

# **Abschlussbericht**

## **zum Vorhaben:**

Einsatz eines neuen energiesparenden Verfahrens zur Schnittholztrocknung  
20238

## **Fördernehmer/-in:**

Pieper Holz GmbH

## **Umweltbereich**

(Klimaschutz, Energie)

## **Laufzeit des Vorhabens**

09.05.2012 – 31.03.2014

## **Autoren**

Dr. Gerhard Saller

Daniela Derißen

Marcus Lodde

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

## **Datum der Erstellung**

17.09.2014

## Berichts-Kennblatt

<b>Aktenzeichen UBA</b>	<b>Vorhaben-Nr. 20238</b>
<b>Titel des Vorhabens / Report Title</b>	
Einsatz eines neuen energiesparenden Verfahrens zur Schnittholztrocknung	
<b>Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b> Dr. Gerhard Saller, saller GmbH, Wiehl Daniela Derißen und Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW, Duisburg	<b>Vorhabensbeginn</b> 09.05.2012
	<b>Vorhabenende (Abschlussdatum):</b> 31.03.2014
<b>Fördernehmer / -in (Name, Anschrift)</b> Pieper Holz GmbH Im Westfeld 2 59939 Olsberg	<b>Veröffentlichungsdatum</b> 17.09.2014
	<b>Seitenzahl</b> 69
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
<b>Kurzfassung / Summary</b>	
<p>Die Firma Pieper Holz GmbH plante mit der Realisierung des Vorhabens den ersten großtechnischen Einsatz eines innovativen, energiesparenden Verfahrens zur Schnittholztrocknung, das in dieser Form bisher industriell noch nicht zur Anwendung gekommen ist.</p> <p>Die Ergebnisse des Messprogramms zeigen,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dass die Menge an getrockneter Holzware auf 82.500 Kubikmeter mehr als verdoppelt werden konnte,</li> <li>• dass der Wärmebedarf zur Trocknung um 36,8 %, entsprechend 10.046 Megawattstunden per anno gesenkt werden konnte. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von 2.029 Tonnen per anno. Gegenüber der erwarteten Halbierung des Wärmeeinsatzes ergibt sich eine Zielunterschreitung von 13,2-Punkte %.</li> <li>• dass der elektrische Strombedarf um 15,3 %, entsprechend 256.251 Kilowattstunden per anno gesenkt werden konnte. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von 154 Tonnen per anno. Gegenüber der erwarteten Stromersparung von vierzig Prozent ergibt sich eine Zielunterschreitung von 24,7-Punkte %.</li> <li>• Dass die benötigte Menge an Brennholz um 36,8 %, entsprechend 20.092 Kubikmeter per anno gesenkt werden konnte. Gegenüber der erwarteten Halbierung des Holzeinsatzes ergibt sich eine Zielunterschreitung von 13,2 %-Punkte.</li> </ul> <p>Die geplanten Anschaffungskosten wurden um 141.389 € unterschritten und betragen</p>	

1.633.863 €. Die Amortisationszeit des Projektes zum Zeitpunkt der Antragstellung in Höhe von 7,7 Jahren sinkt auf Basis der tatsächlich erreichten Einsparungen und dem verringerten Ausgaben leicht auf 6,8 Jahre.

Die im Projekt realisierte Anlage und Anlagentechnik kann allein in Deutschland bei mindestens 60 bis 80 direkten Marktbegleitern des Unternehmens eingesetzt werden. Als derzeitige Untergrenze für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Technologie wird eine Verarbeitungskapazität von mehr als 50.000 fm/a angesehen

By realizing the purpose Pieper Holz GmbH has planned the commercially use of an innovative, energy-saving process for saw wood drying.

The results of the measuring programm show,

- that die quantity of dried wood could be more than doubled up to 82,500 cubic meter.
- that the heat requirement for drying could be decreased by 36.8 % (10,046 MWh p.a.). This corresponds to a CO<sub>2</sub> reduction of 2,029 tons per year. Im comparision with the expected decrease of 50 %, the CO<sub>2</sub> reduction was 13.2 percentage points below target.
- that the electric current requirement could be decreased by 15.3 % (256,251 kWh p.a.). This corresponds to a CO<sub>2</sub> reduction of 154 tons per year. In comparision with the expected decrease of 40 %, the reduction was 24.7 percentage points below target.
- that the needed quantity of firewood could be decreased by 36.8 % (20,092 m<sup>3</sup>) per year. Im comparision with the expected decrease of 50 %, the aim was falling below 13.2 percentage points.

The planned asset cost were undershot by 141,389 € and come to 1,633,863 €. The pay-off period of the project was at the time of the application 7.7 years. On basis of the realized savings and decreasing expenses the actual pay-off period is 6.8 years.

The realized plant and it's engineering can be used in Germany alone at least by 60 to 80 competitors. As the current lower limit for the economic use of this technology, a processing capacity of more than 50,000 fm/a is regarded.

**Schlagwörter / Keywords**

Schnittholztrocknung, Trockenkammern, Trocknungsluft, Vorwärmung, Abluft  
Saw wood drying, Kiln, drying air, preheating, exhaust air

**Anzahl der gelieferten Berichte**

**Papierform: 5**

**Elektronischer Datenträger: 1**

**Sonstige Medien**

EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: [www.pieperholz.de](http://www.pieperholz.de)

## **Kurzfassung**

### **Ausgangssituation**

Hohe Rohstoffpreise in Deutschland zwingen die Pieper Holz GmbH neue Absatzmärkte durch neue oder verbesserte Produkte zu erschließen. Ein wesentlicher Wachstumsbereich war und ist der Verkauf und die Lieferung von getrockneter Ware.

Bedingt durch einen relativ kurzen Zeitraum zwischen Holzeinschlag und Bearbeitung im Sägewerk ist eine „natürliche“ Trocknung des Holzes vor dem Sägen nicht realisierbar. Zur Trocknung wurde das gefertigte Schnittholz in vier Trockenkammern mit warmer Luft getrocknet. Die Trocknungsluft wurde durch Wärme aus einer Hackguthheizung mit Einsatz von rd. 12.800 m<sup>3</sup>/a an Hackgut erhitzt. Als Hackgut wurde Holz eingesetzt, welches aus der Profillinie nicht zu Haupt- oder Seitenware verarbeitet werden kann. Die Menge an getrockneter Ware wird durch die bestehende Trocknungskapazität von ca. 38.000 m<sup>3</sup>/a begrenzt und soll mit Umsetzung der Maßnahme auf 82.500 m<sup>3</sup>/a erhöht werden.

### **Ziel des Vorhabens**

Mit der Realisierung des Vorhabens sollte der erste großtechnische Einsatz eines innovativen, energiesparenden Verfahrens zur Schnittholztrocknung umgesetzt werden. Der spezifische Energieeinsatz für die Bereitstellung von Heizenergie zur Trocknung sollte von 224 kWh/m<sup>3</sup> um 50 % auf 112 kWh/m<sup>3</sup> gegenüber den bisher bekannten und bei dem Anwendungsfall möglichen Verfahren gesenkt werden.

### **Technische Lösung**

Zur Erreichung der beschriebenen Ziele ist ein innovatives Anlagenkonzept der Firma Mühlböck Holztrocknungsanlagenbau GmbH, A-4906 Eberschwang umgesetzt worden, dass in dieser Form bisher industriell noch nicht zur Anwendung gekommen ist.

Die wesentliche Innovation des patentierten Verfahrens besteht darin, den Trocknungsprozess auf zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus durchzuführen, welche an die verschiedenen Wassereinlagerungen im Holz angepasst sind. Die Vortrocknung wird praktisch ohne die Zuheizung von Wärme der Hackguthheizung alleine durch Abwärmerückgewinnung aus der Nachrocknung betrieben. Dies wird dadurch erreicht, dass der Luftvolumenstrom der Vortrocknung so hoch ist, dass eine komplette Entfeuchtung der Umluft in der Nachrocknung erfolgt und damit die latente Wärme des kondensierenden Wasserdampfs in der Vortrocknung genutzt werden kann.

Durch diese Trocknung der Umluft in der Nachrocknung kann auf eine prinzipbedingte Ausschleusung von Abluft mit Frischluftzufuhr in der Nachrocknung verzichtet werden. Die Abkühlung des Teilstrom der Umluft ist durch den relativ hohen Frischluftstrom für die Vortrocknung so hoch, dass die Abluft unter die Taupunkttemperatur abgekühlt wird und damit die latente Wärme des kondensierenden Wasserdampfs genutzt werden kann. Im Gesamtprozess muss Wärme von einer externen Wärmequelle nur beim Halten der erforderlichen Prozesstemperatur in der Nachrocknung zugeführt werden.

Die nachfolgende Abbildung 1 verdeutlicht das umgesetzte Anlagenkonzept.

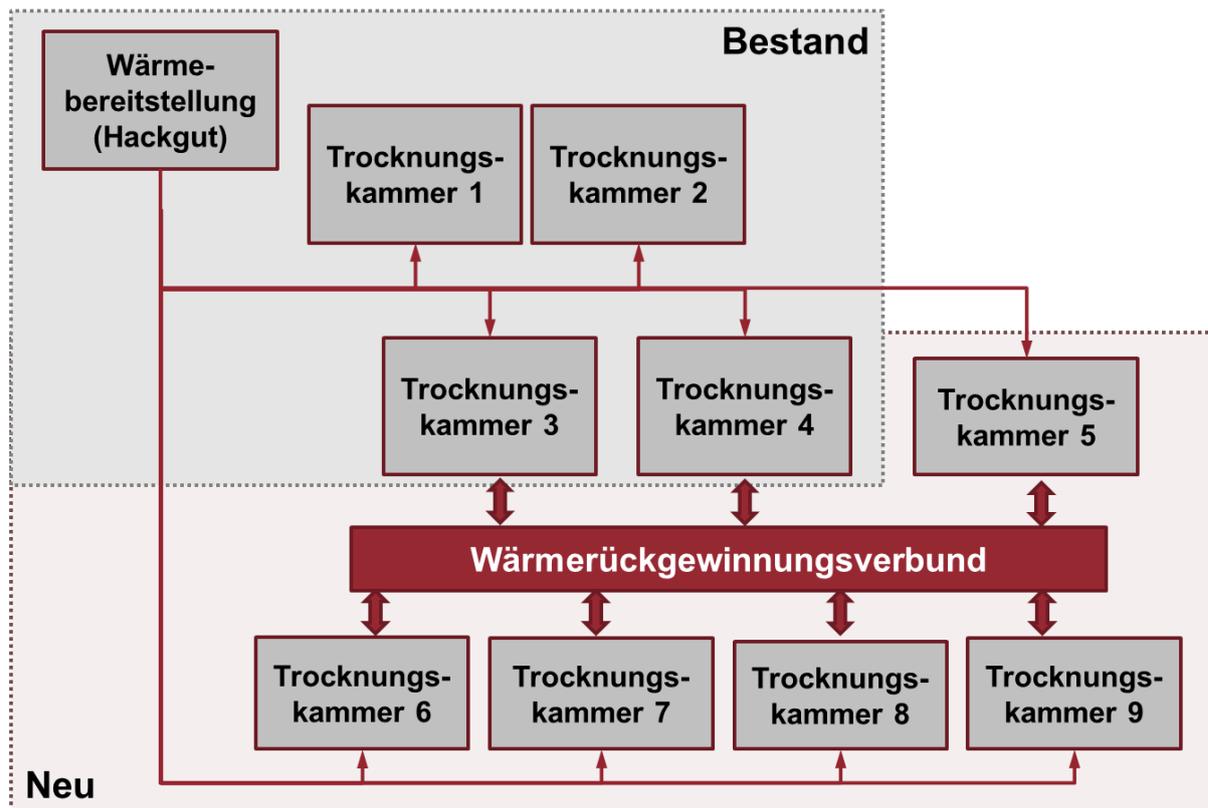


Abbildung 1: Umgesetztes Anlagenkonzept mit den wesentlichen Anlagenbestandteilen

### Ergebnisse aus technischer und wirtschaftlicher Sicht und hinsichtlich Umweltentlastung

Die Tabelle 1 zeigt die ursprünglich bei Antragstellung erwarteten Umweltentlastungen.

Quantifizierung der Umweltziele				
Bezeichnung	Einheit	IST (fiktiv mit neuer Anlagenkapazität)	NEU	Einsparung bzw. Verbesserung
jährlicher Wärmebedarf	kWh/a	18.450.589	9.225.294	9.225.294
jährlicher Bedarf an elektrischer Energie	kWh <sub>el</sub> /a	906.056	543.633	362.422
CO <sub>2</sub> -Emission (bei Deckung Wärmebedarf durch Erdgas) (CO <sub>2</sub> -Äquivalent Erdgas 202 g/kWh CO <sub>2</sub> -Äquivalent el. Energie 600 g/kWh <sub>el</sub> )	t <sub>CO2</sub> /a	4.272	2.191	2.082

Tabelle 1: Geplante Umweltwirkung

Während der Durchführung der Maßnahme und des Messprogramms sind wesentliche Änderungen im Markt bzw. auf der Nachfrageseite für die Produkte der Fördernehmerin eingetreten. Für das Projekt von wesentlicher Bedeutung dabei ist, dass nicht nur die sog. Hauptware (z. B. Kanthölzer) als getrocknet nachgefragt wird, sondern auch die sogenannte Seitenware (im Wesentlichen „Bretter“). Seitenware wird aus den Seitenbereichen eines Holzstamms gewonnen, Hauptware aus dem Kern. Die Seitenbereiche besitzen gegenüber dem Kernholz jedoch grundsätzlich eine höhere Holzfeuchte. Diese höhere Holzfeuchte der Seitenbereiche bewirkt, dass sog. Seitenware einen entsprechend höheren Energieeinsatz zur Trocknung erfordert.

Die innovative Holz Trocknung arbeitet mit Vor- und Nachrocknung des Holzes. In der Vortrocknung wird das sog. freie Wasser aus dem Holz bei niedriger Temperatur mit trockener Luft entfernt, in der Nachrocknung das in der Zellstruktur des Holzes gebundene Wasser bei höherer Temperatur. Aus Energiesicht wird die Energie der Abluft aus der Nachrocknung für die Vortrocknung „zurückgewonnen“. Auf Grund dieser Verbundwirkungsweise der neuen Trocknung können in einem Messprogramm keine einzelnen Trocknungsreisen „herausgepickt“ werden, welche den zu trocknendem Produktspektrum der bisherigen (bzw. alten) Anlage entsprechen.

Diese wesentliche Änderung des Produktspektrum machte es erforderlich, dass die ermittelten Umweltwirkungen im IST-Zustand auf die jetzt in der neuen Anlage angetroffenen Verhältnisse hochgerechnet werden mussten, um eine vergleichbare Basis für die Betrachtung der Umweltwirkung zu schaffen. Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt die erzielten Ergebnisse bei Hochrechnung des IST-Zustands der alten Anlage auf das Produktspektrum und die Kapazität der neuen Anlage. Beim Ist-Zustand erhöht sich durch diese Hochrechnung der Wärmebedarf auf 27.304.073 kWh/a und der Strombedarf auf 1.672.048 kWh<sub>el</sub>/a.

Quantifizierung der Umweltziele (nach Messprogramm)								
Bezeichnung	Einheit	IST (fiktiv mit neuer Anlagenkapazität)		NEU		Einsparung bzw. Verbesserung		
		Antrag	Mess- programm	Antrag	Mess- programm	Antrag	Mess- programm	Ver- besserung
jährlicher Wärmebedarf	kWh/a	18.450.589	27.304.073	9.225.294	17.258.092	9.225.294	10.045.981	36,8%
jährlicher Bedarf elektrische Energie	kWh <sub>el</sub> /a	906.056	1.672.048	543.633	1.415.796	362.422	256.251	15,3%
spez. Wärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /kg <sub>H2O</sub>	-	1,070	-	0,652	-	0,418	39,1%
spez. Strombedarf	kWh <sub>el</sub> /kg <sub>H2O</sub>	-	0,066	-	0,055	-	0,010	15,3%
CO <sub>2</sub> -Emission (bei Deckung Wärmebedarf durch Erdgas) (CO <sub>2</sub> -Äquivalent Erdgas 202 g/kWh CO <sub>2</sub> -Äquivalent el. Energie 600 g/kWh <sub>el</sub> )	t <sub>CO2</sub> /a	4.272	6.522	2.191	4.338	2.082	2.184	33,5%

Tabelle 2: „Geplante und erreichte“ Umweltwirkungen

Die Ergebnisse des Messprogramms zeigen, dass die erwartete relative Einsparung beim Wärmebedarf um rd. 13 % geringer ausfällt als erwartet. Die erwartete relative Einsparung an elektrischer Energie in Höhe von 40 % wird nicht erreicht und liegt tatsächlich bei ca. 15 % und damit hinter den Erwartungen zurück. Die absolute Einsparung bei Wärmebedarf wurde jedoch um ca. 800.000 kWh/a übertoffen.

Bei einer Energiekosteneinsparung von 281.900 €/a ergibt sich bei statischer Berechnung ein Kapitalrückfluss nach 6,8 Jahren.

Die geplanten Anschaffungskosten wurden um 141.389 € unterschritten und betragen 1.633.863 €.

### **Übertragbarkeit / Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse**

Die im Projekt realisierte Anlage und Anlagentechnik kann allein in Deutschland bei mindestens 60 bis 80 direkten Marktbegleitern des Unternehmens eingesetzt werden. Als derzeitige Untergrenze für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Technologie wird eine Verarbeitungskapazität von mehr als 50.000 fm/a angesehen. Mit steigenden Energie- bzw. Rohstoffpreisen bei Holz wird diese Kapazitätsgrenze weiter sinken und für überproportional viele weitere Unternehmen anwendbar werden. Darüber hinaus kann die Anlage bzw. Anlagentechnologie auch in der Paletten-Industrie (Herstellung von Paletten) eingesetzt werden. Über die Anzahl an möglichen Unternehmen können von der Pieper Holz GmbH keine Angaben getroffen werden.

Die branchenspezifische Kommunikation dieses erfolgreichen Vorhabens soll in 2014 zum einen über die Kunden der Pieper Holz GmbH erfolgen. Darüber hinaus ist eine Ansprache über den DeSH Deutsche Säge- u. Holzindustrie Bundesverband e. V., Wiesbaden und den VDS Vereinigung Deutscher Sägewerksverbände e.V. geplant. Zugleich wird diese Verfahrensumsetzung auch zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW in der Loseblattsammlung im 2. Halbjahr 2014 veröffentlicht.

Gerade die Kommunikation einer umweltfreundlichen Technologie ist geeignet, die Standards innerhalb der Branche zugunsten eines energieeffizienten Verfahren zu verbessern.

## Summary

### Initial Situation

High commodity prices in Germany forces Pieper Holz GmbH to open up new markets by new or improved products. An essential field of growth was and is the sale and the delivery of dried wood.

Due to a relatively short period of time between lumbering and processing in a saw mill a natural drying of the wood before sawing is not feasible. The saw wood was dried with warm air in four kilns. The drying air was heated by a wood chips heating employing about 12,800 m<sup>3</sup>/a waste wood. Due to the existing drying capacity the output is limited to about 38,000 m<sup>3</sup>/a and it is to be increased by the project up to 82,500 m<sup>3</sup>/a.

### Project Aim

With the realization of the project, the first large-scale use of an innovative, energy-saving process for timber drying should be implemented. The specific energy consumption for providing heat energy for drying should be reduced from 224 m<sup>3</sup> kWh/m<sup>3</sup> at 50% to 112 kWh/m<sup>3</sup> compared to the known and in this case of application contemplable proceedings.

### Technical Solution

To reach the described aims above an innovative concept is designed, which has not been industrially applied up to now.

The main innovation of the patented process is to carry out the drying process at two different temperature levels, which are adapted to the different water retention in the wood. The pre-drying is effectively operated by waste heat recovery from the post-drying without additional heat by the wood chip heating.

This is achieved thus the air volume flow of the pre-drying is so high that the circulating air in the post-drying is completely desiccated so that the latent heat of the condensed water vapour can be used in the pre-drying.

By this drying of the circulation air in the post-drying a principle induced outward transfer of exhaust air with fresh air supply in the post-drying is dispensable.

The cooling of the partial flow of the circulating air is through the relatively high flow of fresh air for the pre-drying so high, that the exhaust air is cooled down among dew point temperature so that the latent heat of the condensing water vapour can be used. In the overall process heat from an external heat source must be supplied only for holding the required process temperature in the drying.

The realized plant concept will be illustrated in the following diagram 2:

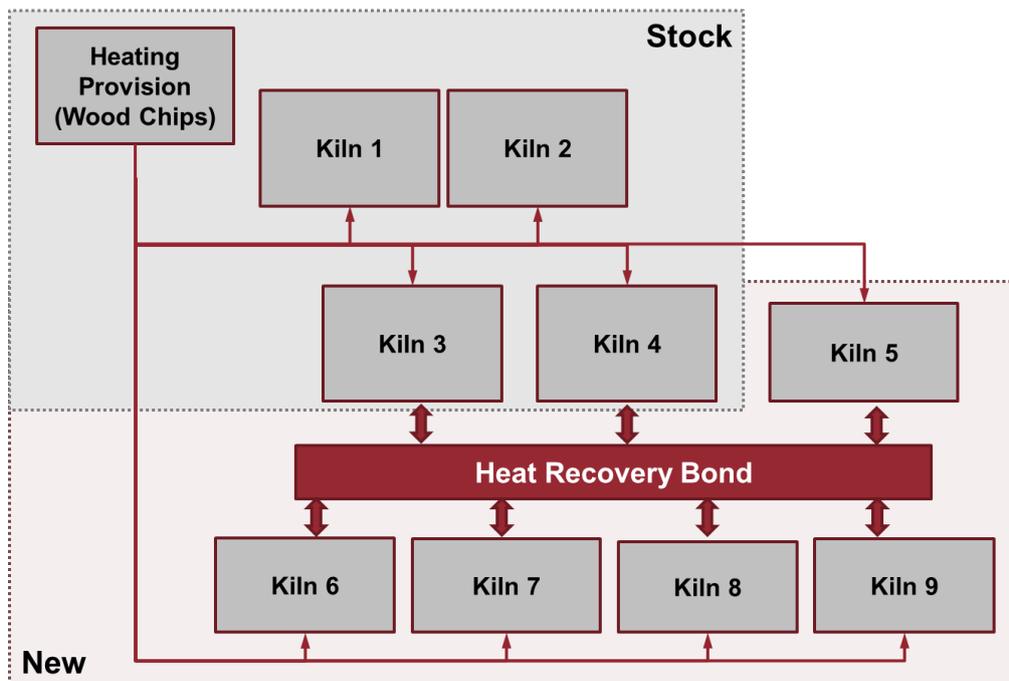


Figure 2: New system concept

### Results from a technical and economic perspective and the environmental benefit

Quantitation of the Environmental Objectives				
		actual (fictively at new plant capacity)	new	saving resp. improvement
	unit			
Annual Heat Requirement	kWh/a	18,450,589	9,225,294	9,225,294
Annual Electricity Requirement	kWh <sub>el</sub> /a	906,056	543,633	362,422
CO <sub>2</sub> emission at natural gas usage (CO <sub>2</sub> equivalent natural gas 202 g/kWh CO <sub>2</sub> equivalent electric energie 600 g/kWh <sub>el</sub> )	t <sub>CO2</sub> /a	4,272	2,191	2,082

Table 3: planned environmental targets

During des realisation of the project and the measuring programm significant changes in the market resp. on the demand side for the products of Pieper Holz have occurred. Of significant importance for the project is that not only the so-called main goods (eg squared timber) is dried in demand, but also the so-called side boards (essentially "planks"). Side boards are obtained from the lateral areas of a wooden trunk, main goods from the core. Contrain to the heartwood the lateral areas have a higher wood moisture. This higher wood moisture of the lateral areas causes that the so-called side boards require correspondendy a higher energy use for drying.

The innovative wood drying works with pre- and post-drying. In the pre-drying the so-called free water is removed from the wood at low temperature with dry air. In the post-drying the bounded water in the cell stucture is removed at higher temperature. The

energy of the post-drying exhaust air is “reclaimed” for the pre-drying. Due to this composite effect of the new drying it is not possible to measure a single drying procedure, which is similar to the range of drying products of the existing (resp. old) plant.

This significant change of the product range requires to extrapolate the identified environmental effects of the actual state to the conditions of the new plant to obtain a comparable basis for the consideration of the environmental impact. The following table 4 shows the results at extrapolation of the old plant’s actual state to the product range and the capacity of the new plant. At the actual state the heat requirement increases to 27,304,073 kWh/a and the electric current requirement to 1,672,048 kWh<sub>e</sub>/a.

Quantitation of the environmental objectives (after measuring program)								
	unit	actual (fictively at new plant capacity)		new		saving resp. Improvement		
		application	measuring program	application	measuring program	application	measuring program	improvement
Annual Heat Requirement	kWh/a	18,450,589	27,304,073	9,225,294	17,258,092	9,225,294	10,045,981	36.8%
Annual Electricity Requirement	kWh <sub>e</sub> /a	906,056	1,672,048	543,633	1,415,796	362,422	256,251	15.3%
Specific Heat Requirement	kWh <sub>th</sub> /kg <sub>H2O</sub>	-	1.070	-	0.652	-	0.418	39.1%
Specific Electricity Requirement	kWh <sub>e</sub> /kg <sub>H2O</sub>	-	0.066	-	0.055	-	0.010	15.3%
CO <sub>2</sub> emission at natural gas usage (CO <sub>2</sub> equivalent natural gas 202 g/kWh CO <sub>2</sub> equivalent electric energie 600 g/kWh <sub>e</sub> )	t <sub>CO2</sub> /a	4,272	6,522	2,191	4,338	2,082	2,184	33.5%

Table 4: “planned and achieved” environmental targets

The results of the measure program show that the relative reduction of heat requirement is approx. 13 % less than expected. The expected relative saving of electric energy from 40 % is not achieved and is actually at about 15 %, which is below expectations. The absolute reduction of heat demand was however exceeded by approx. 800,000 kWh/a.

Material and energy cost savings of 281,900 €/a determine a statistical calculation of a capital reflux within 6.8 years.

The planned asset cost were undershot by 141,389 € and come to 1,633,863 €.

### Transferability / Measures to distribute the project’s results

The realized plant and it’s engineering can be used in Germany alone at least by 60 to 80 competitors. As the current lower limit for the economic use of this technology, a processing capacity of more than 50,000 fm/a is regarded. With increasing energy and commodity prices in wood, this capacity limit will continue to fall and therefore the engineering will be applicable for additional companies. Furthermore the plant resp. plant technologie can be applied also in the pallet industrie (manufacturing of pallets). About the number of possible companies Pieper Holz GmbH cannot provide any information.

The system’s characteristics have been set up in a manner which enables the transferability to a number of diverse processes in the wood industry. Product specific system modifications have to be developed and adapted by the individual users.

The industry-specific communication of this successful project should occur in 2014 through the clients of Pieper Holz GmbH. Furthermore, we intend to address the association DeSH Deutscher Säge- und Holzindustrie Bundesverband e. V. and the VDS Vereinigung Deutscher Sägewerksverbände e.V. At the same time, this example is published in cooperation with "Effizienz-Agentur NRW" in their reference sheet archive in the second half of 2014.

It is the communication of environmentally-friendly technology which is a valid tool in improving industry standards regarding energy-efficient procedures.

## Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt .....	2
Kurzfassung.....	4
Summary .....	8
Abbildungsverzeichnis .....	14
Tabellenverzeichnis.....	17
1. Einleitung .....	18
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	18
1.2 Ausgangssituation .....	19
2. Vorhabensumsetzung .....	20
2.1 Ziel des Vorhabens.....	20
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) .....	21
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens .....	23
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) .....	40
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten .....	40
3. Ergebnisse .....	41
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung .....	41
3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms.....	41
3.2.1 Grundlagen Messprogramm .....	41
3.2.1 Auswertung Altanlage (IST-Zustand).....	44
3.2.2 Ergebnisse nach Inbetriebnahme NEU(INB) .....	49
3.2.3 Ergebnisse nach Schulung der Mitarbeiter NEU(SCH).....	52
3.2.3 Ergebnisse nach technischen Optimierungsmaßnahmen NEU(TOP) .....	55
3.3 Umweltbilanz .....	58
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	63
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren .....	64
4. Empfehlungen.....	66
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung .....	66

4.2	Modellcharakter .....	67
4.3	Zusammenfassung .....	67

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Umgesetztes Anlagenkonzept mit den wesentlichen Anlagenbestandteilen .....	5
Figure 2: New system concept .....	9
Abbildung 3: Betriebsgelände am Standort Olsberg-Assinghausen .....	18
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Hauptfertigungsbereiche des Unternehmens .....	19
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Prozessess der innovativen Holztrocknung am Beispiel von zwei Trockenkammern .....	21
Abbildung 6: Schematische Darstellung der wesentlichen Anlagenbestandteile des Vorhabens zum Zeitpunkt der Antragstellung .....	22
Abbildung 7: Schematische Darstellung der wesentlichen Anlagenbestandteile des Vorhabens nach Überarbeitung des Anlagenkonzeptes .....	26
Abbildung 8: Herstellung der Fundamente der neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 30.10.2012) .....	27
Abbildung 9: Wärmedämmung der Bodenplatte (Aufnahmedatum 05.11.2012) .....	27
Abbildung 10: Bewehrung der Bodenplatte vor dem Gießen der Bodenplatte (Aufnahmedatum 07.11.2012) .....	28
Abbildung 11: Übersicht über die Bodenplatte für die neu zu errichtenden Trockenkammern, im Hintergrund die bereits montierte linke Außenwand (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	28
Abbildung 12: Verlegung des elektrischen Anschlusses für die neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	29
Abbildung 13: Verlegung der Heizwasserrohre für die neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	29
Abbildung 14: Blick auf die „alten“ Trockenkammern 3 und 4 vor Umbau zur Integration in das Wärmeversorgungskonzept (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	30
Abbildung 15: Blick in eine „alte“ Trockenkammer mit zu trocknendem Holz (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	30
Abbildung 16: Herr Pieper auf der Bodenplatte der neuen Trockenkammern bei Besichtigung der Arbeiten am 10.01.2013 .....	31
Abbildung 17: Provisorische Montagehalle zum Zusammenbau der Wände der neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	31
Abbildung 18: Montage der Seitenwände der neuen Trockenkammern mit Personal der Fa. Mühlböck (blaue Overalls) wie auch eigenem Personal (grüne Overalls) beim Einbringen der Wärmedämmung (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	32
Abbildung 19: Verkleben der Wärmedämmung mit der Seitenwand (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	32

Abbildung 20: Befestigungspunkte zur Aufständigung der Wände zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen beim Befüllen und Entleeren der Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	33
Abbildung 21: Aufständigung der Wände zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen beim Befüllen und Entleeren der Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013).....	33
Abbildung 22: Erste montierte Seitenwand der neuen Trockenkammern (mit elektrischen Anschluss zur Energieversorgung) und Schichtaufbau (Metallverkleidung – Wärmedämmung – Metall-verkleidung) der Wände (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	34
Abbildung 23: Auslieferungszustand der neuen Trockenkammern für Anbauteile (Aufnahmedatum 10.01.2013).....	34
Abbildung 24: Auslieferungszustand der neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013) .....	35
Abbildung 25: Blick auf die Gesamtanlage mit allen Trockenkammern (Aufnahmedatum 04.07.2013).....	36
Abbildung 26: Schutzbleche mit Vordach an den Trockenkammern 5-9 (Aufnahmedatum 04.07.2013).....	37
Abbildung 27: Trockenkammer 6 mit Holzstapeln gefüllt (Aufnahmedatum 04.07.2013) .....	37
Abbildung 28: Umbau Trockenkammer 3-4 (Aufnahmedatum 04.07.2013).....	38
Abbildung 29: Inner Bereich der Trockenkammer mit Abbildung eines Wärmetauschers (Aufnahmedatum 04.07.2013).....	38
Abbildung 30: Offener Teil eines Wärmekanal (Aufnahmedatum 04.07.2013).....	39
Abbildung 31: Luftbrücke, die die Trockenkammern miteinander verbindet (Aufnahmedatum 04.07.2013).....	39
Abbildung 32: A/V-Verhältnis der ausgewerteten Chargen und zu verdunstende Wassermasse, um geforderte Endfeuchte erreichen zu können .....	44
Abbildung 33: Ermittelter spezifischer Wärmebedarf je m <sup>3</sup> Holz der ausgewerteten 22 Holz Trocknungen zur Bestimmung des IST-Bedarfs.....	45
Abbildung 34: Ermittelter spezifischer Strombedarf der ausgewerteten 22 Holz Trocknungen zur Bestimmung des IST-Bedarfs.....	46
Abbildung 35: Spezifischer Wärmebedarf je m <sup>3</sup> Holz in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware .....	47
Abbildung 36: Spezifischer Wärmebedarf je kg <sub>Wasser</sub> entzogenem Wasser in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware .....	47
Abbildung 37: Ermittelter spezifischer Wärmebedarf je kg <sub>Wasser</sub> der ausgewerteten 22 Holz Trocknungen zur Bestimmung des IST-Bedarfs.....	48
Abbildung 38: Protoypischer Verlauf einer Trocknung der innovativen Holz Trocknung mit Vor- und Nach Trocknung .....	49

Abbildung 39: Ermittelter spezifischer Wärmebedarf je m <sup>3</sup> Holz der ausgewerteten 19 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Wärmebedarfs nach Inbetriebnahme der neuen Anlage .....	50
Abbildung 40: Ermittelter spezifischer Strombedarf der ausgewerteten 19 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Strombedarfs nach Inbetriebnahme der neuen Anlage .....	50
Abbildung 41: Spezifischer Wärmebedarf je m <sup>3</sup> Holz in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware nach Inbetriebnahme der Neuanlage .....	51
Abbildung 42: Spezifischer Wärmebedarf je kg <sub>Wasser</sub> entzogenem Wasser der zu trocknenden Ware nach Inbetriebnahme der Neuanlage .....	51
Abbildung 43: Ermittelter spezifischer Wärmebedarf je m <sup>3</sup> Holz der ausgewerteten 9 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Wärmebedarfs nach der Schulung der Mitarbeiter .....	52
Abbildung 44: Ermittelter spezifischer Strombedarf der ausgewerteten der 9 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Strombedarfs nach der Schulung der Mitarbeiter .....	53
Abbildung 45: spezifischer Wärmebedarf je m <sup>3</sup> Holz in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware nach der Schulung der Mitarbeiter .....	53
Abbildung 46: spezifischer Wärmebedarf je kg <sub>Wasser</sub> entzogenem Wasser der zu trocknenden Ware nach der Schulung der Mitarbeiter .....	54
Abbildung 47: Ermittelter spezifischer Wärmebedarf je m <sup>3</sup> Holz der ausgewerteten 12 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Wärmebedarfs nach Durchführung von technischen Optimierungsmaßnahmen an der neuen Anlage .....	55
Abbildung 48: Ermittelter spezifischer Strombedarf der ausgewerteten der 12 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Strombedarfs nach Durchführung von technischen Optimierungsmaßnahmen an der neuen Anlage .....	56
Abbildung 49: Spezifischer Wärmebedarf je m <sup>3</sup> Holz in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware nach Durchführung von technischen Optimierungsmaßnahmen an der neuen Anlage .....	56
Abbildung 50: Spezifischer Wärmebedarf je kg <sub>Wasser</sub> entzogenem Wasser nach Durchführung von technischen Optimierungsmaßnahmen an der neuen Anlage .....	57
Abbildung 51: Korrigierte IST-Verbrauchswerte an thermischer Energie der Altanlage in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses des Produktspektrums der neuen Anlage zu den jeweiligen Auswertungszeitpunkten .....	58
Abbildung 52: Erzielte prozentuale Einsparung (Wärme) durch die neue innovative Holz Trocknung .....	59
Abbildung 53: Spezifischer Wärmeverbrauch je kg Wasser nach Durchführung der technischen Optimierung .....	60

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Geplante Umweltwirkung.....	5
Tabelle 2:	„Geplante und erreichte“ Umweltwirkungen .....	6
Table 3:	“achieved” environmental targets by application .....	9
Table 4:	“achieved” environmental targets by application and after realiseing the project.....	10
Tabelle 5:	Qualifizierung der Umweltziele bei Antragsstellung.....	20
Tabelle 6:	Projektfahrplan .....	23
Tabelle 7:	Teilvorhaben gem. Zuwendungsbescheid vom 22.08.2012 und kenntlich gemachte Änderungen nach der Detailplanung des Vorhabens .....	23
Tabelle 8:	Bestandsanlagen Alt .....	24
Tabelle 9:	Geplant zum Zeitpunkt der Antragstellung .....	24
Tabelle 10:	Ergebnis Detailplanung .....	25
Tabelle 11:	Basisdaten zur Berechnung der Umweltwirkungen .....	61
Tabelle 12:	Umweltbilanz nach Umsetzung des Projekts auf Basis der Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms .....	62
Tabelle 13:	Umweltbilanz nach Umsetzung des Projekts auf Basis der Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms im Vergleich zu den erwarteten Werten bei Antragstellung .....	62
Tabelle 14:	Laufende Kosteneinsparungen zum Zeitpunkt der Antragstellung .....	63
Tabelle 15:	Laufende Kosteneinsparungen, ermittelt in Messprogramms und hochgerechnet auf ein Jahr .....	63
Tabelle 16:	Vergleichende Übersicht der Amortisationsrechnung bei Planung des Projekts und nach Realisierung des Vorhabens .....	64

# 1. Einleitung

## 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Pieper Holz GmbH und deren Vorläufer sind seit mehr als 50 Jahren in der Holzverarbeitung tätig. Das Werk in 59939 Olsberg-Assinghausen, Im Westfeld 2 mit einer Grundstücksfläche von 220.000 m<sup>2</sup> umfasst heute eine Holzhandlung, zwei Sägewerke, ein Sortierwerk, eine Sortier- und Kappanlage, eine Trockenanlage, das Holzverarbeitungs-, Hobel- und Imprägnierwerk sowie einen Waldholzhandel. In dem neuen und hochmodernen Sägewerk wird hauptsächlich Fichtenholz aus heimischen Wäldern verarbeitet. Die Pieper Holz GmbH ist europaweit führend in der Rundholzaufarbeitung mit modernster Sägewerks- und Weiterverarbeitungskapazität.

Derzeit verarbeitet die Pieper Holz GmbH im 1-Schichtbetrieb mit 130 Mitarbeitern jährlich ca. 240.000 fm (Festmeter) an Lang- und Rundholz. Daraus werden ca. 100.000 m<sup>3</sup>/a an Hauptware (z. B. Kanthölzer) und ca. 31.200 m<sup>3</sup>/a an Seitenware (z. B. Bretter) hergestellt. Hinzu kommen noch ca. 90.000 m<sup>3</sup>/a an Hackgut und ca. 43.000 m<sup>3</sup>/a an Sägespänen. Sägemehl und Hackgut werden überwiegend stofflich in der Papierindustrie oder zur Herstellung von Spanplatten genutzt und an Unternehmen aus diesen Branchen verkauft.

(Anmerkung: Bedingt durch eine unterschiedliche Definition bzw. Handhabung der Einheit „m<sup>3</sup>“ in der Holzwirtschaft bei den einzelnen Warengruppen ist eine einfache Summierung bzw. ein Vergleich der Jahresmengen der unterschiedlichen Warengruppen leider nicht zulässig).

Auf der nachfolgenden Abbildung 3 ist das komplette Betriebsgelände in Olsberg aus der Luftperspektive zum Zeitpunkt der Antragstellung abgebildet.



Abbildung 3: Betriebsgelände am Standort Olsberg-Assinghausen

## 1.2 Ausgangssituation

Das Unternehmen Pieper Holz GmbH ist ein Massenproduzent von sägerauer Ware aller Schnittklassen von Nadelholz. Darüber hinaus werden auch veredelte bzw. weiterverarbeitete Endprodukte an Gartenholzprodukten wie Gartenzäune, Pergolen, Sichtschutzzäune und Spielgeräte z. B. für Kinderspielplätze gefertigt.

In der nachfolgenden Abbildung 4 sind die wesentlichen Hauptfertigungsbereiche der Pieper Holz GmbH schematisch dargestellt.

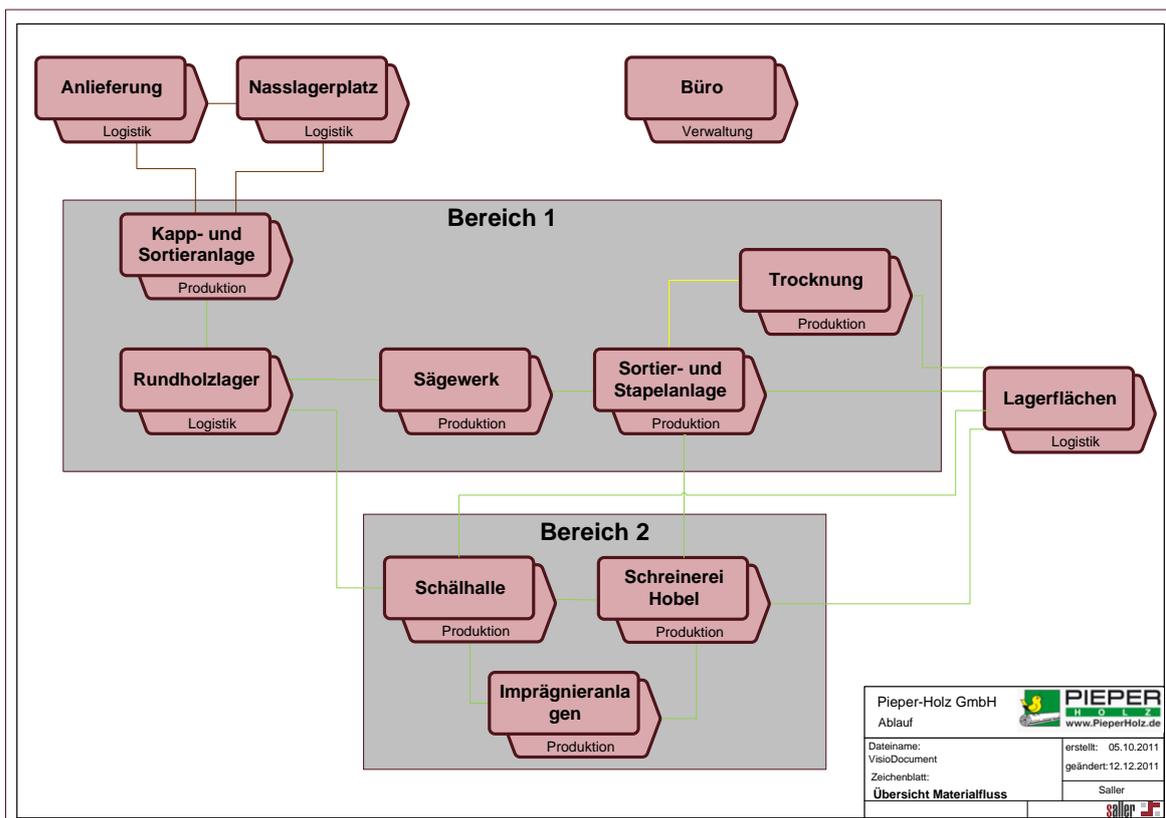


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Hauptfertigungsbereiche des Unternehmens

Hohe Rohstoffpreise in Deutschland zwingen die Pieper Holz GmbH, neue Absatzmärkte durch neue oder verbesserte Produkte zu erschließen. Ein wesentlicher Wachstumsbereich ist der Verkauf und die Lieferung von getrockneter Ware. Bedingt durch einen relativ kurzen Zeitraum zwischen Holzeinschlag und Bearbeitung im Sägewerk ist eine „natürliche“ Trocknung des Holzes vor dem Sägen nicht realisierbar.

Zur Trocknung wird das gefertigte Schnittholz in vier Trockenkammern mit warmer Luft getrocknet. Die Trocknungsluft wird durch Wärme aus einer Hackgutheizung mit Einsatz von rd. 12.800 m<sup>3</sup>/a an Hackgut erhitzt. Als Hackgut wird Holz eingesetzt, welches aus der Profillinie nicht zu Haupt- oder Seitenware verarbeitet werden kann. Die Menge an getrockneter Ware wird durch die bestehende Trocknungskapazität von ca. 38.000 m<sup>3</sup>/a begrenzt und sollte mit Umsetzung der Maßnahme auf 82.500 m<sup>3</sup>/a erhöht werden.

## 2. Vorhabensumsetzung

### 2.1 Ziel des Vorhabens

Mit Umsetzung des Projekts sollte der spezifische Energieeinsatz für die Bereitstellung von Heizenergie zur Trocknung von 224 kWh/m<sup>3</sup> um 50 % auf 112 kWh/m<sup>3</sup> gegenüber den bisher bekannten und bei dem jeweiligen Anwendungsfall möglichen Verfahren gesenkt werden.

Bezogen auf die zukünftige Trocknungskapazität von 82.500 m<sup>3</sup>/a an getrockneter Ware ist die erwartete Einsparung durch das innovative Verfahren zur Holz Trocknung im Vergleich zur bisherigen konventionellen Trocknungstechnik in nachfolgender Tabelle 5 aufgezeigt.

Quantifizierung der Umweltziele				
Bezeichnung	Einheit	IST (fiktiv mit neuer Anlagenkapazität)	NEU	Einsparung bzw. Verbesserung
jährlicher Wärmebedarf	kWh/a	18.450.589	9.225.294	9.225.294
jährlicher Bedarf an elektrischer Energie	kWh <sub>el</sub> /a	906.056	543.633	362.422
CO <sub>2</sub> -Emission (bei Deckung Wärmebedarf durch Erdgas) (CO <sub>2</sub> -Äquivalent Erdgas 202 g/kWh CO <sub>2</sub> -Äquivalent el. Energie 600 g/kWh <sub>el</sub> )	t <sub>CO2</sub> /a	4.272	2.191	2.082

Tabelle 5: Quantifizierung der Umweltziele bei Antragsstellung

Bei der bisherigen Trocknungskapazität von 38.000 m<sup>3</sup>/a wird der Wärmebedarf (6.362.000 kWh/a) durch Hackguteinsatz (12.800 m<sup>3</sup>/a) in einer Holzheizung gedeckt, sodass keine CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen.

Mit der Umsetzung dieses Vorhabens kann trotz erheblicher Erhöhung der Anlagenkapazität weiterhin die bestehende Holzheizung bei einem erhöhten Hackguteinsatz (18.500 m<sup>3</sup>/a bzw. nur 40 % Erhöhung) betrieben werden. Die Errichtung einer zusätzlichen Heizung ist nicht erforderlich.

Zusätzlich wurde festgestellt, dass nach Angaben des Anlagebauers auch eine Einsparung an elektrischer Energie durch eine systemimmanente Optimierung des Betriebs von Ventilatoren und sonstigen elektrischen Antrieben zur Umluffführung etc. erzielt wird.

Zur Ermittlung dieser Werte wurde von konservativen Planzahlen sowohl des Anlagenlieferanten hinsichtlich des spezifischen Energieverbrauchs der innovativen Trocknung wie auch von IST-Daten der bisherigen konventionellen Trocknung ausgegangen.

## 2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Eine wichtige Holzeigenschaft bezüglich Holz Trocknung ist die Art, wie die Feuchte (Wasser) im Holz gebunden ist. Dabei kann das Wasser sowohl in den Zellen selbst wie auch in der Struktur der Zellwand gebunden sein. Wenn trockenes Holz (Feuchte 0 %) Wasser aufnimmt, wird das Wasser zunächst in den Zellwänden eingelagert. Wenn die maximale Aufnahmekapazität der Zellwände erreicht ist, wird das Wasser in den Zellen selbst eingelagert. Bei der Trocknung von Holz wird umgekehrt erst das Wasser in den Zellen abgegeben und anschließend erst das in den Zellwänden eingelagerte Wasser. Der sog. Fasersättigungspunkt gibt an, wo der Umschlag zwischen den beiden möglichen „Einlagerungsarten“ von Wasser im Holz liegt. Unterhalb des Fasersättigungspunktes ist das Wasser im Holz nur in den Zellwänden, oberhalb des Fasersättigungspunktes ist das Wasser auch in den Zellen selbst gebunden. Bei der Holz Trocknung können daher zwei unterschiedliche „Trocknungsmechanismen“ festgestellt werden:

- Trocknung über dem Fasersättigungspunkt
- Trocknung unter dem Fasersättigungspunkt

Bei der Trocknung über dem Fasersättigungspunkt ist im Wesentlichen die Wasseraufnahmefähigkeit der Trocknungsluft von Bedeutung, unterhalb des Fasersättigungspunktes auch die Temperatur der Trocknungsluft. Bei dem innovativen Verfahren wird daher der Prozess der Holz Trocknung in zwei Stufen unterteilt:

- Vortrocknung mit niedriger Temperatur und möglichst trockener Luft
- Nachtrocknung mit hoher Temperatur

Bei dem innovativen Verfahren der Holz Trocknung wird die Wärmerückgewinnung dahingehend optimiert, dass eine zweistufige Prozessführung mit unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt wird (vgl. nachfolgende Abbildung 5).

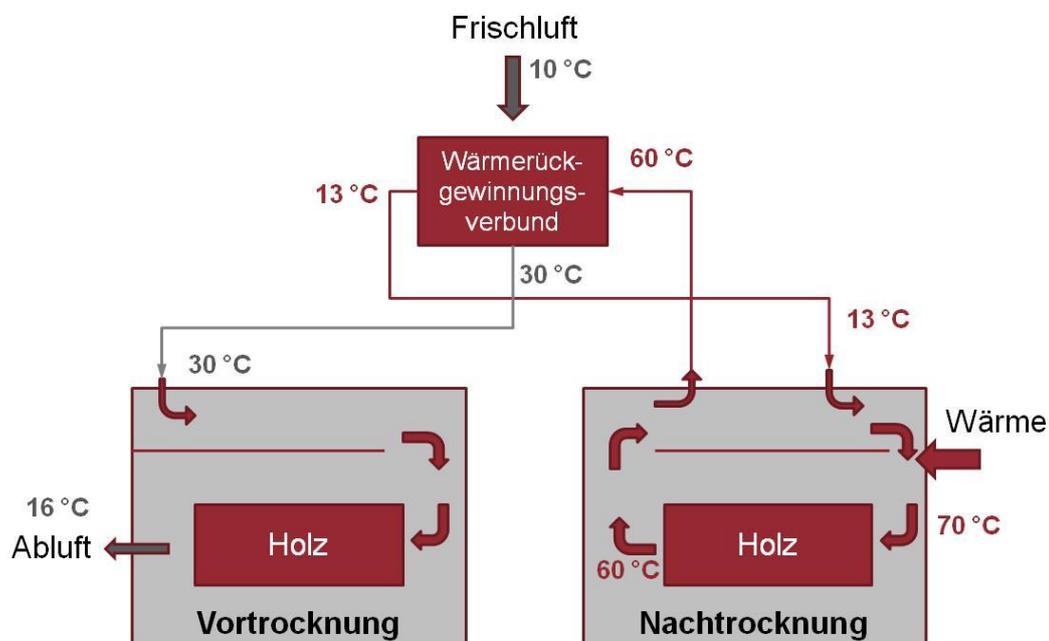


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Prozesses der innovativen Holz Trocknung am Beispiel von zwei Trockenkammern

Die Pieper Holz GmbH beabsichtigte mit diesem innovativen System zum Zeitpunkt der Antragstellung insgesamt sieben Trockenkammern zu betreiben. Dazu sollten drei große Trockenkammern neu errichtet und vier bestehende, alte Trockenkammern umgebaut werden.

Die einzelnen Kammern sollten in unterschiedlichen Trocknungsphasen betrieben werden. Zur Wärmeversorgung sollte die bisherige bestehende Hackguthheizung eingesetzt werden. In der nachfolgenden Abbildung 6 ist das Gesamtsystem der geplanten innovativen Holz Trocknung schematisch zum Zeitpunkt der Antragstellung dargestellt.

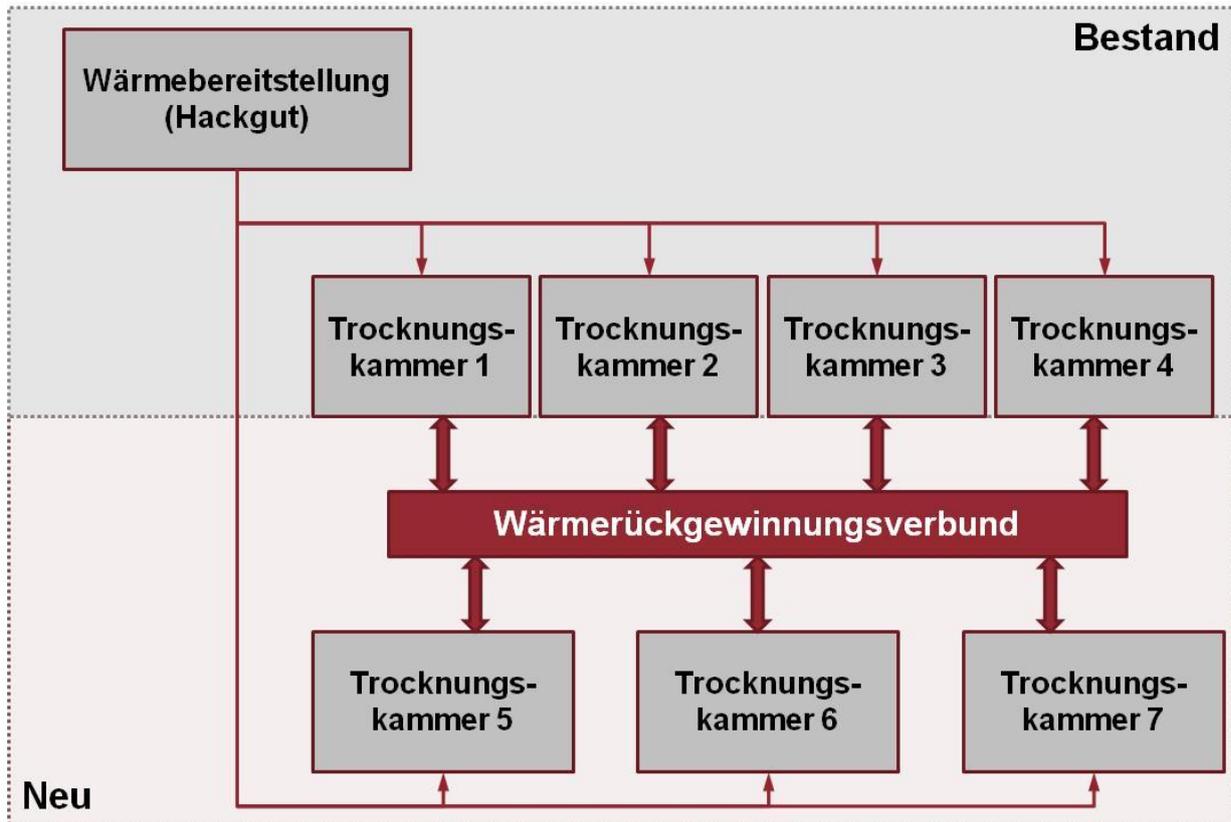


Abbildung 6: Schematische Darstellung der wesentlichen Anlagenbestandteile des Vorhabens zum Zeitpunkt der Antragstellung



steuerungsmäßig und nicht energietechnisch in die Gesamtanlage eingebunden. Dies bedeutet auf die Teilvorhaben bezogen,

- dass Position 2 entfällt (Ertüchtigung von zwei Trockenkammern, Baujahr 2004) und
- die Position 1 geändert (5 statt 3 Trockenkammern, aber in Summe etwa gleiches Trocknungsvolumen) erweitert werden muss.

Die Neuplanung bei der Anzahl der neuen Trockenkammern führt zu einer besseren zeitlichen Ausnutzung der Trockenkammern durch reduzierte Stillstands- und Rüstzeiten gegenüber der ursprünglichen Planung. Die dadurch insgesamt erreichte Verlängerung der „Laufzeit“ der Trocknungskammern kann eine Verbesserung des Energieverbunds der Trockenkammern untereinander bewirken.

In den nachfolgenden Tabellen 8-10 wird der Altzustand der Trockenkammern, der geplante Zustand der Trockenkammern bei Antragstellung und das Ergebnis der Detailplanung nach den Gesprächen mit der Fa. Mühlböck dargestellt.

<b>ALT Bestandsanlagen</b>				
	Nutzbares Volumen je Kammer m <sup>3</sup>	Anzahl Kammern -	Gesamt- nutz- volumen m <sup>3</sup>	Jahres- kapazität m <sup>3</sup> /a
Trockenkammer 1 und 2 (Bestand)	90	2	180	16.000
Trockenkammer 3 und 4 (Bestand)	125	2	250	22.000
<b>SUMME</b>			<b>430</b>	<b>38.000</b>

Tabelle 8: Bestandsanlagen Alt

<b>Geplant nach Antrag</b>				
	Nutzbares Volumen je Kammer m <sup>3</sup>	Anzahl Kammern -	Gesamt- nutz- volumen m <sup>3</sup>	Jahres- kapazität m <sup>3</sup> /a
Trockenkammer 1 und 2 (Umbau)	90	2	180	17.500
Trockenkammer 3 und 4 (Umbau)	125	2	250	24.000
"große" neue Trockenkammer 5, 6 und 7 (Neubau)	ca. 140	3	420	41.000
<b>SUMME</b>			<b>850</b>	<b>82.500</b>

Tabelle 9: Geplant zum Zeitpunkt der Antragstellung

<b>Ergebnis Engineering</b>				
	Nutzbares Volumen je Kammer m <sup>3</sup>	Anzahl Kammern -	Gesamt- nutz- volumen m <sup>3</sup>	Jahres- trocken- kapazität m <sup>3</sup> /a
Trockenkammer 1 und 2 (Umbau)	90	2	180	17.500
Trockenkammer 3 und 4 (Bestand)	125	2	250	22.000
kleine "neue" Trockenkammern 5, 6 und 7 (Neubau)	90	3	270	26.500
kleine "neue" Trockenkammern 8 und 9 (Neubau)	70	2	140	15.500
<b>SUMME</b>			<b>840</b>	<b>81.500</b>

Tabelle 10: Ergebnis Detailplanung

Rein rechnerisch ergibt sich nach dem Engineering eine geringere Kapazität als im Antrag. In der Praxis kann jedoch nicht nur vom nutzbaren Volumen je Kammer auf die Jahrestrockenkapazität geschlossen werden, da auch noch die Be- und Entladezeiten erheblichen Einfluss haben. Hier sind die kleineren Kammern im Vorteil, da die Be- und Entladezeiten erheblich kürzer sind, so dass die ursprüngliche geplante Jahrestrockenkapazitäten erreicht werden kann. Das Engineering hat darüber hinaus gezeigt, dass mit dieser Anlagenkonfiguration ein besserer Wirkungsgrad erreicht werden kann als mit der ursprünglichen Planung. Die Volumina der Trockenkammer im „Energieverbund“ sind jetzt nahezu identisch, während bei der ursprünglichen Planung die Volumina der kleinsten (90 m<sup>3</sup>) und der größten Trockenkammer (140 m<sup>3</sup>) doch eine erhebliche Differenz aufwiesen.

Die Erhöhung der Kapazität der umgebauten Trockenkammern im Vergleich zum Ursprungszustand ergibt sich dadurch, dass im neuen Verfahren die Trocknungsluft zwischengetrocknet und so diese Luft dann mehr Wasser vom Holz aufnehmen kann.

In der nachfolgenden Abbildung 7 ist das tatsächlich realisierte Gesamtsystem der innovativen Holz Trocknung schematisch dargestellt.

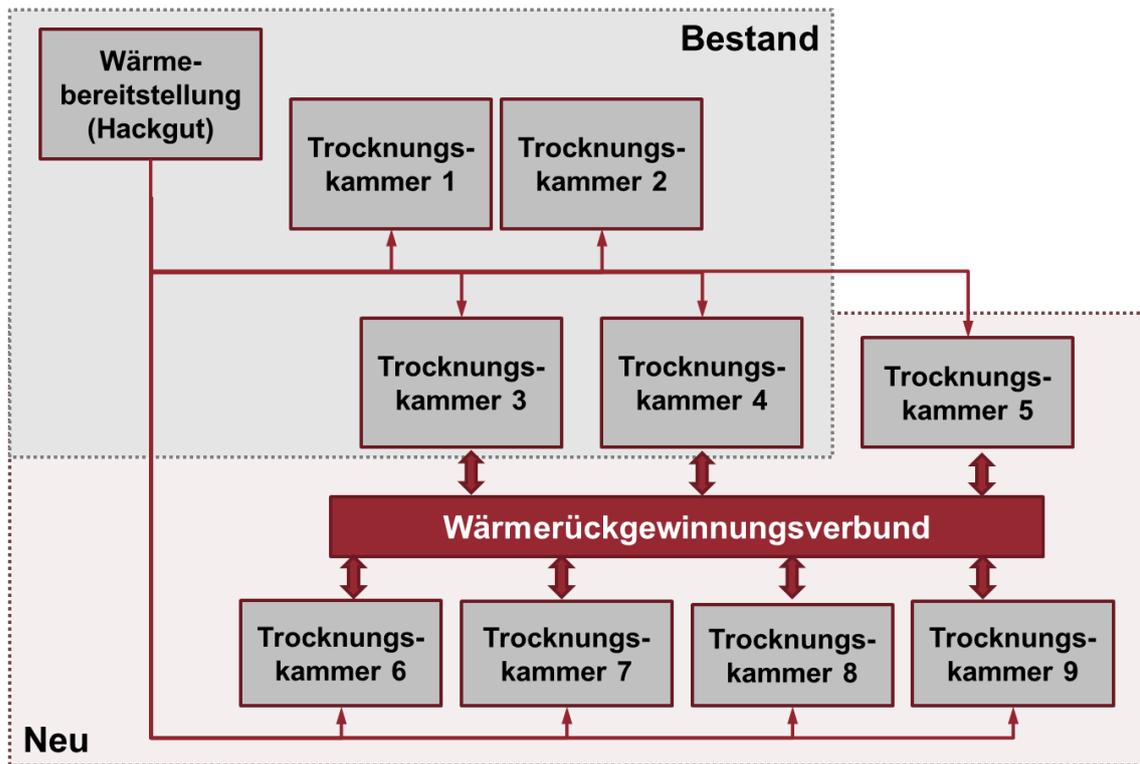


Abbildung 7: Schematische Darstellung der wesentlichen Anlagenbestandteile des Vorhabens nach Überarbeitung des Anlagenkonzeptes

Die Bestellung für dieses überarbeitete Konzept bei der Firma Mühlböck wurde im Juni 2012 ausgelöst, ebenso der Auftrag für die Statik der Bodenplatte. Erdarbeiten, Fundamente, Bodenplatte sowie elektrische und heiztechnische Anbindung der neuen Trockenkammern wurden von September 2012 bis Dezember 2012 durchgeführt bzw. hergestellt. Im Rahmen der Endverhandlungen des Angebots und der Bestellung bei der Firma Mühlböck für die neuen Trockenkammern wurde die Montage und der Ausbau der neuen Trockenkammern für Januar 2013, deren Inbetriebnahme für April 2013 vereinbart. Die Demontage und Montage der Energieeinkopplung (Umbau) der bestehenden Trockenkammern wurde in den Endverhandlungen des Angebots mit der Firma Mühlböck im Mai 2013 vereinbart.

Nachfolgend wird der Verlauf des Projekts mit einigen Bildern dokumentiert.

Die Fundamente und die Bodenplatte wurden plangerecht fertiggestellt. Abbildung 8 zeigt die fertig gegossenen Fundamente, Abbildung 9 die Einbringung der Wärmedämmung und Abbildung 10 die Eisenbewehrung vor dem Gießen der Bodenplatte für die neuen Trockenkammern.



Abbildung 8: Herstellung der Fundamente der neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 30.10.2012)

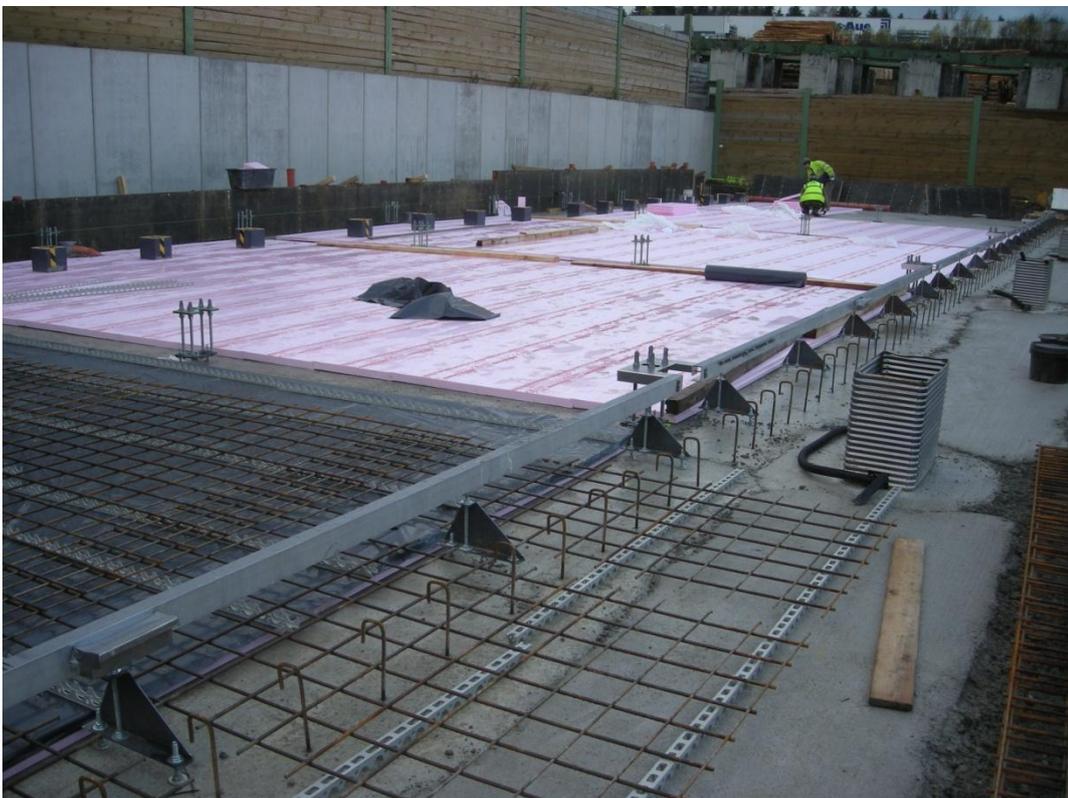


Abbildung 9: Wärmedämmung der Bodenplatte (Aufnahmedatum 05.11.2012)



Abbildung 10: Bewehrung der Bodenplatte vor dem Gießen der Bodenplatte (Aufnahmedatum 07.11.2012)

Abbildung 11 zeigt die fertige Bodenplatte für die neuen Trockenkammern, im Hintergrund ist die erste stehende Seitenwand erkennbar. Auf Grund von sperrigen Bauteilen (Bleche der Seitenwände, tragende Säulen, energietechnische Einrichtungen etc.) wurde der Platz der freien Bodenplatte als „Lagefläche“ für angelieferte Teile zwischengenutzt.



Abbildung 11: Übersicht über die Bodenplatte für die neu zu errichtenden Trockenkammern, im Hintergrund die bereits montierte linke Außenwand (Aufnahmedatum 10.01.2013)

Zusammen mit Fundament und Bodenplatte wurde auch die Energieversorgung der neuen Trockenkammern hergestellt, bestehend aus elektrischem Anschluss, siehe Abbildung 12, und Heizwasserrohre, siehe Abbildung 13.



Abbildung 12: Verlegung des elektrischen Anschlusses für die neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013)



Abbildung 13: Verlegung der Heizwasserrohre für die neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013)

Abbildung 14 und 15 zeigen die bestehenden („alten“) Trockenkammern, welche im Zuge der Gesamtmaßnahme noch umgebaut werden und in das Gesamtkonzept zur Energieeinkopplung integriert werden. Abbildung 15 erlaubt dabei auch einen Blick in eine mit feuchtem Holz befüllte Kammer, welche nach dem Schließen der Tore noch in den konventionellen Trocknungsbetrieb geht.



Abbildung 14: Blick auf die „alten“ Trockenkammern 3 und 4 vor Umbau zur Integration in das Wärmeversorgungskonzept (Aufnahmedatum 10.01.2013)



Abbildung 15: Blick in eine „alte“ Trockenkammer mit zu trocknendem Holz (Aufnahmedatum 10.01.2013)



Abbildung 16: Herr Pieper auf der Bodenplatte der neuen Trockenkammern bei Besichtigung der Arbeiten am 10.01.2013

Um eine „witterungsunabhängige“ Montage der neuen Trockenkammern zu gewährleisten, wurde eine provisorische Montagehalle errichtet (siehe Abbildung 17), in der die Wände der neuen Trockenkammern vor dem Aufstellen am endgültigen Ort montiert wurden (Abbildung 18 und 19). Zur Montage wurden dabei Monteure der Fa. Mühlböck als Anlagelieferant wie auch eigenes Personal eingesetzt.



Abbildung 17: Provisorische Montagehalle zum Zusammenbau der Wände der neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013)



Abbildung 18: Montage der Seitenwände der neuen Trockenkammern mit Personal der Fa. Mühlböck (blaue Overalls) wie auch eigenem Personal (grüne Overalls) beim Einbringen der Wärmedämmung (Aufnahmedatum 10.01.2013)



Abbildung 19: Verkleben der Wärmedämmung mit der Seitenwand (Aufnahmedatum 10.01.2013)

Um im späteren Regelbetrieb der Trockenkammern Beschädigungen der Wände durch Kanthölzer und Bohlen weitgehend zu vermeiden, werden die Wände ca. 10 cm aufgeständert und anschließend mit Beton unterfüttert. Abbildung 20 zeigt das aus der Bodenplatte ragende Armierungseisen und Abbildung 21 eine montierte Wand, der unterfütterte Beton fehlt noch. Sollte ein Gabelstapler ein Kantholz oder eine Bohle, welche unter einen Stapel zu trocknendes Holz gelegt werden, beim Befüllen oder Entleeren der Trockenkammer versehentlich verschieben, wird das Kantholz oder die Bohle gegen den Beton geschoben und nicht „durch“ die Wand.



Abbildung 20: Befestigungspunkte zur Aufständering der Wände zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen beim Befüllen und Entleeren der Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013)



Abbildung 21: Aufständering der Wände zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen beim Befüllen und Entleeren der Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013)

Die erste montierte Seitenwand der neuen Trockenkammern und der Schichtaufbau der Wände ist in der Abbildung 22 zu erkennen.



Abbildung 22: Erste montierte Seitenwand der neuen Trockenkammern (mit elektrischen Anschluss zur Energieversorgung) und Schichtaufbau (Metallverkleidung – Wärmeschutzschicht – Metallverkleidung) der Wände (Aufnahmedatum 10.01.2013)

Von der Fa. Mühlböck wurden die neuen Trockenkammern in Einzelteile „als Bausatz“ in einzelnen Paketen ausgeliefert (vgl. Abbildung 23 und 24), welche vor Ort montiert wurden. Die Metallbahn der Seitenwände, die Träger der Wände und die gesamten energietechnischen Einrichtungen konnten jeweils nur als ein Stück geliefert werden, so dass trotz Vor-Ort-Montage noch große und auch schwere Teile über die Straße angeliefert werden mussten.



Abbildung 23: Auslieferungszustand der neuen Trockenkammern für Anbauteile (Aufnahmedatum 10.01.2013)



Abbildung 24: Auslieferungszustand der neuen Trockenkammern (Aufnahmedatum 10.01.2013)

Durch die Einrichtung der provisorischen Montagehalle war ein permanenter Arbeitsfortschritt auch während extremer Witterungsverhältnissen möglich. Zum Aufbau der Trockenkammern waren ein Baukran, zwei externe sowie zwei eigene Hebebühnen im Einsatz. Der Einsatz von zusätzlichen eigenen Hebebühnen hatte dafür gesorgt, dass eine permanente Montierung möglich war. Damit konnte der Projektplan trotz des strengen und harten Winters (Januar bis Februar 2013) eingehalten werden.

Der Bau der fünf neuen Trockenkammern begann mit dem Neubau der Trockenkammern 5-9 am 08. Januar 2013. Zum 22. März 2013 waren alle neuen Trockenkammern aufgebaut.

Die Umbauarbeiten an den weiteren Trockenkammern 3-4 starteten am 08. April 2013. Der Fertigstellungstermin für alle Trockenkammern war für den 19. Juli 2013 geplant und wurde auch gehalten. Auf der Baustelle waren zu diesem Termin nur noch Kleinigkeiten fertig zu stellen, wie Elektroarbeiten, die Steuerung der Trockenkammern 1-4 sowie die Verschaltung aller Anlagenkomponenten.

In der nachfolgenden Abbildung 25 ist ein Gesamtblick auf die Trocknungsanlagen aus nördlicher Richtung zu sehen, um die Lage der Trockenkammer 1-9 zu verdeutlichen.



Abbildung 25: Blick auf die Gesamtanlage mit allen Trockenkammern (Aufnahmedatum 04.07.2013)

Rechts im Bild sind die neuen Trockenkammern 5-9 zu sehen. Die Brücke zwischen den Trockenkammern verbindet die Luftseiten der Trockenkammern 5-9 mit den Trockenkammern 3-4. Links sind die Trockenkammern 3-4 und weiter links die Trockenkammern 1-2 zu sehen.

Nach dem neuen Mühlböck-System mit insgesamt 7 Trockenkammern (3-4 und 5-9) wird die Abwärme über einen Wärmetauscher für die gesamte Einheit genutzt. Die bestehenden Trockenkammern 1 und 2 arbeiten bisher noch nach dem herkömmlichen System, d.h. die nasse Luft wird nach außen abgegeben. Von der Firma Mühlböck wurde neu in das Gespräch gebracht, die Trockenkammern 1 und 2 in das Gesamtsystem einzubinden, indem die nasse Luft über Rohre den Trockenkammern 3 und 4 zugeführt wird und damit in das ganze System eingespeist wird. Dies wurde dann auch umgesetzt.

Die nachfolgende Abbildung 26 zeigt die Frontalsicht auf die Trockenkammern 5-9 und verdeutlicht den zusätzlichen Anbau von Schutzblechen mit Vordach (insgesamt 10 Stück an den Trockenkammern 5-9). Diese wurden nachträglich eingeplant und installiert.



Abbildung 26: Schutzbleche mit Vordach an den Trockenkammern 5-9 (Aufnahmedatum 04.07.2013)

Im Vortrocknenprozess wird die Luft umgedreht, da die Luft mit 30 Grad aus dem oberen Luftraum gezogen wird. Beim Nachtrocknen geht nasse Luft über den Wärmetauscher raus und neue Luft wird über den Wärmetauscher in den oberen Luftraum wieder eingebracht. Da dabei Kondensablagerungen möglich sind, wurden die Schutzbleche als Schutzvorrichtung angebracht, die besonders bei Schnee und Frost von Vorteil sind.

Das Trocknen von Holz in den neuen Trockenkammern 5-9 war im Januar 2013 bereits möglich und erfolgte nach dem neuen System. In der nachfolgenden Abbildung 27 ist die Trockenkammer 6 gefüllt zu sehen, wobei auf den Holzstapeln Betonplatten zu sehen sind. Die Betonplatten verhindern, dass sich das Holz während des Trocknungsprozesses verzieht oder verdreht.



Abbildung 27: Trockenkammer 6 mit Holzstapeln gefüllt (Aufnahmedatum 04.07.2013)

Die Trockenkammern 3+4 (Abbildung 28) waren Anfang Juli 2013 noch nicht in Betrieb und wurden noch umgebaut.



Abbildung 28: Umbau Trockenkammer 3-4 (Aufnahmedatum 04.07.2013)

Die Trockenkammern 1-4 waren zum 19. Juli 2013 betriebsbereit und Ende Juli 2013 war die Steuerung so optimiert, daß alle Kammern betriebsbereit zur Verfügung standen. Somit war ab August 2013 der Testbetrieb mit Feinabstimmung durch die Programmierer und der Beginn der Erfolgskontrolle möglich.

Die nachfolgende Abbildung 29 wurde in den Trockkammern 5-9 aufgenommen. Abgebildet ist der Wärmetauscher. Hinter der Holzverkleidung befindet sich ein verkleideter Wärmekanal durch den die nasse heiße Luft strömt. Der Luftraum ist der Warmluftspeicher.



Abbildung 29: Inner Bereich der Trockenkammer mit Abbildung eines Wärmetauschers (Aufnahmedatum 04.07.2013)

Abbildung 30 zeigt die Verbindungskanäle zwischen den Luftspeichern über den Trockenkammern 3-4 und Trockenkammern 5-6. Der „offene“ Kanal (unten) zeigt den „Kaltluftkanal“, der geschlossenen Kanal (oben) den Heißluftkanal.



Abbildung 30: Offener Teil eines Wärmekanal (Aufnahmedatum 04.07.2013)

Links auf der Abbildung 31 sind die Trockenkammern 3 und 4 rechts die Trockenkammern 5 bis 9 zu sehen. Über der Hubbühne sind die Verbindungskanäle zwischen den Luftspeichern dargestellt (vgl. Abbildung 30), welche von Außen betrachtet nur als ein Kanal zu erkennen sind.



Abbildung 31: Luftbrücke, die die Trockenkammern miteinander verbindet (Aufnahmedatum 04.07.2013)

## 2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zur Errichtung der Anlage war eine Baugenehmigung erforderlich. Die für den Betrieb der Anlage erforderlichen Konformitätserklärung der Fa. Mühlböck liegt vor. Sie befindet sich im Anhang zu diesem Bericht. Sicherheitstechnisch ist die Anlage abgenommen.

## 2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Bei der Durchführung des Messprogramms sind folgende Parameter zu messen bzw. zu bestimmen, um die entsprechenden Kennwerte bilden zu können:

- Wärmeenergieeinsatz für die Trocknung von Holz (in kWh)
- Stromeinsatz für die Trocknung von Holz (in kWh<sub>el</sub>)
- Menge an getrocknetem Holz (in m<sup>3</sup>)
- Holzparameter vor und nach der Holz Trocknung
  - wie Holzfeuchte,
  - Temperatur,
  - Holzqualität (falls vorhanden Trocknungsspannungen und Verformungen, Risse, Farbveränderungen)
- Durchschnittlicher spezifischer Energieeinsatz (kWh/m<sup>3</sup>) pro getrockneter Menge Schnittholz
- Eingesparte Menge an Holz zur Energieerzeugung (in m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup>) getrocknetes Schnittholz
- Spezifischer Energieeinsatz (kWh/kg) je kg ausgetriebenes Wasser

Auf dem „Anlagencomputer“ der Fa. Mühlböck werden nachfolgende Werte fortlaufend erfasst:

- Endfeuchte Holz (%)
- Verbrauch Wärmeenergie (kWh oder MWh oder ähnliches)
- Verbrauch elektrische Energie (kWh oder MWh oder ähnliches)
- Trockenprogramm
- Startzeit, Endzeit, ....

Die Anfangsfeuchte kann nur indirekt aus dem zu trocknendem Holz (Hauptware im Durchschnitt 75 % / Seitenware 95 %) bestimmt werden, da die bestehende Messung der Anfangsfeuchte in den Trockenkammern Prinzip bedingt zu ungenau ist (Endfeuchte wird jedoch genau erfasst!). Um die jeweilige Kammerbelegung mit Haupt- und Seitenware bestimmen zu können, sind aus den Laufzetteln (Exceldatei Fa. Pieper) die entsprechenden Werte hinsichtlich Holzabmessungen etc. sowie Trocknungsdatum zu entnehmen.

Die Messungen für die neue Anlage wurden mit Inbetriebnahme der Anlage gestartet; die Auswertung umfasst einen Zeitraum von Anfang November 2013 bis Mitte Februar 2014.

### **3. Ergebnisse**

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

Insgesamt konnte das Vorhaben im geplanten Zeitrahmen durchgeführt werden. Die Zusammenarbeit zwischen Anlagenlieferant und Fördernehmerin war von gegenseitigem Vertrauen und Verlässlichkeit geprägt.

Durch die am Errichtungsstandort herrschenden (bekannten) klimatischen Bedingungen mussten einige Vorkehrungen getroffen werden, um den Zeitplan einhalten zu können. Insbesondere wurde von der Fördernehmerin im Frühjahr 2013 wegen der (erwarteten) schlechten Witterung für die Montagearbeiten eine provisorische Montagehalle errichtet.

Wie auch das Messprogramm zeigte, ist bei der Inbetriebnahme einer solch neuen innovativen Anlagentechnik eigentlich kein fester „Inbetriebnahmezeitpunkt“ zu definieren, sondern muss eine gleitende Inbetriebnahmephase berücksichtigt werden. Für die Nutzung der Möglichkeiten dieser innovativen Anlagen waren nach der Inbetriebnahme neben noch erforderlichen technischen Optimierungen auch die Schulung der Mitarbeiter von entscheidender Bedeutung.

Das genehmigte begleitende Messprogramm war sehr hilfreich für die Fördernehmerin, da über die Auswertungen in der Inbetriebnahmephase wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich Schulungsbedarf des Bedienpersonals und des erforderlichen technischen Optimierungsbedarfs gewonnen wurden. Bei Anlagen dieser Dimension ist jedoch insgesamt das zur Verfügung stehende Budget für das begleitende Messprogramm als nicht ausreichend zu bezeichnen.

#### **3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms**

##### **3.2.1 Grundlagen Messprogramm**

In Frischholz ist Wasser auf zwei verschiedene Arten eingelagert:

- als freies Wasser in Zellhohlräumen
- als chemisch gebundenes Wasser in den Zellen.

Bei der Trocknung wird zunächst das freie Wasser vom Holz abgegeben. Der Punkt, an dem gerade kein freies Wasser im Holz enthalten ist, wird Fasersättigungsbereich genannt. Unterhalb des Fasersättigungsbereichs ist nur noch chemisch gebundenes Wasser im Holz. Bezüglich der Holz Trocknung ist der Fasersättigungsbereich in sofern von Bedeutung, als eine Trocknung oberhalb des Fasersättigungsbereichs mit niedriger Temperatur durchgeführt werden kann, da nur die Verdunstungsenergie für das Wasser zur Holz Trocknung eingebracht werden muss. Die Trocknung wird im wesentlichen davon bestimmt, wie viel Wasser die Trocknungsluft aufnehmen kann. Wesentliche Einflussgröße ist dabei die relative Luftfeuchte der Trocknungsluft. Bei jeder Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte würde bei einer „unendlichen“ Trocknungszeit Holz bis zu einer bestimmten Holzfeuchte Wasser an die umgebende Luft abgeben. Diese Holzfeuchte wird auch Gleichgewichtsfeuchte  $u_{gl}$  genannt. Über diese  $u_{gl}$  wird üblicherweise der Trocknungsprozess gesteuert.

Unterhalb des Fasersättigungsbereichs muss zur Verdunstungsenergie auch noch Energie aufgebracht werden, um das chemisch gebundene Wasser aus den Zellen herauslösen zu können. Um dabei zu vertretbaren Trocknungszeiten zu gelangen, wird üblicherweise unterhalb des Fasersättigungsbereichs, daher mit höheren Temperaturen (über 60 °C) getrocknet.

Der Fasersättigungsbereich liegt bei heimischen Hölzern im Bereich von 25 bis 35 % Holzfeuchte. Die Holzfeuchte  $u$  ist dabei definiert als

$$u = m_{\text{(Wasser)}} / m_{\text{(Trockensubstanz)}}$$

Jahreszeitlich kann die Feuchte von Frischholz zwischen 120 % und 65 % schwanken. Dabei kommt es auch innerhalb eines Stammes zu unterschiedlichen Holzfeuchten. Der Kern eines Stamms führt tendenziell weniger Wasser als die äußeren Bereiche. Aus dem Kernbereich wird in Sägewerken die sogenannte Hauptware gefertigt (im wesentliche Kanthölzer), von den äußeren Bereichen wird die sogenannte Seitenware (meist „Bretter“) gefertigt. Die Fördernehmerin geht daher davon aus, dass im Herbst und Winter zu trocknende Hauptware mit ca. 75 % Feuchte in den Trockner gelangt, Seitenware mit ca. 95 %. Diese Werte entsprechen den langjährigen Erfahrungen der Fördernehmerin und des Anlagenlieferanten.

Als SOLL-Wert für das getrocknete Holz muss eine Feuchte zwischen 15 % und 20 % erreicht werden. Dies bedeutet, dass je  $\text{kg}_{\text{TS}}$  Holz an Wasser zwischen  $0,63 \text{ kg}_{\text{Wasser}}$  und  $0,95 \text{ kg}_{\text{Wasser}}$  getrocknet bzw. dem Holz entzogen werden muss.

Die gängigen Messverfahren zu Holzfeuchtemessung liefern üblicherweise nur unterhalb des Fasersättigungsbereichs zuverlässige Werte. Oberhalb des Fasersättigungsbereichs ist ein Wiegen des Holzes vor und nach dem Trocknen erforderlich. Für einen kompletten Trocknungsvorgang in einer neuen Trockenkammer wurden daher Holzproben zu verschiedenen Trocknungszeitpunkten verwogen. Über die Gewichtsabnahme wurde dabei die getrocknete Wassermasse bestimmt.

Der Energieverbrauch zur Holz Trocknung wird im Wesentlichen von der Masse an Wasser, welches dem Holz „entzogen“ werden muss, bestimmt. Das zu trocknende Holzvolumen spielt physikalisch eine untergeordnete Rolle. Da in der betrieblichen Praxis das zu trocknende Holzvolumen jedoch besser bestimmt werden kann als die Anfangsfeuchte bei Trocknungsbeginn, werden spezifische Energieverbrauchs-kennzahlen meist bezogen auf das Holzvolumen angegeben. Bei Antragstellung wurden auf Grund der langjährigen Erfahrung der Fördernehmerin und des Anlagenlieferanten ein spezifischen Energieeinsatz (bezogen auf das Holzvolumen) von  $224 \text{ kWh/m}^3$  angenommen, welcher auf  $112 \text{ kWh/m}^3$  durch die innovative Holz Trocknung reduzierte werden sollte.

Der Wärmeübergang von der Energie der Trocknungsluft auf das Wasser einerseits, aber auch der Wassertransport vom Holzinneren an die Oberfläche und weiter in die Trocknungsluft hängt von der Geometrie des zu trocknenden Holzes ab. Dünne Bretter können daher grundsätzlich schneller trocknen als massive Kanthölzer. Daher wurden neben der Wassermasse und dem Holzvolumen (Gesamtvolumen) auch die Abmessungen des Trocknungsholzes erfasst. Eine Charakterisierung des zu trocknenden Holzes erfolgt über das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen, A/V-Verhältnis genannt. Kanthölzer haben relativ niedrige A/V-Verhältnisse während „dünne Bretter“ ein hohes A/V-Verhältnis aufweisen.

Die im Messprogramm zu messenden und zu berechnenden Werte wurden in Kapitel 2.5 beschrieben. Das Messprogramm wurde mit folgenden grundlegenden Annahmen durchgeführt:

- Um eine Verzerrung der Anfangsfeuchte des zu trocknenden Holzes möglichst auszuschließen, bestand das ursprüngliche Messkonzept darin, nur Trocknungen aus vergleichbaren Zeiträumen (Vergleichszeitraum) auszuwerten, mit der Annahme, dass das eingebrachte Holz dann gleiche Ausgangsfeuchten besitzt. Dieser Vergleichszeitraum umfasst November bis Januar. Für die bestehende Anlage wurde dabei der Zeitraum von November 2012 bis Januar 2013, für die neue Anlage von November 2013 bis Januar 2014 herangezogen.
- Um ggfs. Änderungen im zu trocknenden Produktspektrum zu erfassen, wurden je Trocknung sowohl das Volumen wie auch die Oberfläche des Holzes erfasst. Daraus wurde das Oberflächen zu Volumenverhältnis (A/V-Verhältnis) gebildet. In Trocknungen mit kleinen A/V-Verhältnissen wurde im wesentlichen Hauptware (Kanthölzer) getrocknet, in großen A/V-Verhältnissen im Wesentlichen Seitenware („dünne Bretter“).

Das Messprogramm zeigte, dass das Bedienpersonal hinsichtlich der effizienten Betriebsweise der Anlage geschult werden musste und noch einige technische Optimierungen seitens des Lieferanten an der Anlage erforderlich wurden. Für das Messprogramm wurden daher 4 Zeiträume betrachtet:

- IST-Zustand der Altanlage ALT
- SOLL-Zustand der Neuanlage nach Inbetriebnahme NEU(INB)
- SOLL-Zustand der Neuanlage nach Durchführung der Schulung NEU(SCH)
- SOLL-Zustand der Neuanlage nach technischer Optimierung NEU(TOP)

Darüber hinaus wurde überprüft, ob zu den verschiedenen Zeitpunkten „vergleichbare“ Produktspektren getrocknet wurden. Dies erfolgte an Hand des A/V-Verhältnis der Beladungen der Trockenkammern und an Hand der Wassermengen, die je  $\text{m}^3$  Holz zu entziehend war (siehe Abbildung 32).

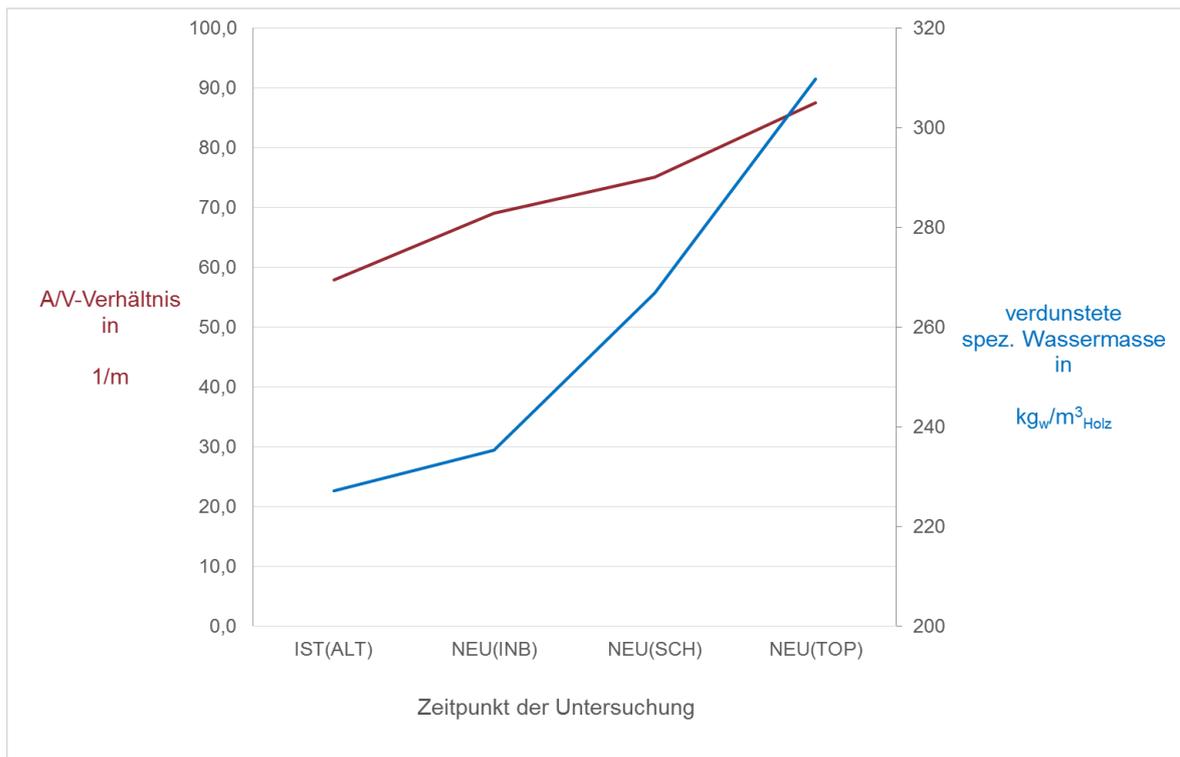


Abbildung 32: A/V-Verhältnis der ausgewerteten Chargen und zu verdunstende Wassermasse, um geforderte Endfeuchte erreichen zu können

Es zeigt sich, dass mit der neuen Anlage zunehmend mehr Seitenware getrocknet wird, da das A/V-Verhältnis und damit zwangsweise verbunden auch der Eintrag an Wasser in die Trockenkammer (bei gleichem in die Trockenkammer eingebrachten Holzvolumen) erheblich zunimmt. Dies bedeutet auch, dass der ermittelte Energieverbrauchskennwert je m<sup>3</sup> getrocknetes Holz für den IST-Zustand (ALT) entsprechend des neuen A/V-Verhältnisses korrigiert werden muss. Die Vorgehensweise hierzu wird in Kapitel 3.3 erläutert.

Negative Einflüsse der neuen innovativen Holz Trocknung auf die Qualität (Risse, Verzug, Farbeveränderungen etc.) der getrockneten Produkte konnten zu keinem Zeitpunkt und in keiner Charge festgestellt werden, so dass eine weiterführende Betrachtung zu diesem Aspekt entfallen kann.

### 3.2.1 Auswertung Altanlage (IST-Zustand)

Zur Erfassung des IST-Zustands wurden insgesamt 22 Holz Trocknungen (Chargen) in den bestehenden Trockenkammer 1 bis 4 ausgewertet. Abbildung 33 zeigt den spezifischen Wärmebedarf je m<sup>3</sup> getrocknets Holz der einzelnen Holz Trocknungen (Chargen).

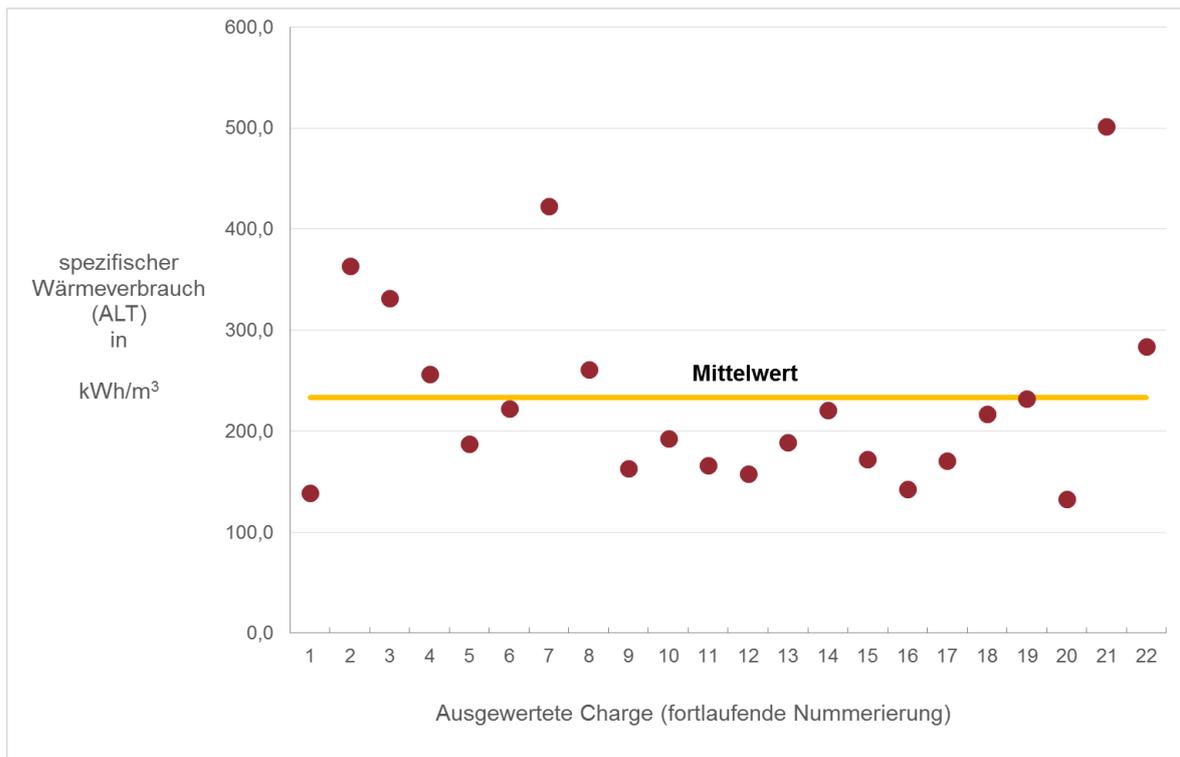


Abbildung 33: Ermittelter spezifischer Wärmebedarf je m<sup>3</sup> Holz der ausgewerteten 22 Holz Trocknungen zur Bestimmung des IST-Bedarfs

Insgesamt wird im durchgeführten Messprogramm ein Mittelwert für den spezifischen Wärmebedarf bezogen auf das Holzvolumen von

**233,1 kWh/m<sup>3</sup>**

zur Trocknung von Holz ermittelt.

Neben dem Wärmebedarf wurde auch der Strombedarf für die Trocknung ermittelt. In Abbildung 34 ist der spezifische Strombedarf je m<sup>3</sup> getrocknetes Holz dargestellt. Insgesamt wird ein Mittelwert für den spezifischen Strombedarf von

**14,7 kWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup>**

zur Trocknung von Holz ermittelt.

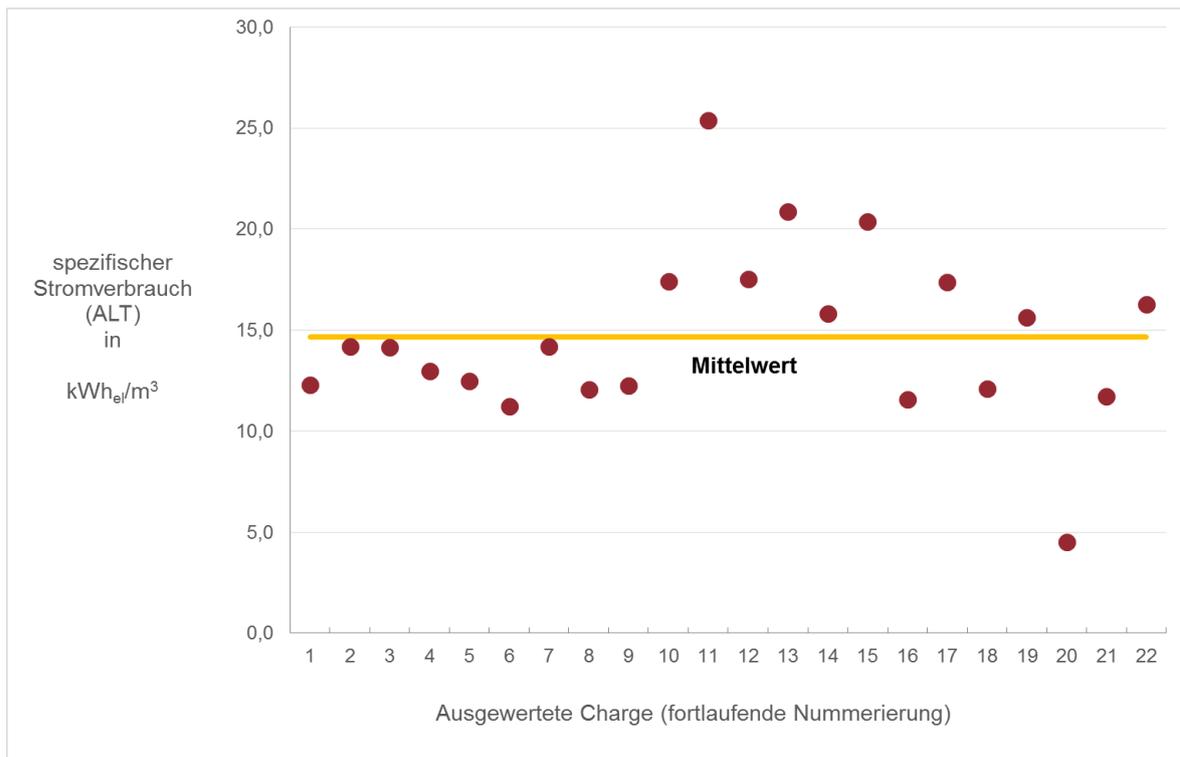


Abbildung 34: Ermittelter spezifischer Strombedarf der ausgewerteten 22 Holz Trocknungen zur Bestimmung des IST-Bedarfs

Die Auswertung des spezifischen Wärmebedarfs zeigt deutliche Spitzenwerte. Die Ursache hierfür ist, dass bei einer Trocknung von Seitenware je  $\text{m}^3$  Holz wesentlich mehr Wasser in die Trockenkammern eingetragen wird (bzw. Wassermasse entzogen werden muss), als bei Hauptware. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal von Haupt- zu Seitenware ist, dass Hauptware ein relativ kleines A/V-Verhältnis von Oberfläche zu Volumen besitzt (Kantholz), Seitenware hat dagegen ein relativ hohes A/V-Verhältnis („dünne Bretter“). In Abbildung 35 ist der spezifische Wärmebedarf je  $\text{m}^3$  Holz in Abhängigkeit des gemittelten Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen der Trockenkammerfüllungen dargestellt. Wie erwartet, steigt tendenziell der spezifische Wärmebedarf je  $\text{m}^3$  Holz mit steigenden A/V-Verhältnis an. Grund hierfür ist die mit der Seitenware eingebrachte höhere Wassermasse aus der höheren Holzfeuchte zu Beginn der Trocknung.

In Abbildung 36 wurde der spezifische Wärmebedarf je  $\text{kg}_{\text{Wasser}}$ , welches dem Holz entzogen wurde, über das A/V-Verhältnis dargestellt. Idealerweise sollte sich dabei eine Gerade ergeben. Der Anstieg des spezifischen Wärmebedarfs je  $\text{kg}_{\text{Wasser}}$ , welches dem Holz entzogen wurde, ist wesentlich geringer, als der auf das Holzvolumen bezogene spezifische Wärmebedarf. Hier muss jedoch auch festgestellt werden, dass lediglich zwei Chargen mit sehr hohen A/V-Werten in der Auswertung enthalten sind und dort Abweichungen vom langjährigen Mittel für die Ausgangsfeuchte überproportional bewertet werden. Die Achsskalierung wurde in beiden Abbildungen gleich gewählt, um Verzerrungen durch unterschiedliche Maßstäbe (bzw. Skalierungen) auszuschließen.

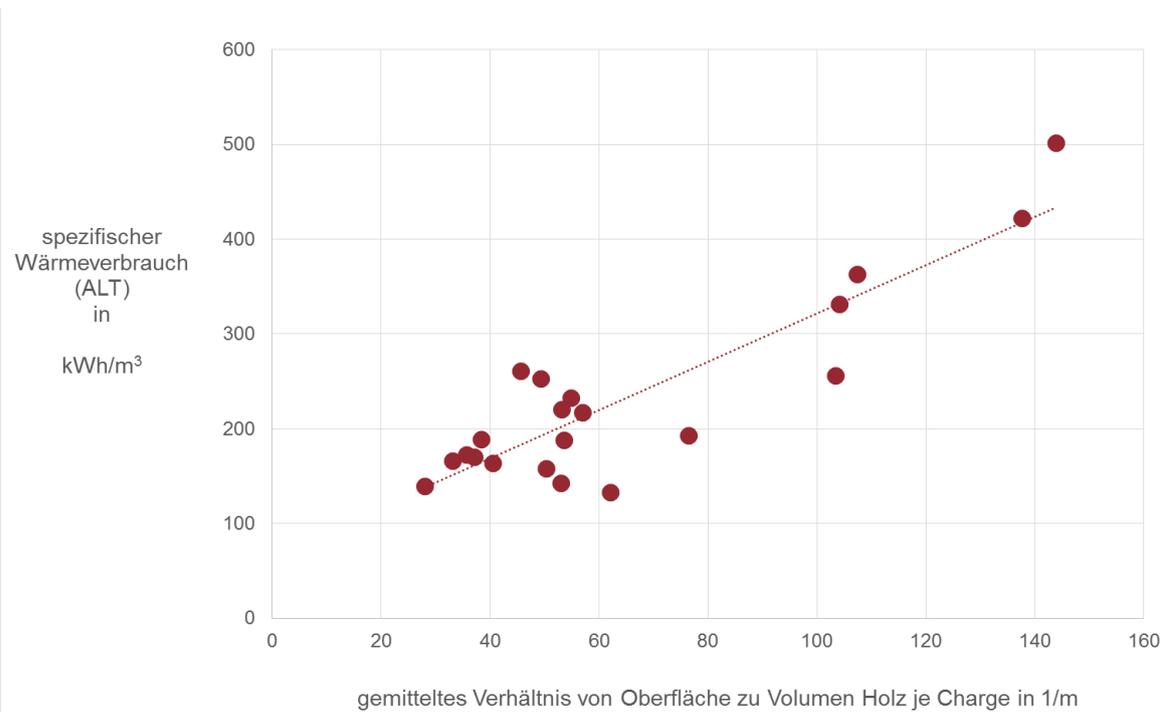


Abbildung 35: Spezifischer Wärmebedarf je  $m^3$  Holz in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware

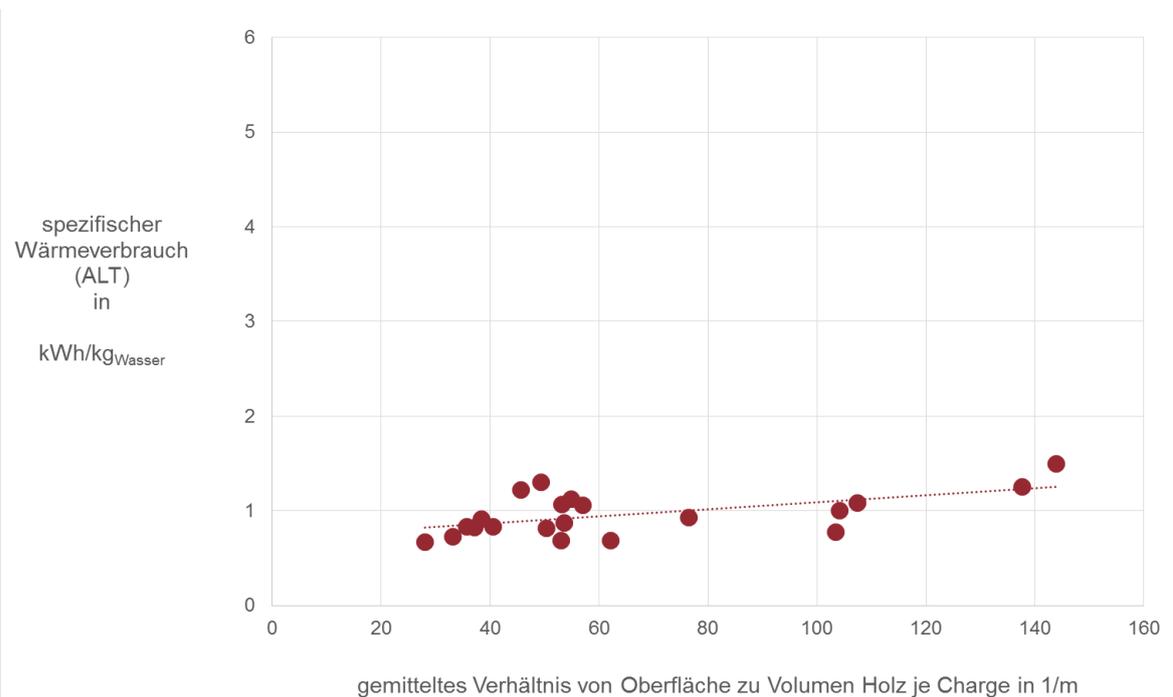


Abbildung 36: Spezifischer Wärmebedarf je  $kg_{Wasser}$  entzogenem Wasser in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware

Messtechnisch sehr gut erfasst sind die Verbrauchswerte für Wärme und elektrische Energie (Strom) sowie die der Volumenberechnung zu Grunde liegenden Holzabmessungen. Die spezifischen Energiverbrauchswerte je  $m^3$  Holz sind damit hinreichend genau zu ermitteln. Über die Definition der Feuchte des Holzes kann eine Umrechnung der volumenbezogenen Kennwerte auf Kennwerte je  $kg_{Wasser}$ , welches

dem Holz entzogen wurde, erfolgen. Bei dieser Berechnung von spezifischen Verbrauchswerten je  $\text{kg}_{\text{Wasser}}$  aus diesen volumenbezogenen Werten ergibt sich zum einen das Problem der Messung der Ausgangsfeuchte des Holzes (vgl. Anfang dieses Kapitels) und zum anderen muss auch die Dichte des Holzes (Trockensubstanz bzw. Darrzustand) bekannt sein. Mit folgenden Annahmen wurde in Abbildung 37 eine Umrechnung der volumenbezogenen spezifischen Energieverbrauchswerte auf die Wassermasse bezogenen Werte vorgenommen:

- Holzfeuchte Hauptware zu Beginn: 65 %
- Holzfeuchte Seitenware zu Beginn: 95 %
- Dichte Holz:  $430 \text{ kg/m}^3_{(\text{TS})}$

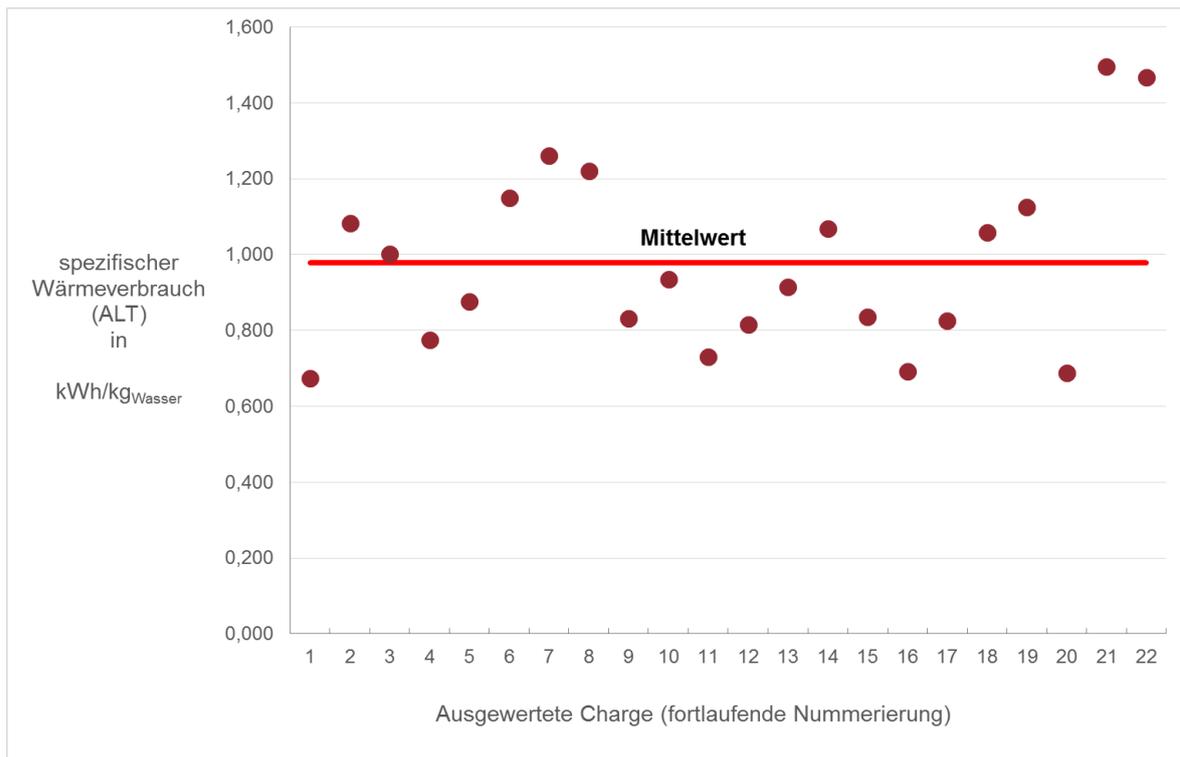


Abbildung 37: Ermittelter spezifischer Wärmebedarf je  $\text{kg}_{\text{Wasser}}$  der ausgewerteten 22 Holz Trocknungen zur Bestimmung des IST-Bedarfs

Damit liegen drei Chargen nahe am theoretischen Minimum für den Wärmebedarf von  $0,648 \text{ kWh/kg}_{\text{Wasser}}$ . Zu vermuten ist, dass einerseits die Anfangsfeuchten dieser Chargen geringer waren als angenommen, andererseits wurde die tatsächliche Holzdichte nicht ermittelt. Für die Bewertung der Effizienz des neuen Verfahrens für die Fördernehmerin spielen wasserbezogene Werte nur eine untergeordnete Rolle, da Sie immer auf ein ähnliches Rohmaterial zurück greift und immer einen entsprechenden Produktmix fertigen wird. Für die Fördernehmerin sind daher volumenbezogene Auswertungen hinreichend. Jedoch ist bei der Übertragung der in diesem Messprogramm ermittelten Messwerte auf Trocknungen mit anderen Rohmaterial etc. die Umrechnung auf wasserbezogene Werte erforderlich, da der Energiebedarf der Holz Trocknung prinzipiell von der Menge an zu entziehendem Wasser bestimmt wird. Die durchgeführten Auswertungen mit den angegebenen Annahmen führen insgesamt zu einem Mittelwert für den spezifischen Wärmebedarf je  $\text{kg}$  entzogenem Wasser von

**0,978 kWh/kg<sub>Wasser</sub>.**

### 3.2.2 Ergebnisse nach Inbetriebnahme NEU(INB)

Der Verlauf des kummulierten thermischen Energieeintrags der Heizung, der kummulierten Energieeintrag an elektrischer Energie sowie der Temperaturverlauf des Heizwasser in der innovativen Holz Trocknungsanlage sind exemplarisch in Abbildung 38 dargestellt.

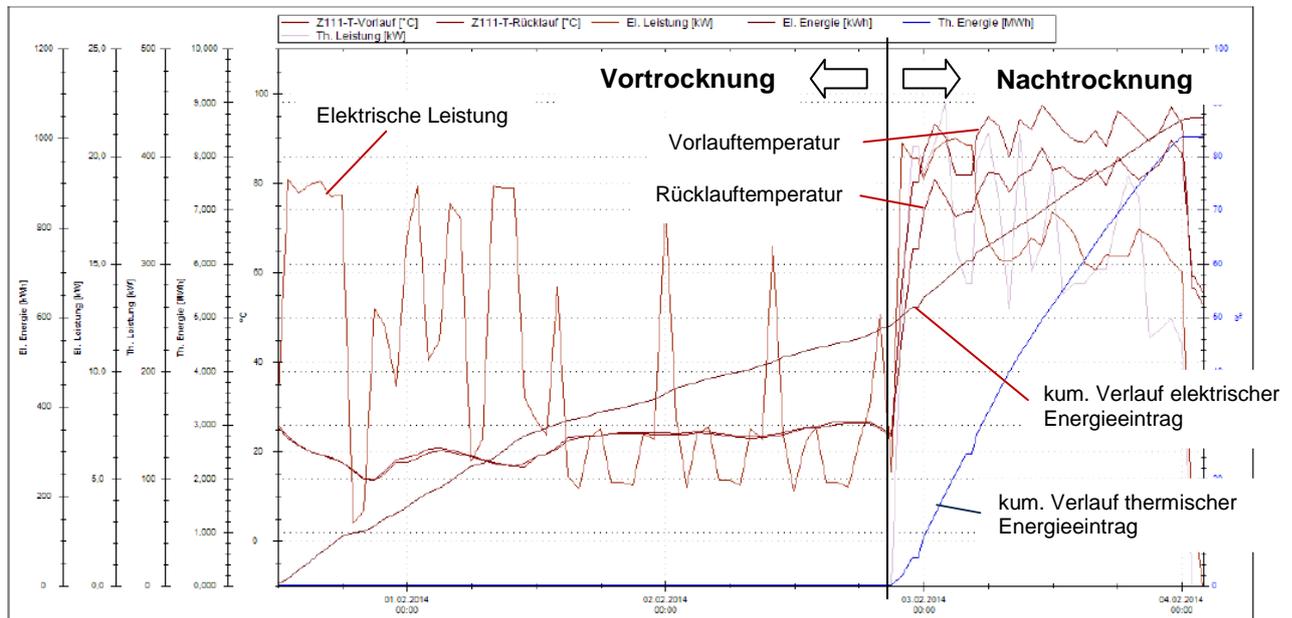


Abbildung 38: Prototypischer Verlauf einer Trocknung der innovativen Holz Trocknungsanlage mit Vor- und Nachtrocknung

Abbildung 38 zeigt, dass in der Vortrocknung ausschließlich Energie zur Trocknung über die Trocknungsluft eingetragen wird. Die Trocknungsluft erhält diese Energie aus der Wärmerückgewinnung der Anlage, d. h. aus der Abluft anderer Kammern, die sich im Nachtrocknungsprozess befinden.

Die nachfolgenden Abbildung 39, Abbildung 40, Abbildung 41 und Abbildung 42 zeigen die ermittelten Energieverbrauchswerte und Abhängigkeiten vom A/V-Verhältnis direkt nach Inbetriebnahme der Anlage. Insgesamt wurde ein durchschnittlicher spezifischer Verbrauch an thermischer Energie von

$$191 \text{ kWh/m}^3$$

erreicht. Für den durchschnittlichen spezifischen Verbrauch an elektrischer Energie wurde ein Wert von

$$14,7 \text{ kWh}_{el}/\text{m}^3$$

ermittelt. Beide Werte lagen damit erheblich über den Erwartungen, d. h. die erwartete Einsparungen konnte nicht erreicht werden.

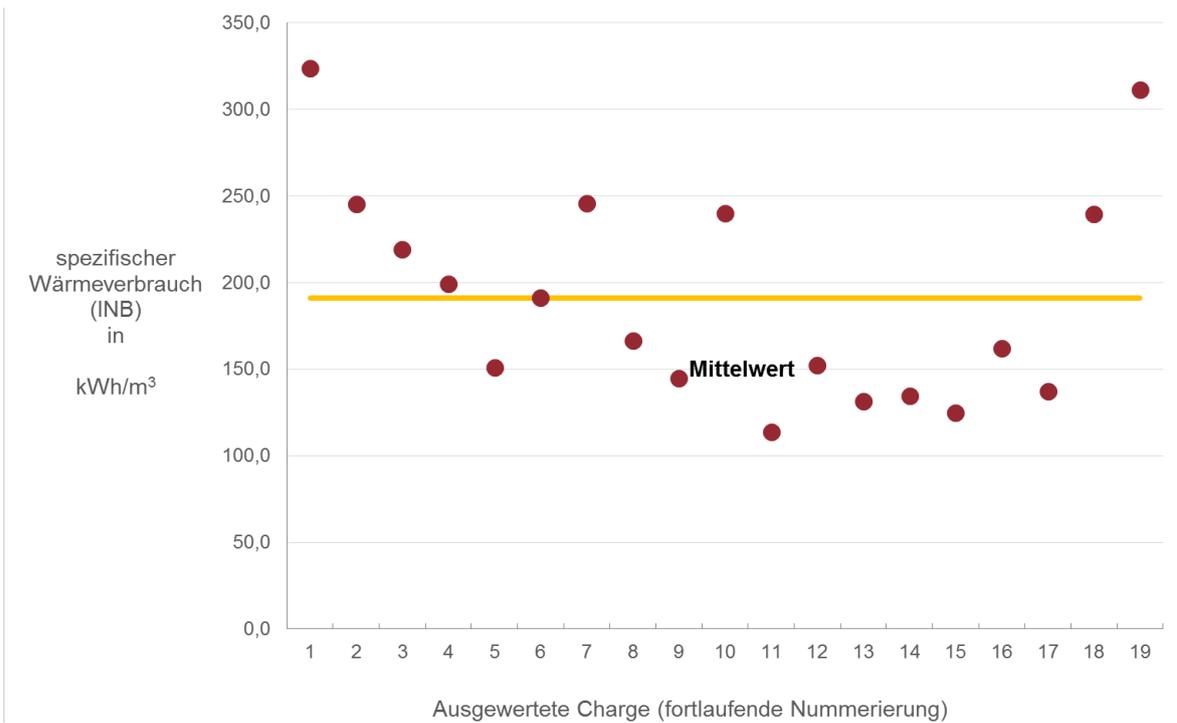


Abbildung 39: Ermittelter spezifischer Wärmebedarf je m<sup>3</sup> Holz der ausgewerteten 19 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Wärmebedarfs nach Inbetriebnahme der neuen Anlage

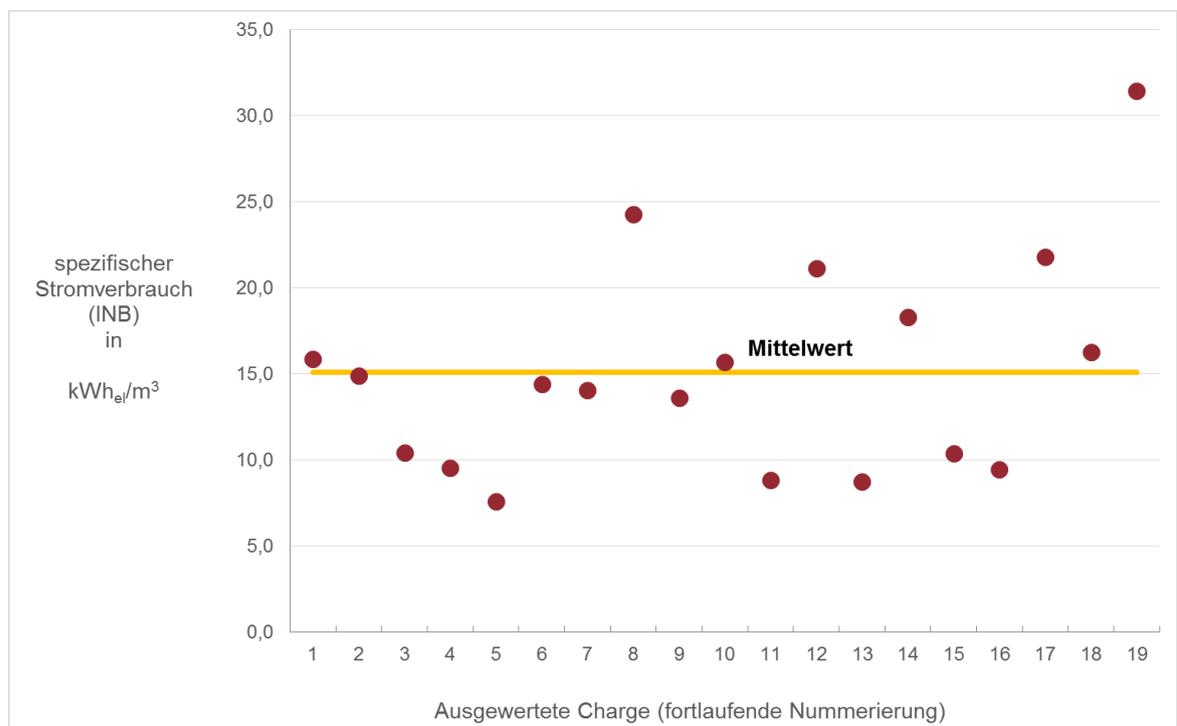


Abbildung 40: Ermittelter spezifischer Strombedarf der ausgewerteten 19 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Strombedarfs nach Inbetriebnahme der neuen Anlage

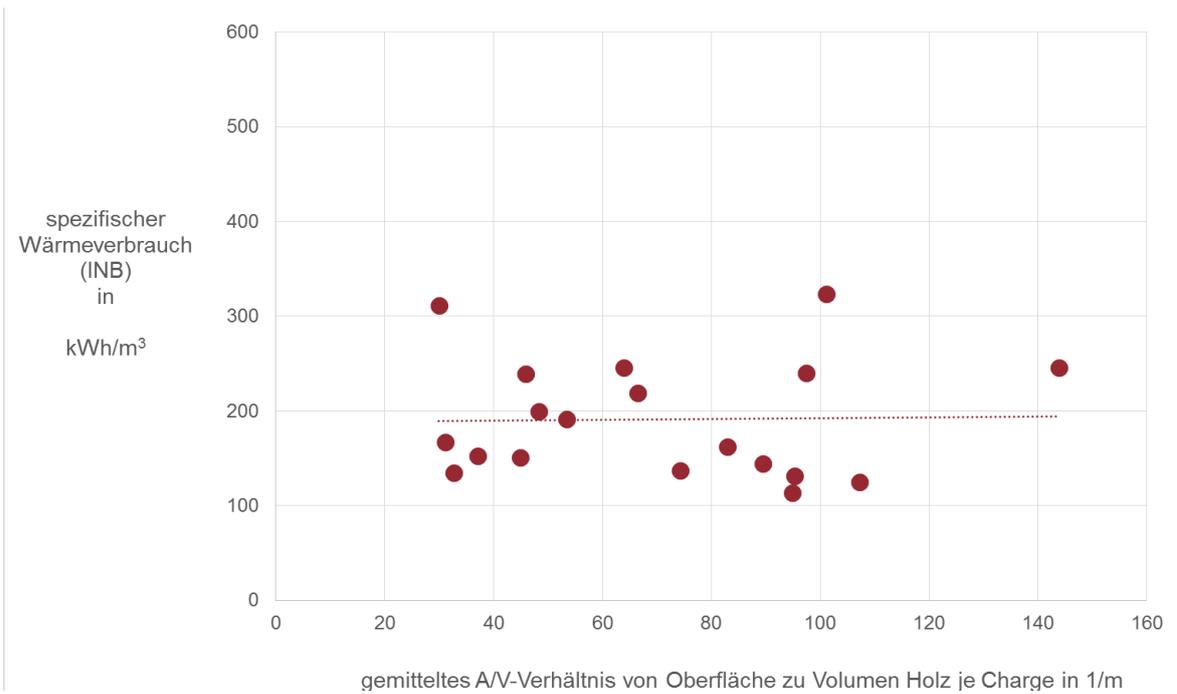


Abbildung 41: Spezifischer Wärmebedarf je  $m^3$  Holz in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware nach Inbetriebnahme der Neuanlage

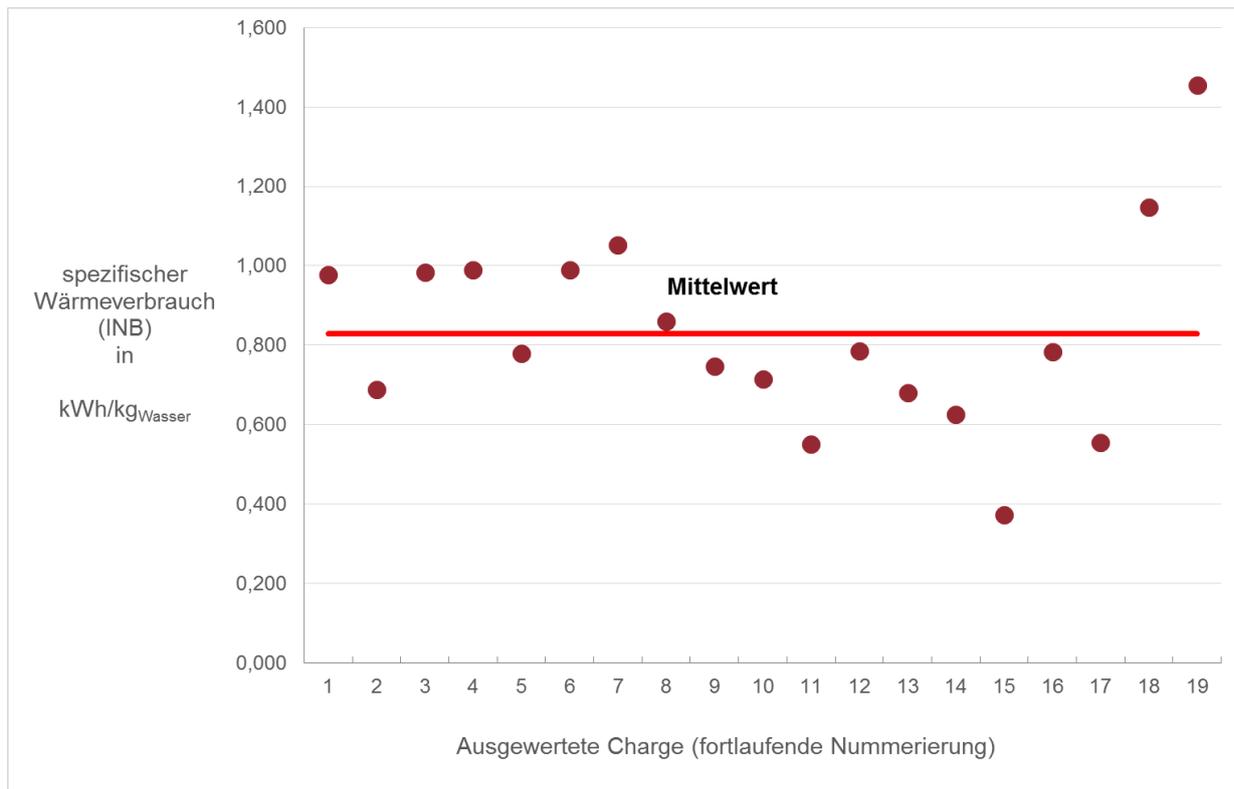


Abbildung 42: Spezifischer Wärmebedarf je  $kg_{Wasser}$  entzogenem Wasser der zu trocknenden Ware nach Inbetriebnahme der Neuanlage

Die durchgeführten Auswertungen mit den angegebenen Annahmen führen insgesamt zu einem Mittelwert für den spezifischen Wärmebedarf je kg entzogenem Wasser von

**0,842 kWh/kg<sub>Wasser</sub>.**

Die Analyse zeigte einerseits, dass alle Kammern der Anlagen häufig entweder im Vortrocknungs- oder Nachrocknungsbetrieb liefen. Andererseits wurde auch erkannt, dass das jetzt zu trocknende Produktspektrum sich gegenüber dem IST-Zustand geändert hatte (vgl. Abbildung 32 Seite 44). Darüber hinaus zeigte sich, dass die alten Kammern auf elektrischer Seite die Ventilatorantriebe bereits mit Frequenzumformern ausgerüstet waren und die Ventilatorlaufräder bereits strömungsoptimiert waren. Die Ausstattung der „alten“ Ventilatoren entsprach daher im Wesentlichen bereits den neuen Ventilatoren. Eine große Einsparung an elektrischer Energie war somit nicht zu erwarten.

Um ein ausgewogenes (erforderliches) Verhältnis zwischen Vor- und Nachrocknungsbetrieb zu erreichen, wurde das Bedienpersonal hinsichtlich der Funktionsweise der Anlage geschult. Ziel der Schulung war, den Betrieb der Anlage im „Wärmerückgewinnungsmodus“ sicher zu stellen.

### 3.2.3 Ergebnisse nach Schulung der Mitarbeiter NEU(SCH)

Die nachfolgenden Abbildung 43, Abbildung 44, Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen die ermittelten Energieverbrauchswerte und Abhängigkeiten vom A/V-Verhältnis nach Schulung der Mitarbeiter.

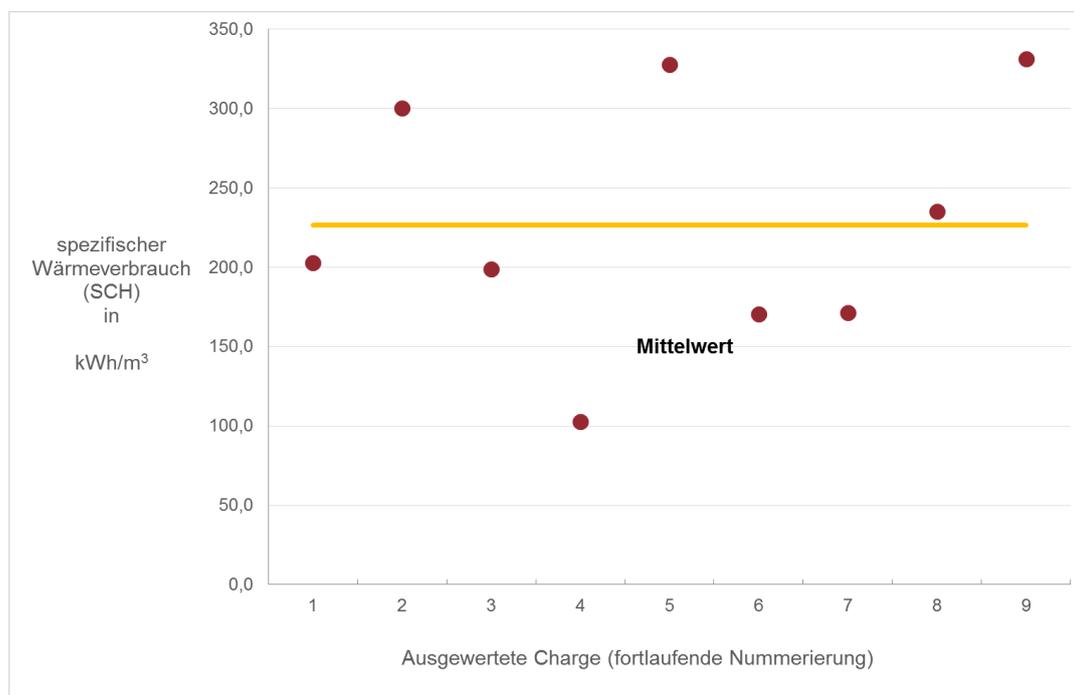


Abbildung 43: Ermittelte spezifische Wärmebedarf je m<sup>3</sup> Holz der ausgewerteten 9 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Wärmebedarfs nach der Schulung der Mitarbeiter

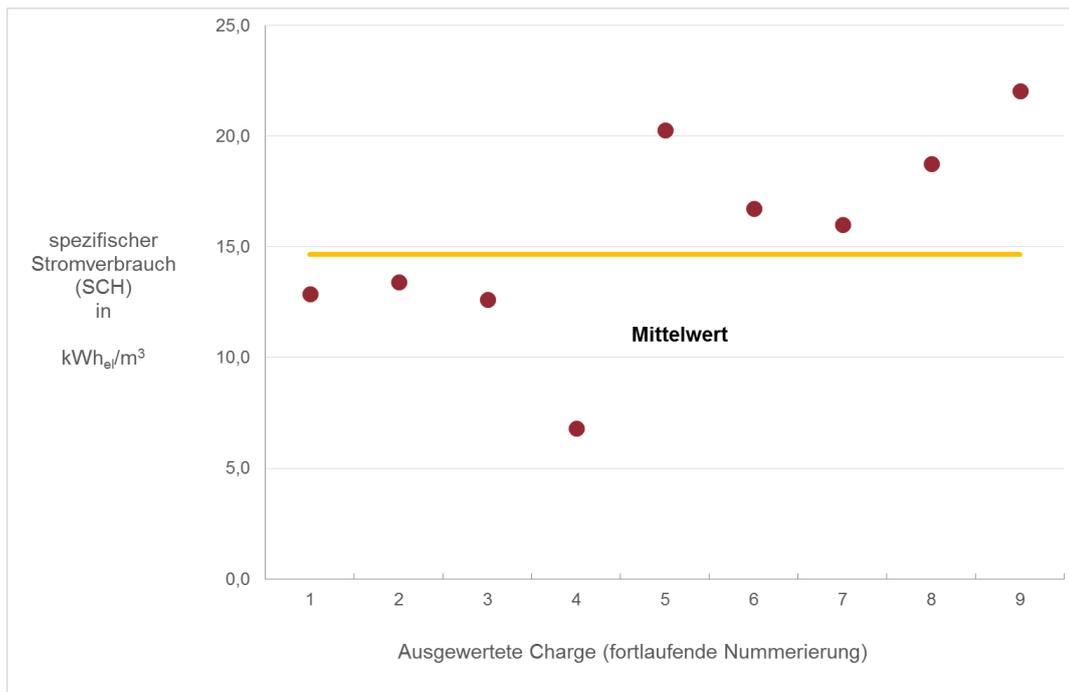


Abbildung 44: Ermittelte spezifischer Strombedarf der ausgewerteten der 9 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Strombedarfs nach der Schulung der Mitarbeiter

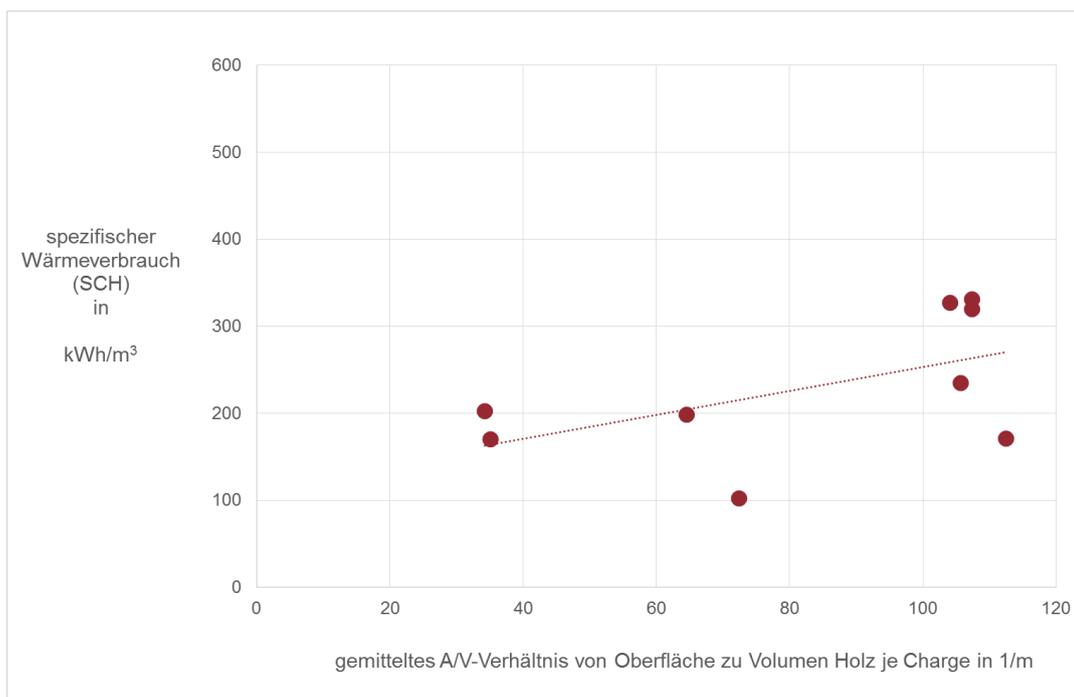


Abbildung 45: spezifischer Wärmebedarf je m<sup>3</sup> Holz in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware nach der Schulung der Mitarbeiter

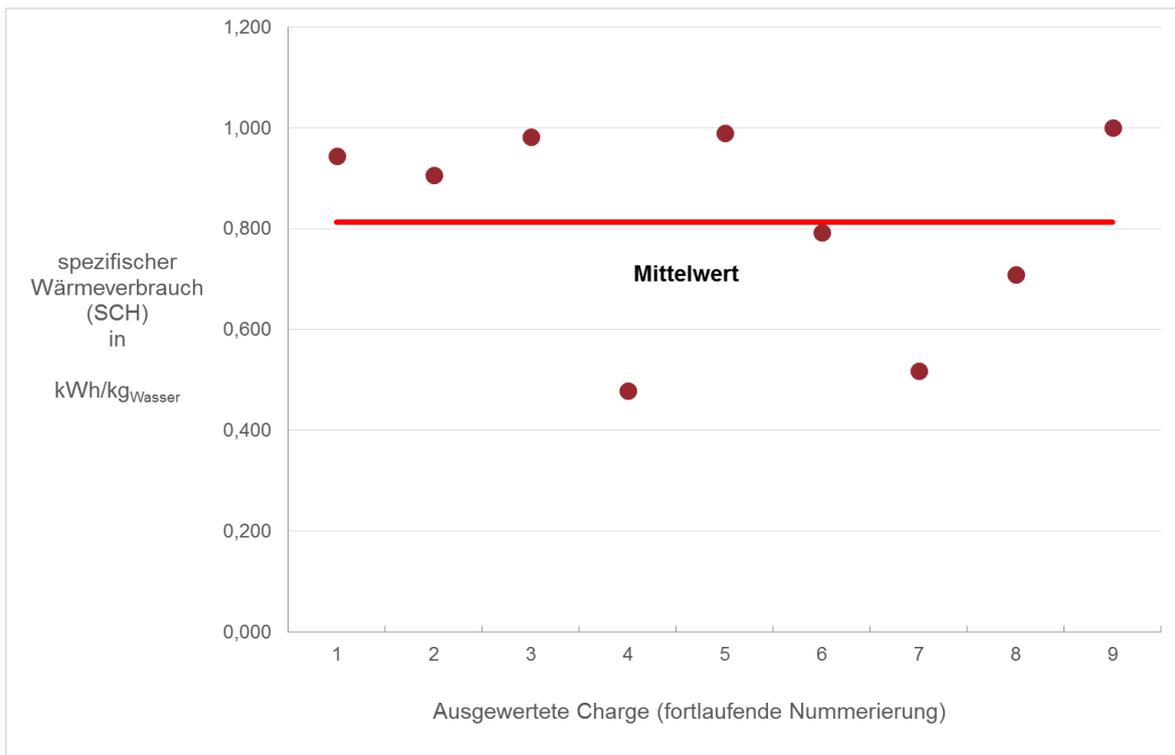


Abbildung 46: spezifischer Wärmebedarf je kg<sub>Wasser</sub> entzogenem Wasser der zu trocknenden Ware nach der Schulung der Mitarbeiter

Insgesamt wurde nach der Schulung der Mitarbeiter ein durchschnittlicher spezifischer Verbrauch an thermischer Energie von

**223 kWh/m<sup>3</sup>**

erreicht. Für den durchschnittlichen spezifischen Verbrauch an elektrischer Energie wurde ein Wert von

**14,6 kWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup>**

ermittelt. Beide Werte lagen damit immer noch erheblich über den Erwartungen; der spezifische Wärmebedarf stieg im Vergleich zum Zustand vor der Schulung sogar wieder an.

Die durchgeführten Auswertungen mit den angegebenen Annahmen führen insgesamt zu einen Mittelwert für den spezifischen Wärmebedarf je kg entzogenem Wasser von

**0,835 kWh/kg<sub>Wasser</sub>**

Die Analyse des Anlagenherstellers zeigte, dass Maßnahmen zur Strömungsoptimierung durchgeführt werden mussten. Insbesondere bei der Wärmerückgewinnung konnten Zustände erreicht werden, in denen zwar Abwärme aus den Nachrocknung zur Verfügung stand, jedoch von der Vortrocknung nicht genutzt wurde. Dies deutete auf eine ungenügende Durchströmung der Wärmeübertrager hin. Abhilfe wurde dadurch geschaffen, dass die Auslässe der Nachrocknungsabluft geändert wurden, um eine bessere Durchströmung der Wärmerübertrager zu erreichen.

Darüber hinaus wurde erkannt, dass eine Bewertung der Einsparung allein durch den statischen Vergleich des spezifischen Energieverbrauchs bezogen auf das Volumen

des zu trocknenden Holzes nicht zulässig ist. Das zu trocknende Produktspektrum hat sich grundlegend gegenüber dem IST-Zustand geändert. Zur energetischen Bewertung ist daher der spezifische Energieverbrauch bezogen auf das zu entziehende Wasser erforderlich. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die alte Anlage bei dem jetzt zu trocknendem Produktspektrum (mittleres A/V-Verhältnis) einen wesentlich höheren durchschnittlichen absoluten wie auch spezifischen Energieverbrauch gehabt hätte. Die Kennlinie der alten Anlage zeigt, dass bei steigenden Wassergehalten der spezifische Energieverbrauch der Anlage zunimmt (vgl. Abbildung 36). Daher muss für die Bestimmung der Einsparung ein Umrechnung des IST-Energieverbrauchs der alten Anlage auf das neue Produktspektrum erfolgen.

### 3.2.3 Ergebnisse nach technischen Optimierungsmaßnahmen NEU(TOP)

Die nachfolgenden Abbildung 47, Abbildung 48, Abbildung 49 und Abbildung 50 zeigen die ermittelten Energieverbrauchswerte und Abhängigkeiten vom A/V-Verhältnis nach der Durchführung der technischen Optimierungsmaßnahmen. Insgesamt wurde nach Durchführung der technischen Optimierungen ein durchschnittlicher spezifischer Verbrauch an thermischer Energie von

**200 kWh/m<sup>3</sup>**

erreicht. Für den durchschnittlichen spezifischen Verbrauch an elektrischer Energie wurde ein Wert von

**18,2 kWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup>**

ermittelt. Beide Werte werden jedoch mit korrigierten IST-Verbrauchswerten verglichen (siehe nachfolgendes Kapitel).

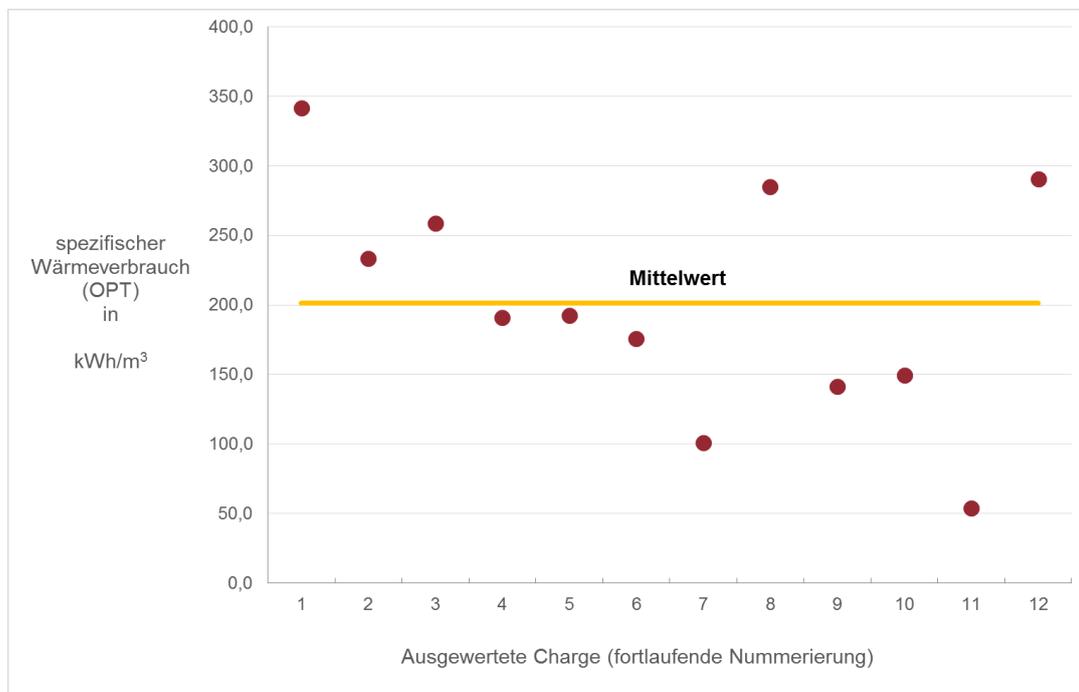


Abbildung 47: Ermittelter spezifischer Wärmebedarf je m<sup>3</sup> Holz der ausgewerteten 12 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Wärmebedarfs nach Durchführung von technischen Optimierungsmaßnahmen an der neuen Anlage

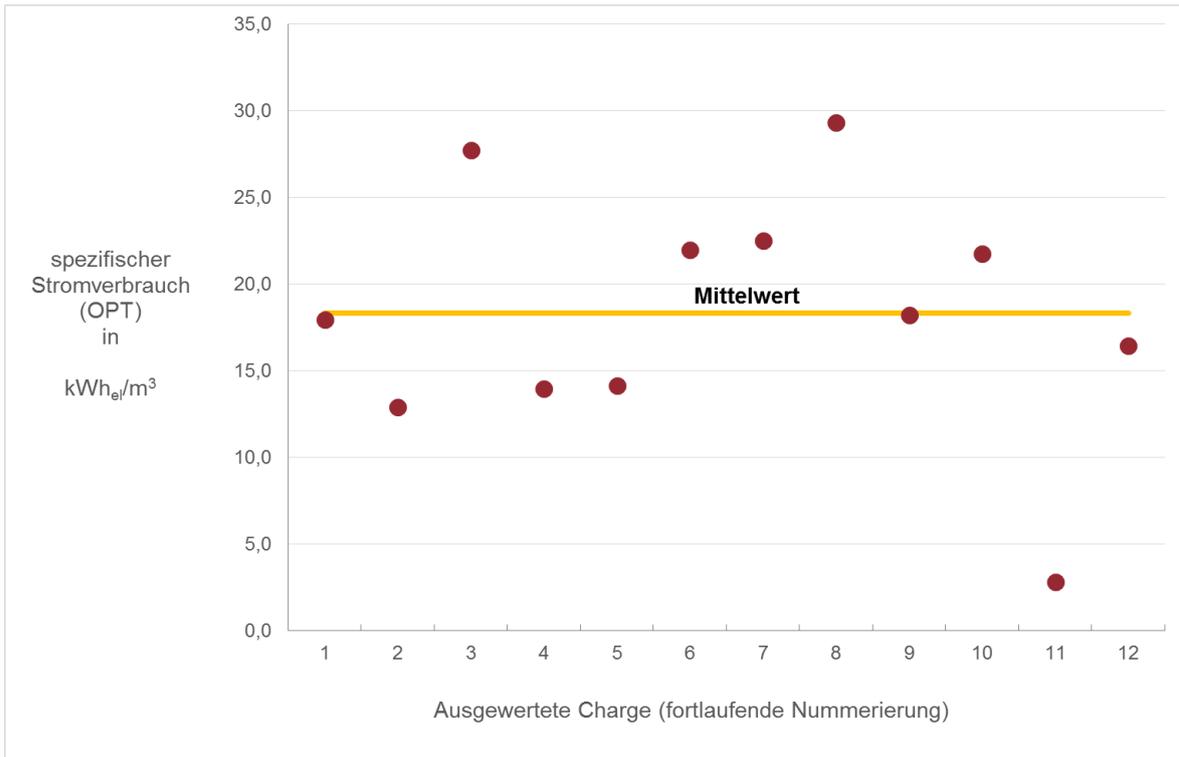


Abbildung 48: Ermittelter spezifischer Strombedarf der ausgewerteten der 12 Holz Trocknungen zur Bestimmung des Strombedarfs nach Durchführung von technischen Optimierungsmaßnahmen an der neuen Anlage

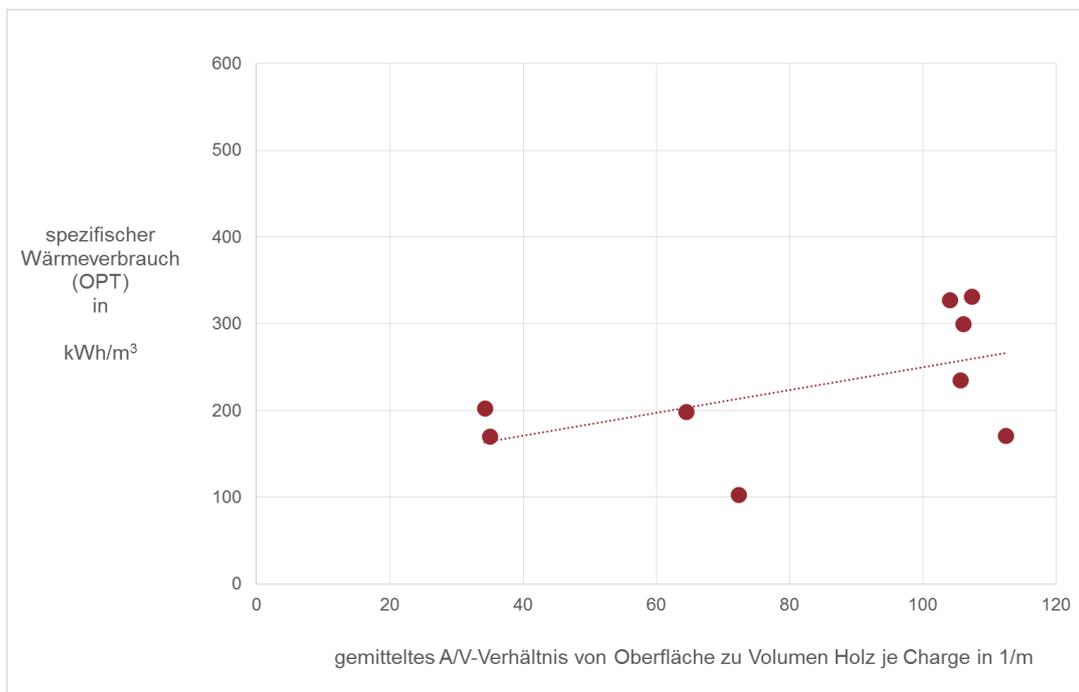


Abbildung 49: Spezifischer Wärmebedarf je m<sup>3</sup> Holz in Abhängigkeit des Oberflächen zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis) der zu trocknenden Ware nach Durchführung von technischen Optimierungsmaßnahmen an der neuen Anlage

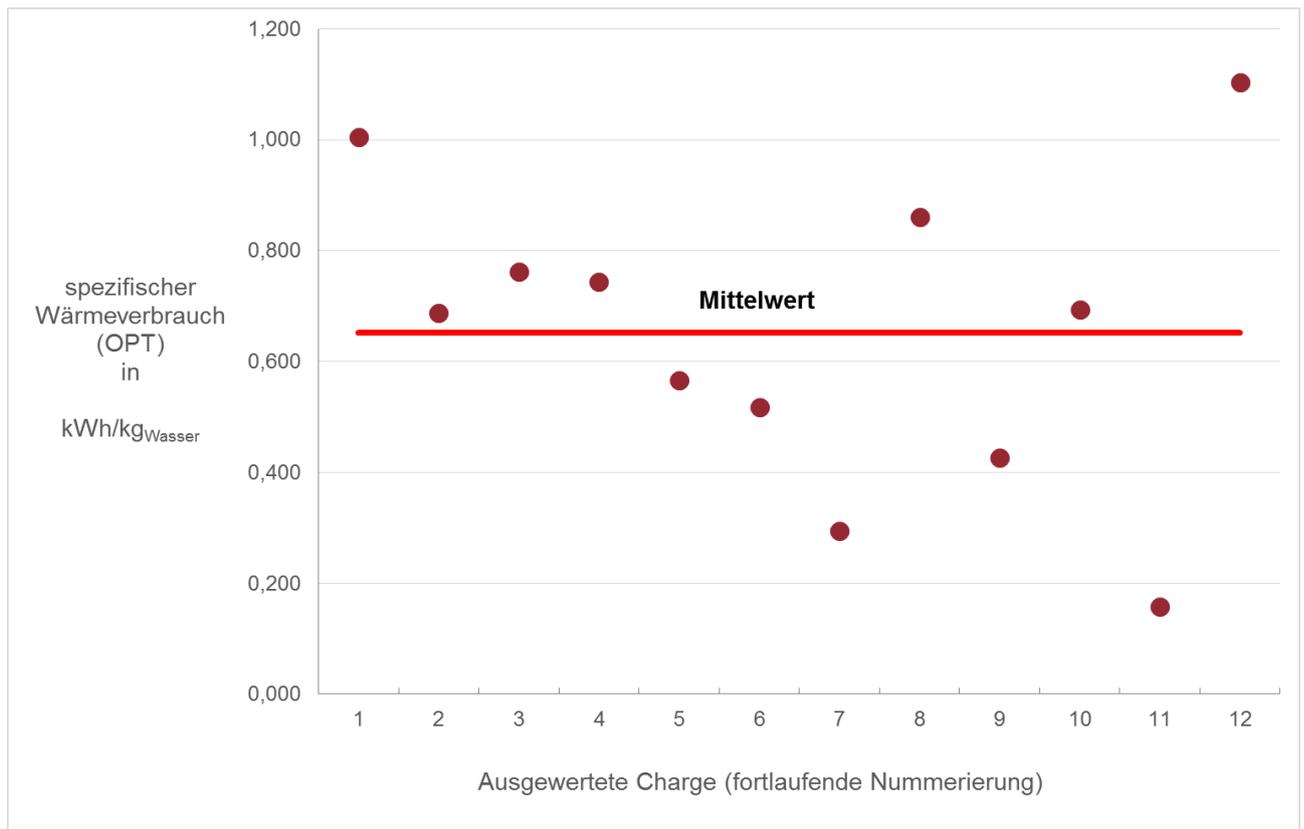


Abbildung 50: Spezifischer Wärmebedarf je kg<sub>Wasser</sub> entzogenem Wasser nach Durchführung von technischen Optimierungsmaßnahmen an der neuen Anlage

Die durchgeführten Auswertungen mit den angegebenen Annahmen führen insgesamt zu einem Mittelwert für den spezifischen Wärmebedarf je kg entzogenem Wasser von

**0,652 kWh/kg<sub>Wasser</sub>.**

Im Zeitraum von Oktober 2013 bis einschließlich Januar 2014 wurden insgesamt 15.114,2 m<sup>3</sup> an Holz getrocknet. Hinzu kommen noch 5.511 m<sup>3</sup> Holz mit IPPC Behandlung, so dass insgesamt 20.625 m<sup>3</sup> Holz durch die Trockenkammern gelaufen ist. Die Hochrechnung würde eine Jahresmenge von ca. 62.000 m<sup>3</sup> ergeben. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass im Oktober noch „Anlaufbetrieb“ herrschte und im Dezember 2013 und Januar 2014 nur mit reduzierter Produktion (Weihnachtsferien) das Sägewerk betrieben wurde. Für die Berechnung der Umweltwirkung wird daher die Auslegungskapazität der Anlage von ca. 82.500 m<sup>3</sup>/a verwendet.

### 3.3 Umweltbilanz

Für einen aussagekräftigen Vergleich zwischen Alt- und Neuanlage muss berechnet bzw. abgeschätzt werden, welchen Energieverbrauch die alte Anlage bei dem entsprechenden Produktspektrum der Neuanlage gehabt hätte. Hierzu wurden für die Altanlage die erfassten Werte für den spezifischen Energieverbrauch je  $\text{m}^3$  Holz und je  $\text{kg}_w$  Wasser in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses der einzelnen Chargen ermittelt (vgl. Abbildung 35 und Abbildung 36). Über die Ausgleichsgerade wurde dann der „fiktive“ IST-Verbrauch der Altanlage beim jeweiligen A/V-Verhältnis zum Zeitpunkt der Untersuchung (z. B. NEU(SCH)) für jede Charge hochgerechnet und daraus der erwartete Mittelwert gebildet (siehe Abbildung 51). Die Einsparung wurde dann aus der Differenz des hochgerechneten Wertes der Altanlage und den tatsächlichen Messwert der neuen Anlage zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt gebildet und relativ dargestellt (siehe Abbildung 52).

Da bei der Auswertung der Daten für die Altanlage im Auswertzeitraum nur wenige Trocknungen mit hohen A/V-Verhältnissen getrocknet wurden, wurden rückwirkend für die Jahre 2011 und 2010 gezielt nach Trocknungen gesucht, welche ein hohes A/V-Verhältnis besaßen. Diese Auswertungen bestätigten die Kennlinie der Altanlage hinsichtlich des Energieverbrauchs in Abhängigkeit der A/V-Verhältnisse.

Abbildung 51 zeigt, dass mit dem Produktspektrum, welches in der neuen Anlage getrocknet wird, die Altanlage einen erheblich höheren spezifischen Wärmeenergieverbrauch gehabt hätte, als im Messprogramm für die Altanlage mit dessen Produktspektrum ermittelt wurde. Auf Basis dieser Werte aus Abbildung 51 für den IST-Verbrauch wurde die prozentuale erzielte Einsparung der Neuanlage berechnet.

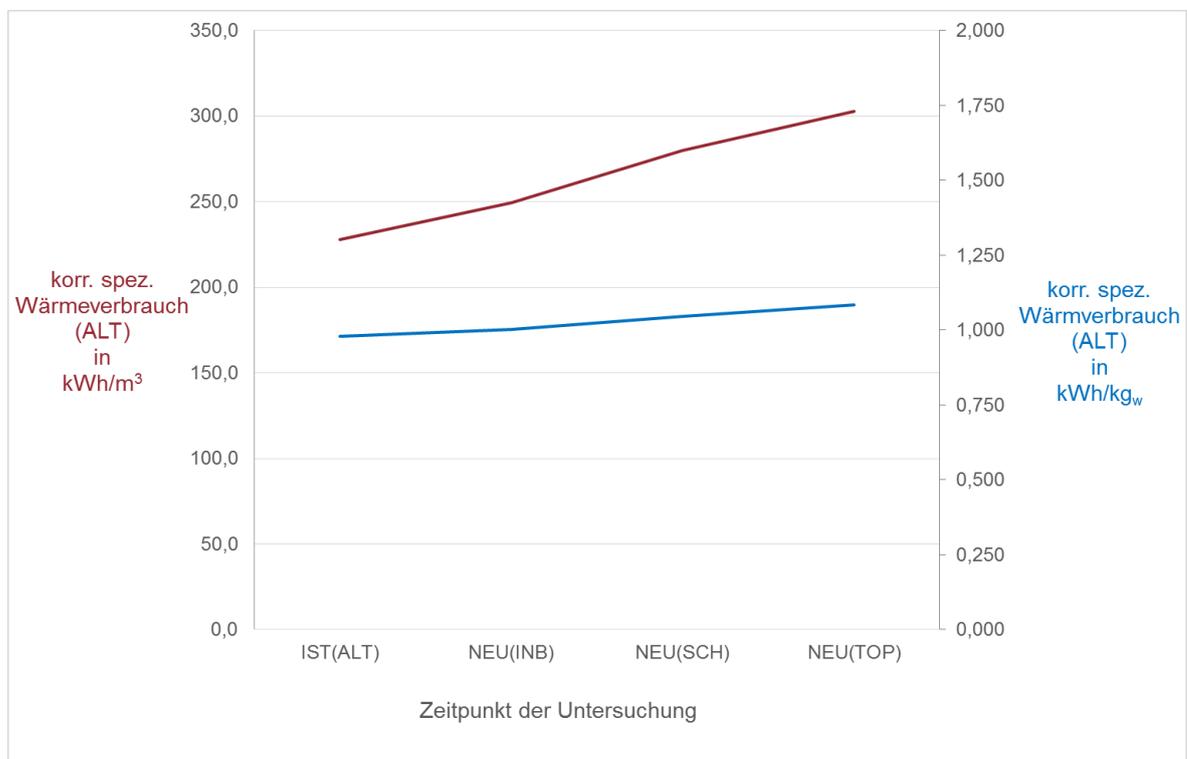


Abbildung 51: Korrigierte IST-Verbrauchswerte an thermischer Energie der Altanlage in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses des Produktspektrums der neuen Anlage zu den jeweiligen Auswertungszeitpunkten

Abbildung 52 zeigt, dass bei einer Berücksichtigung der Änderung des Produktspektrums und bezogen auf das zu entziehende Wasser eine Senkung des spezifischen Wärmeeinsatzes von 37 % erzielt wird. Bezogen auf das Holzvolumen konnte immerhin noch eine Einsparung von ca. 30 % erzielt werden, obwohl die Menge an Wasser je m<sup>3</sup> zu trocknendes Holz um rd. 40 % gestiegen ist.

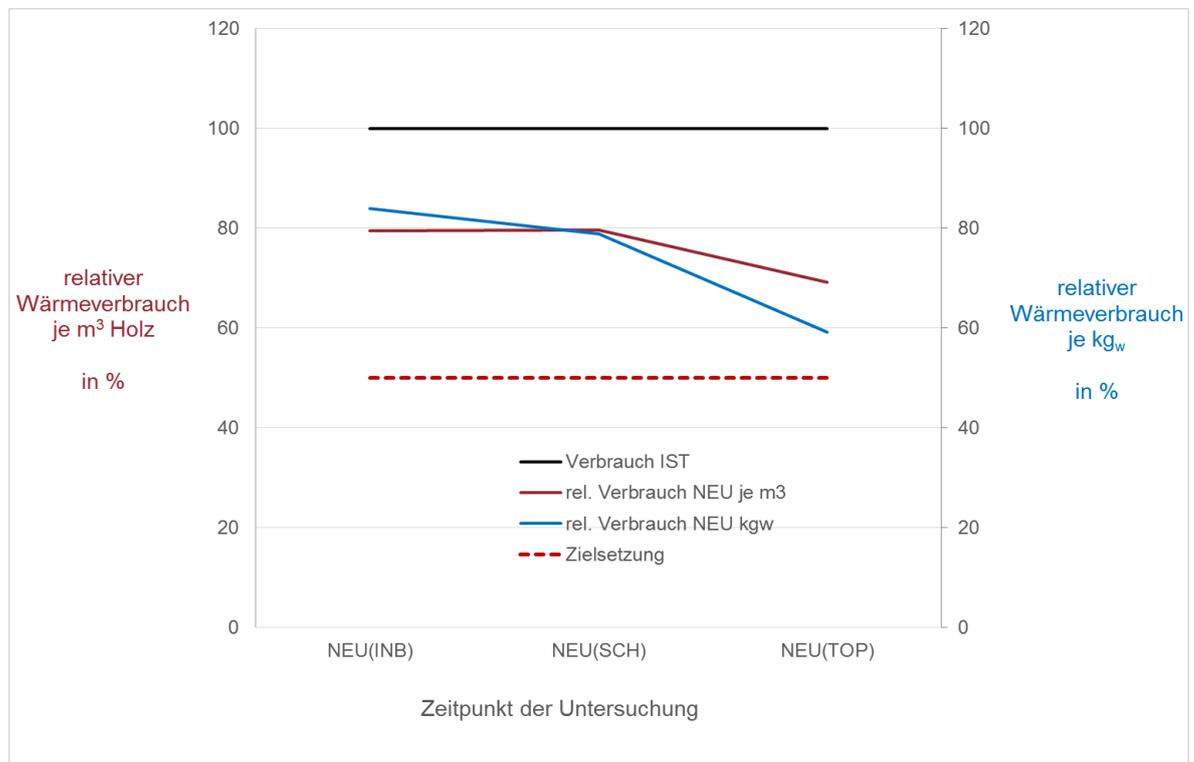


Abbildung 52: Erzielte prozentuale Einsparung (Wärme) durch die neue innovative Holz Trocknung

Die ambitionierte Zielsetzung mit 50 % wird im Mittel nicht ganz erreicht, die Wärmeverbrauchswerte einzelner Chargen zeigen jedoch, dass spezifische Wärmeverbrauchswerte von deutlich weniger als 0,5 kWh/kg<sub>w</sub> erzielt werden können (vgl. Abbildung 53 Charge 6, 7, 8 und 11).

Diese Werte liegen weiter unter 50 % des durchschnittlichen spezifischen Wärmeverbrauchswerts der Altanlage von ca. 1,0 kWh/kg<sub>w</sub>. Der erzielte Mittelwert von 0,652 kWh/kg<sub>w</sub> liegt dabei sehr nahe am theoretischen Minimum von 0,647 kWh/kg<sub>w</sub>. In einigen Betriebspunkten konnte durch die Wärmerückgewinnung sogar ein niedriger Verbrauch als das theoretische Minimum erzielt werden.

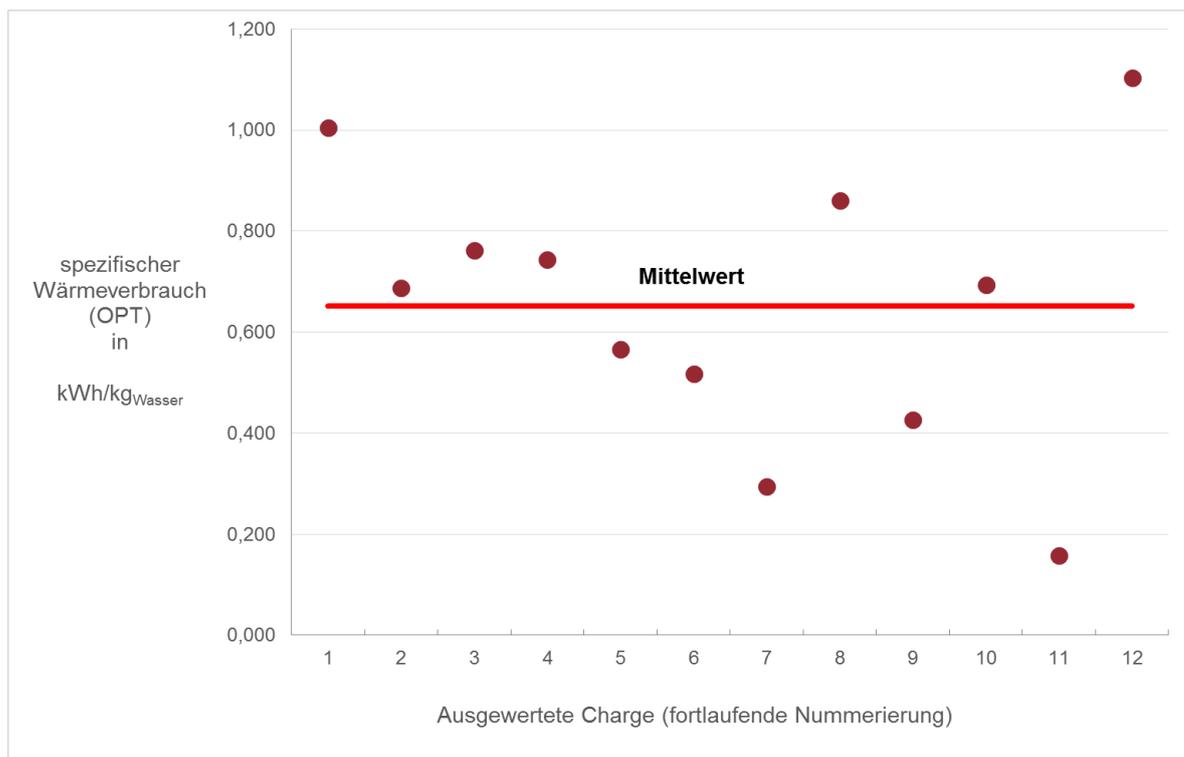


Abbildung 53: Spezifischer Wärmeverbrauch je kg Wasser nach Durchführung der technischen Optimierung

Der Verbrauch an elektrischer Energie konnte bezogen auf die verdunstete Wassermasse um rd. 15 % gesenkt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Altanlage bereits über Frequenzumformer, geregelte Ventilatorantriebe und strömungsoptimierte Laufräder verfügte. Gegenüber bestehenden Anlagen mit konventioneller Antriebstechnik dürfte eine Einsparung von den ursprünglich erwarteten 40 % möglich sein.

Da die Anlage noch kein ganzes Jahr in Betrieb ist, wird für die Berechnung der erreichten Umweltwirkungen die Jahreskapazität von 82.500 m<sup>3</sup>/a verwendet. Der im Messzeitraum ermittelte Durchsatz von ca. 20.500 m<sup>3</sup> in vier Monaten ist durch den Anlaufbetrieb und die Weihnachtferien als zu gering anzusehen, um auf eine Jahresmenge schließen zu können.

Für die innovative Anlage (SOLL-Zustand) wird der jährliche Heizwärmebedarf berechnet aus dem gemessenen Mittelwert für den spezifischen Wärmeverbrauch von 200 kWh/m<sup>3</sup> multipliziert mit der Jahreskapazität der Anlage. Die in die neue Anlage insgesamt eingebrachte Wärme beträgt damit ca. 17,3 Mio. kWh<sub>th</sub>/a.

Für die bisherige Anlage (IST-Zustand) wurde der gemessene spezifische Wärmeverbrauch je m<sup>3</sup> Holz auf das Produktspektrum der neuen Anlage umgerechnet. Das Umrechnungsergebnis ist in Abbildung 51 auf Seite 58 zu sehen. Der Bezugszeitpunkt ist dabei „NEU(TOP)“. Der auf das Produktspektrum der neuen Anlage korrigierte Wert der Altanlage für den spezifischen Wärmeverbrauch beträgt ca. 300 kWh/m<sup>3</sup>. In die Altanlage hätte als Wärme insgesamt die Jahreskapazität der Neuanlage von 82.500 m<sup>3</sup>/a multipliziert mit dem korrigierten spezifischen Wärmeverbrauch von 300 kWh/m<sup>3</sup>, also rd. 24,4 Mio. kWh<sub>th</sub>/a für die Trockenleistung

der neuen Anlage eingebracht werden müssen. Die Kontrollrechnung über das zu verdunstende Wasser führt mit vernachlässigbaren Abweichungen zum gleichen Ergebnis, der Rechenweg ist jedoch wesentlich umfangreicher und soll an dieser Stelle nicht erläutert werden.

Mit der Annahme, dass im Jahresdurchschnitt aus einem Kubikmeter Hackgut ca. 500 kWh an Heizwärme erzeugt werden, muss für die erforderliche Wärmemenge von 17,3 Mio kWh<sub>th</sub>/a der neuen Anlage ca. 34.500 m<sup>3</sup>/a an Hackschnitzel verbrannt werden, für die erforderlichen 24,4 Mio. kWh<sub>th</sub>/a der Altanlage rd. 54.600 m<sup>3</sup>/a.

Alternativ könnte die Wärme auch über eine Erdgasheizung bereitgestellt werden. Mit der Annahme eines Jahresnutzungsgrads der Heizung von 85 % und einem Verhältnis von Heiz- zu Brennwert von 0,9 kann der Erdgasbedarf der neuen wie der alten Anlage aus dem jeweiligen Wärmebedarf berechnet werden. Mit einem spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionskennwert von 202 g<sub>CO2</sub>/kWh(H<sub>s</sub>) für Erdgas kann damit die vermiedene CO<sub>2</sub>-Emission als Erdgasvergleichswert ermittelt werden.

Die Berechnung der erzielten Umweltwirkungen bei der elektrischen Energie erfolgt sinngemäß wie die Berechnungen zur thermischen Energie. Die Bewertung erfolgt jedoch direkt mit einem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für Strom.

In Tabelle 11 sind die wesentlichen Basisdaten zur Berechnung der Umweltwirkungen zusammengefasst.

<b>Basisdaten zur Berechnung der Umweltwirkungen</b>		
Jahreskapazität der Anlage	m <sup>3</sup> /a	82.500
durchschn. Heizwert Hackgut	kWh/m <sup>3</sup>	500
Nutzungsgrad Heizkessel	%	85
Verhältnis Heiz- zu Brennwert Erdgas	%	90
spez. CO <sub>2</sub> -Emissionskennwert Erdgas	g <sub>CO2</sub> /kWh(H <sub>s</sub> )	202
spez. CO <sub>2</sub> -Emissionskennwert Strom	g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>el</sub>	600

Tabelle 11: Basisdaten zur Berechnung der Umweltwirkungen

In Tabelle 12 sind die tatsächlich erreichten Umweltwirkungen nach Durchführung des Messprogramms relativ und absolut gegenüber gestellt.

Quantifizierung der Umweltziele (nach Ergebnissen Messprogramm)					
Bezeichnung	Einheit	IST	NEU	Verbesserung	
Hackguteinsatz zur Bereitstellung jährlicher Wärmebedarf	m <sup>3</sup> /a	54.608	34.516	20.092	36,8%
jährlicher Wärmebedarf	kWh/a	27.304.073	17.258.092	10.045.981	36,8%
CO <sub>2</sub> -Emission (bei Deckung Wärmebedarf durch Erdgas)	t <sub>CO2</sub> /a	5.515	3.486	2.029	36,8%
Potenzial zur stofflichen Nutzung statt thermischen Nutzung von Holz	m <sup>3</sup> /a	0	20.092	20.092	-
jährlicher Bedarf elektrische Energie	kWh <sub>el</sub> /a	1.672.048	1.415.796	256.251	15,3%
CO <sub>2</sub> -Emission el. Energie	t <sub>CO2</sub> /a	1.007	852	154	15,3%

Tabelle 12: Umweltbilanz nach Umsetzung des Projekts auf Basis der Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms

Der Vergleich der absoluten Werte (siehe Tabelle 13) zwischen Antragstellung und tatsächlich erreichten Verbesserungen hinsichtlich der Umweltwirkungen zeigt, dass die erreichte Einsparung beim absoluten Wärmeverbrauch um ca. 10 % höher, die absolute Stromeinsparung dagegen um ca. 30 % geringer als erwartet ist. Die absolute CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung beim thermischen Energieeinsatz fällt jedoch um knapp 35 % höher als erwartet aus. Bezogen auf die gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung wird daher trotz geringerer „Stromeinsparung“ das ursprüngliche Projektziel trotzdem um rd. 100 t<sub>CO2</sub>/a übertroffen.

Quantifizierung der Umweltziele (nach Messprogramm)							
Bezeichnung	Einheit	IST (fiktiv mit neuer Anlagenkapazität)		NEU		Einsparung bzw. Verbesserung	
		Antrag	Messprogramm	Antrag	Messprogramm	Antrag	Messprogramm
jährlicher Wärmebedarf	kWh/a	18.450.589	27.304.073	9.225.294	17.258.092	9.225.294	10.045.981
jährlicher Bedarf elektrische Energie	kWh <sub>el</sub> /a	906.056	1.672.048	543.633	1.415.796	362.422	256.251
spez. Wärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /kg <sub>H2O</sub>	-	1,070	-	0,652	-	0,418
spez. Strombedarf	kWh <sub>el</sub> /kg <sub>H2O</sub>	-	0,066	-	0,055	-	0,010
CO <sub>2</sub> -Emission (bei Deckung Wärmebedarf durch Erdgas) (CO <sub>2</sub> -Äquivalent Erdgas 202 g/kWh CO <sub>2</sub> -Äquivalent el. Energie 600 g/kWh <sub>el</sub> )	t <sub>CO2</sub> /a	4.272	6.522	2.191	4.338	2.082	2.184

Tabelle 13: Umweltbilanz nach Umsetzung des Projekts auf Basis der Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms im Vergleich zu den erwarteten Werten bei Antragstellung

### 3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden zum Zeitpunkt der Antragstellung folgende Einsparpotentiale prognostiziert:

<b>Energetechnischer Vergleich Stand der Technik - Innovative Holz Trocknung</b>			
		Stand der Technik	Innovative Holz-trocknung
Spezifischer Energieverbrauch	kWh/m <sup>3</sup>	224	112
geplante zu trocknende Holzmenge	m <sup>3</sup> /a	82.369	82.369
Energiebedarf Heizenergie	kWh/a	18.450.589	9.225.294
Eigenerzeugungspreis Heizenergie	€/kWh	0,025	0,025
Kosten Heizenergie	€/a	461.265	230.632
Energiebedarf Strom (Ventilatoren etc.)	kWh <sub>el</sub> /a	906.056	543.633
Einkaufspreis Strom	€/kWh	0,12	0,12
Kosten Strom	€/a	108.727	65.236
<b>erwartete Einsparung</b>	<b>€/a</b>		<b>274.123</b>

Tabelle 14: Laufende Kosteneinsparungen zum Zeitpunkt der Antragstellung

#### Einsparungen auf Basis des durchgeführten Messprogramms:

Auf Basis der Ergebnisse des Messprogramm musste die Bewertungsbasis geändert werden. Die Bezugsgröße hinsichtlich der Bewertung des Energieverbrauchs wurde auf Energieverbrauch je kg<sub>w</sub> zu verdunstendes Wasser geändert. Darüber hinaus musste der Energieverbrauch des Stands der Technik auf das Produktionsprogramm nach Durchführung der Maßnahmen hochgerechnet werden.

Das Messprogramm weist daher nach Durchführung des Projektes, unter Berücksichtigung der Anlagenkapazität (82.500 m<sup>3</sup>/a) und deren Ausgangsmaterial, nachfolgende hochgerechnete Jahreswerte aus:

<b>Energetechnischer Vergleich Stand der Technik - Innovative Holz Trocknung</b>			
		Stand der Technik	Innovative Holz-trocknung
Spezifischer Energieverbrauch	kWh/kg <sub>w</sub>	1,070	0,676
zu trocknende Wassermenge	kg <sub>w</sub> /a	25.521.606	25.521.606
Energiebedarf Heizenergie	kWh/a	27.304.073	17.258.092
Eigenerzeugungspreis Heizenergie	€/kWh	0,025	0,025
Kosten Heizenergie	€/a	682.602	431.452
Energiebedarf Strom (Ventilatoren etc.)	kWh <sub>el</sub> /a	1.672.048	1.415.796
Einkaufspreis Strom	€/kWh	0,12	0,12
Kosten Strom	€/a	200.646	169.896
<b>erwartete Einsparung</b>	<b>€/a</b>		<b>281.900</b>

Tabelle 15: Laufende Kosteneinsparungen, ermittelt in Messprogramms und hochgerechnet auf ein Jahr

### Anschaffungskosten:

Die geplanten Anschaffungskosten wurden um 141.389 € unterschritten und betragen 1.633.863 €. Die Einsparung bei den Anschaffungskosten resultieren aus einer Änderung im ursprünglich Anlagenkonzept (vgl. auch Kapitel 2.3). Im Zuge der Detailplanungen hat sich gezeigt, dass es energetisch günstiger ist, fünf kleinere Trockenkammern neu zu errichten und von den vier bestehenden Kammern nur zwei umzubauen. Die zwei ältesten Kammern werden nur steuerungsmäßig und nicht energietechnisch in die Gesamtanlage eingebunden.

Unter der Berücksichtigung dieser Werte stellt sich die Amortisationsrechnung (Tabelle 16) für das Projekt im Vorher-/Nachher-Vergleich wie folgt dar:

	geplant	tatsächlich
<b>Anschaffungskosten [€]:</b>	1.775.252	1.633.863
<b>Restwert [€]:</b>	0	0
<b>Nutzungsdauer [a]:</b>	10	10
<b>Kalkulatorischer Zins [%]:</b>	5	5
<b>Kalkulatorische Abschreibung [€/a]:</b>	177.525	163.386
<b>Energieeinsparung [€/a]:</b>	274.123	281.900
<b>Kapitalkosten [€/a]:</b>	<b>221.907</b>	<b>204.233</b>
<b>Jährliche Kosteneinsparung [€/a]:</b>	<b>52.217</b>	<b>77.667</b>
<b>Amortisationszeit [a]:</b>	<b>7,7</b>	<b>6,8</b>

Tabelle 16: Vergleichende Übersicht der Amortisationsrechnung bei Planung des Projekts und nach Realisierung des Vorhabens

Die tatsächliche Amortisationszeit berechnet sich wie folgt:

$$(1.633.863 \text{ €}) / (77.667 \text{ €} + 163.386 \text{ €}) = 6,8 \text{ Jahre}$$

### **3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren**

Zum Stand der Technik bei der Holzbearbeitung, insbesondere der Holz Trocknung, gibt es kein BREF-Dokument der europäischen Kommission. Der Stand der Technik ist aus unterschiedlichen Quellen zusammenzufügen. Bei der Recherche wurden dabei verschiedene, teilweise ältere Publikationen benutzt.

Für die Trocknung von Holz in dem in Frage kommenden Temperaturfenster und relevanter Ausgangsfeuchtigkeit kann davon ausgegangen werden, dass die theoretisch erforderliche spezifische Energie zum Erwärmen des Holzes und des Wasser auf Trocknungstemperatur (ca. 60 °C) sowie zum Verdampfen des Wassers ca.

25 kWh/m<sup>3</sup> zu trocknenden Holz beträgt<sup>1</sup>. Dieser Wert schwankt in Abhängigkeit der Ausgangsfeuchte des Holzes. Beim bisherigen Stand der Technik in Kammertrocknungsanlagen wird dabei in der Praxis ein tatsächlicher Wert erreicht, der um das 1,5 bis 2 fache über dem theoretischen Wert liegt. Untersuchungen bei der Pieper Holz GmbH zeigten, dass im Durchschnitt in den bestehenden Trocknungskammern ein spezifischer Energieverbrauch von 224 kWh/m<sup>3</sup> erreicht wird.

In der Literatur wie auch in der betrieblichen Praxis wird überwiegend der Energieeinsatz auf das zu trocknende Holzvolumen bezogen. Der Vorteil des Vorgehens ist, dass sowohl die eingesetzte Wärmeenergie wie auch das zu trocknende Holzvolumen sehr einfach aus den Chargendaten bestimmt werden können. Sofern sich keine Änderungen im Produktspektrum (insbesondere Verhältnis Haupt- zu Seitenware) ergeben bzw. bei zu vergleichenden Standorten gleich ist, ist der Zeitreihenvergleich des spezifischen Energieverbrauchs je m<sup>3</sup> Holz hinreichend genau, um unterschiedliche Trocknungsverfahren miteinander vergleichen zu können. Das Messprogramm hat aber deutlich gezeigt, dass bei einem Vergleich von unterschiedlichen Produktspektren als einzig sinnvolle Bewertungsbasis nur die zu trocknende Wassermasse zu verwenden ist.

Bei Anlagen nach dem Stand der Technik wird üblicherweise eine Unterscheidung des Trocknungsprozesses in eine Trocknung über und unter der Fasersättigungstemperatur nicht durchgeführt. Der Trocknungsprozess beginnt üblicherweise mit einer schnellen Aufheizung des zu trocknenden Holzes auf eine Temperatur von ca. 60 °C mit anschließendem Halten dieser Temperatur. Die Trocknungsluft der Trockenkammer wird dabei meist im Umluftbetrieb geführt mit einer Prinzip bedingten Teilausschleusung an Luft (Abluft), um eine Sättigung der Luft der Trockenkammer mit Wasserdampf zu vermeiden.

Bei den Anlagen nach Stand der Technik wird zwar eine Wärmerückgewinnung der in der Abluft vorhandenen „fühlbaren“ Energie oberhalb der Taupunkttemperatur der Abluft durchgeführt, jedoch kein hoher Wert auf die Rückgewinnung von Latentwärme (Kondensation des aus dem Holz stammenden Wassers) und fühlbarer Wärme unterhalb der Taupunkttemperatur der Abluft gelegt. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass die ausgeschleuste und zu erneuernde Luftmenge relativ gering ist, so dass der relativ kleine angesaugte Frischluftstrom nicht ausreichend ist, um die Abluft unterhalb dessen Taupunkttemperatur abzukühlen.

Die wesentliche Innovation des patentierten Verfahrens besteht darin, den Trocknungsprozess auf zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus durchzuführen, welche an die verschiedenen Wassereinlagerungen im Holz angepasst sind. Die Vortrocknung wird praktisch ohne die Zuheizung von Wärme der Hackgutheizung allein durch Abwärmerückgewinnung aus der Nachtrocknung betrieben. Dies wird dadurch erreicht, dass der Luftvolumenstrom der Vortrocknung so hoch ist, dass eine komplette Entfeuchtung der Umluft in der Nachtrocknung erfolgt und damit die latente Wärme des kondensierenden Wasserdampfs in der Vortrocknung genutzt werden kann.

Durch diese Trocknung der Umluft in der Nachtrocknung kann auf eine prinzipbedingte Ausschleusung von Abluft mit Frischluftzufuhr in der Nachtrocknung verzichtet werden.

---

<sup>1</sup> Energiekennzahlen und –sparpotenziale in der Sägeindustrie; Veröffentlicht von Wirtschaftskammer OÖ, Ökologische Betriebsberatung & O.Ö. Energiesparverband (1987)

Die Abkühlung des Teilstrom der Umluft ist durch den relativ hohen Frischluftstrom für die Vortrocknung so hoch, dass die Abluft unter die Taupunkttemperatur abgekühlt wird und damit die latente Wärme des kondensierenden Wasserdampfs genutzt werden kann. Im Gesamtprozess muss Wärme von einer externen Wärmequelle nur beim Halten der erforderlichen Prozesstemperatur in der Nachrocknung zugeführt werden. Der Pieper Holz GmbH und dem Anlagenbauer sind keine vergleichbaren Verfahren zur Holzrocknung bekannt und auch keine bereits in Betrieb befindlichen Kammerrocknungsanlagen nach diesem innovativen System.

## **4. Empfehlungen**

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

Aufgrund der Einmaligkeit dieses innovativen Konzeptes zur Schnittholzrocknung und den damit verbundenen Notwendigkeiten für eine reibungslose Projektrealisierung, werden nachfolgend die wesentlichen Erfahrungen aufgezeigt, die die Pieper Holz GmbH bei der Umsetzung des Vorhabens gemacht hat:

- Der Luftführung bei den Wärmerückgewinnungseinrichtungen ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen, da der Anlagenwirkungsgrad in hohem Maße von der Wärmerückgewinnung abhängig ist.
- Bedingt durch die erforderliche Abstimmung von Anlagenfahrweise und zu trockenendes Produktspektrum ist eine gleitende Inbetriebnahme erforderlich, d. h. ein fester Inbetriebnahmezeitpunkt mit „Übergabe“ der Anlage konnte nicht definiert werden.
- Das Bedienpersonal der Anlage ist auf die Besonderheiten der Anlage zu schulen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass die Kammern so bestückt werden, dass sich immer Kammern in der Vortrocknung und andere in der Nachrocknung befinden.
- Während der Durchführung des Projekt fand eine tiefgreifende Änderung im Holzmarkt statt. Die Abnehmer von Holzprodukten fordern immer mehr „getrocknete“ Produkte, insbesondere auch bei Produkten aus dem Segment der sogenannten Seitenware. Da die Seitenware eine höhere Anfangsfeuchte besitzt als Hauptware, wird dadurch in die Holzrocknung eine höhere Wassermenge je m<sup>3</sup> zu trockenendes Holz eingetragen. Der Energiebedarf zur Holzrocknung ist aber nicht vom Volumen des zu trockenenden Holzes sondern von der Menge an zu verdunstenden Wasser abhängig. Die über Jahre ermittelten Werte für den spezifischen Wärmebedarf bezogen auf das Holzvolumen, ermittelt überwiegend für die Trocknung von Hauptware, sind daher nicht mehr ohne weiteres zur Beurteilung von Verfahren zu Holzrocknung anzuwenden. Vielmehr wäre eine Umstellung der spezifischen Kennwerte auf die Masse des zu verdunstenden Wassers erforderlich. Das Problem, wie hoch die Ausgangsfeuchte des zu trockenenden Holzes tatsächlich ist, stellt dabei jedoch ein Hinderniss dar, da diese Ausgangsfeuchte prinzipiell nicht direkt zu messen ist. Das das zu trockenende Holzvolumen hingegen aus den „Produktionsdaten“ (Fertigungsaufträgen) an Hand der Abmessungen des Holzes praktisch immer bekannt ist.

## 4.2 Modellcharakter

Die im Projekt realisierte Anlage und Anlagentechnik kann allein in Deutschland bei mindestens 60 bis 80 direkten Marktbegleitern des Unternehmens eingesetzt werden. Als derzeitige Untergrenze für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Technologie wird eine Verarbeitungskapazität von mehr als 50.000 fm/a angesehen. Mit steigenden Energie- bzw. Rohstoffpreisen bei Holz wird diese Kapazitätsgrenze weiter sinken und für überproportional viele weitere Unternehmen anwendbar werden. Darüber hinaus kann die Anlage bzw. Anlagentechnologie auch in der Paletten-Industrie (Herstellung von Paletten) eingesetzt werden. Über die Anzahl an möglichen Unternehmen können von der Pieper Holz GmbH keine Angaben getroffen werden.

Die branchenspezifische Kommunikation dieses erfolgreichen Vorhabens soll in 2014 zum einen über die Kunden der Pieper Holz GmbH erfolgen. Darüber hinaus ist eine Ansprache über den DeSH Deutsche Säge- u. Holzindustrie Bundesverband e. V., Wiesbaden und den VDS Vereinigung Deutscher Sägewerksverbände e.V geplant. Zugleich wird diese Verfahrensumsetzung auch zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW in der Loseblattsammlung im 2. Halbjahr 2014 veröffentlicht.

Gerade die Kommunikation einer umweltfreundlichen Technologie ist geeignet, die Standards innerhalb der Branche zugunsten eines energieeffizienten Verfahren zu verbessern.

## 4.3 Zusammenfassung

Die Firma Pieper Holz GmbH plante mit der Realisierung des Vorhabens den ersten großtechnischen Einsatz eines innovativen, energiesparenden Verfahrens zur Schnittholztrocknung, das in dieser Form bisher industriell noch nicht zur Anwendung gekommen ist.

Die Holztrocknung im Unternehmen wird jetzt in Abhängigkeit der Feuchtegrade des Holzes in zwei Stufen aufgeteilt. In der ersten Stufe wird das Holz mit einer Temperatur von unter 30°C und möglichst trockener Luft vorgetrocknet. In der zweiten Stufe wird mit hoher Temperatur nachgetrocknet. Die warme Abluft aus den Trockenkammern wird aufgefangen und zur Vorwärmung der Trocknungsluft und des zu trocknenden Holzgutes genutzt. Für die Vortrocknung muss darüber hinaus keine weitere Wärme zugeführt werden. Lediglich für die Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur in der Nachrocknung ist eine Holzhackgutheizung notwendig.

Bei Projektstart wurden nachfolgende Ziele formuliert: Die Menge an getrockneter Holzware sollte von bisher 38.000 m<sup>3</sup> jährlich mehr als verdoppelt werden. Gleichzeitig sollte der spezifische Energiebedarf zur Trocknung pro Kubikmeter gegenüber dem bisherigen Verfahren um 50 % gesenkt werden. Zusätzlich sollte sich durch eine Betriebsoptimierung eine zusätzliche jährliche Einsparung an elektrischer Energie in Höhe von 362.422 kWh ergeben und die benötigte Menge an Brennholz für die Holzhackgutheizung halbiert werden.

Die Ergebnisse des Messprogramms zeigen,

- dass die Menge an getrockneter Holzware auf 82.500 m<sup>3</sup>/a mehr als verdoppelt werden konnte,
- dass der Wärmebedarf zur Trocknung um 36,8 %, entsprechend 10.046 MWh/a gesenkt werden konnte. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von 2.029 t<sub>CO2</sub>/a.

Gegenüber der erwarteten Halbierung des Wärmeeinsatzes ergibt sich eine Zielunterschreitung von 13,2 %.

- dass der elektrische Strombedarf um 15,3 %, entsprechend 256.251 kWh/a gesenkt werden konnte. Dies entspricht einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von 154 t<sub>CO2</sub>/a. Gegenüber der erwarteten Stromeinsparung von 40 % ergibt sich eine Zielunterschreitung von 24,7 %.
- Dass die benötigte Menge an Brennholz um 36,8 %, entsprechend 20.092 m<sup>3</sup>/a gesenkt werden konnte. Gegenüber der erwarteten Halbierung des Holzeinsatzes ergibt sich eine Zielunterschreitung von 13,2 %.

Während der Umsetzung des Vorhabens und bei Durchführung des Messprogramms sind wesentliche Änderungen auf der Nachfrageseite für die Produkte der Fördernehmerin eingetreten. Für das Projekt von wesentlicher Bedeutung dabei ist, dass nicht nur die sog. Hauptware (z. B. Kanthölzer) als getrocknet nachgefragt wird, sondern auch die sogenannte Seitenware (im Wesentlichen „Bretter“). Seitenware wird aus den Seitenbereichen eines Holzstamms gewonnen, Hauptware aus dem Kern. Die Seitenbereiche besitzen gegenüber dem Kernholz jedoch grundsätzlich eine höhere Holzfeuchte.

Damit verbunden ist zwangsläufig ein höherer absoluter Verbrauch von thermischer Energie, sowohl der Alt- wie auch der Neuanlage. Der Vergleich des absoluten Verbrauchs an thermischer Energie zwischen der alten und der neuen Anlage zeigt, dass diese Einsparung in kWh/a wesentlich höher ausfällt als zum Zeitpunkt der Antragstellung ursprünglich angenommen wurde. Damit konnte die Zielsetzung bzgl. Einsparungen beim absoluten thermischen Energieverbrauch (10.045.981 kWh/a gegenüber 9.225.294 kWh/a) mit der neuen Anlage übertroffen werden. Auch die Senkung der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen wird mit der neuen Anlage gegenüber der Erwartung bei Antragstellung übertroffen (2.184 t<sub>CO2</sub>/a gegenüber 2.082 t<sub>CO2</sub>/a). In der Tabelle 17 sind alle relevanten Projektergebnisse zusammenfassend dargestellt.

Quantifizierung der Umweltziele (nach Messprogramm)								
Bezeichnung	Einheit	IST (fiktiv mit neuer Anlagenkapazität)		NEU		Einsparung bzw. Verbesserung		
		Antrag	Mess- programm	Antrag	Mess- programm	Antrag	Mess- programm	Ver- besserung
jährlicher Wärmebedarf	kWh/a	18.450.589	27.304.073	9.225.294	17.258.092	9.225.294	10.045.981	36,8%
jährlicher Bedarf elektrische Energie	kWh <sub>el</sub> /a	906.056	1.672.048	543.633	1.415.796	362.422	256.251	15,3%
spez. Wärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /kg <sub>H2O</sub>	-	1,070	-	0,652	-	0,418	39,1%
spez. Strombedarf	kWh <sub>el</sub> /kg <sub>H2O</sub>	-	0,066	-	0,055	-	0,010	15,3%
CO <sub>2</sub> -Emission (bei Deckung Wärmebedarf durch Erdgas) (CO <sub>2</sub> -Äquivalent Erdgas 202 g/kWh CO <sub>2</sub> -Äquivalent el. Energie 600 g/kWh <sub>el</sub> )	t <sub>CO2</sub> /a	4.272	6.522	2.191	4.338	2.082	2.184	33,5%

Tabelle 17: Umweltbilanz nach Umsetzung des Projekts auf Basis der Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms im Vergleich zu den erwarteten Werten bei Antragstellung

Das Vorhaben wurde im vorgegebenen zeitlichen Rahmen erfolgreich umgesetzt. Damit ist es gelungen, ein energieeffizientes Trocknungskonzept erstmals in der industriellen Praxis zu realisieren. Wesentlich dazu beigetragen hat die erfolgreiche

Zusammenarbeit zwischen Anlagenlieferant und Fördernehmerin, die von gegenseitigem Vertrauen und Verlässlichkeit geprägt war.

Die geplanten Anschaffungskosten wurden um 141.389 € unterschritten und betragen 1.633.863 €. Die Amortisationszeit des Projektes zum Zeitpunkt der Antragstellung in Höhe von 7,7 Jahren sinkt auf Basis der tatsächlich erreichten Einsparungen und dem verringerten Ausgaben leicht auf 6,8 Jahre.

Die im Projekt realisierte Anlage und Anlagentechnik kann allein in Deutschland bei mindestens 60 bis 80 direkten Marktbegleitern des Unternehmens eingesetzt werden. Als derzeitige Untergrenze für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Technologie wird eine Verarbeitungskapazität von mehr als 50.000 fm/a angesehen. Die neue Anlagentechnik kann, selbstverständlich nach vorheriger Terminvereinbarung, bei uns in Olsberg-Assinghausen besichtigt werden. Der Ansprechpartner ist Herr Hans-Georg Pieper.