

BMU - UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

**ABSCHLUSSBERICHT UND
BEGLEITENDES MESSPROGRAMM**

zum Vorhaben:

Innovatives Konzept zur Abwärmenutzung
eines Biomasseheizkraftwerks
für die OSB-Trocknung

Nr. des Vorhabens: 2070

UBA-Aktenzeichen: 70441-2/1

Umweltbereich: Energie

Laufzeit des Vorhabens: 06.03.2014 bis 31.12.2016

Fördernehmer/in:

SWISS KRONO GmbH
Wittstocker Chaussee 1
16909 Heiligengrabe

Autoren:

Rupert Stocker
Stephan Kelbsch
Martin Deckner

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)**

Datum der Erstellung: 06.04.2017

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 70441-2/1	Vorhaben-Nr.: 2070
Titel des Vorhabens: Innovatives Konzept zur Abwärmenutzung eines Biomasseheizkraftwerks für die OSB-Trocknung	
Autor(en); Name(n), Vorname(n) Rupert Stocker (eta Energieberatung GbR) Stephan Kelbsch (eta Energieberatung GbR) Martin Deckner (eta Energieberatung GbR)	Vorhabensbeginn: 06.03.2014
	Vorhabensende (Abschlussdatum): 31.12.2016
Fördernehmer/ -in (Name, Anschrift) SWISS KRONO GmbH Wittstocker Chaussee 1 16909 Heiligengrabe	Veröffentlichungsdatum:
	Seitenzahl: 61
Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)	
Kurzfassung/Summary Die SWISS KRONO GmbH fertigt am Standort Heiligengrabe hochqualitative Holzwerkstoffe in teils sehr energieintensiven Prozessen. Die OSB-Strand-Trocknung im Trommeltrockner in Verbindung mit direkt befeuerten Brennkammern - auf der Basis von Gas und/oder Holzstaub als Energieträger - stellt dabei den üblichen Stand der Technik in der Branche dar. Der in diesem Vorhaben geförderte Konzeptansatz ermöglicht es, Niedertemperatur-Abwärme aus einem Biomassekraftwerk, die ansonsten nicht nutzbar wäre, in Verbindung mit einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage soweit aufzuwerten, dass sie als zusätzliche Prozesswärme zur Trocknung verwendet werden kann. Hierzu wurde das bestehende Trocknungskonzept der Firma SWISS KRONO durch einen Vortrockner ergänzt. Das hocheffiziente Anlagengesamtkonzept besteht aus einer Abwärmequelle, zwei Wärmepumpen, einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (KWK-Anlage), angepasster Steuer- und Regeltechnik sowie einer Niedertemperaturanwendung. Als Abwärmequelle dient die Abdampfkondensation des Biomasseheizkraftwerks und als KWK-Anlage ein Erdgas-BHKW. Als Wärmesenke der Wärmepumpen kommt der Niedertemperatur-OSB-Vortrockner zum Einsatz. Die Systemkomponenten sind genau aufeinander abgestimmt und gewährleisten dadurch ein funktionierendes Zusammenspiel. Die Anlagenbestandteile wurden im IV. Quartal 2015 erstmals in Betrieb genommen und seither im laufenden Prozess sukzessive optimiert. Ein 1-jähriges Messprogramm hat den Umsetzungsprozess begleitet. Im Vergleich zum branchenüblichen Trocknungskonzept wird durch die Kombination mit dem OSB-Strand-Vortrockner im 1. Betriebsjahr eine Einsparung von ca. 12.300 MWh Primärenergie erreicht, in den Folgejahren werden 31.100 MWh erwartet. Die CO ₂ -Entlastung durch das Vorhaben liegt im 1. Betriebsjahr bei etwa 2.700 Tonnen, in den Folgejahren bei 6.600 Tonnen. Das Vorhaben zeigt einen Lösungsansatz für Kraft-Wärme-Kopplung in Verbindung mit der Abwärmenutzung und Trocknungsprozessen in unterschiedlichen Branchen und Bereichen auf und kann einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der gesetzten Ziele der EU und der Bundesregierung leisten.	
Schlagwörter Abwärmenutzung, Energieeffizienz, Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmepumpe, OSB, Trocknung, HKW	
Anzahl der gelieferten Berichte: 2 Papierform: Elektronische Form:	Sonstige Medien/im Internet geplant auf: www.eta-energieberatung.de www.swisskrono.de

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment. Agency: 70441-2/1		Project-No.: 2070
Report Title: Innovative concept for waste heat utilization of a biomass heating plant for OSB drying processes		
Author(s); Family Name, First Name (Company) Rupert Stocker (eta Energieberatung GbR) Stephan Kelbsch (eta Energieberatung GbR) Martin Deckner (eta Energieberatung GbR)		Start of project: 06.03.2014 End of project: 31.12.2016
Performing Organisation (Name, Address) SWISS KRONO GmbH Wittstocker Chaussee 1 16909 Heiligengrabe		Publication Date: No. of Pages: 61
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.		
Summary The SWISS KRONO GmbH manufactures wood-based materials in high quality in partly energy-intensive processes at the Heiligengrabe location. OSB-Strand-Drying in a drum dryer connected with directly fired burning chambers, based on gas and/or wood dust as energy source, constitutes the usual technology status in this sector. The promoted concept approach in this project allows the re-value of low temperature waste heat out of a biomass-CHP plant which was normally wasted by involving a cogeneration plant. The revalued heat is used for drying-processes. Herewith the existing concept of drying from the SWISS KRONO company is completed with a pre-dryer. The high efficient overall concept consists of a waste heat source, two heat pumps, a gas engine CHP plant, customized control and regulating technology and a low temperature usage. As waste heat source functions the exhaust steam condensation of the biomass heating plant and as heat-and-power-plant a cogeneration plant operated with natural gas. As heat sink of the heat pumps operates the low temperature OSB-pre-dryer. The system components are exactly synchronized and guarantee a full functional interaction. The facility components have been put into operation in the IV. quarter of 2015 at first time and since than they are gradually optimized and working perfectly during the whole process. A one-year measuring program attended the implementation process. Compared to a customary drying-concept the combination with the OSB-Strand-Drying reaches in the first year of operating a saving of 12,300 MWh primary energy and 31,100 MWh in the following years. The CO2-reduction takes about 2,700 t in the first year and 6,600 t in the next upcoming years. The project shows a way of solution for heat-and-power-systems connected with waste heat and drying processes in different branches and departments to contribute a value to reach the goals of EU and German government.		
Keywords waste heat utilisation, energy efficiency, CHP/combined heat and power, heat pump, OSB-drying		
Number of copies: 2		Internet publication: www.eta-energieberatung.de www.swisskrono.de



Inhalt

1 Einleitung	1
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	1
1.2 Ausgangssituation	1
2 Vorhabensumsetzung.....	3
2.1 Ziel des Vorhabens	3
2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	3
2.2.1 Technische Beschreibung.....	4
2.2.2 Leistungsdaten der Anlage.....	7
2.2.3 Betriebsarten (variable Fahrweise der Anlage)	7
2.3 Umsetzung des Vorhabens	8
2.3.1 Projektschritte und Zeitplan	8
2.3.2 Hemmnisse bis zur Inbetriebnahme.....	12
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	12
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	13
2.5.1 Messstellen Wärmemengenzähler (WMZ).....	14
2.5.2 Messstellen Stromzähler	15
2.5.3 Messstelle Erdgaszähler.....	16
2.5.4 Temperaturmessstellen und sonstige Messungen	16
2.5.5 Visualisierung und Trenderzeichnung der Prozesse	17
2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....	19
3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	22
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung	22
3.1.1 Optimierung Wärmepumpen	22
3.1.2 Optimierung OSB-Vortrockner.....	23
3.1.3 Optimierung der Erdgas- und Staubbrenner im Bestandstrockner 2.....	24
3.1.4 Bewertung des Vorhabens	24
3.2 Stoff- und Energiebilanz.....	25
3.2.1 Auswertung Erdgas-BHKW.....	25
3.2.2 Auswertung Wärmepumpen.....	27
3.2.3 Auswertung OSB-Vortrocknung	31
3.2.4 Auswertung Strombedarf Heizsystem	33
3.2.5 Gesamtheitliche Betrachtung OSB-Trocknung (Bestand und Vortrockner)	33
3.3 Umweltbilanz	34
3.3.1 Bilanz im 1. Betriebsjahr	34
3.3.2 Prognose der Folgejahre.....	35
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse	37
3.4.1 Investitionen.....	37



3.4.2	Daten 1. Betriebsjahr (01.12.2015 bis 30.11.2016)	38
3.4.3	Prognose der Folgejahre (jeweils 01.12. bis 30.11.)	41
3.4.4	Gesamtwirtschaftlichkeit - Ausblick.....	44
3.4.5	Amortisation	47
3.4.6	Vergleich zum konventionellen Verfahren.....	49
3.5	Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	52
4	Übertragbarkeit.....	54
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	54
4.2	Modellcharakter / Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/ der Anlage/ des Produkt)	55
5	Zusammenfassung / Summary	57
5.1	Einleitung / Introduction	57
5.2	Vorhabensumsetzung / Project implementation	57
5.3	Ergebnisse / Project results.....	58
5.4	Ausblick / Prospects.....	59
6	Anhang/Anlagen	61
6.1	Abkürzungsverzeichnis.....	61



1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die SWISS KRONO GmbH ist ein erfolgreiches und innovatives Unternehmen, das am Standort Heiligengrabe in Brandenburg hochqualitative Holzwerkstoffe fertigt. Einer der Schwerpunkte liegt auf der Produktion von OSB- und MDF-Platten. Eingebunden in die weltweit erfolgreich agierende SWISS KRONO GROUP zählt das Unternehmen mit über 800 Mitarbeitern am Standort zu den führenden Holzwerkstoffherstellern Europas.

Antragsteller im Jahr 2013 war die Kronoply GmbH. Die Kronoply GmbH firmiert seit dem 01.03.2016 als SWISS KRONO GmbH.



Abbildung 1-1: Betriebsgelände Firma SWISS KRONO GmbH in Heiligengrabe

1.2 Ausgangssituation

Neben elektrischer Energie, Heizwärme und Druckluft ist Prozesswärme eine der wichtigsten Energieformen in vielen industriellen Produktionen. Die Erzeugung von Prozesswärme zählt nicht zuletzt aufgrund steigender Energiepreise zu den kostenintensivsten Prozessen und somit zu den Schlüsselgrößen für die Gesamtwirtschaftlichkeit. Hier sind zukunftsfähige und möglichst branchenübergreifende Lösungen gefragt, die durch Optimierung der Wirkungsgrade und intelligente Regelungstechnik eine optimale Energieeffizienz ermöglichen.

Bei der Verarbeitung von Holz zu MDF- und OSB-Platten handelt es sich um teils sehr energieintensive Prozesse, sowohl elektrisch als auch thermisch. Der Strombedarf der Firma SWISS KRONO liegt bei etwa 250 GWh jährlich. Zur Bereitstellung von thermischer Energie wird einerseits Erdgas aus dem öffentlichen Gasnetz bezogen, andererseits werden bei der Produktion anfallende Holzreste sowie zugekaufte Holzhackschnitzel und Altholz in thermischen Energieanlagen auf dem Gelände zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt und so fossile Energieträger teils durch Biomasse ersetzt. Der jährliche Brennstoffbedarf liegt bei etwa 440 GWh Erdgas und ca. 1.070 GWh Biomasse.



Die SWISS KRONO GmbH betreibt zur Produktion der OSB-Platten am Standort Heiligengrabe u. a. zwei OSB-Strand-Trockner (Trommeltrockner, im Weiteren verkürzt als „OSB-Trockner“ bezeichnet) unter Einsatz der Energieträger Erdgas und Holzstaub. Der Trocknungsprozess ist sehr energieintensiv, sodass der hierzu benötigte jährliche Erdgasverbrauch bei knapp 100.000 MWh liegt. Zusätzlich kommen ca. 130.000 MWh/a Holzstaub zum Einsatz. Seit Mitte 2015 wird Prozesswärme aus Holz alternativ auch über eine Rostbrennkammer erzeugt, die mit Holzhackgut befeuert wird.

Die Trocknung mittels Trommeltrockner - in Verbindung mit direkt befeuerten Brennkammern auf der Basis von Gas und/oder Holzstaub als Energieträger - stellt dabei den üblichen Stand der Technik in der Branche dar.

Auf dem Gelände befindet sich nahe der OSB-Trocknungsanlage ein Biomasse-Heizkraftwerk (EA3), das mit Holzresten aus der Produktion und Holz hackschnitzeln betrieben wird. In der Vergangenheit wurde immer wieder versucht, Abwärme aus dem Abgas des Biomasse-Heizkraftwerkes für die Trocknung zu nutzen, was jedoch zu erheblichen Problemen hinsichtlich Korrosion geführt hat. Die wesentliche Abwärmequelle aus dem Biomasse-Heizkraftwerk, die Abdampfkondensation, konnte bisher jedoch nicht für die wärmetechnische Nutzung erschlossen werden.

Aufgrund der stetig steigenden Kosten für Energie (Strom und Prozesswärme) ist der Konkurrenzdruck in der Branche, insbesondere gegenüber dem Ausland, sehr hoch. Die Motivation, das Biomasse-Heizkraftwerk als Abwärmequelle für den Produktionsprozess nutzbar zu machen, war daher besonders groß.



2 Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Im Rahmen des Projektes wurde die gewachsene Struktur der Energieversorgung des Industrieunternehmens erfasst und das Potenzial für die weitere Nutzung von Abwärme bewertet, die aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus bisher nicht erschlossen werden konnte.

Ziel des umgesetzten Vorhabens ist es, die Niedertemperaturabwärme aus einem konventionellen Kondensationskraftwerk der Industrie für den Produktionsprozess nutzbar zu machen, indem man das Temperaturniveau mittels Wärmepumpentechnologie soweit anhebt, dass die Abwärme in Kombination mit einer BHKW-Anlage und einem Vortrockner in den Produktionsprozess eingebunden werden kann.

Der durch Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Strom sowie die erzeugte Wärme durch das BHKW und die Wärmepumpen müssen nicht anderweitig erzeugt werden. Im Vergleich zum bestehenden Anlagenkonzept soll durch die neue Anlage der Primärenergieeinsatz des Gesamtsystems um ca. 24.300 MWh/a verringert werden. Mit diesem innovativen Vorhaben sollen so jährlich etwa 5.100 Tonnen klimaschädliche CO₂-Emissionen vermieden werden.

Durch den Einsatz der hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplung, der zusätzlichen Abwärmenutzung und der Niedertemperatur-Anwendung wird die Energieeffizienz gesteigert und der Primärenergiebedarf deutlich reduziert. Dieses Anlagenkonzept ermöglicht dadurch nicht nur einen ökonomischen, sondern auch einen ökologischen Beitrag zur rationellen und umweltfreundlichen Energieanwendung sowie einer nachhaltigen Strom- und Wärmeerzeugung.

Die europäische Kommission hat im Jahr 2010 das Papier „Energie 2020“ veröffentlicht. Dieses enthält energiepolitische Prioritäten der Europäischen Union bis 2020. Ein Schwerpunkt darin ist die Schaffung eines energieeffizienten Europas.

Auch die Bundesregierung legt vor dem Hintergrund der Energiewende Ziele bezüglich der Energieeffizienz und -einsparung fest. Bis 2020 soll der Primärenergieverbrauch um 20 % gesenkt werden und eine Stromeinsparung von 10 % gegenüber dem Basisjahr 2008 erreicht werden. Die bessere Positionierung und Verbreitung der Kraft-Wärme-Kopplung stellt einen wichtigen Schritt dar, um die angestrebte Steigerung der Energieeffizienz um 20 % zu erreichen.

Das Vorhaben zeigt einen Lösungsansatz für die Kraft-Wärme-Kopplung in Verbindung mit Abwärmenutzung in unterschiedlichen Branchen und Bereichen auf, um somit einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der gesetzten Ziele der EU und der Bundesregierung zu leisten.

2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Das bestehende Trocknungskonzept der Firma SWISS KRONO wurde durch einen OSB-Vortrockner ergänzt. Es wird die Abwärme des Biomasse-Heizkraftwerkes durch eine Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau gebracht und somit der Erdgaseinsatz an den Trocknern deutlich reduziert. Darüber hinaus ist ein Blockheizkraftwerk zur Strom- und Wärme-



erzeugung installiert worden, das Strom für die Wärmepumpen und Wärme zur zusätzlichen Nutzung im OSB-Vortrockner liefert.

Bei dem Vorhaben handelt es sich um eine innovative, hocheffiziente Form der Abwärmenutzung zur OSB-Vortrocknung. Das innovative Anlagenkonzept und dessen Einsparwirkung werden nachfolgend erläutert.

2.2.1 Technische Beschreibung

Das hocheffiziente Anlagenkonzept besteht aus einer Abwärmequelle, zwei Wärmepumpen, einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (KWK-Anlage), angepasster Steuer- und Regeltechnik sowie einer Niedertemperaturanwendung. Als Abwärmequelle dient die Abdampfkondensation des Biomasse-Heizkraftwerks und als KWK-Anlage ein Erdgas-BHKW. Als Wärmeabnehmer kommt ein Niedertemperatur-OSB-Vortrockner zum Einsatz. Die Systemkomponenten sind genau aufeinander abgestimmt und gewährleisten dadurch ein funktionierendes Zusammenspiel.

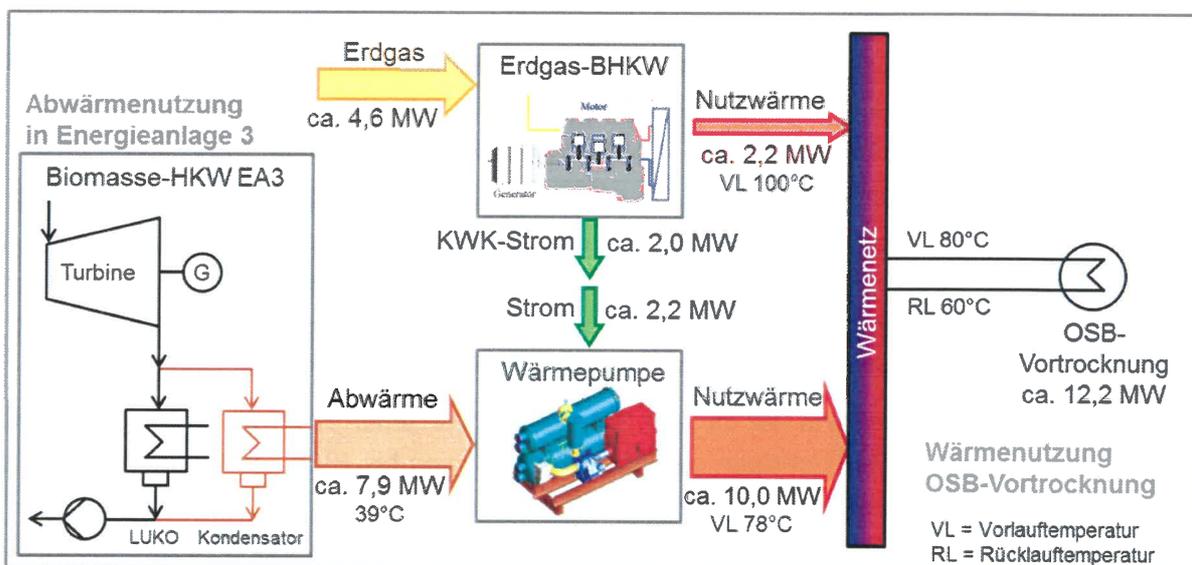


Abbildung 2-1: Abwärmenutzung zur Niedertemperaturvortrocknung

Das Biomasseheizkraftwerk (Energieanlage 3 - EA3) wurde so umgerüstet, dass ein Teil der anfallenden Kondensationswärme aus dem Kraftwerksprozess auf einem Temperaturniveau von ca. 39 °C in zwei Heizkondensatoren genutzt werden kann, anstatt sie im Luftkondensator (LU-KO) an die Umgebung rückzukühlen. In Summe stehen hieraus für die zwei Wärmepumpen ca. 7,9 MW thermische Leistung zur Verfügung. Die Wärmepumpen mit einer elektrischen Leistung von je 1,1 MW erreichen damit eine thermische Leistung von zusammen 10,0 MW bei 78 °C Vorlauftemperatur für die OSB-Vortrocknung.

Die elektrische Energie zum Betrieb der Wärmepumpen wird durch ein Erdgas-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 2,0 MW bereitgestellt. Dadurch stehen zusätzlich 2,2 MW thermisch mit 100 °C (Mischtemperatur für OSB-Vortrocknung 80 °C) für den Vortrockner zur Verfügung. Der Brennstoffbedarf des BHKW liegt bei 4,6 MW.



Der OSB-Vortrockner mit einer Leistung von insgesamt 12,2 MW thermisch wird durch die Wärmepumpen und das BHKW mit Wärme versorgt.

Die Effizienz des Systems wird dadurch erhöht, dass die Abwärme des BHKWs mit einer Vorlauf-temperatur von ca. 100 °C in das System zur Wärmeerzeugung eingekoppelt wird. Bei einer Vorlauf-temperatur für die OSB-Vortrocknung von 80 °C ist somit an den Wärmepumpen nur ein um 2 °C reduzierter Temperaturhub (von 39 °C auf nur 78 °C anstatt 80 °C) erforderlich. Der Wirkungsgrad der Wärmepumpen (COP) wird damit gesteigert.

Die Anlagenkomponenten Wärmepumpen und OSB-Vortrockner sind so aufeinander abge- stimmt, dass der Heizkreislauf mit einer gleitenden Vorlauf-temperatur zwischen 75 °C und 85 °C (Mischtemperatur aus Wärmepumpe 73 °C bis 83 °C und BHKW 100 °C) betrieben wer- den kann. Somit kann die Fahrweise der Anlage entsprechend der Außenlufttemperatur hin- sichtlich des Energieverbrauches der Lüfter des OSB-Vortrockners und des Trocknungsergebnis- ses im Betrieb jederzeit flexibel optimiert werden.

Das System ermöglicht es die Niedertemperatur-Abwärme aus dem Biomassekraftwerk, die an- sonsten nicht nutzbar wäre, in Verbindung mit einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage soweit auf- zuwerten, dass sie als Prozesswärme zur Trocknung verwendet werden kann. Im Vergleich zum bestehenden Anlagenkonzept wird durch die Kombination mit dem OSB-Vortrockner jährlich eine Einsparung von ca. 24.300 MWh Primärenergie angestrebt. Die CO₂-Entlastung durch das Vorhaben liegt bei etwa 5.100 Tonnen pro Jahr (Planzahlen).

In der Tabelle 2-1 sind die Hauptkomponenten der Anlage aufgeführt und Abbildung 2-2 stellt das System schematisch dar.

Tabelle 2-1: Tabelle der Hauptkomponenten

Bez.	Hersteller	Typ/Nr.	Bj.	Nennleistung	Bemerkung
K	Deller GmbH	BEU 1200/3650	2015	2 x 4.000 kW _{th}	Kondensator
WP	GEA Refrigeration GmbH	MX PP 1700 HP NH3	2015	2 x 5.000 kW _{th}	Wärmepumpen
BHKW	SES Energiesysteme GmbH	SES-C40 HPC 2000 N	2015	1.999 kW _{el} 2.126 kW _{th}	Blockheizkraftwerk
VT	Stela Laxhuber GmbH	BT 2/6200-25,5	2015	12.200 kW _{th}	OSB-Vortrockner
FT	AMF Bruns GmbH	KKF, DSF	2015	600 m ³ /h	Fördertechnik

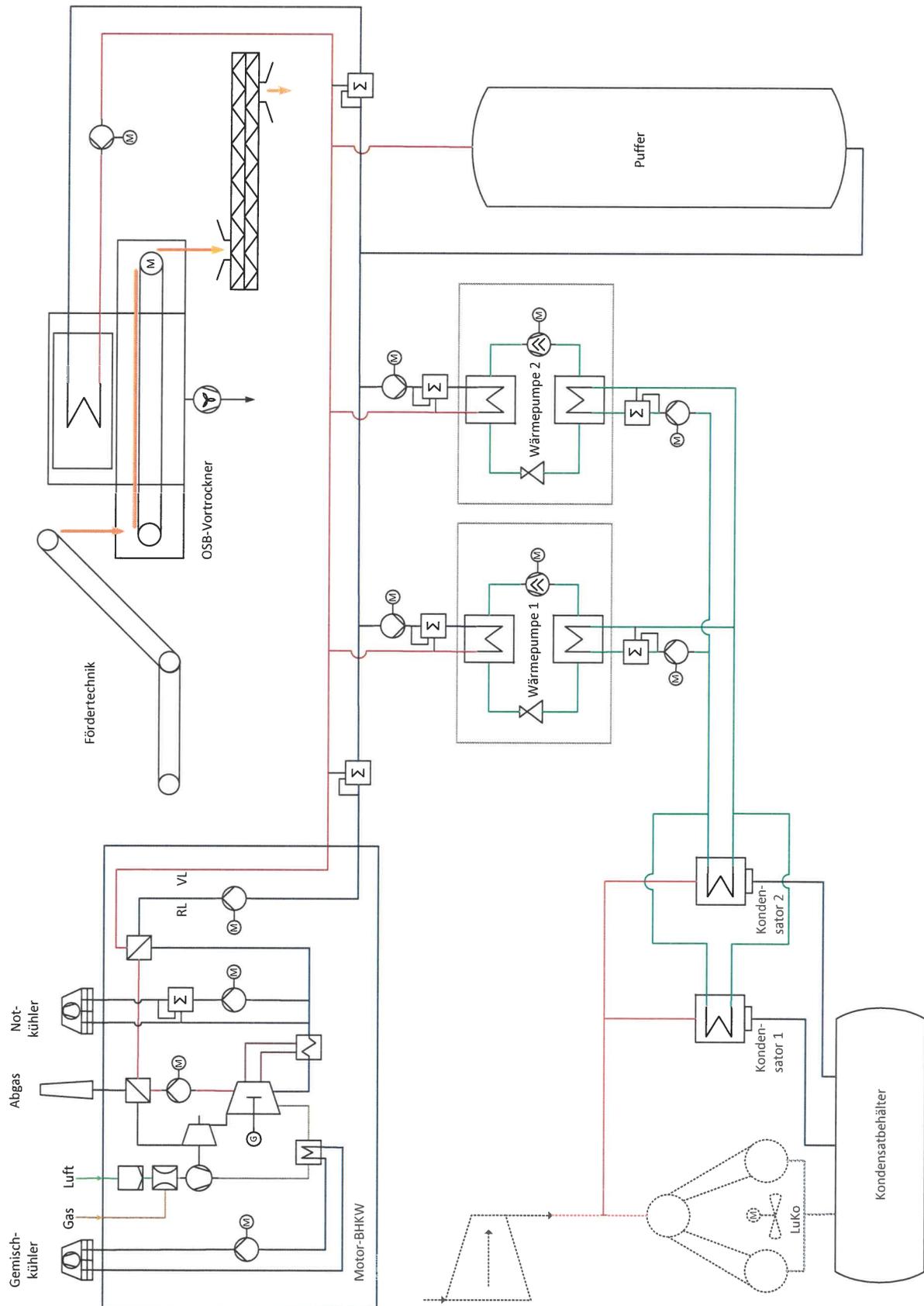


Abbildung 2-2: Schematische Darstellung



2.2.2 Leistungsdaten der Anlage

Im Auslegungsfall nutzt die Anlage Abwärme aus dem Wasserdampfkondensator des Dampfturbinenkraftwerks auf einem Temperaturniveau von 39 °C. Die Wärmepumpenanlage hebt die Temperatur der Wärme auf ein nutzbares Niveau von 78 °C. Der elektrische Leistungsbedarf der beiden Wärmepumpenaggregate beträgt in Summe 2,212 MW. Der elektrische Strom für den Antrieb der Verdichter wird vom Erdgas-BHKW in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt. Die Wärmepumpen erzeugen damit 10,00 MW Nutzwärme aus 7,86 MW Abwärme. Die Leistungszahl (COP) der Wärmepumpen liegt dabei bei 4,52. Zusätzlich werden durch das Erdgas-BHKW 2,126 MW Nutzwärme aus 4,581 MW Erdgas zur Verfügung gestellt.

Nachfolgend sind die Leistungsdaten der Anlagenkomponenten zusammengestellt:

Tabelle 2-2: Leistungsdaten der Anlagenkomponenten

Kondensatoren	Wärmepumpen	BHKW	Trockner	Förder-technik
Thermische Leistung: 2 x 4.000 kW	Quellenleistung: 2 x 3.930 kW	Elektrische Leistung: 1.999 kW	Thermische Leistung: 12.200 kW	Förderung Holz- Späne:
	Senkenleistung: 2 x 5.000 kW	Thermische Leistung: 2.126 kW	Quellentemperatur: VL/RL 80°C / 60°C	600 m³/h
	Elektr. Leistung: 2 x 1.106 kW	Feuerungsleistung: 4.581 kW		
	Leistungszahl (COP): 4,52	Wirkungsgrad el.: 43,6 %		
	Quellentemperatur: VL/RL 39°C / 33°C	Wirkungsgrad th.: 46,4 %		
	Senktemperatur: VL/RL 78°C / 60°C	Wirkungsgrad ges.: 90,0 %		
		Senktemperatur: VL/RL 100°C / 60°C		

2.2.3 Betriebsarten (variable Fahrweise der Anlage)

Für den Anlagenbetrieb sind verschiedene Betriebsarten vorgesehen. Die Betriebsarten unterscheiden sich in der verfügbaren Temperatur der Kühlkreisseite, also der Abwärmequelle und der bereitgestellten Temperatur auf der Heizkreisseite, also der Wärmenutzung. Die Notwendigkeit der unterschiedlichen Betriebsarten ist bedingt durch die jahreszeitliche Verschiebung von Quellen- und Senktemperatur. Der Standardbetriebspunkt ist unter 2.2.2 beschrieben.

Bei höheren Außenlufttemperaturen kann der Trocknungsprozess bei Bedarf auf eine etwas höhere Vorlauftemperatur umgestellt werden. Die Senktemperatur der Wärmepumpenanlage wird dabei auf bis zu 83 °C angehoben. Die Quelltemperatur bleibt, bedingt durch einen konstanten Abdampfdruck im Wasserdampfkondensator, unverändert beim Auslegungswert von 39 °C. Bei dieser Betriebsart sinkt die Leistungszahl (COP) der Wärmepumpenanlage, bedingt durch den größeren Hub, um etwa 7,4 % von 4,52 auf 4,19. Bei gleichbleibendem Strombezug geht die thermische Leistung von 10,00 MW auf 9,26 MW zurück.



Im Sommerbetrieb liefert die Abwärmequelle, aufgrund des geringfügig höheren Abdampfdrucks im Wasserdampfkondensator, eine höhere Quellentemperatur. Die zu nutzende Abwärme steht dann mit bis zu 42 °C zur Verfügung. Die Senktemperatur der Wärmenutzung bleibt unverändert beim Auslegungswert von 78 °C. In dieser Betriebsart steigt die Leistungszahl der Wärmepumpenanlage, bedingt durch den geringeren Hub, um etwa 3,3 % von 4,52 auf 4,67. Die thermische Leistung erhöht sich bei gleichbleibendem Strombezug von 10,00 MW auf 10,33 MW.

2.3 Umsetzung des Vorhabens

2.3.1 Projektschritte und Zeitplan

Die Projektentwicklung für dieses Vorhaben startete im 4. Quartal 2012.

Der Bau der Anlage umfasste folgende Projektschritte:

- Vor-, Entwurfs- und Genehmigungsplanung
- Ausführungsplanung
- Ausschreibung und Vergabe
- Fertigung / Montage / Inbetriebnahme
- Optimierung

Der Zeitbedarf war insbesondere von der Dauer der Projektentwicklung und Vorplanung, des Genehmigungsverfahrens, von der Lieferzeit der Hauptkomponenten als auch der Vergabeentscheidung des Auftraggebers bestimmt.

Für die Fertigung der Hauptkomponenten (Erdgas-BHKW, Wärmepumpen, Vortrockner, Förder-technik), die Montage der Gesamtanlage und die Inbetriebnahme wurden insgesamt 11 Monate benötigt. Die Inbetriebnahme der Gesamtanlage erfolgte im November und Dezember 2015.

Das begleitende Messprogramm wurde am 01. Dezember 2015 gestartet und bis 30. November 2016 durchgeführt.

Der nachfolgende Zeitplan und die beispielhaften Fotos geben eine Übersicht über die zeitliche Abfolge der durchgeführten Arbeiten.



Tabelle 2-3: Zeitplan des Vorhabens

		Projektlaufzeit														
		2012			2013											
		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	Projektentwicklung															
2	Vorplanung															
3	Abgabe Fördermittelantrag: 10.06.2013															
4	Genehmigungsplanung															
5	Abgabe Genehmigungsantrag: 19.12.2013															

		Projektlaufzeit														
		2014												2015		
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz
6	Genehmigungsverfahren															
7	Genehmigungsbescheid: 27.08.2014															
8	Fördermittelusage: 06.03.2014															
9	Entwurfs-/Ausführungsplanung Hauptgewerke															
10	Ausschreibung/Vergabe Wärmepumpen (WP)															
11	Ausschreibung/Vergabe BHKW															
12	Ausschreibung/Vergabe Vortrockner (VT)															
13	Ausschreibung/Vergabe Fördertechnik (FT)															
14	Lieferzeit Hauptgewerke															
15	Entwurfs-/Ausführungsplanung Heiztechnik															
16	Entwurfs-/Ausführungsplanung Elektrotechnik															
17	Entwurfs-/Ausführungsplanung Hoch-/Tiefbau															

		Projektlaufzeit																	
		2015												2016					
		Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun			
14	Lieferzeit Hauptgewerke																		
15	Entwurfs-/Ausführungsplanung Heiztechnik																		
16	Entwurfs-/Ausführungsplanung Elektrotechnik																		
17	Entwurfs-/Ausführungsplanung Hoch-/Tiefbau																		
18	Ausschreibung/Vergabe Heiztechnik																		
19	Ausschreibung/Vergabe Elektrotechnik																		
20	Ausschreibung/Vergabe Hoch-/Tiefbau																		
21	Bauzeit Wärmepumpengebäude																		
22	Bauzeit Fundamente BHKW, VT, FT																		
23	Montage Fördertechnik																		
24	Montage Heiztechnik																		
25	Montage Elektrotechnik																		
26	Montage Hauptgewerke (BHKW, WP, VT)																		
27	Inbetriebnahme																		
28	Messprogramm: 01.12.15 bis 30.11.16																		
29	Optimierungsmaßnahmen																		



Abbildung 2-3: Bau Wärmepumpengebäude im Juli 2015



Abbildung 2-4: Montage der Wärmepumpe 1 im August 2015



Abbildung 2-5: Montage Erdgas-BHKW im September 2015



Abbildung 2-6: Montage OSB-Vortrockner im September 2015



2.3.2 Hemmnisse bis zur Inbetriebnahme

Pilotanlagen bergen ein gewisses Risiko. Auch in diesem Vorhaben ergaben sich während des Projektverlaufs Hemmnisse und Verzögerungen, die nachfolgend stichpunktartig beschrieben werden:

- **Verzögerter Beginn der Ausführungsplanung und der Vergaben:**
Um die Vorgaben aus dem Genehmigungsbescheid der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung in diesem Pilotprojekt berücksichtigen zu können, erfolgte die Freigabe für die weiteren Planungsschritte erst nach Erteilung der Genehmigung.
Mit der Ausführungsplanung der Hauptgewerke wurde so im August 2014 begonnen.
- **Anpassung Wärmepumpengebäude wegen Platzmangel:**
Während des Projektverlaufs wurde das Gebäude für die Wärmepumpen angepasst. Der tatsächliche Platzbedarf für das Heizsystem war größer als ursprünglich veranschlagt. Aufgrund der örtlichen Situation konnte das geplante Gebäude nicht verbreitert werden. Die Heiztechnik wurde in einem separaten Geschoss oberhalb der Wärmepumpen untergebracht. Das geplante Gebäude erhöhte sich von ursprünglich 8 Metern auf 12 Meter.
- **Die geplante Inbetriebnahme der Gesamtanlage verzögerte sich aufgrund der Komplexität ein wenig.** Für den Anschluss der 6,3kV-Schaltanlage (für das BHKW und die Wärmepumpen) an das 20kV-Werksnetz, musste ein geplanter Stillstand der OSB-Linien abgewartet werden, um die Produktion nicht abschalten zu müssen.

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Die Anlage war hinsichtlich ihrer Art und räumlichen Einbindung sowie der Verknüpfung der Produktionsabläufe immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig. Zur Genehmigung der Errichtung und des Betriebs erfolgte ein Änderungsgenehmigungsantrag vom Dezember 2013. Zuständige Genehmigungsbehörde ist das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg in Potsdam. Gegenstand des Antrages war die wesentliche Änderung einer gemeinsamen Anlage zur Produktion und Verarbeitung von Holzspan- und Holzfaserverplatten.

Der Genehmigungsantrag umfasst u.a. folgende, für dieses Vorhaben relevante, technische Komponenten:

- Betriebseinheit Kondensator mit Kühlkreispumpe
- Betriebseinheit Wärmepumpen in 2 Aggregaten inkl. Füllstoffen wie Ammoniak, Schmieröl sowie Schmierölbevorratung
- Betriebseinheit erdgasbefeuertes Blockheizkraftwerk als Verbrennungsmotoranlage mit Generator, kompakt im Container inkl. Schmierstoffen sowie Schmierstoffbevorratung
- Betriebseinheit Wärmekreisläufe mit Wärmeträgermedium inkl. Frostschutzmittel

Der Bescheid zur Änderungsgenehmigung erfolgte im August 2014.



2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Mit der Mess- und Datenerfassung werden u. a. folgende Energie- und Leistungsgrößen erfasst und bewertet:

Energie- und Leistungswerte Erdgas-BHKW:

- Erdgasverbrauch
- Stromerzeugung (brutto)
- Stromeigenbedarf
- Nutzwärme
- Wärme Notkühler

Energie- und Leistungswerte Wärmepumpen:

- Abwärme aus den Kondensatoren der Energieanlage 3 je Wärmepumpe (Kältekreis)
- Heizwärme je Wärmepumpe (Heizkreis)
- Stromeigenbedarf Verdichtermotor je Wärmepumpe
- Stromeigenbedarf Peripherie

Energie- und Leistungswerte OSB-Vortrockner und Heizsystem:

- Nutzwärme OSB-Vortrocknung (äquivalente Erdgasreduktion in bestehenden OSB-Trocknern)
- Stromeigenbedarf OSB-Vortrockner und Fördertechnik
- Stromeigenbedarf Heizsystem

Mit den Auswertungsergebnissen der Mess- und Datenerfassung wird geprüft, ob die Abwärmennutzung der Planung entspricht. Weiterhin wird die optimale Umsetzung des Erdgases in Strom und Wärme überprüft.

Durch die installierten Strom-, Wärme- und Erdgaszähler wird eine Gesamtenergiebilanz erstellt und die Gesamteinsparung überprüft. Die Anlage kann mithilfe der Messdaten in Abhängigkeit der Betriebsparameter optimiert werden.

Bei Bedarf können aus den Messergebnissen Handlungsempfehlungen abgeleitet oder Optimierungsansätze aufgezeigt werden.

2.5.1 Messstellen Wärmemengenzähler (WMZ)

Hersteller und Typ: Endress & Hauser, Promag 50P mit EngyCal RH33 Wärmehzähler

Messverfahren: Magnetisch-induktives Durchflussmessgerät

Dauer: ganzjährig

Häufigkeit: kontinuierlich

Intervall: Berechnung von ¼-Stunden-, 1-Stunden- und 1-Tages-Mittelwerten

Ort der Messungen:

- Kältekreis Wärmepumpe 1 vor Verdampfeintritt
- Heizkreis Wärmepumpe 1 vor Eintritt Unterkühler
- Kältekreis Wärmepumpe 2 vor Verdampfeintritt
- Heizkreis Wärmepumpe 2 vor Eintritt Unterkühler
- Nutzwärme BHKW im Rücklauf zum BHKW im Wärmepumpengebäude
- Notkühlung BHKW im Rücklauf zum Notkühler im BHKW-Container
- OSB-Vortrocknung im Rücklauf zum Trockner im Wärmepumpengebäude



Abbildung 2-7: EngyCal RH33 Wärmehzähler für OSB-Vortrocknung

2.5.2 Messstellen Stromzähler

Hersteller und Typ: ABB B24 111-100 und Grossen Metrawatt U1389

Messverfahren: Wandlermessung

Dauer: ganzjährig

Häufigkeit: kontinuierlich

Intervall: Berechnung von ¼-Stunden-, 1-Stunden- und 1-Tages-Mittelwerten

Ort der Messungen:

- Verdichtermotor der Wärmepumpe 1 in MS-Raum Wärmepumpengebäude - 6,3 kV
- Verdichtermotor der Wärmepumpe 2 in MS-Raum Wärmepumpengebäude - 6,3 kV
- Eigenbedarf Wärmepumpe 1 in Elektroverteilung Energieanlage 3 - 0,4 kV
- Eigenbedarf Wärmepumpe 2 in Elektroverteilung Energieanlage 3 - 0,4 kV
- Stromerzeugung BHKW in Elektroverteilung Energieanlage 3 - 6,3 kV
- Eigenbedarf BHKW in Elektroverteilung Energieanlage 3 - 0,4 kV
- Heizkreis in Elektroverteilung Energieanlage 3 - 0,4 kV
- OSB-Vortrockner mit Fördertechnik in Schaltheus H - 0,4 kV

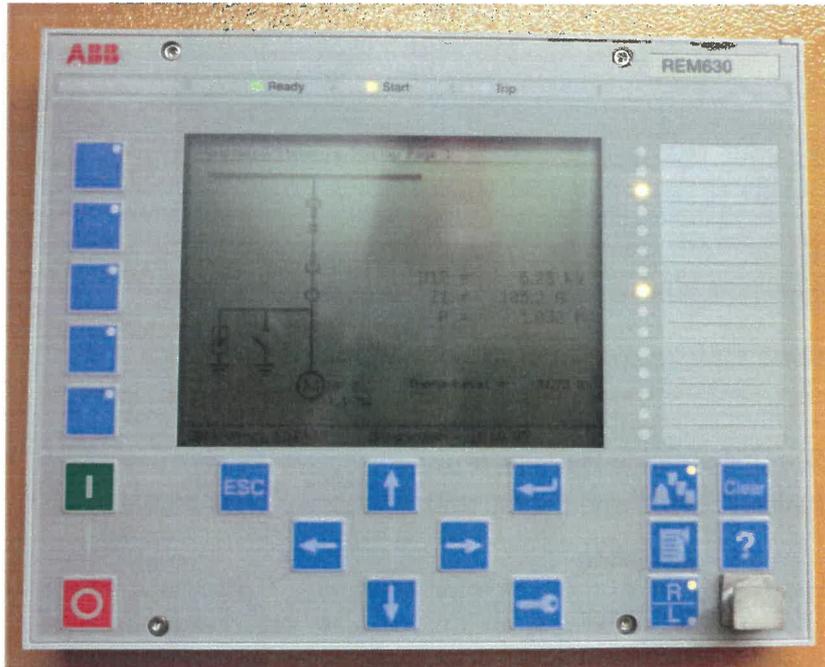


Abbildung 2-8: Messstelle Verdichtermotor Wärmepumpe 1

2.5.3 Messstelle Erdgaszähler

Hersteller und Typ: Elster RABO G100, Mengenkonverter Typ MU EK280

Messverfahren: Drehkolbenzähler

Dauer: ganzjährig

Häufigkeit: kontinuierlich

Intervall: Berechnung von ¼-Stunden-, 1-Stunden- und 1-Tages-Mittelwerten

Ort der Messung:

- Erdgasleitung am BHKW-Container

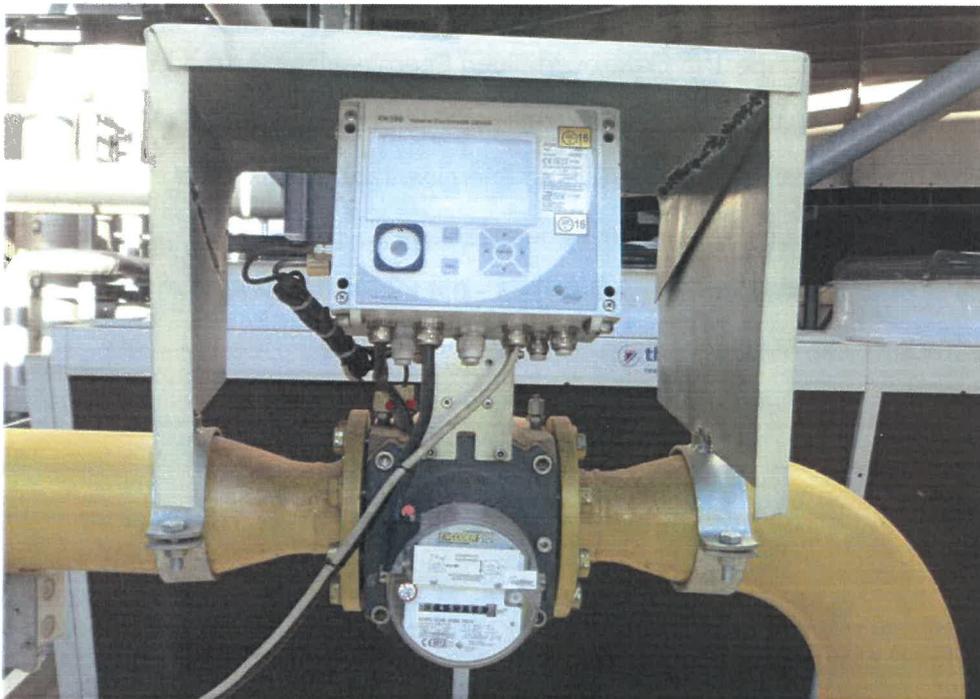


Abbildung 2-9: Erdgaszähler mit Mengenumwerter am BHKW-Container

2.5.4 Temperaturmessstellen und sonstige Messungen

Messverfahren Temperaturfühler: Pt100 und Pt1000 Widerstandstemperturfühler

Dauer: ganzjährig

Häufigkeit: kontinuierlich

Intervall: Archivierung Momentanwerte in 2-Sekundenintervall

Ort der Messungen:

- Vorlauf- und Rücklauftemperaturen im Heiznetz für BHKW, Wärmepumpe 1 und 2, Kondensatoren 1 und 2 und OSB-Vortrockner
- Warmluft- und Ablufttemperaturen im OSB-Vortrockner für Kammern 1 bis 6



- Außenlufttemperatur: Nordseite OSB-Vortrockner
- Luftfeuchtemessung: Nordseite OSB-Vortrockner

2.5.5 Visualisierung und Trendaufzeichnung der Prozesse

Der Leitrechner befindet sich in der Leitwarte der OSB-Produktion. Der Prozess der Wärmeproduktion (Wärmepumpen mit BHKW) und der Wärmeverteilung über das Heiznetz zum OSB-Vortrockner wird vom Bedienpersonal der Energieanlage 3 mit überwacht. Die Betriebsmannschaft der OSB-Produktion steuert und überwacht den Trocknungsprozess im OSB-Vortrockner sowie die Fördertechnik zur Beschickung der beiden Bestandstrockner.

Die Prozesse der beiden Wärmepumpen mit Kondensatoren, des Erdgas-BHKWs, des Heizsystems, des OSB-Vortrockners und der Fördertechnik werden visualisiert, die Verbräuche und Lastgänge erfasst und gespeichert.

In Abbildung 2-10 bis Abbildung 2-13 sind Auszüge aus der Visualisierung der Prozesse mit den entsprechenden Messwerten dargestellt.

Abbildung 2-10 zeigt beispielsweise den Kältekreis mit den beiden Kondensatoren in der Abdampfleitung der Energieanlage 3 (Abwärme), die Kältekreisumpen sowie die Verdampfer der Wärmepumpen. Kälteleistungen, Kältemengen und die Temperaturen werden kontinuierlich visualisiert und aufgezeichnet.

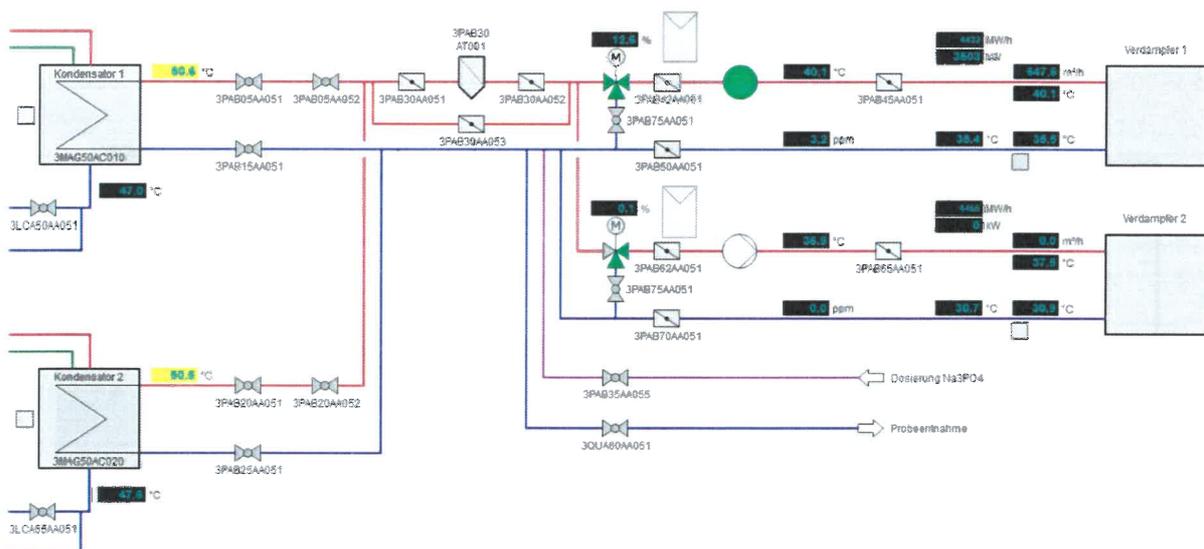


Abbildung 2-10: Auszug aus der Visualisierung des Kältekreises der Wärmepumpen mit Messwerten

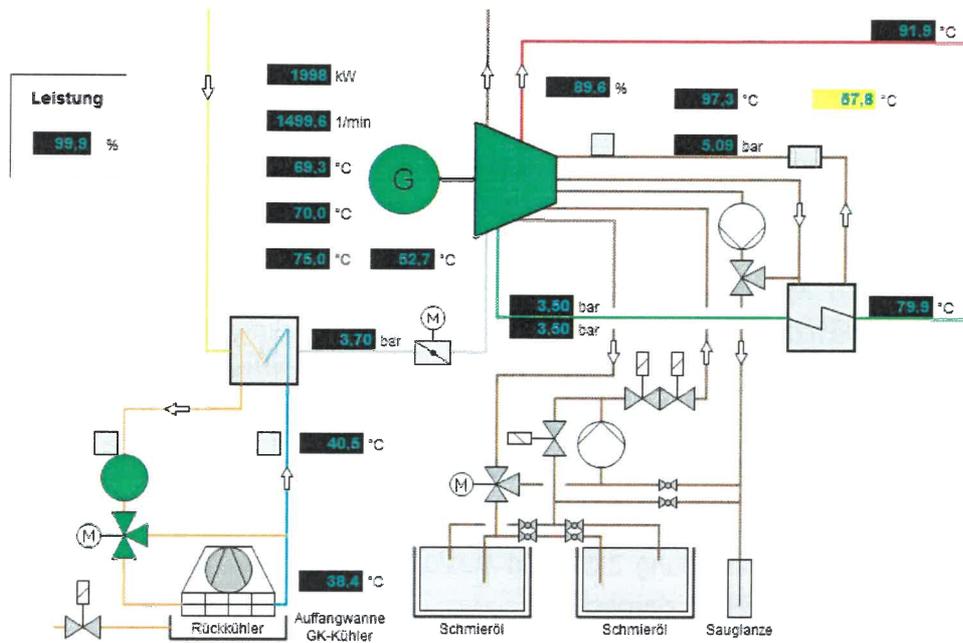


Abbildung 2-11: Auszug aus der Visualisierung des BHKWs mit Messwerten

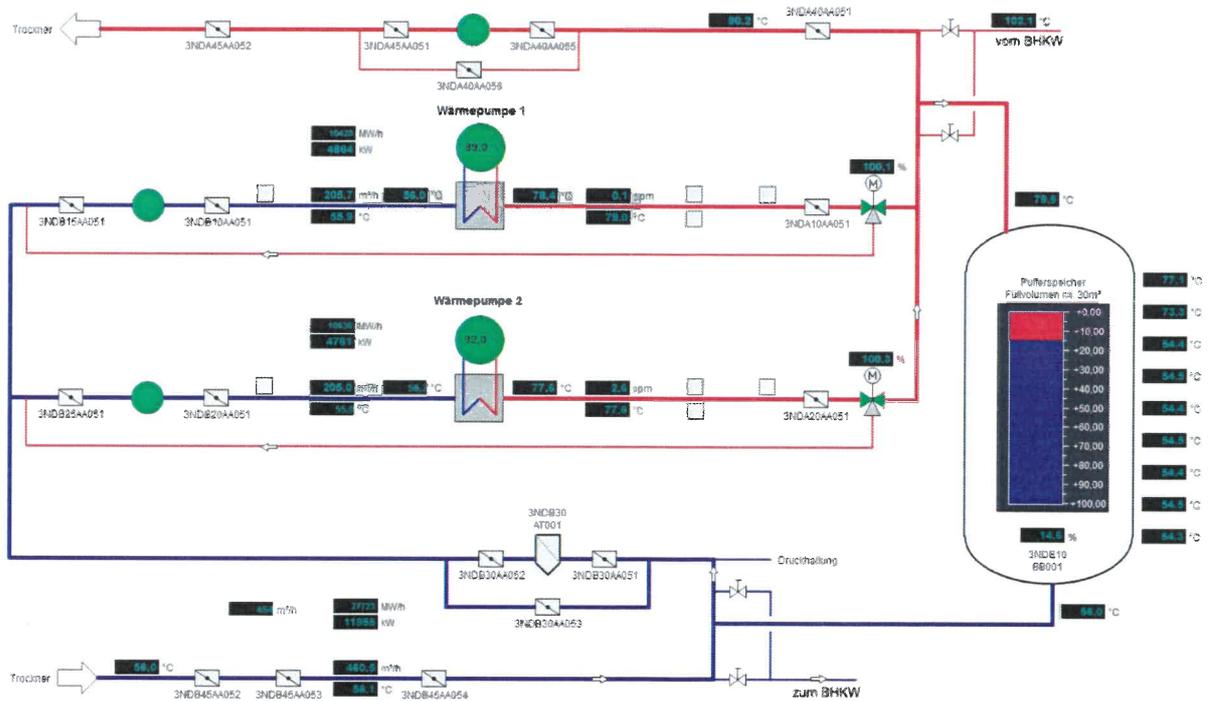


Abbildung 2-12: Auszug aus der Visualisierung der Wärmeverteilung mit Messwerten

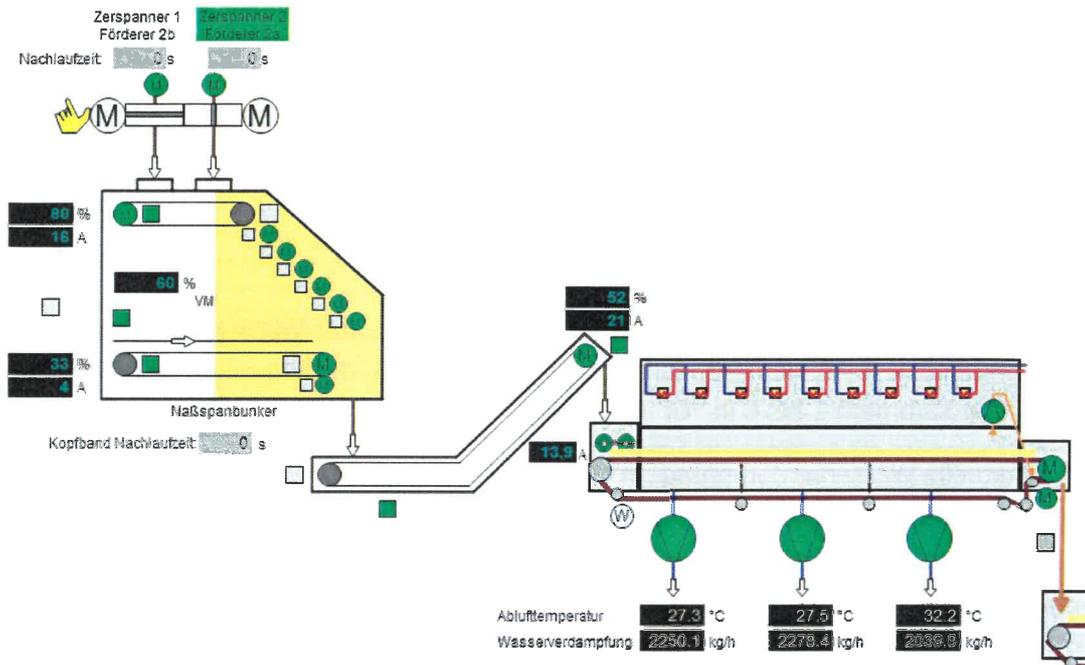


Abbildung 2-13: Auszug aus der Visualisierung der Fördertechnik mit OSB-Vortrocknung

2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Auf Grundlage der kontinuierlichen Überwachung und umfassenden Dokumentation wird der ökologische und ökonomische Erfolg belegt.

Die begleitende Mess- und Datenerfassung lief vom 01.12.2015 bis zum 30.11.2016. Zum einen diente dies der Steuerungs- und Regelungstechnik zur laufenden Optimierung der Betriebsweise der einzelnen Komponenten. Darüber hinaus ermöglichte sie eine Auswertung der wesentlichen Energieströme. Mit der Mess- und Datenerfassung wurden u. a. folgende Größen erfasst und mit Hilfe von berechneten Wirkungsgraden bewertet:

Berechnung der Kenngrößen für das Erdgas-BHKW aus dem Erdgasverbrauch in Nm³/h, der Stromproduktion in MW, den Wärmeleistungen in MW und des Stromeigenbedarfs des BHKWs:

- Elektrischer Wirkungsgrad (brutto):
$$\eta_{el} = \frac{P_{el,brutto}}{P_{FWL}} = \frac{P_{el,brutto}}{\dot{V}_{Erdgas} \cdot H_i}$$
- Thermischer Wirkungsgrad:
$$\eta_{th} = \frac{P_{th}}{P_{FWL}} = \frac{P_{Nutz} + P_{Kühler}}{\dot{V}_{Erdgas} \cdot H_i}$$
- Gesamtwirkungsgrad:
$$\eta_{ges} = \frac{P_{el,brutto} + P_{th}}{P_{FWL}} = \frac{P_{el,brutto} + P_{Nutz} + P_{Kühler}}{\dot{V}_{Erdgas} \cdot H_i}$$
- Berechnung der Stromkennzahl (netto):
$$\sigma_{netto} = \frac{P_{el,brutto} - P_{el,EB}}{P_{Nutz} + P_{Kühler}}$$
- Bewertung des Stromeigenbedarfs des BHKWs



Berechnung der Kenngrößen für die Wärmepumpen 1 und 2 aus dem Strombedarf für die Verdichtermotoren in MW, den Wärmeleistungen in MW und dem Stromeigenbedarf:

- Leistungszahl der Wärmepumpen (COP):
$$COP = \frac{P_{th,Heizkreis}}{P_{el,Verdichter}}$$
- Bewertung des Stromeigenbedarfs der Wärmepumpen
- Bewertung des Stromeigenbedarfs des Heizkreises

Berechnung der Kenngrößen für die OSB-Vortrocknung aus der Wärmeleistung in MW, der Außenlufttemperatur in °C, der relativen Luftfeuchtigkeit in %, der Warmluft- und Kaltlufttemperaturen in den Kammern 1 bis 6 in °C:

- Aktuelle Wasserverdampfung im OSB-Vortrockner je Kammer und gesamte Wasserverdampfung (Berechnung auf Grundlage des h-x-Diagramms nach Mollier)
- Wärmeverbrauch je Tonne Wasserverdampfung (spezifische Wasserverdampfung), entspricht dem Wirkungsgrad der Wasserverdampfung
- Strombedarf je Tonne Wasserverdampfung (spezifischer Strombedarf)

Der Wirkungsgrad der Wasserverdampfung wird berechnet und kontinuierlich überwacht. Im Leitsystem wird aus den Messdaten die aktuelle Wasserverdampfung in jeder der 6 Kammern des OSB-Vortrockners online bestimmt. Ein Zähler summiert die gesamte Wasserverdampfung auf.

Auf Grundlage dieser Kenngrößen kann die Qualität der Wasserverdampfung bewertet werden. Die Betriebsmannschaft analysiert die aktuelle Fahrweise des OSB-Vortrockners und kann den Prozess bei Bedarf anpassen.

Die erreichte Wasserverdampfung im OSB-Vortrockner ist das Maß für die Erdgasreduktion in den bestehenden OSB-Vortrocknern.

Abbildung 2-14 zeigt die Visualisierung der aktuellen Wasserverdampfung in den 6 Kammern des OSB-Vortrockners. Wichtige Betriebsparameter wie der Volumenstrom der OSB-Strands durch den Trockner, der Durchsatz gesamt, die Wasserverdampfung gesamt, die Wärmeleistung, die Außenlufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit werden dem Betriebspersonal kontinuierlich zur Verfügung gestellt.

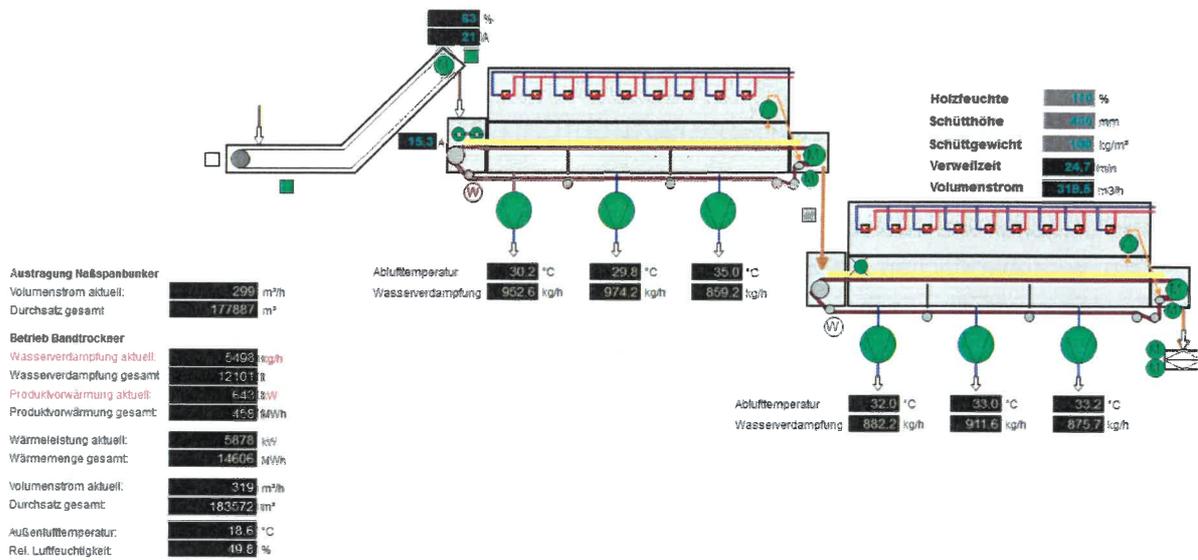


Abbildung 2-14: Visualisierung der aktuellen Wasserverdampfung in den 6 Kammern des OSB-Vortrockners und Darstellung der wichtigsten Prozessdaten

Die Langzeitdatenspeicherung wird über das bei SWISS KRONO bestehende Energiedatenmanagementsystem umgesetzt. Aus den archivierten Daten werden Tages- und Monatsreports mit den Energieverbräuchen (1/4-Stunden-, 1-Stunden- und Tagesmittelwerte) und den dazugehörigen Kenngrößen erstellt.



3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Während des gesamten Projektverlaufs von der Projektentwicklung bis hin zur Realisierung des Pilotprojekts und während der laufenden Produktion war eine intensive Abstimmung zwischen den Verantwortlichen bei SWISS KRONO, dem Anlagenplaner (eta Energieberatung), den Behörden sowie den Fachplanern (Bau, Heiztechnik, Elektrotechnik) und den ausführenden Firmen erforderlich. Die Planung und konzeptionelle Abwicklung erfolgte durch die eta Energieberatung GbR in enger Zusammenarbeit mit SWISS KRONO.

Aufgrund der Entscheidung, mit der Ausführungsplanung erst nach Erteilung der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung zu beginnen, verzögerte sich der Baubeginn um ca. 3 Monate. Die Anpassung des Wärmepumpengebäudes von 8 Meter Bauhöhe auf 12 Meter Bauhöhe verzögerte den Baubeginn um ca. 1 Monat. Für den Anschluss der 6,3kV-Schaltanlage, für das BHKW und die Wärmepumpen, an das 20kV-Werksnetz, wurde im November 2015 ein geplanter Stillstand der OSB-Linien abgewartet, um die Produktion nicht abschalten zu müssen. Dies führte zu einer Verzögerung der Inbetriebnahme von ca. 1 Woche. Die Inbetriebnahme der Gesamtanlage erfolgte im Dezember 2015.

Im Laufe des Jahres 2016 waren umfangreiche Umbau- und Optimierungsmaßnahmen erforderlich, um das Ziel des Vorhabens zu erreichen. Die einzelnen Maßnahmen sind im Folgenden beschrieben.

3.1.1 Optimierung Wärmepumpen

Während der Inbetriebnahme stellte sich heraus, dass die beiden Wärmepumpen die erforderliche Wärmeleistung und die spezifizierte Leistungszahl (COP) noch nicht erreichten. Beide Werte lagen zu Beginn um ca. 10 % unter den geplanten Werten.

- ✓ Von April bis Mai 2016 erfolgten Umbauarbeiten an den Wärmepumpenkondensatoren. Die Kondensatoren wurden je um ca. 1 Meter höher gesetzt und eine Flüssigkeitsvorlage mit 2 Niveaumessungen vor dem Unterkühler bei beiden Wärmepumpen eingebaut. Durch diese Maßnahme wird sichergestellt, dass das gasförmige Ammoniak in allen Betriebsfällen kondensiert wird und kein gasförmiges Ammoniak durch das Expansionsventil in den Abscheider strömt.
- ✓ Von Juli bis September 2016 wurden die beiden Schraubenverdichter modifiziert und getauscht um einen höheren Ammoniak-Volumenstrom zu erzielen. Die Wärmeleistung konnte an beiden Wärmepumpen deutlich erhöht werden.
- ✓ Zwischen September und Dezember 2016 erfolgte eine Anpassung der Regelung des Expansionsventils auf die neuen Randbedingungen mit größerem Verdichter. An der Wärmepumpe 1 konnte die Regelung im Oktober fertig eingestellt werden. Bei der Wärmepumpe 2 sind im Dezember 2016 und Januar 2017 noch letzte Einstellungen erforderlich.

Die Optimierungsmaßnahmen an den beiden Wärmepumpen haben das ganze Jahr 2016 ange-dauert. Die Minderleistung im ersten Halbjahr 2016 sowie die Stillstände während der Umbau-phasen haben dazu geführt, dass die geplanten Volllaststunden für das Jahr 2016 nicht erreicht werden konnten. Die Wärmeproduktion blieb deutlich hinter den Planungen zurück.

Erfreulich ist, dass aufgrund der Anstrengungen aller Beteiligten die Optimierungsmaßnahmen erfolgreich waren. Die zugesicherte Leistungszahl (COP) von 4,5 wird für beide Wärmepumpen nahezu erreicht. Die Wärmeleistung beider Wärmepumpen liegt jeweils knapp über 5.000 kW und somit höher als ursprünglich spezifiziert (4.880 kW).

3.1.2 Optimierung OSB-Vortrockner

Die Verteilung der OSB-Strands auf dem Gewebeband des OSB-Vortrockners musste ebenfalls optimiert werden, um einen besseren Verdampfungswirkungsgrad zu erreichen. Um einen hohen Verdampfungswirkungsgrad zu erzielen, ist es wichtig, dass der Produktteppich (OSB-Strands) auf dem Gewebeband des Trockners geschlossen ist. Es dürfen keine Bereiche ohne Produktteppich entstehen, da ansonsten ein Teil der Warmluft an den OSB-Strands vorbei strömt und keinen Wasserdampf aufnimmt, die Verluste steigen an.

Um dies zu erreichen, wurde die Aufgabestation des OSB-Vortrockners mit den beiden Verteil-schnecken vom Hersteller modifiziert. Die Umbaumaßnahmen fanden zwischen Januar und April 2016 statt und konnten erfolgreich abgeschlossen werden.

Zusätzlich sind im Randbereich 2 Kameras installiert, die den Produktteppich an der Aufgabesta-tion kontinuierlich aufzeichnen. Das Betriebspersonal in der Leitwarte kann so die Verteilung der OSB-Strands auf dem Band verfolgen und bei Bedarf die Prozessparameter anpassen. Die Ab-bildung 3-1 zeigt eine Aufnahme der beiden Kameras mit optimal geschlossenem Produkttep-pich. Die OSB-Strands liegen jeweils an der Gehäuseaußenwand an.



Abbildung 3-1: Kameraüberwachung der Bandbelegung im OSB-Vortrockner

Die Anzeige der aktuellen Wasserverdampfung in der Visualisierung, wie in Abschnitt 2.6 be-schrieben, ist ebenfalls ein hilfreiches Werkzeug für das Betriebspersonal um den Trocknungs-prozess zu überwachen. Die Berechnungen wurden im April 2016 in das System integriert.



3.1.3 Optimierung der Erdgas- und Staubbrenner im Bestandstrockner 2

Der Bestandstrockner (Trommeltrockner) der Linie 2 ist mit einem Kombibrenner der Firma Körting ausgerüstet. Der Kombibrenner kann sowohl mit Erdgas als auch mit Holzstaub befeuert werden. Die Mindestlast, mit der der Trockner noch betrieben werden kann, liegt bei Erdgasbetrieb bei 3,5 MW und bei Holzstaubbetrieb bei 6,9 MW.

In den Sommermonaten wird der Rohstoff Holz zum Teil mit geringerem Wassergehalt angeliefert und verarbeitet. Für die Trocknung ist dann eine geringere Wärmeleistung erforderlich. Bei minimaler Last des Holzstaubbrenners von 6,9 MW und der Nennlast der Abwärmenutzung (Wärmepumpen und BHKW) von 12,2 MW liegt die zur Verfügung stehende Wärmeleistung bei 19,1 MW. Tatsächlich liegt die benötigte Wärmeleistung oft unter 15 MW, abhängig von der Holzfeuchte und vom Durchsatz des OSB-Trockners der Linie 2. Dies führte dazu, dass von Mitte Mai bis Ende August 2016 die Abwärmenutzung größtenteils mit nur einer Wärmepumpe betrieben werden konnte.

Bei SWISS KRONO ist der Umbau des Kombibrenners bereits in Planung. Im Frühjahr 2017 soll eine neue, stufenlos geregelte Gas-/Staubfeuerungsanlage eingebaut werden. Damit reduziert sich die Feuerungsleistung sowohl mit Erdgas als auch mit Holzstaub auf eine minimale Leistung von 2,0 MW. Die Laufzeiten der beiden Wärmepumpen können so ab 2017 in den Sommermonaten deutlich erhöht werden.

3.1.4 Bewertung des Vorhabens

Dank der umfangreich installierten Messtechnik konnten Schwachstellen bei den Prozessen aufgedeckt und beseitigt werden. Die in 2016 durchgeführten Optimierungsmaßnahmen waren erfolgreich. Die Anlage erreicht die spezifizierten Werte.

Abbildung 3-2 zeigt die Laufzeit und Wärmeleistung der Wärmepumpen während des begleitenden Messprogramms von Anfang Dezember 2015 bis Ende November 2016. Die Zeiträume für Umbaumaßnahmen, Revisionen der Energieanlage 3 (EA3), Minderleistung und Abschaltungen der Wärmepumpen sind dargestellt. Es hat sich gezeigt, dass die Integration einer solchen Anlage in eine Bestandsanlage mit besonderen Anstrengungen verbunden ist. Für die Integration und Optimierung muss ausreichend Zeit eingeplant werden.

Die Gründe, die in 2016 zu einer geringen Auslastung der Abwärmenutzung geführt haben, sind abgestellt. Es ist damit zu rechnen, dass in 2017 die Nennkapazität der Anlage erreicht wird.

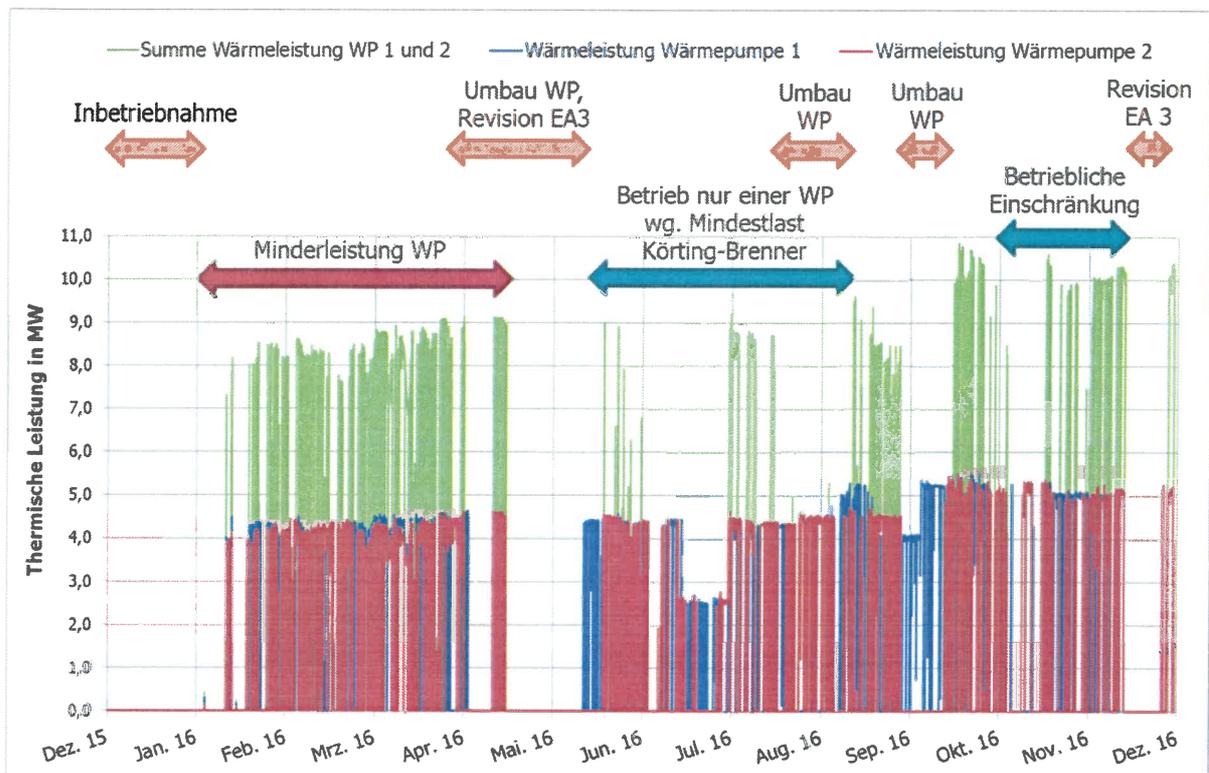


Abbildung 3-2: Laufzeit und Wärmeleistung der Wärmepumpen mit Stillstands- und Optimierungszeiträumen.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

3.2.1 Auswertung Erdgas-BHKW

Die Abnahme des Erdgas-BHKWs mit Leistungstest erfolgte am 10.02.2016. In Tabelle 3-1 sind die Garantiewerte und die IST-Werte aus dem Leistungstest gegenübergestellt. Die Anlage erreicht bei Nennlast nahezu die zugesicherten Werte.

Tabelle 3-1: Gegenüberstellung Garantiewerte und IST-Werte Leistungstest Erdgas-BHKW

	Leistungswerte	IST Leistungstest
Elektrische Leistung	1.999 kW	1.990 kW
Thermische Leistung	2.126 kW	2.146 kW
Gesamtwirkungsgrad	90,0 %	89,1 %
Elektrischer Wirkungsgrad	43,6 %	42,9 %
Feuerungswärmeleistung	4.581 kW	4.643 kW

Die Abbildung 3-3 zeigt die monatlichen Wärmemengen für den Erdgaseinsatz, die genutzte Wärmeenergie, die erzeugte elektrische Energie sowie den Gesamtwirkungsgrad, den elektrischen Wirkungsgrad (brutto) und den thermischen Wirkungsgrad.



In den Monaten Dezember 2015 bis März 2016 war noch kein Mengenumwerter am Erdgaszähler installiert. Die Erdgasverbräuche wurden für diesen Zeitraum auf Grundlage der Wärme- und Strommengen sowie der mittleren Wirkungsgrade der restlichen Monate abgeschätzt.

Im Zeitraum vom 01.12.2015 bis 30.11.2016 wurden insgesamt 16.897 MWh Erdgas (Hi) im Erdgas-BHKW eingesetzt (= Wärmemenge Erdgas). Die erzeugte elektrische Energie betrug 6.810 MWh, die genutzte Wärmemenge erreichte 7.643 MWh und die Wärmemenge über den Notkühler betrug 12 MWh. Daraus ergeben sich für das erste Betriebsjahr folgende mittlere Wirkungsgrade und die mittlere Stromkennzahl:

- Gesamtwirkungsgrad: 85,6 %
- Elektrischer Wirkungsgrad (brutto): 40,3 %
- Thermischer Wirkungsgrad: 45,3 %
- Stromkennzahl (netto): 0,863

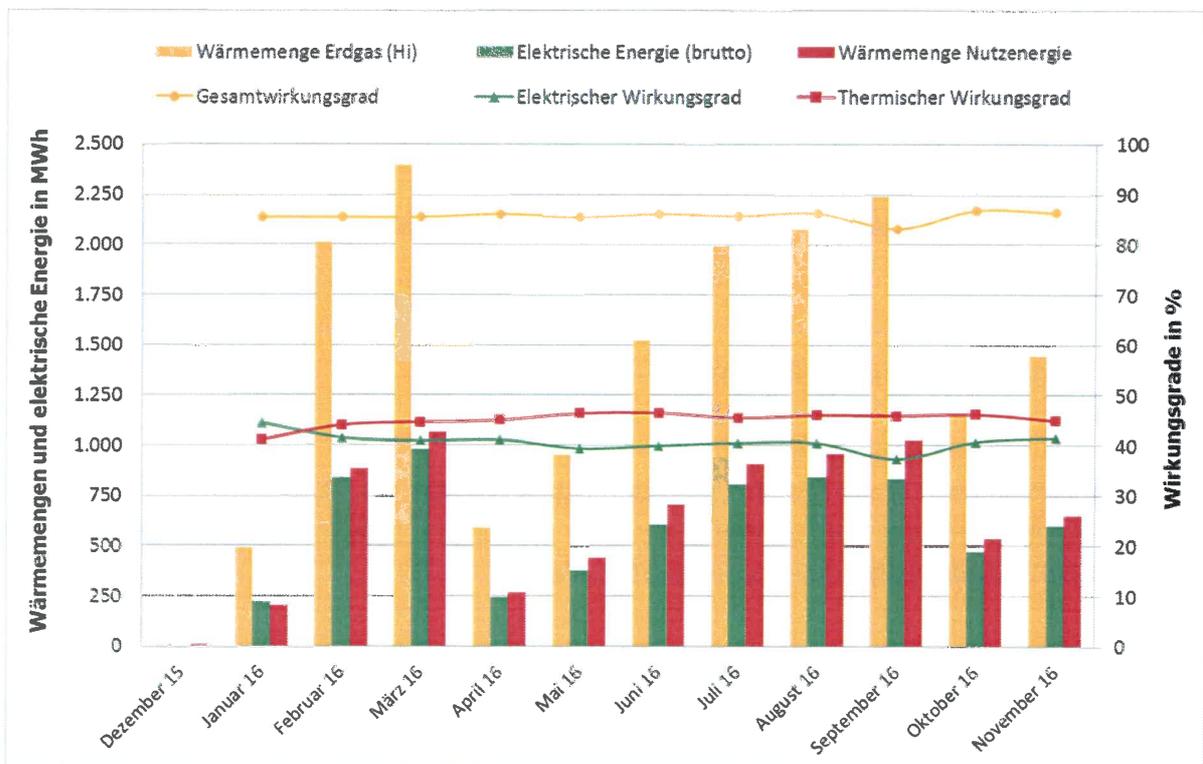


Abbildung 3-3: Wärmemengen, Strombedarf und Wirkungsgrade des Erdgas-BHKWs

Die Wärmemenge, die über den Notkühler abgeführt werden musste, summiert sich im Betrachtungszeitraum auf insgesamt 12 MWh auf. Dies entspricht einem Anteil von 0,16 % der gesamten erzeugten Wärmeenergie (= Wärmemenge Nutzenergie + Wärmemenge Kühler).

Insgesamt wurden 207 MWh elektrische Energie als Stromeigenbedarf benötigt. Das entspricht einem Anteil von 3,0 % bezogen auf die erzeugte elektrische Energie oder 60,7 kW bezogen auf die Volllaststunden des BHKWs.



Im ersten Betriebsjahr erreichte das Erdgas-BHKW 3.407 Volllaststunden. Die Zielvorgabe von 6.500 h/a wurde noch nicht erreicht. Die mittleren Wirkungsgrade sind niedriger als die beim Leistungstest bei Nennlast gemessenen Werte. Der Grund dafür ist, dass das Erdgas-BHKW in Teillast betrieben wird, sobald nur eine Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung benötigt wird.

Abbildung 3-4 zeigt den Lastgang des Erdgas-BHKW im Zeitraum vom 12.09. bis 25.09.2016. Es ist die elektrische und thermische Leistung dargestellt. Aus den ¼-Stunden-Mittelwerten ist der elektrische Wirkungsgrad (brutto) und der thermische Wirkungsgrad berechnet. Zwischen 12.09. und 15.09.2016 wurde die Anlage mit 50 % Last betrieben. Der elektrische Wirkungsgrad beträgt in dieser Zeit ca. 39,7 %. Am 21.09.2016 lief das Erdgas-BHKW bei Nennlast. Der elektrische Wirkungsgrad steigt bei Nennlast auf ca. 41,6 % an.

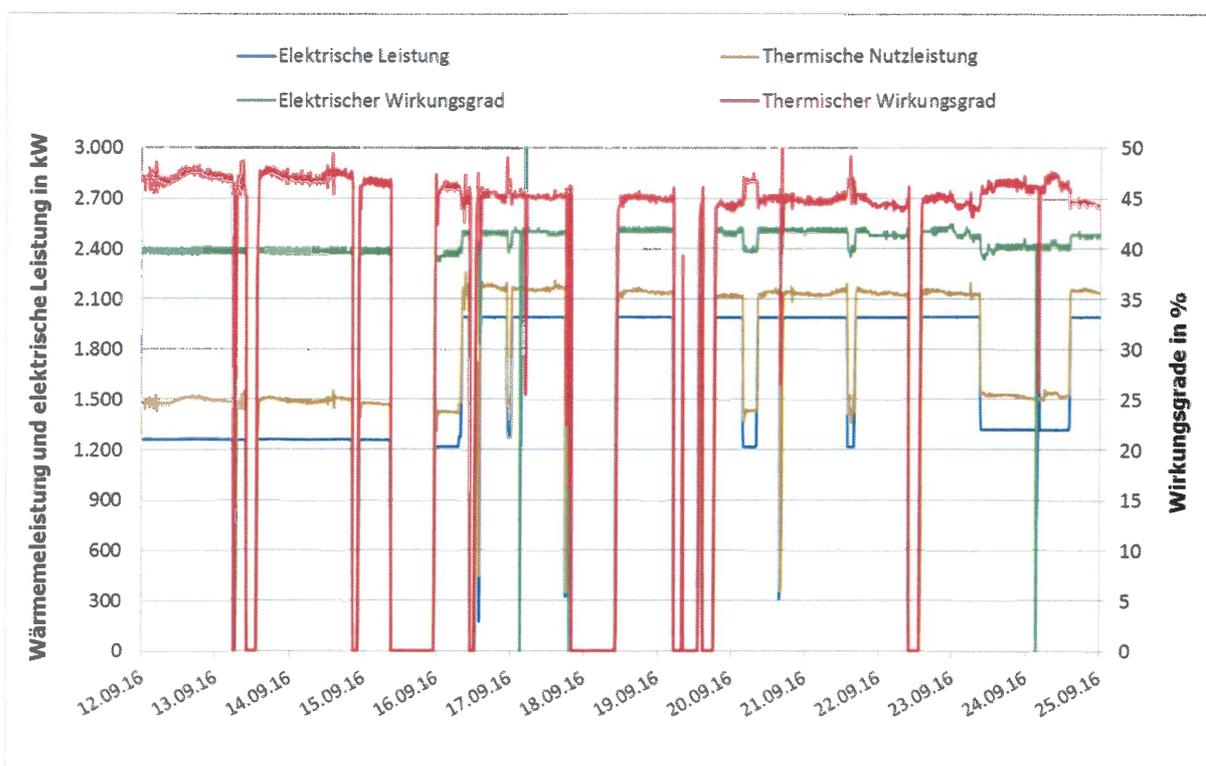


Abbildung 3-4: Lastgang des Erdgas-BHKW mit Wirkungsgraden

3.2.2 Auswertung Wärmepumpen

Am 19.09.2016 wurden an den Wärmepumpen 1 und 2 Leistungstests durchgeführt. Die Garantiewerte und die IST-Werte sind in Tabelle 3-2 aufgeführt. Die Wärmeleistung beider Wärmepumpen ist geringfügig höher als zugesichert, wobei die zugesicherte Wärmeleistung vor dem Umbau noch bei 4.880 kW lag. Mit dem Umbau der Verdichtermotoren konnte die Wärmeleistung vom Hersteller auf 5.000 kW angehoben werden.

Die Leistungszahl COP der Wärmepumpe 1 ist nach den erfolgten Umbaumaßnahmen noch etwas zu niedrig (ca. -1,3 %). Der Einfluss der Messtoleranz der Messgeräte wurde hier nicht berücksichtigt. Bei der Messung an der Wärmepumpe 2 konnten die Werte in der Tabelle nur im



Handbetrieb der Regelung des Expansionsventils erreicht werden. Die Werte im Automatikbetrieb liegen geringfügig darunter. Vom Hersteller ist geplant, die Regelung im Januar 2017 fertig zu stellen.

Tabelle 3-2: Gegenüberstellung Garantiewerte und IST-Werte Leistungstests Wärmepumpen

	Garantiewerte	IST WP 1	IST WP 2
Wärmeleistung	5.000 kW (4.880 kW)	5.034 kW	5.062 kW
Kälteleistung	3.930 kW	4.057 kW	4.085 kW
Elektr. Antriebsleistung	1.037 kW	1.128 kW	1.120 kW
VL-/RL-Temperatur Heizkreis	78,0 / 60,0 °C	77,8 / 59,5 °C	78,0 / 59,5 °C
VL-/RL-Temperatur Kühlkreis	39,0 / 33,0 °C	39,1 / 33,1 °C	39,0 / 32,9 °C
Leistungszahl COP	4,521	4,463	4,519

In der Abbildung 3-5 (Wärmepumpe 1) und Abbildung 3-6 (Wärmepumpe 2) sind die monatlichen Wärmemengen der Kühlkreise und Heizkreise sowie die elektrischen Energien für die Verdichtermotoren dargestellt. Zusätzlich sind für jeden Monat die durchschnittlichen Leistungszahlen COP angegeben.

Im ersten Betriebsjahr wurden mit der Wärmepumpe 1 insgesamt 13.747 MWh und mit der Wärmepumpe 2 13.854 MWh Wärme im Heizkreis erzeugt. Die gesamte Wärmeerzeugung beider Wärmepumpen lag bei 27.601 MWh.

Im Kühlkreis wurden mit der Wärmepumpe 1 11.035 MWh und mit der Wärmepumpe 2 11.060 MWh Abwärme entnommen, insgesamt 22.095 MWh.

Der Strombedarf für die Verdichtermotoren lag bei 3.175 MWh (Wärmepumpe 1) und 3.179 MWh (Wärmepumpe 2). Insgesamt wurden 6.354 MWh Strom für beide Wärmepumpen benötigt.

In den Abbildungen ist zu erkennen, dass bei beiden Wärmepumpen die Leistungszahl COP von Januar bis August 2016 von ca. 4,0 auf knapp 4,5 ansteigt. In diesem Zeitraum blieben die Temperaturniveaus auf der Heizkreisseite und Kühlkreisseite in etwa konstant (VL/RL Heizkreisseite = 78/60 °C und VL/RL Kühlkreisseite = 39/33 °C). Die Umbaumaßnahmen haben bei den Wärmepumpen eine deutliche Verbesserung gebracht.

Die Leistungszahlen im Jahresdurchschnitt berechnen sich wie folgt:

- Wärmepumpe 1: 4,33
- Wärmepumpe 2: 4,36

Für die Nebenaggregate beider Wärmepumpen wurden 44,8 MWh benötigt. Dies entspricht einem Anteil von 0,7 % des gesamten Strombedarfs der Wärmepumpen.

Die Volllaststundenzahl der beiden Aggregate lag im Betrachtungszeitraum bei 3.125 h. Die geplanten 6.500 Volllaststunden konnten aufgrund der Umbau- und Optimierungsmaßnahmen im ersten Betriebsjahr noch nicht erreicht werden.

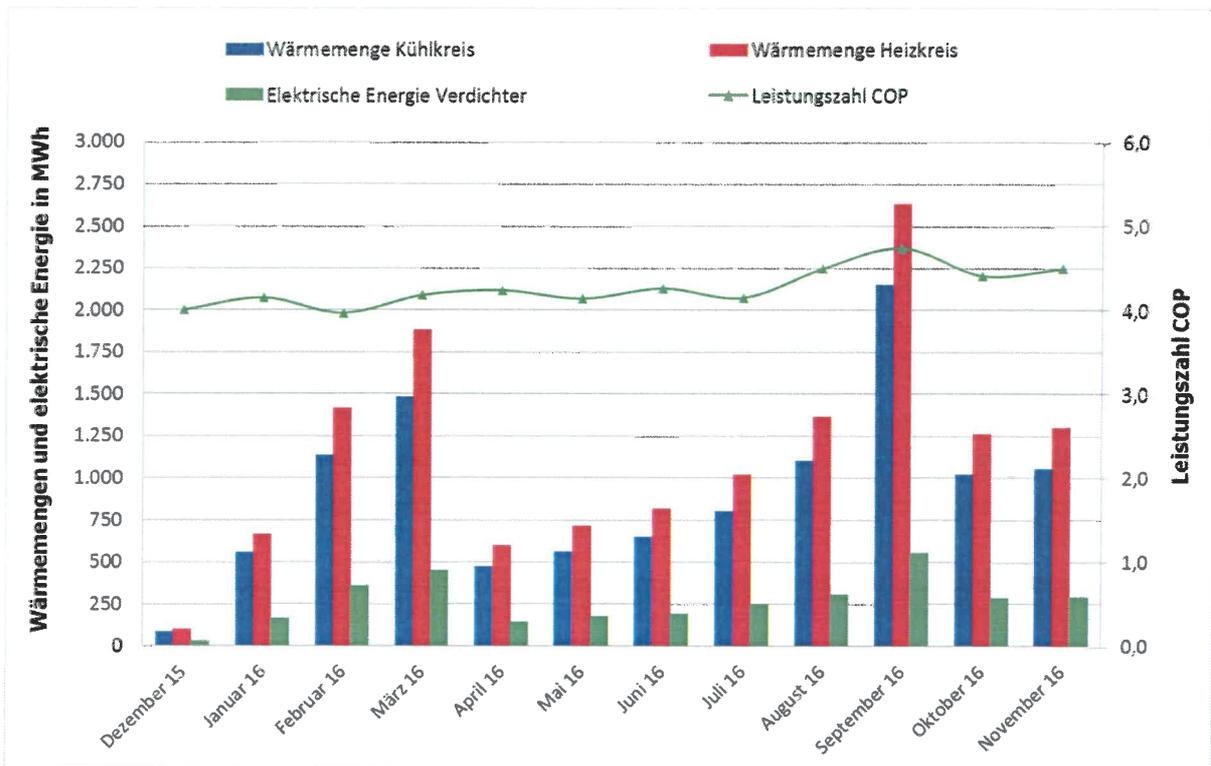


Abbildung 3-5: Wärmemengen, Strombedarf Verdichtermotor und COP der **Wärmepumpe 1**



Abbildung 3-6: Wärmemengen, Strombedarf Verdichtermotor und COP der **Wärmepumpe 2**



Im August 2016 wurden an der Wärmepumpe 1 umfangreiche Tests bei verschiedenen Temperaturniveaus auf der Heizkreis- und Kühlkreisseite durchgeführt. Ziel der Tests war es, die Auswirkungen der Temperaturen auf die jeweils maximal erreichbare Heizleistung sowie der dazugehörigen Leistungszahl zu ermitteln.

Die Tabelle 3-3 zeigt eine Aufstellung der durchgeführten Leistungstests bei verschiedenen Temperaturniveaus. Die niedrigste Leistungszahl COP wird erwartungsgemäß bei der höchsten Vorlauftemperatur im Heizkreis von 81,7 °C und niedrigster Vorlauftemperatur im Kühlkreis von 38,9 °C erreicht (Versuch Nr. 5). Die Leistungszahl COP sinkt auf 4,108 ab, wobei die Heizleistung auf 4.609 kW abfällt.

Senkt man die Vorlauftemperatur im Heizkreis auf 74,8 °C ab (Versuch 12) und erhöht gleichzeitig die Vorlauftemperatur im Kühlkreis auf 40,6 °C, steigt die Leistungszahl auf 4,986 an. Gleichzeitig steigt die Heizleistung bei geringerem Strombedarf auf 5.285 kW an.

Tabelle 3-3: Messwerte Leistungstests Wärmepumpe 1 bei verschiedenen Temperaturniveaus

Nr.	Datum	Uhrzeit	VL	RL	VL	RL	P th	P th	P el	COP
			Kühlkreis	Kühlkreis	Heizkreis	Heizkreis	Kühlkreis	Heizkreis	Zähler	
			°C	°C	°C	°C	kW	kW	kW	-
1	09.08.2016	13.42 bis 14.26	39,1	33,3	78,3	60,0	3.954	4.944	1.132	4,368
2	09.08.2016	15.15 bis 15.30	38,9	33,3	77,8	59,7	3.922	4.891	1.112	4,398
3	10.08.2016	12.24 bis 13.24	39,1	33,4	77,7	59,4	3.973	4.941	1.109	4,456
4	10.08.2016	16.47 bis 17.27	41,9	35,5	78,0	59,0	4.060	4.985	1.074	4,642
5	11.08.2016	09.13 bis 09.44	38,9	33,8	81,7	59,8	3.623	4.609	1.122	4,108
6	11.08.2016	10.08 bis 10.38	39,0	33,5	79,9	59,9	3.893	4.891	1.136	4,306
7	11.08.2016	11.05 bis 11.35	39,0	33,2	78,0	57,9	4.111	5.088	1.122	4,534
8	11.08.2016	13.12 bis 13.42	39,0	33,0	76,0	55,9	4.159	5.089	1.080	4,712
9	11.08.2016	14.05 bis 14.35	39,0	33,0	74,0	53,9	4.227	5.122	1.040	4,925
10	11.08.2016	14.50 bis 15.20	39,0	32,9	71,8	52,0	4.291	5.145	996	5,165
11	11.08.2016	15.37 bis 16.07	39,0	32,8	70,1	50,0	4.340	5.166	966	5,348
12	11.08.2016	16.38 bis 17.08	40,6	34,5	74,8	54,9	4.373	5.285	1.060	4,986

Die Ergebnisse aus den Messungen an der Wärmepumpe 1 dienen im Weiteren der Optimierung des Gesamtsystems. Während bei niedrigeren Vorlauftemperaturen im Heizkreis die Leistungszahl und die Wärmeleistung der Wärmepumpen steigen, sinken gleichzeitig der Verdampfungswirkungsgrad und die Verdampfungsleistung im OSB-Vortrockner, der Strombedarf steigt. Zugleich ist der Verdampfungswirkungsgrad des OSB-Vortrockners außenlufttemperaturabhängig. Die Vorlauftemperatur im Heizkreis ist so zu wählen, dass die Betriebsparameter der Wärmepumpen und des OSB-Vortrockners optimal aufeinander abgestimmt sind.

Zwischen September und November 2016 wurden die Wärmepumpen mit einer Vorlauftemperatur im Heizkreis von 75 bis 77 °C betrieben. Die Vorlauftemperatur im Kühlkreis lag bei 40,5 bis 41,0 °C. Anfang 2017 werden noch Messungen am OSB-Vortrockner durchgeführt, um die optimalen Einstellparameter bei kalten Außentemperaturen festzulegen.



3.2.3 Auswertung OSB-Vortrocknung

Nach den Optimierungsmaßnahmen von Januar bis Anfang April 2016 wurde der Leistungstest mit Abnahme am 15.04.2016 durchgeführt. In der Tabelle 3-4 sind die Garantiewerte und die Werte aus dem Leistungstest (IST) gegenübergestellt. Während der Testfahrt im April 2016 betrug die maximale durchschnittliche Wärmeleistung, die zur Verfügung stand, 10.916 kW.

Der Leistungstest hat gezeigt, dass die Wasserverdampfungsleistung erreicht wird. Die spezifische Wasserverdampfung (= Wärmeverbrauch je Tonne Wasserverdampfung oder thermischer Wirkungsgrad) war geringfügig besser als geplant. Auch der elektrische Eigenbedarf für die Wasserverdampfung (Strombedarf je Tonne Wasserverdampfung oder spezifischer Strombedarf) mit 18,8 kWh_{el} je Tonne Wasserverdampfung ist bei Nennlast besser als spezifiziert.

Tabelle 3-4: Gegenüberstellung Garantiewerte und IST-Werte Leistungstest OSB-Vortrockner

	Garantiewerte	IST Vortrockner
Thermische Leistung	12.000 kW	10.916 kW *)
Wasserverdampfung (bei IST-Leistung)	10,21 t/h	10,44 t/h
Spezifische Wasserverdampfung	1.069 kWh/t _{H₂O}	1.046 kWh/t _{H₂O}
Elektrischer Eigenbedarf	36,7 kWh/t _{H₂O}	18,8 kWh/t _{H₂O}
Außenlufttemperatur	10,0 °C	12,9 °C

*) Zur Verfügung stehende Wärmeleistung zum Zeitpunkt des Leistungstests

Der Zähler für die gesamte Wasserverdampfung im OSB-Vortrockner wurde im April 2016 in das System integriert. Anhand der gemessenen Wärmemengen, der spezifizierten Leistungsdaten des Trockners und der Außenlufttemperaturen wurde die bis dahin bereits erfolgte Wasserverdampfung für die Monate Januar bis Mitte April abgeschätzt und in das System eingefügt. Aufgrund eines Übertragungsfehlers zwischen der Leittechnik des OSB-Vortrockners und der Energiedatenerfassung wurde der tatsächliche Zählerstand erstmals am 01.10.2016 archiviert. Bis zum 01.10.2016 wurde eine Wasserverdampfung von insgesamt 23.566 Tonnen aufsummiert. Da die tatsächlichen Verdampfungswirkungsgrade für die vorhergehenden Monate nicht bekannt sind, wurde die monatliche Wasserverdampfung entsprechend der zur Verfügung stehenden Wärmemengen mit einem konstanten Verdampfungswirkungsgrad kalkuliert. Bezogen auf die einzelnen Monate entsteht hier ein gewisser Fehler, da die spezifische Wasserverdampfung in den wärmeren Sommermonaten deutlich besser ist, als zu den kälteren Jahreszeiten. Der Jahresdurchschnittswert sollte korrekt sein und ist auch plausibel.

Abbildung 3-7 zeigt die monatlichen Wärmemengen zur Trocknung im OSB-Vortrockner, die jeweilige Wasserverdampfung sowie die spezifische Wasserverdampfung (Korrektur siehe vorherigen Absatz). Im Betrachtungszeitraum stand zum Trocknen eine Wärmemenge von insgesamt 35.245 MWh zur Verfügung, dabei wurden 28.273 Tonnen Wasser verdampft. Die durchschnittliche spezifische Wasserverdampfung lag bei 1,247 MWh/t_{H₂O}.

Der monatliche elektrische Energiebedarf sowie der spezifische Strombedarf des OSB-Vortrockners inklusive der Fördertechnik sind in Abbildung 3-8 dargestellt.

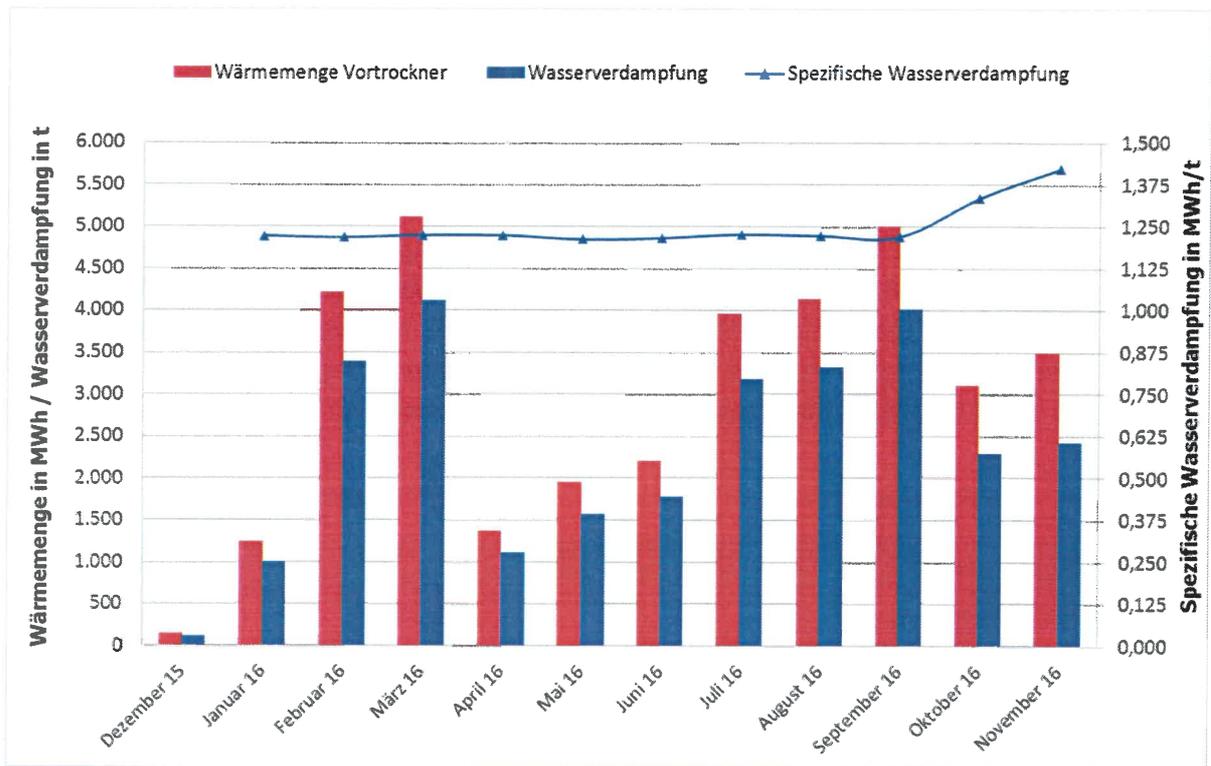


Abbildung 3-7: Wärmemenge, Wasserverdampfung und therm. Wirkungsgrad OSB-Vortrockner

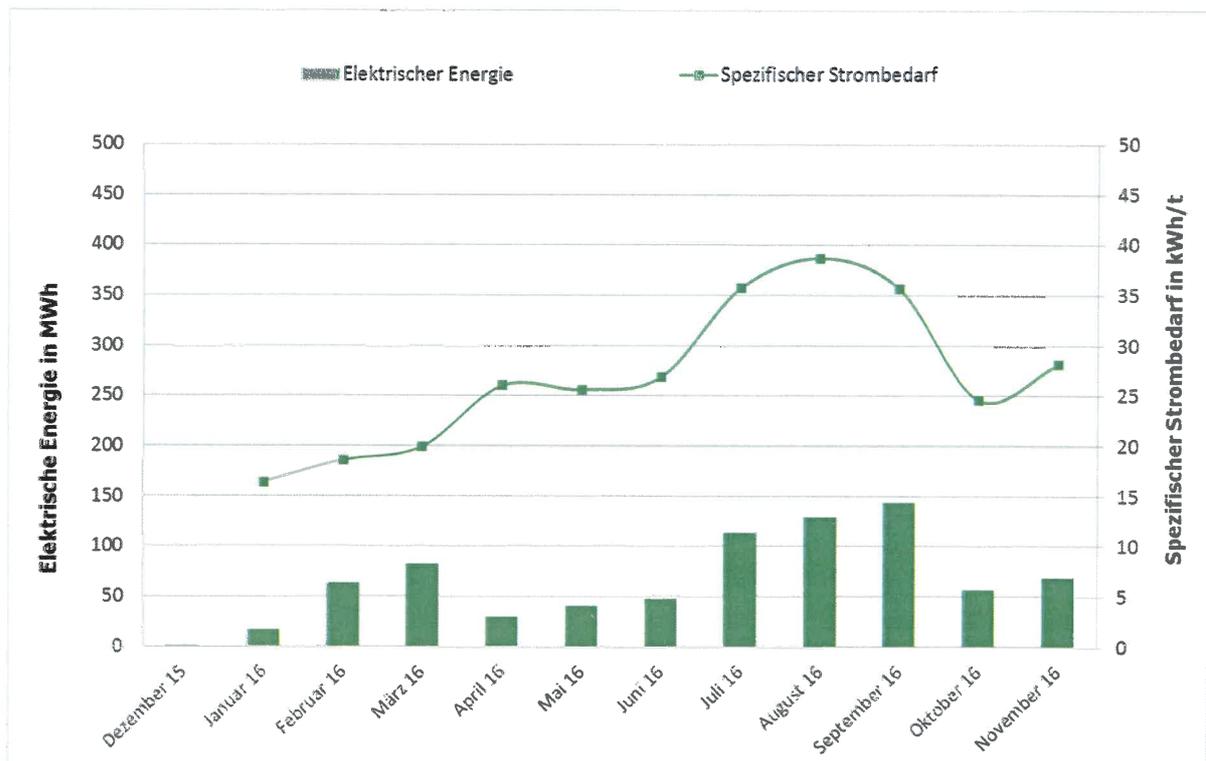


Abbildung 3-8: Elektrische Energie und spezif. Strombedarf OSB-Vortrockner mit Fördertechnik



Insgesamt wurden im 1. Betriebsjahr 787 MWh Strom für die OSB-Vortrocknung und die Fördertechnik gebraucht. Dies entspricht im Durchschnitt 2,2% der eingesetzten Wärmemenge. Der spezifische Strombedarf je Tonne Wasserverdampfung lag bei durchschnittlich 27,8 kWh/t.

3.2.4 Auswertung Strombedarf Heizsystem

Für den Betrieb des Heizsystems (Pumpen, Armaturen, etc.) waren im Betrachtungszeitraum 380 MWh elektrische Energie erforderlich.

3.2.5 Gesamtheitliche Betrachtung OSB-Trocknung (Bestand und Vortrockner)

In der Abbildung 3-9 ist die Auswertung der Wärmemengen und der Materialdurchsatz der OSB-Trocknung der Bestandstrockner 1 und 2 ab November 2015 aufgezeigt. Die Monate November und Dezember 2015 dienen als Referenzmonate für eine ganzheitliche Betrachtung der OSB-Trocknung mit Erdgas, Holzstaub, EA 4 und Beginn der OSB-Vortrocknung.

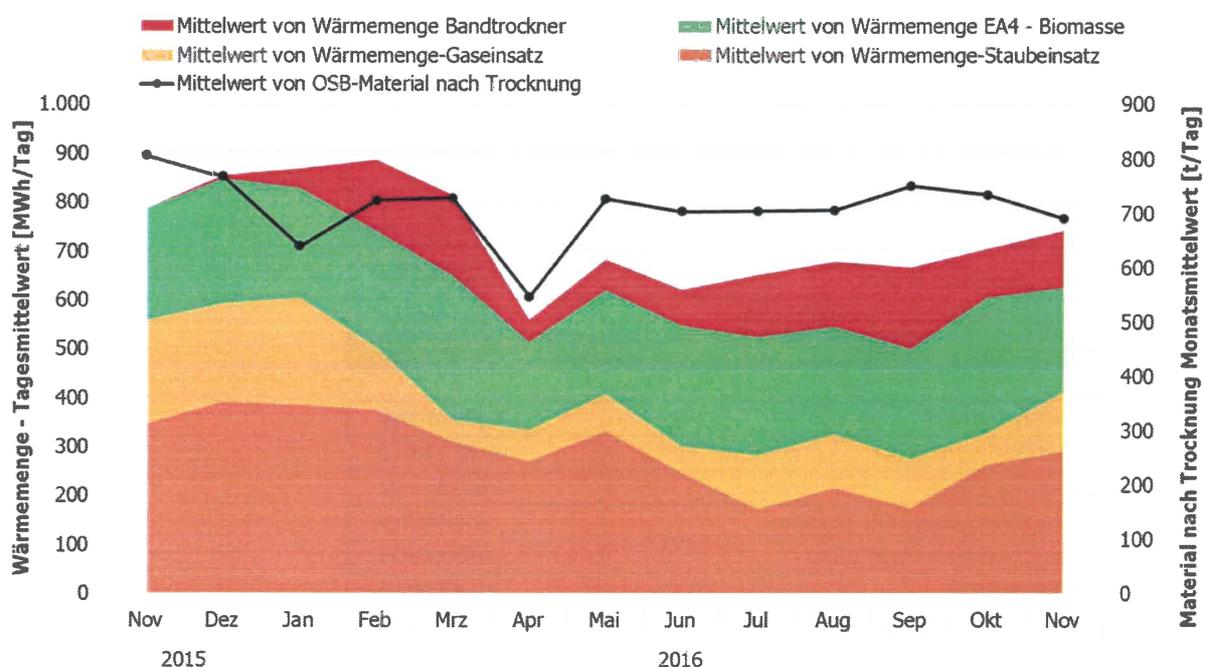


Abbildung 3-9: Auswertung Wärmemenge und Materialdurchsatz OSB-Trocknung der Bestandstrockner 1 und 2 ab November 2015

Die Messungen und Berechnungen zeigen, dass der Erdgaseinsatz vom 01.12.2015 bis 30.11.2016 um etwa 28.273 MWh reduziert werden konnte. Rechnet man den Erdgasverbrauch im Erdgas-BHKW dagegen, ergibt sich eine Reduzierung des Erdgasverbrauchs im Gesamtsystem von ca. 11.376 MWh.

Die geplante Minderung des Primärenergiebedarfs von 24.300 MWh/a konnte im ersten Betriebsjahr aufgrund der zu geringen Laufzeit der Anlage noch nicht erreicht werden. Nach Durchführung der Optimierungsmaßnahmen in 2016 ist für 2017 geplant, die Anlage mit 6.500 Volllaststunden zu betreiben.



3.3 Umweltbilanz

3.3.1 Bilanz im 1. Betriebsjahr

Die nachfolgende Umweltbilanz basiert zunächst auf der Auswertung der Messergebnisse vom 01.12.2015 bis 30.11.2016 (Laufzeit Messprogramm = 1. Betriebsjahr Bj.). Dieser Zeitraum ist im Wesentlichen durch eine reduzierte Laufzeit gekennzeichnet. Im Vergleich zum bestehenden Anlagenkonzept konnte durch die Kombination mit dem OSB-Vortrockner jedoch auch unter diesen Bedingungen bereits eine Reduzierung des Erdgaseinsatzes bei den bestehenden Trocknern von 28.273 MWh/a erzielt werden. Durch den zusätzlichen Erdgasbedarf am BHKW von 16.897 MWh/a kann letztendlich eine Einsparung im Gesamtsystem von 11.376 MWh/a Erdgas ausgewiesen werden.

Tabelle 3-5: Einsparung an CO₂-Emissionen - Messprogramm

Emissionen	
Faktor Strom*	633 g/kWh
Faktor Erdgas*	244 g/kWh
Betriebsstunden	3.407 Bh/a
vermiedene FWL im bestehenden OSB-Trockner	-8,30 MW
vermiedener Gaseinsatz im bestehenden OSB-Trockner	-28.273 MWh/a
zusätzliche FWL BHKW	4,96 MW
zusätzlicher Gaseinsatz BHKW	16.897 MWh/a
Reduzierung Gaseinsatz (Hi) Gesamtsystem	-11.376 MWh/a
CO₂-Einsparung	-2.776 t/a
Strombedarf WP-Anlage	6.399 MWh/a
Strombedarf OSB-Vortrockner	1.167 MWh/a
Stromerzeugung BHKW	-6.603 MWh/a
Reduzierung Strombedarf OSB-Trockner	-690 MWh/a
Reduzierung Strombedarf LUKO EA3	-159 MWh/a
Erhöhung Strombedarf	114 MWh/a
CO₂-Erhöhung	72 t/a
CO₂-Einsparung Gesamt	-2.703 t/a

*Quelle: IWU 2009

Unter Zugrundelegung der Emissionsfaktoren nach IWU wird damit eine CO₂-Einsparung von 2.776 Tonnen pro Jahr erzielt. Die CO₂-Erhöhung, bedingt durch einen höheren Strombedarf von 114 MWh, liegt bei nur 72 Tonnen pro Jahr. Insgesamt wurde für das 1. Betriebsjahr eine Einsparung an CO₂ in Höhe von 2.703 Tonnen erreicht.

In nachfolgender Tabelle wird die Einsparung an Primärenergie durch das Vorhaben – auch zunächst im Zeitraum des Messprogramms - ermittelt.



Tabelle 3-6: Einsparung an Primärenergie - Messprogramm

Primärenergie	
Faktor Strom** (nicht erneuerbarer Anteil)	1,8 kWh
Faktor Erdgas**	1,1 kWh (H ₂)
Reduzierung Gaseinsatz (Hi)	-11.376 MWh/a
Erhöhung Strombedarf	114 MWh/a
Reduzierung Primärenergie Erdgas	-12.514 MWh/a
Mehraufwand Primärenergie Strom	206 MWh/a
Einsparung Primärenergie	-12.308 MWh/a

**Quelle: ENEV 2016

Durch die Erdgas-Einsparung in Höhe von 11.376 MWh, abzüglich des Strom-Mehraufwandes mit 114 MWh errechnet sich eine gesamt Primär-Energieeinsparung von 12.308 MWh pro Jahr für den Zeitraum des Messprogramms.

3.3.2 Prognose der Folgejahre

Greifen die Maßnahmen zum Erreichen der geplanten 6.500 Vollaststunden, ergibt sich eine Reduzierung des Gaseinsatzes um 61.858 MWh. Durch den Erdgasbedarf am BHKW von 31.691 MWh/a kann letztendlich eine Einsparung im Gesamtsystem von 30.167 MWh/a Erdgas ausgewiesen werden.

Tabelle 3-7: Einsparung an CO₂-Emissionen - Folgejahre

Emissionen	
Faktor Strom*	633 g/kWh
Faktor Erdgas*	244 g/kWh
Betriebsstunden	6.500 Bh/a
vermiedene FWL im bestehenden OSB-Trockner	-9,52 MW
vermiedener Gaseinsatz im bestehenden OSB-Trockner	-61.858 MWh/a
zusätzliche FWL BHKW	4,88 MW
zusätzlicher Gaseinsatz BHKW	31.691 MWh/a
Reduzierung Gaseinsatz (Hi) Gesamtsystem	-30.167 MWh/a
CO₂-Einsparung	-7.361 t/a
Strombedarf WP-Anlage	13.488 MWh/a
Strombedarf OSB-Vortrockner	2.217 MWh/a
Stromerzeugung BHKW	-12.701 MWh/a
Reduzierung Strombedarf OSB-Trockner	-1.509 MWh/a
Reduzierung Strombedarf LUKO EA3	-330 MWh/a
Erhöhung Strombedarf	1.164 MWh/a
CO₂-Erhöhung	737 t/a
CO₂-Einsparung Gesamt	-6.624 t/a

*Quelle: IWU 2009



Wiederum unter Zugrundelegung der entsprechenden Emissionsfaktoren wird für diesen Fall eine CO₂-Einsparung von 7.361 Tonnen pro Jahr erzielt. Die CO₂-Erhöhung, bedingt durch einen höheren Strombedarf von 1.164 MWh, liegt dann bei 737 Tonnen pro Jahr. Insgesamt kann hier eine Einsparung an CO₂ in Höhe von 6.624 Tonnen für jedes Folgejahr prognostiziert werden, welche ca. 1.500 Tonnen über den ursprünglichen Plänen von 5.100 Tonnen liegt (+ 30 %).

Hinsichtlich der Einsparung am Primärenergiebedarf ergeben sich folgende Zahlen:

Tabelle 3-8: Einsparung an Primärenergie - Folgejahre

Primärenergie	
Faktor Strom** (nicht erneuerbarer Anteil)	1,8 kWh
Faktor Erdgas**	1,1 kWh (H _i)
Reduzierung Gaseinsatz (H _i)	-30.167 MWh/a
Erhöhung Strombedarf	1.164 MWh/a
Reduzierung Primärenergie Erdgas	-33.183 MWh/a
Mehraufwand Primärenergie Strom	2.095 MWh/a
Einsparung Primärenergie	-31.089 MWh/a

**Quelle: ENEV 2016

Durch die Reduzierung des Primärenergiebedarfs Erdgas von 33.183 MWh, abzüglich des Mehraufwands für Primärenergie Strom mit 2.095 MWh, errechnet sich eine Primärenergieeinsparung von 31.089 MWh pro Jahr für die Prognose der Folgejahre. Dies liegt im Vergleich zu den Planzahlen (24.300 MWh/a vgl. Kap. 2.1) deutlich über dieser damaligen Annahme.

Durch den Einsatz dieser hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplung, der zusätzlichen Abwärmenutzung und der Niedertemperatur-Anwendung werden Primärenergieressourcen gespart und der CO₂-Ausstoß verringert. In Verbindung mit den Optimierungsmaßnahmen kann die Energieeffizienz nochmals gesteigert und der Primärenergiebedarf bzw. der CO₂-Ausstoß deutlich reduziert werden. Dieses Anlagenkonzept ermöglicht dadurch nicht nur einen ökonomischen, sondern auch einen ökologischen Beitrag zur rationellen und umweltfreundlichen Energieanwendung sowie einer nachhaltigen Strom- und Wärmeerzeugung.



3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

3.4.1 Investitionen

Die Investitionen des Vorhabens liegen abzüglich der nicht förderfähigen Kosten bei rund 10,91 Mio. € und sind nachfolgend tabellarisch aufgliedert.

Tabelle 3-9: Gesamtinvestitionen

Investition (netto)	
Investition BHKW	1.264.743 €
• BHKW (Motor, Generator, Abgassystem, Schmierölanlage, Schaltanlage)	1.047.305 €
• HLS (Einbindung Heizsystem, Gasübergabestation)	50.991 €
• Netzanbindung, ELT	84.612 €
• Hoch-/Tiefbau	81.835 €
Investition Wärmepumpe	3.826.201 €
• Wärmepumpe	1.671.270 €
• Kondensator (inkl. Evakuierung, Hot-Well und Pumpe)	139.000 €
• HLS	786.858 €
• Netzanbindung, ELT	709.637 €
• Hoch-/Tiefbau	519.436 €
Investition Trockner	5.259.964 €
• Trockner	2.129.085 €
• Umbau Fördertechnik	1.606.676 €
• HLS, Fernwärmeleitung	651.233 €
• Netzanbindung, ELT	529.500 €
• Hoch-/Tiefbau	343.470 €
Planungskosten ab LP 5	425.592 €
• Planungskosten	425.592 €
Kommunikation der Ergebnisse	137.199 €
• Messung, Datenerfassung, Begleitung, Auswertung, Veröffentlichungen, Videodokumentation, Internetportal, Endbericht	137.199 €
= Gesamtinvestition	10.913.700 €



Die Investitionen liegen damit deutlich über den im Antrag veranschlagten 9,5 Mio. € bzw. den als förderfähig anerkannten 9,32 Mio. €.

Die Gründe für die Mehrkosten waren vielschichtig und kamen aus folgenden Bereichen:

- Allgemein: Preissteigerungen ab Fördermittelantrag bis tatsächlicher Vergabe
- Hoch-/Tiefbau: Wärmepumpengebäude von 8 m auf 12 m Höhe geändert
- Hoch-/Tiefbau: Erhöhter Aufwand im Bestand, Höhere Kosten bei Baufeld freimachen
- Heizsystem: Menge und Preis Stahlbau erhöht
- Heizsystem: Trassenführung Heizleitungen erschwert und Mehraufwand bei Fundamenten
- Heizsystem: 2 Kondensatoren für symmetrischen Lasteintrag in die Abdampfleitung, aufwendige Kondensatoranbindung
- Elektro: Höherer Aufwand Mittelspannungs- und Niederspannungs-Anbindung
- Elektro: Neues Schaltheis H1 für Anschluss Vortrockner und Fördertechnik
- Elektro: Anforderungen an Blitzschutz und Erdung
- Lüftung/Klima: Höhere Kosten für Klima-Schalträume
- Fördertechnik: Zusätzlicher Zwischenbunker vor OSB-Vortrockner erforderlich

In Summe führten diese Gründe zu einer Steigerung der Investitionen um ca. 17 %.

Für die weiteren Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Maßnahme wurde ein EXCEL-Arbeitsblatt erarbeitet, in dem alle wesentlichen Daten zusammengetragen und verknüpft sind. Die tabellarischen Ergebnisse sind in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt und erläutert. Hierbei wurde wie folgt vorgegangen:

Zunächst wurde eine Jahreskalkulation anhand der ermittelten Werte aus dem 1. Betriebsjahr (Messprogramm) durchgeführt. Danach wurde diese Kalkulation unter Berücksichtigung der Erfahrungen/Werte des 1. Betriebsjahres und der Plandaten (z.B. im Wesentlichen der Anpassung der Laufzeiten/Betriebsstunden) als Prognose auf das Folgejahr übertragen.

Abschließend wurde anhand dieser vorangegangenen Jahreskalkulationen die erwartete Gesamtwirtschaftlichkeit der Maßnahme detailliert über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren dargestellt.

3.4.2 Daten 1. Betriebsjahr (01.12.2015 bis 30.11.2016)

Folgende Berechnungsgrundlagen (wesentliche technische und finanzielle Parameter des Systems) liegen der Kalkulation – zunächst für den Zeitraum des ersten Betriebsjahres (Messprogramm) – zu Grunde:



Tabelle 3-10: Berechnungsgrundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – 1. Betriebsjahr

Daten Erdgas		
Erdgaspreis H _s inkl. Steuer	30,00	€/MWh
Umrechnung H _s /H _i	1,11	
Gaspreis H _i	33,30	€/MWh
Erdgassteuer (Rückzahlung)	2,65	€/MWh
Gaspreis H _i (abzgl. Rückzahlung)	30,36	€/MWh
vermiedener Gasverbrauch	28.273	MWh

Daten Strom		
Stromeinspeisung BHKW	60,00	€/MWh
KWK-Zuschlag BHKW (KWKG 2016)	29,35	€/MWh

Daten Personal		
Personalbedarf	1	Pers.
Personalkosten	42.000	€/Pers.

Sonstige Betriebswirtschaftliche Kenngrößen		
Öl und Verschleißteile BHKW	0	€/MWh/Bh
Wartung BHKW (Vollwartung)	11,60	€/Bh
Tauschmotor BHKW alle	8-10	Jahre
Wartung, Instandhaltung Wärmepumpe	1,0	%*
Wartung, Instandhaltung Trockner	2,0	%*
Versicherung	0,30	%**

Daten BHKW		
Volllaststunden	3.407	Bh/a
installierte elektrische Leistung	1.999,0	kW
Wärmeleistung BHKW	2.247,1	kW
elektrischer Eigenbedarf	60,7	kW
Netto-Stromerzeugungsleistung	1.938	kW
elektrischer Wirkungsgrad	40,3	%
Feuerungswärmeleistung	4.960	kW
Brennstoffbedarf	16.897	MWh/a
Brutto-Stromerzeugung	6.810	MWh/a
Stromeigenbedarf	207	MWh/a
Netto-Stromerzeugung	6.603	MWh/a
Wärmemenge Nutzwärme	7.643	MWh/a
Wärmemenge Notkühler	12	MWh/a
Stromkennzahl netto	0,863	-
KWK-Stromerzeugung	6.593	MWh/a

Daten Wärmepumpe		
Volllaststunden	3.125	h/a
benötigte elektrische Leistung WP	2.033,3	kW
benötigte elektrische Leistung Peripherie	14,3	kW
benötigte elektrische Leistung gesamt	2.048	kW
Wärmeleistung Quelle	7.071	kW
Wärmeleistung Senke	8.832	kW
COP	4,34	
Wärmebedarf Quelle	22.095	MWh/a
Strombedarf	6.399	MWh/a
Wärmeeinspeisemenge	27.601	MWh/a

Daten OSB-Vortrockner		
Volllaststunden	3.407	h/a
spez. Wasserverdampfung Gas	1,00	MWh/t _{H₂O}
spez. Wasserverdampfung NT	1,247	MWh/t _{H₂O}
Wärmeleistung	10,345	MW
elektr. Eigenbedarf (Trockner, Fördertechnik,	0,343	MW
Wasserverdampfung	8,299	t/h
jährliche Wasserverdampfung	28.273	t/a
Wärmebedarf	35.245	MWh/a
Strombedarf	1.167	MWh/a

* der Investition für Technik

** der Gesamt-Investition

Das 1. Betriebsjahr ist dominiert von wesentlich geringeren Betriebsstunden bei allen Anlagenteilen im Vergleich zu den in den Plandaten vorgesehenen 6.500 h. Letztendlich konnten in diesem Zeitraum nur 3.407 Volllaststunden am OSB-Vortrockner erreicht werden. Die Gründe dafür sind im Kapitel 3.1 dargelegt.

Die sich daraus ergebenden Wirtschaftlichkeitszahlen des Vorhabens werden nachfolgend anhand der jährlichen Aufwendungen und Erlöse und des Betriebsergebnisses, angegeben als EBITDA (Gewinn vor Zinsen, Steuern und Abschreibung), beurteilt.



Tabelle 3-11: Aufwendungen und Erlöse – 1. Betriebsjahr

Aufwendungen (netto)	1. Bj.
-----------------------------	---------------

Betriebsgebundene Kosten	
---------------------------------	--

• Personalkosten	42.000 €/a
• Wartung und Instandhaltung BHKW	39.500 €/a
• Motorwartung / Tauschmotor BHKW	36.200 €/a
• Wartung Peripherie BHKW	1.500 €/a
• Wartung und Instandhaltung Wärmepumpe	26.000 €/a
• Wartung und Instandhaltung OSB-Vortrockner	82.500 €/a
• Versicherung	28.500 €/a
• Reserven	20.000 €/a

Verbrauchsgebundene Kosten	
-----------------------------------	--

• Brennstoff BHKW	513.000 €/a
• Öl und Verschleißteile BHKW	0 €/a
• Differenz Strombedarf WP zu Nettostromerzeugung BHKW	-12.300 €/a
• Strom OSB-Vortrockner	70.000 €/a

= Summe Aufwendungen	846.900 €/a
-----------------------------	--------------------

Erlöse (netto)	1. Bj.
-----------------------	---------------

• KWK-Zuschlag BHKW (KWKG 2016)	0 €/a
• EEG KWK-Bonus EA3	298.782 €/a
• vermiedene Gaskosten	941.482 €/a

= Summe Erlöse	1.240.264 €/a
-----------------------	----------------------

Betriebsergebnis (netto)	1. Bj.
---------------------------------	---------------

= Summe Aufwendungen	846.900 €/a
= Summe Erlöse	1.240.264 €/a

= EBITDA (Gewinn vor Zinsen, Steuern, Abschreibung)	393.364 €/a
--	--------------------



Die Aufwendungen teilen sich in betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten auf und werden im Wesentlichen von den Brennstoffkosten des BHKWs, den Stromkosten des OSB-Vortrockners sowie dessen Wartung und Instandhaltung dominiert.

In Summe ergeben sich für das erste Betriebsjahr Aufwendungen von 846.900 €.

Bei den Erlösen dominierten die vermiedenen Erdgaskosten am OSB-Trockner (vorher mit Erdgas und Holzstaub beheizt). Durch das neue Konzept wird die Wärme jetzt anteilig aus dem Kondensator des Biomasseheizkraftwerks mittels Wärmepumpe und zusätzlich durch die Abwärme des BHKWs bereitgestellt. Dadurch ließen sich pro Jahr 28.273 MWh Erdgas substituieren, welche einem Wert von 941.482 € entsprechen.

Weitere Erlöse werden durch den KWK-Zuschlag gemäß KWKG 2016 des BHKWs und den EEG-KWK-Bonus der EA3 erzielt. Diese Erlöse ergeben sich jedoch aufgrund rechtlicher Rahmenbedingungen nicht für alle Jahre des Projektzeitraumes.

Aufgrund des KWKG 2016 wird der Investitionszuschuss für das BHKW auf die Betriebsbeihilfen (KWK-Zuschlag und Energiesteuererstattung) vollständig angerechnet. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung waren diese Werte noch nicht genau bekannt. Deshalb wird die Anrechnung des Investitionszuschusses auf die Betriebsbeihilfen hier, vereinfacht, nur auf den KWK-Zuschlag dargestellt.

Aus diesem Grund reduziert sich der Erlös aus dem KWK-Zuschlag im 1. Betriebsjahr des BHKW (Start 21.01.2016 bis 30.11.2016) auf 0 € und im 2. Betriebsjahr (01.12.2016 bis 30.11.2017) auf den entsprechend reduzierten Betrag. Der KWK-Zuschlag des BHKWs wird bis zum 6. Betriebsjahr mit berücksichtigt, danach sind die förderfähigen 30.000 Betriebsstunden gemäß KWKG 2016 erreicht (vergleiche hierzu auch die Übersicht im Kapitel Gesamtwirtschaftlichkeit - Ausblick).

Mit dem EEG-KWK-Bonus der EA3 kann bis zum 7. Betriebsjahr, d.h. bis zum Jahr 2022, kalkuliert werden.

In Summe ergeben sich Erlöse von 1.240.264 € für das 1. Betriebsjahr.

Den Aufwendungen in Höhe von 846.900 € stehen damit Erlöse in Höhe von 1.240.264 € gegenüber.

Es wird somit im 1. Betriebsjahr ein EBITDA in Höhe von 393.364 € erzielt.

3.4.3 Prognose der Folgejahre (jeweils 01.12. bis 30.11.)

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen und Werte des 1. Betriebsjahres und der Plandaten (z.B. Laufzeiten) wurde die Kalkulation als Prognose für das Folgejahr fortgeführt.

Folgende Berechnungsgrundlagen liegen der Kalkulation für das 2. Betriebsjahr zu Grunde:



Tabelle 3-12: Berechnungsgrundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – Folgejahr (2. Bj.)

Daten Erdgas		
Erdgaspreis H _s inkl. Steuer	30,00	€/MWh
Umrechnung H _s /H _i	1,11	
Gaspreis H _i	33,30	€/MWh
Erdgassteuer (Rückzahlung)	2,65	€/MWh
Gaspreis H _i (abzgl. Rückzahlung)	30,36	€/MWh
vermiedener Gasverbrauch	61.858	MWh

Daten Strom		
Stromeinspeisung BHKW	60,00	€/MWh
KWK-Zuschlag BHKW (KWKG 2016)	29,35	€/MWh

Daten Personal		
Personalbedarf	1	Pers.
Personalkosten	42.000	€/Pers.

Sonstige Betriebswirtschaftliche Kenngrößen		
Öl und Verschleißteile BHKW	0	€/MWh/Bh
Wartung BHKW (Vollwartung)	11,60	€/Bh
Tauschmotor BHKW alle	8-10	Jahre
Wartung, Instandhaltung Wärmepumpe	1,0	%*
Wartung, Instandhaltung Trockner	2,0	%*
Versicherung	0,30	%**

Daten BHKW		
Volllaststunden	6.500	Bh/a
installierte elektrische Leistung	1.999,0	kW
Wärmeleistung BHKW	2.154,6	kW
elektrischer Eigenbedarf	45,0	kW
Netto-Stromerzeugungsleistung	1.954	kW
elektrischer Wirkungsgrad	41,0	%
Feuerungswärmeleistung	4.876	kW
Brennstoffbedarf	31.691	MWh/a
Brutto-Stromerzeugung	12.994	MWh/a
Stromeigenbedarf	293	MWh/a
Netto-Stromerzeugung	12.701	MWh/a
Wärmemenge Nutzwärme	13.975	MWh/a
Wärmemenge Notkühler	30	MWh/a
Stromkennzahl netto	0,907	-
KWK-Stromerzeugung	12.674	MWh/a

Daten Wärmepumpe		
Volllaststunden	6.500	h/a
benötigte elektrische Leistung WP	2.060,0	kW
benötigte elektrische Leistung Peripherie	15,0	kW
benötigte elektrische Leistung gesamt	2.075	kW
Wärmeleistung Quelle	7.071	kW
Wärmeleistung Senke	9.270	kW
COP	4,50	
Wärmebedarf Quelle	45.958	MWh/a
Strombedarf	13.488	MWh/a
Wärmeeinspeisemenge	60.255	MWh/a

Daten OSB-Vortrockner		
Volllaststunden	6.500	h/a
spez. Wasserverdampfung Gas	1,00	MWh/t _{H₂O}
spez. Wasserverdampfung NT	1,200	MWh/t _{H₂O}
Wärmeleistung	11.420	MW
elektr. Eigenbedarf (Trockner, Fördertechnik,	0,341	MW
Wasserverdampfung	9,517	t/h
jährliche Wasserverdampfung	61.858	t/a
Wärmebedarf	74.230	MWh/a
Strombedarf	2.217	MWh/a

* der Investition für Technik

** der Gesamt-Investition

Das Folgejahr ist mit den in den Planungen vorgesehenen 6.500 Betriebsstunden prognostiziert. Die Maßnahmen zur Erreichung dieser Zahlen sind im Kapitel 3.1 „Bewertung der Vorhabensdurchführung“ dargelegt.

Die sich daraus ergebenden Wirtschaftlichkeitszahlen des Vorhabens werden nachfolgend wiederum anhand der jährlichen Aufwendungen und Erlöse und des Betriebsergebnisses, angegeben als EBITDA, beurteilt.



Tabelle 3-13: Aufwendungen und Erlöse – Folgejahr (2. Bj.)

Aufwendungen (netto)		2. Bj.
Betriebsgebundene Kosten		
• Personalkosten		42.840 €/a
• Wartung und Instandhaltung BHKW		76.908 €/a
• Motorwartung / Tauschmotor BHKW		36.000 €/a
• Wartung Peripherie BHKW		1.530 €/a
• Wartung und Instandhaltung Wärmepumpe		26.520 €/a
• Wartung und Instandhaltung OSB-Vortrockner		84.150 €/a
• Versicherung		29.070 €/a
• Reserven		20.400 €/a
Verbrauchsgebundene Kosten		
• Brennstoff BHKW		990.963 €/a
• Öl und Verschleißteile BHKW		0 €/a
• Differenz Strombedarf WP zu Nettostromerzeugung BHKW		49.088 €/a
• Strom OSB-Vortrockner		138.320 €/a
= Summe Aufwendungen		1.495.789 €/a
Erlöse (netto)		
• KWK-Zuschlag BHKW (KWKG 2016)		356.094 €/a
• EEG KWK-Bonus EA3		621.466 €/a
• vermiedene Gaskosten		2.121.676 €/a
= Summe Erlöse		3.099.236 €/a
Betriebsergebnis (netto)		
= Summe Aufwendungen		1.495.789 €/a
= Summe Erlöse		3.099.236 €/a
= EBITDA (Gewinn vor Zinsen, Steuern, Abschreibung)		1.603.447 €/a

Die Aufwendungen teilen sich in betriebsgebundene Kosten von in Summe ca. 317 T€ und verbrauchsgebundene Kosten von in Summe ca. 1.178 T€ auf.



In Summe ergeben sich für das Folgejahr Aufwendungen von 1.495.789 €.

Bei den Erlösen dominieren weiterhin die vermiedenen Erdgaskosten am OSB-Trockner. Dadurch lassen sich pro Jahr 61.858 MWh Erdgas substituieren, welche einem Wert von ca. 2,1 Mio. € entsprechen.

Weitere Erlöse werden durch den KWK-Zuschlag des BHKWs (KWKG 2016) und den EEG KWK-Bonus der EA3 erzielt, die in Addition ca. 1 Mio. € erbringen.

In Summe ergeben sich somit Erlöse von 3.099.236 € für das 2. Betriebsjahr.

Den Aufwendungen in Höhe von 1.495.789 € stehen damit Erlöse in Höhe von 3.099.236 € gegenüber.

Entsprechend wird im Folgejahr ein EBITDA in Höhe von 1.603.447 € erzielt.

3.4.4 Gesamtwirtschaftlichkeit - Ausblick

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Jahresbetrachtungen für das erste Betriebsjahr bzw. das Folgejahr werden nun in einer Gesamtwirtschaftlichkeitsprognose für einen Zeitraum von 15 Jahren fortgeführt.

Im Sinne einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung wird hier zusätzlich eine Preisentwicklung für die Kostenpositionen unterstellt. Z.B. unterliegen betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten einer Preissteigerung, wogegen der KWK-Zuschlag BHKW und der EEG KWK-Bonus über den gewährten Zeitraum konstant bleiben.

Bei der Jahreskalkulation wurde bei den aufgeführten Aufwendungen und Erlösen eine Kostenentwicklung angesetzt. Bei folgenden Ausgabenpositionen wurde eine jährliche Preissteigerung angenommen:

▪ Personal	+ 2,0 %/a
▪ Wartung/Instandhaltung	+ 2,0 %/a
▪ Versicherung	+ 2,0 %/a
▪ Reserven	+ 2,0 %/a
▪ Öl und Verschleißteile BHKW	+ 2,0 %/a
▪ Elektrische Energie	+ 4,0 %/a
▪ Brennstoff	+ 3,0 %/a

Im Ergebnis zeigt nachfolgende Tabelle die Gesamtkalkulation - zunächst aus Übersichtsgründen zusammenfassend anhand von drei Stützjahren. Neben dem 1. und 2. Betriebsjahr ist auch das letzte Jahr (15. Betriebsjahr) dargestellt.



Tabelle 3-14: Gesamtkalkulation mit 1., 2. und 15. Betriebsjahr

Aufwendungen (netto)	1. Bj.	2. Bj.	15. Bj.	Teuerung
Betriebsgebundene Kosten				
• Personalkosten	42.000 €/a	42.840	55.418 €/a	2,0 %
• Wartung und Instandhaltung BHKW	39.500 €/a	76.908	99.489 €/a	2,0 %
• Motorwartung / Tauschmotor BHKW	36.200 €/a	36.000	36.000 €/a	
• Wartung Peripherie BHKW	1.500 €/a	1.530	1.979 €/a	2,0 %
• Wartung und Instandhaltung Wärmepumpe	26.000 €/a	26.520	34.306 €/a	2,0 %
• Wartung und Instandhaltung OSB-Vortrockner	82.500 €/a	84.150	108.857 €/a	2,0 %
• Versicherung	28.500 €/a	29.070	37.605 €/a	2,0 %
• Reserven	20.000 €/a	20.400	26.390 €/a	2,0 %
Verbrauchsgebundene Kosten				
• Brennstoff BHKW	513.000 €/a	990.963	1.455.263 €/a	3,0 %
• Öl und Verschleißteile BHKW	0 €/a	0	0 €/a	2,0 %
• Differenz Strombedarf WP zu Nettostromerzeugung BHKW	-12.300 €/a	49.088	81.735 €/a	4,0 %
• Strom OSB-Vortrockner	70.000 €/a	138.320	230.313 €/a	4,0 %
= Summe Aufwendungen	846.900 €/a	1.495.789 €/a	2.167.355 €/a	

Erlöse (netto)	1. Bj.	2. Bj.	15. Bj.	Teuerung
• KWK-Zuschlag BHKW (KWKG 2016)	0 €/a	356.094	0 €/a	
• EEG KWK-Bonus EA3	298.782 €/a	621.466	0 €/a	
• vermiedene Gaskosten	941.482 €/a	2.121.676	3.115.753 €/a	3,0 %
= Summe Erlöse	1.240.264 €/a	3.099.236 €/a	3.115.753 €/a	

Betriebsergebnis (netto)	1. Bj.	2. Bj.	15. Bj.
= Summe Aufwendungen	846.900 €/a	1.495.789 €/a	2.167.355 €/a
= Summe Erlöse	1.240.264 €/a	3.099.236 €/a	3.115.753 €/a
= EBITDA (Gewinn vor Zinsen, Steuern, Abschreibung)	393.364 €/a	1.603.447 €/a	948.398 €/a

Bei den Erlösen entfällt ab dem 7. Jahr der KWK-Zuschlag des BHKWs. Dieser Zuschlag wird nur für eine Dauer von 30.000 Vollbenutzungsstunden gewährt. Diese werden bereits im Laufe des 6. Jahres erreicht. Auch der EEG KWK-Bonus der EA3 entfällt früher. Dieser wird ab dem 8. Jahr (2023) nicht mehr gewährt. Das EBITDA steigt vom 1. bis zum 5. Jahr von ca. 393 T€ auf ca. 1.684 T€. Im 15. Betriebsjahr beträgt der EBITDA noch ca. 948 T€.

Die detaillierte Gesamtkalkulation über 15 Betriebsjahre ist nachfolgend dargestellt.

Tabelle 3-15: Gesamtkalkulation mit 15 Betriebsjahren (nachfolgende Seite)



Aufwendungen (netto)	1. Bj.	2. Bj.	3. Bj.	4. Bj.	5. Bj.	6. Bj.	7. Bj.	8. Bj.	9. Bj.	10. Bj.	11. Bj.	12. Bj.	13. Bj.	14. Bj.	15. Bj.	16. Bj. Teuerung	
<i>(jeweils 01.12. bis 30.11.)</i>																	
Betriebsgebundene Kosten																	
• Personalkosten	€/a	42.000	42.840	43.697	44.571	45.462	46.371	47.299	48.245	49.210	50.194	51.198	52.222	53.266	54.331	55.418	2,0 %
• Wartung und Instandhaltung BHKW	€/a	39.500	76.908	78.446	80.015	81.615	83.248	84.913	86.611	88.343	90.110	91.912	93.750	95.625	97.538	99.489	2,0 %
• Motorwartung / Tauschmotor BHKW	€/a	36.200	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	
• Wartung Peripherie BHKW	€/a	1.500	1.530	1.561	1.592	1.624	1.656	1.689	1.723	1.757	1.793	1.828	1.865	1.902	1.940	1.979	2,0 %
• Wartung und Instandhaltung Wärmepumpe	€/a	26.000	26.520	27.050	27.591	28.143	28.706	29.280	29.866	30.463	31.072	31.694	32.328	32.974	33.634	34.306	2,0 %
• Wartung und Instandhaltung OSP-Vortrockner	€/a	82.500	84.150	85.833	87.550	89.301	91.087	92.908	94.767	96.662	98.595	100.567	102.578	104.630	106.723	108.857	2,0 %
• Versicherung	€/a	28.500	29.070	29.651	30.244	30.849	31.466	32.096	32.738	33.392	34.060	34.741	35.436	36.145	36.868	37.605	2,0 %
• Reserven	€/a	20.000	20.400	20.808	21.224	21.649	22.082	22.523	22.974	23.433	23.902	24.380	24.867	25.365	25.872	26.390	2,0 %
Verbrauchsgebundene Kosten																	
• Brennstoff BHKW	€/a	513.000	990.963	1.020.692	1.051.313	1.082.852	1.115.338	1.148.798	1.183.262	1.218.759	1.255.322	1.292.982	1.331.771	1.371.725	1.412.876	1.455.263	3,0 %
• Öl und Verschleißteile BHKW	€/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,0 %
• Differenz Strombedarf WP zu Netlostromerzeugung BHKW	€/a	-12.300	49.088	51.052	53.094	55.217	57.426	59.723	62.112	64.596	67.180	69.868	72.662	75.569	78.591	81.735	4,0 %
• Strom OSP-Vortrockner	€/a	70.000	138.320	143.853	149.607	155.591	161.815	168.287	175.019	182.020	189.300	196.872	204.747	212.937	221.455	230.313	4,0 %
= Summe Aufwendungen	€/a	846.900	1.496.789	1.538.643	1.582.800	1.628.304	1.676.194	1.723.616	1.773.316	1.824.636	1.877.629	1.932.043	1.986.228	2.046.138	2.106.829	2.167.355	

Erlöse (netto)	1. Bj.	2. Bj.	3. Bj.	4. Bj.	5. Bj.	6. Bj.	7. Bj.	8. Bj.	9. Bj.	10. Bj.	11. Bj.	12. Bj.	13. Bj.	14. Bj.	15. Bj.	16. Bj. Teuerung	
<i>(jeweils 01.12. bis 30.11.)</i>																	
• KWK-Zuschlag BHKW (KWKG 2016)	€/a	0	356.094	372.022	372.022	372.022	372.022	372.022	372.022	372.022	372.022	372.022	372.022	372.022	372.022	372.022	0
• EEG KWK-Bonus EA3	€/a	298.782	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	621.466	0
• vermiedene Gaskosten	€/a	941.482	2.121.876	2.185.327	2.250.886	2.318.413	2.387.965	2.459.604	2.533.393	2.609.394	2.687.676	2.768.306	2.851.356	2.936.696	3.025.003	3.115.753	3,0 %
= Summe Erlöse	€/a	1.240.264	3.099.236	3.178.815	3.244.374	3.311.901	3.088.150	3.081.070	2.533.393	2.609.394	2.687.676	2.768.306	2.851.356	2.936.696	3.025.003	3.115.753	

Betriebsergebnis (netto)	1. Bj.	2. Bj.	3. Bj.	4. Bj.	5. Bj.	6. Bj.	7. Bj.	8. Bj.	9. Bj.	10. Bj.	11. Bj.	12. Bj.	13. Bj.	14. Bj.	15. Bj.	16. Bj.
<i>(jeweils 01.12. bis 30.11.)</i>																
= Summe Aufwendungen	€/a	846.900	1.495.789	1.538.643	1.582.800	1.628.304	1.676.194	1.723.616	1.773.316	1.824.636	1.877.629	1.932.043	1.986.228	2.046.138	2.106.829	2.167.355
= Summe Erlöse	€/a	1.240.264	3.099.236	3.178.815	3.244.374	3.311.901	3.088.150	3.081.070	2.533.393	2.609.394	2.687.676	2.768.306	2.851.356	2.936.696	3.025.003	3.115.753
= EBITDA (Gewinn vor Zinsen, Steuern, Abschreibung)	€/a	393.364	1.603.447	1.640.172	1.661.574	1.683.598	1.412.956	1.357.654	760.078	784.758	810.147	836.264	863.128	890.768	919.175	948.398



Das Betriebsergebnis steigt jährlich bis zum 5. Jahr. Aufgrund des niedrigeren KWK-Zuschlags des BHKWs (nur noch anteilige Auszahlung bis die förderfähigen 30.000 Betriebsstunden erreicht sind) ist ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Auch nach dem 7. Jahr sinkt das Betriebsergebnis weiter. Der Grund hier ist der komplette Wegfall des EEG KWK-Bonus. Ab dem 8. Jahr sind wieder leichte Steigerungen zu erwarten.

Die Ergebnisse sind noch einmal graphisch dargestellt:

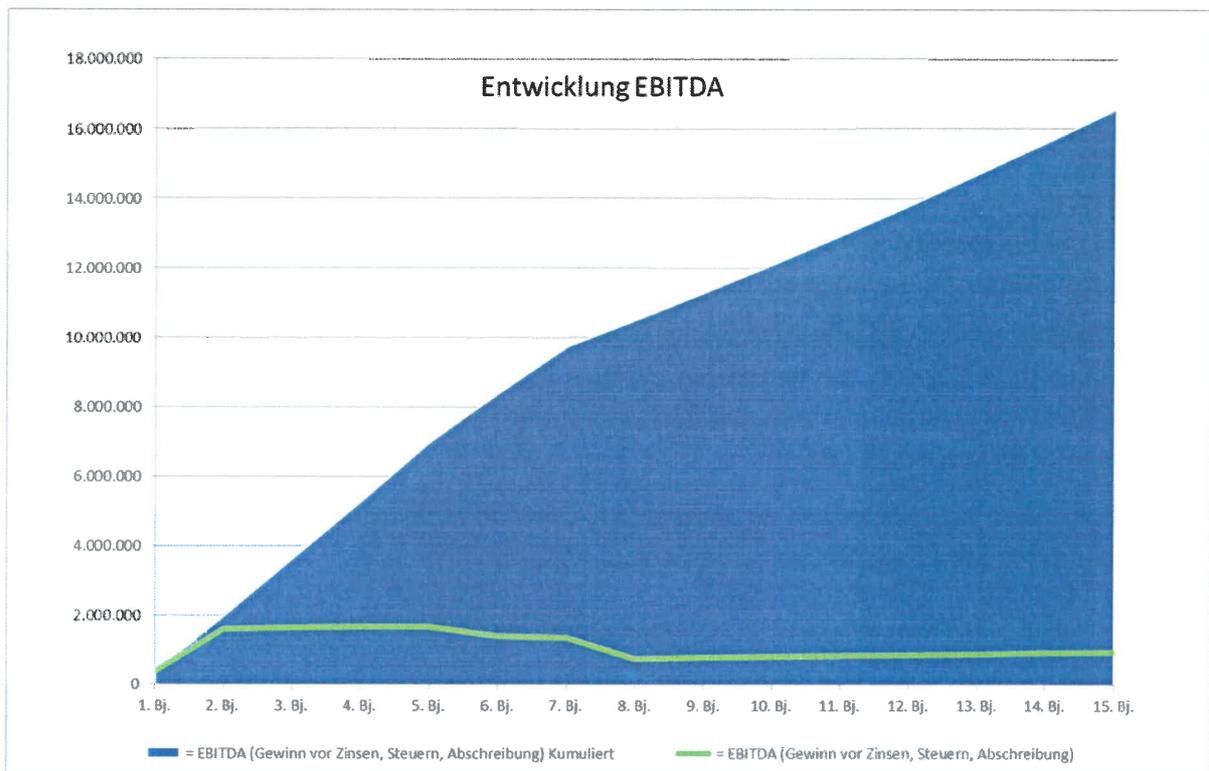


Abbildung 3-10: Grafische Darstellung der Entwicklung des EBITDA

3.4.5 Amortisation

Wirtschaftlicher Dreh- und Angelpunkt des Vorhabens ist das Betriebsergebnis.

Die Investitionen des geplanten Vorhabens müssen sich innerhalb einer wirtschaftlich tragfähigen Zeit amortisieren.

Um die Amortisationszeit des Vorhabens zu ermitteln, werden die Gesamtinvestition und das Betriebsergebnis betrachtet.

Die Gesamtinvestition wird im Folgenden noch einmal dargestellt:



Tabelle 3-16: Darstellung der Gesamtinvestitionen mit und ohne Förderung

Gesamtinvestition ohne Förderung (netto)	
= Gesamtinvestition	<u>11.093.700 €</u>
Gesamtinvestition mit Förderung (netto)	
= Gesamtinvestition (nur förderfähiger Teil)	10.913.700 €
abzüglich Förderung bei Förderquote von 20%	-1.864.000 €
= Gesamtinvestition mit Förderung	<u>9.049.700 €</u>
nicht förderfähige Investitionen	180.000 €
= Gesamtinvestition Fa. SWISS KRONO	<u>9.229.700 €</u>

Als Gesamtinvestition werden die in Kap. 3.4.1 beschriebenen Investitionen mit 10,91 Mio. € - zzgl. den nicht förderfähigen Kosten für das Projekt (180.000 €) – zu 11.093.700 € angesetzt.

Die Gesamtinvestition bei einer Förderung errechnet sich, indem vom förderfähigen Teil, in diesem Fall 10.913.700 €, die Förderung in Höhe von 1.864.000 € abgezogen und am Ende der nicht förderfähige Teil, hier 180.000 €, wieder addiert wird. Somit ergibt sich eine Gesamtinvestition in Höhe von 9.229.700 €.

Im Folgenden wird schließlich das Betriebsergebnis über die 15 Jahre betrachtet. Nachfolgende Tabelle zeigt den jährlichen sowie den kumulierten EBITDA:



Tabelle 3-17: Ermittlung der Amortisationszeit anhand des kumulierten EBITDA

Amortisationszeit		
Jahre	EBITDA	EBITDA kumuliert
1. Bj.	393.364 €/a	393.364 €
2. Bj.	1.603.447 €/a	1.996.811 €
3. Bj.	1.640.172 €/a	3.636.984 €
4. Bj.	1.661.574 €/a	5.298.558 €
5. Bj.	1.683.598 €/a	6.982.155 €
6. Bj.	1.412.956 €/a	8.395.111 €
7. Bj.	1.357.554 €/a	9.752.665 €
8. Bj.	760.078 €/a	10.512.743 €
9. Bj.	784.758 €/a	11.297.501 €
10. Bj.	810.147 €/a	12.107.648 €
11. Bj.	836.264 €/a	12.943.912 €
12. Bj.	863.128 €/a	13.807.040 €
13. Bj.	890.758 €/a	14.697.797 €
14. Bj.	919.175 €/a	15.616.972 €
15. Bj.	948.398 €/a	16.565.370 €

Investition mit Förderung
= 9.229.700 €

Investition ohne Förderung
= 11.093.700 €

Die Gesamtinvestition beträgt ohne Förderung 11.093.700 €. Demnach ergibt sich eine Amortisationszeit von 8,7 Jahren und diese liegt damit höher als die im Antrag geplanten 7,3 Jahre.

Die Amortisationszeit verringert sich mit einer Förderung und somit unter Ansatz einer Gesamtinvestition von 9.229.700 € um 2,1 Jahre auf 6,6 Jahre. Dies liegt damit entsprechend ebenfalls höher als die im Antrag prognostizierten 5,7 Jahre.

Die Förderung leistet somit in Bezug auf die Amortisation einen wichtigen Anteil. Die entstandenen Mehrinvestitionen können jedoch auch unter Annahme der in der Optimierungsphase verbesserten Effizienz der Anlage nicht innerhalb der geplanten Amortisationszeit aufgefangen werden.

3.4.6 Vergleich zum konventionellen Verfahren

Das hier umgesetzte Konzept verfolgt einen innovativen Ansatz - die genutzten Anlagen sind in ihrer Konfiguration und in ihrer Zielrichtung neuartig. Eine technische Vergleichbarkeit mit vorhandener Technik bzw. leistungsgleichen Anlagen ist demnach nicht gegeben.

Hier bietet sich demzufolge ein Vergleich der jährlichen Aufwendungen der innovativen Abwärmenutzung zur OSB-Vortrocknung in Verbindung mit dem bestehenden Anlagenkonzept und der bisher am Standort betriebenen rein konventionellen OSB-Trocknung an.

Zur Ermittlung der Aufwendungen des bisherigen konventionellen Verfahrens, wurden folgende Daten zu Grunde gelegt.



Tabelle 3-18: Berechnungsgrundlagen konventionelles Verfahren

Daten konventioneller OSB-Trockner		
Volllaststunden	4.000	h/a
Betriebsstunden	8.000	h/a
spez. Wasserverdampfung Gas	1,00	MWh/t _{H2O}
Wärmeleistung (Hi)	56,000	MW
elektrischer Eigenbedarf	2,000	MW
Wasserverdampfung	56,000	t/h
jährliche Wasserverdampfung	224.000	t/a
Wärmebedarf (bez. auf Hi)	224.000	MWh/a
Strombedarf	16.000	MWh/a
Brennstoffkosten	7.459.200	€/a
Stromkosten	960.000	€/a

Die Gegenüberstellung der jährlichen Kosten für beide Varianten für das 2. Betriebsjahr zeigt folgende Vorteile für das neue Verfahren auf:



Tabelle 3-19: Gegenüberstellung jährliche Kosten (neues Konzept/konventionelles Verfahren)

Aufwendungen (netto)	Neues Konzept mit Einbindung in bestehendes Anlagenkonzept	Bisherige rein konventionell betriebene OSB-Trocknung
Betriebsgebundene Kosten		
• Personalkosten	322.840 €/a	280.000 €/a
• Wartung konventionelle OSB-Trocknung	440.000 €/a	440.000 €/a
• Wartung und Instandhaltung BHKW	76.908 €/a	0 €/a
• Motorwartung / Tauschmotor BHKW	36.000 €/a	0 €/a
• Wartung Peripherie BHKW	1.530 €/a	0 €/a
• Wartung und Instandhaltung Wärmepumpe	26.520 €/a	0 €/a
• Wartung und Instandhaltung OSB-Vortrockner	84.150 €/a	0 €/a
• Versicherung	73.070 €/a	44.000 €/a
• Reserven	65.400 €/a	45.000 €/a
Verbrauchsgebundene Kosten		
• Brennstoff BHKW	990.963 €/a	0
• Brennstoff konventionelle OSB-Trocknung	5.399.000 €/a	7.459.000 €/a
• Öl und Verschleißteile BHKW	0 €/a	0 €/a
• Sonstige verbrauchsgeb. Kosten konventionelle OSB-Trocknung	36.000 €/a	50.000 €/a
• Differenz Strombedarf WP zu Nettostromerzeugung BHKW	49.088 €/a	0 €/a
• Strom OSB-Vortrockner	138.320 €/a	0 €/a
• Strom konventionelle OSB-Trocknung	869.000 €/a	960.000 €/a
= Summe Aufwendungen	8.608.789 €/a	9.278.000 €/a

Die Aufwendungen für die konventionelle Variante liegen höher als die des neuen geplanten Vorhabens. Einer der Hauptgründe dafür ist die Brennstoffeinsparung und somit eine Kosteneinsparung von über 1 Mio. € beim neuen Konzept. Andere Kostenfaktoren wiederum wie z. B. Personalkosten, Wartung, Instandhaltung, Versicherung etc. fallen bei rein konventionellem Betrieb geringer aus bzw. nicht an. Insgesamt lässt sich jedoch eine jährliche Einsparung von ca. 669 T€ erzielen.

Bei den hier eingesetzten Hauptkomponenten handelt es sich um innovative Techniken, die erstmalig in der beschriebenen Nutzung umgesetzt sind. Daher können lediglich die jährlichen Aufwendungen mit dem bestehenden System verglichen werden.



3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Erstmals in Deutschland wurde das Vorhaben „Innovatives Konzept zur Abwärmenutzung eines Biomasse-Heizkraftwerkes für die OSB-Vortrocknung“ als Neuanlage realisiert. Um einen technischen Vergleich mit konventionellen Verfahren anzustellen, soll hier dafür die konventionelle OSB-Trocknung im herkömmlichen Sinn betrachtet werden.

Die konventionelle OSB-Trocknung besteht in vielen Fällen aus einem mit Rauchgas beheizten Einzug-Trommeltrockner unter Einsatz verschiedenartiger Energieträger. Am betrachteten Standort werden hierzu Erdgas und Holzstaub bzw. sonstige geeignete Holzreste eingesetzt. Der Trocknungsprozess ist sehr energieintensiv und muss im Ergebnis eine homogene Endfeuchte sowohl dickerer als auch dünnerer OSB-Strands gewährleisten. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass ein schonender, knick- und brecharmer Transport der Strands gewährleistet ist. Das heiße Rauchgas wird in speziellen Brennkammern, mit Mehrstoffbrennern oder in Muffelfeuerungsanlagen erzeugt. Die konventionelle Trommel-Trocknung ist eine reine Hochtemperaturanwendung, üblicherweise mit Temperaturbereichen von bis zu 400 °C. Aufgrund der von den Herstellern geforderten hohen Durchsatzleistungen (bis zu ca. 40 t/h Wasserverdampfung) ist diese Technik hinsichtlich einer sinnvollen Baugröße der Trockner die Standardlösung. Reine Niedertemperaturanwendungen zur vollständigen Trocknung in Temperaturbereichen von <100 °C scheiden gerade aus diesem Grund in diesem Leistungsbereich aus.

In diesem Vorhaben wurde ein geeigneter Ansatz gefunden, um diesen Prozess effizienter zu gestalten bzw. durch die partielle Einbindung von Niedertemperaturwärme anteilig hochwertige Energieträger, wie z.B. Erdgas, zu ersetzen. Am Standort befindet sich nahe der OSB-Trocknungsanlage ein Biomasse-Heizkraftwerk. In der Vergangenheit wurde immer wieder versucht, Abwärme aus dem Abgas des Biomasse-Heizkraftwerkes direkt für die Trocknung zu nutzen, was jedoch zu erheblichen Problemen hinsichtlich Korrosion geführt hat. Die wesentliche Abwärmequelle aus dem Biomasse-Heizkraftwerk, die Abdampfkondensation, konnte bisher jedoch nicht für diese wärmetechnische Nutzung erschlossen werden.

Die in diesem Vorhaben geförderte technische Lösung ermöglicht es nun, die Niedertemperatur-Abwärme aus dem Biomasse-Heizkraftwerk, in Verbindung mit einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage und Wärmepumpe soweit aufzuwerten, dass sie als zusätzliche Prozesswärme zur Trocknung verwendet werden kann. Hierzu wurde das bestehende Trocknungskonzept durch einen OSB-Strand-Vortrockner inkl. Fördertechnik und Peripherie ergänzt sowie ein Erdgas-BHKW und 2 Wärmepumpenaggregate installiert. Mit dieser Konstellation, deren Energieerzeugung in Kapitel 2.2 technisch beschrieben ist, wird unter Einbindung entsprechender Steuerung- und Regeltechnik die OSB-Trocknung mit Abwärme aus dem Biomasse-Heizkraftwerk betrieben. Beim genannten OSB-Strand-Vortrockner handelt es sich hier um einen Niedertemperatur-Bandrockner.

Nachfolgend werden die technischen Parameter der Trocknerkombination dargestellt:



Tabelle 3-20: OSB-Vortrockner und konventioneller OSB-Trockner

Daten OSB-Vortrockner		
Volllaststunden	6.500	h/a
spez. Wasserverdampfung Gas	1,00	MWh/t _{H2O}
spez. Wasserverdampfung NT	1,200	MWh/t _{H2O}
Wärmeleistung	11,420	MW
elektr. Eigenbedarf (Trockner, Fördertechnik,	0,341	MW
Wasserverdampfung	9,517	t/h
jährliche Wasserverdampfung	61.858	t/a
Wärmebedarf	74.230	MWh/a
Strombedarf	2.217	MWh/a

Daten konventioneller OSB-Trockner		
Volllaststunden	4.000	h/a
Betriebsstunden	8.000	h/a
spez. Wasserverdampfung Gas	1,00	MWh/t _{H2O}
Wärmeleistung (Hi)	56,000	MW
elektrischer Eigenbedarf	2,000	MW
Wasserverdampfung	56,000	t/h
jährliche Wasserverdampfung	224.000	t/a
Wärmebedarf (bez. auf Hi)	224.000	MWh/a
Strombedarf	16.000	MWh/a

Im technischen Vergleich dieser in Kombination eingesetzten Aggregate ist der Teil der konventionellen OSB-Trocknung durch eine wesentlich höhere Durchsatzmenge / Wasserverdampfungsleistung, hier ca. 56 t/h im Vergleich zu ca. 9,5 t/h, gekennzeichnet. Die spezifische Wasserverdampfung liegt im Bereich des konventionellen Teiles mit ca. 1 MWh/t ca. 20% besser als im Vortrockner. Wesentlicher Punkt des gewählten Konzeptes ist, dass sich die angestrebte Niedertemperaturnutzung gerade mit einem Bandtrockner in der Vortrocknungseinheit als bewährtes System gezeigt hat. Hierfür sind jedoch für das Gesamtkonzept weitere zusätzliche technische Standard-Komponenten erforderlich gewesen:

- Förderaggregate zur materialseitigen Einbindung des Bandtrockners
 - Leistung 600 m³/h
- Vorlagebunker
 - Behältervolumen ca. 160 m³
- Fortlufteinrichtung
- Energieerzeugung aus Abwärme:
 - Kondensator, Wärmepumpe, Erdgas-BHKW wie in Kap. 2.2 beschrieben
- übergeordnete Steuerungs- und Regelungstechnik



4 Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Integration eines solchen neuartigen Systems in eine bestehende Anlage ist komplex. Die Aufstellung der Anlagenkomponenten muss an die örtlichen Platzverhältnisse angepasst werden, die Montage und Inbetriebnahme läuft parallel zum laufenden Produktionsprozess, bestehende Betriebsabläufe werden beeinflusst.

Das Betriebspersonal von SWISS KRONO war von Beginn an maßgeblich am Planungsprozess beteiligt, so konnten erforderliche Anpassungen im Projekt früh umgesetzt werden. Beispielsweise war ursprünglich geplant, einen einzelnen Kondensator an die bestehende Abdampfleitung der Energieanlage 3 anzubinden. Aufgrund der dynamischen Kräfte auf die Rohrleitung und somit auf den Flansch der Dampfturbine war dies nicht möglich. Ein Lösungsvorschlag von SWISS KRONO, zwei Kondensatoren symmetrisch an die Bestandsleitung anzubinden, konnte schließlich erfolgreich umgesetzt werden.

Während der Ausführungsplanung wurden die Förderwege und Prozessabläufe zwischen den Zerspanern der OSB-Anlage und den Bestandstrocknern nochmals detailliert untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die Entnahme der OSB-Strands aus dem laufenden Prozess und die Rückführung in die Bestandsanlage nur mit einem zusätzlichen Vorlagebunker zu realisieren ist. Der installierte Vorlagebunker hat ein Fassungsvermögen von ca. 160 m³. Er gewährleistet die kontinuierliche und gleichmäßige Beschickung des OSB-Vortrockners mit Strands.

Die Überschreitung der Investitionskosten um ca. 17 % ist zum Teil auf das Bauen im Bestand zurückzuführen. Insbesondere bei der Abschätzung der Kosten für Hoch-/Tiefbau, Heiztechnik und Elektrotechnik ist zu empfehlen, bereits während der Projektentwicklung detaillierte Untersuchungen im Bestand durchzuführen (z.B. Reserven für Lasteintragung an bestehenden Gebäuden und Stützen, Trassenführung für Heiz- und Elektroleitungen im Bestand, Leistungsreserven der Transformatoren und Schaltfelder, Platzbedarf in den Schalträumen).

Auf Wunsch von SWISS KRONO wurde erstmals eine Online-Berechnung der aktuellen Wasserverdampfung aus den Betriebsparametern im OSB-Vortrockner integriert. Für das Betriebspersonal ist dies ein wichtiges Hilfsmittel. Wenn sich der Wirkungsgrad der Wasserverdampfung ändert, liegt diese Information dem Anlagenführer sofort vor. Er kann den Prozess analysieren und bei Bedarf Prozessparameter anpassen. Eine Einbindung der Online-Berechnung der aktuellen Wasserverdampfung ist auch für Bandtrockner in anderen Branchen empfehlenswert.

Für die Optimierung der Anlagenkomponenten sollte man bei einem solchen Pilotprojekt ausreichend Zeit einplanen. Bei diesem Projekt waren insgesamt 12 Monate erforderlich, bis die Zielvorgaben erreicht wurden und die Anlagenkomponenten die spezifizierten Leistungswerte und Wirkungsgrade erreichten. Hilfreich für die Optimierung der Anlagenteile war die umfangreich installierte Messtechnik.

Die gute Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten während der gesamten Projektlaufzeit und der Optimierungsphase ist lobenswert zu erwähnen.



4.2 Modellcharakter / Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/ der Anlage/ des Produkt)

Die Neuartigkeit des Vorhabens besteht darin, verschiedene bereits auf dem Markt befindliche Komponenten erstmalig zu kombinieren. Der innovative Charakter zeigt sich in der wärmetechnischen Kombination einer Abwärmequelle, in diesem Fall ein Biomasse-Heizkraftwerk und den Anlagenkomponenten Wärmepumpe, Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage und Niedertemperatur-Anwendung. In Bezug auf diese Kombination wurde in Deutschland in dieser Größenordnung bisher kein vergleichbares Projekt realisiert.

Der Einsatzbereich und somit die Übertragbarkeit dieser Anlagenkonfiguration ist vielseitig – sowohl innerhalb der Branche der Holzwerkstoffindustrie als auch außerhalb. In vielen Abwärme produzierenden Unternehmen kann diese Energie aufgrund des zu niedrigen Temperaturniveaus oft nicht genutzt werden. Meist geht dadurch wertvolle Wärmeenergie verloren. Durch dieses innovative Verfahren zur Abwärmenutzung kann hingegen ein bedeutender Anteil Primärenergie substituiert werden, sofern eine entsprechend kontinuierliche Wärmesenke vorhanden ist. Dieses Demonstrationsprojekt zeigt für viele Unternehmen neue Wege einer effizienten Prozesswärmerezeugung durch Abwärmenutzung auf.

Ein weiterer entscheidender Aspekt ist die Bereitstellung von positiver und negativer Regelleistung in der Größenordnung von 2 MW_{el}. Die Wärmepumpe sowie das BHKW können flexibel zur Stromerzeugung und zum Stromverbrauch eingesetzt werden. Bei Überschussstrom im Netz kann das BHKW einige Zeit pausieren und die Wärmepumpe wird mit Strom aus dem Netz betrieben. Neben negativer kann zudem positive Regelenergie erzeugt werden, in dem das BHKW den produzierten Strom ins Netz einspeist und der OSB-Vortrockner mit der Wärme des BHKW in Teillast betrieben wird. Somit kann das System über gewisse Zeiträume Überschussstrom aus dem Netz abnehmen bzw. Strom einspeisen. Die Kombination aus BHKW und Elektrowärmepumpe sorgt mit hoher Effizienz für zeitweisen Lastausgleich im Stromnetz. Die Querschnittstechnik steht im Hinblick auf effiziente Energienutzung und Lastflexibilisierung besonders hoch im Fokus, da diese Techniken branchenübergreifend eingesetzt werden und Erkenntnisse daher einfach übertragen werden können.

In erste Linie betrifft dies zunächst Anlagen ähnlicher Gesamtprozesse mit hoher Energieintensität, wie z.B. die Holzbe- und verarbeitende Industrie einschließlich der Sägeindustrie sowie der Papierbranche. Diese Werke verfügen oft über (Biomasse-)Heizkraftwerke, arbeiten überwiegend im kontinuierlichen Mehrschichtbetrieb und haben i.d.R. auch einen signifikanten und parallelen Bedarf an thermischer und elektrischer Energie. Ähnliche Ausgangsbedingungen dürften sich beispielhaft in den genannten Branchen in Deutschland wie folgt ergeben:

- Holzwerkstoffindustrie → 20 Standorte
- Sägeindustrie → 20 Standorte
- Papier-/ Zellstoffindustrie → 50 Standorte

Darüber hinaus sind die genannten Branchen im benachbarten Ausland wie Österreich, Tschechien und Polen mit ähnlichen Standortstrukturen vertreten, jedoch sind hier die jeweiligen energierechtlichen Rahmenbedingungen zu beachten. Wichtig und richtungsweisend für ähnli-



che Projekte am Standort Deutschland werden nach aktuellem Stand insbesondere Aspekte der Planungssicherheit sein – in Hinblick auf die geltenden und sich zunehmend häufiger in Anpassung befindliche KWK- und EEG-Gesetzgebung im Rahmen der Energiewende.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die im Projekt umgesetzte Querschnittstechnik auf weitere Branchen und Bereiche übertragen lässt. Das System ist auf alle Unternehmungen, in denen Abwärme auf nicht nutzbarem Temperaturniveau anfällt und gleichzeitig eine Wärmesenke vorhanden ist, übertragbar. Durch Erhöhung der Temperatur mit der Kombination aus Wärmepumpe und KWK-Anlage bietet sich neben dieser internen ebenso eine externe Wärmenutzung, z. B. in nahe gelegenen Industrieunternehmen, Gewerbebetrieben, kommunalen Objekten oder auch privaten Haushalten an. Diese innovative und hocheffiziente Systemkombination bietet ebenso für Städte und Gemeinden mit ansässigem Industriegebiet oder ähnlichen Abwärmequellen eine sinnvolle, umweltschonende Zukunftslösung und stellt zusätzlich relevante positive wie negative Regelleistung für das Stromnetz zur Verfügung. Das Projekt wird Modellcharakter haben und Wege aufzeigen, die zur Nachahmung anregen.



5 Zusammenfassung / Summary

5.1 Einleitung / Introduction

Die SWISS KRONO GmbH ist ein erfolgreiches und innovatives Unternehmen, das am Standort Heiligengrabe in Brandenburg hochqualitative Holzwerkstoffe fertigt. Bei der Verarbeitung von Holz zu MDF- und OSB-Platten handelt es sich im Unternehmen um sehr energieintensive Prozesse, sowohl elektrisch als auch thermisch. Die Abwärme eines Biomasse-Heizkraftwerkes konnte bislang aufgrund des zu geringen Temperaturniveaus nicht genutzt werden, könnte jedoch bei Anhebung in den Trocknungsprozess eingebunden werden.

The SWISS KRONO GmbH is a successful innovative company in manufacturing of high quality wooden boards and floorings at the location Heiligengrabe in the province Brandenburg. During the process of wood to final MDF and OSB boards in the company, exists a high intensive electrical and thermal energy usage at the same time. The benefit of this waste heat at low temperature level could not useful applied in the past. But now it can be used at increased temperature levels in the drying process during the production. Vorhabenumsetzung / Project implementation

5.2 Vorhabensumsetzung / Project implementation

Ziel des umgesetzten Vorhabens ist, die Niedertemperaturabwärme aus einem konventionellen Kondensationskraftwerk der Industrie für den Produktionsprozess nutzbar zu machen, indem man das Temperaturniveau mittels Wärmepumpentechnologie soweit anhebt, dass die Abwärme in Kombination mit einer BHKW-Anlage und einem Vortrockner in den Produktionsprozess eingebunden werden kann. Das hocheffiziente Anlagengesamtkonzept besteht aus einer Abwärmequelle, zwei Wärmepumpen, einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (KWK-Anlage), angepasster Steuer- und Regeltechnik sowie einer Niedertemperaturanwendung. Als Abwärmequelle dient die Abdampfkondensation des Biomasseheizkraftwerks und als KWK-Anlage ein Erdgas-BHKW. Als Wärmesenke der Wärmepumpen kommt ein Niedertemperatur-OSB-Vortrockner zum Einsatz. Die Systemkomponenten sind genau aufeinander abgestimmt und gewährleisten dadurch ein funktionierendes Zusammenspiel. Das Gesamtvorhaben wurde Ende 2012 mit der Projektentwicklung gestartet. Nach der erteilten Genehmigung Mitte des Jahres 2014 erfolgte der technische Umsetzungsprozess von der Ausschreibung bis zur Inbetriebnahme der Komponenten Ende 2015. Das begleitende Messprogramm wurde am 01. Dezember 2015 gestartet und bis 30. November 2016 durchgeführt. Im Laufe des Jahres 2016 waren Umbau- und Optimierungsmaßnahmen erforderlich, um das Ziel des Vorhabens zu erreichen. Die Gründe, die in 2016 zu einer geringeren Auslastung der Abwärmenutzung geführt haben, sind abgestellt, so dass in 2017 die Nennkapazität der Anlage erreicht werden kann.

The goal in the project is especially the useful usage of low temperature on waste heat from the conventional condense power plant of the industrial production process. Furthermore to increase the temperature level at that point and implement the use on waste heat in combination with co-generation and pre dryer in the production. The high efficient overall concept con-



sists of a waste heat source, two heat pumps, a heat-and-power-plant, customized control and regulating technology and a low temperature usage. As waste heat source functions the exhaust steam condensation of the biomass heating plant and as heat-and-power-plant a cogeneration plant operated with natural gas. The heat sink of the heat pumps operates a low temperature OSB-pre-dryer. The system components are exactly synchronized and guarantee a full functional interaction. The facility components are completely optimized and interact successfully during the whole process. The overall project development has been started in 2012. The approval was granted in 2014. The technical implementation, tendering until the commissioning took place in 2015. The accompanying monitoring program was launched on December 1st 2015 and carried out on November 30th 2016. During the year 2016 rebuilding and optimization measures were necessary to achieve the objective of the project. The reasons which led to a temporary lower utilization of waste heat utilization have been switched off in 2016, so that the nominal capacity of the plant can be achieved in 2017.

5.3 Ergebnisse / Project results

Die Anlage konnte Ende 2015 nach 3-jähriger Projektlaufzeit Ihren Betrieb aufnehmen. Mit der installierten Messtechnik wurden alle relevanten Leistungsparameter im Zeitraum des Messprogrammes aufgezeichnet und ausgewertet. Umbaumaßnahmen und Stillstände haben dazu geführt, dass die geplanten 6.500 Betriebsstunden für das Jahr 2016 nicht erreicht werden konnten. Die Wärmeproduktion blieb dadurch hinter den Planungen zurück. Dennoch konnte eine Primärenergieeinsparung von 12.308 MWh, insbesondere von vermiedenem Erdgaseinsatz, für den Zeitraum des Messprogramms erreicht werden. Es konnte eine Einsparung an CO₂ in Höhe von 2.703 Tonnen ausgewiesen werden.

Die Investitionen liegen mit 11.093.700 € über den im Antrag veranschlagten 9,5 Mio. Die Gründe für die Mehrkosten waren vielschichtig und wurden im Wesentlichen durch technische Anpassungen im Bau und der Anlagentechnik sowie durch allgemeine Preissteigerungen verursacht. Mit dieser Investitionssumme ergibt sich im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung eine Amortisationszeit von 8,7 Jahren und liegt damit höher als die im Antrag geplanten 7,3 Jahre. Die Amortisationszeit verringert sich durch die Förderung und somit unter Ansatz einer Gesamtinvestition von 9.229.700 € um 2,1 Jahre auf 6,6 Jahre.

Die Gründe, die in 2016 zu einer geringeren Auslastung der Abwärmenutzung geführt haben, sind abgestellt, so dass in 2017 die Nennkapazität der Anlage erreicht werden kann. Die Wärmeleistung beider Wärmepumpen liegt nach der Optimierung jeweils knapp über 5.000 kW und somit nun höher als ursprünglich spezifiziert (4.880 kW). Für die Folgejahre kann dadurch eine positive Prognose für die Energie- und Umweltbilanz erstellt werden. Es errechnet sich eine Primär-Energieeinsparung von 31.089 MWh pro Jahr für die Folgejahre. Diesbezüglich kann auch eine Einsparung an CO₂ in Höhe von 6.624 Tonnen für die Folgejahre prognostiziert werden, welche ca. 1.500 Tonnen über den ursprünglichen Plänen von 5.100 Tonnen liegt (+ 30 %).

After 3 years project duration, the facility became in operation in the end of 2015. With the installed measuring technology all relevant performance parameters were recorded and evalu-



ated during the measurement program. The rebuilding measures and shutdowns have led to the final result that the planned 6,500 operating hours couldn't be reached in 2016. Heat generation remained behind the planned targets. Nevertheless could be achieved, for the period of the measurement program, a primary energy saving of 12,308 MWh in fact a particularly the avoidance of natural gas usage. CO₂ saving of 2,703 tons was reported. The estimated investment of 9,500,000 € increased to actually 11,093,700 €. The reasons for the additional costs were varied and mainly caused by technical adjustments in construction, plant engineering and as well as by general price increases. This investment results in the context of economic calculation obtained a payback period of 8.7 years, which is higher as in the application assessed 7.3 years. Through obtaining a funding program ending up of a total investment of € 9,229,700, the amortisation period can be decrease 2.1 years of total 6.6 years.

The reasons which led to a lower utilization of waste heat utilization in 2016 have been switched off so that the nominal capacity of the plant can be achieved in 2017. The heat output of both heat pumps is just over 5,000 kW after the optimization and is now higher than originally specified (4,880 kW). Thus, for the following years, a positive forecast for energy and environmental balance can be generated.

A primary energy result is established on savings of 31,089 MWh per year. Regardless an achieving on savings of 6,624 tons of CO₂ for the following years can be forecasted, which is about 1,500 tons (+ 30%) above the original plans of 5,100 tons.

5.4 Ausblick / Prospects

Während des gesamten Projektverlaufs von der Projektentwicklung bis hin zur Realisierung des Pilotprojekts und während der laufenden Produktion war eine sehr intensive Abstimmung zwischen allen Beteiligten erforderlich. Auch in diesem Vorhaben ergaben sich während des Projektverlaufs Hemmnisse und Verzögerungen in Folge von zeitlichen und technischen Anpassungen sowie Optimierungsarbeiten. Die Optimierungszeiten konnten jedoch genutzt werden, um die Leistung des Gesamtsystems zu verbessern. Dies betraf insbesondere Optimierungen an den Wärmepumpen, am OSB-Vortrockner und das Zusammenspiel zwischen den beiden Trocknertypen. Dank der umfangreich installierten Messtechnik konnten Schwachstellen bei den Prozessen aufgedeckt und beseitigt werden. Die in 2016 durchgeführten Optimierungsmaßnahmen waren erfolgreich. Die Anlage erreicht die spezifizierten Werte.

Der Einsatzbereich und somit die Übertragbarkeit dieser Anlagenkonfiguration ist vielseitig – sowohl innerhalb der Branche der Holzwerkstoffindustrie als auch außerhalb. In vielen Abwärme produzierenden Unternehmen kann diese Energie aufgrund des zu niedrigen Temperaturniveaus oft nicht genutzt werden. Durch dieses innovative Verfahren zur Abwärmenutzung kann ein bedeutender Anteil Primärenergie substituiert werden, sofern eine entsprechend kontinuierliche Wärmesenke vorhanden ist. Wichtig und richtungsweisend für ähnliche Projekte am Standort Deutschland werden nach aktuellem Stand insbesondere Aspekte der Planungssicherheit sein – in Hinblick auf die geltenden und sich zunehmend häufiger in Anpassung befindliche KWK- und EEG-Gesetzgebung im Rahmen der Energiewende.



Throughout the entire project, beginning from the development until the realisation of the pilot project, even during the ongoing production, it was required to keep a very intensive coordination between all participants. However, it couldn't be avoided the arising on obstacles and delays as a result of time and technical adjustments during the optimization of the project. It was useful to improve the performance of the overall system during the optimization. They're mainly the improvements to the heat pump, the OSB pre-dryer and the interaction between the two types of dryers. Rewards have been earned through the extensive installed electronic measurement equipment during the processes and the weaknesses could be easier detected and corrected. The optimization measures were successful in 2016. The system achieves the specified values.

This layout configuration is applicable on many various branches in the wood manufacture industry and as well on others. This low temperature energy resource has not been useful for many manufacturing companies in the past. Based on this new innovative procedure with a continuous heat sink and usage on waste heat, is it possible to substitute a high portion of fossil energy. For similar project locations in Germany it will be important to achieve planning security under consideration of regulations and laws (KWKG and EEG) and its amendments as part of the future energy transitions in Germany.



6 Anhang/Anlagen

6.1 Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
Bj.	Betriebsjahr (hier 01.12. bis 30.11.)
COP	Coefficient of Performance, Leistungszahl der Wärmepumpe
EA 3	Energieanlage 3
EA 4	Energieanlage 4
EB	Eigenbedarf
FT	Fördertechnik
H _i	Heizwert in kJ/
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MSHV	Mittelspannungshauptverteilung
P _{FWL}	Feuerungswärmeleistung
P _{th}	thermische Leistung
P _{el}	elektrische Leistung
P _{Nutz}	Nutzwärmeleistung
P _{Kühler}	Kühlleistung Rückkühler BHKW
RL	Rücklauf
WMZ	Wärmemengenzähler
WP	Wärmepumpe
VL	Vorlauf
VT	Vortrockner
\dot{V}_{Erdgas}	Volumenstrom Erdgas in Nm ³ /h
η _{el}	elektrischer Wirkungsgrad
σ _{netto}	Netto-Stromkennzahl



Der Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt, er besteht aus 61 Seiten.

Pfaffenhofen, den 25.01.2017

Dipl.-Ing. (FH) Stephan Kelbsch

Dr.-Ing. Rupert Stocker