



Energetische Optimierung einer Druckerei zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes

Dargestellt am Beispiel der
Druckerei Ferdinand Berger & Söhne GmbH
im Auftrag von
JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Diplomarbeit
von
cand. Ing. DI Manuel ARTZ



eingereicht am
Institut für Thermoprozesstechnik
der
Montanuniversität Leoben

Leoben, am 12. Juni 2011

Aufgabenstellung

Die Motivation der Druckerei Ferdinand Berger & Söhne GmbH (kurz: Druckerei Berger), dieses Projekt durchzuführen, lag unter anderem am Umweltbewusstsein der Geschäftsleitung. Die Druckerei Berger hat bereits mehrere Initiativen in Richtung Ökologisierung der Prozesse und Produkte durchgeführt und hat erkannt, dass der Einsatz an fossilen Brennstoffen und der Verbrauch an elektrischem Strom im Vergleich zu anderen Branchen relativ hoch waren. Zusätzlich gab es einen hohen Anteil an Abwärmestrom, der nicht genutzt wurde, und einen ständigen prozessbedingten Kühlbedarf, der mittels Kompressionskälteanlagen gedeckt wurde.

Aufgrund dieser Tatsachen wurde das Projekt Ökoprint ins Leben gerufen, das mit einem fähigen Partner durchgeführt werden sollte. So war es die Aufgabe von JOANNEUM RESEARCH, ein optimiertes Konzept zur exergetischen Nutzung der verwendeten Energie- und Stoffströme zu erarbeiten, das in weiterer Folge in ein Demonstrationsprojekt münden soll.

Ziel des Projekts ist eine sowohl ökologische, als auch ökonomische Low-CO₂-Branchenlösung, dessen Konzept auf die gesamte Druckereiindustrie umgelegt werden kann. Dabei sollen folgende Teilziele in Betracht gezogen werden:

- Eine vollständige und detaillierte exergetische Analyse der Ausgangssituation, um mögliche Ansatzpunkte zur Optimierung zu erheben, damit die größten Hebel zur Verbesserung effizient bearbeitet werden können.
- Die Ausarbeitung von Möglichkeiten, die eingesetzten Energie- und Stoffströme möglichst effizient zu nutzen, um somit den Verbrauch an eingesetzten Rohstoffen zu minimieren. Dazu zählt vor allem die Integration der verschiedenen Energie- und Stoffströme, die im Unternehmen prozessbedingt anfallen. Die ausgearbeiteten Möglichkeiten sollen auf ihre technischen und ökologischen Auswirkungen hin untersucht und bewertet werden.
- Eine Analyse zur Ausarbeitung möglicher Varianten, um die verwendeten fossilen Brennstoffe durch den Einsatz von erneuerbaren Energien aus der Region zu ersetzen. Das Ziel dabei ist, den Treibhausgas-Ausstoß zu minimieren und die Abhängigkeit von überregionalen Lieferanten zu verringern.
- Abschließend soll eine Auswahl der zuvor ausgearbeiteten Möglichkeiten getroffen werden, die sowohl technisch, als auch ökonomisch realisiert werden kann. Diese Auswahl soll als Konzeptvorschlag für das Demonstrationsprojekt verwendet werden.

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angegeben Informationen und Quellen benützt und die den verwendeten Quellen wörtliche oder inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.“

DI Manuel Artz

Leoben, 12. Juni 2011

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei einigen Personen bedanken, die mich bei der Durchführung der Diplomarbeit direkt oder indirekt beeinflusst und mir ein gutes Stück beim Erreichen meiner Ziele weitergeholfen haben.

Als erstes möchte ich mich bei meinen Kollegen an der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH für die fachliche Unterstützung bedanken. Besonders hervorheben möchte ich hier Herrn DI Dr. Reinhard Padinger, Herrn Maximilian Lauer und Herrn DI(FH) Stefan Gunczy, die eine Zusammenarbeit in diesem Projekt ermöglicht haben.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meinen Ansprechpartnern in der Druckerei Ferdinand Berger & Söhne GmbH, Herrn Mag. Ferdinand Berger jun. und Herrn Mag. Leo Springer, die mir bereitwillig Auskunft gegeben haben, um dieses Projekt bestmöglich umzusetzen.

Für die wissenschaftliche Betreuung an der Montanuniversität Leoben bedanke ich mich besonders bei Herrn Univ.-Prof. DI Dr. Harald Raupenstrauch und Herrn DI Andreas Hammer. Sie hatten immer ein offenes Ohr für meine Anliegen und standen mir auch abseits der Sprechstunden mit Rat und Tat zur Seite.

Abseits der fachlichen Ratschläge konnte ich mich auf die volle Unterstützung meiner Partnerin Marlene verlassen, wofür ihr ein besonderer Dank gebührt. Ebenso hat mich meine Familie bei allen meinen Entscheidungen unterstützt und bestärkt, was mir den nötigen Rückhalt für die Realisierung meiner Pläne gegeben hat. Danke.

Abstract

The motivation of the company Druckerei Ferdinand Berger & Söhne GmbH (short: Berger) to accomplish this project was beside others, the ecological concern of the general management. The company Berger already started several projects to improve the processes ecologically. It was noticed that the consumption of fossil fuel and electrical energy was relatively high in comparison with other industrial sectors. Moreover there was a high potential of heat recovery, which had not yet been used, and a constant need of cooling duty, which had been met with a compression chiller.

Because of these facts the project Ökoprint had been started, which had to be implemented with a competent partner. It was the task for JOANNEUM RESEARCH to create an optimized concept for the exergetic use of the given energy and mass flows. The aim of this was to create a demonstration project.

The main target of the project is an ecological and economical Low-CO₂-solution, which could also be used for the whole industrial printing sector. Therefore the following targets should be reached:

- A complete and detailed exergetic analysis of the current condition to point out the biggest potential for optimization.
- A list of possibilities how to use the given energy and mass flows more efficiently to minimize the consumption of resources should be worked out. That could be reached by integration of the different energy and mass flows, which are given by the processes. The technical and ecological impact of the possibilities should be analysed and evaluated.
- An analysis of possible variants should be made in order to substitute the used fossil fuel by local renewable energies. That should cause a minimization of greenhouse gas output and a reduction of the dependencies of non-local suppliers.

Finally a decision should be made, which variant fits the needs of the company Berger best and could be realised technologically and economically. This variant should be used as a concept for the demonstration project.

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung	ii
Eidesstattliche Erklärung	iii
Danksagung	iv
Abstract	v
Inhaltsverzeichnis	vi
Abbildungsverzeichnis.....	viii
Tabellenverzeichnis	x
Abkürzungsverzeichnis.....	xi
1 Einleitung	1
2 Prozessanalyse (AP1).....	4
2.1 Energie- und Stoffströme	7
2.1.1 Strom.....	7
2.1.2 Erdgas	11
2.1.3 Heizöl.....	15
2.1.4 Farbe 1 und Farbe 2.....	15
2.1.5 Papier, Produkt und Papierabfall.....	16
2.1.6 Druckluft	16
2.1.7 Außenluft (warm).....	17
2.1.8 Abwärme, Abgas	18
2.2 Relevante Produktionsprozesse	20
2.2.1 Trockner	20
2.2.2 EcoBox	23
2.2.3 Maschinenkühlung.....	23
2.2.4 Kompressionskälteanlage.....	24
2.2.5 Öl- und Gasbrenner.....	25
2.2.6 Heizung.....	26
3 Möglichkeiten zur Reduktion des CO₂_{Äqu}-Ausstoßes (AP2)	30
3.1 Technoökologische Bewertung.....	31
3.2 Module.....	37
3.2.1 Modul: Pufferspeicher (M1)	37

3.2.2	Modul: Fernwärme-Versorgung (M2).....	39
3.2.3	Modul: Absorptions-Kältemaschine (M3).....	42
3.2.4	Modul: ORC-Anlage (M4).....	49
3.2.5	Modul: BHKW-Trockner (M5).....	55
3.2.6	Ersatz von Heizöl durch Erdgas.....	59
4	Möglichkeiten der Integration erneuerbarer Energien in den Produktionsprozess (AP3).....	60
4.1	Module.....	60
4.1.1	Modul: Alternativ-Feuerung (M6).....	60
4.1.2	Modul: Sonnenenergie (M7).....	61
4.1.3	Modul: Biogas-Einsatz (M8).....	62
4.1.4	Modul: Papier-Einsatz (M9).....	73
4.1.5	Modul: Biomasse-Einsatz (M10).....	75
5	Anpassung der Prozessparameter an die Eigenschaften von erneuerbaren Energieträgern (AP4).....	78
5.1	Berechnung der Wirtschaftlichkeit zu M3.....	80
5.2	Berechnung der Wirtschaftlichkeit zu M4.....	80
5.3	Berechnung der Wirtschaftlichkeit zu M6-M10.....	81
5.4	Berechnung der Wirtschaftlichkeit zu Ersatz von Heizöl durch Erdgas.....	82
6	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen.....	84
7	Literaturverzeichnis.....	86
7.1	Literaturquellen.....	86
7.2	Referenzen.....	91
	Anhang.....	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energie- und Stoffstrombild Druckerei Berger (Quelle: Eigene Darstellung)	6
Abbildung 2: Stromverbrauch pro Monat (Quelle: Energieallianz 2010, Eigene Darstellung)	8
Abbildung 3: Strom-Lastverlauf 2010 (Quelle: Energieallianz 2010, Eigene Darstellung)	8
Abbildung 4: Strom-Lastverlauf der Kalenderwochen 10 und 11 2010 (Quelle: Energieallianz 2010, Eigene Darstellung)	9
Abbildung 5: Mittelwert des Stromverbrauchs pro Wochentag (Quelle: Energieallianz 2010, Eigene Darstellung)	10
Abbildung 6: Erdgasverbrauch pro Monat (Quelle: EVN 2010, Eigene Darstellung)	11
Abbildung 7: Erdgasverbrauch pro Stunde von Kalenderwoche 9 bis 11 2010 (Quelle: EVN 2010, Eigene Darstellung)	12
Abbildung 8: Mittelwert des Tagesgasverbrauchs pro Wochentag (Quelle: EVN 2010, Eigene Darstellung)	13
Abbildung 9: Erdgasverbrauch 2009/2010 (Quelle: Berger 2011, Eigene Darstellung).....	14
Abbildung 11: Wärmeflussbild der Rollenoffset-Maschinen (Quelle: Eigene Darstellung).....	19
Abbildung 11: EcoCool-Trockner (Quelle: Goss 2010).....	21
Abbildung 12: Produktionsstatus des Trockners EcoCool/T 149/1460 (Quelle: Goss 2010, Eigene Darstellung).....	22
Abbildung 13: Minimal verfügbare Wärmeleistung im Wochenverlauf (Quelle: Eigene Darstellung)	27
Abbildung 14: Heizenergiebedarf pro Monat (Quelle: Eigene Darstellung)	28
Abbildung 15: Wärmebereitstellung pro Monat (Quelle: Eigene Darstellung)	28
Abbildung 16: Modularer Aufbau (Quelle: Eigene Darstellung).....	30
Abbildung 17: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung des Pufferspeichers (M1) (Quelle: Eigene Darstellung).....	39
Abbildung 18: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung der Fernwärme-Versorgung (M2) (Quelle: Eigene Darstellung).....	41
Abbildung 19: Schematische Darstellung des Kreisprozesses einer Absorptions-Kältemaschine (Quelle: von Cube, Hans Ludwig; Steimle, Fritz 1978, Eigene Darstellung)	43
Abbildung 20: Dampfdruckdiagramm einer Absorptions-Kältemaschine (Quelle: Baehr, Hans D.; Kabelac, Stephan 2006).....	44
Abbildung 21: COP-Last-Diagramm (Quelle: Benndorf 2010)	46
Abbildung 22: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung der Absorptions-Kältemaschine (M3) (Quelle: Eigene Darstellung).....	48
Abbildung 23: Einteilung der ORC-Arbeitsmittel (Quelle: Desai, Nishith B.; Bandyopadhyay, Santanu 2009).....	50
Abbildung 24: Schematische Darstellung des ORC-Prozesses (Quelle: Dai, Yiping et al. 2009) ..	51
Abbildung 25: Ts-Diagramm des ORC-Prozesses (Quelle: Dai, Yiping et al. 2009)	51
Abbildung 26: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung der ORC-Anlage (M4) (Quelle: Eigene Darstellung).....	55
Abbildung 27: BHKW-Trockner Konzept (Quelle: Eigene Darstellung)	56

Abbildung 28: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung des BHKW-Trockners (M5) (Quelle: Eigene Darstellung)	58
Abbildung 29: Schematische Darstellung des anaeroben Abbaus (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009)	63
Abbildung 30: Verfahrensablauf bei der Biogas-Erzeugung (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010)	66
Abbildung 31: Ackerflächen 2008 - Brache nach Gemeinden (Quelle: Statistik Austria 2010)	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energie- und Stoffstrombilanz (Quelle: Berger 2011, E-Control 2010, EVN 2010, Goss 2010, UBA 2009, Eigene Berechnungen)	4
Tabelle 2: Energieinhalt und CO ₂ _{Äqu} -Ausstoß ausgewählter Energie- und Stoffströme (Quelle: Berger 2011, EVN 2010, Eigene Berechnungen)	5
Tabelle 3: Auslastung der Kompressoren (Quelle: Atlas Copco 2008, Atlas Copco 2010a, Atlas Copco 2010b, Eigene Darstellung)	17
Tabelle 4: Berechnungen zur Auslegung der ORC-Anlage (Quelle: Eigene Berechnungen)	53
Tabelle 5: Durchschnittliche Biogaszusammensetzung (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009)	62
Tabelle 6: Biogaserträge ausgewählter Substrate (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010).....	65
Tabelle 7: Bedarfe an Biomethan der verschiedenen Verbraucher (Quelle: Eigene Berechnungen)	70
Tabelle 8: Kulturartenverteilung Horn 2010 (Quelle: Landwirtschaftskammer Niederösterreich 2010a, Eigene Darstellung).....	71
Tabelle 9: CO ₂ _{Äqu} -Reduktionspotential bei Biogas-Einsatz (M8) (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009, Eigene Berechnungen).....	71
Tabelle 10: Bedarfe an Papier der verschiedenen Verbraucher (Quelle: Eigene Berechnungen)...	73
Tabelle 11: CO ₂ _{Äqu} -Reduktionspotential bei Papier-Einsatz (M10) (Quelle: Intenseroth 2011, Eigene Be-rechnungen).....	74
Tabelle 12: Bedarfe an Biomasse der verschiedenen Verbraucher (Quelle: Eigene Berechnungen)	75
Tabelle 13: Holzeinschlag in Niederösterreich (Quelle: Landwirtschaftskammer Niederösterreich 2010b)	76
Tabelle 14: CO ₂ _{Äqu} -Reduktionspotential bei Biomasse-Einsatz (M10) (Quelle: Schnedl, Christian et al. 2008, Eigene Berechnungen)	77
Tabelle 15: Auswahl der Module zur weiteren Behandlung in AP4 (Quelle: Eigene Darstellung)	79

Abkürzungsverzeichnis

(H)	heiß
(K)	kalt
AP#	Arbeitspaket #
AKM	Absorptionskältemaschine
BHKW	Blockheizkraftwerk
C	CO ₂ ^{Äqu} -Reduktionspotential
CH ₄	Methan
COP	Coefficient of Performance
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ ^{Äqu}	Treibhausgase in Kohlenstoffdioxid-Äquivalent gerechnet
d/a	Tage pro Jahr
Efm	Erntefestmeter
Fm	Festmeter
FM	Frischmasse
g _{CO₂Äqu}	Gramm Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure
Ha	Hektar (auch ha)
Heizkreis 1	Heizkreis für die Bindereihallen
Heizkreis 2	Heizkreis für die restlichen Hallen und Büros
I	Integrierbarkeit
J	Ja
K	Kelvin
Kd/a	Kelvintage pro Jahr (Einheit für Heizgradtage)
KKA	Kompressionskälteanlage
km	Kilometer
kW	Kilowatt (Brennstoffleistung)
kW _c	Kilowatt (Kühlleistung)
kW _{el}	Kilowatt (elektrische Leistung)
kW _{th}	Kilowatt (thermische Leistung)
KW	Kalenderwoche
kWh	Kilowattstunden (chemisch gespeicherte Energie)
kWh _c	Kilowattstunden (Kühlenergie)
kWh _{el}	Kilowattstunden (elektrische Energie)
kWh _{nutz}	Kilowattstunden (Nutzenergie, entspricht kWh _c , kWh _{el} und kWh _{th})
kWh _{th}	Kilowattstunden (thermische Energie)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
M	Marktverfügbarkeit
M#	Modul #
m _n ³ bzw. Nm ³	Kubikmeter bei Normbedingungen
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
N	Nein
n.V.	nicht vorhanden
ORC	Organic Rankine Cycle
oTS	organische Trockensubstanz
p.a.	per anno (pro Jahr)

Q	Quelle
R	Regelbarkeit
Rm	Raummeter
S	Senke oder Sicherheit
S#	Sektor #
SO ₂	Schwefeldioxid
Srm	Schüttraummeter
Stk.	Stück
t	Tonne
T	Temperatur / betrachtete Temperatur
Ta	Außentemperatur außerhalb des Systems
Tu	Umgebungstemperatur im System
V	Verfügbarkeit
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
etc.	et cetera
exkl.	exklusive
inkl.	inklusive
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Die Druckereiindustrie ist sehr energieintensiv. Derzeit werden für die Produktion vor allem elektrischer Strom und Erdgas eingesetzt. Das hat einen erheblichen Ausstoß von klimarelevanten Gasen (CO_2) zur Folge. Im Fall der Druckerei Berger beläuft sich der fossile Treibhausgasausstoß auf derzeit zirka 3.600 Tonnen CO_2 -Äquivalente ($\text{CO}_{2\text{Äqu}}$) pro Jahr.

Das Projekt hat sich durch die Entwicklung eines methodischen Ansatzes zum Ziel gesetzt, den Ausstoß von klimarelevantem CO_2 in der Druckerei Berger zu minimieren. Die geplanten Projektziele sind:

- Detaillierte Zusammenstellung aller relevanten Prozesse in der Druckerei Berger
- Auflistung und technoökologische Bewertung der Möglichkeiten zur Reduktion des $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ -Ausstoßes und der Erhöhung der Energieeffizienz
- Ausarbeitung von Varianten zur Integration erneuerbarer Energien in den Druckereiprozess
- Auswahl von geeigneten Technologien auf Basis der technoökologischen Bewertung und erneuerbarer Energieträger und Anpassung der Prozessparameter an die Eigenschaften der gewählten Variante
 - Technische und wirtschaftliche Bewertung
 - Auslegung nach Normen und Standards
- Vorplanung für die Umsetzung in einem späteren Demonstrationsprojekt

Die angestrebten Ergebnisse und Erkenntnisse sollen in einem späteren Demonstrationsprojekt realisiert werden. Dadurch entsteht ein Beispiel für eine Low- CO_2 Branchenlösung für die gesamte österreichische Druckereiindustrie. Aus jetziger Sicht könnten so die treibhausrelevanten Emissionen der Druckerei Berger erheblich reduziert werden.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde ein methodischer Ansatz für die systematische Analyse der Druckereiprozesse entwickelt. Erst wurden die Energie- und Stoffströme bilanziert, die zwischen System und Umwelt auftraten. Danach wurden die einzelnen Ströme näher betrachtet und nach ihrem zeitlichen und mengenmäßigen Verlauf charakterisiert. Anschließend wurden die Systemelemente in der Druckerei näher untersucht und die relevanten Prozesse für die anschließende energetische Betrachtung erhoben.

Darauf aufbauend wurden zehn Module erarbeitet, die eine Erhöhung der Energieeffizienz und/oder eine Reduktion des $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ -Ausstoßes ermöglichen. Diese wurden erst allgemein be-

schrieben und anschließend an die gegebenen Rahmenbedingungen angepasst und technoökologisch evaluiert. Die Kriterien der technoökologischen Bewertung sind qualitativ und wurden durch Auswahl und Gewichtung quantifiziert, sodass ein Netzdiagramm für die sechs Unterpunkte entstand.

Aufgrund der Ergebnisse der technoökologischen Bewertung wurden die Module ökonomisch bewertet. Bei einer Wirtschaftlichkeit eines Moduls wurde dieses zur weiteren Betrachtung ausgewählt und gemeinsam mit den anderen positiv bewerteten Technologien als Variante zur Umsetzung für den Druckereibetrieb vorgeschlagen. Dieser Vorschlag wurde nach den betriebsinternen Gegebenheiten ausgelegt, sodass ein Demonstrationsprojekt darauf aufgebaut werden kann.

Das Ergebnis dieser Betrachtung ist, dass lediglich die Installation einer Absorptionskältemaschine für die Grundlastabdeckung der Kühlzentrale für die Rollenoffset-Maschinen, sowohl technoökologisch, als auch wirtschaftlich vertretbar ist. Die Einsparung an $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ -Ausstoß beträgt für eine Absorptionskältemaschine ca. 2,4% der Gesamtemissionen und verringert den Stromverbrauch um ca. 4,4%, bei gleichzeitiger Ausnutzung der überschüssigen Prozesswärme. Es besteht die Möglichkeit zwei weitere Absorptionskältemaschinen zu installieren, die jedoch einen zusätzlichen Bedarf an Abwärme verursachen, der nicht ganz durch die Prozesswärme gedeckt werden kann und somit zusätzlich bereitgestellt werden muss.

Eine weitere Reduktion des $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ -Ausstoßes kann ohne zusätzliche Investitionskosten erreicht werden, indem die beiden getrennten Heizkreise durch Öffnen der Ventile miteinander verbunden und ausschließlich mit den Erdgasbrennern betrieben werden. Die Einsparung beträgt ca. 0,7% der Gesamtemissionen.

Die übrigen Module sind unter den derzeit gegebenen Rahmenbedingungen entweder technisch und/oder wirtschaftlich nicht umsetzbar. Diese Situation kann sich jedoch bei einer Änderung der Rahmenbedingungen wandeln.

Die Schlussfolgerung aus diesem Projekt lautet daher, dass die aufgezeigten Einsparungen durch die Umsetzung der bereits erwähnten Maßnahmen realisiert werden sollten und in regelmäßigen Abständen eine Aktualisierung der Rahmenbedingungen durchgeführt werden soll, um etwaige Änderungen in der technologischen Umsetzbarkeit und der Wirtschaftlichkeit sofort zu erkennen.

Die Ergebnisse dieses Projekts können nicht direkt auf andere Betriebe übertragen werden, doch der modulare Aufbau und der gewählte methodische Ansatz sind sowohl für andere Betriebe der Druckereindustrie, als auch für Betriebe anderer Industriezweige umsetzbar. Somit besteht

die Möglichkeit, dieses Projekt als Referenz für weitere, ähnlich geartete Projekte zu verwenden und dadurch den zeitlichen Aufwand bei der Umsetzung einer Durchführbarkeitsstudie erheblich zu reduzieren.

2 Prozessanalyse (AP1)

Das Ziel dieses Arbeitspaketes war die detaillierte Zusammenstellung aller relevanten Prozesse in der Druckerei Berger. Dazu wurde eine exergetische Analyse der Produktionsprozesse auf Basis der am Druckereibetrieb erhobenen Daten durchgeführt.

Das Ergebnis der Vor-Ort-Erhebung war eine tabellarische Zusammenstellung aller relevanten Prozesse. Diese wurden anschließend nach ihrem Temperaturniveau eingeteilt und der Kategorie Wärmequelle oder Wärmesenke zugewiesen. Der Leistungsverlauf wurde in der Detailbeschreibung der Prozesselemente aufgezeigt. Die eingesetzten Methoden waren die Erhebung vor Ort und die detaillierte Analyse der gesammelten Daten der Druckerei Berger.

Zu Beginn wurden alle eingesetzten, energetisch relevanten Energie- und Stoffströme erhoben, die in das System Druckerei eingehen und aus dem System wieder herauskommen. An der Systemgrenze ergab sich das in Tabelle 1 ersichtliche Bild.

Energie-/Stoffstrom	Flussrichtung	Energie-/ Stoffstrom p.a.	spezifischer Energieinhalt	Energieinhalt [kWh p.a.]	spezifischer CO ₂ - Äquivalent Ausstoß	CO ₂ -Äquivalent [t p.a.]
Strom	Input	8.800.130 kWh _{el}	1,000 kWh / kWh _{el}	8.800.130	223,000 g _{CO2Äqu} /kWh	1.962
Erdgas	Input	594.207 m _n ³	10,000 kWh / m _n ³	5.942.070	199,354 g _{CO2Äqu} /kWh	1.185
Farbe 1	Input	440.000 kg	4,278 kWh / kg	1.882.188	653,411 g _{CO2Äqu} /kg	288
davon Lösungsmittel	Input	154.000 kg	12,222 kWh / kg			
Farbe 2	Input	21.000 kg	- kWh / kg	-	- g _{CO2Äqu} /kWh	-
Heizöl EL	Input	40.161 l	9,812 kWh / l	394.060	265,662 g _{CO2Äqu} /kWh	105
Papier	Input	33.450.000 kg	4,297 kWh / kg	143.734.650	- g _{CO2Äqu} /kWh	-
Produkt	Output	26.229.100 kg	4,254 kWh / kg	111.570.211	- g _{CO2Äqu} /kWh	-
davon Papier	Output	25.899.000 kg	4,297 kWh / kg			
davon Farbe 1	Output	309.100 kg	0,913 kWh / kg			
davon Lösungsmittel	Output	23.100 kg	12,222 kWh / kg			
davon Farbe 2	Output	21.000 kg	- kWh / kg			
Lösungsmittel (verbrannt)	Output	130.900 kg	- kWh / kg	-		
Papierabfall	Output	7.551.000 kg	4,297 kWh / kg	32.446.647	- g _{CO2Äqu} /kWh	-
Abwärme	Output	16.736.239 kWh _{th}	1,000 kWh / kWh _{th}	16.736.239	- g _{CO2Äqu} /kWh	-
Summe Energie-Input				160.753.098	Summe CO₂Äqu-Output	3.539
Summe Energie-Output				160.753.098		

Tabelle 1: Energie- und Stoffstrombilanz (Quelle: Berger 2011, E-Control 2010, EVN 2010, Goss 2010, UBA 2009, Eigene Berechnungen)

Durch den hohen Massendurchsatz von Papier sind das Papier, das Produkt und der Papierabfall die Anteile mit den größten Energieinhalten. Diese werden jedoch nicht energetisch genutzt oder umgewandelt. Somit beträgt der spezifische CO₂Äqu-Ausstoß 0 g_{CO2Äqu}/kWh. Würde der Papierabfall nicht stofflich verwertet werden, sondern müssten die Papierfasern aus Holz hergestellt wer-

den, wäre der spezifische CO_2 -Ausstoß $21,875 \text{ g}_{\text{CO}_2}/\text{kWh}$. Das heißt, bei einer energetischen Nutzung des Papierabfalls müsste dieser Wert zur Bilanz hinzugezählt werden.

Der Energieinhalt der Farbe 1 resultiert aus dem Lösungsmittelanteil, der mit einem Heizwert von $12,222 \text{ kWh/kg}$ (44 MJ/kg) ebenfalls nicht zu vernachlässigen ist. Die Abwärme ist die errechnete Differenz aus dem Energie-Input und dem übrigen Energie-Output (Quelle: Berger 2011, E-Control 2010, EVN 2010, Goss 2010, UBA 2009).

Bei der Reduktion des Energieeinsatzes und des CO_2 -Ausstoßes werden die Farben und das Papier nicht berücksichtigt, da der Verbrauch von der Produktion fix vorgegeben ist. Der Energieinhalt und der Ausstoß an CO_2 von ausgewählten Energie- und Stoffströmen sind in Tabelle 2 ersichtlich. Somit sind Strom und Erdgas die Ströme mit dem größten Energieinhalt und sind ebenfalls die größten Emittenten von CO_2 . Die Unterteilung in Erdgas Prozess und Erdgas Heizung wird weiter unten näher erklärt.

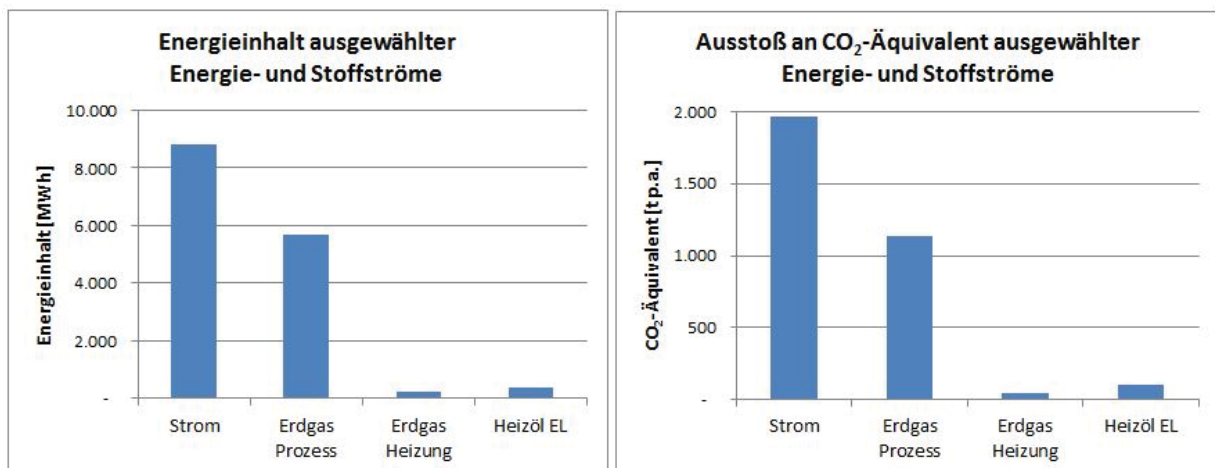


Tabelle 2: Energieinhalt und CO_2 -Ausstoß ausgewählter Energie- und Stoffströme (Quelle: Berger 2011, EVN 2010, Eigene Berechnungen)

Aus dem Energie- und Stoffstrombild (Abbildung 1) erkennt man die qualitative Aufteilung der Ströme auf die verschiedenen Verbraucher. Um die Übersicht zu bewahren, wurden die Verbraucher in sinnvolle Prozesseinheiten zusammengefasst und wurden weiter unten näher beschrieben.

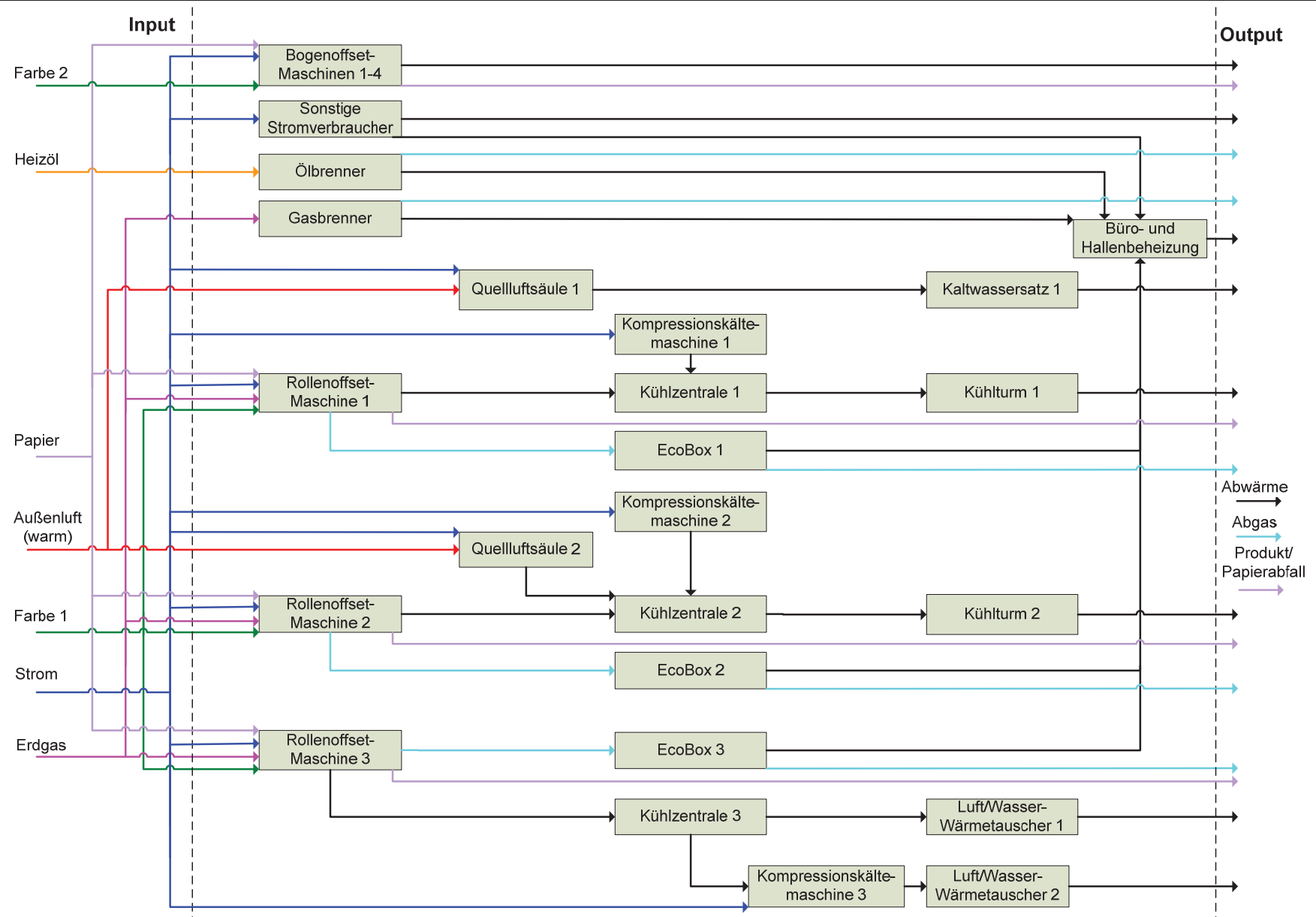


Abbildung 1: Energie- und Stoffstrombild Druckerei Berger (Quelle: Eigene Darstellung)

Das Energie- und Stoffstrombild in Abbildung 1 zeigt die Inputströme auf der linken Seite und die Outputströme auf der rechten Seite. Bereits an diesem Bild ist zu erkennen, dass die Rollenoffset-Maschinen mit den anschließenden Anlagen eine zentrale Rolle in der Energieumwandlung einnehmen. Bevor näher auf die Prozesseinheiten eingegangen wird, werden im Anschluss die einzelnen Energie- und Stoffströme näher beschrieben und auf Basis dieser Betrachtung die relevanten Prozesse ermittelt, die einer genaueren exergetischen Untersuchung bedürfen.

2.1 Energie- und Stoffströme

2.1.1 Strom

Der gesamte Stromverbrauch für das Jahr 2009 betrug 8.867.552 kWh_e und der hochgerechnete Stromverbrauch für das Jahr 2010 beträgt ca. 8,8 Mio. kWh_e. Der zeitliche Verlauf des Stromverbrauchs für das Jahr 2009 und 2010 (Datenbasis: 1.1.2009 bis 30.11.2010) wird in Abbildung 2 gezeigt. Der mittlere Stromverbrauch pro Monat beträgt 736.700 kWh_e, wobei die Standardabweichung bei 9,2% liegt. Die Verbrauchsspitzen lagen produktionsbedingt in den Übergangszeiten. Bei genauerer Betrachtung der Leistungsbereitstellung in Abbildung 3 fällt auf, dass die bereitgestellte Leistung in nahezu gleich bleibenden Zyklen schwankt. Dabei sind die Unterschiede eher in der Länge, als in der Höhe dieser Zyklen zu erkennen. Wird die Zeitachse auf zwei Kalenderwochen verringert, werden die Zyklen genauer ersichtlicher (Abbildung 4).

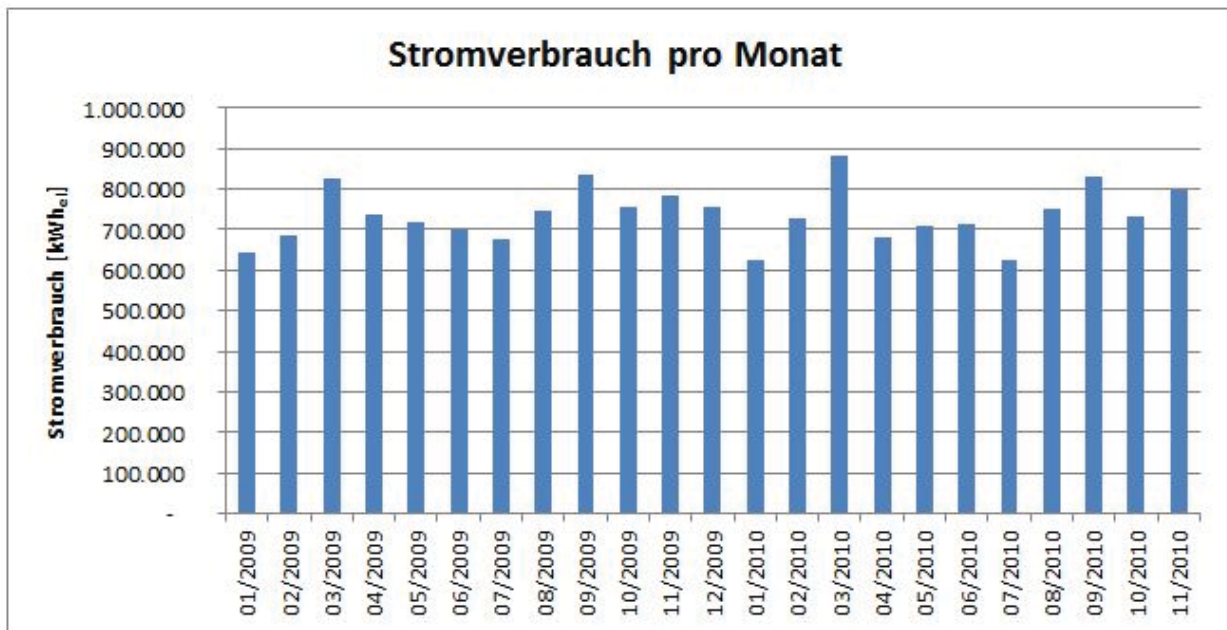


Abbildung 2: Stromverbrauch pro Monat (Quelle: Energieallianz 2010, Eigene Darstellung)

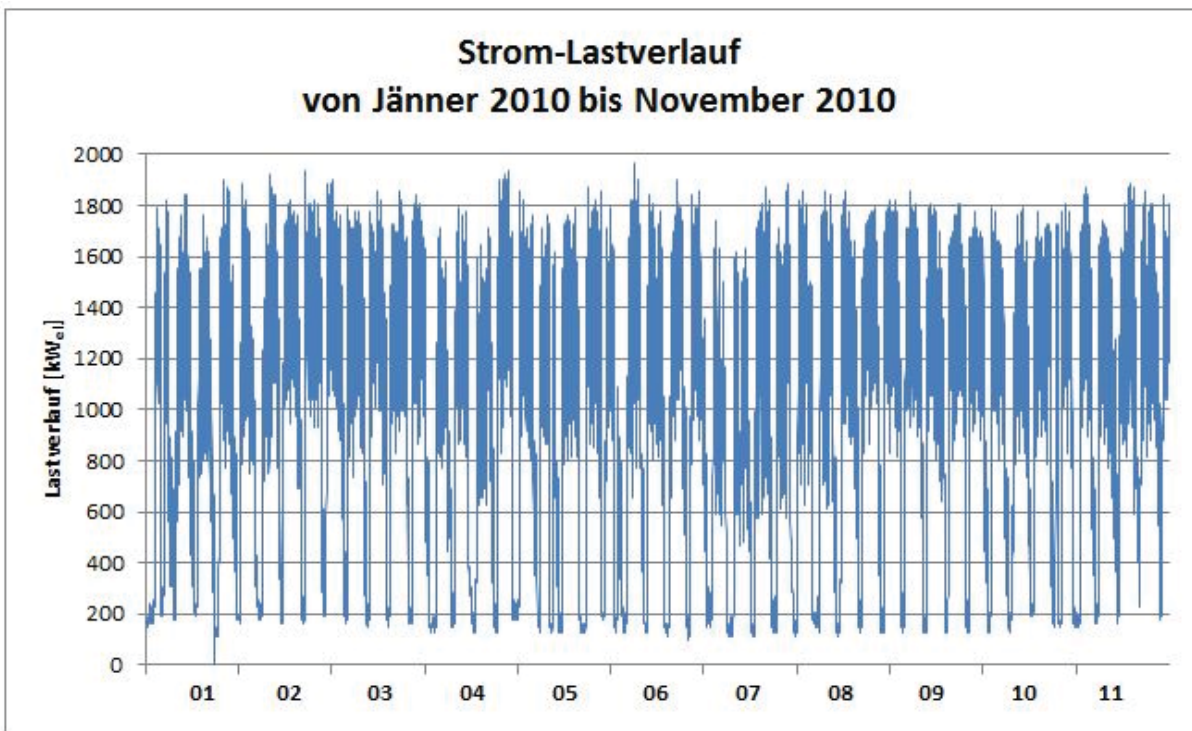


Abbildung 3: Strom-Lastverlauf 2010 (Quelle: Energieallianz 2010, Eigene Darstellung)

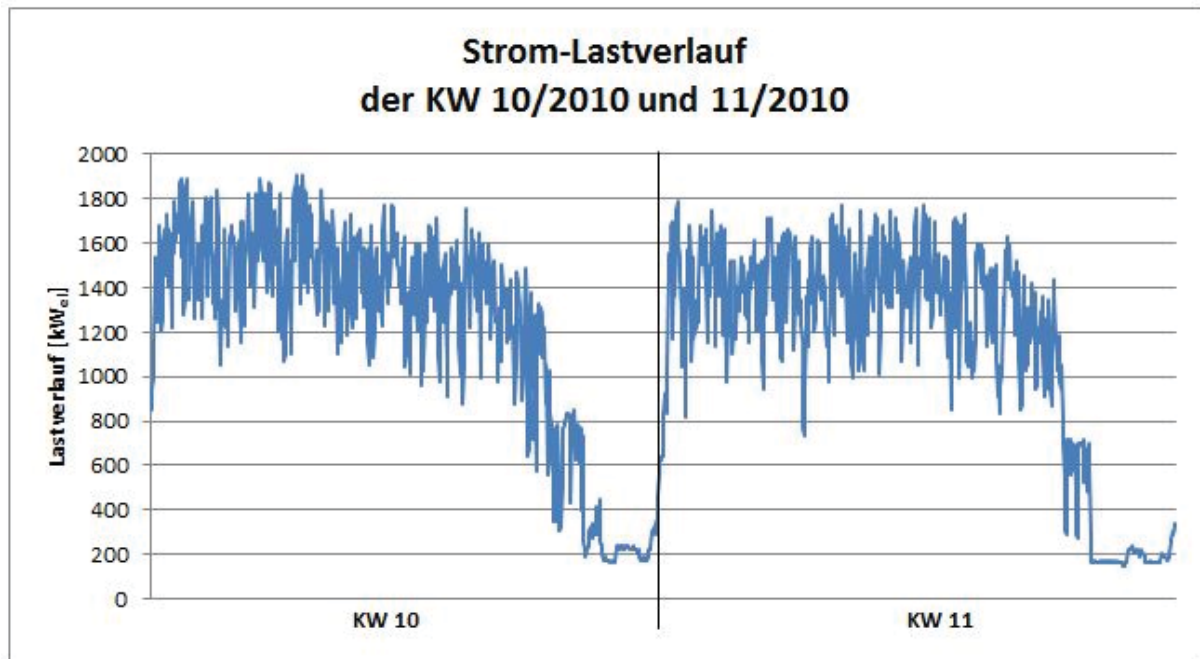


Abbildung 4: Strom-Lastverlauf der Kalenderwochen 10 und 11 2010 (Quelle: Energieallianz 2010, Eigene Darstellung)

Aus Abbildung 4 ist ersichtlich, dass der Verbrauch im Beobachtungszeitraum von einer Woche stark schwankt. Das liegt daran, dass der Stromverbrauch von den dynamischen Anforderungen der Druckereimaschinen abhängig ist. Dementsprechend stark sank der Verbrauch an produktionsfreien Zeiten auf eine Grundlast von etwa 200 kW_{el}.

Der Mittelwert des Leistungsbedarfs betrug 1.007 kW_{el} über den Jahreszeitraum gerechnet. Das Maximum lag bei 2.010 kW_{el}, wobei die Standardabweichung ca. 50% betrug. Der Anstieg des Stromverbrauchs kurz vor Montag 0h erfolgte sehr rasch und ergab sich daraus, dass bereits vor Schichtbeginn die Maschinen hochgefahren wurden.

Diese hohe Fluktuation kann nur schwer beeinflusst werden, da die Druckereimaschinen mit den dazugehörigen Produktionsprogrammen die größten Verbraucher darstellen. Eine Möglichkeit, den Leistungsbedarf etwas zu glätten, besteht in der Koordination der Produktionszyklen der einzelnen Druckereimaschinen und eine Pufferung der Maschinenkühlung, um extreme Spitzen zu vermeiden bzw. auszugleichen.

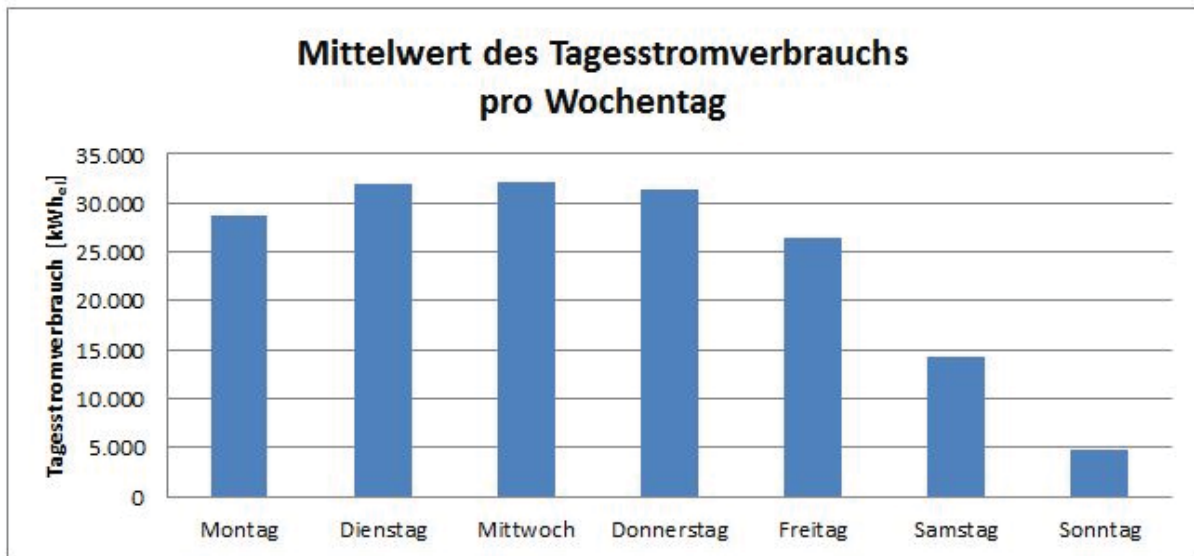


Abbildung 5: Mittelwert des Stromverbrauchs pro Wochentag (Quelle: Energieallianz 2010, Eigene Darstellung)

Eine Analyse des mittleren Tagesstromverbrauchs je Wochentag ergab, dass der Energieverbrauch zur Wochenmitte am höchsten ist und gegen Wochenende hin stark abfällt (Abbildung 5), wobei am Sonntag ein Mindestverbrauch von 4.709 kWh_{ei} gegeben ist. Die Schwankungen von Woche zu Woche sind mit einer Standardabweichung von ca. 12% vergleichsweise gering.

Die großen Stromverbraucher sind die Bogen- und Rollenoffset-Maschinen sowie die Kompressionskälteanlagen. Die weiteren Verbraucher sind die Quellluftsäulen und die als sonstige Stromverbraucher zusammengefassten Anlagen. Sie wurden in der tabellarischen Auflistung (Prozestabellen im Anhang) mit ihrer installierten elektrischen Leistung angegeben, da Verbrauchsdaten fehlen.

Um die Lastschwankungen zu verringern, müssen die Bogen- und Rollenoffset-Maschinen koordiniert hoch- und runtergefahren bzw. an den aktuellen Stromverbrauch angepasst werden. Dieser Lösungsweg ist jedoch nicht praxistauglich, da eine zusätzliche Einschränkung der Betriebsweise die Output-Leistung der Maschinen und die Produktivität der Maschinen und Mitarbeiter beeinflussen würde. Laut Betriebselektriker wäre die einzige Möglichkeit der Steuerung der elektrischen Verbraucher der koordinierte Betrieb der Druckluftkompressoren (Quelle: Berger 2011). Da die Auslastung der Kompressoren laut Analyse der Herstellerfirma bereits im oberen Bereich liegt, sind die Möglichkeiten zur Lastvariation beschränkt.

Um eine genauere Analyse durchführen zu können, müssten die Stromverbräuche der einzelnen Prozesse aufgezeichnet und anschließend ausgewertet werden. Dies wäre durch ein weiterführendes Projekt abzudecken. Aus der oben angeführten Prozessanalyse wurde das Ziel abgeleitet, den

Stromverbrauch durch Einzelmaßnahmen zu verringern bzw. den Zukauf von Strom durch eine betriebsinterne Stromgewinnung zu senken.

2.1.2 Erdgas

Der hochgerechnete Jahreserdgasverbrauch für 2010 beträgt 594.207 m_n^3 (Quelle: EVN 2010). Die Verrechnung beim Gaslieferanten erfolgt über den Brennwert von $11,19 \text{ kWh/m}_n^3$. Für die Prozessanalyse ist es jedoch sinnvoller, den Heizwert als Berechnungsgrundlage zu verwenden, welcher in Österreich 10 kWh/m_n^3 beträgt (Quelle: UBA 2009).

Der Erdgasverbrauch hat, wie der Stromverbrauch, seine Spitzen in der Übergangszeit (Abbildung 6). Der mittlere Monatsverbrauch von Erdgas beträgt 49.431 m_n^3 mit einer Standardabweichung von 14%.

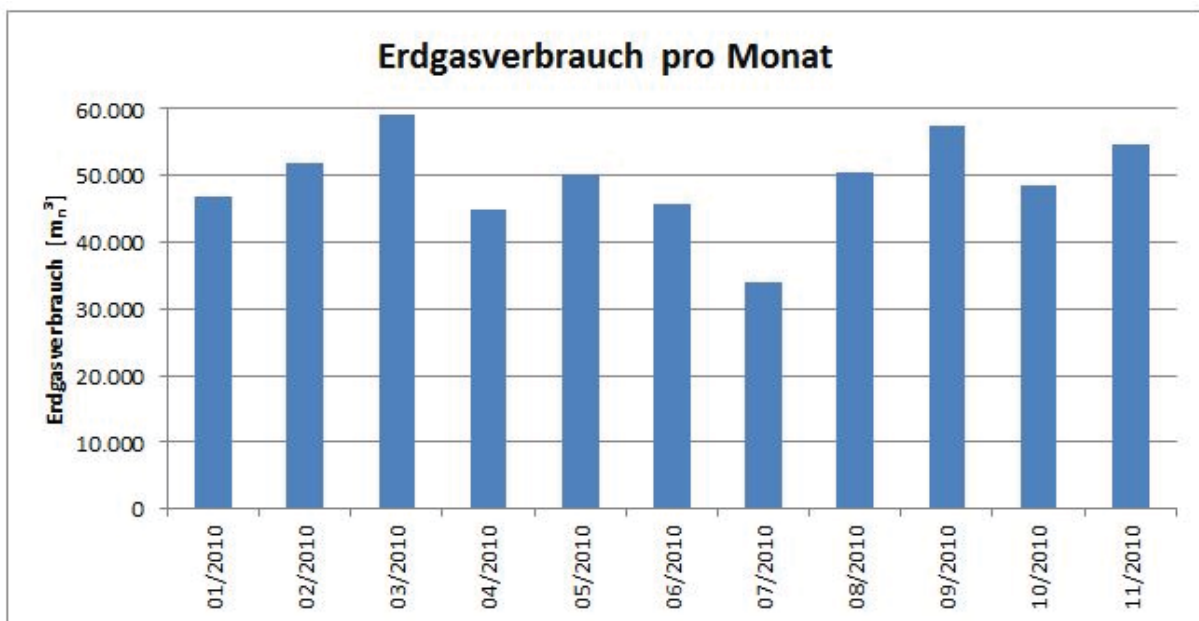


Abbildung 6: Erdgasverbrauch pro Monat (Quelle: EVN 2010, Eigene Darstellung)

Auch der Erdgasverbrauch schwankt im Wochen-Zyklus mit der Produktionszeit. Es wurden drei repräsentative Kalenderwochen abgebildet (Abbildung 7), um den Verlauf zu charakterisieren. Der stündliche Erdgasverbrauch schwankt während der Produktionszeit (Montag 0h bis Samstag 12h) leicht um die 100 m_n^3 . Ab Samstag 12h bis 22h wird nur mehr die Rollenoffset-Maschine Lithoman betrieben. Laut Angaben der Druckerei Berger kann es vorkommen, dass auch außerhalb der normalen Produktionszeiten weiterproduziert wird.

Der Grundverbrauch von rund $20 \text{ m}_n^3/\text{h}$ in der produktionsfreien Zeit resultiert aus dem Verbrauch des Gasbrenners für die Beheizung der Büros und Hallen. In der Kalenderwoche 11 war der Wärmebedarf so gering, dass die Gasbrenner nicht in Betrieb genommen werden mussten.

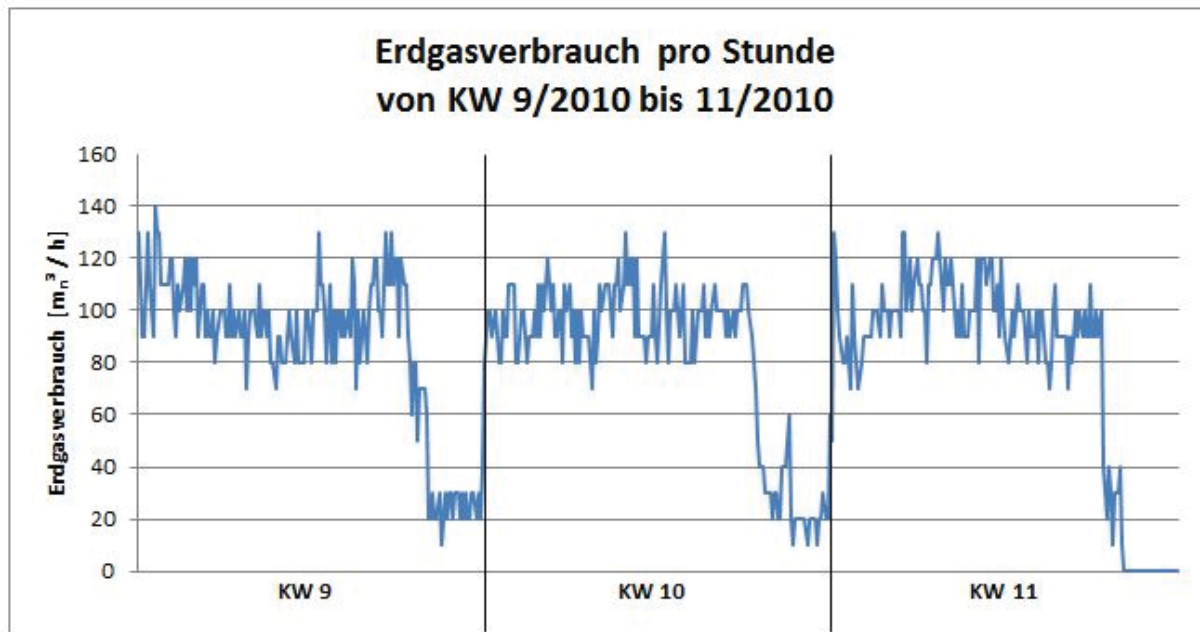


Abbildung 7: Erdgasverbrauch pro Stunde von Kalenderwoche 9 bis 11 2010 (Quelle: EVN 2010, Eigene Darstellung)

Eine Analyse des mittleren Tageserdgasverbrauchs pro Wochentag hat ergeben, dass der Energieverbrauch von Montag bis Donnerstag weitgehend konstant ist und gegen Wochenende hin stark abfällt (Abbildung 8). Der Erdgasverbrauch am Sonntag resultiert rein aus der Bereitstellung von Erdgas zu Heizzwecken. Die Schwankungen von Woche zu Woche haben eine Standardabweichung von ca. 17%. Die verschiedenen Verbräuche der einzelnen Wochen können auf den Heizbetrieb zurückgeführt werden.

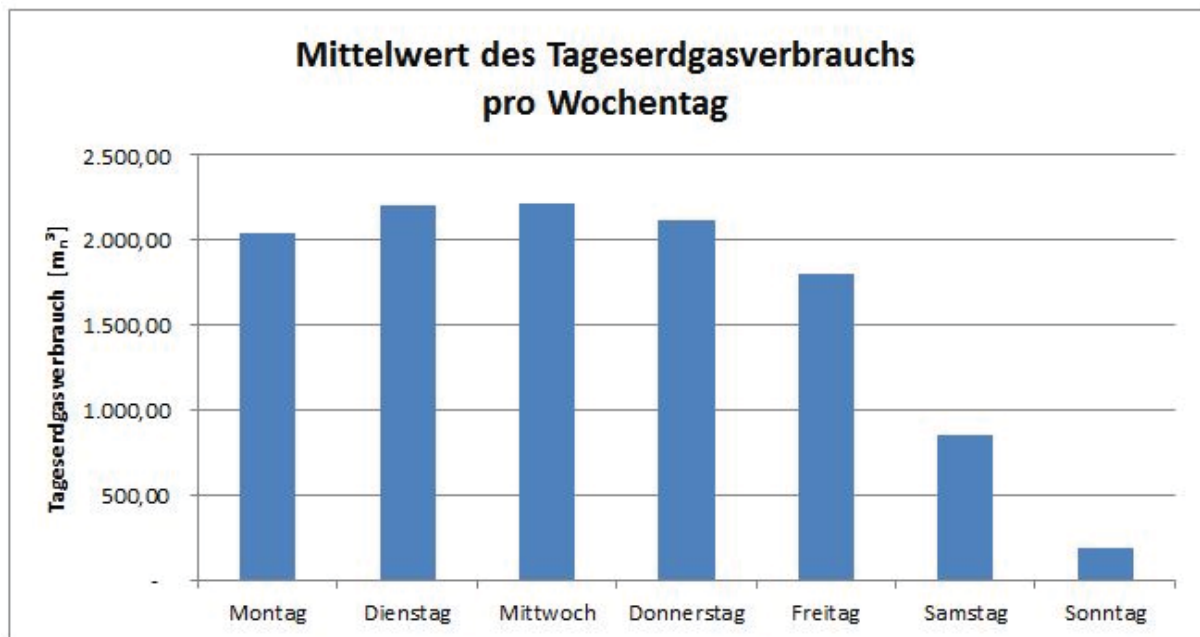


Abbildung 8: Mittelwert des Tagesgasverbrauchs pro Wochentag (Quelle: EVN 2010, Eigene Darstellung)

Die Erdgasverbraucher können eindeutig identifiziert werden und werden durch die drei Rollenoffset-Maschinen (Lithoman, Goss M600D, M600I) und die Gasbrenner für die Beheizung der Bindereihallen dargestellt. Der Erdgasverbrauch der drei Rollenoffset-Maschinen resultiert aus der Trocknung der Farbe auf dem Papier in einem speziell für diese Anwendung konzipierten Trockner.

Durch die eingebauten Zähler und die regelmäßigen Ablesungen können die Verbräuche genau zugeordnet werden. Aus der Abbildung 9 kann man die Jahresverbräuche (Datenbasis: 18.11.2009 – 16.11.2010) ablesen (Quelle: Berger 2011).

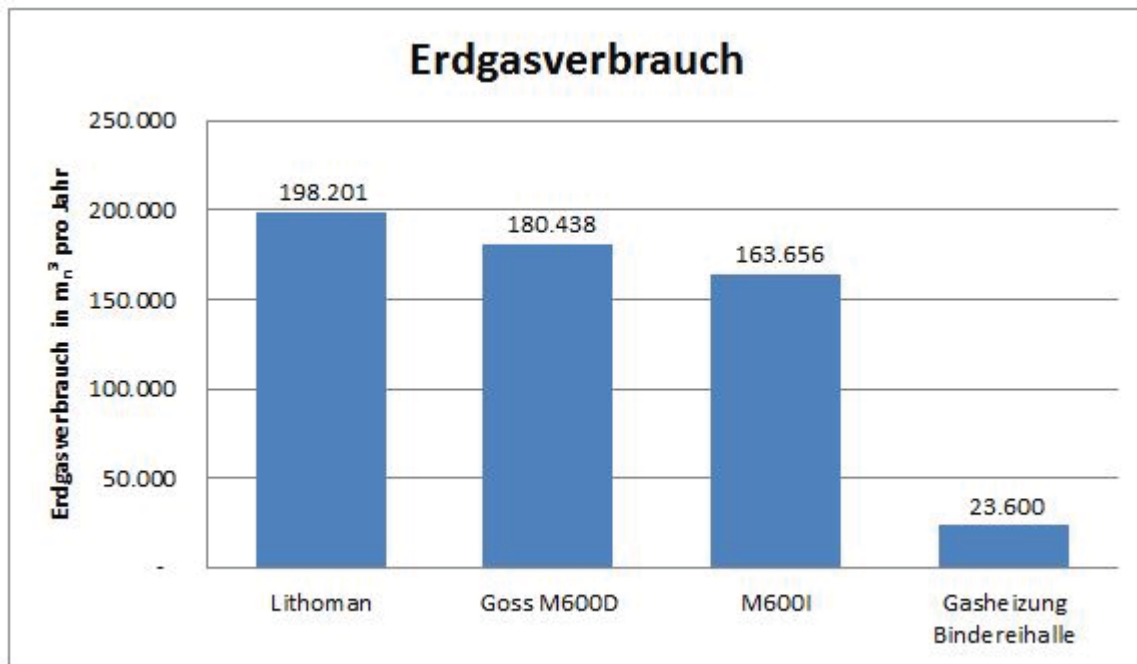


Abbildung 9: Erdgasverbrauch 2009/2010 (Quelle: Berger 2011, Eigene Darstellung)

Der Erdgasverbrauch, der aus der Beheizung der Bindereihalle resultiert, ist je nach Wetterlage stark schwankend und betrug im Jahr 2010 4,2% des Gesamterdgasverbrauchs. Die Gasheizung wird ausschließlich im Winter bzw. in der Übergangszeit an den produktionsfreien Tagen und zur zusätzlichen Beheizung an besonders kalten Tagen betrieben. Aus den betriebsinternen Aufzeichnungen geht hervor, dass der maximale Erdgasverbrauch pro Woche für die Heizsaison 2009/2010 im Jänner und Februar lag und rund 2.350 m³ betrug. Die Heizsaison begann laut Aufzeichnung in den letzten beiden Jahren jeweils Mitte November und endete Mitte April, wobei der Erdgasverbrauch erst Ende Dezember stark anstieg und mit Ende Februar wieder abnahm.

Der Erdgasverbrauch der Rollenoffset-Maschinen ist bereits durch die bestehenden Anlagen minimiert, jedoch wird ein Konzept zur effizienteren Nutzung des Erdgases mittels Kraft-Wärme-Kopplung in AP2 vorgestellt. Die Gasbrenner können problemlos durch andere Alternativen ersetzt werden, weshalb sowohl die Gasbrenner als auch die Rollenoffset-Maschinen bei der genaueren exergetischen Betrachtung mit einbezogen werden.

2.1.3 Heizöl

Das Heizöl wird ausschließlich zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme für die Raumbeheizung eingesetzt. Der Heizölverbrauch hängt dabei vom Wärmebedarf der Raumbeheizung an den produktionsfreien Zeiten ab. Dieser schwankt je nach Außentemperatur und Intensität des Winters. Aufgrund fehlender Verbrauchsdaten für das Heizöl wird dieselbe Verbrauchscharakteristik wie bei den Gasbrennern angenommen. Unter dieser Annahme kann ein Maximum des Verbrauchs im Jänner und Februar festgestellt werden. Der Wochenverbrauch liegt bei 4.000 l Heizöl bei einem Gesamtheizölverbrauch von 40.161 l pro Jahr.

Die Ölbrenner können jedoch ebenso problemlos durch eine andere Alternative ersetzt werden, wie die Gasbrenner. Somit kann auch dieser Energie- und Stoffstrom in die genauere exergetische Betrachtung aufgenommen werden.

2.1.4 Farbe 1 und Farbe 2

Pro Jahr werden in der Produktion 440.000 kg der Farbe 1 und 21.000 kg der Farbe 2 eingesetzt (Quelle: Berger 2011). Der als Farbe 1 bezeichnete Energie- und Stoffstrom steht für die diversen Farben, die in der Rollenoffset-Maschine verwendet werden. Ebenso steht der als Farbe 2 bezeichnete Energie- und Stoffstrom für die diversen Farben, die in der Bogenoffset-Maschine verwendet werden.

Das Auftragen der Farbe auf das Papier erfolgt in allen Offset-Maschinen durch ein Rollensystem. Der Unterschied der beiden Systeme ist, dass in der Bogenoffset-Maschine die Papierzuführung diskontinuierlich in Bögen stattfindet und die Rollenoffset-Maschine durch eine Endlosrolle mit Papier versorgt wird. Die Farben bei den zwei Systemen sind unterschiedlich. Bei den Bogenoffset-Maschinen erfolgt die Trocknung bei ca. 70°C, wobei das enthaltene Lösungsmittel nicht entgast. Damit kein Lösungsmitteldampf in die Arbeitsumgebung entweicht, ist ein Abzug installiert.

In den Rollenoffset-Maschinen wird eine Farbe eingesetzt, die einen Lösungsmittelanteil von ca. 35% besitzt. Als Lösungsmittel werden diverse komplexe Kombinationen von Kohlenwasserstoffen mit 9 bis 25 Kohlenstoff-Atomen je Molekül verwendet (Quelle: Berger 2011), die Produkte aus der Raffination von Erdöl sind. Das Lösungsmittel verdampft zu ca. 85% im Trockner und bildet flüchtige organische Kohlenwasserstoff-Verbindungen, die wegen ihrer Giftigkeit nachverbrannt werden müssen. Die höchstzulässige Lösungsmitteldampfkonzentration darf wegen der erhöhten Explosionsgefahr einen Wert von 10 g/m_n^3 nicht übersteigen, was 25% der unteren

Explosionsgrenze (40 g/m_n^3) entspricht (Quelle: Goss 2010). Pro Jahr verdampfen somit 130.900 kg Lösungsmittel beim Trocknungsprozess in den Rollenoffset-Maschinen. Bei einem Heizwert von ca. 44 MJ/kg (Quelle: Goss 2010) ergibt das einen Energiebeitrag von 1.882.188 kWh pro Jahr.

Da das Lösungsmittel einen vergleichsweise hohen Heizwert besitzt, müssen nur geringe Mengen an Erdgas zugeführt werden, damit die Verbrennung mit ausreichend hoher Temperatur (770°C) stattfindet. Das dadurch entstehende Abgas wird dann in den Trockenprozess eingeleitet. Eine nähere Beschreibung des Trockenprozesses folgt weiter unten. Es ist nicht Teil der Analyse den Anteil an Lösungsmittel zu verändern, weshalb die Menge an Lösungsmittel als vom Prozess vorgegeben betrachtet wird. Trotzdem spielt es eine nicht unwesentliche Rolle bei der Energiebilanz und bei den Kriterien für die weiteren Optimierungsvorschläge, die in AP2 beschrieben werden.

2.1.5 Papier, Produkt und Papierabfall

Das eingesetzte Papier wird als Bogen oder als Rolle angeliefert und als solches in den Produktionsprozess eingefügt. Das Papier wird bedruckt, getrocknet, gefalzt und geschnitten. Teilweise muss das Zwischenprodukt noch gebunden werden bevor es als Endprodukt das System verlässt. Sowohl das Papier, als auch das Produkt bilden keinen energetischen Beitrag. Es entsteht jedoch Papierabfall in Form von Papierschnipsel und Papierstaub, die als Abfallprodukt mit einem Heizwert von ca. 4,297 kWh/kg (Quelle: UBA 2009) anfallen und genutzt werden können. Derzeit werden sowohl die Papierschnipsel, als auch der Papierstaub vom Papierlieferant wieder zurückgenommen und stofflich wiederverwertet. Die Abfallprodukte werden vom Ort des Anfalls mittels Ventilatoren abgesaugt und in einen Container bzw. in Abfalltonnen befördert. Da der Papierstaub hoch explosiv ist, muss er getrennt behandelt werden.

Aus den eingesetzten 33.450 Tonnen Papier entstehen 26.229,1 Tonnen Produkt (inkl. Farbanteil) und 7.551 Tonnen Papierabfall, wobei der Papierstaub nur einen minimalen Anteil davon einnimmt. In AP3 wird die betriebsinterne thermische Verwertung dieses Abfallprodukts genauer betrachtet.

2.1.6 Druckluft

Die Bereitstellung von Druckluft erfolgt durch sieben Kompressoren mit einer Leistungsaufnahme zwischen 18 kW_d und 75 kW_d . Die erzeugte Druckluft steht mit 9 – 10 bar zur Verfügung

(Quelle: Berger 2011, Eigene Aufzeichnungen). Da der Energie- und Stoffstrom Druckluft zur Gänze im System verbraucht wird und somit die Systemgrenzen nicht überschreitet, scheint es in der Energiebilanz auch nicht als eigenes Systemelement auf und ist dem Punkt sonstige Stromverbraucher untergeordnet. Die bei der Druckluftherzeugung entstehende Wärme wird im Winter über Umluftventilatoren in die Produktionshallen eingebracht. Im Sommer wird die Wärme an die Umgebung abgegeben. Von der Herstellerfirma Atlas Copco wurde im Jahr 2008 eine Auswertung des Druckluftverbrauchs durchgeführt. Das Ergebnis der Messungen ist in Tabelle 3 zu sehen.

Station	Kompressor	Bezeichnung	Baujahr	Leistung [kW _e]	Leistung [m ³ /min]	bish. Auslastung	Auslastung während Messwoche
1	1	Atlas Copco GA75VSDFF	2007	75	12,1	n.V.	61%
1	2	Atlas Copco GA45FF-10	2003	45	7,2	73%	100%
2	3	Atlas Copco GA37VSDFF	2001	37	5,9	n.V.	100%
2	4	Atlas Copco GA45FF-10	2003	45	7,2	64%	83%
3	5	Compair MSK G30	1999	30	4,3	82%	86%
3	6	Compair MSK G30	1998	30	4,3	86%	0%
3	7	Compair MSK G18	1998	18	2,1	61%	99%
x	8	Atlas Copco GA5FF	2003	5,5	0,7	n.V.	n.V.
x	9	Atlas Copco GA15FF	2005	15	2,2	n.V.	n.V.

Tabelle 3: Auslastung der Kompressoren (Quelle: Atlas Copco 2008, Atlas Copco 2010a, Atlas Copco 2010b, Eigene Darstellung)

Laut Herstellerfirma sind für die Stationen 1 und 2 „keine Einsparungspotentiale“ vorhanden und das Einsparungspotential von Station 3 wird als „eher gering“ bezeichnet, da „fast keine Leerlaufstunden vorhanden sind“ (Quelle: Atlas Copco 2008, Atlas Copco 2010a, Atlas Copco 2010b). Die beiden Kompressoren der Station x wurden nicht vermessen. Sie stehen ausschließlich für die Druckluftversorgung der Maschinen Roland 702 und Roland 705 zur Verfügung.

Die Herstellerfirma der Druckluftkompressoren hat bereits eine Analyse der Einsparungspotentiale durchgeführt und diese als „eher gering“ eingestuft. Aus diesem Grund wird der Energie- und Stoffstrom Druckluft nicht weiter behandelt.

2.1.7 Außenluft (warm)

Der Energie- und Stoffstrom Außenluft (warm) kann als Durchlaufposten betrachtet werden. Da jedoch die Rückkühlung der Quellluftsäule 2 von der Kühlzentrale 2 übernommen wird und dadurch eine höhere Kühlleistung bereitgestellt werden muss, wurde dieser Energie- und Stoff-

strom mit in die Betrachtung aufgenommen. Die Außenluft (warm), die im Sommer von außen angesaugt wird, muss, bevor sie in den Raum zur Kühlung eingeblasen wird, abgekühlt werden. Die durch die Strahlungsverluste des Trockners erwärmte Luft im Raum wird dann über einen Deckenventilator ohne Nutzung der darin enthaltenen Energie nach außen befördert.

2.1.8 Abwärme, Abgas

Der Energie- und Stoffstrom Abwärme entsteht bei jeder energietechnisch relevanten Prozesseinheit. In Summe beträgt die jährliche Energiemenge, die durch Abwärme aus dem System an die Umgebung abgegeben wird, 16.736.239 kWh_{th}. Diese Abwärme steht bei unterschiedlichen Temperaturniveaus zur Verfügung. In den Rollenoffset-Maschinen und den Gas- und Ölbrennern wird durch die Verbrennung ein Abgas erzeugt. Die Enthalpie des Abgases kann nutzbare Wärme bei höheren Temperaturen bereitstellen.

Die unter den sonstigen Stromverbrauchern zusammengefassten Maschinen können maximal zur Lufterwärmung für die Hallenbeheizung verwendet werden und sind deshalb nur bedingt für eine nähere Betrachtung interessant. Die übrigen Wärmequellen können die Abwärme bei einer technisch nicht nutzbaren Temperatur zur Verfügung stellen und müssen durch Kühltürme und Luft/Wasser-Wärmeübertrager weggekühlt werden.

Eine Visualisierung der derzeitigen Abgas-/Abwärmennutzung ist durch Abbildung 10 gegeben.

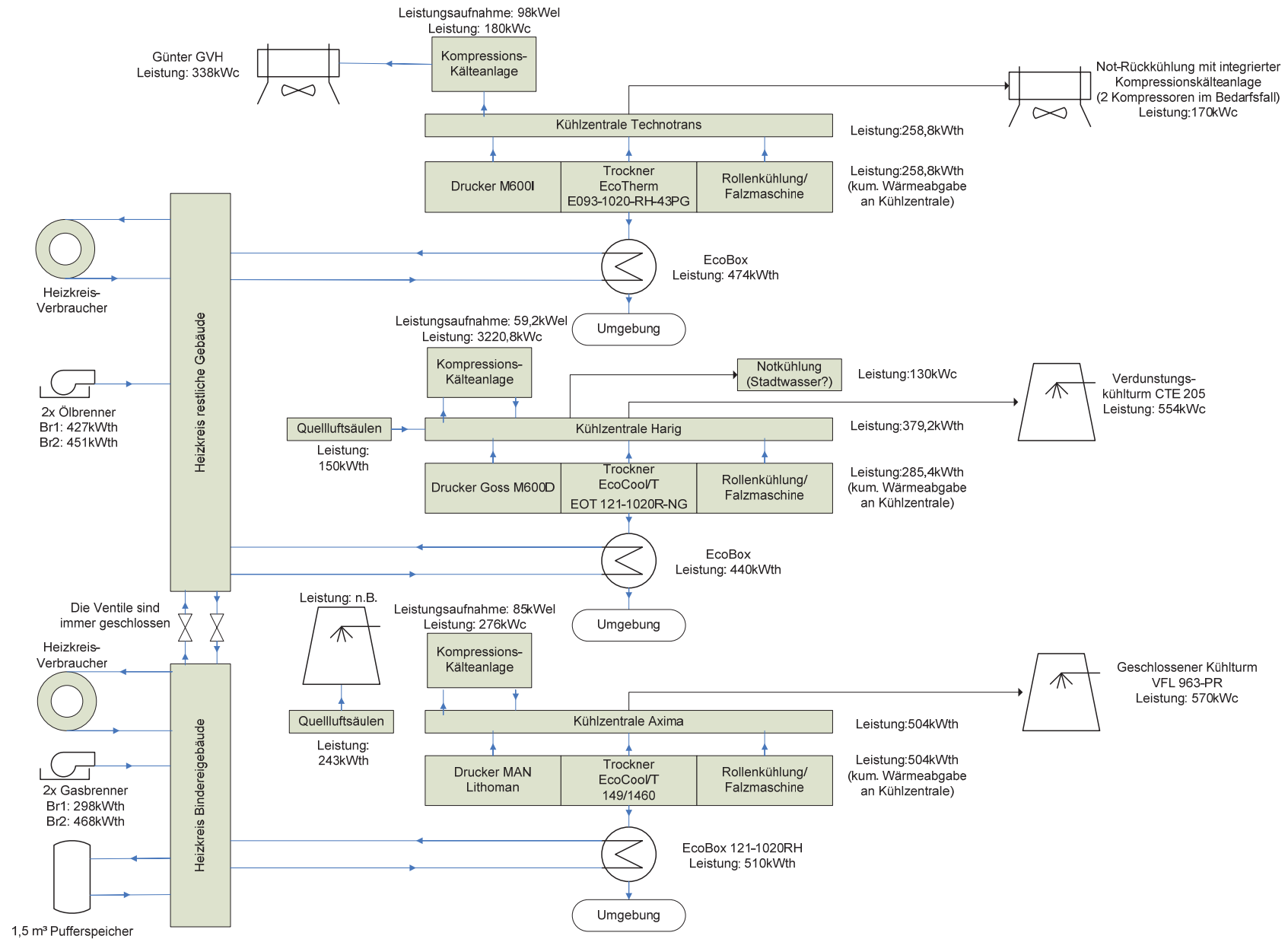


Abbildung 10: Wärmeflussbild der Rollenoffset-Maschinen (Quelle: Eigene Darstellung)

Aus obigem Bild ist ersichtlich, dass die genutzte Abwärme ausschließlich der Raum- und Hallenbeheizung durch zwei separate Heizkreise dient. Für den einen Heizkreis, welcher die Binde- und Rollenoffset-Gebäude versorgt, dienen die Trockner der Rollenoffset-Maschine Lithoman und die beiden Gasbrenner als Wärmequellen. Für den anderen Heizkreis, welcher die restlichen Hallen und Bürogebäude versorgt, dienen die beiden Trockner der Rollenoffset-Maschinen Goss M600D und M600I und die beiden Ölbrenner als Wärmequelle. Da der Heizwärmebedarf nur im Winter und in den Übergangszeiten benötigt wird, bleibt die entstehende Wärme über weite Teile des Jahres ungenutzt. Aus diesem Grund wird weiter unten näher auf den Trocknungsprozess eingegangen und einige Möglichkeiten zur Abwärmenutzung in AP2 vorgestellt.

Aus der oben durchgeführten Betrachtung der Medienströme und der in Abbildung 1 gegebenen Energieflüsse, können die relevanten Produktionsprozesse identifiziert, aufgelistet und näher beschrieben werden. Die Beurteilung der Produktionsprozesse nach ihrer Relevanz ist in den Prozesstabellen ersichtlich. Die mit „J“ gekennzeichneten Prozesse werden als relevant angesehen und werden in weiterer Folge näher beschrieben. Die Auflistung der relevanten Produktionsprozesse wurde aus Platzgründen in den Anhang gegeben (Prozesstabellen). Die nähere Beschreibung der relevanten Produktionsprozesse folgt im nächsten Kapitel.

2.2 Relevante Produktionsprozesse

2.2.1 Trockner

Der Trockner ist ein Systemelement, das zur Rollenoffset-Maschine gehört. Die drei Rollenoffset-Maschinen haben jeweils einen unterschiedlichen Trockner-Typ, das Prinzip ist jedoch dasselbe. Der Trockner hat zwei wesentliche Aufgaben. Erstens muss die aufgetragene Farbe auf dem Endlospapier innerhalb von ca. einer Sekunde Verweilzeit in den Trockenzonen getrocknet werden. Zweitens muss das durch die Trocknung aus der Farbe entweichende Lösungsmittel, aus bereits oben erwähnten Gründen, vollständig verbrannt werden.

Abbildung 11 zeigt ein Prinzipschaubild eines EcoCool-Trockners. Die Beschreibung des Trockners wurde aus diversen Produktbeschreibungen und persönlicher Korrespondenz mit der Firma Goss International entnommen (Quelle: Goss 2010). Das frisch bedruckte Papier wird in der Abbildung von links nach rechts gezogen. Die Trocknung beginnt bei maximaler Umgebungstemperatur von 300°C in Sektor 1 (S1). Die Umgebungstemperatur sinkt im Verlauf der Sektoren (S2-S3) auf 230°C ab. Die Luft wird mittels Umluftgebläse verteilt. In diesen Bereichen trocknet

die Farbe und das darin enthaltene Lösungsmittel verdampft zu 85%. Das Lösungsmittel-Luft-Gemisch ist hoch entzündlich, weshalb die Lösungsmittelkonzentration aus Sicherheitsgründen auf 25% der unteren Explosionsgrenze gehalten werden muss, was 10 g/m_n^3 entspricht.

Die Frischluftzufuhr erfolgt über die Kühlwalzensektion, die sich am Ende des Trockners befindet und wird von der Lösungsmittelkonzentration geregelt. Dort wird das Papier auf ca. 30°C abgekühlt. Die Frischluft wird dann in den Sektor 4 (S4) geleitet, wo die Kühlung des Papiers von maximal 140°C auf ca. 100°C erfolgt. Von dort wird die Frischluft abgesaugt und durch Lüftungsschlitze in den Sektor 1 geleitet. Im Trockner herrscht ein leichter Unterdruck, damit die lösungsmittelbeladene (Verbrennungs-)Luft nicht in die Umgebung entweichen kann.

Das Brennergebläse saugt die lösungsmittelbeladene Verbrennungsluft aus dem Innenraum an und leitet es durch den internen Wärmeübertrager zum Gasbrenner. Der Gasbrenner verbrennt das heizwertreiche Lösungsmittel mit dem zugefeuerten Erdgas bei einer Solltemperatur von 770°C , um eine vollständige Verbrennung zu erreichen. Das entstehende Abgas wird zum Teil direkt in den Sektor 1 eingebracht, um die Temperatur von 300°C in diesem Abschnitt zu halten. Die Zufuhr erfolgt über das Heißluftventil und wird von der Solltemperatur geregelt. Der Rest des Abgases wird über den Wärmeübertrager geleitet, wo es die lösungsmittelbeladene Verbrennungsluft vorwärmt, bevor es mit maximal 430°C in die Abluftführung eingeleitet wird. Im Anschluss an die Abluftführung befindet sich die EcoBox, die weiter unten beschrieben wird (Quelle: Goss 2010).

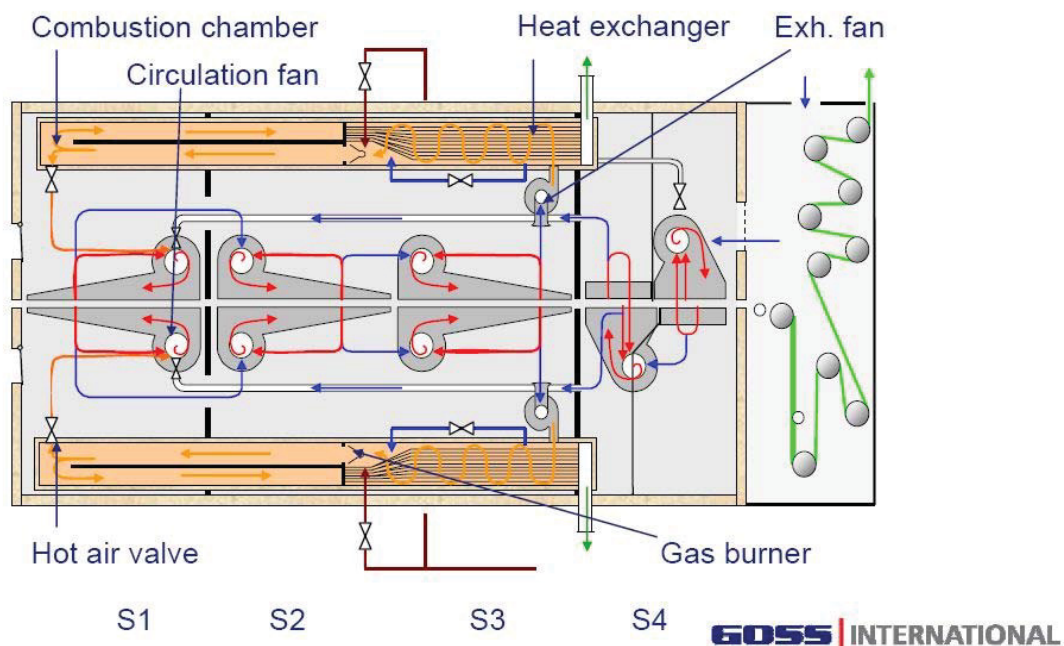


Abbildung 11: EcoCool-Trockner (Quelle: Goss 2010)

Aus den Aufzeichnungen der Erdgasverbräuche des Trockners EcoCool/T 149/1460 für die Rollenoffset-Maschine Lithoman (als größten Verbraucher) geht hervor, dass der durchschnittliche Verbrauch im Produktionsstatus $38 \text{ m}_n^3/\text{h}$ und im Standby-Betrieb $25 \text{ m}_n^3/\text{h}$ beträgt. Der Status „Produktion“ ist gegeben, wenn die Bahngeschwindigkeit des Papiers $1,2 \text{ m/s}$ übersteigt. Über die Verteilung der Status-Zeiten, die in Abbildung 12 ersichtlich ist, ergibt sich ein mittlerer Verbrauch von $25,13 \text{ m}_n^3/\text{h}$ für diesen Trockner.

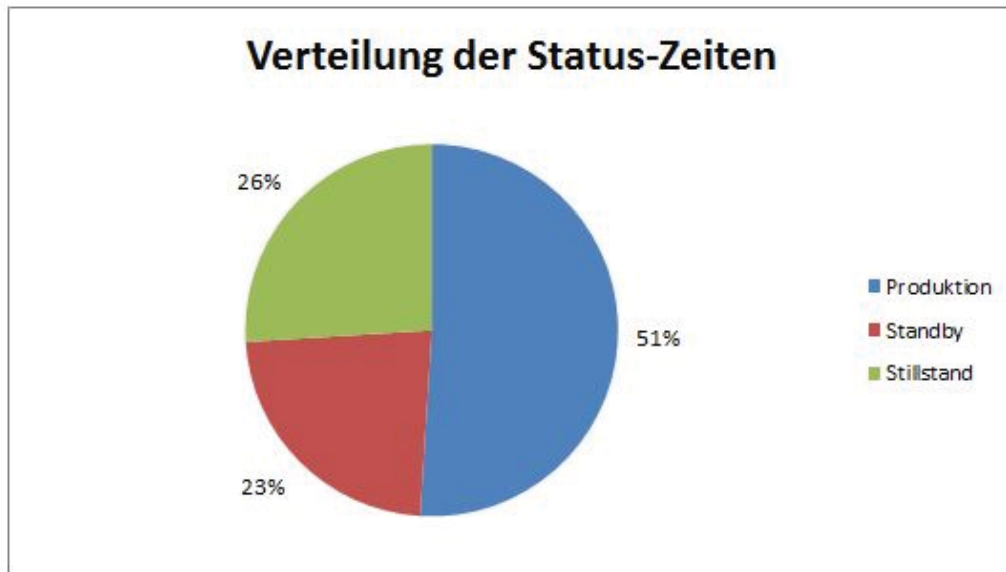


Abbildung 12: Produktionsstatus des Trockners EcoCool/T 149/1460 (Quelle: Goss 2010, Eigene Darstellung)

Mit diesem Wert kann man die Stunden berechnen, die der Trockner mit durchschnittlicher Produktionsleistung betrieben wurde. Dazu wird das Jahresmittel des Verbrauchs pro Stunde durch den mittleren Verbrauch pro Stunde bei Produktionsstatus dividiert und mit der Jahresstundenzahl multipliziert. Mit dieser Berechnung ergibt das etwa 5.800 Produktionsstunden pro Jahr bei mittlerer Produktionsleistung.

Der Lastverlauf ist von der Bahngeschwindigkeit und der Breite des eingesetzten Papiers sowie von der Menge an aufgetragener Farbe abhängig. Die Bahngeschwindigkeit liegt laut Aufzeichnungen im Jahresdurchschnitt von 2010 bei $11,3 \text{ m/s}$ (Quelle: Goss 2010).

Die im Trockner eingesetzten Energie- und Stoffströme haben einen hohen Energieinhalt. Deshalb wird in AP2 eine Möglichkeit zur besseren Nutzung dieses Energiegehalts vorgestellt.

2.2.2 EcoBox

Die EcoBox stellt eine Kombination aus Glattrohr- und Rippenrohrwärmeübertrager dar, der die Enthalpie des Abgases vom Trockner zurückgewinnt, um Heißwasser für die Raum- und Hallenbeheizung zu erzeugen. Wird kein Heißwasser benötigt, lässt die EcoBox den Abgasstrom ungenutzt durch den Bypass passieren. Diese Bypass-Regelung erfolgt stufenlos und richtet sich nach dem Heißwasserbedarf. Dieser wiederum ist abhängig vom Raumwärmebedarf. Eine genauere Beschreibung des Raumwärmebedarfs folgt weiter unten.

Das Abgas kommt mit maximal 430°C in die EcoBox und wird auf maximal 150°C abgekühlt. Der Volumenstrom und die nutzbare Leistung für die Wassererwärmung sind an die Leistungen der Trockner angepasst. Die maximale Wärmeleistung der EcoBoxen beträgt 440 kW_{th} (Goss M600D), 474 kW_{th} (M600I) und 510 kW_{th} (Lithoman), wobei die Wärmeleistung der M600I von 474 kW_{th} nicht voll genutzt werden kann, da der maximale Volumenstrom des Abgases zu gering ist. Die maximale Wärmeleistung bei einer Abkühlung des Abgases von 430°C auf 150°C liegt bei 468,7 kW_{th}.

Die Wassereintrittstemperatur beträgt 70°C und die Wasseraustrittstemperatur beträgt 90°C. Das erwärmte Heißwasser wird direkt in den jeweiligen Heizkreis eingeleitet. Zum Zeitpunkt der Vor-Ort-Erhebung war die Solltemperatur auf 85°C Vorlauftemperatur eingestellt. Da das genutzte Temperaturniveau im Vergleich zur Abgastemperatur gering ist, gibt es hier ein Potential zur besseren energetischen Verwertung der Abwärme, welches durch ergänzende Maßnahmen, die in AP2 beschrieben werden, genutzt werden soll. Die Daten für die Beschreibung der EcoBoxen wurden von der Betriebsanleitung der Firma HTA und der Vor-Ort-Erhebung entnommen (Quelle: HTA 2010, Berger 2011).

2.2.3 Maschinenkühlung

Die Maschinenkühlung ist an die von den Rollenoffset-Maschinen benötigte Kühlleistung angepasst und wurde nach dem maximalen Kühlbedarf ausgelegt. Die Kühlzentralen versorgen die verschiedenen Kühlkreise mit Kühlwasser bei 12°C bzw. 15°C. Das Wasser wird auf maximal 15°C bzw. 27-30°C erwärmt und wird dann zur Rückkühlung an die angeschlossenen Kühlaggregate geleitet. Zur Kühlung des Kühlwassers auf das richtige Temperaturniveau werden Kompressionskälteanlagen verwendet. Die Kühlzentralen wurden von den Firmen Harig (Rollenoffset-Maschine Goss M600D), Axima (Rollenoffset-Maschine Lithoman) und Technotrans (Rollenoffset-Maschine M600I) geplant und bereitgestellt. Die Daten für die Maschinenkühlun-

gen wurden aus den Beschreibungen und diversen Gesprächen mit den Herstellerfirmen entnommen (Quelle: Harig 2010, Axima 2010, Technotrans 2010).

Der Leistungsverlauf der Maschinenkühlung deckt sich mit dem Leistungsverlauf der Rollenoffset-Maschine. Er ist in der Produktionszeit schwankend und über den Jahreszyklus betrachtet, mit Ausnahme der Kühlzentrale für die Rollenoffset-Maschine Goss M600D, annähernd gleichbleibend. Die Kühlzentrale für die Rollenoffset-Maschine Goss M600D muss im Sommer zusätzlich die von der Quellluftsäule angesaugte Außenluft (warm) mit einer maximalen Leistung von $150 \text{ kW}_{\text{th}}$ herunterkühlen. Die Kühlkreisversorgung erfolgt bei einer Temperatur von 15°C . Dieser Maschinenkühlung steht ebenfalls eine Notkühlung mit der Leistung von 130 kW_c zur Verfügung und wird durch Frischwasser bereitgestellt.

Die Raumkühlung für die Rollenoffset-Maschine Lithoman wird ebenfalls von einer Quellluftsäule durchgeführt, allerdings wird die Rückkühlung nicht von der Kältezentrale übernommen und kann deshalb als eigener Wärmekreis betrachtet werden. Für die Rollenoffset-Maschine M600I steht keine zentrale Raumkühlung zur Verfügung, weshalb in diesem Bereich die Raumtemperatur höher ist.

Das Temperaturniveau und die erforderliche Kühlleistung der Maschinenkühlung gelten als Vorgabewerte für die Auslegung der Kälteanlagen. Sie dienen als Schnittstelle zu den Verbrauchern und werden deshalb als relevante Prozesseinheiten betrachtet.

2.2.4 Kompressionskälteanlage

Die Kompressionskälteanlagen (KKA) werden, wie bereits oben beschrieben, für die Bereitstellung des erforderlichen Temperaturniveaus benötigt. Die Leistungen und die Anordnung der KKA sind je nach Kältezentrale unterschiedlich.

Bei der Kältezentrale Axima für die Rollenoffset-Maschine Lithoman besteht die KKA aus zwei Schraubenverdichtern mit einer elektrischen Anschlussleistung von $85 \text{ kW}_{\text{el}}$ und einer maximalen Kühlleistung von 276 kW_c . Die KKA kann durch eine Sommer/Winter-Umschaltung weggeschaltet werden. Das obere Temperaturniveau beträgt mindestens 33°C , um die Rückkühlung optimal auszunutzen, und das untere Temperaturniveau für das Kühlwasser beträgt 12°C (Quelle: Axima 2010).

Bei der Kältezentrale Harig für die Rollenoffset-Maschine Goss M600D besteht die KKA aus vier Scrollverdichtern mit einer elektrischen Anschlussleistung von $59,2 \text{ kW}_{\text{el}}$ und einer maximalen Kühlleistung von $320,8 \text{ kW}_c$. Das obere Temperaturniveau beträgt mindestens 33°C . Die

Verdampferemperatur beträgt 4°C, die Austrittstemperatur des Kühlwassers beträgt 12°C (Quelle: Harig 2010).

Bei der Kältezentrale Technotrans für die Rollenoffset-Maschine M600I besteht die KKA aus einem TWIN-Motorverdichter, welcher zwei Kältekompressoren gleicher Bauart beinhaltet. Die elektrische Anschlussleistung beträgt 98 kW_{el}, bei einer maximalen Kühlleistung von 180 kW_c. Das obere Temperaturniveau beträgt ebenso mindestens 33°C, die Verdampferemperatur 4°C und die Austrittstemperatur des Kühlwassers 12°C. Zum Zeitpunkt der Vor-Ort-Besichtigung wurde die Rückkühlung allerdings durch die Not-Rückkühlung mit integrierter Kompressionskälteanlage (zwei Kompressoren) gewährleistet (Quelle: Technotrans 2010).

Da die KKA zu den großen Stromverbrauchern zählen, sollten sie durch andere Alternativen ersetzt bzw. entlastet werden. Eine Möglichkeit, den Stromverbrauch bei der Kühlung zu reduzieren, wird in AP2 vorgestellt.

2.2.5 Öl- und Gasbrenner

Die beiden Ölbrenner und die beiden Gasbrenner dienen rein zu Heizzwecken. Laut Gespräch mit Herrn Winkelhofer von der Druckerei Berger, werden sowohl die Öl- als auch die Gasbrenner hauptsächlich in den produktionsfreien Zeiten in Betrieb genommen (Quelle: Berger 2011).

Die Regelung erfolgt allerdings nach Außentemperatur und Heizwärmebedarf.

Ölbrenner 2 hat eine installierte Leistung von 530 kW und wird bei Bedarf als erstes befeuert. Ölbrenner 1 besitzt eine installierte Leistung von 502 kW und dient der Ausfallssicherung für den Ölbrenner 2.

Bei den Gasbrennern gestaltet sich die Situation ähnlich. Gasbrenner 1 hat eine installierte Leistung von 350 kW und wird bei Bedarf als erstes befeuert. Der zweite Gasbrenner besitzt eine installierte Leistung von 550 kW und dient der Ausfallssicherung für den Gasbrenner 1.

Für die weiterführenden Berechnungen wird ein Nutzungsgrad der gesamten Heizungsanlage von 85% für die Öl- und Gasbrenner angenommen (Quelle: UBA 2009).

Da der Ausstoß von klimaschädlichen Abgasen (CO_{2,Äqu}) minimiert und ein Umstieg auf erneuerbare Energien erreicht werden soll, werden in AP3 mehrere Alternativen zu den fossil befeuerten Brennern vorgeschlagen.

2.2.6 Heizung

Wie bereits oben erwähnt, begann die Heizsaison laut Aufzeichnung in den letzten beiden Jahren jeweils Mitte November und endete Mitte April, wobei der maximale Verbrauch jeweils im Jänner/Februar auftrat. Die zugehörigen Berechnungen für das Systemelement Heizung sind im Anhang unter Wärmebereitstellung und Wärmebedarfsrechnung zu finden.

Die Wärmebereitstellung erfolgt einerseits durch die drei EcoBoxen, die im Abgasstrom der Trockner für die Rollenoffset-Maschinen eingebaut sind, und andererseits durch die Öl- und Gasbrenner. Die Heizung ist auf eine Vorlauftemperatur von 90°C ausgelegt und die Rücklauftemperatur wird mit 70°C angegeben. Die Beheizung ist auf zwei Heizkreise aufgeteilt, die zwar miteinander verbunden sind, doch durch die geschlossenen Ventile keinen Heißwasseraustausch erlauben.

Der Heizkreis für das Bindereigebäude (Heizkreis 1) wird von den Gasbrennern und der EcoBox der Rollenoffset-Maschine Lithoman versorgt. Die maximale Wärmeleistung beträgt 1.275 kW_{th}. Da die Gasbrenner jedoch vorwiegend in der produktionsfreien Zeit verwendet wird und die Abwärme aus der EcoBox nicht immer mit der maximalen Wärmeleistung und nur in der Produktionszeit zur Verfügung steht, verringert sich dieser Betrag im Verlauf einer Kalenderwoche. Die Verbraucher von Heizkreis 1 sind die Heizlüfter und Radiatoren der Bindereihallen sowie zwei 300 l Warmwasser-Boiler. Zusätzlich wurde ein 1,5 m³-Pufferspeicher in den Heizkreis eingefügt, um die Bedarfsspitzen auszugleichen.

Der Heizkreis für die restlichen Gebäude (Heizkreis 2) wird von den Ölbrennern und den EcoBoxen der Rollenoffset-Maschinen Goss M600D und M600I versorgt. Die maximal mögliche Wärmeleistung beträgt 1.783 kW_{th}. Auch hier steht die volle Leistung nur begrenzt zur Verfügung. Die Verbraucher dieses Heizkreises sind die Radiatoren der Büros und der Hallen sowie ein 300 l Warmwasser-Boiler.

Die im Wochenverlauf zur Verfügung stehende Wärmeleistung kann aus Abbildung 13 entnommen werden. Der Betrieb der Öl- und Gasbrenner wird in der produktionsfreien Zeit angenommen. Die Grundlage für diese Abbildung ergibt sich aus folgenden Daten:

- Die Prozesswärmeleistung der Rollenoffset-Maschinen, die aus den jeweiligen EcoBoxen entnommen werden kann, wenn der Abgasvolumenstrom minimal ist und die Temperaturdifferenz 200 K beträgt.
- Die Heizwärmeleistung der primär genutzten fossilen Heizbrenner, die zur Verfügung gestellt werden kann, wenn diese ihre maximale Leistung abgeben.

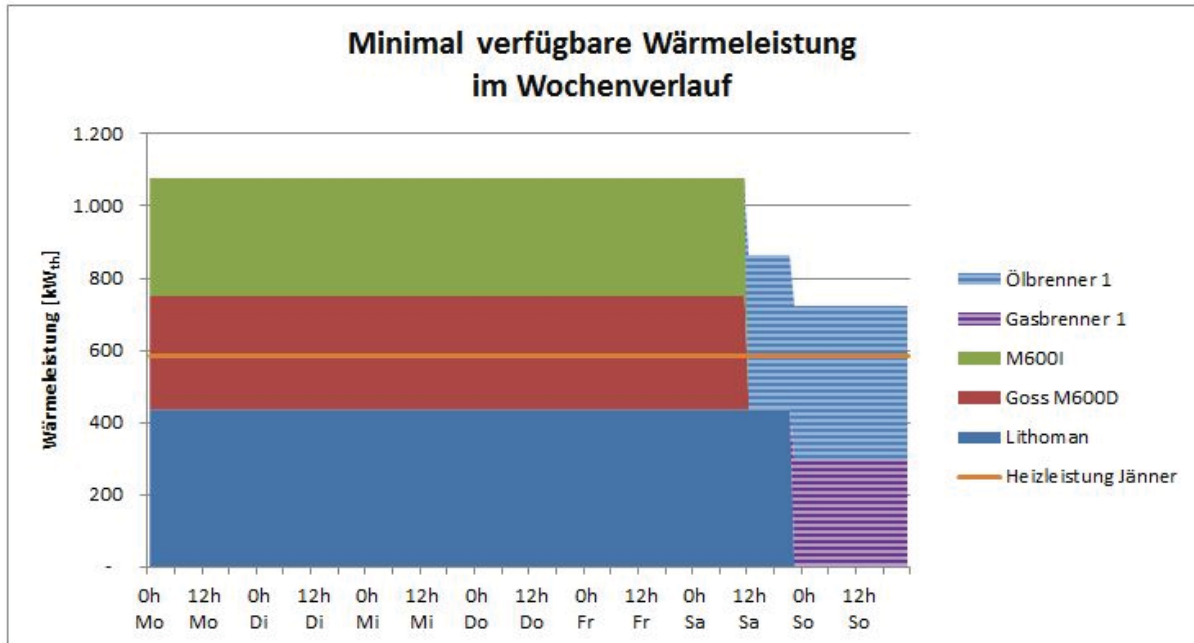


Abbildung 13: Minimal verfügbare Wärmeleistung im Wochenverlauf (Quelle: Eigene Darstellung)

Damit steht von Montag 0h bis Samstag 12h eine Leistung von 1.077 kW_{th}, von Samstag 12h bis Samstag 22h eine Leistung von 863 kW_{th} und von Samstag 22h bis Sonntag 24h eine Leistung von 725 kW_{th} zur Verfügung. Die Öl- und Gasbrenner können stufenlos an den aktuellen Heizenergiebedarf angepasst werden, wurden jedoch wegen der besseren Übersichtlichkeit mit ihrer vollen Leistung in das Diagramm aufgenommen.

Die mittlere erforderliche Heizleistung für den Jänner beträgt 583 kW_{th}, das heißt, dass in der Produktionszeit bis Samstag 12h 494 kW_{th} an Wärmeüberschussleistung zur Verfügung steht. In der reduzierten Produktionszeit von Samstag 12h bis 22h müssen 147 kW_{th} durch zusätzliche Feuerung der fossilen Heizbrenner zur Verfügung gestellt werden. Ab Samstag 22h muss die geforderte Heizleistung durch die fossilen Heizbrenner alleine abgedeckt werden.

In einer durchschnittlichen Jännerwoche, ohne Feiertage, stehen demnach in der Produktionszeit 65.208 kWh_{th} an Wärmeüberschuss zur Verfügung. Diesem Betrag steht ein Wärmeenergiebedarf von 16.628 kWh_{th} gegenüber (Samstag 12h – Sonntag 24h).

Da keine Wärmemengenzähler in den Heizkreisen installiert sind, wurde die benötigte Wärmemenge für die Beheizung der Gebäude durch die Heizgradtage und den Verbrauch an Heizöl und Erdgas berechnet. Die Daten basieren auf den langjährigen Aufzeichnungen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) (Quelle: ZAMG 2011). Da die Daten für Horn nicht zur Verfügung stehen, wurden die Werte für die Heiztage (205,9 d/a) und Heizgradtage (3.394 Kd/a) der nahegelegenen Stadt Retz verwendet, die ca. 24 km Luftlinie von Horn entfernt

liegt. Die vollständige Berechnung des Heizenergiebedarfs ist im Anhang ersichtlich. Die Berechnung des Heizenergiebedarfs ergab einen Jahreswärmebedarf von 2.267 MWh_{th}. In Abbildung 14 ist der Heizenergiebedarf pro Monat ersichtlich.

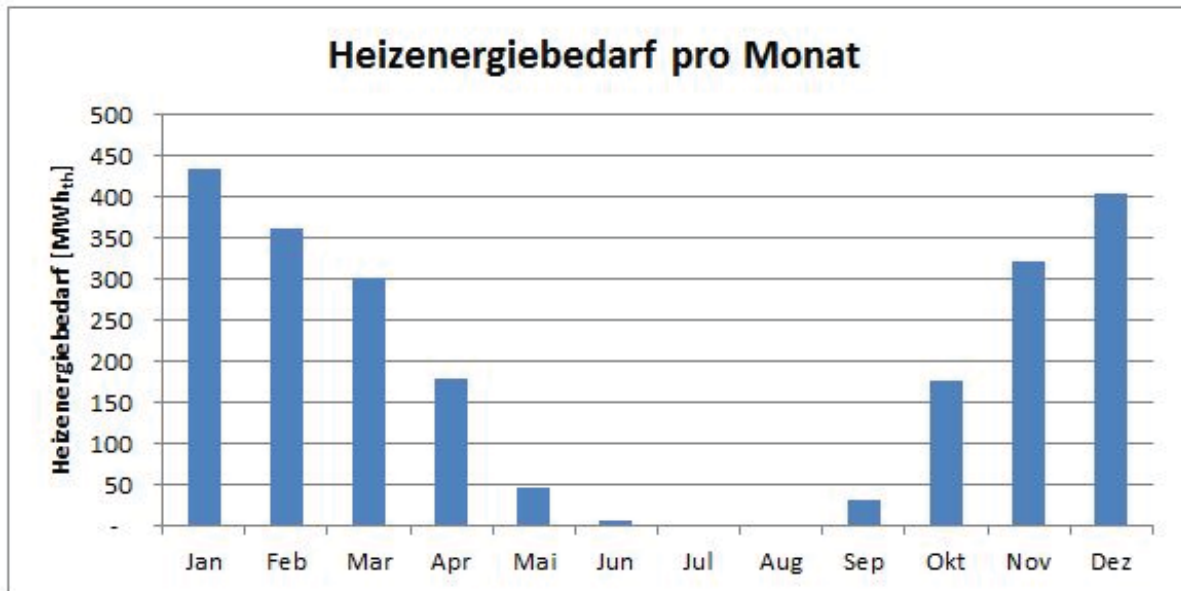


Abbildung 14: Heizenergiebedarf pro Monat (Quelle: Eigene Darstellung)

Das zur Verfügung stehende Angebot und die Differenz aus Heizenergiebedarf und Wärmebereitstellung durch Prozesswärme werden in Abbildung 15 dargestellt.

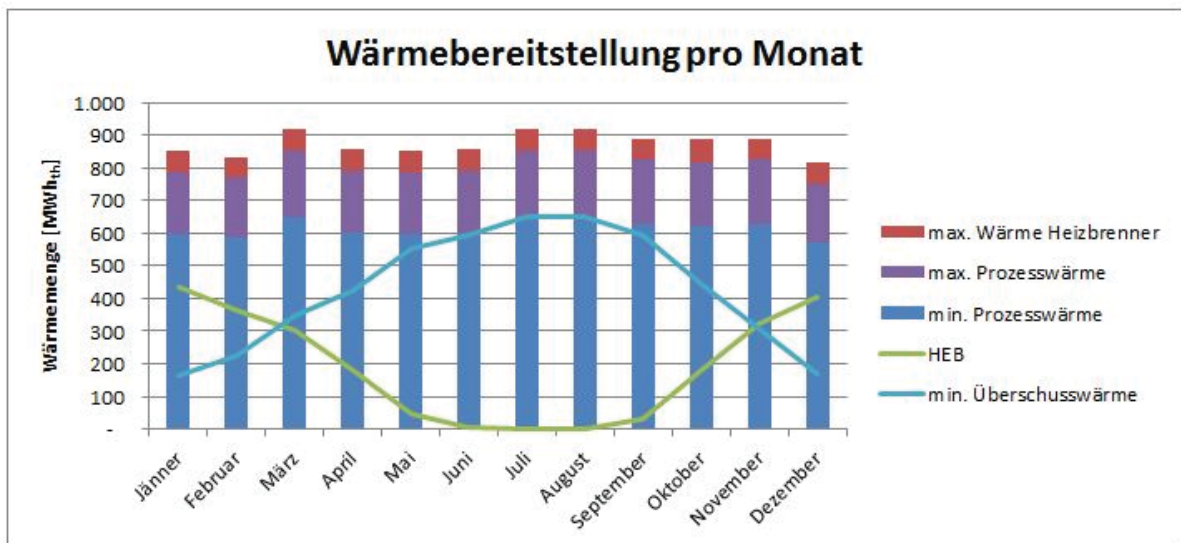


Abbildung 15: Wärmebereitstellung pro Monat (Quelle: Eigene Darstellung)

Aus der obigen Abbildung ergibt sich die Wärmemenge, die pro Monat überschüssig zur Verfügung steht, wenn an den Produktionstagen ausschließlich die Enthalpie des minimalen Abgasvolumenstroms der Trockner genutzt wird. Das heißt, die Wärme, die durch die Gas- und Ölbrenner erzeugt wird, wurde darin nicht eingerechnet. Der Grund, warum die fossil gefeuerten Heizbrenner trotz überschüssiger Prozesswärme aktiviert werden müssen, liegt an der fehlenden Pufferung der Abwärme. Deshalb werden in AP2 und AP3 mehrere Möglichkeiten zur besseren Versorgung der Räume und Hallen mit Wärme aufgezeigt.

Die in diesem Kapitel durchgeführte Prozessanalyse zeigt die wichtigsten, für die energetische Betrachtung relevanten, Prozesselemente auf und beschreibt diese detailliert. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse und Daten bilden die Basis für die weitere Arbeit und fließen in die folgenden Arbeitspakete ein. Damit wird die Prozessanalyse abgeschlossen. Die Auflistung der relevanten Prozesse ist im Anhang ersichtlich.

3 Möglichkeiten zur Reduktion des CO₂Äqu-Ausstoßes (AP2)

Das Ziel dieses Kapitels ist die Auflistung und die technoökologische Bewertung der Möglichkeiten zur Reduktion des CO₂Äqu-Ausstoßes und zur Erhöhung der Energieeffizienz. Die sich ergebenden Themenblöcke werden in Module verpackt, die aufeinander aufgebaut und in nahezu beliebiger Weise miteinander kombiniert werden können. Für die technoökologische Bewertung wurde ein Bewertungsschema entwickelt, welches vor seiner Anwendung in diesem Arbeitspaket näher beschrieben wird.

Die Methoden, welche in diesem Kapitel eingesetzt werden, sind: Variantenvergleich und technoökologische Bewertung. Aus dem AP1 wurden zehn Module abgeleitet, die näher betrachtet werden, um das Ziel der Erhöhung der Energieeffizienz bzw. eine Reduktion des CO₂Äqu-Ausstoßes zu erreichen. Diese Module können zu vier thematischen Ebenen zusammengefasst werden und sind in Abbildung 16 wiedergegeben.

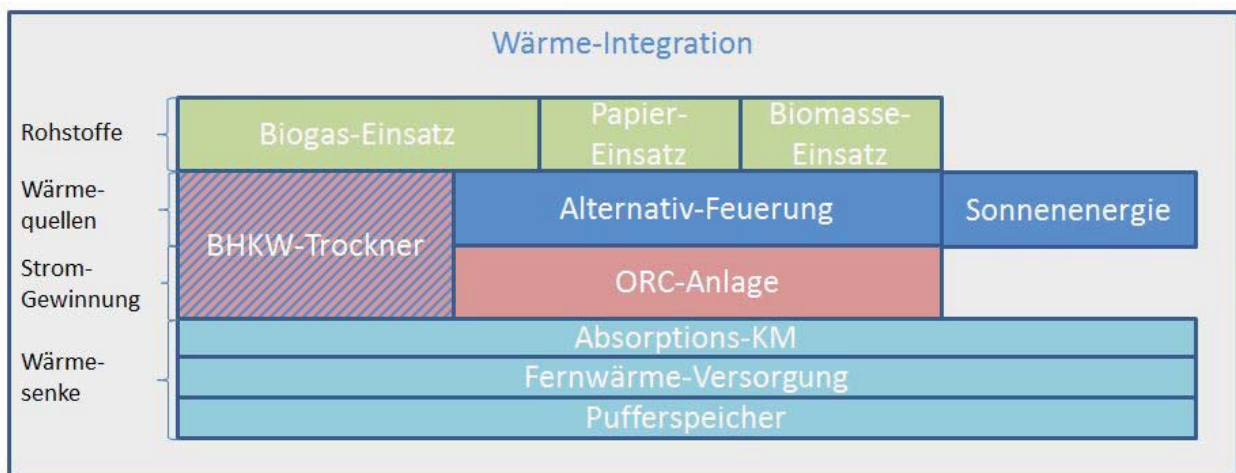


Abbildung 16: Modularer Aufbau (Quelle: Eigene Darstellung)

Die vier thematischen Ebenen sind:

- Wärmesenke
- Stromgewinnung
- Wärmequelle
- Rohstoffe

Die erste Ebene enthält jene Module, die als Wärmesenke dienen können, um vor allem die im Unternehmen entstehende Niedertemperaturwärme besser auszunutzen. In der zweiten Ebene werden zwei Möglichkeiten der betriebsinternen Stromgewinnung in Betracht gezogen, um den Zukauf von Strom zu verringern und die eingesetzten Energieträger besser auszunutzen.

Die dritte Ebene thematisiert die Wärmequellen, welche dem Unternehmen als Alternative zu bereits bestehenden Systemen zur Verfügung stehen. Die vierte Ebene behandelt die Rohstoffe, welche statt den aktuell verwendeten Energieträgern eingesetzt werden können. Die in den vier Ebenen enthaltenen Module können teilweise nur in Kombination mit anderen Modulen eingesetzt werden. Das gilt vor allem für die letzte Ebene – die Rohstoffe.

Als umspannender Rahmen dient die Wärmeintegration, die eine optimale Dimensionierung und Nutzung der Wärmequellen und -senken vorsieht. Das heißt, die Wärmemengen sollen sowohl im Winter als auch im Sommer bestmöglich ausgenutzt werden. So ist zum Beispiel die zusätzliche Bereitstellung von Wärme ohne nutzbare Wärmesenke zu vermeiden. Die Dimensionen der Wärme- und Energiemengen wurden im AP1 erarbeitet und dienen der Auslegung der einzelnen Module als Grundlage.

3.1 Technoökologische Bewertung

Die technoökologische Bewertung der einzelnen Module erfolgt nach den Kriterien:

- Sicherheit (S)
- Verfügbarkeit (V)
- Marktverfügbarkeit (M)
- Integrierbarkeit (I)
- Regelbarkeit (R) und
- CO₂_{Äqu}-Reduktionspotential (C)

Zu diesen Kriterien sind jeweils mehrere Fragen zu beantworten, um eine ausgewogene Bewertung und eine Quantifizierung der qualitativen Kriterien zu erreichen. Diese mit „Ja“ oder „Nein“ zu beantwortenden Fragen werden gewichtet und die Teilergebnisse anschließend aufsummiert. Das Ergebnis wird mit einem Faktor versehen damit der Wert zwischen 1 und 5 liegt. Bei der Bewertung ist 5 die Höchstpunktzahl und 1 die niedrigste Punktzahl, die erreicht werden kann.

Die Fragen zu den einzelnen Kriterien sind wie folgt:

Sicherheit (S)

Frage	Erläuterung	Gewichtung in %
Es ist kein Umgang mit Gefahrenstoffen nötig!	Die Einteilung der Gefahrenstoffe erfolgt nach dem global harmonisierten System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien der Vereinten Nationen.	20
Von den Drücken, die im System vorherrschen, geht keine Gefahr aus!	Die Einteilung bezieht sich auf die Einteilung in die Druckgeräterichtlinie DGRL Artikel 9 Anhang II. Die Klasse I wird nicht überschritten.	15
Es gibt unter keinen Umständen Explosionsgefahr!	Es muss mindestens einer der drei Einflussfaktoren vom Explosionsdreieck – Brennstoff, Oxidationsmittel, Zündquelle – fehlen.	15
Es gibt keine mechanisch bewegte Teile, die für Personen zugänglich sind!	Die etwaigen mechanisch bewegten Teile sind vor Zugriffen von außen geschützt und können nur im ausgeschalteten Zustand erreicht werden.	15
Etwaige thermisch belastete Teile sind für Personen nicht zugänglich!	Als thermisch belastet wird ein Teil verstanden, der eine Oberflächentemperatur von mehr als 50°C besitzt.	15
Eine Beschädigung des Systems kann keine schweren Verletzungen bei Personen hervorrufen!	Die Medien, mit denen das System arbeitet, rufen keine Verletzungen durch bloßen Kontakt hervor, wenn diese im Falle eines Unfalls austreten.	20

Verfügbarkeit (V)

Frage	Erläuterung	Gewichtung in %
Es sind nationale Technologie-Anbieter vorhanden!	Lieferanten in Österreich	10

Es sind europäische Technologie-Anbieter vorhanden!	Lieferanten Europa	10
Es sind internationale Technologie-Anbieter vorhanden!	Lieferanten weltweit	5
Es ist Servicepersonal in der Umgebung vorhanden!	Eine Servicedienststelle kann innerhalb von 24h eingreifen bzw. ist im Umkreis von 100 km gegeben.	10
Es gibt kein Lieferantenmonopol für die Rohstoffe!	Lieferantenanzahl > 1 im EU-Raum	20
Es gibt vereinzelte Lieferanten für die Rohstoffe!	Lieferantenanzahl 2 - 5 im EU-Raum	10
Es gibt viele Lieferanten für die Rohstoffe!	Lieferantenanzahl > 5 im EU-Raum	5
Die Leistungsbereitstellung deckt sich mit dem Leistungsbedarf!	Der vom System gelieferte Output deckt sich mit der vom Betrieb geforderten Leistung.	30

Marktverfügbarkeit (M)

Frage	Erläuterung	Gewichtung in %
Es gibt bereits Erfahrungen mit der Technologie!	Die Technologie befindet sich zumindest im Forschungsstatus.	30
Die Erfahrung mit der Technologie beträgt mehr als 5 Jahre!	Die Technologie wird bereits seit mehr als 5 Jahren erforscht.	10
Die Erfahrung mit der Technologie beträgt mehr als 20 Jahre!	Die Technologie wird bereits seit mehr als 20 Jahren erforscht.	10
Es gibt vereinzelte Pilotprojekte!	Pilotprojekte wurden bereits erfolgreich durchgeführt.	20
Das Produkt ist in Einzelstücken verfügbar!	Das Produkt wird auf Bestellung kundenspezifisch gefertigt.	20
Das Produkt ist als Serienprodukt am Markt vorhanden!	Das Produkt ist als Standard vorhanden und wird in großen Stückzahlen gefertigt.	10

Integrierbarkeit (I)

Frage	Erläuterung	Gewichtung in %
Die Platzverfügbarkeit ist größer als der Platzbedarf!	Es sind keine baulichen Maßnahmen zu treffen. Das Aggregat kann in die bestehende Bausubstanz integriert werden.	10
Es müssen keine Systemanpassungen getätigt werden!	Das vorhandene System muss nicht geändert werden, die Parameter bleiben dieselben.	15
Mögliche Systemanpassungen halten sich in Grenzen!	Das vorhandene System muss leicht geändert werden, die Parameteränderungen sind ohne Probleme durchführbar.	10
Eine Einbindung in die Steuerung/Regelung ist kein Problem!	Die Steuer- und Regelparameter müssen nicht angepasst werden. Es erfolgt keine Änderung der Parameter.	10
Die Einbindung in die Steuerung/Regelung stellt einen geringen Aufwand dar!	Die Steuer- und Regelparameter müssen leicht angepasst werden. Es erfolgt eine Anpassung der Parameter an die neue Situation.	10
Es wird keine Beeinflussungen der Hauptaggregate geben!	Die für die Produktherstellung verantwortlichen Maschinen werden vom Aggregat nicht beeinflusst.	15
Es wird keine Beeinflussungen der Nebenaggregate geben!	Die bestehenden Maschinen, die nicht direkt zur Produktherstellung dienen, werden vom Aggregat nicht beeinflusst.	10
Die Anzahl der Zusatzaggregate ist beschränkt!	Es gibt weniger als 3 Zusatzaggregate zur neu eingesetzten Technologie.	10
Es gibt keinen zusätzlichen zeitlichen Personalaufwand!	Der Wartungs-, Service- und Überwachungsaufwand erfordert keinen zusätzlichen zeitlichen Aufwand für das Personal.	10

Regelbarkeit (R)

Frage	Erläuterung	Gewichtung in %
Das Aggregat ist nicht nur im Nennlastbereich zu betreiben!	Der Betrieb außerhalb von +/- 5% um den Nennlastbereich ist problemlos möglich. Die Leistungseinbußen halten sich in Grenzen.	30
Die Teillastfähigkeit geht bis mind. 50% der Nennlast!	Der Betrieb zwischen 50 und 100% der Nennlast ist problemlos möglich. Die Leistungseinbußen halten sich in Grenzen.	20
Die Teillastfähigkeit geht bis mind. 20% der Nennlast!	Der Betrieb zwischen 20 und 100% der Nennlast ist problemlos möglich. Die Leistungseinbußen halten sich in Grenzen.	10
Der Leistungsbereich ist über das gesamte Leistungsspektrum ohne große Einbußen regelbar!	Der Betrieb zwischen 0 und 100% der Nennlast ist problemlos möglich. Die Leistungseinbußen halten sich in Grenzen.	10
Eine Überwachung der Regelung ist nicht nötig!	Die Regelung ist systemsicher und bedarf keiner Überwachung durch geschultes Personal.	20
Die etwaige Überwachung der Regelung kann durch eigenes Personal übernommen werden!	Die Überwachung kann nach einer Einschulung vom eigenen Personal übernommen werden.	10

CO₂_{Äqu}-Reduktionspotential (C)

Eine Ausnahme bei der Bewertung bildet das Kriterium des CO₂_{Äqu}-Reduktionspotentials. Hier erfolgt die Einteilung in die Bewertungsskala auf Basis des prozentual eingesparten, spezifischen CO₂_{Äqu}-Ausstoßes, im Vergleich zur derzeit eingesetzten Variante der Energiebereitstellung. Die Bezugsgrößen sind die spezifischen Emissionen von CO₂_{Äqu} pro erhaltene Menge an Nutzenergie:

- $g_{\text{CO}_2\text{Äqu}}/\text{kWh}_{\text{el}}$
- $g_{\text{CO}_2\text{Äqu}}/\text{kWh}_{\text{th}}$
- $g_{\text{CO}_2\text{Äqu}}/\text{kWh}_{\text{c}}$

Aktuelle spezifische Emissionen:

$$a \left[\frac{g_{CO_2-\ddot{A}qu}}{kWh_{Nutz}} \right] = x \left[\frac{kWh}{kWh_{Nutz}} \right] \times c1 \left[\frac{g_{CO_2-\ddot{A}qu}}{kWh} \right]$$

Alternative spezifische Emissionen:

$$b \left[\frac{g_{CO_2-\ddot{A}qu}}{kWh_{Nutz}} \right] = y \left[\frac{kWh}{kWh_{Nutz}} \right] \times c2 \left[\frac{g_{CO_2-\ddot{A}qu}}{kWh} \right]$$

Reduktionspotential (entspricht dem CO₂_{Äqu}-Reduktionspotentials in Prozent):

$$p[\%] = \left(1 - \frac{b}{a} \right) \times 100[\%]$$

Das Reduktionspotential p wird für $0\% \leq p \leq 100\%$ auf eine Skala zwischen 1 und 5 verteilt, wobei 5 die Höchstpunktzahl ist. Wenn das Reduktionspotential negativ wird $p < 0\%$, wird trotzdem die Mindestpunktzahl 1 vergeben. Der betrachtete CO₂_{Äqu}-Ausstoß wird auf die Basis des eingesetzten Energieträgers bezogen.

Nach der Beschreibung der technoökologischen Bewertung kann das Schema auf die einzelnen Module angewendet werden. In diesem Kapitel werden die Module 1 bis 5 beschrieben, da die Module 6 bis 10 thematisch in das nächste Kapitel passen. Da die Module allerdings miteinander verknüpft sind, gibt es Querverweise zwischen den Kapiteln. In den einzelnen Modulen wird erst der Hintergrund erläutert und anschließend auf die Dimensionierung und die konkrete Anwendung bei der Druckerei Berger eingegangen sowie die technoökologische Bewertung durchgeführt. In den Modulen Absorptionskältemaschine, ORC-Anlage und Biogas-Einsatz wird zu Beginn eine kurze theoretische Beschreibung der Technologie eingefügt. Des Weiteren werden die Auswirkungen beschrieben, die durch den Ersatz von Heizöl durch Erdgas im bestehenden Heizsystem entstehen.

3.2 Module

3.2.1 Modul: Pufferspeicher (M1)

Da die Aufgabe des Pufferspeichers die zeitliche Überbrückung der Wärmeversorgung ist, scheint die Einteilung in die Ebene Wärmesenke unpassend. Dies hat allerdings eher einen pragmatischen als einen physikalisch richtigen Hintergrund. Die für die Beladung des Pufferspeichers zugeführte Wärmemenge, würde alternativ ungenutzt bleiben und als Abwärme an die Umgebung abgegeben werden. Deshalb erfolgte die Einteilung dieses Moduls in die erste Ebene.

Die Be- und Entladung des Pufferspeichers kann als thermisches Lastmanagement bezeichnet werden. Energetisch wäre es optimal, die Öl- und Gasbrenner komplett abzuschaffen und den Raumwärmebedarf in der produktionsfreien Zeit rein durch den Pufferspeicher zu decken. Dieser sollte durch die Abwärme der Trockner während der Produktionszeit beladen werden. Wie bereits in AP1 unter dem Punkt Heizung beschrieben, steht für die Beladung des Pufferspeichers im Jänner eine Wärmemenge von 65.208 kWh_{th} pro Woche zur Verfügung. Die mittlere benötigte Wärmemenge von Samstag 12h bis Sonntag 24h beträgt 16.628 kWh_{th}. Laut Aufzeichnungen der Druckerei Berger kann der zusätzliche Wärmebedarf z.B. durch Feiertage, reduzierte Produktionsmengen, minimale Außentemperaturen etc. auf ca. 62.800 kWh_{th} pro Woche steigen. Wenn der Pufferspeicher nach dem maximalen zusätzlichen Wärmebedarf von ca. 62.800 kWh_{th} pro Woche ausgelegt wird, wäre das System überdimensioniert, da diese Leistung nur an einigen Tagen im Jahr benötigt wird. Der Heißwasser-Wärmespeicher hätte dann ein Speichervolumen von ca. 3.800 m³ (Quelle: Berger 2011, Eigene Berechnungen). Die ungefähren Systemkosten würden, bei spezifischen Kosten von € 250,- pro m³ Wasserinhalt für diese Dimensionierung, € 950.000,- betragen (Quelle: Heidemann, Wolfgang et al. 2005). Die jährlichen Energiekosten für die beiden Öl- und Gasbrenner betragen hingegen ca. € 30.000,-. Allein aus dieser überschlagsmäßigen Betrachtung heraus ist der Ankauf eines Pufferspeichers dieser Größe betriebswirtschaftlich nicht zu verantworten.

Wird die Puffergröße reduziert, steigen die spezifischen Kosten pro m³ Wasserinhalt an. Wenn ein zusätzlicher Wärmeeintrag während der produktionsfreien Zeit erlaubt wird und die Systemgröße auf ca. 30% der Jahresdeckung ausgelegt wird (530.000 kWh_{th} p.a.), sinkt das benötigte Puffervolumen auf ca. 400 m³, was etwa 6.350 kWh_{th} pro Woche entspricht. Mit dieser Systemgröße wäre der Pufferspeicher bis auf die Monate Juni bis September voll ausgelastet. Die Kosten

werden mit € 750,- pro m³ Wasserinhalt angenommen (Quelle: Heidemann, Wolfgang et al. 2005). Damit stehen ca. € 9.000,- jährlicher Einsparung Investitionskosten von ca. € 300.000,- gegenüber.

Als Brandschutzmaßnahme ist die Bereitstellung von Löschwasser in Höhe von 560 m³ vorgesehen. Überlegungen der Druckerei Berger gehen dahin, dieses Löschwasser in einem Behälter als Pufferspeicher zu nutzen. Nach Rückfrage bei der Feuerpolizei Graz gibt es keine Vorschriften über die maximale Wassertemperatur im Löschwasserbehälter. Diese Information wurde jedoch mit dem Hinweis gegeben, dass aus praktischer Sicht ein Hantieren mit Löschwasser bei höheren Temperaturen als 40°C nicht empfehlenswert ist. Gründe dafür sind die sich erwärmenden Armaturen, die ein Feuerwehrmann handhaben muss und die Verbrühungsgefahr von Personen, die eventuell in Kontakt mit dem Löschwasser geraten könnten (Quelle: Feuerpolizei Graz 2010). Aus diesen Gründen sollte eine Löschwassertemperatur von 40°C nicht überschritten werden. Somit kann der Löschwasserbehälter nur begrenzt als Heißwasser-Pufferspeicher verwendet werden.

Pufferspeicher mit dieser Größe sind individuell gefertigte und auf die Anwendung optimierte Einzelstücke. Laut Solites sollten zuerst alle anderen Möglichkeiten der energetischen Optimierung in Betracht gezogen werden, bevor ein Pufferspeicher dieser Größe in Erwägung gezogen wird (Quelle: Solites 2011).

S: Die Sicherheit erhielt nicht die Maximalpunktzahl, weil die Verletzungsgefahr bei einer Beschädigung des Systems nicht ausgeschlossen werden kann. So können Verbrühungen von in der Nähe befindlichen Personen durch den Kontakt mit dem im Pufferspeicher befindlichen Heißwasser passieren.

V: Die Verfügbarkeit des Systems ist schwankend, da nicht das gesamte Leistungsspektrum abgedeckt wird. Es gibt nationale Anbieter der Technologie und entsprechendes Servicepersonal. Der Rohstoff ist Heißwasser, welches selbst hergestellt wird.

M: Es gibt bereits langjährige Erfahrungen mit großvolumigen Pufferspeichern, doch in diesen Dimensionen sind alle Anlagen Maßanfertigungen.

I: Die Integrierbarkeit des Pufferspeichers ist gut, abgesehen davon, dass der Platzbedarf hoch ist und einige bauliche Maßnahmen zur Implementierung des Systems getätigt werden müssen (Fundamente verstärken, Isolierung des Speichers, Verlegung von Heißwasserleitungen, Einbindung in das bestehende Heizungssystem, etc.). Die Einbindung in die Regelung/Steuerung ist kein Problem.

R: Die Regelbarkeit ist optimal, da das System in nahezu jedem Lastbereich eingesetzt werden kann und eine Überwachung der Regelung nicht notwendig ist.

C: Das CO₂_{Äqu}-Reduktionspotential ist maximal, da pro erhaltene Nutzleistungseinheit, die fossil befeuerten Heizungsanlagen entlastet werden und die Beladung des Speichers mit ansonsten ungenutzter Abwärme erfolgt.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich das in Abbildung 17 dargestellte Bild. Die vollständige technoökologische Bewertung befindet sich im Anhang.

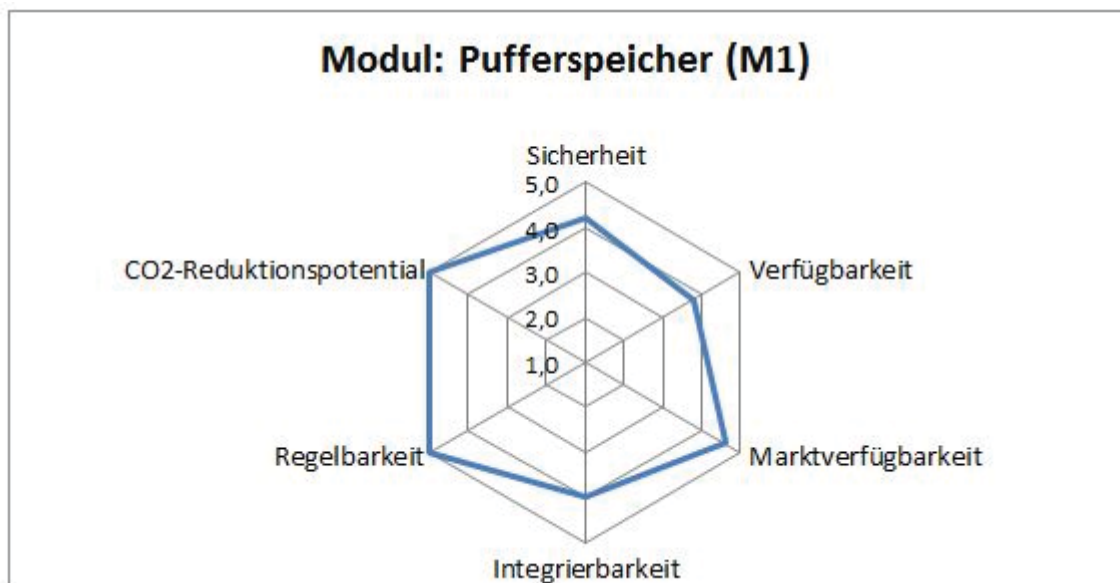


Abbildung 17: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung des Pufferspeichers (M1) (Quelle: Eigene Darstellung)

3.2.2 Modul: Fernwärme-Versorgung (M2)

In unmittelbarer Nähe zur Druckerei Berger steht ein Fernheizwerk, welches das Fernwärmenetz Horn versorgt. Es scheint sinnvoll, die überschüssige Prozesswärme der Druckerei Berger ebenfalls in das Fernwärmenetz einzuspeisen. Dafür sind eine Vorlauftemperatur von 95°C sowie ein Anschluss an das Fernwärmenetz erforderlich. Die Fernwärmeleitung wäre ca. 500 Meter lang und müsste mehrere Hindernisse queren (Fluss, Straßen, Eisenbahntrasse). Die Kosten pro Meter installierter Fernwärmeleitung (Fernwärmetrasse) betragen ca. € 250,- (Quelle: Fernwärme Waldviertel 2011). Darin sind allerdings etwaige Kosten für die Grundstücksablöse oder Entschädigungszahlungen noch nicht enthalten.

Die im Jänner zur Verfügung stehende Wärmemenge, die in das Fernwärmenetz eingespeist werden kann, beträgt 163 MWh_{th}. Der Wert wurde berechnet, indem der gesamte Heizenergiebedarf von der minimal erzeugten Prozesswärmemenge abgezogen wurde (siehe Abbildung 15 - Wärmebereitstellung pro Monat). Die Wärmemenge, die in das Fernwärmenetz eingespeist werden kann, steigt in den Monaten davor und danach an. Für die Einspeisung in das Fernwärmenetz steht im Jänner eine Leistung von 494 kW_{th} zur Verfügung. Gegenläufig sinkt der Wärmebedarf in den Monaten vor und nach dem Monat Jänner. Überschlägig kann mit Erlösen aus der Wärmeeinspeisung in das Fernwärmenetz in der Höhe von 10 – 12 €/MWh_{th} gerechnet werden. (Quelle: Fernwärme Waldviertel 2011).

Wenn von Anfang November bis Ende Februar die Gesamte und im Oktober und März jeweils die Hälfte der zur Verfügung stehenden Überschusswärme (1.258 MWh_{th}) in das Fernwärmenetz eingespeist wird, ergeben sich dadurch Erlöse in der Höhe von ca. € 13.800,-. Die Leitungskosten für die Fernwärmetrasse würden ca. € 125.000,- betragen.

Wenn eine Fernwärmeleitung installiert wird, könnte diese ebenfalls zur Raumbeheizung an den produktionsfreien Tagen verwendet werden. Damit wäre die Druckerei Berger sowohl Wärmelieferant als auch Wärmeabnehmer. Das hat den Vorteil, dass außer dem Fernwärmeanschluss keine weiteren baulichen Maßnahmen zu treffen sind und sowohl die Auslastung des Fernheizwerks als auch die Nutzung der prozessbedingten Abwärme erhöht wird.

Die mittlere benötigte Wärmemenge von Samstag 12h bis Sonntag 24h beträgt 16.628 kWh_{th}. Diese Menge müsste über das Fernwärmenetz mit einer Leistung von 147 kW_{th} bzw. 583 kW_{th} bezogen werden.

S: Die Sicherheit des Systems erhält die maximale Punktzahl, da weder mit Gefahrstoffen gearbeitet wird, noch bei Versagen des Systems schwere Verletzungen auftreten können. Es wird angenommen, dass sich die Wärmeübertragerstation abgekapselt in einem separaten Raum befindet.

V: Die Verfügbarkeit wird schlecht bewertet, da die Abhängigkeit vom Wärmelieferanten/-abnehmer groß ist, Lieferanten/Abnehmer nur aus unmittelbarer Nähe in Betracht gezogen werden können und daher die Flexibilität fehlt. Das Leistungsangebot und der Leistungsbedarf sind nicht deckungsgleich, da die Wärmeabgabe an das Fernheizwerk nicht vollständig erfüllt wird (Sommerbetrieb).

M: Da die Fernwärme bereits auf langjährige Erfahrung zurückgreifen kann und die für die Wärmeübertragung benötigten Fernwärmeleitungen und Wärmeübertrager ausgereifte Tech-

nologien in Serienproduktion darstellen, kann die Marktverfügbarkeit sehr hoch bewertet werden.

- I: Es müssen nur geringe Anpassungen des Systems getroffen werden. So muss ein Wärmeübertrager eingebaut und die bestehende Hydraulik angepasst werden.
- R: Die Regelbarkeit ist optimal, da das System in jedem Lastbereich eingesetzt werden kann und eine Überwachung der Regelung nicht notwendig ist bzw. vom Fernheizwerk durchgeführt wird.
- C: Das CO₂_{Äqu}-Reduktionspotential ist hoch, da die fossil befeuerten Heizungsanlagen durch einen Energieträger, der auf einen erneuerbaren Rohstoff basiert, ersetzt werden. Für die Betrachtung des spezifischen CO₂_{Äqu}-Ausstoßes wurde eine Lebenszyklusanalyse von Waldhackgut, welches in einem Großheizwerk verbrannt wird, herangezogen (Quelle: Schnedl, Christian et al. 2008).

Aus dieser Betrachtung ergibt sich das in Abbildung 18 dargestellte Bild. Die vollständige technoökologische Bewertung befindet sich im Anhang.

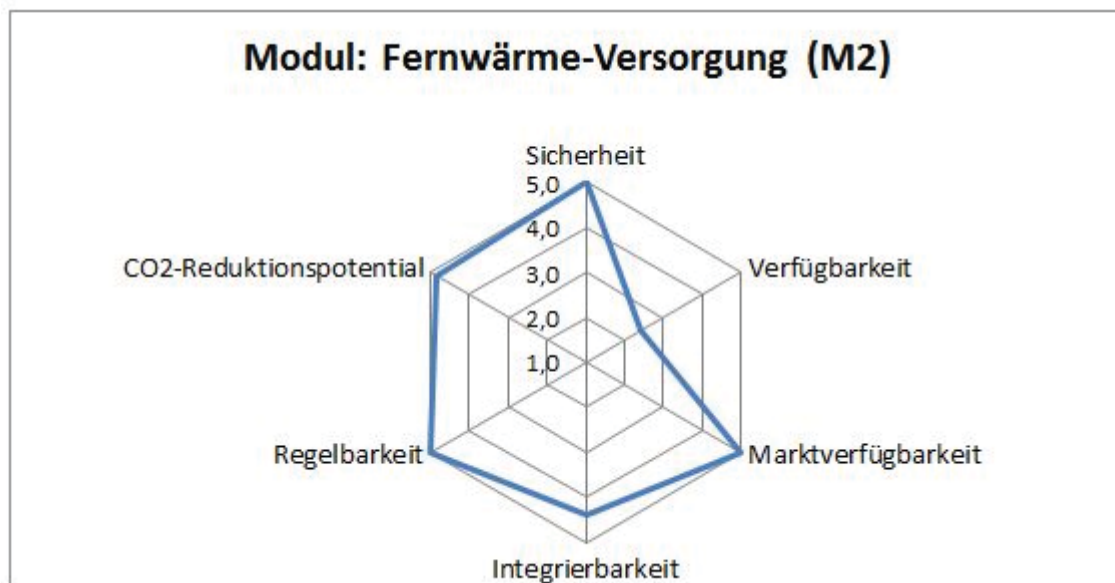


Abbildung 18: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung der Fernwärme-Versorgung (M2) (Quelle: Eigene Darstellung)

3.2.3 Modul: Absorptions-Kältemaschine (M3)

Eine Absorptions-Kältemaschine (AKM) besteht im Wesentlichen aus denselben vier Prozess-elementen wie eine Kompressionskälteanlage (KKA): Verdampfer, Kompressor, Verflüssiger und Drossel. Der wesentliche Unterschied liegt hier allerdings in der Verdichtung. Der Kompressor wird durch einen Absorber, einen Austreiber und ein zusätzliches Drosselorgan ersetzt. Diese Einheiten werden nicht mechanisch, sondern thermisch betrieben. Der reduzierte Verbrauch an elektrischer Energie und die Substitution durch thermische Energie ist einer der Hauptgründe für den Einsatz von AKM, statt der bisher üblichen KKA. Der Marktanteil der AKM an Kühlgeräten steigt stark an, in den USA betrug der Marktanteil 1993 bereits 22% (Quelle: Tozer, Robert; James, Ron W. 1998). In diversen Studien wird darauf hingewiesen, dass die Wärmequelle zum Betreiben der AKM günstig zur Verfügung stehen muss und die Betriebsstunden möglichst hoch sein sollen, damit der Betrieb der Anlage wirtschaftlich ist (Quelle: Mróz, Tomasz M. 2006, Lamp, P. et al. 1998).

Ein weiterer wichtiger Unterschied zur KKA ist, dass bei einer AKM ein Zweistoffgemisch verwendet wird. Dieses wird auch als Arbeitsstoffpaar bezeichnet. Für Kühlanwendungen über 0°C wird vorzugsweise ein Gemisch aus Wasser/Lithiumbromid verwendet und bei Anwendungen unter 0°C wird meist Ammoniak/Wasser als Arbeitsstoffpaar eingesetzt, wobei erstgenannter Stoff das Kältemittel ist und letztgenannter Stoff das Lösungsmittel. Beim Einsatz von Ammoniak/Wasser wird darauf hingewiesen, dass Ammoniak explosionsgefährlich ist und eine stark toxische Wirkung besitzt. Wasser/Lithiumbromid ist weder toxisch noch explosionsgefährlich, allerdings gibt es im Betrieb die Probleme der Kristallisation des Salzes und die Gefahr von Korrosion. Beide Faktoren verkürzen die Lebensdauer der Anlage. Deshalb muss bereits bei der Auslegung der Anlage auf diese Probleme Rücksicht genommen werden (Quelle: Baehr, Hans D.; Kabelac, Stephan 2006, Recknagel, Hermann et al. 2005).

Eine schematische Darstellung des Kreisprozesses der AKM erfolgt in Abbildung 19. Der im Verdampfer entstandene Kältemitteldampf wird in einem Absorber von einem Lösungsmittel aufgenommen bzw. absorbiert (1 - 2). Die Absorption des Kältemittels durch das Lösungsmittel erfolgt exotherm (2 - 3). Die überschüssige Wärme (Q_A) muss weggekühlt werden. Das mit Kältemittel angereicherte Lösungsmittel liegt in flüssiger Form vor und wird von der Lösungsmittelpumpe auf höheren Druck gebracht und in den Austreiber bzw. Generator befördert (2 - 3). Für den Betrieb der Lösungsmittelpumpe ist ein weitaus niedrigerer elektrischer Energiebedarf

(W_p) nötig als für den Kompressor bei der KKA. Die elektrische Leistungsaufnahme für die Lösungsmittelpumpe liegt unter 1% der Kühlleistung (Quelle: Gordon, J.M.; Ng, K.C. 1995).

Im Austreiber wird durch Wärmezufuhr (Q_Z) das Kältemittel wieder ausgetrieben (3 – 4). Zur Wärmezufuhr können unterschiedliche Wärmequellen verwendet werden (z.B. Dampf, Brenngas oder Warmwasser). Das dampfförmige Kältemittel gelangt in den Verflüssiger, wo es auf höherem Temperaturniveau unter Wärmeabgabe (Q_K) verflüssigt wird (4 – 5). Anschließend wird das flüssige Kältemittel durch ein Drosselventil auf niedrigeren Druck entspannt (5 – 6), um im Verdampfer wieder bei der zum Druck gehörigen Verdampfungstemperatur verdampft zu werden (6 – 1). Dort entzieht es dem zu kühlenden Medium die Wärme (Q_0), die es für die Verdampfung benötigt.

Das Lösungsmittel liegt im Austreiber als kältemittelarme Lösung vor (3 – 7). Es wird über eine Drossel entspannt (7 – 8) und im Absorber fein verrieselt, um eine möglichst große Oberfläche für die Absorption bereitzustellen (8 – 2). Damit ist der Kreisprozess geschlossen und kann von Neuem beginnen (Quelle: Recknagel, Hermann et al. 2005, Hammer, Andreas; Doletschek, Marianne 2009).

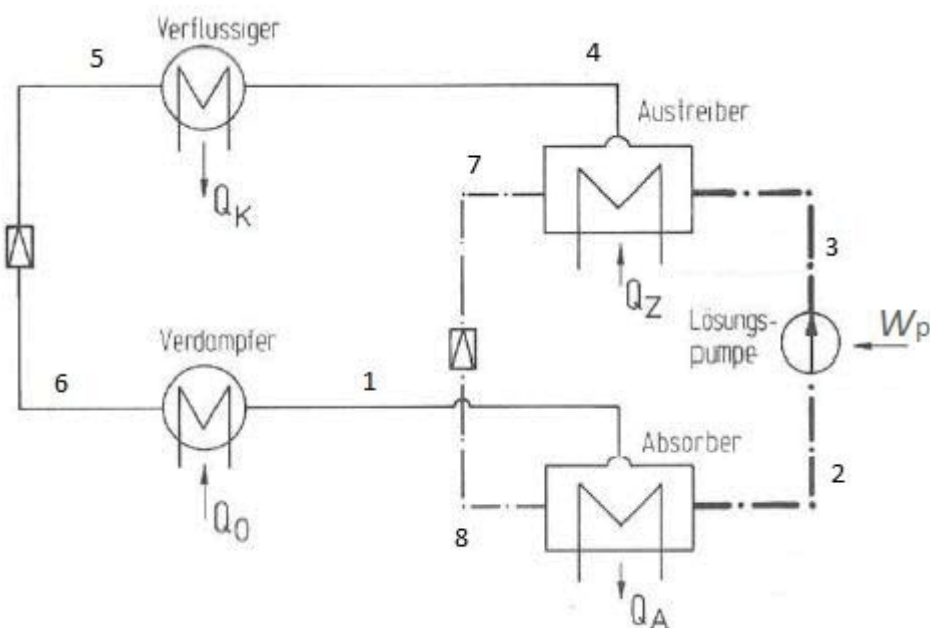


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Kreisprozesses einer Absorptions-Kältemaschine (Quelle: von Cube, Hans Ludwig; Steimle, Fritz 1978, Eigene Darstellung)

Zur Effizienzsteigerung wird nach der Lösungsmittelpumpe (3) ein Wärmeübertrager eingebaut und die kältemittelreiche Lösung mit der kältemittelarmen Lösung vor der Drossel (7) vorgewärmt (Quelle: Gordon, J.M.; Ng, K.C. 1995).

Um die Temperaturen und Drücke im AKM-Kreisprozess zu veranschaulichen wird häufig das Dampfdruckdiagramm verwendet (siehe Abbildung 20). Dabei wird auf der Ordinate der Dampfdruck logarithmisch und auf der Abszisse der Kehrwert der Temperatur aufgetragen. Der Kehrwert der Temperatur wird allerdings von rechts nach links gelesen, damit die Temperatur in gewohnter Weise nach rechts hin steigt. In guter Näherung scheinen die Dampfdruckkurven (Massenanteil $\xi = \text{const.}$) wie eine Schar aus geraden Linien. Die Geraden werden auch Isostere genannt.

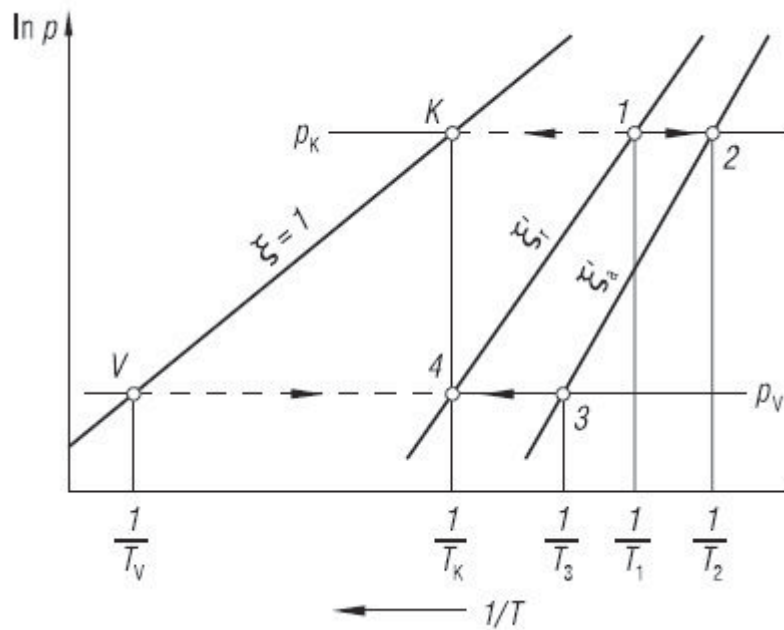


Abbildung 20: Dampfdruckdiagramm einer Absorptions-Kältemaschine (Quelle: Baehr, Hans D.; Kabelac, Stephan 2006)

In der Abbildung 20 sind der Kondensationsdruck p_K im Verflüssiger und der Verdampfungsdruck p_V im Verdampfer als horizontale Linien zu erkennen. Der abgebildete Prozess ist vereinfacht und ohne internen Wärmeübertrager dargestellt. Die kältemittelreiche Lösung mit der Konzentration ξ_r wird im Generator (1) erhitzt. Die Lösung verarmt dort durch das Verdampfen des Kältemittels und liegt dann mit verringerter Konzentration ξ_a vor (2). Das verdampfte Kältemittel wird im Kondensator gekühlt und verflüssigt (1 – K). Das Kältemittel liegt als Reinstoff vor ($\xi = 1$) und wird durch die Drossel auf den Druck p_V expandiert (K – V), der durch die gewünschte Prozesstemperatur T_V bestimmt ist. Wenn Ammoniak/Wasser als Arbeitsstoffpaar verwendet wird, ist eine Rektifikation nötig, um einen Reinstoff zu erhalten. Bei Lithiumbromid/Wasser wird diese Vorgabe bereits prozessbedingt erfüllt.

Die kältemittelarme Lösung wird ebenfalls entspannt (2 – 3) und tritt in den Absorber ein. Durch die Kühlung des Lösungsmittels auf T_K (3 – 4) wird die Absorptionsfähigkeit erhöht und das Kältemittel voll absorbiert (V – 4). In diesem Fall ist T_K mit T₄ ident, das muss aber nicht so sein. Abschließend wird die kältemittelreiche Lösung mittels Lösungsmittelpumpe auf den erforderlichen Druck p_K gebracht (4 – 1) (Quelle: Baehr, Hans D.; Kabelac, Stephan 2006, Recknagel, Hermann et al. 2005).

Zur energetischen Bewertung der AKM wurde das Wärmeverhältnis (Zeta ζ) eingeführt:

$$\zeta = Q_0 / Q_Z$$

Es stellt das Verhältnis von erhaltener Kühlung zu eingesetzter thermischer Energie dar. Es ist jedoch thermodynamisch sinnvoller der erhaltenen Kühlung die gesamte eingesetzte Energie gegenüberzustellen (ζ'). Diese enthält zusätzlich die elektrische Energie für die Lösungsmittelpumpe.

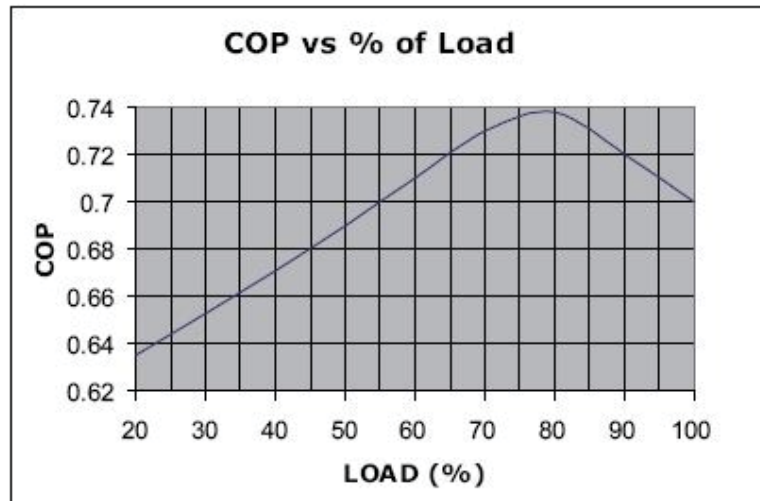
$$\zeta' = Q_0 / (Q_Z + W_P)$$

Die Leistungszahl (Epsilon ε) der Kältemaschine ist definiert durch:

$$\varepsilon = Q_0 / W_P$$

Die Leistungszahl wird auch als Coefficient of Performance (COP) bezeichnet, wobei in der englischsprachigen Literatur und in den technischen Beschreibungen der Hersteller der COP mit dem Wärmeverhältnis ζ gleichgesetzt wird (Quelle: Ng, K.C. et al. 1998, Tozer, Robert; James, Ron W. 1998, Mróz, Tomasz M. 2006). Aus Gründen der Konvention, wird auch in dieser Arbeit der COP als Äquivalent zum Wärmeverhältnis ζ gesehen.

Kälteanlagen werden meist durch ihre Kurve im COP-Last-Diagramm charakterisiert (Quelle: Gordon, J.M.; Ng, K.C. 1995). In Abbildung 21 ist das COP-Last-Diagramm einer einstufigen, mit Heißwasser betriebenen, AKM der Marke Century (Serie AR-D) abgebildet (Quelle: Benn-dorf 2010). Darin ist ersichtlich, dass der COP ein Maximum besitzt und bei Abweichung vom optimalen Betriebspunkt (weniger bzw. mehr Last) sinkt.

**Reference notes:**

1. Chilled water outlet temperature: 7°C
2. Cooling water inlet temperature: 30 °C
3. Hot water in/out temperature: 90-80 °C
4. Fouling factor: 0.0001 m²h°C/kcal

Abbildung 21: COP-Last-Diagramm (Quelle: Benndorf 2010)

Aus der obigen Abbildung kann abgelesen werden, dass auch bei geringer Teillast noch akzeptable COP-Werte erreicht werden. Der COP kann gesteigert werden, indem der Prozess mehrstufig aufgebaut wird. Dafür sind allerdings höhere Temperaturen im Austreiber erforderlich (Quelle: Tozer, Robert; James, Ron W. 1998).

Die Steigerung des COP kann durch vergrößerte Wärmeübertragungsflächen erreicht werden. Allerdings steigen dadurch die Investitionskosten. Somit sind der COP und die Investitionskosten zu einem großen Teil von der spezifisch bereitgestellten Wärmeübertragungsfläche (m²/kW) abhängig (Quelle: Summerer, F. 1996).

Die Verluste, die in einer AKM auftreten, werden ebenfalls zu einem großen Teil von den Wärmeübertragern beeinflusst. Sie sind unter anderem die Hauptquelle für interne Dissipation. Die Verlustquellen sind hier vor allem der Druckabfall und der begrenzte Wärmedurchgang. Eine weitere Verlustquelle ist die begrenzte Fähigkeit des Lösungsmittels, Kältemittel zu absorbieren (chemisches Potentialgefälle) (Quelle: Ng, K.C. et al. 1998). Für nähere Informationen zum Thema AKM wird auf die jeweilige Literatur verwiesen.

Da die Kältebereitstellung durch Kompressionskälteanlagen (KKA) sehr energieintensiv ist, die geforderte Kälteleistung weitgehend konstant ist und die nötige Antriebswärmeleistung zeitgleich anfällt, liegt die Überlegung nahe, die Bereitstellung von Prozesskälte durch eine Absorptions-

Kältemaschine (AKM) zu gewährleisten. Die Antriebswärmeleistung kann durch die anfallende Prozesswärme bereitgestellt werden.

Wie bereits in Abbildung 11 zu sehen war, sind die KKA in die jeweiligen Kühlzentralen integriert. Die maximal installierte Kälteleistung reicht von 180 kW_c bei der Rollenoffset-Maschine M600I bis 320,8 kW_c bei der Rollenoffset-Maschine Goss M600D. Die Dimensionierung der AKM auf die maximale Kühlleistung zur kompletten Substitution der KKA ist nicht sinnvoll, da die AKM in Grundlast betrieben werden soll. Zum einen, um die Volllaststunden und dadurch die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen und zum anderen wegen des sinkenden COP bei abnehmender Last (Quelle: Mróz, Tomasz M. 2006, Lamp, P. et al. 1998, Benndorf 2010).

Aus den oben genannten Gründen ist die Dimensionierung der AKM auf den Grundlastbetrieb auszurichten. Des Weiteren müssen die zur Verfügung stehenden Wärmemengen berücksichtigt werden. Wie bereits für mehrere Module verwendet, werden die in AP1 ausgearbeiteten Daten für die bereitstehende Wärmemengen herangezogen. Es wird ein Einbau der AKM in die Kühlzentrale der Rollenoffset-Maschine Goss M600D in Betracht gezogen. Der Kühlbedarf besteht ausschließlich während der Produktionszeit von Mo 0h bis Sa 12h. Für den thermischen Antrieb der AKM steht im Jänner während dieses Zeitraums eine Wärmeleistung von 494 kW_{th} zur Verfügung. Während der restlichen Monate des Jahres steht für die AKM eine höhere Wärmeleistung zur Verfügung, weshalb die Dimensionierung der AKM für den Jänner erfolgte. Im Sinne der Wärmeintegration ist eine größere Anlage, die nur durch Zusatzfeuerung mittels einer Heizanlage zu erreichen ist, nicht empfehlenswert.

Bei einem mittleren COP von 0,7 wird eine Kühlleistung von 345,8 kW_c erzeugt. Die KKA für diese Rollenoffset-Maschine hat eine installierte Kühlleistung von 320,8 kW_c. Somit ist eine vollständige Deckung der installierten Kühlleistung möglich. Um mit der AKM den Grundlastbedarf abzudecken, wird eine Dimensionierung auf 75% der installierten Kühlleistung der KKA vorgeschlagen. Die Kühlleistung würde dann 240,6 kW_c betragen, wofür 343,7 kW_{th} an Wärmeleistung bei einem Temperaturniveau von ca. 90°C aufzubringen wären. Das hat den Vorteil, dass die Anlage in das derzeitige Heizleitungssystem problemlos eingebunden werden kann und ein Puffer von ca. 150 kW_{th} für die Raumbeheizung während der Produktionszeit an besonders kalten Tagen bestehen bleibt.

Die erforderliche Rückkühlleistung für die AKM beträgt 584,3 kW_c bei einer Temperatur zwischen 30°C und 40°C. Da die vorhandenen Rückkühlanlagen diese Leistung nicht aufnehmen können, muss eine separate Rückkühlanlage installiert werden. Die installierte Stromleistung für den Betrieb der Pumpen beträgt weniger als 1% der maximalen Kühlleistung. Für die Berechnungen wurden die Daten der AKM Century AR-D70L2 verwendet (Quelle: Benndorf 2010).

- S: Es ist weder ein Umgang mit hohen Drücken noch mit Gefahrenstoffen oder hohen thermischen Belastungen nötig. Daraus resultiert die Bewertung mit 5 Punkten.
- V: Die Technologie wird zwar nicht national hergestellt, es gibt jedoch einige Anbieter die Vertriebsstellen in Österreich haben. Durch den Betrieb mit Prozesswärme und Strom vom Netz, gibt es keine Probleme mit der Rohstoffverfügbarkeit.
- M: Die Technik ist bereits seit langem bekannt und im Einsatz, die Produktionsmengen gehen über eine Kleinserienfertigung noch nicht hinaus, sind jedoch als standardisiertes Produkt erhältlich.
- I: Es müssen bauliche Änderungen im Bereich der Kühlzentrale durchgeführt werden. Des Weiteren sind kleine Systemanpassungen in der Kühlzentrale durchzuführen, welche die bestehenden KKA beeinflussen. Die erforderlichen Zusatzaggregate (Rückkühlung, Schaltschrank, Heiß- und Kaltwasserpuffer, Pumpen, etc.) müssen ebenfalls mit berücksichtigt werden.
- R: Die Teillastfähigkeit ist gut, es muss jedoch mit einem Einbruch des COP gerechnet werden.
- C: Das CO₂_{Aqu}-Reduktionspotential ist hoch, da die eingesetzte elektrische Energie im Vergleich zur KKA sehr gering ist und die benötigte thermische Energie durch die vorhandene Abwärme bereitgestellt werden kann.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich das in Abbildung 22 dargestellte Bild. Die vollständige technoökologische Bewertung befindet sich im Anhang.

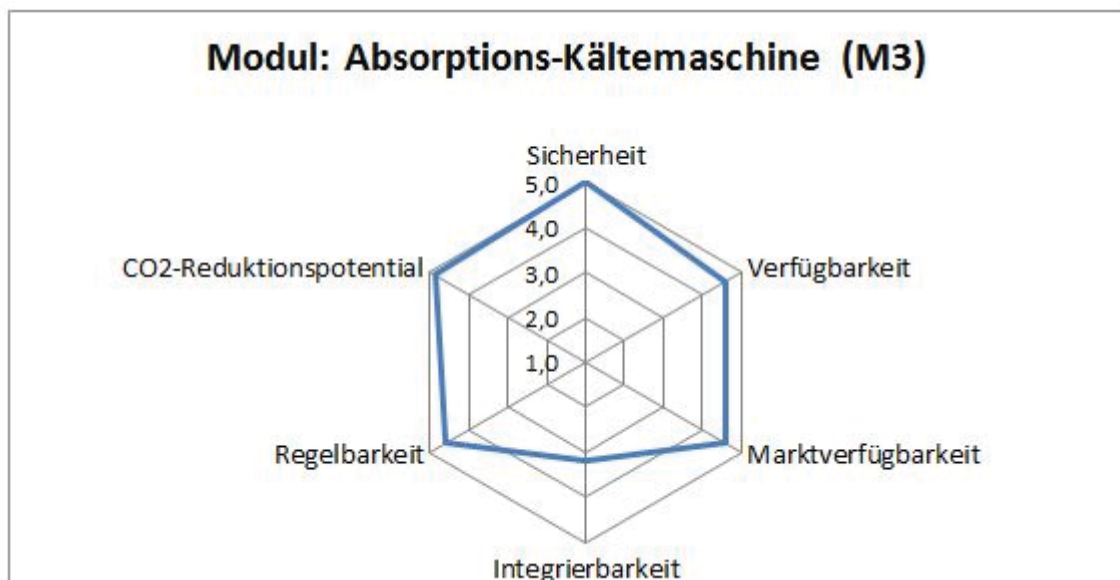


Abbildung 22: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung der Absorptions-Kältemaschine (M3) (Quelle: Eigene Darstellung)

3.2.4 Modul: ORC-Anlage (M4)

Der ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) ist ein Rankine-Kreisprozess zum Betrieb einer Dampfturbine, der statt dem Arbeitsmittel Wasser ein organisches Medium (Kohlenwasserstoffe wie Iso-Pentan, Iso-Oktan, Toluol oder Silikonöl) verwendet. Der wesentliche Unterschied zwischen einem klassischen Dampfprozess und dem ORC-Prozess ist, dass die organischen Medien bessere thermodynamische Eigenschaften bei niedrigen Temperaturen und Drücken besitzen. Somit können auch Wärmequellen mit geringem Temperaturgefälle effizient genutzt und in elektrische Energie verwandelt werden.

Statistiken haben ergeben, dass mehr als 50% der in der Industrie erzeugten Wärme nach dem Prozess als Niedertemperaturabwärme zur Verfügung stehen. Die Nutzung von Abwärme zur Stromerzeugung ist sehr vielversprechend, da kein zusätzlicher Brennstoff benötigt wird. Unter einer Abwärmtemperatur von 370°C lässt sich ein konventioneller Rankine-Kreislauf, der Wasser als Arbeitsmittel verwendet, nicht wirtschaftlich betreiben (Quelle: Hung, Tzu-Chen et al. 1997, Wei, Donghong et al. 2007). Laut Schuster et al. ist der ORC-Prozess die einzige wirtschaftliche Technologie zur Wärmerückgewinnung aus Niedertemperaturwärme im Bereich von wenigen kW_{el} bis 1 MW_{el} (Quelle: Hammer, Andreas; Doletschek, Marianne 2009, Schuster et al. 2009). Es wurden mit Stand 2002 bereits über 3.000 ORC-Anlagen installiert, weshalb die Technik als weitgehend ausgereift gilt (Quelle: Strauss, K.; Wild, T. 2002). Dieses Prinzip der Stromerzeugung aus Abwärme wird international als Bottoming Cycle bezeichnet (Quelle: NaturalGas 2011).

Einer der Haupteinflussfaktoren auf die Auswahl des organischen Arbeitsmittels ist die Steigung der Sattdampfkurve im Ts-Diagramm. Sie beeinflusst wesentlich die Faktoren Wirkungsgrad, Energieoutput und die generelle Anordnung der Anlagenkomponenten. Die Einteilung ist in Abbildung 23 zu sehen. Man unterscheidet Fluide mit positiver Steigung (trockene Fluide - a), negativer Steigung (nasse Fluide - b) oder nahezu unendlicher Steigung (isentropen Fluide - c). Im Zuge der Erforschung der Fluide wurde herausgefunden, dass die isentropen Fluide für die Nutzung von Niedertemperaturwärme zur Wärmerückgewinnung am geeignetsten sind. (Quelle: Roy, J.P. et al. 2010, Desai, Nishith B.; Bandyopadhyay, Santanu 2009). Weltweit wird in den meisten ORC-Anlagen N-Pentan als organisches Arbeitsmittel eingesetzt, weil es sowohl eine hohe thermische Effizienz besitzt als auch die anlagentechnische Anforderungen gut erfüllt (z.B. Kondensationsdruck über Atmosphärendruck) (Quelle: Desai, Nishith B.; Bandyopadhyay, Santanu 2009). In einer Forschungsarbeit wurde nachgewiesen, dass eine Überhitzung bei der Wärmerückgewinnung von Niedertemperaturwärme zur Stromerzeugung nicht zielführend ist und des-

halb nasse Fluide generell nicht für den ORC-Prozess geeignet sind (Quelle: Hung, Tzu-Chen 2001).

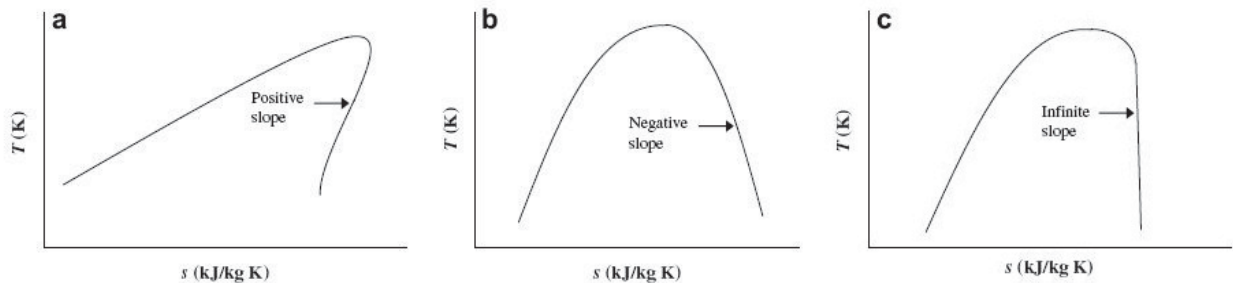


Abbildung 23: Einteilung der ORC-Arbeitsmittel (Quelle: Desai, Nishith B.; Bandyopadhyay, Santanu 2009)

Der ORC-Prozess wurde ursprünglich für die Nutzung von Geothermie als Wärmequelle eingesetzt (Quelle: Kaltschmitt et al. 2006). Mittlerweile ist die Technologie ausgereift und steht als Serienprodukt auch für andere Wärmequellen, wie zum Beispiel zur Nutzung von Prozessabwärme, zur Verfügung. Das Design des Prozesses kann äußerst unterschiedlich ausfallen und wird in der Regel an die erforderlichen Gegebenheiten angepasst. Für die biomassebefeuerte Kraft-Wärme-Kopplung wird derzeit hauptsächlich Thermoöl als Wärmeüberträgermittel zwischen der Feuerung und dem ORC-Kreisprozess eingesetzt (Quelle: Hammer, Andreas; Doletschek, Marianne 2009, Obernberger, Ingwald; Gaia, Mario 2010).

Der ORC-Prozess ist in Abbildung 24 schematisch dargestellt. Das Thermoöl gibt die Wärme in einem Wärmeübertrager (2a - 3) bei einer Temperatur von z.B. 300/250°C an das organische Arbeitsmittel ab. Dadurch wird das organische Arbeitsmittel verdampft und einer langsam drehenden Axialturbine zugeführt. Dort wird das Arbeitsmittel unter Abgabe von mechanischer Energie entspannt (3 - 4). Die Axialturbine ist über eine Welle mit einem Generator gekoppelt, wo die mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt wird. Der entspannte Dampf wird zur internen Wärmerückgewinnung in einen internen Wärmeübertrager (4 - 4a) geleitet, in dem die Energie zur Vorwärmung des organischen Arbeitsmittels (2 - 2a) verwendet wird. Anschließend gelangt der Arbeitsmitteldampf in den Kondensator, wo die Energie als Prozess- oder Fernwärme (4a - 1) ausgekoppelt werden kann. Durch eine Pumpe wird das flüssige organische Arbeitsmittel wieder auf Betriebsdruck gebracht (1 - 2), durch den Regenerator (2 - 2a) geleitet und erneut dem Verdampfer zugeführt. Damit ist der ORC-Kreislauf geschlossen. Die Darstellung des Prozesses im Ts-Diagramm ist in Abbildung 25 zu sehen. Die zusätzlich eingezeichneten Strecken 1 - 2s und 3 - 4s stellen den idealen Verlauf der isentropen Kompression der Pumpe bzw. der isentropen Expansion der Turbine dar (Quelle: Dai, Yiping et al. 2009).

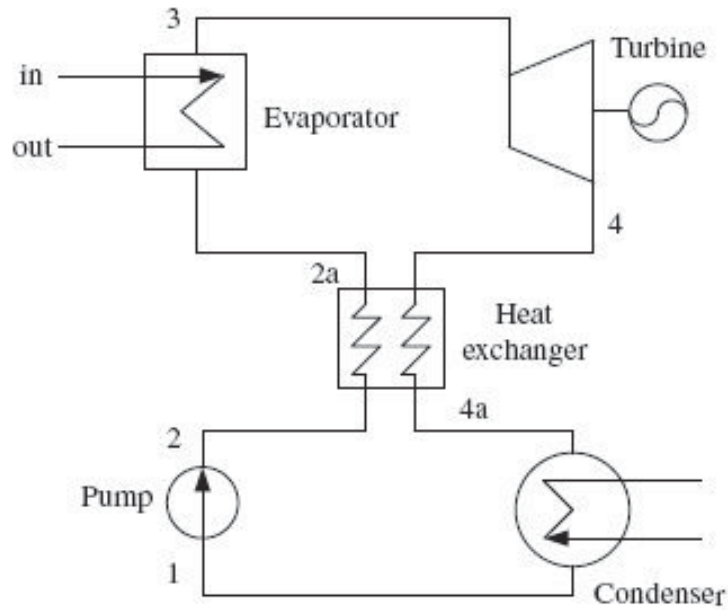


Abbildung 24: Schematische Darstellung des ORC-Prozesses (Quelle: Dai, Yiping et al. 2009)

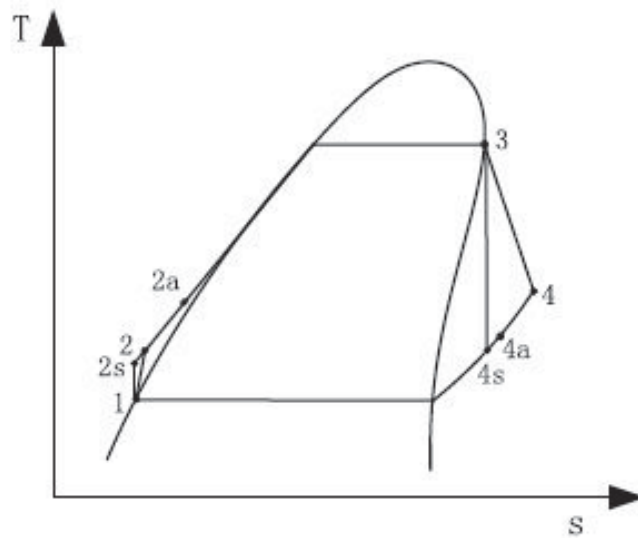


Abbildung 25: Ts-Diagramm des ORC-Prozesses (Quelle: Dai, Yiping et al. 2009)

Der elektrische Wirkungsgrad von ORC-Prozessen liegt bei 13 – 18%. Bei zusätzlicher Nutzung der thermischen Energie steigt der Gesamtwirkungsgrad bis auf über 90%. Die ORC-Anlage der Holzindustrie STIA/Admont erreicht beispielsweise einen elektrischen Wirkungsgrad von 17,7% und einen thermischen Wirkungsgrad von 80%, bei einer thermischen Input-Leistung von 2.250 kW_{th} (Quelle: Obernberger, Ingwald et al. 2010).

Durch die niedrigen Drücke und die geringen Drehzahlen der Axialturbine verringert sich der Verschleiß, was sich positiv auf die Lebensdauer der Turbine auswirkt. Bei Arbeitsmitteln mit einer positiv steigenden oder einer isentropen Satttdampflinie kann sogar sichergestellt werden, dass die Turbine nie in das Nassdampfgebiet entspannt. Somit kann die Gefahr von Tröpfchenschlagerosion ausgeschlossen werden. Da trockene und isentrope Fluide geringere Enthalpiedifferenzen aufweisen als Wasser-Dampf, werden im Allgemeinen Turbinen mit nur einer Schaufelreihe eingesetzt. Statt einer Turbine kommen ebenfalls Schraubenexpander zum Einsatz. Sie sind vor allem bei geringen elektrischen Leistungen und niedrigen Temperaturen vorteilhaft (Quelle: Zahoransky, Richard 2007, Schuster et al. 2009, Hung, Tzu-Chen et al. 1997).

Zusätzlich ist der ORC-Prozess in der Teillastfähigkeit besser als konventionelle Dampfturbinen und Dampfmaschinen. So liegt der elektrische Wirkungsgrad bei 40% der Nennlast noch immer bei 85% des Vollastwirkungsgrades. Des Weiteren ist eine Lastabsenkung auf 10% der Nennlast problemlos möglich (Quelle: Obernberger, Ingwald; Gaia, Mario 2010). Jedoch ist eine möglichst hohe Anzahl an Vollaststunden anzustreben, da diese neben dem internen Zinssatz einer der größten Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer ORC-Anlage ist (Quelle: Schuster et al. 2009).

Die Verwendung von Thermoöl als Wärmeüberträgermittel ermöglicht einen drucklosen Betrieb des Thermoölkreises zwischen Wärmequelle und ORC-Prozess. Wenn die Drücke im ORC-Prozess unter 20 bar liegen, kann laut Dampfkesselverordnung auf einen Dampfkesselwärmer verzichtet werden und somit ein automatischer und unbemannter Betrieb erfolgen, was die Personalkosten reduziert. Nachteilig wirken sich die höheren spezifischen Investitionskosten aus, die vor allem aufgrund der größeren Wärmeübertrager zustande kommen (Quelle: Zahoransky, Richard 2007). Für nähere Informationen zum Thema ORC-Anlagen wird auf die jeweilige Literatur verwiesen.

Für die Stromerzeugung aus Abwärme bei einem Temperaturniveau von maximal 430°C ist die Installation einer ORC-Anlage angedacht. Damit kann die von den Trocknern erzeugte Abwärme zur Erzeugung von hochwertiger Energie in Form von elektrischem Strom und exergetisch geringwertiger Energie in Form von Wärme bei einem Temperaturniveau von 90°C verwendet werden.

Wie bereits in AP1 und in den vorigen Modulen beschrieben, stehen im Jänner 494 kW_{th}, die noch nicht genutzt werden, als Wärmeleistung zur Verfügung. Da die ORC-Anlage jedoch so ausgelegt werden kann, dass sie Wärmeenergie bei 90°C bereitstellt, ist es möglich die Abwärme für die Heizung zu verwenden. Somit stehen für die ORC-Anlage die vollen 1.077 kW_{th} aus dem

Produktionsprozess zur Verfügung. Im Sinne der Wärmeintegration ist es jedoch besser, die Anlagendimensionierung auf den maximalen Heizleistungsbedarf auszulegen. Dieser beträgt, wie bereits erwähnt, im Jänner 583 kW_{th}.

Es wurde angenommen, dass der elektrische Wirkungsgrad 18% (Brutto, maximal bei Nennlast) und der thermische Wirkungsgrad 70% beträgt. Wird die ORC-Anlage für den Nennlastbetrieb auf 850 kW_{th} ausgelegt, erhält man 595 kW_{th} bei einem Temperaturniveau von 70 – 90°C, was zur Deckung des mittleren Heizleistungsbedarfs im Jänner ausreicht. In Tabelle 4 sieht man die Berechnung der zusätzlich benötigten Wärmeleistung und des dazugehörigen Wärmebedarfs.

	Dauer	min. Prozesswärme (200-400°C)	ORC-Wärmeleistungsbedarf (150-300°C)	ORC-Abwärme (80-90°C)	Heizleistungsbedarf Jänner (70-90°C)	Bereitstellung von Wärmeleistung (>300°C)	zusätzlicher Wärmebedarf für ORC-Anlage
Wärmequelle/-senke		Q	S	Q	S	Q	
Medium		Abgas	Thermoöl	Wasser	Wasser		
Einheit	[h]	[kW _{th}]	[kW _{th}]	[kW _{th}]	[kW _{th}]	[kW _{th}]	[kW _{th}]
Mo 0h - Sa 12h	132	1.070	850	595	583	-	-
Sa 12h - Sa 22h	10	436	850	595	583	414	4.140
Sa 22h - So 24h	26	-	850	595	583	850	22.100

Element	Einheit	Definition
Dauer	h	Zeitraum der Betrachtung
min. Prozesswärme (200-400°C)	kW _{th}	Leistung, die vom Prozess zur Verfügung gestellt wird, bei einer Abkühlung des Abgases von 400°C auf 200°C
ORC-Wärmeleistungsbedarf (150-300°C)	kW _{th}	Leistung, die von der ORC-Anlage benötigt wird, um in Nennlast betrieben zu werden; Thermoöltemperatur ca. 150 - 300°C
ORC-Abwärme (80-90°C)	kW _{th}	Leistung, die von der ORC-Anlage an die Rückkühlung abgegeben wird; die Rückkühltemperatur beträgt 80 - 90°C
Heizleistungsbedarf Jänner (70-90°C)	kW _{th}	mittlere Leistung, die für die Heizung bei einem Temperaturniveau von 70 - 90°C im Jänner benötigt wird
Bereitstellung von Wärmeleistung (>300°C)	kW _{th}	zusätzliche mittlere Leistung, die von der ORC-Anlage benötigt wird, um bei Nennlast betrieben zu werden (ORC-Wärmeleistungsbedarf minus min. Prozesswärme); die Temperatur muss mindestens 300°C betragen
zusätzlicher Wärmebedarf für ORC-Anlage	kWh _{th}	zusätzlicher Wärmebedarf, der sich aus der Multiplikation der Dauer mit der Wärmeleistung ergibt

Tabelle 4: Berechnungen zur Auslegung der ORC-Anlage (Quelle: Eigene Berechnungen)

Für die Berechnung wurden 8.000 Betriebsstunden angenommen. Die Stillstandszeiten werden in den Sommer gelegt, wenn kein Heizwärmebedarf besteht. Über das Jahr gerechnet beträgt der thermische Gesamtenergiebedarf der ORC-Anlage 6.800.000 kWh_{th}. Davon müssen 1.249.524 kWh_{th} zusätzlich durch eine Wärmequelle bei einer Temperatur von mehr als 300°C bereitgestellt werden (z.B. durch eine Alternativ-Feuerung), da der Wärmebedarf in der produktionsfreien Zeit nicht durch die Prozesswärme bereitgestellt werden kann.

Bei der Annahme, dass durch den ORC-Prozess 95% des Jahresheizenergiebedarfs abgedeckt werden, ergibt dies eine Einsparung an Nutzenergie von 503.928 kWh_{th}, die derzeit durch fossile Energieträger für die Beheizung von Bürogebäuden und Hallen bereitgestellt werden. Die restli-

chen 5% dienen der Spitzenlastabdeckung an den besonders kalten Tagen. Die erzeugte elektrische Energie beträgt 1.224.000 kWh_{el} pro Jahr. Davon ist noch der Eigenverbrauch der Anlage von ca. 5% abzuziehen (Quelle: Turboden 2011). Für die Rückkühlung muss zusätzliche eine maximale Leistung von 595 kW_c zur Verfügung gestellt werden.

Bei ausschließlicher Nutzung der Prozesswärme für den Betrieb der ORC-Anlage, verringern sich die Volllaststunden und die Anlage müsste wöchentlich herunter- und wieder hochgefahren werden. Damit die Anzahl der Betriebsstunden der ORC-Anlage so hoch wie möglich ist, muss die erforderliche Leistung in der produktionsfreien Zeit anderweitig bereitgestellt werden. Laut Herrn Obernberger ist es problemlos möglich die ORC-Anlage in einem Lastbereich von 10 – 100% zu betreiben (Quelle: Obernberger, Ingwald; Gaia, Mario 2010). Das bedeutet, dass bei einer Lastabsenkung in der produktionsfreien Zeit, die zusätzliche Bereitstellung von Wärmeleistung außerhalb der Heizsaison reduziert werden kann. Das wird vor allem dann gemacht, wenn keine Wärmeenergie benötigt wird und die Kosten für die zusätzliche Bereitstellung von Wärme den Ertrag aus dem Verkauf der produzierten elektrischen Energie übersteigen.

S: Das Druck-Volumen-Produkt liegt über dem Grenzwert, weshalb die Druckgeräterichtlinie beachtet werden muss. Es wird mit hohen Temperaturen gearbeitet (Thermoöl, Zusatzfeuerung, Arbeitsmitteldampf), die unter Umständen zugänglich sind. Eine Beschädigung des Systems kann zu Verbrühungen führen. Des Weiteren besteht je nach verwendetem organischem Arbeitsmittel die Gefahr von Bränden.

V: Es gibt keine nationalen Technologie-Anbieter und regionalen Servicestellen. Der Leistungsbedarf deckt sich nicht ganz mit dem Leistungsangebot (Zusatzfeuerung in der produktionsfreien Zeit, keine Wärmeabnahme außerhalb der Heizsaison).

M: Das System gilt als sehr entwickelt und wurde bereits zur Serienreife gebracht. Die Anlagen sind standardisiert erhältlich und werden gegebenenfalls an den Kundenbedarf angepasst.

I: Der Platzbedarf ist größer als die Platzverfügbarkeit, weshalb bauliche Änderungen durchzuführen sind (Thermoöl-Wärmeübertrager und –Kreislauf, ORC-Anlage und Rückkühlsystem, etc.). Ebenso ist zu beachten, dass das Heizungssystem umgestellt werden muss, eine Einbindung in die Abgasströme vorgesehen ist und eine Anbindung an das Stromnetz nötig ist. Des Weiteren ist ein personeller Aufwand zur Regelung der Zusatzfeuerung und die Anpassung an den Heizwärmebedarf nötig. Zusätzlich ist mit mehr als drei Zusatzaggregaten zu rechnen.

R: Wie bereits erwähnt, ist eine Regelung an den produktionsfreien Tagen nötig. Die Teillastfähigkeit ist ausgezeichnet, allerdings muss im niedrigen Lastbereich mit Leistungseinbußen gerechnet werden.

C: Das CO₂-Reduktionspotential ist trotz Zusatzfeuerung (für die Berechnungen wurde Biomasse als Brennstoff angenommen) nahezu 100%. Durch den Einsatz von Abwärme und erneuerbare Energieträger wird die elektrische Stromaufnahme aus dem Netz reduziert und die fossil befeuerte Heizung ersetzt.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich das in Abbildung 26 dargestellte Bild. Die vollständige technoökologische Bewertung befindet sich im Anhang.

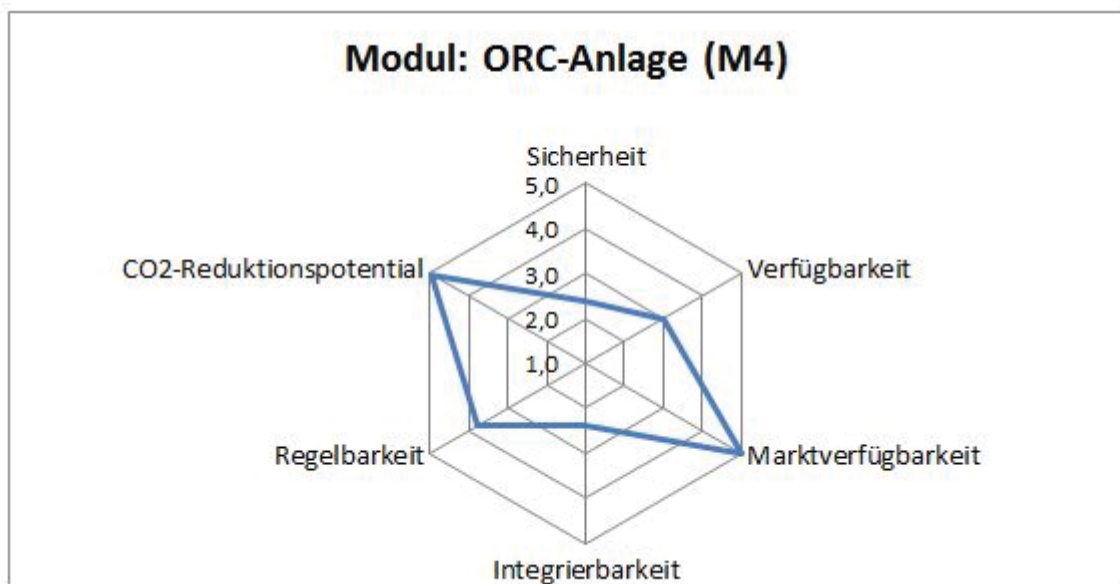


Abbildung 26: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung der ORC-Anlage (M4) (Quelle: Eigene Darstellung)

3.2.5 Modul: BHKW-Trockner (M5)

Das bei den Trocknern der Rollenoffset-Maschinen eingesetzte Erdgas kann durch eine kombinierte Nutzung von Kraft und Wärme (KWK – Kraft-Wärme-Kopplung) energetisch besser genutzt werden. Das kann durch eine Verstromung des Erdgases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) realisiert werden. Zusätzlich ergibt sich die Möglichkeit, Biogas statt Erdgas im BHKW einzusetzen. Zu beachten ist in diesem Fall jedoch, dass die beiden Grundfunktionen des Trockners permanent gewährleistet werden müssen:

- Verbrennung der lösungsmittelbeladenen (Verbrennungs-)Luft in der Trockenkammer bei mindestens 770°C und
- Wärmebereitstellung, damit die Temperatur in Sektor 1 des Trockners bei 300°C erreicht und gehalten werden kann.

Wie bereits oben erwähnt wurde, sind die Trockner auf diese beiden Funktionen und den minimalen Erdgasverbrauch optimiert. Durch eine Erhöhung des Erdgaseinsatzes kann das Temperaturniveau angehoben werden und damit eine Gasturbine bzw. ein Gasmotor betrieben werden, der einen Teil der Energie in elektrischen Strom umwandelt und den Rest der Energie für den Trockenprozess bereitstellt. Das entspricht dem Prinzip des Topping Cycle, in dem zuerst die Stromerzeugung stattfindet und die Abwärme für die weiteren Prozesse genutzt wird (Quelle: NaturalGas 2011).

Das Konzept greift in den bestehenden Trockner ein und ersetzt die Gasbrenner durch ein BHKW. Die Regelung bleibt jedoch weitgehend unverändert. In Abbildung 27 ist das Konzept schematisch dargestellt.

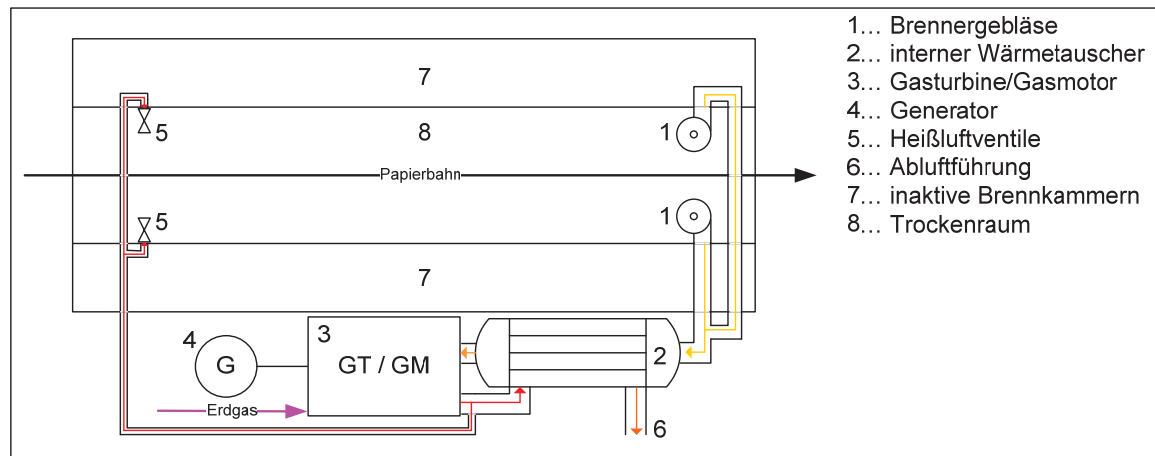


Abbildung 27: BHKW-Trockner Konzept (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Ankopplungspunkte des BHKW an den bestehenden Trockner sind die beiden Brennergebläse (1) und die beiden Heißluftventile (5). Die bestehende Brennkammer (7) wird somit übergangen und inaktiv gesetzt. Sowohl die Darstellung der inaktiven Brennkammern (7), als auch die des Trockenraums (8) erfolgt ohne die vorhandenen Einbauten. Das heißt, in Abbildung 27 sind ausschließlich die für den BHKW-Trockner wichtigen Komponenten eingezeichnet.

Von den Brennergebläsen (1) wird die lösungsmittelbeladene Verbrennungsluft über den Wärmetauscher geleitet, wo sie durch das Abgas vorgewärmt wird. Danach tritt sie in die Gasturbine bzw. den Gasmotor (3) ein, um dort mit Erdgas oder Biogas verbrannt zu werden. Der Generator (4) ist über eine Welle mit der Gasturbine bzw. dem Gasmotor (3) verbunden und wandelt die Bewegungsenergie in elektrische Energie um. Das bei der Verbrennung entstehende Abgas wird zum Teil durch die Heißluftventile (5) in den Trockenraum (8) geleitet. Die Steuerung der Heißluftventile (5) erfolgt wie gehabt über die Solltemperaturregelung. Der Rest des Abgases wird über den Wärmetauscher (2) geleitet, um die Verbrennungsluft vorzuwärmen und wird dann in die Abluftführung (6) geleitet. Dort kann die restliche Enthalpie des Abgases mittels weiterer Wärmetauscher genutzt werden.

Das oben beschriebene Konzept wird von der Herstellerfirma der Trockner als möglich bezeichnet, doch es gibt keine Entwicklung in die Richtung dieses modifizierten Trockner-Konzepts zur kombinierten KWK. Ebenso wird für eine Modifizierung der bestehenden Anlagen keine Gewährleistung übernommen (Quelle: Goss 2010). Aus diesem Grund und dem erhöhten technischen Risiko, wird dieses Modul nicht zur Umsetzung empfohlen.

S: Die Verbrennungsluft ist mit flüchtigen organischen Kohlenwasserstoff-Verbindungen aus dem Lösungsmitteldampf belastet, die als giftig eingestuft werden. Sowohl Erdgas, als auch die lösungsmittelbelastete Verbrennungsluft sind im richtigen Mischungsverhältnis explosionsfähig. Da es eine Zündquelle und Zugang zu Sauerstoff gibt, ist eine Explosion möglich. Es gibt zugängliche Rohrleitungen zwischen Trockner und BHKW, die heiße Verbrennungsluft und die Rauchgase transportieren. Bei einer Beschädigung des Systems können Rauchgase und giftige flüchtige organische Kohlenwasserstoff-Verbindungen austreten. Des Weiteren besteht Explosionsgefahr.

V: Mit Jenbacher ist ein nationaler Technologie-Anbieter vorhanden. Die Rohstoffanbieter (für Erdgas bzw. Biogas) sind allerdings begrenzt. Die Leistungsbereitstellung kann je nach Bedarf gesteuert werden.

M: Die Technologie ist bereits seit langem bekannt und erprobt. Es gibt sowohl für Erdgas als auch für Biogas standardisierte Systeme am Markt.

I: Der zusätzliche Platzbedarf existiert für alle drei Trockner der Rollenoffset-Maschinen. Die Integrierbarkeit in das bestehende System ist aufwendig, es erfordert eine technische Neuentwicklung des Trocknerprinzips mit entsprechender Forschungs- und Entwicklungstätigkeit. Die Regelungsparameter sind anzupassen. Des Weiteren wird ein Hauptaggregat (Trockner) in

seiner Funktionsfähigkeit beeinflusst. Ebenso sind mehr als drei zusätzliche Aggregate zu berücksichtigen (Generator, Netzanschluss, Verbrennungsluft- und Rauchgas-Kanal, Steuerungsgerät, Rückkühlung)

R: Die Teillastfähigkeit kann als gut betrachtet werden, im unteren Lastbereich muss jedoch mit Wirkungsgradeinbußen gerechnet werden. Eine Überwachung der Regelung ist nach einer Initialeinstellung nicht nötig.

C: Das CO₂_{Äqu}-Reduktionspotential ist für den Betrieb mit Erdgas negativ (-8,4%), das heißt es wird vom BHKW mehr CO₂_{Äqu} ausgestoßen als bei der direkten Verbrennung von Erdgas im Trockner und Stromzukauf aus dem Netz. Gründe für diesen Wert sind der niedrige elektrische Wirkungsgrad von ca. 40% beim BHKW im Vergleich zu einem Wirkungsgrad von 50-60% bei Kombi-Kraftwerken und der hohe Anteil an Wasserkraft im österreichischen Strommix. Wird statt Erdgas Biogas eingesetzt, beträgt das CO₂_{Äqu}-Reduktionspotential 24,4%.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich das in Abbildung 28 dargestellte Bild. Die vollständige technoökologische Bewertung befindet sich im Anhang.

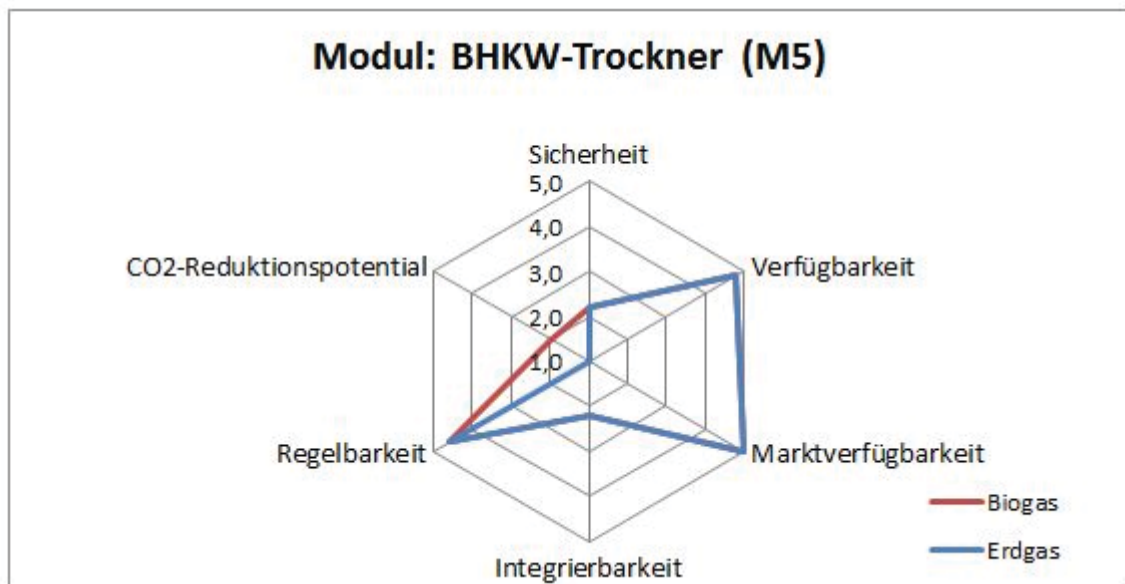


Abbildung 28: Netzdiagramm der technoökologischen Bewertung des BHKW-Trockners (M5) (Quelle: Eigene Darstellung)

3.2.6 Ersatz von Heizöl durch Erdgas

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des CO₂_{Äqu}-Ausstoßes kann ohne zusätzliche Investitionskosten oder bauliche Maßnahmen erreicht werden, indem die beiden getrennten Heizkreise durch Öffnen der Ventile miteinander verbunden und ausschließlich mit den Erdgasbrennern betrieben werden. In AP1 wurden die installierten Leistungen der Brenner bereits erwähnt. Sie lauten wie folgt:

- Gasbrenner 1: 350 kW
- Gasbrenner 2: 550 kW (Reserve bzw. Spitzenlast)
- Ölbrenner 1: 502 kW (Reserve bzw. Spitzenlast)
- Ölbrenner 2: 530 kW

Durch Ersatz von Ölbrenner 1 durch Gasbrenner 2 könnte das Gros des Heizenergiebedarfs gedeckt und beide Ölbrenner als Ausfallsicherung und zu Spitzenlastabdeckung verwendet werden. Somit könnte im Normalbetrieb auf die Heizölbrenner verzichtet werden. Die geringeren spezifischen Emissionen aus der Verbrennung von Erdgas gegenüber der von Heizöl wären als Einsparung zu rechnen.

Die technische Durchführbarkeit muss nicht näher betrachtet werden, da der Gasbrenner bereits installiert und in das System eingebunden ist. Das CO₂_{Äqu}-Reduktionspotential beträgt 25%, was einer spezifischen CO₂_{Äqu}-Einsparung von 78,009 g_{CO2Äqu}/kWh_{th} entspricht. Die genaue ökologische Bewertung befindet sich im Anhang.

Die ersten fünf Module zur Reduktion des CO₂_{Äqu}-Ausstoßes und der Erhöhung der Energieeffizienz wurden vorgestellt und technoökologisch bewertet. Damit wird AP2 abgeschlossen.

4 Möglichkeiten der Integration erneuerbarer Energien in den Produktionsprozess (AP3)

Das Ziel dieses Arbeitspakets ist es, mögliche Varianten zur Integration von erneuerbaren Energien in den Druckereiprozess zu finden und zu analysieren. Die eingesetzte Methodik ist die Erhebung von Hintergrundinformationen, die einen Einsatz der beschriebenen Varianten ermöglichen.

Basierend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Arbeitsschritte können nun konkrete Aussagen über den grundsätzlichen Einsatz von verschiedenen erneuerbaren Energieträgern getroffen werden. Die Auswahl erfolgt auf Grund der Temperaturniveaus, der zeitlichen Verfügbarkeit bzw. dem zeitlichen Bedarf und den optimierten Prozessparametern.

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, werden hier die Module 6 bis 10 vorgestellt, die die erneuerbaren Energien behandeln.

4.1 Module

4.1.1 Modul: Alternativ-Feuerung (M6)

Das Ziel der Alternativ-Feuerung ist es, die bestehenden fossil gefeuerten Brenner für die Heizung zu ersetzen. Die Nutzenergie, die durch die Alternativ-Feuerung für die Raum- und Hallenbeheizung bereitgestellt werden soll, beträgt ca. 530.451 kWh_{th} pro Jahr bei einem Temperaturniveau von 70-90°C.

Bei der Dimensionierung ist zu beachten, dass je zwei Gas- und Ölbrenner vorhanden sind, wovon jeweils nur einer genutzt wird und der zweite Brenner als Ausfallsicherung bereit steht. Deshalb wäre es sinnvoll die Alternativ-Feuerung so zu dimensionieren, dass Gasbrenner 1 mit 350 kW und Ölbrenner 2 mit 530 kW ersetzt wird. Somit beträgt die Leistungsanforderung 880 kW. Mit einem Kesselwirkungsgrad von 85% ergibt das eine thermische Leistung von 748 kW_{th}. Das deckt die durchschnittliche Leistung des Heizenergiebedarfs vom Jänner (583 kW_{th}) mit einer Leistungsreserve von ca. 28% nach oben hin ab. Damit eine einzelne Anlage die beste-

henden vier Brenner ersetzen kann, muss ein Wärmeaustausch zwischen den beiden Heizkreisen gewährleistet werden. Das kann einfach durch das Öffnen der Ventile, die die beiden Heizkreise voneinander trennen, erreicht werden.

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, ist die Leistungsanforderung an die zusätzliche Beheizung auf die produktionsfreie Zeit und zur Spitzenabdeckung an besonders kalten Tagen im Jahr beschränkt. Daraus resultiert eine relativ geringe Anzahl an Betriebsstunden pro Jahr, was einen niedrigen Jahresnutzungsgrad ergibt. Um den Jahresnutzungsgrad zu steigern, muss ein zusätzlicher Wärmeabnehmer zur Verfügung stehen. Wie bereits beschrieben, kann eine Alternativ-Feuerung in eine ORC-Anlage (M4) integriert und damit Strom gewonnen werden. Um diesen zusätzlichen Wärmebedarf zu decken, muss die Alternativ-Anlage größer dimensioniert werden. Aus der Beschreibung von M4 kann man entnehmen, dass der zusätzliche Energiebedarf (Nutzenergie) pro Jahr $1.249.524 \text{ kWh}_{\text{th}}$ beträgt. Die installierte Leistung muss, unter Berücksichtigung eines Kesselwirkungsgrades von 85%, 1000 kW entsprechen. Das Temperaturniveau ist an die ORC-Anlage anzupassen und beträgt etwa $250\text{-}300^\circ\text{C}$. Mit dem Betrieb der ORC-Anlage können rund 95% des Heizenergiebedarfs gedeckt werden und müssen nicht mehr gesondert bereitgestellt werden.

Das Temperaturniveau kann weitgehend frei gewählt werden. Es reicht sowohl für den Betrieb mit Thermoölen zur Verwendung als KWK, als auch für die Auskopplung von Wärme für die Heißwasserbereitstellung. Die zeitliche Verfügbarkeit ist von der Verfügbarkeit des Brennstoffs abhängig und kann bedarfsgesteuert betrieben werden. Die Berechnung des Leistungsbedarfs wirkt sich direkt auf die Module M8, M9 und M10 aus. Die Alternativ-Feuerung ist nur mit diesen Modulen zu betreiben.

4.1.2 Modul: Sonnenenergie (M7)

Die für die solarthermische Nutzung zur Verfügung stehende Dachfläche beträgt insgesamt ca. 3.000 m^2 . Davon sind 750 m^2 direkt nach Süden und der Rest nach Süd-Westen gerichtet. Da die Hallen- und Bürodächer flach ausgeführt sind, müssen die Sonnenkollektoren aufgeständert werden, um einen besseren Ertrag zu erreichen.

Der zusätzliche Wärmebedarf der Druckerei Berger, der nicht durch Prozesswärme abgedeckt wird, wird ausschließlich in der Heizperiode an den produktionsfreien Tagen und an besonders kalten Wintertagen benötigt. In diesem Zeitraum ist der solare Wärmeertrag jedoch am gerings-

ten, weshalb eine Langzeitspeicherung der Wärme in einem Puffer erforderlich wäre. Dieser Pufferspeicher könnte allerdings, wie bereits in M1 beschrieben, ebenso von der Überschusswärme der Produktionsprozesse geladen werden. Somit würden zusätzlich Investitionskosten für die Sonnenkollektoren und erforderliche Komponenten anfallen.

Das Temperaturniveau reicht bei konventionellen Sonnenkollektoren zur Erzeugung von Heißwasser (70-90°C), jedoch nicht für Temperaturen zur Prozesswärmebereitstellung (>250°C). Die zeitliche Verfügbarkeit ist von der Jahreszeit und vom Wetter abhängig und steht dann maximal zur Verfügung, wenn keine Wärme in dem erreichbaren Temperaturniveau benötigt wird.

Im Sinne der Wärmeintegration und im Vergleich zu anderen Optionen der Energiebereitstellung in diesem Temperaturniveau wird dieses Modul als wenig empfehlenswert eingestuft.

4.1.3 Modul: Biogas-Einsatz (M8)

Biogas entsteht beim anaeroben Abbau (Ausschluss von Sauerstoff) von organischen Substanzen (Biomasse). Dieser bio-chemische Abbauprozess wird von Mikroorganismen durchgeführt und wird auch als Methangärung bezeichnet. „Unter Biogas versteht man ein wasserdampfgesättigtes Gasmisch, das im Wesentlichen aus Methan (CH₄) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) besteht.“ (Quelle: zit. nach Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009, S. 421) Je nach Anlagentyp und eingesetztem Substrat kann die Zusammensetzung des Gemisches schwanken. Die durchschnittliche Zusammensetzung ist in Tabelle 5 zu sehen. Der Heizwert vom Biogas ist vom Methananteil abhängig und beträgt zwischen 14 und 29 MJ/m³ (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009).

Bestandteil	chem. Formel	Konzentration
Methan	CH ₄	50 - 70 Vol.-%
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	25 - 40 Vol.-%
Wasser	H ₂ O	2 - 7 Vol.-%
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	20 - 20 000 ppm
Stickstoff	N ₂	< 2 Vol.-%
Sauerstoff	O ₂	> 2 Vol.-%
Wasserstoff	H ₂	< 1 Vol.-%

Tabelle 5: Durchschnittliche Biogaszusammensetzung (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009)

Der anaerobe Abbau erfolgt in vier Phasen und wird von mehreren Organismenstämmen durchgeführt. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 29 zu sehen. In der ersten Phase, der Hydrolyse, werden die langkettigen Polymere (z.B. Kohlenhydrate, Eiweiße, Fette) mit Hilfe von Enzymen in einfachere Verbindungen zerlegt (z.B. Aminosäuren, Zucker, Fettsäuren). Dieser Prozess verläuft im Verhältnis zu den anderen Phasen langsam.

In der zweiten Phase geschieht die Versäuerung. Der noch verbleibende Sauerstoff wird von den acidogenen Bakterien verbraucht und schafft dadurch die nötigen anaeroben Bedingungen für die methanogenen Bakterien in der letzten Phase. Es entstehen kurzkettige organische Säuren (z.B. Essigsäure, Ameisensäure, Buttersäure, Propionsäure), niedermolekulare Alkohole (z.B. Ethanol), Kohlenstoffdioxid, Schwefelwasserstoff und Ammoniak.

Die zuvor freigesetzten Produkte werden in der dritten Phase weiter umgesetzt. Die acetogenen Bakterien erzeugen die für die letzte Phase wichtigen Ausgangsprodukte (Essigsäure, Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff). Die abschließende Phase dient der Methanbildung. Außerdem werden Kohlenstoffdioxid und Wasser erzeugt (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009, Eder, Barbara; Schulz, Heinz 2006).

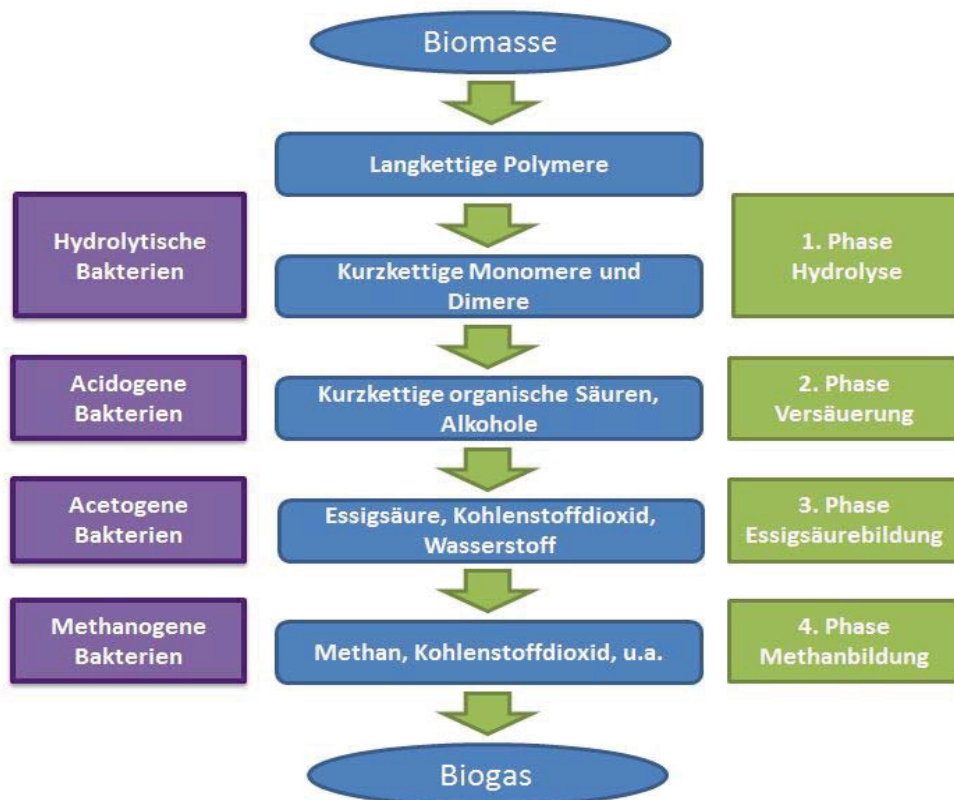


Abbildung 29: Schematische Darstellung des anaeroben Abbaus (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009)

Dieser Abbau der Organik erfolgt ausschließlich in feuchtem Milieu, da die Bakterien nur gelöste Stoffe umsetzen können. Der bio-chemische Abbauprozess ist temperaturabhängig, wobei unterschiedliche Bakterien verschiedene Temperaturfenster bevorzugen. Es gibt drei charakteristische Temperaturbereiche, in denen sich die jeweiligen Bakterienstämme am besten vermehren:

- Psychrophile Stämme: $T < 25^{\circ}\text{C}$
- Mesophile Stämme: $25^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$
- Thermophile Stämme: $T > 45^{\circ}\text{C}$

Die Aktivität der Bakterien nimmt mit steigender Temperatur zu, wobei darauf zu achten ist, dass die Organismen nicht durch zu hohe Temperaturen abgetötet werden. Forschungen haben ergeben, dass die Temperaturkonstanz wichtiger ist als die absolute Temperatur, da sich die Bakterien an die jeweilige Umgebung anpassen. Dies geschieht jedoch langsam. In Praxisanlagen ist eine klare Trennung der Temperaturfenster allerdings nicht möglich, weshalb ein Kompromiss eingegangen werden muss (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009, Eder, Barbara; Schulz, Heinz 2006). Da die methanogenen Bakterien die geringste Wachstumsrate haben und auf Störungen am empfindlichsten reagieren, werden die Milieubedingungen (z.B. pH-Wert, Temperatur) oft nach den Bedürfnissen dieser Mikroorganismen ausgerichtet. In Deutschland werden die meisten Fermenter im mesophilen Temperaturbereich bei $38\text{-}42^{\circ}\text{C}$ betrieben (Quelle: Eder, Barbara; Schulz, Heinz 2006, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010).

Für die Abbaubarkeit der organischen Substanzen ist das Vorhandensein von genügend Nährstoffen und Spurenelementen von wesentlicher Bedeutung. In der Literatur wird ein C:N:P:S-Verhältnis von 600:15:5:1 vorgeschlagen sowie ein geringer Gehalt an Schad-, Stör- und Hemmstoffen (Quelle: Weiland, Peter 2001).

Neben der Vergärung von Energiepflanzen (z.B. Maissilage, Getreideganzpflanzensilage) eignen sich auch Rückstände und Nebenprodukte aus der Landwirtschaft (z.B. Gülle, Zuckerrübenblätter), der Lebensmittelbe- und -verarbeitung (z.B. Molke, Schlempe, Fruchtrückstände, Traubentrester) sowie organische Abfälle aus der Gastronomie, Kommunen und Schlachthöfen. Lediglich verholztes Material kann schlecht anaerob abgebaut werden und eignet sich daher nicht für den Einsatz in Biogasanlagen (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009).

Mais besitzt eine sehr gute Vergärungseignung und die Ernteerträge je Hektar sind mit durchschnittlich 45 t FM/ha (Tonne Frischmasse pro Hektar) hoch, daher eignet er sich besonders gut

für die Biogasproduktion. Das ist auch ein Grund, weshalb Mais bzw. Maissilage in landwirtschaftlichen Biogasanlagen häufig eingesetzt wird. Getreidekörner sind durch ihre schnelle Abbaubarkeit und die hohen Biogaserträge als Ergänzung besonders gut geeignet für die Feinsteuerung von Biogasanlagen. Auch der Anbau und die Ernte von Gras sind gut mechanisierbar, weshalb die Nutzung von Grassilage als Substrat, nach der von Maissilage, am häufigsten gewählt wird (Quelle: Walla, C.; Schneeberger, W. 2008). Der Ernteertrag liegt bei Grassilage im Mittel bei 30 t FM/ha, wobei dieser Wert großen Schwankungen unterliegt (Quelle: Pucker, Johanna et al. 2010, Prochnow, A. et al. 2009). In Tabelle 6 sind einige Kenndaten von Mais-silage, Getreidekörner und Grassilage angeführt (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010). In Tabelle 6 stehen die Bezeichnungen TS für Trockensubstanz und oTS für organische Trockensubstanz. Diese Kenndaten sind wichtig für den Betrieb der Biogas-Anlage und für die Ausbeute.

Substrat	TS [%]	oTS [% TS]	Biogasertrag [Nm ³ /t FM]	CH ₄ -Ertrag [Nm ³ /t FM]	CH ₄ -Ausbeute [Nm ³ /t oTS]
Nachwachsende Rohstoffe					
Maissilage	33	95	200	106	340
Getreidekörner	87	97	620	329	389
Grassilage	35	90	180	98	310

Tabelle 6: Biogaserträge ausgewählter Substrate (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010)

Neben dem eingesetzten Substrat und den Milieubedingungen hat auch die Verweilzeit einen wesentlichen Einfluss auf die Gasausbeute. Je länger die Verweilzeit, desto höher ist die Gesamtausbeute an Biogas. Allerdings müsste dafür der Faulraum entsprechend groß gestaltet werden, was gegen einen ökonomischen Betrieb der Biogasanlage spricht. Da die Biogas-Freisetzung über den zeitlichen Verlauf ein Maximum aufweist und danach wieder sinkt, ist es sinnvoll die Anlagengröße dahingehend auszurichten und zu optimieren. Eine geeignete Kennzahl dafür ist die Faulraumbelastung (Quelle: Eder, Barbara; Schulz, Heinz 2006, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010).

Die Faulraumbelastung ist jene Menge an organischer Trockensubstanz, die pro Tag und Kubikmeter Faulraum der Anlage zugeführt wird (kg oTS/m³.d). Die Höhe dieses Wertes ist abhängig

von der eingesetzten Fermenter-Bauform, der Temperatur und der Verweilzeit. Häufig wird eine Faulraumbelastung zwischen 2 und 3 kg oTS/m³.d eingestellt. Sie kann als Kontrollparameter für die Auslastung der Anlage verwendet werden und muss bereits bei der Planung und Dimensionierung der Anlage berücksichtigt werden (Quelle: Eder, Barbara; Schulz, Heinz 2006).

Eine landwirtschaftliche Biogasanlage kann unabhängig von der Betriebsweise in vier verschiedene Verfahrensschritte unterteilt werden (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009):

- Substrathandling: Anlieferung, Lagerung, Aufbereitung, Transport und Einbringung
- Biogasgewinnung: Vergärung im Fermenter
- Gärrestlagerung, -aufbereitung und -ausbringung
- Biogasspeicherung, -aufbereitung und -verwertung

In Abbildung 30 ist der Verfahrensablauf grafisch dargestellt. Für diese Arbeit sind vor allem die Verfahrensschritte 2 und 4 von Bedeutung.

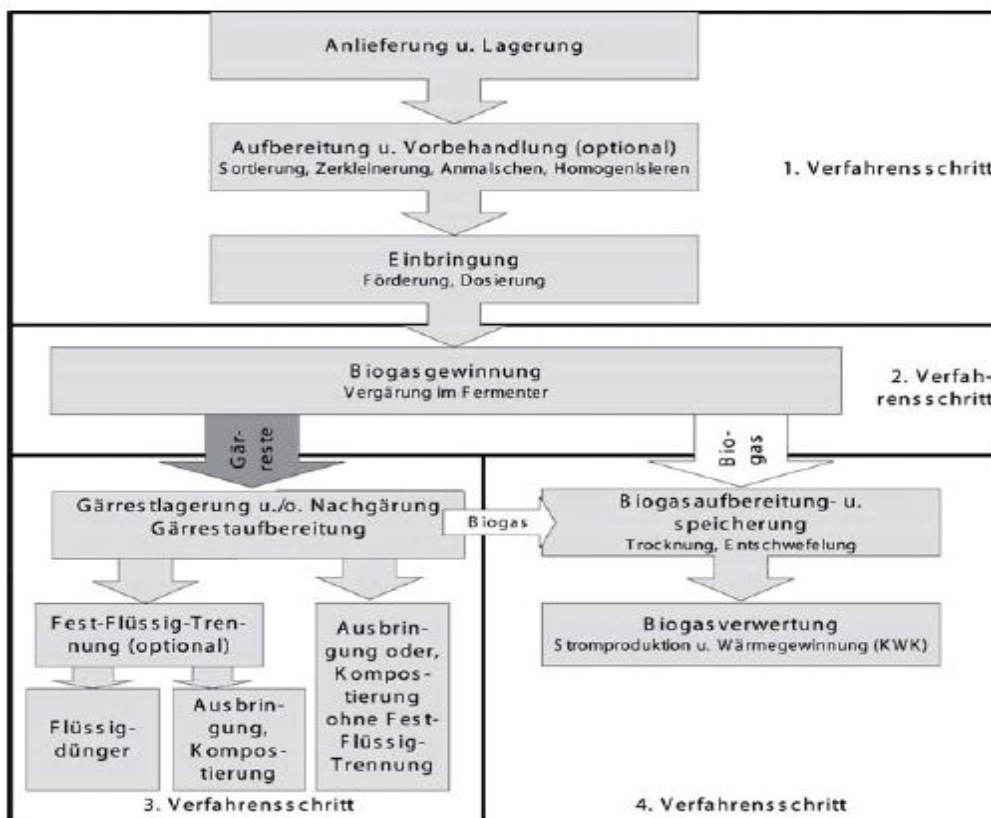


Abbildung 30: Verfahrensablauf bei der Biogas-Erzeugung (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010)

Die Biogasgewinnung findet hauptsächlich im Fermenter statt, der das Kernstück der Biogasanlage darstellt. Bei der anlagentechnischen Gestaltung und Verfahrenstechnik des Fermenters unterscheidet man nach folgenden Merkmalen (Quelle: Eder, Barbara; Schulz, Heinz 2006):

- Beschickung: kontinuierlich, diskontinuierlich (Batchprinzip)
- Mischung: volldurchmischt (Rührkessel), längs durchströmt (Pfropfenprinzip), Berieselung (Feststoffverfahren)
- Trennung der Prozessstufen: einstufig, zwei- und mehrstufig
- Konsistenz des Substrats: Nassverfahren, Feststoffverfahren
- Fermentertemperatur: mesophil, thermophil
- Bauformen: liegend (längs durchströmt), stehend (voll durchströmt)
- Baustoff: Beton, Stahl

Die direkte Nutzung des Biogases ist wegen der biogasspezifischen Inhaltsstoffe meist nicht möglich, deshalb muss je nach Verwendungszweck eine weitere Aufbereitung stattfinden. Dazu zählen (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010):

- Feststoffabscheidung
- Entschwefelung
- Trocknung
- CO₂-Abscheidung
- Sauerstoffentfernung
- Entfernung weiterer Spurengase
- Aufbereitung auf Erdgas-Qualität

Für die nachfolgende Nutzung des Biogases sind zumindest eine Feststoffabscheidung und eine Entschwefelung durchzuführen. Für eine weitere Aufbereitung, um einen Methangehalt von >95% zu erhalten, muss zusätzlich eine Trocknung und CO₂-Abscheidung erfolgen. In weiterer Folge wird Biogas mit dieser Aufbereitungsstufe Biomethan genannt. Für die Einspeisung in das Erdgasnetz sind dann noch Sauerstoff und etwaige Spurengase zu entfernen sowie eine Anpassung an die jeweilige Erdgasqualität durchzuführen (Odorierung, Druckanpassung, Brennwertanpassung).

Laut Rösch liegt der lebenszyklusbezogene Ausstoß an $\text{CO}_2^{\text{Äqu}}$ bei $136 \text{ g}_{\text{CO}_2^{\text{Äqu}}}/\text{kWh}$ für Biogas aus Grassilage (Quelle: Rösch, C. et al. 2009). Für Biomethan erhöht sich dieser Wert, da zusätzliche Energie für die weitere Aufbereitung notwendig ist und der Methanschluß berücksichtigt wird. Der Wert liegt bei $157,7 \text{ g}_{\text{CO}_2^{\text{Äqu}}}/\text{kWh}$ (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009, Eigene Berechnungen).

Walla und Schneeberger haben in ihrer Studie, unter der Berücksichtigung des Standortes Österreich, die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen behandelt und die optimale Größe dieser errechnet. Sie haben die Verfügbarkeit des eingesetzten Substrats in der Umgebung als Hauptfaktor für die Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage ermittelt (Quelle: Walla, C.; Schneeberger, W. 2008). Die Biogas-Technologie ist eine ausgereifte Technologie, obwohl Verbesserungspotential in Hinsicht auf Effizienzsteigerung vorhanden ist (Quelle: Murphy, Jerry D.; Power, Niamh M. 2009). Für nähere Informationen zum Thema Biogas und Biogasanlagen wird auf die jeweilige Literatur verwiesen.

In der Druckerei Berger kann Biogas an mehreren Stellen eingesetzt werden. Zum einen kann damit die Beheizung der Bürogebäude und Hallen übernommen werden, zum anderen ist es möglich, die mit Erdgas befeuerten Trockner der Rollenoffset-Maschinen zu betreiben. Abschließend bietet sich, wie in M4 und M6 beschrieben wurde, noch die Möglichkeit, den zusätzlichen Wärmebedarf der ORC-Anlage durch eine Alternativ-Feuerung bereitzustellen.

Wie bereits in AP1 erwähnt, kann die Beheizung der Bürogebäude und Hallen technisch problemlos auf alternative Brennstoffe umgestellt werden. In M6 wurde der Nutzenergiebedarf von $530.451 \text{ kWh}_{\text{th}}$ pro Jahr und eine Leistungsbereitstellung von $748 \text{ kW}_{\text{th}}$ bei einer Temperatur von $70\text{-}90^\circ\text{C}$ für die Dimensionierung der Alternativ-Feuerung erwähnt. Wenn Biomethan eingesetzt wird, ist es möglich, die bereits vorhandenen Gasbrenner damit zu betreiben. Die installierte Leistung von 900 kW ergibt eine Leistungsbereitstellung auf Basis der Nutzenergie von $765 \text{ kW}_{\text{th}}$, womit auch die geforderte Dimensionierung erfüllt ist. Der Vorteil an der Nutzung der bereits vorhandenen Gasbrenner ist, dass keine Investitionskosten für die Anschaffung neuer Brenner anfallen und die bisherige Regelung weiter verwendet werden kann.

Die Wärmebereitstellung für eine ORC-Anlage erfordert eine installierte Leistung von 1000 kW bei einem Temperaturniveau von $250\text{-}300^\circ\text{C}$ und besitzt einen Nutzenergiebedarf von $1.249.524 \text{ kWh}_{\text{th}}$ pro Jahr. Die Aufbereitungsstufe von Biogas ist dann an die jeweiligen Gegebenheiten des eingesetzten Brenners anzupassen.

Laut Herstellerangaben ist es möglich, die mit Erdgas betriebenen Trockner der Rollenoffset-Maschinen mit Biogas zu betreiben. Der Erdgasverbrauch für die Rollenoffset-Maschinen beträgt 542.295 m_n^3 pro Jahr, was einem Energiebedarf von $5.422.950 \text{ kWh}_{th}$ entspricht. Die Verbrennung muss mindestens eine Temperatur von 770°C erreichen, um die in der Verbrennungsluft enthaltenen Lösungsmitteldämpfe (flüchtige organische Kohlenwasserstoffe) vollständig zu verbrennen. Wenn Biomethan eingesetzt wird, müssen keine Änderungen der Anlagen durchgeführt werden. Bei teilweise aufbereitetem Biogas sind folgende Punkte zu beachten (Quelle: Goss 2010):

- Der Anteil an Methan (CH_4) soll mindestens 40% betragen.
- Bei 65% CH_4 und 35% CO_2 muss der Gasvordruck der Brenner viermal höher sein, als bei Erdgas. Die Auswirkungen auf die Funktionalität in Kombination mit der Brennkammer müssen allerdings erst von der Herstellerfirma getestet werden.
- Biogas kann Spuren von Schwefelwasserstoff (H_2S) enthalten, welches in Kombination mit Wasser Schwefelsäure (H_2SO_4) bildet. Schwefelsäure ist korrosiv für Stahl, weshalb bei mehr als 0,1% H_2S , die Gasstrecke aus Edelstahl ausgeführt werden muss.
- H_2S wird großteils in SO_2 umgewandelt und wird über den Kamin ausgestoßen. Dabei sind die Grenzwerte zu beachten.

Der Einsatz von Biogas in geringer Aufbereitungsstufe zur Beheizung der Bürogebäude und Hallen ist möglich. Da beim Einsatz von Biomethan als Brenngas die bereits bestehenden Anlagen verwendet werden können, sollte diese Variante bevorzugt werden.

Die Möglichkeit, Biogas in geringer Aufbereitungsstufe in den Trocknern der Rollenoffset-Maschinen einzusetzen, ist gegeben, allerdings sind dafür noch zusätzliche Forschungsarbeiten der Herstellerfirma durchzuführen. Aus oben genannten Gründen wird die Variante, gering aufbereitetes Biogas zu verwenden, nicht näher betrachtet, sondern der Einsatz von Biomethan vorgeschlagen. In Tabelle 7 sind die Bedarfe an Biomethan der verschiedenen Verbraucher dargestellt.

Variante	Energiebedarf [kWh]	Biomethan-Bedarf [m _n ³]	Flächenbedarf bei Maissilage [ha]	Flächenbedarf bei Grassilage [ha]	Faulraum-Volumen bei Maissilage [m ³]	Faulraum-Volumen bei Grassilage [m ³]
Heizung	624.060	62.406	13	24	202	220
Trockner	5.422.950	542.295	114	213	1.758	1.910
ORC-Anlage/Heizung	1.470.028	147.003	31	58	476	518

Tabelle 7: Bedarfe an Biomethan der verschiedenen Verbraucher (Quelle: Eigene Berechnungen)

Die Energiebedarfe der drei Varianten gehen aus den Erhebungen aus AP1 und AP2 hervor. Daraus lässt sich über den Heizwert der Biomethan-Bedarf ableiten. Durch die Flächenerträge ($t_{FM}/ha.a$) und die Biomethan-Erträge pro Mengeneinheit Substrat (m_n^3/t_{FM}) kann die benötigte Anbaufläche errechnet werden. Unter der Annahme, dass die Faulraumbelastung $2,5\text{ kg}_{o,TS}/m^3.d$ beträgt und unter Verwendung der in Tabelle 6 erwähnten Anteile an Trockensubstanz bzw. organischer Trockensubstanz für das jeweilige Substrat, ergeben sich die geforderten Volumina für den Faulraum. Dieser Wert ist für die Dimensionierung und die Planung der Biogasanlage von entscheidender Bedeutung.

Die zur Verfügung stehenden Flächen für den Anbau von Rohstoffen zur Biomethan-Herstellung sind in Niederösterreich enorm. Wie aus der Abbildung 31 ersichtlich ist, werden große Teile der Flächen im Bereich um Horn und im Nord-Osten von Niederösterreich nicht genutzt und liegen als Brache Flächen vor. Allerdings ist, wie bereits erwähnt, die Wirtschaftlichkeit der Anlage entscheidend von der Entfernung der Rohstofflieferanten abhängig (Quelle: Walla, C.; Schneeberger, W. 2008).

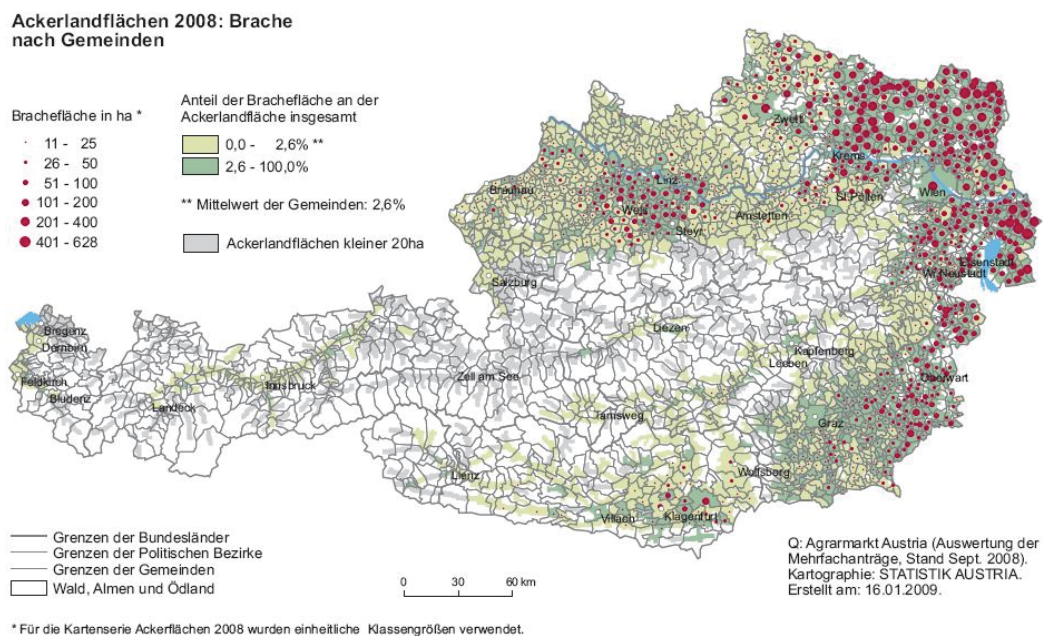


Abbildung 31: Ackerflächen 2008 - Brache nach Gemeinden (Quelle: Statistik Austria 2010)

Die Kulturartenverteilung für den Bezirk Horn schlüsselt die Flächennutzung genauer auf. In Tabelle 8 ist zu sehen, wie sich der Anteil an der land- und forstwirtschaftlich genutzten Fläche verteilt.

Kulturarten	Fläche [ha]	Anteil [%]
Acker	47.000	59,9
davon Silomais	1.862	2,4
Grünland	2.300	2,9
Wein	680	0,9
Wald	23.600	30,1
Sonstiges	1.920	2,4
Summe	75.500	96,3
Katasterfläche	78.399	100

Tabelle 8: Kulturartenverteilung Horn 2010 (Quelle: Landwirtschaftskammer Niederösterreich 2010a, Eigene Darstellung)

Der prognostizierte Flächenbedarf für die Herstellung von Biomethan für die Druckerei Berger ist vergleichsweise gering, es stehen genügend Flächen in den umliegenden Gemeinden zur Verfügung, um den Bedarf an Rohstoffen zu decken.

Das CO₂_{Äqu}-Reduktionspotential wird wie bei der technoökologischen Bewertung berechnet. In Tabelle 9 ist die Alternative Biomethan im Vergleich zum derzeitigen Mix an Rohstoffen dargestellt.

Variante	Rohstoff		Reduktionspotential [%]	Energiebedarf pro Jahr [kWh]	Reduktionspotential pro Jahr [t _{CO2Äqu}]
	aktueller Mix [g _{CO2Äqu} /kWh]	Biomethan [g _{CO2Äqu} /kWh]			
Heizung	283,793	185,525	34,6	624.060	61,3
Trockner	209,846	165,996	20,9	5.422.950	237,8
ORC-Anlage/Heizung	271,358	32,929	87,9	1.470.028	350,5

Tabelle 9: CO₂_{Äqu}-Reduktionspotential bei Biogas-Einsatz (M8) (Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang 2009, Eigene Berechnungen)

Für den aktuellen Mix an Brennstoffen wurde der Nutzungsgrad bei den verschiedenen Varianten mit berücksichtigt. Es wurde auf eine kWh Endenergie Bezug genommen. Für die Heizung wurde jeweils ein Nutzungsgrad von 85% und für den Trockner von 95% angenommen. Die

ORC-Anlage wird mit Abwärme betrieben und für die Zusatzfeuerung wird ebenfalls mit einem Nutzungsgrad von 85% gerechnet. Bei der Variante ORC-Anlage/Heizung wurde beim aktuellen Mix der $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ -Ausstoß für die derzeitige Form der Herstellung von Strom (Stromzukauf aus dem österreichischen Stromnetz) und Heizungswärme (Mix aus Heizöl und Erdgas) verwendet.

Die zeitliche Verfügbarkeit von Biomethan ist von der Rohstoffverfügbarkeit (Gras, Mais, etc.) abhängig. Der Bedarf ist von der Variante der Nutzung abhängig. Wird Biomethan ausschließlich für die Heizung verwendet, müssen die Rohstoffe für die Heizsaison gespeichert werden. Für die Trockner-Variante ist der Bedarf über das Jahr gesehen weitgehend konstant, im Wochenverlauf erfolgt die Leistungsabnahme allerdings nur in der Produktionszeit. Für die Variante der Zusatzfeuerung einer ORC-Anlage gibt es ebenfalls einen konstanten Bedarf über das Jahr hinweg, allerdings tritt dieser ausschließlich in der produktionsfreien Zeit auf.

Somit müssen die Rohstoffe bei jeder Variante gespeichert werden, damit die Biomethan-Produktion bedarfsgerecht erfolgen kann. In welcher Weise die Speicherung erfolgt, muss durch ein geeignetes Lastmanagement herausgefunden werden.

Die heizwertbezogenen Kosten für die Herstellung von Biomethan (Aufbereitung auf Erdgasnetzqualität) betragen ca. 0,123 €/kWh. In den Berechnungen sind die variablen Kosten und die Investitionskosten für die Biomethanherstellung und –aufbereitung aus Grassilage über den gesamten Lebenszyklus enthalten (Quelle: Prochnow, A. et al. 2009, Eigene Berechnungen). Für die Herstellung von Biogas aus Maissilage, aus einer Biogas-Anlage in ähnlicher Größenordnung wie sie für die Trockner-Variante nötig ist, betragen die heizwertbezogenen Kosten ca. 0,063 €/kWh. Die Daten wurden auf einen Berechnungszeitraum von 13 Jahren bezogen und beinhalten alle variablen und fixen Kosten, ausgenommen die spezifischen Transportkosten (Quelle: Walla, C.; Schneeberger, W. 2008, Eigene Berechnungen). Die detaillierten Berechnungen zu diesem Unterpunkt befinden sich im Anhang.

Zum Vergleich betragen die spezifischen variablen Kosten für die Nutzenergiebereitstellung aus Erdgas für die Druckerei Berger derzeit 0,039 €/kWh_{th} und die spezifischen variablen Kosten für den aktuellen Mix der Heizwärmebereitstellung 0,056 €/kWh_{th}. Somit ist festzuhalten, dass unter derzeitigen Bedingungen die Umstellung der Energiebereitstellung auf Biogas oder Biomethan nicht wirtschaftlich ist.

4.1.4 Modul: Papier-Einsatz (M9)

Der Papierabfall kann für die Beheizung der Bürogebäude und Hallen eingesetzt werden. Dafür sind spezielle Brenneranlagen nötig. Wie bereits in AP1 erwähnt, kann die Beheizung der Bürogebäude und Hallen technisch problemlos auf alternative Brennstoffe umgestellt werden. In M6 wurde der Nutzenergiebedarf von 530.451 kWh_{th} pro Jahr und eine Leistungsbereitstellung von 748 kW_{th} für die Dimensionierung der Alternativ-Feuerung erwähnt. Wenn man den Nutzungsgrad von ca. 85% mit berücksichtigt, muss die Anlage eine installierte Brennerleistung von 880 kW besitzen und einen Energiebedarf von 624.060 kWh decken.

Des Weiteren bietet sich, wie in M4 und M6 beschrieben wurde, noch die Möglichkeit, den zusätzlichen Wärmebedarf der ORC-Anlage durch eine Alternativ-Feuerung bereitzustellen. Die Wärmebereitstellung für eine ORC-Anlage erfordert eine Leistung von 1000 kW und besitzt einen Nutzenergiebedarf von 1.249.524 kWh_{th} pro Jahr. Unter Berücksichtigung eines Nutzungsgrads von 85% beträgt der Energiebedarf 1.470.028 kWh. Die Temperaturniveaus sind dieselben wie sie bereits in M6 beschrieben wurden. In Tabelle 10 ist der Bedarf an Papier der verschiedenen Verbraucher dargestellt.

Variante	Energiebedarf [kWh]	Papier-Bedarf [kg]
Heizung	624.060	145.224
ORC-Anlage/Heizung	1.470.028	342.088

Tabelle 10: Bedarfe an Papier der verschiedenen Verbraucher (Quelle: Eigene Berechnungen)

In der Druckerei Berger fallen jährlich ca. 7.551.000 kg Papierabfall an. Die anfallende Menge an Papierabfall kann über die Produktionszeit gerechnet als weitgehend konstant angesehen werden, sie ist von der Produktionsleistung abhängig. Bei einem Heizwert von 4,297 kWh/kg ergibt das einen Energieinhalt von ca. 32.448.325 kWh (Quelle: UBA 2009). Würde diese Energiemenge konstant anfallen, ergäbe das über das gesamte Jahr verteilt eine durchschnittliche Brennstoffleistung von 3.704 kW. Somit übersteigt das Brennstoffangebot bei Weitem den Bedarf, der durch die Installation einer ORC-Anlage mit gleichzeitiger Nutzung als Heizung entsteht (1.470.028 kWh). Der Rohstoff für die Alternativ-Feuerung kann von den anfallenden Papierabfällen abgezweigt werden. Eine zusätzliche Pufferung ist nicht notwendig.

Das CO_{2Äqu}-Reduktionspotential wird wie bei der technoökologischen Bewertung berechnet. In Tabelle 11 ist die Alternative Papier im Vergleich zum derzeitigen Mix an Rohstoffen dargestellt.

Variante	Rohstoff		Reduktionspotential [%]	Energiebedarf pro Jahr [kWh]	Reduktionspotential pro Jahr [t _{CO2Äqu}]
	aktueller Mix [g _{CO2Äqu} /kWh]	Papier [g _{CO2Äqu} /kWh]			
Heizung	283,793	25,735	90,9	624.060	161,0
ORC-Anlage/Heizung	271,358	4,568	98,3	1.470.028	392,2

Tabelle 11: CO_{2Äqu}-Reduktionspotential bei Papier-Einsatz (M10) (Quelle: Intenseroh 2011, Eigene Berechnungen)

Das CO_{2Äqu}-Reduktionspotential bezieht sich auf die Belastungen die dadurch entstehen, dass der Rohstoff energetisch statt stofflich verwertet wird. Der spezifische CO_{2Äqu}-Ausstoß von Altpapier beträgt 25,735 g_{CO2Äqu}/kWh bei einem Nutzungsgrad von 85%. Auf die beiden Varianten bezogen ergibt sich ein CO_{2Äqu}-Reduktionspotential von 90,9% bzw. 98,3%.

Bei der energetischen Verwertung von Altpapier in kleinen Anlagen gibt es einige Herausforderungen, die zu berücksichtigen sind. Der Anteil der Füllstoffe ist speziell bei Druckpapieren sehr hoch, weshalb der Ascheanteil entsprechend hoch ist. Es ist aus umweltschutztechnischen Gründen unbedingt eine Abgasreinigung durchzuführen, da bei der Verbrennung der bedenklichen Reststoffe Luftschadstoffe entstehen. Das erhöht die Investitionskosten für kleine Anlagen überproportional (Quelle: Agrar Plus 2011). Wenn das Altpapier rechtlich als Abfall deklariert wird, gelten dieselben Vorschriften wie für Müllverbrennungsanlagen. Der daraus entstehende Aufwand steht laut Herrn Maximilian Lauer, Mitarbeiter von JOANNEUM RESEARCH, in keiner Relation zum Nutzen. Prinzipiell gilt die Ansicht, dass die stoffliche Verwertung von Altpapier der energetischen Verwertung vorzuziehen ist (Quelle: Wirtschaftsverbände Papierverarbeitung 2011).

Die heizwertbezogenen Kosten für die Verwendung von Papier als Brennstoff ergeben sich aus den Opportunitätskosten für den Verkauf des Papierabfalls an die Papierhersteller. Im Jahr 2010 erhielt die Druckerei Berger pro Tonne Papierabfall € 95,-, was umgerechnet ca. 0,022 €/kWh entspricht (Quelle: Berger 2011). In den Kosten ist nur der variable Anteil enthalten. Der Anteil für die Investitionskosten und die laufenden Wartung- und Personalkosten müssen noch hinzugerechnet werden. Die detaillierten Berechnungen zu diesem Unterpunkt befinden sich im Anhang.

4.1.5 Modul: Biomasse-Einsatz (M10)

„Unter dem Begriff Biomasse werden sämtliche Stoffe organischer Herkunft (d.h. kohlenstoffhaltige Materie) verstanden. Biomasse beinhaltet damit

- die in der Natur lebende Phyto- und Zoomasse (Pflanzen und Tiere),
- die daraus resultierenden Rückstände (z.B. tierische Exkremente),
- abgestorbene (aber noch nicht fossile) Phyto- und Zoomasse (z.B. Stroh) und
- im weiteren Sinne alle Stoffe, die beispielsweise durch eine technische Umwandlung und/oder eine stoffliche Nutzung entstanden sind bzw. anfallen (z.B. Schwarzlauge, Papier und Zellstoff, Schlachthofabfälle, organische Hausmüllfraktion, Pflanzenöl, Alkohol).

Die Abgrenzung der Biomasse gegenüber den fossilen Energieträgern beginnt beim Torf⁶⁶. (Quelle: zit. nach Kaltschmitt, Martin; Hartmann, Hans 2001, S. 2)

Für Biomasse gilt dasselbe wie für die anderen Alternativbrennstoffe, sie kann für die Beheizung der Bürogebäude und Hallen und für die Zusatzfeuerung einer ORC-Anlage genutzt werden. Der Energiebedarf und die installierte Brennerleistung für die beiden Varianten sind dieselben wie bereits für M8 und M9 angenommen wurde und sind in Tabelle 12 ersichtlich. Auch die Temperaturniveaus sind mit jenen in M9 ident.

Als Rohstoff für die Alternativ-Feuerung werden Hackschnitzel angenommen, da diese frei am Markt verfügbar sind, es zahlreiche Hersteller von Kesselanlagen gibt und keine zusätzlichen Arbeiten, die nicht zum Kerngeschäft der Druckerei Berger gehören, anfallen. Die Angaben in Tabelle 12 sind in Festmeter wasserfrei (m^3_{wf}) und Schüttraummeter lufttrocken mit 15% Wassergehalt (Sr_{m_t}) angegeben.

Variante	Energiebedarf [kWh]	Biomasse-Bedarf [m^3_{wf}]	Biomasse-Bedarf [Sr_{m_t}]	Flächenbedarf [ha]
Heizung	624.060	296	763	40
ORC-Anlage/Heizung	1.470.028	698	1.797	95

Tabelle 12: Bedarfe an Biomasse der verschiedenen Verbraucher (Quelle: Eigene Berechnungen)

Der Biomasse-Bedarf beträgt bei reiner Deckung des Heizwärmebedarfs 763 Srm_{it} pro Jahr, dieser Bedarf steigert sich auf 1.797 Srm_{it} pro Jahr, wenn eine Zusatzfeuerung für eine ORC-Anlage unterstellt wird.

Der Holzeinschlag in Niederösterreich ist in Tabelle 13 ersichtlich. Im Jahr 2009 wurden 1.287.745 Erntefestmeter Holz (3,13 Mio. Srm) zur Energiegewinnung aus dem Waldbestand geschlagen, was einem Energieinhalt von ca. 2,42 Mrd. kWh entspricht.

Holzeinschlag in NÖ (in Erntefestmeter ohne Rinde)

Niederösterreich	1973	1983	1993	2003	2005	2007	2008	2009
Laubnutzholz	343.355	371.333	393.356	457.898	442.524	392.844	404.279	314.044
Nadelnutzholz	1.243.680	1.426.799	1.519.058	1.880.562	1.817.664	3.423.445	2.353.977	1.761.220
Brennholz	423.612	649.865	880.523	813.658		914.577	750.745	685.818
Holz zur Energiegewinnung inkl. Brennholz					920.068	1.395.410	1.358.051	1.287.745
Summe	2.010.647	2.447.997	2.792.937	3.152.118	3.180.256	5.211.699	4.116.307	3.363.009

Tabelle 13: Holzeinschlag in Niederösterreich (Quelle: Landwirtschaftskammer Niederösterreich 2010b)

Aus der Abbildung 31 sowie in den Tabellen 8 und 13 kann man erkennen, dass das Potential zur energetischen Nutzung der Biomasse in Niederösterreich hoch ist. Im Vergleich zum Biomasse-Potential ist der prognostizierte Verbrauch der Alternativ-Feuerung der Druckerei Berger mit maximal 1.736 Srm_{it} Hackschnitzel verschwindend gering (ca. 0,06%).

Die Bereitstellung der Rohstoffe ist, da Hackschnitzel gut lagerfähig und frei am Markt verfügbar sind, über das ganze Jahr gesichert. Einzig die Kosten der Anschaffung schwanken im jahreszeitlichen Verlauf. Der Bedarf ist auch hier abhängig von der Variante der Nutzung. In beiden Fällen müssen die Hackschnitzel zwischengelagert werden, wofür ein Lagerplatz geschaffen werden muss.

Die eingesetzte Technologie zur Verbrennung von Biomasse ist sehr weit entwickelt und wird von vielen Herstellern angeboten. Die Anlagen sind standardisiert erhältlich und auch die Rohstoffe sind in definierten Qualitäten verfügbar.

In Tabelle 14 ist das CO_{2Äqu}-Reduktionspotential dargestellt, es wurde wie bei der technoökologischen Bewertung und analog zu M8 berechnet.

Variante	Rohstoff		Reduktionspotential [%]	Energiebedarf pro Jahr [kWh]	Reduktionspotential pro Jahr [t _{CO₂Äqu}]
	aktueller Mix [g _{CO₂Äqu} /kWh]	Biomasse [g _{CO₂Äqu} /kWh]			
Heizung	283,793	8,300	97,1	624.060	171,9
ORC-Anlage/Heizung	271,358	1,733	99,4	1.470.028	396,4

Tabelle 14: CO₂Äqu-Reduktionspotential bei Biomasse-Einsatz (M10) (Quelle: Schnedl, Christian et al. 2008, Eigene Berechnungen)

Der heizwertbezogene Preis für Biomasse (Energieholz gehackt) beträgt im Jänner 2011 in Niederösterreich ca. 0,02 €/kWh frei Werk inkl. 10% Mehrwertsteuer (Quelle: Fischer, Andreas 2011, Eigene Berechnungen). Somit sind die variablen Rohstoffkosten ähnlich den Opportunitätskosten für Altpapier. Die detaillierten Berechnungen zu diesem Unterpunkt befinden sich im Anhang.

Hiermit wurden die letzten fünf Module behandelt, sie beschreiben die möglichen Varianten zur Integration von erneuerbaren Energien in einem Druckereiprozess. Im AP3 konnten die Hintergründe über den prinzipiellen Einsatz der beschriebenen Varianten dargestellt werden. Damit ist dieses Arbeitspaket abgeschlossen.

5 Anpassung der Prozessparameter an die Eigenschaften von erneuerbaren Energieträgern (AP4)

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die Auswahl von Technologien auf Basis erneuerbarer Energieträger und die Anpassung der Prozessparameter an die Eigenschaften der erneuerbaren Energieträger.

Die eingesetzten Methoden sind die Auswahl der Module, ihre Anpassung an die betrieblichen Gegebenheiten und eine Zusammenstellung von möglichen Varianten, eine technoökonomische Bewertung der ausgewählten Varianten und die Auslegung der vorteilhaftesten Variante nach Normen und Standards.

Die in den beiden vorigen Arbeitspaketen beschriebenen Module stehen zur Auswahl und sollen in geeigneter Weise miteinander kombiniert werden, damit eine für die speziellen Rahmenbedingungen der Druckerei Berger technisch, ökologisch und ökonomisch optimale Lösung ausgearbeitet wird.

In Tabelle 15 sind die beschriebenen Module aufgelistet und werden aufgrund der in AP2 und AP3 erhaltenen Erkenntnisse für die weitere Behandlung in AP4 ausgewählt bzw. nicht ausgewählt. In der letzten Spalte erfolgt eine kurze Begründung der Entscheidung.

Modul	Auswahl	Begründung
M1	Nein	Die Installation eines großvolumigen Pufferspeichers ist nach überschlägiger Berechnung und unter den gegebenen Rahmenbedingungen wirtschaftlich nicht vertretbar.
M2	Nein	Die Installation der Fernwärmeleitung ist nach überschlägiger Berechnung und unter den gegebenen Rahmenbedingungen wirtschaftlich nicht vertretbar.
M3	Ja	Für die Grundlastabdeckung ist die AKM gut geeignet, der Einsatz ist ökologisch vorteilhaft und besitzt ein niedriges technisches Risiko.
M4	Ja	Unter bestimmten Bedingungen ist der Betrieb einer ORC-Anlage wirtschaftlich. Die technisch ausgereiften Lösungen sind frei am Markt verfügbar und ein ökologischer Vorteil ist gegeben.
M5	Nein	Das technische Risiko für den Einsatz eines BHKW-Trockners ist zu groß.

M6	Ja	Eine Alternativ-Feuerung ist technisch und ökologisch sinnvoll. Eine geeignete Variante ist zu wählen.
M7	Nein	Die Bereitstellung von Niedertemperaturwärme aus Sonnenkollektoren bedarf einer Energiespeicherung. Diese wurde bereits in M1 ausgeschossen.
M8	Nein	Der Biogas-Einsatz mit eigener Biogas-Anlage ist unter gegebenen Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich.
M9	Nein	Der Papier-Einsatz als Brennstoff in einer Alternativ-Feuerung ist gegenüber M10 technisch und ökologisch weniger vorteilhaft und birgt technische Schwierigkeiten.
M10	Ja	Der Biomasse-Einsatz ist technisch und ökologisch sinnvoll, zur genaueren Betrachtung der Wirtschaftlichkeit wird dieses Modul mit berücksichtigt.

Tabelle 15: Auswahl der Module zur weiteren Behandlung in AP4 (Quelle: Eigene Darstellung)

Es folgt die wirtschaftliche Berechnung der ausgewählten Einzelmodule. Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde die Barwertmethode ausgewählt. Es wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Investitionskosten werden aufgrund von spezifischen Investitionskosten aus der Literatur angenommen oder von konkreten Angeboten abgeleitet.
- Die jährlichen Fixkosten (Wartung und Versicherung) werden von Schuster et al. 2009 übernommen.
- Die jährlichen Erlöse entsprechen den Opportunitätskosten, die im alternativen Szenario anfallen würden, um die Nutzenergieerzeuger bereitzustellen. Es handelt sich hier um die Reinvestitionskosten, bei einer Nutzungsdauer von zehn Jahren.
- Die variablen Kosten beziehen sich auf eine Kilowattstunde (kWh) Energieeinsatz. Für thermische Energie aus der Wärmerückgewinnung werden keine Kosten verrechnet.
- Die variablen Erlöse beziehen sich auf eine Kilowattstunde (kWh) Energieeinsatz. Sie entsprechen den Opportunitätskosten, die im alternativen Szenario anfallen würden, um die Energie bereitzustellen.
- Es wird mit einem internen Verrechnungszinssatz von 5% p.a. gerechnet. Die Amortisationszeit soll kürzer als fünf Jahre sein (Quelle: Berger 2011).
- Die Berechnung der Preissteigerungen erfolgt nach den Daten der Statistik Austria.

5.1 Berechnung der Wirtschaftlichkeit zu M3

Die Dimensionierung der AKM wurde, wie in AP2 beschrieben, auf 75% der installierten Kühlleistung der Kühlzentrale für die Rollenoffset-Maschine Goss M600D ausgelegt (240,6 kW_e). Für diesen Leistungsbereich wurde ein Angebot von der Firma IBT Europe eingeholt und diente als Berechnungsgrundlage für die Auslegungsdaten (246 kW_e) (Quelle: Benndorf 2010, IBT Europe 2011). Die spezifischen Investitionskosten wurden mit € 250,- pro kW_e angenommen und basieren auf dem Mittelwert mehrerer eingeholter Angebote. Die Investitionskosten für die Rückkühlung werden mit € 35.000,- angenommen und basieren ebenfalls auf mehreren eingeholten Angeboten. Als Aufschlag auf die Investitionskosten wurden 20% für Umbauten und Einbindung sowie 10% für Transport und Beratung hinzugerechnet. Des Weiteren wurde angenommen, dass der AKM 70% der Produktionszeit als Volllaststunden angerechnet werden. Für die alternativ betriebenen KKA wurde ein mittlerer COP von 3 angenommen (Quelle: Energieagentur Berlin 2008).

Die Berechnung erfolgte auf Basis der variablen Stromeinsparungen der KKA und berücksichtigt weder Wartungs-, noch Reinvestitionskosten. Das heißt, die Berechnung wurde zugunsten der KKA durchgeführt und somit die AKM schlechter gestellt als sie tatsächlich ist.

Auf Basis dieser Annahmen wurde die Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt. Die Investitionskosten betragen ca. € 125.400,- und die Amortisationszeit liegt bei etwa 4 Jahren. Der Barwert nach fünfjähriger Nutzung beträgt ca. € 26.700,-, nach 15 Jahren ca. € 282.000,-. Unter der Vorgabe der Druckerei Berger, dass sich die Investition in fünf Jahren amortisieren soll, ist die Anschaffung einer AKM somit als positiv zu beurteilen. Die vollständige Berechnung ist im Anhang ersichtlich.

5.2 Berechnung der Wirtschaftlichkeit zu M4

Die Dimensionierung der ORC-Anlage erfolgte, wie bereits in AP2 beschrieben, zur Deckung des Heizenergiebedarfs (850 kW_{th} thermischer Energieinput). Die Betriebsstunden und die Wirkungsgrade wurden an reale Werte angepasst. So wurde erkannt, dass der Betrieb einer ORC-Anlage mit zugekauften Brennstoffen nur dann sinnvoll ist, wenn die Wärmeenergie abgenommen werden kann. Das heißt, dass in der produktionsfreien Zeit außerhalb der Heizsaison ein

reduzierter Betrieb unterstellt wird. Nach Rücksprache mit Mitarbeitern von JOANNEUM RESEARCH wurde für den mittleren elektrischen Wirkungsgrad (Jahresnutzungsgrad) 75% des maximal möglichen Wirkungsgrads angenommen. Als Zusatzfeuerung wurde ein Biomasse-Heizwerk unterstellt, wobei weder die Investitionskosten, noch die laufenden Kosten der Anlage in der Berechnung berücksichtigt wurden.

Als Berechnungsgrundlage für die Investitionskosten wurden € 3.755,- pro installiertes kW_{el} angenommen (Quelle: Schuster et al. 2009). 30% der Anschaffungskosten wurden für den Umbau und Einbau (Heizung, Platzbedarf, Thermoölkreise, Rückkühlung, etc.) aufgeschlagen sowie 10% an sonstigen Kosten (Planung und Beratung) hinzugerechnet. Die variablen Kosten für den Rohstoff wurden mit € 0,02 pro kWh zuzüglich 10% Transportkosten und 85% Nutzungsgrad angenommen. Für die Bereitstellung der Wärme aus der Wärmerückgewinnung wurden keine Kosten aufgeschlagen. Es wurden 6.758 Betriebsstunden pro Jahr angenommen.

Auf Basis dieser Annahmen wurde die Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt. Die Investitionskosten betragen ca. € 800.000,- und die Amortisationszeit liegt bei etwa 14 Jahren. Der Barwert nach fünfjähriger Nutzung beträgt ca. - € 482.000,-, nach 15 Jahren ca. € 61.000,-. Die Anschaffung einer ORC-Anlage ist aufgrund der langen Amortisationszeit als negativ zu beurteilen. Die vollständige Berechnung ist im Anhang ersichtlich.

5.3 Berechnung der Wirtschaftlichkeit zu M6-M10

Die Dimensionierung der Alternativ-Feuerung mit Biomasse erfolgte, wie in AP2 unter M6 beschrieben, zur Deckung des Heizenergiebedarfs (880 kW Brennstoffleistung). Somit können die fossil gefeuerten Brenner zur Gänze ersetzt werden. Als Berechnungsgrundlage für die Investitionskosten wurden € 450,- pro installiertes kW_{th} angenommen (Quelle: Sander, Kai et al. 2003). 10% der Anschaffungskosten wurden für den Umbau und Einbau aufgeschlagen sowie 10% an sonstigen Kosten für Planung und Beratung hinzugerechnet. Die spezifischen Reinvestitionskosten für die fossilen Brenner, die dadurch entfallen, wurden mit € 180,- pro kW_{th} angenommen und auf zehn Jahre Nutzungsdauer aufgeteilt (Quelle: Energieverwertungsagentur 2000).

Auf Basis dieser Annahmen wurde die Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt. Die Investitionskosten betragen ca. € 460.000,- und die Amortisationszeit liegt bei über 15 Jahren.

Der Barwert nach fünfjähriger Nutzung beträgt ca. - € 345.000,-, nach 15 Jahren ca. - € 130.000,-. Die Anschaffung einer mit Biomasse befeuerten Alternativ-Feuerung ist aufgrund der langen Amortisationszeit als negativ zu beurteilen. Die vollständige Berechnung ist im Anhang ersichtlich.

5.4 Berechnung der Wirtschaftlichkeit zum Ersatz von Heizöl durch Erdgas

Wie bereits in AP2 erwähnt, ist eine Substitution des primär betriebenen Ölbrenners durch den zweiten, zur Spitzenlastabdeckung vorhandenen, Erdgasbrenner ohne Umbau- und Investitionskosten möglich. Unter der Annahme, dass der gesamte Anteil der Wärmebereitstellung durch die Ölbrenner von den Gasbrennern ersetzt wird, ergibt sich eine sofortige jährliche Einsparung durch den variablen Kostenvorteil von Erdgas gegenüber Heizöl von ca. € 9.200,-. Der Barwert nach fünfjähriger Nutzung beträgt ca. € 47.500,-, nach 15 Jahren ca. € 152.700,-. Der Ersatz von Heizöl durch Erdgas ist als positiv zu bewerten und sollte zu schnell wie möglich umgesetzt werden. Die vollständigen Berechnungen der Wirtschaftlichkeit und der Ökologie befinden sich im Anhang.

Aufgrund der in diesem und in den vorigen Arbeitspaketen erarbeiteten Erkenntnisse bleiben ausschließlich das Modul M3 sowie der Ersatz von Heizöl durch Erdgas, als mögliche Varianten übrig, die sowohl technoökologisch, als auch wirtschaftlich sinnvoll umsetzbar sind. Da beide Varianten voneinander unabhängig sind, können die oben erarbeiteten technoökologischen und wirtschaftlichen Bewertungen beibehalten werden und bedürfen keiner weiteren Berechnung.

Bei einer Anschaffung einer AKM mit den Leistungsangaben der Wirtschaftlichkeitsberechnung ergibt sich eine Einsparung an $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ von 86 Tonnen $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ pro Jahr, was 2,4% des gesamten $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ -Ausstoßes entspricht. Die $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ -Einsparung durch den Ersatz von Heizöl durch Erdgas beträgt 26,1 Tonnen $\text{CO}_{2\text{Äqu}}$ pro Jahr, was 0,7% der Gesamtemissionen entspricht.

Für die genaue Dimensionierung der AKM sollten vor der Realisierung noch umfangreiche Messungen der erforderlichen Kühlleistung an den Kühlzentralen und der vorhandenen Wärmeleistung an den EcoBoxen durchgeführt werden. Danach kann die jeweils geeignetste Größe für die AKM zur Grundlastabdeckung angenommen werden.

Es wird vorgeschlagen, in einem ersten Umsetzungsschritt unter Rücksprache mit der Firma Harig, eine AKM in die Kühlzentrale für die Rollenoffset-Maschine Goss M600D einzubinden. Nach einem erfolgreichen Betrieb können in weiterer Folge die beiden anderen Kühlzentralen der Rollenoffset-Maschinen mit einer AKM ausgestattet werden. Es gilt jedoch zu beachten, dass die erforderliche Wärme nicht mehr zur Beheizung zur Verfügung steht und somit zusätzlich aufgewendet werden muss. Das bedeutet, dass die Wärme nicht mehr kostenlos erhältlich ist und auch der $\text{CO}_{2\lambda_{\text{qu}}}$ -Ausstoß pro Nutzeneinheit steigt. Für den Fall, dass 25% der Wärme für den Antrieb der AKM durch die Beheizung mittels Erdgas zugeführt werden muss, steigt die Amortisationszeit auf 8 Jahre an. Soll sich die zusätzliche AKM innerhalb von 10 Jahren amortisieren, dürfen die Kosten für die Wärmebereitstellung $1,25 \text{ c/kWh}_{\text{th}}$ nicht übersteigen (im Jahresmix mit der Prozesswärme gerechnet).

Hiermit wurde die geeignetste Technologie auf Basis technoökologischer und wirtschaftlicher Kriterien gefunden. Für die detaillierte Vorplanung sind, wie bereits erwähnt, noch genaue Messungen durchzuführen, die nicht im Rahmen dieses Projekts abgedeckt wurden.

6 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Aus dem vorliegenden Projekt konnten einige Erkenntnisse über die Bewertung von Industriebetrieben und die Vorgehensweise bei der anschließenden Optimierung gewonnen werden. Das gewählte Vorgehen scheint vorteilhaft, da es einen strukturierten und modularen Aufbau besitzt, welches unter Anpassung der Daten auf beliebige Industriezweige angewendet werden kann.

Der Fokus auf die größten Hebel – in diesem Fall Abwärme, Erdgas und elektrischer Strom – verspricht rasche und wirtschaftliche Ergebnisse. Der Aufbau von AP2 und AP3 in Modulen hat den Vorteil, dass jedes der Module einzeln betrachtet und an die Gegebenheiten angepasst werden kann. Des Weiteren können sie weitestgehend beliebig miteinander kombiniert werden. Die Einsetzbarkeit der Module ist bezüglich ihrer technischen Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit jedoch sehr stark von den gegebenen Nutzungsbedingungen abhängig.

Die Quantifizierung der qualitativen Kriterien in der technoökologischen Bewertung lässt, bei geeigneter Auswahl der Unterpunkte, eine Vergleichbarkeit von grundverschiedenen Technologien zu. Diese mit „Ja“ oder „Nein“ zu beantwortenden Unterpunkte können schnell erstellt und auch von Laien beantwortet werden. Die Übertragbarkeit auf andere Projekte ist auch hier vorhanden.

Die Vorausscheidung der Module in der technoökologischen Bewertung und mit einer überschlüssigen Wirtschaftlichkeitsberechnung verringert den Aufwand für die weiteren Arbeitspakete, da ungeeignete Module nicht weiter berücksichtigt werden müssen. Somit ist eine rasche und effiziente Ressourcenausnutzung gegeben.

Generell gesprochen, ist es schwierig in einem bestehenden und laufenden Betrieb ohne akuten Investitions- bzw. Substitutionsbedarf im energietechnischen Bereich eine Amortisationszeit von unter fünf Jahren einzuhalten. Deshalb war die Erkenntnis, dass die AKM sich unter den gegebenen Rahmenbedingungen in vier Jahren amortisiert, sehr positiv.

Auf die bisherigen Erkenntnisse aufbauend, sollte in einem Folgeprojekt eine genauere Messdatenerhebung bei der Druckerei Berger stattfinden, um den genauen Verlauf der Bereitstellung von Prozesswärme und des Kühlleistungsbedarfs zu ermitteln. Anschließend kann eine Auslegungsoptimierung der AKM stattfinden und ein Demonstrationsprojekt durchgeführt werden.

Die übrigen Module sind unter den derzeit gegebenen Rahmenbedingungen entweder technisch und/oder wirtschaftlich nicht umsetzbar. Diese Situation kann sich jedoch bei einer Änderung der Rahmenbedingungen wandeln, z.B. bei:

- Senkung der Investitionskosten für eine Technologie,
- Zusätzliche Wärme- oder Kältequellen,
- Zusätzliche Wärme- oder Kälteverbraucher,
- Erlass von gesetzlichen Vorgaben,
- Ausschüttung von Förderungen,
- Senkung des internen Verrechnungszinssatzes,
- Erweiterung der erlaubten maximalen Amortisationszeit.

Deshalb ist eine regelmäßige Aktualisierung der Rahmenbedingungen anzuraten, um etwaige Änderungen in der technologischen Umsetzbarkeit und der Wirtschaftlichkeit sofort zu erkennen. Dies kann im Rahmen eines Energiecontrollings durchgeführt werden, in dem die laufend erfassten Daten mit den vorhandenen Datensätzen verglichen werden und die Entwicklung der energetischen Leistungsfähigkeit des Unternehmens abgelesen werden kann.

Die Ergebnisse dieses Projekts können zwar nicht direkt auf andere Betriebe umgemünzt werden, doch durch den modularen Aufbau und den gewählten methodischen Ansatz, kann die Vorgehensweise sowohl für andere Betriebe der Druckereiindustrie, als auch für Betriebe anderer Industriezweige übernommen werden. Prinzipiell kann diese Vorgehensweise bei allen Klein- und Mittelbetrieben eingesetzt werden, die über einen längeren Zeitraum im Jahr Überschusswärme zur Verfügung haben und entweder einen konstanten Kälteverbraucher oder einen Wärmeverbraucher bei niedrigen Temperaturen besitzen. Somit kann das Projekt als Referenz für weitere, ähnlich geartete Projekte verwendet werden und den zeitlichen Aufwand bei der Umsetzung einer Durchführbarkeitsstudie erheblich reduzieren.

7 Literaturverzeichnis

7.1 Literaturquellen

Agrar Plus (2011): Potentiale für biogene Rohstoffe zur energetischen Nutzung. URL: http://www.agrarplus.at/pdf/potentiale_biogene_brennstoffe_energetische_nutzung.pdf (Zugriff: 17.02.2011).

Atlas Copco (2010a): Schraubenkompressoren mit Öleinspritzung GA 15-22. URL: http://www.kompressoren-druckluft.com/fileadmin/bilder/Content/Downloads/oelgeschmiert/GA15_22.pdf (Zugriff: 17.12.2010).

Atlas Copco (2010b): Schraubenkompressoren mit Öleinspritzung GA 30-90. URL: http://www.kompressoren-druckluft.com/fileadmin/shop/GA30_90VSD.pdf (Zugriff: 17.12.2010).

Baehr, Hans D.; Kabelac, Stephan (2006): Thermodynamik. Berlin: Springer-Verlag. ISBN: 978-3-540-32513-0.

Benndorf (2011): Century – Absorption Chiller. URL: <http://www.benndorf-ralf.de/pdf/century.pdf> (Zugriff: 21.01.2011 13:20).

Dai, Yiping et al. (2009): Parametric optimization and comparative study of organic Rankine cycle (ORC) for low grade waste heat recovery. In: Energy Conversion and Management, Vol. 50, Nr. 3, S. 576-582.

Desai, Nishith B.; Bandyopadhyay, Santanu (2009): Process integration of organic Rankine cycle. In: Energy, Vol. 34, Nr. 10, S. 1674-1686.

E-Control (2010): Stromkennzeichnung. URL: <http://e-control.at/de/industrie/oeko-energie/stromkennzeichnung> (Zugriff: 30.11.2010).

Eder, Barbara; Schulz, Heinz (2006): Biogas-Praxis. 3. Aufl., Staufen: ökobuch Verlag. ISBN: 978-3-936896-13-8.

Energieagentur Berlin (2008): Machbarkeitsstudie thermische vs. konventionelle Kälteerzeugung am Bürogebäude Tiefstack der Vattenfall Europe Hamburger. URL: http://www.eu-summerheat.net/pdf_files/081205_MBS_HH_de_final.pdf (Zugriff: 07.12.2010).

- Energieverwertungsagentur (2000):** Auswirkungen von nationalen Biomasse-Rahmenbedingungen auf Investitionskosten von Biomasseheizwerken. URL: http://www.iwo-austria.at/fileadmin/user_upload/biocost.pdf (Zugriff: 22.02.2011).
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2010):** Leitfaden Biogas. URL: <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?id=1202&idtitel=208> (Zugriff: 29.12.2010).
- Fischer, Andreas (2011):** Dynamischer Industrieholzmarkt. In: Forstzeitung, Vol. 122, Nr. 2, S. 24-25.
- GE Jenbacher (2010):** Jenbacher Baureihe 6. URL: http://www.gepower.com/prod_serv/products/ recip_engines/de/downloads/ETS_D_T6_10_screen_August2010.pdf (Zugriff: 27.12.2010).
- Gordon, J.M.; Ng, K.C. (1995):** A general thermodynamic Model for Absorption Chillers – Theory and Experiment. In: Heat Recovery Systems & CHP, Vol. 15, Nr. 1, S. 73-83.
- Hammer, Andreas; Doletschek, Marianne (2009):** Thermische Energietechnik. Lehrveranstaltungsunterlagen, Montanuniversität Leoben.
- Heidemann, Wolfgang et al. (2005):** Solare Nahwärme und saisonale Speicherung. URL: http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2005/th2005_02_02.pdf (Zugriff: 05.12.2010).
- Hung, Tzu-Chen et al. (1997):** A review of Organic Rankine Cycles (ORCs) for the recovery of low-grade waste heat. In: Energy, Vol. 22, Nr. 7, S. 661-667.
- Hung, Tzu-Chen (2001):** Waste heat recovery of organic Rankine cycle using dry fluids. In: Energy Conversion and Management, Vol. 42, Nr. 5, S. 539-553.
- Intenseroh (2011):** Recycling für den Klimaschutz. URL: http://www.umsicht.fraunhofer.de/publikationen/studien/Recycling_fuer_den_Klimaschutz_Broschuere.pdf (Zugriff: 17.02.2011).
- Kaltschmitt, Martin; Hartmann, Hans (2001):** Energie aus Biomasse, Berlin: Springer Verlag. ISBN: 3-540-64853-4.
- Kaltschmitt, Martin et al. (2006):** Erneuerbare Energien, 4. Aufl., Berlin: Springer Verlag. ISBN-13: 978-3-540-28204-4.
- Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang (2009):** Regenerative Energien in Österreich. Wiesbaden: GWV Fachverlage. ISBN: 978-3-8348-0839-4.

- Lamp, P. et al. (1998):** Opportunities for sorption cooling using low grade heat. In: Applied Thermal Engineering, Vol. 18, Nr. 9-10, S. 755-764.
- Landwirtschaftskammer Niederösterreich (2010a):** Bezirksbauernkammer Horn. URL: <http://www.pklwk.at/parse.php?id=2500%2C%2C900624%2C> (Zugriff: 29.12.2010).
- Landwirtschaftskammer Niederösterreich (2010b):** Produkte forstlicher Bereich. URL: <http://www.pklwk.at/parse.php?id=2500%2C%2C1295049%2C%2CeF9LRVIXT1JEX0FbMF09MTQw> (Zugriff: 29.12.2010).
- Mróz, Tomasz M. (2006):** Thermodynamic and economic performance of the LiBr-H₂O single stage absorption water chiller. In: Applied Thermal Engineering, Vol. 26, Nr. 17-18, S. 2103-2109.
- Murphy, Jerry D.; Power, Niamh M. (2009):** An argument for using biomethane generated from grass as a biofuel in Ireland. In: Biomass and Bioenergy, Vol. 33, Nr. 3, S. 504-512.
- NaturalGas (2011):** Combined Heat and Power Systems. URL: http://www.naturalgas.org/overview/combinedheat_powersystems.asp (Zugriff: 31.01.2011).
- Ng, K.C. et al. (1998):** Thermodynamic analysis of Absorption Chillers – Internal Dissipation and Process average Temperature. In: Applied Thermal Engineering, Vol. 18, Nr. 8, S. 671-682.
- Obernberger, Ingwald et al. (2010):** Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungen auf Basis des ORC-Prozesses – EU-Thermie-Projekt Admont (A). URL: http://www.turboden.eu/de/public/downloads/Admont_Anlagenbeschreibung_BIAA0100.pdf (Zugriff: 19.12.2010).
- Obernberger, Ingwald; Gaia, Mario (2010):** Biomasse - Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis des ORC-Prozesses - Stand der Technik und Möglichkeiten der Prozessoptimierung. URL: <http://www.bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Obernberger-ORCProzess-2005-10-11.pdf> (Zugriff: 21.12.2010).
- Prochnow, A. et al. (2009):** Bioenergy from permanent grassland - A review: 1. Biogas. In: Bio-resource Technology, Vol. 100, Nr. 21, S. 4931-4944.
- Pucker, Johanna et al. (2010):** Energie der Zukunft – Ökobilanz Biogas. Forschungsbericht, JOANNEUM RESEARCH.
- Recknagel, Hermann et al. (2005):** Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 72. Aufl., München: Oldenbourg Industrieverlag. ISBN: 3-486-26534-2.

- Rösch, C. et al. (2009):** Energy production from grassland – assessing the sustainability of different process chains under German conditions. In: Biomass and Bioenergy, Vol. 33, Nr. 4, S. 689-700.
- Roy, J.P. et al. (2010):** Parametric optimization and performance analysis of a waste heat recovery system using Organic Rankine Cycle. In: Energy, Vol. 35, Nr. 12, S. 5049-5062.
- Sander, Kai et al. (2003):** Perspektiven Stationärer Brennstoffzellen im Energiesystem Baden-Württembergs. URL: <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/40144/BWE20008SBer.pdf?command=downloadContent&filename=BWE20008SBer.pdf&FIS=203> (Zugriff: 22.02.2011).
- Schnedl, Christian et al. (2008):** Energie der Zukunft - Optimierung der regionalen Warenströme (Qualitäten, Transport, Aufkommen, etc.) über Biomasse-Logistikzentren. Forschungsbericht, JOANNEUM RESEARCH.
- Schuster, A. et al. (2009):** Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. In: Applied Thermal Engineering, Vol. 29, Nr. 8-9, S. 1809-1817.
- Solites (2011):** Saisonalspeicher – Grundlagen zur Planung. URL: <http://www.saisonalspeicher.de/Planung/Grundlegendes/tabid/85/language/de-DE/Default.aspx> (Zugriff: 28.01.2011).
- Statistik Austria (2010):** Bodennutzung. URL: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/bodennutzung/index.html (Zugriff: 30.12.2010).
- Statistik Austria (2011a):** Energiepreise VPI 2000. URL: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/verbraucherpreisindex_vpi_hvpi/sonderauswertungen/index.html (Zugriff: 21.02.2011).
- Statistik Austria (2011b):** VPI 2000. URL: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/verbraucherpreisindex_vpi_hvpi/sonderauswertungen/index.html (Zugriff: 21.02.2011).
- Statistik Austria (2011c):** Land- und forstwirtschaftliche Erzeugerpreise 2003-2009. URL: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/agrарpreise_agrарpreisindex/index.html (Zugriff: 21.02.2011).
- Strauss, K.; Wild, T. (2002):** Arbeitsmittel für ORC-Anlage. In: Geothermische Stromerzeugung. VDI-Bericht 1703, S. 85-98.

- Summerer, F. (1996):** Evaluation of absorption cycles with respect to COP and economics. In: International Journal of Refrigeration, Vol. 19, Nr. 1, S. 19-24.
- Tozer, Robert; James, Ron W. (1998):** Heat powered refrigeration cycles. In: Applied Thermal Engineering, Vol. 18, Nr. 9-10, S. 731-743.
- Turboden (2011):** Für dezentrale Energieerzeugung auf ORC-Basis. URL: http://www.turboden.eu/de/public/downloads/turboden_orc_biomasse_deutsch.pdf (Zugriff: 14.02.2011).
- UBA (2009):** Österreichisches Umweltbundesamt: GEMIS-Österreich - Globales Emissions Modell Integrierter Systeme für Österreich, Österreich Datensatz für Version 4.5., 2009.
- von Cube, Hans Ludwig; Steimle, Fritz (1978):** Wärmepumpen - Grundlagen und Praxis. VDI-Verlag: Düsseldorf. ISBN: 3-18-400345-0.
- Walla, C.; Schneeberger, W. (2008):** The optimal size for biogas plants. In: Biomass and Bio-energy, Vol. 32, Nr. 6, S. 551-557.
- Wei, Donghong et al. (2007):** Performance analysis and optimization of organic Rankine cycle (ORC) for waste heat recovery. In: Energy Conversion and Management, Vol. 48, Nr. 4, S. 1113-1119.
- Weiland, Peter (2001):** Grundlagen der Methangärung. In: VDI-Berichte – Biogas als regenerative Energie, Nr. 1620, S. 19-32.
- Wirtschaftsverbände Papierverarbeitung (2011):** Positionspapier des WPV zum Planspiel 6 – Novelle Verpackungsverordnung. URL: <http://www.wpv-ev.de/WPV-Positionspapier%20Planspiel%206.%20Novelle.pdf> (Zugriff: 17.02.2011).
- Zahoransky, Richard (2007):** Energietechnik. 3. Aufl., Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH. ISBN: 978-3-8348-0215-6.
- ZAMG (2011):** Klimadaten von Österreich. URL: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm (Zugriff: 21.01.2011 13:23).

7.2 Referenzen

Atlas Copco (2008): Auswertung Druckluftverbrauchsmessungen. Als Bericht zur Verfügung gestellte Unterlagen.

Axima (2010): Technische Daten der Kühlzentrale für die Rollenoffset-Maschine Lithoman. Laufende Korrespondenz via E-Mail zwischen November 2010 und Jänner 2011; Zur Verfügung gestelltes Analgschema inkl. technischer Daten.

Berger (2011): Ansprechpartner und Auftraggeber. Laufende Korrespondenz über den gesamten Projektverlauf.

Energieallianz (2010): Stromverbrauchsmessungen. In elektronischer Form zur Verfügung gestellte Unterlagen.

EVN (2010): Erdgasverbrauchsmessungen. In elektronischer Form zur Verfügung gestellte Unterlagen.

Fernwärme Waldviertel (2011): Einbindung der Druckerei Berger in das Fernwärmenetz Horn. Telefonischer Kontakt mit Herrn Ing. Steiner.

Feuerpolizei Graz (2010): Verwendbarkeit von Löschwasserspeichern als Pufferspeicher. Telefonischer Kontakt mit Herrn Ing. Ingruber.

Goss (2010): Herstellerdaten der diversen Trockner der Rollenoffset-Maschinen. Laufende Korrespondenz via E-Mail zwischen November 2010 und Februar 2011; In elektronischer Form zur Verfügung gestellte Produktbeschreibungen und Produktpräsentationen.

Harig (2010): Technische Daten der Kühlzentrale für die Rollenoffset-Maschine Goss M600D. Zur Verfügung gestelltes Analgschema inkl. technischer Daten.

HTA (2010): Betriebsanleitung Energierückgewinnungsanlage der Baureihe EcoBox. In elektronischer Form zur Verfügung gestellte Unterlagen.

IBT Europe (2011): Angebot für eine Absorptionskältemaschine. In elektronischer Form zur Verfügung gestellte Unterlagen, Laufende Korrespondenz via E-Mail zwischen Dezember 2010 und Februar 2011.

Technotrans (2010): Technische Daten der Kühlzentrale für die Rollenoffset-Maschine M600I. Zur Verfügung gestellte Bedienungsanleitung inkl. technischer Daten.

Anhang

Zu AP1:

- Wärmebereitstellung – 1 Seite
- Wärmebedarfsrechnung – 2 Seiten
- Prozesstabellen – 4 Seiten

Zu AP2:

- Technoökologische Bewertung – 4 Seiten

Zu AP3:

- Nebenrechnungen zu Biogas-Einsatz – 1 Seite
- Nebenrechnungen zu Papier-Einsatz – 1 Seite
- Nebenrechnungen zu Biomasse-Einsatz – 1 Seite

Zu AP4:

- Grundannahmen bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen – 1 Seite
- Wirtschaftlichkeitsberechnung zu M3 – 1 Seite
- Wirtschaftlichkeitsberechnung zu M4 – 1 Seite
- Wirtschaftlichkeitsberechnung zu M6-M10 – 1 Seite
- Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Ersatz von Heizöl durch Erdgas – 1 Seite

Prozesstabelle

Prozess	Maschine	Name	Input	Output
Rollenoffset-Maschine 1	Druckmaschine	MAN Lithoman	Papier, LM, Farbe, Strom, Kühlwasser(K)	Papier, LM, Farbe, Kühlwasser(H)
	Trockner	EcoCool/T 149/1460 (Lithoman)	Papier, LM, Farbe, Strom, Gas, Kühlwasser(K)	Papier, Farbe, Kühlwasser(H), Abgas(H), Abwärme
	Falzmaschine	1 Stk. Falzmaschine	Papier, Strom	Produkt, Papierabfall, Abwärme
EcoBox 1	Wärmeübertrager	EcoBox (Stork, HTA)	Abgas(H), Heizwasser(K)	Abgas(K), Heizwasser(H)
Kühlzentrale 1	Maschinenkühlung	Axima (iCool Aqua Center)	Kühlwasser(K)	Kühlwasser(H)
Quellluftsäule 1	Quellluftsäule	AirPool	Luft(H), Kühlwasser(K)	Luft(K), Kühlwasser(H)
Rollenoffset-Maschine 2	Druckmaschine	GOSS M600D	Papier, LM, Farbe, Strom, Kühlwasser(K)	Papier, LM, Farbe, Kühlwasser(H)
	Trockner	EcoCool/T EOT 121-1020R-NG (GOSS M600D)	Papier, LM, Farbe, Strom, Gas, Kühlwasser(K)	Papier, Farbe, Kühlwasser(H), Abgas(H), Abwärme
	Falzmaschine	1 Stk. Falzmaschine	Papier, Strom	Produkt, Papierabfall, Abwärme
EcoBox 2	Wärmeübertrager	EcoBox (Stork, HTA)	Abgas(H), Heizwasser(K)	Abgas(K), Heizwasser(H)
Kühlzentrale 2	Maschinenkühlung	Harig	Kühlwasser(K)	Kühlwasser(H)
Quellluftsäule 2	Quellluftsäule	AirPool	Luft(H), Kühlwasser(K)	Luft(K), Kühlwasser(H)
Rollenoffset-Maschine 3	Druckmaschine	M600I	Papier, LM, Farbe, Strom, Kühlwasser(K)	Papier, LM, Farbe, Kühlwasser(H)
	Trockner	EcoTherm E093-1020-RH-43PG (M600I)	Papier, LM, Farbe, Strom, Gas, Kühlwasser(K)	Papier, Farbe, Kühlwasser(H), Abgas(H), Abwärme
	Falzmaschine	1 Stk. Falzmaschine	Papier, Strom	Produkt, Papierabfall, Abwärme
EcoBox 3	Wärmeübertrager	EcoBox (Stork, HTA)	Abgas(H), Heizwasser(K)	Abgas(K), Heizwasser(H)
Kühlzentrale 3	Maschinenkühlung	Technotrans	Kühlwasser(K)	Kühlwasser(H)
Bogenoffset-Maschine 1-4	Druckmaschine	4 Stk. Bogenoffsetdruckmaschine	Papier, LM, Farbe, Strom	Papier, Farbe, Abwärme
	Trockner	Quarzstrahler	Strom	Abwärme

Prozess	Maschine	Name	Input	Output
Sonstige Stromverbraucher	Kompressor	Atlas Copco GA75VSDF	Strom	Druckluft, Abwärme
	Kompressor	Atlas Copco GA45FF-10	Strom	Druckluft, Abwärme
	Kompressor	Atlas Copco GA37VSDF	Strom	Druckluft, Abwärme
	Kompressor	Atlas Copco GA45FF-10	Strom	Druckluft, Abwärme
	Kompressor	Compair MSK G30	Strom	Druckluft, Abwärme
	Kompressor	Compair MSK G30	Strom	Druckluft, Abwärme
	Kompressor	Compair MSK G18	Strom	Druckluft, Abwärme
	Kompressor	Atlas Copco GA5FF	Strom	Druckluft, Abwärme
	Kompressor	Atlas Copco GA15FF	Strom	Druckluft, Abwärme
	Verdichter	3 Stk. Verdichter (Binderei)	Strom	Druckluft, Abwärme
	Vakuumpumpe	3 Stk. Vakuumpumpe (Binderei)	Strom	Vakuum, Abwärme
	Gebläse	4 Stk. Absaugventilator (Papier)	Strom	Abwärme
	Presse	2 Stk. Verdichterpresse (Papier)	Strom	Abwärme
	Gebläse	1 Stk. Rückluftventilator (Papier)	Strom	Abwärme
Klimagerät	1 Stk. Klimagerät (CTP-Kopiererraum)	Strom	Abwärme	
Klimagerät	6 Stk. Klimagerät (div. Aufstellung)	Strom	Abwärme	
Ölbrenner	Brenner	1	Heizöl, Heizwasser(K)	Heizwasser(H), Abgas
	Brenner	2	Heizöl, Heizwasser(K)	Heizwasser(H), Abgas
Gasbrenner	Brenner	1	Erdgas, Heizwasser(K)	Heizwasser(H), Abgas
	Brenner	2	Erdgas, Heizwasser(K)	Heizwasser(H), Abgas
Kühlturm 1	Kühlturm	VFL 963-PR (Lithoman Rückkühlung)	Kühlwasser(H)	Kühlwasser(K), Abwärme
Kühlturm 2	Kühlturm	CTE 205 (Goss M600D Rückkühlung)	Kühlwasser(H)	Kühlwasser(K), Abwärme
Kaltwassersatz 1	Kühlturm	n.V.	Kühlwasser(H)	Kühlwasser(K), Abwärme
Luft/Wasser-Wärmetauscher 1	Kühlturm	AC Conditionatori (Not-Rückkühlung für M600I)	Kühlwasser(H)	Kühlwasser(K), Abwärme
Luft/Wasser-Wärmetauscher 2	Kühlturm	Günter GVH	Kühlwasser(H)	Kühlwasser(K), Abwärme
Kompressionskältemaschine 1	Kompressor	2 Stk. Kompressor	Strom, KühlwasserP(H), KühlwasserS(K)	KühlwasserP(K), KühlwasserS(H)
Kompressionskältemaschine 2	Kompressor	4 Stk. Kompressor	Strom, KühlwasserP(H), KühlwasserS(K)	KühlwasserP(K), KühlwasserS(H)
Kompressionskältemaschine 3	Kompressor	2 Stk. Kompressor	Strom, KühlwasserP(H), KühlwasserS(K)	KühlwasserP(K), KühlwasserS(H)
Büro- und Hallenbeheizung	Heizung	Heizkreis 1 (Bindereigebäude)	Heizwasser(H)	Heizwasser(K), Abwärme
	Heizung	Heizkreis 2 (restliche Gebäude)	Heizwasser(H)	Heizwasser(K), Abwärme

Prozesstabelle

T... betrachtete Temperatur
 Tu... Umgebungstemperatur im System
 Ta... Außentemperatur

Prozess	Maschine	Name	installierte Leistung	Temperatur In	Temperatur Out	Wärmequelle/ -senke	Wärmerück- gewinnung nutzbar	exergetisch relevanter Prozess
Rollenoffset-Maschine 1	Druckmaschine	MAN Lithoman	n.V.	12°C, Tu	15°C, Tu < T	Q	N	N
	Trockner	EcoCool/T 149/1460 (Lithoman)	ca. 2000kWth, 337kVA	Tu	30°C, 400°C	Q	J	J
	Falzmaschine	1 Stk. Falzmaschine	n.V.	30°C	Tu < T	Q	N	N
EcoBox 1	Wärmeübertrager	EcoBox (Stork, HTA)	510 kWth	430°C, 70°C	150°C, 90°C	Q	J	J
Kühlzentrale 1	Maschinenkühlung	Axima (iCool Aqua Center)	504 kWth	12 bzw. 15°C	15 bzw. 30°C	Q	N	J
Quellluftsäule 1	Quellluftsäule	AirPool	243 kWth	Tu < T < 45°C, 15°C	Tu, 15°C	Q	N	N
Rollenoffset-Maschine 2	Druckmaschine	GOSS M600D	n.V.	12°C, Tu	15°C, Tu < T	Q	N	N
	Trockner	EcoCool/T EOT 121-1020R-NG (GOSS M600D)	ca. 1500kWth, 218kVA	Tu	30°C, 400°C	Q	J	J
	Falzmaschine	1 Stk. Falzmaschine	n.V.	30°C	Tu < T	Q	N	N
EcoBox 2	Wärmeübertrager	EcoBox (Stork, HTA)	440 kWth	430°C, 70°C	150°C, 90°C	Q	J	J
Kühlzentrale 2	Maschinenkühlung	Harig	379,2 kWth	12 bzw. 15°C	15 bzw. 27°C	Q	N	J
Quellluftsäule 2	Quellluftsäule	AirPool	150 kWth	Tu < T < 45°C, 15°C	Tu, 15°C	Q	N	N
Rollenoffset-Maschine 3	Druckmaschine	M600I	n.V.	12°C, Tu	15°C, Tu < T	Q	N	N
	Trockner	EcoTherm E093-1020-RH-43PG (M600I)	ca. 1000kWth, 171 kVA	Tu	30°C, 400°C	Q	J	J
	Falzmaschine	1 Stk. Falzmaschine	n.V.	30°C	Tu < T	Q	N	N
EcoBox 3	Wärmeübertrager	EcoBox (Stork, HTA)	474 kWth	430°C, 70°C	150°C, 90°C	Q	J	J
Kühlzentrale 3	Maschinenkühlung	Technotrans	258,8 kWth	12 bzw. 15°C	15 bzw. 30°C	Q	N	J
Bogenoffset-Maschine 1-4	Druckmaschine	4 Stk. Bogenoffsetdruckmaschine	n.V.	Tu	T < 40°C	Q	N	N
	Trockner	Quarzstrahler	n.V.	Tu	T < 40°C	Q	N	N

Prozess	Maschine	Name	installierte Leistung	Temperatur In	Temperatur Out	Wärmequelle/ -senke	Wärmerück- gewinnung nutzbar	exergetisch relevanter Prozess
Sonstige Stromverbraucher	Kompressor	Atlas Copco GA75VSDFF	75 kWel	Tu	T < 40°C	Q	bedingt	N
	Kompressor	Atlas Copco GA45FF-10	45 kWel	Tu	T < 40°C	Q	bedingt	N
	Kompressor	Atlas Copco GA37VSDFF	37 kWel	Tu	T < 40°C	Q	bedingt	N
	Kompressor	Atlas Copco GA45FF-10	45 kWel	Tu	T < 40°C	Q	bedingt	N
	Kompressor	Compair MSK G30	30 kWel	Tu	T < 40°C	Q	bedingt	N
	Kompressor	Compair MSK G30	30 kWel	Tu	T < 40°C	Q	bedingt	N
	Kompressor	Compair MSK G18	18 kWel	Tu	T < 40°C	Q	bedingt	N
	Kompressor	Atlas Copco GA5FF	5,5 kWel	Tu	T < 40°C	Q	bedingt	N
	Kompressor	Atlas Copco GA15FF	15 kWel	Tu	T < 40°C	Q	bedingt	N
	Verdichter	3 Stk. Verdichter (Binderei)	n.V.	Tu	T < 40°C	Q	N	N
	Vakuumpumpe	3 Stk. Vakuumpumpe (Binderei)	n.V.	Tu	T < 40°C	Q	N	N
	Gebläse	4 Stk. Absaugventilator (Papier)	n.V.	Tu	T < 40°C	Q	N	N
	Presse	2 Stk. Verdichterpresse (Papier)	n.V.	Tu	T < 40°C	Q	N	N
	Gebläse	1 Stk. Rückluftventilator (Papier)	n.V.	Tu	T < 40°C	Q	N	N
	Klimagerät	1 Stk. Klimagerät (CTP-Kopierraum)	n.V.	Tu	T < 40°C	Q	N	N
	Klimagerät	6 Stk. Klimagerät (div. Aufstellung)	n.V.	Tu	T < 40°C	Q	N	N
Ölbrenner	Brenner	1	428 kWth	Tu, 70°C	90°C, T > 100°C	Q	J	J
	Brenner	2	451 kWth	Tu, 70°C	90°C, T > 100°C	Q	J	J
Gasbrenner	Brenner	1	298 kWth	Tu, 70°C	90°C, T > 100°C	Q	J	J
	Brenner	2	468 kWth	Tu, 70°C	90°C, T > 100°C	Q	J	J
Kühlturm 1	Kühlturm	VFL 963-PR (Lithoman Rückkühlung)	570 kWc	33°C	27°C	S	N	N
Kühlturm 2	Kühlturm	CTE 205 (Goss M600D Rückkühlung)	554 kWc	33°C	27°C	S	N	N
Kaltwassersatz 1	Kühlturm	n.V.	n.V.	n.V.	n.V.	S	N	N
Luft/Wasser- Wärmetauscher 1	Kühlturm	AC Conditionatori (Not-Rückkühlung für M600I)	170 kWc	Ta < T < 45°C	Ta ~ T	S	N	N
Luft/Wasser- Wärmetauscher 2	Kühlturm	Günter GVH	338 kWc	Ta < T < 45°C	Ta ~ T	S	N	N
Kompressionskälte- maschine 1	Kompressor	2 Stk. Kompressor	85 kWel, 276 kWc	T > 12°C, T < Tout	12°C, T > 33°C	S	N	J
Kompressionskälte- maschine 2	Kompressor	4 Stk. Kompressor	59,2 kWel, 320,8 kWc	T > 12°C, T < Tout	12°C, T > 33°C	S	N	J
Kompressionskälte- maschine 3	Kompressor	2 Stk. Kompressor	98 kWel, 180 kWc	T > 12°C, T < Tout	12°C, T > 33°C	S	N	J
Büro- und Hallenbeheizung	Heizung	Heizkreis 1 (Bindereigebäude)	n.V.	Tu < T	Tu	S	N	J
	Heizung	Heizkreis 2 (restliche Gebäude)	n.V.	Tu < T	Tu	S	N	J

Wärmebedarfsrechnung

Quelle: ZMAG - Homepage

Netz

geogr. Länge: 15° 57'

geogr. Breite: 48° 46'

24 km Luftlinie von Horn entfernt

	t	mtmax	mtmin	tmax	tmin	HT _{20/12}	HGT _{20/12}
Jan	-1,3	1,9	-3,8	16,1	-23,2	31,0	650
Feb	0,3	4,2	-2,6	20,2	-20,4	28,2	543
Mar	4,4	9,5	0,7	25,1	-17,8	29,4	451
Apr	9,1	14,7	4,4	27,9	-4,8	22,0	268
Mai	14,4	20,2	9,1	30,6	-1,4	6,8	69
Jun	17,4	23,2	12,0	35,0	1,4	1,2	11
Jul	19,4	25,5	13,8	37,6	5,2	0,0	0
Aug	19,1	25,6	13,8	37,8	2,2	0,3	2
Sep	14,4	20,3	10,1	33,6	1,4	5,0	49
Okt	8,9	14,1	5,3	28,1	-7,8	21,6	265
Nov	3,4	6,7	0,8	20,5	-13,2	29,4	482
Dez	0,3	3,1	-2,1	15,8	-19,9	31,0	605
Jahr	9,2	14,1	5,1	37,8	-23,2	205,9	3394

Kürzel	Einheit	Element	Definition
t	°C	Tagesmittel	(7 Uhr Mittel + 19 Uhr Mittel + mittl. Maximum + mittl. Minimum) / 4
mtmax	°C	Mittel aller tägl. Maxima	Summe tägl. Maxima / Anzahl der Tage
mtmin	°C	Mittel aller tägl. Minima	Summe tägl. Minima / Anzahl der Tage
tmax	°C	absolutes Maximum	größtes Tagesmaximum
tmin	°C	absolutes Minimum	kleinstes Tagesminimum
HT _{20/12}	Tag	Anzahl der Heiztage	Summe der Tage mit Temperaturtagesmittel < 12,0 °C
HGT _{20/12}	°C	Gradtagszahl 20/12	Kenngröße für Heizenergiebedarf

Feiertage/Zusätzliche arbeitsfreie Tage

Quelle: Feiertagskalender, Überprüfung mittels Gasverbrauch

	2009	2010
Jänner	2	2
Februar		
März		
April	1	1
Mai	3	2
Juni	1	1
Juli		
August		
September		
Oktober	1	1
November		1
Dezember	3	2

Bezugszeitraum

Weitere Berechnungen aufgrund der Quellenangaben

	HGT/HT	HEB	Heizstunden	Heizleistung
Jan	21,0	434	744	583
Feb	19,2	362	677	536
Mar	15,3	301	706	427
Apr	12,2	179	528	339
Mai	10,2	46	163	283
Jun	8,8	7	29	243
Jul	0,0	0	-	-
Aug	7,3	1	7	204
Sep	9,8	33	120	272
Okt	12,3	177	518	341
Nov	16,4	322	706	456
Dez	19,5	404	744	543
Jahr		2.267	4.942	459

HGT/HT... Heizgradtage/Heiztage [K]

HEB... Heizenergiebedarf [MWh]

Heizstunden... HT * 24 [h]

Heizleistung... mittlere Heizleistung [kW]

Bedingte Aussagekraft, da Heiztage ungleich Kalendertage

Wärmebedarfsrechnung

Quelle für Verbrauch: Buchhaltung und Aufzeichnung lt. Fa. Berger

Quelle für Nutzungsgrad und spez. Energieinhalt: UBA (2009)

Verbrauch an fossilen Brennstoffen

	Verbrauch p.a.	spez. Energieinhalt	Verbrauch p.a.	Nutzungsgrad	Nutzwärme p.a.	h ein p.w.	Anteil ein exkl. Feiertage	Anteil an HGT inkl. Feiertage	spez. Verbrauch
Heizöl	40.161 l	9,812 kWh/l	394.060 kWh	85%	334.951 kWh _{th}	36	21%	881,3	380,1 kWh _{th} /°C _{HGT}
Erdgas	23.000 Nm ³	10 kWh/Nm ³	230.000 kWh	85%	195.500 kWh _{th}	26	15%	679,3	287,8 kWh _{th} /°C _{HGT}
Summe			624.060 kWh		530.451 kWh _{th}				667,9 kWh _{th} /°C _{HGT}

HGT_{20/12} 3.394 °C_{HGT}

Heizenergiebedarf Heizkreis 1 976.887 kWh_{th} p.a.

Heizenergiebedarf Heizkreis 2 1.290.012 kWh_{th} p.a.

Gesamtheizenergiebedarf 2.266.898 kWh_{th} p.a.

Wärmebereitstellung

Laut Angaben von der Fa. Berger sind die Maschinen im Dauerbetrieb und werden nur an den Wochenenden abgestellt.

Das heißt, die Minimalleistung steht während des gesamten Jahresverlaufs von Mo, 00:00 bis Sa, 12:00 bzw. 22:00 zur Verfügung!

Die Wärmeleistung für die Prozesswärme wird mit einer Abgasabkühlung von $\Delta T = 200 \text{ K}$ und dem minimalen, bzw. maximalen Abgasvolumenstrom gerechnet.

	Prozesswärme				Summe	Heizwärme				Summe	Einheiten
	Lithoman	Goss M600D	M600I			Gasbrenner 1	Gasbrenner 2	Ölbrenner 1	Ölbrenner 2		
Versorgungsbereich	Bindereihalle	Rest	Rest		Bindereihalle	Bindereihalle	Rest	Rest			
min. Wärmeleistung	436	314	327	1.077							kW
max. Wärmeleistung	510	440	469	1.419	298	468	427	451	1.642		kW
Jahreszeit	immer	immer	immer		im Winter	Backup, Spitzenlast	im Winter	Backup			
Beginnzeit	Mo, 00:00	Mo, 00:00	Mo, 00:00		Sa, 22:00	-	Sa, 12:00	-			
Endzeit	Sa, 22:00	Sa, 12:00	Sa, 12:00		Mo, 00:00	-	Mo, 00:00	-			
Wochenstunden	142	132	132		26	0	36	0			h
Verfügbarkeit pro Woche	84,52	78,57	78,57		15,48	-	21,43	-			%
min. Wärmemenge p.w.	61.911	41.486	43.163	146.560	-	-	-	-	-	-	kWh
max. Wärmemenge p.w.	72.420	58.080	61.868	192.368	7.735	-	15.361	-	15.361		kWh
min. Wärmemenge p.d.	8.844	5.927	6.166	20.937	-	-	-	-	-	-	kWh
max. Wärmemenge p.d.	10.346	8.297	8.838	27.481	7.140	-	10.241	-	2.194		kWh

Wärmebereitstellung pro Monat

	Tage	produktionsfreie Tage 2009/2010	min. Prozesswärme	max. Prozesswärme	max. Wärme Heizbrenner	HEB	min. Überschusswärme
Jänner	31	2	597	186	68	434	163
Februar	28		586	183	61	362	224
März	31		649	203	68	301	348
April	30	1	602	188	66	179	423
Mai	31	2	597	186	68	46	551
Juni	30	1	602	188	66	7	595
Juli	31		649	203	68	0	649
August	31		649	203	68	1	648
September	30		628	196	66	33	596
Oktober	31	1	623	195	68	177	446
November	30		628	196	66	322	306
Dezember	31	3	571	178	68	404	168

Tage... Tage pro Monat

produktionsfreie Tage 2009/2010... Tage an denen die Produktion in der Heizsaison 2009/2010 keine Wärme produziert

min. Prozesswärme... Wärmemenge durch die Prozesswärmerückgewinnung bei minimalem Abgasvolumenstrom [MWh]

max. Prozesswärme... zusätzliche Wärmemenge zu min. Prozesswärme durch Prozesswärmerückgewinnung bei maximalem Abgasvolumenstrom [MWh]

max. Wärme Heizbrenner... Wärmemenge die von Gasbrenner 1 und Ölbrenner 1 bei Ausnutzung der maximalen Leistung erzeugt wird [MWh]

HEB... Heizenergiebedarf [MWh]

min. Überschusswärme... min. Prozesswärme - HEB [MWh]

Technoökologische Bewertung

x... Zustimmung

Sicherheit	M1	M2	M3	M4	M5	Gewichtung	M1	M2	M3	M4	M5
Es ist kein Umgang mit Gefahrenstoffen nötig	x	x	x	x		0,20	1	1	1	1	0
Von den Drücken, die im System vorherrschen geht keine Gefahr aus	x	x	x		x	0,15	1	1	1	0	1
Es gibt unter keinen Umständen Explosionsgefahr (mind. einer der drei Einflussfaktoren fehlt)	x	x	x	x		0,15	1	1	1	1	0
Es gibt keine mechanisch belastete Teile, die für Personen zugänglich sind	x	x	x	x	x	0,15	1	1	1	1	1
Etwaige thermisch belastete Teile sind für Personen nicht zugänglich (T>50°C)	x	x	x			0,15	1	1	1	0	0
Eine Beschädigung des Systems kann keine schweren Verletzungen bei Personen verursachen		x	x			0,20	0	1	1	0	0
Summe						1,00	5,00	6,00	6,00	3,00	2,00
Punktstand nach Gewichtung							4,2	5,0	5,0	3,0	2,2
Verfügbarkeit	M1	M2	M3	M4	M5	Gewichtung	M1	M2	M3	M4	M5
Es sind nationale Technologie Anbieter vorhanden	x	x			x	0,1	1	1	0	0	1
Es sind europäische Technologie Anbieter vorhanden	x	x	x	x	x	0,1	1	1	1	1	1
Es sind internationale Technologie Anbieter vorhanden	x	x	x	x	x	0,05	1	1	1	1	1
Es ist Servicepersonal in der Umgebung vorhanden	x	x	x		x	0,1	1	1	1	0	1
Es gibt kein Lieferantenmonopol für die Rohstoffe	x		x	x	x	0,2	1	0	1	1	1
Es gibt vereinzelte Lieferanten für die Rohstoffe (<=5)	x		x	x	x	0,1	1	0	1	1	1
Es gibt viele Lieferanten für die Rohstoffe (>5)	x		x	x		0,05	1	0	1	1	0
Die Leistungsbereitstellung deckt sich mit dem Leistungsbedarf			x		x	0,3	0	0	1	0	1
Summe						1,00	7,00	4,00	7,00	5,00	7,00
Punktstand nach Gewichtung							3,8	2,4	4,6	3,0	4,8
Marktverfügbarkeit	M1	M2	M3	M4	M5	Gewichtung	M1	M2	M3	M4	M5
Es gibt bereits Erfahrungen mit der Technologie (Forschungsstatus)	x	x	x	x	x	0,3	1	1	1	1	1
Die Erfahrung mit der Technologie beträgt mehr als 5 Jahre	x	x	x	x	x	0,1	1	1	1	1	1
Die Erfahrung mit der Technologie beträgt mehr als 20 Jahre	x	x		x	x	0,1	1	1	0	1	1
Es gibt vereinzelte Pilotprojekte	x	x	x	x	x	0,2	1	1	1	1	1
Das Produkt ist in Einzelstücken verfügbar	x	x	x	x	x	0,2	1	1	1	1	1
Das Produkt ist als Serienprodukt am Markt vorhanden		x	x	x	x	0,1	0	1	1	1	1
Summe						1,00	5,00	6,00	5,00	6,00	6,00
Punktstand nach Gewichtung							4,6	5,0	4,6	5,0	5,0
Integrierbarkeit	M1	M2	M3	M4	M5	Gewichtung	M1	M2	M3	M4	M5
Die Platzverfügbarkeit ist größer als der Platzbedarf, es sind keine baulichen Maßnahmen zu treffen		x				0,1	0	1	0	0	0
Es müssen keine Systemanpassungen getätigt werden						0,15	0	0	0	0	0
Mögliche Systemanpassungen halten sich in Grenzen	x	x	x			0,1	1	1	1	0	0
Eine Einbindung in die Steuerung/Regelung ist kein Problem	x	x	x			0,1	1	1	1	0	0
Die Einbindung in die Steuerung/Regelung stellt einen geringen Aufwand dar	x	x	x	x	x	0,1	1	1	1	1	1
Es wird keine Beeinflussungen der Hauptaggregate geben	x	x	x	x		0,15	1	1	1	1	0
Es wird keine Beeinflussungen der Nebenaggregate geben	x	x		x	x	0,1	1	1	0	1	1
Die Anzahl der Zusatzaggregate beschränkt sich auf 3	x	x				0,1	1	1	0	0	0
Es gibt keinen zusätzlichen zeitlichen Personalaufwand	x	x	x		x	0,1	1	1	1	0	1
Summe						1,00	7,00	8,00	5,00	3,00	3,00
Punktstand nach Gewichtung							4,0	4,4	3,2	2,4	2,2

Regelbarkeit	M1	M2	M3	M4	M5	Gewichtung	M1	M2	M3	M4	M5
Das Aggregat ist nicht nur im Nennlastbereich zu betreiben (+/- 5%)	x	x	x	x	x	0,3	1	1	1	1	1
Die Teillastfähigkeit geht bis mind. 50% der Nennlast	x	x	x	x	x	0,2	1	1	1	1	1
Die Teillastfähigkeit geht bis mind. 20% der Nennlast	x	x	x	x	x	0,1	1	1	1	1	1
Der Leistungsbereich ist über das gesamte Leistungsspektrum ohne große Einbußen regelbar	x	x				0,1	1	1	0	0	0
Eine Überwachung der Regelung ist nicht nötig	x	x	x		x	0,2	1	1	1	0	1
Die etwaige Überwachung der Regelung kann durch eigenes Personal übernommen werden	x	x	x	x	x	0,1	1	1	1	1	1
Summe						1,00	6,00	6,00	5,00	4,00	5,00
Punktstand nach Gewichtung							5,0	5,0	4,6	3,8	4,6
CO₂Äqu-Reduktionspotential	M1	M2	M3	M4	M5		M1	M2	M3	M4	M5
auf Basis der Energieträger	100	97,0	97,6	99,4	-8,4		5,0	4,9	4,9	5,0	1,0
					24,4						2,0

Berechnung des CO₂-Reduktionspotentials für die Technoökologische Bewertung

Berechnung des spez. CO₂-Ausstoßes für den aktuellen Heizmix

Quelle für Verbrauch: Berger (2011)

Quelle für Nutzungsgrad und spez. CO₂-Ausstoß für Heizöl und Erdgas: UBA(2009)

	Nutzleistung [kWh _{th}]	Nutzungs- grad [%]	Energie- einsatz [kWh/kWh _{th}]	spez. CO ₂ - Ausstoß [g _{CO2} /kWh]	spez. CO ₂ - Ausstoß [g _{CO2} /kWh _{th}]	Anteil an Nutzleistung [%]	Verbrauch p.a. [kWh]
Heizöl	1	85	1,18	265,662	312,544	63,1	394.060
Erdgas	1	85	1,18	199,354	234,534	36,9	230.000
Gewichtetes Mittel				241,224	283,793		

Spez. CO₂-Ausstoßes für den aktuellen Strommix in Österreich

Quelle: E-Control (2010)

Strom 223 g_{CO2}/kWh_{el}

Berechnung des spez. CO₂-Ausstoßes für Ersatz von Heizöl durch Erdgas

Alternativ	234,534 g _{CO2} /kWh _{th}	Quelle: 85% Nutzungsgrad für Erdgas
derzeit	312,544 g _{CO2} /kWh _{th}	Quelle: 85% Nutzungsgrad für Heizöl
Reduktionspotential	25,0 %	

Berechnung des spez. CO₂-Ausstoßes für M1

Annahme: Kein CO₂-Ausstoß bei Wärmerückgewinnung

Alternativ	0,000 g _{CO2} /kWh _{th}	
derzeit	283,793 g _{CO2} /kWh _{th}	Quelle: Berechnung aktueller Heizmix
Reduktionspotential	100,0 %	

Berechnung des spez. CO₂-Ausstoßes für M2

Alternativ	8,600 g _{CO2} /kWh _{th}	Quelle: Schnedl, Christian et al. (2008)
derzeit	283,793 g _{CO2} /kWh _{th}	Quelle: Berechnung aktueller Heizmix
Reduktionspotential	97,0 %	

Berechnung des spez. CO₂-Ausstoßes für M3

Quelle für COP der KKM: Energieagentur Berlin (2008)

Quelle für COP der AKM: Benndorf (2010) - 341,25 kW_{th} und 1,95 kW_{el} für 246 kW_c

Alternativ	1,768 g _{CO2} /kWh _c
derzeit	74,333 g _{CO2} /kWh _c
Reduktionspotential	97,6 %

	Nutzleistung [kWh _c]	COP [-]	Energie- einsatz [kWh/kWh _c]	spez. CO ₂ - Ausstoß [g _{CO2} /kWh]	spez. CO ₂ - Ausstoß [g _{CO2} /kWh _c]
KKM	1	3,00	0,33	223,000	74,333
AKMth	1	0,72	1,39	0,000	0,000
el	1	126,15	0,008	223,000	1,768

Berechnung des spez. CO₂Äqu-Ausstoßes für M4

Hinweis: Gewichtung für ein gemischtes kWh_{mix}

Annahme: Zusatzfeuerung mit Biomasse

Quelle für spez. CO₂Äqu-Ausstoß Zusatzfeuerung: Schnedl, Christian et al. (2008)

Alternativ			1,733 g _{CO2Äqu} /kWh _{mix}				
derzeit			271,358 g _{CO2Äqu} /kWh _{mix}				
Reduktionspotential			99,4 %				
	Nutzleistung [kWh _{end}]	Nutzungs- grad [%]	Energie- einsatz [kWh/kWh _{nutz}]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh _{nutz}]	Gewichtung [-]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh _{mix}]
derzeit th	1	85	1,18	241,224	283,793	0,795	225,744
el	1	100	1,00	223,000	223	0,205	45,614
ORC th	1	70	1,14	1,525	1,733	1,000	1,733
el	1	18					
			Brennstoff- bedarf [kWh _{th} p.a.]	Anteil Brennstoff- bedarf [%]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh]		
		Abwärme	5.550.476	81,6	0,000		
		Zusatzfeuerung	1.249.524	18,4	8,300		
			6.800.000	100,0	1,525		

Berechnung des spez. CO₂Äqu-Ausstoßes für M5

Hinweis: Gewichtung für ein gemischtes kWh_{mix}

Annahme: 95% Nutzungsgrad für Gasbrenner

Quelle für Wirkungsgrade: GE Jenbacher Type J620 für Biogas- und Erdgas-Motor

Quelle für spez. CO₂Äqu-Ausstoß Biogas: Rösch, C. et al. (2009)

			Erdgas	Biogas			
Alternativ			234,534	163,265	g _{CO2Äqu} /kWh _{mix}		
derzeit			216,392	216,020	g _{CO2Äqu} /kWh _{mix}		
Reduktionspotential			-8,4	24,4	%		
Erdgas	Nutzleistung [kWh _{end}]	eta [%]	Energie- einsatz [kWh/kWh _{nutz}]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh _{nutz}]	Gewichtung [-]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh _{mix}]
derzeit th	1	95,0	1,05	199,354	209,846	0,502	105,417
el	1	100,0	1,00	223,000	223	0,498	110,975
BHKW th	1	42,7	1,18	199,354	234,534	1,000	234,534
el	1	42,3					
Biogas	Nutzleistung [kWh _{end}]	eta [%]	Energie- einsatz [kWh/kWh _{end}]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh _{nutz}]	Gewichtung [-]	spez. CO ₂ Äqu- Ausstoß [g _{CO2Äqu} /kWh _{mix}]
derzeit th	1	95,0	1,05	199,354	209,846	0,531	111,347
el	1	100,0	1,00	223,000	223	0,469	104,673
BHKW th	1	44,2	1,20	136,000	163,265	1,000	163,265
el	1	39,1					

Biogas-Einsatz

Basisdaten für Biogas

Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2010)

Quelle für Flächen-Ertrag Grassilage: Pucker, Johanna et al. (2010)

Quelle für Heizwert: UBA (2009)

Substrat	Flächen- Ertrag [t _{FM} /ha.a]	Biogas- Ertrag [m _n ³ /t FM]	Biomethan- Ertrag [m _n ³ /t FM]	Biogas- Produktion [m _n ³ /ha.a]	Biomethan- Produktion [m _n ³ /ha.a]	TS [%]	oTS [%]
Maissilage	45	200	106	9.000	4.770	33	95
Grassilage	26	180	98	4.680	2.548	35	90

Heizwert Biomethan	10 kWh/m _n ³
Faulraumbelastung	2,5 kg _{oTS} /m ³ .d

CO₂-Bilanz Biomethan

Quelle: Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang (2009)

Angabe: Lebenszyklusanalyse für den Einsatz in PKWs (CO₂-Äquivalent) - Aufbereitung auf Biomethan-Qualität

Annahme: 85% Nutzungsgrad für Heizung, 95% Nutzungsgrad für Brenner in Trockner

spez. CO ₂ Äqu.-Ausstoß inkl. PKW	59.598,00 kg/TJ
Umrechnung	277.777,78 kWh/TJ
spez. CO ₂ Äqu.-Ausstoß inkl. PKW	214,553 g _{CO2Äqu} /kWh
Anteil PKW	26,50 %
spez. CO ₂ Äqu.-Ausstoß	157,696 g _{CO2Äqu} /kWh
spez. CO ₂ Äqu.-Ausstoß Heizung	185,525 g _{CO2Äqu} /kWh _{th}
spez. CO ₂ Äqu.-Ausstoß Trockner	165,996 g _{CO2Äqu} /kWh _{th}

Biogasanlage-Kosten

Quelle für Biomethan: Prochnow, A. et al. (2009)

Quelle für Biogas: Walla, C.; Schneeberger, W. (2008)

Quelle für Motor-Wirkungsgrade: GE Jenbacher (2010) - GE Jenbacher Type J620 für Biogas und Erdgas

	Biogas	Biomethan
spez. Kosten Biogasanlage	0,149	0,290 €/kWh _{el}
Wirkungsgrad Gasmotor	0,423	0,423 kWh _{el} /kWh
spez. Kosten Biogasanlage	0,063	0,122 €/kWh

Nebenrechnungen zu Papier-Einsatz

Papier-Potential

Quelle: Angaben lt. Fa. Berger

Annahme: kontinuierlicher Anfall von Altpapier/Papierabfall über die Produktionszeit

Jahresmenge	7.551.000	kg p.a.
Tagesmenge	20.688	kg p.d.
spez. Heizwert	4,30	kWh/kg
Energieinhalt	32.448.325	kWh p.a.
Energieleistung	3.704	kW

CO₂-Bilanz Papier

Quelle für spez. CO₂-Ausstoß: Intenseroh (2011)

Quelle für spez. Heizwert für Papier: UBA(2009)

Annahme: 85% Nutzungsgrad für Heizung

spez. CO ₂ _{Äqu} -Ausstoß	94,00	g _{CO2Äqu} /kg
spez. Heizwert	4,30	kWh/kg
spez. CO ₂ _{Äqu} -Ausstoß	21,875	g _{CO2Äqu} /kWh
spez. CO ₂ _{Äqu} -Ausstoß Heizung	25,735	g _{CO2Äqu} /kWh _{th}

Kostenberechnung Papier

Quelle: Angaben lt. Fa. Berger

Angabe: Opportunitätskosten für entgangenen Gewinn aus Verkauf von Altpapier/Papierabfall

Opportunitätskosten	95,00	€/t
spez. Kosten	0,095	€/kg
spez. Heizwert	4,30	kWh/kg
spez. Kosten	0,022	€/kWh

Nebenrechnungen zu Biomasse-Einsatz

Berechnung der spez. Energieinhalte

Quelle: Kaltschmitt, Martin; Hartmann, H. (2001)

Annahme: $E_{fm} = F_m = m^3$

	spez. Energieinhalt	Umrechnung	Heizwert [kWh/kg]	Dichte [kg/m ³]	Wassergehalt [%]
spezifischer Heizwert von Biomasse (wf):	2.106,94 kWh/m ³ _{wf}		5,139	410	0
Energieinhalt pro Schüttraummeter (lt):	818,03 kWh/Srm _{lt}	2,43 Srm/Fm	3,394	586	30
Ausbeute von Biomasse erntefrisch:	15.411,95 kWh/ha.a	8,20 Efm/ha.a	2,521	745,45	45

CO₂-Bilanz Biomasse

Quelle: Schnedl, Christian et al. (2008)

Angabe gilt für Heizwerk mit Waldhackgut

spez. CO₂-Ausstoß 8,30 g_{CO2Äqu}/kWh

Kostenberechnung Biomasse

Quelle: Fischer, Andreas (2011)

Angabe: Energieholz gehackt Atro, mit Rinde, ab Hof exkl. MWSt

Kosten Energieholz (atro)	87,00 €/t
Wassergehalt	30 w
Kosten Energieholz (w=30)	60,90 €/t
spez. Heizwert (w=30)	3,39 kWh/kg
spez. Kosten exkl. MWSt	0,018 €/kWh
spez. Kosten inkl. 10% MWSt	0,020 €/kWh

Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu AP4

Quelle für Opportunitätskosten: Angaben lt. Fa. Berger

Inputdaten

Investitionskosten	€	div. Quellen
jährliche Fixkosten (auf Basis der Investitionskosten)		
Wartungskosten	1,5 %	Quelle: Schuster et al. (2009)
Versicherungskosten	0,15 %	Quelle: Schuster et al. (2009)
jährliche Erlöse		
€		div. Quellen (Opportunitätskosten)
variable Kosten		
Rohstoffe	€/kWh	div. Quellen
Wärme	0,000 €/kWh _{th}	Wärmerückgewinnung
variable Erlöse		
Strom	0,090 €/kWh _{el}	Opportunitätskosten
Wärme	0,056 €/kWh _{th}	Opportunitätskosten

Wirtschaftsdaten

interner Zinssatz:	5 % p.a.	Quelle: Angaben lt. Fa. Berger
Preisänderung Strom:	2,52 % p.a.	Quelle: Statistik Austria (2011a)
Preisänderung Heizenergiemix:	4,84 % p.a.	Eigene Berechnung
Preisänderung Brennholz:	4,76 % p.a.	Quelle: Statistik Austria (2011c)
Kostenänderung Sonstiges:	1,93 % p.a.	Quelle: Statistik Austria (2011b)

Aufgabe

Berechnung der Amortisationszeit auf Basis Barwertmethode
Kostenabschätzung für die Investitionskosten

Berechnung der Wärmeerlöse

Erdgas:	0,033 €/kWh	Opportunitätskosten
Heizöl:	0,056 €/kWh	Opportunitätskosten
Preisänderung Erdgas:	4,21 % p.a.	Quelle: Statistik Austria (2011a)
Preisänderung Heizöl:	5,20 % p.a.	Quelle: Statistik Austria (2011a)

	Nutz-leistung [kWh _{th}]	Nutzungs- grad [%]	Energieeinsatz [kWh/kWh _{th}]	spez. Kosten [€/kWh]	spez. Kosten Endenergie [€/kWh _{th}]	spez. Preis- steigerung [% p.a.]	Anteil an Nutzleistung [%]	Nutzleistung p.a. [kWh _{th}]
Heizöl	1	85	1,18	0,056	0,066	5,200	63,1	334.951
Erdgas	1	85	1,18	0,033	0,039	4,210	36,9	195.500
Gewichteter Mittelwert				0,048	0,056	4,835		

Bei selbem Energiemix kann der gewichtete Mittelwert verwendet werden.

Berechnung der Zufueerung für ORC-Anlagen

Annahme: Zufueerung mit Biomasse, Bezugsbasis 8.000 Betriebsstunden

	Brennstoff- bedarf [kWh _{th} p.a.]	Anteil am Brenn- stoffbedarf [%]
Abwärme	5.550.476	81,6
Zusatzfueerung	1.249.524	18,4
Summe	6.800.000	100,0

Absortionskältemaschine (M3)

Investitionskosten

Anschaffung der Anlage	96.500 €	
Kosten für Umbauten/Einbindung	19.300 €	Annahme: 20% der Anschaffungskosten; Kühlzentrale, Heizung, Platzbedarf
Sonstige Kosten	9.650 €	Annahme: 10% der Anschaffungskosten; Transport und Beratung/Planung

jährliche Fixkosten

Wartungskosten	1.882 € p.a.
Versicherungskosten	188 € p.a.

variable Kosten

Strom	0,090 €/kWh _{el}
Wärme	0,000 €/kWh _{th}

variable Erlöse

Strom (Opportunitätskosten)	0,090 €/kWh _{el}
--------------------------------	---------------------------

Basisdaten

Thermische Inputleistung	341,25 kW _{th}	Quelle: Benndorf (2010)
Elektrische Inputleistung	1,95 kW _{el}	Quelle: Benndorf (2010)
Kühlleistung	246,00 kW _c	Quelle: Benndorf (2010)
COP	0,72 [-]	
Betriebsstunden	4.818 h p.a.	Annahme: 70% der Produktionszeit sind Volllaststunden
spez. Investitionskosten AKM	250 €/kW _c	Quelle: div. Angebote (IBTEurope, Benndorf, AHI, EAW)
Investitionskosten Kühlturm	35.000 €	Quelle: div. Angebote (IBTEurope, Benndorf, AHI, EAW)
KKA - Einsparungen:		
COP	3 [-]	Quelle: Energieagentur Berlin (2008)
Kühlleistung	246,00 kW _c	
Elektrische Inputleistung	82,00 kW _{el}	

Berechnung

	Basisdaten	Steigerung
Investitionskosten	125.450 €	
jährliche Fixkosten	2.070 € p.a.	1,93 % p.a.
variable Kosten		
Strom	846 € p.a.	2,52 % p.a.
Wärme	- € p.a.	0,00 % p.a.
variable Erlöse	35.557 € p.a.	2,52 % p.a.

Interner Zinsfuß 5 % p.a.

Barwert (15) **282.205 €**

Barwert (5) **26.713 €**

Amortisationszeit **4 a**

Hinweis

Die Berechnung erfolgte auf Basis der variablen Stromeinsparungen der KKM und berücksichtigt weder Wartungs- noch Reinvestitionskosten. Das heißt, die Berechnung wurde zugunsten der KKM durchgeführt und somit die AKM schlechter gestellt als sie tatsächlich ist.

CO₂Äqu-Einsparung

Quelle: Prozessanalyse (AP1)

Quelle: Technoökologische Bewertung (AP2)

spez. CO ₂ Äqu-Ausstoß AKM	1,768 g _{CO2Äqu} /kWh _c
spez. CO ₂ Äqu-Ausstoß KKA	74,333 g _{CO2Äqu} /kWh _c
spez. CO ₂ Äqu-Einsparung	72,566 g _{CO2Äqu} /kWh _c
Kühlleistung	246,00 kW _c
Betriebsstunden	4818 h p.a.
CO ₂ Äqu-Einsparung	86,0 t_{CO2Äqu} p.a.
CO ₂ Äqu-Ausstoß gesamt	3539,2 t _{CO2Äqu} p.a.
CO ₂ Äqu-Einsparung	2,4 %

Strom-Einsparung

Quelle: Prozessanalyse (AP1)

Quelle: Wirtschaftlichkeitsberechnung

spez. Stromverbrauch AKM	1,95 kW _{el}
spez. Stromverbrauch KKA	82,00 kW _{el}
spez. Stromeinsparung	80,05 kW _{el}
Betriebsstunden	4818 h p.a.
Stromeinsparung	385.681 kWh_{el}
Stromverbrauch Gesamt	8.800.130 kWh _{el}
Stromeinsparung	4,4 %

ORC-Anlage (M4)

Investitionskosten

Anschaffung der Anlage	574.515 €	
Kosten für Umbauten/Einbindung	172.355 €	Annahme: 30% der Anschaffungskosten; Heizung, Platzbedarf, Thermoölkreise, Rückkühlung
Sonstige Kosten	57.452 €	Annahme: 10% der Anschaffungskosten; Beratung/Planung

jährliche Fixkosten

Wartungskosten	12.065 € p.a.
Versicherungskosten	1.206 € p.a.

jährliche Erlöse

ausbleibende Reinvestitionskosten (Opportunitätskosten)	15.300 € p.a.	Annahme: 10 a Nutzungsdauer; entspricht dem Abschreibungsbetrag
--	---------------	---

variable Kosten

Rohstoffe	0,026 €/kWh _{th}	Eigene Berechnung für Biomasse inkl. 10% Transportkosten und 85% Nutzungsgrad
-----------	---------------------------	---

variable Erlöse

Strom	0,090 €/kWh _{el}
Wärme (Opportunitätskosten)	0,056 €/kWh _{th}

Basisdaten

Thermische Inputleistung	850,00 kW _{th}	Auslegung
Elektrische Outputleistung	109,01 kW _{el}	*
Thermische Outputleistung	595,00 kW _{th}	Annahme: 70% thermischer Wirkungsgrad
Betriebsstunden	6758 h p.a.	**
Ersatz für fossilen Anteil	12,5 %	Annahme: Äquivalent zur Nutzenergie, die derzeit fossil bereitgestellt wird
Anteil Biomassezuführung	18,4 %	Eigene Berechnung, siehe Überblick

Extra Daten

spez. Investitionskosten ORC	3.755 €/kW _{el}	Quelle: Schuster et al. (2009)
installierte el. Leistung	153 kW _{el}	Annahme: 18% el. Wirkungsgrad (brutto)
Heizwärmebedarf fossil	503.928 kWh _{th}	Annahme: 95% des Heizenergiebedarfs wird durch die ORC-Anlage abgedeckt
spez. Reinvestitionskosten Heizkessel	180 €/kW _{th}	Quelle: Energieverwertungsgesellschaft (2000)
installierte Leistung	850 kW _{th}	Auslegung

Berechnung

	Basisdaten	Steigerung
Investitionskosten	804.321 €	
jährliche Fixkosten	13.271 € p.a.	1,93 % p.a.
jährliche Erlöse	15.300 € p.a.	1,93 % p.a.
variable Kosten		
Rohstoffe	27.319 € p.a.	4,76 % p.a.
variable Erlöse		
Strom	66.301 € p.a.	2,52 % p.a.
Wärme	28.195 € p.a.	4,84 % p.a.

Interner Zinsfuß 5 % p.a.

Barwert (15) 60.963 €

Barwert (5) - 481.641 €

Amortisationszeit < 14 a

Zusätzliche Annahmen

* 18% el. Wirkungsgrad brutto, 5% Abzug für Eigenverbrauch (netto), davon 75% Jahresnutzungsgrad

** 90% der Produktionszeit sind Volllaststunden, 30% der produktionsfreien Zeit sind Volllast-Äquivalent

Alternativ-Feuerung mit Biomasse-Einsatz (M6-M10)

Investitionskosten

Anschaffung der Anlage	396.000 €	
Kosten für Umbauten/Einbindung	39.600 €	Annahme: 10% der Anschaffungskosten; Heizung, Platzbedarf
Sonstige Kosten	39.600 €	Annahme: 10% der Anschaffungskosten; Transport und Beratung/Planung

jährliche Fixkosten

Wartungskosten	7.128 € p.a.
Versicherungskosten	713 € p.a.

jährliche Erlöse

ausbleibende Reinvestitionskosten (Opportunitätskosten)	15.840 € p.a.	Annahme: 10 a Nutzungsdauer; entspricht dem Abschreibungsbetrag
--	---------------	---

variable Kosten

Rohstoff	0,024 €/kWh _{th}	Eigene Berechnung für Biomasse inkl. 85% Nutzungsgrad
----------	---------------------------	---

variable Erlöse

Wärme (Opportunitätskosten)	0,056 €/kWh _{th}
--------------------------------	---------------------------

Basisdaten

Thermischer Energieinput	530.451 kWh _{th}	Heizwärmebedarf (Nutzwärme)
--------------------------	---------------------------	-----------------------------

Extra Daten

spez. Investitionskosten Biomasse-HW	450 €/kW _{th}	Quelle: Sander, Kai et al. (2003)
spez. Reinvestitionskosten Heizkessel	180 €/kW _{th}	Quelle: Energieverwertungsagentur (2000)
installierte Leistung	880 kW _{th}	Auslegung

Berechnung

	Basisdaten	Steigerung
Investitionskosten	475.200 €	
jährliche Fixkosten	7.841 € p.a.	1,93 % p.a.
jährliche Erlöse	15.840 € p.a.	1,93 % p.a.
variable Kosten	12.481 € p.a.	4,76 % p.a.
variable Erlöse	29.679 € p.a.	4,84 % p.a.
Interner Zinsfuß	5 % p.a.	
Barwert (15)	- 130.291 €	
Barwert (5)	- 345.106 €	
Amortisationszeit	> 15 a	

Ersatz von Heizöl durch Erdgas

Investitionskosten

- €

jährliche Fixkosten

- € p.a.

jährliche Erlöse

- € p.a.

variable Kosten

Erdgas 0,039 €/kWh_{th}

variable Erlöse

Heizöl 0,066 €/kWh_{th}

Basisdaten

Thermischer Energieinput Heizöl 334.951 kWh_{th} Heizwärmebedarf (Nutzwärme)

Berechnung

	Basisdaten	Steigerung
Investitionskosten	- €	
jährliche Fixkosten	- € p.a.	0 % p.a.
jährliche Erlöse	- € p.a.	0 % p.a.
variable Kosten	13.004 € p.a.	4,21 % p.a.
variable Erlöse	22.089 € p.a.	5,20 % p.a.
Interner Zinsfuß	5 % p.a.	
Barwert (15)	152.701 €	
Barwert (5)	47.509 €	
Barwert (1)	9.224 €	

Amortisationszeit

sofort

CO₂-Einsparung

Quelle: Prozessanalyse (AP1)

spez. CO ₂ -Ausstoß Heizöl	312,544 g _{CO2} /kWh _{th}
spez. CO ₂ -Ausstoß Erdgas	234,534 g _{CO2} /kWh _{th}
spez. CO ₂ -Einsparung	78,009 g _{CO2} /kWh _{th}
ersetzte Nutzenergie	334.951 kWh _{th} p.a.
CO ₂ -Einsparung	26,1 t _{CO2} p.a.
CO ₂ -Ausstoß gesamt	3539,2 t _{CO2} p.a.
CO ₂ -Einsparung	0,7 %