

**BMUB-Umweltinnovationsprogramm**

**Abschlussbericht**

**Zum Vorhaben:**

Steigerung der Materialeffizienz von Hartholz

**Fördernehmer:**

Albrecht Sattelmacher KG

**Umweltbereich:**

Klimaschutz, Ressourceneffizienz, Energie

**Laufzeit des Vorhabens:**

21.10.2014 bis 31.08.2015

**Autor:**

Christoph Sattelmacher B. Eng.

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und  
Reaktorsicherheit**

**Datum der Erstellung:**

11.09.2015

# Inhaltsverzeichnis

Deckblatt.....	1
Berichts-Kennblatt .....	3
Kurzfassung/Summary .....	6
Condensed version.....	11
Abbildungsverzeichnis.....	16
Tabellenverzeichniss .....	18
1. Einleitung.....	19
1.1    Kurzbeschreibung des Unternehmens .....	19
1.2    Ausgangssituation .....	20
2. Vorhabensumsetzung.....	28
2.1. Ziel des Vorhabens.....	28
2.1.1. Steigerung der Materialeffizienz.....	29
2.1.2. Umwelteffekte.....	29
2.2. Darstellung der technischen Lösung.....	32
2.2.1. Beschreibung der technischen Lösung .....	33
2.3. Darstellung der Umsetzung des Vorhabens .....	36
2.4. Behördliche Anforderungen.....	43
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten .....	43
3. Ergebnisse.....	45
3.1. Bewertung der Vorhabensdurchführung .....	45
3.2. Stoff-, Energie- und Umweltbilanz.....	45
3.2.1. Datenermittlung Probetrieb .....	45
3.2.2. Vergleich Probetrieb mit Soll Werten .....	47
3.2.3. Stoffbilanz.....	50
3.2.4. CO <sub>2</sub> Umweltbilanz .....	54
3.2.4. Energiebilanz.....	56
3.3. Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	58
3.4. Technischer Vergleich .....	60
4. Empfehlungen .....	60
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	60
4.2. Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendungen des Verfahrens/ Anlage/ Produkt)...	61
4.3. Zusammenfassung .....	61
5. Literatur.....	64

## Berichts-Kennblatt

<b>Aktenzeichen:</b> Az. 70442/2 (13/60)	<b>Vorhaben-Nr:</b> 2125
<b>Titel des Vorhabens:</b> Steigerung der Materialeffizienz von Hartholz	
<b>Autor:</b> Christoph Sattelmacher B. Eng.	<b>Vorhabenbeginn:</b> 21.10.2014
	<b>Vorhabenende:</b> 31.08.2015
<b>Fördernehmer:</b> Albrecht Sattelmacher KG Hartholzsägewerk Industriestr. 4 31683 Obernkirchen	<b>Veröffentlichungsdatum:</b> 11.09.2015
	<b>Seitenzahl:</b> 64
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministerium	
<b>Kurzfassung/Summary:</b> <p>Die A. Sattelmacher KG plante die Erhöhung der Materialeffizienz bei der Herstellung von besäumten Schnittholz durch die erstmalige großtechnische Umsetzung einer innovativen Verfahrenskombination von Holz Trocknung und anschließender Besäumung von Landhausdielen. Dadurch kann auf das standardmäßige Sägen mit Übermaß verzichtet werden und Holz wird eingespart.</p> <p>Die Albrecht Sattelmacher KG setzte folgenden innovativen Prozessablauf um:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Sägen von unbesäumtem Schnittholz</li><li>- Vortrocknung des unbesäumten Schnittholzes im Freien</li><li>- technische Holz Trocknung des unbesäumten Schnittholzes</li><li>- Besäumung des unbesäumten Schnittholzes (ohne Übermaß)</li><li>- Auslieferung an den Kunden (ohne Übermaß)</li></ul> <p>Zur Umsetzung der innovativen Verfahrenskombination war die Investition in eine Besäum- und Trimmsägenlinie mit Sortierplatz notwendig.</p> <p>Bei der Planung des Vorhabens wurden folgende Umweltschutzziele formuliert:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Steigerung der Materialeffizienz von ca. 10% bei besäumtem Schnittholz</li><li>- Senkung des Rundholzbedarfes von ca. 30-40% für die Produktion von besäumtem Schnittholz</li><li>- Verringerung der CO<sub>2</sub> Emissionen durch den reduzierten Rundholztransport in das Sägewerk</li><li>- Verminderung des Restholzbedarfes für die Warmwassererzeugung durch</li></ul>	

## kammergetrocknete Resthölzer

Durch das Vorhaben konnten die geplanten Ziele nahezu erreicht oder sogar übertroffen werden:

- Durch die Reduzierung des Breitenübermaßes konnte auf Basis der neuen Anlagenkapazität 651cbm Schnittholz (10,23%) eingespart werden, im Vergleich zum bisherigen Produktionsverfahren, bei einer Rundholz- Schnittholzausbeute von 70% des bisherigen Verfahrens
- Der Rundholzbedarf konnte auf Basis der neuen Anlagenkapazität für besäumtes Schnittholz von 22.808fm auf 7.877fm und somit um 14.931fm gesenkt werden. Dies entspricht einer Senkung von 65,42%, durch den Wegfall des unbesäumten Schnittholzes als Nebenprodukt.
- Die CO<sub>2</sub> Emissionen konnten durch den verringerten Rundholztransport um 12.308kgCO<sub>2</sub>/a (10,46%) gesenkt werden
- Durch den Einsatz von getrocknetem Restholz, konnte der Restholzeinsatz um 9kg/h gesenkt werden, im Vergleich zum waldfrischen Restholz, bei der Verbrennung für die Warmwassererzeugung. Dadurch konnten die CO<sub>2</sub> Emissionen um 144.277kgCO<sub>2</sub>/a (4,93%) gesenkt werden
- Die Summe der Senkung der CO<sub>2</sub> Emissionen (Rundholztransport, Einsatz getrocknetes Brennholz) beträgt 156.585kgCO<sub>2</sub>/a

Die geplanten Investitionskosten lagen bei 458.287,37€ mit einer Amortisationszeit von 6,1 Jahren.

### **Condensed version:**

A. Sattelmacher KG planned to increase the material efficiency during the production of square-edged timber through the initial large-scale implementation of an innovative process combination between wood drying and the subsequent square-edging of rustic wooden boards. This makes it possible to do away with normal oversized sawing and will save on wood.

Albrecht Sattelmacher KG implemented the following innovative process flow:

- Sawing of unedged timber
- Pre-drying of unedged timber in the open air
- Technical wood drying of the unedged timber
- Square edging of unedged timber (without oversize)
- Delivery to customer (without oversize)

To implement the innovative process combination, investment in a square-edging and trimming saw line with sorting area was necessary.

The following environmental protection objectives were formulated during the project planning:

- To increase the material efficiency by approx. 10% for square-edged timber
- To reduce the round timber (log) requirements by approx. 30-40% for the production of square-edged timber
- To reduce the CO<sub>2</sub> emissions due to the reduced cost of log transportation into the sawmill
- To reduce the scrap wood requirement for the production of hot water by using kiln-dried scrap wood

The planned objectives were almost all achieved or even surpassed by the initiative.

- Because of the reduction in the width oversize, 651 m<sup>3</sup> of timber (10.23%) were saved based on the new system capacity, compared with the prior production process, in which the round timber yield was 70%
- As a result of the new system capacity for square-edged timber, the requirement for logs could be reduced from 22,808 bank metres to 7,877 bank metres, a total reduction of 14,931 bank metres. This equals a reduction of 65.42% as a result of eliminating unedged timber as a by-product.
- The CO<sub>2</sub> emissions could be lowered by 12,308 kg of CO<sub>2</sub>/a (10.46%) as a result of the reduced cost of log transportation.
- Because of the use of dried scrap wood, the scrap wood use could be lowered by 9 kg/h compared with freshly cut scrap wood burned during the production of hot water. The CO<sub>2</sub> emissions could be lowered by 144,277 kg CO<sub>2</sub>/a (4.93%) as a result of this.
- The total reduction in the CO<sub>2</sub> emissions (log transportation, use of dried firewood) equals 156,585 kg CO<sub>2</sub>/a

The planned investment costs were at EUR 459,287.37 with an amortisation time of 6.1 years.

**Schlagwörter:**

**Materialeffizienz, Besäumung, Prismierung, Landhausdiele, Schnittholz, Hartholz, Sägewerk**

## Kurzfassung/Summary

### Ausgangssituation

Die A. Sattelmacher KG ist ein mittelständisches Sägewerk mit über 60-jähriger Erfahrung bei der Erzeugung von Hartholz in mitteleuropäischer Eiche, Buche und Esche. Steigende Rundholzfrachten, steigende Rundholzpreise sowie eine zunehmende Verknappung des bereitgestellten Rohstoffs waren Gründe für die A. Sattelmacher KG, in ein innovatives Anlagenkonzept zur Erhöhung der Materialeffizienz zu investieren. Der Stand der Technik für die Herstellung von besäumtem Schnittholz in der Hartholzsägebranche ist derzeit folgender Prozessablauf, den das Sägewerk A. Sattelmacher bisher anwandte:

- Sägen, bei gleichzeitigem Besäumen (mit Übermaß)
- technische Holz Trocknung der Ware
- Auslieferung an den Kunden (mit Übermaß)

Die A. Sattelmacher KG plante die Erhöhung der Materialeffizienz bei der Herstellung von besäumtem Schnittholz, durch die erstmalige großtechnische Umsetzung einer innovativen Verfahrenskombination von Holz Trocknung und anschließender Besäumung von unbesäumtem Schnittholz.

### Ziel des Vorhabens

Beim umgesetzten Vorhaben der innovativen Verfahrenskette wird ohne standardmäßiges Übermaß besäumt und Holz wird eingespart. Des Weiteren verringert der neue Ablauf den Rundholzbedarf für die Herstellung von besäumtem Schnittholz, durch den Wegfall des unbesäumten Schnittholz als Nebenprodukt. Bisher konnte pro Rundholzstamm nur 25% besäumtes Schnittholz durch den Modelschnitt an der Blockbandsäge (Abb. 7, 10, 11) produziert werden. Die restlichen 75% bilden unbesäumtes Schnittholz und Restholz (Späne, Schwarten). Das innovative Verfahren erhöht den Anteil von besäumtem Schnittholz am Rundholz und der Rundholzbedarf kann gesenkt werden.

### Technische Lösung

Die wesentliche Lösung besteht darin, dass das Holz erst nach dem Trocknen besäumt wird. Zur Umsetzung des innovativen Prozessablaufes ist eine Investition in eine Besäum- und Trimsägenlinie mit Sortierplatz notwendig.

Die Produktion beginnt mit dem Einschnitt des manipulierten Rundholzes am Vollgatter. Dabei wird das Rundholz zu unbesäumtem Schnittholz produziert. Das unbesäumte und waldfrische Schnittholz wird für die Vortrocknung aufgestapelt und im Freiluftlager vorgetrocknet. Im Anschluss daran erfolgt die künstliche Trocknung in den Trockenkammern.

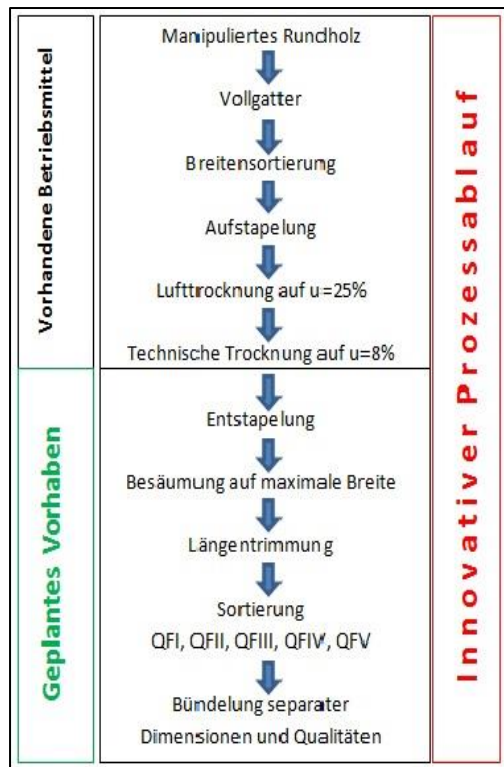


Abb. 22: Verfahrensablauf des innovativen Prozesses

Während der gesamten Holz Trocknung schrumpft und schwindet das Holz in Stärke und Breite. Das eingelagerte Wasser in den Zellwänden und den Zellhohlräumen verdunstet und führt dazu, dass das Schnittholz schrumpft. Ein wesentlicher Teil der technischen Lösung lässt sich durch den Unterschied beim Trocknen von unbesäumter und besäumter Ware feststellen. Das unbesäumte Brett hat links und rechts noch die Baumkante. Das bedeutet, dass die Holzfasern nicht angeschnitten wurden und somit in ihrem natürlichen Wuchs intakt sind. Dadurch trocknet das Brett hauptsächlich über die Brettoberflächen (oben, unten). Das Brett bleibt gerade und verzieht sich nicht im Vergleich zu waldfrisch besäumter Ware, wie in der Ausgangssituation (Punkt 1.2., Abbildung 15) beschriebenen Weise. Nach der Holz Trocknung kann

sich das unbesäumte Schnittholz nicht mehr in Form und Maß verändern. In den Zellen und Zellhohlräumen ist nach der künstlichen Trocknung kein eingelagertes Wasser mehr vorhanden. Das Brett schrumpft nicht mehr, weil aus den Zellen und Zellhohlräumen keine Wasserverdunstung mehr stattfindet und dadurch kommt es auch zu keiner weiteren Brettvolumenveränderung bzw. Brettschrumpfung.

Nach der künstlichen Holz Trocknung folgt der Übergang zum geplanten Vorhaben. Zur Umsetzung des Vorhabens war eine Investition in eine Besäum- und Kappsäge notwendig. Hierbei kann auf das standardmäßige Sägen mit Übermaß im Vergleich zur Ausgangssituation verzichtet werden. Die unbesäumten Schnittholzpakete werden mit dem Stapler zur Besäum- und Trimmsägenlinie gefahren. Das Brett durchläuft die Besäumsäge und es wird die Baumkante (Restholz/Spreiße) abgetrennt. Die Spreiße werden anschließend vom Produkt getrennt, über ein Förderband zur Restholzschiere transportiert und zu Stückholz verarbeitet. Mit diesem Stückholz wird die betriebseigene Heizungsanlage befeuert, womit Trockenkammern und Gebäude beheizt werden.

Das besäumte Schnittholz wird auf einem 15 Meter langen Querkettenförderer gepuffert und von dort aus individuell nach Qualität, Breite und Länge in Pakete einer Dimension und Güte sortiert. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Zusammensetzung des innovativen Prozessablaufes.

Durch das Vorhaben konnten die geplanten Ziele zum Großteil erreicht oder übertroffen werden:

- Durch die Reduzierung des Breitenübermaßes konnte auf Basis der neuen Anlagenkapazität 651cbm Schnittholz (10,23%) eingespart werden, im Vergleich zum bisherigen Produktionsverfahren, bei einer Rundholz- Schnittholzausbeute von 70% des bisherigen Verfahrens
- Der Rundholzbedarf konnte auf Basis der neuen Anlagenkapazität für besäumtes Schnittholz von 22.808fm auf 7.877fm und somit um 14.931fm gesenkt werden. Dies entspricht einer Senkung von 65,42%, durch den Wegfall des unbesäumten Schnittholzes als Nebenprodukt

	Rundholzverbrauch in (fm)	Restholz/ Späne Rundholzeinschnitt in cbm	Schnittholz unbesäumt in (cbm)	Schnittholz besäumt in (cbm)	Restholz/ Späne Besäumung in cbm	Summe besäumt/ unbesäumt für Verkauf in (cbm)	Ausbeute Summe besäumt/ unbesäumt vom Rundholz
	<b>Blockbandsäge</b>						
<b>IST Zustand vor Umbau (fiktiv bei neuer Anlagenkapazität für besäumtes Schnittholz)</b>	22.808	6.842 für Verbrennung/ Verkauf	10.263 für Verkauf (Nebenprodukt)	5.702	-	15.965	70%
<b>Anteile am Rundholzverbrauch</b>	100%	30%	45%	25%			
	<b>Vollgatter</b>			<b>Besäumlinie</b>			
<b>Soll Zustand nach Umbau (fiktiv bei neuer Anlagenkapazität)</b>	7.877	1.573 für Verkauf	6.304 für Besäumlinie (Vorprodukt)	5.702	602 für Verbrennung	5.702	73%
<b>Anteile am Rundholzverbrauch</b>	100%	20%	80%	90%	10%	<b>Ausbeute Schnittholz unbesäumt</b>	

Tabelle 5: Rundholzbedarf für Warenströme Restholz, Schnittholz unbesäumt, Schnittholz besäumt, (Auszug)

- Die CO<sub>2</sub> Emissionen konnten durch den verringerten Rundholztransport um 12.308kgCO<sub>2</sub>/a (10,46%) gesenkt werden
- Durch den Einsatz von getrocknetem Restholz, konnte der Restholzeinsatz um 9kg/h gesenkt werden, im Vergleich zum waldfrischen Restholz, bei der Verbrennung für die Warmwassererzeugung. Dadurch konnten die CO<sub>2</sub> Emissionen um 144.277kgCO<sub>2</sub>/a (4,93%) gesenkt werden
- Die Summe der Senkung der CO<sub>2</sub> Emissionen (Rundholztransport, Einsatz getrocknetes Brennholz) beträgt 156.585kgCO<sub>2</sub>/a

Die geplanten Investitionskosten lagen bei 458.287,37€ mit einer Amortisationszeit von 6,1 Jahren.



Quantifizierung Materialeffizienz besäumtes Schnittholz			
	Produktionsmenge nach 22 Tagen Probetrieb	Jahresproduktionsmenge (Faktor 10 Probetrieb)	Jahresproduktionsmenge (fiktiv bei neuer Anlagenkapazität)
Einheit	cbm	cbm/a	cbm/a
Produktionsmenge ohne Übermaß	151,56	1.515	5.702
Produktionsmenge mit Übermaß	168,83	1.688	6.353
Differenz durch Breitenübermaß	17,278	172,78	651

Tabelle 7: Quantifizierung der Materialeffizienz besäumtes Schnittholz

Besäumung Probetrieb, innovative Verfahrenskette						Besäumung bisheriges Verfahren					
Qualität	Stärke in (mm)	Breite ohne Übermaß in (mm)	Länge in (mm)	Stück	Menge in (cbm)	Stärke in (mm)	Breite mit Übermaß in (mm)	Länge in (mm)	Stück	Menge in (cbm)	
3FAS/Keilzink	27	75	2250	996	4,538	27	85	2250	996	5,143	
Keilzink	27	90	1500	1107	4,035	27	100	1500	1107	4,483	
3FAS/Keilzink	27	90	2500	170	1,033	27	100	2500	170	1,148	
3FAS/Keilzink	27	115	2250	165	1,153	27	130	2250	165	1,303	
I	27	150	2450	1211	12,016	27	170	2450	1211	13,618	
II-IIIx	27	150	2450	1193	11,838	27	170	2450	1193	13,416	
II-IIIx	27	150	2150	1122	9,770	27	170	2150	1122	11,072	
I	27	150	2150	269	2,342	27	170	2150	269	2,655	
II-III	27	200	2500	963	13,001	27	220	2500	963	14,301	
II-III	27	200	2500	962	12,987	27	220	2500	962	14,286	
V	27	200	2500	467	6,305	27	220	2500	467	6,935	
II-III	27	200	2500	386	5,211	27	220	2500	386	5,732	
II-III	27	200	2250	55	0,668	27	220	2250	55	0,735	
I	27	200	2500	275	3,713	27	220	2500	275	4,084	
III-IV x	27	200	2250	577	7,011	27	220	2250	577	7,712	
I	27	200	2250	110	1,337	27	220	2250	110	1,470	
II-III	27	250	2250	770	11,694	27	280	2250	770	13,098	
III-IV x	27	250	2250	374	5,680	27	280	2250	374	6,362	
III-IV x	27	250	2500	176	2,970	27	280	2500	176	3,326	
II-III	27	250	2250	154	2,339	27	280	2250	154	2,620	
II-III	27	250	2500	462	7,796	27	280	2500	462	8,732	
I	27	250	2500	242	4,084	27	280	2500	242	4,574	
I	27	250	2250	154	2,339	27	280	2250	154	2,620	
I-IVx	27	310	2500	577	12,074	27	340	2500	577	13,242	
I-IV x	27	310	2500	269	5,629	27	340	2500	269	6,174	
<b>Summe</b>					<b>151,560</b>					<b>Summe</b>	<b>168,838</b>

### Übertragbarkeit/Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

Der DeSH ist das zentrale Organ für die Sägeindustrie in Deutschland. Nahezu alle Betriebe sind mit diesem Verband vernetzt. Daher ist der effektivste Weg der Verbreitung dieses Projektes für Multiplikator Effekte die branchenspezifische Kommunikation durch den Verband der deutschen Säge- und Holzindustrie (DeSH). Dabei gibt es speziell für die Hartholz sägeindustrie, Verbandstagen an denen unter anderem Chancen und Risiken für diese Unternehmen diskutiert werden.

Die Ergebnisse des Vorhabens werden mit dem DeSH ausgetauscht. Der Modellcharakter für weitere Anwendungen dieses Verfahrens in anderen Sägewerken, ist mit Voraussetzungen bezüglich der Lagerkapazität und Trockenkammerkapazität verbunden. Anhand dieser Voraussetzungen ist die im Vorhaben realisierte innovative Verfahrenskette für getrocknete und besäumte Ware auf jedes Hartholzsägewerk übertragbar, welches Zuschnitte für die weiterverarbeitende Industrie produziert.

Laut dem DeSH gibt es in Deutschland 185 Hartholzverarbeitende Betriebe, die von dem umgesetzten innovativen Verfahren profitieren könnten. Dabei ist jedoch eine genaue Differenzierung der Anzahl möglicher Sägewerke, die dieses Verfahren umsetzen möchten, schwierig. Über die genaue Anzahl der Betriebe kann die A. Sattelmacher KG keine Aussage treffen.

## **Condensed version**

### Initial situation

A. Sattelmacher KG is a medium-sized sawmill with more than 60 years of experience in the production of hardwood using Central European oak, beech and ash. Growing log transportation charges, rising log prices and increasing shortages in the available raw materials were the reasons for A. Sattelmacher KG to invest in an innovative system concept to improve material efficiency. Currently, the best demonstrated available technology for the production of square-edged timber in the hardwood sawmill industry is the following process, which A Sattelmacher employed up to now:

- Sawing with simultaneous square-edging (with oversize)
- Technical wood drying of the goods
- Delivery to customer (with oversize)

A. Sattelmacher KG planned to increase the material efficiency during the production of square-edged timber through the initial large-scale implementation of an innovative process combination of wood drying and the subsequent square-edging of the sawn timber.

### Objective of the project

In the implemented initiative for the innovative process chain, square-edging will be performed without the normal oversize, saving wood. In addition, the new process reduces the required volume of logs for the production of square-edged timber since unedged timber is eliminated as a by-product. In the past, only 25% of a log could be used to produce square-edged timber as a result of the model cut on the log band saw (Fig. 7, 10, 11). The remaining 75% creates unedged timber and scrap wood (sawdust, rinds). This innovative process increases the proportion of square-edged timber in the log and allows for a reduction in the requirement of logs.

### Technical Solution

The essential solution consists of the fact that the wood is only square-edged after it is dried. Implementing the innovative process sequence requires an investment in a square-edging and trimming saw line with a sorting area.

Production commences with the cutting of the manipulated log on the multi-blade frame saw. The log is produced into unedged timber during this step. The unedged and freshly cut timber is stacked for pre-drying and is pre-dried in the open air area. The artificial drying process occurs afterwards in the drying kilns. During the entire wood drying process, the wood shrinks and contracts in thickness and width. The water stored in the cell walls and the

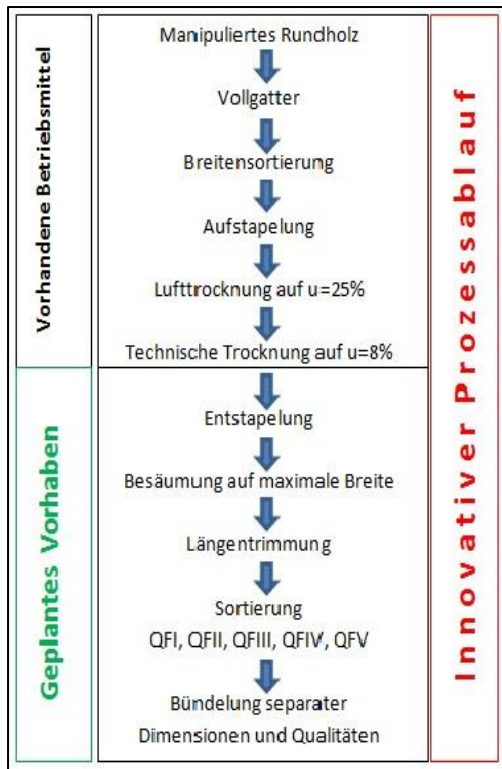


Figure. 22: innovative process sequence

cell cavities evaporates and causes the timber to shrink. One essential part of technical drying can be seen in the difference between unedged and square-edged products. The unedged board still has the dull edge (wane) on the left and right. This means that the wood fibres have not been cut steep and as a result, its natural growth is intact. This causes the board to mainly dry along the board surfaces (top, bottom). The board remains straight and does not warp compared with freshly cut square-edged product, as described in the initial situation (Item 1.2, Figure 15). After the wood drying process, the unedged timber can no longer change its shape or dimensions. There is no more stored water present in the cells and cell cavities after

artificial drying. The board no longer shrinks because no more evaporation of water occurs from

the cells and cell cavities, which means there is no further board volume change or board shrinkage.

The transition to the planned initiative follows the artificial wood drying process. To implement the initiative, investment in a square-edging and cross-cut saw was necessary. Here one can dispense with the standard oversize sawing compared with the initial situation. The unedged timber packages are moved to the square-edging and trimming saw lines by the forklift. The board runs through the square-edging saw and the wane (scrap wood/wood chips) is removed. The wood chips are then separated from the product, transported to the scrap wood shears via a conveyor belt and then processed into pieces of wood. The company's own heating system, which heats the drying kilns and buildings, burns these pieces of wood.

The square-edged logs are cushioned on a 15 metre long cross chain conveyor and are individually sorted from there by quality, width and length into packages of one size and grade. The following figure shows the structure of the innovative process sequence.

The majority of the planned objectives can be achieved or even surpassed as a result of the initiative:

- Because of the reduction in the width oversize, 651 m<sup>3</sup> of timber (10.23%) were saved based on the new system capacity, compared with the prior production process, in which the round timber yield was 70%

- As a result of the new system capacity for square-edged timber, the requirement for logs could be reduced from 22,808 bank metres to 7,877 bank metres, a total reduction of 14,931 bank metres. This equals a reduction of 65.42% as a result of eliminating unedged timber as a by-product.

	Log consumption in (fm)	Scrap wood sawdust from logs in cbm	Unedged Timber in (cbm)	Edged Timber in (cbm)	Scrap wood sawdust from square edging in (cbm)	Total square edged / unedged for sale in (cbm)	Total yield square edged / unedged from logs
	<b>Bandsaw</b>						
<b>ACTUAL condition prior to conversion (fictional for new system capacity for square-edged logs)</b>	22.808	6.842 für burning/sales	10.263 für sales (by-product)	5.702	-	15.965	70%
<b>Ratio of log consumption</b>	100%	30%	45%	25%			
	<b>Multi-blade frame saw</b>			<b>Square-edging line</b>			
<b>Target status after conversion (fictional for new system capacity)</b>	7.877	1.573 für Verkauf	6.304 for Square edging line (preliminary product)	5.702	602 for burning	5.702	73%
<b>Ratio of log consumption</b>	100%	20%	80%	90%	10%	<b>Unedged log yield</b>	

Table 5: Log requirements for the commodity flows scrap wood, unedged timber, square-edged timber, (excerpt)

- The CO<sub>2</sub> emissions could be lowered by 12,308 kg of CO<sub>2</sub>/a (10.46%) as a result of the reduced cost of log transportation.

- Because of the use of dried wood residue, the wood residue use could be lowered by 9 kg/h compared to the freshly cut scrap wood used for burning to produce hot water. The CO<sub>2</sub> emissions could be lowered by 144,277 kg CO<sub>2</sub>/a (4.93%) as a result of this.

- The total reduction in the CO<sub>2</sub> emissions (log transportation, use of dried firewood) equals 156,585 kg CO<sub>2</sub>/a

The planned investment costs were EUR 459,287.37 with an amortisation time of 6.1 years.

Quantifying the material efficiency of square-edged timber			
	Production volume after 22 day trial operation	Annual production volume (Factor 10 trial operation)	Annual production volume (fictional for new system capacity)
Unit	cbm	cbm/a	cbm/a
Production volume excl. oversize	151,56	1.515	5.702
Production volume incl. oversize	168,83	1.688	6.353
Difference due to width oversize	17,278	172,78	651

Table 7: Quantifying the material efficiency of square-edged logs

Square-edged trial operation, innovative process chain						Prior square-edging process					
Quality	Thickness in (mm)	Width excl. oversize in (mm)	Length in (mm)	Ea.	Volume in (cbm)	Thickness in (mm)	Width incl. oversize in (mm)	Length in (mm)	Ea.	Volume in (cbm)	
3FAS/Keilzink	27	75	2250	996	4,538	27	85	2250	996	5,143	
Keilzink	27	90	1500	1107	4,035	27	100	1500	1107	4,483	
3FAS/Keilzink	27	90	2500	170	1,033	27	100	2500	170	1,148	
3FAS/Keilzink	27	115	2250	165	1,153	27	130	2250	165	1,303	
I	27	150	2450	1211	12,016	27	170	2450	1211	13,618	
II-IIIx	27	150	2450	1193	11,838	27	170	2450	1193	13,416	
II-IIIx	27	150	2150	1122	9,770	27	170	2150	1122	11,072	
I	27	150	2150	269	2,342	27	170	2150	269	2,655	
II-III	27	200	2500	963	13,001	27	220	2500	963	14,301	
II-III	27	200	2500	962	12,987	27	220	2500	962	14,286	
V	27	200	2500	467	6,305	27	220	2500	467	6,935	
II-III	27	200	2500	386	5,211	27	220	2500	386	5,732	
II-III	27	200	2250	55	0,668	27	220	2250	55	0,735	
I	27	200	2500	275	3,713	27	220	2500	275	4,084	
III-IV x	27	200	2250	577	7,011	27	220	2250	577	7,712	
I	27	200	2250	110	1,337	27	220	2250	110	1,470	
II-III	27	250	2250	770	11,694	27	280	2250	770	13,098	
III-IV x	27	250	2250	374	5,680	27	280	2250	374	6,362	
III-IV x	27	250	2500	176	2,970	27	280	2500	176	3,326	
II-III	27	250	2250	154	2,339	27	280	2250	154	2,620	
II-III	27	250	2500	462	7,796	27	280	2500	462	8,732	
I	27	250	2500	242	4,084	27	280	2500	242	4,574	
I	27	250	2250	154	2,339	27	280	2250	154	2,620	
I-IVx	27	310	2500	577	12,074	27	340	2500	577	13,242	
I-IV x	27	310	2500	269	5,629	27	340	2500	269	6,174	
<b>Summe</b>					<b>151,560</b>	<b>Summe</b>					<b>168,838</b>

Table 6: Material balance timber, Comparison of innovative and prior production processes

### Transferrability/Project result projection measures

The DeSH is the central body for the sawmill industry in Germany. Almost all the operations are networked with this association. Therefore the most effective way of expanding this project for multiplier effects is industry-specific communication through the DeSH (Association of the German Sawmill and Lumber Industry). Association conferences are held, especially for the hardwood sawmill industry, where subjects such as the opportunities and risks for these companies are being discussed.

The results of the initiative are discussed with the DeSH. The model character for further applications of this process in other sawmills involves certain prerequisites with regard to the storage capacity and drying kiln capacity. The innovative process chain for dried and square-edged goods can be transferred to every hardwood sawmill, which produces wood cut to size for downstream industries based on these prerequisites.

According to the DeSH, there are 185 hardwood processing operations in Germany, who could benefit from the implemented innovative process. It is however difficult to differentiate the number of potential sawmills, who want to implement this process. A. Sattelmacher KG is not able to provide the exact number of these sawmill operations.

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Luftaufnahme A. Sattelmacher KG
- Abb. 2 Betriebsablauf A. Sattelmacher KG
- Abb. 3 Ablaufschema Rundholzplatz
- Abb. 4 Rundholzplatz mit Rundholzsortierwagen und Rundholzanlieferung durch einen LKW
- Abb. 5 Schälmaschine zum Entrinden des eingeteilten Rundholzes auf dem Rundholzplatz
- Abb. 6 Blockbandsäge bei der Produktion von unbesäumtem Schnittholz
- Abb. 7 Blockbandsäge bei der Produktion von besäumtem Schnittholz
- Abb. 8 Horizontalgatter bei der Produktion von Blockware
- Abb. 9 Vollgatter
- Abb. 10 Schnittbild Rundholz für bisherige Produktion von besäumtem Schnittholz
- Abb. 11 Prozentuale Anteile durch Einschnitt beim bisherigen Produktionsverfahren nach Schnittbild aus Abbildung 10
- Abb. 12 Warenströme beim bisherigen Einschnitt von Rundholz für besäumtes Schnittholz an der Blockbandsäge
- Abb. 13 Schnittholzstapel während der Lufttrocknung
- Abb. 14 Trockenkammern für die künstliche Trocknung
- Abb. 15 Formeigenschaft von besäumtem Schnittholz während des Trocknungsprozesses
- Abb. 16 Rot markierte Ausbeute des Produzenten für Landhausdielen
- Abb. 17 3D Rundholzansicht - Brettbreite abhängig vom Modellschnitt (rot markiert)
- Abb. 18 Innovative Verfahrenskombination
- Abb. 19 Warenströme beim Einschnitt von Rundholz bei der innovativen Verfahrenskombination
- Abb. 20 unbesäumtes Schnittholzpaket (Eiche)
- Abb. 21 besäumtes Schnittholzpaket (Eiche)
- Abb. 22 Verfahrensablauf des innovativen Prozesses
- Abb. 23 unbesäumte Ware aufgestapelt für Lufttrocknung
- Abb. 24 Betriebsablauf nach Umsetzung des Vorhabens
- Abb. 25 Außenansicht Produktionshalle des Vorhabens
- Abb. 26 Betonfundamentplan
- Abb. 27 Draufsicht der Besäum- und Kappsägenlinie mit Sortiereinrichtung
- Abb. 28 Außenansicht auf das gehackte Restholz
- Abb. 29 Außenansicht auf den Späneabsaugventilator mit Containerverbindung



- Abb. 30 Außenansicht auf Kippentstapelung mit Paket
- Abb. 31 Besäumanlage
- Abb. 32 Rollenbahn mit Lamellenspreißeltrenner nach Besäumsäge
- Abb. 33 Rollenbahn mit Lamellenspreißeltrenner nach Besäumsäge
- Abb. 34 Förderband für Spreißel zum Restholzhacker
- Abb. 35 Abziehtisch mit Querfördermitnehmer zur Trimmsäge
- Abb. 36 Flipper und Rücklaufförderband zur Besäumsäge
- Abb. 37 Übergabe Trimmkappsäge zum Pufferförderband
- Abb. 38 Handheld Handcomputer zur Vermessung von unbesäumtem Schnitttholz
- Abb. 39 konische Stammform Eiche mit Riss in der Schnittfläche am Stammfuß
- Abb. 40 konische Brettform Eiche (stark ausgeprägt)

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1	Quantifizierung Materialeffizienz besäumtes Schnittholz
Tabelle 2	Quantifizierung der Umweltvorteile
Tabelle 3	Zeitlicher Verlauf des Vorhabens
Tabelle 4	Auflistung Output besäumtes Schnittholz Probebetrieb
Tabelle 5	Rundholzbedarf für Warenströme Restholz, Schnittholz unbesäumt, Schnittholz besäumt
Tabelle 6	Stoffbilanz Schnittholz, Gegenüberstellung innovatives und bisheriges Produktionsverfahren
Tabelle 7	Quantifizierung Materialeffizienz besäumtes Schnittholz
Tabelle 8	Quantifizierung der CO <sub>2</sub> Emissionen vor und nach dem Umbau
Tabelle 9	Vergleich Energieverbrauch der Produktionsabläufe

## 1. Einleitung

### 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die A. Sattelmacher KG ist ein mittelständisches Sägewerk mit über 60-jähriger Erfahrung bei der Erzeugung von Hartholz in mitteleuropäischer Eiche, Buche und Esche. Der Jahreseinschnitt beträgt je nach konjunktureller Wirtschaftslage etwa 10.000 bis 15.000 Festmeter/a. Das Hauptgeschäft liegt in der Erzeugung von besäumtem sowie unbesäumtem, qualitativ hochwertigem Laubschnittholz in handelsüblichen Brettstärken und Längen für den deutsch/europäischen Markt sowie in durch zwangsweise anfallende minderen Qualitäten für den asiatischen Markt. Die derzeitige Produktionsausstattung bildet eine Blockbandsäge (Stand der Technik) sowie drei Gattersägen. Die Beschickung dieser Maschinen übernimmt ein Rundholzsortierwagen. Der Transport der Schnittholzpakete wird durch drei Gabelstapler gewährleistet.

Im Jahr 2014 hat die Firma A. Sattelmacher KG 13.195Fm Eichen-, Buchen- und Eschenrundholz eingekauft. Daraus wurden 9.234cbm Schnittholz produziert, 2.639Fm durch den Einschnitt von Schnittholz zu Späne und 1.319Fm zu Schwarten verarbeitet. Das Schnittholz wurde dabei zu 5.359cbm aus Eiche, 3.681cbm Buche und 194cbm Esche erzeugt.



Abb. 1: Luftaufnahme A. Sattelmacher KG

## 1.2 Ausgangssituation

Im Folgenden wird zunächst der bisherige Betriebsablauf (Abb. 2) der A. Sattelmacher KG erläutert:

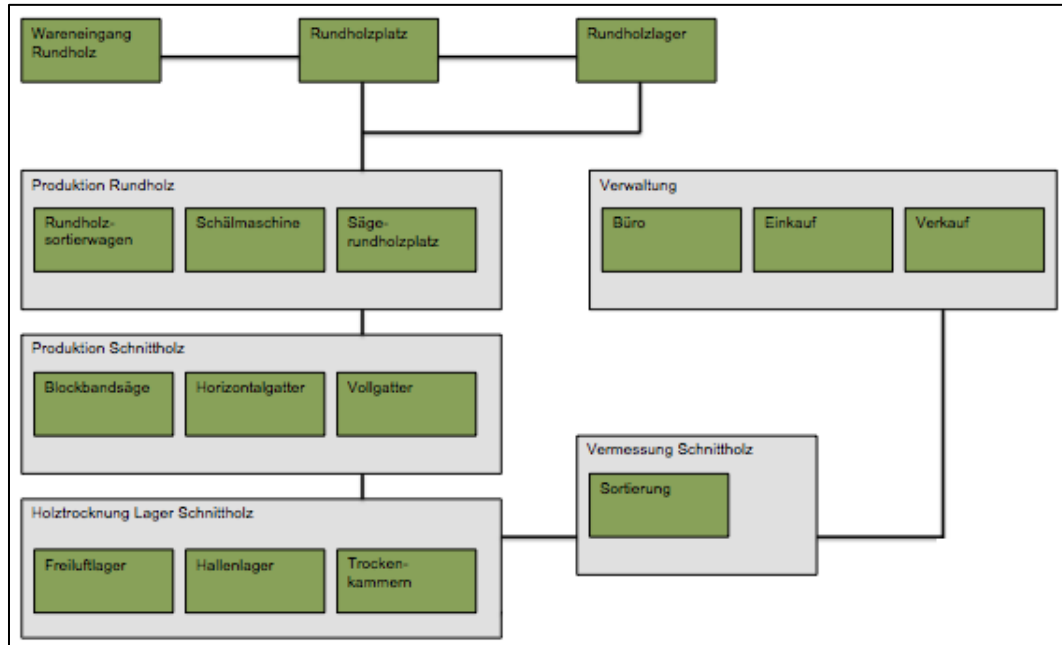


Abb. 2: Betriebsablauf A. Sattelmacher KG

Zu Beginn wird das Rundholz aus den umliegenden Forstämtern akquiriert, qualitativ eingestuft und vertraglich eingekauft. Nach der Anlieferung im Sägewerk erfolgt eine Eingangskontrolle der Lieferung. Im Anschluss wird diese entweder zur Zwischenlagerung im Rundholzlager oder direkt für die Produktion am Rundholzsortierwagen abgeladen. Der Rundholzsortierwagen übernimmt die Einteilung der Stämme nach Qualität, Länge und Durchmesser und entrindet diese durch die Schälmaschine zur jeweils sägefertigen Polterung auf dem Sägerundholzplatz.

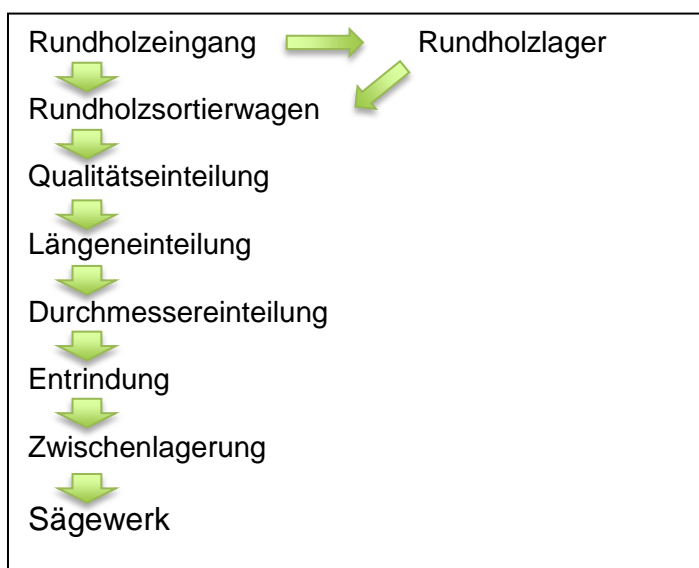


Abb. 3: Ablaufschema Rundholzplatz. Die einzelnen Schritte werden vom Rundholzsortierwagen übernommen



Abb. 4: Rundholzplatz mit Rundholzsortierwagen und Rundholzanlieferung durch einen LKW  
Im Hintergrund ist die Sägehalle zu sehen



Abb. 5: Schälmaschine zum Entrinden des eingeteilten Rundholzes auf dem Rundholzplatz

Wurde ausreichend sägefertiges Rundholz einer Charge mit einheitlicher Güte, Länge und Durchmesser zum Einschnitt gesammelt, wird diese zum Einschnitt freigegeben. Das Schnittholz kann besäumt (ohne Baumkante) oder unbesäumt (mit Baumkante) produziert werden.



Abb. 6: Blockbandsäge bei der Produktion von unbesäumtem Schnittholz

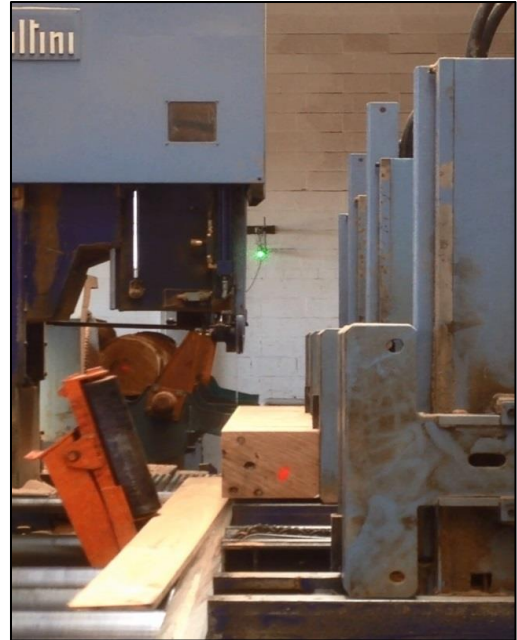


Abb. 7: Blockbandsäge bei der Produktion von besäumtem Schnittholz

Zur Produktion von Schnittholz stehen der A. Sattelmacher KG folgende Betriebsmittel zur Verfügung:

- Blockbandsäge (Abb. 6,7)
- Horizontalgatter (Abb. 8)
- Vollgatter (Abb. 9)



Abb. 8: Horizontalgatter



Abb. 9: Vollgatter

Die Wahl der Säge für das Rundholz hängt davon ab, welche Qualität, Länge und Durchmesser das fertige Schnittholz besitzen soll.

### Blockbandsäge

An der Blockbandsäge wird vorwiegend langes Rundholz mit unterschiedlicher Rundholzqualität im Stamm eingeschnitten. Die Blockbandsäge bietet Platz für fünf Schnittholzqualitäten. An keiner anderen Säge von der A. Sattelmacher KG können nach dem Einschnitt so viele Schnittholzqualitäten sortiert werden. Die Blockbandsäge ist Stand der Technik im Betrieb, produziert den höchsten Output an Schnittholz und stellt 60% der Einschnittkapazität dar.

### Horizontalgatter

Das Horizontalgatter wurde in den 70er Jahren errichtet und eignet sich für lange Stämme mit großem Durchmesser und homogener Rundholzqualität. Beim Einschnitt können zwei Schnittholzqualitäten sortiert werden. Zwar ist die geschnittene Tagesleistung gering im Vergleich zur Blockbandsäge, aber durch den langsamen und schonenden Einschnitt ist diese Maschine ideal für hochwertige Rundholzqualitäten.

### Vollgatter

Wie das Horizontalgatter ist auch das Vollgatter aus den 70er Jahren. Diese Maschine eignet sich für kurzes Rundholz, welches zu Schnittholz einer Stärke verarbeitet wird. Auch hier können zwei Schnittholzqualitäten sortiert werden.

Im weiteren Verlauf der Ausgangssituation wird das bisher angewandte Produktionsverfahren von besäumtem Schnittholz an der Blockbandsäge erläutert. Um besäumtes Schnittholz produzieren zu können, muss das Rundholz nach dem Schnittbild in Abbildung 10 eingeschnitten werden.

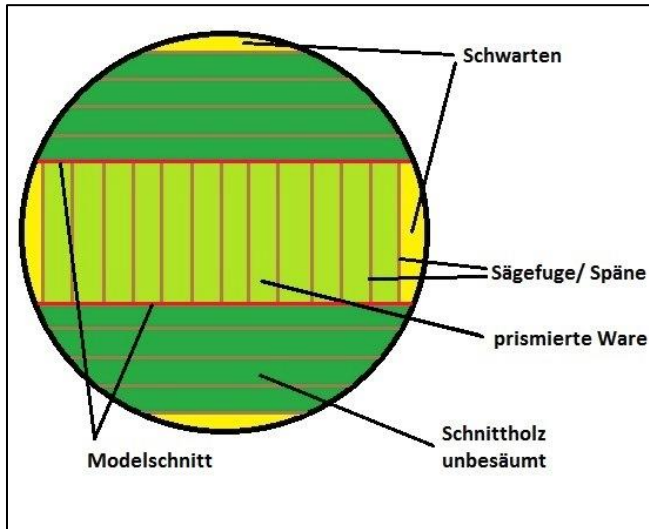


Abb. 10: Schnittbild Rundholz für bisherige Produktion von besäumtem Schnittholz

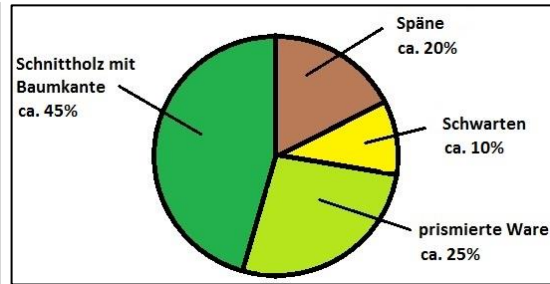


Abb. 11: Prozentuale Anteile durch Einschnitt beim bisherigen Produktionsverfahren nach Schnittbild aus Abbildung 10

Bei der Produktion von besäumtem Schnittholz wurde das Rundholz durch den Modellschnitt eingeschnitten (siehe Abbildung 7, 10). Der Stamm wurde dabei immer wieder auf dem Sägewagen gedreht und angeschnitten, bis das Model rechteckig mit der gewünschten Breite war. Dann wurde bei jedem weiterem Schnitt ein besäumtes Brett gesägt. Das waldfrische Holz wurde mit einem Übermaß in der Breite produziert und für die Vortrocknung im Lager zu Paketen mit Stapellatten aufgestapelt. In Abbildung 12 ist der innerbetriebliche Weg ab der Schnittholzproduktion vom bisherigen Produktionsverfahren für besäumtes Schnittholz beschrieben.

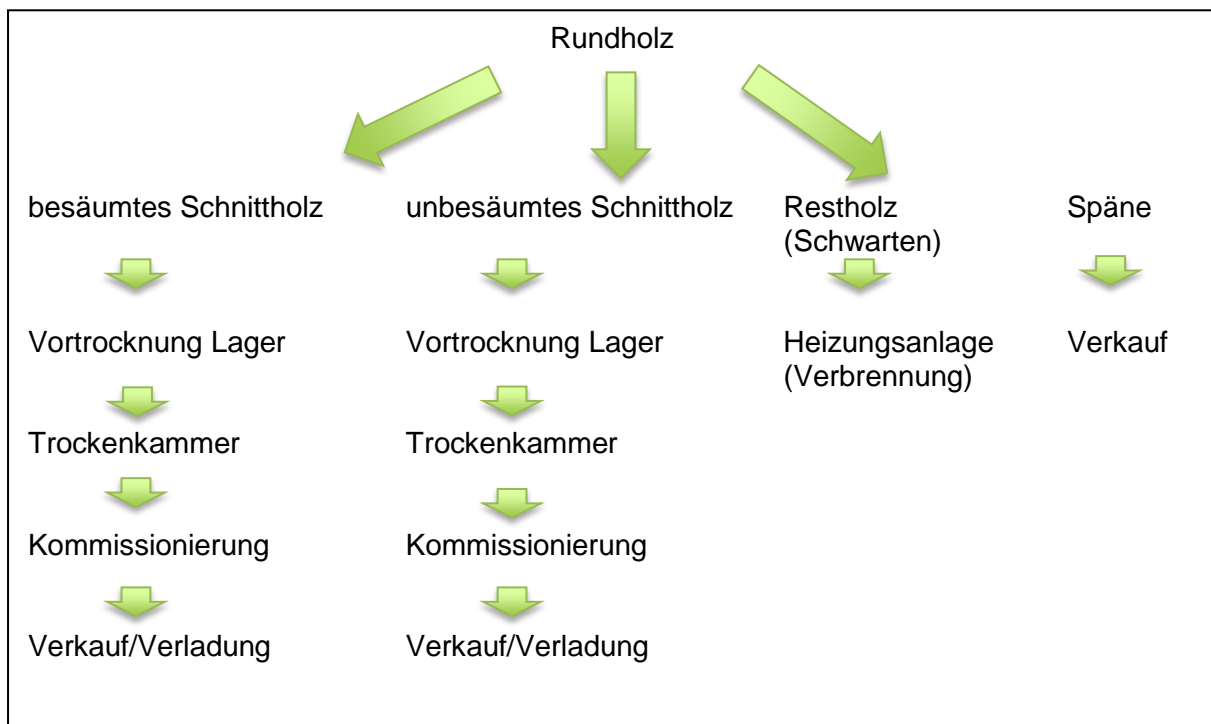


Abb. 12: Warenströme beim bisherigen Einschnitt von Rundholz für besäumtes Schnittholz an der Blockbandsäge



Die durchschnittliche Lagerdauer der Lufttrocknung des waldfrisch eingeschnittenen Schnittholzes beträgt bei einer Schnittholzstärke von 27mm ca. 9 Monate. In dieser Zeit trocknet das Material schonend auf ca.  $u=15-25\%$  Restfeuchte. Das Schnittholz hat sich nach dieser Zeit an die durchschnittliche Umgebungsluftfeuchte angepasst. Die Lufttrocknung hat den Vorteil, dass für diesen natürlichen Trocknungsprozess keine Energie aufgewendet werden muss.



Abb. 13: Schnittholzstapel während der Lufttrocknung



Abb. 14: Trockenkammern für die künstliche Trocknung

Nachdem der Lufttrocknungsprozess beendet war, wurde das Schnittholz in den Trockenkammern, in einem Zeitraum von zehn Tagen, künstlich auf eine Restfeuchte von 8% getrocknet. Da das besäumte Schnittholz durch den gesamten Trocknungsprozess schrumpft und sich durch unterschiedlich starke Schrumpfung leicht verzieht, wurden die Bretter bisher mit einem Breitenübermaß produziert. In der Abbildung 15 ist zu sehen, wie ein im waldfrischen Zustand besäumtes Brett durch den Trocknungsprozess schrumpft und sich verzieht.

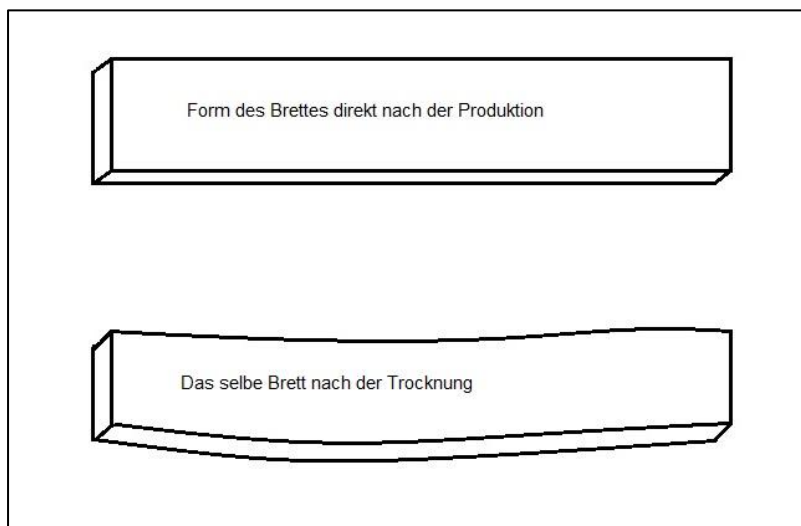


Abb. 15: Formeigenschaft von besäumtem Schnittholz während des Trocknungsprozesses

Potenziert wurde das Verziehen des besäumtem Schnittholzes durch den seitlichen Anschnitt (Besäumung). Die Holzfasern waren angeschnitten und somit konnte das besäumte Brett über vier Seiten (oben, unten, links, rechts) trocknen.

Nach der künstlichen Trocknung wurden die Stapelleisten der besäumten Schnittholzpakete entfernt, zu verladefähigen Paketen kommissioniert und anschließend verkauft. Der Kunde kaufte das getrocknete besäumte Schnittholz mit Übermaß für die Erzeugung von Landhausdielen. Zu den notwendigen Bearbeitungsschritten des Kunden zählen:

- Breitenegalisierung
- Hobeln
- Schleifen

Anhand der Abbildung 16 ist zu sehen, dass ein erheblicher Teil des produzierten Brettes (Brett aus Abbildung 15) durch die oben genannten Bearbeitungsschritte verloren geht. Grund dafür ist, dass die Landhausdielen absolut rechtwinklig, gerade und breitenegalisiert sein muss. Lediglich der rot markierte Bereich wird zu verlege fertigen Landhausdielen. Der übrige Teil wird durch die Bearbeitung zu Hobel- und Schleifspänen. Da jedes Brett unterschiedlich stark schrumpft, ist ein generelles Breitenübermaß von ca. 10-12% für die Breitenegalisierung etc. und 5% für den Trocknungsschwund insgesamt pro Brett nötig, um die Standardmaße der Industrie als Lieferant einhalten zu können.



Abb. 16: Rot markierte Ausbeute des Produzenten für Landhausdielen

Aufgrund der bisherigen Produktionsmöglichkeiten der A. Sattelmacher KG war es lediglich möglich einen Anteil von ca. 25% an besäumtem Schnittholz pro Stamm zu produzieren (siehe Abbildung 10 und 11). Der Anteil von 25% pro Stamm war aus Sicht des Absatzes nicht ausreichend.

Die A. Sattelmacher KG hatte zwei Möglichkeiten, um die Produktionsmenge von besäumtem Schnittholz zu erhöhen.

Zum einem die Produktionsmenge an einzuschneidendem Rundholz erhöhen, um einen quantitativ höheren Output von besäumtem Schnittholz zu erreichen. Jedoch ist die Erhöhung der Rundholzmenge, um besäumtes Schnittholz zu produzieren nicht im Sinne einer materialeffizienten Rohstoffverwertung, sondern dient lediglich dazu Absatz zu erzielen.

Zum anderem ein Produktionsverfahren für besäumtes Schnittholz zu entwickeln, um den Rundholzbedarf zu senken und gleichzeitig die Produktionsmenge von besäumtem Schnittholz zu erhöhen.

Des Weiteren ging beim bisherigen Rundholzeinschnitt die Flexibilität der Brettbreiteneinteilung im Stamm verloren, da das besäumte Schnittholz durch den so genannten „Modelschnitt“ in der Brettbreite nicht mehr veränderlich war. Das besäumte Schnittholz konnte nur in einer Breite pro Stamm produziert werden (siehe Abbildung 7, 10,17).

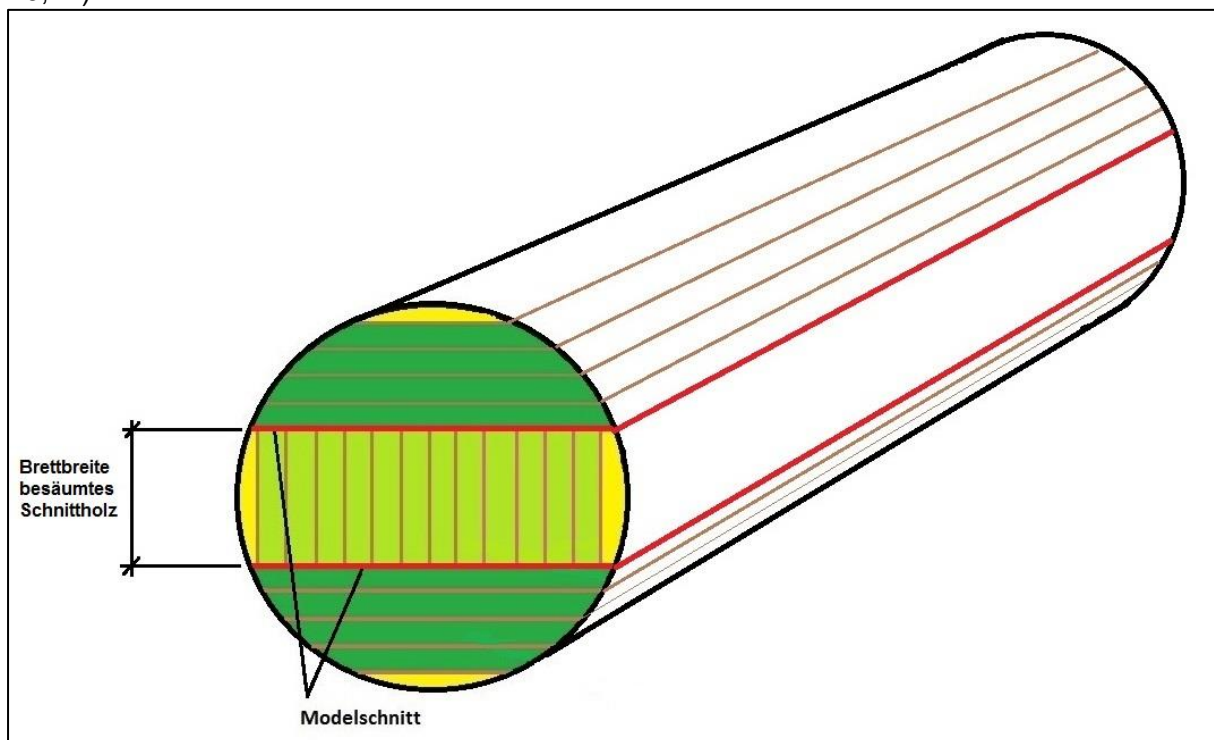


Abb. 17: 3D Rundholz Ansicht - Brettbreite abhängig vom Modelschnitt (rot markiert)

Die A. Sattelmacher KG suchte eine neue Verfahrenslösung für die Produktion von besäumtem Schnittholz, die materialeffizient, flexibel in der Brettbreiteneinteilung und zugleich wirtschaftlich ist. Darüber hinaus soll der Rundholzbedarf für die Produktion von besäumtem Schnittholz gesenkt werden. Die Verfahrenslösung soll innovativ sein und über den Stand der Technik hinausgehen.

## 2. Vorhabensumsetzung

### 2.1. Ziel des Vorhabens

Die A. Sattelmacher KG plant die Erhöhung der Materialeffizienz bei der Herstellung von besäumtem Schnittholz (z.B. Bretter, Dielen) durch die erstmalige großtechnische Umsetzung einer innovativen Verfahrenskombination von Holz Trocknung und anschließender Besäumung. Dadurch kann auf das standardmäßige Sägen mit Übermaß verzichtet werden und Holz wird eingespart.

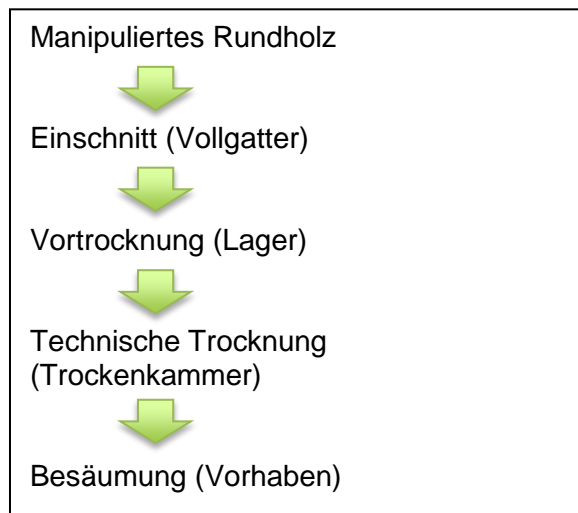


Abb. 18: Innovative Verfahrenskombination

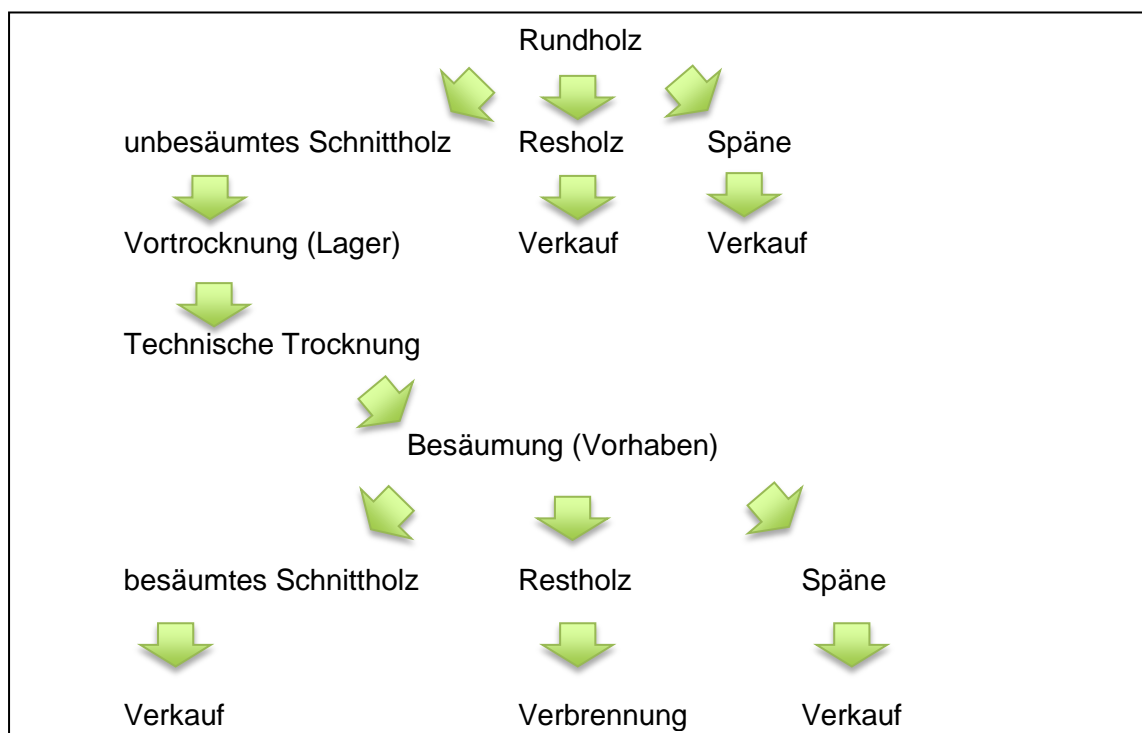


Abb. 19: Warenströme beim Einschnitt von Rundholz bei der innovativen Verfahrenskombination

Durch das Vorhaben können folgende positive Umwelteffekte erreicht werden:

2.1.1. Steigerung der Materialeffizienz

2.1.2. Weitere positive Umwelteffekte

### 2.1.1. Steigerung der Materialeffizienz

Die Materialeffizienz für besäumtes Schnittholz soll durch die Verringerung des Übermaßes bei der Produktion um ca. 10-12% gegenüber dem bisherigen Produktionsverfahren gesteigert werden. Ausgehend von einer geplanten Produktionskapazität von 5.702cbm/a im einschichtigen Betrieb und einer durchschnittlichen Brettdimension von 27mm Brettstärke, 200mm Brettbreite und 2500mm Brettlänge können pro Jahr 507cbm Schnittholz durch die innovative Verfahrenskette eingespart werden. Die geplante Materialeffizienz wurde auf Grundlage der empirischen Ermittlungen für den Projektantrag und unter der geplanten Annahme der Leistungskapazität bezüglich der Taktung von 4 Brett pro Minute bei 220 Arbeitstagen pro Jahr errechnet.

<b>Quantifizierung der Materialeffizienz besäumtes Schnittholz</b>					
Bezeichnung	Stückzahl /a (neue Kapazität)	IST-Zustand vor Umbau (fiktiv bei neuer Anlagenkapazität)	Innovatives Verfahren	Einsparung	Einsparung in %
Jahresproduktion besäumtes Schnittholz	422.400	6.272cbm/a	5.702cbm/a	570cbm/a	10,00

Tabelle 1: Quantifizierung Materialeffizienz besäumtes Schnittholz

Der Kunde der A. Sattelmacher KG kaufte für sein Endprodukt 6.272cbm/a besäumtes Schnittholz nach dem bisherigen Produktionsverfahren. Nach dem innovativen Produktionsverfahren wird der Kunde durch die Reduzierung des Breitenübermaßes 5.702cbm/a besäumtes Schnittholz für das gleiche Endprodukt benötigen.

### 2.1.2. Umwelteffekte

Die innovative Verfahrenskette ist aufgrund ihrer Materialeffizienz auch mit weiteren Verbesserungen für die Umwelt verbunden.

1. Einsparung von Kraftstoff und Minderung der CO<sub>2</sub> Emissionen durch verringerte Rundholzfrachten vom Wald in das Sägewerk

Durch die materialeffiziente Produktion des innovativen Verfahrens sollen 570cbm/a Schnittholz eingespart werden. Die Einsparung von 570cbm/a Schnittholz lässt sich auf eine Einsparung im Rundholz übertragen. Wenn Rundholz eingespart wird, dann wird auch weniger Rundholz in das Sägewerk transportiert.

2. Verringerter Verbrauch an Brennholz zur Befeuerung der Kesselanlage durch die Verbrennung von getrocknetem Restholz

Die Trockenkammern der A. Sattelmacher KG werden mit Warmwasser beheizt. Dieses Warmwasser wird durch die Verbrennung von Restholz in der Firmeneigenen Kesselanlage erhitzt. Beim bisherigen Produktionsverfahren war durch den Einschnitt von Rundholz ausschließlich waldfrisches Restholz (Schwarten) für die Befeuerung angefallen. Beim innovativen Verfahren fällt durch die Besäumung von getrocknetem unbesäumtem Schnittholz getrocknetes Restholz (Spreißel) an. Das getrocknete Restholz hat einen höheren Heizwert, als das waldfrische Restholz, weil ein erheblicher Teil der Verbrennungsenergie als Verdampfungswärme des im Holz eingelagerten Wassers verloren geht. Durch den höheren Heizwert verringert sich der Verbrauch, im Vergleich zum Restholz des bisherigen Produktionsverfahrens.

<b>Quantifizierung der Umweltvorteile</b>					
Bezeichnung	Einheit	IST-Zustand	Innovativ	Einsparung/Verbesserung	Einsparung in %
CO <sub>2</sub> -Emission durch Transport	kgCO <sub>2</sub> /a	117.639	106.988	10.651	9,05
CO <sub>2</sub> Emissionen durch Holzverbrennung	kgCO <sub>2</sub> /a	2.926.000	2.737.000	189.000	6,45
			<b>Summe</b>	<b>199.651</b>	

Tabelle 2: Quantifizierung der Umweltvorteile

CO<sub>2</sub> Äquivalent 2,63kgCO<sub>2</sub>/l (Diesel)

CO<sub>2</sub> Äquivalent 1,83kgCO<sub>2</sub>/ kg (Holz)

Zur Berechnung der CO<sub>2</sub> Einsparung pro Jahr wurden die vom BMUB veröffentlichten Werte, (2,63kgCO<sub>2</sub> /l) für die CO<sub>2</sub> Emissionen von einem Liter Diesel und 1,83kgCO<sub>2</sub>/kg für CO<sub>2</sub> Emissionen von einem Kilogramm Holz, herangezogen. Durch die innovative

Verfahrenskombination soll pro Jahr 199.651kgCO<sub>2</sub> weniger in die Umwelt ausgestoßen werden.

### 3. Senkung des Rundholzbedarfes für die Produktion von besäumtem Schnittholz

Mit der Umsetzung des innovativen Verfahrens plant die A. Sattelmacher KG eine Senkung des Rundholzbedarfes von 30-40% gegenüber dem bisherigen Produktionsverfahren. Beim bisherigen Verfahren war der Einschnittanteil von besäumtem Schnittholz am Rundholz 25% (Abbildung 10,11). Die Senkung des Rundholzbedarfes durch das innovative Verfahren erfolgt durch die Erhöhung des Anteils von besäumtem Schnittholz am Rundholz.

### 4. Steigerung der Laderaumausnutzung bei Schnittholzauslieferung an den Kunden

Das besäumte Schnittholz lässt sich platzsparender in Pakete stapeln als unbesäumtes Schnittholz. Die Bretter sind gleich breit und gleich lang. Dadurch geht kein Platz zwischen den Brettern verloren.

Bei unbesäumtem Schnittholz ist die Brettform undefiniert. Jedes Brett ist unterschiedlich breit und lang. Dadurch können die Bretter in den Paketen nicht dicht an dicht gepackt werden und es bleibt bei jeder Brettschicht immer etwas Luft zwischen den Brettern. Siehe dazu die gebündelten Pakete von unbesäumtem und besäumtem Schnittholz in Abb. 18 und 19. Die Pakete sind immer 1,10m breit und 1,10m hoch. Die LKW Ladefläche ist 2,2m breit und 2,4m hoch. Dadurch passen auf die Ladefläche zwei Pakete übereinander und zwei nebeneinander. Im Folgenden ist ein besäumtes und ein unbesäumtes Schnittholzpaket rechnerisch in Bezug auf das Holzvolumina im Paket und das dafür benötigte Ladevolumina gegenüber gestellt.



Abb. 20: unbesäumtes Schnittholzpaket(Eiche)



Abb. 21: besäumtes Schnittholzpaket(Eiche)

- Besäumte Ware (Abb.19):

$$\text{benötigtes Ladevolumen} = \text{Höhe} * \text{Breite} * \text{Länge} = 1,10\text{m} * 1,10\text{m} * 5,0\text{m} = 6,05\text{m}^3$$

$$\text{Schnittholzvolumen im Paket } 1,10\text{m} * 1,10\text{m} * 5,0\text{m} = 5,292\text{m}^3$$

$$\text{Ausnutzung Schnittholzvolumen vom Paketladevolumen} = \frac{5,292}{6,050} = 87,47\%$$

- Unbesäumte Ware (Abb. 18)

$$\text{benötigtes Ladevolumen} = \text{Höhe} * \text{Breite} * \text{Länge} = 1,10\text{m} * 1,10\text{m} * 5,0\text{m} = 6,05\text{m}^3$$

$$\text{Schnittholzvolumen im Paket } 1,10\text{m} * 1,10\text{m} * 5,0\text{m} = 3,792\text{m}^3$$

$$\text{Ausnutzung Schnittholzvolumen vom Paketladevolumen} = \frac{3,792}{6,050} = 62,68\%$$

Die prozentuale Differenz von der Ausnutzung des Schnittholzvolumens zum Paketladevolumen beträgt 24,79%. Anhand dieses Ergebnisses von besäumtem und unbesäumtem Schnittholzpaketen ist ersichtlich, dass mit besäumtem Schnittholz mehr Holzvolumen pro LKW transportiert werden kann als mit unbesäumtem Schnittholz. Dadurch verringert sich das LKW – Aufkommen und es wird weniger Lärm und CO<sub>2</sub> durch LKW – Fahrten produziert.

## 2.2. Darstellung der technischen Lösung

Die A. Sattelmacher KG plante die Umsetzung des folgenden innovativen Prozessablaufes:

- Sägen von unbesäumtem Schnittholz
- Vortrocknung von unbesäumtem Schnittholz im Lager
- technische Holz Trocknung des unbesäumtem Schnittholzes
- Besäumung des unbesäumtem Schnittholzes (ohne Übermaß)
- Auslieferung an den Kunden (ohne Übermaß)

Für die technische Lösung der materialeffizienten und innovativen Verfahrenskette musste die A. Sattelmacher KG zwei wesentliche Voraussetzungen besitzen:

- Ausreichend Lagerplatz für frisch produziertes, unbesäumtes Schnittholz zur Vortrocknung
- Trockenkammern

Zur Umsetzung des Vorhabens ist eine Investition in eine Besäum- und Kappsäge mit Sortiereinrichtung notwendig. Erst diese Investition macht die Steigerung der Materialeffizienz möglich. In der folgenden Abbildung 22 ist der Ablaufplan für die



Zusammensetzung der bereits vorhandenen Betriebsmittel mit der geplanten Investition der Besäum- und Kappsäge mit Sortiereinrichtung, zu einer innovativen Verfahrenskette für besäumtes Schnittholz dargestellt.

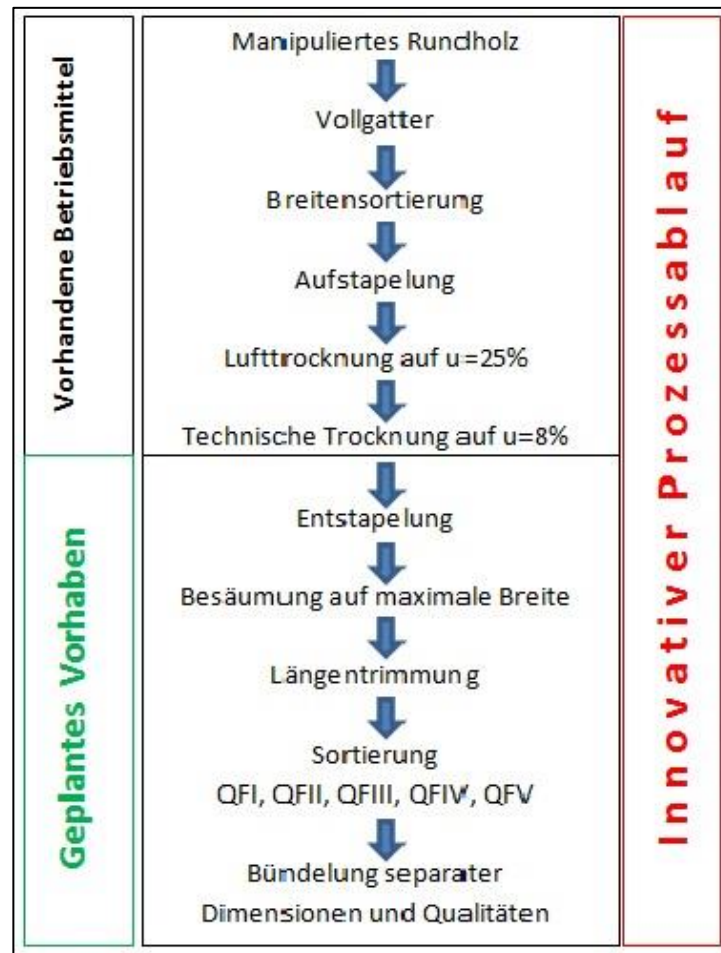


Abb. 22: Verfahrensablauf des innovativen Prozesses

### 2.2.1. Beschreibung der technischen Lösung

Nachdem das Rundholz in die handelsüblichen Längen und Durchmesser sortiert wurde, erfolgt der Einschnitt des manipulierten Rundholzes am Vollgatter. Dabei wird das Rundholz unbesäumt eingeschnitten (siehe Abbildung 9). Ein Modelschnitt, wie in Abbildung 10, wird nicht mehr durchgeführt. Das unbesäumte und waldfrische Schnittholz wird für die Vortrocknung mit Stapelleisten aufgestapelt (siehe Abbildung 23) und im Freiluftlager für mindestens 9 Monate auf eine Feuchte von  $u=25\%$  vorgetrocknet. Im Anschluss daran erfolgt die künstliche Trocknung in der Trockenkammer. Dafür werden die Schnittholzpakete mit dem Gabelstapler in die Trockenkammer gefahren bis diese voll beschickt ist. Der künstliche Trocknungsablauf wird bezüglich der Temperatur, Windgeschwindigkeit und

Luftfeuchte computergesteuert geregelt. Dadurch kann das Holz schnell und schonend innerhalb von 7-10 Tagen auf  $u=8\%$  getrocknet werden.



Abb. 23: unbesäumte Ware aufgestapelt für Lufttrocknung

Während der gesamten Holz Trocknung schrumpft und schwindet das Holz in Stärke und Breite. Das eingelagerte Wasser in den Zellwänden und den Zellhohlräumen verdunstet, wodurch das Schnittholz schrumpft. Ein wesentlicher Teil der technischen Lösung lässt sich durch den Unterschied beim Trocknen von unbesäumtem und besäumtem Schnittholz feststellen. Das unbesäumte Brett hat links und rechts noch die Baumkante. Das bedeutet, dass die Holzfasern nicht angeschnitten wurden und somit in ihrem natürlichen Wuchs intakt sind. Dadurch trocknet das Brett hauptsächlich über die Brettflächen (oben, unten). Das Brett bleibt gerade und verzieht sich nicht im Vergleich zu waldfrisch besäumter Ware, wie in der Ausgangssituation (Punkt 1.2., Abbildung 15) beschriebenen Weise. Nach der Holz Trocknung kann sich das unbesäumte Schnittholz nicht mehr in Form und Maß verändern. In den Zellen und Zellhohlräumen ist nach der künstlichen Trocknung kein eingelagertes Wasser mehr vorhanden. Das Brett schrumpft nicht mehr, weil aus den Zellen und Zellhohlräumen keine Wasserverdunstung mehr stattfindet und dadurch kommt es auch zu keiner weiteren Brettvolumenveränderung bzw. Brettschrumpfung.

Bis zu diesem Punkt wurde das unbesäumte Schnittholz mit vorhandenen und den bereits beschriebenen Betriebsmitteln bearbeitet. Im Anschluss folgt der Übergang zum geplanten technischen Vorhaben. Zur Umsetzung des Vorhabens ist eine Investition in eine Besäum-

und Kappsäge notwendig. Mit dieser Besäumsäge wird das unbesäumte Schnittholz besäumt. Die getrockneten und unbesäumten Schnittholzpakete werden mit dem Stapler von der Trockenkammer zur Besäumsäge gefahren. Die Besäum- und Kappsäge ist technisch so konzipiert, dass die bereits vorgeschrittenen, getrockneten und unbesäumten Schnittholzpakete automatisch entstapelt und Brett für Brett vereinzelt werden. Hierbei wird eine Kippentapelung eingesetzt, sodass immer die oberste Lage Schnittholz über einen Anschlag auf einen Querförderer rutscht. Die Stapelhölzer, welche zwischen den einzelnen Lagen des Paketes liegen, fallen in ein Förderband und werden zu einem Bündel gesammelt. Dabei entsteht ein kontinuierlicher Warenstrom der zur Besäumsäge gefördert wird. Hierbei werden die vereinzelt Bretter jeweils begutachtet und individuell nach der maximal möglichen Breite besäumt. Hierbei kann auf das standardmäßige Sägen mit Übermaß im Vergleich zur Ausgangssituation verzichtet werden. Das Brett durchläuft die Besäumsäge und es wird die Baumkante abgetrennt. Die Spreißel (Restholz) werden anschließend vom Produkt getrennt, über ein Förderband zur Restholzschere transportiert und zu Stückholz verarbeitet. Mit diesem Stückholz wird die betriebseigene Heizungsanlage befeuert, womit Trockenkammern und Gebäude beheizt werden.

Im Anschluss werden die besäumten Bretter über einen Rollengang zur Trimmsäge transportiert. In diesem Arbeitsschritt werden die Brettenden auf Länge getrimmt. Nachdem die Längentrimmung vollzogen ist, wird das besäumte und auf Länge getrimmte Brett, auf einen 15 Meter langen Querkettenförderer übergeben und von dort aus individuell nach Qualität, Breite und Länge in Pakete einer Dimension und Güte sortiert.

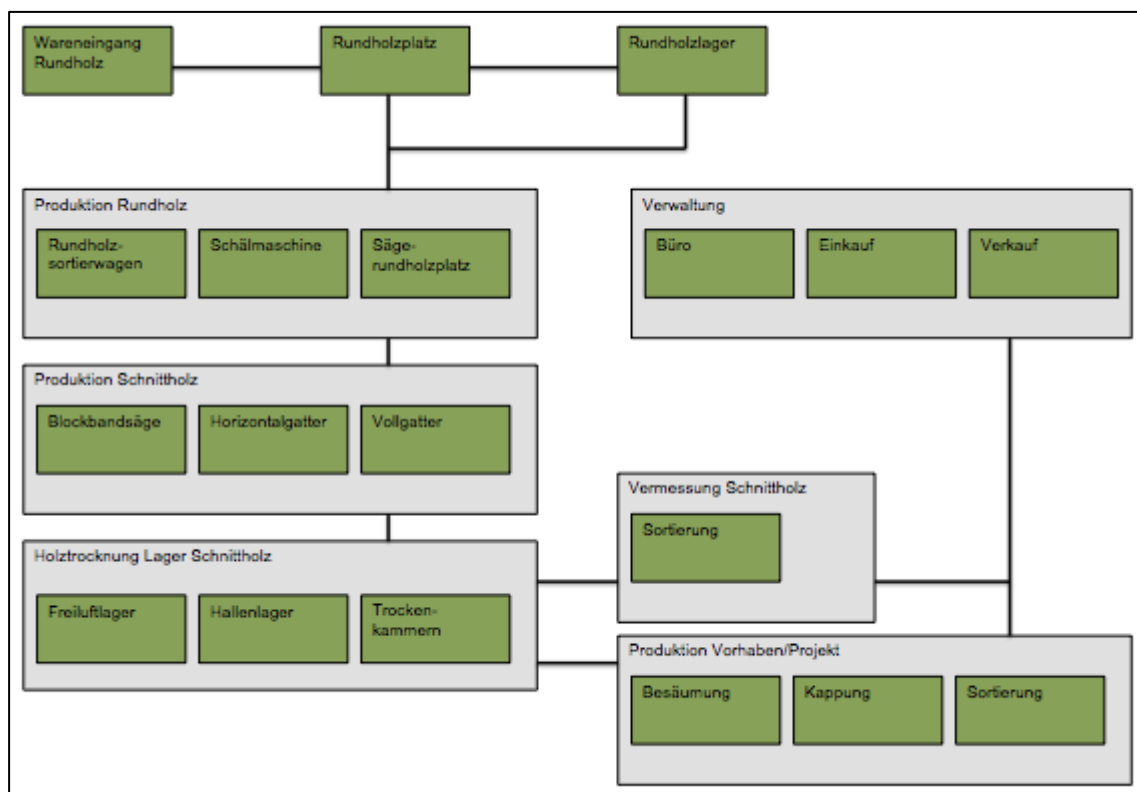


Abb. 24: Betriebsablauf nach Umsetzung des Vorhabens

### 2.3. Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

In der folgenden Tabelle ist der zeitliche Verlauf des Vorhabens von der Erstellung der Projektskizze bis zum Abschlussbericht dargestellt.

Zeitlicher Ablauf des Vorhabens																												
	2013						2014												2015									
Ereignis	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Juli	Aug		
Erstellung Projektskizze	■	■	■																									
Erstellung des Förderantrags							■	■	■	■	■	■																
Präsentation beim UBA													■															
Förderbescheid																■												
Auftragsvergabe																■												
Planung der Anlage	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■													
Kreditabwicklung																	■	■	■	■								
Lieferzeit Anlage																		■	■	■	■	■	■					
Hallenverkeidung																		■	■									
Erstellung der Fundamente																			■									
Montage																				■	■	■	■					
Testphase																					■	■	■					
Probetrieb																							■	■				
Erfolgskontrolle																								■	■			
Abschlussbericht																								■	■			

Tabelle 3: Zeitlicher Verlauf des Vorhabens

Im Juni 2013 auf der Verbandstagung „Laubholzkreis“ des DeSH (Deutsche Säge- und Holzindustrie Bundesverband e. V.) in Tauberbischofsheim wurde das UIP mit Schwerpunkt Materialeffizienz vorgestellt. Das UIP war der entscheidende Impuls für die A. Sattelmacher KG in eine materialeffiziente Produktion für besäumtes Schnittholz zu investieren. Im Zuge der selbstständigen Informierung über Programmdetails des UIP sah sich A. Sattelmacher KG motiviert in den Bereich der Materialeffizienz zu investieren und startete die Erstellung der Projektskizze. Bereits zu diesem Zeitpunkt war klar, dass die A. Sattelmacher KG eine neue Besäum- und Kappsäge mit Sortiereinrichtung benötigt, mit der die notwendigen Ziele der Materialeffizienz zu erreichen waren. Nachdem im Januar 2014 das Projekt als förderfähig eingestuft wurde, konnte sich das Projekt weiter konkretisieren.

Nun musste ein Anlagenhersteller gefunden werden, der die Anforderungen dieses Projekts und die Vorstellung der A. Sattelmacher KG erfüllen kann. Hierzu wurden bereits auf der LIGNA 2013 (führende Branchenmesse für Forst- und Holzwirtschaft) erste Gespräche mit diversen Anlagenherstellern geführt. Diese galt es im Zuge der Antragsstellung zu intensivieren. Dabei wurden zunächst mehrere Ideen und Vorschläge zu ersten Anlagenskizzen und Investitionskosten gebündelt. Dabei verlief die Anlagenplanung und Gestaltung parallel zur Antragsstellung, so dass für den Förderantrag ein fertiges Angebot erarbeitet wurde. Auf der Grundlage des Maschinenkonzeptes konnten davon abhängige

Angebote für die Hallenverkleidung, Fundamenterstellung und die Absauganlage erstellt werden.

Mit dem Förderbescheid vom Oktober 2014 wurden alle Angebote vom Maschinenhersteller, Dachdecker, Bauunternehmen und Absauganlagenhersteller mit Auftragsbestätigungen kontaktiert. Die Arbeiten an der Halle bezüglich Verkleidung und Fundamente verliefen schnell und reibungslos, so dass die Vorbereitungen für die Errichtung der Besäum- und Kappsäge bereits im Januar 2015 abgeschlossen waren. Ein Grund dafür war der milde Winter ohne Frost und mit stabiler Wetterlage, so dass die Arbeiten der Firmen dadurch nicht behindert wurden. Der Beginn der Montage der Maschine wurde aufgrund des Lieferverzuges vom Säumer um einen Monat verschoben. Mitte März und pünktlich mit der Lieferung der ersten Komponenten der Besäum- und Kappsäge konnten die Montagearbeiten der Anlagenkomponenten beginnen. Von dort an verlief die gesamte Montage ohne Hemmnisse bzw. Komplikationen. Alle einzelnen Komponenten fügten sich passgenau zu einer kompletten Produktionslinie zusammen. Es gab keine fehlerhaften Bauteilelemente oder Montagefehler, so dass die Montage der Maschine Ende April abgeschlossen werden konnte. Lediglich der geplante Montagezeitraum wurde um zwei Wochen überzogen. Direkt im Anschluss daran wurde mit der Montage der Späneabsaugung begonnen. Die bestellten Rohrbauteile passten in Durchmesser und Länge, wie angeboten, zur Halle und an die Anschlussstutzen der Maschinen. Die Absaugleitungen wurden jeweils an den Wänden von den Maschinen weg bis zu einem zentralen Knotenpunkt verlegt der zum Ventilator führt und von dort in den Spänecontainer. Die theoretische Auslegung der Absauganlage bezüglich Volumenstrom und Luftgeschwindigkeit in den Rohrleitung wurden durch einen Praxistest mit einem Anemometer überprüft. Das Ergebnis dieser Messung entsprach den Erwartungen und die Absauganlage war damit abgenommen und funktionsbereit. Mit der Fertigstellung der Absauganlage konnten sich die Mitarbeiter der A. Sattelmacher KG einer Sicherheitsunterweisung und technischen Einführung der gesamten Produktionslinie durch die Firma des Anlagenlieferanten unterziehen.

Zwischen dem 11.05. und dem 21.05.2015 lief die Anlage für Testzwecke. Die Besäum- und Kappsäge wurde in einer Grundeinstellung bezüglich Steuerung, Mechanisierung und Automatisierung produziert. Während der Testphase lag das Hauptaugenmerk darauf, die Produktionslinie möglichst perfekt auf das zu produzierende Material, die Arbeitsweise sowie Arbeitsgeschwindigkeit der Mitarbeiter einzustellen. An jedem Punkt der Anlage, an dem Bretter bearbeitet, gefördert oder gesteuert werden, befinden sich Sensoren, die Parameter oder Bedingungen an die Maschinensteuerung senden. Jegliche Parameter sind voneinander abhängig, so dass sich die ideale Einstellung als schwierig und langwierig gestaltet. Zusätzlich wurden während der Testphase Fehler mechanischer Natur behoben (z.B. weil ein Brett in der Anlage stecken bleibt). Ab dem 21.05.2015 wurde die Testphase

beendet und die Monteure bearbeiteten das Fehlerprotokoll, um sämtliche Störfaktoren zu eliminieren. Die Endabnahme mit dem Anlagenhersteller fand am 29.05.2015 statt. Wobei nochmals alle Abläufe kontrolliert wurden, damit im Probetrieb ein flüssiger und kontinuierlicher Materialstrom die Anlage durchlaufen kann. Dies ist unabdingbar für repräsentative Produktionsdaten, die für die Ermittlung der Materialeffizienz und Wirtschaftlichkeit die Grundlage bilden.

Der Probetrieb war auf die Dauer von 22 Tagen festgelegt und fand im Zeitraum Juni/Juli 2015 statt. Da ein Jahr aus ca. 220 Arbeitstag besteht, können die Ergebnisse des Probetriebs mit dem Faktor 10 multipliziert werden.

Auf den folgenden Seiten ist der Aufbau der Produktionslinie auf Bildern dokumentiert.



Abb. 25: Außenansicht Produktionshalle des Vorhabens

In der Abbildung 25 ist die bereits vorhandene Halle zu sehen. Diese Halle war vor dem Projekt noch zu allen Seiten hin offen und wurde im Zuge des Hallenumbaus mit Trapezblechen verkleidet. Um möglichst viel Tageslicht nutzen zu können, wurde ein 2m hohes Lichtband rings um die Halle über die Trapezbleche gesetzt. Des Weiteren wurde eine Brücke für die elektrische-, pneumatische- und Internetversorgung der Anlage installiert.

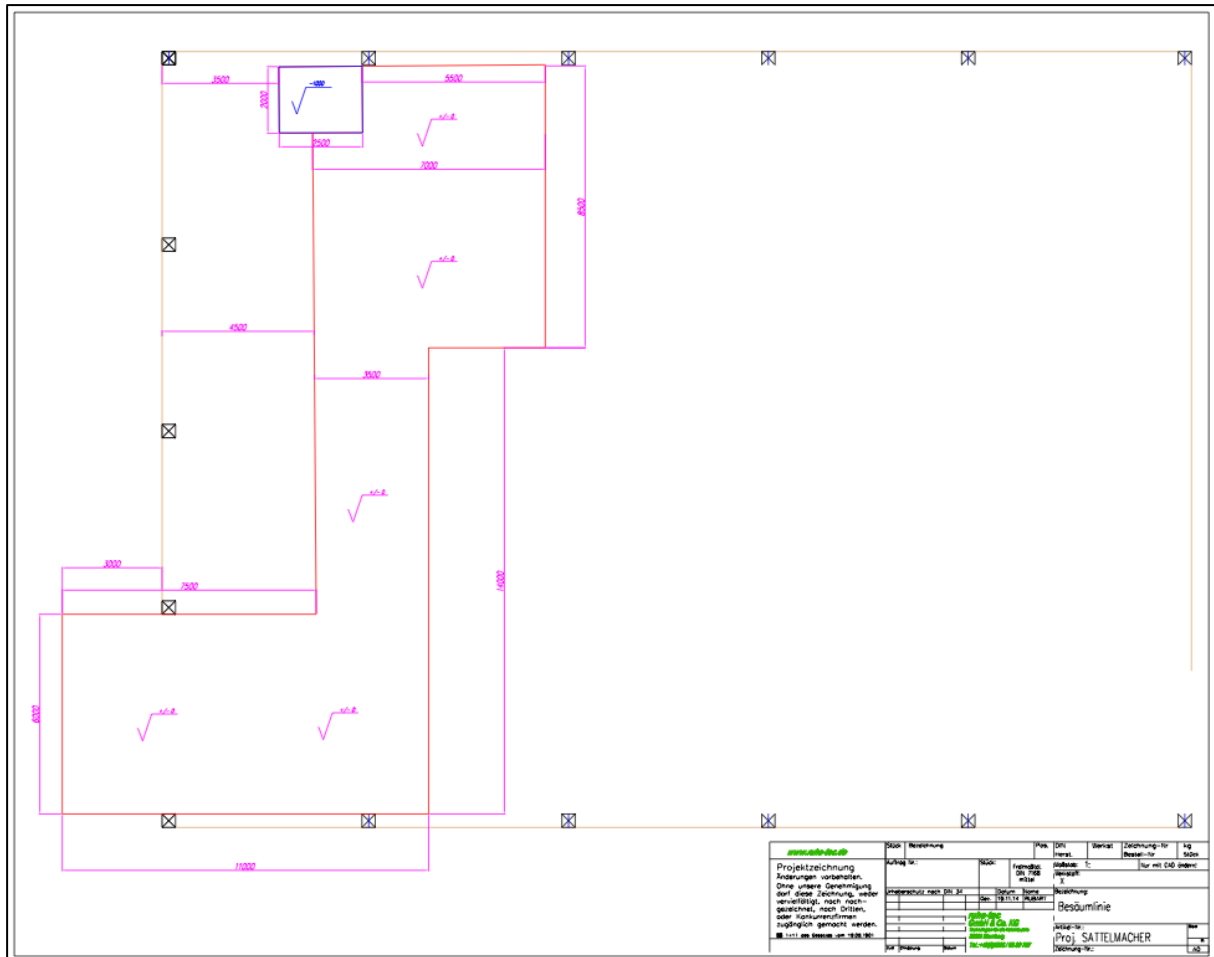


Abb.26: Betonfundamentplan

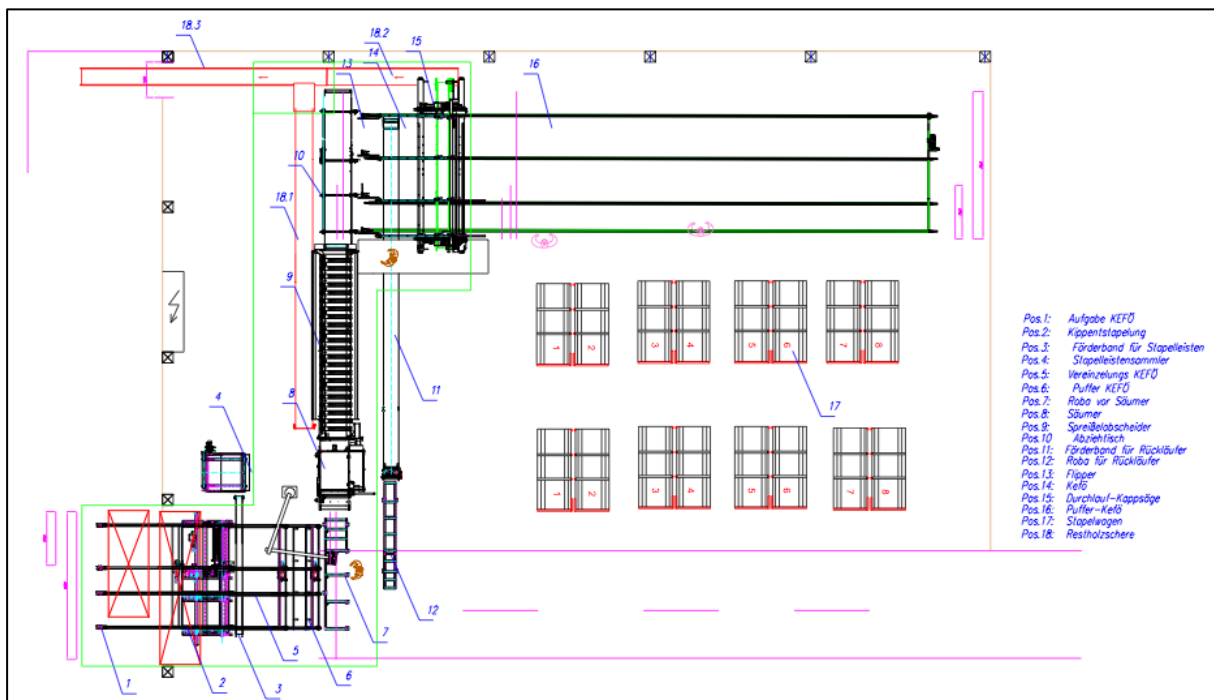


Abb. 27: Draufsicht der Besäum- und Kappsägenlinie mit Sortiereinrichtung



Abb. 28: Außenansicht auf das gehackte Restholz



Abb. 29: Außenansicht auf den Späneabsaugventilator mit Containerverbindung



Abb. 30: Außenansicht auf Kippentapelung mit Paket



Abb. 31: Besäumanlage





Abb. 32: Rollenbahn mit Lamellenspreißeltrenner nach Besäumsäge



Abb. 33: Rollenbahn mit Lamellenspreißeltrenner nach Besäumsäge

Die Lamellenspreißeltrenner fahren durch Servomotoren genau auf das Maß der Sägeblätter, so dass die Sägefuge beim Schnitt des Brettes die Spreißel direkt durch die Lamelle voneinander trennt. Die Spreißel fallen durch die Spiralrollen links und rechts von der Rollenbahn auf das Förderband des Restholzhackers.



Abb. 34: Förderband für Spreißel zum Restholzhacker



Abb. 35: Abziehtisch mit Querfördermitnehmer zur Trimmsäge



Der Flipper hat drei Funktionen die manuell vom Bediener am Säumer gewählt werden können. Steht der Flipper wie in Abbildung 36 auf der oberen Position, werden die Dielen zur Durchlauftrimmsäge gefördert. Bei der mittleren Position laufen die Bretter direkt auf das lange Pufferförderband. Die dritte Position stellt den Flipper auf die untere Position, wodurch die Bretter auf das Rücklaufförderband zum Säumer fallen.

Abb. 36: Flipper und Rücklaufförderband zur Besäumsäge



Abb. 37: Übergabe Trimmskappsäge zum Pufferförderband und Anschluss der Absaugung

## 2.4. Behördliche Anforderungen

Für das Vorhaben waren keine behördlichen Genehmigungen erforderlich.

## 2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Während des 22-tägigen Probetriebes wurden die Betriebsdaten erfasst und für die Bilanzierung auf ein Jahr hochgerechnet. Zu den ermittelten Betriebsdaten gehören:

- Volumen des unbesäumtem Schnittholzes in  $m^3$  (Input Besäum- und Kappsägenlinie)
- Volumen des besäumtem Schnittholz in  $m^3$  (Output Besäum- und Kappsägenlinie)

Die Dauer des Probetriebes von 22 Tagen wird als repräsentativ für eine Jahresproduktion angenommen.

Zunächst wurde das unbesäumte Schnittholz (Input) vermessen. Bei der Vermessung wird jedes einzelne unbesäumte Brett in der Stärke, Breite und Länge gemessen. Durch die Multiplikation von Stärke, Breite und Länge wird ein Volumenmaß in  $m^3$  errechnet. Die Vermessung ermittelt ein Volumenmaß je unbesäumtes Schnittholzpaket, das aus der Anzahl der Bretter mit der jeweiligen Brettstärke, -breite und -länge berechnet wird. Die Brettstärke, -breite, -länge werden Brett für Brett in der Vermessungshalle in einen Handcomputer eingegeben, bis ein Paket komplett vermessen wurde. Dabei wird das Paket am Ende mit einer Paketnummer versehen, die im Anschluss in die betriebsinterne Datenbank übertragen und gespeichert wird.

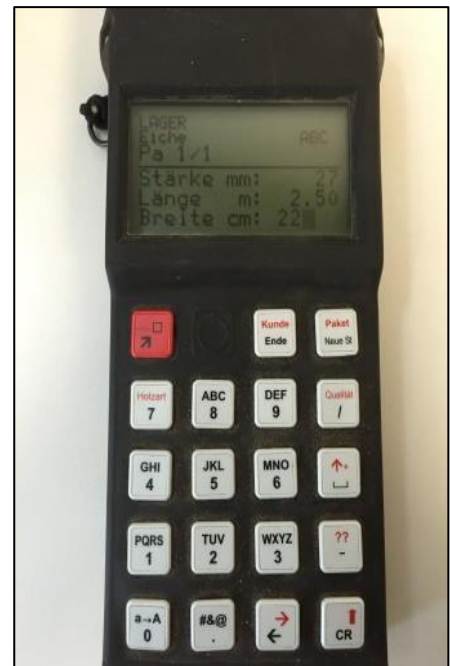


Abb. 38: Handheld Handcomputer zur Vermessung von unbesäumtem Schnittholz

Nach dem 22-tägigen Probetrieb ist bekannt, wie viel unbesäumte Schnittholzpakete und dem damit verbundenen Schnittholzvolumen für die Besäumung verbraucht wurden. Des Weiteren wird nach dem Ende des Probetriebes sämtliches besäumtes Schnittholz gezählt und erfasst. Bei der Erfassung des besäumtem Schnittholzes wird auch ein

Volumenmaß in  $m^3$  berechnet. Dieses Volumenmaß errechnet sich durch die Multiplikation von Brettstärke, -breite, -länge und der dazugehörigen produzierten Stückzahl.

Aus der Differenz von Input- und Outputvolumen wird die Ausbeute des besäumten Schnittholzes am unbesäumten Schnittholz berechnet. Zusätzlich kann über die Anzahl und der Dimensionen (Brettstärke, -breite, -länge) des besäumten Schnittholzes ein Vergleich zum bisherigen Produktionsverfahren gezogen werden. Dabei wird ersichtlich, wie viel Material sich durch die Reduzierung des Übermaßes einsparen lässt. Die Gegenüberstellung der produzierten besäumten Ware aus dem Probebetrieb, mit der Produktion des bisherigen Verfahrens lässt einen direkten Vergleich beider Verfahren zu und bilanziert die Materialeffizienz.

Mit dem eingesparten Schnittholzvolumen durch die Materialeffizienz wird berechnet, wie viel Festmeter Rundholz die A. Sattelmacher KG weniger benötigt. Durch die Einsparung von Rundholz verringern sich die Rundholzfrachten in das Sägewerk. Einhergehend werden damit Verbesserungen der  $CO_2$  Emissionen bezüglich des Transports, sowie des geringeren Restholzbedarfs für die Verbrennung und Warmwassererzeugung, fakturiert.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1. Bewertung der Vorhabensdurchführung**

Die Durchführung des Vorhabens kann insgesamt als sehr positiv bewertet werden. Mit dem Förderbescheid wurden die Vertragsabschlüsse mit allen beteiligten Firmen unterzeichnet.

Durch den milden Winter und langen Trockenperioden ohne Niederschlag wurden die Vorbereitungen der Halle für die Installation der Maschine zügig abgeschlossen. Hallenverkleidung und Erstellung der Betonfundamente wurden mit den beteiligten Firmen stets zur Zufriedenheit der Firma A. Sattelmacher KG vollzogen. Die Arbeit war durch ein zuverlässiges und vertrauensvolles Verhältnis zu charakterisieren.

Die Montage der Maschine war technisch gesehen ein sehr gutes Zusammenspiel aller Monteure. Jedoch kam es vorab zur Verzögerung der Auslieferung des Säumers. Auch die Montagezeit war insgesamt zu knapp kalkuliert, so dass die Errichtung der Maschine bis Ende April andauerte.

#### **3.2. Stoff-, Energie- und Umweltbilanz**

##### **3.2.1. Datenermittlung Probetrieb**

Der Probetrieb an der Besäumlinie dient der Ermittlung der mengenmäßigen Warenströme. Dabei wurden folgende Werte erfasst:

- Input (Wareneingang Besäumenanlage getrocknetes unbesäumtes Schnittholz)
- Output (Warenausgang Besäumenanlage getrocknetes besäumtes Schnittholz)

Der Probetrieb wurde 22 Tage à 8,25h (10.890min) Arbeitszeit durchgeführt, vom 08.06. bis 07.07.2015. Die Produktionsdauer von 22 Tagen von besäumtem Schnittholz während des Probetriebes wurde als repräsentativ angesehen.

Die Vermessung des unbesäumten Schnittholzes für die Besäumung des Probetriebes hat 167,58cbm ergeben. Nach der Vermessung wurde das unbesäumte Schnittholz an der Besäum- und Trimmsägenlinie besäumt.

Nach Beendigung des Probetriebes wurde sämtliches besäumtes Schnittholz erfasst und in der Tabelle 4 aufgelistet. In Summe wurden 13.206 besäumte Bretter produziert. Dies entspricht einer Produktionsmenge von 151,560cbm.

Besäumung Probetrieb, innovative Verfahrenskette					
Qualität	Stärke in (mm)	Breite ohne Übermaß in (mm)	Länge in (mm)	Stück	Menge in (cbm)
3FAS/Keilzink	27	75	2250	996	4,538
Keilzink	27	90	1500	1107	4,035
3FAS/Keilzink	27	90	2500	170	1,033
3FAS/Keilzink	27	115	2250	165	1,153
I	27	150	2450	1211	12,016
II-IIIx	27	150	2450	1193	11,838
II-IIIx	27	150	2150	1122	9,770
I	27	150	2150	269	2,342
II-III	27	200	2500	963	13,001
II-III	27	200	2500	962	12,987
V	27	200	2500	467	6,305
II-III	27	200	2500	386	5,211
II-III	27	200	2250	55	0,668
I	27	200	2500	275	3,713
III-IV x	27	200	2250	577	7,011
I	27	200	2250	110	1,337
II-III	27	250	2250	770	11,694
III-IV x	27	250	2250	374	5,680
III-IV x	27	250	2500	176	2,970
II-III	27	250	2250	154	2,339
II-III	27	250	2500	462	7,796
I	27	250	2500	242	4,084
I	27	250	2250	154	2,339
I-IVx	27	310	2500	577	12,074
I-IV x	27	310	2500	269	5,629
				<b>Summe</b>	<b>151,560</b>

Tabelle 4: Auflistung Output besäumtes Schnittholz Probetrieb

Die Jahresproduktionsmenge (220 Arbeitstage) in m<sup>3</sup> an besäumtem Schnittholz wird durch den Faktor 10 von der Produktionsmenge des besäumten Schnittholzes vom Probetrieb berechnet. Demnach wird in einem Jahr 1.515 m<sup>3</sup> besäumtes Schnittholz auf Basis des Probetriebes produziert.

Die Jahresproduktionsmengen Input und Output der Besäumanlage betragen auf Basis der Mengenwerte des Probetriebes bei 220 Arbeitstagen/a:

Input unbesäumtes Schnittholz pro Jahr:	1.675cbm/a
Output besäumtes Schnittholz pro Jahr IST:	1.515cbm/a
Output besäumtes Schnittholz pro Jahr Soll:	5.702cbm/a

	<b>Probetrieb 22 Tage</b>	<b>Jahresbetrieb 220 Tage</b>
<b>Einheit</b>	<b>cbm</b>	<b>cbm/a</b>
<b>Input Besäumlinie unbesäumtes Schnittholz</b>	167,58	1.675
<b>Output Besäumlinie besäumtes Schnittholz</b>	151,56	1.515

Anhand der Produktionsmengen von Input und Output kann die Ausbeute errechnet werden.

$$Ausbeute = \frac{Output\ Besäumlinie}{Input\ Besäumlinie} = \frac{151,560\text{cbm}}{167,580\text{cbm}} = 90,440\%$$

Während des Probetriebes wurden 13.206 besäumte Bretter in einer Zeit von 10.890 Minuten produziert. Das entspricht einer Auslastung der Besäumlinie von 1,2 besäumten Brettern pro Minute.

$$IST\ Auslastung\ Probetrieb = \frac{13.206\text{ Stück}}{10.890\text{ min}} = 1,21\text{ Stück}/\text{min}$$

### 3.2.2. Vergleich Probetrieb mit Soll Werten

#### Auslastung/Taktung

Unter 2.1.1. wurde in Tabelle 1 die Jahreskapazität der Besäumlinie von 422.400 besäumten Brettern als Soll-Wert definiert. Dies entspricht einer Taktung von ca. 4 Brettern pro Minute. Während des Probetriebes wurde mit einer durchschnittlichen Taktung von 1,2 Brett pro Minute besäumtes Schnittholz produziert. Die Auslastung während des Probetriebes hat zunächst kein repräsentatives Taktungsergebnis gezeigt.

$$Soll\ Auslastung\ Jahresbetrieb = \frac{422.400\text{ Stück}}{108.900\text{ min}} = 3,87\text{ Stück}/\text{min}$$

Soll Auslastung in cbm: 5.702cbm/a

$$IST\ Auslastung\ Probetrieb\ Jahresmenge = \frac{132.060\text{ Stück}}{108.900\text{ min}} = 1,21\text{ Stück}/\text{min}$$

IST Auslastung in cbm: 1.515cbm/a

Die Unterschreitung der Taktung von 4 Brettern pro Minute ist durch kleinere Ablaufstörungen und noch fehlende Routine der Bediener zu begründen. Inzwischen wurden durch den Maschinenlieferanten der Besäumlinie kleinere Modifikationen vorgenommen, um die Ablaufstörungen, die während des Probetriebes aufkamen, zu beseitigen. Auch das Bedienpersonal steigerte sich kontinuierlich bezüglich der schnellen und sicheren Steuerung der Besäumlinie, so dass in der KW 32 eine Taktung von 3 Brettern pro Minute gemessen wurde. Das entspricht einer Stückzahl von 326.700 besäumten Brettern pro Jahr bzw.  $4.410\text{m}^3$  pro Jahr. Somit konnte zu einem späteren Zeitpunkt die als repräsentativ kalkulierte Soll – Taktung nahezu erreicht werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anlagenkapazität, durch die täglich steigende Bedienungserfahrung der Mitarbeiter, in der Zukunft ausgeschöpft wird.

### Ausbeute

Im Antrag wurde die Materialeffizienz mit 98,17% beziffert. Dieser Wert wurde in der Theorie errechnet. Die Differenz von 7,73% beruht auf dem Unterschied zwischen Theorie und Praxis. Der Grund für den prozentualen Ausbeuteunterschied lässt sich durch die konische Stammform und Rissbildung durch Baumfällung begründen.

In der theoretischen Berechnung wurde der eingeschnittene Stamm als zylindrischer Körper angenommen. Jeder Stamm, der im Sägewerk eingeschnitten wird ist leicht konisch, d.h. das Wurzelende hat einen größeren Durchmesser als das Zopfende (siehe Abb. 39 und 40).



Abb. 39: konische Stammform Eiche mit Riss in der Schnittfläche am Stammfuß



Abb. 40: konische Brettform Eiche (stark ausgeprägt)



Nach den Richtlinien der Rundholzvermessung (RVR) wird jeder Stamm der Länge nach in der Mitte im Durchmesser vermessen für die Errechnung des Festmetermaßes. Wird dieser Stamm in Bretter eingeschnitten, ist jedes eingeschnittene unbesäumte Brett an der einen Seite breiter als an der anderen (siehe Abb. 40). Wird dieses Brett besäumt sind die Spreißel immer leicht dreieckig, weil für die besäumte Brettbreite das schmale Ende maßgeblich ist. Bei der Besäumung des Brettes wird dieser Durchmesserunterschied in der Theorie nicht berücksichtigt und führt zum einen dazu, dass die Ausbeute prozentual in der Praxis leicht sinkt.

Zum anderen wurde in den theoretischen Ausbeuteberechnungen nicht berücksichtigt, dass das Rundholz beim Fällen reißen kann (siehe Abb. 39). Diese Stammrisse übertragen sich zwangsläufig auf das Schnittholz und müssen in der Schnittholzlänge abgekappt werden.

### 3.2.3. Stoffbilanz

In der folgenden Tabelle 5 ist der Rundholzverbrauch absolut pro Jahr und spezifisch für besäumte Ware dargestellt. Das Rundholz wird in Festmeter (fm) und das unbesäumte/ besäumte Schnittholz in (m<sup>3</sup>) angegeben. In erster Linie verdeutlicht die Tabelle, dass der Bedarf an Rundholz für die jeweils gleiche Produktionsmenge von besäumtem Schnittholz beim innovativen Verfahren geringer ist, als beim IST Zustand vor dem Umbau.

	Rundholz- verbrauch in (fm)	Restholz/ Späne Rundholz- einschnitt in cbm	Schnittholz unbesäumt in (cbm)	Schnittholz besäumt in (cbm)	Restholz/ Späne Besäumung in (cbm)	Summe besäumt/ unbesäumt für Verkauf in (cbm)	Ausbeute Summe besäumt/ unbesäumt vom Rundholz
<b>Blockbandsäge</b>							
IST Zustand vor Umbau (fiktiv bei neuer Anlagen- kapazität für besäumtes Schnittholz)	22.808	6.842 für Verbrennung/ Verkauf	10.263 für Verkauf (Nebenprodukt)	5.702	-	15.965	70%
Anteile am Rundholz- verbrauch	100%	30%	45%	25%			
<b>Vollgatter</b>				<b>Besäumlinie</b>			
Soll Zustand nach Umbau (fiktiv bei neuer Anlagen- kapazität für besäumtes Schnittholz)	7.877	1.573 für Verkauf	6.304 für Besäumlinie (Vorprodukt)	5.702	602 für Verbrennung	5.702	73%
Anteile am Rundholz- verbrauch	100%	20%	80%	90%	10%	<b>Ausbeute Schnittholz unbesäumt</b>	
<b>Blockbandsäge</b>							
IST Zustand vor Umbau (fiktiv bei Jahres- produktion Probetrieb)	6.056	1.817 für Verbrennung/ Verkauf	2.725 Verkauf (Nebenprodukt)	1.515	-	4.240	70%
Anteile am Rundholz- verbrauch	100%	30%	45%	25%			
<b>Vollgatter</b>				<b>Besäumlinie</b>			
Probetrieb auf Jahres- produktion	2.093	418 für Verkauf	1.675 für Besäumlinie (Vorprodukt)	1.515	160 für Verbrennung	1.515	73%
Anteile am Rundholz- verbrauch	100%	20%	80%	90%	10%	<b>Ausbeute Schnittholz unbesäumt</b>	

Tabelle 5: Rundholzbedarf für Warenströme Restholz, Schnittholz unbesäumt, Schnittholz besäumt,

Für die Produktion von besäumtem Schnittholz müssten nach dem bisherigen Verfahren, bei fiktiver neuer Anlagenkapazität, 22.808fm/a Rundholz eingeschnitten werden, um 5.702cbm/a besäumtes Schnittholz zu produzieren. Zusätzlich fallen durch das bisherige Verfahren 6.842cbm/a Restholz für die Verbrennung und 10.263cbm/a unbesäumtes Schnittholz für den Verkauf an.

Der Soll Zustand nach dem Umbau mit neuer Anlagenkapazität beim innovativen Verfahren benötigt lediglich 7.877fm/a Rundholz, um 5.702cbm/a besäumtes Schnittholz zu produzieren. Die 1.573cbm/a Restholz aus dem Rundholzeinschnitt werden zum Teil nicht mehr für die energetische Verbrennung genutzt, sondern verkauft (z.B. für Gartenzäune). 6.304cbm/a unbesäumtes Schnittholz werden erst getrocknet und anschließend besäumt. Durch die Besäumung von 6.304cbm/a unbesäumtem Schnittholz produziert die A. Sattelmacher KG 5.702cbm/a besäumtes Schnittholz und 602cbm/a getrocknetes Restholz für die energetische Verbrennung in der betriebseigenen Kesselanlage.

Der Bedarf an Rundholz für die Produktion von 5.702cbm/a besäumtes Schnittholz konnte von 22.808fm auf 7.877fm gesenkt werden, durch den Wegfall des unbesäumten Schnittholzes als Nebenprodukt.

Tabelle 6 zeigt den Vergleich der Probetriebsproduktionsmenge vom innovativen Verfahren und dem bisherigen Produktionsverfahren mit der Auflistung sämtlicher Qualitäten mit den dazugehörigen Stärken, Breiten, Längen, Stückzahlen von besäumtem Schnittholz. Insgesamt wurde während des Probetriebes 151,56cbm besäumtes Schnittholz nach dem innovativen Verfahren produziert. Für den direkten Vergleich wurde auf fiktiver Basis die Produktion vom Probetrieb auf das bisherige Produktionsverfahren übertragen, mit dem Unterschied vom Übermaß in der Breite (rote Spalte). Aufgrund der größeren Breite durch das Übermaß beträgt die aufsummierte Produktionsmenge des bisherigen Verfahrens 168,838cbm.

Besäumung Probetrieb, innovative Verfahrenskette						Besäumung bisheriges Verfahren				
Qualität	Stärke in (mm)	Breite ohne Übermaß in (mm)	Länge in (mm)	Stück	Menge besäumtes Schnittholz in (cbm)	Stärke in (mm)	Breite mit Übermaß in (mm)	Länge in (mm)	Stück	Menge besäumtes Schnittholz in (cbm)
3FAS/Keilzink	27	75	2250	996	4,538	27	85	2250	996	5,143
Keilzink	27	90	1500	1107	4,035	27	100	1500	1107	4,483
3FAS/Keilzink	27	90	2500	170	1,033	27	100	2500	170	1,148
3FAS/Keilzink	27	115	2250	165	1,153	27	130	2250	165	1,303
I	27	150	2450	1211	12,016	27	170	2450	1211	13,618
II-IIIx	27	150	2450	1193	11,838	27	170	2450	1193	13,416
II-IIIx	27	150	2150	1122	9,770	27	170	2150	1122	11,072
I	27	150	2150	269	2,342	27	170	2150	269	2,655
II-III	27	200	2500	963	13,001	27	220	2500	963	14,301

II-III	27	200	2500	962	12,987	27	220	2500	962	14,286	
V	27	200	2500	467	6,305	27	220	2500	467	6,935	
II-III	27	200	2500	386	5,211	27	220	2500	386	5,732	
II-III	27	200	2250	55	0,668	27	220	2250	55	0,735	
I	27	200	2500	275	3,713	27	220	2500	275	4,084	
III-IV x	27	200	2250	577	7,011	27	220	2250	577	7,712	
I	27	200	2250	110	1,337	27	220	2250	110	1,470	
II-III	27	250	2250	770	11,694	27	280	2250	770	13,098	
III-IV x	27	250	2250	374	5,680	27	280	2250	374	6,362	
III-IV x	27	250	2500	176	2,970	27	280	2500	176	3,326	
II-III	27	250	2250	154	2,339	27	280	2250	154	2,620	
II-III	27	250	2500	462	7,796	27	280	2500	462	8,732	
I	27	250	2500	242	4,084	27	280	2500	242	4,574	
I	27	250	2250	154	2,339	27	280	2250	154	2,620	
I-IVx	27	310	2500	577	12,074	27	340	2500	577	13,242	
I-IV x	27	310	2500	269	5,629	27	340	2500	269	6,174	
<b>Summe</b>					<b>151,560</b>	<b>Summe</b>					<b>168,838</b>

Tabelle 6: Stoffbilanz Schnittholz, Gegenüberstellung innovatives und bisheriges Produktionsverfahren

Der mengenmäßige Unterschied beider Verfahren durch das Breitenübermaß von 168,838cbm und 151,56cbm beträgt 17,278cbm. Diese 17,278cbm werden beim besäumten Schnittholz des bisherigen Verfahrens, beim Kunden durch Hobeln und Schleifen der Breitenegalisierung zu Späne verarbeitet. Der Kundenverwendungszweck für besäumtes Schnittholz vom innovativen und bisherigen Verfahren für sein jeweiliges Endprodukt ist identisch. Zur Verdeutlichung folgendes Beispiel aus der letzten Zeile der Tabelle (gelb markiert):

Der Kunde möchte aus dem besäumten Schnittholz der A. Sattelmacher KG eine Landhausdiele produzieren.

Qualität	Stärke	Breite	Länge	Stück	Menge	Stärke	Breite	Länge	Stück	Menge
I-IV x	27	310	2500	1	0,0209	27	340	2500	1	0,0230

Wie in Abbildung 16 beschrieben muss der Kunde das besäumte Schnittholz vom bisherigen Verfahren zunächst in der Breite egalisieren (hobeln, schleifen), damit das verformte Brett (wie in Abbildung 15 beschrieben) wieder gerade und rechtwinklig ist. Für das Hobeln und Schleifen genügt dem Kunden eine Brettbreite von 310mm beim besäumten Schnittholz des innovativen Verfahrens. Für die gleiche Landhausdiele muss der Kunden beim bisherigen Verfahren, besäumtes Schnittholz in der Breite 340mm einkaufen. D.h. der Kunde muss im beim innovativen Verfahren 30mm Holz weniger in der Breite hobeln, um sein Standardmaß zu erhalten.

<b>Quantifizierung Materialeffizienz besäumtes Schnittholz</b>			
	<b>Produktionsmenge nach 22 Tagen Probebetrieb</b>	<b>Jahresproduktionsmenge (Faktor 10 Probebetrieb)</b>	<b>Jahresproduktionsmenge (fiktiv bei neuer Anlagenkapazität)</b>
<b>Einheit</b>	cbm	cbm/a	cbm/a
<b>Produktionsmenge ohne Übermaß</b>	151,56	1.515	5.702
<b>Produktionsmenge mit Übermaß</b>	168,83	1.688	6.353
<b>Differenz durch Breitenübermaß</b>	17,278	172,78	651

Tabelle 7 Quantifizierung der Materialeffizienz besäumtes Schnittholz

$$\text{Prozentualer Unterschied} = 1 - \frac{151,560\text{m}^3}{168,838\text{m}^3} * 100 = 10,233\%$$

Unter der Annahme von einer voll ausgeschöpften Anlagenkapazität, könnten mittels des innovativen Verfahrens bei der Besäumung 651m<sup>3</sup> Schnittholz eingespart werden, im Vergleich zum bisherigen Produktionsablauf. Dies entspricht umgerechnet 930fm Rundholz, die weniger benötigt werden, um 5.702m<sup>3</sup> besäumtes Schnittholz zu produzieren, bei einer Rundholz-Schnittholzausbeute von 70% des bisherigen Verfahrens (Tabelle 5).

### 3.2.4. CO<sub>2</sub> Umweltbilanz

Aufgrund der Materialeinsparung des innovativen Verfahrens können CO<sub>2</sub> Emissionen gespart werden.

- Verringerung CO<sub>2</sub> Ausstoß durch verminderte Rundholzfrachten
- Verringerung CO<sub>2</sub> Ausstoß bei der Warmwassererzeugung

#### Verringerung CO<sub>2</sub> Ausstoß durch verminderte Rundholzfrachten

Für die Produktion von besäumtem Schnittholz kauft die A. Sattelmacher KG Rundholz in Staats- und Genossenschaftsforsten. Dieses Rundholz wird durch Spediteure in das Sägewerk transportiert. Durch den Transport des Rundholzes durch den LKW wird CO<sub>2</sub> in die Umwelt ausgestoßen. Die durchschnittliche Transportstrecke vom Wald in das Sägewerk beträgt 100km. Dabei können pro LKW Tour 18fm geladen werden. Somit entspricht der verringerte Rundholzbedarf von 930fm ca. 52 Anlieferungen. Der durchschnittliche Dieserverbrauch beträgt 45l/100km. Darin enthalten sind Be- und Entladeverbräuche.

Daten für die Berechnung des verringerten CO<sub>2</sub> Ausstoßes:

- Kilometer: 52 Fahrten à 200Km (Hin&Rücktour) entspricht 10.400km
- Verbrauch: 45l/100km
- Ausstoß: CO<sub>2</sub> Äquivalent 2,63kgCO<sub>2</sub>/l (Diesel)

$$CO_2 \text{ Einsparung} = 10.400km * 2,63 \frac{kgCO_2}{l} * 45 \frac{l}{100km} = 12.308 kgCO_2/a$$

Durch die verminderten Rundholzfrachten können 12.308kgCO<sub>2</sub>/a eingespart werden.

#### Verringerung CO<sub>2</sub> Ausstoß bei der Warmwassererzeugung

Für die Holz Trocknung hat die A. Sattelmacher KG Trockenkammern, die mit Warmwasser beheizt werden. Dieses Warmwasser wird in der betriebseigenen Heizungskesselanlage erzeugt. Zur Befuerung wird das getrocknete Restholz (Spreißelmaterial) des innovativen Produktionsablaufes, für die Verbrennung genutzt. Dieses getrocknete Restholz besitzt einen höheren Heizwert pro Masseinheit, als das zuvor genutzte waldfrische Schwartenrestholz.

Wassergehalt u im Restholz:

- Restholz innovativer Ablauf u=8%
- Schwartenrestholz bisheriger Ablauf u=50%

Je größer die Holzfeuchte ist, desto mehr Wärme wird für die Verdampfung dieses im Holz gebundenen Wassers benötigt und wird nicht für den Wärmegewinnungsprozess genutzt. Durch das getrocknete Befeuerungsmaterial muss deutlich weniger Holz verbrannt werden, um die gleiche Wärmemenge zu erzeugen, die mit waldfrischer Restholzverbrennung benötigt würde.

Durch das getrocknete Restholz konnten die Förderintervalle in die Brennkammer reduziert werden. Die Mengemessung hat ergeben, dass durchschnittlich pro Stunde 9kg Restholz weniger verbraucht wurde. Die folgende Berechnung zeigt wie viel CO<sub>2</sub> dabei weniger in die Umwelt ausgestoßen wird, im Vergleich zur waldfrischen Restholzverbrennung.

$$\text{gesparte CO}_2 \text{ Emissionen} = 9 \text{ kg/h} * \frac{1,83 \text{ kgCO}_2}{\text{kg}} * 8760 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 144.277 \text{ kgCO}_2/\text{a}$$

Durch die verringerten Transporte und Brennholzverbräuche werden insgesamt 156.585kgCO<sub>2</sub>/a weniger in die Umwelt ausgestoßen.

Quantifizierung der CO2 Emissionen vor und nach dem Umbau					
Bezeichnung	Einheit	Vor Umbau	Innovativ	Einsparung/ Verbesserung	Einsparung in %
CO <sub>2</sub> -Emission durch Transport	kgCO <sub>2</sub> /a	117.639	105.331	12.308	10,46
CO <sub>2</sub> Emissionen durch Holzverbrennung	kgCO <sub>2</sub> /a	2.926.000	2.781.723	144.277	4,93
			<b>Summe</b>	<b>156.585</b>	

Tabelle 8: Quantifizierung der CO2 Emissionen vor und nach dem Umbau

CO<sub>2</sub> Äquivalent 2,63kgCO<sub>2</sub>/l  
(Diesel)  
CO<sub>2</sub> Äquivalent 1,83kgCO<sub>2</sub>/ kg  
(Holz)

### 3.2.4. Energiebilanz

Zur Herstellung von besäumter Ware werden beim innovativen Ablauf und bisherigen Ablauf verschiedene Maschinen für die Produktion genutzt.

#### Benötigte Maschinen innovativer Ablauf:

- Gatter
- Besäum- und Trimmsäge

#### Benötigte Maschinen bisheriger Ablauf:

- Blockbandsäge

Für die Berechnung der Energiebilanz beider Verfahren wurde mit Hilfe einer Netzanalyse der Stromverbrauch ermittelt. Die Messung ergab Durchschnittswerte von Spannung und Strom. In der folgenden Tabelle sind die Messungen dokumentiert und in Kilowattstunde berechnet. Die Netzanalyse wurde an der Blockbandsäge und dem Gatter bei voller Auslastung durchgeführt. An der Besäum- und Trimmsägenlinie wurde die Netzanalyse bei einer Auslastung von 3 Brettern pro Minute gemessen.

	Maschine	Volt	Ampere	Watt	kWh pro Jahr
innovative Produktion	Gatter	222	83	18.426	55.485
		223	86	19.178	57.750
		222	83	18.426	55.485
				Summe	168.720
	Besäum- und Trimmlinie	226	34	7.684	23.138
		226	35	7.910	23.819
		226	35	7.910	23.819
		227	23	5.221	15.722
		227	23	5.221	15.722
		227	23	5.221	15.722
				Summe	117.942
			Summe innovativ	286.662	
bisherige Produktion	Blockbandsäge	228	61	13.908	41.880
		227	66	14.982	45.115
		227	60	13.620	41.013
		229	120	27.480	82.749
		229	120	27.480	82.749
		230	120	27.600	83.111
					Summe

Tabelle 9: Vergleich Energieverbrauch der Produktionsabläufe



Anhand der Tabelle 10 ist ersichtlich, dass der Verbrauch an elektrischer Energie beim innovativen Produktionsverfahren mit 89.955kWh/a geringer ist. Die CO2 Emissionen für eine Kilowattstunde Strom betragen 0,569kgCO2/kWh.

$$CO2 \text{ Emissionen} = 89.955 \frac{kWh}{a} * 0,569 \frac{kgCO2}{kWh} = 51.184kgCO2/a$$

Die Holz Trocknung beim innovativen und bisherigen Verfahren benötigt die gleiche Trocknungszeit und Wärmemenge.

### 3.3. Wirtschaftlichkeitsanalyse

<b>Rundholzkosten</b>	Einh.	Verbr.	
Fracht	25,00 €/FM	2.093,00 FM	52.325,00
Fertigungskosten/Löhne Kran	9,60 €/FM	2.093,00 FM	20.092,80
Fertigungshilfsmittel	0,61 €/FM	2.093,00 FM	1.276,73
Wachsen	1,79 €/FM	2.093,00 FM	3.746,47
<b>Summe</b>			<b>77.441,00 €</b>

<b>Fertigungsmaterial</b>	B	C
Rundholzqualität	35,00%	65,00%
In FM	732,55	1.360,45
Preis/FM je Qualität	220,00	150,00
<b>Fertigungsmaterial Summe</b>	<b>161.161,00</b>	<b>204.067,50</b>
		<b>365.228,50 €</b>

<b>Schnittholzkosten/ Aufwände</b>	Einh.	Verbr.	
<b>Produzierte Zeit 867h/a Gatter</b>			
Fertigungsmaterial			365.228,50
Maschinenstundensatz	12,80 €/h	867,00 h	11.097,60
Fertigungslöhne	55,62 €/h	867,00 h	48.222,54
Fertigungshilfsmittel	1,14 €/cbm	1.675,00 cbm	1.909,50
Schärferei pauschal	3,18 €/h	867,00 h	2.757,06
Staplerstundensatz	23,99 €/h	0,10 h/Paket	
Anzahl der Pakete		1.887,00 Stück	4.526,91
<b>Summe</b>			<b>68.513,61 €</b>

<b>Kammertrocknung</b>	30,00 €/cbm	1.515,00 cbm	<b>45.450,00 €</b>
------------------------	-------------	--------------	--------------------

<b>Produzierte Zeit Besäumlinie</b>	Einh.	Verbr.	
<b>1.815h/a</b>			
Maschinenstundensatz	51,52 €/h	1.815,00 h	93.508,80
Fertigungslöhne	55,62 €/h	1.815,00 h	100.950,30
Fertigungshilfsmittel	0,50 €/cbm	1.515,00 cbm	757,50
Staplerstundensatz	23,99 €/h	0,10 h/Paket	
Anzahl der Pakete		606,00 Stück	1.453,79
			<b>196.670,39 €</b>

<b>sonstige Aufwände</b>	Einh.		Verbr.	
Versicherungen	6,79 €/cbm		1.515,00 cbm	10.286,85
Verpackung	1,52 €/cbm		1.515,00 cbm	2.302,80
Transport	1,44 €/cbm		1.515,00 cbm	2.181,60
Kommissionierung/ Verladung	23,99 €/h		0,10 h/Paket	
			606,00 Stück	1.453,79
Provisionen	4%	auf Erlös	1.515,00 cbm	33.330,00
<b>Summe</b>				<b>49.555,04 €</b>

<b>Summe Kosten/Aufwände</b>	<b>802.858,55 €</b>
------------------------------	---------------------

<b>Umsatz</b>			
QFI-V durchschnitt	565,00 cbm	1.515,00 €/cbm	<b>855.975,00 €</b>

<b>Gewinn</b>	<b>53.116,45 €</b>
<b>Kosten pro cbm</b>	<b>529,94 €/cbm</b>

### Amortisation

Zur Berechnung der Amortisationszeit wird das statische Berechnungsverfahren herangezogen. Die Anschaffungskosten der Produktionslinie sind laut Antrag in Höhe von 448.410,19€ kalkuliert worden. Tatsächlich sind nach Verwendungsnachweis Investitionskosten in Höhe von 458.287,37€ angefallen.

Der durchschnittliche Gewinn, der durch das Vorhaben erreicht wird, wurde auf Basis des Probebetriebes auf 53.116,45€/a berechnet.

$$\begin{aligned}
 \text{Amortisation} &= \frac{\text{Anschaffungskosten} - \text{Zuschuss}}{\text{Gewinn pro Jahr}} = \frac{458.287,37\text{€} - 134.523,06\text{€}}{53.116,45\text{€}} = \frac{323.764,31\text{€}}{53.116,45\text{€}} \\
 &= 6,095 \text{ Jahre}
 \end{aligned}$$

Die Amortisationszeit ist im Vergleich zum Antrag des Vorhabens um ein halbes Jahr geringer. Zwar haben sich die Investitionskosten um 9.877,18€ erhöht, die Umsätze haben sich jedoch verbessert. Der Grund hierfür waren veränderte Marktbedingungen in Bezug auf Angebot und Nachfrage von besäumtem Schnittholz. Im Vergleich zum Jahr lassen sich 2014 30€/cbm höhere Verkaufspreise erzielen.

### **3.4. Technischer Vergleich**

Der Unterschied zwischen dem innovativen Verfahren und dem konventionellen Verfahren besteht im Wesentlichen darin, dass das Material getrocknet ohne Übermaß besäumt werden kann.

Technisch gesehen kommen bei der Produktion jeweils zwei völlig unterschiedliche Produktionsmaschinen zum Einsatz. Während das konventionelle Verfahren den Stamm mit einer Blockbandsäge im Modellschnitt schneidet, so dass die Ware waldfrisch mit Breitenübermaß besäumt wird, kommt das durchgeführte Vorhaben mit der innovativen Kombination aus Stammeinschnitt, Trocknung und anschließender Besäumung ohne Breitenübermaß aus.

## **4. Empfehlungen**

### **4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung**

Für den innovativen Produktionsablauf wurden bestehende Betriebskomponenten und eine neu installierte großtechnische Anlage zusammengefügt. Der Ablauf beginnt bereits beim Rundholz, dadurch ist keine fest datierte Inbetriebnahme des innovativen Produktionsablaufs möglich. Bedingt durch die Vorlaufzeit von Schnittholzproduktion und Holz Trocknung (Lufttrocknung, Kammertrocknung) muss hierfür genügend Vorlaufzeit und Holzmenge eingeplant werden, um die Weiterverarbeitung an der Besäumanlage kontinuierlich zu gewährleisten. Um die Ausbeute bei der Besäumung zu sichern, ist es notwendig viele Sortiermöglichkeiten und ein vielfältiges und absetzbares Brettbreitenprogramm zu haben. Insgesamt ist die Produktionsdauer von getrockneter Landhausdiele im innovativen Verfahren deutlich länger als beim konventionellen Produktionsverfahren. Die Kapitalbindung steigt durch die Vorlagerung.

## **4.2. Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendungen des Verfahrens/ Anlage/ Produkt)**

Die branchenspezifische Kommunikation wird durch den Verband der deutschen Säge- und Holzindustrie (DeSH) hergestellt. Dabei gibt es speziell für die Hartholzsägeindustrie Verbandstagungen, an denen unter anderem Chancen und Risiken für die Unternehmen diskutiert werden. Die Ergebnisse des Vorhabens werden mit dem DeSH ausgetauscht und bei weiteren Tagungen veröffentlicht und diskutiert. Der Modellcharakter für weitere Anwendungen dieses Verfahrens in anderen Sägewerken, ist mit Voraussetzungen bezüglich der Lagerkapazität und Trockenkammerkapazität verbunden. Anhand dieser Voraussetzungen ist die im Vorhaben realisierte innovative Verfahrenskette für getrocknete und besäumte Ware auf jedes Hartholzsägewerk übertragbar, welches Zuschnitte für die weiterverarbeitende Industrie produziert. Laut dem DeSH gibt es in Deutschland 185 Hartholzverarbeitende Betriebe, die von dem umgesetzten innovativen Verfahren profitieren könnten. Dabei ist jedoch eine genaue Differenzierung der Anzahl möglicher Sägewerke, die dieses Verfahren umsetzen möchten schwierig. Über die genaue Anzahl der Betriebe kann die A. Sattelmacher KG keine Aussage treffen.

## **4.3. Zusammenfassung**

Die A. Sattelmacher KG plante die Erhöhung der Materialeffizienz bei der Herstellung von besäumtem Schnittholz durch die erstmalige großtechnische Umsetzung einer innovativen Verfahrenskombination von Holz Trocknung und anschließender Besäumung von Landhausdielen. Dadurch kann auf das standardmäßige Sägen mit Übermaß verzichtet werden und Holz wird eingespart.

Stand der Technik für die Herstellung von besäumtem Schnittholz in der Hartholzsägebranche ist derzeit folgender Prozessablauf:

- Sägen, bei gleichzeitigem Besäumen der Ware (mit Übermaß)
- technische Holz Trocknung der Ware
- Auslieferung an den Kunden (mit Übermaß)

Die A. Sattelmacher KG plante die Umsetzung des folgenden innovativen Prozessablaufes:

- Sägen von unbesäumter Ware
- Vortrocknung der unbesäumten Ware im Freien
- technische Holz Trocknung der unbesäumten Ware
- Besäumung der Ware (ohne Übermaß)
- Auslieferung an den Kunden (ohne Übermaß)

Die innovative Materialeinsparung wird durch die Verminderung des Übermaßes beim Einschnitt erreicht. Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden die Bretter besäumt eingeschnitten und erst im Anschluss getrocknet. Da das Holz durch die Trocknung schrumpft und sich durch unterschiedlich starke Schrumpfung leicht verzieht, werden die Bretter bisher mit Breitenübermaß produziert und im Anschluss durch Hobeln und Schleifen beim Kunden auf die gewünschte Standardgröße gebracht.

Zur Umsetzung des Vorhabens war eine Investition in eine Besäum- und Trimmsägenlinie mit Sortierplatz notwendig. Erst diese Investitionen macht die Steigerung der Materialeffizienz möglich.

Nach Planungsstand des Vorhabens sollten folgende Ziele in Bezug auf die Umweltschutzwirkung erreicht werden.

- Steigerung der Materialeffizienz von ca. 10% bei besäumtem Schnittholz
- Senkung des Rundholzbedarfes von ca. 30-40% für die Produktion von besäumtem Schnittholz
- Verringerung der CO<sub>2</sub> Emissionen durch den reduzierten Rundholztransport in das Sägewerk
- Verminderung des Restholzbedarfes für die Warmwassererzeugung durch kammergetrocknete Resthölzer

Durch das Vorhaben konnten die geplanten Ziele nahezu erreicht oder übertroffen werden:

- Durch die Reduzierung des Breitenübermaßes konnte auf Basis der neuen Anlagenkapazität 651cbm Schnittholz (10,23%) eingespart werden, im Vergleich zum bisherigen Produktionsverfahren, bei einer Rundholz- Schnittholzausbeute von 70% des bisherigen Verfahrens
- Der Rundholzbedarf konnte auf Basis der neuen Anlagenkapazität für besäumtes Schnittholz von 22.808fm auf 7.877fm und somit um 14.931fm gesenkt werden. Dies entspricht einer Senkung von 65,42%, durch den Wegfall des unbesäumten Schnittholzes als Nebenprodukt
- Die CO<sub>2</sub> Emissionen konnten durch den verringerten Rundholztransport um 12.308kgCO<sub>2</sub>/a (10,46%) gesenkt werden
- Durch den Einsatz von getrocknetem Restholz, konnte der Restholzeinsatz um 9kg/h gesenkt werden, im Vergleich zum waldfrischen Restholz, bei der Verbrennung für die Warmwassererzeugung. Dadurch konnten die CO<sub>2</sub> Emissionen um 144.277kgCO<sub>2</sub>/a (4,93%) gesenkt werden
- Die Summe der Senkung der CO<sub>2</sub> Emissionen (Rundholztransport, Einsatz getrocknetes Brennholz) beträgt 156.585kgCO<sub>2</sub>/a

- Bezüglich des elektrischen Energieverbrauchs während der Produktion kann folgende Einsparungen dokumentiert werden:

- Verbrauch innovatives Verfahren: 286.662kWh/a
- Verbrauch bisheriges Verfahren: 376.617kWh/a

Die Differenz der Netzanalyse beider Verfahren ergibt eine Senkung des elektrischen Verbrauchs von 89.955kWh/a durch das innovative Verfahren. Dies entspricht einer Senkung der CO<sub>2</sub> Emissionen von 51.184kgCO<sub>2</sub>/a.

Das Vorhaben der materialeffizienten Produktion von besäumtem Schnittholz wurde erfolgreich in die Praxis umgesetzt. Dabei wurde eine erstmalige großtechnische innovative Verfahrenskombination von Holz Trocknung, anschließender Besäumung und Sortierung in Fixbreiten und Fixlängen gleicher Güte ermöglicht. Der vorgegebene zeitliche Rahmen konnte eingehalten werden. Grundlage der erfolgreichen Durchführung war die vertrauensvolle und verlässliche Zusammenarbeit mit allen beteiligten Firmen und dem Anlagenlieferanten.

Die geplanten Investitionskosten von 448.410,19€ wurden um 9.877,18€ auf 458.287,37€ überschritten. Trotz der gestiegenen Investitionskosten ist die Amortisation des Vorhabens auf 6,1 Jahre gesunken. Grund hierfür sind gestiegene Verkaufspreise von besäumtem Schnittholz

## **5. Literatur**

Ulf Lohmann, Holz-Handbuch, ISBN 3-87181-348-6

<http://www.grossart-drive.de/grossart-drive/CO2-Rechner.html>

<http://www.klima-sucht-schutz.de/service/klima-orakel/klima-orakel/beitrag/holz-feuer-wie-viel-co2-entsteht-8572/>