

Untersuchung von Potentialen zur Verbesserung der Energieeffizienz eines Kunststoff verarbeitenden Unternehmens

Philipp Golebniak

Galek & Kowald GmbH

Abstract

Im Rahmen der durchgeführten Master-Thesis wurde die Untersuchung der energetischen Situation eines Kunststoff verarbeitenden Unternehmens und die daraus entwickelten Potentiale zur Steigerung der Energieeffizienz thematisiert. Im Rahmen der messtechnischen Untersuchung konnte die energetische Situation erfasst und die Energie- und Stoffströme des Unternehmens visualisiert werden. Aus den Ergebnissen der messtechnischen Untersuchung konnten verschiedene Potentiale und mögliche Umsetzungsmaßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz aufgeführt werden. Die gezeigten Potentiale wurden hinsichtlich der energetischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit untersucht und bewertet. Für das Unternehmen konnte aus den beschriebenen Potentialen eine sogenannte Soll-Situation durch eine mögliche Umsetzung der Maßnahmen vorgestellt und ebenfalls als Sankey-Diagramm visualisiert werden.

1. Darstellung des betrachteten Unternehmens und der Produktionsprozesse

Zu Beginn der Untersuchung wurde eine Schrittfolge zur Darstellung und Beschreibung der aktuellen energetischen Situation des Unternehmens erarbeitet. Als Ziel dieser Schrittfolge sollten die aktuellen Verhältnisse und die ablaufenden Produktionsprozesse abgebildet werden.

Das Unternehmen mit einem Standort in Thüringen ist im Bereich der Kunststoffverarbeitung tätig und stellt dazu Formteile aus expandiertem Polypropylen (EPP) her. Die hergestellten Formteile werden hauptsächlich an die Automobilbranche geliefert. Hinsichtlich der steigenden Bestrebung der Automobilherstellung zur Leichtbauweise sind Bauteile aus expandiertem Polypropylen besonders geeignet. Die hergestellten Bauteile sind zum Beispiel Teile für Stoßdämpfer oder Kofferraumeinlagen.

Weiterhin wurde die Energieversorgung und die Entwicklung des Energieverbrauchs der letzten Jahre betrachtet und dazu für das Jahr 2016 unter anderem der Jahreslastgang für die bezogene elektrische Energie dargestellt. Der Jahreslastgang für den Strombezug 2016 ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

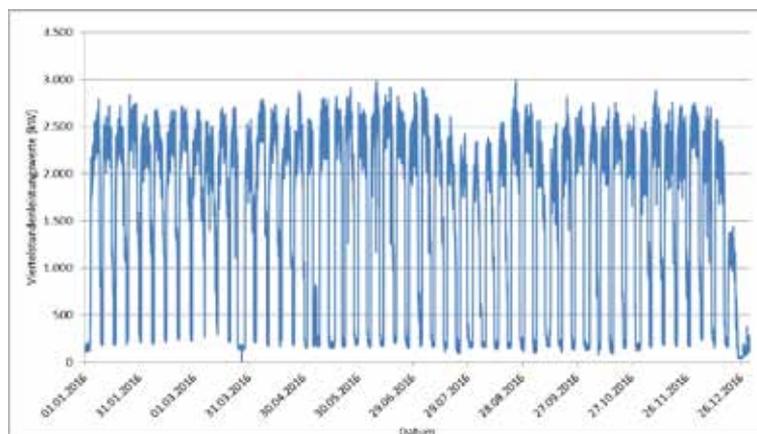


Abbildung 1: Jahreslastgang Strombezug 2016

Aus dem dargestellten Lastgangdaten konnte der elektrische Energiebedarf des Unternehmens mit 14.220.691 kWh und einer maximalen Leistung von 2.982 kW ermittelt werden. Aus den ermittelten Werten konnten anschließend aus dem Quotienten des Energiebezug und der maximalen Leistung die Jahresbenutzungsstunden für den elektrischen Energiebezug mit 4.768 Stunden bestimmt werden. Außerdem wurde bezugnehmend auf das Jahr 2016 der Erdgasbezug des Unternehmens betrachtet und dargestellt. Aus diesen Betrachtungen konnte der gesamte Erdgasbedarf mit 92.353,7 MWh bei einer maximalen bezogenen Leistung von 18.807 kW erfasst werden.

Im weiteren Verlauf der Untersuchung wurden die Produktionsprozesse am Standort näher betrachtet und beschrieben. Für den Hauptprozess des Unternehmens der Formteilherstellung aus EPP wurde die Prozesskette, wie in der nachfolgenden Abbildung zu sehen dargestellt.

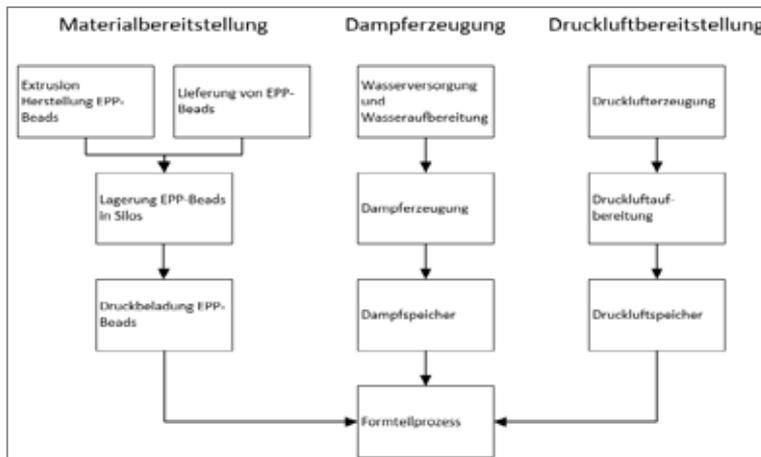


Abbildung 2: Prozessfolge der Formteilherstellung

Wie die gezeigte Darstellung schematisch veranschaulicht kann die Produktion der EPP-Formteile im Unternehmen in drei parallel verlaufende Stoff- bzw. Energieströme aufgeteilt werden: die Materialbereitstellung, die Dampferzeugung und die Druckluftbereitstellung. Das Grundmaterial der Formteile, das expandierte Polypropylen, wird im Unternehmen zum Teil selbst in einem Extrusionsprozess hergestellt und weiterhin von externen Lieferanten bezogen. Das Material wird über ein Förder- bzw. Transportsystem im Unternehmen durch Druckluft zu den Produktionsautomaten, sowie in die Kammern der Werkzeuge geleitet. Hierzu benötigt das Unternehmen kontinuierlich große Mengen Druckluft, welche über insgesamt 16 Kompressoren am Standort bereitgestellt wird.

Zur Herstellung der Formteile aus expandiertem Polypropylen wird weiterhin thermische Energie benötigt, um das Material in den Werkzeugen weiter zu expandieren und miteinander zu verschmelzen. Diese Energie wird im Unternehmen durch Wasserdampf dem Produktionsprozess zur Verfügung gestellt. Das bezogene Wasser wird über eine Osmose- und eine Enthärtungsanlage aufbereitet und in zwei Dampfkesseln zu Sattdampf gewonnen. Dieser Dampf wird in mehreren Dampfspeichern gelagert und über ein Dampfleitungssystem in die Werkzeugkammern geleitet.

2. Messtechnische Untersuchung und Visualisierung der Ist-Situation

Durch die durchgeführte Betrachtung der im Unternehmen ablaufenden Prozesse zur Herstellung der Formteile aus EPP konnte eine Messprogramm erarbeitet werden, um die Prozesse messtechnisch zu erfassen und darstellen zu können. Im Rahmen der durchgeführten Messreihe wurden insgesamt 58 Messtellen zur Erfassung des elektrischen Energiebedarfs verschiedener Anlagen und Anlagenkomponenten vorgenommen. Außerdem wurde durch eine Ultraschallmessung die thermische Leistung der bereits installierten Permeat-Vorwärmung zur Dampferzeugung messtechnisch erfasst und dargestellt. Insgesamt wurden Messungen in zwei Betrachtungszeiträumen von je einer Woche (168 h)

durchgeführt und ausgewertet. Durch die vorgenommenen Messungen konnte die Stromaufnahme der Anlagen erfasst werden und daraus die Scheinleistung der gemessenen Anlage bestimmt werden. Die Abbildung 3 zeigt die graphische Darstellung eines erfassten Wochenlastgang der bestimmten Scheinleistung eines Formteilautomaten der Produktionsstätte.

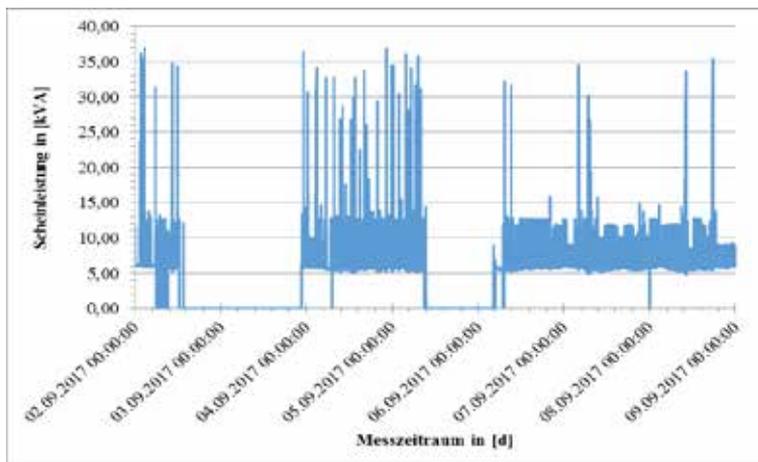


Abbildung 3: Wochenlastgang Formteilautomat K1014-4

Aus den ermittelten Energieverbräuchen der einzelnen Messstellen konnte über Anteil der Einzelanlage am gesamten elektrischen Energiebedarf im Messzeitraum eine Jahresprognose in Bezug auf den Gesamtjahresbedarf von 2016 bestimmt werden. Durch die aufgenommenen Messergebnisse konnte in der Folge die Visualisierung der aktuellen energetischen Situation anhand von Diagrammen der Energie- und Stoffströme (Sankey-Diagramme) durchgeführt werden.

Nachfolgend ist das Sankey-Diagramm für die ermittelten elektrischen Energieflüsse im Unternehmen aufgeführt (Ist-Situation). Dazu wurde in Bezug auf den Gesamtstrombezug des Unternehmens im Jahr 2016 der elektrische Energiebedarf der einzelnen Produktionsbereiche und Anlagen auf Grundlage der ermittelten Messwerte und Jahresprognosen visualisiert. Die Darstellung zeigt, dass die produktionsunterstützenden Prozesse mit ca. 83,5 % des Gesamtenergiebedarfs den größten Teil des Energiebedarfs darstellen. Weiterhin ist der Bereich der Druckluftherzeugung in den installierten Kompressoren mit ca. 64,9 % der energieintensivste Prozess. Der Bereich der Produktionsprozesse mit den Hauptprozessen der Extrusion, Formteilherstellung und der Temperöfen benötigt mit 13,5 % eine deutlich geringere elektrische Energiemenge.

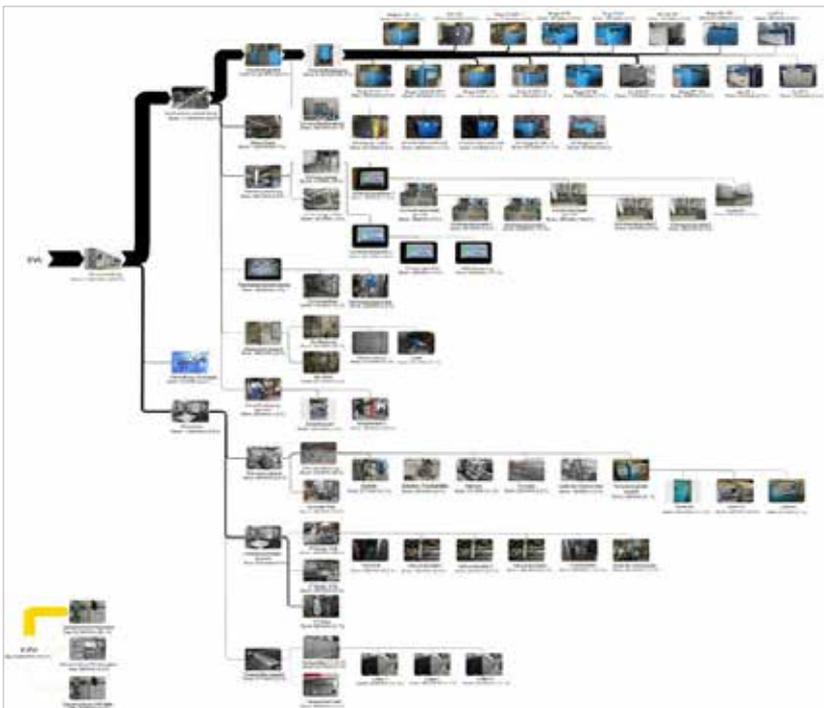


Abbildung 4: Sankey-Diagramm der elektrischen Ist-Situation

Aufgrund der Komplexität der Energie- und Stoffströme im Unternehmen wurden separat die thermischen Energie- und Stoffströme mit der Verteilung des Erdgasbezugs, der Wärmeverteilung und der Dampf- und Kondensatwirtschaft für die aktuelle (Ist) Situation dargestellt.

Das gezeigte Diagramm veranschaulicht, den großen Erdgasbedarf des Unternehmens mit insgesamt 92.950 MWh. Mit 99,4 % des Erdgasbedarfs lassen sich nahezu vollständig auf das Hauptwerk beziehen. Die bezogene Erdgasmenge im Hauptwerk verteilt sich mit 608 MWh auf den Heizkessel und 91.150 MWh auf die beiden Dampferzeuger im Kesselhaus der Betriebsstätte.

Die gesamte erzeugte Dampfmenge von 120.000 t/a wurde gleichmäßig auf die beiden Dampfkessel aufgeteilt. Der Formteilprozess in den Automaten verbraucht 85 % des gesamten erzeugten Dampfes. Der restliche Dampf verteilt sich auf die Extruder (2.000 t/a) und die Temperöfen (16.000 t/a). Aus den Dampfverbrauchern im Unternehmen wird aktuell 1 Tonne Kondensat pro Stunde in den Prozess der Dampferzeugung zurückgeführt. Hieraus ergibt sich eine gesamte zurückgeführte Kondensatmenge von 6.000 t/a.

Im Unternehmen ist über die Kühlwasserbecken und drei Kompressoren eine Wärmerückgewinnung aus der Prozessabwärme realisiert. Über die Kühlwasserbecken werden insgesamt 3.180 MWh Wärme für die Speisewasser-Vorwärmung genutzt. Die benötigte Heizungswärme im Unternehmen wird durch die Wärmerückgewinnung der Kompressoren im Kesselhaus (719 MWh) und den Heizkessel (547 MWh) erzeugt

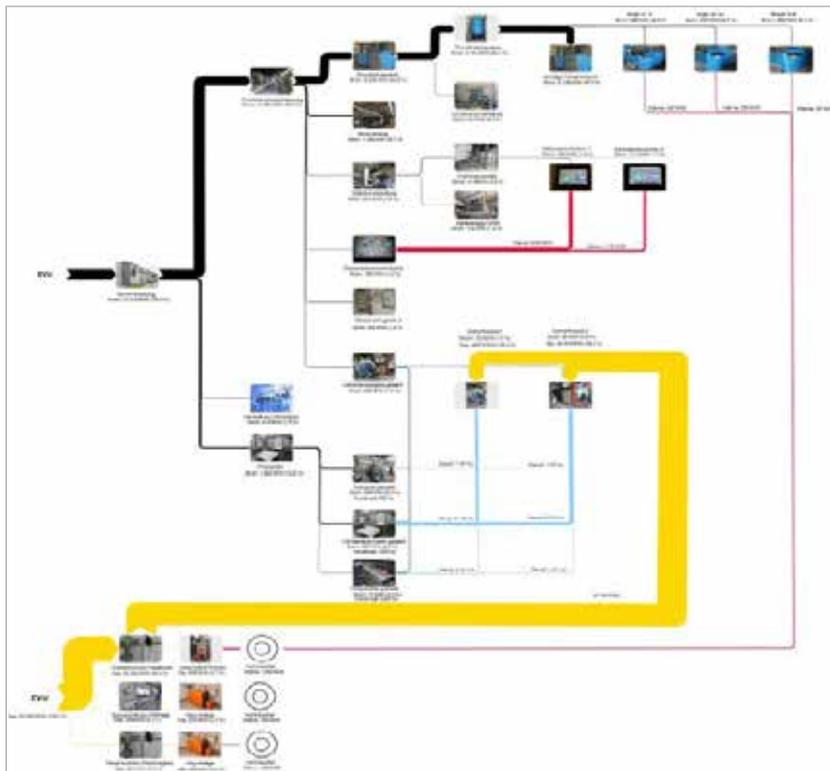


Abbildung 5: Sankey-Diagramm der thermischen Ist-Situation

3. Potentiale zur Verbesserung der Energieeffizienz

Auf Grundlage der Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel zur Analyse der aktuellen Situation im betrachteten Unternehmen konnten im weiteren Verlauf der Untersuchung mögliche Potentiale und Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz erarbeitet und betrachtet werden. Dazu wurden die betrachteten potentiellen Optimierungsmaßnahmen mit ihren technologischen Grundlagen näher beschrieben und die energetische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit geprüft. Für die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurde zur dynamischen Betrachtung die Annuitäten-Methode verwendet und außerdem eine statische Betrachtung für die Amortisationszeit durchgeführt. Die betrachteten Potentiale konnten in die folgenden drei Bereich aufgeteilt werden:

- Potentiale zur Energieerzeugung
- Nutzung und Vermeidung von Abwärme
- Potentiale zur Reduzierung des elektrischen Energiebedarfs

Im Folgenden werden einzelne Potentiale der aufgezeigten drei Bereich mit den technologischen Grundlagen beschrieben und die mögliche Anwendbarkeit im Unternehmen dargestellt werden.

3.1 Potentiale zur Energieerzeugung

Ein Potential zur Verbesserung der Energieeffizienz wurde im Bereich der alternativen Druckluftherzeugung durch die Anwendung einer Druckluft-KWK Lösung untersucht. Dazu wurde die Nutzung von Druckluft-Heizkraftwerken betrachtet und das Potential dieser Anwendungen im Unternehmen betrachtet.

Die Anwendung eines Druckluft-Heizkraftwerks hat vergleichbare Komponenten, wie ein konventionelles Blockheizkraftwerk (BHKW), wie zum Beispiel einen erdgasbetriebenen Verbrennungsmotor. Im Unterschied zum BHKW, bei welchem der Motor einen Generator antreibt, um elektrische Energie zu erzeugen, treibt der Motor des DHKW einen Schraubenkompressor an, um Druckluft zu erzeugen. Die folgende Abbildung zeigt schematisch den Energiefluss eines Druckluft-Heizkraftwerks.

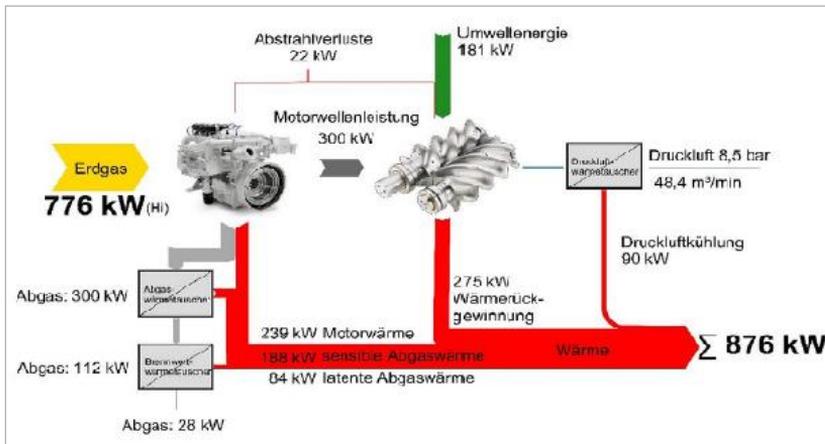


Abbildung 6: Energieflussdiagramm eines DHKW des Herstellers altAIRnative GmbH [1]

Die Betrachtung einer möglichen Anwendung von Druckluft-Heizkraftwerken zeigte anhand des großen Druckluftbedarfs des Unternehmens das Potential zur Nutzung von zwei DHKW mit einer Motorwellenleistung von 300 kW. Die Anlagen würden den Grundlastbedarf des Unternehmens während der Produktion abdecken und somit den elektrischen Energiebedarf im Bereich der Druckluftherzeugung erheblich senken. Wie die nachfolgende Tabelle 1 zeigt, kann durch die beschriebene Anwendung der beiden DHKW durch die erzeugte Druckluft die elektrische Energie um ca. 4.428 MWh/a reduziert werden. Weiterhin kann durch die Wärmeauskopplung auf verschiedenen Temperaturniveaus von bis zu 639 °C (Abgastemperatur) der Erdgasbezug des Unternehmens gesenkt werden.

Weiterhin zeigt die folgende Tabelle eine Zusammenfassung der ermittelten Werte für die energetischen und wirtschaftlichen Potentiale der weiteren betrachteten Anwendungen zur Energieerzeugung im Unternehmen. Dazu wurden im Bereich der Energieerzeugung durch die Anwendungen einer Anlage zur Wärmetransformation und der Nutzung eines Abhitzeessels Möglichkeiten zur Dampferzeugung aus Abwärmequellen, wie den DHKW untersucht und beschrieben.

Tabelle 1: Übersicht Potentiale/Maßnahmen zur Energieerzeugung

	Endenergie	potentielle Endenergieeinsparung	Energiekosteneinsparung	Investitionskosten	stat. ROI
		MWh/a	T€/a	T€	a
Alternative Druckluftherzeugung	el. Energie	4.428,8	595,4	680,0	1,1
	Erdgas	484,8			
Anlage zur Wärmetransformation	Erdgas	623,5	94,3	700,0	7,4
Abhitzeessel	Erdgas	1.639,1	52,7	90,0	1,7

	Endenergie	potentielle Endenergie- einsparung	Energiekosten- einsparung	Investitions- kosten	stat. ROI
Absorptionskältemaschine	el. Energie	117,7	13,2	150,0	11,3
Potential PV-Anlage	el. Energie	51,9	3,4	72,0	21,1

3.2 Nutzung und Vermeidung von Abwärme

Bei einer Vielzahl von industriellen Prozessen zur Produktion oder Unterstützung der Produktion, entstehen große Mengen an Abwärme. Durch die energetische Optimierung dieser ablaufenden Prozesse können erhebliche Einsparungen an benötigter Energie und eine Verringerung an Energiekosten erreicht werden. Dazu wurden im Rahmen der Untersuchung verschiedene Potentiale zur Vermeidung und Nutzung anfallender Abwärme im Unternehmen erkannt. Im Bereich der Vermeidung von Abwärme wurde eine optimierte Isolierung der installierten Dampfleitung und weiterhin die Verbesserung der Kondensatableitung im Dampfsystem betrachtet.

Des Weiteren wurde eine unterdimensionierte Kondensatrückführung und fehlerhafte Kondensatwirtschaft in den verschiedenen Produktionshallen identifiziert. Aus diesem Grund wurde eine Erneuerung der Kondensatleitung aus den Produktionshallen zurück in den Prozess der Dampferzeugung untersucht. Durch die Erneuerung der Kondensatleitung ergeben sich weiterhin Möglichkeiten den anfallenden Entspannungsdampf bei der gesammelten Rückführung des Kondensats in Prozessen, wie der Wärmebehandlung der Formteile in Temperöfen zu nutzen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zusammenfassung der ermittelten Informationen für die betrachteten Potentiale zur Vermeidung und Nutzung von Abwärme im Unternehmen.

Tabelle 2: Übersicht Potentiale/Maßnahmen Nutzung und Vermeidung von Abwärme

	Endenergie	potentielle Endenergie- einsparung	Energiekosten- einsparung	Investitions- kosten	stat. ROI
		MWh/a	T€/a	T€	a
Isolierung der Dampfleitung	Erdgas	155,3	5,2	40,5	7,8
Optimierung Kondensatableitung	Erdgas	1.090,0	50,2	27,0	0,5
Verbesserung Kondensatrückführung	Erdgas	2.786,7	191,7	275,8	1,4
WRG aus der Druckluftherzeugung	Erdgas	3.764,7	190,2	103,0	0,5
Alternative Prozesswärmebereitstellung	Erdgas	3.444,8	41,2	71,0	1,7

Im Rahmen der Betrachtungen zur Vermeidung und Nutzung von Abwärme im Unternehmen wurde zur Optimierung der Wärmenutzung und -Verteilung eines Wärmespeichers und -Verteilungssystems untersucht. Hierzu wurde ein sogenannter Schichtspeicher, durch welchen die Wärmemengen der verschiedenen Erzeuger auf den jeweiligen Temperaturniveaus gesammelt und gespeichert werden können, betrachtet und beschrieben. Die nachfolgende Tabelle zeigt die ermittelten möglichen

Wärmequellen und -Senken, welche durch die verschiedenen Potentiale und Maßnahmen im Speichersystem gespeichert bzw. versorgt werden können.

Tabelle 3: Übersicht der potentiellen Wärmequellen und -senken

Wärmequelle	Wärmesenke
WRG Kompressoren	Wasserbecken Extrusion
WRG Kühlwassersystem	Speisewasservorwärmung
Druckluft-Heizkraftwerk	Absorptionskälteanlage
Heizkessel	Wärmetransformation
	Heizung Verwaltung

3.3 Potentiale zur Reduzierung des elektrischen Energiebedarfs

Zur weiteren Betrachtung zur Optimierung der Energieeffizienz im Unternehmen wurden verschiedenen Potentiale und Maßnahmen zur Reduzierung des elektrischen Energiebedarfs identifiziert und betrachtet. Unter anderem wurde die Anwendung von effizienteren Beleuchtungssystemen auf Grundlage der LED-Technologie untersucht. Weitere Möglichkeiten wurden im Bereich der Druckluftherzeugung bzw. im Bereich des Druckluftbedarfs im Unternehmen erarbeitet. Dazu konnte ein Potential durch die Nutzung effizienterer Füllinjektoren an den Werkzeckammern der Formteilautomaten erkannt werden. Hierbei wurden Untersuchungen im Unternehmen durchgeführt und dabei der geringere Verbrauch an Druckluft durch verschiedene Füllinjektoren ermittelt. Weiterhin wurde ein Potential durch das Absenken des Druckniveaus im Druckluftnetz des Unternehmens während der produktionsfreien Zeiten (Wochenenden) untersucht und beschrieben.

Als ein weiteres Potential zur Verbesserung der Energieeffizienz wurde im Bereich der Einsparung elektrischer Energie die Anwendung von Frequenzumrichtern an den Formteilautomaten betrachtet. Die durchgeführten Messungen der Formteilautomaten und deren Hydraulikaggregaten zeigte einen verhältnismäßig großen Anteil des Energiebedarfs im Leerlaufbetrieb. Dies veranschaulicht die gezeigte Abbildung (links) mit der geordneten Dauerlinie der messtechnisch erfassten Leistungsaufnahmen des Hydraulikaggregats eines Formteilautomaten. Die Abbildung (rechts) zeigt eine durchgeführte Referenzmessung der elektrischen Leistung an einer vergleichbaren Anlage mit und ohne Frequenzumrichter. Auf der Grundlage der ermittelten Leerlaufanteile am Gesamtenergiebedarf der messtechnisch erfassten Formteilautomaten und den Ergebnissen der Referenzmessung konnte durch die Nachrüstung von Frequenzumrichtern an den Hydraulikaggregaten ein Potential zur Reduzierung des elektrischen Energiebedarfs ermittelt und dargestellt werden.

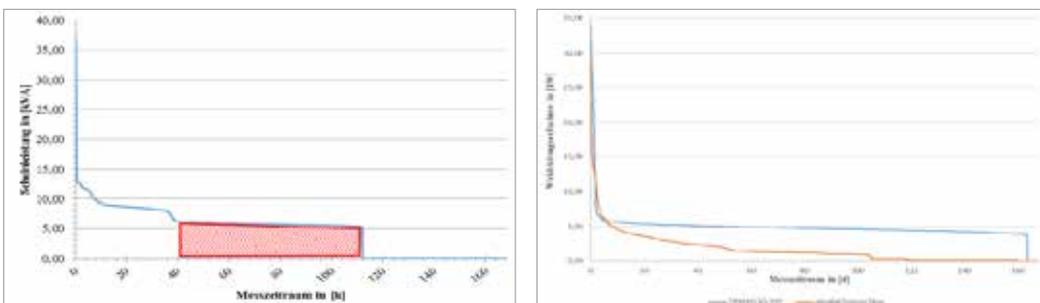


Abbildung 7: Dauerlinie Formteilautomat (links) und Referenzmessung mit/ohne FU

Die Tabelle 4 zeigt die Zusammenfassung der betrachteten Potentiale und Maßnahmen zur Reduzierung des elektrischen Energiebedarfs im Unternehmen.

Tabelle 4: Übersicht Potentiale/Maßnahmen Reduzierung des elektrischen Energiebedarfs

	Endenergie	potentielle Endenergie- einsparung	Energiekosten- einsparung	Investitions- kosten	stat. ROI
		MWh/a	T€/a	T€	a
Optimierung der Beleuchtung	el. Energie	601,2	80,8	401,4	5,0
Austausch Füllinjektoren	el. Energie	1.721,9	198,0	432,0	2,2
Absenkung Druckniveau Wochenenden	el. Energie	23,5	2,7	1,9	0,7
FU-Regelung der Hydraulikaggregate	el. Energie	299,9	34,5	142,0	4,1

4. Zusammenfassung und Darstellung der Soll-Situation

Im Rahmen der Untersuchung der Potentiale zur Verbesserung der Energieeffizienz im betrachteten Unternehmen konnte die energetische Ist-Situation dargestellt und beschrieben werden.

Aus diesen Ergebnissen der aktuellen Situation, konnte eine sogenannte Soll-Situation, durch die Umsetzung der betrachteten und empfohlenen Potentiale und Maßnahmen aufgezeigt werden. Würden alle in dieser Arbeit beschriebenen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Unternehmen umgesetzt, ließen sich knapp 13.988 MWh des Erdgasbezuges reduzieren und sich der Bedarf an elektrischer Energie um 7.244 MWh verringern. Durch diese potentielle Energieeinsparung könnte die verbrauchsbedingte CO₂-Emission des Unternehmens um bis zu 7.886 Tonnen pro Jahr reduziert werden.

Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt die Darstellung der thermischen Energie- und Stoffströme als Sankey-Diagramm für die potentielle Soll-Situation des Unternehmens nach der Umsetzung der aufgezeigten Potentiale. Das Diagramm zeigt, dass der gesamte Erdgasbezug des Unternehmens auf 78.242 MWh reduziert wurde und sich der Hauptbezug für Erdgas weiterhin nahezu vollständig mit 99,2 % auf das Hauptwerk verteilt.

Neben den Dampferzeugern wird nun ein Teil des Erdgasbezugs durch die Anwendung der Druckluft-Heizkraftwerke verbraucht. Weiterhin wird deutlich, dass die erzeugten Wärmemengen im angesprochenen Speichersystem zusammengeführt werden und anschließend zu den verschiedenen Verbrauchern, wie zum Beispiel der betrachteten Absorptionskälteanlage oder der Speisewasservorwärmung, geleitet wird.

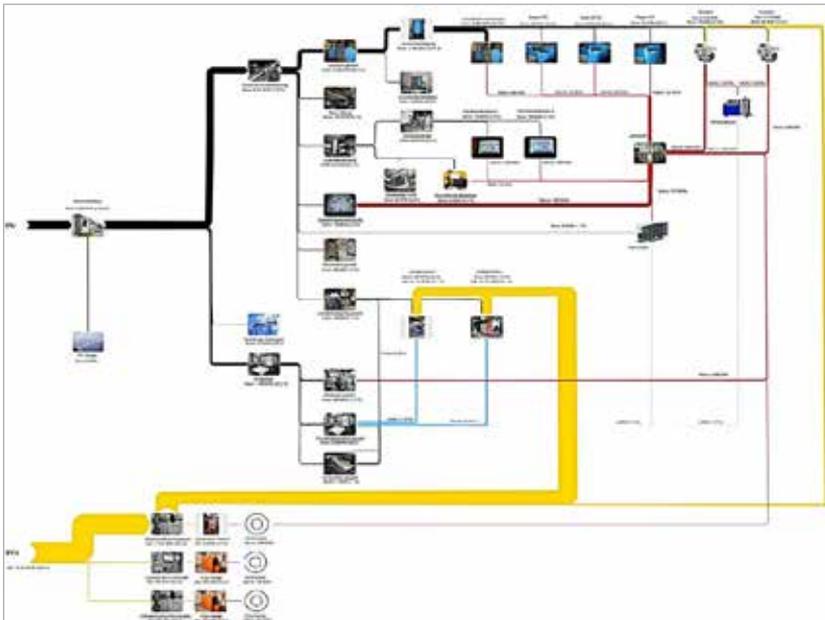


Abbildung 8: Sankey-Diagramm der thermischen Soll-Situation

5. Quellenverzeichnis

- [1] altAirnative GmbH, www.altairnative.de