



Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources
and Applied Life Sciences, Vienna



MASTERARBEIT

Ressourceneffizienz in der

Holzwirtschaft

Analyse ausgewählter Prozessketten

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Dr.h.c. Alfred Teischinger

Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik
Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe

Ulrike Maria Knaus, BSc

20.04.2019



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht.

Diese Arbeit wurde zur Prüfung der oben genannten Erklärung bei dem zuständigen Prüfer hinterlegt.

Ulrike Knaus, BSc

Wien, 20.04.2019

Kurzfassung

In Österreich ist die Holzindustrie einer der größten Arbeitgeber. Der Boom zu Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung ist auch in der Holzindustrie angekommen. Es wurden einzelne volumensmäßig bedeutende Prozessketten ausgewählt um die Materialeffizienz zu untersuchen. Die ausgewählten Prozesse waren Säge, die Herstellung von Brettschichtholz, Brettsperrholz, Furnierschichtholz, Furniersperrholz, sowie das Holz-Alu Fenster.

Als Arbeitshypothese wurde angenommen, dass die erwähnten Prozessketten aktuell nicht sehr ressourceneffizient sind und dass daher bezüglich der Ressourceneffizienz ein bestimmtes Optimierungspotential gegeben ist. Um dieses Potential abschätzen zu können wurde ermittelt wie viel der Ressource Holz in Sinne von „Rohholzäquivalent“ für die Herstellung des Endproduktes benötigt wird.

Am Anfang der meisten Prozesse in der Holzindustrie steht die Sägeindustrie mit einer Ausbeute von ungefähr 50%. Die Ausbeute hängt von verschiedensten Faktoren ab, wie Sägetechnologie, Einschnittvariante, Schnittbild und Holzart. Neben der Haupt- und Seitenware werden die Neben- und Koppelprodukte (Hackgut, Sägespäne, Rinde, Anschäler, Restrolle etc.) aus der Sägeindustrie weiter verarbeitet. Bei der Herstellung von Brettschichtholz werden Rohstoffausbeuten von 39% und bei Brettsperrholz von bis zu 40% erreicht. Wie in der Sägeindustrie können die Sägenebenprodukte bei der Herstellung von Rohbrettern weiterverarbeitet werden. Die Abschnitte und Ausschnitte der verleimten Platten werden aber meist der thermischen Verwertung zugeführt, da in diesen Produktresten Klebstoffe vorhanden sind. Bei der Herstellung von Furniersperr- und Furnierschichtholz wird die höchste Ressourcenausbeute von 71% erreicht. Am geringsten ist die Ressourcenausbeute, mit 20% bei der Herstellung von Holz-Alu Fenstern.

Nachhaltig zu wirtschaften wird in den heutigen Zeiten von der Industrie erwartet. Das Potential die einzelnen Prozesse hinsichtlich der Ressource Holz zu verbessern ist gegeben. Jedoch stellt sich die Frage ob die Prozesse für die Industrie noch wirtschaftlich genug sind, da für die Industrie noch weitere Faktoren wie zum Beispiel Geschwindigkeit und Zeit zählen.

Abstract

In Austria, the wood industry is one of the largest employers. The boom in sustainability and resource preservation has also arrived in the wood industry. Individual substantial process chains were selected to investigate material efficiency. The selected processes were sawing, the production of glued laminated timber, cross laminated timber, laminated veneer lumber, plywood, and the wood-aluminum window.

As a working hypothesis, it was assumed that the mentioned process chains are currently not very resource-efficient and therefore there is a certain optimization potential with regard to resource efficiency. In order to be able to estimate the optimization potential, it was determined how much of the resource wood in the sense of "raw wood equivalent" is needed for the production of a final product.

At the beginning of most processes in the wood industry is the sawmill industry, which has a yield of approximately 50%. The yield depends on a variety of factors, such as sawing technology, cutting variant, cutting pattern and wood species. In addition to the main and side products, the by-products (wood chips, sawdust, bark, peelers, residual roll ...) from the sawmill industry are further processed. In the production of glued laminated timber, raw material yields of 39% and in cross laminated timber of up to 40% are achieved. As in the sawing industry, the sawmill by-products can be further processed in the manufacture of lumber. However, the cut offs and cut outs of the glued panels are usually used for thermal recovery, since there are adhesives in these product residues. In the production of plywood and laminated veneer lumber, the highest resource yield of 71% is achieved. The lowest is the resource yield, with 20% in the production of wood-aluminum-windows.

Sustainability is expected nowadays from the industry. The potential to improve the individual processes with regard to the resource wood is given. However, the question is whether the processes are still economical for the industry.

Danksagung

Mein Dank gilt Univ. Prof. Dipl.-Ing Dr. nat. techn. Dr. h.c. Alfred Teischinger für die Betreuung der Diplomarbeit.

Ebenso bedanke ich mich bei allen Lehrenden und Studienkollegen an der Universität für Bodenkultur, durch die für mich das Studium zu einem interessanten und erlebnisreichen Lebensabschnitt wurde.

Einen herzlichen Dank möchte ich meinen Eltern Ute und Dieter Knaus aussprechen. Sie haben mich auf meinem langen Studienweg immer bestärkt und unterstützt damit ich meine Ziele erreichen konnte.

Einen weiteren Dank möchte ich Heidemarie und Johann Dober aussprechen. Sie waren wie es eigentlich nur Eltern tun, immer für mich da. Ohne sie wäre das Studium mit meinem Hund Tara, in Wien um ein Vielfaches schwieriger und logistisch aufwendiger geworden.

Ohne euch alle wäre ich nie so weit gekommen.

Danke!

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung.....	1
Kurzfassung	2
Abstract	3
Danksagung	4
Inhaltsverzeichnis.....	5
1. Einführung.....	7
1.1. Zielsetzung und Arbeitshypothese	8
2. Grundlagen: Stand der Technik.....	9
2.1. Sägeindustrie	9
2.1.1. Sägetechniken	12
2.1.2. Hobeltechnik	17
2.2. Brettschichtholz (BSH).....	18
2.3. Brettsperrholz (BSP) / Crossed Laminated Timber (CLT).....	19
2.4. Furniersperrholz	21
2.5. Furnierschichtholz / LVL	22
2.6. Fensterherstellung	23
3. Methoden.....	25
3.1. Fragebögen.....	25
3.2. Säge	25
3.3. Brettschichtholz.....	27
3.4. Brettsperrholz.....	27
3.5. Furniersperrholz und Furnierschichtholz	29
3.6. Holz-Alu Fenster	30
4. Ergebnisse.....	31
4.1. Säge	31
4.2. Brettschichtholz.....	38
4.3. Brettsperrholz.....	39
4.4. Furniersperrholz und Furnierschichtholz	41
4.5. Holz-Alu Fenster	42
5. Diskussion.....	43
5.1. Säge	44
5.2. Brettschichtholz und Brettsperrholz	45

5.3.	Furnersperrholz und Furnierschichtholz	45
5.4.	Holz-Alu Fenster	46
6.	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	47
	Literaturverzeichnis	48
7.	Abbildungsverzeichnis	50
8.	Tabellenverzeichnis	52
9.	Anhang	53
9.1.	Tabellen für die Berechnung	53
9.2.	Befragungen	54
9.2.1.	Sägeindustrie	54
9.2.2.	Brettschichtholz	55
9.2.3.	Brettsperrholz	56
9.2.4.	Furnersperrholz/Furnierschichtholz	57
10.2.5.	Fenster	57

1. Einführung

Die Holzindustrie ist einer der größten Arbeitgeber Österreichs. Im Jahr 2017 gab es 1.286 Holz verarbeitende/bearbeitende Betriebe, von diesen Betrieben sind 1.044 Sägewerke. Es waren knapp 25.000 Menschen in der Holzindustrie beschäftigt, diese zählt somit zu den größten Arbeitgebern der 17 Industriezweige Österreichs. 2017 wurden 9,5 Mio. fm Rundholz für den Sägebereich eingeschnitten (Steinegger 2016). Das daraus erzeugte Schnittholz ist die Basis für verschiedene großvolumige Weiterverarbeitungsbereiche wie Brettschichtholz (GLT) oder Brettsperrholz (CLT). Das Schälen von Rundholz zu Schäl furnieren als Basis für die Sperrholzproduktion und die Produktion von Laminated Veneer Lumber (Furnierschichtholz). LVL, hat derzeit in Österreich kaum Bedeutung, doch international zeichnet sich eine zunehmende Bedeutung von LVL.

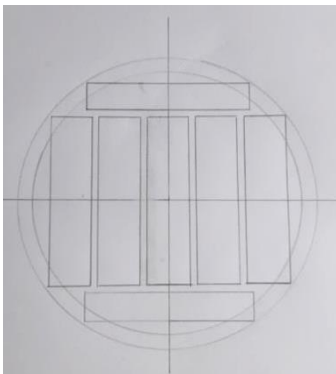


Abbildung 1: Beispiel Schnittbild (Prisma)

Sowohl die Produktion von Schnittholz, mit Einschnitt Variante in Abbildung 1 dargestellt, als auch bei der Herstellung von Schäl furnier als Zwischenprodukt, in Abbildung 2 dargestellt sind vom jeweiligen Hauptprodukt (Schnittholz, Schäl furnier) geprägt und von Neben- und Koppelprodukten (Hackgut, Sägespäne, Rinde, Anschäler, Restrolle etc.), wodurch nur ein bestimmter Anteil des ursprünglichen Stammvolumens in das Zwischen- bzw. Endprodukt überführt wird.

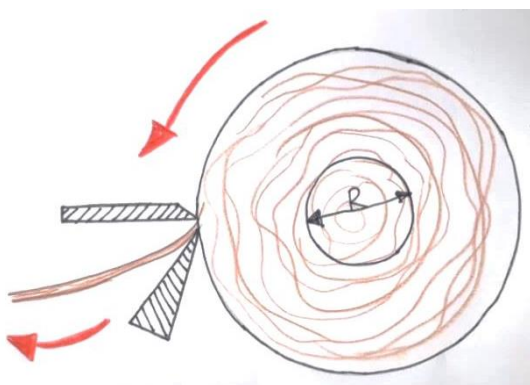


Abbildung 2: Schäl furnierstamm mit Restrolle R

Ungefähr entstehen dabei 5,63 Mio. Tonnen Koppelprodukte wie zum Beispiel Rinde, Sägespäne und Hackschnitzel. Sie werden in der Papier- und Zellstoffindustrie weiter verarbeitet, wie zum Beispiel zu Pellets, Pferdeeinstreu oder energetisch verwertet (Windsperger 2010).

1.1. Zielsetzung und Arbeitshypothese

Das Ziel dieser Arbeit ist es einzelnen großvolumigen Prozessketten, Säge und die Herstellung von Brettschichtholz, Brettsperrholz, Furnierschichtholz, Furniersperrholz, sowie ein komplexes Produkt wie das Holz-Alu Fenster genau zu betrachten und auf ihre Ressourceneffizienz in Hinsicht auf die Materialeffizienz zu prüfen. Um überhaupt einmal abschätzen zu können, wie viel der Ressource Holz in Sinne von „Rohholzäquivalent“ für die Herstellung eines Endproduktes benötigt wird. Die Produktionsprozesse Brettschichtholz, Brettsperrholz, Furnierschichtholz, Furniersperrholz und die Fensterherstellung sollen dabei genauer untersucht werden.

Der Holzverbrauch in jedem holzverarbeitendem Bereich der oben genannten Industriezweige, ist für alle Produkte beziehungsweise Produktgruppen genau zu ermitteln. Der genaue Materialverbrauch und die entstehenden Verluste sollen in Diagrammen, die den Rohstoffverbrauch zur Fertigungstiefe eines Produktes darstellen, aufgezeigt werden. In allen Bereichen soll die Ressourceneffizienz optimiert und Alternativmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Als Arbeitshypothese wird formuliert, dass die erwähnten Prozessketten aktuell nicht sehr ressourceneffizient sind und dass daher bezüglich der Ressourceneffizienz ein bestimmtes Optimierungspotential gegeben ist.

2. Grundlagen: Stand der Technik

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die in dieser Arbeit behandelten Prozesse geben und die Produktionsschritte und Maschinen die notwendig sind um das jeweilige Endprodukt herzustellen kurz erklären.

2.1. Sägeindustrie

Im Jahr 2016 wurden in österreichischen Sägewerken rund 15,3 Millionen Festmeter Holz eingeschnitten. Die Produktion von Nadel- und Laubschnittholz erbrachte eine Produktionsmenge von 9,2 Millionen m³ Schnittholz (Steinegger 2016).

80% des jährlichen Holzeinschlages werden von den österreichischen Sägewerken verarbeitet, somit ist die Sägeindustrie der mit Abstand wichtigste Teil der Holzindustrie. Die Sägeindustrie ist in einige wenige Großbetriebe und Klein- und Mittelbetriebe aufgeteilt. Es werden annähernd die 50% der Gesamtproduktion wird von den größten acht Betrieben erzeugt (Steinegger 2016).

Da das Rohmaterials Holz für alle weiteren Herstellungsprozess technologisch aufgeschlossen werden muss, hat die Sägeindustrie eine sehr große Bedeutung in der Holzwirtschaft (Müller et al. 2015).

In Abbildung 3 ist der grobe Arbeitsfluss in einem Sägewerk dargestellt. Der erste Schritt ist das Sortierpoltern, danach werden die Bloche entrindet. Bevor das Bloch in die Sägelinie befördert wird, wird es meist mithilfe von Röntgenstrahlen auf Metallteile untersucht, damit die Sägeblätter im Anschluss nicht beschädigt werden. Das Bloch wird nun mehrmals vermessen, bevor es weiter zur Kapp- und Sägeanlage geht um dort zu unterschiedlichen Sägeprodukten weiter verarbeitet zu werden.

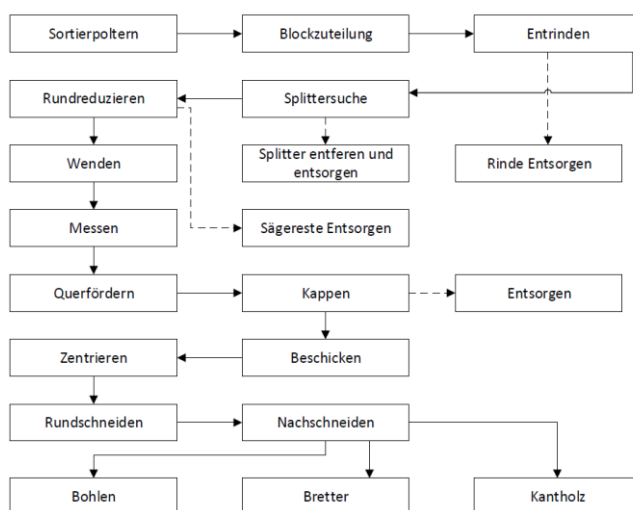


Abbildung 3: Arbeitsfluss in einer Sägehalle (Fronius 1989)

Aus einem runden Stamm sollen rechteckige, geometrisch definierte Bretter entstehen, am besten mit größtmöglicher Ausbeute. Rein geometrisch gesehen, eine Herausforderung eines Verschnittproblems. Je nach Technologie entstehen Ausbeuteverluste von mindestens 30% bis maximal 50% an. Dabei fällt das Koppelprodukt Seitenware an, welches noch durch das Auskappen von Ästen, Farb- und Faserabweichungen verringert wird, wodurch nicht mehr viel übrig bleibt (Plackner 2015).

Je nach gewünschter Einschnittqualität kann in die Klassen S, A, B und C unterschieden werden, wie in Abbildung 4 dargestellt. Die Klasse S (Scharfkantig) darf keine Baumkante enthalten. In den Klassen A, B und C darf aufsteigend ein Anteil an Baumkante vorhanden sein. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Ausbeuteergebnisse.

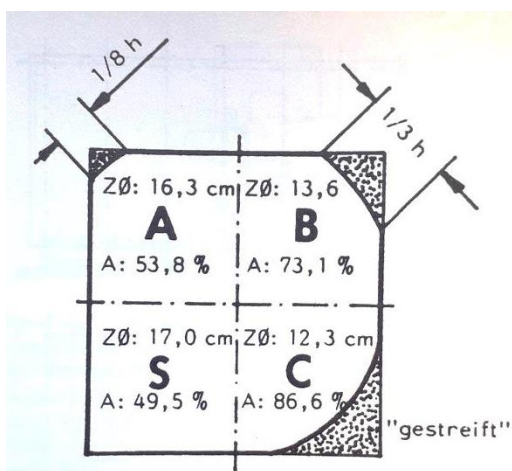


Abbildung 4: Schnittklassen mit dazugehörigen Ausbeutewerte (Lohmann und Blosen 2010)

Im Sägewerk ist die bestmögliche Ausnutzung des Rundholzes das Wichtigste, da dies die Grundlage für Gewinn oder Verlust am Ende des Jahres bedeutet. In der Theorie ergibt das erzeugte Schnittholzvolumen (V_{SH}) dividiert durch das eingesetzte Rundholzvolumen (V_{RH}) die Ausbeute (A). Dabei wird das Volumen des Haupterzeugnisses berechnet und das Volumen des Nebenerzeugnisses, aufgrund der nicht genau vorhersehbaren Stammformen (Krümmung, Ovalität, etc.) geschätzt (Lohmann 2016).

$$A = \frac{V_{SH}}{V_{RH}} * 100 [\%]$$

Folgende Abbildungen zeigen unterschiedliche Einschnittarten.

In Abbildung 5 ist das Schnittbild eines Prismenschnittes mit Bemaßung dargestellt. Die Schnittfuge hängt von der Sägeblattdicke und Einschnittstechnologie ab. Bei der Kreissäge-technologie liegt die Sägeblattdicke zwischen 4 und 4,5mm. Bandsägeblätter sind nur 1 bis 1,75mm und die Dicke der Gattersägeblätter liegen in der Regel zwischen 1,8 und 2,4mm (Wagenführ und Scholz 2012).

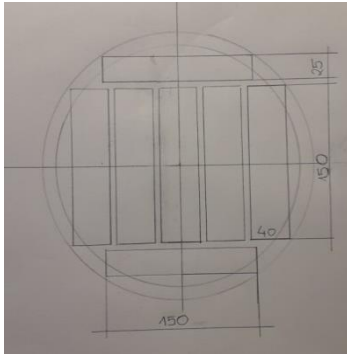


Abbildung 5: Prismenschnitt

Ein Scharfschnitt ist in Abbildung 6 dargestellt. Dabei wird das Rundholz in einem Durchgang zu unbesäumten Brettern und Bohlen aufgetrennt (Lohmann und Blosen 2010).

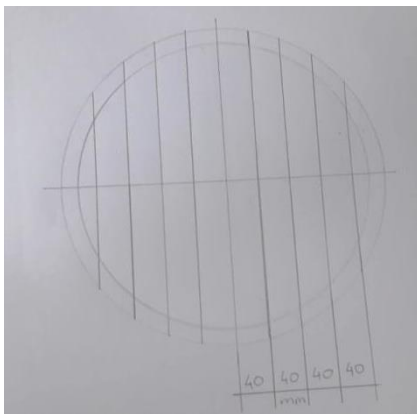


Abbildung 6: Scharfschnitt

In Abbildung 7 ist der Prismenschnitt genauer dargestellt. Dabei wird das Bloch in zwei Durchgängen aufgetrennt. Bei Nummer 1 ist der Vorschnitt, dabei entsteht ein Prisma. Das Prisma wird um 90 Grad gedreht und der Nachschnitt wie bei Nummer 2 dargestellt trennt das Prisma in Bohlen und Bretter auf.

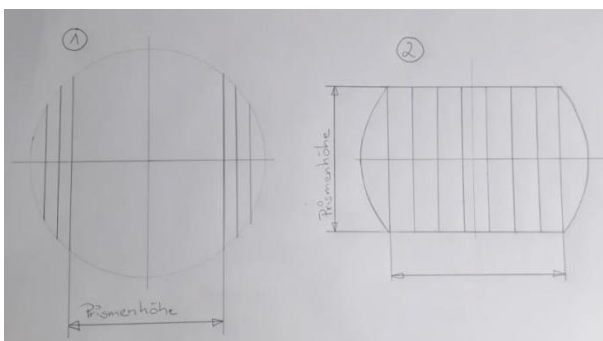


Abbildung 7: Prismenschnitt (Lohmann 2016)

2.1.1. Sägetechniken

2.1.1.1. Gattersäge

Bei der Gattersäge unterscheidet man in Vollgatter, auch Vertikalgatter genannt und Horizontalgatter.

Bei Gattersägen können mehrere Schnitte gleichzeitig durchgeführt werden, dadurch sind sie energieeffizienter. Sie haben eine sehr schmale Schnittfuge, jedoch ist die Schnittgeschwindigkeit sehr gering. Dabei werden und die Stämme Stoß an Stoß durch die Anlage befördert. Es handelt sich um Sägen mit mehreren, fest in einem Rahmen eingespannten Sägeblättern (Fronius 1991).

Gattersägen wie in Abbildung 8 besitzen eine mittlere Schnittgeschwindigkeit von nur 15m/s. Ein großer Vorteil von Gattern ist die einfache Instandhaltung der Sägeblätter und die geringe Schnittfuge. Die Sägeblatt Spannung ist optimal und der Betrieb im Winter stellt keinerlei Probleme dar (Fronius 1991).



Abbildung 8: Gattersäge

<https://www.pilch.at/media/dz0xMjgwJm09dGh1bWI/mechanisierung-gattersaage-05-94.jpg>

2.1.1.2. Bandsäge

Bandsägen sind wie in Abbildung 9 sehr einfach aufgebaut. Eine Bandsäge besteht im Großen und Ganzen aus einem Ständer und zwei vertikal oder horizontal angeordneten Sägebändern und einer Sägeblattspannvorrichtung. Die Schnittfuge der Bandsäge ist sehr schmal, jedoch können nur 1 bis 2 Schnitte pro Durchlauf erfolgen und ist aus diesem Grund sehr zeitaufwendig (Fronius 1989).

Die Größe der Maschine hängt von dem Sägeblatt-Rollendurchmesser ab, möglich sind Durchmesser von 1000mm – 3000mm. Die mittlere Schnittgeschwindigkeit liegt bei bis zu 40m/s. Probleme verursachen sehr kalte Temperaturen, da es beim Schnitt von gefrorenem Holz zum Verlaufen des Sägeblattes kommen kann (Fronius 1989).



Abbildung 9: Bandsäge

<https://www.moehringer.com/wp-content/uploads/blockbandsaegen.jpg>

2.1.1.3. Kreissäge

Die Kreissäge wie in Abbildung 10 abgebildet ist, ist für viele Einsatzbereiche gut geeignet. Vom Kleinbetrieb bis zum Großbetrieb, sowie für Stark- als auch Schwachholz ist die Kreissäge im Einsatz. Kreissägen haben eine sehr hohe Durchlaufzeit, jedoch breite Schnittfugen (Fronius 1989).

Bei der Schnittführung kann man in Oberschnitt und Unterschnitt unterscheiden. Beim Oberschnitt wird das Material oberhalb der Sägewelle geführt und beim Unterschnitt darunter. Beim Oberschnitt besteht im Gegensatz zum Unterschnitt die Gefahr der Erwärmung des Sägeblattes durch Reibung. Auch die Sägereste sind bei Maschinen mit Unterschnitt einfacher zu entfernen als bei Maschinen mit Oberschnitt, da sie einfach runter fallen und gesammelt werden können. In der Kreissägetechnik unterscheidet man auch zwischen Gleichlauf und Gegenlauf Richtung des Sägeblattes (Fronius 1989).



Abbildung 10: Kreissäge

http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/117063-5670095.jpg

2.1.1.4. Zerspanerlinie

In der Sägeindustrie wird oft eine Zerspanerlinie verwendet wie in Abbildung 11, diese ist eine Kombination aus verschiedenen Sägetechniken. Im ersten Schritt wird mithilfe eines Profilspanners das Bloch auf ein Model zugeschnitten, dabei entstehen Hackschnitzel. Diese Hackschnitzel haben im besten Fall schon Größe und Form, um in der Papier- und Zellstoffindustrie weiter verarbeitet werden können.

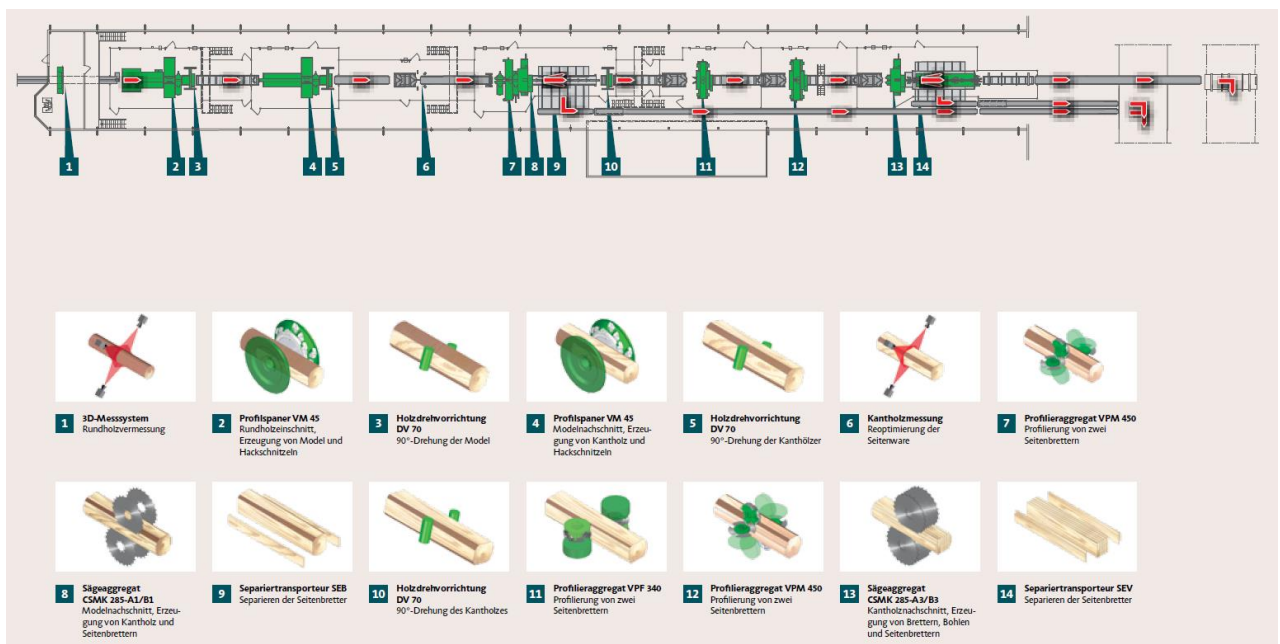


Abbildung 11: Sägeanlage Linck (Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH 2014)

Zerspanerlinien, wie in Abbildung 11 sind nur für kleine Durchmesser geeignet. Die Produktivität ist durch die hohe Durchlaufzeit der Bloche sehr hoch. Mit der Anlage können Stämme bis Zopfdurchmesser von 55cm eingeschnitten werden. In der Anlage wird das Rundholz über zwei Walzenpaare auf die zuvor errechnete Position gedreht und mittels Zentrierwalze dem ersten Profilspanner zugeführt. Als Koppelprodukt ergeben sich Hackschnitzel mit einer Größe und Form, die genau für die Weiterverarbeitung in der Zellstoffindustrie geeignet sind. Das Model wird erneut vermessen, um das Schnittbild neu zu optimieren und die größtmögliche Ausbeute, wie in Abbildung 12 dargestellt, zu errechnen. Im zweiten Profilspanner wird aus dem Model ein Kantling erzeugt, danach wird der Kantling weiter zur nächsten Maschinengruppe (zwei Profilaggregate, eine Doppelwellenkreissäge). Durch die zwei senkrecht angeordneten vorschneidend arbeitenden Sägeblätter des Profilaggregates kann ausrissfreie Ware erzeugt werden. Die beiden Aggregate profilieren die Ecken und das Sägeaggregat trennt Seitenware und Kantholz. Die Seitenware wird abgetrennt, das Kantholz wird erneut 3-D-vermessen und um 90° gedreht. In der nächsten Maschinengruppe (zwei Profilaggregate, eine Doppelwellenkreissäge) werden bis zu zwei Seitenbretter abgetrennt. Die Seitenware und die Hauptware werden getrennt und die Hauptware wird extra noch sortiert (Nöstler 2014).

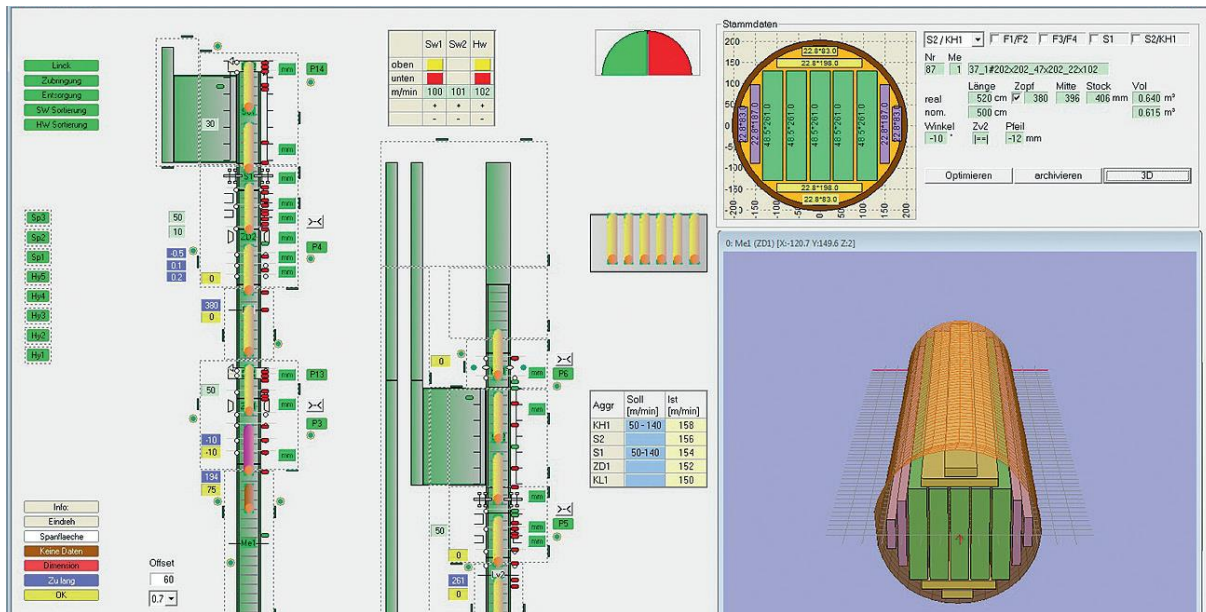


Abbildung 12: Linck Schnittbild Optimierungsprogramm (Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH 2014)

2.1.1.5. Alternative Sägetechniken

Die in Kapitel 2.1.1. bis 2.1.4. erwähnten Sägetechnologien gehen alle auf einen Vorläufer der heutigen Gattersäge aus dem 15. Jahrhundert zurück. Kreissäge und Bandsäge haben im Großen und Ganzen dieselben Schnittmuster wie die Gattersäge. Bis jetzt wurden die klassischen Sägetechniken nicht weiter entwickelt. Um die Ausbeute bei der Quantität und der Qualität zu erhöhen sollte im Zerteilungsprozess auf die Orientierung der Holzfasern Rücksicht genommen werden. Die Schnittrichtung folgt oft nicht der Faserrichtung des Holzes. Schon geringe Abweichungen in der Faserrichtung bewirken deutliche Steifigkeits- und Festigkeitsverluste. In der Holztechnologie sollten neue Technologien eingesetzt werden, um die Quantität und die Qualität bei der Ausbeute zu verbessern (Müller et al. 2015).

Im folgenden Kapitel werden einige Schnitttechnologien, die für den Einsatz in der Sägetechnologie geeignet sind beschrieben.

1. Laserstrahl schneiden
2. Wasserstrahl schneiden
3. Trennen mittels eines Keil

Das Laserstrahl schneiden wird in der Verpackungsindustrie, genauer gesagt als Stanzwerkzeug bei Karton und Pappschachteln verwendet. Ein großer Nachteil vom Laserstrahl schneiden ist, dass die Schnittländer schwarz werden, weil dort das Material verbrennt. Laserstrahl schneiden erreicht eine Schnittfuge von etwa 0,6mm. Da die Vorschubgeschwindigkeiten so klein sind kommt das Laserstrahl schneiden bisher nicht im großen Stil zur Verwendung (Ettelt und Gittel 2004).

Durch Hinzufügen von langkettigen Polymeren ist es möglich einen Wasserstrahl zu erzeugen, der auf eine Länge von 10cm kaum divergiert. Es werden dazu Drücke von 2000 bis 4000bar, einer Wassermenge von 10 bis 200l, und einer Geschwindigkeit von ungefähr 1000m/s benötigt. Der Energiebedarf beim Wasserstrahl schneiden ist extrem hoch. Es wurde auch noch kein bestimmter Verwendungszweck in der Holzindustrie gefunden (Ettelt und Gittel 2004).

Das Trennen mittels Keil ist ein sehr altes Verfahren. Zum Beispiel zur Herstellung von Holzschindeln die mithilfe eines Spaltkeiles hergestellt werden. Die Oberfläche die dabei entsteht wird sehr grob und es kann nur gerade gewachsenes Holz verwendet werden. In Kanada wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem das Holz von zwei Rädern bewegt und das Holz dabei auf einen Keil presst. Dieses Verfahren verspricht mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 9m/min Kanthölzer mit den Maßen von 10 x 10cm mittig zu trennen. Bei höheren Geschwindigkeiten bereitet die Erwärmung des Keils Schwierigkeiten und wird somit auch nur im Laborbetrieb verwendet (Ettelt und Gittel 2004).

Es wird immer wieder nach alternativen Auftrennmethoden und Sägetechniken gesucht. (Müller et al. 2015)) haben dazu eine Literatur- und Patentrecherche durchgeführt, um innovative und potenzielle Auftrennverfahren zu identifizieren. Im Hinblick auf Sägen bzw. Auftrennen von Rundholz zu geometrisch definierten Querschnitten (Brett, Balken, etc.) konnten jedoch keine wirklich potentiell wirtschaftlich umsetzbare Verfahren identifiziert werden, sodass in der Folge nur Prozesse mit den herkömmlichen Auftrenn- bzw. Fertigungsverfahren für die ausgewählten Produkte verfolgt werden.

2.1.2. Hobeltechnik

Um die Oberfläche nach der Schnittware zu verbessern, wird diese gehobelt oder gefräst. Beim Fräsen wird eine Bewegung zwischen Werkstück und Werkzeug durch eine kreisförmige Schnittbewegung erzeugt. Es kommt durch den nicht dauerhaft en Schneideneingriff auf das Werkstück zu thermischen und mechanischen Wechselbelastungen (Tönshoff et al. 2011).

Unter Hobeln versteht man das Spanen mit bestimmter Schneide und es zählt zur Hauptgruppe des Trennens der Fertigungsverfahren. Der Vorschub beim Hobeln wird durch das Werkzeug erzeugt, die Schnitt- und Rücklaufbewegung erfolgt jedoch durch das Werkstück (Tönshoff et al. 2011).

2.2. Brettschichtholz (BSH)

Brettschichtholz, oder auch Leimbinder genannt werden aus Brettern mit einer maximalen Breite von 28cm und einer maximalen Dicke von 40mm hergestellt. BSH ist ein Konstruktionselement, wie in Abbildung 13 abgebildet, bei dem immer eine linke mit einer rechten Seite verklebt wird (Lohmann und Blosen 2010). Herstellung und technische Eigenschaften sowie Anforderungen sind in ÖNORM EN 14080 beschrieben.

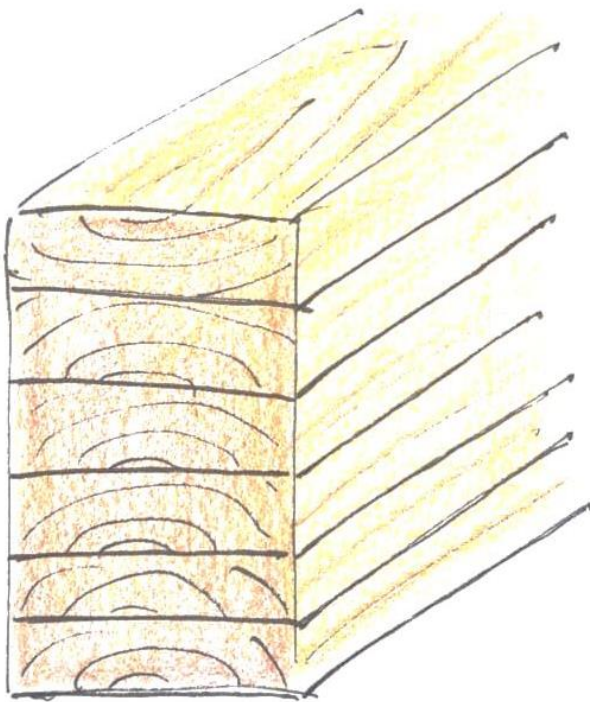


Abbildung 13: Schematische Darstellung BSH

BSH wird aus Nadelholz, mit den Festigkeitsklassen C14, C18, C22, C24, C27 und aus Laubholz mit den Festigkeitsklassen D50, D60 und D70, Festigkeitsklassen nach (ÖNORM EN 338) hergestellt. Die Durch Keilzinken wird eine Längsverbindung erzeugt. Es werden als Klebstoffe PUR (Polyurethane) und PF Harze (Phenoplaste) eingesetzt (Wagenführ und Scholz 2012). Der Produktionsverlauf ist Abbildung 14 dargestellt.

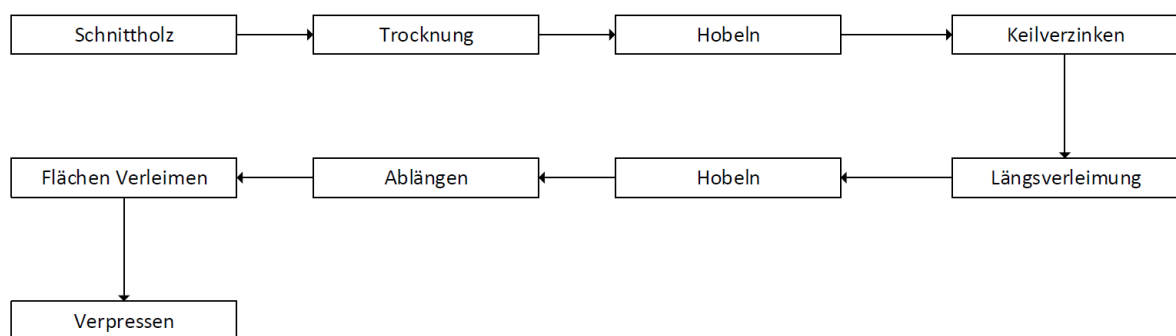


Abbildung 14: Herstellung Brettschichtholz (Wagenführ und Scholz 2012)

2.3. Brettsperrholz (BSP) / Crossed Laminated Timber (CLT)

Brettsperrholz ist ein relativ neues Produkt in der Holzindustrie. Es wurde erst vor weniger als 25 Jahren von österreichischen Unternehmen mit der TU Graz entwickelt. Bis Ende 2020 wird beträgt das jährliche Produktionsvolumen weltweit voraussichtlich 1.000.000 m³ übersteigen (Ringhofer et al. 2018).

Die kreuzweise Verleimung macht es möglich Nadelholz, so miteinander zu verbinden, dass Platten mit vorhersehbaren und gleichbleibenden mechanischen Eigenschaften hergestellt werden können. BSP wird in erster Linie im Holzbau als tragende Wand- und Deckenelemente eingesetzt (Waugh Thistleton Architects 2018).

Brettsperrholz wird aus sägerauen Brettern mit einer Dicke zwischen 20mm bis 45mm und einer Breite von 80mm bis 240mm hergestellt. Üblicherweise wird Nadelholz (Fichte, Lärche, Kiefer und Tanne) verwendet (Schickhofer 2018)

Es werden drei bis neun Brettschichten um 90° verdreht und verklebt, wie in Abbildung 15 zu erkennen ist. Durch das um 90° verdrehen der Bretter wird das quellen und schwinden des Holzes um ein vielfaches verringert.

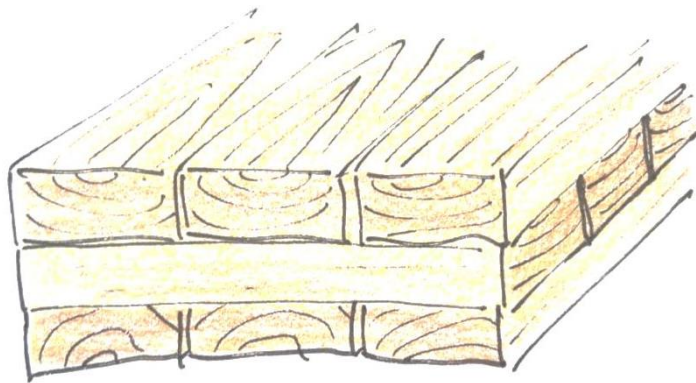


Abbildung 15: Schematische BSP Darstellung

Brettsperrholz wird für tragende und nichttragende Bauelemente eingesetzt. Für Wandelemente wird in der Regel 3-lagiges BSP und für Deckenelemente 5-lagiges BSP verwendet. Beim Wandelement ist die Decklage der Platte quer zur Hauptplattenrichtung und bei Decken- und Dachelementen ist die Decklage längs zur Hauptplattenrichtung (Waugh Thistleton Architects 2018).

Es gibt zwei verschiedene Herstellungsarten für BSP, zum einen die Großplattenherstellung, wie in Abbildung 16 dargestellt, bei der Rohplatten mit den maximalen Maßen von 3,5m x 22m hergestellt werden können. Aus einer solchen Rohplatte werden dann mehrere Bauelemente, wie Wandelemente für innen und außen und Deckenelemente und sogar ganze Dachplatten herausgeschnitten (Brandner 2013).

Die zweite Art der BSP Herstellung ist die Kleinplattenherstellung, die Rohplatten bei dieser Herstellungsart haben eine maximale Größe von 1,25m x 22m und werden in erster Linie für Decken und Dachkonstruktionen eingesetzt. Der Herstellungsprozess für die Kleinplatte unterscheidet sich im großen und ganzen kaum vom Prozess für die Großplatte. Da aus der Rohplatte der Kleinplattenherstellung keine Wandelemente entstehen und dadurch auch keine Ausschnitte für Türen und große Fenster nötig sind, ist die Ausbeute am Endprodukt in % höher als bei der Herstellung im Großplattenformat (Brandner 2013).

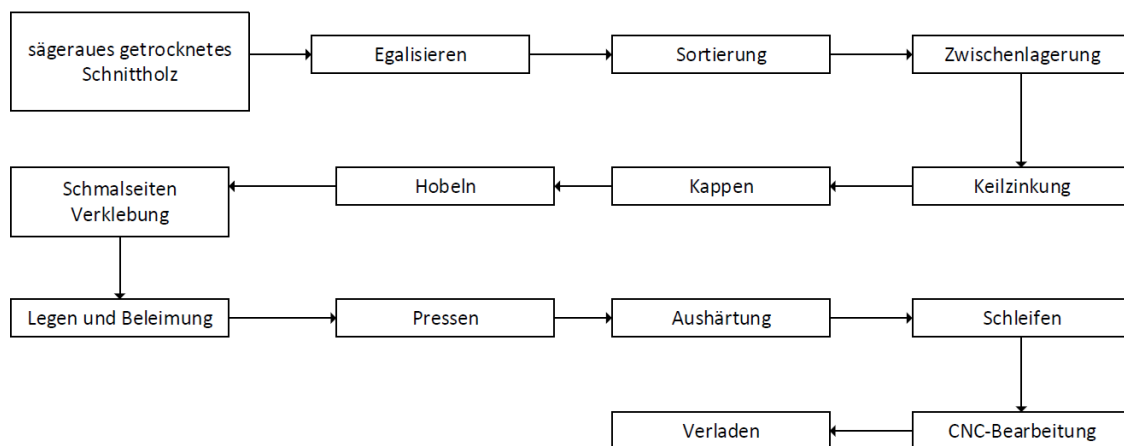


Abbildung 16: Herstellungsprozess für eine Brettsperrholz Platte im Großformat nach (Brandner 2013)

Für die Verklebung werden PUR (Polyurethan) und MUF (Melamin Urea Formaldehyd) verwendet. PUR Kleber werden aber bevorzugt, da es beim Verkleben mit MUF zu Formaldehyd-Emissionen kommt. BSP wird in verschiedenen Qualitäten hergestellt, damit alle Anwendungsbereiche abgedeckt werden können. Man kann diese Qualitäten in „Nicht sichtbar“, „Industriesicht“, „Sichtbar“ einteilen. (Waugh Thistleton Architects 2018).

2.4. Furniersperrholz

Für die Herstellung von Furnieren wird Buchenholz, Eiche, Birke, Fichte, Kiefer und Ahorn verwendet. Der größte Anteil in unseren Breitengraden sind Buchenfurniere. Furniersperrholz besteht aus mindestens 3 um 90° zum Faserverlauf versetzte Furnierblätter, die aufeinander geleimt werden. Dadurch werden die mechanischen Eigenschaften durch die unterschiedlichen Faserrichtungen im Holz gleichmäßig auf die Platte verteilt. Furniersperrholz wie in Abbildung 17 dargestellt, wird im Kastenmöbelbau und in anderen baulichen Anwendungen verwendet. Die beleimten Furnierblätter können aber auch in eine gewisse Form gepresst werden und zwei oder dreidimensional geformt werden. Diese Art der Formgebung von Furniersperrholz nennt man Formsperrholz und findet im Möbelbau aber auch für Gehäuseteile seine Anwendung (Marutzky und Schwab 2008).

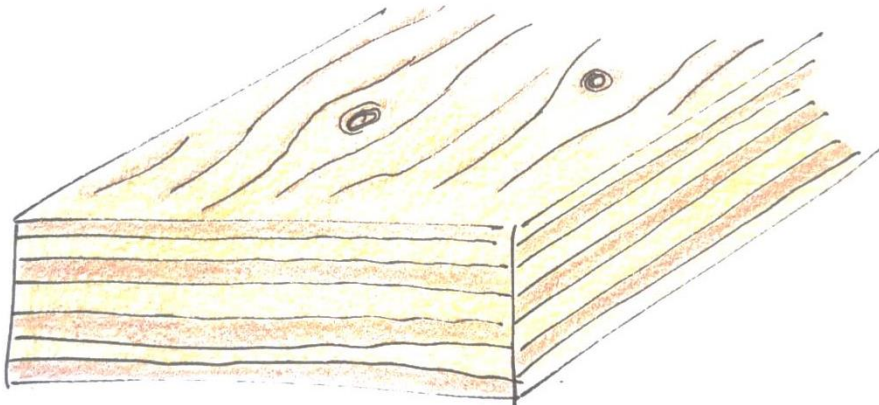


Abbildung 17: Schematische Darstellung eines 7-lagigen Furniersperrholzes

Um innere Spannungen im Stamm abzubauen, wird das Bloch in heißem Wasser oder Wasserdampf gekocht, dies erleichtert auch das Schälen des Rundholzes. Beim Schälen entstehen auf einem Schälbock Furnierbahnen, die auf die richtige Größe abgelängt werden, ebenso werden Fehler und Risse entfernt. Die entstandenen Furnierblätter mit einer Dicke zwischen 0,8mm und 4mm werden getrocknet, beleimt, in die Furnierrohlinge eingelegt und bei hohem Druck und Temperatur verpresst (Marutzky und Schwab 2008). Der Prozess ist in Abbildung 18 dargestellt.

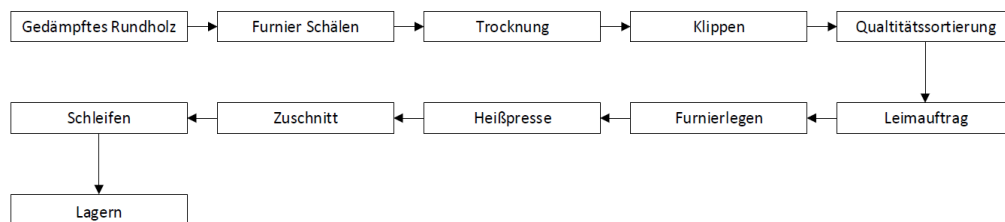


Abbildung 18: Herstellungsprozess Furniersperrholz (Wagenführ und Scholz 2012)

Die ÖNORM EN 636 legt die Anforderungen an Sperrholz für tragende und nicht tragende Zwecke im Trocken-, Feucht- oder Außenbereich fest.

2.5. Furnierschichtholz / LVL

Furnierschichtholz unterscheidet sich in der Herstellung vom Furniersperrholz nur in einem Punkt. Beim Furnierschichtholz werden die Furniere parallel zueinander und nicht wie beim Furniersperrholz kreuzweise geordnet (Marutzky und Schwab 2008). Der vereinfachte Herstellungsprozess ist in Abbildung 19 dargestellt.

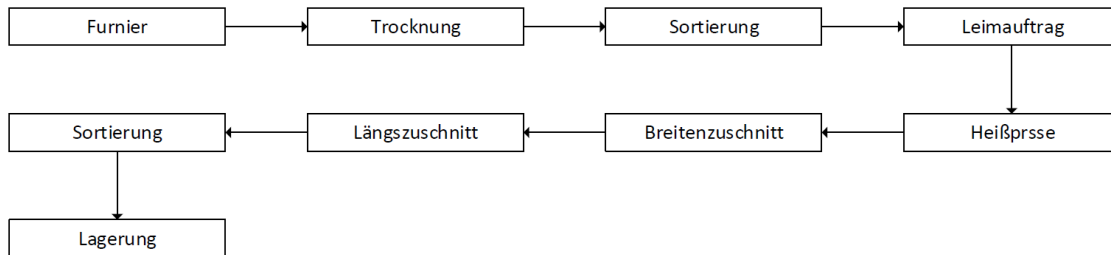


Abbildung 19: Herstellung von Furnierschichtholz (Wagenführ und Scholz 2012)

Furniersperrholz sowie Furnierschichtholz kann im rohen Zustand mit einem Kunstharzfilm überzogen werden. Man unterscheidet bei der Verleimung in wetterbeständige und nicht wetterbeständige Leime. Phenol- und Resorcinharzleim werden für wetterbeständige Verleimungen eingesetzt. Diese Klebstoffe haben einen Nachteil, denn sie haben eine rote bis dunkelbraune Färbung. Wenn der dunkle Farbton unerwünscht ist werden harnstoffmodifizierte Melaminharze verwendet. Diese Klebstoffe geben aber Formaldehyd ab. Für die nicht wetterbeständigen Anwendungen werden Harnstoffharzleim verwendet (Marutzky und Schwab 2008).

Furnierschichtholz wird in den USA auch als Microlamm und in Finnland als Kerto-Schichtholz bezeichnet. Furnierschichtholz wird bei Bauteilen mit hohen Festigkeitsansprüchen, wo Brettschichtholz zu groß wäre eingesetzt (Lohmann und Blosen 2010).

2.6. Fensterherstellung

Fenster sind nichttragende Bauelemente, die verschiedene Aufgaben erfüllen.

Zum einen haben sie die Aufgabe die Innenräume zu belüften und zum anderen das natürliche Licht in den Raum zu lassen (Wagenführ und Scholz 2012). Im Fensterbau werden verschiedene Materialien verwendet. Fenster können aus Massivholz, Alu-Massivholz, Kunststoff-Massivholz und reinen Kunststoff gefertigt sein. Holzfenster haben eine lange Tradition, jedoch werden diese mehr und mehr von Holz-Alu Konstruktionen abgelöst. Dieser Fenstertyp ist deutlich langlebiger und wartungsärmer als reine Holzfenster (Lohmann und Blosen 2010). Die Herstellung eines Holzfensterprofils wird in Abbildung 20 dargestellt.

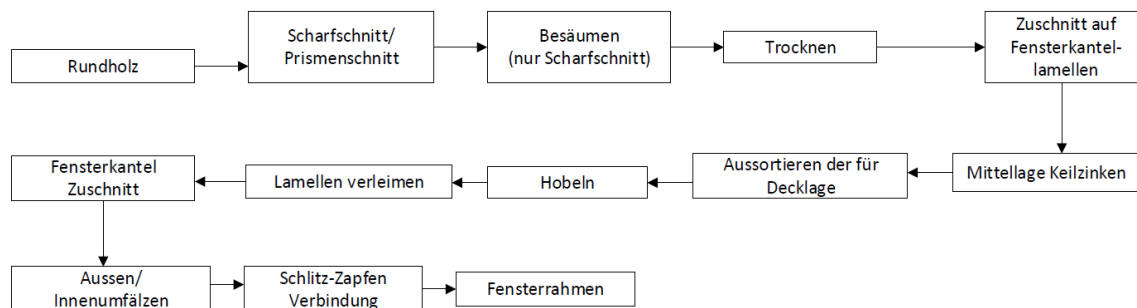


Abbildung 20: Herstellung Fensterprofil nach (Lohmann und Blosen 2010)

Bei der Produktion von Holz-Alu Fenstern gibt es zwei Varianten um die Rohlamellen herzustellen. Beim Einschnitt des Rundholzes kann in Scharfschnitt und Prismenschnitt unterschieden werden, wie in Abbildung 21 dargestellt. Das Endprodukt beim Scharfschnitt sind unbesäumte Bretter, diese müssen danach besäumt werden. Bei der Trocknung ist die Gefahr der Krümmung hoch, da die Mittelstücke den Kern enthalten. Der Prismenschnitt teilt sich in zwei Arbeitsschritte auf. Zuerst wird das Bloch abgeschwartet und danach entstehen daraus parallel besäumte Bretter (Lohmann und Blosen 2010).

Für die Herstellung von Holzfenstern sind die Holzarten Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Hemlock, Douglasie und Eiche geeignet. Für Nadelholz muss eine Rohdichte von 350 kg/m^3 und für Laubholz eine Rohdichte von 450 kg/m^3 erreicht werden (ÖNORM B 3013).

Es gibt eine Vielfalt an verschiedenen Holzfenster und Holz-Alufenster Konstruktionen, daher werden in der ÖNORM B5312 nur wesentliche Konstruktionsmerkmale beschrieben. Sie enthält Konstruktionsregeln für verschiedene Ausführungsarten.

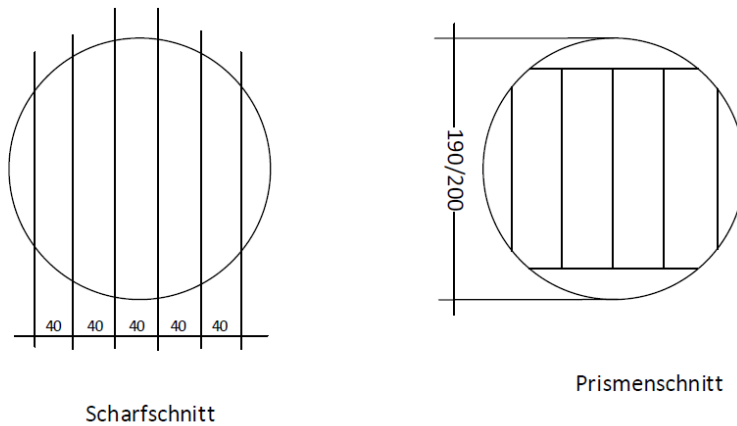


Abbildung 21: Einschnitt Varianten nach (Lohmann und Blosen 2010)

Die Bretter werden nach der gewählten Einschnitts Variante auf ungefähr 13% Feuchtegehalt getrocknet, bevor sie auf die Lamellen für die Fensterkante zugeschnitten werden. Die Lamellen für die Mittellage werden keilgezinkt und die Lamellen für die Decklage werden aussortiert, da diese aus optischen Gründen, keine Fehler oder Keilzinkung aufweisen dürfen. Danach werden die Lamellen nochmal vor dem Verleimen gehobelt. Die verklebten Lamellen werden dann auf Fensterkanteprofile zugeschnitten. Der letzte Schritt zum fertigen Fensterrahmen ist die Schlitz Zapfen Verbindung (ÖNORM B 3013).

Holzfenster können in Schichtenmodelle eingeteilt werden. Für jede dieser Schichten kann ein anderes Material ausgewählt werden, um die höchsten technischen Materialeigenschaften zu erzielen. Jedoch müssen diese Materialien gut miteinander verbunden werden können (Leuschner und Von Houwald Bernhard 2011).

In dieser Arbeit wird das Holz-Alu Fenster wie in Abbildung 22 dargestellt und auf die Ausbeute des Rohstoffes Holz des Holzteiles des Fensters als Hauptaugenmerk untersucht.

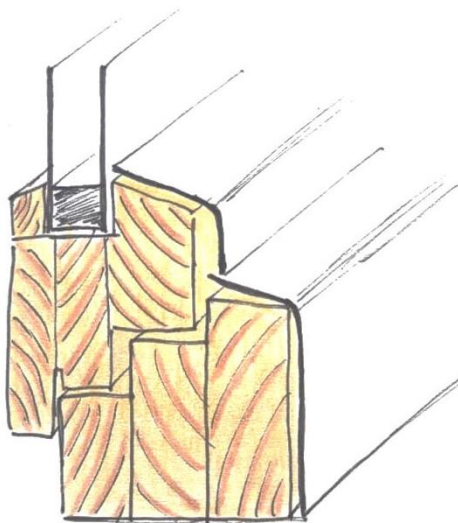


Abbildung 22: Querschnitt Holz-Alu Fenster

3. Methoden

Als Ansatzpunkt für die genaue Berechnung des Holzverbrauches vom Rohprodukt zum fertigen Endprodukt wurden Normen, eigene Annahmen, anonymisierte Daten, aus Firmenbefragung und Literaturangaben verwendet. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen für jeden Prozess einzeln in einem Diagramm dargestellt werden.

3.1. Fragebögen

Eine Methode um Daten zu bekommen war die Aussendung an Fragebögen an namhafte holzverarbeitende Industriebetriebe. Es wurden 8 Sägewerke, 8 Brettschichtholzhersteller, 5 Brettsperrholzhersteller, 2 Furniersperrholz-/Furnierschichtholzhersteller und 4 Fensterhersteller in Österreich und Deutschland befragt. Teil der Fragebögen waren Fragen zu Holzart, Rohmaterial, Technologie, Produktionsprozesse, Ausbeute und Verluste.

Die verwendeten Fragebögen und die Auflistung der angeschriebenen Betriebe sind im Detail im Anhang zu finden.

3.2. Säge

Für eine hohe Ausbeute sind mehrere Faktoren grundlegend. Diese Faktoren sind nicht genau vorhersehbare Stammformen wie Ovalität, Krümmung, Abholzigkeit und Durchmesser. Je genauer dies erfasst wird, desto höher ist die Ausbeute. Diese Faktoren werden mittels 3D-Messung von Rundholz und Kantholz berechnet. Mit Optimierungsprogrammen, automatischer Stammeindrehung, Eckenfräser um das Ausreißen von Seitenware zu verringern und einer automatischen Vorschubgeschwindigkeitsregelung werden die oben generierten Daten verarbeitet. Durch die Lückenregelung in der Vorschubgeschwindigkeitsregelung wird ein gleichmäßiger Abstand der Bloche sichergestellt, wodurch ein größtmöglicher Durchsatz an Blochen erreicht wird. Dann werden die Bloche mithilfe der Microtec-3D-Messung gescannt und mit den Daten kann die wertgrößte Einschnittvariante errechnen. Zusätzlich wird die bestmögliche Schnittbildlage ermittelt (Nöstler 2014).

Die Sägeindustrie optimiert ihre Produktion aber nicht rein nach der volumsmäßigen Ausbeute, sondern auch mit einer monetären Bewertung der verschiedenen Sortimenten und Dimensionen.

Bei der Vermessung von Rundholz müssen die in Österreichischen Holzhandels-Usancen (ÖHU) genannte ÖNORM L1021 eingehalten werden. In der Länge des Bloches muss nach den Österreichischen Holzhandels-Usancen ein gewisses Übermaß gegeben sein, das aber bei der Ausbeuteberechnung im Sägewerk nicht berücksichtigt wird, aber dennoch rein physisch vorhanden ist. In Tabelle 1 ist das geforderte Übermaß laut Holzhandelsusancen dargestellt.

Tabelle 1: Übermaßtabelle laut ÖHU

Sortiment		grundsätzlich	mindestens	höchstens
Sägerundholz	Nadelholz	1% der Länge	6cm	15cm
	Laubholz	1% der Länge	5cm	10cm

Ein Baum hat einen gewissen Anteil an Rinde, in der ÖNORM L2021 ist die Berechnung für die doppelte Rindendicke ganz genau geregelt und kann mit folgender Formel berechnet werden.

$$r = A_0 + A_1 * d + A_2 * d^2$$

r doppelte Rindendicke in mm

d Mittendurchmesser in cm

A₀; A₁; A₂ baumartenspezifische Koeffizienten gemäß Anhang A1

(ÖNORM L 1021)

3.3. Brettschichtholz

Für die schriftliche Befragung der Ausbeute von Brettschichtholz wurden folgende Firmen aus der Tabelle 2 kontaktiert. Die gewonnenen Daten wurden anonymisiert.

Tabelle 2: Firmenverzeichnis BSH

Firma	Produktname
Weinberger	BSH
Binder	BSH
Theurl	BSH
Hasslacher Timber	Norrica BSH
Mayr-Melnhof Systemholz	Master Line

3.4. Brettsperrholz

Für die theoretische Ausbeuteberechnung wurden Plattengrößen wie in Tabelle 3 verwendet, deren Größe im Mittel der wichtigsten Hersteller gezeigt, in Österreich liegt.

Tabelle 3: Firmenverzeichnis BSP

Firma	Produktname	max. Länge [m]	max. Breite [m]
KLH	Kreuzlagenholz	16,5	2,95
Binder	BBS 125	20	1,25
Binder	BBS XL	22	3,5
Stora Enso	CLT	16	2,95
Mayr-Melnhof Systemholz	BSP	16,5	3,5

In Abbildung 23 ist die mögliche Aufteilung einer BSP Rohplatte in Wandelemente und in Abbildung 24 eine Aufteilung einer BSP Rohplatte in Deckenelemente aus der Großplattenherstellung dargestellt. Es wurden Standard Fenster- und Türeingrößen für die Ausschnitte verwendet und mit den Daten wurden dann die Ausbeute Berechnungen erstellt.

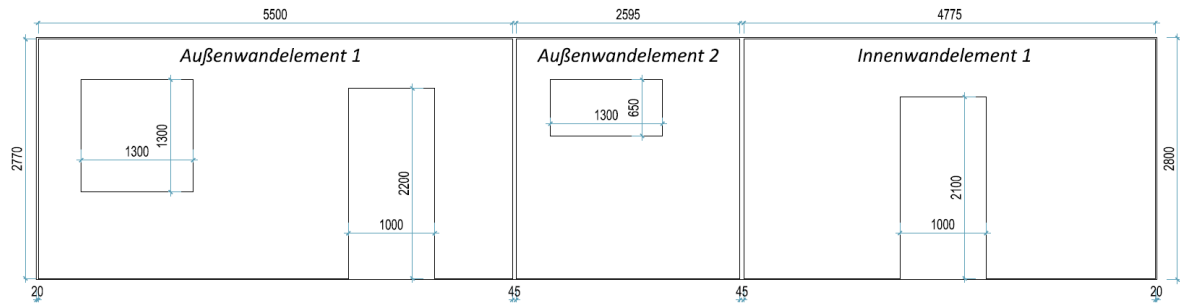


Abbildung 23: Beispiel einer möglichen Aufteilung einer Rohplatte in Wandelemente

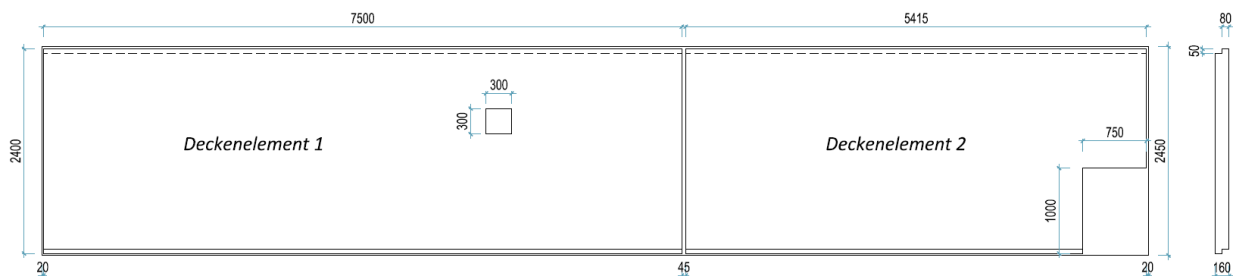


Abbildung 24: Beispiel einer möglichen Aufteilung einer Rohplatte in Deckenelemente

3.5. Furniersperrholz und Furnierschichtholz

Ein Stamm ist nie zu 100 % rund und zylindrisch. Um qualitativ hochwertiges Furnier herzustellen, muss dieser durch das sogenannte Anschälen in die Form eines Zylinders gebracht werden. Hier sind die ersten Verluste des Rohstoffes zu finden. Es kann auch nur bis zu einem bestimmten Durchmesser geschält werden, dadurch entsteht eine Restrolle (Pollmeier Massivholz 2015).

Abschälen auf eine Restrolle, bei der Herstellung von Buchenfurnier auf einen Durchmesser von ungefähr 8cm möglich, es fallen aber teilweise aus holztechnischen Gründen auch etwas größere Restrollen an. Der Durchmesser der Restrollen hängt unter anderem von der Holzart und auch der weiteren Verwendung des Schälfunriers ab (Lohmann und Blosen 2010).

Seitlich am entstehenden Furnierband müssen auch jeweils ungefähr 10 Zentimeter weggeschnitten werden. Fehler im Furnierband müssen ausgeklippt werden. Nach dem Pressen müssen die Platten noch geschliffen werden und auf das gewünschte Format zugeschnitten (Pollmeier Massivholz 2015).

Tabelle 4: Firmenverzeichnis Furnierschicht- und Furniersperrholz

Firma
Schweitzer
Pollmeier

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse von den in dieser Arbeit behandelten Prozessen, Sägetechnik, Herstellung von Brettschichtholz, Brettspertholz, Furnierschichtholz, Furnierspertholz und Holz-Alu Fenster in graphischer und schriftlicher Form dargestellt.

4.1. Säge

In Abbildung 27, Abbildung 28 und Abbildung 29 sind Ausbeutediagramme aus dem Holz Handbuch von Ulf Lohmann dargestellt. Eindeutig ist zu erkennen, dass die Ausbeute der Hauptware im Schnitt zwischen 50% und 60% liegt und der Anteil der Seitenware zwischen 8% bis 12% liegt, der Rest teilt sich in Sägespäne und Hackschnitzel auf. Deutlich sichtbar ist auch, dass mit zunehmendem Zopfdurchmesser die Ausbeute an Haupt- und Seitenware steigt. Dies gilt für alle Haupterzeugnisse gleichermaßen.

Blockware, auch Blochware ist nach DIN EN 844-3 besäumtes Schnittholz ohne Schwarte. Brettschwarte mit zwei Schnittflächen, wo die beiden Baumkanten breiter sind als die schmalere Schnittfläche (Lohmann und Blosen 2010).

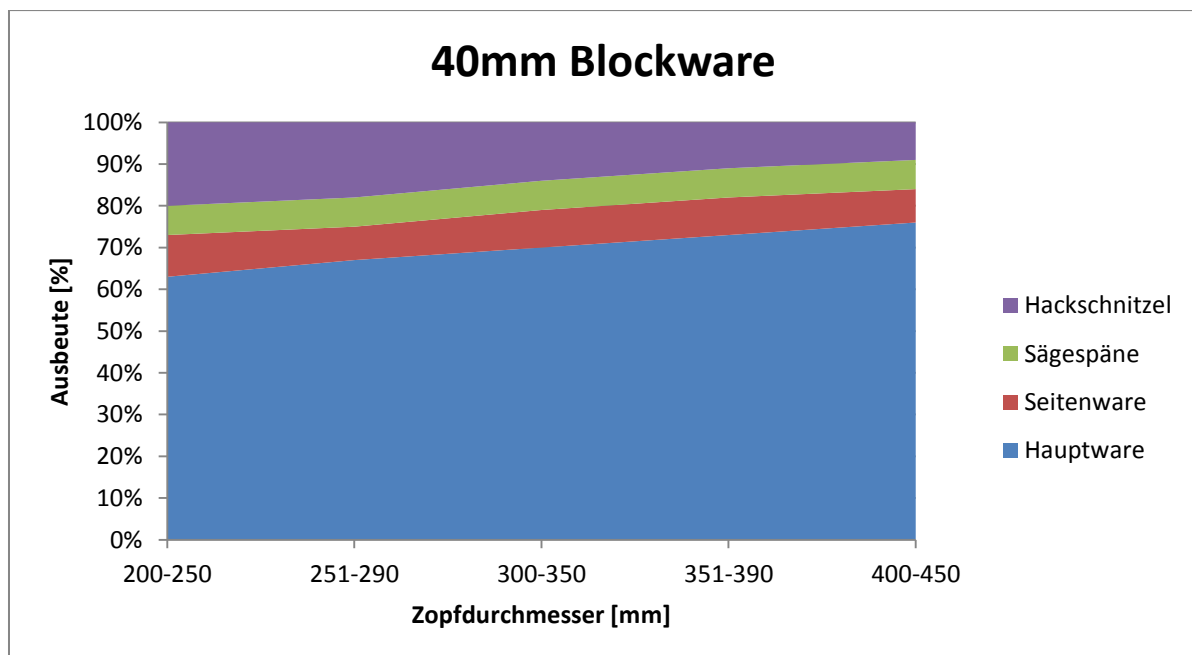


Abbildung 27: Sägeausbeute von 40mm Blockware umgezeichnet nach (Lohmann 2016)

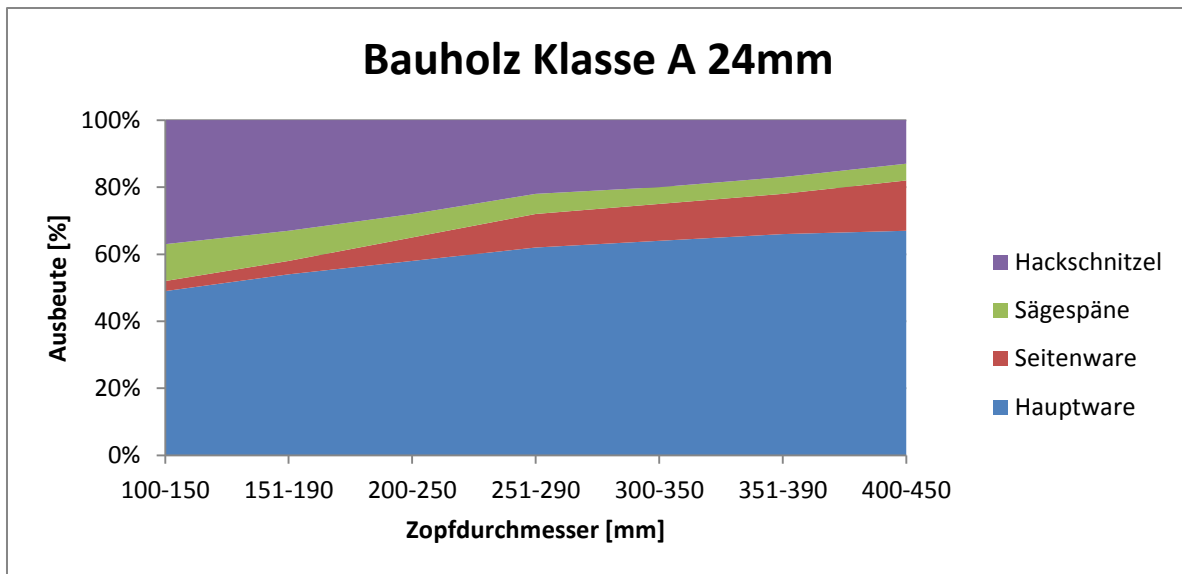


Abbildung 28: Sägeausbeute von Bauholz Klasse A 24mm umgezeichnet nach (Lohmann 2016)

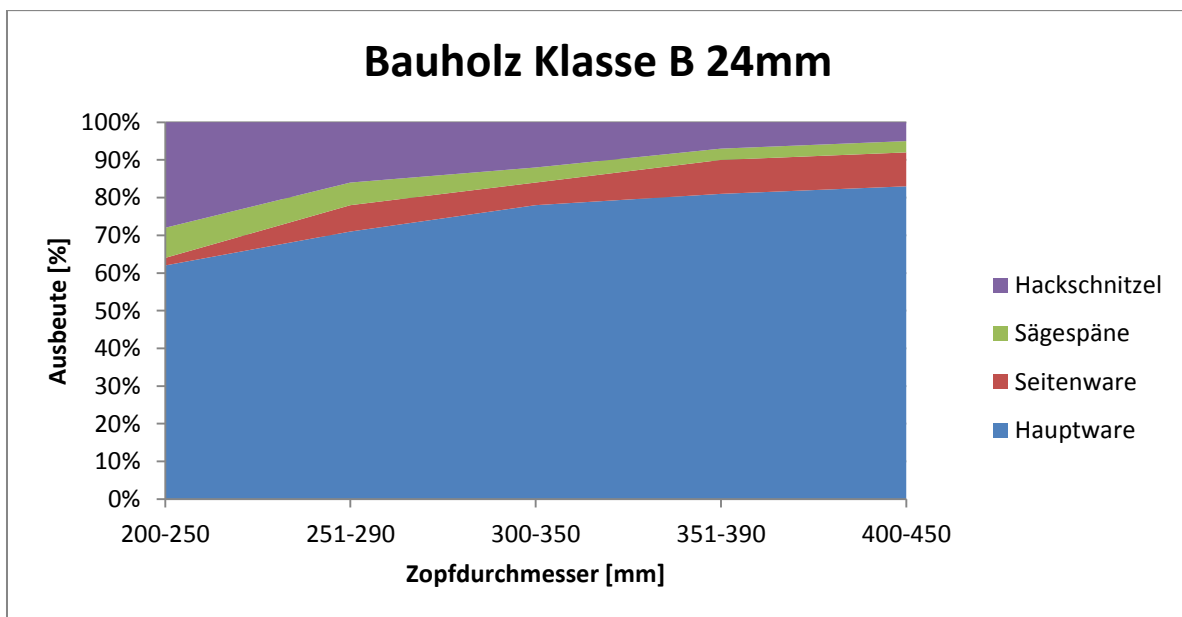


Abbildung 29: Sägeausbeute von Bauholz Klasse B 24mm umgezeichnet nach (Lohmann 2016)

In Abbildung 30 ist ein Ausbeutediagramm nach Fronius, Arbeiten und Anlagen im Sägewerk, Band 2 dargestellt. Hier wurde die Ausbeute auf den Mittendurchmesser berechnet. Bei einer Abholzigkeit von 1cm/1m ist der Mittendurchmesser 2cm mehr als der Zopfdurchmesser auf 4m Länge.

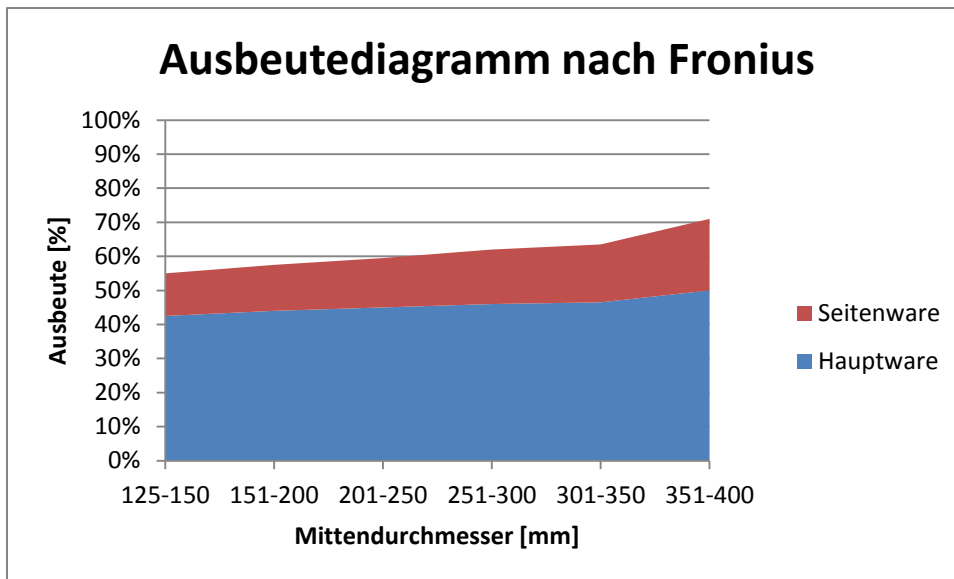


Abbildung 30: Sägeausbeute von Haupt- und Seitenware umgezeichnet nach (Fronius 1989)

Was man ganz deutlich über alle Ergebnisse hin weg sagen kann ist, dass bei steigendem Zopf- oder Mittendurchmesser die Ausbeute an Hauptware leicht steigt und die Seitenware stärker steigt. Diese Ergebnisse werden auch durch die Ergebnisse aus der Firmenbefragung gestützt. Die Gesamtausbeute in der Industrie liegt zwischen 60% und 65%. Bei Zopfdurchmesser von unter 160mm liegt die Gesamtausbeute zwischen 54% und 57%. Der Hauptwarenanteil liegt zwischen 42% und 48% und der Anteil der Seitenware zwischen 15% und 16%. Nach Angaben der Industrie teilt sich der Rest 50% zu 50% in Hackgut und Sägespäne auf. Der größte Anteil an Sägerundholz ist Fichten-, Kiefern und ein kleiner Teil Lärchenholz. Eingeschnitten wird mit Zerspanerlinien und Gattersägetechnik. Laut Sägewerksangaben ergeben sich keine großen Unterschiede bei den unterschiedlichen Holzarten bei der Ausbeute.

Mit verschiedenen Standardeinschnittmustern aus der Industrie wurde die Ausbeute von Kiefernrundholz für Hauptware, Seitenware, sowie der Anteil von Spänen und Hackgut mithilfe eines Einschnittoptimierungsprogrammes berechnet. Die Daten stammen aus der anonymisierten Firmenbefragung. In Abbildung 31 ist die Ausbeute von Hauptware und Nebenware auf den Zopfdurchmesser für die Holzart Kiefer an einem konkreten Firmeneinschnitt dargestellt. Bei dieser Berechnung wurde auf die Gesamtausbeute das Hauptaugenmerk gelegt, die sich hier aus Hauptwaren und Seitenwaren zusammensetzt. Zu den unüblichen Sprüngen in den Ausbeute kommt es aufgrund eines speziellen Einschnittmusters. Wenn man nur die Gesamtausbeute betrachtet, steigt diese wie in der Literatur beschrieben mit zunehmendem Zopf-/Mittendurchmesser.

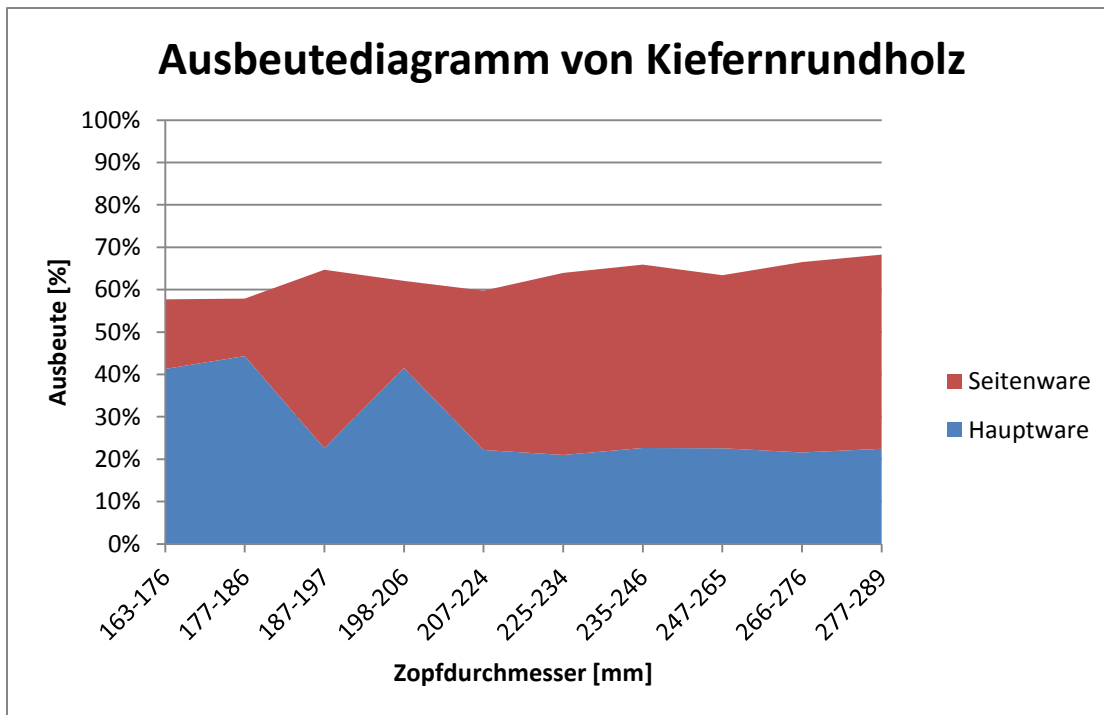


Abbildung 31: Beispiel einer Sägeausbeute von Kiefernrundholz aus der Industrie an einem konkreten Beispiel mit Fokus auf die Gesamtausbeute von Haupt- und Nebenware

Da in dieser Arbeit aber der gesamte Rohstoffverbrauch untersucht werden soll, sind diese Daten allein nicht aussagekräftig, da schon bei der Vermessung des Bloches, Verluste entstehen. In Abbildung 32 ist die Ausbeute von Kiefernholz mit Messzugabe (Kappstücke), Rindenanteil, Späne und Hackgut umgerechnet auf den Mitteldurchmesser dargestellt.

Wenn man Abbildung 31 mit Abbildung 32 vergleicht kann man gleich erkennen, dass sich Ausbeute an Haupt- und Seitenware um im Schnitt 5% verringert. Die Differenzen in den unterschiedlichen Ausbeuten sind auf eine große Menge nicht zu unterschätzen.

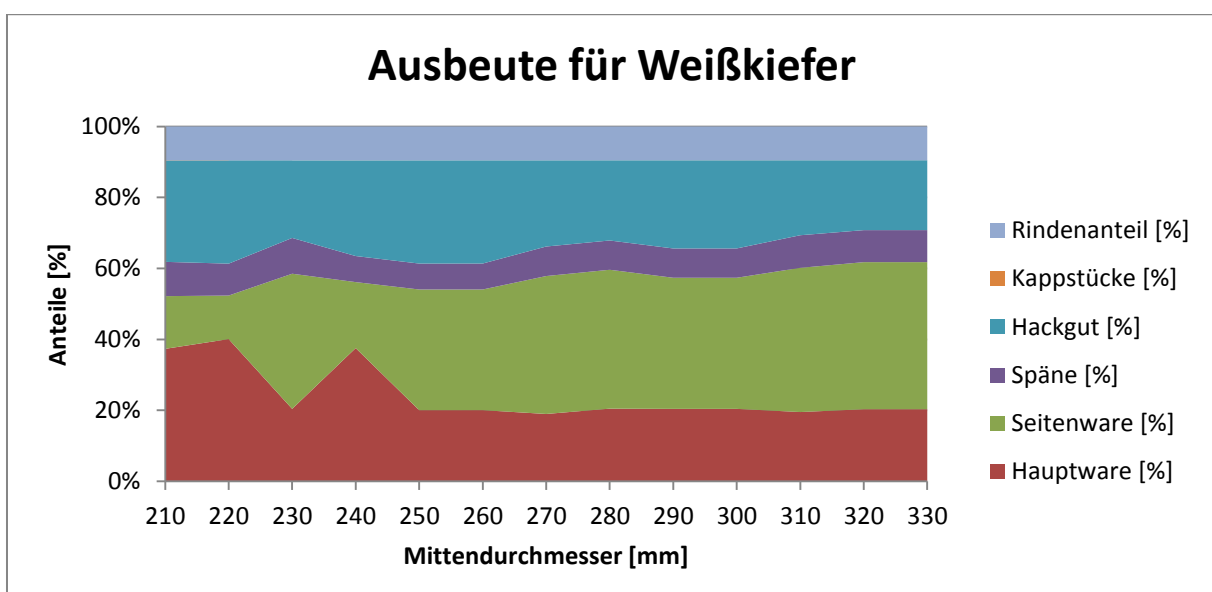


Abbildung 32: Beispiel einer Gesamtausbeute bei Weißkiefer aus Industrieangaben

Ein Stamm besteht grundsätzlich aus 100% Biomasse (Rinde und Holz) und alles was bei der Produktion von einem Produkt, in dem Fall sägerauen Brettern abfällt, sollte in die Berechnung der Ausbeute mit eingehen. Jedoch ist es in der Industrie nicht üblich den Rindenanteil miteinzurechnen. In den folgenden Grafiken (Abbildung 33, Abbildung 34 und Abbildung 35) sind die Ausbeuten mit den Einschnitt Mustern für die in Österreich wichtigsten Holzarten abgebildet.

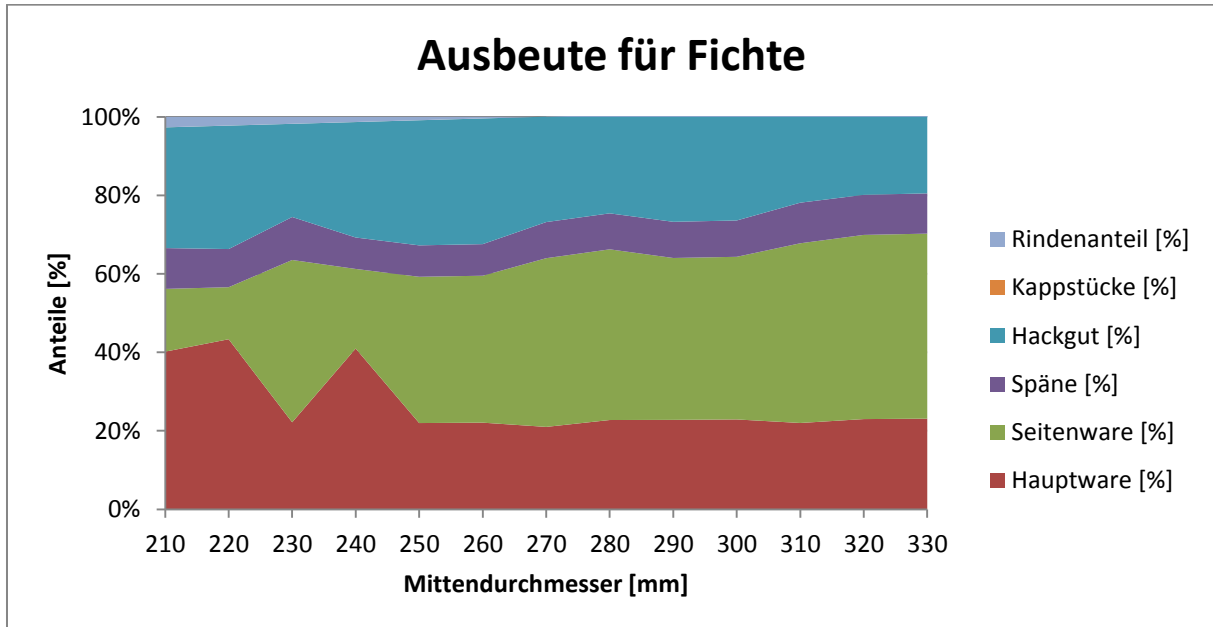


Abbildung 33: Beispiel einer Sägeausbeute von Fichtenrundholz aus der Industrie an einem konkreten Beispiel mit Fokus auf die Gesamtausbeute von Haupt- und Nebenware mit Einbeziehung des Rindenanteils

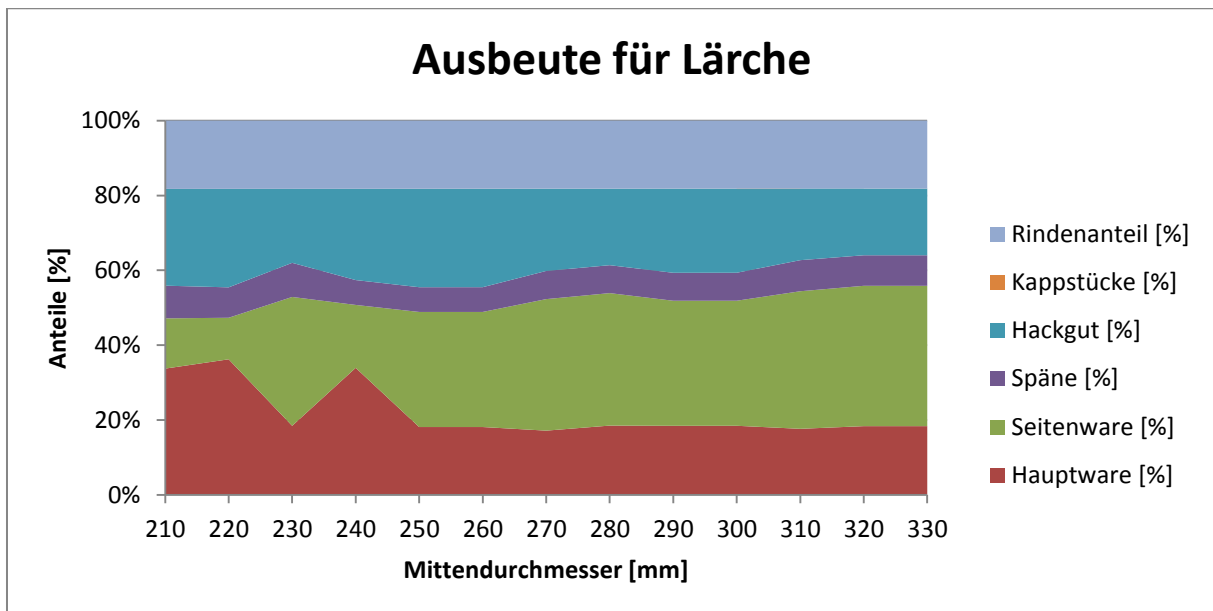


Abbildung 34: Beispiel einer Sägeausbeute von Lärchenrundholz aus der Industrie an einem konkreten Beispiel mit Fokus auf die Gesamtausbeute von Haupt- und Nebenware mit Einbeziehung des Rindenanteils

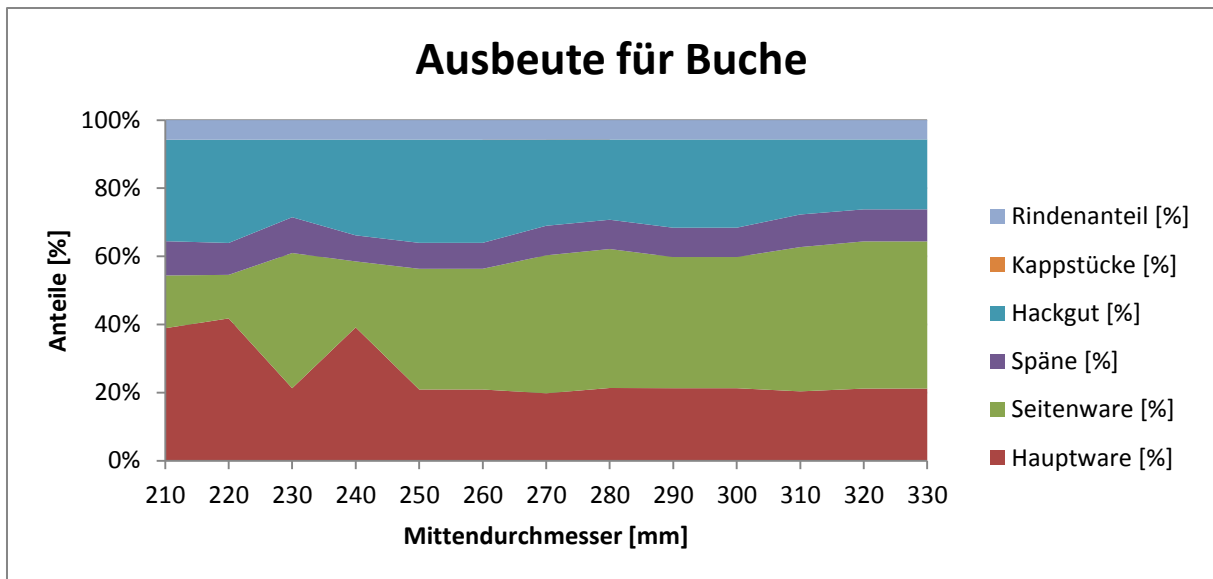


Abbildung 35: Beispiel einer Sägeausbeute von Buchenrundholz aus der Industrie an einem konkreten Beispiel mit Fokus auf die Gesamtausbeute von Haupt- und Nebenware mit Einbeziehung des Rindenanteils

Wenn man die unterschiedlichen Holzarten vergleicht, ist deutlich sichtbar, dass der Rindenanteil schwankt. Bei der Holzart Lärche ist der Anteil an Rinde fast doppelt so groß wie bei Kiefer und Fichte. Buche hat mit ungefähr 7% den geringsten Rindenanteil. Die Daten aus der Literatur können mit den Daten aus der Praxis und umgekehrt bestätigt werden. Da in der Praxis der Rindenanteil schon bei der Abrechnung vor dem Sägewerk abgezogen wird, wird dies auch in dieser Arbeit so gehandhabt und nicht mit gerechnet, das Ausgangsprodukt ist Rundholz ohne Rinde. In der weiteren Ressourcenverbrauchsberechnung der Produktionsprozesse Brettschichtholz und Brettsperrholz eine Ausbeute von 50% angenommen wird, da dies im Mittel der Werte liegt.

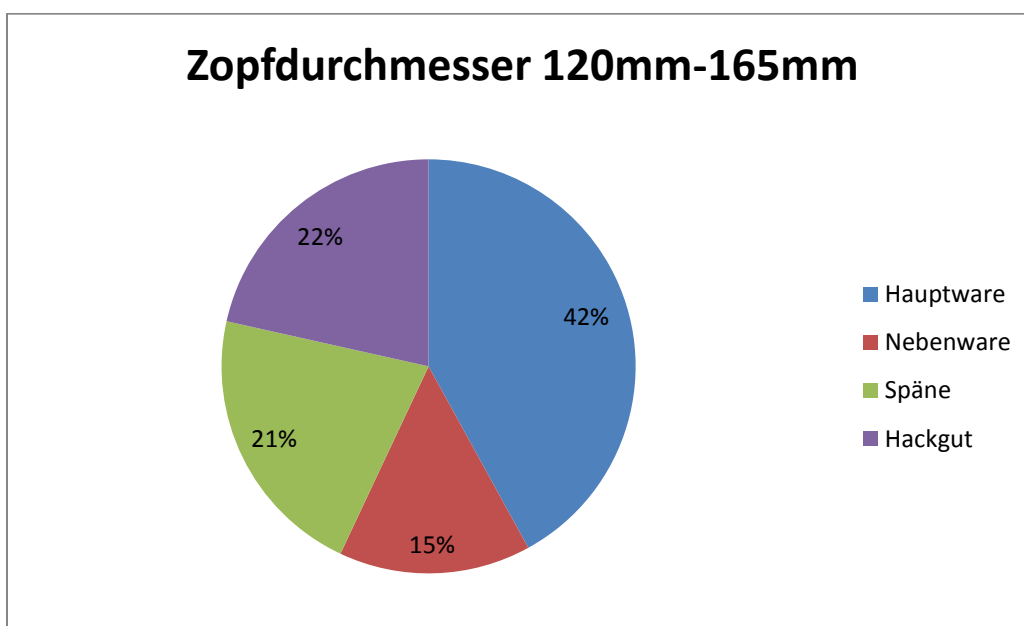


Abbildung 36: Zusammenfassung der Daten aus der Industrie mit Zopf 120mm-165mm

Zopfdurchmesser 170mm-300mm

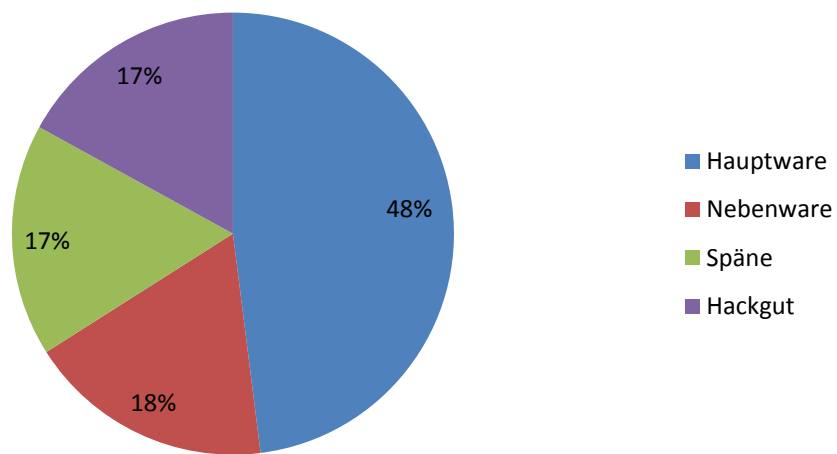


Abbildung 37: Zusammenfassung der Daten aus der Industrie mit Zopf 170mm-300mm

4.2. Brettschichtholz

Um die Ausbeute des Rohstoffes Holz zu berechnen, musste zuerst der Produktionsprozess auf seine einzelnen Schritte untersucht werden. Das Ausgangsprodukt ist Rundholz, nach der Literaturrecherche kann angenommen werden, dass bei der Herstellung von sägerauen Brettern nur eine Ausbeute von 50% erreicht werden kann. Für die Herstellung von BSH wird nur mehr Hauptware verwendet. Früher wurde auch Seitenware für die Herstellung von BSH verwendet, dies ist aber heute nicht mehr so.

Die Bretter müssen egalisiert und sortiert werden, dabei verliert man 5% des Rohmaterials. Einige Fehler werden noch ausgekappt, was wieder einen Verlust von 2% verursacht. Danach werden die Bretter, um Endloslamellen herzustellen, keilgezinkt, dabei gehen 2,2% Holz verloren. Vor dem Verpressen werden bei den Lamellen noch einmal 2,2% an der Oberfläche weggehobelt. Die Ausbeuteberechnung von Brettschichtholz ist in Abbildung 38 graphisch dargestellt. Die Endausbeute an Holz bei der Herstellung von Brettschichtholz liegt bei 36%, was einen Rohstoffverlust von 64% am Weg zum fertigen Produkt bedeutet.

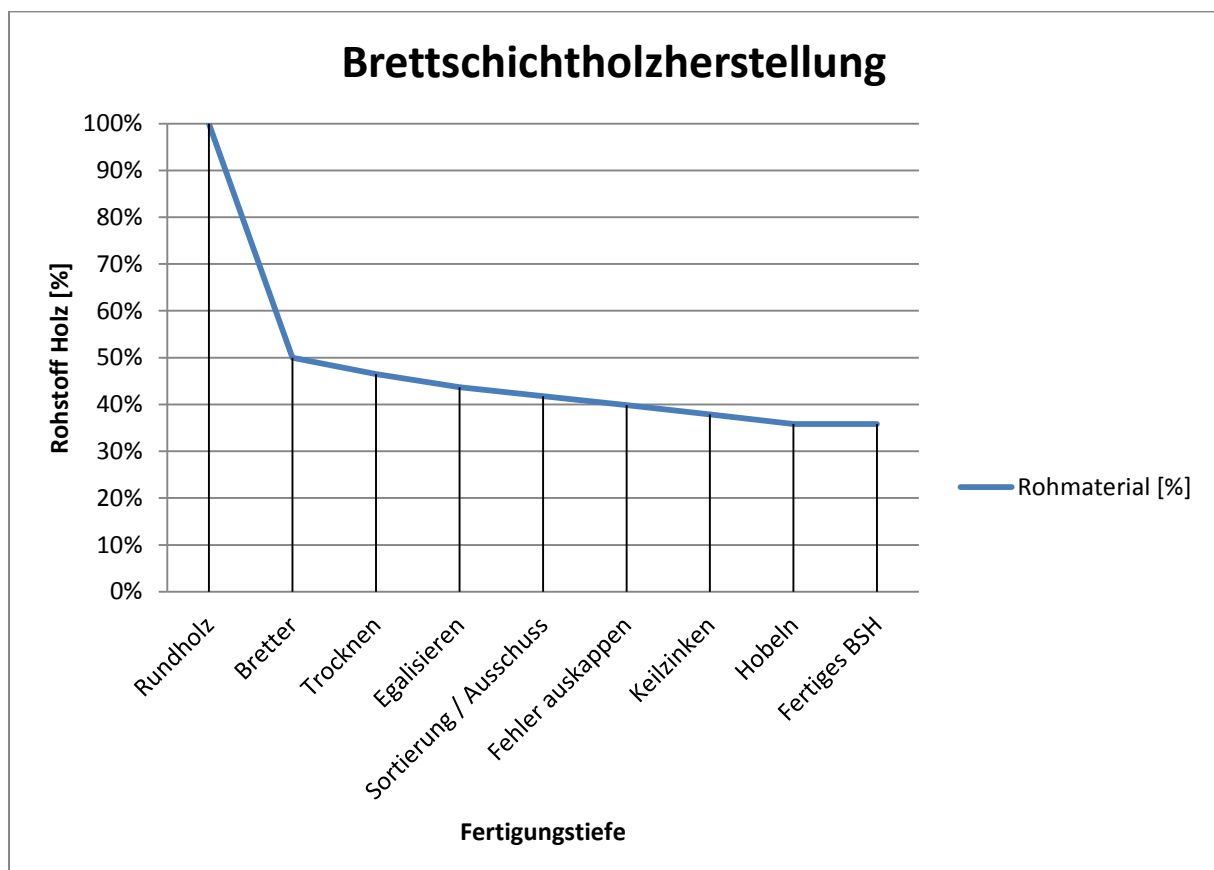


Abbildung 38: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Herstellung von BSH

4.3. Brettsperrholz

Für Brettsperrholz ist das Ausgangsprodukt Rundholz, auch hier wurde eine Ausbeute von 50% bei der Herstellung der sägerauen Bretter angenommen. Bei der Herstellung von Brettsperrholzplatten wird in zwei Herstellungsarten unterschieden. Bis zur Rohplatte sind diese aber gleich.

Die sägerauen Bretter werden im ersten Schritt egalisiert, hier wird 1% Holz weggehobelt. Bei der Sortierung und dem aussortieren des Ausschusses verliert man 1,2% vom Rohstoff. Beim Keilzinken und anschließend hobeln der Lamellen kommt es zu einem Rohstoffverlust von 6%. Um die Platte auf das gewünschte Format zuzuschneiden wird diese noch aufgetrennt, wo 0,5% Holz durch die Schnittfuge verloren geht. Nach dem Verpressen ist die Rohplatte fertig. Für die Herstellung der BSP Platte bis zu diesem Punkt wurden 59,5% Rohstoff verbraucht und eine Ausbeute von 40,5% erreicht. Ab der fertigen Rohplatte unterscheidet sich ob eine klein- oder großformatige Platte hergestellt wird. BSP Kleinformatplatten werden in erster Linie für Deckenelemente verwendet. Der Produktionsprozess mit den Verlusten ist in Abbildung 39 dargestellt. Dadurch dass nur Deckenelemente produziert werden, kommt es zu keinen so großen Ausschnittverlusten, wie bei der Großplatte. Bei der Kleinplatte werden 3,2% beim Ausschneiden von Fenstern und beim Zuschnitt auf die gewünschte Größe verloren. Dies ergibt eine Gesamtausbeute von 37,5% bei der Herstellung eine BSP Kleinplatte.

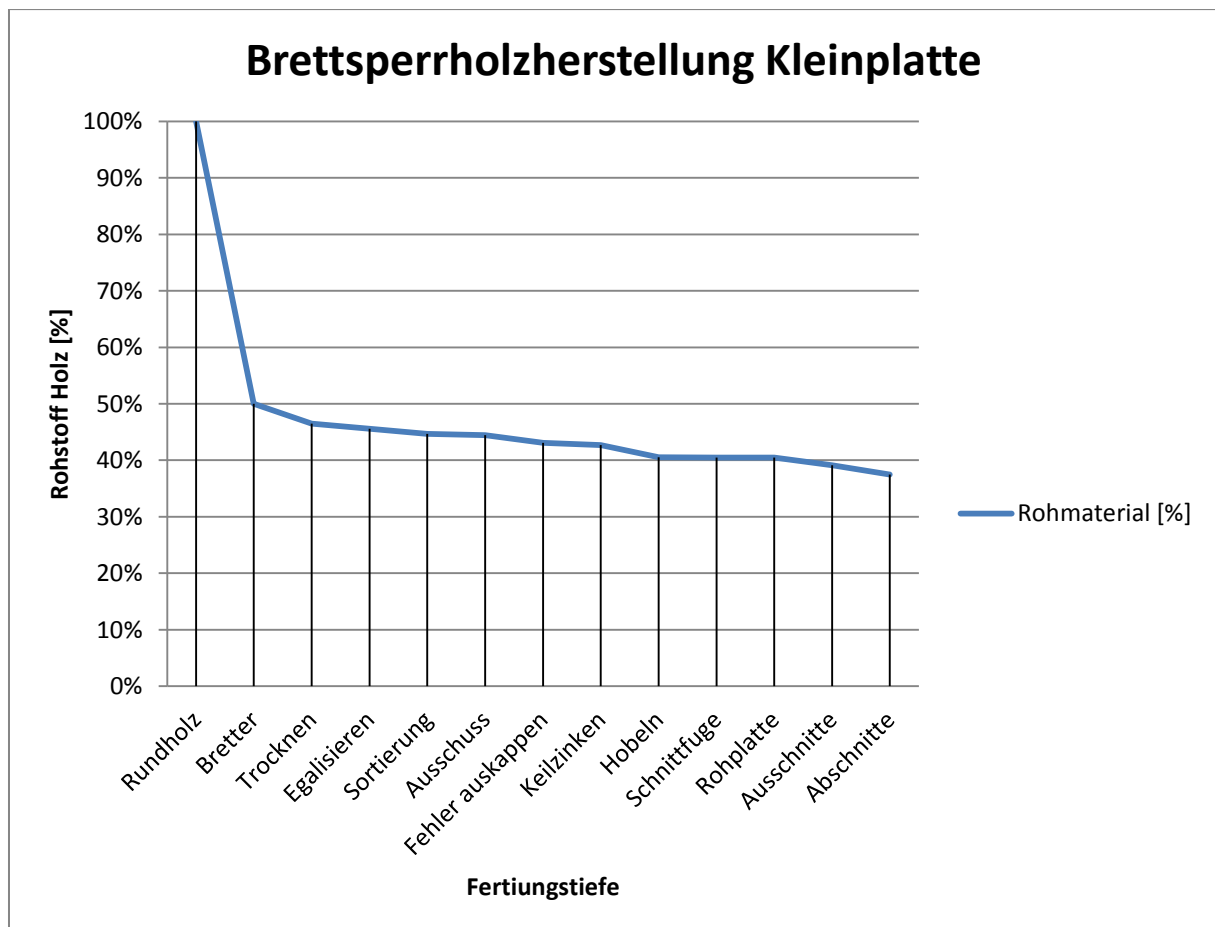


Abbildung 39: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Kleinplatten Herstellung von BSP

Bei einer Großplatte entstehen mehrere Wand- und Deckenelemente aus einer Rohplatte. Bei diesen Elementen werden Türen und Fenster mit der CNC ausgeschnitten, was einen Rohstoffverlust von 4% mit sich bringt. Am Ende müssen die Elemente nur noch mit einem Schnitt voneinander getrennt werden. Für die Herstellung einer Großplatte Brettsperrholz ergibt sich somit eine Ausbeute von 36%. Der Prozess ist in Abbildung 40 dargestellt. Aus 1m³ Holz können 0,43m³ BSP hergestellt werden (Waugh Thistleton Architects 2018).

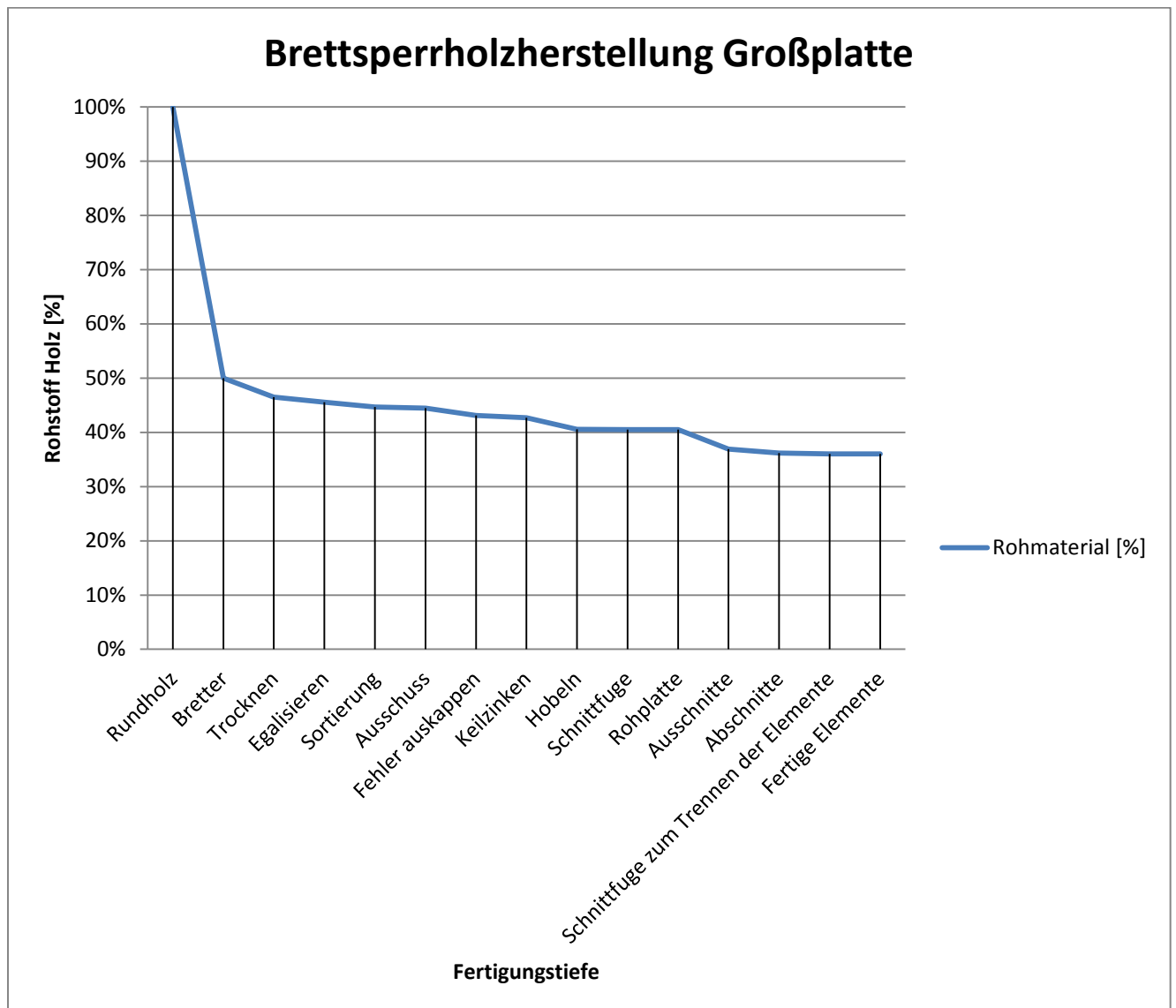


Abbildung 40: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Großplatten Herstellung von BSP

4.4. Furnersperrholz und Furnierschichtholz

Das Ausgangsprodukt für die Herstellung von Furnersperrholz und Furnierschichtholz ist Buchenrundholz mit einem Zopfdurchmesser von 33cm und einer Länge von 2,5m. Der Prozess vom Rohstoff bis zum Endprodukt ist in Abbildung 41 dargestellt.

Das Bloch wird gedämpft, damit innere Spannungen abgebaut werden können. Der Rindenanteil von Buche liegt bei rund 7%, danach wird das Bloch, damit hochwertiges Furnier erzeugt werden kann auf einen Zylinder zugeschnitten. Bei diesem Schritt spielt die Abholzigkeit eine große Rolle. Bei Laubholz wird eine Abholzigkeit von 2,5cm pro Meter Länge angenommen (Lohmann und Blosen 2010). Beim Zylinderzuschnitt werden schon über 4% vom Rohstoff verloren. Beim Furnierschälen muss am entstehenden Furnierband jeweils seitlich 10cm vom Schälrand weggekapppt werden, was einen Verlust von gut 3% verursacht. Beim Fehler auskappen vom Furnierband entstehen Verluste von 5%. Am Ende der Schälfurnierherstellung bleibt eine Restrolle mit einem Durchmesser von 8cm übrig. Die Restrolle ergibt einen Rohstoffverlust von 5,6%. Die Furnierblätter müssen getrocknet werden und beim Furnersperrholz werden die getrockneten Furnierblätter kreuzweise und beim Furnierschichtholz parallel verpresst und verklebt. Die Press- und Trockenverluste betragen 7%.

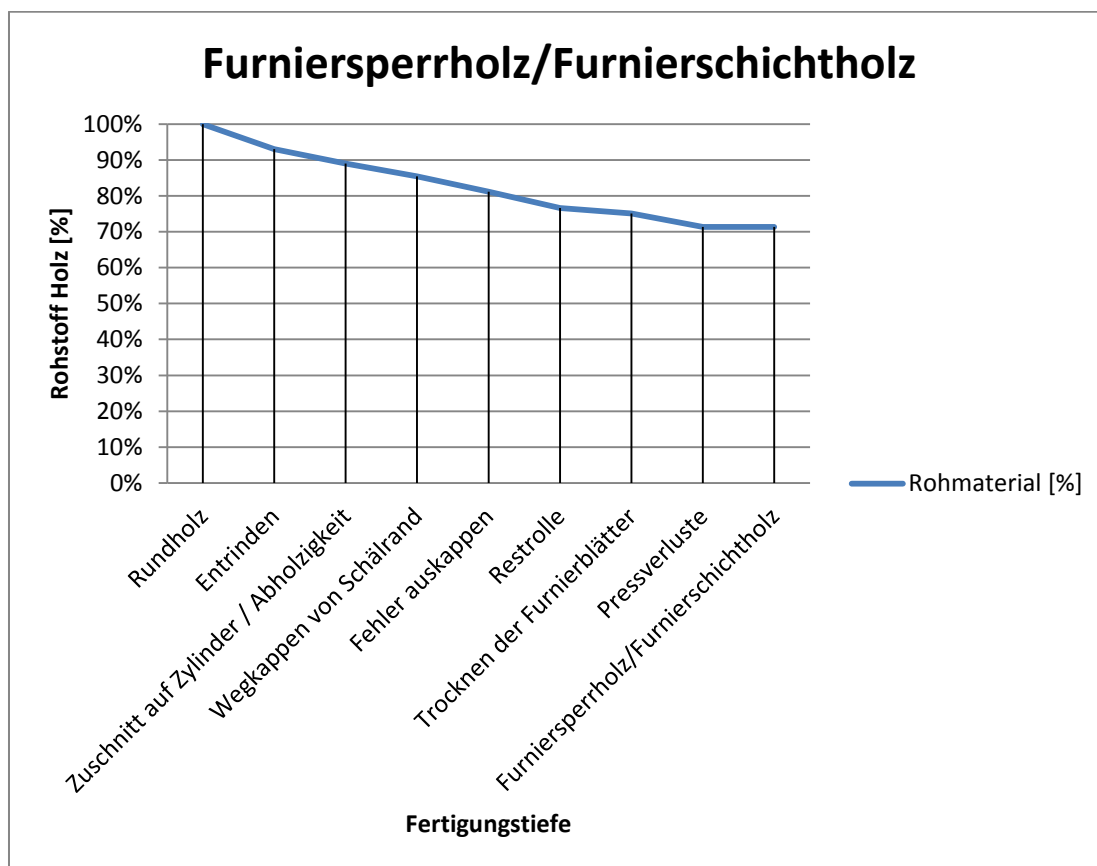


Abbildung 41: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Herstellung von Furnierschicht- und Furnersperrholz

Am Ende des Prozesses zur Herstellung von Furnersperrholz oder Furnierschichtholz wird eine Rohstoffausbeute von 71% erreicht werden.

4.5. Holz-Alu Fenster

Um ein Holz-Alu Fenster herzustellen, müssen zuerst die Profile für den Fensterteil aus Holz, wie in der Reihenfolge in dem Prozess mit den Ausbeuteverlusten in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gezeigt gefertigt werden. Das Ausgangsprodukt ist Rundholz. Dieses wird meist mit einem Prismenschnitt bei einer Ausbeute von 55% eingeschnitten. Beim Zuschnitt auf die Rohlamelle beträgt der Verlust des Rohstoffes 16,5%. Die Rohlamellen werden gehobelt, keilgezinkt und aussortiert, danach bleibt noch 33% vom Rohstoff übrig. Der größte Verlust entsteht beim Ausfräsen der Fensterkante, dieser beträgt 14%. Im Anschluss wird das Rohfenster durch Schlitz-Zapfen Verbindungen miteinander verbunden, dabei verliert man nochmals 1%. Die Ausbeute bei der Herstellung eines Rohfensters beträgt 19%, dies ist ein Verlust von 81% Rohstoff.

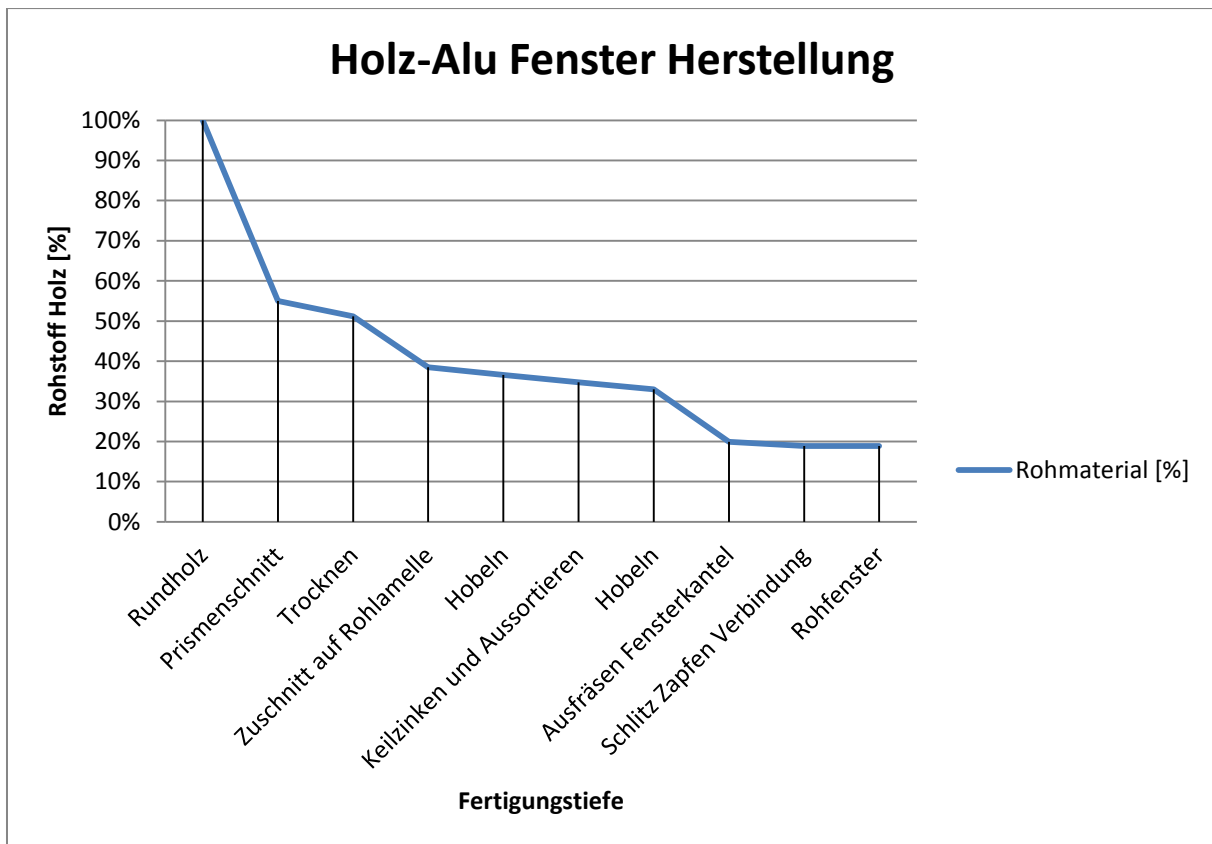


Abbildung 42: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Herstellung eines Rohfensterteiles aus Holz

5. Diskussion

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse aus dem Kapitel 4 diskutiert und mögliche Verbesserungspotentiale aufgezeigt.

Holz ist ein relativ schnell nachwachsender Rohstoff. Fichten und andere Nadelbäume werden schon nach 60 bis 80 Jahren wieder geerntet. Laubbäume wie die Buche haben eine Umtriebszeit von 80 bis 100 Jahren. Einer der am wirtschaftlich wichtigsten Baumarten in Österreich ist und wird auch in der Zukunft die Fichte sein. Tragende Massivholz Konstruktionselemente für den Bau, Brettschichtholz und Brettsperrholz werden zum größten Teil aus Fichte hergestellt. Für Furniersperrholz und Furnierschichtholz ist das Ausgangsprodukt Holzfurnier. Diese Holzfurniere werden zum größten Teil aus Buche hergestellt. In Russland und in Skandinavien werden Birke, Fichte und Kiefer sehr gerne für die Furnierherstellung verwendet. Nadelhölzer eignen sich genauso für die Furnierherstellung wie Laubholzarten. Bei der Herstellung von Holz-Alu Fenstern besteht der Holz Teil meist aus Fichte oder Lärche. Es wird deutlich wie bedeutend die Prozesse die in dieser Arbeit untersucht wurden sind. Der Boom zur Nachhaltigkeit in der Bauwirtschaft bleibt nach wie vor groß.

Umso wichtiger ist es ein Bewusstsein zu erzeugen, wie mit dem Rohstoff umgegangen wird. Holz ist ein nachwachsender Rohstoff. Nach nicht mal einer ganzen Generation kann der Baum wieder geerntet werden. Jedoch wurden die Wälder in den letzten Jahren durch langanhaltende Trockenperioden, Windwürfe, Käferbefall und Krankheiten stark geschwächt. Die Klimaveränderung ist in jedem Fall und wird auch in der Zukunft eine große Herausforderung an den Wald und die verschiedenen Baumarten sein. Die Forstwirtschaft wird in der Zukunft noch stark von den Veränderungen beeinflusst werden.

Umso wichtiger ist es, dass bei der Erzeugung von Produkte aus Holz auf die Ressourcennutzung großen Wert gelegt wird. Bei der Herstellung von Holzprodukten wird in den seltensten Fällen auf die Gesamtausbeute geachtet. Es gibt irgendein Rohprodukt und aus dem wird dann irgendein Endprodukt. Jedoch wie viel Rohstoff auf dem Weg zu dem gerade verwendeten Rohprodukt schon verloren gegangen ist, wird außer Acht gelassen. In dieser Arbeit wurde versucht den gesamten Weg des Rohstoffes zum Endprodukt zu verfolgen und die Verluste aufzuzeigen. Schon im Sägewerk sind nur 40% bis maximal 60% des Rohstoffes Hauptware, der Rest ist Seitenware, Hackgut und Späne.

Die weiterverarbeitende Holzindustrie die in dieser Arbeit behandelt wurde, ist das Ausgangsprodukt die Hauptware aus dem Sägewerk. Jedoch wird diese nochmal genauestens sortiert und etwaige Fehler und Farbabweichungen ausgekappt. Am Weg zu Endprodukten wie Brettschichtholz und Brettsperrholz wird bei jedem Produktionsschritt der Rohstoff noch weiter verringert. Bis am Ende dann das fertige Endprodukt aus der Produktion kommt.

5.1. Säge

Lohmann liegt mit seiner Ausbeutenberechnung um die 60% bei der Hauptware, dies ist um 10%-20% höher als die Ausbeute der Hauptware von Fronius (Band 2) und die Ausbeutenerkenntnisse aus der Industrie. Die Differenz zwischen den Daten könnte an unterschiedlichen Einschnitttechnologien liegen. Auch andere Rahmenbedingungen wie beispielsweise scharfkantige Ware oder unterschiedlichen Dimensionen (Latten, Bretter, Pfosten, Staffel- und Kantholz) beeinflussen die Ausbeute stark.

In den meisten Fällen wird in der Sägeindustrie mit Zerspanerlinien eingeschnitten. Die Vorschubgeschwindigkeit ist dabei sehr hoch, was eine sehr rasche Durchlaufzeit der Bloche ermöglicht. Die Kreissägeblätter der Zerspanerlinie verursachen aber eine relativ breite Schnittfuge, was die Ausbeute verringert. Die Bandsägetechnik und Gattertechnik weisen geringere Schnittfugenbreiten auf, was zu einer besseren Ausbeute führt. Jedoch bringen diese Einschnitttechnologien auch geringere Vorschubgeschwindigkeiten mit sich. Durch verbesserte Schnittbildberechnungen, mithilfe von moderner Technik könnte die Ausbeute ebenso erhöht werden.

Es stellt sich auch die Frage, ob es notwendig ist für die weiterführende Produktherstellung nur Hauptware zu verwenden. Seitenware weist meist weniger Äste auf und besitzt oft eine höhere Festigkeit. Ein Nachteil der Seitenware ist, dass manchmal Waldkante vorhanden ist. Ohne Unterscheidung in Haupt- und Seitenware wären die Prozentsätze der Endausbeute deutlich besser.

In der Sägeindustrie wird versucht, so viel Rohstoff wie möglich weiter zu verwenden. Alle Sägenebenprodukte zusätzlich zur Haupt- und Nebenware werden weiter verwendet oder weiter verkauft. Das Hackgut wird schon in die Form und Größe gebracht, die die Papier- und Zellstoffindustrie für die Herstellung ihrer Produkte benötigt. Die Sägespäne können in verschiedenen Bereichen weiter verarbeitet werden. Sägespäne sind das Ausgangsprodukt für die Herstellung von Holzbriketts und Pellets. Einige Sägewerke haben eine Pellets oder Brikett Presse an ihr Sägewerk angebaut und produzieren selbst. Ebenso können Palettenklötze aus Sägespänen hergestellt werden. Eine weitere Veredelung von Sägespänen ist diese zu trocknen entstauben und Einstreu für Pferde zu produzieren. Die letzte Möglichkeit ist Sägenebenprodukte thermisch zu verwerten. Dabei entsteht Energie, die zum Beispiel das gesamte Sägewerk und nahe stehende Betriebe oder Einfamilienhäuser mit Wärme versorgt.

Auch wenn in der weiteren Ressourcenverbrauchsrechnung der Produktionsprozesse Brettschichtholz und Brettspertholz eine Ausbeute von 50% angenommen wird, gibt es im Sägewerk so gut wie keinen Abfall.

5.2. Brettschichtholz und Brettsperrholz

Die Herstellung von Brettschichtholz verursacht einen Rohstoffverlust von 62% und bei Brettsperrholz gehen zwischen 60% und 62% Rohstoff am Weg verloren.

In einer Veröffentlichung von Binderholz und Saint-Gobain Rigips Austria wurde beschrieben, dass für 1m³ BSP 2,3m³ Rundholz benötigt wird. Dieser Wert wurde aber mit Rinde, die ca. 10% des Gesamtvolumens ausmacht, errechnet.

Die Literaturangaben der Rohstoffausbeute für BSP in der Höhe von 43% stimmen sehr gut mit den errechneten Werten (Kleinplatte 37,5% und Großplatte 36%) überein.

Um die Ausbeute bei der Herstellung von Brettsperrholzelementen zu erhöhen, wird versucht die relativ großen Ausschnitte von Türen und Fenstern aus der Rohplatte zu verringern. Diese Ausschnitte werden in den meisten Fällen ebenso thermisch verwertet. Jedoch gibt es erste Versuche die Ausschnitte als Grundprodukt für Möbelbauprojekte zu nutzen. Es gibt Bemühungen bei neueren Pressanlagen die Ausschnitte für Türen und Fenster frei zu lassen, um die Verluste durch die Ausschnitte im Vornhinein zu minimieren.

Bei der Herstellung von Brettschichtholz sind die größten Rohstoffverluste beim Schritt der Egalisierung und des Hobelns zu finden. Durch verbesserte Hobeltechnik könnten die Verluste hier minimiert werden. Wenn von vornherein eine bessere und gleichmäßigere Qualität der Brettware gegeben wäre, würde bei der Egalisierung nicht so viel Rohstoff verloren gehen. Weniger Schüsselung, weniger Unebenheiten, weniger Drehung und geradere Bretter würden eine geringere Materialabnahme bei der Egalisierung benötigen.

Wie bei der Ressourcennutzung in der Sägeindustrie können die Sägenebenprodukte weiterverarbeitet werden. Wenn die Bretter keilgezinkt und zu Platten oder zu Trägern verleimt werden, müssen die Abschnitte und Ausschnitte separiert werden. Durch den im Abfall enthaltenen Klebstoffanteil werden die Späne, da noch keine Möglichkeit gefunden wurde den Klebstoff von den Holzresten zu trennen, thermisch verwertet.

5.3. Furniersperrholz und Furnierschichtholz

Bei der Herstellung von Furnierschicht- und Furniersperrholz liegt die Ausbeute bei 71%. Bisher wurde noch keine bessere Weiterverwendung der Produktionsreste und Abfälle gefunden, als die thermische Verwertung, jedoch muss das Bloch für das Schälen des Furnieres gedämpft werden. Das Dämpfen passiert mit Hitze und Wasserdampf. Mit den Abschnitten und den Restrollen aus der Produktion können die Gruben für den Dampf- bzw. Kochvorgang des Bloches beheizt werden.

Eine Möglichkeit die Ausbeute zu verbessern wäre die auszukappenden Fehler und die seitlichen Abschnitte in den Furnierbahnen zu verringern. Wenn neue Klebetechnologien gefunden würden, mit denen auch fehlerhafte Furniere, mit gleichbleibender Qualität des Endproduktes verklebt werden könnten, würde man bis zu 9% an Rohstoff gewinnen können. Auch wenn es möglich wäre das Bloch auf einen noch kleineren Durchmesser runter zu schälen, könnte Rohstoff gewonnen werden.

5.4. Holz-Alu Fenster

Bei der Fensterherstellung liegt der Verlust sogar bei über 80%. Da bei Holz-Alu Fenster auf der Innenseite, das heißt im Innenraum, das Holz sichtbar ist, werden für die Decklamelle nur fehlerfreie Lamellen verwendet. Das bedeutet keine Farbabweichungen, keine Keilzinkung, keine Äste oder Ähnliches. Im Inneren der Kante wird aber sehr wohl keilgezinkt. Nichtsdestotrotz ist der Rohstoffverlust aufgrund der optischen Anforderungen an die sichtbaren Teile des Fensters hoch. Eine Möglichkeit diesen Prozess zu verbessern wäre es, die Breite der Fensterrohlamellen auf die gewünschten Endprofile anzupassen. Das würde bedeuten, dass für jedes Fensterprofil eine individualisierte Rohlamelle hergestellt wird, bei dem nur mehr sehr wenig weggefräst werden muss, um das gewünschte Profil herzustellen.

Bis zu dem Zeitpunkt, wo die Lamellen verklebt werden, ist die Weiterverwendung der anfallenden Späne und des Hackgutes wie in Abschnitt 5.1 beschrieben, problemlos möglich. Jedoch wenn Klebstoff bei den Abfallprodukten enthalten sein könnte, ist die Weiterverwendung nur noch durch eine thermische Verwertung möglich.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Ausbeuten der in dieser Arbeit untersuchten Produktionsprozesse liegen zwischen 20% und 70%. Die Sägeindustrie mit einer Ausbeute von ungefähr 50% produziert für viele Prozesse das Ausgangsprodukt. Jedes Sägewerk versucht so wirtschaftlich wie möglich zu produzieren. Zusätzlich zur Haupt- und Nebenware werden fast die gesamten Sägenebenprodukte weiterverarbeitet und veredelt. Das grobe Hackgut kann direkt an die Papier- und Zellstoffindustrie weiter verkauft werden. Die in den Sägewerken entstandenen Sägespäne sind das Ausgangsprodukt für die Herstellung von einigen Produkten wie Holzbriketts, Pellets oder Palettenklötze. Eine andere Möglichkeit Sägespäne zu veredeln ist diese zu trocknen, zu entstauben und Einstreu für Pferde zu produzieren. Der Rest an Sägenebenprodukten, die nicht veredelt wurden, kann thermisch verwertet werden. Bei der Herstellung von Brettschichtholz werden Rohstoffausbeuten von 39% und bei Brettsperrholz von bis zu 40% erreicht. Wie in der Sägeindustrie können die Sägenebenprodukte bei der Herstellung von Rohbrettern weiterverarbeitet werden. Sobald die BSP Platten oder BSH Träger verleimt wurden, werden die Abschnitte und Ausschnitte meistens thermisch verwertet, da in diesen Resten Klebstoffe vorhanden sind. Furnierschicht- und Furniersperrholz erreicht in der Produktion eine Ausbeute von bis zu 71%. Hier entstehen die geringsten Verluste, der untersuchten Produktionsprozesse, des Rohstoffes bei der Produktion des Endproduktes. Die Holz-Alu Fenster Herstellung kann nur 20% des Rohstoffes in das Endprodukt mitnehmen. Der Endverbraucher möchte ein fehlerfreies optisch perfektes Fenster. Aus diesem Grund sind die hohen Verluste bei der Herstellung, auf die hohen optischen Anforderungen an das Endprodukt zurück zu führen. Da der Boom zur Nachhaltigkeit nach wie vor anhält, ist es wichtig zu wissen wie viel Rohprodukt wird überhaupt gebraucht um das Endprodukt herstellen zu können. In Zukunft werden ressourcenschonende Prozesse noch mehr an Bedeutung gewinnen. Das Potential die einzelnen Prozesse zu verbessern ist vorhanden, jedoch stellt sich die Frage wie wirtschaftlich die Prozesse dann noch sind.

Literaturverzeichnis

ÖNORM EN 338, 01.06.2016: Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen.

Brandner, Reinhard (2013): Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. Graz University of Technology, Graz. Institute of Timber Engineering and Wood Technology. Online verfügbar unter https://pure.tugraz.at/ws/portalfiles/portal/2757733/JOUR_BRANDNER_2013_Production%2520and%2520Technology%2520of%2520Cross%2520Laminated%2520Timber%2520-%2520A%2520state-of-the-art%2520Report.pdf, zuletzt geprüft am 20.04.2019.

Ettelt, Bernhard; Gittel, Hans-Jürgen (2004): Sägen, Fräsen, Hobeln, Bohren. Die Spannung von Holz und ihre Werkzeuge. 3., überarb. und erg. Aufl. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner.

ÖNORM B 3013, 01.01.2017: Fensterkante aus Holz - Anforderungen und Prüfbestimmungen.

Fronius, Karl (1989): Arbeiten und Anlagen im Sägewerk. Band 2. Stuttgart: DRW-Verl.

Fronius, Karl (1991): Arbeiten und Anlagen im Sägewerk. Band 3. Stuttgart: DRW-Verl.

ÖNORM EN 14080, 01.08.2013: Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz - Anforderungen.

ÖNORM B5312, 01.05.2018: Holzfenster und Holz-Alufenster.

Leuschner, Ingo; Von Houwald Bernhard (2011): Konstruktionsgrundlagen für Fenster-, Türen- und Fassadenelementen aus Verbundwerkstoffen und Holz. Hg. v. Institut für Fenstertechnik. IFT Rosenheim. Rosenheim. Online verfügbar unter https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/41308/FA_DBN1107.pdf/0c9c2209-6f00-4da8-aeca-42eb6e1999e6, zuletzt geprüft am 20.04.2019.

Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH (2014): Hohe Wirtschaftlichkeit durch Profiliertechnik. Technologien für die Sägeindustrie. Hg. v. Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH. Online verfügbar unter https://www.linck.com/fileadmin/user_upload/pdf/Prospekte/technologien_profiliertechnik_de.pdf, zuletzt geprüft am 20.04.2019.

Lohmann, Ulf (2016): Holz Handbuch. 7., völlig überarbeitete Auflage. Hamburg: Nikol Verlag.

Lohmann, Ulf; Blosen, Michael (2010): Holzlexikon. 1.448 Seiten, 15.700 Stichwörter, 2.050 Abbildungen. 4. Aufl. Hamburg: Nikol.

Marutzky, Rainer; Schwab, Harald (2008): Spezial Sperrholz. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Holzforschung und Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V. (VHI).

Müller, U.; Vay, O.; Martinez-Conde, A.; Frybort, S.; Krenke, T.; Konnerth, J.; Teischinger, A. (2015): Innovative mechanische Trenntechnologien von Holz. In: *Holztechnologie* (56), S. 29–34.

Nöstler, Martina (2014): Wertoptimierter Einschnitt. Teures Rundholz perfekt auftrennen. Hg. v. Holzkurier. Österreichischer Agrarverlag Druck und Verlags Gesellschaft m.b.H. Nfg. KG. Wien (11). Online verfügbar unter https://www.holzkurier.com/schnittholz/2014/03/wertoptimierter_einschnitt.html, zuletzt geprüft am 20.04.2019.

Plackner, Hannes (2015): Verwertung statt Verschnitt. Patentierte Blockverleimung wurde erstmals im industriellen Maßstab umgesetzt. Hg. v. Holzkurier. Österreichischer Agrarverlag Druck und

Verlags Gesellschaft m.b.H. Nfg. KG. Wien (19). Online verfügbar unter https://www.holzkurier.com/schnittholz/2015/05/blockverleimt_verwertungstattverschnitt.html, zuletzt geprüft am 20.04.2019.

Pollmeier Massivholz (2015): Pollmeier BauBuche. Herstellung des Buchen-Furnierschichtholzes. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=0i_jQ_YAdsQ, zuletzt geprüft am 20.04.2019.

Ringhofer, Andreas; Brandner, Reinhard; Blaß, Hans Joachim (2018): Cross laminated timber (CLT). Design approaches for dowel-type fasteners and connections. In: *Engineering Structures* 171, S. 849–861. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.05.032.

Schickhofer, Gerhard (2018): Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz. ProHolz. Online verfügbar unter <http://www.proholz.at/forschung-technik/werkstoffportraits/die-holzmassivbauweise-am-beispiel-von-brettsperrholz/>, zuletzt geprüft am 27.01.2018.

ÖNORM EN 636, 02.05.2016: Sperrholz - Anforderungen.

Steinegger, Andrea (2016): Auf Holz klopfen. Solides Wachstum mit guten Perspektiven für das Jahr 2017. Branchen Bericht. Unter Mitarbeit von Margot Schatzl. Hg. v. Fachverband der Holzindustrie Österreichs. Wien.

Tönshoff, H.; Denkena, B.; Siegert, K.; Ladwig, U. (2011): *Trennen*: Springer, Berlin, Heidelberg. Online verfügbar unter https://link-1springer-1com-1yncogrfq3b7f.pisces.boku.ac.at/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-17306-6_210.pdf.

ÖNORM L 1021, 01.08.2015: Vermessung von Rundholz.

Wagenführ, André; Scholz, Frieder (Hg.) (2012): *Taschenbuch der Holztechnik*. 2., aktualisierte Aufl. München: Fachbuchverl. Leipzig. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/action/showBook?doi=10.3139/9783446431799>.

Waugh Thistleton Architects (2018): *100 Projects UK CLT*. Hg. v. Waugh Thistleton Architects. Canada.

Windsperger, Andreas (2010): Optimierung der Ressourceneffizienz der Holznutzung. Modellierung der Holzverarbeitungsprozesse zur Darstellung der Auswirkungen von Entwicklungen auf die Leistungscharakteristik. *Berichte aus Energie- und Umweltforschung*. 62/2010. Unter Mitarbeit von Windsperger B., DI Hummel M., Ott C., Dr. Teischinger, Zukal L. Dr. Bauer W., DI Kappel L. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel Schnittbild (Prisma)	7
Abbildung 2: Schäl furnierstamm mit Restrolle R	7
Abbildung 3: Arbeitsfluss in einer Sägehalle (Fronius 1989).....	9
Abbildung 4: Schnittklassen mit dazugehörigen Ausbeutewerte (Lohmann und Blosen 2010).....	10
Abbildung 5: Prismenschnitt	11
Abbildung 6: Scharfschnitt	11
Abbildung 7: Prismenschnitt (Lohmann 2016).....	11
Abbildung 8: Gattersäge.....	12
Abbildung 9: Bandsäge	13
Abbildung 10: Kreissäge	14
Abbildung 11: Sägelinie Linck (Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH 2014).....	15
Abbildung 12: Linck Schnittbild Optimierungsprogramm (Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH 2014)	16
Abbildung 13: Schematische Darstellung BSH	18
Abbildung 14: Herstellung Brettschichtholz (Wagenführ und Scholz 2012).....	18
Abbildung 15: Schematische BSP Darstellung.....	19
Abbildung 16: Herstellungsprozess für eine Brettsperrholz Platte im Großformat nach (Brandner 2013).....	20
Abbildung 17: Schematische Darstellung eines 7-lagigen Furniersperrholzes	21
Abbildung 18: Herstellungsprozess Furniersperrholz (Wagenführ und Scholz 2012).....	21
Abbildung 19: Herstellung von Furnierschichtholz (Wagenführ und Scholz 2012).....	22
Abbildung 20: Herstellung Fensterprofil nach (Lohmann und Blosen 2010)	23
Abbildung 21: Einschnitt Varianten nach (Lohmann und Blosen 2010).....	24
Abbildung 22: Querschnitt Holz-Alu Fenster.....	24
Abbildung 23: Beispiel einer möglichen Aufteilung einer Rohplatte in Wandelemente	28
Abbildung 24: Beispiel einer möglichen Aufteilung einer Rohplatte in Deckenelemente.....	28
Abbildung 25: 3-Schicht Fensterkante	30
Abbildung 26: Holz-Alu Fensterkonstruktion der Firma Gaulhofer.....	30
Abbildung 27: Sägeausbeute von 40mm Blockware umgezeichnet nach (Lohmann 2016)	31
Abbildung 28: Sägeausbeute von Bauholz Klasse A 24mm umgezeichnet nach (Lohmann 2016)	32
Abbildung 29: Sägeausbeute von Bauholz Klasse B 24mm umgezeichnet nach (Lohmann 2016)	32
Abbildung 30: Sägeausbeute von Haupt- und Seitenware umgezeichnet nach (Fronius 1989).....	33
Abbildung 31: Beispiel einer Sägeausbeute von Kiefernrundholz aus der Industrie an einem konkreten Beispiel mit Fokus auf die Gesamtausbeute von Haupt- und Nebenware.....	34
Abbildung 32: Beispiel einer Gesamtausbeute bei Weißkiefer aus Industrieangaben.....	34
Abbildung 33: Beispiel einer Sägeausbeute von Fichtenrundholz aus der Industrie an einem konkreten Beispiel mit Fokus auf die Gesamtausbeute von Haupt- und Nebenware mit Einbeziehung des Rindenanteils	35
Abbildung 34: Beispiel einer Sägeausbeute von Lärchenrundholz aus der Industrie an einem konkreten Beispiel mit Fokus auf die Gesamtausbeute von Haupt- und Nebenware mit Einbeziehung des Rindenanteils	35

Abbildung 35: Beispiel einer Sägeausbeute von Buchenrundholz aus der Industrie an einem konkreten Beispiel mit Fokus auf die Gesamtausbeute von Haupt- und Nebenware mit Einbeziehung des Rindenanteils	36
Abbildung 36: Zusammenfassung der Daten aus der Industrie mit Zopf 120mm-165mm.....	36
Abbildung 37: Zusammenfassung der Daten aus der Industrie mit Zopf 170mm-300mm.....	37
Abbildung 38: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Herstellung von BSH	38
Abbildung 39: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Kleinplatten Herstellung von BSP	39
Abbildung 40: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Großplatten Herstellung von BSP	40
Abbildung 41: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Herstellung von Furnierschicht- und Furnersperrholz	41
Abbildung 42: Ausbeute zu Fertigungstiefe bei der Herstellung eines Rohfensterteiles aus Holz	42
Abbildung 43: Tabelle (ÖNORM L 1021)	53

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übermaßtabelle laut ÖHU	26
Tabelle 2: Firmenverzeichnis BSH	27
Tabelle 3: Firmenverzeichnis BSP	27
Tabelle 4: Firmenverzeichnis Furnierschicht- und Furniersperrholz.....	29

9. Anhang

9.1. Tabellen für die Berechnung

Tabelle A.1 — Koeffizienten für die Ermittlung der doppelten Rindendicke für die Hauptbaumarten Österreichs

Holzart	A_0	A_1	A_2
Douglasie	-2,13785	0,91597	-0,00375
Europäische Lärche	3,58012	1,03147	0
Fichte	0,85149	0,60934	-0,00228
Schwarzkiefer	5,27169	1,12602	0
Tanne	1,76896	0,59175	0
Weißkiefer	1,59099	0,50146	0
Bergahorn	-0,62466	0,73312	-0,00482
Esche	-7,97623	1,40182	-0,01011
Hainbuche	7,47159	0,20957	0
Rotbuche	2,61029	0,28522	0
Traubeneiche (Lehm)	9,88855	0,56734	0
Traubeneiche (Muschelkalk)	14,31589	0,72699	0

ANMERKUNG Die Zahlenwerte sind auf Basis von Altherr [2], Altherr 1975 [3], Altherr [4], Altherr [5], Altherr [6] („Schönbrunner Tabelle“) berechnet.

Abbildung 43: Tabelle (ÖNORM L 1021)

9.2. Befragungen

9.2.1. Sägeindustrie

Folgende Firmen wurden für die Befragung angeschrieben:

Firma
Mayr Melnhof Holz
Binder Holz
Pfeifer Holz
Offner
Pabst Holz
Theurl Holz
Pollmeier
Schweighofer

Die Fragen lauteten:

1. Welche Ausbeuten ergeben sich für verschiedene Zopfdurchmesser(15, 17,..., 31, 33)?
 - a. Wie viel Prozent ist jeweils Hauptware, Seitenware, Hackschnitzel und Sägespäne?
 - b. Wie hoch ist der Rindenanteil?
2. Welche Sägetechnologie verwenden Sie für Vorschnitt und Nachschnitt?
 - a. Wie breit ist jeweils die Schnittfuge?
3. Welche Holzarten verarbeiten Sie?
 - a. Ergeben sich für die oben genannten Fragen Unterschiede, abhängig von der Holzart?
4. Was sind Ihre vorwiegenden Endprodukte (Bauholz, Bretter, ...)?

9.2.2. Brettschichtholz

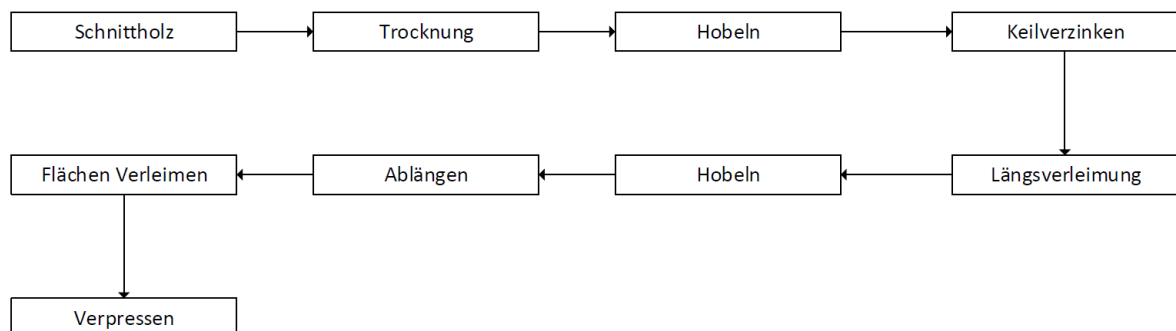
Für die Ermittlung der Daten aus der Praxis wurden folgende Firmen kontaktiert:

Firma	Produktname
Weinberger	Brettschichtholz
Papst Holz	Brettschichtholz
Binderholz	Brettschichtholz
Theurl	BSH
Hasslacher Norica Timber	Brettschichtholz
Mayr-Melnhof Systemholz	Master Line
Pfeifer	Brettschichtholz
Mosser	Brettschichtholz

Die Fragen waren wie folgt:

1. Wie viel Prozent verliert man beim hobeln der Rohbretter?
Zum Beispiel bei Lamellenstärke 20 mm oben und unten je 1 mm sind 10%
2. Wie viel verliert man bei der Sortierung der Bretter als Ausschuss?
3. Wie viel Prozent werden ausgekappt?
4. Wie viel verliert man beim Keilzinken?
5. Wird vor dem Verpressen des BSH gehobelt?
 - a. Wenn ja: Wie viel wird weggehobelt?
6. Haben Sie zu meiner Prozess Modellierung noch Anmerkungen und Ergänzungen?

Der Prozess der Brettschichtholzherstellung wie folgt modelliert:



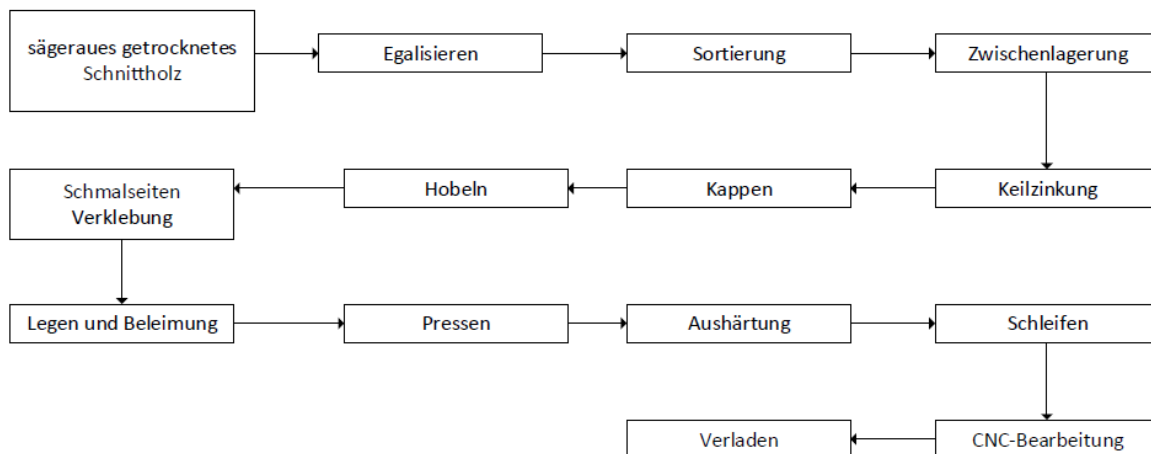
9.2.3. Brettsperrholz

Die größten Brettsperrholzhersteller, siehe Tabelle wurden schriftlich mit folgenden Fragenkatalog kontaktiert.

Firma	Produktname
KLH	Kreuzlagenholz
Binder	BBS 125
Binder	BBS XL
Stora Enso	CLT
Mayr-Melnhof Systemholz	BSP

- 1) Wie viel Prozent Holz werden beim egalisieren weggehobelt?
Zum Beispiel bei Lamellenstärke 20mm oben und unten je 1 mm sind 10%
- 2) Wie viel Prozent verliert man bei der Sortierung als Ausschuss?
- 3) Wie viel verliert man an Rohstoff, der ausgekappt wird?
- 4) Wie viel Prozent wird beim Keilzinken verloren?
- 5) Wird vor dem Verpressen der Lagen noch gehobelt und wenn ja wie viel Prozent?
- 6) Wie viel Prozent einer Rohplatte werden beim Zuschnitt auf der CNC (Türen und Fenster, etc.) verloren?
- 7) Haben Sie zu meiner Prozess Modellierung noch Anmerkungen und Ergänzungen?

Ich habe den Prozess der Brettsperrholzherstellung wie folgt modelliert:



9.2.4. Furniersperrholz/Furnierschichtholz

Bei der Furnierherstellung waren leider keine Daten von der Industrie zu bekommen. Aus einem Video der Firma Pollmeier, siehe Literaturangaben konnten jedoch Ausbeuteverluste abgeschätzt werden.

Firma
Schweitzer
Pollmeier

1. Welche Holzarten werden bei Ihnen verwendet?
2. Welchen Mittendurchmesser verarbeiten Sie?
3. Welche Länge(n) hat Ihr Ausgangsbloch?
4. Wie viel wird durch die Abholzigkeit des Bloches verloren?
5. Wie viel Prozent verlieren Sie beim Zuschnitt auf den Zylinder?
6. Wie viel muss am Furnier seitlich weggekappt werden?
7. Wie viel Verlust entsteht durch das Auskappen von Fehlern?
8. Welchen Durchmesser hat die Restrolle des Bloches, die übrig bleibt?
9. Wie hoch sind die Pressverluste?
10. Wie viel an Prozent verlieren Sie durch die Abschnitte?

10.2.5. Fenster

Die 4 größten Fensterhersteller in Österreich wurden für die Ausbeutebefragung angeschrieben.

Firma
Gaulhofer
Josko
Internorm
Katzbeck

Die Fragen lauteten:

1. Stellen Sie das Fensterkanten selbst her?
 - a. Wenn ja: Wie viel hobeln Sie vor dem Verkleben in Prozent weg?
2. Wie viel Holz muss bei der Herstellung eines Fensterprofils in Prozent des Rohkanten weggehobelt werden?
3. Wie viel verliert man in Prozent bei der Eckverbindung?