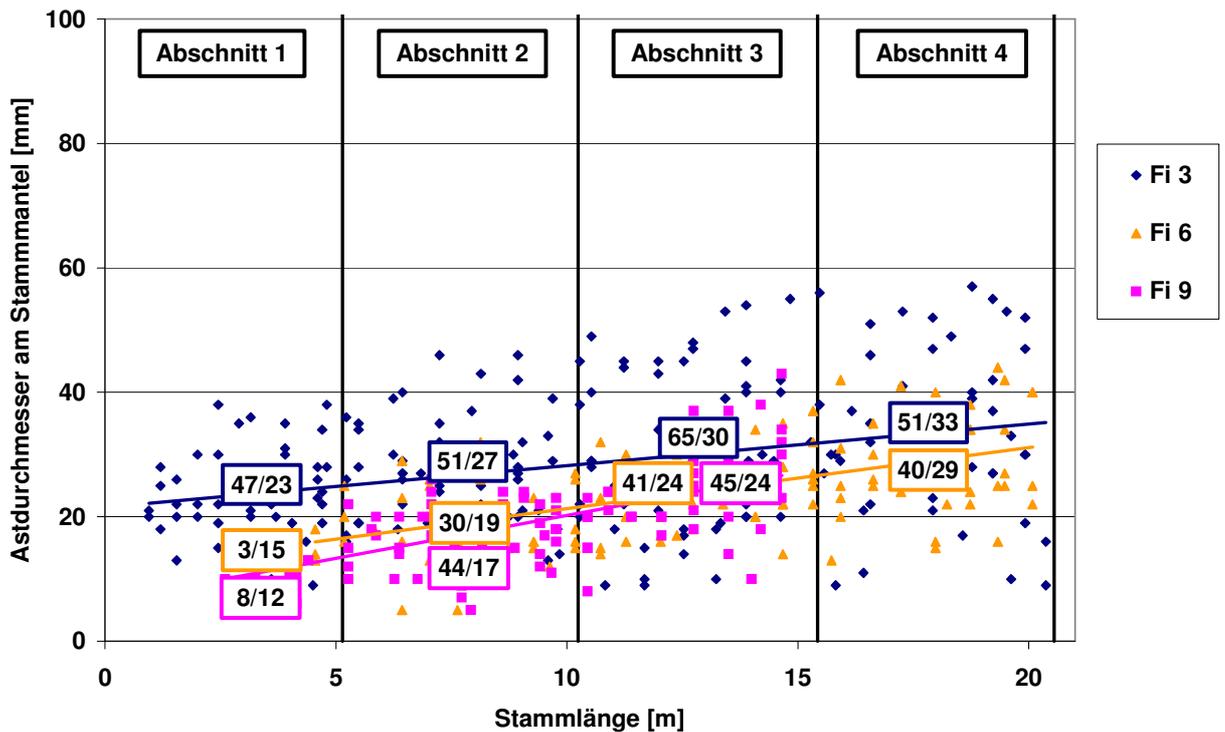


Abb. 67: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stamm der Fichten Nr. 3, Nr. 6 und Nr. 9

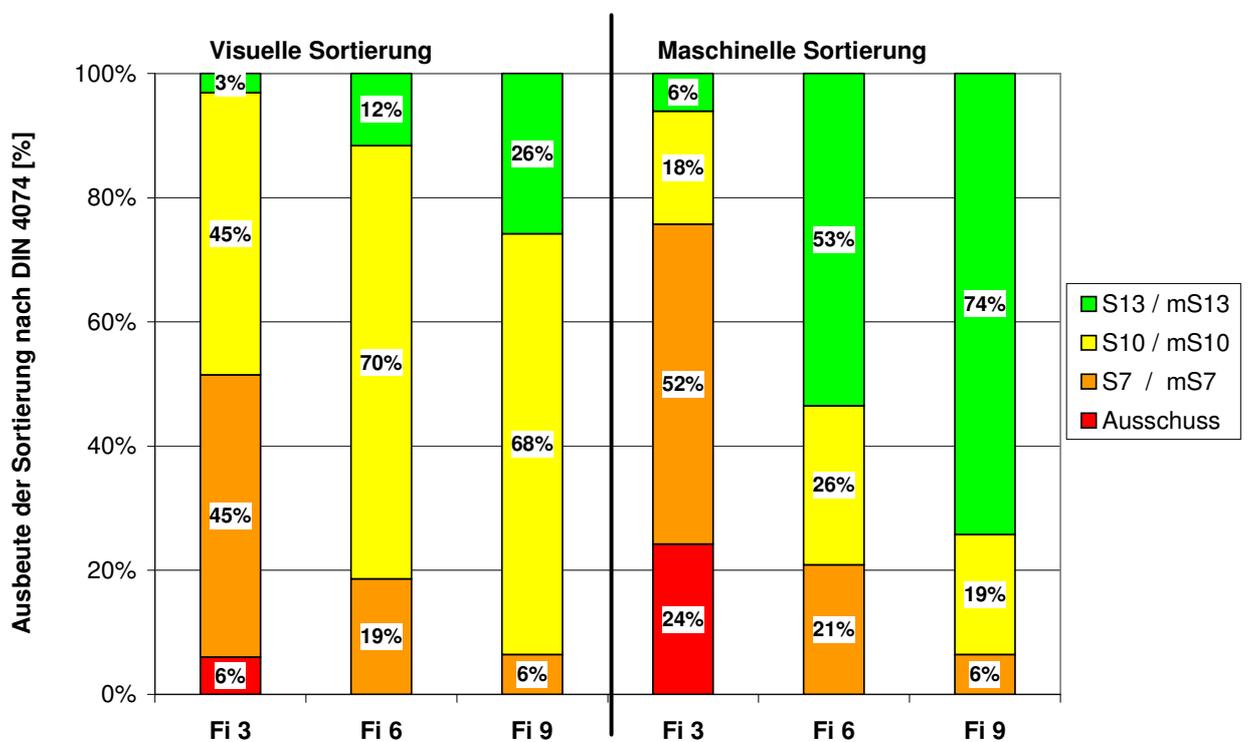


Abb. 68: Ausbeute der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074 für die Fichten Nr. 3, Nr. 6 und Nr. 9

7.3.5 Sortierentscheidende Äste und deren Verteilung in Kanthölzern

Abb. 69 zeigt die Verteilung sortierentscheidender Äste in Kanthölzern am Beispiel von Abschnitt 4 der Fichte Nr. 8. Die einzelnen Kanthölzer sind maßstabsgetreu als schwarze Kästen dargestellt. Links befindet sich das stärkere Ende des Abschnitts, rechts der Zopf. Symbole, die sehr eng beieinander liegen, zeigen Äste, die schräg durch das Kantholz verlaufen und an zwei Seiten zu einer Abstufung führen. Die Astquirle sind deutlich im Schnittholz zu erkennen.

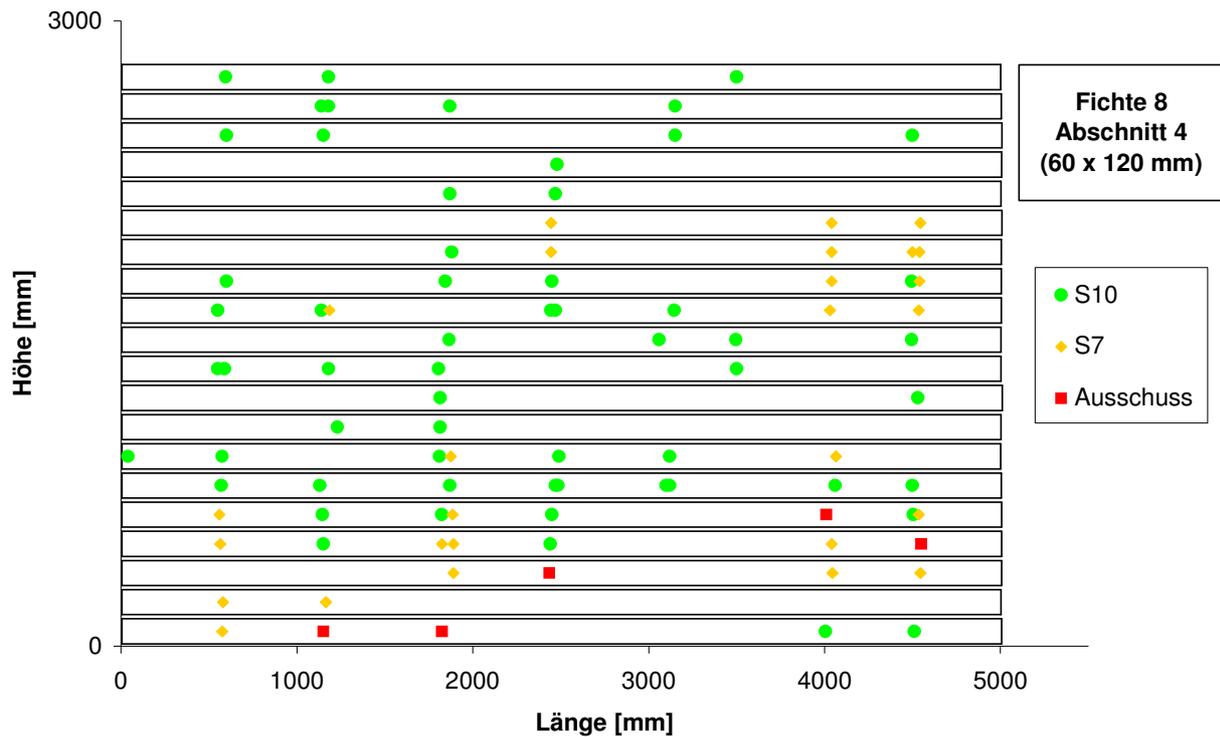


Abb. 69: Verteilung sortierentscheidender Äste in Kanthölzern am Beispiel der Fichte Nr. 8, Abschnitt 4; N = 20

Abb. 70 stellt für die Abschnitte 1 bis 4 die Länge der S13-Bereiche sowie die Anzahl (S10, S7, Ausschuss) dar. Die mittlere Länge der S13-Bereiche sinkt von Abschnitt 1 zu Abschnitt 4 nahezu linear von 412 cm auf 232 cm, während die Anzahl sortierentscheidender Äste im Mittel von 1,7 Stück in Abschnitt 1 auf 5,0 Stück in Abschnitt 4 ansteigt. Weitere Auswertungen finden sich in den Kapiteln **7.3.6** und **7.4**.

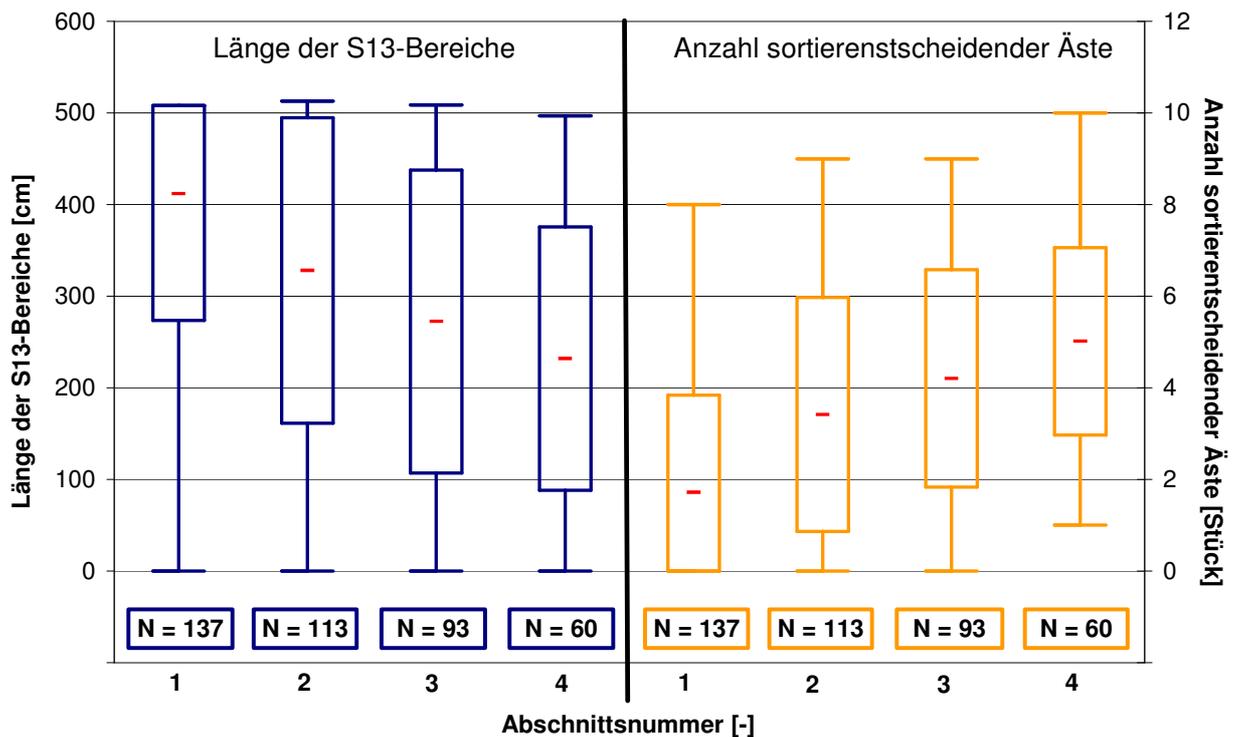


Abb. 70: Länge der S13-Bereiche sowie Anzahl sortierentscheidender Äste, getrennt nach Stammabschnitten; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert

7.3.6 Vergleich von Produkten aus Starkholz mit denen aus schwächerem Holz

7.3.6.1 Entwicklung der Holzeigenschaften vom Mark zur Rinde

Die Entwicklung der Astigkeit, der Rohdichte, der Steifigkeit und des maschinellen Sortierwerts vom Mark zur Rinde wird im Folgenden baumweise dargestellt. Durch die unterschiedliche Qualität und Dimension der vier Rundholzabschnitte gibt der Mittelwert eines Baumes die Verhältnisse in den einzelnen Abschnitten zwar nicht immer exakt wieder, jedoch ist nur so eine übersichtliche Darstellung möglich. Deshalb werden zusätzlich die Holzeigenschaften, getrennt in den vier Rundholzabschnitten, betrachtet und in **Tab. 41** eine einheitliche Bewertung für den gesamten Stamm gegeben, die somit geringfügig vom Mittelwert des Einzelbaums abweichen kann.

Abb. 71 zeigt die Entwicklung der Schnittholzastigkeit vom Mark zur Rinde. Für die Fichten Nr. 2, Nr. 5 und Nr. 10, die zu Brettern eingeschnitten wurden, ist der DAB aufgetragen, für die restlichen Fichten, aus denen Kanthölzer erzeugt wurden, der DEK. Bei den Fichten Nr. 2, Nr. 3 und Nr. 6 bleibt zwar der Mittelwert des Baumes mit zunehmender Entfernung von der Markröhre konstant, in den einzelnen Abschnitten steigt jedoch die Astigkeit nach außen hin an. Die Bewertung in **Tab. 41** weicht somit von **Abb. 71** ab. Gleiches gilt für Fichte

Nr. 4. Zwar sinkt hier der Mittelwert des Baumes leicht ab, betrachtet man die vier Rundholzabschnitte einzeln, so bleibt die Astigkeit vom Mark zur Rinde nahezu unverändert. Somit nimmt die Astigkeit nur bei 6 der 10 Fichten vom Mark zur Rinde ab. Die Mittelwerte der Fichten Nr. 7, Nr. 9 und Nr. 12 sowie der Fichten Nr. 5, Nr. 8 und Nr. 10 verlaufen nahezu parallel. Während sich die deutliche Abnahme der Astigkeit bei den letztgenannten drei Fichten bei der visuellen Sortierung auswirkt, ist das bei den Fichten Nr. 7, Nr. 9 und Nr. 12 nicht bei allen Abschnitten der Fall (**Tab. 44**).

Die deutlichste Abnahme der Astigkeit vom Mark zur Rinde ist, bis auf Fichte Nr. 2, bei den Brettern (Nr. 2, Nr. 5 und Nr. 10) festzustellen, gefolgt von den Kanthölzern 60 x 120 mm (Nr. 4, Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 12). Die Mittelwerte der Fichten Nr. 8 (60 x 120 mm) und Nr. 9 (80 x 180 mm), die weniger und kleinere Äste am Rundholz aufweisen, verlaufen jedoch mit den jeweils kleineren Schnittholzquerschnitten parallel. Auch nach GLOS und TRATZMILLER (1996b), GLOS und AUKOFER (1999) sowie GLOS et al. (1999) nimmt die für Bretter ermittelte Astigkeit (DAB) am stärksten ab.

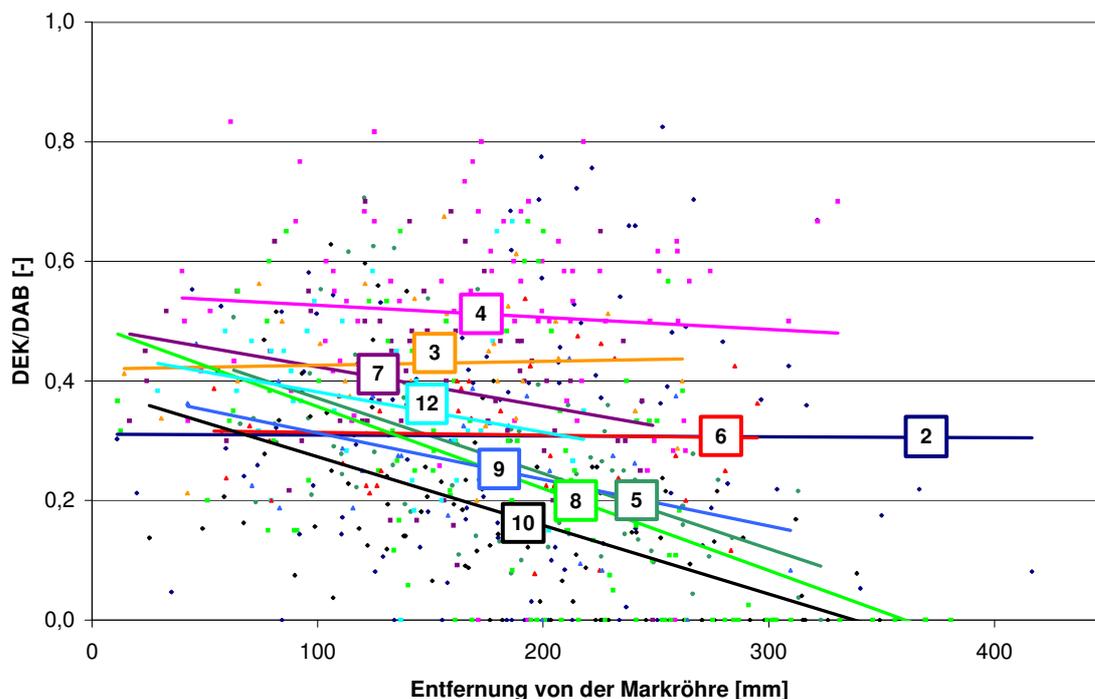


Abb. 71: Entwicklung der Schnittholzastigkeit vom Mark zur Rinde

In **Abb. 72** ist die Entwicklung der Rohdichte mit zunehmender Entfernung vom Mark dargestellt. Die Rohdichte nimmt bei 9 der 10 Fichten vom Mark zur Rinde zu. Das Ausmaß des Anstiegs ist jedoch sehr unterschiedlich. Die Fichten Nr. 5, Nr. 7 und Nr. 12 zeigen den stärksten Anstieg, ihre Rohdichte steigt im Mittel um 25% (von 350 kg/m^3 auf etwa 440 kg/m^3). Das entspricht den Ergebnissen von KUFNER (1985) und BUES (1996) an Kleinproben (**4.4**). Bei den Fichten Nr. 4, Nr. 6, Nr. 8 und Nr. 9 steigt die Rohdichte um 10% bis 16%. Ähnliche

Werte weisen GLOS und TRATZMILLER (1996b), GLOS und AUKOFER (1999) sowie GLOS et al. (1999) an Schnittholz aus Fichtenstarkholz nach (4.4). Die Fichten Nr. 3 und Nr. 10 weisen mit zunehmender Entfernung vom Mark nur geringfügig um 3% bzw. 5% dichteres Holz auf. Bei Fichte Nr. 10 ist in zwei Abschnitten keine Zunahme festzustellen, sie wird daher in **Tab. 41** als innen und außen gleich bleibend bewertet. Bei Fichte Nr. 2 nimmt die Rohdichte vom Mark zur Rinde um etwa 3% ab.

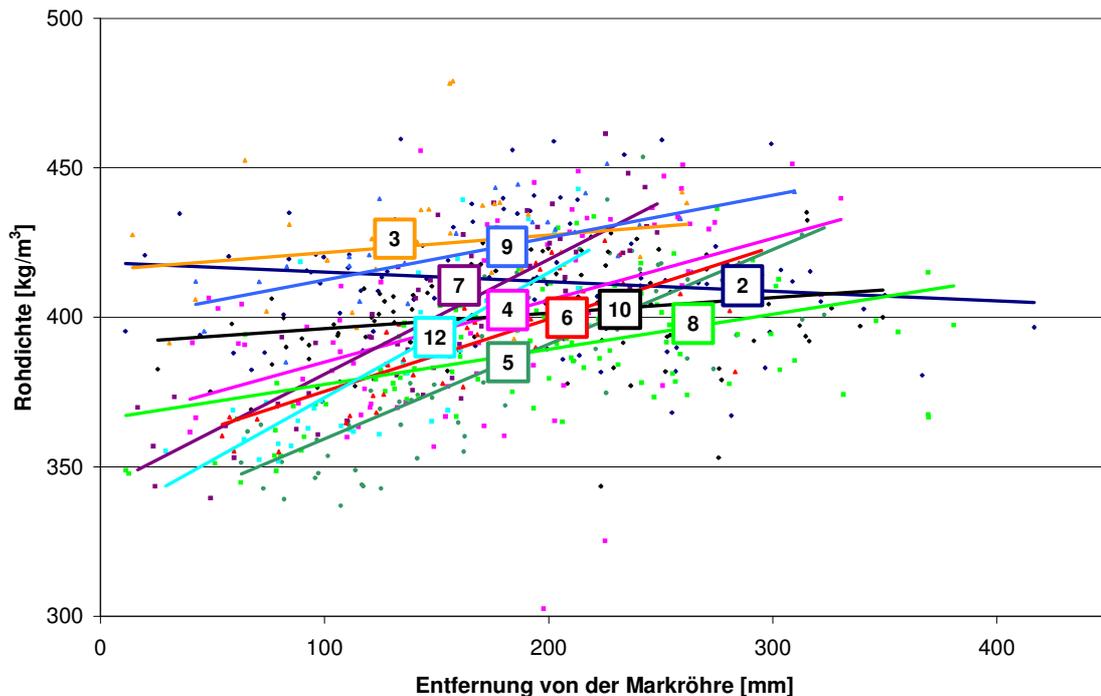


Abb. 72: Entwicklung der Rohdichte vom Mark zur Rinde

Abb. 73 zeigt die Entwicklung der Steifigkeit mit zunehmender Entfernung von der Markröhre. Bei 8 der 10 Fichten steigt der E-Modul vom Mark zur Rinde an. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf Grund der weniger astigen Erdstammstücke der Anstieg bei baumweiser Betrachtung deutlicher ausfällt, als das in den einzelnen Rundholzabschnitten der Fall ist. Mit 4.200 N/mm^2 bis 5.900 N/mm^2 zeigen die Fichten Nr. 4, Nr. 5, Nr. 7 und Nr. 12 einen sehr starken Anstieg der Steifigkeit um 45% bis 65%. Bei den Fichten Nr. 3, Nr. 6, Nr. 9 und Nr. 10 steigt der E-Modul vom Mark zur Rinde zwischen 1.000 N/mm^2 und 2.300 N/mm^2 (9% bis 22%). Das Ergebnis dieser Gruppe entspricht den Mittelwerten von GLOS und TRATZMILLER (1996b), GLOS und AUKOFER (1999) sowie GLOS et al. (1999) (4.4). Festzuhalten bleibt jedoch das niedrige Niveau der Fichten Nr. 3 und Nr. 4. Fichte Nr. 8 wird in **Tab. 41** als gleich bleibend bewertet, da die Steifigkeit in 3 der 4 Abschnitte über den Stammquerschnitt nahezu unverändert ist. Nur bei Fichte Nr. 2 sinkt der E-Modul mit zunehmender Entfernung von der Markröhre.

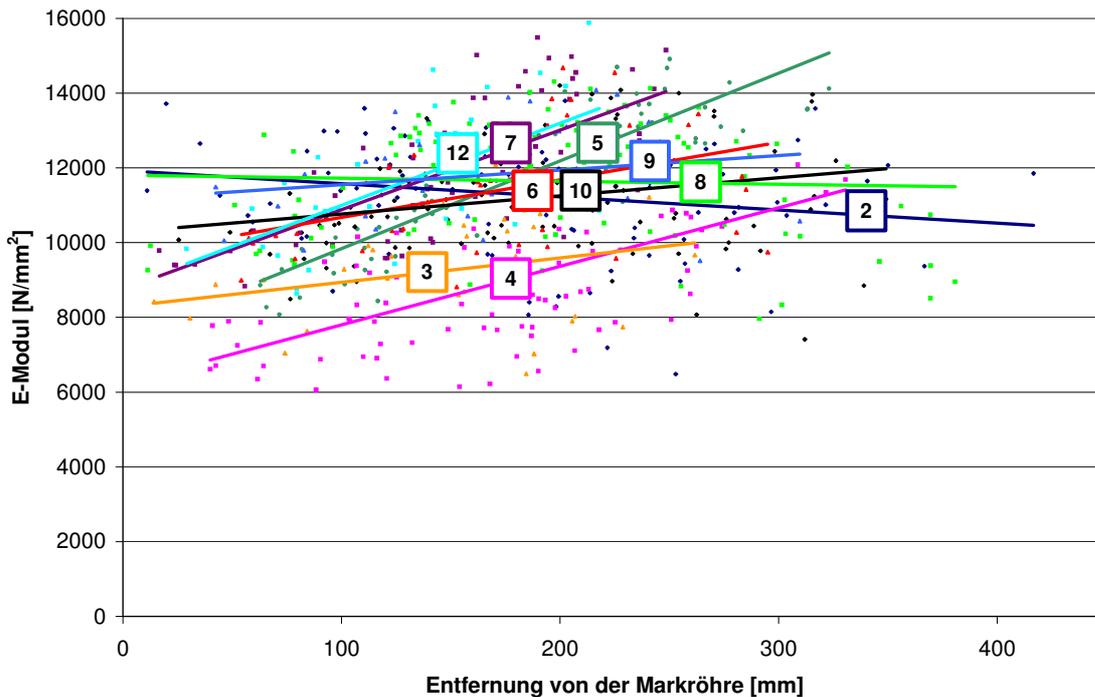


Abb. 73: Entwicklung der Steifigkeit vom Mark zur Rinde

Abb. 74 zeigt den maschinellen Sortierwert der 10 Fichten mit zunehmender Entfernung von der Markröhre. Deutlich wird die große Streuung zwischen den Individuen; der maschinelle Sortierwert reicht von etwa 1 bis 60. Bei 9 der 10 Fichten steigt der maschinelle Sortierwert vom Mark zur Rinde. Dabei können, unabhängig vom Schnittholzquerschnitt, zwei Gruppen unterschieden werden. Bei den Fichten Nr. 3, Nr. 4, Nr. 6, Nr. 8, Nr. 9 und Nr. 10 steigt der maschinelle Sortierwert langsamer an als bei den Fichten Nr. 5, Nr. 7 und Nr. 12. Auch wenn innerhalb dieser Gruppen die absoluten Werte stark variieren, verlaufen die Mittelwerte nahezu parallel. Wie schon bei der Steifigkeit, ist auch hier das Niveau der Fichten Nr. 3 und Nr. 4 sehr niedrig. Die Ausnahme bildet Fichte Nr. 2, deren maschineller Sortierwert vom Mark zur Rinde geringfügig absinkt.

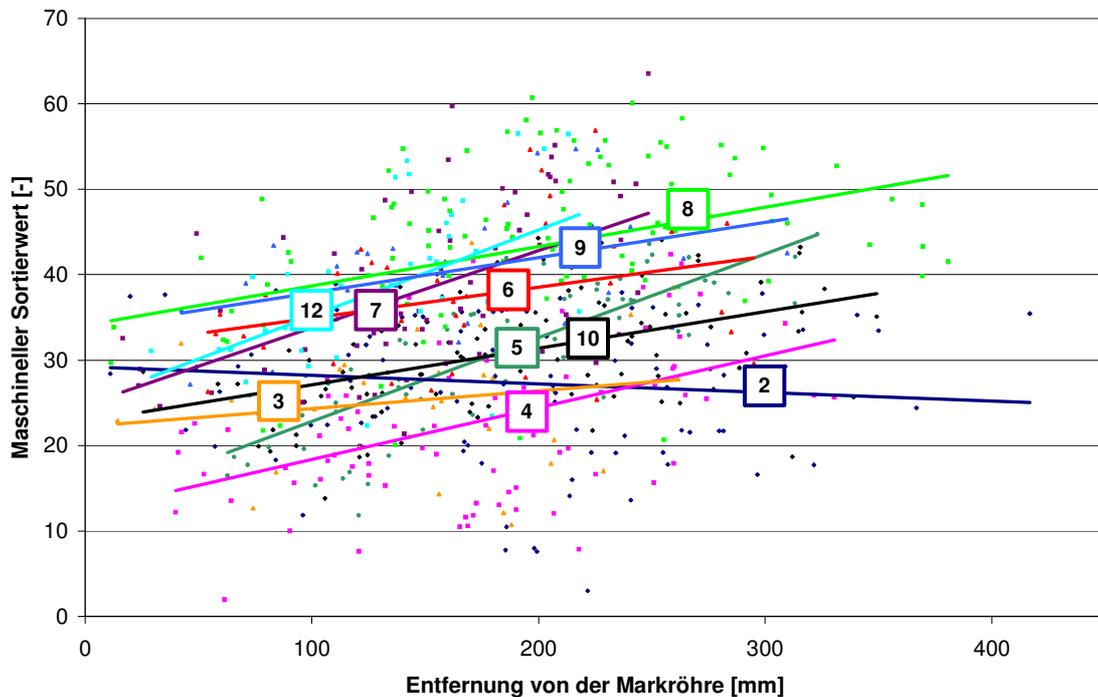


Abb. 74: Entwicklung des maschinellen Sortierwerts vom Mark zur Rinde

Tab. 40 enthält die Grenzen des maschinellen Sortierwerts für Bretter und Kanthölzer. Neben dem Anstieg des Sortierwerts ist auch das Niveau der Werte entscheidend. Nur wenn sich ein Unterschied in der Sortierklasse vom Mark zur Rinde ergibt, lohnt sich der teure Starkholzeinschnitt. Die Fichten Nr. 5 bis Nr. 10 sowie Nr. 12 sind dazu geeignet, hochwertige Schnittholzprodukte zu erzeugen. Die Fichten Nr. 8

bis Nr. 9 zeigen im äußeren Stammbereich sogar ein Potential, das über mS13 hinausgeht. Bleibt es ungenutzt, ergibt sich in den betroffenen Abschnitten kein Vorteil gegenüber dem inneren Stammbereich (**Tab. 44**). Ein tatsächlicher Vorteil ergibt sich für den Starkholzsäger auch bei den Fichten Nr. 5, Nr. 6, Nr. 7 und Nr. 12, da, aufgrund der stärkeren Zunahme des Sortierwerts von innen nach außen, die bessere Qualität im äußeren Stammbereich liegt.

Die Fichte Nr. 4 ist, trotz des ansteigenden Sortierwerts, nicht geeignet, hochwertiges Bauholz zu liefern, da im Mittel sehr viel mS7 und marknah sogar nur Ausschuss anfällt. Ähnliches gilt für die Fichte Nr. 3. Die Fichte Nr. 2 liefert, trotz der Abnahme des maschinellen Sortierwerts, im Mittel über den gesamten Stammquerschnitt Schnittholz normaler Bauqualität (mS10). Dennoch wäre bei diesen drei Fichten die Ernte vor Überschreiten der Durch-

Tab. 40: Grenzen des maschinellen Sortierwerts für mS7, mS10 und mS13

Sortierklasse der DIN 4074	Grenze des maschinellen Sortierwerts für	
	Bretter ¹	Kanthölzer ²
mS13	28	36
mS10	19	30
mS7	14	20

¹ Nr. 2, Nr. 5, Nr. 10

² Nr. 3, Nr. 4, Nr. 6, Nr. 7, Nr. 8, Nr. 9, Nr. 12

messergrenze zum Starkholz, im Hinblick auf die Erzeugung von Bauschnittholz, vernünftiger und somit wirtschaftlicher gewesen.

Tab. 41 enthält den Vergleich zwischen innerem und äußerem Stammbereich hinsichtlich Astigkeit, Rohdichte, Steifigkeit und maschinell Sortierwert. Dazu wurde jeder Rundholzabschnitt einzeln betrachtet und für jeden Stamm eine gemeinsame Bewertung abgegeben. Meist sind die aufgeführten Eigenschaften im äußeren Bereich des Starkholzes besser. Gerade bei der Astigkeit, die für die visuelle Sortierung entscheidend ist, weisen drei Fichten außen schlechtere Werte auf, bei einer Fichte bleibt die Astigkeit gleich. Die Rohdichte bleibt bei drei Bäumen vom Mark zur Rinde konstant. Der E-Modul nimmt in einem Fall nach außen ab und bleibt bei zwei Fichten konstant. Fichte Nr. 3 und Fichte Nr. 4 weisen einen deutlich niedrigeren E-Modul auf als die restlichen Fichten (**Abb. 73**). Aus Astigkeit, Rohdichte und Steifigkeit wurde der maschinelle Sortierwert berechnet. Dieser steigt bei 9 von 10 Fichten mit zunehmender Entfernung vom Mark an. Bei Fichte Nr. 2 wirken sich die nach außen hin größere Astigkeit, die geringere Rohdichte und der geringere E-Modul negativ auf den Sortierwert aus. Somit hat Starkholz bei visueller Sortierung bei 6 von 10 Fichten einen Vorteil gegenüber schwächerem Holz, bei maschineller Sortierung steigt der Anteil auf 9 von 10 Fichten.

Tab. 41: Vergleich des inneren und äußeren Stammbereichs der einzelnen Fichten bezüglich wichtiger Kriterien der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074

Baumnummer ¹	Astigkeit [DEK, DAB]	Rohdichte	E-Modul	Maschineller Sortierwert
	Außen deutlich besser, besser, gleich oder schlechter als innen (Mark) [++;+, O, -]			
2	-	-	-	-
3	-	+	+ ²	+ ²
4	O	+	++ ²	+ ²
5	+	+	++	++
6	-	+	+	+
7	+	+	++	++
8	+	+	O	+
9	+	+	+	+
10	+	O	+	+
12	+	+	++	++

¹ die Dachlatten aus Fichte Nr. 1 und Nr. 11 wurden nicht maschinell sortiert

² niedrige Werte

7.3.6.2 Vergleich zwischen Schwachholz- und Starkholzbereich

Um praxisnahe Aussagen über die Vor- oder Nachteile von Starkholz treffen zu können, die nicht von der Rundholzqualität unterschiedlicher Kollektive oder der Abschnitte innerhalb eines Stammes beeinflusst sind, wird im Folgenden für jeden Rundholzabschnitt der innere Schwachholzbereich mit dem äußeren Starkholzbereich verglichen (6.5).

Tab. 42 enthält den Zopf der Abschnitte und des Schwachholzbereichs sowie die Anzahl der Schnitthölzer in den beiden Bereichen. Abschnittsweise wird für den inneren Stammbereich der Mittelwert der Astigkeit, der Rohdichte, der Steifigkeit und des maschinellen Sortierwerts gebildet und vom entsprechenden Mittelwert des äußeren Stammbereichs abgezogen. Somit deuten positive Werte bei Rohdichte, Steifigkeit und maschinelltem Sortierwert sowie negative Werte bei der Astigkeit auf einen Vorteil von Starkholz gegenüber dem inneren Stammbereich. Mittels eines zweiseitigen t-Tests mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit α von 0,05 wurde für die unabhängigen Stichproben¹¹ überprüft, ob sich die Mittelwerte innen und außen signifikant unterscheiden. Mit Hilfe eines F-Tests wurde zuvor untersucht, ob sich die Varianzen der beiden Bereiche unterscheiden und anschließend ein t-Test für gleiche oder unterschiedliche Varianz durchgeführt. Die Normalverteilung der Werte, eine weitere Voraussetzung für den t-Test, wurde nicht geprüft, da einerseits die notwendige Anzahl an Kanthölzern und Brettern in den Stammbereichen teilweise fehlt andererseits der t-Test auch dann anwendbar ist, wenn die beiden Grundgesamtheiten nicht normalverteilt sind, solange diese nicht allzu unsymmetrisch sind (STORM, 1988).

Die Astigkeit des Schnittholzes ist über alle Querschnitte außen im Mittel um 0,04 kleiner als im inneren Stammbereich. Auf Grund der verschiedenen Querschnitte ergeben sich jedoch Unterschiede. Bei den Brettern (Nr. 2, Nr. 5 und Nr. 10) ist die Astigkeit außen um 0,09 geringer, bei Fichte Nr. 5 und Nr. 10 durchschnittlich sogar um 0,14. Bei den Kanthölzern 60 x 120 mm (Nr. 4, Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 12) nimmt die Astigkeit im Mittel um 0,05 ab, während beim Querschnitt 80 x 180 mm (Nr. 3, Nr. 6 und Nr. 9) das Schnittholz im äußeren Stammbereich einen nur um 0,01 geringeren DEK aufweist. Ein signifikanter Unterschied ($\alpha = 0,05$) besteht dabei nur zwischen den Querschnitten 40 x 160 mm und 80 x 180 mm. Die größte Differenz innerhalb eines Abschnitts ergibt sich bei Fichte Nr. 3 (Abschnitt 4: + 0,19) und Fichte Nr. 5 (Abschnitt 3: - 0,21).

Die Rohdichte ist, außer bei Fichte Nr. 2, in allen Abschnitten außen höher als innen, im Mittel um 23,2 kg/m³ (6%). Ohne Fichte Nr. 2 nimmt die Rohdichte außen um 26,2 kg/m³ (7%) zu. Der größte Unterschied der mittleren Rohdichte findet sich in Abschnitt 1 von Fichte Nr. 4 mit 51,4 kg/m³.

¹¹ Die Eigenschaften des Schnittholzes aus dem inneren Stammbereich sind nicht von den Eigenschaften des Schnittholzes aus dem äußeren Bereich abhängig und umgekehrt.

Die Steifigkeit weist außen im Mittel einen um 1.300 N/mm² höheren Wert auf als innen. Bis auf Fichte Nr. 2 ist der Mittelwert außen nur im Abschnitt 1 der Fichte Nr. 8 geringfügig niedriger. Die größte Zunahme im äußeren Stammbereich findet sich mit 3.100 N/mm² im Abschnitt 2 der Fichte Nr. 5. Die Unterschiede zwischen dem äußeren und inneren Stammbereich bezüglich der Rohdichte und der Steifigkeit hängen eng miteinander zusammen. Die Streuung der Differenzen der Steifigkeit ist zu 82% auf die Rohdichteunterschiede zurückzuführen.

Der mittlere maschinelle Sortierwert ist außen im Mittel um 5,8 höher als innen, das entspricht 21% des inneren Mittelwerts. In den Abschnitten 1 bis 3 ist der maschinelle Sortierwert außen im Mittel zwischen 23% bis 24% höher als innen, während er im Abschnitt 4 nur um 11% höher liegt. Betrachtet man nur die Bäume mit vier Abschnitten, liegt der maschinelle Sortierwert in den drei unteren Abschnitten außen zwischen 18% bis 23% über dem Mittelwert des inneren Stammbereichs. Das vergleichsweise schlechte Ergebnis im vierten Abschnitt ist darauf zurückzuführen, dass dort die Astigkeit außen im Mittel um 0,02 höher ist als innen, während sie in den unteren drei Abschnitten zwischen 0,03 und 0,05 geringer ist. Dadurch führt ein ähnlich starker Anstieg der Rohdichte zu einem weniger starken Anstieg der Steifigkeit im Abschnitt 4 und somit zu einer geringeren Zunahme des maschinellen Sortierwerts.

Tab. 42: Astigkeit, Rohdichte, Steifigkeit und maschineller Sortierwert des inneren und äußeren Stammbereichs der einzelnen Rundholzabschnitte

Baum_ Ab- schnitts- nummer	Zopf		Anzahl Schnittholz		DEK/ DAB [-]	Roh- dichte [kg/m ³]	E-Modul [N/mm ²]	Maschineller Sortierwert	
	[cm]		[Stück]					[-]	[% ¹]
	innen	gesamt	innen	außen	Mittelwert außen - Mittelwert innen				
2_1	40	67	14	22	0,02	- 5,5	- 347	- 1,4	- 4
2_2	35	61	11	17	0,05	- 6,9	- 739*	- 3,8	- 12
2_3	30	56	7	17	- 0,10	- 2,9	- 93	1,1	5
2_4	24	49	7	10	0,01	- 7,9	- 314	- 0,9	- 4
3_1	35	60	6	5	- 0,10	24,9*	2.363*	11,9*	51
3_2	30	54	4	5	- 0,01	12,4	1.319	5,1	22
3_3	25	48	2	6	0,03	2,3	1.236	3,3	17
3_4	19	43	2	3	0,19	22,3	908	- 3,9	- 16
4_1	40	64	13	15	- 0,01	51,4*	2.920*	8,1*	42
4_2	35	57	10	13	0,00	24,6	1.847*	6,3*	38
4_3	30	52	7	11	0,05	26,0*	1.472*	3,2	16
4_4	24	45	6	8	- 0,05	28,6*	1.684*	7,8*	39

Baum_ Ab- schnitts- nummer	Zopf		Anzahl Schnittholz		DEK/ DAB	Roh- dichte	E-Modul	Maschinelles Sortierwert	
	[cm]		[Stück]		[-]	[kg/m ³]	[N/mm ²]	[-]	[% ¹]
	innen	gesamt	innen	außen	Mittelwert außen - Mittelwert innen				
5_1	40	67	14	16	- 0,10*	41,5*	2.595*	9,6*	32
5_2	35	61	11	14	- 0,14*	44,3*	3.136*	12,4*	55
5_3	30	56	9	11	- 0,21*	43,2*	2.394*	11,8*	60
6_1	40	66	7	7	- 0,03	28,9*	2.013*	8,0*	20
6_2	35	62	6	6	- 0,02	40,2*	2.039*	7,9*	23
6_3	30	59	4	5	0,04	29,9*	1.486*	3,6	12
6_4	24	50	2	6	0,06	35,0*	1.264	2,0	7
7_1	40	58	12	9	- 0,02	33,2*	1.750*	6,7*	15
7_2	35	55	9	9	- 0,02	47,7*	2.381*	8,9*	25
7_3	30	51	8	7	0,00	35,1*	2.536*	8,8*	31
7_4	24	46	6	7	-0,04	31,9*	1.728*	7,4*	29
8_1	40	72	14	21	- 0,12*	7,0	- 11	4,3*	9
8_2	35	65	12	16	- 0,16*	14,0*	14	5,8*	14
8_3	30	61	9	14	- 0,20*	18,7*	131	7,7*	22
8_4	24	55	6	14	- 0,01	12,1*	722	3,0	10
9_1	40	64	6	6	- 0,07	22,4*	1.093	6,5*	16
9_2	35	59	6	4	- 0,07	17,1*	1.073	6,3*	17
9_3	30	54	5	4	- 0,11	22,6*	1.197*	8,2	25
10_1	40	70	14	18	- 0,13*	13,4*	1.533*	7,8*	24
10_2	35	67	10	19	- 0,08*	17,9*	1.136*	5,2*	18
10_3	30	60	9	16	- 0,21*	1,2	243	5,9*	27
10_4	24	53	5	11	- 0,10	1,0	157	2,9	13
12_1	30	50	8	7	- 0,01	47,0*	2.626*	9,4*	24
12_2	25	47	6	7	- 0,11*	46,5*	2.738*	13,6*	44
12_3	19	44	5	6	- 0,05	21,8*	1.036	1,6	5

* Beide Mittelwerte unterscheiden sich signifikant ($\alpha = 0,05$)

¹ innerer Stammbereich = 100%

In **Tab. 43** werden die Daten aus **Tab. 42** mit denen der Untersuchungen von GLOS und TRATZMILLER (1996b), GLOS und AUKOFER (1999) sowie GLOS et al. (1999) gegenübergestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zwischen den Arbeiten Unterschiede im Einschnitt, bei den Schnittholzquerschnitten, der Auswertung sowie der Darstellung bestehen.

Die größte Übereinstimmung bezüglich der Astigkeit besteht mit GLOS und TRATZMILLER (1996b). Werden nur die Fichten Nr. 5 und Nr. 10 berücksichtigt, so ist auch die Abnahme des DAB vergleichbar (- 0,16 [44%] zu - 0,14 [50%]). GLOS und AUKOFER (1999) sowie GLOS et al. (1999) stellen den Vergleich von innerem und äußerem Stammbereich nicht getrennt nach Schnittholzquerschnitten dar. Die von den Autoren angegebene Abnahme des DEK ist mit den Kanthölzern 60 x 120 mm vergleichbar. Absolut gesehen, ist die Abnahme des DAB in den beiden Untersuchungen deutlich höher, die relativen Unterschiede bei Fichte Nr. 5 und Nr. 10 (- 0,14 [50%]) sind jedoch vergleichbar.

Die Rohdichte nimmt bei GLOS und AUKOFER (1999) sowie GLOS et al. (1999) um 45 kg/m³ (10%) zu, während sie bei GLOS und TRATZMILLER (1996b) und REITER (2005) nur um 6% ansteigt. Die Steifigkeit nimmt in den vier Untersuchungen von innen nach außen zwischen 14% und 17% zu, die höchste absolute Zunahme stellen mit 2.000 N/mm² GLOS und TRATZMILLER (1996b) fest. Der maschinelle Sortierwert und die Biege-Festigkeit sind zwar nicht unmittelbar vergleichbar, die prozentuale Zunahme um 21% entspricht jedoch in etwa den Ergebnissen der drei vorangegangenen Untersuchungen.

Tab. 43: Vergleich mit anderen Untersuchungen über Fichtenstarkholz

Sortierkriterium	Glos Tratzmiller (1996b) ^{1, 3}		Glos Aukofer (1999) ^{1, 3}		Glos et al. (1999) ^{1, 4}		Reiter (2005) ^{2, 3}	
	Mittelwert außen - Mittelwert innen							
	absolut	%	absolut	%	absolut	%	absolut	%
DAB [-] (40 x 160 mm)	- 0,16	- 44	- 0,26 ⁵	- 59	- 0,24 ⁵	- 50	- 0,09	- 31
DEK [-] (60 x 120 mm)	- 0,06	- 16	- 0,06 ⁵	- 18	- 0,09 ⁵	- 29	- 0,04	- 15
DEK [-] (80 x 180 mm)	- 0,03	- 9	- 0,06 ⁵	- 18	- 0,09 ⁵	- 29	- 0,01	- 4
Rohdichte [kg/m ³]	26,7	6	45,0	10	45,4	10	23,2	6
Steifigkeit [N/mm ²]	2.000	17	1.500	15	1.600	14	1.300	14
Biege-Festigkeit [N/mm ²]	9,3	22	5,3	13	7,3	15	-	-
Maschineller Sortierwert [-]	-	-	-	-	-	-	5,8	21

¹ Vergleich des äußeren Schnittholzes mit dem inneren (Markabstand: 151 - 200 mm und 0 - 50 mm)

² Vergleich von Starkholz- und Schwachholzbereich (Abschnitt 1: 30 - 40 cm Zopf)

³ Einschnitt von nur einem Schnittholzquerschnitt pro Rundholzabschnitt

⁴ Einschnitt unterschiedlicher Schnittholzquerschnitte aus einem Rundholzabschnitt

⁵ Aufteilung nach Wuchsgebiet oder Herkunft, nicht nach Schnittholzquerschnitten

In **Tab. 44** wird die Ausbeute des inneren und des äußeren Stammbereichs bei der visuellen und der maschinellen Sortierung nach DIN 4074 gegenübergestellt. Dazu wird die Differenz von der Ausbeute des äußeren und inneren Stammbereichs gebildet. Positive Werte weisen somit auf einen Vorteil von Starkholz hin. Für die visuelle und maschinelle Sortierung sind jeweils die Sortierklassenkombinationen S13, S10/S13 sowie S7/S10/S13 dargestellt, aus denen sich die Ausbeute der einzelnen Sortierklassen sowie der Ausschussanteil herleiten lassen. Die Bewertung der unterschiedlichen Ausbeuten ist subjektiv, da für den einen Betrieb ein geringer Ausschussanteil, für den anderen ein hoher S13-Anteil erstrebenswert ist. Daher ist für jeden Abschnitt neben den prozentualen Unterschieden auch die im Folgenden verwendete Bewertung aufgeführt.

Bei maschineller Sortierung ist im Mittel außen die Ausbeute an mS13 um 25%, die Ausbeute an mS10/mS13 um 16% und die Ausbeute an mS7/mS10/mS13 um 5% höher als im inneren Stammbereich. Dagegen schneidet der äußere Bereich bei der visuellen Sortierung weniger positiv ab. Zwar ist außen die Ausbeute an S13 im Mittel um 14% und an S10/S13 um 6% höher als innen, doch steigt der Ausschussanteil außen um 2%. Besonders deutlich wird dieser Unterschied im astigeren Abschnitt 4. Während bei der visuellen Sortierung außen 11% weniger S10/S13 anfällt als innen, befinden sich bei maschineller Sortierung außen im Mittel 20% mehr mS10/mS13. Die maschinelle Sortierung führt somit nicht nur zu einer meist höheren absoluten Ausbeute als die visuelle Sortierung, mit ihr werden die Vorteile von Starkholz gegenüber dem inneren Stammbereich auch deutlich besser erkannt.

Tab. 44: Ausbeute der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074 des inneren und äußeren Stammbereichs der Rundholzabschnitte

Baum_ Ab- schnitts nummer	Visuelle Sortierung			Maschinelle Sortierung			Außen besser (+), gleich (O) oder schlechter (-)	
	S13	S10/ S13	S7/S10 /S13	mS13	mS10/ mS13	mS7/mS10/ mS13	Visuelle Sortierung	Maschinelle Sortierung
	Ausbeute außen - Ausbeute innen [%]							
2_1	- 7	- 16	- 9	- 2	- 5	0	-	O
2_2	- 20	- 38	- 12	- 23	- 18	- 6	-	-
2_3	22	36	7	15	0	5	+	+
2_4	- 9	- 13	19	- 23	9	14	O	O
3_1	20	50	0	40	63	33	+	+
3_2	0	10	0	0	40	25	O	+
3_3	0	17	- 17	0	17	17	O	+
3_4	0	- 100	- 33	0	0	- 67	-	-
4_1	0	8	- 23	33	40	34	-	+
4_2	0	3	35	- 10	5	32	+	+
4_3	0	18	- 36	18	36	12	-	+

Baum_ Ab- schnitts nummer	Visuelle Sortierung			Maschinelle Sortierung			Außen besser (+), gleich (O) oder schlechter (-)	
	S13	S10/ S13	S7/S10 /S13	mS13	mS10/ mS13	mS7/mS10/ mS13	Visuelle Sortierung	Maschinelle Sortierung
	Ausbeute außen - Ausbeute innen [%]							
4_4	0	25	- 17	13	38	38	O	+
5_1	43	7	0	29	7	0	+	+
5_2	39	18	9	81	27	0	+	+
5_3	45	66	22	73	66	11	+	+
6_1	29	0	0	0	0	0	+	O
6_2	17	- 50	0	50	17	0	-	+
6_3	0	- 40	0	40	10	0	-	+
6_4	0	- 50	0	33	0	0	-	+
7_1	2	0	0	25	0	0	O	+
7_2	11	12	0	34	11	0	+	+
7_3	0	16	- 16	18	61	0	O	+
7_4	0	12	19	0	69	17	+	+
8_1	29	0	0	0	0	0	+	O ¹
8_2	67	8	0	25	0	0	+	+
8_3	50	42	0	49	15	0	+	+
8_4	0	0	- 4	26	14	0	O	+
9_1	17	0	0	0	0	0	+	O ¹
9_2	8	0	0	33	0	0	O	+
9_3	25	- 5	0	30	40	0	+	+
10_1	14	0	0	21	0	0	+	+
10_2	45	10	0	35	0	0	+	+
10_3	58	33	0	56	5	11	+	+
10_4	9	51	11	45	11	0	+	+
12_1	- 9	0	0	23	0	0	-	+
12_2	14	53	0	100	33	0	+	+
12_3	0	- 20	- 13	30	- 10	0	-	+

¹ Ausbeute innen und außen gleich, da 100% in S13

In **Tab. 45** ist für die verschiedenen Sortierkriterien die Anzahl der Abschnitte zusammengestellt, deren Schnittholz außen im Vergleich zum inneren Stammbereich besser, gleich oder schlechter abschneidet. Für die Kriterien Astigkeit, Rohdichte, Steifigkeit und maschineller Sortierwert wurde der neutrale Bereich so gewählt, dass die Verteilung dem Ergebnis der

entsprechenden Sortierung nahe kommt. Damit lässt sich für jedes Sortierkriterium erkennen, ab welchen Unterschieden sich die Sortierausbeute spürbar verändert. Die mit einem Stern versehenen Zahlen geben die Anzahl der Abschnitte an, bei denen sich die Mittelwerte außen signifikant von den inneren unterscheiden ($\alpha = 0,05$).

Dabei wird deutlich, dass die Art der Sortierung entscheidend für die Wirtschaftlichkeit von Starkholz ist. Während bei visueller Sortierung nur etwas mehr als die Hälfte der Abschnitte (19 von 37) im äußeren Stammbereich eine bessere Ausbeute aufweisen, sind es bei maschineller Sortierung mehr als 80% (30 von 37) der Abschnitte. Die beiden Abschnitte 1 der Fichten Nr. 8 und Nr. 9 werden neutral bewertet, da über den gesamten Stammquerschnitt S13 anfällt, doch nimmt der Sortierwert nach außen deutlich zu. Nutzt man dieses Potential im äußeren Stammbereich in besseren Sortierklassen, so steigt der Anteil auf 86% (32 von 37 Abschnitten). Dieser Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass das Schnittholz aus dem äußeren Stammbereich zwar nur eine etwas geringere Astigkeit (19 von 37), jedoch eine deutlich höhere Rohdichte (29 von 37) und somit auch eine größere Steifigkeit (28 von 37) besitzt als Schnittholz aus dem inneren Stammbereich.

Tab. 45: Anzahl der Abschnitte, deren Schnittholz außen besser, gleich oder schlechter ist als im inneren Stammbereich

Kriterium außen im Vergleich zu innen	schlechter (-)	gleich (O)	besser (+)
	Anzahl der Abschnitte [Stück]		
Mittlere Schnittholzastigkeit (DEK/DAB)	6	12 ¹	19 (9*)
Mittlere Rohdichte	0	8 ²	29 (26*)
Mittlerer E-Modul	1 (1*)	8 ³	28 (20*)
Mittlerer maschineller Sortierwert	2	4 ⁴	31 (23*)
Ausbeute visueller Sortierung	10	8	19
Ausbeute maschineller Sortierung	2	5	30

¹ O = $\pm 0,02$; ² O = $\pm 10 \text{ kg/m}^3$; ³ O = $\pm 500 \text{ N/mm}^2$; ⁴ O = ± 2
* signifikanter Unterschied ($\alpha = 0,05$)

Die sortierentscheidenden Äste (S10, S7, Ausschuss) wurden ausschließlich bei Kanthölzern erfasst und die Länge des S13-Bereichs berechnet (6.4.2.1). Die Anzahl der Kanthölzer im inneren und äußeren Stammbereich kann **Tab. 42** entnommen werden. In **Abb. 75** ist die Länge des S13-Bereichs für die einzelnen Fichten im inneren und äußeren Stammbereich dargestellt. Gerade bei ersten Abschnitten mit wenigen und kleinen Ästen ist der Unterschied gering. Bis auf zwei Ausnahmen sind die S13-Bereiche im Mittel im äußeren Stammbereich stets größer. Die Größe der Unterschiede ist jedoch individuell verschieden und vom erzeugten Schnittholzquerschnitt abhängig. Die Abschnitte, die zu 60 x 120 mm Kanthölzern einge-

schnitten wurden und in **Tab. 44** bei visueller Sortierung außen nur ähnliche oder schlechtere Ausbeuten aufweisen, haben auf Grund der geringeren inneren Astigkeit (7.2.7) außen deutlich längere S13-Bereiche.

Abb. 76 stellt die Länge der S13-Bereiche in den vier Rundholzabschnitten mit Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert dar. Die Länge des S13-Bereichs ist im äußeren Stammbereich jedes Abschnitts größer als im inneren. Vergleicht man die Mittelwerte, so weisen höher gelegene Abschnitte, die eine größere Astigkeit erwarten lassen, im äußeren Stammbereich ähnliche, zum Teil größere S13-Bereiche auf als die darunter liegenden Abschnitte in deren inneren Stammbereich. So ist z. B. Abschnitt 3 außen im Mittel besser als Abschnitt 2 im inneren. Selbst Abschnitt 4 hat außen einen höheren Mittelwert als Abschnitt 2 innen, doch könnte auch das unterschiedliche Kollektiv (5 statt 7 Bäume) dafür die Ursache sein.

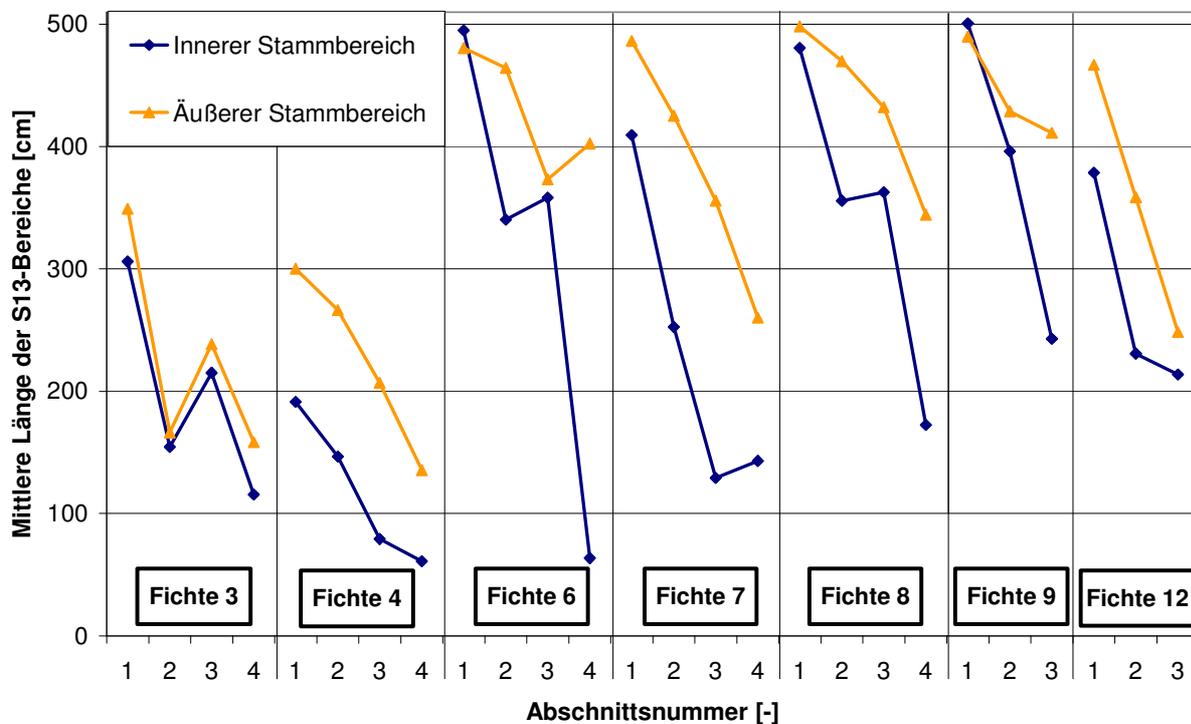


Abb. 75: Mittlere Länge der S13-Bereiche im inneren und äußeren Stammbereich getrennt nach Fichten und Abschnitten

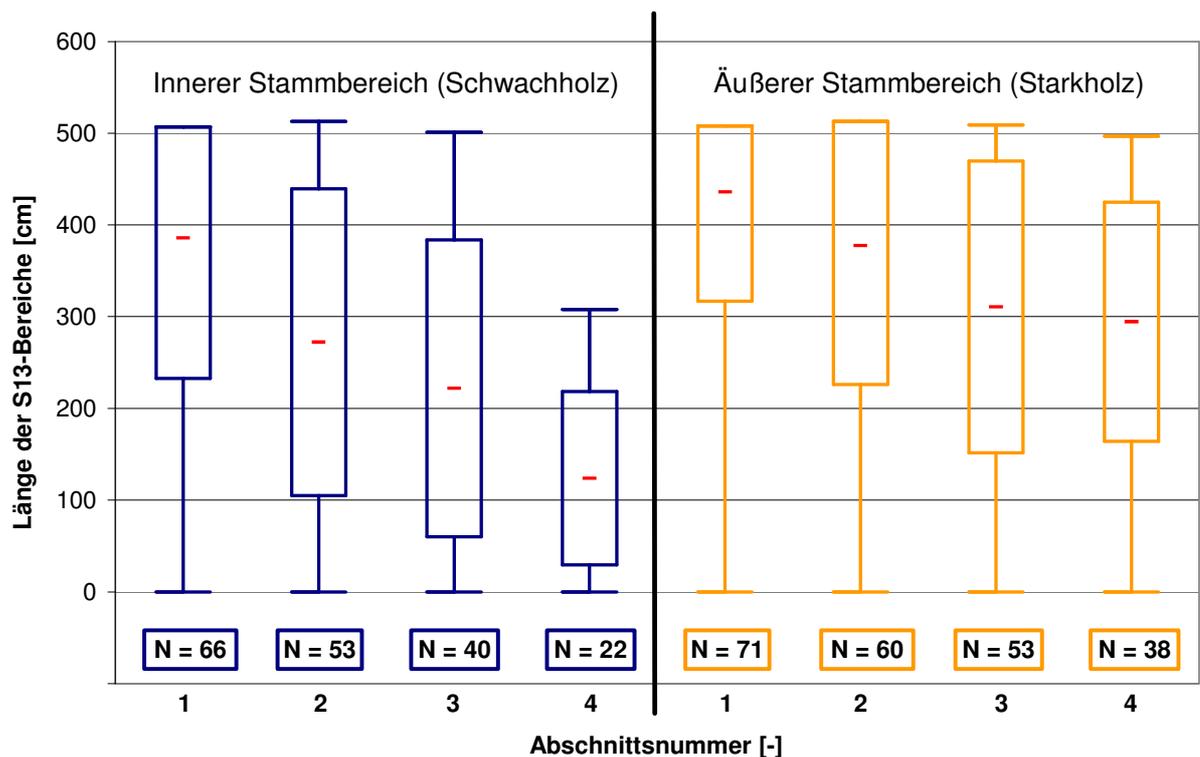


Abb. 76: Länge der S13-Bereiche im inneren und äußeren Stammbereich, getrennt nach Rundholzabschnitten; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert

In **Tab. 46** ist für die einzelnen Rundholzabschnitte die Länge der S13-Bereiche im inneren Stammbereich den Werten des äußeren Stammbereichs gegenübergestellt. Für die Abschnitte 1 bis 4 liegt der Mittelwert außen signifikant über dem Wert des inneren Stammbereichs (t-Test mit $\alpha = 0,05$). Im Abschnitt 1 liegt die Länge der S13-Bereiche im Mittel 13% über dem Wert im inneren Stammbereich. In den Abschnitten 2 und 3 ist der S13-Bereich im Mittel 39% und 40% länger, in Abschnitt 4 um 137%.

Die Mittelwerte der 60 x 120 mm Kanthölzer (Fichten Nr. 4, Nr. 7, Nr. 8, Nr. 12) unterscheiden sich im äußeren Stammbereich signifikant von denen im inneren. Bei den 80 x 180 mm Kanthölzern ist das nur bei drei Abschnitten der Fichte Nr. 6 der Fall. Bei den restlichen Abschnitten ist entweder die Differenz oder die Anzahl der Kanthölzer nicht groß genug, um einen signifikanten Unterschied festzustellen.

Tab. 46: Länge des S13-Bereichs im inneren und äußeren Stammbereich

Baum_ Abschnitts- nummer	Innerer Stammbereich					Äußerer Stammbereich				
	Mittlere Länge des S13-Bereichs [cm]									
	Min	Max	MW	s	VK [%]	Min	Max	MW	s	VK [%]
Abschnitt 1	0	507	386 ¹	153	40	0	508	436 ¹	119	27
Abschnitt 2	0	513	272 ¹	167	61	0	513	378 ¹	151	40
Abschnitt 3	0	501	222 ¹	162	73	0	509	311 ¹	159	51
Abschnitt 4	0	308	124 ¹	95	76	0	497	294 ¹	130	44
3_1	0	493	306	180	59	152	508	349	141	40
3_2	0	366	155	154	100	0	405	166	148	89
3_3	190	240	215	35	16	110	485	239	147	62
3_4	0	231	116	163	141	0	254	158	180	114
4_1	0	433	191 ¹	144	75	0	499	300 ¹	166	55
4_2	0	485	147 ¹	180	123	0	486	266 ¹	160	60
4_3	0	324	61	122	200	0	425	136	128	94
4_4	0	142	79 ¹	63	80	110	284	207 ¹	70	34
6_1	446	507	495	22	4	443	508	481	33	7
6_2	104	479	340 ¹	134	39	314	509	464 ¹	75	16
6_3	302	429	358	53	15	246	463	373	92	25
6_4	0	127	64 ¹	90	141	216	497	403 ¹	114	28
7_1	152	499	410 ¹	122	30	466	500	486 ¹	16	3
7_2	0	466	252 ¹	157	62	267	509	425 ¹	91	21
7_3	0	240	129 ¹	113	88	213	496	356 ¹	88	25
7_4	0	232	143 ¹	85	60	114	421	260 ¹	108	42
8_1	431	500	481 ¹	30	6	496	500	498 ¹	2	0
8_2	0	504	356 ¹	136	38	204	505	470 ¹	81	17
8_3	200	465	363 ¹	99	27	249	500	432 ¹	89	21
8_4	0	308	173 ¹	111	64	116	492	344 ¹	112	33
9_1	498	506	501	4	1	427	506	490	31	6
9_2	148	513	396	133	34	260	513	429	116	27
9_3	0	501	243	231	95	284	509	411	112	27
12_1	142	500	379 ¹	126	33	383	500	467 ¹	43	9
12_2	0	341	231 ¹	127	55	177	501	359 ¹	144	40
12_3	102	337	214	93	44	0	493	248	175	70

¹ Signifikanter Unterschied zwischen innerem und äußerem Stammbereich ($\alpha = 0,05$)

In **Tab. 47** und **Abb. 77** ist die mittlere Anzahl der sortierentscheidenden Äste im inneren und äußeren Stammbereich für die einzelnen Rundholzabschnitte dargestellt. Die mittlere Anzahl der Äste, die zu einer Einstufung in Ausschuss führen, unterscheidet sich innen und außen kaum und ist nur in einem Abschnitt außen signifikant niedriger. Bei 5 der 7 Fichten sind außen weniger oder ähnlich viele S7-Äste vorhanden. Nur bei 5 Abschnitten sind außen signifikant weniger S7-Äste vorhanden. In den Abschnitten 2 bis 4 der Fichten Nr. 3 und Nr. 6 sind außen zwar mehr S7-Äste vorhanden, dieser Unterschied ist jedoch nur bei zwei Abschnitten signifikant. Äste die zu einer Einstufung in S10 führen, sind bei allen Fichten außen seltener vorhanden als innen. Dieser Unterschied ist bei 11 der 26 Abschnitte signifikant. Ein Vorteil für Starkholz ergibt sich somit erst, wenn bei gekappten Produkten die Sortierklasse S13 angestrebt wird.

Abb. 78 stellt die mittlere Anzahl aller sortierentscheidenden Äste (S10, S7, Ausschuss) in den vier Rundholzabschnitten mit Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert dar. Die mittlere Anzahl der sortierentscheidenden Äste ist in den einzelnen Abschnitten außen zwischen 30% und 41% niedriger als im inneren Stammbereich. Dieser Unterschied ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 signifikant. Die Mittelwerte von Abschnitt 3 und 4 sind im äußeren Stammbereich niedriger als der Mittelwert von Abschnitt 2 im inneren Stammbereich oder zumindest gleich. Für Abschnitt 4 gilt jedoch die gleiche Einschränkung wie bei der Länge der S13-Bereiche.

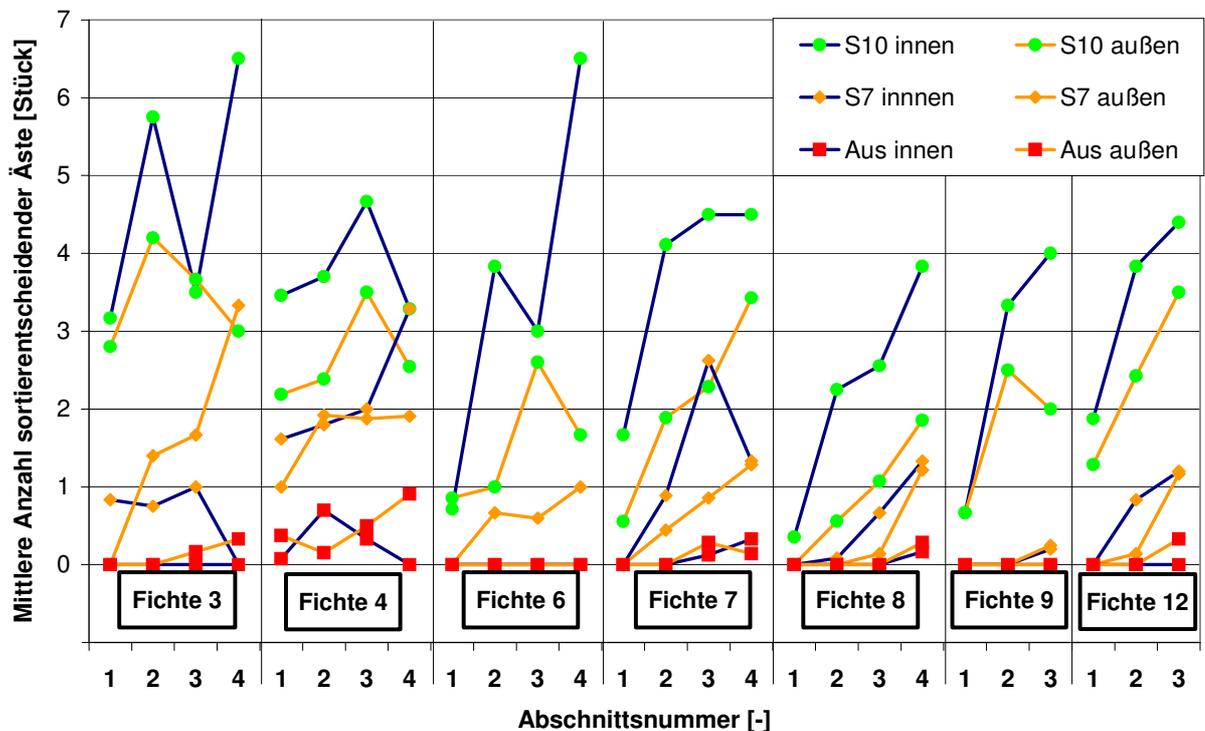


Abb. 77: Mittlere Anzahl der sortierentscheidenden Äste im inneren und äußeren Stammbereich, getrennt nach Fichten und Abschnitten

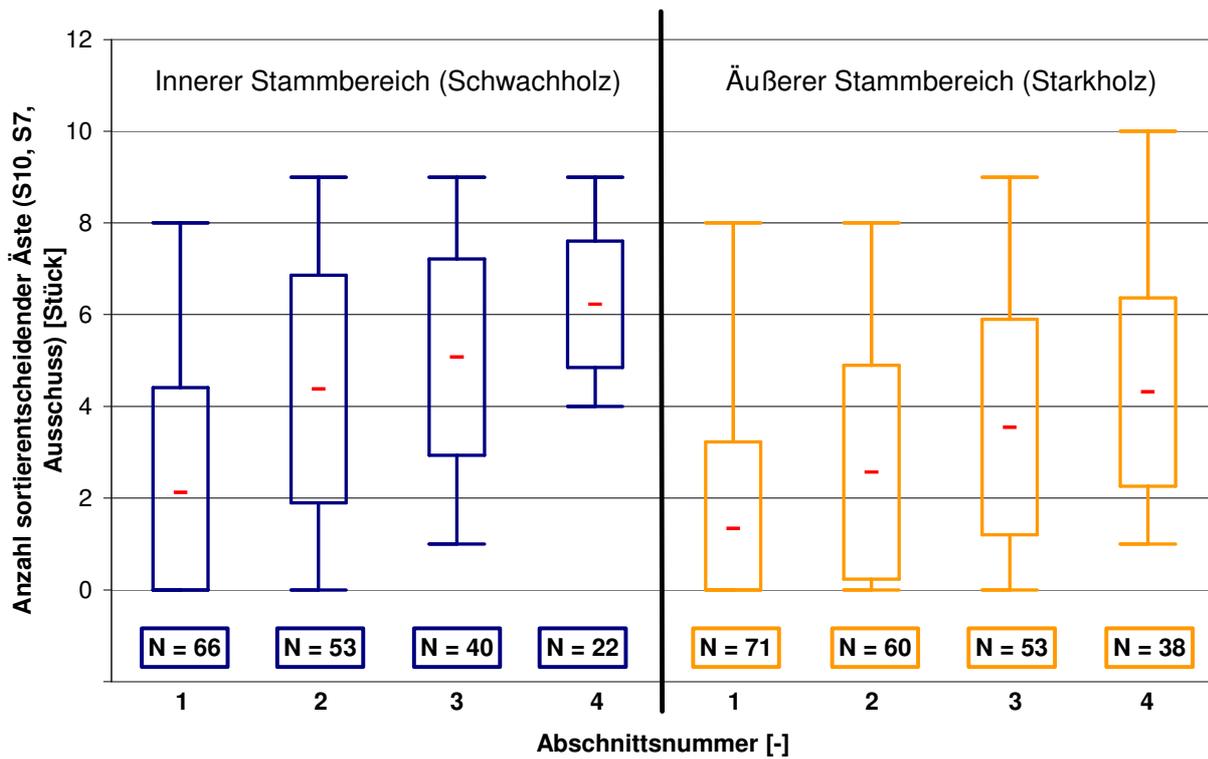


Abb. 78: Anzahl sortierentscheidender Äste (S10, S7, Ausschuss) im inneren und äußeren Stammbereich, getrennt nach Rundholzabschnitten; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert

Tab. 47: Mittlere Anzahl der Kappstellen in den Sortierklassen S7 und S10 sowie Ausschuss im inneren und äußeren Stammbereich

Baum_ Abschnitts- nummer	Innerer Stammbereich			Äußerer Stammbereich		
	Mittlere Anzahl Kappstellen [Stück]					
	S10	S7	Ausschuss	S10	S7	Ausschuss
Abschnitt 1	1,7 ¹	0,4	0,0	1,0 ¹	0,2	0,1
Abschnitt 2	3,6 ¹	0,7	0,1	1,9 ¹	0,7	0,0
Abschnitt 3	3,6 ¹	1,5 ¹	0,0 ¹	2,3 ¹	0,9 ¹	0,3 ¹
Abschnitt 4	4,7 ¹	1,3	0,2	2,6 ¹	1,5	0,3
3_1	3,2	0,8 ¹	0,0	2,8	0,0 ¹	0,0
3_2	5,8	0,8	0,0	4,2	1,4	0,0
3_3	3,5	1,0	0,0	3,7	1,7	0,2
3_4	6,5	0,0 ¹	0,0	3,0	3,3 ¹	0,3
4_1	3,5 ¹	1,6	0,1	2,2 ¹	1,0	0,4
4_2	3,7	1,8	0,7 ¹	2,4	1,9	0,2 ¹
4_3	3,3	3,3 ¹	0,0	2,5	1,9 ¹	0,9
4_4	4,7 ¹	2,0	0,3	3,5 ¹	1,9	0,5
6_1	0,7	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0
6_2	3,8 ¹	0,0 ¹	0,0	1,0 ¹	0,7 ¹	0,0
6_3	3,0	0,0	0,0	2,6	0,6	0,0
6_4	6,5 ¹	0,0	0,0	1,7 ¹	1,0	0,0
7_1	1,7	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
7_2	4,1 ¹	0,9	0,0	1,9 ¹	0,4	0,0
7_3	4,5 ¹	2,6 ¹	0,1	2,3 ¹	0,9 ¹	0,3
7_4	4,5	1,3	0,3	3,4	1,3	0,1
8_1	0,4 ¹	0,0	0,0	0,0 ¹	0,0	0,0
8_2	2,3 ¹	0,1	0,0	0,6 ¹	0,0	0,0
8_3	2,6 ¹	0,7 ¹	0,0	1,1 ¹	0,1 ¹	0,0
8_4	3,8 ¹	1,3	0,2	1,9 ¹	1,2	0,3
9_1	0,7	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0
9_2	3,3	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0
9_3	4,0	0,2	0,0	2,0	0,3	0,0
12_1	1,9	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0
12_2	3,8	0,8 ¹	0,0	2,4	0,1 ¹	0,0
12_3	4,4	1,2	0,0	3,5	1,2	0,3

¹ Signifikanter Unterschied zwischen innerem und äußerem Stammbereich ($\alpha = 0,05$)

7.4 Zusammenhang zwischen Rundholz- und Schnittholzqualität

Die Ausbeute der visuellen Schnittholzsortierung wird zu einem erheblichen Teil von der Größe und Anzahl der Äste am Stammmantel beeinflusst. In **Tab. 48** sind die Bestimmtheitsmaße angegeben, mit denen die Ausbeuten der Sortierklassenkombinationen S7/S10/S13, S10/S13 und S13 durch die Äste am Rundholz mittels einer linearen Regression abgeschätzt werden können. Da für Dachlatten nur die Sortierklassen S10 und S13 existieren, können für die Kombination S7/S10/S13 keine Werte angegeben werden.

Tab. 48: Bestimmtheitsmaße für den Zusammenhang zwischen der Ausbeute der visuellen Sortierung und der Äste am Rundholz (Werte gerundet)

Schnittholzquerschnitt [mm]	Anzahl Äste [Stück]			Mittlerer Astdurchmesser [mm]			Maximaler Astdurchmesser [mm]		
	S7/ S10/ S13	S10/ S13	S13	S7/ S10/ S13	S10/ S13	S13	S7/ S10/ S13	S10/ S13	S13
	Bestimmtheitsmaß R ² [-]								
40 x 60 ¹	–	0,93 ³	0,91 ³	–	0,82	0,63	–	0,93 ³	0,77
40 x 60 ²	–	0,84	0,97	–	0,74	1,00 ³	–	0,69	1,00 ³
40 x 160	0,53 ³	0,40 ³	0,72 ³	0,60 ³	0,84 ³	0,53 ³	0,76 ³	0,92 ³	0,60 ³
60 x 120	0,51 ³	0,83 ³	0,73 ³	0,79 ³	0,70 ³	0,78 ³	0,89 ³	0,70 ³	0,77 ³
80 x 180	0,32	0,59 ³	0,67 ³	0,71 ³	0,75 ³	0,80 ³	0,94 ³	0,84 ³	0,64 ³

¹ Einschnitt im äußeren Stammbereich mit Schmalseite zur Markröhre

² Einschnitt im äußeren Stammbereich mit Breitseite zur Markröhre

³ Signifikanzniveau $\leq 0,05$

Insbesondere bei den Dachlatten (40 x 60 mm) wird die erzielbare Ausbeute, neben den Ästen, auch von der Art des Einschnitts beeinflusst (**7.3**). Deshalb werden die Bestimmtheitsmaße für beide Einschnittarten getrennt angegeben. Der Zusammenhang innerhalb eines Schnittbildes ist für alle Astwerte sehr eng, das Bestimmtheitsmaß liegt zwischen 0,69 und annähernd 1,00. Das bedeutet, dass zwischen 69% und in etwa 100% der Streuung der Sortierausbeute durch die Äste am Rundholz erklärt werden können, wenn die unterschiedlichen Schnittbilder berücksichtigt werden. Das Signifikanzniveau liegt, trotz der hohen Bestimmtheitsmaße, nur in vier Fällen unter 0,05, da die getrennte Betrachtung der beiden Einschnittarten die Zahl der Beobachtungen auf 3 bzw. 4 reduziert.

Bei den Brettern lässt sich die Ausbeute in den Sortierkombinationen S7/S10/S13 und S10/S13 am besten durch den mittleren und den größten Ast anschätzen. Das Bestimmtheitsmaß liegt zwischen 0,84 und 0,92. Die Ausbeute in S13 hängt mit einem R² von 0,72 am

stärksten mit der Anzahl der Äste am Stammmantel zusammen. Alle Bestimmtheitsmaße unterscheiden sich signifikant von 0 (Signifikanzniveau $\leq 0,05$).

Auch bei den Kanthölzern ist der Zusammenhang zwischen der Ausbeute der visuellen Sortierung und den Astparametern sehr eng. Der Anteil an verwertbarem Bauholz (S7/S10/S13) wird am besten durch den maximalen Astdurchmesser am Stammmantel erklärt. Für die Querschnitte 60 x 120 mm und 80 x 180 mm beträgt das Bestimmtheitsmaß 0,89 und 0,94, d. h., dass 89% und 94% der Streuung durch den maximalen Astdurchmesser erklärt werden können. Bei den kleinen Kanthölzern (60 x 120 mm) eignen sich alle drei Astparameter nahezu gleich gut, die Ausbeute in S10/S13 und in S13 anzuschätzen. Die Bestimmtheitsmaße liegen zwischen 0,70 und 0,83. Bei den großen Kanthölzern (80 x 180 mm) eignet sich der maximale Astdurchmesser am besten, um die Ausbeute in S10/S13 anzuschätzen. Mit dem mittleren Astdurchmesser kann die Ausbeute in S13 am genauesten vorhergesagt werden. Bei beiden Kantholzquerschnitten liegt das Signifikanzniveau der Bestimmtheitsmaße bis auf eine Ausnahme unter 0,05. Die Bestimmtheitsmaße unterscheiden sich somit bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5% signifikant von 0.

Abb. 79 und **Abb. 80** zeigen exemplarisch für Kanthölzer, wie der Ausschuss-Anteil (S7/S10/S13) und die Ausbeute an den Sortierklassen S10/S13 vom maximalen Astdurchmesser am Stammmantel abhängen. Bei den großen Kanthölzern fällt Ausschuss auf Grund der Grenzen der Sortierklassen erst ab einem maximalen Astdurchmesser von $0,6 \times 80 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$, bei den kleinen Kanthölzern bereits ab $0,6 \times 60 \text{ mm} = 36 \text{ mm}$ an. Die Ausbeute der Sortierklassen S10/S13 wird bei den kleinen Kanthölzern ab einem maximalen Astdurchmesser von $0,4 \times 60 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$ und bei den großen Kanthölzern ab $0,4 \times 80 \text{ mm} = 32 \text{ mm}$ beeinflusst. Um eine sinnvolle lineare Regression zu erhalten, gehen aus dem genannten Grund bei den Kanthölzern 60 x 120 mm 12 bzw. 13 Beobachtungen und bei den Kanthölzern 80 x 180 mm 5 bzw. 10 Werte in die Berechnung ein. Die geringere Anzahl der Beobachtungen wird bei der Berechnung des Signifikanzniveaus berücksichtigt. Die Kurven für beide Kantholzquerschnitte verlaufen in beiden Abbildungen nahezu parallel.

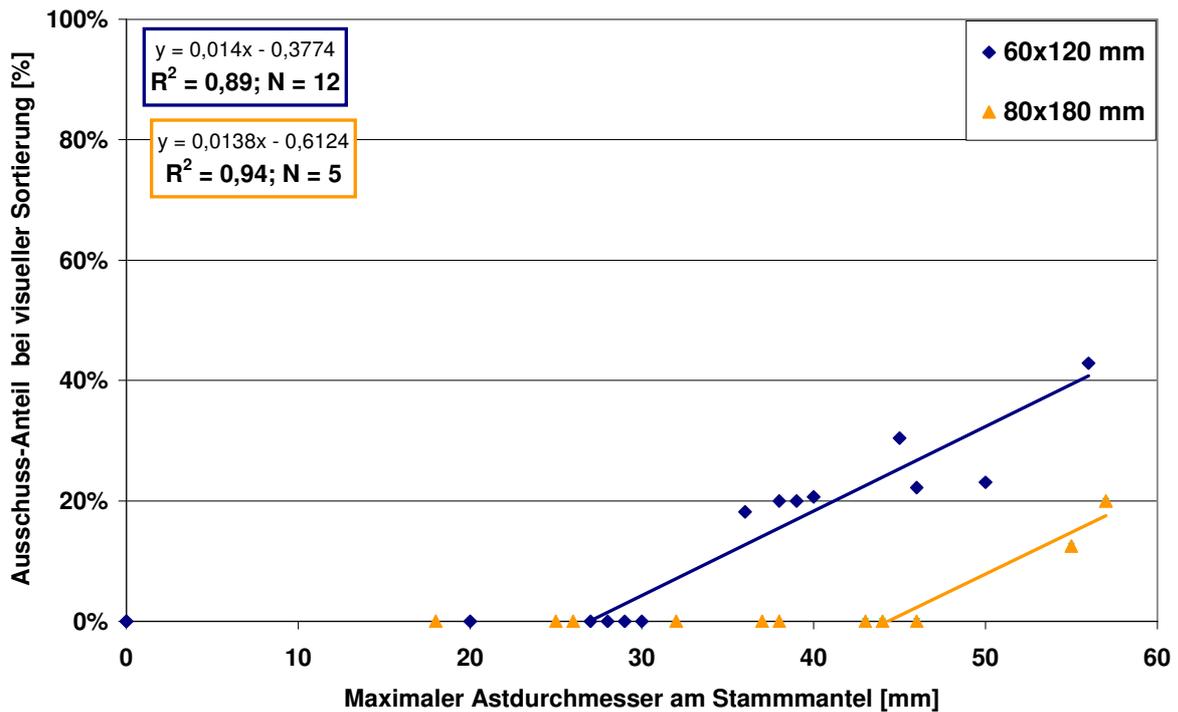


Abb. 79: Ausschuss-Anteil bei visueller Sortierung über dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel für Kanthölzer

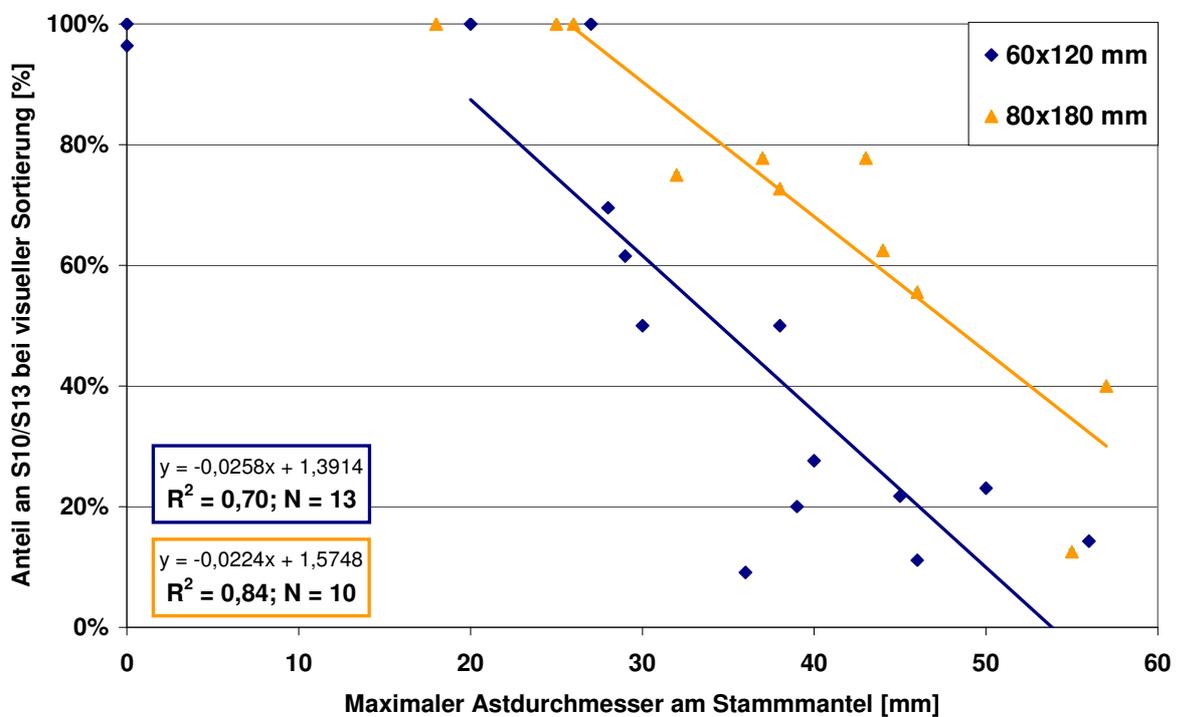


Abb. 80: Anteil an S10/S13 bei visueller Sortierung über dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel für Kanthölzer

Für die Rundholzabschnitte, aus denen Kanthölzer 60 x 120 mm oder 80 x 180 mm eingeschnitten wurden, wurden die mittlere Anzahl sortierentscheidender Äste sowie die mittlere Länge der S13-Bereiche berechnet (7.3.5). Beide Kriterien lassen sich mit den Ästen am Stammmantel anschätzen. **Tab. 49** zeigt die dazugehörigen Bestimmtheitsmaße. Die Streuung der mittleren Länge der S13-Bereiche kann zwischen 67% und 88% durch die Äste am Stammmantel erklärt werden. Dazu eignen sich die drei Astkriterien etwa gleich gut.

Die mittlere Anzahl sortierentscheidender Äste bzw. potentieller Kappstellen lässt sich ebenfalls mit hoher Sicherheit durch die Äste am Stammmantel anschätzen. Der mittlere Astdurchmesser am Stammmantel kann die Streuung der mittleren Anzahl der Äste im Schnittholz zu 71% bis 85% erklären. Mit 0,81 bis 0,94 liegen die Bestimmtheitsmaße für den maximalen Astdurchmesser am Rundholz noch etwas höher. Für den Querschnitt 60 x 120 mm erklärt die Anzahl der Äste am Stammmantel mit 91% die Streuung aller sortierentscheidenden Äste (Ausschuss, S7, S10) am besten. Bis auf zwei Ausnahmen liegt das Signifikanzniveau unter 0,05, d. h., dass sich die Bestimmtheitsmaße mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5% signifikant von 0 unterscheiden.

Tab. 49: Bestimmtheitsmaße für den Zusammenhang zwischen der Länge der S13-Bereiche sowie der Anzahl sortierentscheidender Äste und den Ästen am Stammmantel

Kriterium		Anzahl Äste [Stück]		Mittlerer Astdurchmesser [mm]		Maximaler Astdurchmesser [mm]	
		60 x 120	80 x 180	60 x 120	80 x 180	60 x 120	80 x 180
		Bestimmtheitsmaß R ² [-]					
Mittlere Länge der S13-Bereiche [mm]		0,84 ¹	0,67 ¹	0,80 ¹	0,84 ¹	0,88 ¹	0,83 ¹
Mittlere Anzahl sortierentscheidender Äste [Stück]	Aus	0,52 ¹	0,33	0,81 ¹	0,71 ¹	0,83 ¹	0,94 ¹
	Aus/S7	0,68 ¹	0,44	0,84 ¹	0,85 ¹	0,86 ¹	0,88 ¹
	Aus/S7/S10	0,91 ¹	0,75 ¹	0,79 ¹	0,81 ¹	0,81 ¹	0,82 ¹

¹ Signifikanzniveau ≤ 0,05

Die **Abb. 81**, **Abb. 82** und **Abb. 83** verdeutlichen die in **Tab. 49** aufgeführten Zusammenhänge exemplarisch. **Abb. 81** zeigt den Zusammenhang zwischen der mittleren Länge des S13-Bereichs der Kanthölzer und dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel. Die Kurven der beiden Querschnitte verlaufen nahezu parallel. Bei den Kanthölzern 60 x 120 mm wurden die beiden astfreien Abschnitte nicht zur der Berechnung der Regressionsgeraden herangezogen. Die Anzahl N beträgt somit 13 statt 15 Abschnitte.

Abb. 82 stellt den gleichen Zusammenhang für den inneren und äußeren Stammbereich getrennt dar. Auch hier sind die Bestimmtheitsmaße mit 0,70 bis 0,85 hoch.

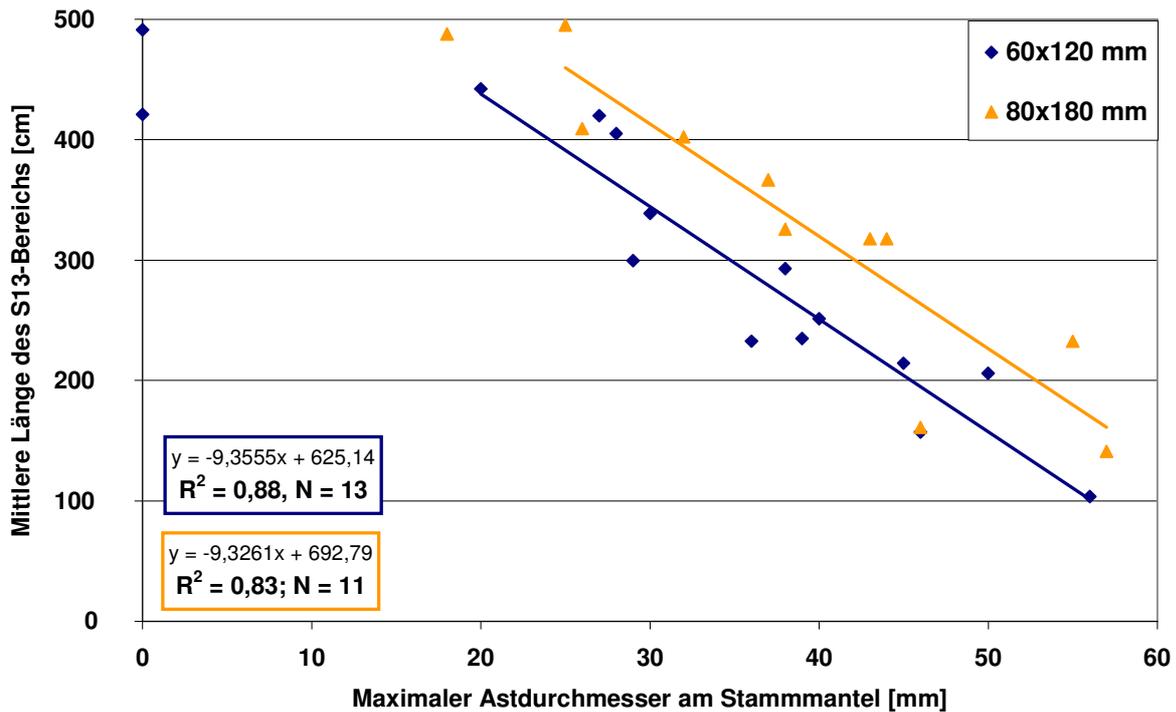


Abb. 81: Zusammenhang zwischen der mittleren Länge des S13-Bereichs der Kant-hölzer und dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel

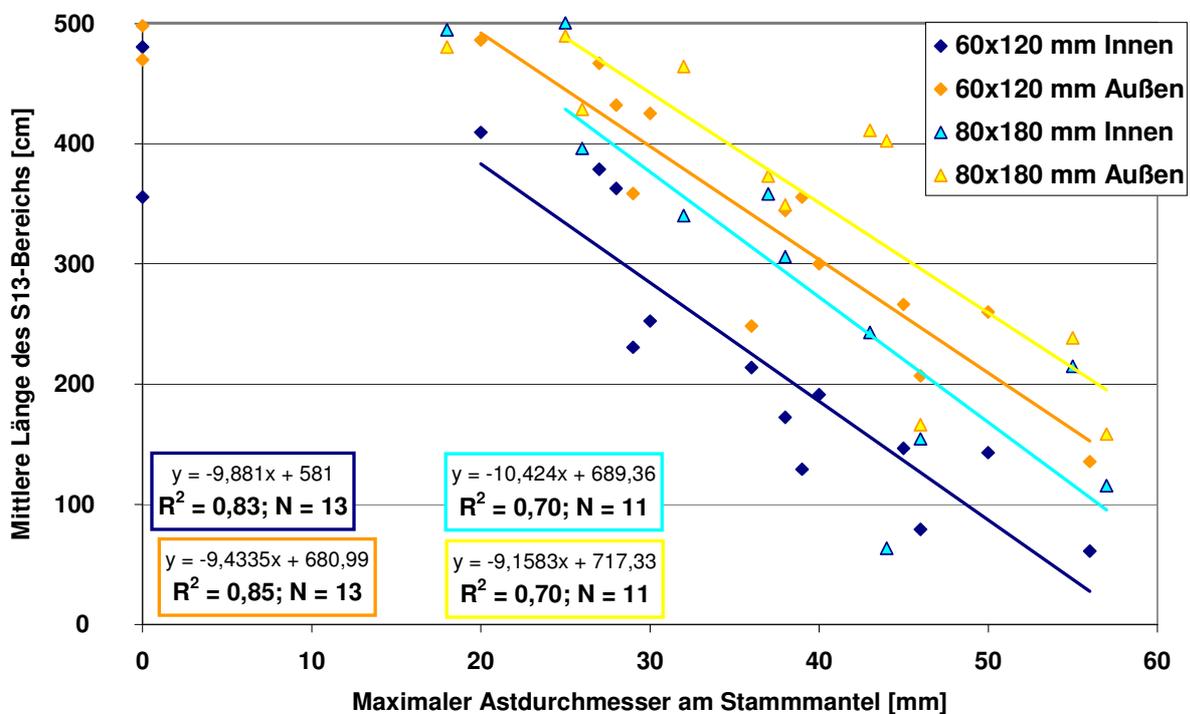


Abb. 82: Zusammenhang zwischen der mittleren Länge des S13-Bereichs der Kant-hölzer und dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel, getrennt für den inneren und äußeren Stammbereich

Abb. 83 stellt den Zusammenhang zwischen der Anzahl aller sortierentscheidenden Äste (S10, S7, Ausschuss) und dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel dar. Auch hier verlaufen die Geraden der beiden Querschnitte nahezu parallel.

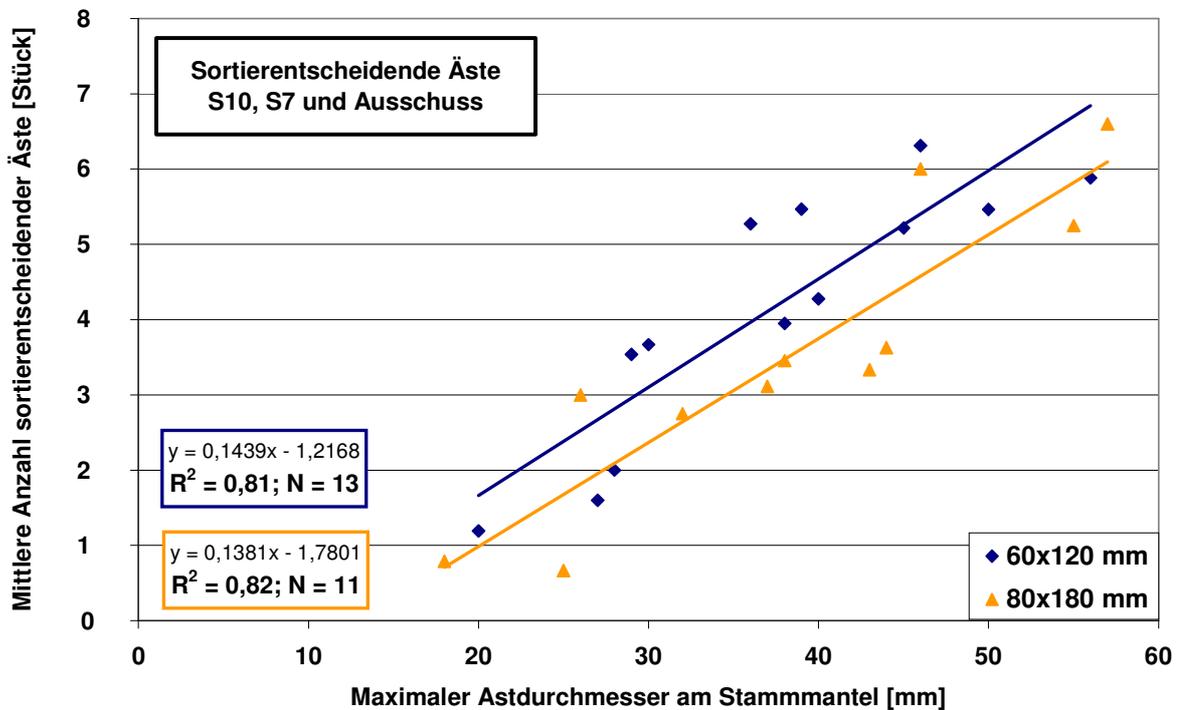


Abb. 83: Zusammenhang zwischen der Anzahl sortierentscheidender Äste (S10, S7, Aus) und dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel

Der Zusammenhang zwischen der Astigkeit des Rundholzes und der Ausbeute der visuellen Sortierung bzw. der Anzahl sortierentscheidender Äste und der Länge des S13-Bereichs der Kanthölzer ist sehr eng. Das lässt einen ähnlich engen Zusammenhang in anderen Wuchsgebieten und bei einer geringeren oder höheren Anzahl von Ästen und Astdurchmessern erwarten, dem veränderte Gleichungen zu Grunde liegen können. Um das Ergebnis verallgemeinern zu können, sollten jedoch weiter Untersuchungen durchgeführt werden.

Das ermöglicht vor allem kleinen und mittelständischen Starkholzsägewerken in gewissem Umfang eine Optimierung bei der Rundholzauswahl und der Schnittholzerzeugung ohne hohe Investitionen in Technik, wie die Anschaffung eines Rundholzscanners. Das setzt jedoch die Bereitschaft der Forstwirtschaft voraus, neben dem Rundholzdurchmesser auch den Durchmesser des größten Asts zu messen und den Wert an der Stirnseite des Rundholzabschnitts anzuschreiben.

7.5 Zusammenfassende Diskussion

7.5.1 Beurteilung der Hypothesen

Zur abschließenden Beurteilung der in Kapitel 3.3 aufgestellten Hypothesen werden die dafür relevanten Ergebnisse kritisch gewürdigt.

Hypothese 1: Die Rundholzqualität von Fichtenstarkholz ist geringer als die Qualität von schwächeren Fichten.

Zur Klärung dieser Frage wurden die Rundholzqualität von 55 Fichten aus Bayern und Baden-Württemberg analysiert sowie 195 Rundholzabschnitte eingeschnitten und das Schnittholz auf Kernrisse untersucht (3.1).

Für **Harzgallen** kann Hypothese 1 nicht bestätigt werden (7.2.3). Die mittlere Breite der Harzgallen, die breiter als 20 mm sind, ist im Schwachholzbereich zwar stets kleiner, die Unterschiede sind jedoch nur in Scheibe 4 bei 17,1 m Baumhöhe signifikant¹². Die Anzahl der Harzgallen, bezogen auf die mittlere Fläche der Stammscheibe, ist dagegen im Starkholzbereich am niedrigsten. Jedoch hängt die Anzahl und Breite der Harzgallen bei Untersuchungen an Stammscheiben auch davon ab, ob und wo die Schnittebene die Harzgalle trifft. Dennoch würden nach ENV 1927-1 Starkholzabschnitte schlechter eingestuft als Schwachholz, da die absolute Anzahl der Harzgallen pro Querschnitt sortierentscheidend ist.

Die Ergebnisse zum **Reaktionsholz** unterstützen Hypothese 1 nicht (7.2.4). Der mittlere Reaktionsholzanteil, bezogen auf die Fläche der Stammscheibe, unterscheidet sich im Schwachholz- und Starkholzbereich nicht signifikant¹² voneinander. Bei Scheibe 1 ist der Reaktionsholzanteil im Starkholz geringer, bei den Scheiben 2 bis 4 ist das im Schwachholz der Fall. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der verwendeten Schablone die Exzentrizität des Schwachholzbereichs nicht berücksichtigt werden konnte und somit der Reaktionsholzanteil des Starkholzes zu Gunsten des Schwachholzes überschätzt wird.

Die Untersuchung der **Kernfäule** ist zwar nicht geeignet, Hypothese 1 aus forstlicher Sicht zu bewerten, aus Sicht der Starkholzverwendung wird Hypothese 1 jedoch nicht unterstützt (7.2.5). Da keine Kernfäule auftritt, die nicht am Fallschnitt, sondern erst weiter oben im Stamm beginnt, ist dieses Kriterium weitgehend bei der Rundholzsortierung zu berücksichtigen.

Für die **Normalrohddichte** kann Hypothese 1 widerlegt werden (7.2.6). In den beiden untersuchten Baumhöhen nimmt die Rohddichte vom Mark zur Rinde im Mittel um 16% und 20% zu. Bei Schwachholz fällt die Zunahme mit 3% und 12% signifikant¹² niedriger aus. Jedoch nimmt die Rohddichte bei einem Baum vom Mark zur Rinde ab.

¹² Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$, gilt im Folgenden für alle Mittelwertvergleiche

Bei der **inneren Astigkeit** bestätigt sich Hypothese 1 nur bedingt (**7.2.7**). Im unteren Astquirl (6,5 m Baumhöhe) sind 90% der Äste im Schwachholzbereich abgestorben, der Astdurchmesser nimmt somit nicht weiter zu. Dagegen sind bei den Astquirlen in 12,0 m und 17,1 m erst 57% und 18% der Äste im Schwachholz abgestorben, wodurch der Astdurchmesser im stärkeren Holz noch um 25% und 80% zunimmt. Dennoch ist in allen drei Baumhöhen die Astigkeit, als Quotient aus Astdurchmesser und Stammscheibenfläche, im Starkholz geringer als im Schwachholz.

Hypothese 1 wird bezüglich der Häufigkeit und Größe der **Kernrisse** nicht bestätigt (**7.2.10**). Der Rundholzdurchmesser hat weder einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl noch auf die Ausdehnung der Kernrisse. Bei 97% der Abschnitte wurden im marknahen Bereich Kernrisse festgestellt. Diese beschränkten sich im Mittel auf einen Bereich von 2,9 cm um die Markröhre. Jedoch treten bei 1% bis 2% der Abschnitte große Kernrisse auf.

Die Analyse der Rundholzqualität liefert keine Anzeichen dafür, dass im Starkholz vermehrt mit versteckter Kernfäule oder Kernrisen zu rechnen ist. Dagegen zeigten sich Vorteile von starkem Fichtenholz bei der Astigkeit und der Rohdichte. Zusammenfassend kann Hypothese 1 bezüglich der untersuchten Qualitätsmerkmale somit widerlegt werden.

Hypothese 2: Die Qualität von Schnittholz aus starkem Fichtenholz unterscheidet sich nicht von der Schnittholzqualität schwächerer Fichten.

Zur Beurteilung von Hypothese 2 wurde das Schnittholz von 12 Fichten bis zu einer Baumhöhe von 20 m untersucht (**3.2**).

Bezüglich der Astigkeit des Schnittholzes, der Rohdichte, der Steifigkeit, des maschinellen Sortierwerts und den Ausbeuten der visuellen und maschinellen Sortierung wird Hypothese 2 widerlegt:

Die **Astigkeit des Schnittholzes** (**7.3.6**) nimmt bei 19 von 37 Rundholzabschnitten vom Mark zur Rinde ab. Dabei unterscheiden sich die Mittelwerte von Schwach- und Starkholzbereich in 9 Fällen signifikant. Bei Brettern ist dieser Unterschied, auf Grund der unterschiedlichen Gewichtung der Äste, größer als bei Kanthölzern. Bei 12 der 37 Abschnitte war kein Unterschied festzustellen und bei 6 Abschnitten zeigt das Schnittholz aus dem äußeren Stammbereich die größere Astigkeit. Der Vorteil von Starkholz bei der inneren Astigkeit zeigt sich über die Schnittholzlänge von 5 m nur abgeschwächt, da die Äste gleichmäßig um den Stamm verteilt sind. Jedoch ist bei Kanthölzern, als Resultat der geringeren inneren Astigkeit, der **astarme Bereich** im Starkholz stets länger und die Anzahl potentieller Kappstellen stets geringer als im Schwachholz (**7.3.6.2**). Der Starkholzbereich in höher gelegenen, tendenziell astigeren Abschnitten, weist teilweise sogar längere astarme Bereiche auf als die darunter liegenden Abschnitte im inneren Schwachholzbereich. Dabei unterscheiden sich die Mittelwerte von Schwach- und Starkholzbereich signifikant.

Bei den Ästen zeigt sich ein Potential von Starkholz, das durch waldbauliche Maßnahmen mit dem Ziel einer raschen Astreinigung, durch die Wahl geeigneter Produkte und Einschnittbilder sowie durch Kappung und Keilzinkung gesteigert werden kann.

Die **Rohdichte** des Schnittholzes nimmt bei 29 von 37 Rundholzabschnitten vom Mark zur Rinde zu, davon in 26 Fällen signifikant. Die Zunahme der Rohdichte vom Mark zur Rinde erfolgt unterschiedlich stark und liegt zwischen 3% und 25%. Jedoch nimmt auch hier die Rohdichte bei einer Fichte vom Mark zur Rinde leicht ab. Im Mittel ist die Rohdichte im Starkholzbereich um 6% höher als im Schwachholzbereich (**7.3.6.2**).

Die Rohdichteverteilung im stehenden Baum bzw. im Rundholzabschnitt böte die Möglichkeit, die Rohdichte als entscheidendes Kriterium für die Durchforstung und Rundholzauswahl zu nutzen. Zusätzlich könnte damit die Steifigkeit angeschätzt werden.

Die **Steifigkeit** nimmt in 28 von 37 Abschnitten vom Mark zur Rinde zu, davon ist der Anstieg in 20 Abschnitten signifikant (**7.3.6.2**). Die Zunahme reicht von 9% bis 65%, nur in einem Fall ist die Steifigkeit marknah höher als außen. Im Mittel ist die Steifigkeit im Starkholzbereich 14% (1.300 N/mm^2) höher als im Schwachholzbereich. Die Fichten mit starkem Rohdichteanstieg zeigen auch die deutlichste Zunahme der Steifigkeit.

Der **maschinelle Sortierwert**, das Produkt aus Astigkeit, Rohdichte und Steifigkeit, nimmt bei 31 von 37 Rundholzabschnitten vom Mark zur Rinde zu. In 23 Fällen ist der mittlere Sortierwert im Starkholzbereich signifikant höher als im Schwachholz (**7.3.6.2**). Den deutlichsten Anstieg vom Mark zur Rinde zeigen die gleichen Bäume, deren Rohdichte und Steifigkeit am stärksten zunehmen. Jedoch ist bei derselben Fichte, wie schon bei der Astigkeit, Rohdichte und der Steifigkeit, der Sortierwert im Schwachholzbereich höher als im Starkholz. Im Mittel steigt der maschinelle Sortierwert um 21%.

Wie Hypothese 2 in der Praxis zu bewerten ist, hängt von der Ausbeute der Sortierung ab. Bei der **visuellen Sortierung** ist die Ausbeute im Starkholzbereich in 50% (19 von 37) Rundholzabschnitte besser und bei 27% (10 von 37) schlechter als im Stamminneren. Das entspricht annähernd dem Ergebnis der Schnittholzastigkeit. Dagegen ist die Ausbeute bei **maschineller Sortierung** bei 81% (30 von 37) bzw. 86% (32 von 37) der Rundholzabschnitte außen besser und nur bei 5% (2 von 37) schlechter als innen. Das deutlich bessere Ergebnis der maschinellen Sortierung ist darauf zurückzuführen, dass nicht nur die Schwachstelle Ast, sondern auch die Rohdichte und Steifigkeit des umgebenden Holzes berücksichtigt werden, um die Festigkeit des Schnittholzes abzuschätzen.

Bei den Dachlatten ist, bei gleicher Qualität des Rundholzes, das Schnittbild entscheidend für die Ausbeute der visuellen Sortierung (**7.3.1**). Wird nicht mit der Schmalseite, sondern mit der Breitseite zur Markröhre orientiert eingeschnitten, steigt der Anteil an Dachlatten nach DIN 4074 von ca. 40% auf etwa 75%.

Hypothese 3: Die Schnittholzqualität lässt sich nicht durch die Rundholzqualität abschätzen.

Da für kleine und mittlere Starkholzsägewerke die visuelle Sortierung von großer Bedeutung ist, wurde am Schnittholz von 12 Fichten bis zu einer Baumhöhe von 20 m überprüft, ob und wie die Ausbeute mit Hilfe der Rundholzqualität eingeschätzt werden kann. Als Kriterium für die Rundholzqualität wurden die am Stammmantel sichtbaren Äste bewertet und mittels einer linearen Regression in Zusammenhang zur Schnittholzqualität gesetzt (7.4). Die Ergebnisse dieser Untersuchung widerlegen Hypothese 3:

Die Ausbeute der visuellen Sortierung in den Sortierklassenkombinationen S7/S10/S13, S10/S13 und S13 lässt sich je nach Schnittholzquerschnitt unterschiedlich gut abschätzen.

Bei den **Dachlatten** sind die Anzahl der Äste am Stammmantel von ebenso großer Bedeutung wie der mittlere und maximale Astdurchmesser. So erklärt der maximale Astdurchmesser am Rundholz 69% bis 100% der Streuung der Sortierausbeute, bei der Anzahl der Äste sind es 84% bis 97%.

Bei den **Brettern und Kanthölzern** sind meist der mittlere und maximale Astdurchmesser des Rundholzes etwas besser geeignet, die Ausbeute der visuellen Sortierung abzuschätzen. So liegen die Bestimmtheitsmaße für den maximalen Astdurchmesser beim Querschnitt 60 x 120 mm für die drei Sortierklassenkombinationen zwischen 0,70 und 0,89. Die hohen und signifikanten Bestimmtheitsmaße sprechen für einen sehr engen Zusammenhang zwischen den Ästen am Stammmantel und der Ausbeute der visuellen Sortierung. Somit können kleine und mittlere Starkholzsägewerke die Ausbeute durch die Auswahl des Rundholzes und die Wahl der geeigneten Schnittholzprodukte verbessern.

Bei Kanthölzern ist darüber hinaus der Zusammenhang zwischen den Ästen am Stammmantel und der mittleren Anzahl sortierentscheidender Äste (potentieller Kappstellen) bzw. der mittleren Länge der astarmen Bereiche sehr hoch. So kann mit allen drei Astkriterien die Streuung der mittleren S13-Bereiche zu 67% bis 88% erklärt werden. Der maximale Astdurchmesser am Stammmantel erklärt sogar 83% bzw. 85% der Streuung der mittleren S13-Bereiche im Starkholzbereich und 70% im Schwachholzbereich. Bei der Anzahl sortierentscheidender Äste eignet sich der maximale Astdurchmesser am Stamm am besten; er erklärt 81% bis 94% der Streuung.

Die Äste am Stammmantel ermöglichen es somit, sowohl die Ausbeute der visuellen Sortierung über die gesamte Schnittholzlänge abzuschätzen als auch die Anzahl der Kappstellen und die Länge der Kappstücke vorherzusagen. Von entscheidender Bedeutung ist dabei, dass der maximale Astdurchmesser einerseits eine gute Vorhersage ermöglicht andererseits ohne großen Aufwand zu bestimmen ist.

7.5.2 Kritische Würdigung des methodischen Ansatzes

Um die Allgemeingültigkeit der in dieser Arbeit getroffenen Aussagen über Fichtenstarkholz einschätzen zu können, werden die Grenzen des methodischen Ansatzes aufgezeigt.

Die Analyse der **Rundholzqualität** erfolgte an Stammscheiben und Astquirlen. Das ermöglicht nur einen punktuellen Einblick in den Stamm, so dass über die innere Qualität der Rundholzabschnitte streng genommen nur eine begrenzte Aussage getroffen werden kann. Dieses Vorgehen wird jedoch aus zeitlichen und finanziellen Gründen in wissenschaftlichen Untersuchungen angewandt und entspricht der forstlichen Rundholzsortierung.

Die Entnahme der Stammscheiben und Astquirle sowie die Position der ersten Stammscheibe in 1,3 m führen dazu, dass die vierte Stammscheibe in 17,1 m Höhe ca. 2 m höher liegt als bei der Aushaltung von drei 5 m langen Abschnitten. Somit wird die Rundholzqualität systematisch unterschätzt. Das hat jedoch keine Auswirkungen auf den Vergleich zwischen Schwachholz und Starkholz. Darüber hinaus wurde die Vermarktung der Rundholzabschnitte ermöglicht und somit die finanziellen Einbußen der Forstämter verringert.

Die qualitative Einschränkung bei der Auswahl der Probestämme, lässt keine Aussagen über sehr hochwertige Stämme (HKS A) sowie solche mit sichtbaren Sekundärschäden zu. Jedoch waren nur Qualitäten zu untersuchen, die typischerweise im konstruktiven Holzbau zum Einsatz kommen.

Die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse der Rundholzanalyse wird dadurch gewährleistet, dass Bestände in den Hauptwuchsgebieten der Fichte aus ganz Bayern beprobt wurden und Teilergebnisse, wenn möglich, mit vorangegangenen Untersuchungen verglichen wurden. Vergleichbares gilt für die Untersuchung der Kernrisse. In zwei Hauptwuchsgebieten wurde eine große Anzahl von Rundholzabschnitten und Schnittholz untersucht. Darüber hinaus wurde ein Einzelfall mit starker Kernrissbildung dokumentiert.

Die Aussage über die qualitative Einschränkung der Probestämme gilt gleichermaßen für die Ergebnisse der **Schnittholzqualität** und den **Zusammenhang zwischen Rundholz- und Schnittholzqualität**. Auch hier waren nur Qualitäten zu untersuchen, die typischerweise im konstruktiven Holzbau zum Einsatz kommen.

Da sowohl die Qualität des Rundholzes als auch des Schnittholzes erfasst wurde, war eine umfangreiche Datenerhebung notwendig. Deshalb mussten die Anzahl der Rundholzabschnitte auf 44 Stück, die Anzahl der Probestämme auf 12 Stück sowie deren Herkunft auf ein Gebiet beschränkt werden. Eine höhere Anzahl von Probestämmen war im zeitlichen und finanziellen Rahmen dieser Untersuchung nicht zu erfassen und auszuwerten. Der Einschnitt von vier unterschiedlichen Schnittholzprodukten verringert das Datenmaterial je Querschnitt weiter, so dass auf eine formal statistische Auswertung verzichtet werden musste.

Auf einen Einschnitt parallel zu Baumkante wurde verzichtet, da diese Technik nur in wenigen Betrieben zum Einsatz kommt. Zwar wird somit das Potential des äußeren Stammbereichs nicht vollständig ausgeschöpft, jedoch war die Eignung von Starkholz für den konstruktiven Holzbau für den weitaus größeren Teil der Starkholzbetriebe mit herkömmlicher Technik zu untersuchen.

Die Allgemeingültigkeit der Aussagen zur Schnittholzqualität wird durch umfangreiche frühere Untersuchungen an Schnittholz untermauert. Das ist für den Zusammenhang zwischen Rundholz- und Schnittholzqualität nicht möglich. Jedoch lassen die sehr hohen Bestimmtheitsmaße einen ähnlich engen Zusammenhang in anderen Wuchsgebieten und bei anderen Astanzahlen und Durchmessern erwarten.

Auf Grund dieser Arbeit können verfeinerte Hypothesen abgeleitet werden. Sie bildet gemeinsam mit weiteren Untersuchungen die Basis für die Analyse mit verfeinerten statistischen Methoden.

8. Zusammenfassung

8.1 Ziel des Forschungsprojekts

Rundholzqualität von Fichtenstarkholz

Ein Hauptargument, das dem verstärkten Einsatz von Starkholz entgegengebracht wird, ist dessen behauptete schlechtere Qualität aufgrund verstärkt auftretender innerer Holzfehler, wie z. B. Kernrisse oder versteckte Fäule. Bisherige Untersuchungen beschäftigen sich ausschließlich mit Schnittholz und beschränken sich zudem auf einzelne Forstämter. In der Literatur finden sich zur Häufigkeit des Auftretens von Kernrissen in starkem Nadelholz keine weiterführenden Angaben. Ziel dieser Arbeit ist es daher, repräsentative Aussagen über die Holzqualität von Fichtenstarkholz zu treffen (**3.1**).

Hochwertige Produkte aus Fichtenstarkholz

Aufbauend auf den Untersuchungen zur Erfassung der Rundholzqualität von Fichtenstarkholz, wurden gemeinsam mit Vertretern der Praxis mögliche hochwertige Verwertungen für Starkholz erarbeitet und aus starken Fichten eingeschnitten. Um den bisher geäußerten Bedenken der Sägeindustrie Rechnung zu tragen, wurden dabei die unteren 20 m des Stammes in die Untersuchungen einbezogen. Bisherige Untersuchungen beschäftigen sich entweder mit der Rundholzqualität oder der Schnittholzqualität. Hinzu kommt, dass die Anforderungen der hochwertigen Starkholzprodukte an die Rundholzqualität weitgehend unbekannt sind. Ziel der Arbeit ist es ferner, die Qualität des Schnittholzes aus Starkholz mit Produkten aus schwächerem Holz zu vergleichen sowie den Einfluss der Rundholzqualität auf die Produktqualität zu untersuchen (**3.2**).

8.2 Untersuchungen

Rundholzqualität von Fichtenstarkholz

In 11 Forstämtern aus den Hauptwuchsgebieten von Fichtenstarkholz in Bayern und Baden-Württemberg wurden aus laufenden Hieben auf unterschiedlichen Standorten je 5 Fichtenstarkholzstämme, insgesamt **55 Stämme**, ab Mittenstärkensortierung 4a bzw. Heilbronner-Sortierung H6 entnommen. Innerhalb des Hiebes wurden sehr hochwertige Stämme (HKS A) sowie solche mit sichtbaren Sekundärschäden ausgeschlossen. Aus dem restlichen Kollektiv wurde systematisch jeder fünfte Baum ausgewählt (5.2).

An den Probestämmen wurden der **Brusthöhendurchmesser**, die **Länge** und das **Volumen** erfasst sowie die **Krone** in acht Radien abgelotet. Die drei unteren ca. 5 m langen Rundholzabschnitte der Probestämme wurden nach **ENV 1927-1** visuell sortiert. Die Struktur der Konkurrenzgruppe wurde mittels **6-Baumstichprobe** nach PRODAN und **Winkelzählprobe** nach BITTERLICH erfasst (6.1). Diese Daten wurden nicht mit der Rundholz- und Schnittholzqualität verknüpft, da mit der einmal durchgeführten Aufnahme nur die augenblickliche Bestandesituation erfasst wurde. Sie dienen jedoch dazu, mögliche Ausreißer zu erklären und nachzuweisen, dass es sich um repräsentative Bestände handelt sowie als Basis für spätere Auswertungen.

Den 55 Probestämmen wurden bei 1,30 m auf Höhe des BHD und dann in Abständen von 4 bis 5 m vier ca. 10 cm dicke Stammscheiben sowie drei Abschnitte mit einem Astquirl entnommen (5.3). An den 220 astfreien Stammscheiben wurden die Holzmerkmale **Jahrringe**, **Exzentrizität** und **Ovalität**, **Harzgallen**, **Reaktionsholz**, **Kernfäule** und **Rohdichte** bestimmt. An den 165 Abschnitten mit Astquirl wurde die **innere Astigkeit** erfasst (6.2). Um die am Fichtenstarkholz erhobenen, qualitativ relevanten Holzmerkmale mit denen von schwächerem Holz vergleichen zu können, wurde für jeden Probestamm ein „**Schwachholzbereich**“ ausgewiesen, der dem äußeren „Starkholzbereich“ gegenübergestellt wurde. Für die Stammscheiben in 1,3 m, 6,5 m, 12,0 m und 17,1 m wurde der Schwachholzbereich auf 35 cm, 30 cm, 25 cm und 18 cm festgelegt (6.5).

In zwei starkholzeinschneidenden Sägewerken, in Ober- und Niederbayern, wurden insgesamt **1.712 Rundholzabschnitte** auf **Kernrisse** untersucht (6.3.3). Am stärkeren Ende der Abschnitte wurden der **Rundholzdurchmesser** sowie die Ausdehnung der Risse, die von der Markröhre ausgehen, erfasst. Die größte Ausdehnung einer Stirnfläche wird als **Risstiefe t** bezeichnet. Das Verhältnis von Risstiefe t zum Durchmesser des Abschnitts wird **relative Risstiefe t_r** genannt. Jede Stirnfläche wurde nummeriert und fotografiert. Anhand der Fotos wurden die Risse nach ihrer Tiefe und Breite in **fünf Rissklassen** eingestuft.

In den beiden Sägewerken wurden **195** der 1.712 **Rundholzabschnitte** eingeschnitten und jeweils am Kantholz oder Brett mit den größten Kernrissen alle sichtbaren Risse erfasst

(6.4.1). Dabei wurde zwischen den vom Hirnholz ausgehenden, bereits an der Stirnfläche erfassten, Rissen (Typ 1) und den im Schnittholz von der Markröhre ausgehenden Rissen (Typ 2) unterschieden. Von den **Rissen des Typs 1** wurde die Länge l erfasst. Von den **Rissen des Typs 2** wurde, als Maß für die Beeinträchtigung des Schnittholzes, der maximale Abstand a des Kernrisses von der Markröhre bestimmt.

Nachträglich wurde ein drittes Sägewerk in der Oberpfalz in die Untersuchung aufgenommen, da dort an 40 m^3 Blochware aus einer Submission ungewöhnlich große Risse aufgetreten waren. Als Maß für die Beeinträchtigung der eingeschnittenen Blochware wurden an **101** der 270 eingeschnittenen **Bohlen** die **Risslänge l** und die **maximale Ausbreitung m** der Risse in Richtung der **Schnittholzbreite b** erfasst.

Hochwertige Produkte aus Fichtenstarkholz

In Zusammenarbeit mit Vertretern der Holzwirtschaft wurden hochwertige Produkte für den konstruktiven Holzbau festgelegt, bei denen eine höhere Festigkeit des Starkholzes nutzbar sein könnte (5.4). Das sind Kanthölzer für Konstruktionsvollholz (60 x 120 mm, 80 x 180mm), Bretter für Brettschichtholz (40 x 160 mm) sowie Dachlatten (40 x 60 mm). Aus dem Forstamt Kempten wurden **12 Fichten** unterschiedlicher Rundholzqualität ausgewählt (HKS B bis C), in drei bis vier 5 m lange Abschnitte aufgeteilt und entrindet (5.2). An jedem Abschnitt wurden, neben anderen Qualitätsmerkmalen, alle **am Stammmantel sichtbaren Äste** erfasst (6.3.4). Aus jedem der **44 Rundholzabschnitte** wurde jeweils nur ein Schnittholzprodukt erzeugt, um den inneren und den äußeren Bereich des Stammes vergleichen zu können. Die Dachlatten wurden visuell nach DIN 4074 sortiert, die Kanthölzer und Bretter wurden getrocknet, gehobelt und visuell sowie maschinell **nach DIN 4074 sortiert** (6.4.2). Bei den Kanthölzern wurden zusätzlich alle **sortierentscheidenden Äste** aufgenommen.

Um die am Fichtenstarkholz erhobenen Sortiermerkmale und die Sortierausbeute mit den Werten von schwächerem Holz vergleichen zu können, wurde für jede der 12 Fichten ein „**Schwachholzbereich**“ ausgewiesen (6.5). Dessen Größe liegt für den unteren Rundholzabschnitt zwischen 30 cm und 40 cm, da sie einerseits vom Durchmesser des Rundholzes andererseits vom Querschnitt des erzeugten Schnittholzes abhängt. Zum Schwachholzbereich zählt Schnittholz, das mit mehr als 60% des Querschnitts im inneren Stammbereich liegt.

8.3 Ergebnisse

Rundholzqualität von Fichtenstarkholz

Die 55 Probestämme waren im Mittel am **BHD** 64,8 cm stark (46 cm bis 82 cm), 37,1 m hoch (26,5 m bis 45,1 m) und ihr **Volumen** beträgt 4,7 m³ (2,3 m³ bis 8,2 m³) (**7.1.1**).

Der am stärkeren Ende bestimmte **Rundholzdurchmesser** der **1.712 Rundholzabschnitte**, die auf vorhandene Kernrisse untersucht wurden, liegt im Mittel bei 54 cm. Mehr als 1.000 der untersuchten Abschnitte konnten als Sägestarkholz eingestuft werden. Die ca. 700 schwächeren Abschnitte wurden aufgenommen, um die am Starkholz vorhandenen Risse mit denen an schwächerem Holz vergleichen zu können (**7.2.9**).

Mit der **Rundholzsortierung nach ENV 1927-1** konnten von den 135 Abschnitten 13% in Klasse B, 78% in Klasse C und 9% in Klasse D eingestuft werden (**7.2.8**). In Qualitätsklasse D wurden 2 Abschnitte wegen Reaktionsholz und 10 untere Abschnitte wegen am Fällschnitt erkennbarer Kernfäule sortiert. Der überraschend hohe C-Holzanteil ist im Wesentlichen durch die gegenläufig ausgeprägten Kriterien Äste und Reaktionsholz bedingt. Erste und zweite Stammabschnitte wurden meist auf Grund des Reaktionsholzes in die Sortierklasse C eingestuft. Dagegen waren bei zweiten und dritten Abschnitten die Äste für die Einstufung in die Sortierklasse C maßgebend.

Bei der Messung der **inneren Astigkeit** weisen die Astquirle im Mittel 4,3 Äste auf. Die mittleren Astdurchmesser steigen vom ersten zum dritten Abschnitt von 19 mm auf 30 mm an (**7.2.7**). Die größten Astdurchmesser liegen im unteren Abschnitt bei 24 mm, im oberen Abschnitt bei 41 mm. Die 90%-Fraktile der Lebendastlänge liegt im unteren Abschnitt bei 150 mm und steigt bis zum dritten Abschnitt auf 180 mm an. Die Astigkeit, berechnet als Quotient aus der Summe der Astdurchmesser und dem Stammdurchmesser an der Stelle des Astquirls, beträgt im unteren Abschnitt 0,17 und verdoppelt sich bis zum dritten Abschnitt auf 0,35. Beim Vergleich des Starkholzstammes mit dem Schwachholzbereich zeigt sich, dass die Astdurchmesser im unteren Stammabschnitt im Starkholz auf dem Niveau der 90%-Fraktile nicht größer sind als im Schwachholzbereich. Im zweiten und dritten Abschnitt vergrößern sich die Astdurchmesser noch um 25% bis 80%, die Astigkeit ist jedoch in allen Starkholzabschnitten niedriger als im Schwachholz.

Die an den 55 Probestämmen festgestellte Anzahl **Harzgallen** steigt mit zunehmender Baumhöhe an (**7.2.3**). An den BHD-Scheiben waren insgesamt 6, an den Scheiben in 17,1 m Höhe insgesamt 32 Harzgallen vorhanden. In allen vier Baumhöhen lagen im Schwachholzbereich, auf die Stammquerschnittsfläche bezogen, mehr Harzgallen als im gesamten Starkholzstamm. Dennoch würden nach ENV 1927-1 wegen des Sortierkriteriums Harzgallen mehr Starkholzabschnitte als Schwachholzabschnitte in Sortierklasse C eingestuft, da dafür unabhängig vom Stammdurchmesser zwei Harzgallen pro Querschnitt sortierentscheidend sind.

Sowohl der **Reaktionsholzanteil**, berechnet nach ENV 1927-1 als Anteil am Stammdurchmesser mit dem größten Reaktionsholzvorkommen, als auch die Reaktionsholzfläche bleiben im Mittel in den vier Baumhöhen etwa konstant (**7.2.4**). Das bedeutet, dass das Reaktionsholz im unteren Stammabschnitt wesentlich häufiger sortierentscheidend ist als in den oberen Abschnitten, bei denen die dort größeren Äste für die Einstufung maßgebend sind. Bezogen auf den Stammquerschnitt steigt die Reaktionsholzfläche mit zunehmender Baumhöhe, dem abnehmenden Stammdurchmesser folgend, nahezu linear von 2,5% auf 5,2% an. Reaktionsholz tritt im Stammquerschnitt segmentförmig, im Wesentlichen in Ostrichtung, auf. Dadurch unterscheidet sich der Reaktionsholzanteil im Starkholz und im Schwachholzbereich nicht signifikant.

Die **Normalrohddichte** steigt im Mittel von der Markröhre zur Rinde an (**7.2.6**). In der unteren Stammscheibe beträgt der Anstieg 20%, in der oberen Stammscheibe 16%. Wären die Bäume bereits mit einem BHD von 35 cm geerntet worden, wäre die mittlere Rohddichte bis zu diesem Zeitpunkt nur um 13% bzw. 3% angestiegen. Der Zusammenhang zwischen Jahringbreite und Normalrohddichte ist mit Bestimmtheitsmaßen zwischen 0,13 und 0,24 nur sehr schwach ausgeprägt.

Kernfäule trat bei 14 von 55 Probebäumen an 17 Stammscheiben auf (**7.2.5**). In 13 der 14 Fälle war nur die BHD-Scheibe betroffen. Nur an einem Baum wurde Fäule in allen vier Stammscheiben festgestellt. Eine „versteckte“ Kernfäule, die nicht an der BHD-Scheibe, sondern erst weiter oben im Stamm beginnt und daher am nicht aufgeteilten Stamm nicht zu erkennen ist, trat nicht auf.

Die Ausprägung und Häufigkeit von **Kernrissen** wurde an Schnittholz von 195 Rundholzabschnitten und an den Stirnflächen von 1.712 Abschnitten untersucht. Geringe Kernrisse sind als Trocknungsrisse anzusehen und treten nahezu immer auf (**7.2.10**). Nur 12% der 1.712 Rundholzabschnitte wiesen an der Stirnfläche keine Risse auf. Nur bei 3% der 195 Abschnitte wurden an der Schnittware keine marknahen Risse festgestellt. Im Regelfall bleiben Kernrisse auf markhaltiges Schnittholz begrenzt. Der betroffene Bereich beschränkt sich im Mittel auf 2,9 cm. Risse dieser Größenordnung werden als wirtschaftlich wenig bedeutend eingestuft. Lediglich bei 1% bis 2% der eingeschnittenen Rundholzabschnitte wurden am Schnittholz große Kernrisse festgestellt. Die Stammstärke hat keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl und Größe der Risse am Rundholz und am Schnittholz. Damit wird die Vermutung, dass bei Starkholz generell mit Kernrissen zu rechnen sei, die eine Verwendung des Schnittholzes beeinträchtigen, durch die vorliegende Untersuchung nicht bestätigt. Allerdings ist festzustellen, dass vereinzelt starke Risse am Rundholz auftreten. Die Ursache derart starker Risse war nicht Teil der Zielsetzung und deshalb im Rahmen dieser Untersuchung nicht zu klären. Auch ist aus der Literatur nicht bekannt, ob es sich dabei um eine neuartige Erscheinung handelt oder ob solche Risse bereits in der Vergangenheit aufgetreten sind.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass im Rahmen der Analyse der Rundholzqualität keine versteckten Fehler aufgetreten sind, die auf den größeren Durchmesser oder das höhere Alter der Fichtenstarkholzstämmen zurückzuführen sind. Darüber hinaus weist das untersuchte Starkholz bezüglich verwendungsrelevanter Qualitätskriterien (Rohdichte, Astigkeit, Harzgallen) bessere Eigenschaften als das schwächere Holz auf.

Hochwertige Produkte aus Fichtenstarkholz

Der **Zopf** der 44 Rundholzabschnitte der 12 Fichten aus dem Forstamt Kempten liegt im Mittel im ersten Abschnitt bei 64,5 cm, im vierten Abschnitt bei 50,0 cm (**7.2.9**). Alle Abschnitte lagen über dem Grenzwert für Sägestarkholz von 40 cm Zopf.

Die Anzahl der **Äste am Stammmantel** liegt zwischen 0 Stück und 65 Stück (**7.2.11**). Der mittlere Astdurchmesser beträgt zwischen 0 mm und 51 mm, der maximale Astdurchmesser zwischen 0 mm und 120 mm. Die angestrebte Qualitätsdifferenzierung wurde damit erreicht. Über die gesamte Länge eines Rundholzabschnitts verteilen sich die Äste gleichmäßig im Stammquerschnitt, um die photosyntheseaktive Oberfläche zu optimieren.

Damit der **Vergleich von Produkten aus Starkholz mit denen aus schwächerem Holz** nicht von der Rundholzqualität unterschiedlicher Kollektive beeinflusst wird, wurde das Schnittholz aus dem Schwachholz- und dem Starkholzbereich hinsichtlich der Astigkeit, der Rohdichte, der Steifigkeit, des maschinellen Sortierwerts und den Ausbeuten der visuellen und maschinellen Sortierung miteinander verglichen.

Das wichtigste Sortierkriterium der visuellen Sortierung ist die **Astigkeit des Schnittholzes** (DEK/DAB, **7.3.6**). Diese ist bei knapp der Hälfte der Abschnitte (19 von 37) im Starkholzbereich niedriger als im Schwachholz, bei 12 Abschnitten bestand kein Unterschied und bei 6 Abschnitten war die Astigkeit des Schnittholzes im Schwachholzbereich geringer. Im Mittel über die 37 Abschnitte ist die Astigkeit außen um 0,04 geringer als innen. Bei Brettern ist dieser Unterschied, auf Grund der unterschiedlichen Gewichtung der Äste, größer als bei Kant-hölzern.

Die **Rohdichte** des Schnittholzes nimmt bei 29 von 37 Rundholzabschnitten (78%) vom Mark zur Rinde zu, davon in 26 Fällen signifikant. Bei 8 der 37 Abschnitte (22%) ist kein Unterschied festzustellen. Der Unterschied zwischen den marknahen und rindennahen Schnitthölzern liegt je nach Fichte zwischen 3% und 25%. Im Mittel ist die Rohdichte im Starkholzbereich um 6% höher als im Schwachholzbereich (**7.3.6.2**).

Die **Steifigkeit** nimmt in 28 von 37 Abschnitten (76%) vom Mark zur Rinde zu, davon ist der Anstieg in 20 Abschnitten signifikant (**7.3.6.2**). Die Zunahme reicht von 9% bis 65%, nur in einem Fall ist die Steifigkeit marknah höher als außen. Im Mittel ist die Steifigkeit im Starkholzbereich 14% (1.300 N/mm^2) höher als im Schwachholzbereich. Die Fichten mit starkem Rohdichteanstieg zeigen auch die deutlichste Zunahme der Steifigkeit.

Der **maschinelle Sortierwert**, das Produkt aus Astigkeit, Rohdichte und Steifigkeit, nimmt bei 31 von 37 Rundholzabschnitten (84%) vom Mark zur Rinde zu. In 23 Fällen ist der mittlere Sortierwert im Starkholzbereich signifikant höher als im Schwachholz (**7.3.6.2**). Einen deutlichen Anstieg vom Mark zur Rinde zeigen die gleichen Bäume wie bei der Rohdichte und der Steifigkeit. Jedoch ist bei derselben Fichte, wie schon bei der Astigkeit, Rohdichte und der Steifigkeit, der Sortierwert im Schwachholzbereich höher als im Starkholz. Im Mittel steigt der maschinelle Sortierwert um 21%.

Bei der **visuellen Sortierung** nach DIN 4074 ist die Ausbeute im Starkholzbereich bei 51% (19 von 37) der Rundholzabschnitte besser und bei 27% (10 von 37) schlechter als im Stamminneren. Bei 22% (8 von 37) ist kein Unterschied festzustellen (**7.3.6.2**). Das entspricht annähernd dem Ergebnis der Schnittholzastigkeit. In den 37 Abschnitten liegt die Ausbeute im äußeren Stammbereich in der Sortierklasse S13 im Mittel um 14% höher und in der Kombination S10/S13 um 6% höher als im Stamminneren. Jedoch ist auch der Ausschuss-Anteil außen im Mittel um 2% höher.

Bei den Dachlatten ist, bei gleicher Qualität des Rundholzes, das Schnittbild entscheidend für die Ausbeute der visuellen Sortierung (**7.3.1**). Wird nicht mit der Schmalseite, sondern mit der Breitseite zur Markröhre orientiert eingeschnitten, steigt der Anteil an Dachlatten nach DIN 4074 von ca. 40% auf etwa 75%.

Die Ausbeute der **maschinellen Sortierung** nach DIN 4074 ist bei 81% (30 von 37) bzw. 86% (32 von 37) der Rundholzabschnitte im Starkholzbereich besser und bei 5% (2 von 37) schlechter als im Schwachholzbereich. Bei 14% (5 von 37) bzw. 9% (3 von 37) ist kein Unterschied zwischen den beiden Bereichen vorhanden. Im Mittel der 37 Rundholzabschnitte ist die Ausbeute im Starkholzbereich in S13 um 25% und in den Sortierklassenkombinationen S10/S13 und S7/S10/S13 um 16% und 5% höher als im Schwachholzbereich. Das im Vergleich zur visuellen Sortierung deutlich bessere Ergebnis der maschinellen Sortierung ist darauf zurückzuführen, dass nicht nur der Ast als Schwachstelle, sondern auch die Rohdichte und Steifigkeit des umgebenden Holzes berücksichtigt werden, um die Festigkeit des Schnittholzes abzuschätzen.

Bei Kanthölzern wirkt sich die geringere innere Astigkeit von Starkholz, die an einem Astquirl ermittelt wurde, über die gesamte Schnittholzlänge von 5 m weniger auf die Ausbeute als vielmehr auf die **Länge der S13-Bereiche** und die **Anzahl der sortierentscheidenden Äste** aus (**7.3.6.2**). Ursache dafür ist die gleichmäßige Verteilung der Äste im Stammquerschnitt über die Länge des Rundholzabschnitts. Die S13-Bereiche sind bei 24 von 26 Abschnitten (92%) im äußeren Stammbereich signifikant länger als im Schwachholz, im Mittel um 13% (Abschnitt 1) bis 137% (Abschnitt 4). Sortierentscheidende Äste sind in allen 26 Abschnitten (100%) im Starkholzbereich seltener als im Schwachholzbereich, im Mittel um 30% (Abschnitt 3) bis 41% (Abschnitt 2). Der Unterschied ist bei Ästen, die zu Ausschuss führen,

sehr gering und bei Ästen, die zu einer Einstufung in S10 führen, am deutlichsten. Der Starkholzbereich in den höher gelegenen, tendenziell astigeren Abschnitten 3 und 4, weist teilweise weniger sortierentscheidende Äste und längere S13-Bereiche auf als die darunter liegenden Abschnitte im Schwachholzbereich. Ein Vorteil von Starkholz ergibt sich bei gekappten Produkten, vor allem wenn die Sortierklasse S13 angestrebt wird.

Der **Zusammenhang zwischen Rundholz- und Schnittholzqualität** ist sehr eng. Die Größe und Anzahl der Äste am Stammmantel beeinflussen zu einem erheblichen Teil die Ausbeute der visuellen Sortierung; nicht nur über die gesamte Länge des Schnittholzes sondern, wie für Kanthölzer untersucht, auch die Anzahl der Kappstellen und die Länge der astarmen Bereiche (7.4).

Die Ausbeute der visuellen Sortierung in den Sortierklassenkombinationen S7/S10/S13, S10/S13 und S13 lässt sich je nach Schnittholzquerschnitt unterschiedlich gut abschätzen.

Bei den **Dachlatten** sind die Anzahl der Äste am Stammmantel von ebenso großer Bedeutung wie der mittlere und maximale Astdurchmesser. So erklärt der maximale Astdurchmesser am Rundholz 69% bis 100% der Streuung der Sortierausbeute und die Anzahl der Äste 84% bis 97%, wenn der unterschiedliche Einschnitt berücksichtigt wird.

Bei den **Brettern und Kanthölzern** sind meist der mittlere und maximale Astdurchmesser des Rundholzes besser geeignet die Ausbeute der visuellen Sortierung abzuschätzen. So liegen die Bestimmtheitsmaße für den maximalen Astdurchmesser beim Querschnitt 60 x 120 mm für die drei Sortierklassenkombinationen zwischen 0,70 und 0,89. Die hohen und signifikanten Bestimmtheitsmaße sprechen für einen sehr engen Zusammenhang zwischen den Ästen am Stammmantel und der Ausbeute der visuellen Sortierung.

Bei Kanthölzern ist darüber hinaus der Zusammenhang zwischen den Ästen am Stammmantel und der mittleren Anzahl sortierentscheidender Äste (potentieller Kappstellen) bzw. der mittleren Länge der astarmen Bereiche sehr hoch. So kann mit allen drei Astkriterien die Streuung der mittleren S13-Bereiche zu 67% bis 88% erklärt werden. Der maximale Astdurchmesser am Stammmantel erklärt die Streuung der mittleren S13-Bereiche nicht nur im gesamten Stamm, sondern auch für den Schwachholz- und den Starkholzbereich. Dort sind die Bestimmtheitsmaße mit 0,70 und 0,83 ähnlich hoch wie über den gesamten Stamm. Bei der Anzahl sortierentscheidender Äste eignet sich der maximale Astdurchmesser am Stamm am besten; er erklärt 81% bis 94% der Streuung.

Die Äste am Stammmantel ermöglichen es somit, sowohl die Ausbeute der visuellen Sortierung über die gesamte Schnittholzlänge abzuschätzen als auch die Anzahl der Kappstellen und die Länge der Kappstücke vorherzusagen. Von entscheidender Bedeutung ist dabei, dass der maximale Astdurchmesser einerseits eine gute Vorhersage ermöglicht andererseits ohne großen Aufwand zu bestimmen ist. In weiteren Untersuchungen sollte überprüft wer-

den, ob in anderen Wuchsgebieten und bei anderen Astanzahlen und Durchmessern ein ähnlich enger Zusammenhang besteht.

8.4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Versteckte Fehler, die auf den größeren Durchmesser oder das höhere Alter der Fichtenstarkholzstämmen zurückzuführen sind, traten nicht auf. Die Verwendung von Starkholz ist somit nicht mit einem höheren Risiko behaftet.

Die Ergebnisse an Rund- und Schnittholz ergaben für den äußeren Stammbereich im Mittel eine niedrigere Astigkeit sowie eine höhere Rohdichte, Steifigkeit und Festigkeit. Die Astigkeit nahm jedoch nur bei ca. 50% der Abschnitte deutlich vom Mark zur Rinde ab. Nur bei diesen Abschnitten zeigte sich über die gesamte Länge des Schnittholzes ein Vorteil von Starkholz gegenüber Schwachholz bei der visuellen Sortierung nach DIN 4074. Das tatsächliche Potential von Starkholz wurde mit der maschinellen Sortierung besser erkannt, da neben dem Ast als Schwachstelle auch das umgebende Holz zur Beurteilung der Festigkeit berücksichtigt wurde. Hier zeigten sich bei 81% bzw. 86% der Abschnitte Vorteile von starkem Fichtenholz.

Vor allem in Betrieben, die visuell sortieren, muss das Potential besser genutzt werden. Einerseits durch den Einschnitt mit der Breitseite zur Markröhre, gerade bei kleinen Schnittholzquerschnitten, andererseits durch das Herauskappen der Äste und die Herstellung keilgezinkter Produkte, da in den Kanthölzern aus dem äußeren Stammbereich deutlich weniger sortierentscheidende Äste vorhanden waren als im Stamminneren.

Zwischen den am Stammmantel sichtbaren Ästen und der Schnittholzqualität besteht ein sehr enger Zusammenhang. Mit dem größten Ast am Stammmantel ließ sich nicht nur die Ausbeute der visuellen Sortierung in einzelnen Sortierklassen abschätzen, sondern darüber hinaus die Anzahl potentieller Kappstellen und die Länge der Kappstücke. Bestätigt sich das in weiteren Untersuchungen, so ermöglicht das vor allem kleinen und mittelständischen Starkholzsägewerken einen gezielteren Rundholzeinkauf und eine an die Rundholzqualität angepasste Wahl des Schnittholzprodukts, ohne hohe Investitionen in Technik, wie Rundholzscanner.

Gemeinsame Anstrengungen von Forschung, Forstwirtschaft, Sägeindustrie, Zimmerei- und Holzbaugewerbe sowie Planern und Architekten ist notwendig, um die Verwendung von Starkholz zum Nutzen aller Beteiligten zu verbessern.

9. Publikationen und Vorträge

- GLOS, P.; REITER, J.; WEGENER, G. (2005):** Hochwertige Nutzungsmöglichkeiten von Fichten-Starkholz in Abhängigkeit von der Rundholzqualität. Abschlussbericht zum Projekt X34, Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik der Technischen Universität München, 45 S.
- REITER, J.; GLOS, P.; WEGENER, G. (2005):** Starkholz: Problem oder Chance für kleine und mittelständische Sägewerke? Ergebnisse von Forschungsprojekten zum Thema Starkholz. Holzbörse Rosenheim, 11.02.2005
- REITER, J.; GLOS, P.; WEGENER, G. (2005):** Starkholz: Problem oder Chance für kleine und mittelständische Sägewerke? Ergebnisse von Forschungsprojekten zum Thema Starkholz. 45. Rosenheimer Winterseminar der Säge- und Holzindustrie, Rosenheim 19.01.2005, Teilnehmerunterlagen, 63-65
- GLOS, P.; REITER, J.; WEGENER, G. (2004):** Starkholz - Dicker Baum, guter Baum?, AFZ Nr. 19, 1020-1022
- REITER, J.; GLOS, P.; WEGENER, G. (2004):** Experiences with large dimensioned spruce. Workshop zur Cost Action E40, Wien, 09.12.2004
- REITER, J.; GLOS, P.; WEGENER, G. (2004):** Innovative Konzepte zur Starkholznutzung - Hochwertige Nutzungsmöglichkeiten von Fichtenstarkholz in Abhängigkeit von der Rundholzqualität. Forstwissenschaftliche Tagung, Freising, 06. - 08.10.2004, Tagungsband: Die Natur als Vorbild - Effizientere Ressourcennutzung, 127
- REITER, J.; GLOS, P.; WEGENER, G. (2004):** Fichtenstarkholz - Chance für kleine und mittlere Sägewerke? Starkholzseminar des Holzforum Allgäu, Waltenhofen 22.09.2004
- REITER, J.; GLOS, P.; WEGENER, G. (2004):** Fichtenstarkholz - Chance für die Forstwirtschaft? Informationstagung für Forstzusammenschlüsse, Veranstalter: Verein Bayerische Waldbauernschule, Bayerischer Bauernverband, Bayerischer Waldbesitzerverband, Bayerische Staatsforstverwaltung, Kelheim 29.10.2004
- GLOS, P. (2003):** Die Starkholzfrage ein Qualitätsproblem? AFZ Nr. 17, 873-874
- GLOS, P.; REITER, J.; WEGENER, G. (2003a):** Häufigkeit und wirtschaftliche Bedeutung von Kernrissen in Fichten-Starkholz. Abschlussbericht 03512 zum Projekt ST132, Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik der Technischen Universität München, 22 S.
- GLOS, P.; REITER, J.; WEGENER, G. (2003b):** Starkholzvermarktung - Analyse der Holzqualität von Fichten-Starkholz. Abschlussbericht 02510. Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik der Technischen Universität München, 48 S.

10. Literatur

- ADLER, T. ; GLOS, P.; WEGENER, G. (2001):** Fichten-Starkholzvermarktung - Chancen und Risiken. Abschlussbericht zum Projekt ST 85, Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik der Technischen Universität München, 37 S.
- AUKOFER, T.; GLOS, P. (2000):** Die technologischen Vorteile von Fichtenstarkholz. Holz-Zentralbl. 126, Nr. 99, 1257-1258
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2001):** Internes Papier, Stand: 1. Halbjahr 2001
- BECKER, G.; GROSS, M.; METZLER, H. (1988):** Zusammenhänge zwischen Rundholzeigenschaften und Schnittholzqualität bei Fichten-(Tannen-) Starkholz. Holz-Zentralbl. 114, Nr. 94, 1337-1338
- BENGTSSON, L. O.; HAMMER, C. U. (EDITOR) (2001):** Geosphere - Biosphere Interrelations and Climate. Cambridge University Press, 302 S.
- BERNHART, A. (1966):** Über die statische und dynamische Kurzzeitfestigkeit von Fichtenholz - absolut, rohdichtebezogen und unter Druckholzeinfluß. Forstwissenschaftliches Centralblatt 85, 275-295
- BERNHART, A. (1964):** Über die Rohdichte von Fichtenholz. Holz Roh- Werkstoff 22, 215- 228
- BLASS, H. J.; FRESE, M. (2004):** Sortierverfahren für die kombinierte maschinelle und visuelle Festigkeitssortierung. Holz Roh- Werkstoff 62, 325-334
- BRÄKER, O. U. (1980):** Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien, 142, Nr. 2, 75-102
- BROSINGER F. (2001):** Fichtenstarkholz: Einst zu wenig, jetzt zuviel? Aktueller Zustand und zukünftige Nutzungsmöglichkeiten im bayerischen Staatswald. Gekürzte Fassung, Tagung der Hanns-Seidel-Stiftung e.V., Wildbad Kreuth, 26.04.2001
- BROSINGER, F.; ROTHE, A.; PRETZSCH, H.; BIBER, P.; MOSHAMMER, R.; MÖBMER, R.; MAI, W. (2001):** Fichtenstarkholz: Einst zu wenig, jetzt zuviel? Aktueller Zustand und zukünftige Nutzungsmöglichkeiten im bayerischen Staatswald - Einschlag kann deutlich gesteigert werden. Holz-Zentralbl. 127, Nr. 87, 1123
- BUES, C.-T. (1996):** Zur Holzqualität weitständig gepflanzter und „geschneitelter“ Fichten aus dem Frankenwald. Forst und Holz 51, Nr. 2, 45-49
- BUNDESWALDINVENTUR II (2004):** Die Bundeswaldinventur an der strategischen Schnittstelle zwischen Forst- und Holzwirtschaft. Tagungsmappe des BWI II Seminars in Göttingen, 16./17.November 2004, 147 S.
- BURSCHEL, P. (1989):** Waldbau - Forstgenetik - Forstpflanzenzüchtung. Forst und Holz Nr. 24, 665-673

- DANBORG, F. (1991):** Mechanical properties of softwoods: Warp properties and strength grading of fast-grown Norway spruce and Sitka spruce. In Danish, Royal. Vet. And Agr. Univ., Dept. of Forestry, Denmark (zit. nach PERSTORPER et al. 1995b)
- FORNEFELD, M.; TSCHURTSCHENTHALER, G.; OEFINGER, P. (2004):** Absatzpotentiale für heimische Produkte aus Nadelstarkholz auf den nationalen und internationalen Märkten. Abschlussbericht im Auftrag der Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, 118 S.
- FRONIUS, K. (1987):** Rationelle Einschnittechniken für Starkholz. Holz-Zentralbl. 113, Nr. 79, 1145-1146
- FUNK, M. (2002):** Erfahrung, Herausforderung und Chancen der Starkholzverarbeitung in Deutschland. Beitrag zum 30. Internationalen Forst- und Holzsymposium, 47. Internationale Holzmesse Klagenfurt, 29.08 - 01.09.2002
- GLOS, P. (1983):** Die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Schnittholzsortierung im Mittel- und Kleinbetrieb. SAH-Bulletin 1/1983
- GLOS, P. (1995a):** Qualitätsbauschnittholz als unternehmerische Notwendigkeit. Bauen mit Holz, Nr. 6, 502-508
- GLOS, P. (1995b):** Festigkeitssortierung. Holzbauwerke nach Eurocode 5 - Bemessung und Baustoffe, STEP A6, A6/1-A6/9
- GLOS, P.; SCHULZ, H. (1980):** Stand und Aussichten der maschinellen Schnittholzsortierung. Holz Roh- Werkstoff 38, 409-417
- GLOS, P.; TRATZMILLER, M. (1996a):** Erzeugung von höherwertigem Bauschnittholz aus Starkholz. AFZ/Der Wald Nr.22, 1230-1231
- GLOS, P.; TRATZMILLER, M. (1996b):** Höherwertige Starkholznutzung durch verbesserte Einschnitt - und Sortierverfahren. Holzforschung München: Abschlußbericht 94506, 106 S.
- GLOS, P.; AUKOEFER, T. (1999):** Höherwertige Nutzung von einheimischem Starkholz durch verbesserte Einschnitt- und Sortierverfahren. Holzforschung München: Abschlußbericht 96509, 125 S.
- GLOS, P.; RICHTER, C. (2002):** Rissbildung in Kanthölzern. Abschlussbericht 01508, Holzforschung München, 33 S.
- GLOS, P.; HENRICI, D.; LEDERER, B. (1999):** Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Sägeindustrie durch Erhöhung der Schnittholzqualität. Holzforschung München: Abschlußbericht 96507, 85 S.
- GLOS, P.; REITER, J.; WEGENER, G. (2003):** Häufigkeit und wirtschaftliche Bedeutung von Kernrissen in Fichten-Starkholz. Abschlussbericht 03512 zum Projekt ST132, Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik der Technischen Universität München, 22 S.
- GRIESHOFFER, H. (2002):** Quantifizierung von Starkholz in Österreich. Vortrag beim Starkholz Workshop Salzburg, 05.03.2002

- HALLOCK, H. (1965):** Sawing to reduce warp of loblolly pine studs. USDA Forest service, Forest Prod. Lab., Research paper FPL-51, Madison, USA (zit. nach PERSTORPER et al. 1995b)
- HALLOCK, H.; MALCOLM, F. B. (1972):** Sawing to reduce warp in plantation red pine studs. USDA Forest service, Forest Prod. Lab., Research paper FPL-164, Madison, USA (zit. nach PERSTORPER et al. 1995b)
- HECKER, M.; RESSMANN, J.; BECKER, G.; MERFORTH, C. (2000):** Prognose der Schnittholz-Qualität auf der Grundlage der Rundholz-Sortierung - ein Vergleich nationaler und europäischer Normen zur Sortierung von Rundholz und Schnittholz. Holz Roh-Werkstoff 58, 168-176
- HOLZMANN, I. (1998):** Harzgallen in Fichtenstämmen bei unterschiedlicher waldbaulicher Behandlung. Diplomarbeit der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. 53 S.
- HOUGHTON, J. (2004):** Global Warming, The Complete Briefing. Cambridge University Press, Third edition, 351 S.
- HUSS, J. (1987):** Starkholz - Produktionsziel des klassischen mitteleuropäischen Waldbaues? (1-3). Holz-Zentralbl. 113, Nr. 86, 1241-1243, Nr. 98/99, 1376 u. 1378, Nr. 102, 1406
- JÖBSTL, H. A. (1997):** Umtriebszeit der Fichte unter geänderten Marktverhältnissen für verschiedene Produktionsgebiete Österreichs - Eine Modellstudie mit benutzerorientierter Darstellung der Simulationsmodelle FOWISIM und FOBSI. Universität für Bodenkultur, Wien, 128 S.
- KÄNDLER, G.; MAHLER, G.; WURSTER, M. (2003):** Fichten- und Tannen-Starkholz in Baden-Württemberg. Holz-Zentralbl. 129, Nr. 45, 676-677
- KESSEL, M. H.; SANDOZ, J. L. (1989):** Zur Effizienz der Festigkeitssortierung von Fichtenkantholz - Vergleich europäischer Normen. Holz Roh- Werkstoff 47, 279-284
- KLEBES, J. (1991):** Die Sortenbildung als Mittel der Vermarktung - beispielhaft untersucht am Fichten-/Tannen-Starkholz. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 161, 218 S.
- KLEINSCHMIT V. LENGEFELD, A. (2005):** Untersuchungen zur hochauflösenden Bestimmung von qualitätsbeeinflussenden Rundholzmerkmalen am Beispiel von Fichten- und Buchenholz. Dissertation am Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik der Technischen Universität München, 172 S.
- KLIGER, R.; JOHANSSON, M.; PERSTORPER, M.; JOHANSSON, G. (2003):** Distortion of Norway spruce timber, Part 3: Modelling bow and spring. Holz Roh- Werkstoff 61, 241-250
- KLOOT, N. H.; PAGE, M. W. (1959):** A study of distortion on Radiata pine 100x50 mm boards. Bulletin of Tokyo University Forests 80, 37-68 (zit. nach PERSTORPER et al. 1995b)
- KRENN, K.; BRANDSTÄTTER, M.; TEISCHINGER, A. (1992a):** Starkholz - Rundholzeigenschaften und Schnittholzqualität. In Senitza (1992), 96-109

- KRENN, K.; BRANDSTÄTTER, M.; TEISCHINGER, A. (1992b):** Starkholz - Rundholzeigenschaften und Schnittholzqualität. *Holzforschung und Holzverwertung* Nr. 2, 19-23
- KUFNER, M. (1977):** Maschinelle Schnittholzsortierung und ihr möglicher Einfluß auf die Holzverwendung. *Holz Roh- Werkstoff* 35, 173-178
- KUFNER, M. (1985):** Verteilung von Eigenschaftswerten in einem Fichten-Stammabschnitt. *Holz Roh- Werkstoff* 43, 123-129
- LARSSON, D.; OHLSSON, S.; PERSTORPER, M.; BRUNDIN, J. (1998):** Mechanical properties of sawn timber from Norway spruce. *Holz Roh- Werkstoff* 56, 331-338
- LIPPEMEIER, P. (1977):** Beziehungen zwischen Schnitt- und Rundholzsortierung bei Fichte und Tanne. *Forstw. Cbl.* 96, 162-169
- MAHLER, G. ; KLEBES, J.; LEINSS, C. (1991):** Untersuchungen zum Fichte/Tanne-Starkholzproblem. *Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg* 165, 161 S.
- MANTAU, U.; WEIMAR, H.; LABER, J. (2003):** Rundholzeinschnitt in Deutschland, Ermittlung der Volumina, der regionalen Verteilung und der Schnittholzproduktion. *Holz-Zentralbl.* 129, Nr. 61, 887-888
- MAYER-WEGELIN, H. (1963):** Rundholzbeschaffenheit und Schnittholzqualität. *Holz-Zentralbl.* 89, Nr. 50, 757-759
- MÖSSMER, R. (2004):** Erfolgreich mit der Natur - Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur in Bayern. Broschüre der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 28 S.
- PERSTORPER, M; PELLICANE, P. J.; KLIGER, I. R.; JOHANSSON, G. (1995a):** Quality of timber products from Norway spruce - Part 1. Optimization, key variables and experimental study. *Wood Science and Technology* 29, 157-170
- PERSTORPER, M; PELLICANE, P. J.; KLIGER, I. R.; JOHANSSON, G. (1995b):** Quality of timber products from Norway spruce - Part 2. Influence of spatial position and growth characteristics on warp. *Wood Science and Technology* 29, 339-352
- PETUTSCHNIGG, A. J.; KATZ, H. (2005):** A loglinear model to predict lumber quality depending on quality parameters of the log. *Holz Roh- Werkstoff* 63, 112-117
- RIME, J.-F. (2002):** Starkholzverwertung in der Schweiz. 30. Internationales Forst- und Holzsymposium, 47. Internationale Holzmesse Klagenfurt, 29.08 - 01.09.2002
- RITTER, U. (1998):** Rundholzsortierung und -vermarktung in der europäischen Normung, Die Nachfolger der HKS. *AFZ* 19, 1001-1004
- ROSS, R. J.; McDONALD, K. A.; GREEN, D. W.; SCHAD, K. C. (1997):** Relationship between log and lumber modulus of elasticity. *Forest Products Journal* 47, Nr. 2, 89-92
- SCHICKHOFER, G.; RIEBENBAUER, J.; SANTNER, R.; SPIEHS, H. (1997):** Maschinelle Sortierung - Einsatz in Österreich, Konzepte zur Optimierung der Brettschichtholzerstellung. *Holzforschung und Holzverwertung* Nr. 6, 110-111

- SCHUMACHER, P.; TRATZMILLER, M.; GROSSER, D. (1997):** Beeinträchtigung der Qualität von Fichtenholz durch Harzgallen in Abhängigkeit von der Durchforstungsintensität. Holz Roh Werkstoff 55, 254
- SEELING, U. (1999):** Einfluß von Richtgewebe („Druckholz“) auf Festigkeit und Elastizität des Fichtenholzes. Holz Roh- Werkstoff 57, 81-91
- SENITZA, E. (HRSG.) (1992):** Zur Starkholzfrage in Österreich. Interdisziplinäre Forschung zum Thema Starkholz - Problemanalyse und Lösungsansätze von der Produktion bis zur Endverarbeitung. Österreichisches Holzforschungsinstitut der Österreichischen Gesellschaft für Holzforschung, Wien, 134 S.
- SPÖRK, J. (2002):** Konzepte der Forstwirtschaft. Starkholz Workshop Salzburg, 05.03.2002
- STORM, R. (1988):** Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. VEB Fachbuchverlag Leipzig, 360 S.
- TEISCHINGER, A. (2002a):** Innovationspotential und Produkte aus Starkholz. Starkholz Workshop Salzburg, 05.03.2002
- TEISCHINGER, A. (2002b):** Innovationspotential Starkholz. Holzforschung Holzverwertung 2, 34-36
- TRATZMILLER, M. (2001):** Struktur der Sägeindustrie in Bayern. Studie der Jaakko Pöyry Consulting GmbH, Tagung der Hanns-Seidel-Stiftung e.V., Wildbad Kreuth, 26.04. 2001
- TRENDELENBURG, R.; MAYER-WEGELIN, H. (1955):** Das Holz als Rohstoff. Carl Hanser Verlag, 541 S.
- VERBAND DER DEUTSCHEN SÄGE- UND HOLZINDUSTRIE (VDS) (2002):** Rundholzpreis entscheidend für Starkholz-Zukunft (Positionspapier des VDS). Holz-Zentralbl. 128, Nr. 6, 74
- WALTER, M.; DRIESSNER, R.; IBERL, T.; WALTER, S.; OFF, S. (1997):** Auswirkungen der CEN-Normen für Rundholz auf den Sortenanfall bei Fichte und Kiefer in Bayern. Holz-Zentralbl. 123, Nr. 70, 1076 u. 1078; Nr. 73, 1127
- WARTBURG, H. (1971):** In Mitteleuropa ist Starkholzzucht Trumpf. Holz-Zentralbl. 97, Nr. 36, 513-514
- WARTBURG, H. (1968):** Der Stark- und Wertholzproduktion gehört bei uns die Zukunft. Holz-Zentralbl. 94, Nr. 144, 2133-2134
- WEIDNER, U.; SCHUMACHER, P.; RITTER, U.; RATHKE, K.-H.; MAHLER, G.; WEGENER, G. (1999):** Rundholzsortierung nach den Europäischen Normen. Holz-Zentralbl. 125, Nr. 145, 1950-1951
- WEIDNER, U.; SCHUMACHER, P.; RITTER, U.; WEGENER, G. (2000):** Rundholzsortierung nach den Europäischen Normen (2). Holz-Zentralbl. 126, Nr. 96, 1238 u. 1240
- WELLBURN, A. (1997):** Luftverschmutzung und Klimaänderung, Auswirkungen auf Flora, Fauna und Mensch. Springer Verlag, 289 S.

WESLIN, H. (1995): Size, quantity and distribution of pitch-pockets in roundwood. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institution för virkeslära, Uppsats nr. 171, 15 S.

ZELTNER, S.; GAUTSCHI, H.-P.; GRÜNENFELDER, T.; HEINIMANN, H.; KAUFMANN, E.; STREIFF, H.; WEIBEL, F. (1999): Perspektiven der Starkholznutzung in der Schweiz. Schlussbericht, 33 S.

Angewandte Normen

DIN 1052 (2000): Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken.

DIN 4074 (2003): Deutsches Institut für Normung e.V. Sortierung von Holz nach der Tragfestigkeit.

DIN 52 182 (1976): Deutsches Institut für Normung e.V. Prüfung von Holz. Bestimmung der Rohdichte.

DIN 50 014 (1985): Deutsches Institut für Normung e.V. Klimate und ihre technische Anwendung. Normalklima.

EN 338 (2003): Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen.

ENV 1927-1 (1999): Qualitätssortierung von Nadelrundholz - Teil 1: Fichten und Tannen.

HKS (1969): Gesetzliche Handelsklassensortierung für Rohholz.

I Abkürzungen

Min	Minimum
Max	Maximum
MW	Mittelwert
s	Standardabweichung
N	Anzahl Probekörper
R²	Bestimmtheitsmaß
α	Irrtumswahrscheinlichkeit beim t-Test
BHD	Brusthöhendurchmesser in 1,30 m Baumhöhe
MDM	Mittendurchmesser
fm	Festmeter
Efm	Erntefestmeter
Vfm	Vorratsfestmeter
m. R. / o. R.	mit Rinde / ohne Rinde
G	Grundfläche
DAB	DIN Astansammlung in Brettern und Bohlen
DEB	DIN Einzelast in Brettern und Bohlen
DEK	DIN Einzelast Kantholz
E	Exzentrizität
O	Ovalität
Rh	Reaktionsholz
ρ	Rohdichte [kg/m ³]

II Abbildungs-, Tabellen- und Formelverzeichnis

Abbildungen

Seite

Abb. 1:	Beteiligte Forstämter in Bayern und Baden-Württemberg	17
Abb. 2:	Skizze des liegenden Stammes: Entnahme der Probekörper	20
Abb. 3:	Einschnittmuster im Sägewerk A (links) und im Sägewerk B (rechts)	22
Abb. 4:	Modellierung der Form und Berechnung der Fläche von Stammquerschnitten	28
Abb. 5:	Schablone zur Aufnahme von Harzgallen, Reaktionsholz und Kernfäule; Durchmesser 70 cm	29
Abb. 6:	Radialschnitt durch einen Ast: Erfassung der inneren Astigkeit	30
Abb. 7:	Skizze des Stammquerschnitts mit Kernrissen	32
Abb. 8:	Riss der Klasse 1	33
Abb. 9:	Riss der Klasse 3	33
Abb. 10:	Riss der Klasse 5	33
Abb. 11:	Schematische Darstellung der Messung der Kernrisse in Sägewerk A und B	35
Abb. 12:	Schematische Darstellung der Messung der Kernrisse im Sägewerk C	35
Abb. 13:	Vergleich des Starkholzstammes mit dem Schwachholzstamm bei den Holzmerkmalen, die an Stammscheiben erhoben wurden	39
Abb. 14:	Schwachholzbereich von Fichte Nr. 5 im Abschnitt 2	40
Abb. 15:	BHD, Baumhöhe und Volumen der 55 Probebäume; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert	41
Abb. 16:	Erfasste Astquirle je Probebaum, N = 477	44
Abb. 17:	Entwicklung des äußeren Astdurchmessers entlang der Baumhöhe, N = 1.736	45
Abb. 18:	Entwicklung der äußeren Astigkeit des kleinsten, des größten und des mittleren Asts der 477 erfassten Astquirle entlang der Baumhöhe	45
Abb. 19:	Entwicklung der äußeren Astigkeit entlang der Baumhöhe, N = 1.736	46
Abb. 20:	Kronenplot und Konkurrenzgruppe eines Probebaums aus dem Forstamt Schongau	47
Abb. 21:	Entwicklung der Jahrringbreiten eines Baumes aus dem Forstamt Schongau in ca. 17 m Baumhöhe	48
Abb. 22:	Über 10 Jahre gemittelte Jahrringbreite in den vier Baumhöhen	49
Abb. 23:	Exzentrizität in den vier Baumhöhen	50
Abb. 24:	Häufigkeit des Reaktionsholzes in 164 erfassten Stammscheiben.	53
Abb. 25:	Summenhäufigkeit des Reaktionsholzes ⁶ in 164 Stammscheiben.	53
Abb. 26:	Summe der Reaktionsholzfläche aller 220 Stammscheiben über der Segment-Nr. (0 = Nord, 3 = Ost, 6 = Süd, 9 = West)	54
Abb. 27:	Reaktionsholzanteil in den vier Baumhöhen (1 = 1,3 m, 4 = 17,1 m)	55
Abb. 28:	Stammscheibe eines Baumes aus dem Forstamt Schongau mit Sektoren, die Reaktionsholz enthalten	56

Abb. 29: Normalrohddichte der Probebäume, getrennt nach Forstämtern	58
Abb. 30: Normalrohddichte vom Mark (Probe 1) zum Rand der Scheibe (Probe 10) als Mittelwert über alle Prüfkörper gleicher Position und getrennt nach Radien gleicher Länge	60
Abb. 31: Zusammenhang zwischen der Normalrohddichte und der mittleren Jahrringbreite der Stammscheiben, N = 55	62
Abb. 32: Zusammenhang zwischen der Normalrohddichte und der Anzahl der Jahrringe pro Rohdichteprüfkörper	62
Abb. 33: Astigkeit aus der Summe der Astdurchmesser, bezogen auf den Durchmesser des Abschnitts	65
Abb. 34: Summenhäufigkeit der Lebendastlänge in unterschiedlichen Baumhöhen	66
Abb. 35: Astdurchmesser am Übergang vom Lebend- zum Totast über der Lebendastlänge	66
Abb. 36: Einstufung der Rundholzabschnitte aufgrund aller Kriterien in die Sortierklassen A bis D, getrennt nach der Baumhöhe	69
Abb. 37: Häufigkeit der Rundholzdurchmesser, N = 1.712	70
Abb. 38: Zopfdurchmesser in Abhängigkeit von der Stammlänge, N = 44	70
Abb. 39: Häufigkeit der Anzahl Risse pro Stirnfläche, N = 1.712	71
Abb. 40: Rundholzdurchmesser in Abhängigkeit der Anzahl Risse pro Stirnfläche, N = 1.712; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert	72
Abb. 41: Häufigkeit der Risstiefe t, N = 1.712	73
Abb. 42: Häufigkeit der relativen Risstiefe t_r , N = 1.712	73
Abb. 43: Relative Risstiefe in Abhängigkeit des Rundholzdurchmessers, N = 1.712	74
Abb. 44: Häufigkeit der Rissklassen nach Tab. 10, N = 1.712	75
Abb. 45: Rundholzdurchmesser [cm] in Abhängigkeit der Rissklasse [I], N = 1.712; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert	75
Abb. 46: Häufigkeit der Länge l der Risse des Typs 1, N = 195	76
Abb. 47: Länge l der Risse des Typs 1 in Abhängigkeit des Rundholzdurchmessers, N = 195	77
Abb. 48: Häufigkeit des maximalen Abstands a der Risse des Typs 2, N = 195	78
Abb. 49: Maximaler Abstand a der Risse des Typs 2 in Abhängigkeit des Rundholzdurchmessers, N = 195	79
Abb. 50: Länge l der Risse des Typs 1 in Abhängigkeit der Risstiefe t, N = 195	80
Abb. 51: Maximaler Abstand a der Risse des Typs 2 in Abhängigkeit der Risstiefe t, N = 195	80
Abb. 52: Summe der Länge l der Risse des Typs 1 in Abhängigkeit der Schnittholzbreite b, N = 101	82
Abb. 53: Maximale Ausbreitung m der Risse des Typs 2 in Abhängigkeit der Schnittholzbreite b, N = 101	82
Abb. 54: Anzahl der Äste am Stammmantel sowie mittlerer und maximaler Astdurchmesser; umrandet ist der jeweilige Mittelwert	84

Abb. 55: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stammmantel über der Stammlänge der Fichten Nr. 4 und Nr. 7	85
Abb. 56: Zopfquerschnitt des dritten Abschnitts der Fichte Nr. 7	86
Abb. 57: Zopfquerschnitt des ersten Abschnitts der Fichte Nr. 7; dargestellt sind die Äste am Stammmantel sowie die Ausbeute der visuellen Sortierung nach DIN 4074	87
Abb. 58: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stamm der Fichten Nr. 1 und Fichte Nr. 11	88
Abb. 59: Ausbeute der visuellen Sortierung nach DIN 4074 der Fichte Nr. 1	90
Abb. 60: Verteilung der visuellen Sortierklassen im Stammquerschnitt in den Abschnitten 1 (links oben) bis 4 (rechts unten) der Fichte Nr. 1	90
Abb. 61: Ausbeute der visuellen Sortierung nach DIN 4074 der Fichte Nr. 11	91
Abb. 62: Verteilung der visuellen Sortierklassen im Stammquerschnitt in den Abschnitten 1 (links oben) bis 3 (links unten) der Fichte Nr. 11	91
Abb. 63: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stamm der Fichten Nr. 2, Nr. 5 und Nr. 10	92
Abb. 64: Ausbeute der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074 der Fichten Nr. 2, Nr. 5 und Nr. 10	93
Abb. 65: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stamm der Fichten Nr. 4, Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 12	96
Abb. 66: Ausbeute der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074 der Fichten Nr. 4, Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 12	96
Abb. 67: Anzahl und Durchmesser der Äste am Stamm der Fichten Nr. 3, Nr. 6 und Nr. 9	99
Abb. 68: Ausbeute der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074 für die Fichten Nr. 3, Nr. 6 und Nr. 9	99
Abb. 69: Verteilung sortierentscheidender Äste in Kanthölzern am Beispiel der Fichte Nr. 8, Abschnitt 4; N = 20	100
Abb. 70: Länge der S13-Bereiche sowie Anzahl sortierentscheidender Äste, getrennt nach Stammabschnitten; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert	101
Abb. 71: Entwicklung der Schnittholzastigkeit vom Mark zur Rinde	102
Abb. 72: Entwicklung der Rohdichte vom Mark zur Rinde	103
Abb. 73: Entwicklung der Steifigkeit vom Mark zur Rinde	104
Abb. 74: Entwicklung des maschinellen Sortierwerts vom Mark zur Rinde	105
Abb. 75: Mittlere Länge der S13-Bereiche im inneren und äußeren Stammbereich getrennt nach Fichten und Abschnitten	114
Abb. 76: Länge der S13-Bereiche im inneren und äußeren Stammbereich, getrennt nach Rundholzabschnitten; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert	115
Abb. 77: Mittlere Anzahl der sortierentscheidenden Äste im inneren und äußeren Stammbereich, getrennt nach Fichten und Abschnitten	117
Abb. 78: Anzahl sortierentscheidender Äste (S10, S7, Ausschuss) im inneren und äußeren Stammbereich, getrennt nach Rundholzabschnitten; dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung sowie Kleinst- und Größtwert	118

Abb. 79: Ausschuss-Anteil bei visueller Sortierung über dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel für Kanthölzer	122
Abb. 80: Anteil an S10/S13 bei visueller Sortierung über dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel für Kanthölzer	122
Abb. 81: Zusammenhang zwischen der mittleren Länge des S13-Bereichs der Kanthölzer und dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel	124
Abb. 82: Zusammenhang zwischen der mittleren Länge des S13-Bereichs der Kanthölzer und dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel, getrennt für den inneren und äußeren Stammbereich	124
Abb. 83: Zusammenhang zwischen der Anzahl sortierentscheidender Äste (S10, S7, Aus) und dem maximalen Astdurchmesser am Stammmantel	125

Tabellen	Seite
Tab. 1: Definition von Starkholz in der Schweiz, Österreich, Baden-Württemberg und Bayern	2
Tab. 2: Starkholzvorrat in Deutschland, Daten der Bundeswaldinventur II	3
Tab. 3: Starkholzvorrat nach Besitzarten, Daten der Bundeswaldinventur II	4
Tab. 4: Gründe für das Ansteigen des Starkholzvorrats	7
Tab. 5: Kenngrößen wichtiger Einschnitt-Technologien nach FUNK (2002)	12
Tab. 6: Beteiligte Forstämter in Bayern und Baden-Württemberg	18
Tab. 7: Produktgruppen und Schnittholzquerschnitte	21
Tab. 8: Anzahl der Fichten und der Abschnitte sowie die Menge des daraus erzeugten Schnittholzes	23
Tab. 9: Grenzwerte für die Sortierkriterien in ENV 1927-1	31
Tab. 10: Optische Klassifizierung der Risse nach Tiefe und Breite	33
Tab. 11: Kriterien der DIN 4074 für Dachlatten, Bretter und Kanthölzer	36
Tab. 12: Güte des nach DIN 4074 sortierten Schnittholzes	38
Tab. 13: BHD, Baumhöhe und Volumen der Probebäume (N = 55)	41
Tab. 14: Abholzigkeit der Probebäume	42
Tab. 15: Ergebnisse der Kronenablotung und der Aufnahme der Äste (N = 55)	43
Tab. 16: Anzahl der erfassten Astquirle. Erfasst wurde jeder 10. Astquirl	44
Tab. 17: Grundfläche [G] aus der 6-Baumstichprobe und der Winkelzählprobe sowie A-Wert nach JOHANN (N = 55)	48
Tab. 18: Minimale, mittlere und maximale Jahrringbreite (N = 220)	49
Tab. 19: Abstand zwischen Markröhre und Schwerpunkt sowie Exzentrizität und Ovalität (N = 220)	50
Tab. 20: Anzahl, Breite und Höhe der Harzgallen sowie deren Entfernung von der Markröhre für alle Harzgallen (Ges) und Harzgallen breiter als 20 mm (20)	51

Tab. 21: Mittlere Breite, mittlere Entfernung von der Markröhre und Anzahl der Harzgallen > 20 mm für das Starkholz- und das Schwachholzkollektiv	52
Tab. 22: Anzahl der Harzgallen, bezogen auf die Fläche der mittleren Stammscheibe, für das Starkholzkollektiv und das Kollektiv mit BHD 35	52
Tab. 23: Reaktionsholzfläche (Rh), Fläche der Stammscheibe (A) sowie Reaktionsholzanteil (Rh%) gesamt und nach Baumhöhen getrennt	55
Tab. 24: Reaktionsholzanteil des Schwachholz- und Starkholzkollektivs in den vier Baumhöhen	57
Tab. 25: Von Kernfäule befallene Fläche F sowie Kernfäuleanteil F% in den vier Baumhöhen	57
Tab. 26: Normalrohddichte (ρ_{12}) der 2.424 Prüfkörper in der untersten und obersten Stammscheibe	58
Tab. 27: Normalrohddichte der untersten und obersten Stammscheibe (N = 55)	59
Tab. 28: Mittelwerte der Normalrohddichte mit zunehmender Entfernung von der Markröhre	59
Tab. 29: Mittlere Zunahme der Normalrohddichte vom innersten zum äußersten Probekörper	60
Tab. 30: Vergleich zwischen Schwachholz und Starkholz; Zunahme der Normalrohddichte vom innersten zum äußersten Probekörper	63
Tab. 31: Anzahl der Äste sowie mittlerer und größter Astdurchmesser pro Astquirl in unterschiedlichen Baumhöhen (N = 55)	64
Tab. 32: Anzahl der Grünäste in unterschiedlichen Baumhöhen	64
Tab. 33: Anzahl der Rundholzabschnitte, die aufgrund nur eines Kriteriums in die Sortierklassen A bis D eingeteilt werden	67
Tab. 34: Anzahl der Rundholzabschnitte, die aufgrund aller Kriterien in die Sortierklassen A bis D eingeteilt werden; für alle Abschnitte und getrennt nach der Baumhöhe	68
Tab. 35: Anzahl und maximaler Durchmesser der Äste am Stammmantel der 44 Rundholzabschnitte	84
Tab. 36: Dimension der Abschnitte und Anzahl der Latten	88
Tab. 37: Dimension der Abschnitte und Anzahl der Bretter	92
Tab. 38: Dimension der Abschnitte und Anzahl der Kanthölzer 60 x 120 mm	95
Tab. 39: Dimension der Abschnitte und Anzahl der Kanthölzer 80 x 180 mm	98
Tab. 40: Grenzen des maschinellen Sortierwerts für mS7, mS10 und mS13	105
Tab. 41: Vergleich des inneren und äußeren Stammbereichs der einzelnen Fichten bezüglich wichtiger Kriterien der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074	106
Tab. 42: Astigkeit, Rohddichte, Steifigkeit und maschineller Sortierwert des inneren und äußeren Stammbereichs der einzelnen Rundholzabschnitte	108
Tab. 43: Vergleich mit anderen Untersuchungen über Fichten-Starkholz	110
Tab. 44: Ausbeute der visuellen und maschinellen Sortierung nach DIN 4074 des inneren und äußeren Stammbereichs der Rundholzabschnitte	111
Tab. 45: Anzahl der Abschnitte, deren Schnittholz außen besser, gleich oder schlechter ist als im inneren Stammbereich	113

Tab. 46: Länge des S13-Bereichs im inneren und äußeren Stammbereich	116
Tab. 47: Mittlere Anzahl der Kappstellen in den Sortierklassen S7 und S10 sowie Ausschuss im inneren und äußeren Stammbereich	119
Tab. 48: Bestimmtheitsmaße für den Zusammenhang zwischen der Ausbeute der visuellen Sortierung und der Äste am Rundholz (Werte gerundet)	120
Tab. 49: Bestimmtheitsmaße für den Zusammenhang zwischen der Länge der S13-Bereiche sowie der Anzahl sortierentscheidender Äste und den Ästen am Stammmantel	123

Formeln

	Seite
Formel 1: A-Wert nach JOHANN	25
Formel 2: Exzentrizität	26
Formel 3: Ovalität	27
Formel 4: Form von Stammscheiben	27
Formel 5: Normalrohddichte ρ_{12}	30
Formel 6: Rohddichte	37
Formel 7: Dynamischer E-Modul	37
Formel 8: Radien des Schwachholzbereichs	39

III Anhang

Fichte Nr. 1

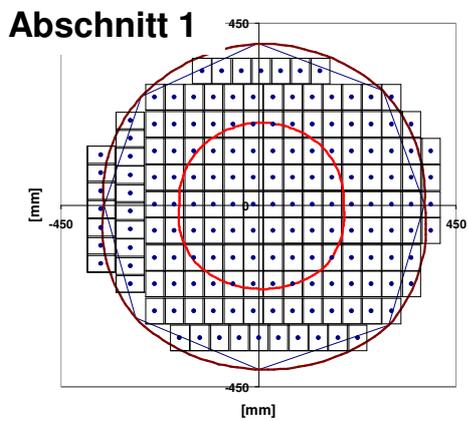
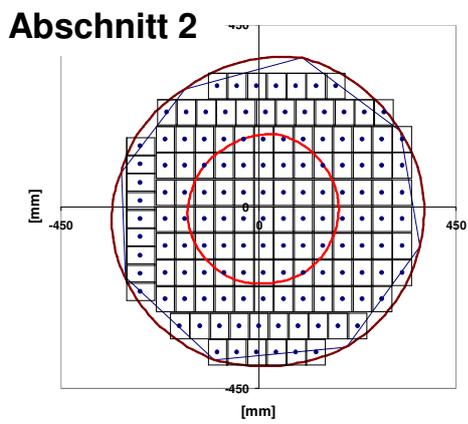
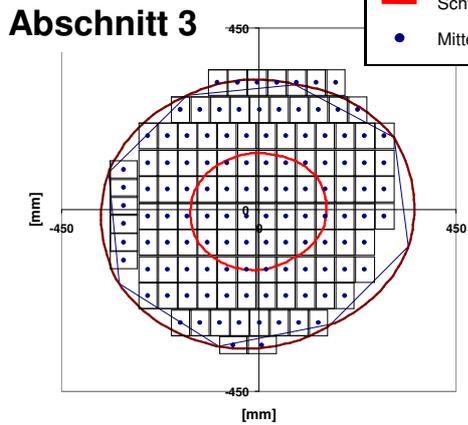
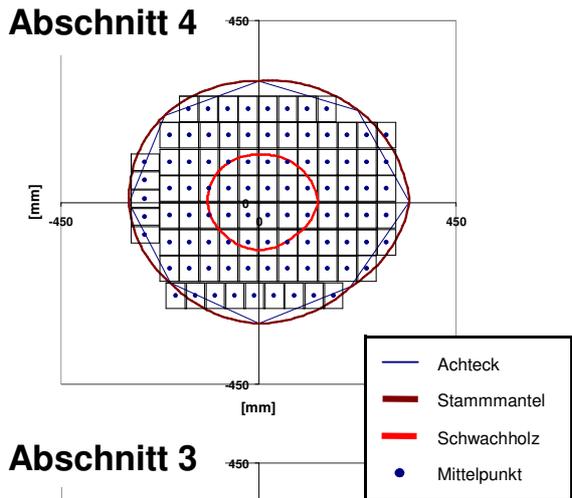


Abb. 1: Fichte Nr. 1
Schnittbild 40 x 60 mm

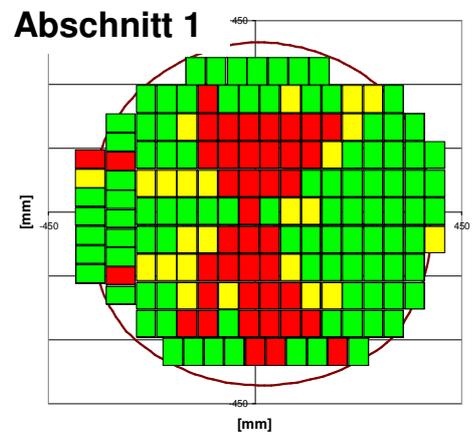
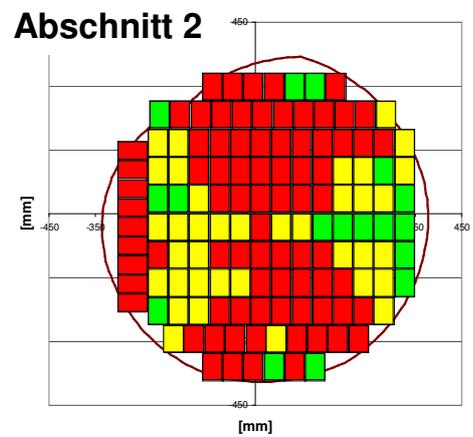
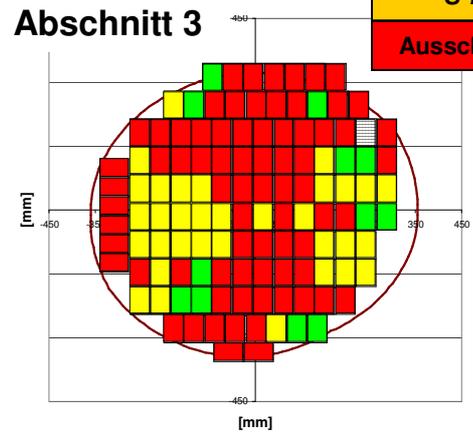
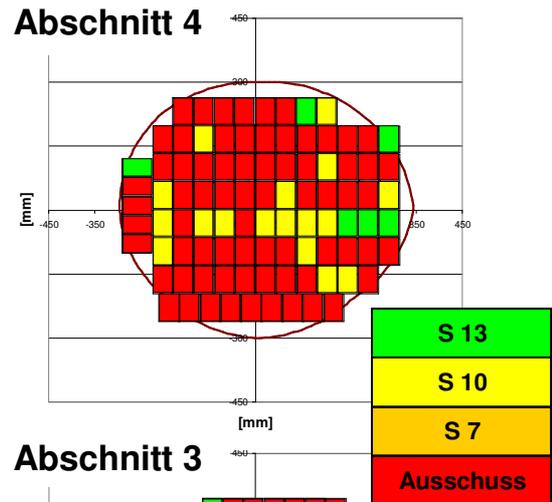
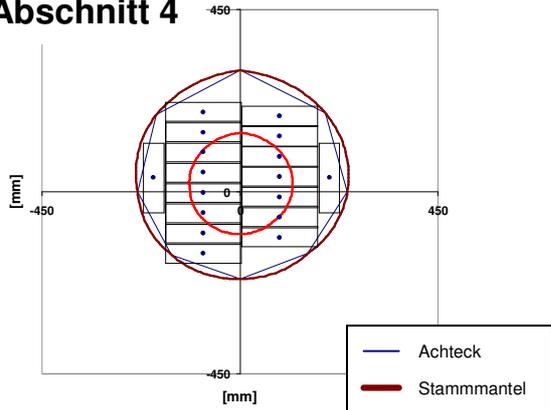


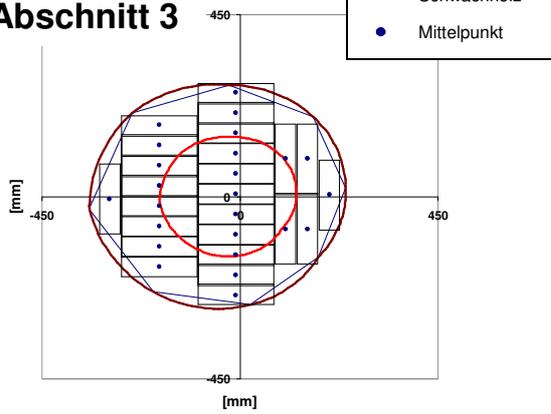
Abb. 2: Fichte Nr. 1
Verteilung der visuellen Sortierklassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 2

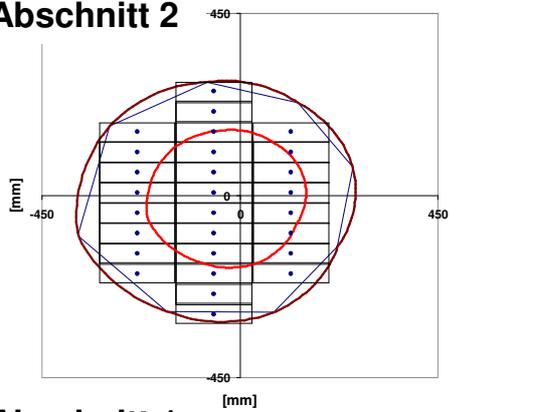
Abschnitt 4



Abschnitt 3



Abschnitt 2



Abschnitt 1

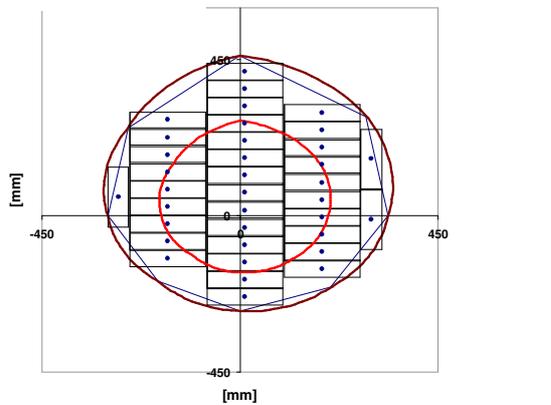


Abb. 3: Fichte Nr. 2
Schnittbild 40 x 160 mm

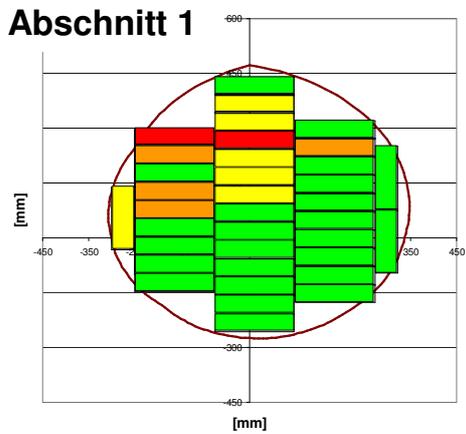
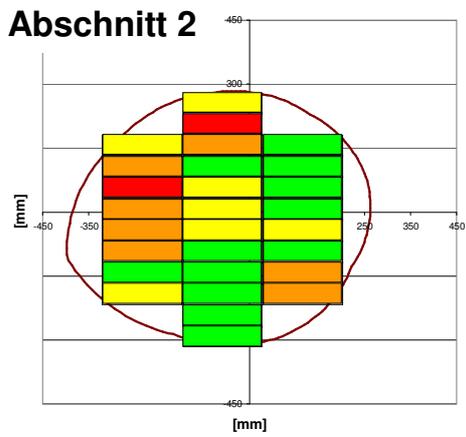
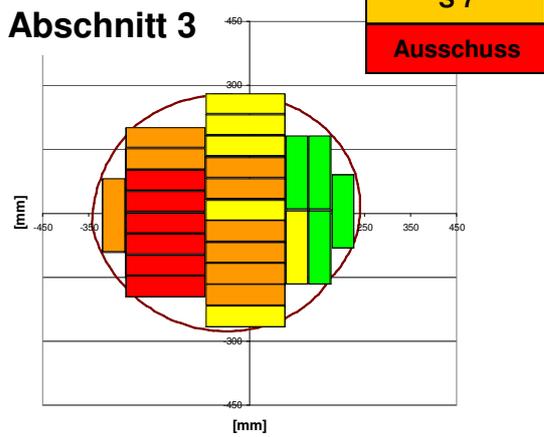
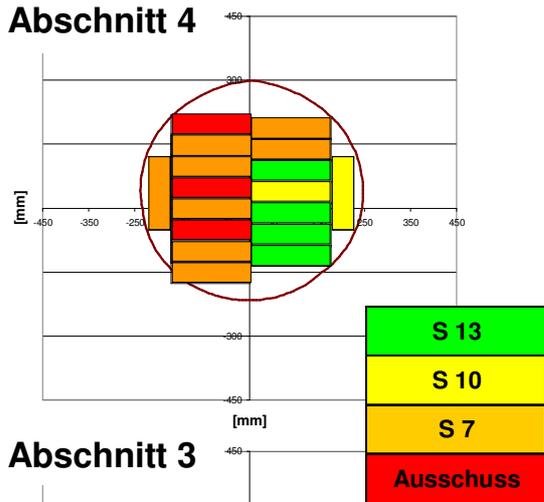


Abb. 4: Fichte Nr. 2
Verteilung der visuellen Sortierklassen im Stammquerschnitt

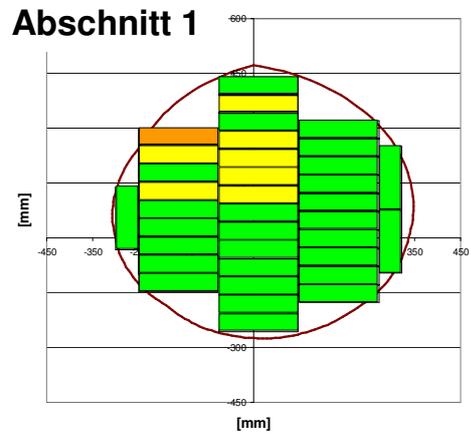
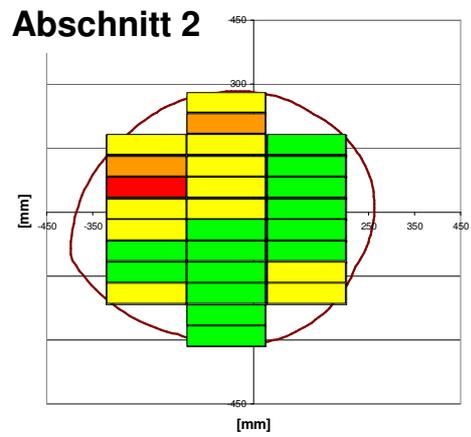
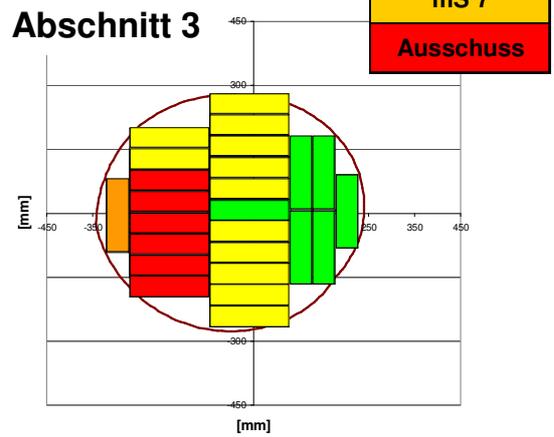
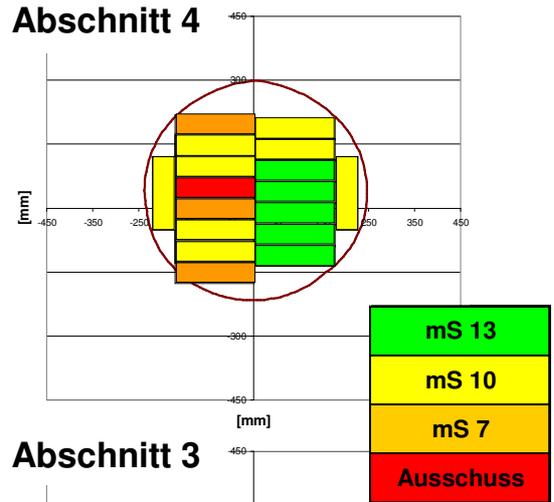


Abb. 5: Fichte Nr. 2
Verteilung der maschinellen Sortierklassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 3

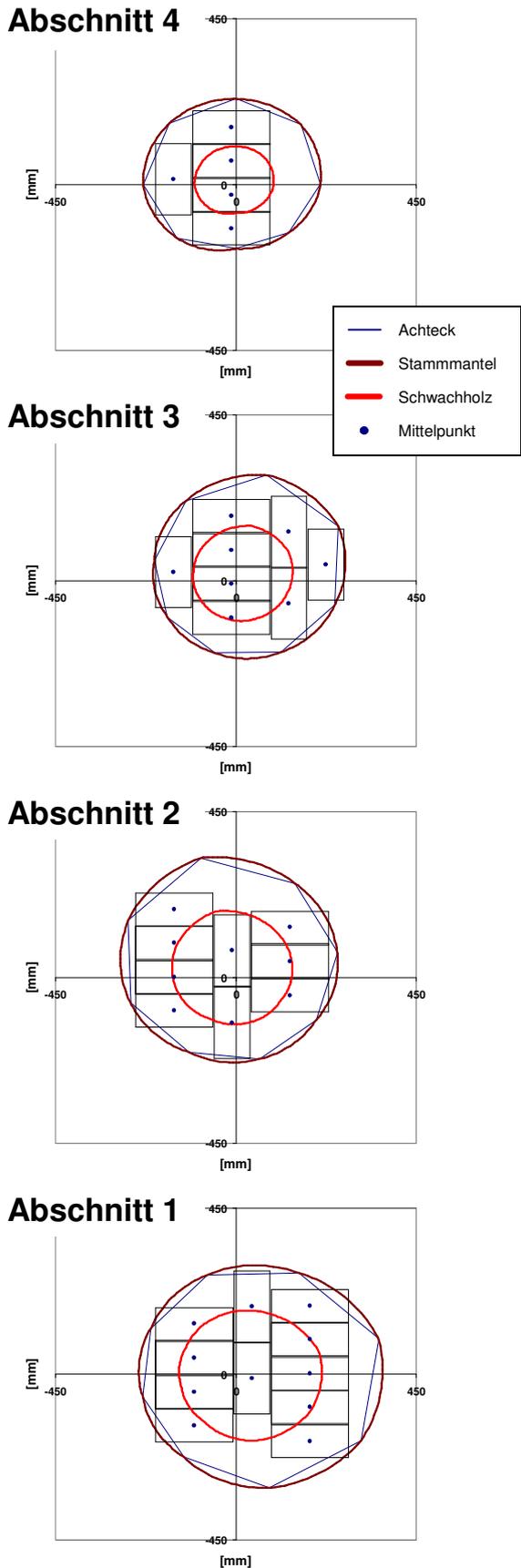


Abb. 6: Fichte Nr. 3
Schnittbild 80 x 180 mm

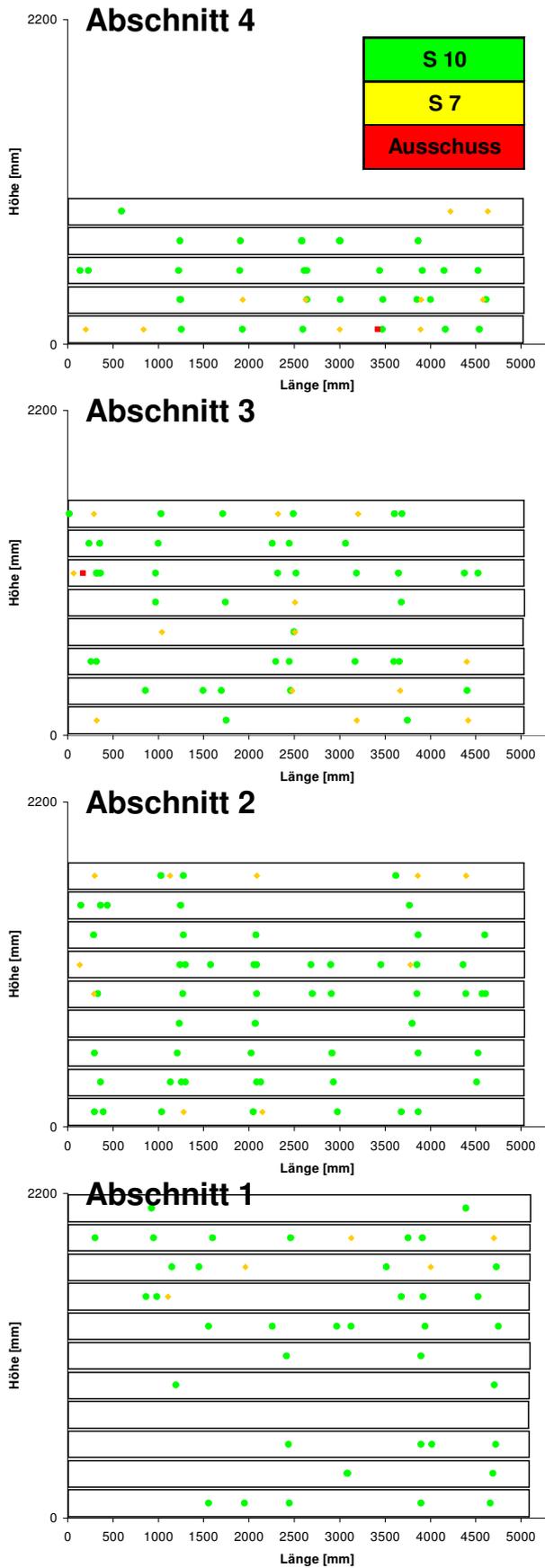


Abb. 7: Fichte Nr. 3
Verteilung sortierentscheidender Äste

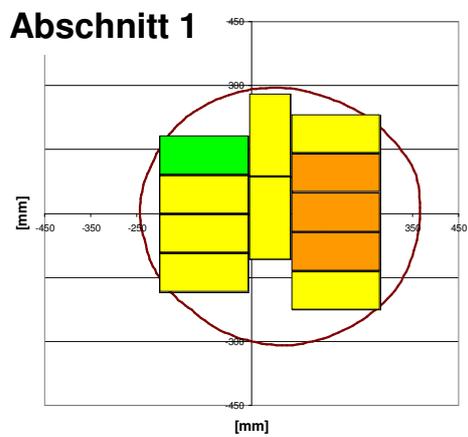
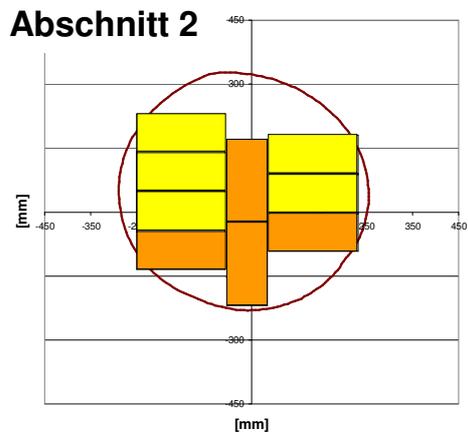
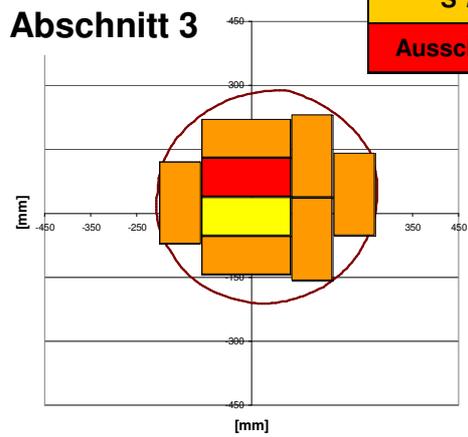
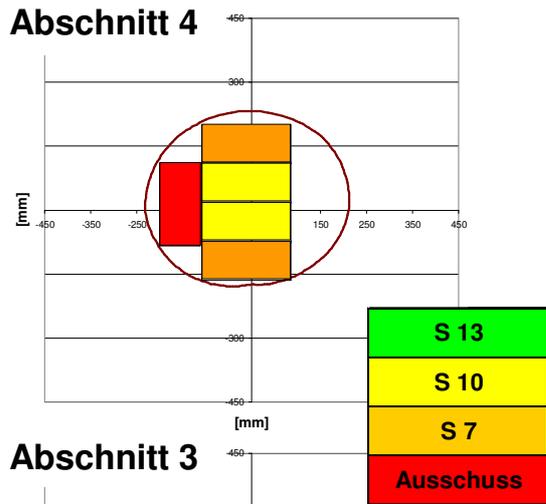


Abb. 8: Fichte Nr. 3
Verteilung der visuellen Sortierklassen im Stammquerschnitt

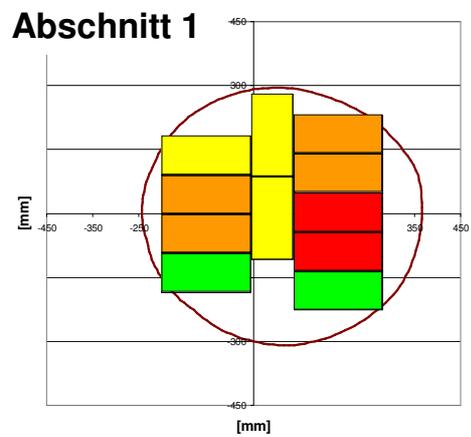
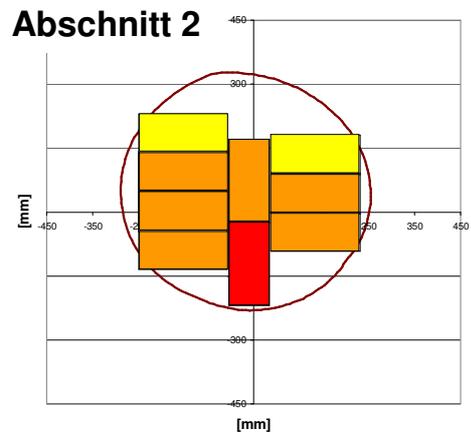
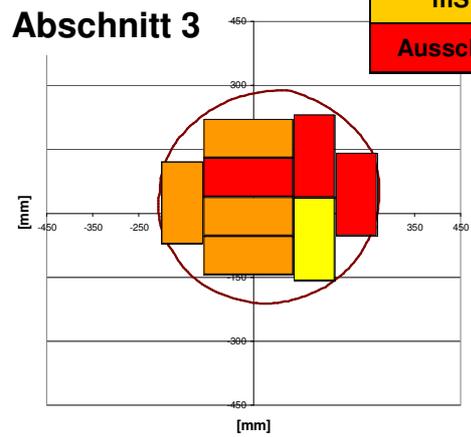
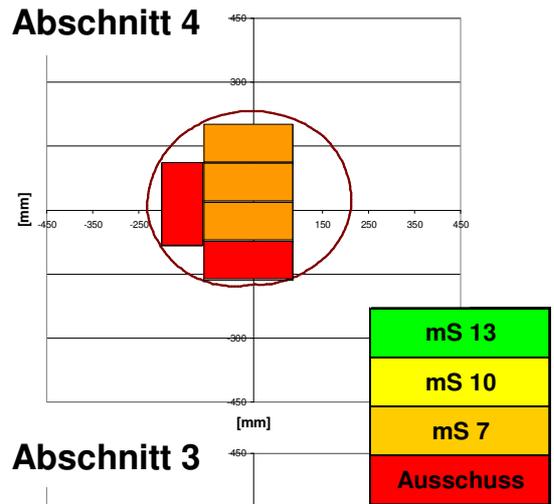


Abb. 9: Fichte Nr. 3
Verteilung der maschinellen Sortierklassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 4

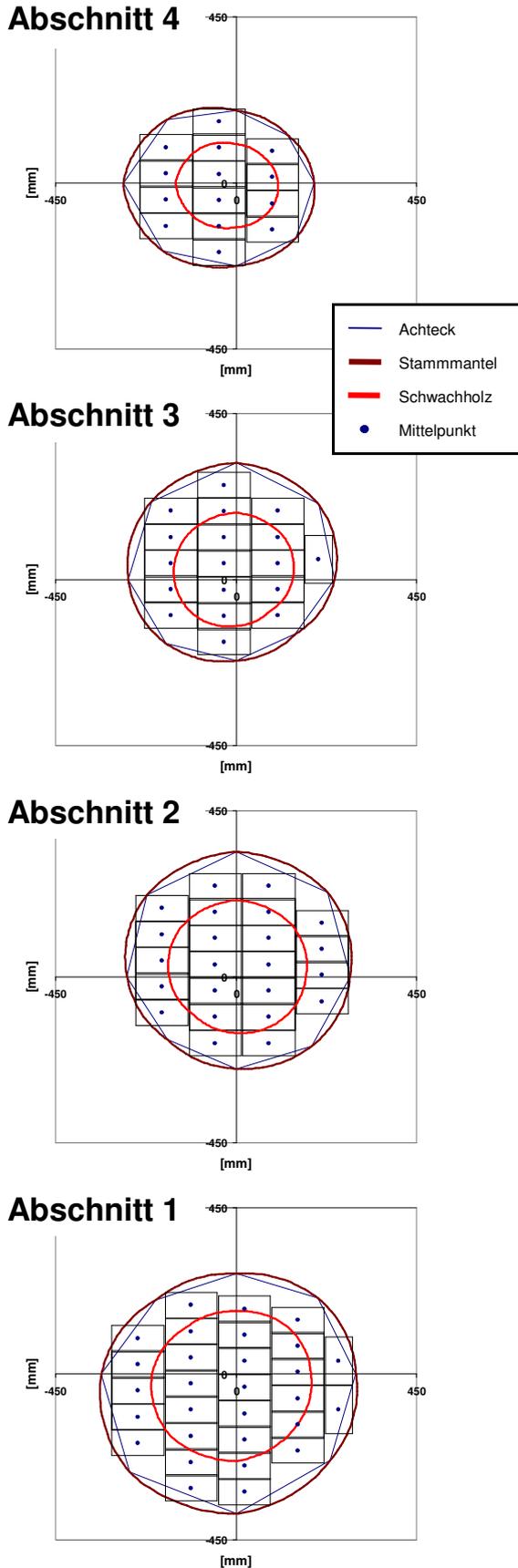


Abb. 10: Fichte Nr. 4
 Schnittbild 60 x 120 mm

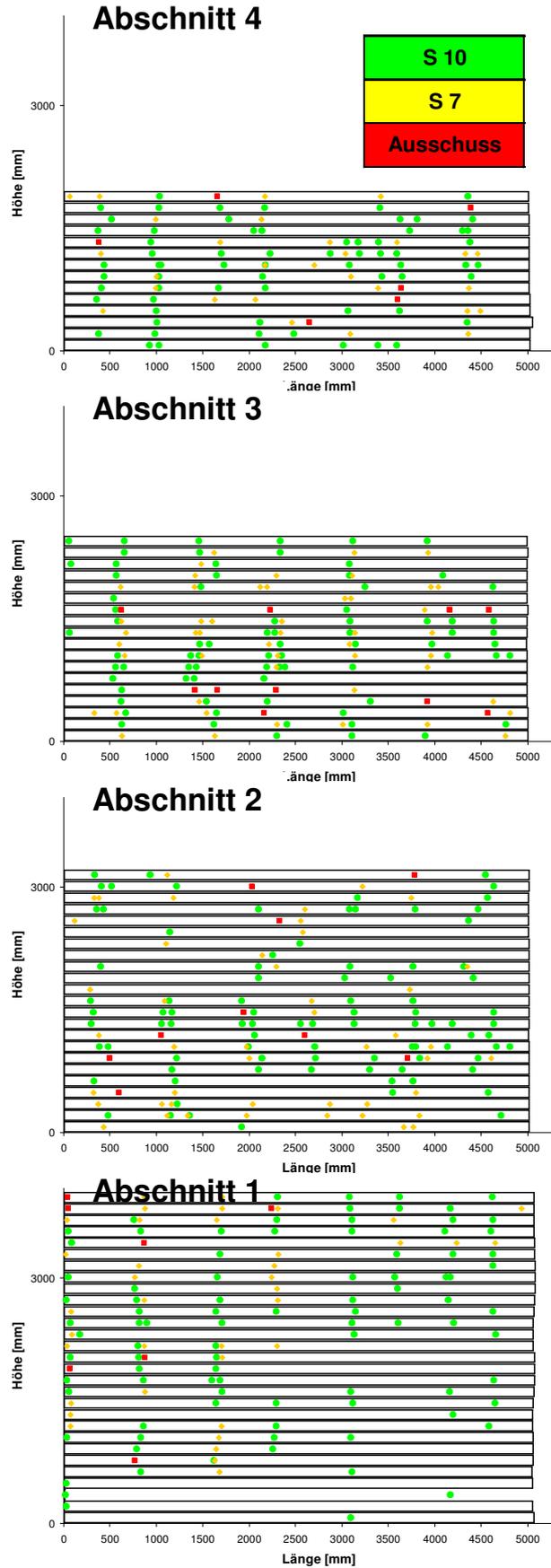


Abb. 11: Fichte Nr. 4
 Verteilung sortierentscheidender Äste

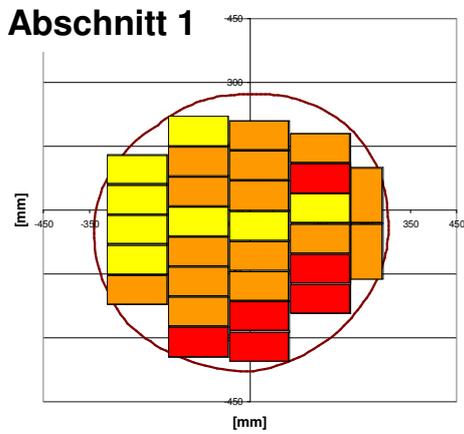
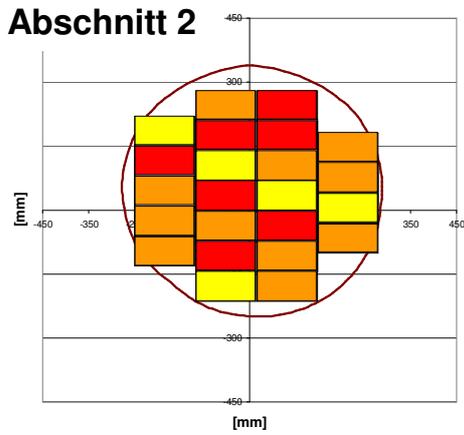
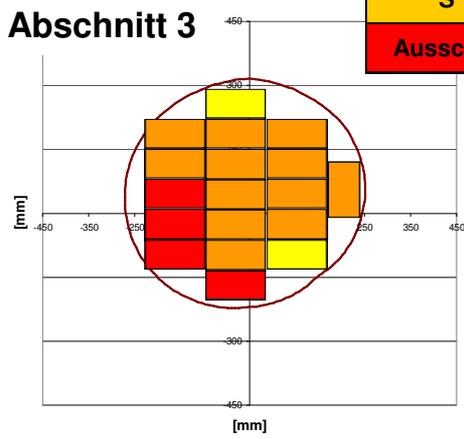
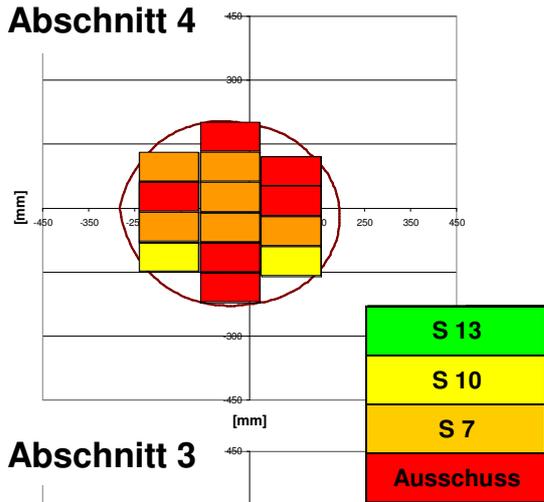


Abb. 12: Fichte Nr. 4
Verteilung der visuellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

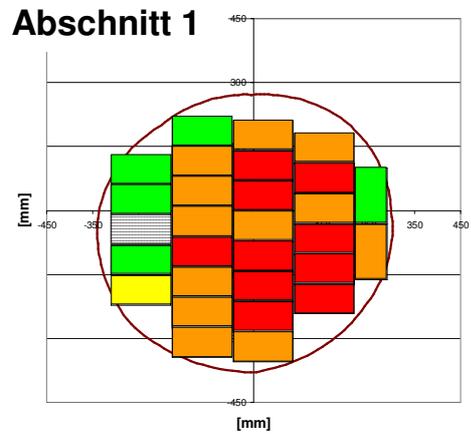
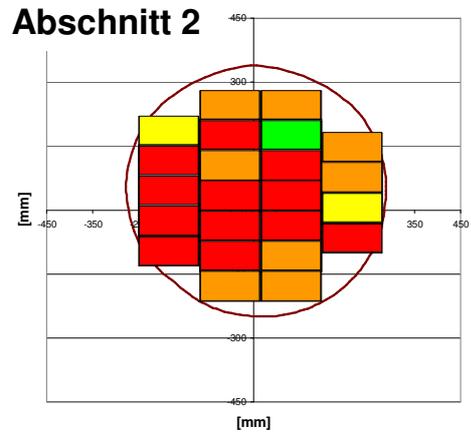
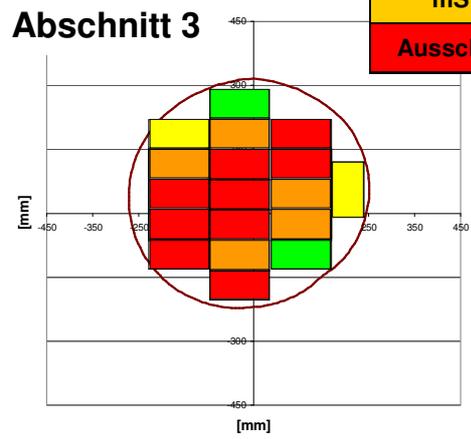
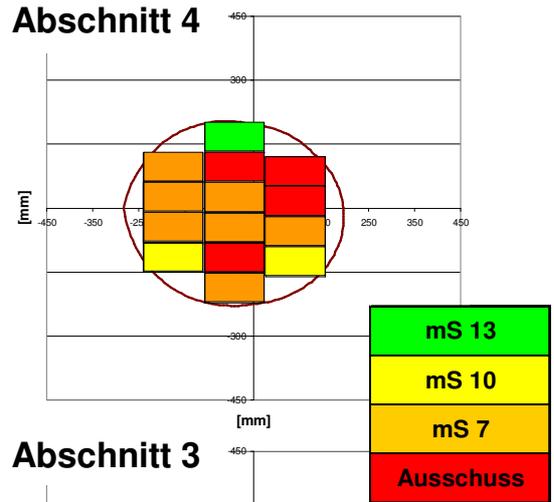


Abb. 13: Fichte Nr. 4
Verteilung der maschinellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 5

Abschnitt 4

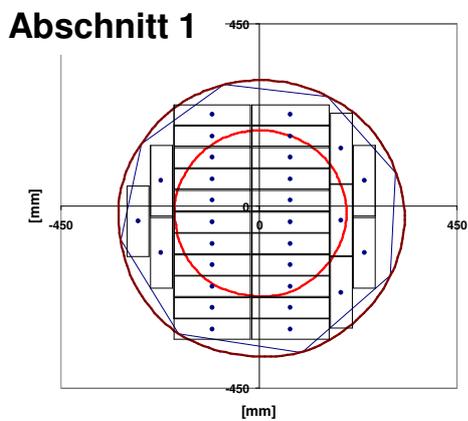
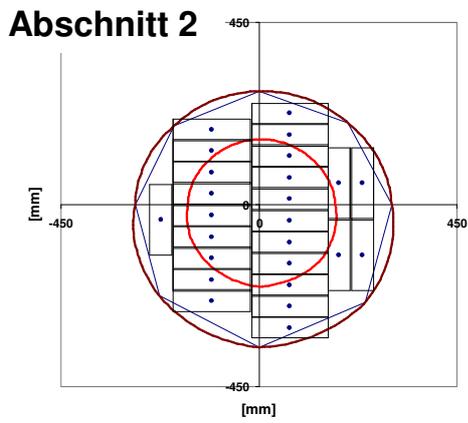
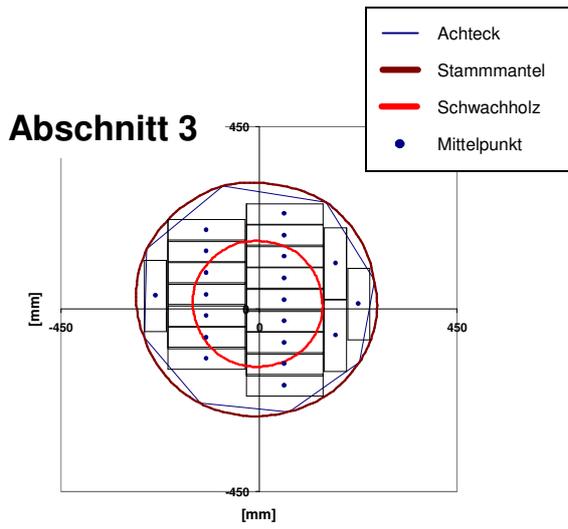


Abb. 14: Fichte Nr. 5
Schnittbild 40 x 160 mm

Abschnitt 4

Abschnitt 4

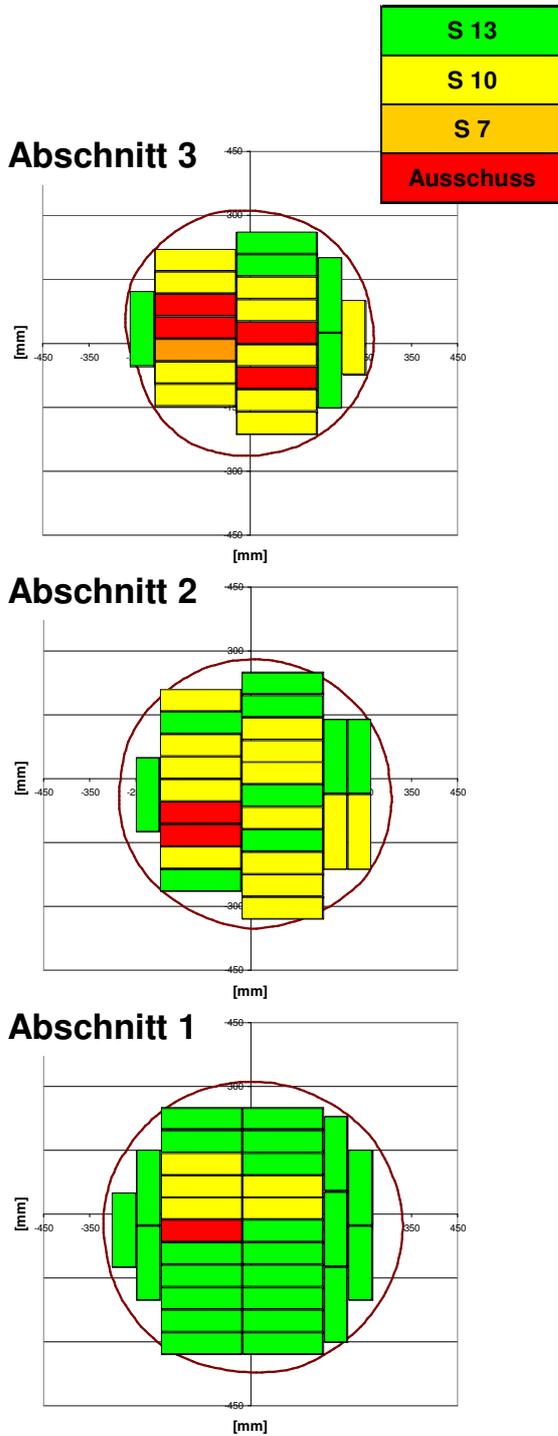


Abb. 15: Fichte Nr. 5
Verteilung der visuellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

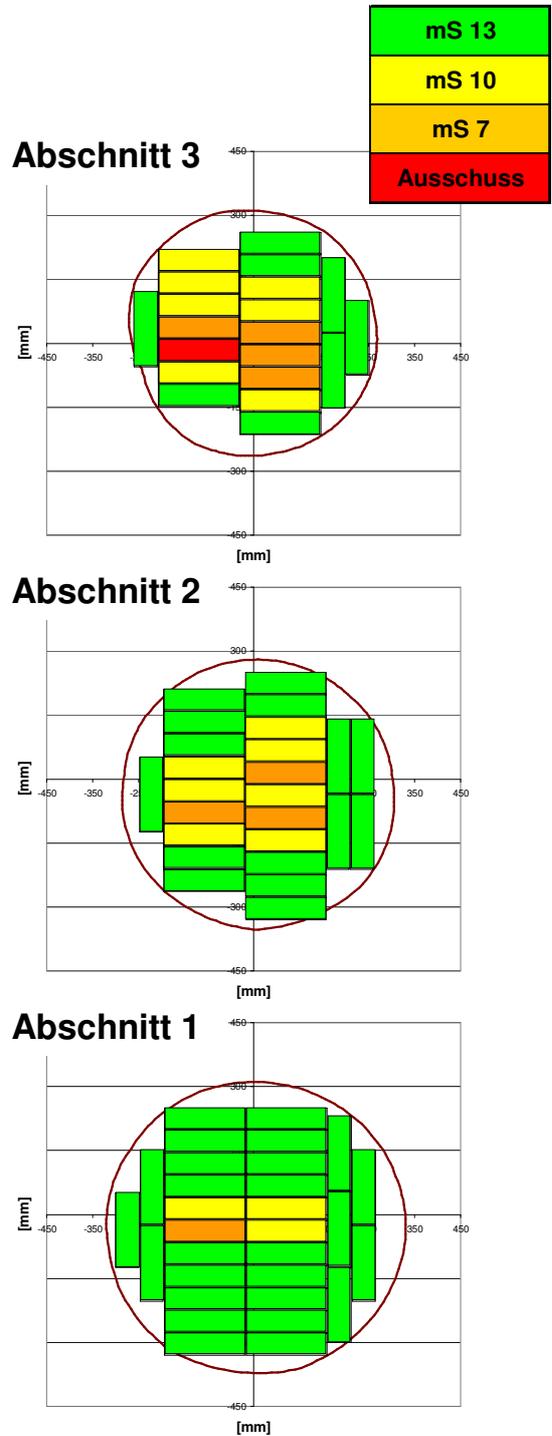


Abb. 16: Fichte Nr. 5
Verteilung der maschinellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 6

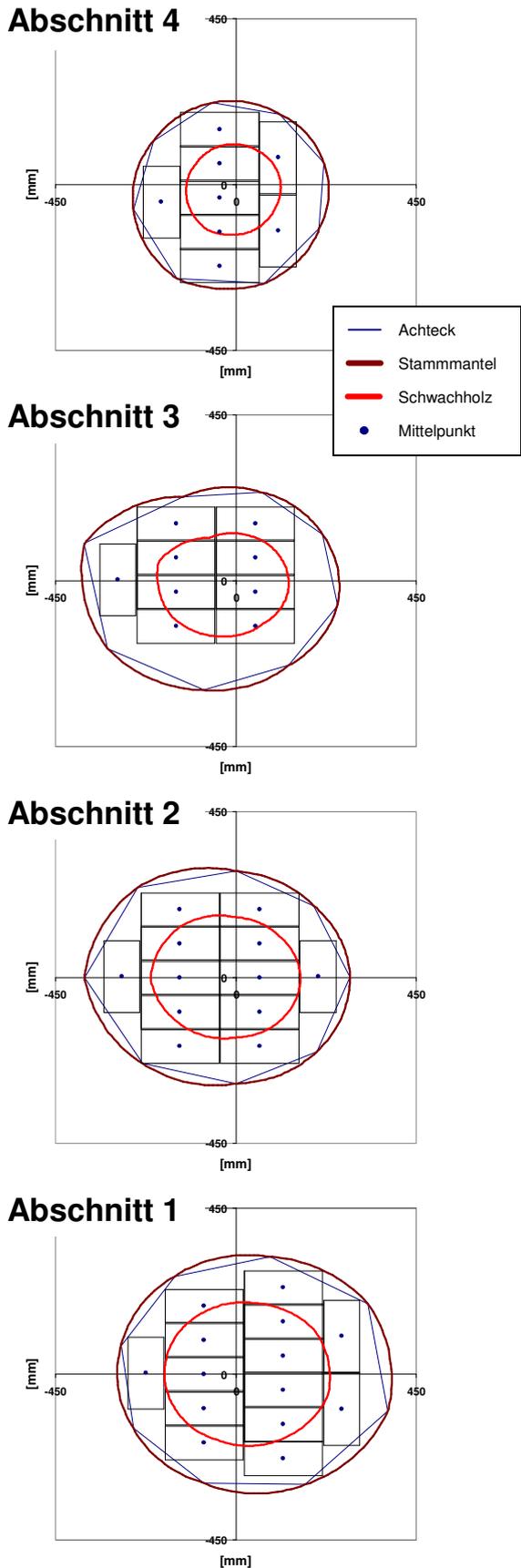


Abb. 17: Fichte Nr. 6
Schnittbild 80 x 180 mm

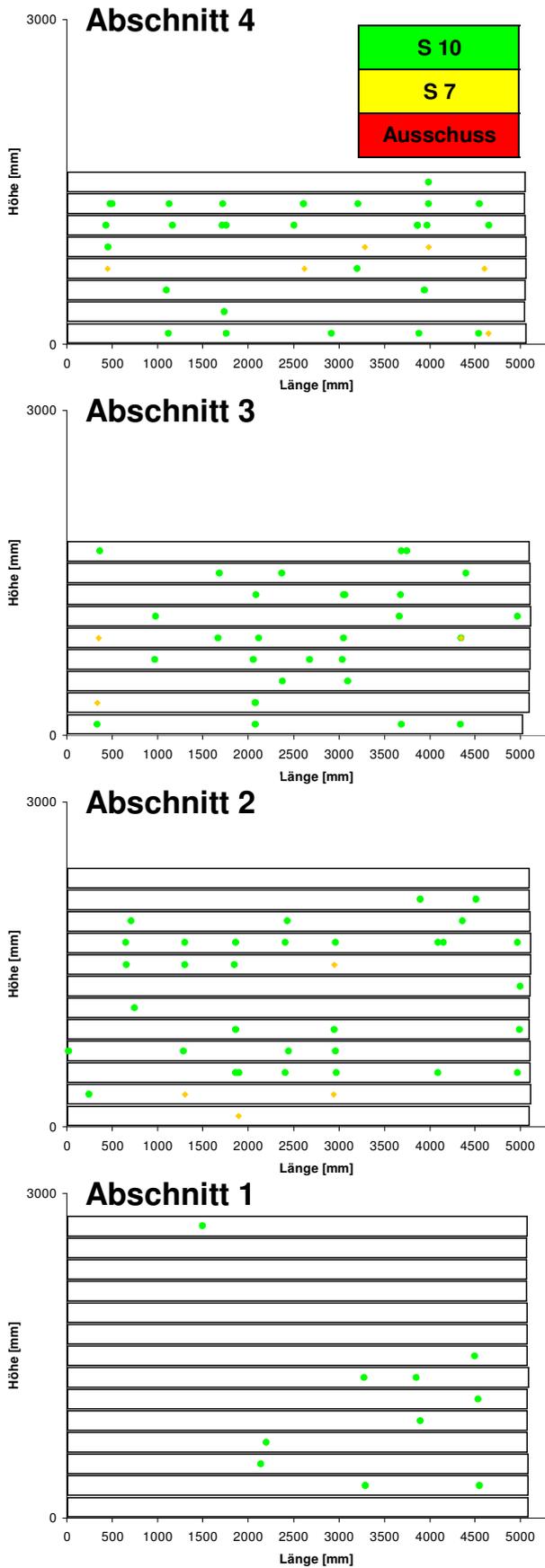


Abb. 18: Fichte Nr. 6
Verteilung sortierentscheidender Äste

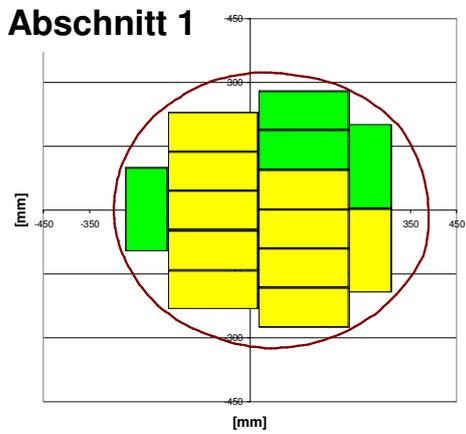
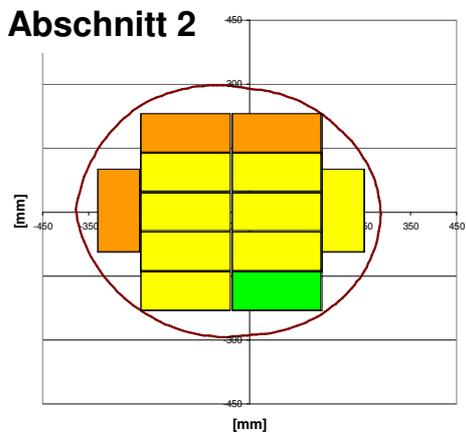
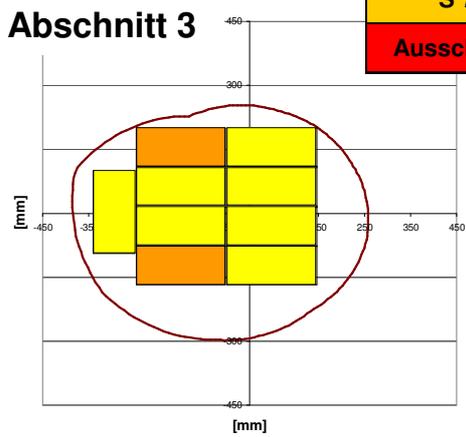
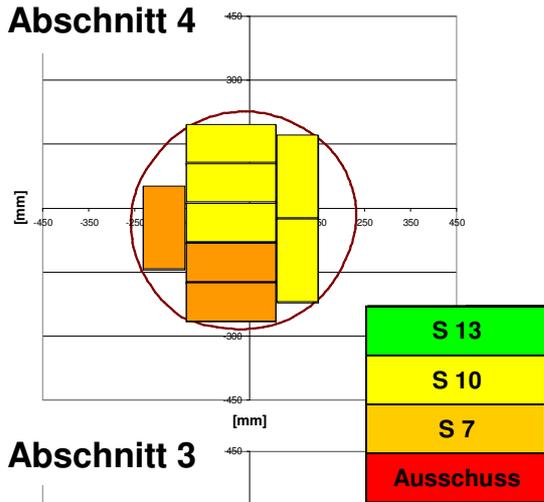


Abb. 19: Fichte Nr. 6
Verteilung der visuellern Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

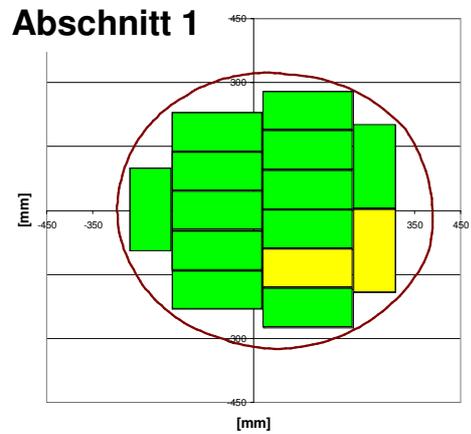
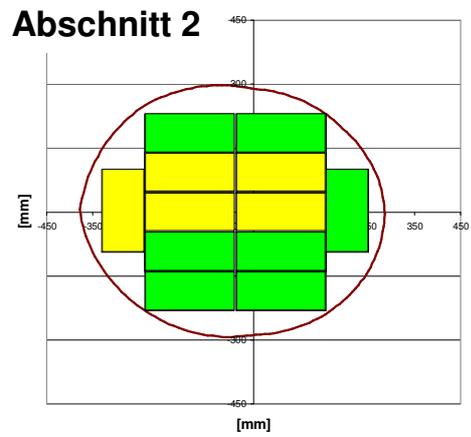
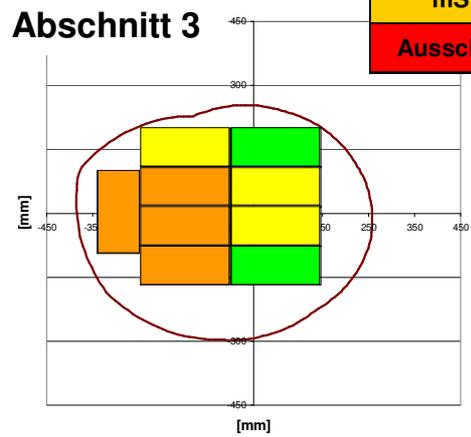
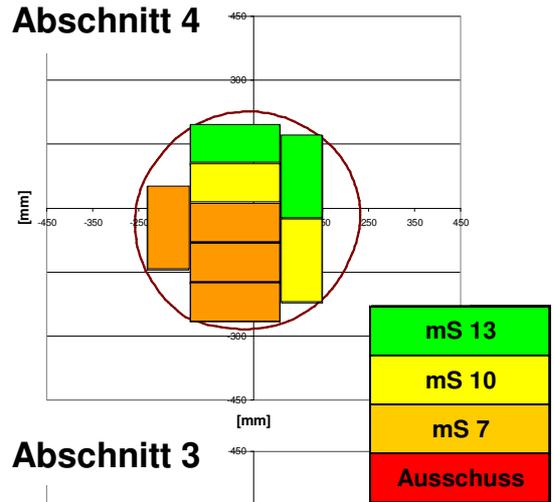


Abb. 20: Fichte Nr. 6
Verteilung der maschinellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 7

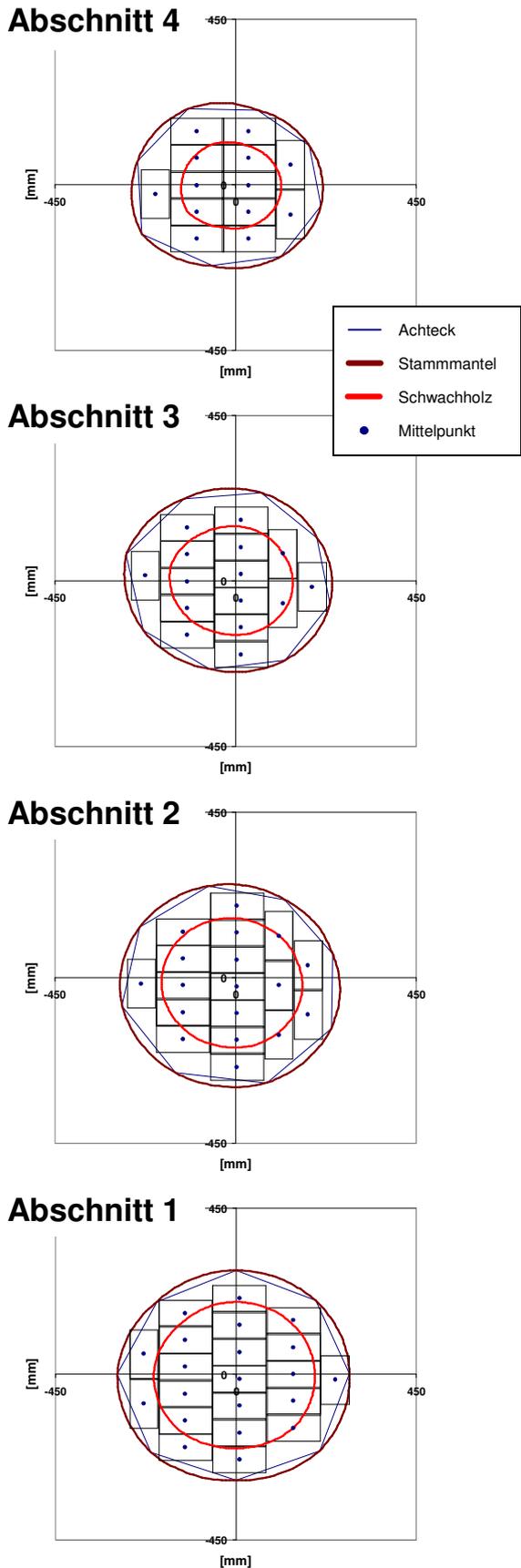


Abb. 21: Fichte Nr. 7
Schnittbild 60 x 120 mm

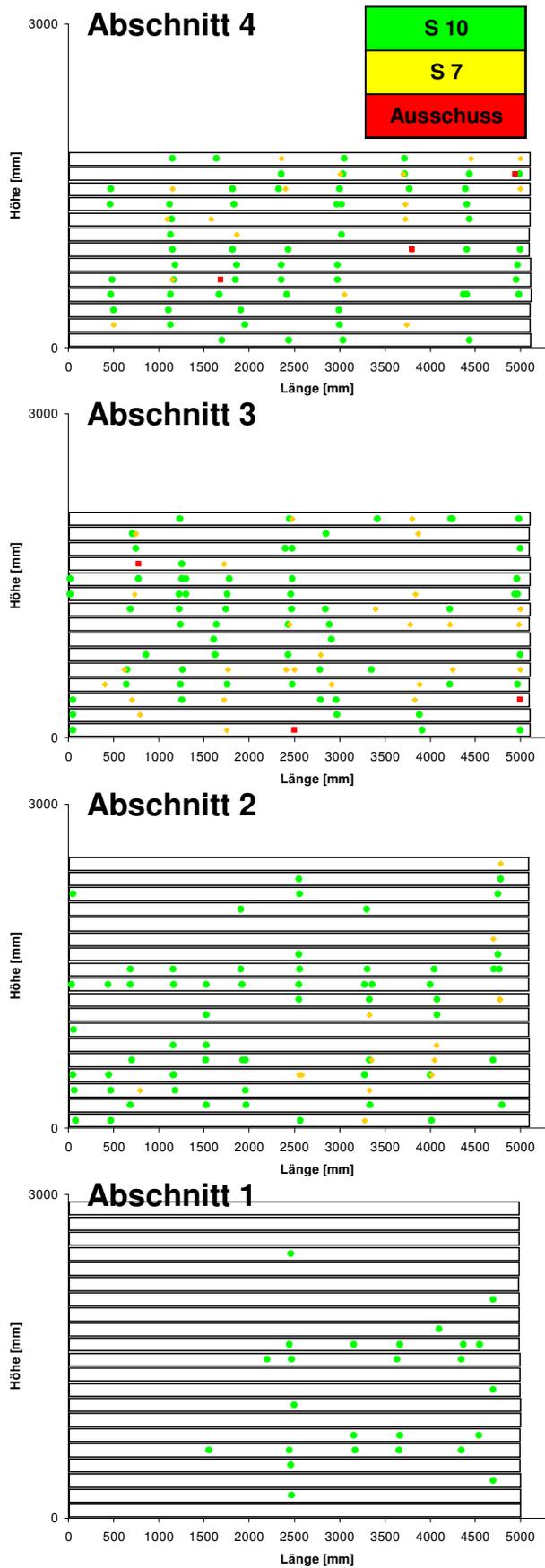


Abb. 22: Fichte Nr. 7
Verteilung sortierentscheidender Äste

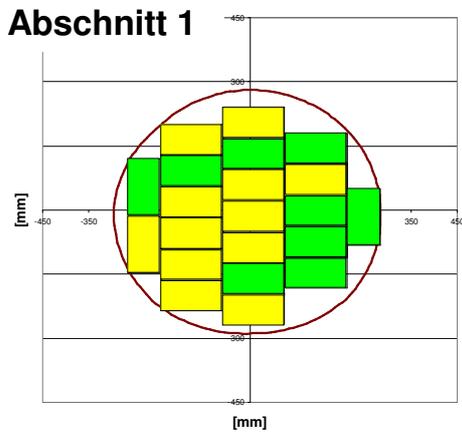
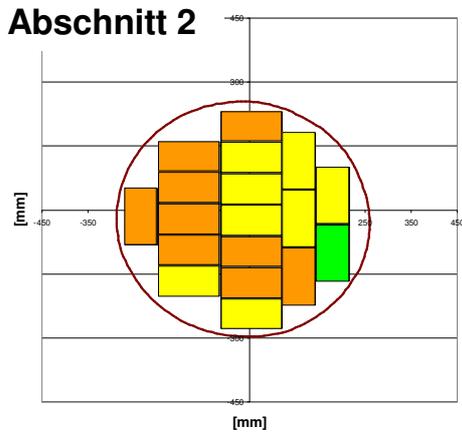
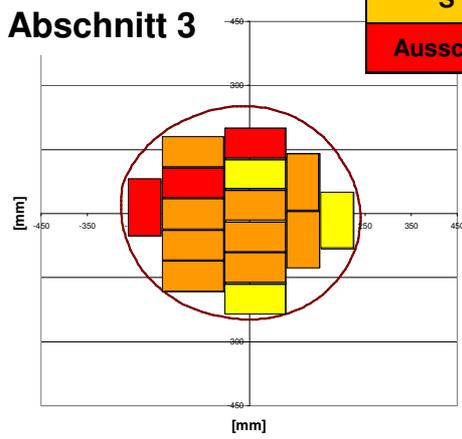
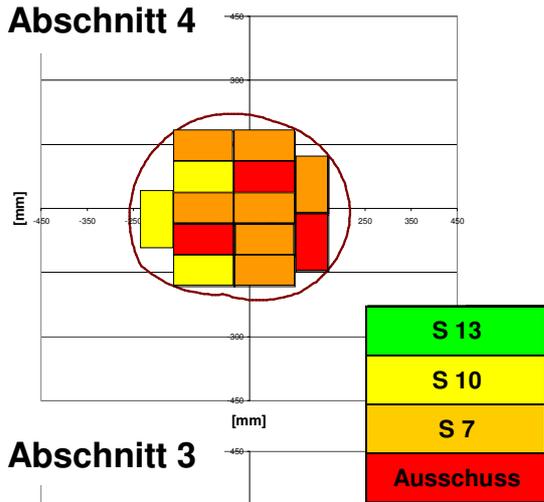


Abb. 23: Fichte Nr. 7
Verteilung der visuellen Sortierklassen im Stammquerschnitt

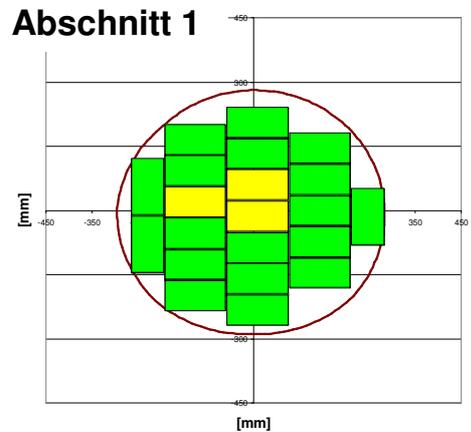
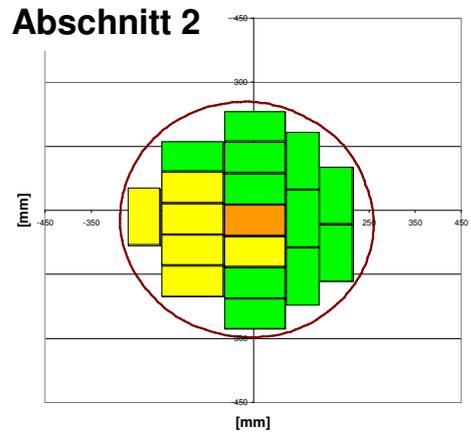
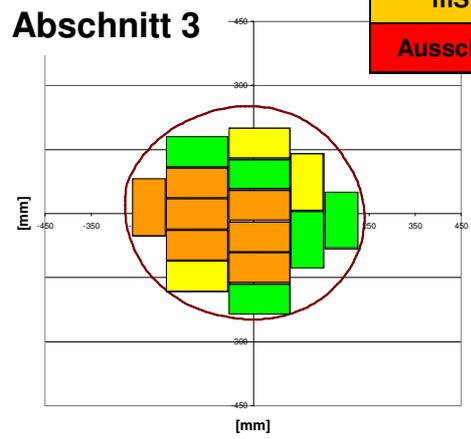
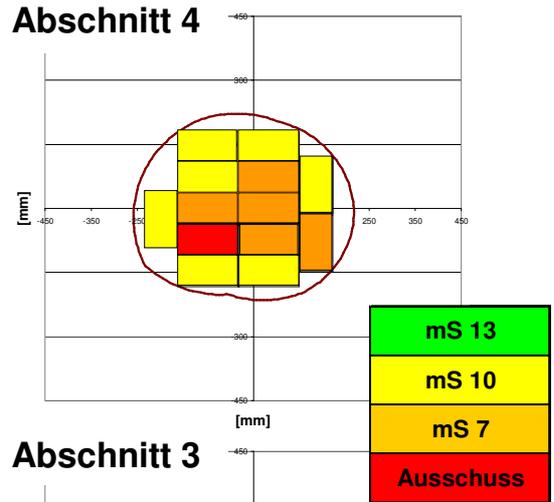


Abb. 24: Fichte Nr. 7
Verteilung der maschinellen Sortierklassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 8

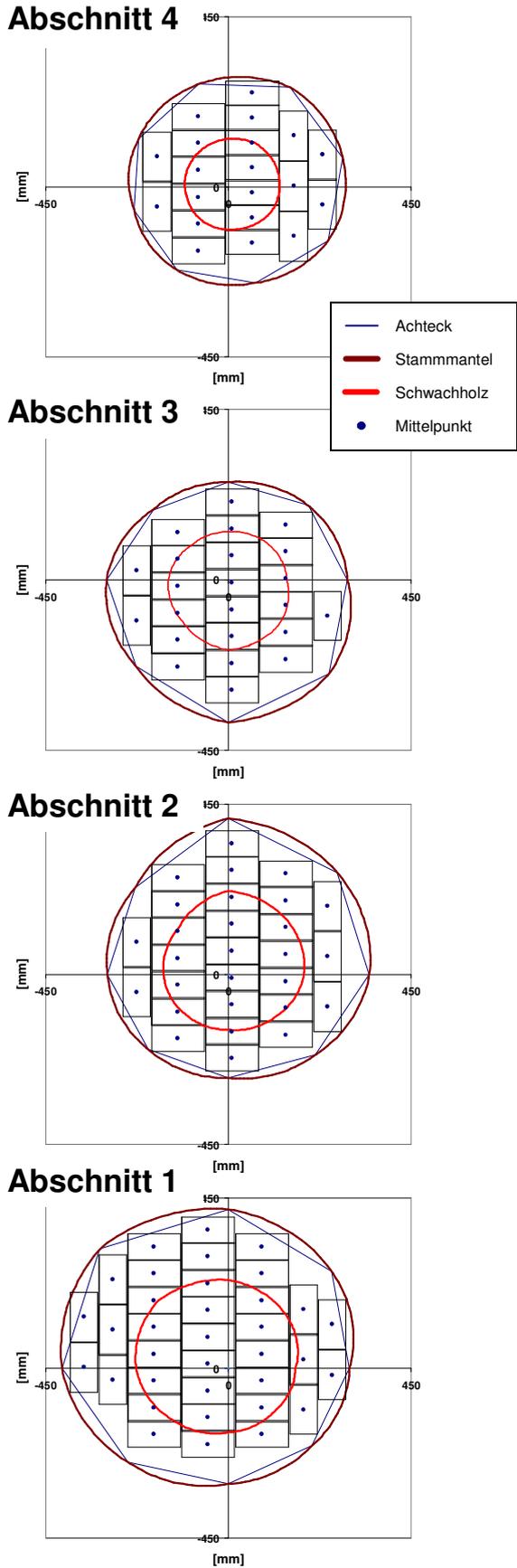


Abb. 25: Fichte Nr. 8
Schnittbild 60 x 120 mm

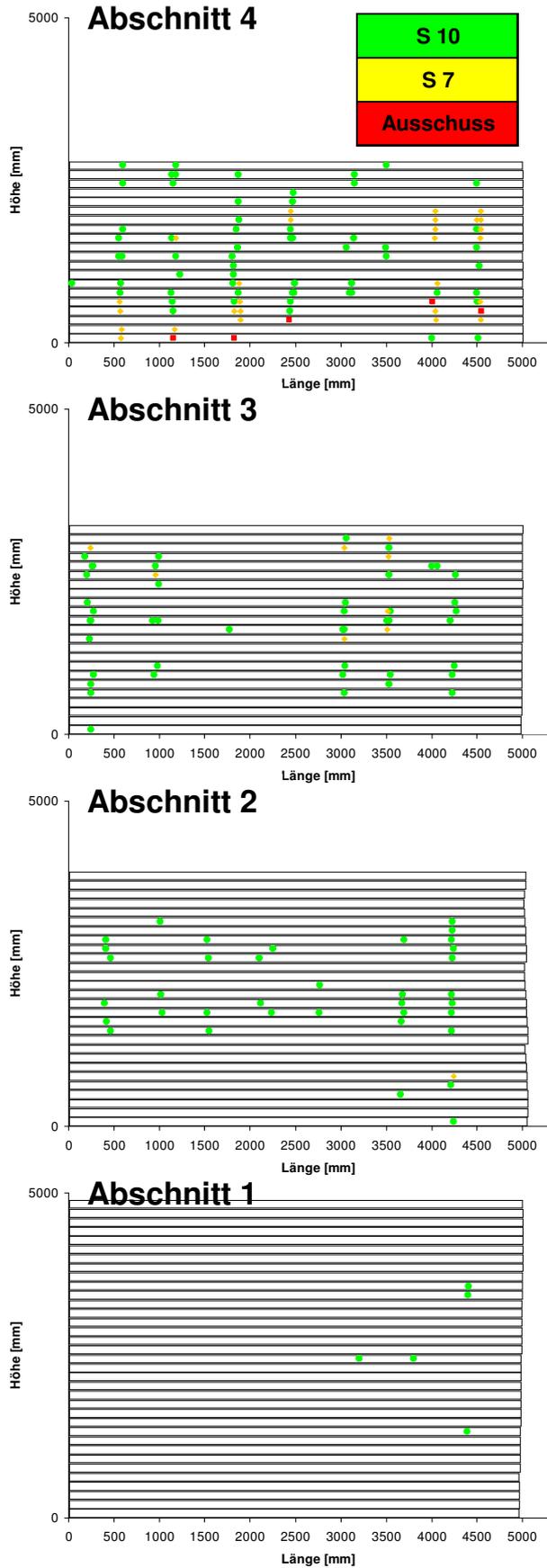


Abb. 26: Fichte Nr. 8
Verteilung sortierentscheidender Äste

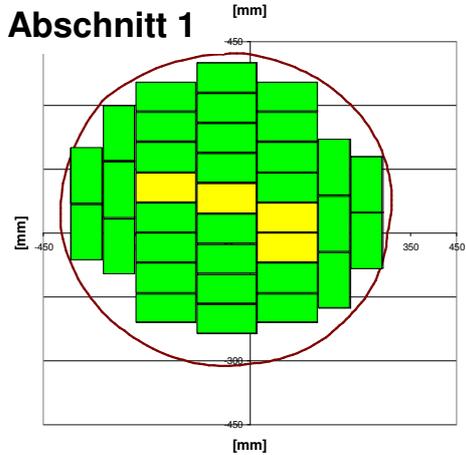
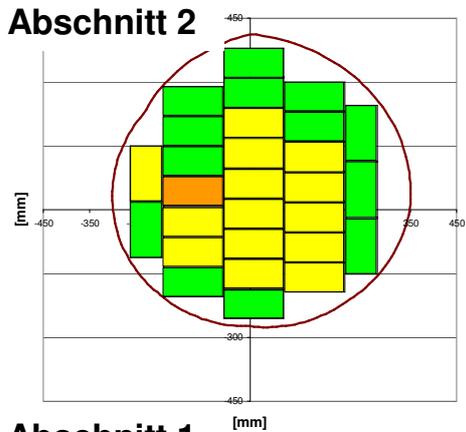
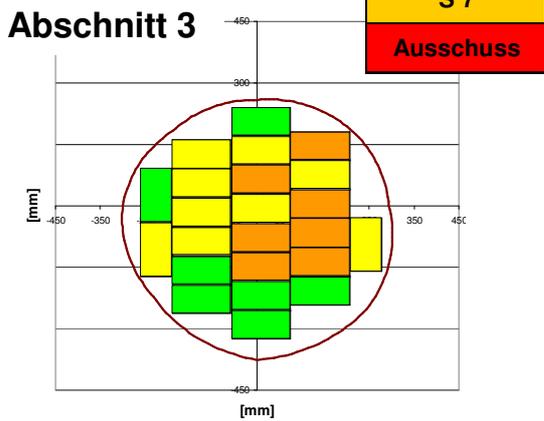
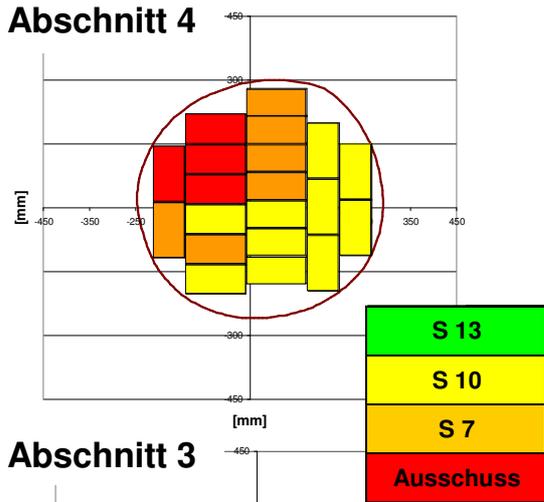


Abb. 27: Fichte Nr. 8
Verteilung der visuellen Sortierklassen im Stammquerschnitt

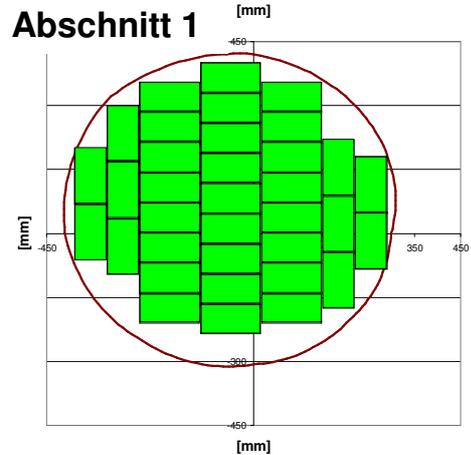
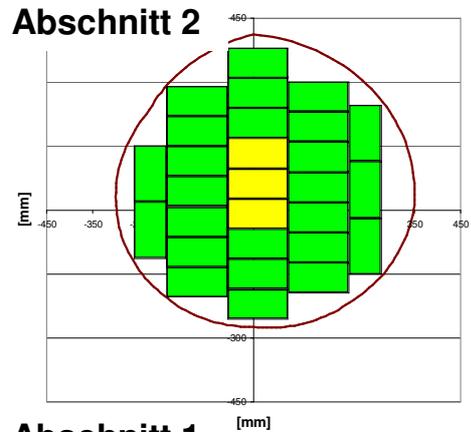
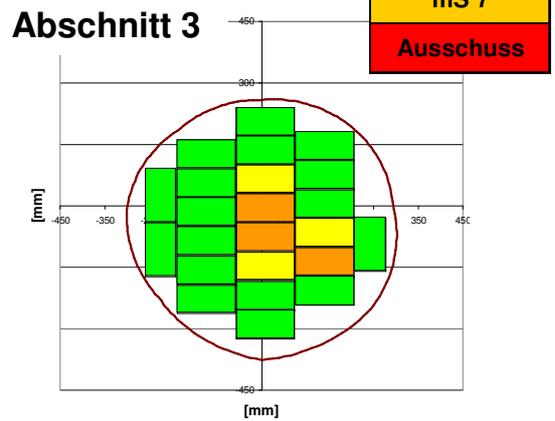
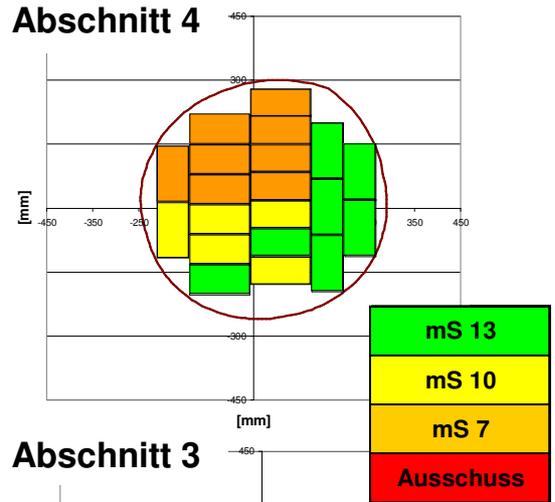


Abb. 28: Fichte Nr. 8
Verteilung der maschinellen Sortierklassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 9

Abschnitt 4

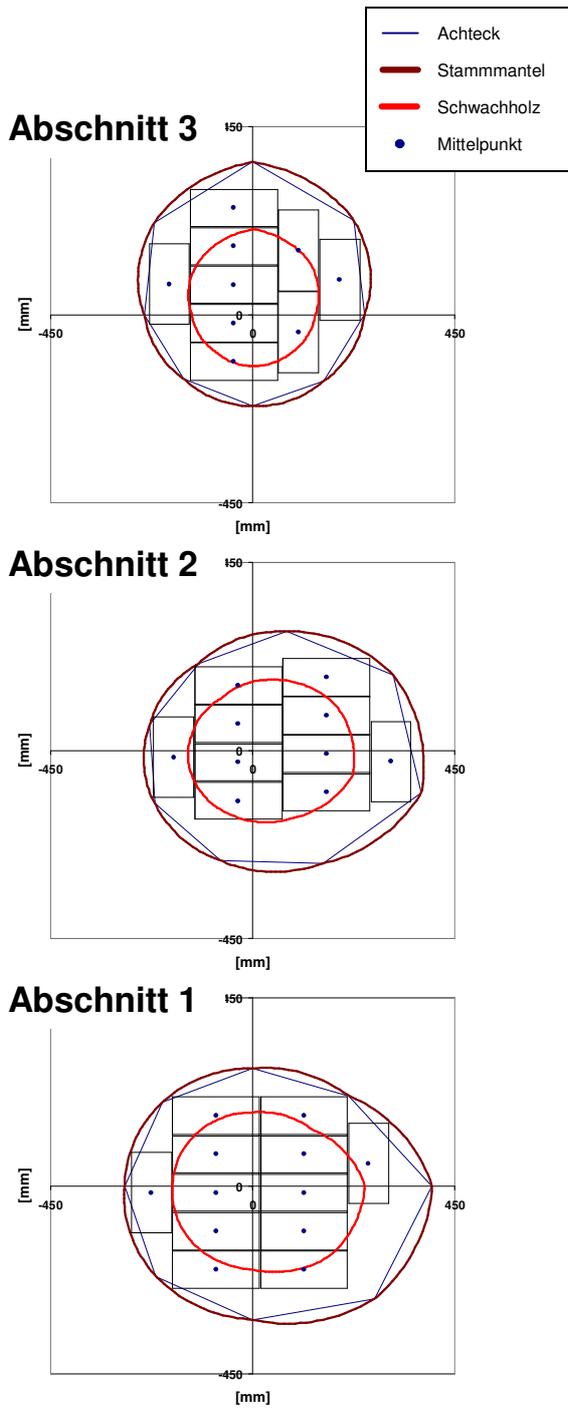


Abb. 29: Fichte Nr. 9
Schnittbild 80 x 180 mm

Abschnitt 4

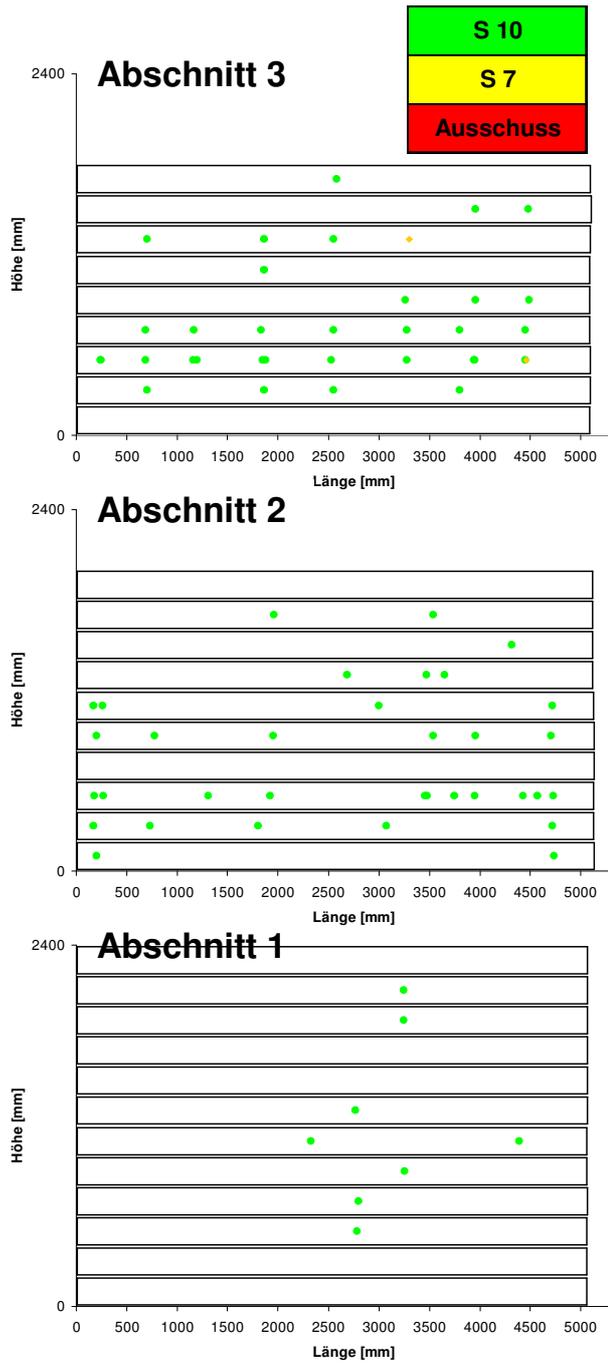


Abb. 30: Fichte Nr. 9
Verteilung sortierentscheidender Äste

Abschnitt 4

Abschnitt 4

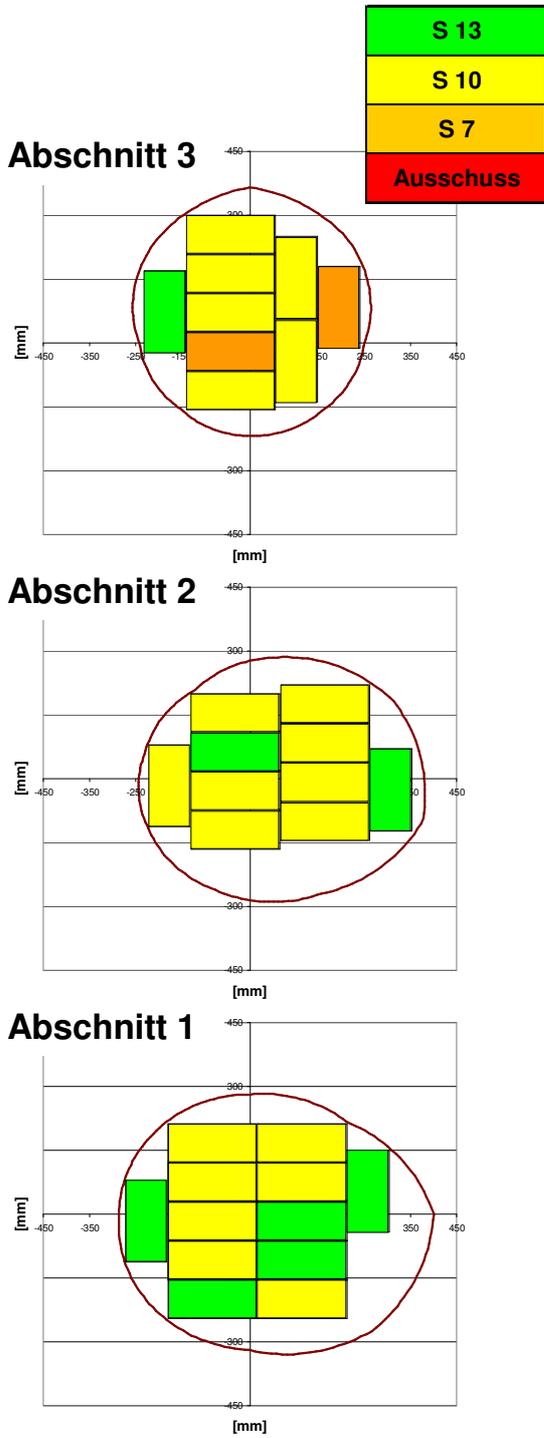


Abb. 31: Fichte Nr. 9
Verteilung der visuellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

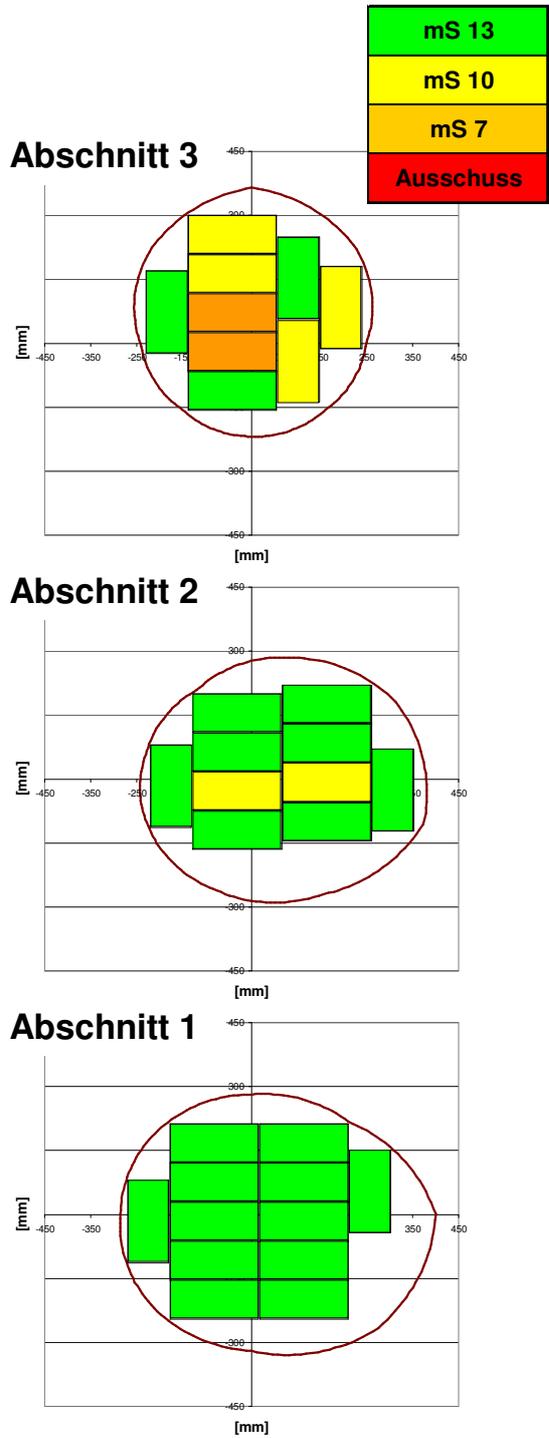
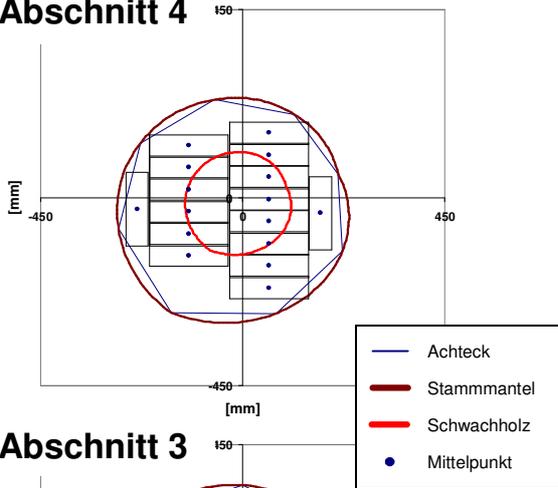


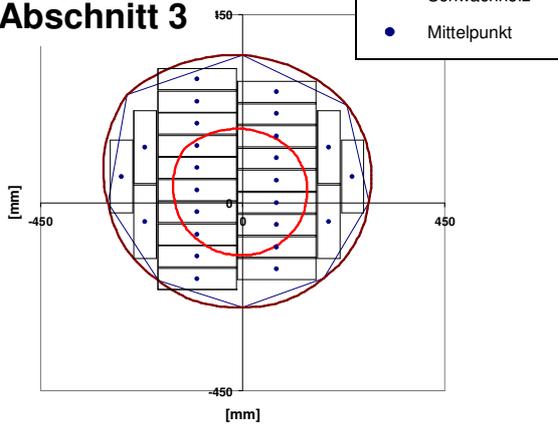
Abb. 32: Fichte Nr. 9
Verteilung der maschinellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 10

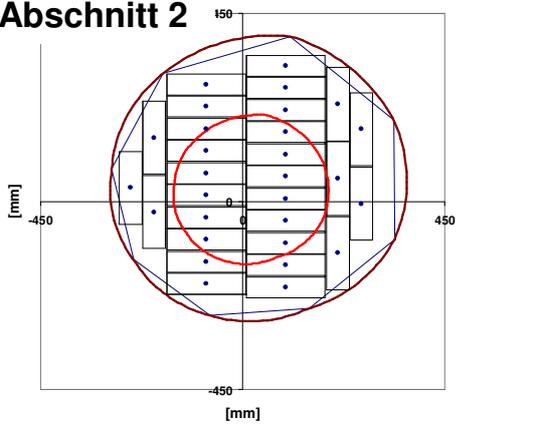
Abschnitt 4



Abschnitt 3



Abschnitt 2



Abschnitt 1

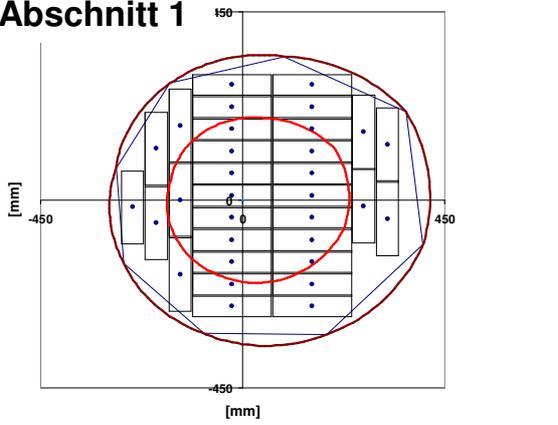


Abb. 33: Fichte Nr. 10
Schnittbild 40 x 160 mm

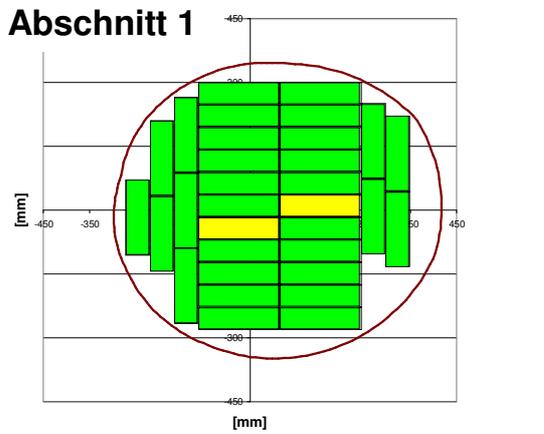
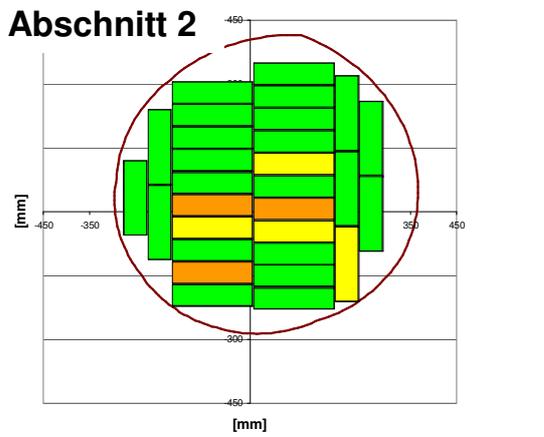
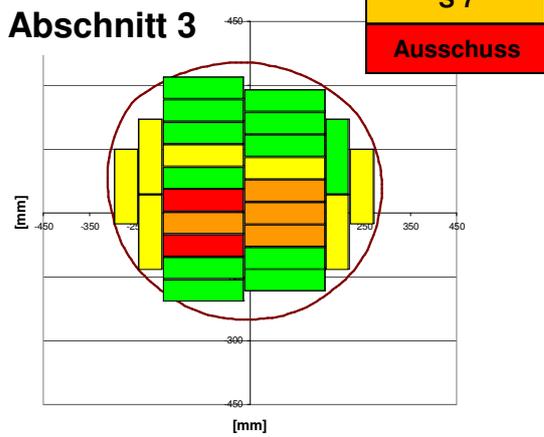
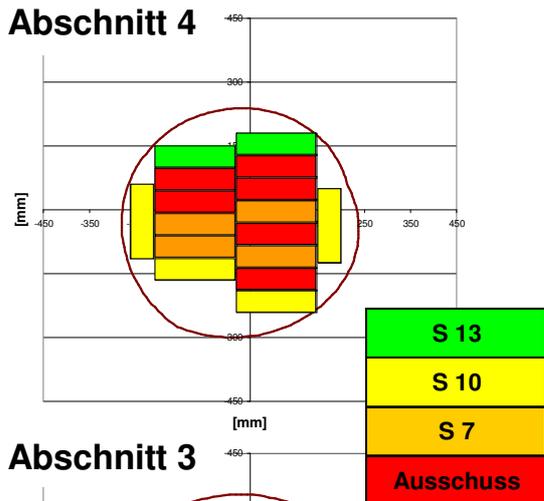


Abb. 34: Fichte Nr. 10
Verteilung der visuellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

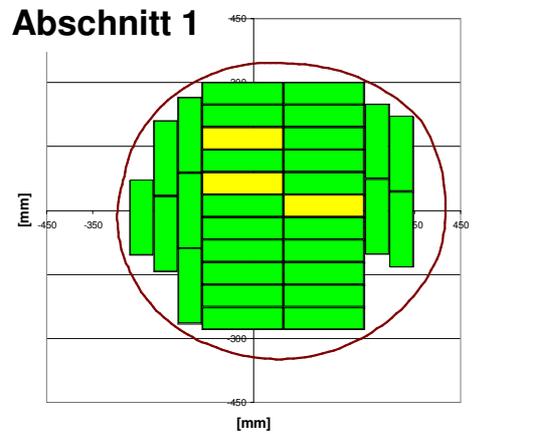
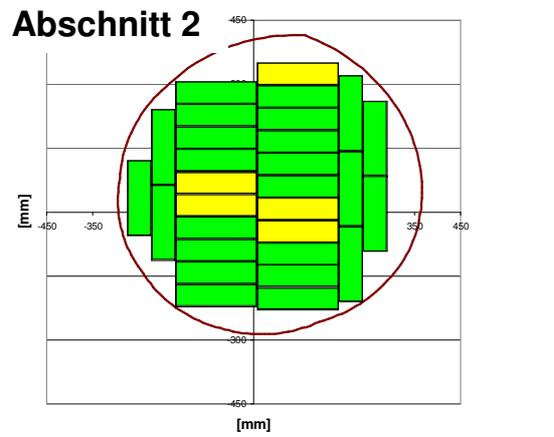
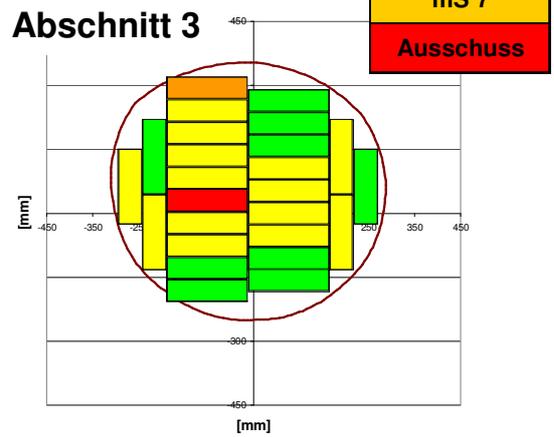
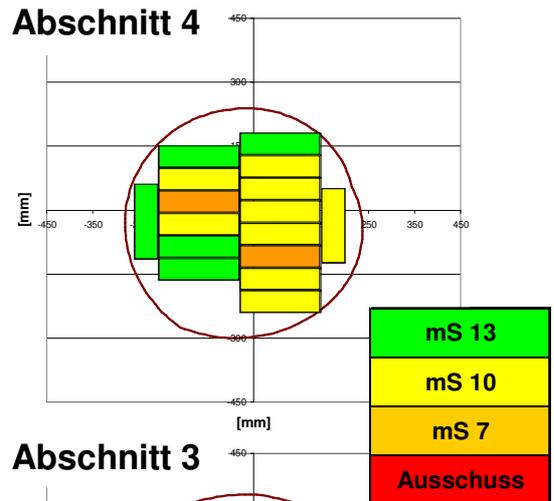


Abb. 35: Fichte Nr. 10
Verteilung der maschinellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 11

Abschnitt 4

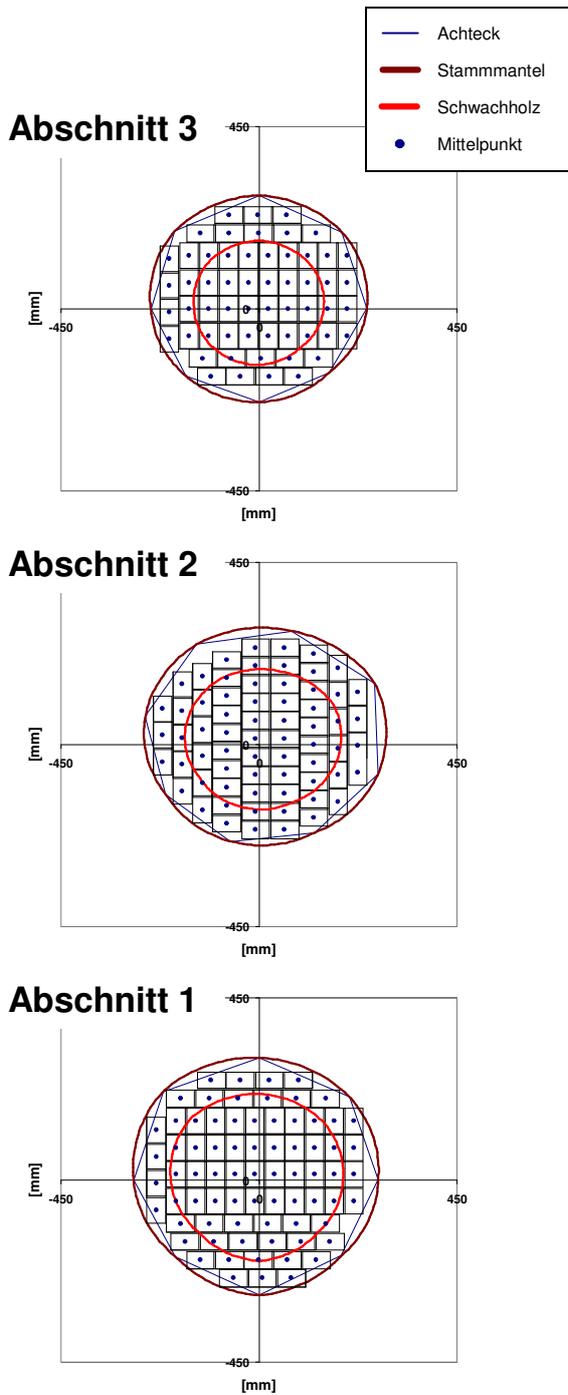


Abb. 36: Fichte Nr. 11
Schnittbild 40 x 60 mm

Abschnitt 4

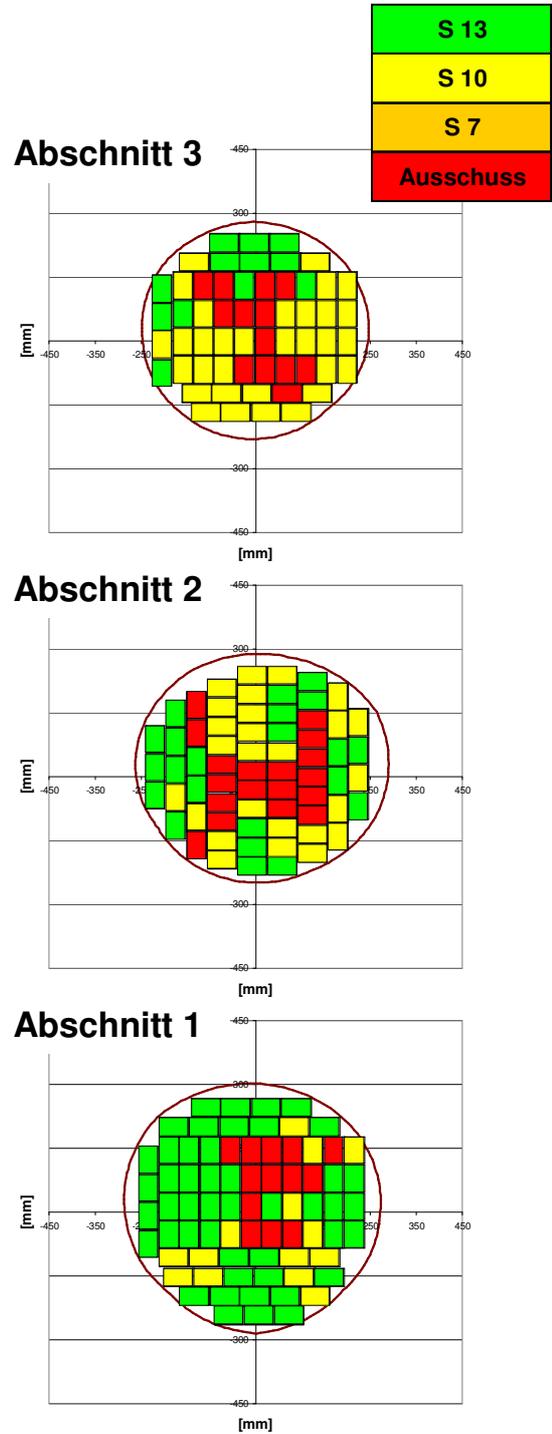


Abb. 37: Fichte Nr. 11
Verteilung der visuellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

Fichte Nr. 12

Abschnitt 4

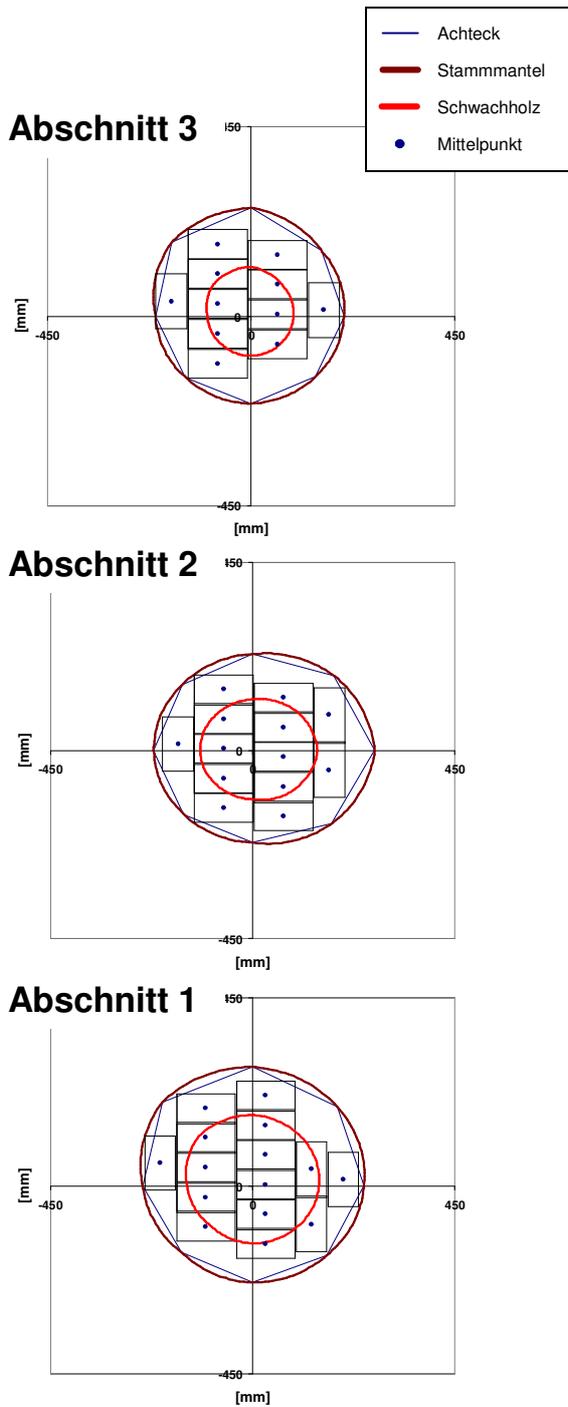


Abb. 38: Fichte Nr. 12
Schnittbild 60 x 120 mm

Abschnitt 4

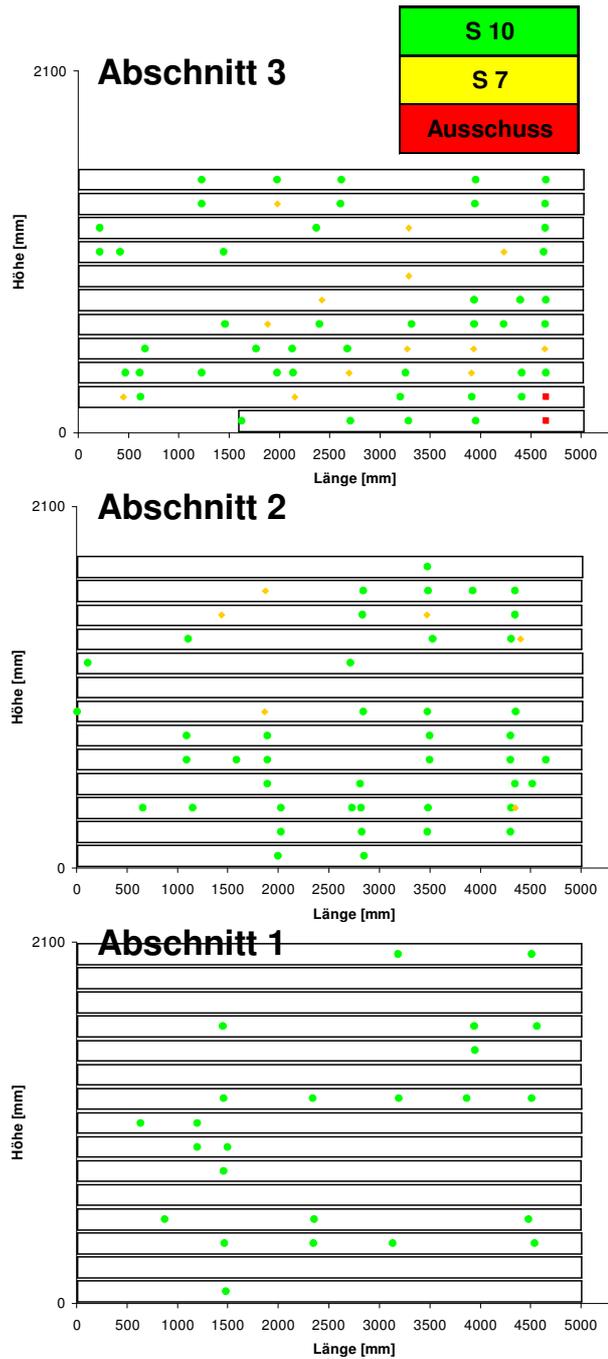


Abb. 39: Fichte Nr. 12
Verteilung sortierentscheidender Äste

Abschnitt 4

Abschnitt 4

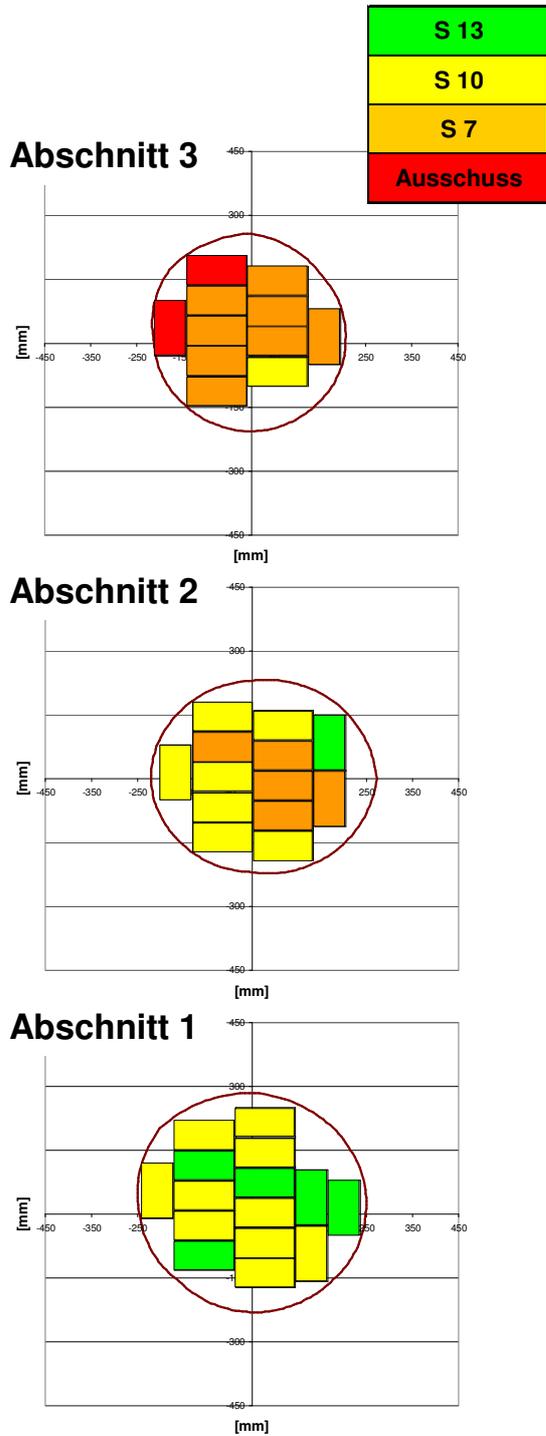


Abb. 40: Fichte Nr. 12
Verteilung der visuellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt

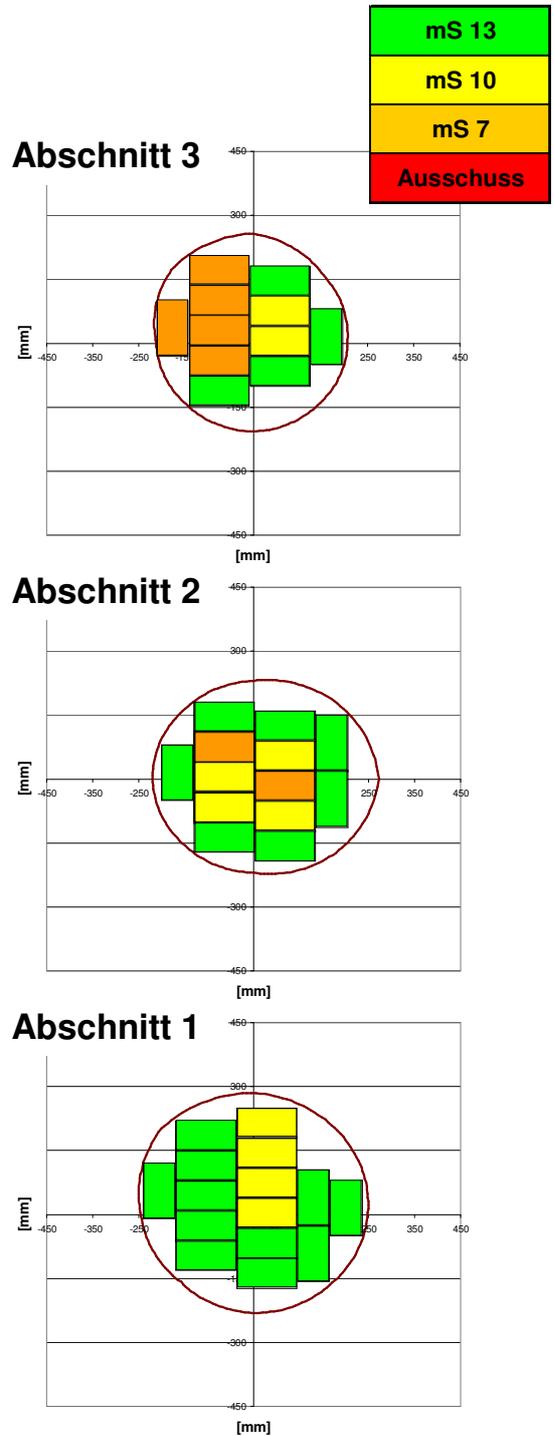


Abb. 41: Fichte Nr. 12
Verteilung der maschinellen Sortier-
klassen im Stammquerschnitt