

Darstellung der Medienströme sowie Ermittlung der Potentiale zur Wärmerückgewinnung im Bereich der Druckluftherzeugung der Stahl Judenburg GmbH

Masterarbeit

von

René-Heimo Leitner Bakk.tech



eingereicht am

Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften
der

Montanuniversität Leoben

Leoben, am 16. August 2010

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Die vorliegende Arbeit wurde am Department für Wirtschafts- und Betriebswirtschaften der Montanuniversität Leoben in Zusammenarbeit mit der Firma *Stahl Judenburg GmbH* durchgeführt.

Von Seiten des Lehrstuhles danke ich Herrn Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. mont. Rupert Baumgartner für die Vermittlung der Arbeit sowie für die Betreuung, seine Anregungen und Hilfestellungen.

Mein Dank gilt der Standortverwaltung der Firma *Stahl Judenburg GmbH* – vertreten durch Herrn Mag. Thomas Krenn – für die Möglichkeit die Diplomarbeit im Unternehmen anfertigen zu können. Herrn DI(FH) Alexander Leitner spreche ich meinen besonderen Dank für die effektive Unterstützung aus. Von Seiten der *Stahl Judenburg GmbH* sei ferner den Herren Enko, Steiner und Krochmat für die Hinweise und die gute Zusammenarbeit gedankt.

Weiters möchte ich gegenüber Herrn Dipl. Ing. Andreas Hammer, meinen aufrichtigen Dank für seine ungebrochene Unterstützung und den fachlichen Diskussionen zum Ausdruck bringen.

Ganz besonders herzlich bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei Frau Mag. Verena Schnabl für die Durchsicht, der dienlichen Stilhinweise und die moralische Unterstützung, welche die Verwirklichung der Arbeit in der vorliegenden Form ermöglicht hat.

Kurzfassung

Darstellung der Medienströme sowie Ermittlung der Potentiale zur Wärmerückgewinnung im Bereich Druckluftherzeugung der Stahl Judenburg GmbH

Gegenstand der vorliegenden Arbeit bildet die Analyse eines verbesserten Energiekonzeptes auf betrieblicher Ebene, wobei die Erarbeitung desselben in zwei Teile gegliedert wird. Der erste Teil widmet sich der Bilanzierung der für die *Stahl Judenburg GmbH* relevanten Medienströme Erdgas, elektrische Energie und Nutzwasser, deren Ergebnisse in Form von Sankey-Diagrammen illustriert werden. Der zweite Teil dieser Arbeit evaluiert die technischen Möglichkeiten eines Wärmerückgewinnungskonzeptes zur energetischen Nutzung von Kompressorabwärme. Um die betriebswirtschaftliche Relevanz des Konzeptes untersuchen zu können, wird das ausgearbeitete Projekt abschließend einer eingehenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung unterzogen.

Abstract

Energy balance portrayal and development of an energy recovery concept at Stahl Judenburg GmbH

The submitted academic work contains two common subjects of entrepreneurial energy supply management. The first part encloses the accounting of electrical power supply methan, and process water usage at Stahl Judenburg GmbH. The accounting results are illustrated at Sankey-Diagramms. Part two of the academic work investigate technical possibilities for a concept to regain energy from compressor cooling air. The developed project will be economicaly verified to reassess the profit for the company.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	vi
Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis	xiv
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2 Aufbau der Diplomarbeit.....	1
2 Theoretische Grundlagen der Arbeit.....	2
2.1 Grundlagen der Stoff- und Energiebilanzierung	3
2.1.1 Grundlagen der Bilanzierung	3
2.1.2 Bilanzformen	5
2.1.3 Betriebliche Stoff- und Energieflußanalyse (SEFA)	5
2.1.4 Grundlagen von Sankey-Diagrammen	7
2.2 Grundlagen des Qualitätsmanagements	8
2.2.1 Definition eines Qualitätsmanagements.....	8
2.2.2 Weitere Definitionen im Bereich des Qualitätsmanagements	8
2.2.3 Allgemeine Anforderungen an ein Qualitätsmanagement.....	9
2.3 Grundlagen des Umweltmanagements	10
2.3.1 Ziele des Umweltmanagementsystems.....	10
2.3.2 ISO Normreihe 14001	11
2.3.3 EMAS III-VO	12
2.4 Grundlagen des Energiemanagements	12
2.4.1 Definition des Energiemanagements	13
2.4.2 Ziele des Energiemanagements	14
2.4.3 DIN EN 16001 Energiemanagementsysteme	15
2.4.4 Energiemanagement Assessment	16
2.5 Grundlagen der Investitionsrechnung.....	18
2.5.1 Definition von Investitionen	18
2.5.2 Statische Investitionsrechnung	19
2.5.3 Dynamische Investitionsrechnung	23
2.5.4 Grundlagen der Sensitivitätsanalyse.....	26

2.6	Grundlagen des Projektmanagements	28
2.6.1	Definition des Projektbegriffs	28
2.6.2	Grundlagen der Projektplanung	29
2.6.3	Grundlagen der Arbeitsplanung	31
2.7	Zusammenfassung der Grundlagen	32
3	Darstellung der Medienflüsse	33
3.1	Einführung	33
3.2	Medienstrom Erdgas	35
3.3	Medienstrom Elektrische Energie	39
3.4	Medienstrom Nutzwasser	42
4	Wärmerückgewinnungskonzept	44
4.1	Grundlagen der Norm-Heizlastberechnung von Gebäuden.....	44
4.1.1	ÖNORM EN 12831 Norm-Heizlast Berechnungsverfahren.....	44
4.1.2	Norm-Heizlast Berechnung	45
4.2	Historischer Heizleistungsbedarf der Jahre 2007-2009	57
4.3	Grundlagen von Schraubenkompressoren	60
4.3.1	Funktionsweise von Schraubenkompressoren.....	60
4.3.2	Thermodynamische Grundlagen.....	62
4.4	Wärmerückgewinnung von Kompressoren.....	65
4.4.1	Arbeitstättenverordnung	66
4.4.2	Raumheizung	66
4.4.3	Warmwassererwärmung	67
4.4.4	Simultane Energierückgewinnung an Kompressoren.....	68
4.5	Berechnung der verfügbaren Abwärmemengen.....	70
4.5.1	Berechnung der nutzbaren Abwärmemenge der Abluft	70
4.5.2	Berechnung der nutzbaren Abwärmemenge des Kühlfluids	73
4.5.3	Berechnung der verfügbaren Warmwassermengen.....	75
4.6	Messungen und Untersuchungen.....	76
4.6.1	Temperaturmessung der Kompressorenabluft.....	76
4.6.2	Kompressorschaltzeiten	78
4.7	Einsparungspotentiale	81
4.7.1	Konzeptformen der Wärmerückgewinnung	81
4.7.2	Erdgaseinsparungen	85
4.7.3	Heizkosteneinsparungen.....	89
4.7.4	Portfolioanalyse	90

4.7.5 CO ₂ -Einsparungen	93
4.8 Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des Projekts zur Rückgewinnung von Kompressorabwärme	94
4.8.1 Investitionsrechnung	94
4.8.2 Sensitivitätsanalyse	96
4.8.3 Wirtschaftliche Untersuchung der Investitionsalternativen	99
5 Ergebnisse und Ausblick	108
5.1 Medienströme	108
5.2 Wärmerückgewinnungskonzept	110
Literaturverzeichnis	113
Anhang	a
A. Berechnungen zur Norm-Heizlastrechnung	a
a. Berechnung des U-Wertes	a
b. Berechnung des Lüftungswärmeverlusts	b
c. Pläne der vermessenen Gebäude	b
i. Walzendreherei	b
ii. Magazin	d
B. Berechnung der Innentemperatur-Absenkungen	e
C. Unterstützende Berechnung zur Bestimmung der Abwärmemengen	m
a. Berechnung der spezifischen Wärmekapazität	m
b. Berechnung der Luftdichte	m
c. Rückgewinnbare Wärmemengen in der Praxis	o
D. Mittlere historische Heizlast	q
E. CO₂ Emissionen	r
F. Lokale Witterungsbedingungen	w
G. Gegenwartswert-Tabelle	y
H. Datenblätter	aa
a. DSD201 Datenblatt	aa
b. FS440 Datenblatt	bb
I. Ablufttemperaturmessung der Kompressoren	cc

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Gasnetzes am Standort der Stahl Judenburg GmbH.....	36
Abbildung 2: indizierter, durchschnittlicher Gesamterdgas-Jahresbedarf der Jahre 2007 bis 2009	37
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Stromverteilung am Standort der Stahl Judenburg GmbH.....	40
Abbildung 4: indizierter, durchschnittlicher Gesamtstrom-Jahresbedarf der Jahre 2007 bis 2009	41
Abbildung 5: durchschnittlicher Anteil der Produktionsstätten am gesamten Nutzwasserverbrauch der STJ im Jahr 2009	42
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Wassernetzes am Standort der Stahl Judenburg GmbH.....	43
Abbildung 7: Norm-Heizlast-Verlauf des Walzendrehereigebäudes bei konstanter Innenraumtemperatur und veränderter Aussenlufttemperatur	50
Abbildung 8: Innen-Temperaturabsenkung der Walzendreherei während unterbrochenem Heizbetrieb.....	51
Abbildung 9: Norm-Heizlast-Verlauf des Magazins bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen zwischen Innenraumtemperatur und Aussenlufttemperatur.....	55
Abbildung 10: Innen-Temperaturverlauf des Magazins während unterbrochenem Heizbetrieb.....	56
Abbildung 11: Durchschnittliche Heizleistung der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätte in den Jahren 2007-2009	59
Abbildung 12: Schematischer Aufbau eines Kompressors.....	60
Abbildung 13: Darstellung eines Schraubenkompressors.....	61
Abbildung 14: Wärmebilanz von Schraubenkompressoren.....	61
Abbildung 15: Schema der Ablufführung mittels Blechkanals	66
Abbildung 16: Brauchwassererwärmung für ölgekühlte Kompressoren	67
Abbildung 17: Schema eines Kompressor ohne Wärmetauscher im Kühlkreislauf	68
Abbildung 18: Schema eines Kompressor mit Wärmetauscher im Kühlkreislauf	69
Abbildung 19: Darstellung des mittleren Temperaturniveaus der Abluft in der Kompressorstation Ost	77
Abbildung 20: Aufbau der Mess-Schaltung	77
Abbildung 21: Daten-Logger 5100V	77
Abbildung 22: Schaltzeiten der Kompressoren und mögliche nutzbare Wärmeleistung an Werktagen.....	78
Abbildung 23: mittlere technisch nutzbare Wärmemenge mittels Abluftkonzepts	80
Abbildung 24: mittlere technisch nutzbare Wärmemenge mittels Wärmeübertragerkonzepts.....	80

Abbildung 25: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der DSD201 Kompressoren, bei Realisierung eines Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 1.....	81
Abbildung 26: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der FS440 Kompressoren, bei Realisierung eines Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 2.....	82
Abbildung 27: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der DSD201 und FS440 Kompressoren, bei Realisierung eines Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 3	83
Abbildung 28: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der DSD201 und FS440 Kompressoren, bei Realisierung eines Wärmetauscher- und Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 484	
Abbildung 29: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der DSD201 und FS440 Kompressoren, bei Realisierung eines Wärmetauscher- und Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 584	
Abbildung 30: Darstellung der Kosten-Nutzen.Analyse der Szenarien und der Kombinationen	92
Abbildung 31: Durchschnittlicher Erdgasimportpreis (EIP) für Österreich	97
Abbildung 32: Lufttemperaturmessung der Wetterstation Murdorf	98
Abbildung 33: Verlauf des Restwertkapitals der Investitionsform Nr.3	100
Abbildung 34: Auswirkung einer jährlichen Erdgaspreissteigerung um 10 % auf das Restwertkapital im Vergleich zum Restwertkapitalverhalten bei konstanten Gaskosten auf Investitionsprojekt Nr.3.....	101
Abbildung 35: Verlauf des Restwertkapitals der Investitionsform Nr.4	103
Abbildung 36: Auswirkung einer jährlichen Erdgaspreissteigerung um 10 % auf das Restwertkapital im Vergleich zum Restwertkapitalverhalten bei konstanten Gaskosten auf Investitionsprojekt Nr.4.....	104
Abbildung 37: Verlauf des Restwertkapitals der Investitionsform Nr.10	105
Abbildung 38: Auswirkung einer jährlichen Erdgaspreissteigerung um 10 % auf das Restwertkapital im Vergleich zum Restwertkapitalverhalten bei konstanten Gaskosten auf Investitionsprojekt Nr.10.....	106
Abbildung 39: Auto-CAD Plan der Walzendreherei.....	c
Abbildung 40: Auto-CAD Plan des Magazins	d
Abbildung 41: gemittelte Temperatur-Monatswerte der Mess-Station Murdorf	w
Abbildung 42: Datenblatt des Kompressortyps DSD201 der Firma Kaeser	aa
Abbildung 43: Datenblatt des Kompressortyps FS440 der Firma Kaeser	bb
Abbildung 44: Ablufttemperaturmessung in der Kalenderwoche 37 des Jahres 2009	cc
Abbildung 45: Ablufttemperaturmessung in der Kalenderwoche 38 des Jahres 2009	cc
Abbildung 46: Ablufttemperaturmessung in der Kalenderwoche 39 des Jahres 2009	dd
Abbildung 47: Ablufttemperaturmessung in der Kalenderwoche 40 des Jahres 2009.....	dd

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anteil der Produktionsanlagen am Gesamtverbrauch für Erdgas	38
Tabelle 2: durchschnittlicher jährlicher Stromverbrauchsanteil der Unternehmensbereiche	41
Tabelle 3: Berechnung der U-Werte für die Gebäudeteile der Walzendreherei ..	46
Tabelle 4: Berechnung der Wärmeverluste der Walzendreherei an die äußere Umgebung	48
Tabelle 5: Berechnung der U-Werte für die Gebäudeteile des Magazins	52
Tabelle 6: Berechnung der Wärmeverluste des Magazins an die äußere Umgebung	53
Tabelle 7: Saisonale Heizwertangaben des Erdgaslieferanten	57
Tabelle 8: monatlicher Erdgasverbrauch der Walzendreherei (WD), des Magazins (MZ) und der Elektrowerkstätte (EW) in Kilowattstunden.	57
Tabelle 9: spezifischer mittlerer Leistungsbedarf der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätte in den Jahren 2007-09	58
Tabelle 10: theoretischer Heizbedarfvergleich in den Jahren 2007-2009	59
Tabelle 11: Berechnung der theoretisch rückgewinnbaren Wärmeleistung der Kompressorentypen FS440 und DSD201 mithilfe des Abluftvolumenstroms aus den Datenblättern.....	70
Tabelle 12: Berechnung der theoretisch rückgewinnbaren Wärmeleistung der Kompressorentypen FS440 und DSD201 mithilfe der theoretischen Nennleistung aus den Datenblättern.....	71
Tabelle 13: Berechnung der Leistungsaufnahme der Kompressoren, basierend auf Messdaten	72
Tabelle 14: Vergleich der berechneten theoretischen Wärmeleistung der Kompressorenabluft mit der tatsächlichen Wärmeleistung basierend auf Messwerten.....	72
Tabelle 15: Berechnung der theoretisch rückgewinnbaren Wärmeleistung aus dem Kühlfluid der Kompressorentypen FS440 und DSD201 mithilfe der theoretischen Motorenleistung	73
Tabelle 16: Berechnung der theoretisch rückgewinnbaren Wärmeleistung aus dem Kühlfluid der Kompressorentypen FS440 und DSD201 mithilfe der theoretischen Nennleistung.....	73
Tabelle 17: Berechnung der rückgewinnbaren Wärmeleistung aus dem Kühlfluid der Kompressorentypen FS440 und DSD201, basierend auf Messdaten....	74
Tabelle 18: Vergleich der berechneten theoretischen Wärmeleistung des Kühlmediums mit der tatsächlichen Wärmeleistung basierend auf Messwerten.....	74
Tabelle 19: Warmwasserverfügbarkeit.....	75
Tabelle 20: Mittleres Temperaturniveau der Abluft der Kompressorstation Ost ..	76
Tabelle 21: Nutzbare Wärmeleistung der Kompressortypen DSD201 und FS440 im Wochenspiegel.....	79
Tabelle 22: Einsparungspotential der Walzendreherei	85

Tabelle 23: Erdgas-Einsparungspotential des Magazins	86
Tabelle 24: Einsparungspotential der Elektrowerkstätte in Kombination mit der WD und dem MZ.....	88
Tabelle 25: Energieeinsparungen der Szenarien 4 und 5	88
Tabelle 26: Ergebnisse zur Kosteneinsparung der untersuchten Szenarien und deren Kombinationen.....	90
Tabelle 27: Kosten-Nutzen Analyse der Szenarien und der Kombinationen.....	91
Tabelle 28: CO ₂ -Emissionen der Walzendreherei, des Magazins, der Elektrowerkstätte der Jahre 2007-09	93
Tabelle 29: CO ₂ -Einsparungen der untersuchten Szenarien.....	93
Tabelle 30: Investitionsrechnung für WD+MZ (Projekt Nr.3).....	99
Tabelle 31: Investitionsrechnung für WD+MZ+EZ (Projekt Nr.4)	102
Tabelle 32: Investitionsrechnung für WD (Projekt Nr.10)	105
Tabelle 33: Raumvolumen und Heizinnenfläche der Walzendreherei.....	b
Tabelle 34: Raumvolumen und Heizinnenfläche des Magazins	d
Tabelle 35: Berechnung der Systemenergie der Walzendreherei, bei 20 °C Innentemperatur.....	f
Tabelle 36: Berechnung der Systemenergie des Magazins, bei 20 °C Innentemperatur.....	f
Tabelle 37: Raum-Temperaturabsenkung der WD bei konstanter Aussenlufttemperatur von -6°C	g
Tabelle 38: Raum-Temperaturabsenkung der WD bei konstanter Aussenlufttemperatur von -18°C	h
Tabelle 39: Raum-Temperaturabsenkung der WD bei konstanter Aussenlufttemperatur von 0°C	i
Tabelle 40: Raum-Temperaturabsenkung der WD bei konstanter Aussenlufttemperatur von 0°C	i
Tabelle 41: Raum-Temperaturabsenkung des MZ bei konstanter Aussenlufttemperatur von -18°C.....	j
Tabelle 42: Raum-Temperaturabsenkung des MZ bei konstanter Aussenlufttemperatur von -6°C.....	k
Tabelle 43: Raum-Temperaturabsenkung des MZ bei konstanter Aussenlufttemperatur von 0 °C	l
Tabelle 44: Raum-Temperaturabsenkung des MZ bei konstanter Aussenlufttemperatur von +10°C	l
Tabelle 45: Koeffizienten zur Berechnung der temperaturabhängigen Wärmekapazität von Luft	m
Tabelle 46: Rückgewinnbare Wärmemenge über Abluftkonzept (Messwerte Fa. Kaeser)	o
Tabelle 47: Rückgewinnbare Wärmemenge über ein Wärmetauscherkonzept (Messwerte Fa. Kaeser).....	p
Tabelle 48: spezifischen Verbräuche der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätte in den Jahren 2007-2009.....	q
Tabelle 49: Reaktionen der Verbrennungsrechnung.....	r

Tabelle 50: Berechnung der molaren Abgasmenge	r
Tabelle 51: spezifischer Mindestluftbedarf und mindest Abgasmenge in Normkubikmeter.....	s
Tabelle 52: Prozentuelle Anteile der Abgasbestandteile	s
Tabelle 53: CO ₂ Emissionen des Jahres 2007	t
Tabelle 54: CO ₂ Emissionen des Jahres 2008.....	u
Tabelle 55: CO ₂ Emissionen des Jahres 2009.....	v
Tabelle 56: gemittelte Temperatur-Monatswerte der Mess-Station Murdorf	x
Tabelle 57: erster Teil der Gegenwartstabelle (Teil 2 siehe Tabelle 58)	y
Tabelle 58: zweiter Teil der Gegenwartstabelle (Teil 1 siehe Tabelle 57).....	z

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
ANF	Annuitätenfaktor
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celcius
c_p	spezifische Wärmekapazität
c_i	Strömungsgeschwindigkeit
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
C ₂ H ₆	Ethan
C ₃ H ₈	Propan
C ₄ H ₁₀	Butan
d	Dicke
diss	Dissipation
DIN	Deutsches Normungsinstitut
Diss.	Dissertation
EIA	Energy Information Organisation
EN	Europäisches Normungsinstitut
EU	Europäische Union
EW	Elektrowerkstätte
EZG	Emissionszertifikategesetz
€	Euro
f.	folgende Seite
ff.	folgenden Seiten
ϕ_T	Transmissionswärmeverlust
ϕ_L	Lüftungswärmeverlust
ϕ_{HL}	Heizlast
g	Gramm
Fr	Freitag
h	Stunde
H _i	Enthalpie
Hrsg.	Herausgeber
H ₂ O	Wasser
I	Strom
IEA	Internationale Energie Agentur
ISO	International Standards Organisation
J	Joule
K	Kelvin
Kg	Kilogramm
KJ	Kilojoule
KV	Kilovolt
kW	Kilowatt

kWh	Kilowattstunde
k-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
λ	Wärmeübergangskoeffizient
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
Mo	Montag
mon	Monat
MW	Mittelwert
MZ	Magazin
n	molare Menge
NPV	Net Present Value
Nr.	Nummer
N ₂	Stickstoff
o.V.	ohne Verfasserangabe
O ₂	Sauerstoff
P	Druck
Q ₁₂	Wärmemenge
R	Universelle Gaskonstante
R _{si}	äusserer Wärmeübergangswiderstand
R _{Se}	innerer Wärmeübergangswiderstand
ρ	Dichte
s	Sekunde
s.	siehe
S.	Seite
S _i	Entropie
So	Sonntag
Sys	System
T	Temperatur
t	Zeit
to	Tonne
U	Spannung
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient (früher k-Wert)
V	Volumen
vgl.	vergleiche
Vol-%	Volumsprozent
WD	Walzendreherei
W	Arbeit
z _i	Höhe

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Der zur Georgsmarienhütte Holding zugehörige Edelstahlverarbeiter *Stahl Judenburg GmbH* benötigt zur Aufrechterhaltung seiner Kernprozesse bedeutende Mengen an Druckluft, deren Bedarf durch vier leistungsstarke Kompressoraggregate vor Ort gedeckt wird. In den Brennpunkt einer kritischen Betrachtung dieses Arbeitsvorgangs hinsichtlich energierelevanter Aspekte geraten dabei die erheblichen Mengen an Abwärme, welche im Zuge des Verdichtungs Vorgangs ungenutzt in die Umgebung abgeführt werden.

Ziel der Diplomarbeit ist es, die Kühlverluste zu bestimmen und das energetische Potential der erwärmten Abluft zu ermitteln, welches sodann auf technische Verwertungsmöglichkeiten geprüft werden soll. Im Rahmen dieser Analyse wird die Nutzung jener Abwärmeenergie für Heizzwecke zur Diskussion gestellt, wobei hier im Besonderen geprüft werden soll, ob die von den Kompressoren erzeugte Abwärme auch tatsächlich den Heizbedarf der benachbarten Werkshallen zu decken imstande ist und die Möglichkeiten der Erwärmung von Brauchwasser gegeben sind. Abschließend soll eine umfassende Wirtschaftlichkeitanalyse der erarbeiteten Projektformen die notwendige Klarheit über die unternehmerische Bedeutung des Vorhabens liefern und eine stabile Stütze bei der Beantwortung der Investitionsfrage darstellen.

Weiters wurde die Aufgabe gestellt, die Stoff- und Energieströme des Unternehmensstandorts zu erfassen und anwendungsorientiert für die betroffenen Managementsysteme aufzubereiten. Die Medien Erdgas, elektrische Energie und Nutzwasser sollen bilanziert und graphisch dargestellt werden, wobei diese Zielsetzung so realisiert werden soll, dass die Ergebnisse nahtlos in bestehenden und zukünftige Managementstrukturen implementiert werden können. In weiterer Folge werden sämtliche Ausarbeitungen in gedruckter als auch digitaler Form dem Führungsgremium der Stahl Judenburg zur Verfügung gestellt und die Verbräuche am Standort in Jahresberichten abgefasst. Ziel ist es, eine Dokumentenstruktur nach Vorbild einschlägigen Managementsystemen zu erstellen, um die jeweiligen Bereichsverantwortlichen in ihren Entscheidungsfindungen effizient unterstützen zu können.

1.2 Aufbau der Diplomarbeit

Der Aufbau der vorliegende Arbeit ist durch eine zweifache Gliederung charakterisiert: Der erste theoretische Teil widmet sich der Erarbeitung der für die in 1.1. erläuterten Aufgabenstellung relevanten Grundlagen. Der zweite große Bereich umfasst die Ergebnisse der praktischen Untersuchungen sowie deren Auswertungen und Berechnungen. Abschließend sollen die Resultate einer detaillierten Analyse unterzogen und die technischen als auch wirtschaftlichen Möglichkeiten ausführlich diskutiert werden. Die wesentlichen Arbeitsschritte und die dadurch gewonnenen Erkenntnisse sind im abschließenden Kapitel des zweiten Teils der Diplomarbeit zusammengefasst. Dieses beinhaltet die Vor- und Nachteile sowie die Erfolgsaussichten der erarbeiteten Projekte und die

Bedeutung der Diplomarbeit für zukünftige unternehmerische Vorhaben im Bereich der Kompressorabluft wie auch der Überwachung der Medienströme am Unternehmensstandort. Im Anhang befinden sich die unterstützenden Berechnungen und Tabellen als auch jene Datenblätter, die wesentlich zur Erarbeitung des Projektes beitragen.

2 Theoretische Grundlagen der Arbeit

Dieses Kapitel widmet sich der Darstellung und Erklärung der wesentlichen Grundlagen, welche für die Erreichung der Zielvorgaben als relevant erachtet werden. Es sind dies die Grundlagen der Bilanzierung von Stoff- und Energieflüssen, des betrieblichen Qualität-, Umwelt- und Energiemanagements, der Projektplanung sowie Grundlagen der betriebswirtschaftlichen Investitionsrechnung.

2.1 Grundlagen der Stoff- und Energiebilanzierung

Teilaufgabe der Diplomarbeit ist es, die Medienströme Erdgas, elektrische Energie sowie Nutzwasser der *Stahl Judenburg GmbH* in Form von Sankey-Diagrammen darzustellen. Der Nutzen einer solchen Datenaufbereitung liegt in einer raschen und zielführenden Identifizierung aller verbrauchsintensiven Anlagenteile, welche wiederum als voraussetzend für die Elaborierung der Energieeffizienz, Senkung der Rohstoffverbräuche sowie Innovationen der Potenzialentwicklung erachtet werden können. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass eine solch wahrheitsgetreue Abbildung ein geeignetes Instrument darstellt, um die Verbraucherströme innerhalb eines Unternehmens rasch erkennen und verstehen zu können.

2.1.1 Grundlagen der Bilanzierung

Bilanzrechnungen basieren auf den Grundsätzen der Erhaltung von Masse bzw. Energie. Sie dienen der deterministischen Untersuchung von Menge, Konzentration, Druck und Temperatur der an einem Prozess beteiligten Medienströme.¹ Im technischen Tätigkeitsfeld können ausschließlich physikalisch extensive Größen eines Systems bilanziert werden. Diese Größen besitzen quantitative Eigenschaften und können somit gegliedert werden.

In Ausnahmefällen wie der Kernreaktionen und Reaktionen im Bereich der Lichtgeschwindigkeiten, wird Masse weder erzeugt noch vernichtet. Da diese Reaktionstypen als Spezialfälle anzusehen sind, wird in der Industrie der Begriff der Masse als konstant angesehen. Chemische Reaktionen weisen zwar meist eine charakteristische Wärmetönung auf, deren Energieabgabe reicht jedoch nicht aus, um einen Massendefekt auszulösen. Somit ergibt sich der allgemeine Satz der Massenerhaltung für instationäre Systeme wie folgt:²



Glg. 2-1

mit: $n =$ Massenmengen
 $k =$ maximale Massenmengen

¹ Vgl. Schnitzer (1991) S. 31.

² Vgl. Schnitzer (1991) S. 34.

Δt	Zeitabschnitt
ΔM	umgesetzte Menge im System
\dot{M}_{in}	Input Masse pro Zeit
\dot{M}_{out}	Output Masse pro Zeit

Glg. 2-1 lässt sich folgendermaßen deuten, dass die Summe aller eintretenden Ströme gleich der Summe aller austretenden Ströme ist. Wenn dieses Gleichgewicht nicht gegeben ist, kommt es zu einer Anreicherung von Masse innerhalb des Systems. Dieser Zustand wird durch den rechten Term der Gleichung ausgedrückt.

Für ein energetisch offenes System gilt analog dem Massenerhaltungsgesetz:³



Glg. 2-2

Hierbei bezeichnet ΔE_S den Energieinhalt des Bilanzraumes und \dot{E}_{in} die in das System eintretenden bzw. austretenden Energieströme. Die Energie kann dabei in Form von potentieller, kinetischer und innerer Energie auftreten.

Das Ziel von Stoff- und Energiebilanzen, den sogenannten Sachbilanzen, ist die möglichst vollständige Erfassung aller Stoff- bzw. Energieströme, die in ein Bilanzgebiet ein- und austreten. Eine solche Sachbilanz dient als Grundlage jeglicher Analysen und Bewertungen sowohl im technischen als auch im betriebswirtschaftlichen Kontext.

Bei der Erstellung von Sachbilanzen sind grundlegende Voraussetzungen zu beachten:⁴

- Der Bilanzraum muß durch eindeutige Bilanzgrenzen definiert sein;
- Sämtliche bilanzgrenzenüberschreitende Ströme sind zu berücksichtigen;
- Jegliche Energien müssen sich auf einen einheitlichen Bezugszustand beziehen;
- Die bilanzierten Ströme sind in gleichen Einheiten zu bezeichnen.

Prinzipiell soll bei der Bilanzierung folgendes beachtet werden:⁵

- Definition des Fließbildes (Problem);
- Festlegen der Bilanzgrenzen;
- Feststellen des Freiheitsgrades;
- Wahl der Berechnungsbasis (durch die Einsatzmenge vorgegeben);

³ Vgl. Schnitzer (1991) S. 34.

⁴ Vgl. Schnitzer (1991) S. 65.

⁵ Vgl. Schnitzer (1991) S. 57.

- Wahl der Basisdimension (SI- Einheiten);
- Aufstellen der Bilanzgleichungen (erster Hauptsatz der Thermodynamik);
- Lösen der aufgestellten Gleichungen;
- Darstellen des Ergebnisses.

2.1.2 Bilanzformen

Um die Ergebnisse einer Anlagenberechnung bzw. die gemessenen Größen kommunizieren zu können, werden unterschiedliche Darstellungsweisen verwendet. So können Visualisierungsformen gewählt werden, in welchen die Anlage schematisch abgebildet wird und Messgrößen und Bezeichnungen der Medien direkt in den abgebildeten Strömen eingetragen werden. Hierbei stellt sich die aus der platzintensiven Darstellung resultierende Übersicht als deutlich negativer Aspekt dar, sodass einer Variante, in der die Ströme nummeriert und den jeweiligen Nummerierungen in einer separaten Tabelle Stoffkonzentration, Menge, Temperatur und Druck zugeordnet werden, der Vorzug zu geben ist.⁶

Aufgrund der Gültigkeit des Massen- und Energieerhaltungssatzes kommen im Zuge von technischen Prozessbilanzen häufig Input-Output-Analyseverfahren zur Anwendung. Eine Input-Output-Analyse bezieht sich auf die stoffliche Ebene und untersucht die von einem Umwandlungsprozess betroffenen Stoff- und Energiemengen. Der Schwerpunkt einer solchen Analyse beruht auf der Beurteilung von Prozessen im Bereich der Produktion.⁷ Bilanzen lassen sich unterschiedlich charakterisieren. Die folgende Aufzählung ist dem Bereich des Ökookontrollings entnommen und stellt möglicher Bilanztypen dar:⁸

- Betriebsbilanz
- Prozeßbilanz
- Produktlinienbilanz
- Standortbilanz

2.1.3 Betriebliche Stoff- und Energieflußanalyse (SEFA)

Die Grundlage zur Erstellung von Bilanzen im Ressourcen-, Energie- und Umweltmanagement stellt die Stoff- und Energieflussanalyse dar. Primär ist die SEFA ein Instrument des Umweltmanagements. Aufgrund der Abschnittsthematik erscheint es jedoch opportun, das Vorgehen und die Analyse der SEFA hierorts zu diskutieren, um im Abschnitt 2.3 genauer auf die eigentlichen Grundlagen des Umweltmanagements eingehen zu können.

Die SEFA verschafft den Systemverantwortlichen einen akkuraten Überblick über die Verbrauchs- und Belastungsfaktoren, welche von Anlagen, Verfahren oder bzw. dem Gesamtbetrieb ausgehen. Dabei werden möglichst alle In- und

⁶ Vgl. Schnitzer (1991) S. 26.

⁷ Vgl. Beck (1993) S. 110.

⁸ Vgl. Beck (1993) S. 110. ff.

Outputstoffe sowie Energieflüsse erfaßt und den Verbrauchern bzw. Emittenten zugeordnet. Die daraus resultierenden Ergebnisse dienen dazu:⁹

- Kennzahlen abzuleiten;
- Resultate durchgeführter Maßnahmen abzuleiten;
- Rechtssicherheit zu erzeugen:
- Schwachstellen aufzudecken und Lösungsalternativen zu erarbeiten;
- Informationen zu erarbeiten und bereitzustellen;

Zur Umsetzung einer funktionierenden Stoff- und Energieflussanalyse durch das Umweltmanagement wird von den Autoren Nissen und Friedel folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:¹⁰

- **Scoping:**
Dabei werden die Ziele der Stoff- und Energieflußanalyse definiert.
- **Projektorganisation:**
Ist bis dato kein umfangreiches Monitoringsystem in einem Unternehmen installiert, stellt die SEFA einen diskontinuierlichen Prozess dar. Sie ist deshalb als Projekt aufzufassen und wird im idealen Fall durch ein Projektmanagement unterstützt.
- **Übersicht möglicher Stoff- und Energieflüsse:**
Um das zu untersuchende System in übersichtliche Module einteilen zu können, ist es hilfreich, betriebliche Unterlagen, Pläne und Aufzeichnungen heranzuziehen. Weiters sollten Betriebsbegehungen und Interviews mit dem Fachpersonal vor Ort durchgeführt werden.
- **Datenerhebung:**
Dieser Schritt stellt in den meisten Fällen den umfangreichsten Aufwand dar und dient der Identifizierung der Stoff und Energieflüsse.
- **Bewertung der Umweltbelastungsfaktoren:**
Die Bewertung der Umweltbelastungsfaktoren ist erforderlich, da die Vielfalt der Faktoren die Prioritäten zu deren Vermeidung bzw. Verminderung setzen. In der Praxis werden entsprechend der definierten Ziele unterschiedliche Beurteilungsmaßstäbe herangezogen.
 - ökologische Kriterien
 - rechtliche Kriterien
 - technische/wirtschaftliche Kriterien
- **Zuordnung der Umweltbelastung auf die Verursacher:**

⁹ Vgl. Nissen, Friedel (1995) S. 140.

¹⁰ Vgl. Nissen, Friedel (1995) S. 140. ff.

Die Reihung sollte sich nach den Mengenströmen und den Umweltbelastungen der Ströme im Bilanzgebiet richten. Zur Rangfolgenfestsetzung bietet sich eine Beurteilungsmatrix an.

- **Schwachstellenermittlung und Behebung:**

Sämtliche unerwünschten Stoff- und Energieströme entsprechen einer Umweltbelastung. Die Beachtung aller Ströme würde dazu führen, dass die Analyse grenzensprengende Ausmaße annehmen würde. Somit sind primär jene Flüsse näher zu betrachten, welche aus umweltorientierter Sicht aufgrund ihres Umweltbelastungspotentials oder ihrer Menge bedrohlich erscheinen.

2.1.4 Grundlagen von Sankey-Diagrammen

Mittels Sankey-Diagrammen besteht die Möglichkeit, die Stoff- und Energieströme eines Systems visuell darzustellen. Da bereits kleine Systeme in der numerischen Darstellungsform schwer durchschaubar sind, bilden Sankey-Diagramme ein gut geeignetes Instrument, um das Verständnis für die Eigenschaften auftretender Medienströme und deren Auswirkungen zu erhöhen. Die Darstellung erfolgt hierbei mittels von Pfeilen, deren Breiten proportional der Größe des gemessenen oder bilanzierten Medienstroms sind. Im Fall der Bilanzierung von Energieströmen können Abwärmeströme und deren mögliche Wärmesenken dargestellt werden.¹¹

Die praktische Bilanzierung und Darstellung im Zuge der Diplomarbeit erfolgte mit der im Internet kostenlos erhältlichen Freeware STAN2¹² der Technischen Universität Wien welche die Erstellung einer vollständigen Stoff- und Energiebilanz ermöglicht. Mithilfe dieses Programms wurden die Medienströme Erdgas, elektrische Energie und betriebliches Nutzwasser in Form von Sankey-Diagrammen dargestellt, wobei die Illustration eines Bilanzraumes nach dem Ebenenmodell der Systemtheorie erfolgt. Prozesse werden in der entsprechenden Ebene graphisch als Black-Box dargestellt. Zwischen den Prozessen, Quellen und Senken des Systems können die Beziehungen mittels pfeilförmiger Verbindungen erstellt werden. Diese deuten die Flußrichtung an und beinhalten die Bezeichnung des Stromes sowie dessen Transportgrößen. Die zeitliche Betrachtung kann dabei in den gewünschten Zeitabschnitten gestaltet werden. Sämtliche SI-Einheiten sind im Programm enthalten, jedoch können weitere Einheiten hinzugefügt werden. Die Verbrauchsmengen können als Sankey-Diagrammen eindeutig dargestellt werden. Dabei ist die jeweilige Dicke der Verbindung zwischen den Systemeinheiten proportional der Verbrauchsmenge. Somit ist es möglich, die Verbrauchergrößen sowie die Verhältnisse der Verbraucher auf einen Blick zu identifizieren.

Diverse Nebenrechnungen und die benötigten Verbrennungsrechnungen zur Ermittlung der entstehenden Normabgasmengen wurden mit Microsoft Office Excel errechnet und anschließend in STAN2 implementiert.

¹¹ Vgl. Posch (2009) S. 57.

¹² Vgl. STAN2 (2009)

2.2 Grundlagen des Qualitätsmanagements

Der vorliegende Abschnitt soll die Grundlagen und die unternehmerische Bedeutung eines Qualitätsmanagements erörtern. Die Fokussierung auf Qualitätsaspekte bietet betriebswirtschaftliche Potentiale, deren Ausschöpfung beachtliche Kostenvorteile zuläßt. Die Annahme, dass auf lange Sicht der Erfolg eines Unternehmens aus der überlegenen Qualität seiner Produkte bzw. Dienstleistungen gegenüber seiner Mitbewerber am Markt resultiert, erscheint als durchaus stringent.¹³

Da eine Reihe weiterer Managementsysteme auf den Grundbausteinen und Ideen des Qualitätsmanagements Fuß fassen, sollen an dieser Stelle die Eckpfeiler des Qualitätsmanagements näher gebracht werden und als Voraussetzung für die Abschnitte des Umwelt- und des Energie-Managements dienen.

2.2.1 Definition eines Qualitätsmanagements

Unter einem Qualitätsmanagement versteht man die Gesamtheit der aufbau- und ablauforganisatorischen Gestaltung. Als solches bezieht dies die Verknüpfung der qualitätsbezogenen Aktivitäten untereinander als auch eine einheitliche, gezielte Planung, Umsetzung und Steuerung der Maßnahmen des Qualitätsmanagements im Unternehmen mit ein. Dabei wird nicht nur die Produktion mit ihren vor- und nachgelagerten Bereichen als Ganzes angesehen, sondern das gesamte Unternehmen einschließlich der Beziehungen zu seinem Umfeld betrachtet.¹⁴ Das strategisch, planerische Qualitätsmanagement erfordert verstärkte, formalisierte Anwendungen bekannter und neu zu entwickelnder Techniken. Dies betrifft nicht ausschließlich den Produktionsbereich, sondern insbesondere die Kommunikation, Ideenfindung und Problemlösung in sämtlichen Unternehmensbereichen. Solche Techniken fördern die ständige Verbesserung im Sinne des japanischen Kaizens. Denn selbst hochentwickelte, scheinbar optimal funktionierende Prozesse bergen ungenutztes Verbesserungspotential. Somit müssen Arbeitsabläufe als dynamisch und veränderlich angesehen werden, um eine kontinuierliche Verbesserung gewährleisten zu können.¹⁵

2.2.2 Weitere Definitionen im Bereich des Qualitätsmanagements

Organisation

Der Begriff der Organisation umfasst ein oder mehrere Systeme und die aus ihnen bestehenden Elemente, welche in wechselwirkenden Beziehungen zueinander stehen. Der Organisationsbegriff bezeichnet Sachverhalte und Phänomene zweier Grundauffassungen. Zum Einen bezieht sich der Ausdruck auf die Organisation als Institution und zum Anderen werden Mittel und Instrumente beschrieben, mithilfe derer die Ziele der Institution erreicht werden sollen.¹⁶

Information

Für die effiziente Umsetzung operativer wie auch strategischer Unternehmensziele ist das Vorhandensein zweckorientierten Wissens erforderlich. Zweckori-

¹³ Vgl. Kamiske (1999) S. 1.

¹⁴ Vgl. Kamiske (1999) S. 199.

¹⁵ Vgl. Butterbrodt, Gogoll, et.al (1995) S. 103. f.

¹⁶ Vgl. Frese (1992) S. 1460.

entiert darum, da aus der Gesamtheit des vorhandenen Wissens nur jener Ausschnitt tatsächliche Relevanz besitzt, welcher die Entscheidungsprozesse fördert und dadurch zur Entscheidungsfindung führt. Wissen ist die Voraussetzung für die Erkenntnis und tatsächliche Beschreibung von Sachverhalten. Eine solche Beschreibung stellt die eigentliche Information dar. Durch die Umformung der gewonnenen Informationen zu planungsrelevante Daten können Prognosen und effektive Entscheidungen getroffen werden.¹⁷

Dokumentation

Der Begriff der Dokumentation wird definiert als das Management unternehmensinterner und externer Dokumente. Dabei steht ein Dokument für eine Informationsmenge, welche innerhalb einer Anwendung als Einheit verstanden wird.¹⁸ Die Hauptaufgabe der Dokumentation besteht darin, daß der Ablauf von Tätigkeiten lückenlos nachvollziehbar ist.¹⁹ Dies dient der Erkennung und Vermeidung von Fehlern, welche die Qualität des Produktes, somit die Kundenzufriedenheit und des weiteren die betriebswirtschaftliche Kenngrößen beeinträchtigen.

Die Dokumentation dient aus rechtlicher Sicht der Beweissicherung, um im Zweifelsfall den Entlastungsbeweis angetreten zu können. In einem innerbetrieblichen Dokumentationssystem muss folgendes geregelt und beachtet werden.²⁰

- Wer dokumentiert;
- Was muss dokumentiert werden;
- Wann muss dokumentiert werden;
- Wie muss dokumentiert werden;
- Wo wird die Dokumentation aufbewahrt;
- Wie lange wird die Dokumentation aufbewahrt;
- Welche Dokumentationstechniken sind anzuwenden.

2.2.3 Allgemeine Anforderungen an ein Qualitätsmanagement

Eine Organisation, die sich dazu bekennt ein Qualitätsmanagement nach der internationalen Norm EN ISO 9001:2009 umzusetzen, muss deren Anforderungen genüge tun. Um ein funktionierendes Qualitätsmanagement leben zu können, muss eine Organisation:²¹

- a) die für das Qualitätsmanagement erforderliche Prozesse und ihre Anwendungen in der gesamten Organisation festlegen;
- b) die Abfolge der Wechselwirkungen dieser Prozesse festlegen;

¹⁷ Vgl. Oberhofer (1987) S. 127.

¹⁸ Vgl. Frese (1992) S. 522.

¹⁹ Vgl. Glaap (1993) S. 81.

²⁰ Vgl. Mantz (1995) S. 99. f.

²¹ Vgl. ÖNORM EN ISO 9001 S. 9.

- c) die erforderlichen Kriterien und Methoden festlegen, um das wirksame Durchführen und Lenken dieser Prozesse sicherzustellen;
- d) die Verfügbarkeit von Ressourcen und Informationen sicherstellen, die zur Durchführung und Lenken dieser Prozesse benötigt werden;
- e) diese Prozesse überwachen, messen, analysieren und;
- f) die erforderlichen Maßnahmen treffen, um die geplanten Ergebnisse sowie eine ständige Verbesserung dieser Prozesse zu erreichen.

Mithilfe dieser Einführung in das Qualitätsmanagement soll die Grundlage für das Verständnis dieses, wie auch für weitere Managementsysteme im Bereich der ISO Normreihe gegeben sein.

2.3 Grundlagen des Umweltmanagements

„Ein Umweltmanagement umfasst alle unternehmerischen Ziele, Entscheidungen und Handlungen, die im Rahmen ökonomischer Tätigkeiten geeignet sind eine Minimierung der Umweltbelastungen aus den Folgen betrieblicher Leistungserstellung als eigenständige Ziele oder zur Unterstützung anderer Unternehmensziele anzustreben.“²²

Ziel des Umweltmanagements ist es, dieses System kontinuierlich zu gestalten und derart zu steuern, dass sowohl aus ökologischer aber auch aus ökonomischer Sicht eine möglichst hohe Effizienz erreicht wird.²³

Das Umweltmanagement vernetzt verschiedene Bereiche des ganzheitlichen und betrieblichen Umweltschutzes. Notwendige Voraussetzung für eine funktionsorientierte Umsetzung des Umweltmanagements stellt vor allen Dingen das Vorhandensein akzessibler Informationen hinsichtlich umweltrelevanter Vorgänge innerhalb des Unternehmens dar. Die Informationen müssen die Hergegang der vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Handlungen umfassen. Dies gelingt unter der Einbeziehung des Rechnungswesens und den generierten betriebswirtschaftlicher Kennzahlen, sowie der Führung und Pflege eines Informationssystems.²⁴ Umweltmanagementsysteme besitzen einen, in die Zukunft gerichteten Charakter und erfüllen vorausschauende Funktionen, sie dienen der Vorbeugung von Unfällen, Stör- und Schadensfällen sowie möglichen Notfällen.²⁵

2.3.1 Ziele des Umweltmanagementsystems

Umweltmanagementsysteme sind optimalerweise in ein übergreifendes Managementsystem integriert. Mit Hilfe von Umweltmanagementsystemen können folgende Ziele verfolgt und erreicht werden.²⁶

²² Vgl. Tischler (1996) S. 24.

²³ Vgl. Nissen, Friedel (1995) S. 133.

²⁴ Vgl. Baumann et.al. (2005) S. 16.

²⁵ Vgl. Eggert (1995) S. 229.

²⁶ Vgl. Baumann et.al. (2005) S. 21.

- Die Reduktion der Umweltbelastung über sämtliche Prozesse im Unternehmen hinweg;
- Erreichen und Erhaltung der Rechtskonformität;
- Optimierung der betrieblichen Prozesse im ökologischen, ökonomischen und sozialem Kontext;
- Verbesserung der inner- und außerbetrieblichen Koordinationsfähigkeit;
- Verbesserung der Reaktionsfähigkeit auf umweltrelevante Störungen;
- Mitarbeiterförderung im Bezug auf umweltschonendes Verhalten;
- Erhöhte Anpassungsfähigkeit an durch Umweltaspekte bedingten Änderungen im Unternehmensumfeld.

Im deutschsprachigen Wirtschaftsraum prägen vorwiegend die ISO Norm 14001 und die EG-Öko-Audit-Verordnung den Begriff des Umweltmanagementsystems. In der ISO 14001 wird diese Form des Managements als Teil eines übergreifenden Managementsystems definiert, in der die Organisationsstruktur, Planungstätigkeiten, Verantwortlichkeiten, Methoden, Verfahren, Prozesse und Ressourcen zur Entwicklung, Implementierung, Erfüllung, Bewertung und Aufrechterhaltung der Umweltpolitik aufgefasst wird. In den nachfolgenden Abschnitten werden dem Leser überblicksmäßig die ISO 14001 und die EMAS-VO nähergebracht.

2.3.2 ISO Normreihe 14001

Die Richtlinie ISO 14001 beschreibt die Kernelemente eines Umweltmanagementsystems und gliedert sich in folgende Bereiche:²⁷

1. Anwendungsbereiche
2. Normative Verweisungen
3. Begriffsbestimmungen
4. Forderungen an ein Umweltmanagementsystem
5. Anhänge

In Kapitel 4 der Norm werden die Forderungen an ein Umweltmanagementsystem angeführt, die da sind:

- Umweltpolitik;
- Planung;
- Implementierung;
- Kontroll- und Korrekturmaßnahmen;
- Bewertung durch die oberste Leitung.

²⁷ Vgl. DIN EN ISO 14001 S. 9. ff

Der strukturelle Aufbau eines Umweltmanagementsystems entspricht dem der ISO Norm 9001 für Qualitätsmanagementsysteme und fußt auf dem Regelkreisprinzip.

2.3.3 EMAS III-VO

Die Kurzform EMAS steht für: „Environmental Management and Audit Scheme“. Mit 11 Jänner 2010 trat die EMAS III-VO in Kraft und löste die bis dahin geltende EU-Verordnung EMAS II-VO ab, welche eine Grundlage für die Einführung von Umweltmanagementsystemen bildet und in sämtlichen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union Anwendungsvorrang vor nationalem Recht besitzt.²⁸ Gemäß der EMAS-VO kann sich eine Organisationen einem freiwilligen Audit unterziehen und ihr Vorgehen anhand der umweltprotektionsorientierten Maßstäbe der Verordnung prüfen lassen.²⁹

Das Ziel eines Umweltmanagementsystems nach EMAS ist es, eine umweltgerechte Betriebsführung, gute Managementpraktiken und eine kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes über die gesetzlichen Vorgaben hinaus. Dieser kontinuierliche Verbesserungsprozess soll durch Einhaltung der folgenden Bedingungen erhalten und gelebt werden:³⁰

- Schaffung und Anwendung eines Umweltmanagementsystems durch die Organisation;
- Eine systematische, objektive und regelmäßige Bewertung der Leistung des Systems;
- Die Information und die Führung eines offenen Dialogs mit der Öffentlichkeit;
- Die aktive Miteinbeziehung der Mitarbeiter in die Organisation, sowie die adäquate Aus- und Weiterbildung.

Die Vorteile von EMAS liegen in der gegebenen Rechtssicherheit und der verbesserten Kommunikation mit Behörden. Durch die Verordnung ergeben sich auf verwaltungsrechtlicher Ebene Vereinfachungen für den Betrieb hinsichtlich der Änderung von Anlagen. Aufgrund der nach außen und innen gerichteten Kommunikation, steigt die Transparenz und das Vertrauen in das Unternehmen. Mittels der EMAS III-VO werden Ressourcen in der Produktion und Verwaltung schonend und effizient eingesetzt und ein Bewusstsein für den Nutzen des betrieblichen Umweltschutzes unter den Mitarbeitern geschaffen.³¹

2.4 Grundlagen des Energiemanagements

Das Realisierungspotential für erhöhte Energieeffizienz in Unternehmen liegt im Wesentlichen in deren technischer, organisatorischer und sozialer Struktur. Zur

²⁸ Vgl. EMAS-Info (2010)

²⁹ Vgl. Eggert (1995) S.193.

³⁰ Vgl. EMAS Ziele (2010)

³¹ Vgl. EMAS Ziele (2010)

Generierung des höchstmöglichen Effizienzgrades technischer Systeme ist das Optimum des Verbesserungspotentials an sämtlichen Elementen des Anlagensystems umzusetzen. Dies betrifft den vollständigen Anlagenpark eines Unternehmens und die für dessen Betrieb essentiellen Stoff- und Energieversorgungsnetze. Die genaue Analyse der wechselwirkenden Zusammenhänge solcher technischen Systeme ist meist mit großem Aufwand verbunden. Für solche Aufgaben bieten sich ein Energiemanagementsystem an, welches die Voraussetzungen für detaillierte Erfassung, Dokumentation und Analyse komplexer Energieverbunde erfüllt.

Energiemanagementsysteme agieren abteilungs- bzw. bereichsübergreifend und stellen somit eine organisatorische Querschnittsfunktion dar. Grundlegende Aufgabe eines solchen Systems ist es, die Abläufe, Verantwortlichkeiten, Strukturen und Mittel zum effizienten wie auch effektiven Einsatz von Energie und Energieträgern sicherzustellen.³² Entscheidend für die Zielfindung und die daraus resultierende Strategie ist eine detaillierte Darstellung der Energieeinsätze im Unternehmen. Die gewünschte Datenschärfe wird durch die Charakterisierung der energieliefernden bzw. energieverbrauchenden Anlagen wie auch die Struktur des Versorgungsnetzes erzielt. Dabei werden die Medienströme auf ihre spezifischen Mengen und physikalischen Zustände hin untersucht.

Betriebliche Strukturen befinden sich, aufgrund der sich fortlaufend verändernden Markt-, Produktions- und Stakeholderanforderungen, ständig im Wandel. Daraus resultiert eine kontinuierliche Neugestaltung der Versorgungslandschaft. In Anbetracht der Tatsache, dass betriebliche Systeme ständig diesen dynamischen Einflüssen ausgesetzt sind, erscheint zur Erreichung der angestrebten Ziele ein gelebtes Energiemanagement hinsichtlich des institutionellen wie auch instrumentellen Bereiches notwendig.

Nach dem funktionalen Verständnis wird eine Organisation, neben Planung und Kontrolle, insbesondere als eine Funktion der Unternehmensführung, als sogenannte wahrgenommene Aufgabe, gesehen. Die Organisation ist im Wesentlichen mit der unternehmerischen Vollzugsaufgabe gleichzusetzen. Im Unterschied zum instrumentellen Ansatz, lenkt der institutionelle Organisationsbegriff den Blickwinkel auf das gesamte System, auf die Institution.³³ Die Organisation im funktionalen Kontext umfasst die Strukturen des Unternehmens.³⁴

2.4.1 Definition des Energiemanagements

Wohinz und Moor befassten sich bereits in den 1980er Jahren mit der Thematik des Energiemanagements und trafen folgende Aussage: "Energiemanagement wird im Sinne des allgemeingültigen Managementbegriffs als Zusammenfassung über das Planen, Durchsetzen und Kontrollieren im Bereich der betrieblichen Energieversorgung verstanden."³⁵

Die Europäische Kommission behandelt die Eigenschaften eines Energy Efficiency Management Systems (ENEMS)³⁶ für IPPC-Anlagen im Reference

³² Vgl. Baumgartner et.al. (2009) S. 162.

³³ Vgl. Schreyögg (2008) S. 4. ff.

³⁴ Vgl. Nolte (1999) S. 44.

³⁵ Vgl. Wohinz, Moor (1989) S. 26.

³⁶ Vgl. Energy Management Systems (2010)

Document on Best Available Techniques. Darin heißt es, dass es sich bei einem Energiemanagement nicht um ein Projekt mit beschränkter Lebensdauer, sondern um einen fortlaufenden Prozess handelt. Dieser Prozess dient der Erreichung der Energieeffizienz und der kontinuierlichen Reduktion der Energieverbräuche. Als Regelkreismodell, zur systematischen Anwendung der Managementinstrumente wird der PDCA (Plan-Do-Check-Act) Regelkreis nach Deming vorgeschlagen.

Die Kernaufgabe von Regelkreisen ist es, systematisch und kontinuierlich Verbesserungen an den betrieblichen Prozessen zu realisieren und zu standardisieren. Zur Verdeutlichung werden die Bestandteile eines PDCA-Regelkreises angeführt:³⁷

- Bestimmung der Ziele und Strategien (*to plan*);
- Schaffung der Voraussetzungen zur Zielerreichung;
- Verantwortung zuteilen;
- Umsetzung im Sinne von (*to do*);
- Bewertung der Ergebnisse (*to check*)
Durchführung etwaiger Strategieoptimierungen (*to act*).

2.4.2 Ziele des Energiemanagements

Die allgemeinen Ziele eines Energiemanagements umfassen eine vorausschauende, organisierende und systematische Erzeugung, Verteilung und Verwendung von Energie unter Beachtung ökonomischer und ökologischer Aspekte. Neben diesen Zielen können noch weitere angeführt werden:³⁸

- Senkung der Energiekosten;
- Rationeller Energieeinsatz;
- Verminderung der energiebedingten Umweltbelastungen;
- Aufbau eines effektiven Informationswesens;
- Kommunikation und Motivation im Mitarbeiterwesen.

Bei der Betrachtung der oben angeführten Aufzählungen stellen sich die ersten drei Punkte besonders als Herausforderung technischer Natur dar. Aus den beiden letztgenannten Zielen kristallisiert sich der organisatorische Charakter eines Energiemanagements heraus. Somit wird klar, dass ein betriebliches Energiemanagement nicht nur die Verantwortung für technische Aufgaben trägt, sondern auch ein Problembewusstsein für Nachhaltigkeit in Energiefragen unter den Angestellten und Mitarbeitern schafft. Weiters wird die Entwicklung von Energiekennzahlen gefördert und deren Einfluss auf Entscheidungsfindungen verdeutlicht.

³⁷ Vgl. Reinhart (1996) S. 21.

³⁸ Vgl. Schmid (2004) S.122.

Ein fortwährend angestrebtes Ziel sollte die energetische Optimierung des gesamtheitlichen Betriebs darstellen. Suboptima gilt es zu vermeiden, auch wenn diese in der Regel rascher erkannt werden können als ein übergeordnetes Energiekonzept. Daher müssen jegliche Verbesserungsprojekte einer Wirtschaftlichkeitbetrachtung unterzogen werden.

Die Implementierung eines Energiemanagements kann auch aufgrund der sich ständig weiterentwickelnden rechtlichen Rahmenbedingungen von großem Vorteil sein. Insbesondere soll dabei auf das Emissionszertifikatgesetz³⁹ im Rahmen des Kyoto-Zieles hingewiesen werden. Durch die Analyse der Energieverbräuche und den ständigen Verbesserungen der betrieblichen Energienutzung können Energiemanagementsysteme wesentlich zur Vermeidung oder Reduzierung kostenpflichtiger Emissionen beitragen. Aufgrund der speziellen Ausrichtung kann ein solches Führungswerkzeug schnell und effektiv auf interne wie auch externe Anforderungen reagieren.

2.4.3 DIN EN 16001 Energiemanagementsysteme

Das Ziel dieser europäischen Norm ist es, Organisationen beim Aufbau von Systemen und Prozessführungen zur Verbesserung der Energieeffizienz zu unterstützen. Mithilfe eines systematischen Energiemanagements soll die Reduktion der Kosten für Energie bzw. der Energieträger wie auch Treibhausgasemissionen erreicht werden. Die DIN EN 16001 basiert auf dem PDCA-Zyklus und entspricht in ihrer Struktur der ISO 14001 Norm. Die Anwendung der EN 16001 unterstützt den Aufbau eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses zur Erreichung einer effizienteren Energienutzung. Diese Norm kann eigenständig oder in Verbindung mit anderen Managementsystemen angewandt werden.⁴⁰ An dieser Stelle sei angeführt, dass ab dem Jahr 2011 diese Norm in der ISO Norm 50001 weitergeführt wird.

Anforderungen der DIN EN 16001

Entscheidet sich eine Organisation ein zertifiziertes Energiemanagement gemäß DIN EN 16001 einzuführen muss diese:⁴¹

- a) ein Energiemanagementsystem in Übereinstimmung mit dieser Norm einführen, dokumentieren, verwirklichen und aufrechterhalten;
- b) den Anwendungsbereich und die Grenzen ihres Energiemanagementsystems festlegen und dokumentieren;
- c) bestimmen und dokumentieren, wie sie die Anforderungen der Norm mit Blick auf die ständige Verbesserung ihrer Energieeffizienz erfüllen will.

Anforderungen an ein Energiemanagementsystem

Die Norm basiert auf der Annahme, dass die Organisation ihr Energiemanagement regelmäßig prüft und bewertet, um Möglichkeiten für Verbesserungen und

³⁹ Vgl. Treibhausgasemissionszertifikatgesetz (2010)

⁴⁰ Vgl. DIN EN 16001 S. 4.f.

⁴¹ Vgl. DIN EN 16001 S. 8.

deren Verwirklichung zu identifizieren. Solche Maßnahmen sollen die Effizienz des Energieeinsatzes erhöhen, daher fordert diese Norm:⁴²

- a) eine angemessene Energiepolitik einzuführen;
- b) die von der Tätigkeit der Organisation herrührenden Energieaspekte zu ermitteln;
- c) geltende gesetzliche Anforderungen und andere durch die Organisation eingegangene Verpflichtung zu identifizieren;
- d) Prioritäten zu setzen sowie entsprechende strategische und operative Ziele festzulegen;
- e) Eine geeignete Struktur und (ein) Programm(e) zur Verwirklichung der Energiepolitik sowie zur Erreichung strategischer und operativer Ziele einzuführen;
- f) die Planung, Steuerung und Überwachung von Vorbeugungs- und Korrekturmaßnahmen sowie Auditierung- und Überprüfungsaktivitäten zu erleichtern, um sicher zu stellen, dass die Energiepolitik beachtet wird und das Energiemanagementsystem angemessen bleibt.

Die Energiepolitik einer Organisation ist der Antrieb für die Realisierung eines Energiemanagementsystems. Diese Politik spiegelt die Verpflichtung der Managementebenen bezüglich der Energie wieder und führt dazu, dass die Organisation in der Lage ist, den kontinuierlichen Verbesserungsprozess aufrechtzuerhalten.⁴³

2.4.4 Energiemanagement Assessment

Ist ein Energiemanagement in einem Unternehmen umgesetzt, muss die Frage der Effizienz wie auch der Effektivität des Systems permanent kontrolliert werden. Ein Energiemanagement-Assessment dient der Beurteilung von Stärken und Schwächen innerhalb eines Energiemanagements.⁴⁴ Die Zielsetzung besteht darin, ein weitmöglichst umfangreiches und objektives Bild des aktuellen Zustandes des Energiemanagements zu liefern.⁴⁵

Das aus einem Energiemanagement-Assessment resultierende Ergebnis ist eine strukturierte Darstellung aller energierelevanten Unternehmensbereiche. Die eruierten Kennzahlen werden einem Soll-Ist-Vergleich unterzogen und schaffen eine Basis, von der aus Potentiale zur Verbesserung der effizienten Energienutzung abgeleitet werden können.

Die Hauptinhalte eines Energiemanagement-Assessments sind:⁴⁶

- **Unternehmensprofil**

Das Unternehmensprofil dient der Erhebung von Daten über die Organi-

⁴² Vgl. DIN EN 16001 S. 15.

⁴³ Vgl. DIN EN 16001 S. 15.

⁴⁴ Vgl. Baumgartner et.al. (2009) S. 163.

⁴⁵ Vgl. Posch (2009) S. 46.

⁴⁶ Vgl. Baumgartner et.al. x(2009) S. 162. f.

sationsstruktur, Energiebeschaffung, Energieverbrauch und dem Energiemanagement.

- **Energiemanagement-Assessment**

Das eigentliche Assessment erfasst relevante Informationen aus der normativen, strategischen und operativen Managementebene, wie auch aus dem Controlling. Diese Informationen dienen der quantitativen Bewertung.

- **Hemmnisse**

Identifikation und Beurteilung der Risiken und Gefahren welcher einer Umsetzung von Einsparungspotentialen entgegenstehen könnten.

- **Maßnahmenkondolisierung**

Ermittlung und Bewertung der möglichen Maßnahmen zur Erreichung der angestrebten Kennzahlenzielgröße. Dabei kann ein Nutzen-Kosten-Vergleich angewandt werden, in dem die erwarteten Nutzen über die Dauer der Umsetzung in einem Maßnahmenportfolio aufgetragen werden.

Das Ergebnis eines Energiemanagement-Assessments ist eine Beurteilung des gegenwärtigen Ist-Zustands des Energiemanagements. Durch den Vergleich mit dem angestrebten Sollzustand und den dazu erarbeiteten Instrumenten ergibt sich ein bedeutender Beitrag zur Effizienzsteigerung wie auch zur strategischen Ausrichtung des Energiemanagements.⁴⁷

⁴⁷ Vgl. Baumgartner et.al. (2009) S. 167.

2.5 Grundlagen der Investitionsrechnung

Die vorliegende Arbeit befasst sich neben der Bilanzierung und Darstellung der Medienströme der *Stahl Judenburg GmbH* mit der Untersuchung der Möglichkeiten zur Umsetzung eines Wärmerückgewinnungskonzeptes in technischer wie auch wirtschaftlicher Hinsicht. Wesentlicher Bestandteil einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist die Investitionsrechnung. Aus diesem Grund werden in diesem Abschnitt diverse Methoden der Investitionsrechnung erläutert, um die passende Form im Praxisteil der Arbeit zur Anwendung bringen zu können.

2.5.1 Definition von Investitionen

Im Kontext betrieblicher Leistungsprozesse beschreibt eine Investition die langfristige Anlage von Geldkapital zur qualitativen bzw. quantitativen Sicherung der Produkt- und Absatzkapazität von Unternehmungen.⁴⁸ Es handelt sich dabei stets um die Verwendung finanzieller Mittel, welche dazu führt, dass freies Kapital in gebundenes Kapital transformiert wird. Die zielgerichtete Verwendung von monetären Mitteln ist für ein Unternehmen von größter Wichtigkeit, da das finanzielle Gleichgewicht eine entscheidende Komponente für die Erfüllung des Going Concern Prinzips darstellt. Aufgrund der Tatsache, dass das wesentliche Charakteristikum einer Investition darin besteht, ihren Anfang in einer Auszahlung zu finden, steht dem realwirtschaftlichen Güterstrom ein entgegengerichteter, abfließender Strom gegenüber. Da das Wesen einer Investition darin besteht, dass sie ihren Anfang in einer Auszahlung findet, steht dem realwirtschaftlichen Güterstrom ein entgegengerichteter abfließender Geldstrom gegenüber.⁴⁹ Jede Investitionsentscheidung fixiert somit weitgehend das Kostengefüge eines Unternehmens und beeinflusst somit deren zukünftige Ertragskraft.

Damit eine Investitionsentscheidung umgesetzt werden kann, muss die Frage der Finanzierung aufgeworfen und geklärt werden. Finanzierungen dienen der Kapitalbeschaffung um betriebliche Zielvorgaben unter dem Gesichtspunkt des finanziellen Gleichgewichts verwirklichen zu können. Die Generierung freien Kapitals kann in Form der Außenfinanzierung, der Eigenfinanzierung oder der Fremdfinanzierung erfolgen.⁵⁰ Die gewählte Form der Kapitalbeschaffung wirkt sich aufgrund der unterschiedlichen Verzinsungssätze des geborgten Kapitals auf das Ergebnis der Investition und derer Rentabilität aus.

Die im Folgenden besprochenen Investitionsberechnungen unterliegen dem finanzpolitischen Kalkül und orientieren sich ausschließlich an der langfristigen Gewinnmaximierung. Imponderable Faktoren, wie es die ökonomisch-sozialen oder ökologischen Einflüsse einer Investition darstellen, werden hier außen vorgelassen.⁵¹

⁴⁸ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 373.

⁴⁹ Vgl. Wöhe (1996) S. 737. ff.

⁵⁰ Vgl. Wöhe (1996) S. 738. ff.

⁵¹ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 384

Der Ablauf einer Investitionsplanung ist insofern prozesshaft, da diese sich in mehrere aufeinanderfolgende Stufen gliedert. Der Anstoß der Investitionsidee kann von jedem Teil des Unternehmens ausgehen. Von den verantwortlichen Stellen der Organisation muss die Notwendigkeit und Wirtschaftlichkeit des vorliegenden Investitionsvorschlages geprüft werden. Dabei müssen die Ziele, die dabei auftretenden Probleme in technischer wie auch wirtschaftlicher Sicht und mögliche Alternativmöglichkeiten geprüft werden. Mittels geeigneter Bewertungsmethoden kann die Sinnhaftigkeit des Unterfangens geprüft werden und zur Entscheidungsfindung beitragen. Dazu werden adäquate Entscheidungskriterien herangezogen, welche quantitativer oder qualitativer Natur sein können. Die Amortisationszeit stellt ein quantitatives Kriterium dar, während die Zuverlässigkeit und die Garantie den Qualitativen zuzuordnen sind. Um die Aussagekraft dieser Kennzeichen zu stärken, müssen Begrenzungsfaktoren definiert werden.⁵²

In tabellarischer Form aufgelistet und gegenüber dem vorangegangenen Text erweitert, lässt sich die Planung einer Investition in folgende Prozessschritte aufgeteilt darstellen:⁵³

- Zielanalyse
- Problemanalyse
- Alternativensuche
- Wirkungsprognose
- Bewertung
- Entscheidung
- Realisierung
- Kontrollphase

2.5.2 Statische Investitionsrechnung

Statische Wirtschaftlichkeitsrechnungen sind einfache Vergleichsverfahren und lassen zeitliche Unterschiede zwischen Ausgaben und Erträgen unberücksichtigt. Dies führt dazu, dass etwaige Kapitalflüsse nicht in ihrer periodisch tatsächlich auftretenden Form berücksichtigt werden, sondern als Durchschnittswerte Eingang in die Investitionsbewertung finden.⁵⁴ Im Folgenden werden vier Arten der statischen Investitionsrechnung diskutiert.

Kostenvergleichsrechnung

Die Kostenvergleichsrechnung ist ein Verfahren zur Entscheidungsfindung bei Vorliegen mehrerer Investitionsalternativen. Dieses Vergleichsverfahren dient dem Investor zur Findung der kostengünstigsten Alternative.⁵⁵ Bei Durchführung eines Kostenvergleichs alternativer Investitionsprojekte kommt bei gleich-

⁵² Vgl. Investitionsplanung (2010)

⁵³ Vgl. Wöhe (1996) S. 743.

⁵⁴ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 388.

⁵⁵ Vgl. Wöhe (1996) S. 749

bleibender quantitativer und qualitativer Leistung ein Periodenvergleich zum Einsatz. Bestehen quantitative Unterschiede, wird ein Stückkostenvergleich durchgeführt. Gesetzt Falls, dass neben den quantitativen auch die qualitativen Leistungen differieren, kommt ein Gewinn- bzw. Rentabilitätsvergleich zu tragen.⁵⁶

Im Kostenvergleich sind sämtliche relevante Kosten des Investitionsprojektes zu berücksichtigen. Diese setzen sich zusammen aus⁵⁷:

- Variable und fixe Betriebskosten
- Periodische Abschreibungen
- Kapitalkosten (Renditeforderung der Kapitalgeber)

Die Betriebskosten umfassen sämtliche Kosten für Material, Personal, Energie und Reparaturen. Um den Wertverzehr der Anlage in Form von Abschreibungen zu berücksichtigen, werden der Kostenvergleichsrechnung die periodischen Durchschnittskosten der mehrjährigen Nutzungsdauer zugrunde gelegt. Die durchschnittlichen Kapitalkosten der Finanzierung werden mittels eines Kalkulationszinsfußes auf den durchschnittlichen Kapitaleinsatz pro Periode bezogen. Der Kalkulationszinsfuß ist jener Zinssatz, mit dem die Zahlungsströme unterschiedlicher Perioden auf den Bezugszeitpunkt diskontiert werden.⁵⁸ Entspricht die Amortisation des Kapitaleinsatzes jeweils einem Betrag am Ende jedes Jahres, welcher vom jeweiligen Restwert angesetzt wird, gilt Glg. 2-3. Bei einer kontinuierlichen Amortisation des Kapitaleinsatzes würden die Glg 2-4 zum tragen kommen.⁵⁹

- Diskontinuierlicher Kapitalbindungsverlauf (abgestufter Verlauf)



Glg. 2-3

- Kontinuierliche Amortisation (linearer Verlauf)



Glg. 2-4

mit:	$I_0 =$	Investitionsausgabe
	$i =$	Kalkulatorischer Kapitalkostensatz
	$n =$	Nutzungsdauer
	$RW_n =$	Restwert am Ende der Nutzungsdauer
	$RW_{n-1} =$	Restwert am Beginn des letzten Jahres der Nutzung

⁵⁶ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 393.

⁵⁷ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 394. ff.

⁵⁸ Vgl. Staehlin (2007) S. 85.

⁵⁹ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 395

Die ausschließliche Vorteilsbetrachtung einer Investition anhand des Kostenvergleichs setzt die Entscheidungsirrelevanz der Erlösseite voraus. Daraus folgt, dass die Erlöse der betrachteten Alternativen von gleichem Umfang zu sein haben. Eine Investitionsentscheidung mithilfe der Kostenvergleichsrechnung birgt erhebliche Risiken, da zwar die Kenntnis der kostengünstigsten Projektalternative vorliegt, jedoch nicht die Gewissheit, ob die erzielenden Erlöse zur Kostendeckung ausreichen.⁶⁰

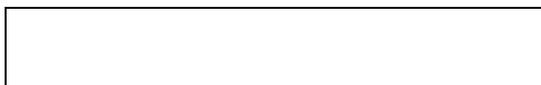
Gewinnvergleichsrechnung

Die relevante Entscheidungsgröße der Gewinnvergleichsrechnung ist der durchschnittliche Gewinn der Investition innerhalb einer Periode. Dieser ist definiert als Saldo der durchschnittlichen Kosten und Erlöse der Periode. Sind die qualitativen Leistungsabgaben der vorliegenden Investitionsalternativen divergent, ist zu deren Bewertung die Gewinnvergleichsrechnung heranzuziehen. Die dafür relevante Entscheidungsgröße ist der durchschnittliche Gewinn der Investition pro Periode. Dieser definiert sich dabei als Saldo der durchschnittlichen periodischen Kosten und Erlöse.⁶¹ Die Auswahl aus mehreren möglichen Investitionsvorhaben fällt auf jenes, welches den höchsten positiven Gewinnwert nach Kapitalkosten aufweisen kann.

Grundlegend ist die Gewinnvergleichsrechnung eine Weiterentwicklung der oben besprochenen Kostenvergleichsrechnung. Der Unterschied besteht in der Erweiterung der Kostenvergleichsrechnung um die Erlösseite. Somit können Investitionsprojekte mit unterschiedlichen Rückflüssen je Periode verglichen und evaluiert werden. Dabei darf weder die unterschiedliche Laufzeit noch der unterschiedlich hohe Kapitaleinsatz für einen Vorteilsvergleich von Bedeutung sein.⁶²

Rentabilitätsrechnung

Stehen einer Unternehmung nur beschränkte Finanzmittel für Investitionen zur Verfügung und werden dessen Investitionsgewinne mit unterschiedlichem Kapitaleinsatz erzielt, findet die Rentabilitätsrechnung Anwendung. Diese Form der Wirtschaftlichkeitsberechnung folgt der Kapitaldifferenzierung und berücksichtigt den Einfluss der Fremdkapital- bzw. kalkulatorischer Eigenfinanzierungszinsen.⁶³ Deren Entscheidungsgröße ist die Investitionsrentabilität, welche sich wie folgt definiert:⁶⁴



Glg. 2-5

Entsprechend den Gegebenheiten des Investitionsprojekts kann für den Periodengewinn auch die Kostenersparnis einzusetzen sein. Werden bei der Ermittlung des positiven Saldos die Kapitalkosten abgezogen, ergibt sich das Ergeb-

⁶⁰ Vgl. Wöhe (1996) S. 750.

⁶¹ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 400.

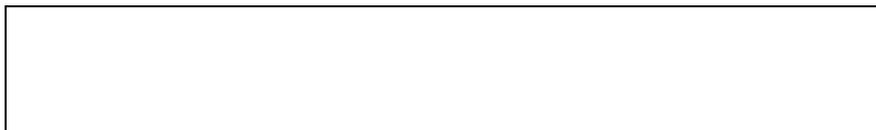
⁶² Vgl. Schierenbeck (2008) S. 401.

⁶³ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 751.

⁶⁴ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 403.

nis in Form einer Netto-Investitionsrentabilität. Bleiben die Kapitalkosten unberücksichtigt, wird von einer Brutto-Investitionsrentabilität gesprochen.⁶⁵

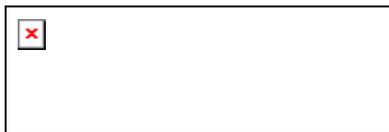
Die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einzelner Investitionen ergibt sich, wenn eine statische Netto-Investitionsrentabilität größer Null, bzw. eine statische Brutto-Investitionsrentabilität größer als der Kapitalkostensatz ist. Die gilt unter der Bedingung, dass die maximale Netto-Investitionsrentabilität positiv ist.⁶⁶ Mithilfe eines ROI-Schemas nach Du-Pont⁶⁷ können die strukturellen Unterschiede im Bezug auf das Zustandekommen der Rentabilitäten der verglichenen Investitionsobjekte verdeutlicht werden:



Glg. 2-6

Statische Amortisationsrechnung

Die Amortisationsrechnung, auch Pay-off-Methode genannt, setzt sich mit dem zeitlichen Horizont zur Wiedergewinnung des eingesetzten Investitionsvolumens auseinander. Sie arbeitet mit Größen der Ein- bzw. Auszahlung und stützt sich somit auf die Ergebnisse der Kosten- und der Gewinnvergleichsrechnung. Mithilfe der Resultate dieser beiden Vergleichsrechnungen lässt sich der periodisch durchschnittliche Einnahmeüberschuss folgenderweise eruieren:⁶⁸



Glg. 2-7

Ist der zu erwartende Cashflow einer Investition bekannt, stehen grundsätzlich zwei Vorgehensweisen zur Ermittlung der Amortisationsdauer zu Verfügung.

Zum Einen wäre dies die Durchschnittsberechnung, welche dem Ansatz der periodischen Durchschnittsgrößen entspricht:



Glg. 2-8

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Amortisationsdauer stellt die kumulative Vorgehensweise dar. Hierbei werden die für jede Periode ermittelten Einnahmeüberschüsse kumuliert, bis deren Summe den Ausgaben der Anschaffung entsprechen.

⁶⁵ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 403.

⁶⁶ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 403.

⁶⁷ Vgl. Lechner et.al. (1996) S. 81.

⁶⁸ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 405.

Die Vorteilhaftigkeit einer einzelnen Investition ist gegeben, wenn die Dauer der Ist-Amortisationsdauer geringer als die der Soll-Amortisationsdauer ist. Der Vergleich unterschiedlicher Investitionsobjekte ist nur dann sinnvoll, wenn diese die gleiche Lebensdauer aufweisen. Begründet wird dies dadurch, dass die Amortisationsdauer wesentlich von den jährlichen Abschreibungen des Objekts abhängt, und diese wiederum von dessen technischer Nutzungsdauer.

2.5.3 Dynamische Investitionsrechnung

Die dynamische Investitionsrechnung berücksichtigt, im Gegensatz zu den statischen Bewertungsmethoden, die effektiven Einnahmen und Ausgaben einer Investition anstatt der durchschnittlichen Werte. Zeitliche Unterschiede sind in der Investitionsrechnung implementiert.

Kapitalwertmethode

Die wesentliche Hauptgröße der dynamischen Investitionskalküle ist der Kapitalwert, auch Net Present Value (NPV) genannt. Der Kapitalwert ergibt sich dadurch, dass die zukünftigen operativen Einzahlungs- bzw. Auszahlungsüberschüsse für die Perioden der Laufzeit einer Investition geschätzt werden. Diese werden in weiterer Folge auf den Entscheidungszeitpunkt diskontiert bzw. abgezinst.⁶⁹ Unterliegt die Berechnung der Annahme, dass zum Entscheidungszeitpunkt keine Einzahlung auftritt, lautet die Formel zur Berechnung des Kapitalwerts wie folgt:⁷⁰

$$\text{KW} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{E_t - A_t}{(1+i)^t}$$

Glg. 2-9

mit:	KW=	Kapitalwert (Net Present Value)
	I_0 =	Investitionsausgabe zum Zeitpunkt $t=0$
	E_t =	Summe der periodischen Einzahlung
	A_t =	Summe der periodischen Auszahlung
	i =	Kapitalkostensatz bzw. Kalkulationszinsfuß
	t =	Periodenindexn (Jahre)
	n =	Anzahl der Perioden (Jahre)
	$\frac{1}{(1+i)^t}$ =	Abzinsungs- bzw. Diskontierungsfaktor für t Perioden

Wird die Anschaffungsauszahlung vom Zukunftserfolgswert abgezogen, ergibt sich daraus der Kapitalwert. Der Kapitalwert beschreibt die maximale Zahlung, die ein Investor tätigen darf. Der positive Kapitalwert spiegelt den Reinvermögenszuwachs zum Investitionszeitpunkt t_0 wieder. Ein positiver Kapitalwert gibt

⁶⁹ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 408.

⁷⁰ Vgl. Wöhe (1996) S. 758.

den Betrag an, der dem Investor zum Entscheidungszeitpunkt bei Unterlassung der Investition gezahlt werden müsste.⁷¹

Die Kapitalwertmethode bezeichnet eine Investition dann als vorteilhaft, wenn der Kapitalwert positiv ist. Im Vergleich mehrerer Investitionsalternativen ist jener Alternative der Vorzug zu gewähren welche den maximalen positiven Kapitalwert aufweist.

Glg. 2-9 lässt erkennen, dass der NPV eine Funktion vom Betrag und der zeitlichen Verteilung der Einnahmenüberschüsse wie auch vom gewählten Kapitalkostensatz ist. Diese Abhängigkeit führt dazu, dass mit zunehmendem Kapitalkostensatz eine höhere Abzinsung des Barwerts erfolgt und folglich der Kapitalwert geringer ausfällt.

Eine vereinfachte Möglichkeit den Kapitalwert einer Investition zu bestimmen, ergibt sich bei der Verwendung gleichmäßiger Rückflüsse in Form von Renten. Somit transformiert sich die Glg 2-9 in Glg 2-10 mit der folgenden Form:⁷²

$$\text{[Empty box for Equation 2-10]}$$

Glg. 2-10

mit: $\square =$ Rente (konstanter Rückfluss)

$\square =$ Rentenbarwertfaktor für den Kapitalkostensatz i

Annuitätenmethode

Die Annuitätenmethode ist eine Variante der Kapitalwertmethode und wandelt den Kapitalwert in gleichbleibende nachschüssige Periodenzahlungen um. Dadurch wird der Kapitalwert der Investition zeitproportional periodisiert und gleichermaßen auf die Perioden der Nutzungsdauer der Anlage verteilt.⁷³

$$\text{[Empty box for Equation 2-11 with a small red 'x' icon in the top left corner]}$$

Glg. 2-11

mit: $A =$ Annuität

$\square =$ Wiedergewinnungsfaktor für den Kapitalkostensatz i

$\square =$ Rentenbarwertfaktor für den Kapitalkostensatz i

Die Annuitätenmethode bezeichnet eine Investition dann als vorteilhaft, wenn die Annuität größer als Null ist. Im Vergleich mit mehreren Investitionsmöglich-

⁷¹ Vgl. Wöhe (1996) S. 759.

⁷² Vgl. Schierenbeck (2008) S. 412.

⁷³ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 413.

keiten ist jener Alternative der Vorzug zu geben, welche die maximale positive Annuität aufweist.

Interne Zinsfußmethode

Ähnlich wie die Annuitätenmethode ist die interne Zinsfußmethode mit der Kapitalwertmethode verbunden. Genauer betrachtet verkörpert diese dessen Umkehrung. Das Wesen dieser Methode besteht darin, den Diskontinuierungsansatz zu errechnen, bei dem der Kapitalwert gerade Null ist. Das Ergebnis dieser Untersuchung kann als die Verzinsung der Investition bezeichnet werden und stellt eine Rentabilitätskennzahl dar. Wird der Kapitalwert in Glg.2-7 nullgesetzt und umgeformt, ergibt sich folgender Ausdruck:⁷⁴



Glg. 2-12

Erweist sich der interne Zinsfuß höher als der Kapitalkostensatz bzw. der Netto-Investitionsrentabilität als größer Null, wird eine Investition als vorteilhaft angesehen. Im Vergleich mit mehreren Investitionsmöglichkeiten ist jener Alternative der Vorzug zu geben, welche die maximale positive Netto-Investitionsrentabilität aufweist.

Dynamische Amortisationsrechnung

Ähnlich wie die statische Amortisationsrechnung verfolgt die dynamische Amortisationsrechnung das Ziel, die Zeitspanne innerhalb derer die Summe der Rückflüsse die Investitionsausgaben decken, zu ermitteln. Dazu werden die diskontierten Ein- und Auszahlungen so lange kumuliert bis das Investitionsvolumen wieder erwirtschaftet ist.⁷⁵

Auch für diese Methode gelten jene Vorteilhaftigkeitskriterien welche bereits im Fall der statischen Amortisationsdauer als entscheidend angeführt wurden. Die Vorteilhaftigkeit einer einzelnen Investition ist gegeben, wenn die Dauer der Ist-Amortisationsdauer geringer als die Soll-Amortisationsdauer ist. Der Vergleich unterschiedlicher Investitionsobjekte ist nur dann sinnvoll, wenn diese die gleiche Lebensdauer aufweisen. Begründet wird dies dadurch dass die Amortisationsdauer wesentlich von den jährlichen Abschreibungen des Objekts abhängt und diese wiederum von dessen technischer Nutzungsdauer.⁷⁶

⁷⁴ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 415. f.

⁷⁵ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 417. f.

⁷⁶ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 418.

2.5.4 Grundlagen der Sensitivitätsanalyse

Die Inputgrößen der Wirtschaftlichkeitsrechnung lassen sich nicht mit völliger Sicherheit vorhersagen, da diese den dynamischen Einflüssen wirtschaftlicher Spannungsfelder unterliegen. Damit ergibt sich automatisch die Gefahr von Fehlentscheidungen. Dies kann zu ernststen Problemen für Unternehmen führen, da der Einsatz einer Investition nicht jederzeit und ohne Kosten korrigiert werden kann.⁷⁷

Bedeutung der Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsanalysen stellen eine Ergänzung zu Investitionsrechnungen dar und basieren auf Parametern, welche nicht als gänzlich fehlerfrei angenommen werden können. Das Wesen der Sensitivitätsanalyse besteht darin, die bedeutenden Entscheidungsvariablen sorgfältig zu prognostizieren und zu überwachen. Die einzelnen Modellgrößen werden systematisch variiert um dadurch deren Sensibilität gegenüber Veränderungen testen zu können. Somit können kritische Werte ermittelt werden, welche das Ergebnis des Investitionskalküls grundlegend verändern.⁷⁸ Sind die Schwankungen der Parameter und somit deren Einfluss auf die Vorteilhaftigkeitsziffer gering, können diese vernachlässigt werden.⁷⁹

Vor der Durchführung einer Sensitivitätsanalyse muss der Frage nach den beeinflussten Inputgrößen und deren zulässiger Schwankungsbreite nachgegangen werden. Diese Schwankungsbreite beschreibt jenen Bereich, in dem die in der Investitionsrechnung getroffene Vorteilhaftigkeitsentscheidung nicht geändert werden muss.⁸⁰

Die Sensitivitätsanalyse stellt kein Entscheidungsinstrument dar und liefert keine Information darüber, welche Investitionsanalyse zu wählen ist. Jedoch kann mit ihrer Hilfe der Einfluss der latenten Unsicherheit von aufkommenden Umweltsituationen, welche die Investition beeinflussen, ausgelotet werden.⁸¹

Im Abschnitt 4.8.2 werden die betrachteten Inputgrößen erläutert und die Gründe für deren Miteinbeziehung bzw. Vernachlässigung diskutiert.

Sensitivitätsanalysen werden in der Praxis in unterschiedlicher Art und Form dargestellt. Im deutschsprachigen Wirtschaftsraum werden bevorzugt die folgenden drei Arten angewandt.⁸²

- Dreifach Rechnung
- Zielgrößen-Änderungsrechnung
- Kritische Werte-Rechnung

⁷⁷ Vgl. Schierenbeck (2008) S. 445.

⁷⁸ Vgl. Lechner (1996) S. 296.

⁷⁹ Vgl. Wöhe (1996) S. 781.

⁸⁰ Vgl. Wöhe (1996) S. 781.

⁸¹ Vgl. Wöhe (1996) S. 782.

⁸² Vgl. Däumler (1996) S. 185.

Die folgenden Abschnitte setzen sich mit den unterschiedlichen Ausprägungen dieser Sensitivitätsanalyse-Typen auseinander.

Dreifach Rechnung⁸³

Die Dreifach-Rechnung wird auch als Parallelrechnung oder Drei-Werte-Verfahren bezeichnet und ermittelt die betrachtete Zielgröße für drei unterschiedliche Zukunftsszenarien. Eine solche Zielgröße ist häufig der Kapitalwert. Diese Zukunftslagen basieren auf der Annahme von:

- Sehr günstigen (optimistischen) Datenkonstellationen;
- Wahrscheinlichen Datenkonstellationen;
- Sehr ungünstigen (pessimistischen) Datenkonstellationen.

Dabei werden mehrere, im besten Fall aber alle Einflußgrößen des Investitionskalküls variiert.

Die Anwendung der Dreifach-Rechnung ist dann sinnvoll, wenn:

- Risiko und Chance ungleich sind;
- mehr als eine Inputgröße risikobehaftet sind;
- der Investor das Ausmaß von Risiko und Chance sehen will.

Der Vorteil der Dreifach Rechnung liegt darin, dass sie die Risiken und Chancen gleichermaßen quantifiziert, die Veränderungen durch unterschiedliche Datenkonstellationen erfaßt und in der Praxis einfach durchführbar und interpretierbar ist.

Zielgrößen-Änderungsrechnung⁸⁴

Die Zielgrößen-Änderungsrechnung beantwortet die Frage, um wieviel Prozent sich der Wert der Zielgröße ändert, wenn eine Inputgröße um einen bestimmten vorgegebenen Prozentwert abweicht. Solch eine Zielgröße kann der Kapitalwert, der interne Zinsfuß oder der durchschnittliche jährliche Überschuß sein. Die Praxis zeigt, dass diese Art der Sensitivitätsanalyse meist mit der Kapitalwert- und Annuitätenmethode einhergeht.

Das Verfahren wird in drei Schritten durchgeführt:

1. Erstellen der Kapitalwertfunktion
2. Festlegen, der für möglich gehaltenen Abweichungshöhe der Inputgrößen
3. Errechnen der Änderung des Kapitalwertes, die sich unter sonst gleichen Umständen durch die Änderung der Inputgrößen ergibt.

⁸³ Vgl. Däumler (1996) S. 185. ff.

⁸⁴ Vgl. Däumler (1996) S. 188. ff.

Die relative Kapitalwertänderung ergibt sich, indem man die Differenz zwischen dem geänderten und den ursprünglichen Basiskapitalwert in Relation zum ursprünglichen Basiskapitalwert setzt:



Glg. 2-13

Das Ergebnis ist eine sogenanntes „wenn/ dann - Argument“, welches die Darstellung der Auswirkungen vorgegebener Datenänderungen auf die Zielgröße zulässt.

Kritische Werte-Rechnung⁸⁵

Der kritische Wert ist jener Wert, bei dem die Investition gerade noch vorteilhaft ist. Dieser Wert wird auch break-even-point genannt. Mittels dieser Untersuchung geht man der Frage nach: „Welchen Höcht- bzw. Mindestwert darf eine Variable annehmen, ohne das das Investitionsvorhaben unvorteilhaft wird?“.

Dabei ist das Vorgehen bei der Kritischen-Werte-Rechnung folgendes:

1. Erstellen der Kapitalwertfunktion
2. Kapitalwert gleich Null setzen
3. Die Gleichung nach der gesuchten Inputgröße auflösen

Aus den somit ermittelten Wertgrößen kann die kritische Menge und somit die Begrenzung der Rentabilität einer Investition ermittelt werden.

2.6 Grundlagen des Projektmanagements

Damit Projekte effizient und effektiv abgehandelt werden können und zum gewünschten Ziel führen, ist die gründliche Planung des Projektes unerlässlich. Aus diesem Gedanken heraus wird im gegenwärtigen Abschnitt der Begriff des Projektmanagements erläutert.

2.6.1 Definition des Projektbegriffs

In der einschlägigen Literatur, wie auch in der DIN Norm 69901-5:2009-01 für Projektmanagementbegriffe, werden Projekte folgendermaßen charakterisiert: „Projekte sind Vorhaben, welche durch die Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet sind“. Um von einem Projekt sprechen zu können müssen die folgenden Merkmale erfüllt sein:⁸⁶

- Neuartigkeit, verbunden mit hohem Risiko

⁸⁵ Vgl. Vgl. Däumler (1996) S. 194. ff.

⁸⁶ Vgl. Patzak (1998) S. 4.

- Zielorientierung auf ein inhaltliches Ergebnis
- Komplexe, dynamische Aufgabenstellung
- Interdisziplinäres Wesen
- Relevant bezüglich des Nutzens

Weiters ist es notwendig zu erwähnen, dass Projekte einen einmaligen Charakter besitzen und zeitlich begrenzt sind. Als das Merkmal mit der schwersten Gewichtung kann die Neuartigkeit und Einmaligkeit von Projekten angesehen werden. Wird von einem Projekt gesprochen, umfasst dies alle Aktivitäten zur Erreichung des gesetzten Ziels. Die wesentlichen Hauptkriterien eines Projektes beschreibt Burghardt wie folgt.⁸⁷

- Eindeutigkeit der Aufgabenstellung
- definierte Dauer mit festem Endtermin
- abgestimmtes Kostenvolumen
- klare Verantwortung

Die Projekterarbeitung ist eine interdisziplinäre, bereichsübergreifende Arbeitsform und führt dazu, dass sich mit jedem neuen Projekt die ausführenden Projektteammitglieder, deren Arbeitsmethoden wie auch die Art der Kommunikationsformen verändern. Somit stellen Projekte eigenständige soziale Systeme dar, welche in Wechselwirkung mit ihrem Umfeld und betroffenen Interessensgruppen stehen. Erst wenn die Verhaltensweisen und Haltungen der Betroffenen berücksichtigt werden, ergibt sich eine Gesamtsicht des Projekts.⁸⁸

Der Anlaß für die Durchführung eines Projektes ist meist ein ungelöstes Problem. Ein weiterer Grund kann das Bestreben sein, ein vorhandenes, jedoch ungenutztes, Potentials umzusetzen und sich dadurch einen Vorteil zu verschaffen.

2.6.2 Grundlagen der Projektplanung

„Für die Vorausdenkenden gibt es keine Zufälle und wenige Unfälle, für den Aufmerksamen wenige unbekannte Gefahren“ (Baltasar Gracián 1601-1658)

„Das heutige Planungsverständnis definiert Planen als das Ersetzen des Zufalls durch den bewußt eingegangenen Irrtum!“⁸⁹

Die Projektplanung dient dem geregelten Projektablauf und ermöglicht die Überwachung des Projektfortschritts sowie der Graderfüllung der Vorgaben. Um die Zielerfüllung messen zu können, besteht die Notwendigkeit einer detaillier-

⁸⁷ Vgl. Burghardt (2002) S. 21.

⁸⁸ Vgl. Patzak (1998) S. 5.

⁸⁹ Vgl. Patzak (1998) S. 127.

ten Analyse des Istzustandes jener Faktoren, welche die Verwirklichung des Projektes beeinflussen. Von dieser Zustandsanalyse ausgehend, können die gewünschten Ziele abgeleitet und festgelegt werden. Bei der Zieldefinition ist darauf zu achten, dass ein Ziel ein gedanklich vorweggenommener Soll-Zustand ist:⁹⁰

- der in der Zukunft liegt;
- der real sein soll;
- dessen Erreichen erwünschenswert ist;
- der bewußt gewählt wird und
- der nur durch Handlungen erreicht werden kann.

Eine geläufigere Definition für Ziele findet sich in den SMART Kriterien. Diese Kurzform steht für: "Specific-Measurable-Achievable-Realistic-Timely". Werden diese fünf Kriterien berücksichtigt, gilt das Zielbegriff als erfüllt. Spezifisch meint, dass Ziele unmissverständlich und eindeutig formuliert werden müssen. Die Messbarkeit hebt auf ihre klare Operationalisierung ab. Die Begriffe „*anspruchsvoll und realistisch*“ fordern ein, dass das Ziel zum Leistungsvermögen des betroffenen Bereichs passen muss, jedoch im idealen Fall etwas höher anzusetzen ist. Die Vorgaben müssen realisierbar und terminisiert sein.⁹¹

Nach Festlegung der Ziel- und somit Projektdefinition ist die Erstellung eines Vorgehensmodells notwendig. Ein solches Modell wird in Form eines Projektplans umgesetzt. Die Eckpfeiler einer Projektplanung sind folgende Größen:⁹²

- Planung der Leistungen auf Quantität und Qualität
- Planung der Termine
- Planung der Ressourcen
- Planung der Kosten

Im Zuge der Projektplanung werden die Voraussetzungen für den Projekterfolg geschaffen. Eine gewissenhafte Planung der Projektdurchführung verringert mögliche auftretende Probleme. Jedoch reicht eine einmalige Erstellung eines Projektplans in den meisten Fällen nicht aus, da sich oft nicht vorhergesehene Änderungen ergeben. Dies erfordert eine ständige Anpassung der Planvorgaben. Ein wichtiger Punkt bei der Erstellung eines Modells zur Erreichung von Projektvorgaben ist die Abwägung des Verhältnisses von Planungsaufwand zu Nutzen.

⁹⁰ Vgl. Litke (1995) S. 31.

⁹¹ Vgl. Macharzina, Wolf (2008) S. 204. f.

⁹² Vgl. Patzak (1998) S. 148.

2.6.3 Grundlagen der Arbeitsplanung

Damit effektive Arbeitsfortschritte gewährleistet werden können, müssen die Arbeitsvorgänge zuverlässig veranschlagt und so logisch wie möglich angeordnet sein. Die Planerstellung kann aus zwei verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden:⁹³

- **Freie Planung:** Die Rahmenbedingungen ergeben sich aus einem festen Terminzeitpunkt und einem Satz von Vorschlägen, welche von den Beteiligten akzeptiert werden.
- **Zielplanung:** Auch hier ist der Terminzeitpunkt fixiert, jedoch wird dieser von Faktoren beeinflusst, welche nicht vorhersehbar sind.

Die simpelste Form zur Ordnung und Koordinierung von Projekten ist der Tabellenplan, welcher eine einfache Handhabung ermöglicht, jedoch bei komplex veränderten Anforderungen nicht mehr ausreicht. Beispiele für Tabellenpläne sind:⁹⁴

- Zeittabellen
- Balkendiagramme
- Bilanzliniendiagramme

Eine aufwändigere jedoch detaillierter Planungform stellen Netzpläne dar. Die Stärke eines Netzplans liegt darin, sämtliche logische Abhängigkeiten zwischen den Arbeitsaufgaben aufzuzeigen. Weiters können die zu priorisierende und kritische Pfade bei der Aufgabenerfüllung klar erkannt werden. Beispiele für Netzpläne sind:⁹⁵

- Vorgangspfeil-Netzplansystem
 - ADM (Arrow Diagrams Method)
 - CPM (Critical Path Method)
 - CPA (Critical Path Analysis)
 - PERT (Program Evaluation and Review Technique)
- Vorgangsknoten-Netzplansystem
 - PDM (Präzedenzdiagramme)
 - MOM (Method of Potentials)
 - MPM (Metra Potential Methods)

Nachdem die wichtigsten Definitionen und Anwendungsformen im Bereich des Projektmanagements in diesem Abschnitt diskutiert wurden, wird an dieser Stel-

⁹³ Vgl. Lock (1997) S. 136.

⁹⁴ Vgl. Lock (1997) S. 137. ff.

⁹⁵ Vgl. Lock (1997) S. 149. ff.

le auf eine weiter vertiefende Abhandlung verzichtet und auf die verwendeten Quellen verwiesen.

2.7 Zusammenfassung der Grundlagen

Kapitel 2 beinhaltet sämtliche Grundlagen jener Fachbereiche, welche die Voraussetzung zur Durchführung des praktischen Teils der Diplomarbeit bilden. Einführend werden die Grundlagen der physikalischen Stoff- und Energiebilanzierung diskutiert. Die spezifischen Grundlagen aus dem Bereich der Thermodynamik werden simultan mit dem Basiswissen über Kompressoren aufgearbeitet. Diese Themen werden zum besseren Verständnis ausführlich in Kapitel 4 im Zuge der Untersuchung des Wärmerückgewinnungskonzepts behandelt.

Weiters werden jene Grundlagen erläutert, welche zum Verständnis betrieblicher Managementsysteme im Bereich der betrieblichen Qualitätssicherung, des Umweltschutzes und der Energieversorgung praktische Anwendungen finden. Als besondere Managementform wird die Thematik des Projektmanagements behandelt.

Abschließend werden die theoretischen Grundlagen und Formen der Wirtschaftlichkeitsrechnung diskutiert. Dabei werden die unterschiedlichen Investitionskalküle statischer und dynamischer Natur untersucht. Anschließend werden die Formen der Sensitivitätsanalyse diskutiert.

Die erarbeiteten Grundlagen sollen es dem Leser ermöglichen, die im Praxisteil der Diplomarbeit angeführten Arbeitsschritte und Zusammenhänge rasch nachvollziehen zu können.

3 Darstellung der Medienflüsse

Das obersteirische Traditionsunternehmen *Stahl Judenburg GmbH* blickt auf eine lange Tradition im Bereich der Stahlerzeugung zurück. Moderne Prozessführungen und kontinuierliche Verbesserungen in den Bereichen der Wärmebehandlung und Blankbearbeitung ermöglichen es dem mittelständischen Unternehmen, ein breit gefächertes und qualitativ hochwertiges Bedarfspektrum an Edelstahl anzubieten. Das Kerngeschäft entfällt größtenteils auf die Automobil- und Nutzfahrzeugbranche. Der Motoren-, Anlagen-, Maschinen- sowie der Werkzeugbau stellen weitere wichtige Tätigkeitsfelder der *Stahl Judenburg GmbH* dar.

Dieses Kapitel beinhaltet die Umsetzungsschritte und Lösungsvorschläge der von der Standortverwaltung der *Stahl Judenburg GmbH* vordefinierten Aufgabenstellungen bezüglich der Erstellung eines Managementinstruments zur Überwachung der Medienströme am Standort. Darin enthalten sind die Bilanzierung und Darstellung der Verbräuche der Medienströme Erdgas, elektrische Energie und Nutzwasser innerhalb des Unternehmens.

3.1 Einführung

Das Managementsystem der *Stahl Judenburg* ist neben der ISO 14001 auch nach der ISO/TS 16949 Norm zertifiziert. Dies bedeutet, dass zur Erreichung der Produktanforderungen die Infrastruktur ermittelt, bereitgestellt und aufrechterhalten werden muss. Weiters ist es notwendig, geeignete Methoden zur Überwachung der Prozesse anzuwenden. Die gewonnenen Informationen müssen einer Datenanalyse unterzogen und dabei Angaben über die Prozess- und Produktmerkmale gemacht werden. Weiters gilt es, die zu erwartenden Trendrichtungen frühzeitig zu erkennen und die möglichen Vorbeugemaßnahmen umzusetzen.

Die Ausarbeitung der bilanzierten Medienströme soll das Managementsystem und seine Verantwortlichen bei der Umsetzung der Normanforderungen unterstützen und als praxisorientiertes Handwerkzeug dienen. Es wurde dabei darauf geachtet, dass die visuelle Darstellungsform und die Auswertung der Messungen den Normvorschriften entsprechen und somit den angewandten Regelwerken Genüge tun. Folglich können sämtliche Ausarbeitungen direkt in die angewandten Normwerke (z.B. DIN EN 16001 - Energiemanagementsysteme) übernommen werden. Zur Erfüllung dieser Aufgabe wurden die dokumentierten Verbrauchsdaten als Basis herangezogen. Um die fehlenden Ströme zu ermitteln, wurden entsprechende Sachbilanzen aufgestellt. Im Zuge der Arbeit wurde die Bilanzierung und Darstellung der Medienströme für die Geschäftsjahre 2007, 2008 und 2009 durchgeführt.

Diese Sachbilanzen werden mit der Software STAN2 realisiert. Dabei werden die monatlich aufgenommenen Messwerte dabei direkt von den bestehenden Dokumenten in die neue Tabellenvorlage transferiert. Da die Gliederung der Tabellen jenen der Vorlagen entspricht, können die Verbrauchsmengen mittels Kopierfunktion übertragen werden. In einer weiteren Tabelle werden, nach dem Einfügen der Daten, automatisch die Berechnungen und Bilanzierungen anhand

vordefinierter Formeln und Beziehungen durchgeführt. Die Resultate liegen somit in tabellarischer Form auf und können problemlos in STAN2 eingegliedert werden. Da die Software eine Bilanztafel enthält, mithilfe derer die Sankey-Diagramme erstellt werden, können die Werte aus der Excel-Bilanzierung in diese Eingabemaske kopiert werden. Die Diagramme des aktuellen Monats werden dadurch automatisch generiert und stehen somit weiteren Arbeitsprozessen zur Verfügung.

Die nachfolgenden Abschnitte 3.2, 3.3 und 3.4 beinhalten Auszüge der angefertigten Jahresberichte, welche im Zuge der Diplomarbeit verfasst wurden. Diese Berichte liegen für die jeweiligen Medienströme vor und dokumentieren die jährlichen Verbräuche. In ihnen werden Eigenschaften und Eckdaten des Versorgungsnetzes und der Verbraucher beschrieben. Jede Auswertung erfolgte dabei in tabellarischer und graphischer Form. Sämtliche Dokumente wurden elektronisch am Netzwerkserver der *Stahl Judenburg GmbH* gespeichert und können als gedruckte Version bei der Standortverwaltung eingesehen werden. Die Jahresberichte sind in die Dokumentation des Abfallwirtschaftskonzepts übernommen worden und mit einer Managementdokumentennummer gekennzeichnet. In dieser Form der Dokumentation und Archivierung sind die Berichte dem Qualitäts-, Umwelt- und Energie-management sowie den Abteilungsverantwortlichen im Unternehmen zugänglich.

Die Jahresberichte für den Erdgasverbrauch enthalten zusätzlich zu den Verbrauchsgrößen auch die Kohlendioxidemissionen der Prozessanlagen. Dies ermöglicht eine periodische Überwachung der ausgestoßenen Mengen an Kohlendioxid.

Ziel der Jahresberichte ist es, ein eindeutiges Bild der unternehmerischen Versorgungsnetze und der periodischen Verbräuche mithilfe von Sankey-Diagrammen zu liefern. Darüber hinaus sollen unentdeckte Synergie- bzw. Verbesserungspotentiale auf einfache Weise erkennbar werden. Um den Betrieb realistisch abzubilden und objektiv an die Bilanzierung herangehen zu können, waren mehrere Werksrundgänge vonnöten.

Der Inhalt der Jahresberichte beinhaltet sehr sensible unternehmensspezifische Daten. Dadurch begründet, können in der vorliegenden Arbeit ausschließlich schematische Auszüge der jeweiligen Berichte vorgestellt werden.

3.2 Medienstrom Erdgas

Die Erdgasversorgung erfolgt über eine zentrale Einspeisung in die Erdgasregelstation (EGRA). Ausgehend von dort werden die *Stahl Judenburg* sowie sämtliche Fremdfirmen am Standort zentral versorgt. Die detaillierte Darstellung der Gasverbräuche wurde im Zuge dieser Arbeit auf die Werksanlagen der *Stahl Judenburg GmbH* beschränkt. Die Verbräuche der Fremdfirmen wurden nicht analysiert, jedoch in der Bilanzierung und der daraus folgenden grafischen Aufarbeitung ausgewiesen. Die Erstellung der Sankey-Diagramme für den Medienstrom Erdgas wurde nach zirkumstanten Gesichtspunkten am Standort durchgeführt. Um eine korrekte Plandarstellung des firmeninternen Gasnetzes zu erlangen, wurden neben Lokalaugenscheinen die behördlichen Unterlagen des konsolidierten Bescheides des Jahres 2008 herangezogen und mehrere Gespräche mit den Mitarbeitern der Standortverwaltung und der Instandhaltung geführt.

Abbildung 1 zeigt die schematische Darstellung des Erdgasnetzes der *Stahl Judenburg*. Die erdgasnutzenden bzw. verteilenden Anlagen sind in quadratischer Form dargestellt. Während die gelben Pfeile die Erdgasströme darstellen, deuten die schwarzen Pfeile die Abgasströme in Normkubikmeter an. Die Pfeilrichtung verdeutlicht die Transportrichtung des jeweiligen Stoffes. Die Abbildung liegt datenbereinigt vor und gibt keine Auskunft über das verbrauchte Erdgasvolumen. Die Bilanzierung des monatlichen Gasverbrauches wie auch dessen Darstellung in Form von Sankey-Diagrammen wurde für die Jahre 2007, 2008 und 2009 durchgeführt und ist in den Energiejahresberichten nachzulesen.⁹⁶ Die Jahresbilanzen liegen in gedruckter Form im Büro der Standortverwaltung auf. Die Dokumente umfassen sämtliche mit der STAN2-Software angefertigten Pläne sowie die monatlichen Verbräuche der Anlagen. Mithilfe der STAN2-Software können die zuständigen Verantwortlichen die Sankey-Diagramme aktivieren und die Verbräuche im Detail untersuchen.

⁹⁶ Vgl. Jahresberichte Stahl Judenburg GmbH

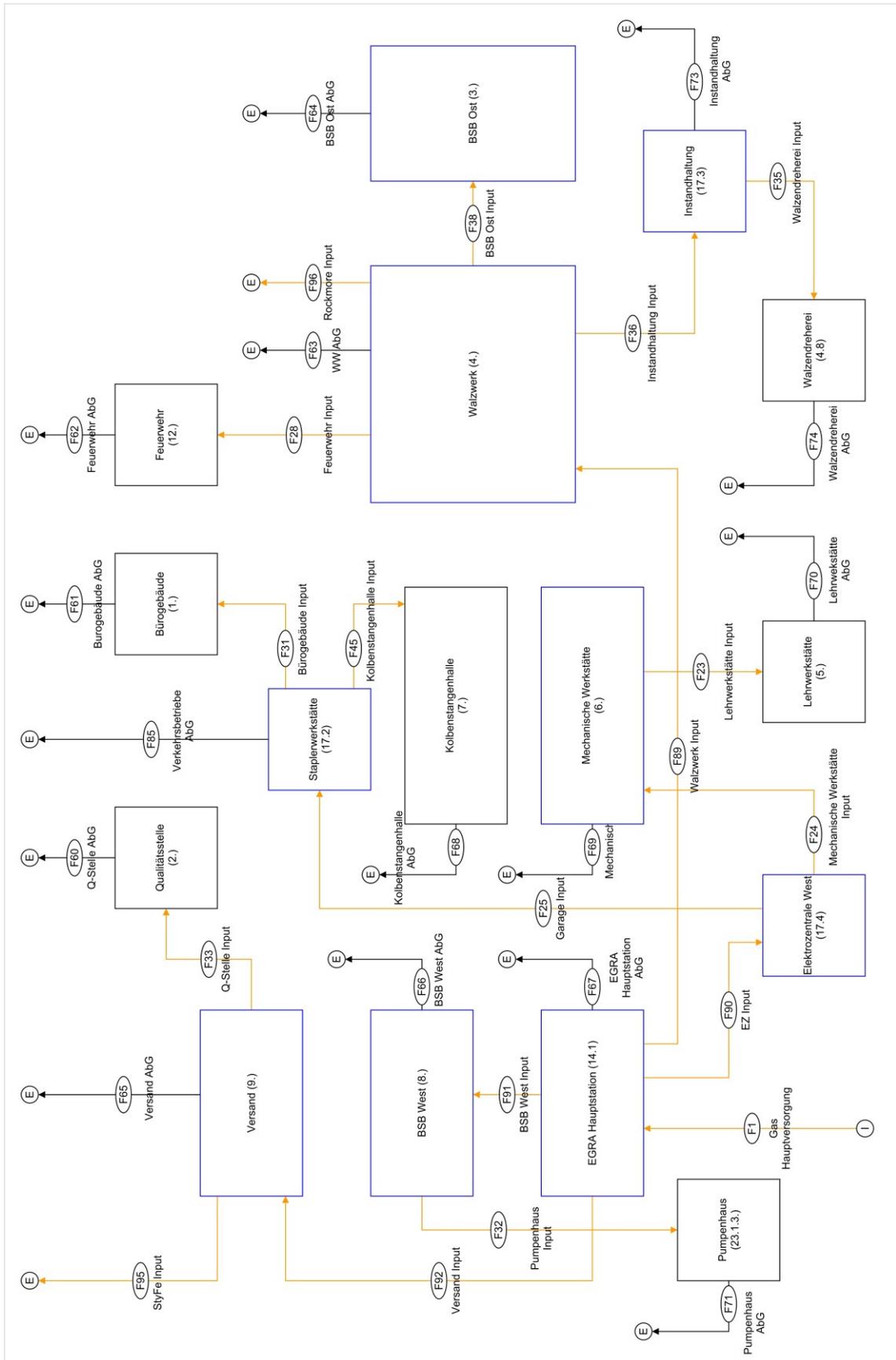


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Gasnetzes am Standort der Stahl Judenburg GmbH

In Abbildung 2 wird der durchschnittliche Erdgasverbrauch pro Jahr in indizierter Weise dargestellt. Dabei wird der Gesamtverbrauch des Jahres 2007 als Basiswert herangezogen und mit 100 indiziert. Weitere Folgejahre sind auf diesen Wert zu beziehen. Die jeweiligen Spalten sind entsprechend den Verbrauchsgrößen der Werksanlagen aufgeteilt. Dieser prozentuelle Verbrauchsanteil unterliegt ebenfalls der Indizierung.

Anhand von Abbildung 2 lässt sich erkennen, dass der Erdgasverbrauch im Jahr 2009 gegenüber dem Bedarf der beiden vorangegangenen Jahre bedeutend geringer ausfällt. Die Gründe hierfür liegen in den vorherrschenden gesamtwirtschaftlichen Bedingungen während dieses Zeitraums und der daraus resultierenden, schwachen Auftragslage. Weiters stellt Abbildung 2 den prozentuellen Verbrauchsanteil des Walzwerks gegenüber den restlichen Verbrauchern am Standort dar. Zu den Verbrauchern im Walzwerk zählen: der Hubherdofen, die beiden Durchlaufglühöfen, die Durchlaufvergüteeinlage und die Hallenheizung. Die Summe der Verbräuche dieser Anlagen beträgt jährlich über 80 %. Die jeweiligen Werte können der Tabelle 1 entnommen werden.

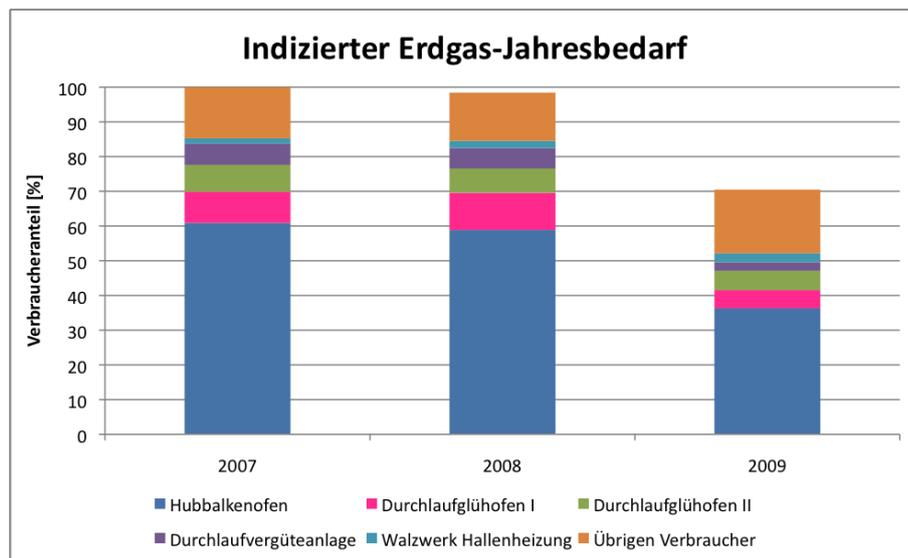


Abbildung 2: indizierter, durchschnittlicher Gesamterdgas-Jahresbedarf der Jahre 2007 bis 2009

Mit einem Anteil von über 80 % am gesamten Erdgasverbrauch der *Stahljudenburg GmbH* stellt das Walzwerk mit der Wärmebehandlung den größten Verbraucher im Unternehmen dar. Die restlichen zwanzig Prozent verteilen sich auf die Beheizung der Arbeitsstätten und weiteren Produktionsanlagen, wie beispielsweise die Glühtöpfe im Blankstahlbetrieb Ost.

Die nachfolgende Tabelle gliedert den jährlichen Durchschnittsverbrauch des Walzwerks und der Wärmebehandlung. Der Hubbalkenofen stellt den größten Verbraucher mit über 60 % des unternehmerischen Gesamtverbrauchs dar. Mithilfe des im Jahr 2009 in Betrieb gegangenen Hubherdofen, der den bis dahin installierten Hubbalkenofen ersetzte, konnte der Verbraucheranteil deutlich auf unter 60% gesenkt werden.

Tabelle 1: Anteil der Produktionsanlagen am Gesamtverbrauch für Erdgas

Erdgasverbraucher	2007	2008	2009
[-]	[%]	[%]	[%]
Hubbalken/Hubherdofen	60,9	60,0	56,9
Durchlaufvergüteanlage	6,1	6,0	3,9
Durchlaufglühofen I	9,0	10,9	8,2
Durchlaufglühofen II	7,7	7,1	8,7
Walzwerkhallenheizung	1,5	2,1	4,0

3.3 Medienstrom Elektrische Energie

Im Abschnitt 3.2 wurde die Erdgas-Distributionsfunktion der *Stahl Judenburg GmbH* für die am Betriebsgelände ansässigen Fremdfirmen bereits erwähnt. Dies trifft in derselben Weise auf die elektrische Versorgung des Standorts zu.

Elektrischer Strom wird über zwei 32 kV-Leitungen vom Umspannwerk Baumkirchen in die ehemalige Elektrozentrale im West-Werk und in die Elektrozentrale des Walzwerks im Ost-Werk eingespeist. Mithilfe der entsprechenden, im Unternehmen installierten, Transformatoren wird die anliegende Eingangsspannung von 32 kV auf 5 kV, 700V, 500 V, 400 V und 230 V transformiert. Die Fremdfirmen werden entsprechend der eigenen innerbetrieblichen Anlageninfrastruktur mit den benötigten Spannungsgrößen versorgt.

Zur Erstellung der Sankey-Diagramme dienen die lokalen Anordnungen der Hallen und Verbraucheranlagen im Werk als Vorlage. Für die detaillierte Darstellung der Transformatoren, Leitungswege und Verbraucherstellen dient der konsolidierte Bescheid aus dem Jahr 2008. Unterstützende Informationen liefern die Schaltpläne der Elektroversorgung und insbesondere die Mitarbeiter der Elektro-Instandhaltung.

Die Bilanzierung des monatlichen Einsatzes an elektrischer Energie wie auch dessen Darstellung in Form von Sankey-Diagrammen wurde für die Jahre 2007, 2008 und 2009 durchgeführt und ist in den Energiejahresberichten nachzulesen.⁹⁷ In diesen Jahresberichten werden die Charakteristika der Stromverbraucher und deren monatliche Verbräuche angeführt. Diese Dokumente basieren auf der Bilanzierung der monatlichen Auswertung der lokalen Messgeräte und liegen in gedruckter Form bei der Standortverwaltung der *Stahl Judenburg GmbH* auf.

Sämtliche Verbräuche sind in tabellarischer Form ausgewiesen und sind den mit STAN2 angefertigten, Fließbildern zugeordnet. Abbildung 3 zeigt die schematische Darstellung des Stromversorgungsnetzes der *Stahl Judenburg GmbH*. Dieses Schema liegt datenbereinigt vor und gibt in dieser Form keine Auskunft über den Stromverbrauch. Mithilfe der STAN2 Software können die zuständigen Verantwortlichen die Sankey-Diagramme aktivieren und die Verbräuche im Detail untersuchen.

Die Jahresbilanzen für den Stromverbrauch liegen in gedruckter Form im Büro der Standortverwaltung auf. Die Dokumente umfassen sämtliche mit STAN2 angefertigten Pläne sowie die monatlichen Verbräuche der Anlagen. Diese Strom-Jahresberichte wurden für die Jahre 2007, 2008 und 2009 angefertigt.

Abbildung 4 stellt den indizierten jährlichen Durchschnittstromverbrauch der *Stahl Judenburg GmbH* dar. Dabei wurden der Gesamtverbrauch des Jahres 2007 mit 100 indiziert und die Folgejahre darauf bezogen. Die jeweiligen Spalten sind entsprechend den Verbrauchergrößen der Anlagen im Werk unterteilt. Dieser prozentuelle Verbrauchsanteil unterliegt ebenfalls der Indizierung.

⁹⁷ Vgl. Jahresberichte Stahl Judenburg GmbH

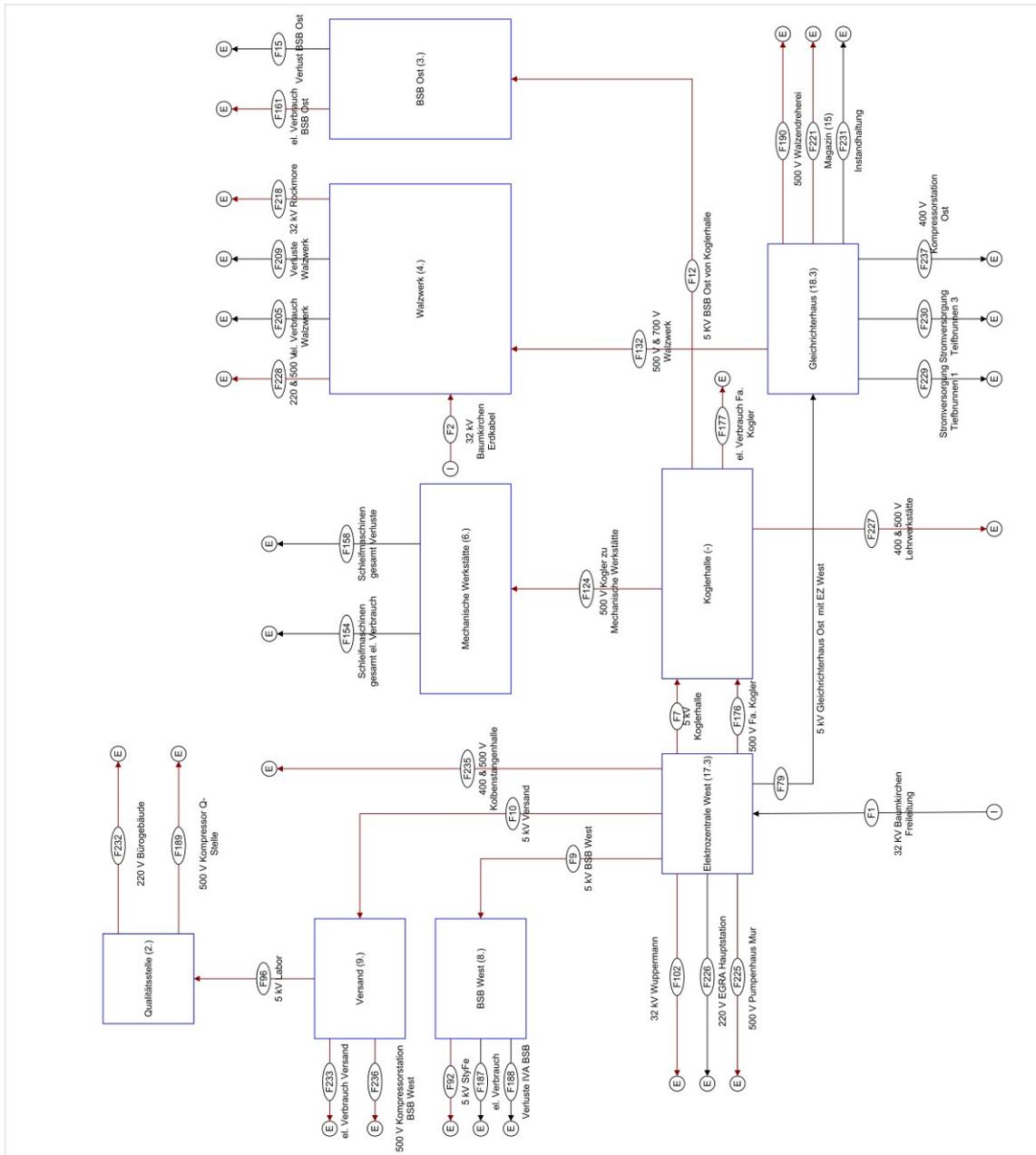


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Stromverteilung am Standort der Stahl Judenburg GmbH

Anhand von Abbildung 4 lässt sich erkennen, dass der Stromverbrauch der Jahre 2007 und 2008 annähernd gleich hoch ist. Im Jahr 2009 fällt der Bedarf an elektrischer Energie, gegenüber den beiden vorangegangenen Jahren, bedeutend geringer aus. Die Gründe hierfür liegen in den vorherrschenden gesamtwirtschaftlichen Bedingungen in diesem Zeitraum. Die Darstellung verdeutlicht die Proportionalität der Verbrauchsmengen zwischen den Unternehmensbereichen. Selbst bei stark unterschiedlichen Jahresverbräuchen lässt sich ein konstantes Verhältnis feststellen. Dies zeigt Tabelle 2, wobei die Werte nicht indiziert sind, sondern den Anteil am jährlichen durchschnittlichen Jahresverbrauch an Strom widerspiegeln. Jener Unternehmensbereich, welcher den Titel der Hilfsbetriebe trägt, fasst sämtliche Bereiche zusammen, welche nicht direkt den Produktionsprozessen zugeschrieben werden können. Dazu zählen die Verwaltung, die Qualitätsstelle, die Feuerwehr und ähnliche Institutionen.

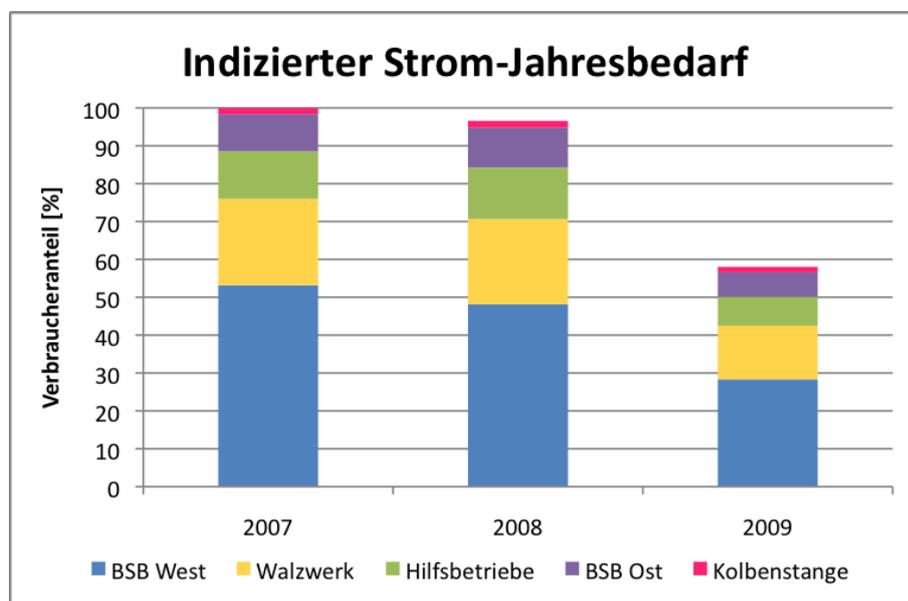


Abbildung 4: indizierter, durchschnittlicher Gesamtstrom-Jahresbedarf der Jahre 2007 bis 2009

Tabelle 2: durchschnittlicher jährlicher Stromverbrauchsanteil der Unternehmensbereiche

Unternehmensbereich	2007	2008	2009
[-]	[%]	[%]	[%]
BSB Ost	10,5	10,5	11,2
BSB West	47,0	47,9	48,8
Walzwerk	22,3	22,4	24,4
Kolbenstange	1,9	1,8	2,5
Hilfsbetriebe	13,7	13,5	13,1

3.4 Medienstrom Nutzwasser

Der Begriff des Nutzwassers umfasst jenen Wasserverbrauch, welcher direkt in den Hauptprozessen der Edelstahlverarbeitung und indirekt in den unterstützenden Hilfsprozessen benötigt wird. Die Nutzwasserversorgung der *Stahl Judenburg GmbH* erfolgt primär über das an der Mur gelegene Pumpenhaus. Weiters stehen zwei Tiefbrunnen im östlichen Werksgelände zur Verfügung. Um eine korrekte Plandarstellung des firmeninternen Wassernetzes zu erarbeiten, stellen neben den obligatorischen Lokalaugenscheinen die behördlichen Unterlagen des konsolidierten Bescheides des Jahres 2008 die entscheidenden Informationsquellen dar.

Die Abbildung liegt datenbereinigt vor und gibt keine Auskunft über den Wasserverbrauch. Die Bilanzierung des monatlichen Nutzwasserverbrauches wie auch dessen Darstellung in Form von Sankey-Diagrammen wurde im Gegensatz zu den Medienströmen Erdgas und elektrische Energie ausschließlich für das Jahr 2009 durchgeführt. Der Grund liegt hierbei in der unzureichenden Datendichte der vorangegangenen Jahre.⁹⁸

Abbildung 5 stellt den prozentualen Anteil der Produktionsstätten am gesamten Nutzwasserverbrauch im Durchschnitt dar. Dabei zeigt sich, dass der Hubherdofen und die Sinterwirtschaft (beide im Walzwerk) mit einem jeweiligen Anteil von über 20 % besonders wasserintensive Anlagen darstellen.

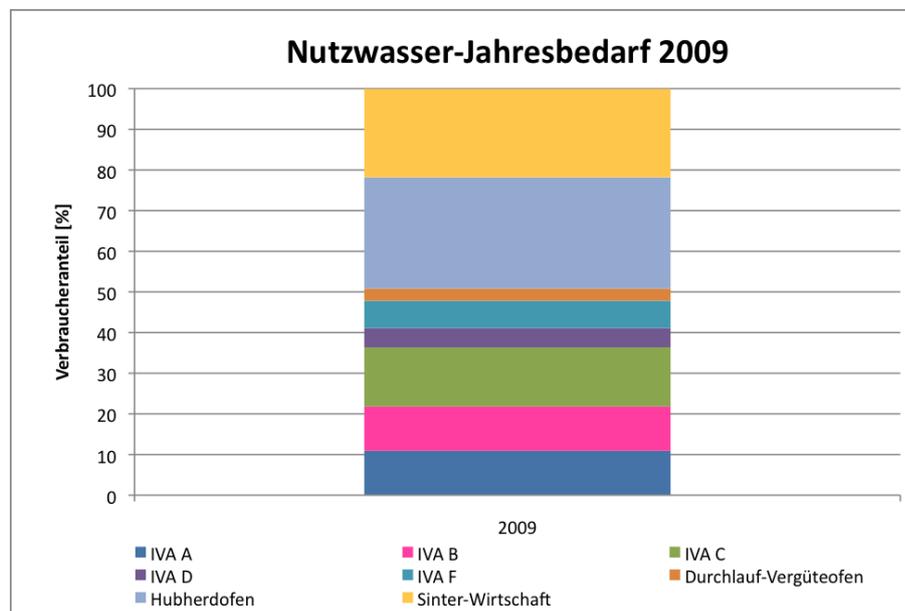


Abbildung 5: durchschnittlicher Anteil der Produktionsstätten am gesamten Nutzwasserverbrauch der STJ im Jahr 2009

⁹⁸ Vgl. Jahresberichte Stahl Judenburg GmbH

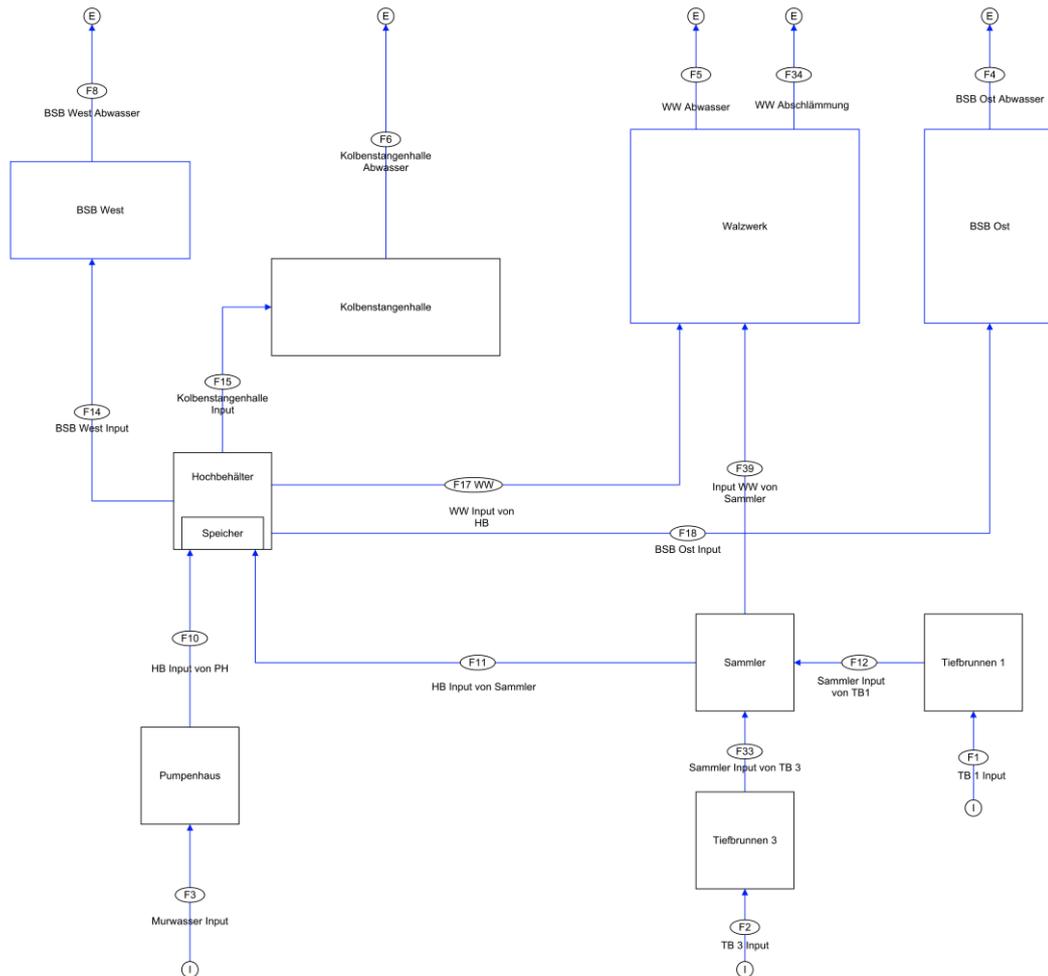


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Wassernetzes am Standort der Stahl Judenburg GmbH

4 Wärmerückgewinnungskonzept

Das folgende Kapitel befasst sich mit der zweiten Aufgabenstellung der Diplomarbeit. Dabei wird die Machbarkeit eines Konzeptes zur Wärmerückgewinnung an industriellen Kompressoranlagen in der *Stahl Judenburg GmbH* untersucht.

Im östlichen Bereich des Standorts der *Stahl Judenburg GmbH* befindet sich das Walzwerk. Dieses verfügt über eine Kompressorstation mit vier leistungsstarken Kompressoren, welche die Kernprozesse des Walzwerks mit Pressluft versorgen.

Um ein der Aufgabenstellung entsprechendes Abwärmekonzept für die Kompressoren erstellen zu können, wurde vorerst das energetisch nutzbare Potential der Kompressorabwärme erhoben. Hierfür wurden thermodynamische Berechnungen und Messungen vor Ort durchgeführt. Die Resultate beider Vorgehensweisen wurden auf ihre Plausibilität hin überprüft und die Ergebnisse durch eine Gegenprobe kontrolliert.

Nach der Bestimmung des technisch nutzbaren Energiereservoirs, wurde der spezifische Heizbedarf der zu beheizenden Gebäude mithilfe der ÖNORM EN 12831 errechnet. Weiters wurde der tatsächliche Erdgasverbrauch der vergangenen Jahre für die weiteren Untersuchungen als Berechnungsbasis herangezogen.

Diese Untersuchungen ergaben, dass die technische Nutzung der Abwärme der Kompressoren zur Beheizung der umliegenden Objekte eindeutig gegeben ist. Somit wurden insgesamt zehn unterschiedliche Konzepte zur Nutzung dieses Energiereservoirs erstellt und auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Dabei konnten drei Projektformen als technisch und wirtschaftlich potentiell umsetzbar ermittelt werden. Mithilfe der nachfolgenden Sensitivitätsanalyse kristallisierte sich eine der drei verbleibenden Projektformen als investitionswürdig heraus.

4.1 Grundlagen der Norm-Heizlastberechnung von Gebäuden

Zur Berechnung der Norm-Heizlast wurde die ÖNORM EN 12831 des europäischen Komitees für Normung herangezogen. Diese Norm legt ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Wärmefuhr für Gebäude unter Norm-Auslegungsbedingungen fest. Dabei soll sichergestellt werden, dass die erforderliche Norm-Innentemperatur erreicht und gehalten werden kann.

4.1.1 ÖNORM EN 12831 Norm-Heizlast Berechnungsverfahren

Mit den Angaben aus den Normanhängen kann die ÖNORM EN 12831 auf Sonderfälle, wie es Industriebauten darstellen, angewandt werden. Das vereinfachte Berechnungsverfahren der ÖNORM EN 12831 setzt sich aus den folgenden acht Teilschritten zusammen:⁹⁹

⁹⁹ ÖNORM EN 12831 S. 12.

1. Grundlage der Berechnung sind die meteorologischen Daten des untersuchten Standortes. Dazu gehören die Norm-Außentemperatur und das Jahresmittel der Außentemperatur.
2. Der Status des untersuchten Raumes und dessen Norm-Innentemperatur muss geklärt werden.
3. Die Gebäudedaten des Objektes müssen ermittelt werden. Darunter fallen sämtliche Abmaße, wie auch die wärmetechnischen Eigenschaften aller Bauteile.
4. Die Wärmeverluste welche durch die Gebäudehülle, Nachbarräume und das Erdreich auftreten werden in Form der Norm-Transmissionswärmeverluste berechnet.
5. Die Wärmeverluste welche aufgrund von Luftwechseln auftreten werden in Form der Norm-Lüftungsverluste berechnet.
6. Der Norm-Transmissionsverlust und der Norm-Lüftungsverlust werden addiert und ergeben die gesamten Wärmeverluste des Gebäudes.
7. Um die Auswirkungen bei unterbrochener Beheizung erfassen zu können wird die zusätzliche Aufheizleistung berechnet.
8. Die Norm-Heizlast eines Gebäudes ergibt sich aus der Summe der gesamten Wärmeverluste und der Aufheizleistung des Objektes.

Bei der Untersuchung des Heizbedarfs von Gebäuden ist entsprechend dieser Normvorgabe vorzugehen, um die Norm-Heizlastberechnung fachgerecht durchführen zu können.

4.1.2 Norm-Heizlast Berechnung

Um die Norm-Heizlast der Walzendreherei sowie des Magazins ermitteln zu können, wurden beide Gebäude mittels Lasermessgerät vermessen. Simultan wurden sämtliche verbauten Baustoffe katalogisiert. Mithilfe der aus dem Normanhang C.3 entnommenen baumaterialspezifischen Wärmeleitfähigkeitsdaten konnten die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert, früher k-Wert) der Gebäudeteile kalkuliert werden. Die somit erhaltenen U-Werte wurden weiterführend in der Norm-Heizlast-Berechnung verwendet. Die Messwerte sind neben der Berechnung der erforderlichen Stoffwerte der Baumaterialien, zur Visualisierung der beiden Objekte herangezogen worden. Mit Auto-CAD 2008 wurden die entsprechenden Pläne angefertigt. Die Pläne der Walzendreherei und des Magazins sind dem Anhang beigelegt.

Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Walzendreherei

Tabelle 3 stellt die Berechnung der vorliegenden Wärmedurchgangskoeffizienten (U_k) aller Gebäudebauteile der Walzendreherei dar. Die tabellarische Kalkulation der Gebäudebestandteile erfolgt dabei ausgehend vom Rauminneren über die seriell aneinandergereihten Baustoffe, nach aussen hin. Die Wärmeleitwiderstände werden mittels der Bauteildicken der Materialien und deren Wärmeleitfähigkeit berechnet. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Gebäudeteils resultiert aus dem Reziprokwert des jeweiligen Gesamtwiderstands. Die zugrundeliegenden Berechnungen, sowie die verwendeten Kürzel und deren Bedeutung, werden im Anhang unter Abschnitt a.a erläutert.

Tabelle 3: Berechnung der U-Werte für die Gebäudeteile der Walzendreherei

Gebäudebauteil	Beschreibung	d	λ	R	U_k
		[m]	[W/m.K]	m ² K/W	[W/m ² K]
Ziegelmauerung (Außenwände)	R _{si}			0,13	
	Gips	0,001	0,35	0,00	
	Ziegel	0,300	0,80	0,38	
	R _{se}			0,04	
	Gesamtwiderstand			0,55	1,83
Betonsteher (Außenwände)	R _{si}			0,13	
	Gips	0,001	0,35	0,00	
	Beton	0,600	1,75	0,34	
	R _{se}			0,04	
	Gesamtwiderstand			0,52	1,94
Decke	R _{si}			0,10	
	Beton	0,40	1,75	0,23	
	Faserdämmstoff	0,02	0,041	0,49	
	R _{si}			0,10	
	Gesamtwiderstand			0,82	1,22
Boden	R _{si}			0,17	
	Beton	1,00	1,75	0,57	
	Gesamtwiderstand			0,74	1,35
Außentür	R _{si}			0,13	
	Türmaterial	0,06	0,12	0,50	
	R _{se}			0,04	
Gesamtwiderstand			0,67	1,49	
Innenwand	R _{si}			0,13	
	Gips	0,001	0,35	0,00	
	Ziegel	0,15	0,80	0,19	
	R _{se}			0,13	
	Gesamtwiderstand			0,45	2,22
Geschoßdecke	R _{si}			0,13	
	Beton	0,10	1,75	0,06	
	R _{si}			0,13	
	Gesamtwiderstand			0,32	3,15
Innentür	R _{si}			0,13	
	Türmaterial	0,04	0,15	0,27	
	R _{se}			0,13	
	Gesamtwiderstand			0,53	1,90

Rolltor	Rsi			0,13	
	Türmaterial	0,005	0,12	0,04	
	Rse			0,04	
	Gesamtwiderstand			0,21	4,72
Fenster	Gesamtwiderstand				2,10

Der Wärmeleitungswiderstand für Fensterglas wurde der DIN EN NORM 12831 entnommen und bedurfte keiner eigenen Berechnung.

Berechnung der Norm-Heizlast der Walzendreherei

Nach Vermessung des Walzendrehereigebäudes und Ermittlung der erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten wurden die Wärmeverluste der Gebäudebauteile kalkuliert. Die herangezogenen Werte und die somit gewonnenen Resultate finden sich in Tabelle 4 wieder. Die zugrundeliegenden Berechnungen sowie die Bedeutung der entsprechenden Kürzel werden im Kapitel A des Anhangs angegeben.

Tabelle 4: Berechnung der Wärmeverluste der Walzendreherei an die äußere Umgebung

Wärmeverluste direkt an die äußere Umgebung				
Gebäudebauteil	A_k	U_k	f_k	A_k*U_k*f_k
	[m ²]	[W/m ² K]	je Einheit	[W/K]
Ziegelwand	130,48	1,83	1,40	333,43
Betonelemente	55,82	1,94	1,40	151,54
Rolltor	11,88	4,72	1,00	56,13
Fenster	115,95	2,10	1,00	243,50
Außentüre	2,00	1,49	1,00	2,99
Wärmeverluste durch benachbarte Gebäude				
Gebäudebauteil	A_k	U_k	f_k	A_k*U_k*f_k
	[m ²]	[W/m ² K]	je Einheit	[W/K]
Ziegelwand	124,50	1,83	0,70	159,07
Wärmeverluste an das Erdreich				
Gebäudebauteil	A_k	U_k	f_k	A_k*U_k*f_k
	[m ²]	[W/m ² K]	je Einheit	[W/K]
Betonfundament	292,50	1,35	0,42	165,69
Wärmeverluste durch die Decke				
Gebäudebauteil	A_k	U_k	f_k	A_k*U_k*f_k
	[m ²]	[W/m ² K]	je Einheit	[W/K]
Betondecke	1318,13	1,22	1,12	1808,37
Summe der Wärmeverluste				
Walzendreherei	Σ(A_k*U_k*f_k)			
	[W/K]			
	2920,71			

Der nach Glg. 4-7: berechnete Norm-Heizlast-Wert gilt im Fall einer Raumtemperatur der Walzendreherei von 20 °C und einer Temperatur der Umgebungsluft von -18 °C. Bleibt die Innenraumtemperatur konstant, aber ändert sich jedoch die Umgebungstemperatur, nimmt die Norm-Heizlast des Gebäudes linear mit der veränderten Temperaturdifferenz ab. Abbildung 7 stellt den Zusammenhang der Norm-Heizlast und der zu erwartenden Temperaturdifferenzen dar.

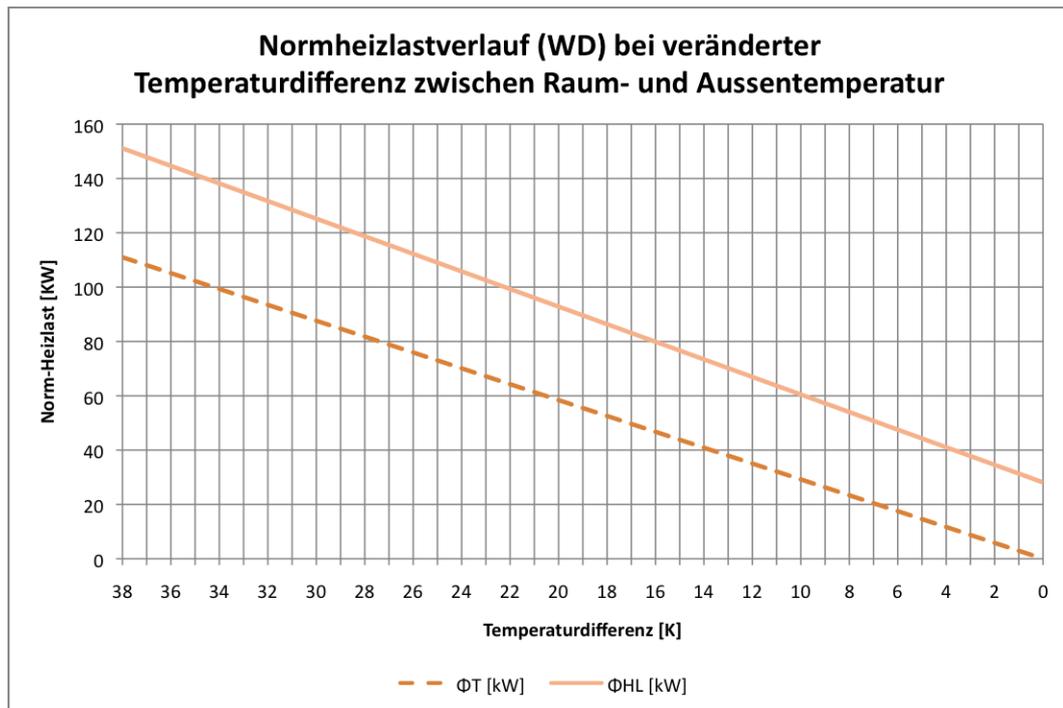


Abbildung 7: Norm-Heizlast-Verlauf des Walzendrehereigebäudes bei konstanter Innenraumtemperatur und veränderter Aussentemperatur

Wird von einem konstanten Heizverhalten ausgegangen, kann die Aufheizleistung bei unterbrochenem Heizbetrieb vernachlässigt werden. Infolge dessen setzt sich die Funktion ausschließlich aus der Summe der Wärmeverluste durch Transmission und Lüftungseigenschaften des Gebäudes zusammen. Somit wird die Norm-Heizlast um den fehlenden Betrag der Aufheizleistung verringert. Dieses Verhalten wird durch die strichlierte Kurve in Abbildung 7 wiedergegeben.

Bezogen auf die in Judenburg verzeichnete mittlere Temperatur von -6 °C, ergibt sich eine Temperaturdifferenz von 26 Kelvin. Am vorliegenden Verlauf der Kurve lässt sich die theoretische Norm-Heizlast und somit der zu erwartende spezifische Heizaufwand erkennen.

Bei der Durchführung der Erstellung des Norm-Heizlast-Modells wurden anfällige Überlegungen und Ansätze aufgrund der mangelnden Informationen verstärkt konservativ angenommen. Dadurch ergibt sich der Umstand, dass der Verlauf der beiden Kurven in Abbildung 7 höher ausfällt, als die in der Praxis tatsächlich auftretende Heizleistung der Walzendreherei.

Berechnung der Innentemperaturabsenkung der Walzendreherei

Wird der Heizbetrieb unterbrochen kann die Innenraumtemperatur nicht mehr konstant gehalten werden, da die Wärmeverluste nicht mehr ausgeglichen werden können. Ein solcher Abkühlvorgang ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen der Innenraumtemperatur und der Temperatur der Umgebungsluft, sowie der Dauer der Unterbrechung der Energiezufuhr. Mithilfe von Abbildung 8 lässt sich die Innentemperatur ablesen, welche sich bei konstanter Aussenlufttemperatur, während der Dauer der Heizunterbrechung einstellt. Im Diagramm sind die Temperaturabsenkungsverläufe für konstante Aussenlufttemperaturen von -18 °C bis $+10\text{ °C}$ dargestellt. Dieser Temperaturkorridor erstreckt sich von der Norm-Aussentemperatur der Region, bis hin zur mittleren Temperatur jener Monate mit den geringsten Heiztagen.

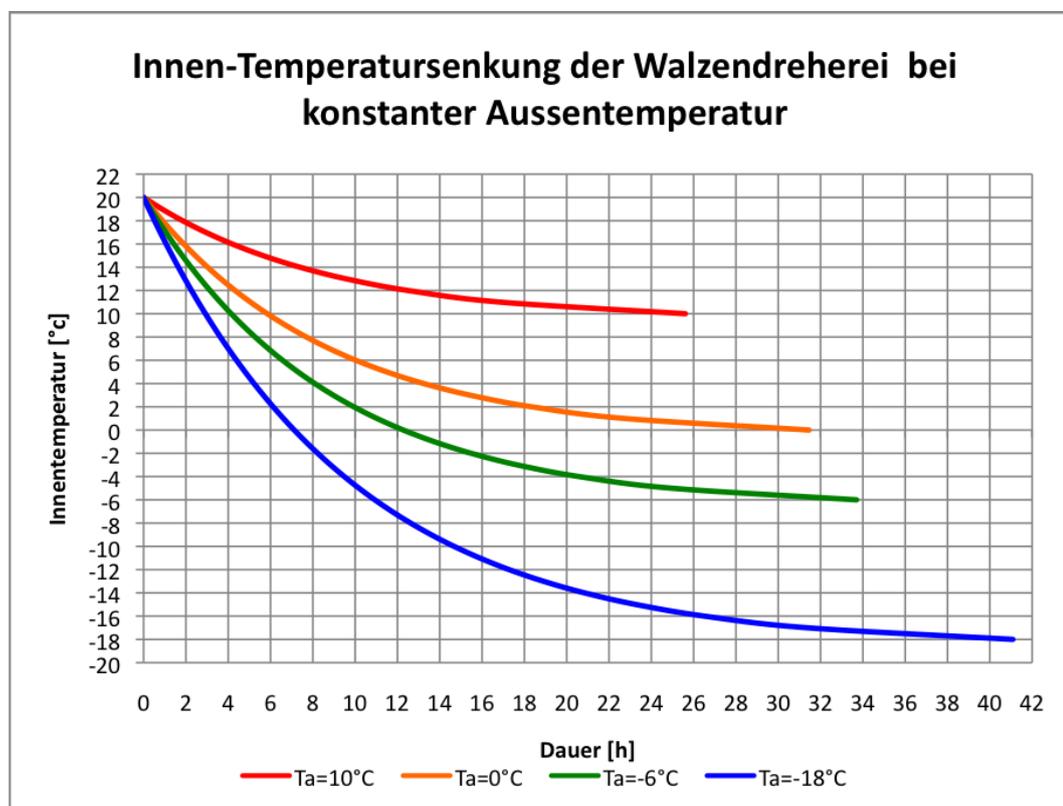


Abbildung 8: Innen-Temperaturabsenkung der Walzendreherei während unterbrochenem Heizbetrieb

Die Berechnung der dargestellten Temperaturverläufe erfolgte mithilfe einer diskreten, numerischen Methode und ist im Kapitel B des Anhangs angeführt.

Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten des Magazins

Tabelle 5 stellt die Berechnung der vorliegenden Wärmedurchgangskoeffizienten (U_k) aller Gebäudebauteile des Magazins dar. Die tabellarische Kalkulation der Gebäudebestandteile erfolgt dabei ausgehend vom Rauminnen über die seriell aneinandergereihten Baustoffe nach außen hin. Die Wärmeleitwiderstände werden mittels der Bauteildicken der Materialien und deren Wärmeleitfähigkeit berechnet. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Gebäudebauteils resultiert aus dem Reziprokwertes des jeweiligen Gesamtwiderstands. Die zugrundeliegende Berechnungen, sowie die Bedeutung der verwendeten Kürzel werden im Abschnitt a.a des Anhangs erläutert.

Tabelle 5: Berechnung der U-Werte für die Gebäudeteile des Magazins

Gebäudebauteil	Beschreibung	d	Lambda	R	U_k
		[m]	[W/mK]	m ² K/W	[W/m ² K]
Betonwände (Außenwände)	R_{si}	0,30	1,75	0,13	2,93
	Beton			0,17	
	R_{se}			0,04	
	Gesamtwiderstand			0,34	
Innenwand	R_{si}	0,30	1,75	0,13	1,37
	Beton			0,17	
	Luftspalt			0,18	
	Profilblech			0,12	
	R_{si}			0,13	
Gesamtwiderstand	0,73				
Decke	R_{si}	0,003	0,12	0,13	5,13
	Profilblech			0,03	
	R_{se}			0,04	
	Gesamtwiderstand			0,20	
Boden	R_{si}	1	1,75	0,17	1,35
	Beton			0,57	
	Gesamtwiderstand			0,74	
Außentür	R_{si}	0,06	0,12	0,13	1,49
	Türmaterial			0,50	
	R_{se}			0,04	
Rolltor	R_{si}	0,005	0,12	0,13	4,72
	Türmaterial			0,04	
	R_{se}			0,04	
	Gesamtwiderstand			0,21	
Fenster					2,10

Berechnung der Norm-Heizlast des Magazins

Nach der Vermessung des Magazins und Ermittlung der erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten wurden die einzelnen Wärmeverluste der Gebäudebauteile kalkuliert. Die herangezogenen Werte und die somit gewonnenen Resultate finden sich in Tabelle 6 wieder. Die zugrundeliegenden Berechnungen sowie entsprechende Kürzel und deren Bedeutung sind im Kapitel A im Anhang angegeben.

Tabelle 6: Berechnung der Wärmeverluste des Magazins an die äußere Umgebung

Wärmeverluste direkt an die äußere Umgebung				
Bauteil	A_k	U_k	f_k	$A_k \cdot U_k \cdot f_k$
	[m ²]	[W/m ² K]	je Einheit	[W/K]
Betonwand	85,20	2,93	1,40	349,36
Fenster	258,56	2,10	1,00	542,98
Rolltor	17,22	4,72	1,00	81,35
Aussentüre	4,62	1,49	1,00	6,90
Wärmeverluste an beheizte Räume				
Bauteil	A_k	U_k	f_k	$A_k \cdot U_k \cdot f_k$
	[m ²]	[W/m ² K]	je Einheit	[W/K]
Innenwand	314,66	1,37	0,42	180,68
Wärmeverluste an das Erdreich				
Bauteil	A_k	U_k	f_k	$A_k \cdot U_k \cdot f_k$
	[m ²]	[W/m ² K]	je Einheit	[W/K]
Betonfundament	426,42	1,35	0,42	241,56
Wärmeverluste über die Decke				
Bauteil	A_k	U_k	f_k	$A_k \cdot U_k \cdot f_k$
	[m ²]	[W/m ² K]	je Einheit	[W/K]
Profilblech	430,56	5,13	1,26	2782,08
Summe der Transmissions-Wärmeverluste				
$\Sigma_k(f_k \cdot A_k \cdot U_k)$				
[W/K]				
4184,90				

Der nach Glg. 4-14: berechnete Norm-Heizlast-Wert gilt im Fall einer Rauminnentemperatur der Walzendreherei von 20 °C und einer Temperatur der Umgebungsluft von -18 °C. Bleibt die Innenraumtemperatur konstant, aber ändert sich jedoch die Umgebungstemperatur, nimmt die Norm-Heizlast des Gebäudes linear mit der veränderten Temperaturdifferenz ab. Abbildung 9 stellt den Zusammenhang der Norm-Heizlast und der zu erwartenden Temperaturdifferenzen dar.

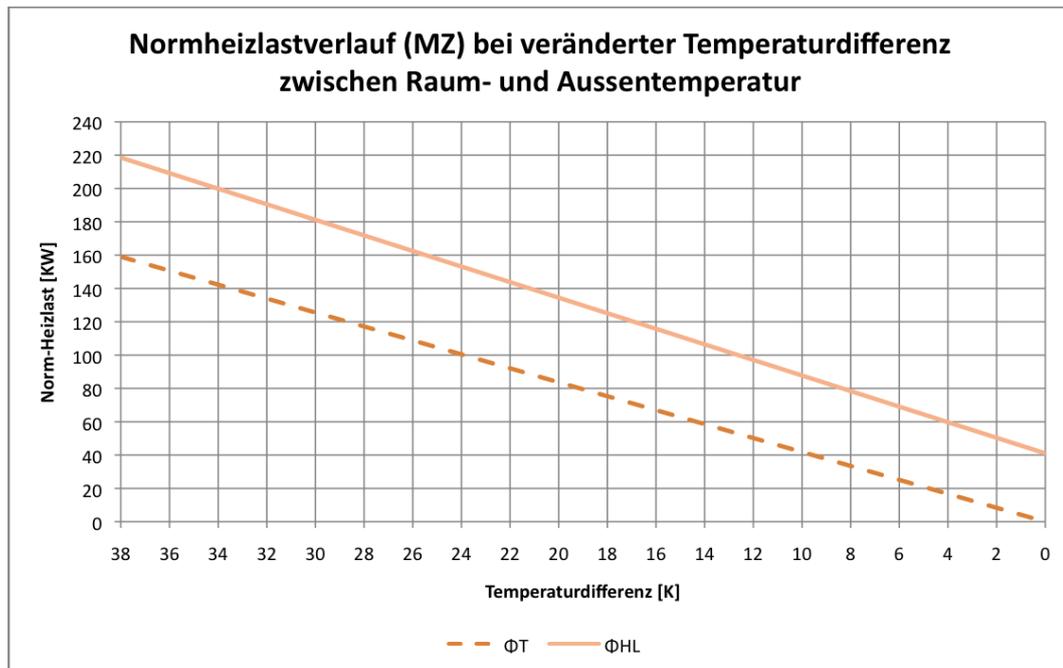


Abbildung 9: Norm-Heizlast-Verlauf des Magazins bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen zwischen Innenraumtemperatur und Aussentemperatur

Wird von einem konstanten Heizverhalten ausgegangen, kann die Aufheizleistung bei unterbrochenem Heizbetrieb vernachlässigt werden. Folge dessen setzt sich die Funktion ausschließlich aus der Summe der Wärmeverluste aufgrund von Transmission und Lüftungseigenschaften des Gebäudes zusammen. Somit wird die Norm-Heizlast um diesen Betrag verringert. Dieses Verhalten wird durch die strichlierte Kurve in Abbildung 9 wiedergegeben.

Bezogen auf die in Judenburg verzeichnete mittlere Temperatur von -6 °C, ergibt sich eine Temperaturdifferenz von 26 Kelvin. Am vorliegenden Verlauf der Kurve lässt sich die theoretische Norm-Heizlast und somit der zu erwartende spezifische Heizaufwand erkennen.

Bei der Durchführung der Erstellung des Norm-Heizlast-Modells wurden anfällige Überlegungen und Ansätze aufgrund der mangelnden Informationen verstärkt konservativ angenommen. Dadurch ergibt sich der Umstand, dass der Verlauf der beiden Kurven in Abbildung 9 höher ausfällt als die tatsächliche Heizleistung des Magazins in der Praxis.

Berechnung der Innentemperaturabsenkung des Magazins

Wird der Heizbetrieb unterbrochen kann die Innenraumtemperatur nicht mehr konstant gehalten werden, da die Wärmeverluste nicht mehr ausgeglichen werden können. Ein solcher Abkühlvorgang ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen der Innenraumtemperatur und der Temperatur der Umgebungsluft, sowie der Dauer der Unterbrechung der Energiezufuhr. Mithilfe von Abbildung 10 lässt sich die Innentemperatur ablesen, welche sich bei konstanter Aussenlufttemperatur, während der Dauer der Heizunterbrechung einstellt. Im Diagramm sind die Temperaturabsenkungsverläufe für konstante Aussenlufttemperaturen von -18 °C bis $+10\text{ °C}$ dargestellt. Dieser Temperaturkorridor erstreckt sich von der Norm-Aussentemperatur der Region, bis hin zur mittleren Temperatur jener Monate mit den geringsten Heiztagen.

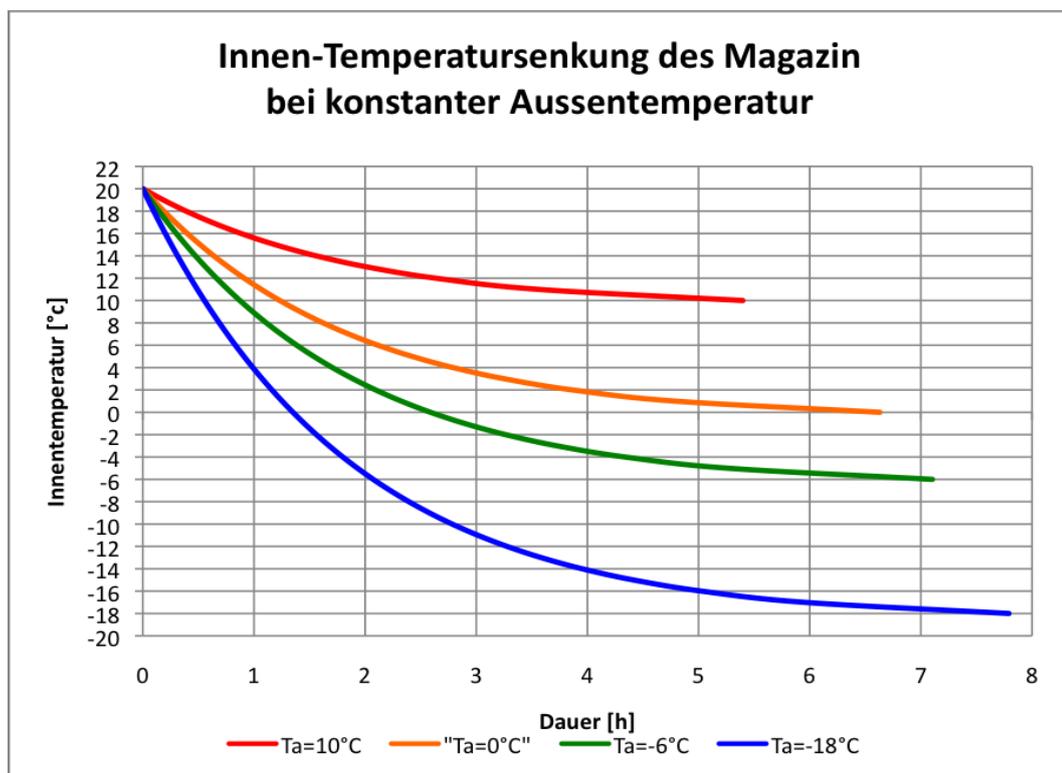


Abbildung 10: Innen-Temperaturverlauf des Magazins während unterbrochenem Heizbetrieb

Die Berechnung der dargestellten Temperaturverläufe erfolgte mithilfe einer diskreten, numerischen Methode und ist im Kapitel B des Anhangs angefügt.

4.2 Historischer Heizleistungsbedarf der Jahre 2007-2009

Im Folgenden wird der Erdgasbedarf der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätte in kWh pro Monat ausgewiesen. In den beiden erstgenannten Objekten werden Gasheizstrahler zur Raumheizung genutzt. In der Elektrowerkstätte wird Wasser mittels einer Gastherme erwärmt. Mittels eines Zentralheizungssystems werden die vorhandenen Räumlichkeiten beheizt.

Der monatlich dokumentierte Erdgasverbrauch wurde mithilfe des Heizwertes des Erdgasversorgers in Kilowattstunden umgerechnet. Die berechneten Werte sind in der Tabelle 7 ausgewiesen.

Tabelle 7: Saisonale Heizwertangaben des Erdgaslieferanten¹⁰⁰

2007		2008		2009	
Jän-Jun	Jun-Dez	Jän-Jun	Jun-Dez	Jän-Jun	Jun-Dez
10,02	10,03	10,03	10,05	10,09	10,09

Tabelle 8: monatlicher Erdgasverbrauch der Walzendreherei (WD), des Magazins (MZ) und der Elektrowerkstätte (EW) in Kilowattstunden.

Monat	2007			2008			2009		
	WD	MZ	EW	WD	MZ	EW	WD	MZ	EW
[-]	[kWh]								
Jänner	24.178	11.994	17.996	25.928	24.062	10.311	29.927	21.219	21.219
Februar	17.826	8.497	12.755	22.628	17.211	7.382	25.376	16.437	16.447
März	16.503	7.876	11.814	19.980	11.003	4.714	17.123	10.019	10.019
April	2.836	2.405	3.607	11.304	6.800	2.919	2.492	3.370	3.370
Mai	992	561	561	792	1.254	542	696	737	737
Juni	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Juli	0	0	0	0	0	0	0	0	0
August	0	0	0	0	0	0	394	0	0
September	1.735	772	1.153	4.995	1.849	1.849	1.231	0	0
Oktober	9.639	7.502	3.210	9.377	6.090	6.100	9.868	2.179	8.698
November	22.116	18.465	7.914	19.457	12.351	12.362	17.890	8.254	19.272
Dezember	38.505	23.199	9.950	16.954	14.934	14.934	21.522	11.462	26.739

¹⁰⁰ Vgl. Erdgas Heizwert

Mithilfe der in

Tabelle 8 ausgewiesenen Werte, wurde ein arithmetischer Monatsmittelwert errechnet. Diese mittleren Verbräuche wurden über die Anzahl der Tage des jeweiligen Monats und einer täglichen Heizdauer von 24 Stunden aufgeteilt. Somit ergibt sich eine monatlich durchschnittliche Heizleistung pro Stunde und Objekt.

Tabelle 9: spezifischer mittlerer Leistungsbedarf der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätte in den Jahren 2007-09

Monat	Walzendreherei	Magazin	Elektrowerkstätte
[-]	[kW]	[kW]	[kW]
Jänner	35,9	25,7	22,2
Februar	32,7	20,9	18,1
März	24,0	12,9	11,9
April	7,7	5,8	4,6
Mai	1,1	1,1	0,8
Juni	0,0	0,0	0,0
Juli	0,0	0,0	0,0
August	0,2	0,0	0,0
September	3,7	1,2	1,4
Oktober	12,9	7,1	8,1
November	27,5	18,1	18,3
Dezember	34,5	22,2	23,1

Die Daten der Tabelle 9, geben die durchschnittliche Heizleistung der Jahre 2007-2009 wieder. Die markierten Felder kennzeichnen die Bedarfshöchstwerte des jeweiligen Objekts.

Unter der Annahme, dass die Maximalwerte der drei Arbeitsstätten im selben Monat auftreten könnten, würde sich ein gemittelter Höchstbedarf von 84,7 kW ergeben. Diese Überlegung ist deshalb von großer Bedeutung, damit die Frage der Versorgungssicherheit der möglichen Wärmerückgewinnungskonzepte beantwortet werden kann.

Verwendet man statt den gemittelten Werten, die tatsächlichen monatlichen Spitzenverbräuche aller drei Gebäude und summiert diese, so ergibt sich ein maximal auftretender Höchstverbrauch von 123,8 kW/Monat.

Stellt man diese Überlegungen wiederholend an, und bezieht jedoch nur das Magazin und die Walzendreherei mit ein, ergibt sich ein mittlerer Höchstver-

brauch von 61,6 kW/Monat und ein maximal auftretender Höchstverbrauch von 86,9 kW/Monat.

Tabelle 10: theoretischer Heizbedarfsvergleich in den Jahren 2007-2009

Kombinationen	Mittlerer Höchstbedarf	Maximaler Höchstbedarf
[-]	[kW/Monat]	[kW/Monat]
WD+MZ+EW	84,7	123,8
WD+MZ	61,6	86,9

In Tabelle 10 sind die Summen des mittleren und des maximalen Heizungsbedarfs der Gebäude aufgelistet. Diese würden sich ergeben wenn die Verbrauchsspitzen der jeweiligen Objekte im selben Monat auftreten würden. Tabelle 10 weist dabei zwei Kombinationsmöglichkeiten auf, die Begründung liegt darin, dass die Walzendreherei und das Magazin im Gegensatz zur Elektrowerkstätte über kein Zentralheizungssystem verfügen, sondern ausschließlich mit Gasstrahlern beheizt werden. Dieser Umstand verlangt es, dass der Bedarf jener Gebäude ohne Zentralheizung gesondert betrachtet werden, um die Vergleichbarkeit mit den in Abschnitt 4.7.1 angeführten möglichen Wärmerückgewinnungskonzepten zu ermöglichen.

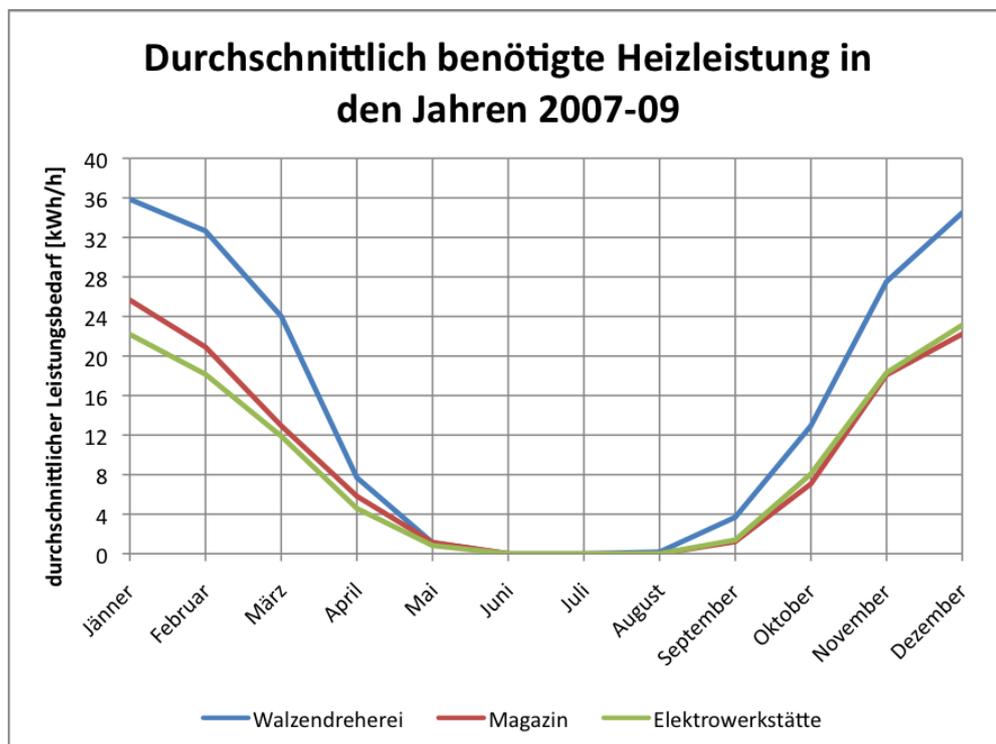


Abbildung 11: Durchschnittliche Heizleistung der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätte in den Jahren 2007-2009

Abbildung 11 zeigt den durchschnittlichen Heizleistungsbedarf der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätte innerhalb eines Kalenderjahres.

Dabei zeigt sich deutlich, dass der Erdgasbedarf der Walzendreherei bedeutend höher ausfällt, als jener der beiden anderen Objekte.

4.3 Grundlagen von Schraubenkompressoren

In der Kompressorstation Ost der *Stahl Judenburg GmbH* sind vier Schraubenkompressoren der Fa. Kaeser installiert. Es handelt sich dabei um zwei Aggregate des Types FS440 mit einer Nennleistung von 250 kW und zwei Kompressoren des Types DSD201 mit einer Nennleistung von 110 kW. Mit Hilfe dieser vier Schraubenkompressoren wird Pressluft mit einem Druck von 7 bar erzeugt und diese in das lokale Druckluftnetz eingespeist. Die Aufgabe dieser vier Verdichteranlagen ist es, die erforderliche Druckluft für das Walzwerk, den Blankstahlbetrieb Ost sowie für die Hilfsgebäude bereitzustellen.

4.3.1 Funktionsweise von Schraubenkompressoren

Schraubenkompressoren fallen unter den technischen Überbegriff der Verdichter. Die Aufgabe solcher Aggregate besteht darin, ein Umgebungsluftvolumen unter ambienten Druck, auf ein kleineres Volumen mit höherem Druck zu komprimieren. Abbildung 12 zeigt den schematischen Aufbau eines Kompressors.

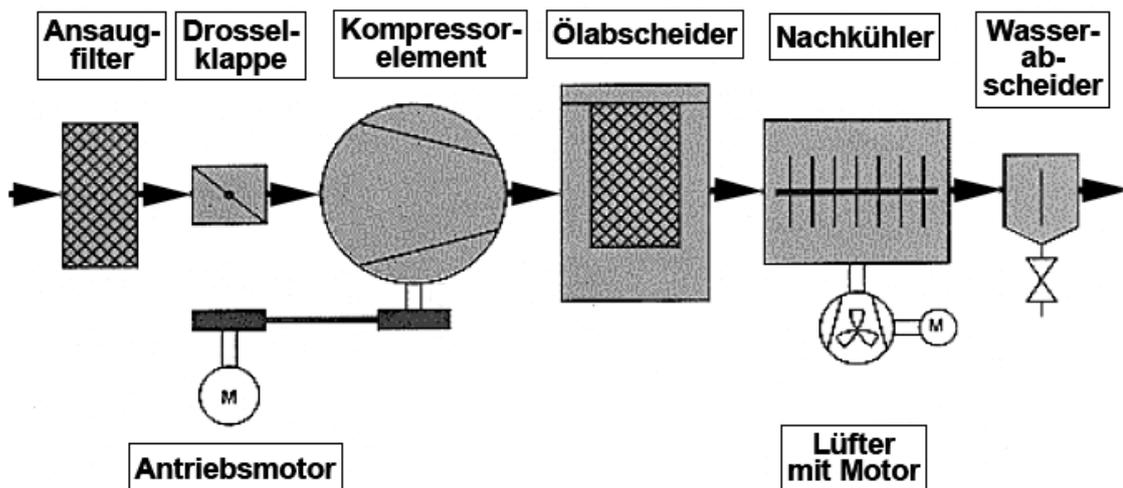
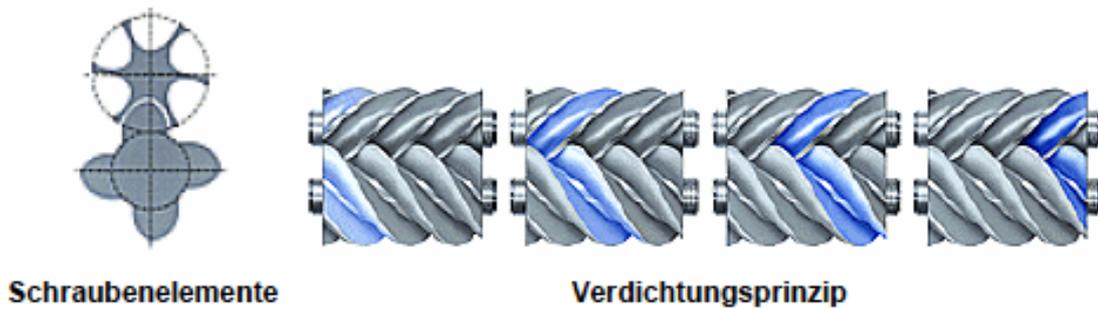


Abbildung 12: Schematischer Aufbau eines Kompressors¹⁰¹

Ein Schraubenkompressor besteht im Wesentlichen aus zwei Edelstahlwellen, welche ineinandergreifend spiralförmig verzahnt sind. Auf Grund der gegeneinander durchgeführten Rotationsbewegung der Wellen wird das zu komprimierende Fluid unter einer Volumsverkleinerung von der Saugseite zur Druckseite bewegt. Abbildung 13 auf der Folgeseite veranschaulicht den Aufbau und die Arbeitsweise von Schraubenelementen, wie sie in einem Rotationsverdichter zur Anwendung kommen. Diese Wellen sind permanent mit einem Ölfilm benetzt, um die Kühlung der Bauteile und die reibungslose Rotationsbewegung während des Verdichtens zu gewährleisten.

¹⁰¹ Vgl. Energie Schweiz (2010)



Rotationskompressoren werden mittels Elektromotoren betrieben und erzeugen einen relativ konstanten Überdruck. Um einen nahezu adiabaten Betriebszustand zu erreichen werden die schraubenförmigen Wellen über eine Öleinspritzung gekühlt. Während des Verdichtungs Vorganges nimmt das Öl die entstehende Wärme auf und führt diese über den Kühlkreislauf ab. Das Öl erfüllt neben der Kühlung die Funktionen der Schmierung und der Abdichtung der Verdichtersstufe.

Unmittelbar nach der Kompression besitzt die Druckluft hohe Temperaturen. Um diese Temperaturen zu senken, wird die Wärme mittels einer Nachkühlung abgeführt. Die Hauptemittenten von Abwärme in Kompressoren sind der Elektromotor, der Verdichter und die Druckluftnachkühlung. Diese Energie kann mittels Luft- oder Ölkühlung wieder zurückgewonnen werden. Abbildung 14 stellt die Wärmebilanz von Schraubenkompressoren in Form eines Sankey-Diagramms dar.

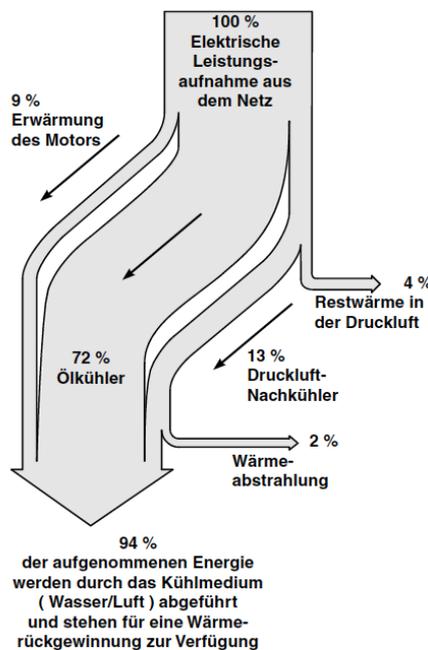


Abbildung 14: Wärmebilanz von Schraubenkompressoren¹⁰³

¹⁰² Vgl. Energie Schweiz (2010)

¹⁰³ Vgl. Drucklufttechnik (2009)

4.3.2 Thermodynamische Grundlagen

Die Verdichtung von Umgebungsluft auf erhöhte Druckzustände ist nur unter Einbringung von Energie in das System zu realisieren. Vor der eigentlichen Untersuchung des Kernthemas, die Rückgewinnung der durch Kompression entstehenden Abwärme, sollen die thermodynamisch relevanten Grundgrößen in diesem Kapitel diskutiert werden.

Die vorliegende Arbeit behandelt die Abwärmerückgewinnung von Kompressoren, dabei handelt es sich um thermodynamisch offene Systeme. Offene Systeme besitzen die Eigenschaft, dass es über ihre Systemgrenzen hinweg zu einem Stoff- wie auch zu einem Energieaustausch kommt. Wärme ist eine ungerichtete Energieform, welche aufgrund von Temperaturunterschieden nichtadiabatische Grenzen eines Systems zu seiner Umgebung überschreitet. Jene Arbeit, die an einem offenen System verrichtet wird, wird technische Arbeit genannt und setzt sich aus der technisch reversiblen Arbeit und der Dissipationsenergie zusammen.¹⁰⁴



Glg. 4-17

Die technisch reversible Arbeit beschreibt jene Energie, welche verlustfrei rückgewonnen werden kann, wenn man nach der äußeren Beeinflussung des Systems, dieses sich selbst überlässt und es selbstständig seinen ursprünglichen Ausgangszustand einnimmt. Bei der technischen Arbeit handelt es sich dabei immer um einen grenzüberschreitenden Energiefluss. Im Gegensatz dazu ist die Dissipationsenergie ein Verlustphänomen, welches ausschließlich innerhalb eines Systems auftritt. Dabei wird der Exergieanteil der Gesamtenergie in die technisch unwirksame Anergie gewandelt. Dies bedeutet, dass das System nach der äußeren Beeinflussung nicht wieder in den ursprünglichen Zustand gelangt, da Energie durch Dissipation verloren geht.

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik verallgemeinert den Energiebegriff. Weiters postuliert dieser die Energieerhaltung, welche als Grundlage von Energiebilanzen dient. Mithilfe der Zustandsgrößen der Anfangs- und Endbedingungen eines Systems, lässt sich die technisch reversible Arbeit als Enthalpiedifferenz ausdrücken. Unter Einbeziehung der kinetischen und potentialen Energieformen eines offenen adiabaten Systems, ergibt sich nachstehender Formelausdruck.¹⁰⁵



Glg. 4-18

¹⁰⁴ Vgl. Cerbe (2008) S. 60.

¹⁰⁵ Vgl. Cerbe (2008) S. 62.

In einem offenen, nichtadiabaten System müssen die Energieströme in Form von Wärme miteinbezogen werden. Dies führt zur vollständigen Ausformulierung des ersten Hauptsatzes und stellt gleichzeitig die Grundgleichung der Energiebilanzierung dar.¹⁰⁶

$$\boxed{\phantom{\text{Equation 4-19}}}$$

Glg. 4-19

Im konkreten Beispiel der Kompressoren kann die potentielle, wie auch die kinetische Energie aufgrund der geringen Rotationsgeschwindigkeit der Verdichtervellen, vernachlässigt werden. Somit vereinfacht sich die Gleichung folgendermaßen:

$$\boxed{\phantom{\text{Equation 4-20}}}$$

Glg. 4-20

Da alle natürlichen Prozesse verlustbehaftet und irreversibel sind, führt dies dazu, dass ein System nur dann wieder exakt in den Ursprungszustand gelangt, wenn sich die Zustandsänderung in infinitiv kleinen Schritten vollzieht. Um solche Irreversibilitäten mathematisch erfassen zu können, wird eine weitere Zustandsgröße angewandt. Dies ist die sogenannte Entropie, welche im zweiten Hauptsatz der Thermodynamik definiert wird.¹⁰⁷

$$\boxed{\phantom{\text{Equation 4-21}}}$$

Glg. 4-21

Die oben angeführte Formel zeigt, dass sich die Entropie ändert, wenn Wärme über die Systemgrenzen fließt ($dQ > 0$) oder wenn Energie im Systeminneren dissipiert. Diese thermodynamische Zustandsgröße ist ein Maß für die Unordnung in einem System. Neben der zahlenmäßigen Bewertung der Irreversibilität, bietet die Entropie eine anschauliche Darstellung, der bei einem Prozess auftretenden Wärme und Dissipationsenergie. Aus dieser Überlegung ergeben sich folgende Gleichungen.¹⁰⁸

$$\boxed{\phantom{\text{Equation 4-22}}}$$

Glg. 4-22

$$\boxed{\phantom{\text{Equation 4-23}}}$$

Glg. 4-23

Bei der Verrichtung von Arbeit wird Energie über die Systemgrenzen hinweg transportiert, wobei sich die Entropie nicht ändert, da es sich um gleichgerichteten

¹⁰⁶ Vgl. Cerbe (2008) S. 63.

¹⁰⁷ Vgl. Cerbe (2008) S. 83.

¹⁰⁸ Vgl. Cerbe (2008) S. 84.

Energietransport handelt. Während der erste Hauptsatz die Aussage darüber trifft, dass Energie nur umgeformt aber weder erzeugt noch verloren gehen kann, beschränkt der zweite Hauptsatz und die Systemumgebung auf die Umwandlung von einer Energieform in eine Weitere. Selbst bei ideal reversiblen Prozessen kann Wärme nicht vollständig in Arbeit umgeformt werden. Per Definition wird der beliebig umwandelbare Teil einer Energieform als Exergie bezeichnet.¹⁰⁹



Glg. 4-24

Während die Exergie jenen Bestandteil der Energie beschreibt, welcher sich bei vorgegebenen Zustandsbedingungen der Umgebung in jede andere nutzbare Energieform wandeln lässt, bezeichnet die Anergie jenen Energieanteil, der nicht in Exergie gewandelt werden kann und technisch ohne Bedeutung ist. Bei allen natürlichen Prozessen wird Exergie in Anergie umgewandelt, da natürliche Prozesse ohne Ausnahme irreversibel ablaufen. Es ergeben sich somit zwei unterschiedliche Energieklassen. Elektrische und mechanische Energie lassen sich unbeschränkt in weitere Energieformen wandeln, während die innere Energie, systemüberschreitende Wärmemengen und die Enthalpie nur beschränkt umwandelbar sind.¹¹⁰ Um den vollständigen Exergieanteil eines Systems nutzen zu können, müsste der Nutzenergieeintrag über die Systemgrenzen ohne Verluste ablaufen. Der Begriff der Exergie bezeichnet die Arbeitsfähigkeit von Energie.

In einem strömenden Fluid ist die Exergie der Betrag der maximalen, reversiblen, technischen Arbeit. Dies trifft zu wenn das Fluid, ausgehend vom Anfangszustand reversibel mit der Umgebung ins Gleichgewicht gebracht wird und der Endzustand gleich dem Zustand der Umgebung ist.¹¹¹



Glg. 4-25

Setzt man für die technisch reversible Arbeit den ersten Hauptsatz ein und vernachlässigt die kinetische und potentielle Energie, bedeutet dies, dass die Exergie der Enthalpie gleichzusetzen ist. H_1 bezeichnet damit die im System gespeicherte Energie während H_u die Energie der Umgebung beschreibt.



Glg. 4-26

¹⁰⁹ Vgl. Cerbe (2008) S. 147.

¹¹⁰ Vgl. Weber (1997) S. 44.

¹¹¹ Vgl. Cerbe (2008) S. 148.

Wird die Wärmemenge durch die Entropie aus dem 2. Hauptsatz ersetzt folgt daraus:

$$\boxed{}$$

Glg. 4-27

Die Energie der Umgebung (H_u) und die Entropiedifferenz bestimmen den Anergieanteil der Gesamtenergie H_1 . Daraus lässt sich die Abhängigkeit der nutzbaren Energie vom Zustand der Umgebung erkennen. Sobald das System über dasselbe Temperaturniveau wie dessen Umgebung verfügt, besteht die gespeicherte Energie nur mehr aus Anergie und kann somit keine Arbeit mehr verrichten.

Mithilfe der Exergie kann der Energiequalitätsgrad φ_{EQ} ermittelt werden. Dieser bewertet die Fähigkeit eines Energieträgers zur Energieumwandlung.¹¹²

$$\boxed{\phantom{\varphi_{EQ} = \frac{H_u - T_u \Delta S}{H_1}}}$$

Glg. 4-28

Mithilfe des Energiequalitätsgrades kann das Potential der entstehenden Abwärme von Systemen technisch bewertet werden.

4.4 Wärmerückgewinnung von Kompressoren

Bei der Druckluftherzeugung durch Kompressoren entstehen große Mengen an Abwärme, welche über Kühlsystem an die Umgebung abgeführt wird. Dieser Umstand bietet ein Reservoir an Wärmemengen, welche rückgewonnen werden können. Die Ausnutzung eines solchen Potentials ermöglicht signifikante Kosteneinsparungen im Bereich der Raumheizung bzw. der Bereitstellung von Warmwasser. Aus diesem Grund besteht das Bestreben, die Abwärmemengen, welche an den vier Kompressoren entstehen, innerbetrieblich bestmöglich zu nutzen.

Entsprechend den Herstellerangaben werden rund 94% der eingesetzten elektrischen Energie in Form von Abwärme am Fluidkühler, dem Druckluftnachkühler und am Antriebsmotor abgeführt. Es bestehen mehrere Möglichkeiten, diese Energiestöme wiederzugewinnen.

Die übrigen 6% der Einsatzenergie verbleiben zum Teil als Restwärme in der generierten Druckluft oder werden nicht rückgewinnbare Abstrahlverluste an die Umgebung abgegeben.¹¹³

Die zur Abwärmerückgewinnung möglichen Konzepte werden in den Abschnitten 4.4.2 und 4.4.3 behandelt.

¹¹² Vgl. Cerbe (2008) S. 160.

¹¹³ Vgl. KAESER Kompressoren (2001)

4.4.1 Arbeitstättenverordnung

Zur Bestimmung der erforderlichen Raumtemperatur in den betrachteten Objekten, welche für die Beheizung mittels der rückgewonnenen Abwärme der Kompressoren in Frage kommen, wurde §28 der Arbeitstättenverordnung als Entscheidungsgrundlage herangezogen. Dieser Paragraph regelt den Zustand des Raumklimas an Arbeitsstätten.

Gemäß dieser Norm ist in Arbeitsräumen, in welchen Arbeiten mit normaler, körperlicher Belastung durchgeführt werden, für eine Lufttemperatur zwischen 18 und 24 °C zu sorgen.¹¹⁴

4.4.2 Raumheizung

Die Abwärme, welche während des Betriebes des Schraubenkompressors am kombinierten Kompressoröl- und Druckluftnachkühler anfällt, kann mittels eines Blechkanalsystems den angrenzenden Räumlichkeiten zugeführt werden. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten am Standort der *Stahl Judenburg GmbH* könnte diese Option bei der Beheizung der Walzendreherei, des Magazins und der neuen Elektrowerkstätte Anwendung finden. Während der Sommermonate, in welchen eine Raumheizung obsolet ist, kann die Abwärme über Klappensysteme oder gegeneinander verriegelte Jalousien nach außen in die Umgebung abgeführt werden.

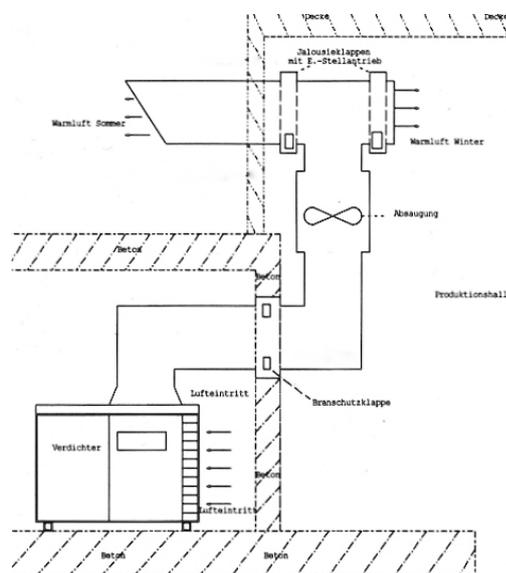


Abbildung 15: Schema der Ablufführung mittels Blechkanals¹¹⁵

¹¹⁴ Vgl. Arbeitstättenverordnung (2009)

¹¹⁵ Vgl. Druckluft-Info (2010)

4.4.3 Warmwassererwärmung

Die in Punkt 4.4.2 beschriebenen Möglichkeit der Wärmerückgewinnung dient ausschließlich dem Zweck der Raumheizung. Dies bedeutet, dass die Nutzung des Energiepotentials nur während den Heizmonaten erfolgen kann. Im Fall der Wiedergewinnung der Kompressorabwärme zur Erwärmung von Nutzwasser besteht die Möglichkeit der ganzjährigen Nutzung. Diese Art der Wärmerückgewinnung verlangt die Installation eines externen Sicherheitswärmetauschers an die Schraubenkompressoranlage.

Das entstehene Fluid-Luft-Gemisch im Kompressor wird mittels Fluidabscheider separiert. Dabei wird die Druckluft über den Druckluftnachkühler geführt und im Druckluftkessel gespeichert. Die Wärme, welche beim Kompressionsvorgang im Kompressor entsteht wird direkt vom Fluidkühler auf ein Kühlmedium übertragen und mittels Wärmeübertrager auf einen externen Wasserkreislauf übertragen. Das dadurch energetisch niederwertige Kühlmittel wird erneut dem Verdichtersystem zugeführt. Diese Form der Wiedergewinnung wird in Abbildung 16 dargestellt. Weiters wird das Warmwasser in einen Warmwasser-behälter gepumpt und steht dort dem Verbraucher zur Verfügung.

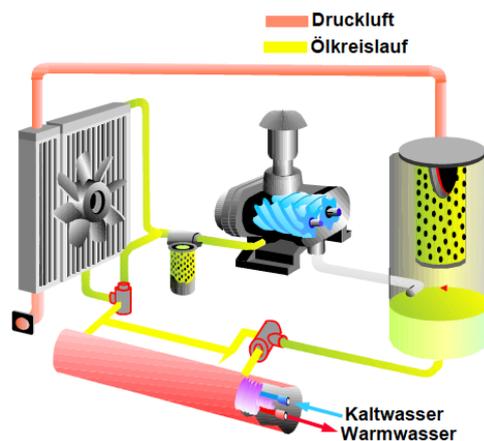


Abbildung 16: Brauchwassererwärmung für ölgekühlte Kompressoren¹¹⁶

Temperaturfühler und Wassermengenregler ermöglichen es, die Wasser-austrittstemperatur in einem konstanten Temperaturbereich zu halten. Dies erlaubt eine zuverlässige Betriebsweise, welche dafür verantwortlich ist, dass die Fluidparameter des Kühlkreislaufes nicht unter die optimalen Betriebsverhältnisse des Schraubenkompressors absinken. Für Wasser-temperaturen über 70°C stehen mehrere Wärmetauschertypen zur Verfügung. Bei Sicherheitswärmeübertragern sind die medienberührten Teile doppelt ausgeführt. Dies schützt im Falle von Leckagen vor einem Übertritt des Kühlmediums in das Brauchwassersystem.¹¹⁷

¹¹⁶ Vgl. Energie Schweiz (2010)

¹¹⁷ Vgl. KAESER Kompressoren (2001)

4.4.4 Simultane Energierückgewinnung an Kompressoren

In den Abschnitten 4.4.2 und 4.4.3 wurde jeweils eine der möglichen Formen der Wärmerückgewinnung an Kompressoren diskutiert. Es stellt sich dabei zwangsläufig die Frage, ob es nicht möglich wäre beide Rückgewinnungsformen simultan anzuwenden und somit eine höhere Rückgewinnungsquote erzielen zu können. Damit diese Frage schlüssig beantwortet werden kann, ist es notwendig, die Energiekreisläufe einer Kompressoranlage zu untersuchen. Um dies auf verständlichem Wege zu vermitteln, sollen die beiden nachfolgenden Darstellungen Einblick in die Verfahrensabläufe eines Kompressors liefern. Die Abbildung 17 und Abbildung 18 sind schematische Darstellungen und wurden gemäß der ÖNORM EN ISO 10628 angefertigt.

Abbildung 17 stellt den Kühlkreislauf des Kompressoröls und der Druckluft dar. Das Öl wird im Kreislaufgeführt, dabei wird es am Ölabscheider von der Pressluft getrennt und über einen Fluidkühler auf Betriebstemperatur gekühlt. Der abgetrennten Pressluft wird über einen Druckluftnachkühler die Restwärme entzogen und in einem Druckluftbehälter gespeichert. Zum besseren Verständnis wurden der Druckluftnachkühler und der Fluidkühler separat dargestellt. Tatsächlich bilden beide Kühlaggregate ein gemeinsames System.

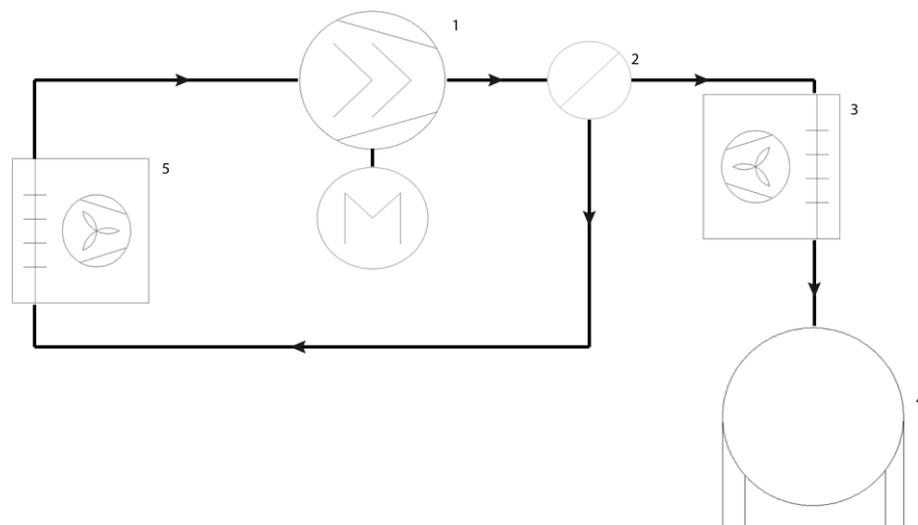


Abbildung 17: Schema eines Kompressor ohne Wärmetauscher im Kühlkreislauf

1. Schraubenkompressor mit Elektromotor
2. Ölabscheider
3. Druckluftnachkühler
4. Druckluftbehälter
5. Fluidkühler

Während der Kompression wird die elektrische Energie in Rotationsenergie und weiter in Wärme gewandelt, welche auf das Öl-Druckluftgemisch übertragen wird. Am nachgeschalteten Ölabscheider wird das entstandene Gemisch wie-

der in seine Phasen aufgetrennt. Dabei laufen die beiden Stoffe getrennt über einen Fluidkühler bzw. einen Druckluftnachkühler, an denen die enthaltene Wärme an die Kühlluft abgegeben wird. Dabei erlangen die Pressluft und das Kompressoröl einen energetisch niedrigeren Zustand. Die Kühlluft wird als Abluft über ein Gebläse abgeführt und besitzt eine Temperatur von durchschnittlich 50°C. Darin enthalten sind die übertragenen Wärmemengen der Pressluft, des zirkulierenden Kompressorkühlmittels und die Abwärme des Elektromotors, mit dem der Kompressor betrieben wird. Dieser Abluftstrom kann zu Raumheizzwecken verwendet werden. Abbildung 18 stellt das mittels Plattenwärmetauscher erweiterte Kompressorschema dar. Wie in Abbildung 17 wurden der Druckluftnachkühler und der Fluidkühler separat dargestellt, um die Übersicht zu vereinfachen.

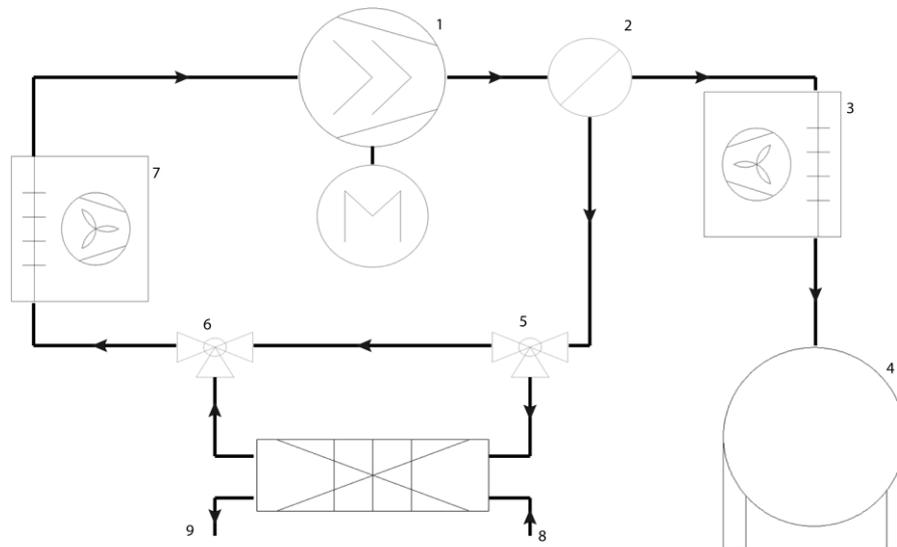


Abbildung 18: Schema eines Kompressor mit Wärmetauscher im Kühlkreislauf

- | | | | |
|----|--------------------------------------|--------|-----------------|
| 1. | Schraubenkompressor mit Elektromotor | 5 u. 6 | Dreiweegeventil |
| 2. | Kondensatabscheider | 7. | Fluidkühler |
| 3. | Druckluftnachkühler | 8. | Kühlwasser |
| 4. | Druckluftbehälter | 9. | Heizwasser |

Wird nun ein Wärmetauscher an den Kompressor montiert, erweitert sich der Kreislauf der Kompressorkühlung. Die Pressluft wird weiters über den Druckluftnachkühler gekühlt, dem zirkulierenden Kompressoröl wird jedoch über den Wärmeübertrager Wärme entzogen und auf den externen Wasserkreislauf übertragen. Nach dem Durchlaufen des Wärmeübertragers gelangt das Kompressoröl mit einem deutlich niedrigeren Energieniveau an den Fluidkühler. Somit fällt die Temperaturdifferenz zwischen dem Öl und der Kühlluft geringer aus gegenüber einer herkömmlichen Anlage ohne Wärmetauscher. Dies verhindert, dass eine simultane Rückgewinnung der Kompressionsabwärme für die Warmwassererzeugung und für Raumheizzwecke erreicht werden kann. Da der exergetische Anteil der Abluft bei einer Anlage mit Wärmetauscher zu gering ist um technisch erfolgreich genutzt werden zu können.

Das Ergebnis dieser Betrachtung ist, dass eine simultane Nutzung technisch machbar ist, aus thermodynamischen Gründen jedoch keinen Sinn ergibt.

4.5 Berechnung der verfügbaren Abwärmemengen

Um die Machbarkeit der angedachten Wärmerückgewinnungskonzepte prüfen zu können, musste eine sorgfältige Evaluierung des technisch nutzbaren Potentials der Kompressorenabwärme durchgeführt werden. Im ersten Schritt wurden die theoretischen Wärmemengen mithilfe der Herstellerdaten kalkuliert. Nachfolgend wurden Messungen an den Aggregaten durchgeführt, um der Strom- bzw. Leistungsaufnahme der Kompressoren zu ermitteln. Mit den Daten der Messungen wurden die rückgewinnbaren Energiemengen erneut kalkuliert und mit den theoretischen Wärmemengen verglichen.

Abschnitt 4.5.1 beinhaltet die Berechnungen zur Wärmerückgewinnung mittels Abluftkonzepts. Abschnitt 4.5.2 beinhaltet die Berechnungen zur Wärmerückgewinnung mittels Wärmeübertrager.

4.5.1 Berechnung der nutzbaren Abwärmemenge der Abluft

Zur Berechnung der theoretisch nutzbaren Wärmemenge der Kompressortypen FS440 und DSD201 wurden die Werte der entsprechenden Datenblätter herangezogen. Die Werte der Wärmekapazität und Dichte von Luft wurden mit den im Anhang angeführten Glg. 7-1 und Glg. 7-5 errechnet. Die Temperaturdifferenz von 30 K ergibt sich aus den Tagesmittelwerten der Ablufttemperatur und der durch die Arbeitsstättenverordnung vorgeschriebene Innenraumtemperatur von 20 °C. Der Messaufbau und die Messwerte für die Ablufttemperaturen der Kompressoren werden im Abschnitt 4.6.1 dargelegt. Die abgegebenen Wärmeleistungen wurde mittels Glg. 4-29 errechnet:



Glg. 4-29

Tabelle 11: Berechnung der theoretisch rückgewinnbaren Wärmeleistung der Kompressorentypen FS440 und DSD201 mithilfe des Abluftvolumenstroms aus den Datenblättern.

Kompressortyp	Abluftstrom	Luftdichte	Wärmekapazität Abluft	ΔT	theoretische Wärmeleistung der Abluft
-]	[m ³ /h]	[kg/m ³]	[kJ/kg.K]	[K]	[kW]
FS440	40.000 ¹¹⁸	1,0922	1,0048	30	366
DSD201	14.000 ¹¹⁹	1,0922	1,0048	30	128

Bei der Anwendung der Glg. 4-29 auf beide Kompressorentypen, errechnet sich eine theoretisch wiedergewinnbare Wärmeleistung von 366 kW an den Kompressoren des Typs FS440 und 128 kW an den DSD201 Kompressoren

¹¹⁸ Vgl. Datenblatt FS440

¹¹⁹ Vgl. Datenblatt DSD201

Zusätzlich zu den Ergebnissen aus Glg 4-29 wurde die theoretische Wärmeleistung auf einem zweiten Weg berechnet. Dabei wurde die angegebene Nennleistung der Kompressoren herangezogen und mit dem von der Herstellerfirma angegebenen, Wiedergewinnungswirkungsgrad für Wärme multipliziert. Das Produkt ergibt die theoretische Wärmeleistung, welche über das Abluft-Kühlsystem wiedergewonnen werden kann.

Die verwendeten Werte aus den Datenblättern und die Resultate der Berechnung nach Glg. 4-3 sind in Tabelle 12 ausgewiesen.



Glg. 4-30

Tabelle 12: Berechnung der theoretisch rückgewinnbaren Wärmeleistung der Kompressortypen FS440 und DSD201 mithilfe der theoretischen Nennleistung aus den Datenblättern

Kompressortyp	Nennleistung	Abwärme-Rückgewinnung	theoretische Heizleistung der Abluft
[-]	[kW]	[η]	[kW]
FS440	285	0,96	274
DSD201	124	0,96	119

Vergleicht man die Ergebnisse der theoretisch rückgewinnbaren Wärmeleistung in Tabelle 11 und Tabelle 12, treten markante Unterschiede auf.

Um die tatsächliche Leistungsaufnahme der entsprechenden Kompressoren kalkulieren zu können, wurde die angelegte Klemmspannung, sowie die Ströme im Last- wie auch im Leerlaufbetrieb gemessen. Der Wirkungsgrad ($\cos\varphi$) des Motors wurde an der Spezifikationsplakette vor Ort abgelesen. Die Gesamtleistungsaufnahme der installierten Kompressoren wurde mit Glg. 4-31 errechnet:



Glg. 4-31

Die Messdaten der vier Kompressoren und die sich daraus ergebenden Resultate der Nennleistungsberechnung sind in Tabelle 13 ausgewiesen. Die Berechnung der Abluftwärmeleistung wurde mit Glg. 4-32 durchgeführt.



Glg. 4-32

Tabelle 13: Berechnung der Leistungsaufnahme der Kompressoren, basierend auf Messdaten

Kompressor	Laststrom [I _L]	Spannung [U]	(Cos φ)	Leistungs- Aufnahme [P]	Abwärm- rückgewin- nung	Heizleistung Abluft
[-]	[A]	[V]	[-]	[kW]	[η]	[kW]
FS440 (V1)	372	500	0,87	280	0,94	263
FS440 (V2)	367	500	0,87	276	0,94	259
DSD201 (V3)	170	500	0,85	125	0,94	118
DSD201 (V4)	165	500	0,85	121	0,94	114

Tabelle 14: Vergleich der berechneten theoretischen Wärmeleistung der Kompressorenabluft mit der tatsächlichen Wärmeleistung basierend auf Messwerten

Kompressor	Art der Untersu- chung	Bezugsquelle der Berechnung	Heizleistung der Abluft
[-]	[-]	[-]	[kW]
FS440	theoretisch	Volumenstrom (Da- tenblatt)	366
FS440	theoretisch	Nennleistung (Daten- blatt)	274
FS440 (V1)	praktisch	Nennleistung (Meß- werte)	263
FS440 (V2)	praktisch	Nennleistung (Meß- werte)	259
DSD201	theoretisch	Volumenstrom (Da- tenblatt)	128
DSD201	theoretisch	Nennleistung (Daten- blatt)	119
DSD201 (V3)	praktisch	Nennleistung (Meß- werte)	118
DSD201 (V4)	praktisch	Nennleistung (Meß- werte)	114

Die Gegenüberstellung der unterschiedlichen Berechnungsansätze zeigt, dass die Resultate der tatsächlich abgegebenen Wärmeleistungen mit jenen theoretischen Leistungen korrelieren, welche auf Basis der Datenblatt-Nennleistung errechnet wurden. Abweichungen zeigen sich im Vergleich der tatsächlichen Leistungswerte, mit jenen vom Hersteller angeführten Abluftvolumenströmen errechneten Werten. Weiterführende Untersuchungen wurden konservativ mit den niedrigsten Ablufttheizleistungen durchgeführt.

4.5.2 Berechnung der nutzbaren Abwärmemenge des Kühlfluids

Die bei der Kompression, am Verdichter, entstehende Abwärme wird über ein zirkulierendes organisches Kühlmedium abgeführt. Dem Kühlmedium wird die aufgenommene Wärme mittels eines Wärmeübertragers auf ein externes Wassersystem übertragen. Die Berechnung dieser wiedergewinnbaren Wärmeleistung erfolgt zunächst mithilfe der Datenblätter, und des Weiteren mittels gemessener Werte.

Bei der Ermittlung der theoretischen Wärmeleistung wird die Motoraufnahmeleistung mit dem vom Hersteller angegebenen Motorenwirkungsgrad multipliziert. Daraus resultiert die Motorenabgabeleistung, welche mit dem Wirkungsgrad der Wärmeübertragung auf das Kühlmedium multipliziert wird. Dadurch ist es möglich die nutzbare Wärmeleistung zu berechnen. Dieser Zusammenhang wird durch Glg. 4-33 wiedergegeben. Die Daten und Ergebnisse sind in Tabelle 15 aufgelistet.



Glg. 4-33

Tabelle 15: Berechnung der theoretisch rückgewinnbaren Wärmeleistung aus dem Kühlfluid der Kompressortypen FS440 und DSD201 mithilfe der theoretischen Motorenleistung

Kompressortyp	Motor Aufnahmeleistung	η_{Motor}	Motor Abgabeleistung	$\eta_{\text{Wärmeübertragung}}$	theoretische Wärmeleistung des Kühlfluids
[-]	[kW]	[-]	[kW]	[-]	[kW]
FS440	267	0,94	251	0,80	201
DSD201	117	0,94	110	0,80	88

Rund 72 % der aufgenommenen Nennleistung eines Kompressors können laut Kompressorhersteller am Fluidkühler wieder rückgewonnen werden. Mithilfe dieses Wirkungsgrades kann die Wärmeleistung der Kompressoren berechnet werden. Tabelle 16 gibt die rückgewinnbaren Wärmeleistungen beider Kompressortypen wieder. Diese wurden mit den tatsächlichen Nennleistungen aus Tabelle 13 berechnet.

Tabelle 16: Berechnung der theoretisch rückgewinnbaren Wärmeleistung aus dem Kühlfluid der Kompressortypen FS440 und DSD201 mithilfe der theoretischen Nennleistung

Kompressortyp	Kompressor Nennleistung	Wärmerückgewinnung-Wirkungsgrad	theoretische Wärmeleistung des Kühlfluids
[-]	[kW]	[-]	[kW]
FS440	285	0,72	205
DSD201	124	0,72	89

Tabelle 17: Berechnung der rückgewinnbaren Wärmeleistung aus dem Kühlfluid der Kompressorarten FS440 und DSD201, basierend auf Messdaten

Kompressortyp	Nennleistung	$\eta_{\text{Fluidkühler}}$	Wärmeleistung des Kühlfluids
[-]	[kW]	[-]	[kW]
FS440 (V1)	280	0,72	202
FS440 (V2)	276	0,72	199
DSD201 (V3)	125	0,72	90
DSD201 (V4)	121	0,72	88

Die Werte der Kompressorenennleistung wurde bereits im Abschnitt „Berechnung der nutzbaren Abwärmemenge der Abluft“ ermittelt und direkt aus Tabelle 13 übernommen.

Tabelle 18: Vergleich der berechneten theoretischen Wärmeleistung des Kühlmediums mit der tatsächlichen Wärmeleistung basierend auf Messwerten

Kompressor	Art der Untersuchung	Bezugsquelle der Berechnung	Wärmeleistung des Kühlmediums
[-]	[-]	[-]	[kW]
FS440	theoretisch	Motorleistung (Datenblatt)	201
FS440	theoretisch	Nennleistung (Datenblatt)	205
FS440 (V1)	praktisch	Nennleistung (Meßwerte)	202
FS440 (V2)	praktisch	Nennleistung (Meßwerte)	199
DSD201	theoretisch	Motorenleistung (Datenblatt)	88
DSD201	theoretisch	Nennleistung (Datenblatt)	89
DSD201 (V3)	praktisch	Nennleistung (Meßwerte)	90
DSD201 (V4)	praktisch	Nennleistung (Meßwerte)	88

Die Gegenüberstellung der Resultate der unterschiedlichen Berechnungsansätze zeigt, dass die tatsächlichen Wärmeleistungen der Kompressoren sehr gut mit den theoretischen Leistungen übereinstimmen. Weiterführende Untersuchungen wurden aus Gründen der Sicherheit, konservativ mit den niedrigsten Wärmeleistungen der jeweiligen Kompressortypen durchgeführt

4.5.3 Berechnung der verfügbaren Warmwassermengen

Die zu erwartenden Warmwassermengen wurden mithilfe der Nennleistungen aus Tabelle 17 und der folgenden Formel errechnet.



Glg. 4-34

Der c_p -Wert (4,18 kJ/kg*K), wie auch jener der Dichte von Wasser (1000 kg/m³), wurde aufgrund der geringen Temperaturdifferenz als konstant angenommen. Der Temperaturunterschied von 25°C ist ein vom Kompressorhersteller vorgegebener Wert. Dieser setzt sich aus der maximal erreichbaren Temperatur, bei der Übertragung der Wärme vom Kompressorkühlmedium auf das Wasser und der vorprogrammierten Mindesttemperatur von 45°C des Kühlmediums zusammen. Die berechneten Warmwassermengen sind in Tabelle 19 aufgelistet. Es wird dabei zwischen der stündlich erzeugbaren Warmwassermenge und der täglich erzeugbaren Warmwassermenge unterschieden. Diese Differenzierung ist notwendig, da die beiden Kompressortypen im Verlauf des Tages verschiedenlange Betriebszeiten aufweisen. Die Kompressoren des Typs FS440 sind 9 Stunden am Tag in Betrieb, während die Kompressoren des Typs DSD201 15 Stunden betrieben werden. Die Schaltzeiten der Kompressoren sind im Kapitel 4.6.2 detailliert dokumentiert.

Tabelle 19: Warmwasserverfügbarkeit

Kompressor	Spezifische Warmwassermenge	tägliche Betriebszeit	tägliche Warmwassermenge
[-]	[m ³ /h]	[h]	[m ³ /d]
FS440 (V1)	6,95	9	62,5
FS440 (V2)	6,86	9	61,7
DSD201 (V3)	3,10	15	46,5
DSD201 (V4)	3,01	15	45,2

Mit dem Wärmerückgewinnungskonzept von installierten Wärmeübertragern an FS440 Kompressoren können an Werktagen in der Zeit von 7 Uhr früh bis 16 Uhr rund 60 m³ Warmwasser mit einer Temperatur von 70°C zur Verfügung gestellt werden. Trotz der längeren Betriebszeit der DSD201 Kompressoren fällt die Warmwasserleistung aufgrund der niedrigeren Nennleistung der Aggregate gegenüber der FS440 um rund 26 % geringer aus. Dies bedeutet, dass die Aggregate des Typs DSD201 in ihrer täglichen Betriebszeit von 15 Stunden rund 45 m³ Warmwasser in einem Temperaturbereich von 70°C zur Verfügung stellen können.

4.6 Messungen und Untersuchungen

Für die dem Wärmekonzept zugrundeliegenden technischen Berechnungen war es notwendig, die tatsächlichen Temperaturniveaus an den Kompressoren aufzunehmen. Aus diesem Grund wurden die Temperaturen der Abwärme an den Aggregaten über mehrere Wochen gemessen und dokumentiert.

4.6.1 Temperaturmessung der Kompressorenabluft

Um die Temperaturniveaus der Kompressorenabluftströme eruiieren zu können, wurden vorort Meßschaltungen aufgebaut. Dabei wurden mittig in jedes Abluftleitsystem der Kompressoranlagen ein PT-100 Thermoelement installiert und an einen Datenlogger angeschlossen. Während die beiden FS440 Aggregate einen separaten Abluftkanal besitzen wurde die Temperaturmessung der beiden DSD201 Kompressoren am gemeinsamen genutzten Abluftleitsystem durchgeführt. Die Temperaturverläufe wurden vier Wochen lang mit einem Datenlogger 5100V der Fa. Eurotherm Chessell aufgezeichnet. Die Messung verlief kontinuierlich, bei der Datenauswertung wurden die stündlich gemessenen Ablufttemperaturen der Kompressoren manuell aus dem Messprotokoll ausgelesen, notiert und analysiert. Diese Auswertung findet sich im Abschnitt I des Anhangs wieder. Die Tagesmittelwerte finden sich in Tabelle 20 wieder. Weiters sind diese Daten in Abbildung 19 grafisch dargestellt.

Tabelle 20: Mittleres Temperaturniveau der Abluft der Kompressorstation Ost

Wochentag	KW 37	KW 38	KW 39	KW 40	Tagesmittelwert
[-]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Montag	45,9	45,0	49,4	46,2	46,6
Dienstag	48,6	52,7	49,3	51,4	50,5
Mittwoch	49,4	51,5	52,1	48,6	50,4
Donnerstag	47,3	54,1	49,5	50,5	50,4
Freitag	50,9	49,9	53,4	46,4	50,2
Samstag	38,8	38,1	35,6	35,5	37,0
Sonntag	36,1	36,5	33,6	34,4	35,2
Gesamtwoche - Mittelwert	45,3	46,8	46,1	44,7	-
Arbeitswoche - Mittelwert	48,4	50,6	50,7	48,6	-

Das Temperaturniveau der Abluft liegt an den Tagen von Dienstag bis Freitag bei 50 °C. Am Wochenende dienen die Kompressoren dazu, auftretende Druckverluste im Pressluftnetz zu kompensieren. Dadurch ergeben sich geringe Temperaturwerte. In weiterer Folge beeinflusst dieser Umstand die Tatsache, dass die Ablufttemperatur am Wochenbeginn im Mittel unter 50 °C liegt, da die Anlagen im Werk nicht ad hoc mit Volllast betrieben werden können. Der arithmetische Mittelwert einer Arbeitswoche von Montag bis Freitag weist ein mittleres Temperaturband von 48 °C bis etwa 50 °C auf.

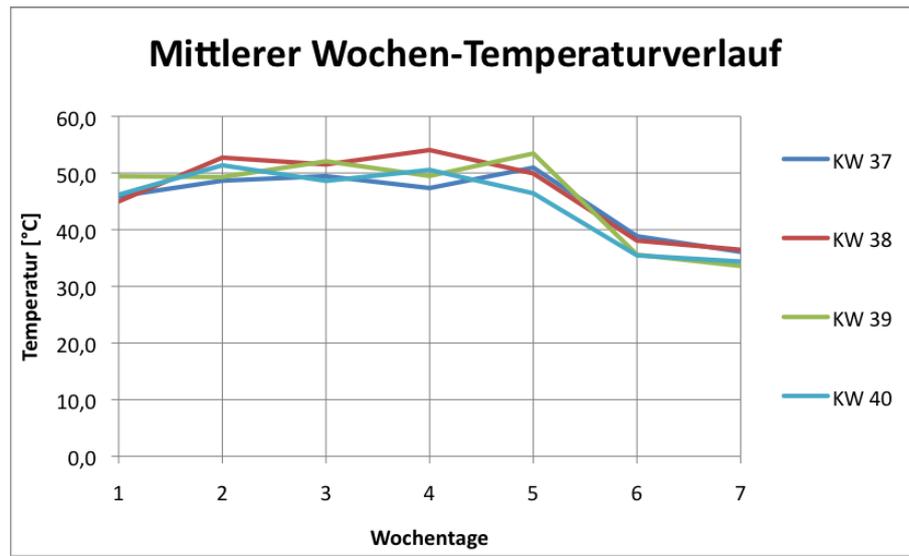


Abbildung 19: Darstellung des mittleren Temperaturniveaus der Abluft in der Kompressorstation Ost

Abbildung 20 zeigt den Aufbau der Schaltung zur Bestimmung der Ablufttemperaturen. In den Seitenwänden der beiden Blechabluftkanäle der Kompressoren FS440 V1 und V2 sind die Anschlüsse sowie die Verkabelung der PT-100 Thermoelemente ersichtlich. Daneben, in Abbildung 21, ist der angesteuerte Daten-Logger veranschaulicht. Am Display lässt sich die sprunghafte Temperaturänderungen aufgrund der Kompressorschaltzeiten erkennen. Die Auswertung dieser Aufzeichnungen findet sich im Anhang, des Kapitels I wieder.



Abbildung 20: Aufbau der Mess-Schaltung



Abbildung 21: Daten-Logger 5100V

4.6.2 Kompressorschaltzeiten

In der Kalenderwoche 47 des Jahres 2009 wurde von der Fa. Kaeser eine Druckluftverbrauchsmessung an den vier Verdichtern der Kompressorstation Ost durchgeführt. Ziel dieser Messung war es, die Schaltzyklen und Auslastungen der Kompressoren zu erfassen und zu analysieren. Das Ergebnis der Untersuchung verdeutlicht die Schaltzeiten der Kompressoren und stellt die tatsächliche Leistungsaufnahme dar.

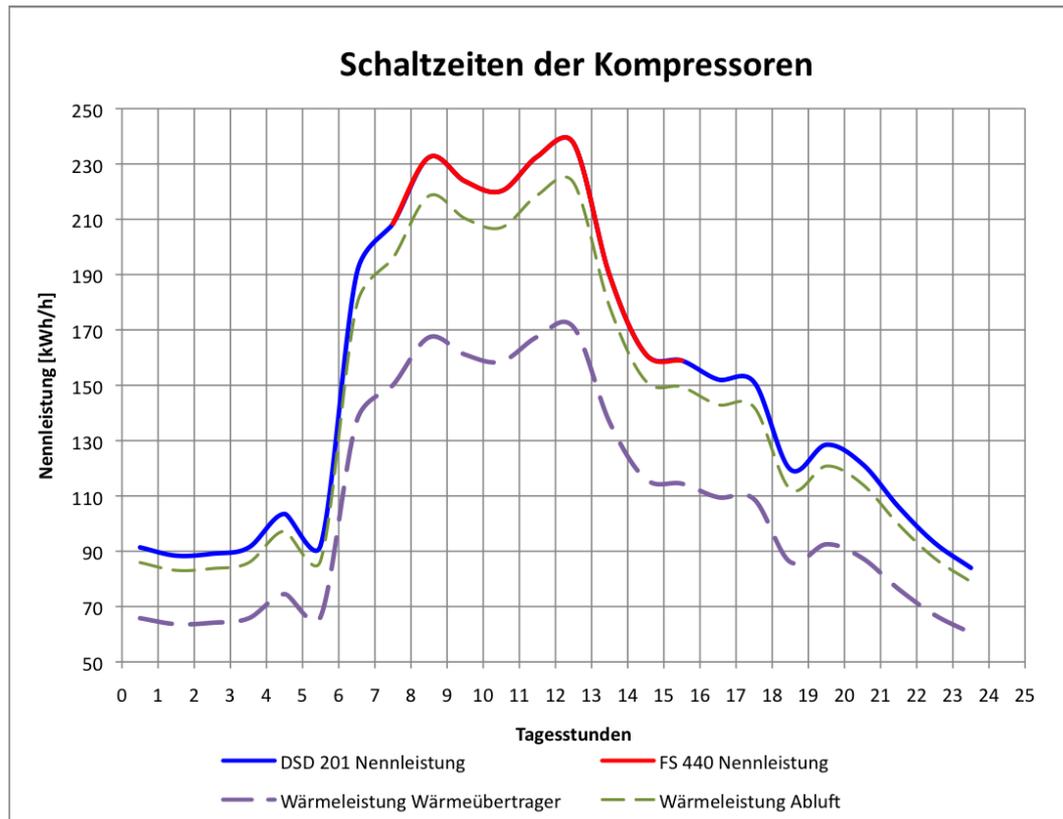


Abbildung 22: Schaltzeiten der Kompressoren und mögliche nutzbare Wärmeleistung an Werktagen

Abbildung 22 bildet schematisch die Betriebsstunden der Kompressorentypen an Werktagen in der Form ab, dass die aufgenommene Nennleistung des aktiven Verdichters über die Betriebsdauer aufgetragen wird. Zusätzlich sind die gewinnbaren Wärmeleistungen im Diagramm eingetragen. Es ist deutlich erkennbar, dass die leistungsstärkeren Aggregate während der Tagschicht arbeiten und somit höhere rekuperierbare Energiemengen in dieser Zeit zur Verfügung stellen.

Das Ergebnis der Untersuchungen zeigte, dass die Kompressoren des Typs FS440 täglich alternierend in der Zeit von 7 Uhr früh bis 16 Uhr nachmittags im Einsatz sind. Die Kompressoren des Typs DSD201 arbeiten ebenfalls täglich abwechselnd in der Zeit zwischen 16 und 7 Uhr. Dieses Muster gilt ausschließlich an Wochentagen. An Wochenenden werden auftretende Druckverluste im Netz ausschließlich durch die Kompressoren der Baureihe DSD201 ausgeglichen. Die FS440 Kompressoren sind an Wochenenden nicht in Betrieb und liefern somit keine rückgewinnbare Energie.

Dies bedeutet, dass aufgrund der ungleichen Einsatzzeiten und der differierenden Nennleistungen der Kompressoren die Abwärmemenge während des Tagesverlaufs nicht konstant verfügbar ist. Diese Tatsache deutet darauf hin, dass die Nutzung eines einzelnen Kompressortyps kein zufriedenstellendes Ergebnis für eine vollständige Substituierung der herkömmlichen Raumheizung liefert. Um das angestrebte Raumtemperaturniveau während der Dienstzeiten halten zu können, müssen somit alle installierten Kompressoren in das Konzept mit einbezogen werden. Dies gilt besonders, wenn auf die Beheizung mit Gasheizstrahlern verzichtet werden soll. Sollte die Abwärme jedoch nur zur Warmwassererhitzung genutzt werden, würde es genügen, ein Konzept für einen einzelnen Kompressortyp auszuarbeiten.

Die in Abschnitt C.c des Anhangs angeführten Tabelle 46 und Tabelle 47 dokumentieren die spezifischen Abwärmemengen je Stunde. Die erreichbaren Tagesmittelwerte, welche die Betriebszeiten der Aggregate berücksichtigen, sind in Tabelle 21 angeführt.

Tabelle 21: Nutzbare Wärmeleistung der Kompressortypen DSD201 und FS440 im Wochenspiegel

Wochentag	Abluftrückgewinnungskonzept		Wärmetauscherkonzept	
	DSD201	FS440	DSD201	FS440
[-]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
Dienstag	108,9	198,9	81,7	149,2
Mittwoch	112,9	218,9	84,6	164,2
Donnerstag	101,8	318,4	76,4	238,8
Freitag	102,1	233,1	76,6	174,8
Samstag	25,1	0,0	18,8	0,0
Sonntag	17,7	0,0	13,2	0,0

Die erhöhten Werte am Donnerstag und Freitag ergeben sich aufgrund des Parallelbetriebs der FS440 Kompressoren V1 und V2. Im Zuge der wöchentlichen Spülung der Rohrleitung des Pumpenhauses kommt es zu einem erhöhten Bedarf an Druckluft. Aus Gründen der Übersicht und Verständlichkeit wurden die gemittelten Daten der Tabelle 21 in Abbildung 23 und Abbildung 24 visualisiert.

Abbildung 23 und Abbildung 24 bilden die technisch nutzbaren Wärmemengen ab, welche an den Kompressoren wiedergewonnen werden können. Es ist erkennbar, dass die zur Verfügung stehende Wärmeleistung der DSD201 Kompressoren an Wochentagen von der 16 Uhr bis 7 Uhr früh im Schnitt mindestens 100 kW beträgt. Die abgegebene Wärmeleistung der leistungsstärkeren FS440 Kompressoren beträgt im ungünstigsten Fall rund 200 kW und steht im Zeitraum von 7 Uhr bis 16 Uhr zur Verfügung. Jedoch liegt die nutzbare Wärmeleistung an Wochenenden deutlich unter jenen Werten, welche an Werktagen erreicht werden können.

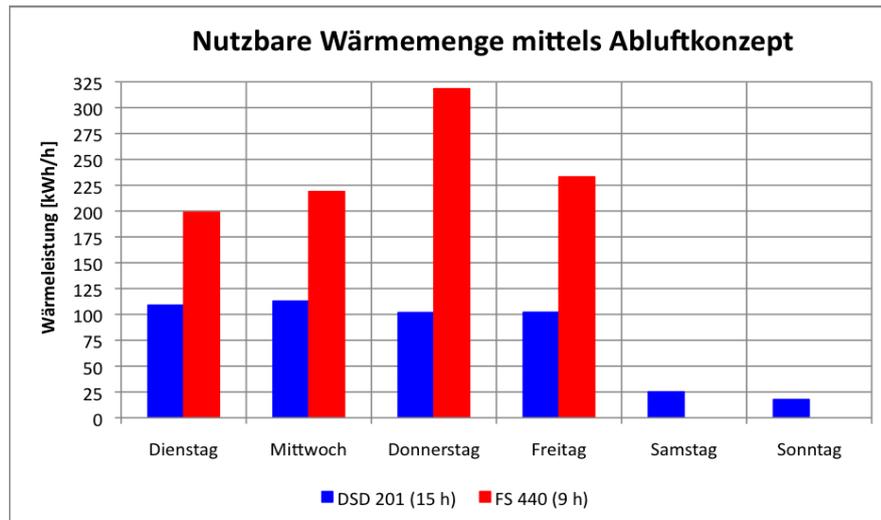


Abbildung 23: mittlere technisch nutzbare Wärmemenge mittels Abluftkonzepts

Im Fall des Warmwasserkonzepts mithilfe eines Wärmeübertragers lässt sich erkennen, dass die zur Verfügung stehende Wärmeleistung der DSD201 Kompressoren an Wochentagen von der 16 Uhr bis 7 Uhr früh mindestens 75 kW beträgt. Die abgegebene Wärmeleistung der leistungsstärkeren FS440 Kompressoren beträgt im ungünstigsten Fall 150 kW und kann im Zeitraum von 7 Uhr bis 16 Uhr genutzt werden. Auch hier liegt die nutzbare Wärmeleistung an Wochenenden deutlich unter den Werten an Werktagen.

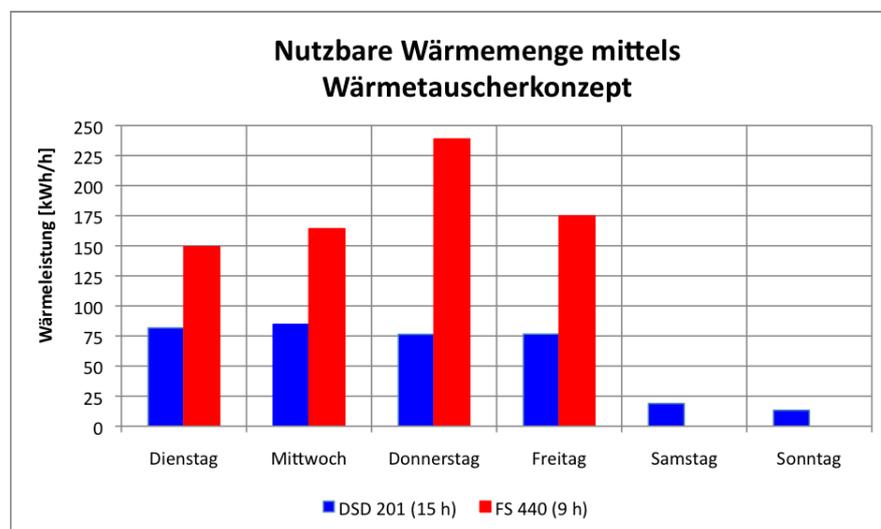


Abbildung 24: mittlere technisch nutzbare Wärmemenge mittels Wärmeübertragerkonzepts

Werden diese Ergebnisse einem Vergleich mit den Werten der Tabelle 10 unterzogen, zeigt sich, dass die Beheizung der Gebäude technisch umsetzbar und eine gleichzeitige Versorgung mehrerer Arbeitsstätten möglich ist.

4.7 Einsparungspotentiale

Um das Einsparungspotenzial im Bereich des Erdgasverbrauchs bestimmen zu können, wurden fünf Szenarien erdacht und untersucht. Die Untersuchungen basieren dabei auf den rückgewinnbaren Wärmeleistungen, wie sie in Abschnitt 4.5 berechnet wurden, sowie den historischen Heizleistungsverbrauch der Jahre 2007, 2008 und 2009. Eine fundamentale Bedeutung kommt in diesen Szenarien den Kompressorschaltzeiten zu, welche im Abschnitt 4.6.2. der vorliegenden Arbeit diskutiert werden. Die Kombination der eben genannten Kriterien führt zu den fünf möglichen Formen der Wärmerückgewinnung, welche auf den Seiten ausführlich beschrieben werden.

4.7.1 Konzeptformen der Wärmerückgewinnung

Die nachstehenden Beschreibungen der Szenarien erläutern die mögliche Versorgungsform (Abluftbeheizung oder Warmwasseraufbereitung), die integrierten Kompressortypen und deren spezifischen Verfügbarkeiten.

Szenario 1 (Abluftkonzept DSD201)

Diesem Szenario liegt die Annahme zugrunde, dass ausschließlich die Abwärmeströme der beiden DSD201 Kompressoren über ein Abluftleitsystem rückgewonnen werden. Die Abluft mit einer durchschnittlichen Temperatur von 50 °C dient dabei der Beheizung örtlich nahegelegener Arbeitsstätten. Die Kompressorschaltzeiten ermöglichen es, einen täglich Heizbetrieb von 15 Stunden aufrechtzuhalten. Während der verbleibenden 9 Stunden wird die Heizleistung über konventionelle Gasstrahler gedeckt.

Abbildung 25 stellt die garantiert verfügbare Wärmeleistung der DSD201 Kompressoren in einem Zeitraum von 24 h dar. Während der Zeit von 7 bis 16 Uhr sind die DSD201 Kompressoren nicht aktiv, daher ist zur Aufrechterhaltung der Raumtemperatur die Beheizung mittels Gasheizstrahler notwendig.

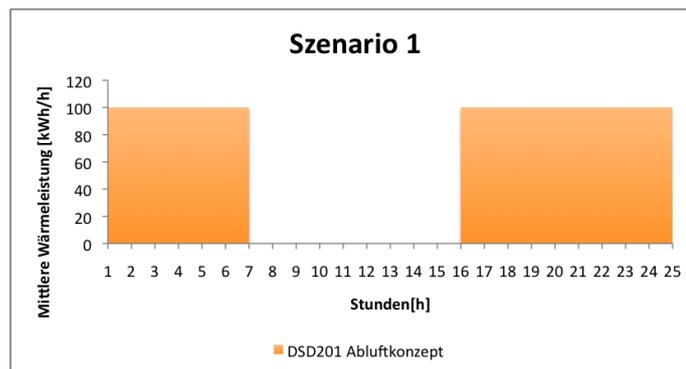


Abbildung 25: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der DSD201 Kompressoren, bei Realisierung eines Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 1

Szenario 2 (Abluftkonzept FS440)

Diesem Szenario liegt die Annahme zugrunde, dass ausschließlich die Abwärmeströme der beiden FS440 Kompressoren über ein Abluftleitsystem rückgewonnen werden. Die Abluft mit einer durchschnittlichen Temperatur von 50 °C dient dabei der Beheizung örtlich nahegelegener Arbeitsstätten. Die Kompressorschaltzeiten ermöglichen es einen täglich Heizbetrieb von 9 Stunden aufrechtzuerhalten. Während der verbleibenden 15 Stunden wird die Heizleistung über konventionelle Gasstrahler gedeckt.

Abbildung 26 stellt die garantiert verfügbare Wärmeleistung der FS440 Kompressoren in einem Zeitraum von 24 h dar. Während der Zeit von 16 bis 7 Uhr sind die FS440 Kompressoren nicht aktiv, daher ist zur Aufrechterhaltung der Raumtemperatur die Beheizung mittels Gasheizstrahler notwendig.

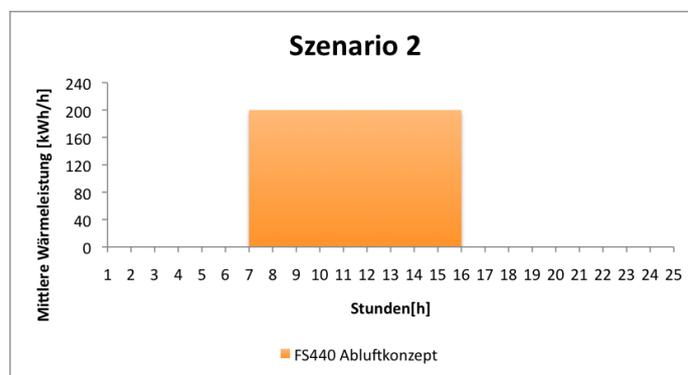


Abbildung 26: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der FS440 Kompressoren, bei Realisierung eines Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 2

Szenario 3 (Abluftkonzept DSD201 & FS440)

Diesem Szenario liegt die Annahme zugrunde, dass die Abwärme aller vier Verdichteraggregaten der Kompressorstation Ost über ein Abluftleitsystem zu Raumheizungszwecken rückgewonnen wird und damit die Beheizung örtlich nahegelegener Arbeitsstätten gewährleistet wird. Dies führt dazu, dass die Raumheizleistung weitgehend vom Wärmerückgewinnungskonzept gedeckt werden kann. Während den herkömmlichen Werkstagen kann dabei auf eine zusätzliche Beheizung mit Erdgas verzichtet werden. Dies trifft jedoch nicht für Wochenendtage zu, da an diesen Tagen die verfügbare Abwärmeleistung der DSD201 Kompressoren zu gering ist um den Heizbedarf decken zu können. Somit darf auch in diesem Szenario nicht auf die Gasheizstrahler verzichtet werden.

Abbildung 27 stellt die garantiert verfügbare Wärmeleistung der FS440 und DSD201 Kompressoren in einem Zeitraum von 24 h dar. Während der Zeit von 16 bis 7 Uhr sind die FS440 Kompressoren in Betrieb und können den erforderlichen Heizbedarf decken. Umgekehrt sind die DSD201 Kompressoren in der Zeit von 7 bis 16 Uhr aktiv und liefern genug Abwärme um das gewünschte Temperaturniveau in den Arbeitsstätten aufrechtzuerhalten.

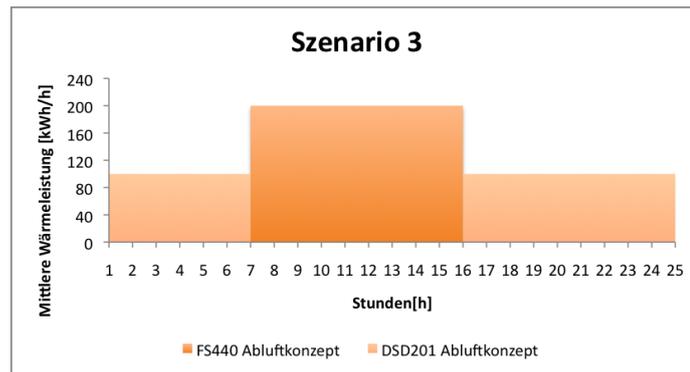


Abbildung 27: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der DSD201 und FS440 Kompressoren, bei Realisierung eines Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 3

Szenario 4 (Abluft- & Wärmetauscherkonzept)

Diesem Szenario liegt die Annahme zugrunde, dass die Abwärmeströme der beiden DSD201 Kompressoren über ein Abluftleitsystem rückgewonnen werden. Parallel dazu wird die Abwärme der FS440 Kompressoren über externe Sicherheitswärmetauscher wiedergewonnen. Diese Kombinationsform ermöglicht es, die Abwärme zum Zwecke der Raumheizung wie auch der Erhitzung von Brauchwasser zu nutzen.

Der Einsatz von Erdgas zu Heizzwecken ist in diesem Szenario weiterhin obligatorisch. Dies liegt in der derzeitigen Beheizungform der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätte begründet.

Gegenwärtig verfügt nur das Gebäude der Elektrowerkstätte über ein Zentralheizungssystem, in das Warmwasser eingespeist werden kann. Somit ist es dort möglich, die Versorgung der Gastherme in der Zeit von 7 bis 16 Uhr zu unterbrechen, da in diesem Zeitraum die beiden FS440 Kompressoren in Betrieb sind. Das erwärmte Wasser wird in einem Wasserspeicher gepuffert werden und steht bei Bedarf dem Verbraucher zu Verfügung. Zwar beträgt die Wärmespeicherkapazität moderner Speicher mehrerer Stunden, jedoch muss das Wasser konstant auf über 50°C gehalten werden, um der Kultivierung von humanpathogenen Bakterien, wie etwa von Legionellen vorzubeugen. Weiters ist an Wochenenden die Warmwasserversorgung nicht möglich, da die Kompressoraggregate nicht aktiv sind. Somit kann der Erdgasverbrauch in der Elektrowerkstätte zwar minimiert, jedoch nicht völlig verhindert werden.

Im Fall der Walzendreherei und des Magazins können beide Objekte in der Zeit von 16 – 7 Uhr mit warmer Abluft der DSD201 Kompressoren beheizt werden. Im Zeitraum von 7 – 16 Uhr sowie an Wochenendtagen, müssen aufgrund der geringen bzw. nicht vorhandenen Abwärmeleistung der DSD201 Kompressoren die Gebäude mit Gasheizstrahlern versorgt werden.

Die Verfügbarkeiten der Kompressorentypen und die jeweilige Wärmeleistung wird in Abbildung 28 veranschaulicht.

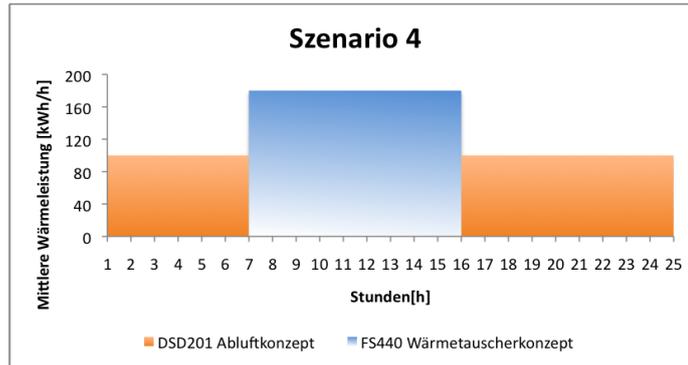


Abbildung 28: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der DSD201 und FS440 Kompressoren, bei Realisierung eines Wärmetauscher- und Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 4

Szenario 5 (Abluft- & Wärmetauscherkonzept)

Diesem Szenario liegt die Annahme zugrunde, dass die Abwärmeströme der beiden FS440 Kompressoren über ein Abluftleitsystem rückgewonnen werden. Parallel dazu wird die Abwärme der DSD201 Kompressoren über externe Sicherheitswärmetauscher wiedergewonnen. Diese Kombinationsform ermöglicht es, die Abwärme zum Zwecke der Raumheizung wie auch der Erhitzung von Brauchwasser zu nutzen.

Wie in Szenario 4 ist auch für diese Konzeptform der Einsatz von Erdgas zu Heizzwecken obligatorisch. Es gelten jene Begründungen wie sie bereits für Szenario 4 angeführt wurden.

Die DSD201 Kompressoren können die Elektrowerkstätte von 16 – 7 Uhr mit Warmwasser versorgt. Die verbleibende Zeit kann mittels Wasserspeicher und einer entsprechenden Zufeuerung durch die vorhandene Gasterme überbrückt werden. Auch hier besteht das Problem der nicht gegebenen Möglichkeit zur Warmwasserbereitstellung an Wochenenden ohne zusätzlichen Erdgaseinsatz.

Die Versorgung der Arbeitsstätten mittels der Abluft der FS440 Kompressoren kann nur in der Zeit von 7 – 16 Uhr erfolgen. Somit besteht die Notwendigkeit der Nutzung von Gasheizstrahlern um die Innentemperatur in den Arbeitsstätten aufrecht halten zu können. Die jeweiligen Verfügbarkeiten und Wärmeleistungen werden in Abbildung 29 veranschaulicht.

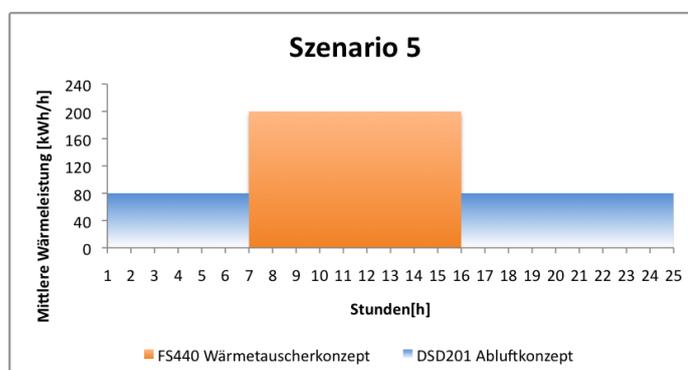


Abbildung 29: Darstellung der täglich technisch nutzbaren mittleren Abwärmemenge der DSD201 und FS440 Kompressoren, bei Realisierung eines Wärmetauscher- und Abluftrückgewinnungskonzept nach Szenario 5

4.7.2 Erdgaseinsparungen

Bei Anwendung der Szenarien 1, 2 und 3 aus Abschnitt 4.7.1, auf die Walzendreherei und das Magazin können die monatlich erreichbaren Erdgaseinsparungen bestimmt werden. Tabelle 22 und Tabelle 23 weisen diese Einsparungen sowie den verbleibenden Restbedarf an Erdgas aus. Die Szenarien 4 und 5 wurden nicht auf die beiden genannten Objekte angewandt, da in beiden Gebäuden keine Installationen eines Zentralheizungssystems zur Warmwassernutzung vorhanden sind.

Tabelle 22: Einsparungspotential der Walzendreherei

Monat	mittlerer Verbrauch ₂₀₀₇₋₀₉	Szenario 1 (Mo-So)		Szenario 2 (Mo-Fr)		Szenario 3 (Mo-So)	
		Gas Einsparung	Rest-Gasbedarf	Gas Einsparung	Rest-Gasbedarf	Gas Einsparung	Rest-Gasbedarf
[-]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]
Jänner	26.678	15.893	10.785	6.454	20.223	22.347	4.330
Februar	21.943	14.932	7.011	5.878	16.066	20.810	1.134
März	17.869	12.341	5.528	4.323	13.546	16.664	1.204
April	5.544	4.158	1.386	1.386	41.58	5.544	0
Mai	827	600	227	200	627	800	27
Juni	0	0	0	0	0	0	0
Juli	0	0	0	0	0	0	0
August	131	95	36	32	100	127	4
September	2.654	1.990	663	663	1.990	2.654	0
Oktober	9.628	6.988	2.640	2.329	7.299	9.317	311
November	19.821	13.395	6.426	4.955	14.866	18.350	1.471
Dezember	25.660	15.483	10.177	6.208	19.452	21.691	3.969
Summe	130.755	85.876	44.879	32.429	98.326	118.305	12.450
Energie-Ersparnis		65,7 %		24,8 %		90,5%	

Das Wärmerückgewinnungskonzept gemäß Szenario 3 verfügt über ein Einsparungspotential von 90% gegenüber der gegenwärtigen Heizform mit Heizgasstrahlern. Dies lässt sich durch die ganztägige Nutzung der Abwärme der Kompressortypen DSD201 und FS440 erklären. Eine vollständige Substituierung des Erdgases ist dennoch nicht möglich, da die Kompressoren aufgrund der geringen Auslastung an Wochenenden zuwenig Abwärme produzieren, um die

Innenraumtemperatur konstant halten zu können. Dies lässt den Schluss zu, dass an den Wochenenden der Wintermonate eine Zusatzbeheizung mittels Gasstrahler notwendig ist.

Die DSD201 Kompressoren sind an Wochenenden ganztägig, jedoch mit minimaler Leistung und an Werktagen 15 Stunden täglich in Betrieb, somit resultiert für das Abluftwärmerückgewinnungskonzept gemäß dem Szenario 2 ein Einsparungspotential im Bereich der Heizleistung von 65%.

Szenario 3 weist mit rund 24% das geringste Heizleistungseinsparungspotential auf. Der Grund hierfür liegt in der geringen Betriebszeit der FS440 Kompressoren. Weiters sind die beiden Kompressoren an Wochenenden inaktiv und können somit während dieses Zeitraums keinen Beitrag zur Erdgaseinsparung liefern.

Tabelle 23: Erdgas-Einsparungspotential des Magazins

Monat	Mittlerer Verbrauch 2007-09	Szenario 1 (Mo-So)		Szenario 2 (Mo-Fr)		Szenario 3 (Mo-So)	
		Gas Einsparung	Rest-Gasbedarf	Gas Einsparung	Rest-Gasbedarf	Gas Einsparung	Rest-Gasbedarf
[-]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]
Jänner	19.092	12.834	6.257	4.619	14.473	17.453	1.638
Februar	14.048	11.289	2.759	3.763	10.285	15.052	0
März	9.633	6.991	2.641	2.330	7.302	9.322	311
April	4.192	3.144	1.048	1.048	3.144	4.192	0
Mai	851	617	233	206	645	823	27
Juni	0	0	0	0	0	0	0
Juli	0	0	0	0	0	0	0
August	0	0	0	0	0	0	0
September	874	655	218	218	655	874	0
Oktober	5.257	3.816	1.441	1.272	3.985	5.087	170
November	13.023	9.768	3.256	3.256	9.768	13.023	0
Dezember	16.532	11.802	4.730	4.000	12.532	15.802	730
Summe	83.501	60.916	22.585	20.712	62.789	81.628	2.876
Energie-Einsparung		73,0 %		24,8 %		97,8%	

Das Wärmerückgewinnungskonzept gemäß Szenario 3, verfügt über ein Einsparungspotential von 97% gegenüber der gegenwärtigen Heizform, mit Heizgasstrahlern. Dies lässt sich durch die ganztägige Nutzung der Abwärme der

Kompressorarten DSD201 und FS440 erklären. Eine vollständige Substituierung des Erdgases ist dennoch nicht möglich, da die Kompressoren aufgrund der geringen Auslastung an Wochenenden zu wenig Abwärme produzieren um die Innenraumtemperatur konstant halten zu können. Dies lässt den Schluss zu, dass an den Wochenenden der Wintermonate eine Zusatzbeheizung mittels Gasstrahler notwendig ist. Jedoch ist aufgrund der geringeren spezifischen Heizleistung des Magazins, im Vergleich zur Walzendreherei der Erdgasbedarf geringer und somit die Einsparung höher.

Da die DSD201 Kompressoren an Wochenenden ganztägig und an Werktagen 15 Stunden im Betrieb sind, resultiert für das Konzept Abluftrückgewinnung gemäß dem Szenario 1 eine Heizleistungseinsparung von 73%.

Szenario 2 weist mit 24% das geringste Heizleistungseinsparungspotential auf. Der Grund dafür liegt in der geringen Betriebszeit der FS440 Kompressoren. Weiters sind die beiden Kompressoren an Wochenenden inaktiv und können somit in diesem Zeitraum keinen Beitrag zur Erdgaseinsparung liefern.

Tabelle 24 umfasst die monatlichen Einsparungen der Elektrowerkstätte in Kombination mit der Walzendreherei bzw. dem Magazin, welche sich unter den Voraussetzungen der Szenarien 4 und 5 aus Abschnitt 4.7.1 ergeben.

Das Einsparungspotential der Elektrowerkstätte wurde nicht gesondert untersucht. Jener Teil des Gebäudes, in dem die Büros untergebracht sind, verfügt über ein Zentralheizungssystem und besitzt somit die Möglichkeit der Einspeisung von Warmwasser in das Heizungssystem. Jedoch werden die Räumlichkeiten der eigentlichen Werkshalle mit erdgasbefeuerten Heizstrahlern beheizt. Aufgrund baulicher Gegebenheiten kann die Installierung der Ablufkanäle zur Nutzung der Kompressorenabwärme nur unter immensen finanziellen und technischen Aufwand verwirklicht werden.

Dies führt zwangsläufig dazu, dass durch den zu geringen Heizbedarf der Elektrowerkstätte zur Miteinbeziehung des Magazins und der Walzendreherei im Wärmerückgewinnungskonzept kommen muss. Aus diesem Grund sind in Tabelle 24 stets die Kombinationsmöglichkeiten zwischen der Elektrowerkstätte und der Walzendreherei bzw. des Magazins ausgewiesen, für das Szenario 4 und Szenario 5 ausgewiesen.

Es zeigt sich, dass die Umsetzung des Szenarios 4 unter der Miteinbeziehung der Elektrowerkstätte und der Walzendreherei die höchsten Einsparungen generiert. Die Kombinationsmöglichkeiten zur Versorgung der betrachteten Objekte erzielen in Szenario 4 ständig die höheren Einsparungspotentiale verglichen mit Szenario 5.

Tabelle 24: Einsparungspotential der Elektrowerkstätte in Kombination mit der WD und dem MZ

Monat	Mittlerer Verbrauch 07-09			Szenario 4 (Mo-So)		Szenario 5 (Mo-So)	
	MZ	WD	EW	EW+WD	EW+MZ	EW+WD	EW+MZ
[-]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[kWh/mon]
Jänner	19.092	26.678	16.509	19.887	16.828	16.951	15.116
Februar	14.048	21.943	12.195	18.199	14.555	15.162	13.047
März	9.633	17.869	8.849	14.482	9.132	10.746	8.753
April	4.192	5.544	3.299	4.983	3.968	3.860	3.522
Mai	851	827	613	748	766	645	651
Juni	0	0	0	0	0	0	0
Juli	0	0	0	0	0	0	0
August	0	131	0	95	0	32	0
September	874	2.654	1.001	2.240	905	1.414	969
Oktober	5.257	9.628	6.003	8.440	5.268	6.686	5.629
November	13.023	19.821	13.183	16.690	13.063	14.288	12.589
Dezember	16.532	25.660	17.208	19.646	15.965	16.987	14.778
Summe	83.501	130.755	78.858	-	-	-	-
Energie-Einsparung	-	-	-	105.411	80.452	86.770	75.053

Tabelle 25 verdeutlicht die gelisteten Ergebnisse aus Tabelle 24 und fasst diese zusammen.

Tabelle 25: Energieeinsparungen der Szenarien 4 und 5

Kombination	Verbrauch 2007-09	Einsparung Szenario 4	Einsparung Szenario 4	Einsparung Szenario 5	Einsparung Szenario 5
[-]	[kWh/mon]	[kWh/mon]	[%]	[kWh/mon]	[%]
EW+MZ	162.359	80.452	49,6 %	75.053	46,2 %
EW+WD	209.613	105.411	50,2 %	86.770	41,3 %
EW+MZ+WD	293.114	166.327	56,7 %	107.482	36,7 %

Im Szenarienvergleich der Tabelle 25 verläuft der Vorteilhaftigkeitstrend zwischen den Szenarien gegenläufig. Dies hängt mit den Betriebszeiten der Kompressoren und den spezifischen Heizlasten der Arbeitsstätten zusammen.

Szenario 4 basiert auf einem Wärmerückgewinnungskonzept, welches dafür sorgt, dass die Walzendreherei und das Magazin an Werktagen simultan 15 Stunden lang mit Abluft der DSD201 Kompressoren beheizt werden können. Je größer die Anzahl der Objekte, die an das Abluftsystem angeschlossen sind, desto besser wird das Energiepotential der Abluft genutzt. Jedoch darf die gemeinsame Heizlast der Gebäude die Wärmleistung der Kompressoren auf keinen Fall übersteigen. Zusätzlich kann das Magazin an Werktagen 9 Stunden lang mit Warmwasser versorgt werden. Dieses wird in das Zentralheizungssystem eingespeist oder in einem Wasserkessel gespeichert.

Szenario 5 ist exakt gegengleich zu Szenario 4 aufgebaut, daher verhalten sich die Vorteilhaftigkeiten der beiden Szenarien reziprok zueinander. In Szenario 5 wird die Abluft von den leistungsstärkeren FS440 Kompressoren gewonnen. Aufgrund ihrer geringen Betriebsdauer von nur 9 Stunden an Werktagen und einer gänzlichen Inaktivität an Wochenenden ist die versorgbare Objektanzahl stark limitiert. Dies beschränkt das Einsparungspotential in bedeutender Weise, da die Arbeitsstätten während den verbleibenden Zeiten mit Erdgas beheizt werden müssen. Weiters kann die Elektrowerkstätte an den Wochenenden der Wintermonate aufgrund der geringen Lastleistung der DSD201 Aggregate, nicht ausschließlich über das Abwärmekonzept des Wärmeübertragers versorgt werden. Dieser Umstand bedeutet, dass auch in diesem Bereich der Erdgasverbrauch nur unzureichend reduziert werden kann.

So lässt sich anmerken, dass das Abluftkonzept in Form von Szenario 3 und das Abluft-Warmwasser-Konzept in Form von Szenario 4 die höchsten technischen Einsparungsmöglichkeiten ermöglichen.

4.7.3 Heizkosteneinsparungen

Die jährlichen Kosteneinsparungen wurden mit den errechneten Energieeinsparungen aus Abschnitt 4.7.2 ermittelt. Dabei wurde von den dort besprochenen Szenarien ausgegangen und die Daten aus Tabelle 22, Tabelle 23 und Tabelle 24 verwendet. Zur Berechnung der Einsparungen wurde der Gaspreis des Erdgaslieferantens von 0,03706 €/kWh¹²⁰ verwendet.

¹²⁰ Vgl. Erdgaspreis (2010)

Tabelle 26: Ergebnisse zur Kosteneinsparung der untersuchten Szenarien und deren Kombinationen

	Objekt-Kombination	WD	MZ	EW	Gesamt Einsparung	Heizkosten Einsparung
	[-]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[€/a]
Szenario 1	WD+MZ	85.876	60.916	0	146.792	5.443
Szenario 2	WD+MZ	32.429	20.712	0	53.141	1.971
Szenario 3	WD+MZ	118.305	81.628	0	199.933	7.414
Szenario 4	WD+MZ+EW	85.876	60.916	19.536	166.328	6.167
Szenario 4	WD+EW	85.876	0	19.536	105.412	3.903
Szenario 4	MZ+EW	0	60.916	19.536	80.452	3.217
Szenario 5	WD+MZ+EW	32.429	20.712	54.341	107.482	5.879
Szenario 5	WD+EW	32.429	0	54.341	86.770	2.983
Szenario 5	MZ+EW	0	20.712	54.341	75.053	2.783

Die Resultate in Tabelle 26 bilden die jährlichen Einsparungsmöglichkeiten an Heizkosten, bei Realisierung der unterschiedlichen Wärmerückgewinnungsszenarien und deren Objektkombinationen ab.

Das höchste Einsparungspotential weist Szenario 3 auf. In diesem Szenario wird die Abwärme aller Kompressoren über ein Blechkanalleitsystem in die Walzendreherei, wie auch in das Magazin geleitet. Der Vorteil liegt darin beide Arbeitsstätten durchgängig und zeitgleich beheizen werden können.

Szenario 4 in Kombination mit der Walzendreherei, der Elektrowerkstätte und dem Magazin bietet das zweithöchste Einsparungspotential. Die Einsparung liegt etwas unter der des Szenarios 2, da ein Teil der Kompressorabwärme über Wärmeübertrager für Heizzwecke in die Elektrowerkstätte geleitet wird. Während dieses Zeitraums müssen das Magazin und die Walzendreherei mit Gasstrahlern beheizt werden. Da die spezifische Heizleistung der Walzendreherei im Mittel deutlich höher ist, als die der beiden anderen Objekte, fällt der Heizaufwand schwerer ins Gewicht.

Szenario 1 wurde hervorgehoben um zu verdeutlichen, dass der Schlüssel zum Erfolg des Projektes, in der ausreichenden Menge der rückgewinnbaren Wärmeleistung und der hohen Verfügbarkeit der DSD201 Kompressoren liegt.

4.7.4 Portfolioanalyse

Mit einem Kosten-Nutzenvergleich in Form der Portfolioanalyse wurden die in Abschnitt 4.7.3 ermittelten Heizkosteneinsparungen mit den vorgelegten Montagekosten aus den eingeholten Angeboten ins Verhältnis gesetzt. Dabei wurden die Einsparungen der Energiekosten des ersten Jahres herangezogen. Das wirtschaftlich langfristige Verhalten der Investitionen wird im Abschnitt 4.8 einer gründlichen Untersuchung unterzogen.

Tabelle 27: Kosten-Nutzen Analyse der Szenarien und der Kombinationen

Nr. [-]	Szenario (Vgl.4.7.1)	Kombination [-]	Einsparungen [€]	Kosten [€]	Nutzen/Kosten [-]
1	Szenario 1	WD+MZ	5.443	75.540	0,0720
2	Szenario 2	WD+MZ	1.971	75.540	0,0260
3	Szenario 3	WD+MZ	7.414	84.040	0,0882
4	Szenario 4	WD+MZ+EW	6.167	139.051	0,0443
5	Szenario 4	WD+EW	3.903	88.871	0,0439
6	Szenario 4	MZ+EW	3.217	122.191	0,0263
7	Szenario 5	WD+MZ+EW	5.879	149.271	0,0393
8	Szenario 5	WD+EW	2.983	99.091	0,0301
9	Szenario 5	MZ+EW	2.783	132.411	0,0210
10	Szenario 1	WD	3.184	3.000	1,0613

Tabelle 27 gibt die jährlich möglichen Heizkosteneinsparungen und die damit verbundenen Investitionen wieder. Die grau hinterlegten Felder markieren zum einen jene Szenarien, welche besonders hohe Einsparungen lukrieren und zum anderen auch diejenigen, bei denen ein vorteilhaftes Kosten zu Nutzen Verhältnis besteht.

An dieser Stelle sei auf den Abschnitt 4.7.1 verwiesen, in welchem die Bedeutungen und getroffenen Annahmen der Szenarien erläutert werden.

Bei Betrachtung der Tabelle 27 fällt besonders auf, dass sämtliche Kombinationsmöglichkeiten des Szenarios 5 ein unzureichendes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen. Selbst das unter Nummer 4 angeführte Beispiel weist trotz hohem Einsparungspotential ein ungenügendes Verhältnis auf. Dies liegt darin begründet, dass die hohen Installationskosten die Vorteilhaftigkeit zunichte machen.

Ein ähnliches Phänomen tritt bei den Kombinationsmöglichkeiten des vierten Szenarios auf. Wobei hier das zweithöchste Einsparungspotential insgesamt vorliegt. Die Investitionen liegen dabei in einem ähnlich hohem Bereich, wie jene des Szenarios 5.

In Tabelle 27 weisen die Nummern 1 und 3 die günstigsten Kosten-Nutzen-Verhältnisse auf. Dabei handelt es sich jeweils um die Versorgung der Walzendreherei und des Magazins mit Abluft. Die unterschiedlichen Kostenersparnisse resultieren aus den ungleichen Verfügbarkeiten der Abwärme, da den beiden Konzepten unterschiedliche Szenarien zugrunde liegen. Die Kosten der Installation im Falle des Szenarios 1 liegt etwas günstiger als jene von Szenario 3, da der Materialaufwand zur Einbindung der vorgesehenen Kompressoren geringer

ausfällt. Jedoch liegen auch hier die Investitionen deutlich über den jährlichen Einsparungsmöglichkeiten.

Aufgrund dieser unzufriedenstellenden Ergebnisse wurde ein weiterer Lösungsansatz erarbeitet. Dieser geht davon aus, dass ausschließlich die angrenzende Walzendreherei mit Abluft der DSD201 Kompressoren versorgt wird. Dabei soll auf die Mithilfe externer Firmen weitgehend verzichtet werden und die Kanalführung mittels Spiro-Rohren erfolgen. Berücksichtigt man dabei neben den Rohren, die notwendigen Halterungen in Form von Rohrschellen, Sommerzugklappen, Reduktionen und Brandschutzklappen ergeben sich die in Tabelle 27 ausgewiesenen Materialkosten von rund 3000 Euro. Dieser Kostensatz berücksichtigt ausschließlich die Materialkosten. Wird mit Hilfe dieser Investitionssumme ein Kosten-Nutzen-Vergleich durchgeführt, kann ein Verhältnis größer 1 bereits nach einem Jahr erreicht werden. Die Verhältnisse zwischen der möglichen Einsparung und dem Investitionsvolumen der jeweiligen Szenarien und derer Kombinationsformen werden in Abbildung 30 verdeutlicht. Die Blasengröße gibt das Verhältnis wieder und die Nummerierung ist synchron mit jener aus Tabelle 27.

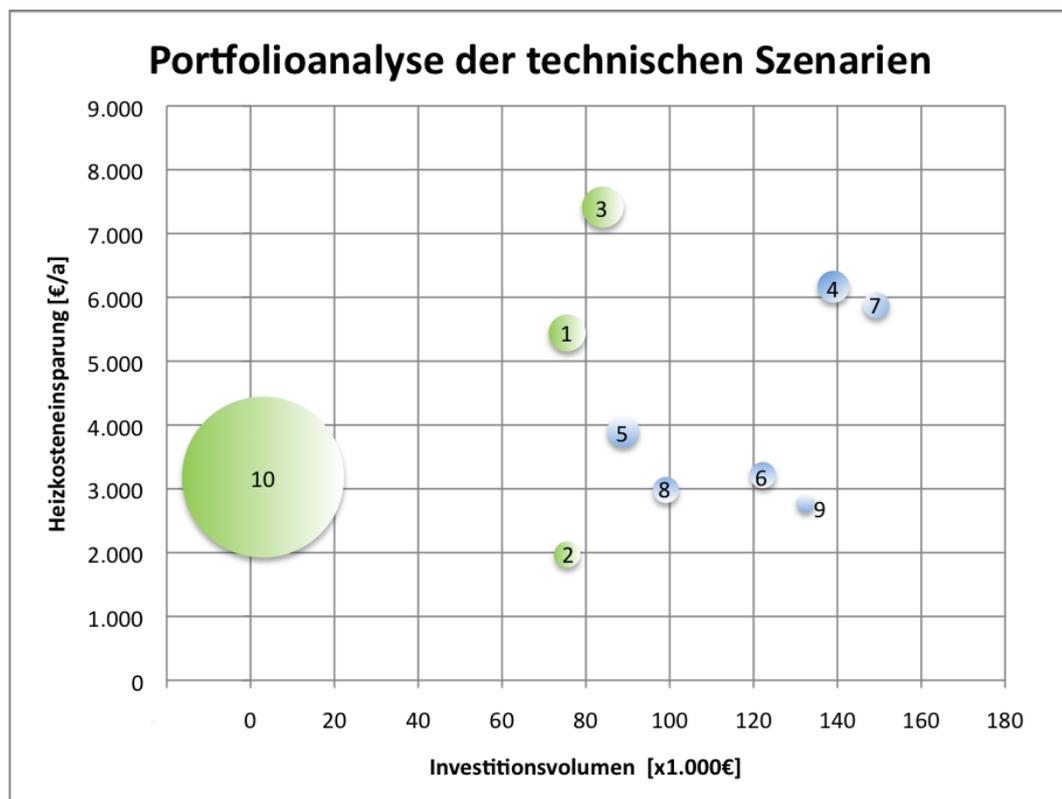


Abbildung 30: Darstellung der Kosten-Nutzen-Analyse der Szenarien und der Kombinationen

4.7.5 CO₂-Einsparungen

Aufbauend auf den Daten der Bilanzierung für Erdgas wurden die CO₂-Emissionen der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätte mithilfe der vollständigen chemischen Verbrennungsrechnung ermittelt. Der Rechengang, wie auch die Tabellierung, der monatlichen Kohlendioxidemissionen für die Jahre 2007-2009 sind dem Anhang angefügt.

Tabelle 28: CO₂-Emissionen der Walzendreherei, des Magazins, der Elektrowerkstätte der Jahre 2007-09

Objekte	2007	2008	2009
[-]	[t CO ₂ /a]	[t CO ₂ /a]	[t CO ₂ /a]
Walzendreherei	26,78	26,20	25,64
Magazin	16,05	19,71	14,97
Elektrowerkstätte	12,84	12,84	21,52
Summe	56,58	58,75	62,13
Jährlicher Gesamtmissionenanteil der Stahl Judenburg	0,53%	0,56%	0,88%

Mittels der errechneten Erdgaseinsparungen aus den Szenarien-Kombinationen wurden die daraus resultierenden CO₂-Einsparungen ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 29 dargestellt, dabei wurden die Konzepte zur Wärmerückgewinnung mit den höchsten Einsparpotential markiert.

Tabelle 29: CO₂-Einsparungen der untersuchten Szenarien

	Kombination	CO ₂ -Emissionen Einsparungen
	[-]	[t CO ₂ /a]
Szenario 1	WD+MZ	29,18
Szenario 2	WD+MZ	10,56
Szenario 3	WD+MZ	39,74
Szenario 4	WD+MZ+EW	33,06
Szenario 4	WD+EW	20,95
Szenario 4	MZ+EW	15,99
Szenario 5	WD+MZ+EW	31,51
Szenario 5	WD+EW	17,25
Szenario 5	MZ+EW	14,92

4.8 Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des Projekts zur Rückgewinnung von Kompressorabwärme

Die vorangehenden Abschnitte der vorliegenden Arbeit konstatieren das eindeutige Vorhandensein der technischen Möglichkeiten zur Rückgewinnung der Kompressorenwärme in der Kompressorstation Ost. Infolge der Klärung der technischen Machbarkeit wurde der Umfang der zu realisierbaren Heizkosteneinsparungen ermittelt. Die Resultate dieser Untersuchungen ergaben jährliche Einsparungen von mehreren tausend Euro und sind in Abschnitt 4.7.3 dargestellt. Um die Rentabilität der Investition eines solchen Projekts bestimmen zu können, wurden jene Konzepte, welche aus technischer Sicht in höchstem Maße als zielführend einzustufen sind, auf ihre Wirtschaftlichkeit geprüft. Dabei fand die Kapitalwertmethode aus dem Bereich der dynamischen Investitionsrechnung Anwendung. Des Weiteren wurden die Amortisationszeit und der interne Zinsfuß der jeweiligen Konzeptform untersucht und die Investitionen einer abschließenden Sensitivitätsanalyse unterzogen.

4.8.1 Investitionsrechnung

Die vorliegenden Investitionsrechnungen wurden gemeinsam mit dem Controlling der *Stahl Judenburg GmbH* nach dem Schema der Georgsmarienhütte Holding durchgeführt. Die Prüfung der Wirtschaftlichkeit der entwickelten Konzepte zur Rückgewinnung von Kompressorenabwärme erfolgte mithilfe der dynamischen Investitionsrechnung. Zur Anwendung gebracht wurde dabei die sogenannte Kapitalwertmethode wie diese in Abschnitt 0 erläutert wurde.

Ausgangspunkt der Berechnung sind sämtliche anfallenden Montagekosten, welche während des Verwirklichungsgeschehens des Konzeptes verursacht werden. Die Höhe des jeweiligen Investitionspräliminars ergibt sich aus den vorgelegten Firmenangeboten.

Ein Wärmerückgewinnungskonzept für Kompressoranlagen, wie es in dieser Arbeit untersucht wird, stellt keine Produktionsanlage dar und trägt somit nicht direkt zum Umsatz bzw. Gewinn des Unternehmens bei. Infolgedessen können auch keine Kapitalrückflüsse über Kennzahlen der Produktion ermittelt werden. Hinsichtlich der Reduktion des fossilen Brennstoffverbrauchs lässt sich jedoch dank Wärmerückgewinnung eine deutliche Verbesserung verzeichnen. Diese realisierbaren Einsparungen, angeführt in Tabelle 26, werden als periodisch monetäre Rückflüsse gehandelt und finden als solche den Einzug in die Investitionsrechnung.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde auf die drei aussichtsreichsten Formen der Wärmerückgewinnung angewandt. Quantifiziert wurde diese Vorteilhaftigkeit mithilfe der in Abschnitt 4.7.4. angeführte Kosten-Nutzen-Analyse. Im Zuge dieser Untersuchung wurden Szenarienkombinationen Nr. 3, 4 und 10 der Tabelle 27 ausgewählt und deren Amortisationsdauer, Kapitalwert und interner Zinsfuß geprüft.

An dieser Stelle soll hervorgehoben werden, dass die Amortisationszeit das entscheidende Bewertungskriterium der durchgeführten Investitionsrechnung darstellt.

Der Zinsfuß der Investitionsrechnungen ist eine verbindliche Vorgabe der Georgsmarienhütte Holding und beträgt 10%. Sämtliche Berechnungen wurden, wie von der Holding vorgeschrieben, für eine Dauer von maximal zehn Jahren durchgeführt.

Um den Barwert der Investition berechnen zu können, wurde zu Beginn der Untersuchungen der Annuitätenfaktor ermittelt. Dieser ist aufgrund der fixierten Verzinsung von 10% und einer Dauer von maximal zehn Jahren für alle untersuchten Konzeptformen gleich groß. Die Gleichung zur Berechnung lautet:

$$\boxed{\phantom{K = \frac{a}{i} \left(1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right)}}$$

Glg. 4-35

mit: $i =$ Verzinsung [%]
 $n =$ Periodendauer in Jahren [a]
 $ANF =$ Annuitätenfaktor [-]

Bei Verwendung des zehnzprozentigen Zinssatzes und einem Periodenzeitraum von 10 Jahren beträgt der Annuitätenfaktor 0,162745395. Die einzelnen jährlichen Annuitätsfaktoren finden sich in den nachfolgenden Tabellen des aktuellen Abschnittes wieder.

Weiters wurde der Barwert des jeweiligen Jahres errechnet. Dabei stellen die Heizkostensparnisse die zu erwartenden zukünftigen Rückflüsse dar. Die Gleichung zur Berechnung lautet wie folgt:

$$\boxed{\phantom{K = \frac{a}{i} \left(1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right)}}$$

Glg. 4-36

$$\boxed{\phantom{K = \frac{a}{i} \left(1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right)}}$$

Glg. 4-37

mit: $a =$ nachschüssige Rente (jährliche Heizkostensparnis) [€]
 $K =$ Barwert [€]
 $ANF =$ Annuitätenfaktor [-]

Mit Hilfe der periodischen Barwerte wurde mit der nachfolgenden Gleichung der jährliche Kapitalwert des Projekts bestimmt. Dabei ist unter dem Kapitaleinsatz das Investitionsvolumen zu verstehen.

$$\boxed{\phantom{K = \frac{a}{i} \left(1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right)}}$$

Glg. 4-38

Ein Investitionsprojekt erweist sich genau dann vorteilhaft, wenn sich durch die oben dargestellte Gleichung ein positiver Kapitalwert ergibt.

4.8.2 Sensitivitätsanalyse

Die Amortisationsdauer und der Verlauf des Restwertkapitals hängen stark von den periodischen Rückflüssen ab. Diese werden besonders durch die Höhe des Erdgaspreises bestimmt. Da in Europa der Bedarf an Erdgas im Steigen begriffen ist und unterschiedliche Szenarien zur Versorgung und Deckung dieser Nachfrage im Raum stehen, muss auf Basis dieser Umstände von einem Gaspreisanstieg ausgegangen werden. Um einen repräsentativen Wert zu erhalten, wurden die historischen Werte des durchschnittlichen österreichischen Erdgasimportpreises¹²¹ herangezogen. Dies ist ein vertretbarer Wert und berücksichtigt den Netzpreis sowie Steuern und Abgaben.

Betrachtete Inputgrößen im Zuge der Sensitivitätsanalyse

Für die Investitionsrechnung der Projekte zur Wiedergewinnung der Kompressorenabwärme konnten drei Einflussgrößen isoliert werden.

- Einfluss des Erdgaspreises
- Einfluss der Verzinsung
- Einfluss des Heizbedarfs

Die wesentlichste Inputgröße stellt dabei die Volatilität des Gaspreises am Markt dar. Die beiden weiteren angeführten Punkte nehmen nur unwesentlich Einfluss auf die Sensitivitätsanalyse. Aus diesem Grunde sind diese zwar angeführt, bleiben jedoch in den Detailuntersuchungen weitgehend unberücksichtigt.

Der Erdgaspreis setzt sich aus drei Komponenten zusammen, diese sind:¹²²

- der Netztarif: wird vom Netzbetreiber bestimmt
- der Energiepreis: wird vorwiegend vom Erdgasimportpreis bestimmt und nach oben hin von der Energie Control Kommission reguliert.
- Steuern & Abgaben: werden von den Gesetzgebern bestimmt

Die von den Lieferanten verrechneten Erdgaspreise basieren auf den Großhandelspreisen. Der Gashandel in Österreich wird hauptsächlich über bilaterale langfristige Verträge abgewickelt. Aufgrund dieser langfristigen Vertragsbindungen ist der Gaspreis weiterhin von internationalen Erdölindikatoren abhängig. Die Ölpreisbindung basiert auf dem durchschnittlichen Ölpreis und wirkt sich bis zu sechs Monate später auf die Importpreise von Erdgas aus.¹²³

Für Großkunden entfällt etwa die Hälfte des Gaspreises auf den Gasimport.¹²⁴ Abbildung 31 zeigt die Entwicklung des durchschnittlichen Erdgasimportpreises seit der Liberalisierung des österreichischen Erdgasmarktes im November 2002. Es handelt sich dabei um indizierte Werte, welche auf den damals festge-

¹²¹ Vgl. Österreichischer Gaspreisindex (2010)

¹²² Vgl. Gaspreis Zusammensetzung (2010)

¹²³ Vgl. Gaspreis Entstehung (2010)

¹²⁴ Vgl. Gasversorgungsreport (2010)

legten Indexwert von 100 bezogen werden. Der strichlierte Verlauf der Preiskurve stellt die sechsmonatige Prognose der E-Control dar.



Abbildung 31: Durchschnittlicher Erdgasimportpreis (EIPI) für Österreich¹²⁵

Vor Beginn der Wirtschaftskrise, im Sommer des Jahres 2008 erreichte der Erdgaspreisindex nach einer Preissteigerung um 50 % seinen vorläufigen Höhepunkt und brach danach um einhundert Punkte ein.¹²⁶ Seit Beginn des Jahres 2010 kann wieder eine Steigerung der Preise am Erdgasmarkt beobachtet werden, welche ein ähnliches Niveau wie vor der Wirtschaftskrise erreichen könnte. Zu diesem Schluss kommen auch die EIA, die IEA und die EU-Kommission in ihren Langfristszenarien.¹²⁷ Für die Sensitivitätsanalyse bedeutet dies, dass zukünftig mit erhöhten Erdgaspreisen zu rechnen sein wird. Ausen vor gelassen werden die Spotmarktpreise, da diese keinen gewichtigen Einfluss aufzeigen und für den Erdgaseinkauf des Unternehmens als unbedeutend anzusehend sind.

In der Wirtschaftlichkeitsrechnung des Wärmerückgewinnungskonzepts wurde der intern geltende Zinsfuß der Georgsmarienhütte Holding verwendet. Dieser ist eine verbindliche Vorgabe und wurde mit zehn Prozent in die Untersuchung übernommen. Die Möglichkeit einer Veränderung dieses Zinssatzes ist denkbar, jedoch unwahrscheinlich. Daraus folgt die Konsequenz diesen Inputfaktor, aufgrund seiner Fixierung im Zuge der Sensitivitätsanalyse, nicht weiter zu untersuchen.

Der Einfluss erhöhten Heizbedarfs und den damit einhergehenden steigenden Erdgasverbrauchs hängt in erster Linie mit den klimatischen Bedingungen der Region zusammen. Die Auswertungen der Wetterbeobachtungsstation der stei-

¹²⁵ Vgl. Österreichischer Gaspreisindex (2010)

¹²⁶ Vgl. Austrian Energy Agency (2010)

¹²⁷ Vgl. EWI/Prognos – Studie (2010)

ermärkischen Landesregierung in Murdorf (Ortsteil von Judenburg) weisen ein durchaus konstantes Verhalten im Bezug auf die lokalen Durchschnittlichen Temperaturen auf. Die elektronische Datenerfassung in Judenburg ist zum Leidwesen vertiefter Untersuchungen erst ab dem Jahr 2002 abrufbar.

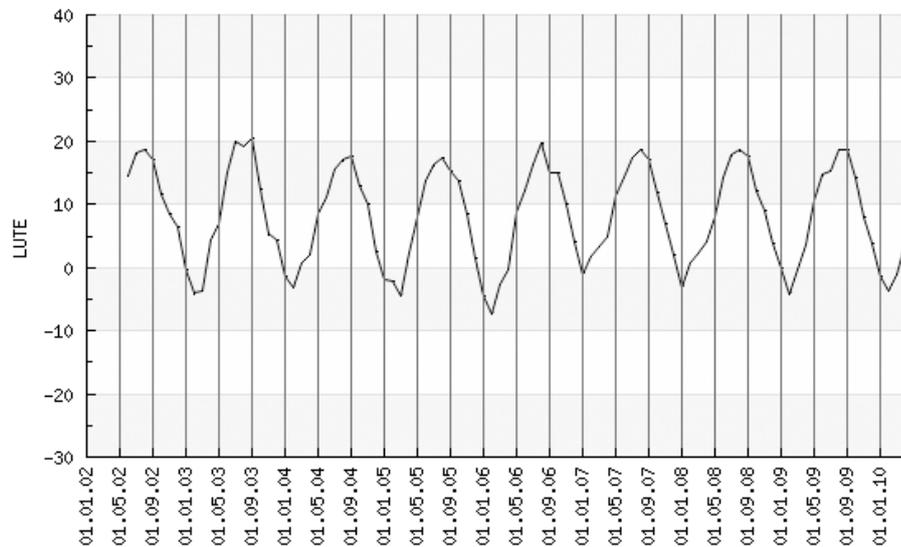


Abbildung 32: Lufttemperaturmessung der Wetterstation Murdorf¹²⁸

Aufgrund des periodischen Verhaltens des Temperaturverlaufes, in einem Band von höher als -10°C und geringer $+20^{\circ}\text{C}$, kann der zukünftige Heizaufwand in der Walzendreherei, dem Magazin und der Elektrowerkstätte als konstant angenommen und auf die dokumentierten Verbrauchswerte aus der Vergangenheit zurückgegriffen werden.

¹²⁸ Vgl. LUIS (2010)

4.8.3 Wirtschaftliche Untersuchung der Investitionsalternativen

Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des Szenarios 3 unter Einbeziehung der Walzendreherei und dem Magazin (Projekt Nr.3)

Im Folgenden wird das Investitionsvorhaben des Projekts Nr.3 (vgl. Tabelle 27) behandelt. Mittels dieser Projektform soll die Beheizung des Magazins und der Walzendreherei durch Kompressorenabluft garantiert werden. In diesem Konzept sind alle vier Kompressoren der Station Ost über Abluftkanäle in das Heizsystem integriert.

Tabelle 30 stellt die Kapitalrückflüsse, Abzinsungsfaktoren, den Barwert und das Restkapital der Investition dar. Das Investitionspräliminar des Konzepts beläuft sich auf 84.040 €.

Tabelle 30: Investitionsrechnung für WD+MZ (Projekt Nr.3)

Jahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rückfluss [€]	7.414	7.414	7.414	7.414	7.414	7.414	7.414	7.414	7.414	7.414
Abzinsungsfaktor [-]	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855
Barwert [€]	6.740	6.127	5.570	5.063	4.603	4.185	3.804	3.458	3.144	2.858
Restkapital [1000x€]	-77	-71	-66	-61	-56	-52	-48	-45	-41	-39

Die Verwirklichung des Projektes in dieser Form verspricht aufgrund der technisch realisierbaren Energieeinsparungen einen jährlichen Kapitalrückfluss von 7.414 €. Es zeigt sich jedoch deutlich, dass die Höhe der periodischen Einnahmen bei einem Kapitaleinsatz von rund 84.000 € zu gering ausfallen, um eine Amortisation der Investition innerhalb kürzester Zeit zu erreichen. Dieser Umstand drückt sich in Tabelle 30 insofern aus, als das gebundene Restkapital ein negatives Vorzeichen besitzt. Der Investor kann somit nicht mit einem raschen Rückfluss seiner Investition bzw. einem Gewinn innerhalb von 10 Jahren rechnen.

Abbildung 33 stellt den Verlauf des Restwertkapitals über die kommenden fünfzig Jahren dar. Aufgrund des geringen Kapitalrückflusses und der daraus resultierenden langen Amortisationsdauer ergibt sich eine Funktion für den Restwertkapitalverlauf, welche sich asymptotisch dem Break Even Point nähert, diesen jedoch niemals erreicht. Zu Begründung ist dieses Phänomen damit, dass sich die Diskontinuierung des Barwerts über eine längerer Zeitspanne immer stärker auswirkt.

Der zu geringe Kapitalrückfluss führt dazu, dass sich eine Investition in diese Form der Wärmerückgewinnung in keiner Weise als profitabel erweist, da innerhalb einer betriebswirtschaftlich vernünftigen Dauer keine Amortisation zu erwarten ist.

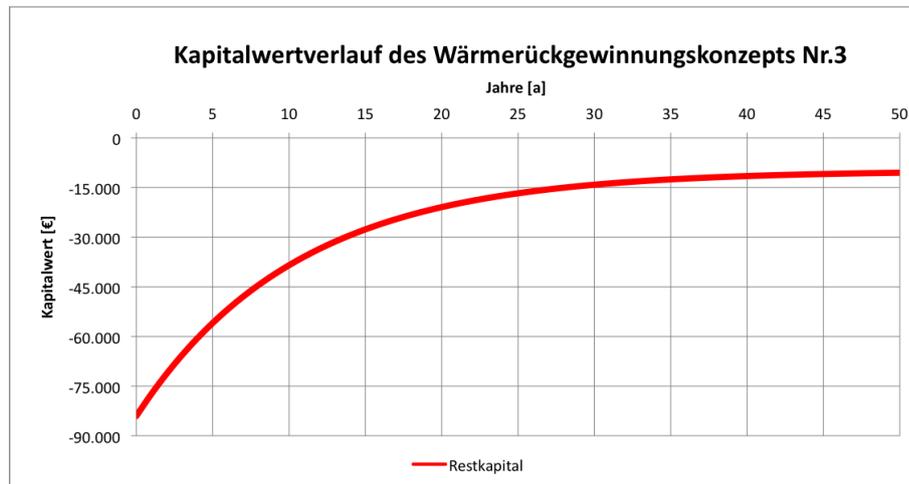


Abbildung 33: Verlauf des Restwertkapitals der Investitionsform Nr.3

Um den internen Zinssatz der Investition bestimmen zu können, ist die Berechnung des Annuitätsfaktors nach Glg.4-40 vonnöten. Das Resultat dieser Gleichung ist ein Wert von 11,33531157 für den Annuitätenfaktor. Unter der Annahme, dass in den folgenden zwanzig Betriebsjahren keine weiteren Investitionen getätigt werden müssen, kann eine Gegenwartswerttabelle¹²⁹ für weitere Berechnungen herangezogen werden. Mithilfe der erwarteten Betriebsjahre und dem Annuitätenfaktor kann der interne Zinssatz der Gegenwartstabelle entnommen werden. Im konkreten Fall war eine lineare Interpolation der Werte durchzuführen. Bei der Interpolation der Tabellenwerte ergibt sich ein interner Zinssatz von 6,16%. Dies bedeutet, dass die Investition des Projekts Nr. 3 mit einem Zinssatz von 6,16% veranlagt ist. Dieser Zinssatz liegt jedoch unter dem vom Unternehmen vorgeschriebenen Zinssatz von 10%. Das Ergebnis des internen Zinssatzes widerspricht somit den Entscheidungskriterien der Investitionsrechnung.

Der Kapitalrückfluss des Wärmerückgewinnungskonzeptes ist abhängig vom vorherrschenden Gaspreis. Um den Einfluss des Gaspreises auf die Kapitalrückflüsse und die Amortisationszeit der Investition bestimmen zu können, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dieser liegt ein preissteigendes Zukunftsszenario zugrunde. Darin wird eine jährliche Preissteigerung von 10 % auf dem Gasmarkt supponiert.

Das Ergebnis dieser Untersuchung wird in graphischer Form in Abbildung 34 dargestellt. Die Abbildung ermöglicht einen direkten Vergleich zwischen dem Restwertkapitalverlauf bei konstanten wie auch steigenden Gaspreisen.

¹²⁹ Vgl. Staehelin (2007) S. 264.

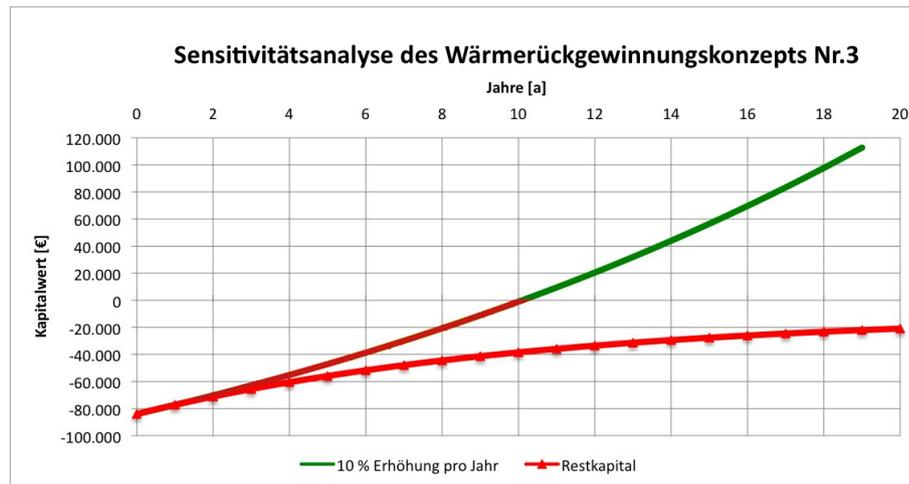


Abbildung 34: Auswirkung einer jährlichen Erdgaspreissteigerung um 10 % auf das Restwertkapital im Vergleich zum Restwertkapitalverhalten bei konstanten Gaskosten auf Investitionsprojekt Nr.3.

Abbildung 34 zeigt, dass sich unter Berücksichtigung der zehnpromigen Preissteigerung bereits im fünften Jahr der Nutzungsdauer eine deutliche Abweichung des Restkapitalwertverlaufs vom Modell mit konstantem Gaspreis ergibt. Gegenüber der Annahme konstanter Gaspreise, hält eine jährliche Preissteigerung von 10% der Diskontinuierung entgegen und der Break Even Point wird nach zehn Jahren erreicht. Der Eintritt in die gewinnbringende Zone wird jedoch erst weitere fünf Jahre später erreicht. Dies bedeutet, dass die zu Anfang getätigte Investition nach zehn Jahren vollständig zurückerwirtschaftet wurde. Zukünftige Einsparungen können als Gewinn angesehen werden, dabei kommt es zu keinem tatsächlichen Geldrückfluß, jedoch sind die monetären Abflüsse für die Kapital- und Heizkosten abgeschlossen. Dies verhindert langfristig, den Abfluß von finanziellen Mitteln aus dem Unternehmen.

Das Ergebnis dieser Sensitivitätsanalyse verdeutlicht, dass der preispolitische Einfluss zu spät an Relevanz gewinnt, um eine schnell erreichbare Amortisation zu generieren. Das investierte Kapital bleibt mehrere Jahre in der Anlage gebunden und ermöglicht erst unter extremen Gaspreissteigerungen einen schnellen Kapitalrückfluß bzw. Gewinn für den Investor.

Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des Szenarios 4 unter Einbeziehung der Walzendreherei, dem Magazin und der Elektrowerkstätte (Projekt Nr.4)

Im Folgenden wird das Investitionsvorhaben des Projekts Nr.4 (vgl. Tabelle 27) diskutiert. Mittels dieser Projektform soll die Beheizung des Magazins und der Walzendreherei durch Abluft der DSD201 Kompressoren gewährleistet werden, während die Elektrowerkstätte mit Warmwasser aus der Wärmerückgewinnung an den FS440 Kompressoren erfolgt.

Tabelle 31 stellt die Kapitalrückflüsse, Abzinsungsfaktoren, den Barwert und das Restkapital der Investition dar. Das Investitionspräliminar des Konzepts beläuft sich auf 139.051 €.

Tabelle 31: Investitionsrechnug für WD+MZ+EZ (Projekt Nr.4)

Jahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rückfluss [€]	6.167	6.167	6.167	6.167	6.167	6.167	6.167	6.167	6.167	6.167
Abzinsungs-faktor [-]	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855
Barwert-Rückfluss [€]	5.606	5.096	4.633	4.212	3.829	3.481	3.164	2.876	2.615	2.377
Restkapital [1000x€]	-133	-128	-124	-120	-116	-112	-109	-106	-104	-101

Die Verwirklichung des Projektes in dieser Form verspricht aufgrund der technisch realisierbaren Energieeinsparungen einen jährlichen Kapitalrückfluss von 6.167 €. Es zeigt sich jedoch deutlich, dass die Höhe der periodischen Einnahmen bei einem Kapitaleinsatz von rund 139.000 € zu gering ausfallen, um eine Amortisation der Investition innerhalb kürzester Zeit zu erreichen. Dieser Umstand drückt sich in Tabelle 31 durch ein negatives Vorzeichen des gebundenen Restkapitals aus. Der Investor kann somit nicht mit einem raschen Rückfluss seiner Investition bzw. einem Gewinn rechnen.

Abbildung 35 stellt den Verlauf des Restwertkapitals über die kommenden fünfzig Jahren dar. Aufgrund des geringen Kapitalrückflusses und der daraus resultierenden langen Amortisationsdauer ergibt sich eine Funktion für den Restwertkapitalverlauf, welche niemals den Break Even Point erreicht. Zu Begründung ist dieses Phänomen damit, dass sich die Diskontinuierung des Barwerts über eine längerer Zeitspanne immer stärker auswirkt.

Der zu geringe Kapitalrückfluss führt dazu, dass sich die Investition in diese Form der Wärmerückgewinnung nicht lohnt, da eine Amortisation innerhalb einer betriebswirtschaftlich vernünftigen Dauer nicht zu erwarten ist.

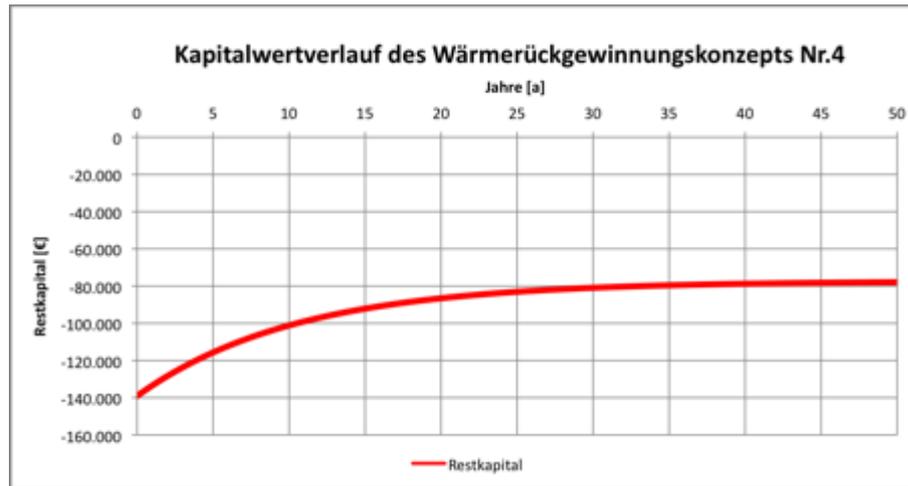


Abbildung 35: Verlauf des Restwertkapitals der Investitionsform Nr.4

Um den internen Zinssatz der Investition bestimmen zu können, ist die Berechnung des Annuitätsfaktors nach Glg.4-40 vonnöten. Das Resultat dieser Gleichung ist ein Wert von 22,54759202 für den Annuitätenfaktor. Unter der Annahme, dass in den folgenden zwanzig Betriebsjahren keine weiteren Investitionen getätigt werden müssen, kann eine Gegenwartswerttabelle¹³⁰ für weitere Berechnungen herangezogen werden. Mithilfe der erwarteten Betriebsjahre und dem Annuitätenfaktor kann der interne Zinssatz der Gegenwartstabelle entnommen werden. Im konkreten Fall war eine lineare Interpolation der Werte durchzuführen. Bei der Interpolation der Tabellenwerte ergibt sich ein interner Zinssatz von 1,29 %. Dies bedeutet, dass die Investition des Projekts Nr. 3 mit einem Zinssatz von 1,29 % veranlagt ist. Dieser Zinssatz liegt deutlich über dem vom Unternehmen vorgeschriebenen Zinssatz von 10% und entspricht somit eindeutig den Entscheidungskriterien der Investitionsrechnung.

Der Kapitalrückfluss des Wärmerückgewinnungskonzeptes ist abhängig vom vorherrschenden Gaspreis. Um den Einfluss des Gaspreises auf die Kapitalrückflüsse und die Amortisationszeit der Investition bestimmen zu können, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dieser liegt ein preissteigendes Zukunftsszenario zugrunde. Darin wird davon ausgegangen, dass es am Gasmarkt zu einer jährlichen Preissteigerung von 10% kommt.

Das Ergebnis dieser Untersuchung wird in graphischer Form in Abbildung 36 dargestellt. Die Abbildung ermöglicht einen direkten Vergleich zwischen dem Restwertkapitalverlaufs bei konstanten wie auch steigenden Gaspreisen.

¹³⁰ Vgl. Staehelin (2007) S. 264.

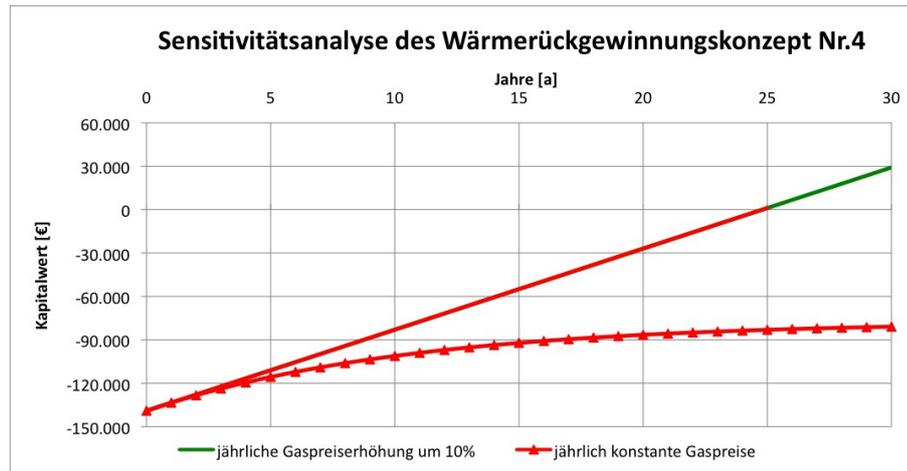


Abbildung 36: Auswirkung einer jährlichen Erdgaspreissteigerung um 10 % auf das Restwertkapital im Vergleich zum Restwertkapitalverhalten bei konstanten Gaskosten auf Investitionsprojekt Nr.4.

Abbildung 36 zeigt, dass unter Berücksichtigung der zehnpromigen Preissteigerung, sich bereits im fünften Jahr der Nutzungsdauer eine deutliche Abweichung des Restkapitalwertverlaufs vom Modell mit konstantem Gaspreis ergibt. Gegenüber der Annahme konstanter Gaspreise, hält eine jährliche Preissteigerung von 10% der Diskontinuierung entgegen und der Break Even Point wird nach fünfundzwanzig Jahren erreicht. Dies bedeutet, dass die zu Anfang getätigte Investition nach fünfundzwanzig Jahren vollständig zurückerwirtschaftet wurde. Zukünftige Einsparungen können als Gewinn angesehen werden, dabei kommt es zu keinem tatsächlichen Geldrückfluß, jedoch sind die monetären Abflüsse für die Kapital- und Heizkosten abgeschlossen. Dies verhindert langfristig den Abfluß von finanziellen Mitteln aus dem Unternehmen.

Das Ergebnis dieser Sensitivitätsanalyse verdeutlicht, dass der preispolitische Einfluss zu spät an Relevanz gewinnt um eine schnell erreichbare Amortisation zu generieren. Das investierte Kapital bleibt mehrere Jahre in der Anlage gebunden und ermöglicht erst unter extremen Gaspreissteigerungen einen schnellen Kapitalrückfluß bzw. Gewinn für den Investor.

Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des Szenarios 1 unter Einbeziehung der Walzendreherei (Projekt Nr.10)

Im Folgenden wird das Investitionsvorhaben des Projekts Nr.10 (vgl. Tabelle 27) diskutiert. Mit dieser Projektform soll die Beheizung der Walzendreherei durch Abluft der DSD201 Kompressoren erfolgen.

Tabelle 32 stellt die Kapitalrückflüsse, Abzinsungsfaktoren, den Barwert und das Restkapital der Investition dar. Das Investitionspreliminar des Konzepts beläuft sich auf 3.000 €.

Tabelle 32: Investitionsrechnung für WD (Projekt Nr.10)

Jahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rückfluss [€]	3.184	3.184	3.184	3.184	3.184	3.184	3.184	3.184	3.184	3.184
Abzinsungsfaktor [-]	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855
Barwert-Rückfluss [€]	2.894	2.631	2.392	2.174	1.977	1.797	1.633	1.485	1.350	1.227
Restkapital [€]	-105	2.526	4.918	7.093	9.070	10.867	12.501	13.986	15.337	16.564

Die Verwirklichung des Projektes in dieser Form verspricht einen jährlichen Kapitalrückfluss von 3.184 €. Es zeigt sich deutlich, dass die Höhe der periodischen Einnahmen einem Kapitaleinsatz von rund 3.000 € sehr positiv gegenüberstehen. Dies drückt sich dadurch aus, dass das gebundene Restkapital in der Anlage ab dem zweiten Nutzungsjahr ein positives Vorzeichen besitzt und der Investor mit einem raschen Rückfluss seiner Investition bzw. einem Gewinn rechnen kann. Dieser Umstand verdeutlicht sich besonders eindrucksvoll in Abbildung 37. Der dort dargestellte Verlauf des Restkapitals in den kommenden zwanzig Jahren zeigt, dass der Break Even Point bereits innerhalb von zwei Jahren erreicht wird und sich die Investition während dieses Zeitraums amortisiert hat.

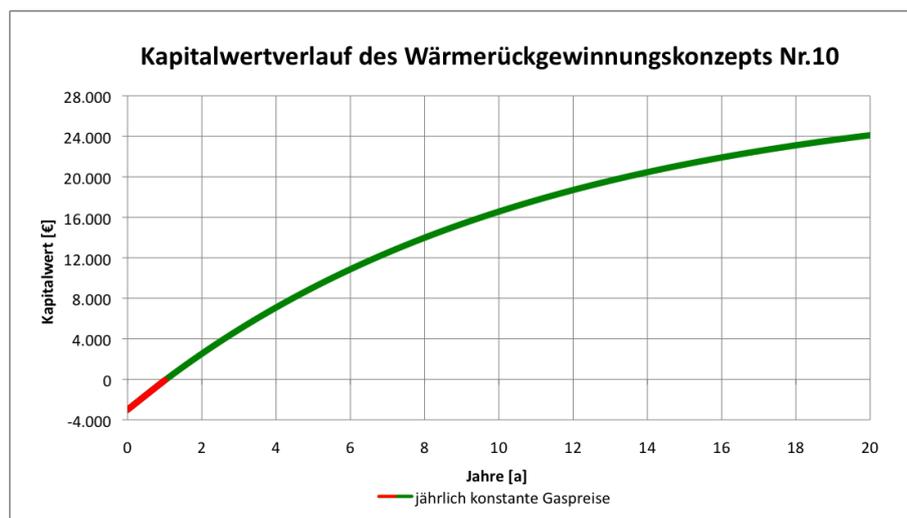


Abbildung 37: Verlauf des Restwertkapitals der Investitionsform Nr.10

Aufgrund der geringen Investition und der kurzen Amortisationszeit ergibt sich ein äußerst hoher interner Zinsfuß. In diesem Fall ist die Aussagekraft der Gegenwartswerttabelle¹³¹ limitiert, es kann lediglich die Aussage getroffen werden, dass der interne Zinsfuß größer als 40% ist. Dies übertrifft deutlich die Zinsvorgabe des Unternehmens von 10% und spricht im Sinne der Entscheidungskriterien der Investitionsrechnung für die Umsetzung des Projekts Nr. 10.

Der Kapitalrückfluss des Wärmerückgewinnungskonzeptes ist abhängig vom vorherrschenden Gaspreis. Um den Einfluss des Gaspreises auf die Kapitalrückflüsse und die Amortisationszeit der Investition bestimmen zu können, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dieser liegt ein preissteigendes Zukunftsszenario zugrunde. Darin wird davon ausgegangen, dass es am Gasmarkt zu einer jährlichen Preissteigerung von 10% kommt.

Das Ergebnis dieser Untersuchung wird in graphischer Form in Abbildung 38 dargestellt. Die Abbildung ermöglicht einen direkten Vergleich zwischen dem Restwertkapitalverlauf bei konstanten wie auch steigenden Gaspreisen.

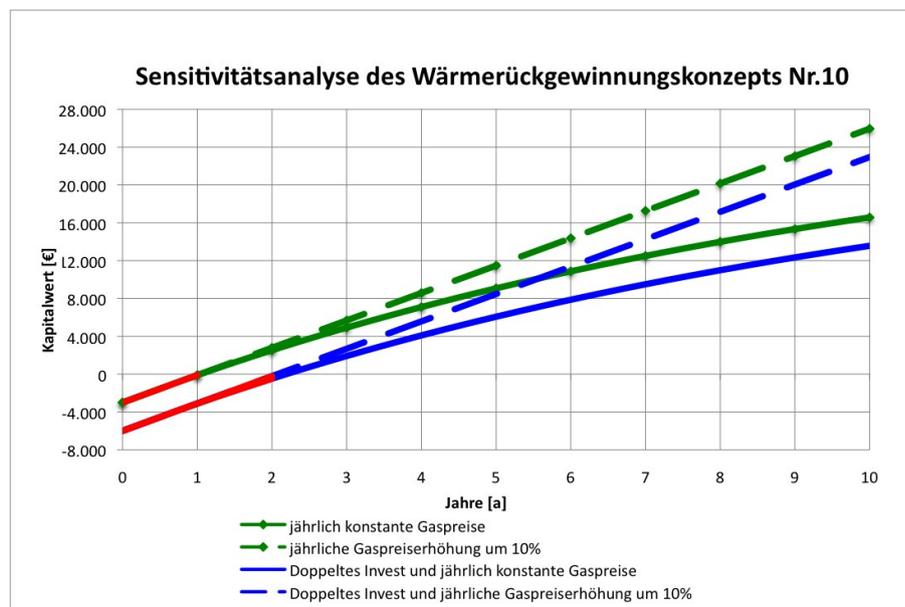


Abbildung 38: Auswirkung einer jährlichen Erdgaspreissteigerung um 10 % auf das Restwertkapital im Vergleich zum Restwertkapitalverhalten bei konstanten Gaskosten auf Investitionsprojekt Nr.10.

Abbildung 38 zeigt, einerseits das Verhalten des Restwertkapitals bei konstanten Gaspreisen und andererseits bei variablen Gaspreisen. Weiters wurde die Sensitivität des Investitionspräliminars untersucht. Dabei wurde das Verhalten des Restwertkapitals mit dem Kostensatz von 3.000 € kalkulierten und des weiteren mit dem doppelt so hohen Kostensatz von 6.000 €.

Werden die 3.000 € bei der Umsetzung nicht überschritten amortisiert sich die Investition innerhalb der ersten beiden Jahre. Gaspreiserhöhungen würden sich in diesem Zeitraum nicht auf die Amortisation auswirken. Dieselbe Aussage trifft

¹³¹ Vgl. Staehelin (2007) S. 264.

für eine Investition mit einem Volumen von 6.000 € zu, jedoch vollzieht sich die Amortisation innerhalb eines zeitlichen Rahmens von 3 Jahren.

Das Ergebnis dieser Sensitivitätsanalyse verdeutlicht, dass der preispolitische Einfluss die Amortisationsdauer nicht akut betrifft. Das investierte Kapital ist nur kurzzeitig in der Anlage gebunden und ermöglicht einen rapiden Kapitalrückfluss bzw. Gewinn für den Investor.

5 Ergebnisse und Ausblick

Die von der Standortverwaltung der *Stahl Judenburg GmbH* ausformulierten Aufgabenstellungen bilden die Arbeitsgrundlage der vorliegenden Diplomarbeit. Es war dies, die Medienströme im Unternehmen zu bilanzieren und graphisch darzustellen, ein Konzept zur Wärmerückgewinnung im Bereich der Druckluftzeugung zu entwickeln und dieses auf seine technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften hin zu untersuchen.

In den folgenden beiden Abschnitten sollen die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sowie die angestellten Berechnungen dargelegt werden. Des Weiteren werden jene Resultate, welche für das Unternehmen profitabel erscheinen und vielversprechende Entwicklungsmöglichkeiten für die Zukunft eröffnen, eingehend analysiert.

5.1 Medienströme

Die Standortverwaltung des Edelstahlverarbeiters *Stahl Judenburg GmbH* pflegt seit Jahren ein System zur Überwachung und Dokumentation der medienstrombezogenen Verbräuche im Unternehmen. Bei den Medienströmen handelt es sich um: Erdgas, elektrische Energie und Nutzwasser. Im aktuellen Verfahren werden monatlich die Zählstände der lokal installierten Messgeräte von einem Mitarbeiter aufgenommen und mittels Excel-Tabellen dokumentiert. Die Verwaltungsform und die Struktur der Dokumentation wurden bei der Erstellung der Bilanzierung und Auswertung der Verbrauchsdaten beibehalten. Dies bietet den Vorteil, dass trotz der Erweiterung der gewohnten Arbeitsweise der Dokumentationsprozess im Kern bestehen bleibt. Mithilfe der Software STAN2 wurde das Ziel, die Darstellung der monatlichen Verbräuche in Form von Sankey-Diagrammen, auf einfache Weise erreicht. Zur Implementierung und Bilanzierung der historischen aber besonders der zukünftigen Daten wurden zusätzliche Excel-Dokumente erstellt. Diese greifen in erster Linie auf die bewährte Dokumentenform der Standortverwaltung zurück. Dies gewährt eine unkomplizierte Durchführung der Bilanzierung der Stoffströme.

STAN2 ermöglicht es, eine detaillierte Wiedergabe des Versorgungsnetzes eines Mediums darzustellen. Dabei werden die Ströme und Verbrauchsgrößen den jeweiligen Prozessen zugeordnet. Der periodische Verbrauch und die Stromflussbezeichnung können direkt aus dem Sankey-Diagramm abgelesen werden. Die Anlagen wurden gemäß den Bezeichnungen des konsolidierten Bescheids aus dem Jahr 2008 benannt. Dies gibt den jeweiligen Bereichsverantwortlichen oder etwaigen Interessensgruppen die Möglichkeit, rasch die Übersicht über aktuelle Verbrauchsgrößen zu gewinnen. Die Darstellung der unternehmensinternen Versorgungsnetze bietet dem Betrachter eine klare Übersicht über die Netzstrukturen und Anlagenverbräuche. Somit wurde ein Instrument geschaffen, welches es dem Anwender in kurzer Zeit ermöglicht, die Versorgungsstruktur der *Stahl Judenburg GmbH* nachzuvollziehen. Des Weiteren dient es zu Identifikation der Hauptverbraucher des jeweiligen Mediums. Dadurch wird es möglich, ungenutzte Synergien zu lokalisieren und effektive Entscheidungen im Bereich der Ressourceneffizienz zu treffen. Durch die Möglichkeit von Periodenvergleiche können Aussagen und Prognosen über beste-

hende bzw. zukünftige Verbrauchstrends von Anlagen oder des gesamten Unternehmens getätigt werden.

Die Erweiterung der bestehenden Dokumentation anhand der Bilanzierung sowie der Sankey-Diagramme stellt den ersten logischen Schritt in der Evolution des bestehenden Dokumentationsprozesses dar.

Neben der Aufarbeitung der Verbrauchsmessungen in digitaler Form mit STAN2 wurden zusätzlich Jahresberichte für den Verbrauch von Erdgas, Nutzwasser und elektrischer Energie in gedruckter Form erstellt. Diese Berichte bieten eine zusammenfassende Darstellung des letztjährigen Verbrauchs in Bezug auf die produzierte Tonnage an. Weiters werden darin die aktuellen Trends diskutiert. Diese Jahresberichte sind entsprechend der mit STAN2 durchgeführten Gliederung der Unternehmensbereiche aufgebaut und beinhalten die monatlichen Verbrauchswerte der Anlagen. Dabei enthält jeder Abschnitt das zugehörige Grundfließbild des jeweiligen Unternehmensbereichs ohne Sankey-Diagramm. Anstatt der visuellen Darstellung der Verbrauchsmengen in Form von Sankey-Diagrammen ist dem Fließbild eine Tabelle mit den Mengen sämtlicher Ströme beigefügt. Weiters sind die Verbraucher angeführt und gemäß dem konsolidierten Bescheids charakterisiert. Die monatlichen Verbräuche der Anlagen werden in Liniendiagrammen wiedergegeben, um den Verlauf der Verbrauchsmengen über ein Jahr darstellen zu können.

Solche Jahresberichte sind besonders geeignet, den jeweiligen Interessensgruppen zuverlässig und schnell eine detaillierte Einsicht über die Struktur der Versorgungsnetze und der Verbraucher vorlegen zu können. Die Jahresberichte wie auch die digitalen Archivierung entsprechen den von Qualitäts- und Energiemanagementsystemen vorgeschriebenen Dokumentationsvorschriften und stellen somit eine nachhaltige Verbesserung der Dokumentation dar. Unter anderem wurden die Jahresberichte mit einer Management-Dokumentennummer versehen.

Die Fortführung dieser verbesserten Dokumentenstruktur mithilfe der Jahresberichte und digitalen Datenaufbereitung durch STAN2 führt zur effizienten Informationsverwaltung. Führungskräfte werden dadurch zielführend unterstützt und Entscheidungsprozesse im Bereich des Energiemanagements der *Stahl Judenburg GmbH* können effektiver durchgeführt werden.

5.2 Wärmerückgewinnungskonzept

Um den Möglichkeiten zur Umsetzung eines Wärmerückgewinnungskonzepts im Bereich der Druckluftherzeugung nachgehen zu können, wurden jene Arbeitsstätten am Werksgelände in die Konzepterstellung miteinbezogen, welche unmittelbar in der Nähe der Kompressorstation Ost angesiedelt sind. Diese Entscheidung ist mit dem geringen Temperaturniveau der Abwärmemengen begründet. Dieses verhindert, dass die Wärme über weite Strecken transportieren werden kann. Somit wurden die benachbarten bzw. angrenzenden Objekte:“ Walzendreherei, Magazin und Elektrowerkstätte“ für die Untersuchungen ausgewählt.

Generell stehen zwei Arten der Rückgewinnung von Kompressorenabwärme zur Verfügung: die Rückgewinnung der Abwärme über die Abluft und die Rückgewinnung der Abwärme über ein Wärmetauscherkonzept. Die wiedergewonnene Energie steht dann Raumheizzwecken oder der Erwärmung von Nutzwasser zur Verfügung.

Unter Zuhilfenahme der ÖNORM EN 12831 wurde die Heizlast der Gebäude ermittelt und somit der maximale Wärmebedarf zur Aufrechterhaltung eines konstanten Innenraumtemperaturniveaus errechnet. Diese Werte sind als das zu erfüllende Soll zu bezeichnen, welches bei Wegfall der aktuell eingesetzten Gasheizungen durch die Kompressorenabwärme gedeckt werden muss. Weiters wurden die historischen Erdgas-Verbrauchsdaten der Arbeitsstätten ausgewertet und durchschnittliche wie auch extreme Monatsverbräuche ermittelt. Diese lagen wesentlich unter den theoretisch berechneten Norm-Heizlasten. Dadurch ergibt sich für die folgenden technischen Untersuchungen eine Erhöhung der Sicherheit, bei der Planung und Auslegung eines Konzepts zur Wärmerückgewinnung.

Parallel zu den thermodynamischen Berechnungen wurden mehrere Wochen lang Temperaturmessungen an den Kompressoren durchgeführt. Mittels der Rechenergebnisse und Messdaten konnten die technisch nutzbaren Potentiale der Kompressorenabwärme eruiert werden. Diese Untersuchung erfolgte jeweils für die beiden FS440 wie auch die DSD201 Kompressoren. Das Resultat dieser Untersuchung ist, dass die rückgewinnbaren Wärmeleistungen die Kapazitäten zur Versorgung der ausgewählten Arbeitsstätten aufweisen.

Nachdem die technische Nutzungsmöglichkeit des energetischen Potentials der Kompressoren belegt werden konnte, wurden fünf Rückgewinnungskonzepte entwickelt. Bei der Entwicklung der Konzepte waren es die unterschiedlichen Schaltzeiten und ungleichen Abwärmeleistungen der Kompressoren sowie die möglichen Formen der Wärmerückgewinnung, welche das Design bestimmten. Diese fünf Konzepte ermöglichen eine Beschreibung der denkbaren Formen der Energierückgewinnung. Sie wurden mit den unterschiedlichen Möglichkeiten der Versorgung der Walzendreherei, dem Magazin und der Elektrowerkstätte kombiniert. Das Resultat umfasst schlussendlich zehn mögliche Konzeptformen, welche auf die Höhe der erreichbaren Heizkosteneinsparungen untersucht wurden.

Die jährlichen Heizkosteneinsparungen der Projekte wurden den zu tätigen Investitionen in einer Nutzen-Kosten-Analyse gegenübergestellt. Dabei kristallisierten sich zwei Abluftkonzeptvorschläge als entsprechend erfolgversprechend heraus. Jedoch blieb das Nutzen-Kosten-Verhältnis aller Konzepte unbefriedigend. Dies liegt an der Höhe des aufzubringenden Investitionspräliminars der jeweiligen Projekte, welche gegenüber den jährlich erreichbaren Heizkosteneinsparnissen zu hoch sind. Jene Konzeptvorschläge, welche eine Warmwasseraufbereitung beinhalten, schnitten gegenüber den Abluftwärmekonzepten bedeutend schlechter ab. Diese Unzweckmäßigkeit ergibt sich aus den höheren Investitionssummen, da das Rückgewinnen von Abwärme für Warmwasserezwecke einen erhöhten Anlagenaufwand und aufwändige Steuerungssysteme mit sich bringt. Trotz intensiven technischen Aufwands und dadurch höher erzielbaren Temperaturniveaus werden sämtliche Vorteile der Wärmetauscherkonzepte aufgrund der wenigen Wärmeabnehmer zu Nichte gemacht. Da ausschließlich die Elektrowerkstätte über ein bereits bestehendes Zentralheizungssystem verfügt, kann die Warmwassereinspeisung nur in diesem Bereich erfolgen. In der Walzendreherei wie auch dem Magazin müssten zusätzliche Installationen durchgeführt werden, um diese Form der Wärmerückgewinnung nutzen zu können. Dies bedeutet, dass zusätzliches Kapital aufgebracht werden muss und sich das Investitionspräliminar erhöht. Trotz der technischen Vorteile, die sich dadurch ergeben würden, könnte jedoch das Nutzen-Kosten-Verhältnis nicht verbessert werden, da die Versorgung der Objekte bereits durch die Abluftkonzepte gewährleistet wird und das Warmwasserkonzept somit keine Verbesserung darstellt.

Im Besonderen entscheidet die Höhe des Investitionspräliminars über die Wirtschaftlichkeit der Wärmerückgewinnungskonzepte. Da die ersten neun Konzepte den wirtschaftlichen Ansprüchen nicht genügten, wurde ein zusätzliches Konzept ausgearbeitet. Augenmerk dieses Konzept ist es, das benötigte Material zur Abluftnutzung eigenständig zu erwerben und die Montage von Fachkräften aus dem Unternehmen durchführen zu lassen. Der Konzeptvorschlag sieht vor, die Abwärmeluft der beiden DSD201 Kompressoren der Kompressorstation Ost über einen Mauerdurchbruch in die angrenzende Walzendreherei zu leiten und diese damit zu beheizen. Zum Einsatz kommen dabei bauhandelsübliche Spirorohre, welche an der Decke befestigt werden. Der Anschluss an die Abluftkanäle der DSD201 Kompressoren erfolgt über ein Klappensystem. Der Materialaufwand hierfür beträgt rund 3.000 € und führt zu einem Nutzen-Kosten-Verhältnis, größer 1. Hiermit wird die Bedeutung der Höhe des Investitionspräliminar deutlich ersichtlich.

Jene Konzeptformen, die das höchste Einsparungspotential aufweisen wurden einer Wirtschaftlichkeitsüberprüfung unterzogen. Hierzu wurde die Kapitalwertmethode nach den Vorgaben der Georgsmarienhütte Holding angewandt. Da die Amortisationsdauer vom Investitionspräliminar, vom Zinssatz und von den jährlichen Rückflüssen abhängen, erfüllte nur ein einziges Projekt die Kriterien der Investitionsentscheidung. Jenes Projekt, welches vom Unternehmen selbst realisiert werden würde, konnte eine Amortisationsdauer von weniger als zwei Jahren erreichen. Dies liegt in der geringen Investitionshöhe des Projektes begründet.

Da die jährlichen Kosteneinsparungen in allen weiteren Fällen zu gering ausfällt, tritt folgender Fall ein, dass sich die meisten Projektvorhaben nie oder nur unter besonderen Bedingungen amortisieren werden. Besonders der Einfluss des Gaspreises am Markt spielt hier eine tragende Rolle. Dessen Auswirkungen auf die jeweiligen Investitionsvorhaben wurden mithilfe der Sensitivitätsanalyse untersucht. Dabei ergaben die Untersuchungen, dass sich bei einer jährlichen Gaspreissteigerung um etwa 10% die ursprünglich unwirtschaftlichen Projektformen in einem Zeitraum von 10 bis 25 Jahren amortisieren würden. Aufgrund der betriebswirtschaftlich untragbar hohen Zeitspannen von über zehn Jahren kann diesen Projektformen keine Chance zur Verwirklichung eingeräumt werden.

Die Untersuchungen der vorliegenden Diplomarbeit führen zu dem Ergebnis, dass das energetische Potential der Kompressorverluste ausreichend groß ist, um die erforderliche Heizlast der angrenzenden Arbeitsstätten während der Heizperioden decken zu können. Des Weiteren belegen die in der Diplomarbeit enthaltenen Untersuchungen, dass die technischen Möglichkeiten zur Wiedergewinnung der Kompressorenabwärme gegeben sind.

Im Gegensatz zur technischen Machbarkeit stellt sich bei Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Projekte der Sachverhalt auf den ersten Blick nicht eindeutig dar. Aufgrund des hohen Investitionspräliminars und der geringen Heizkosteneinsparungen pro Periode, ergeben sich für die meisten Projekte zu lange Amortisationszeiten. Die geringen Heizkosteneinsparungen sind bedingt durch die alternierenden Schaltzeiten und unterschiedlichen Abwärmemengen der Kompressoren, aber auch durch den Mangel an einer ausreichenden Anzahl an Abnehmern der Abwärme in der direkten Umgebung.

Trotz der wirtschaftlichen Unvorteilhaftigkeit wurde aufgrund der energetischen Vorteile eines Wärmerückgewinnungskonzepts eine Konzeptform ausgearbeitet, welches es vermag die wirtschaftlichen Nachteile zu umgehen. Dabei wird ausschließlich die Walzendreherei über die Luftkanäle der DSD201 Kompressoren beheizt. Dieses Projekt zeichnet sich durch die besonders niedrige Investitionssumme aus und kann betriebswirtschaftlich erfolgreich umgesetzt werden.

Somit kann das vorhandene Energiepotential der Kompressorstation partiell verwendet werden um einen weiteren Beitrag zur Energieeffizienz in der *Stahl Judenburg GmbH* zu liefern.

Literaturverzeichnis

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2002): Luftgütemessung in Judenburg 2000/200, 8010 Graz

Arbeitsstättenverordnung BGBl. II Nr. 368/1998 §/Artikel/Anlage § 28 Inkrafttrittsdatum 01.01.1999

Baumann, W.; Kössler, W.; Promberger, K. (2005): Betriebliche Managementsysteme- Anforderungen Umsetzung Erfahrungen. 2.Aufl., Wien: Linde Verlag Wien Ges.m.b.H.. ISBN 3-7073-0795-6

Baumgartner, R.J.; Krenn, T.; Posch, W. (2009): Energiemanagement - Assessment eines effizienten und effektiven Energiemanagements. In: Biedermann, H., et al. (Hrsg) (2009): Erfolgsfaktor „Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement“. Köln: TÜV Media GmbH. S.161-170. ISBN 978-3-8249-1322-0

Beck, M.; Ökobilanzierung im betrieblichen Management. 1. Aufl., Würzburg: Vogel Buchverlag. ISBN 3-8023-1479-4

Bundesgesetz über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten (Emissionszertifikatengesetz – EZG) (NR: GP XXII RV 400 AB 417 S. 55. BR: 7001 AB 7004 S. 707.) [CELEX-Nr.: 32003L0087] StF: BGBl. I Nr. 46/2004

Burghardt, M. (2002): Projektmanagement-Leitfaden für die Planung, Überwachung und Steuerung von Entwicklungsprojekten. 6. Aufl., Berlin: Publicis Corporate Publishing, Erlangen. ISBN 3-89578-199-1

Butterbrodt, D.; Gogoll, A.; Tammler, U. (1995): Qualitätstechniken - Einsatzmöglichkeiten. In: Petrick, K; Eggert, R., et al. (Hrsg) (1995): Umwelt- und Qualitätsmanagementsysteme – Eine gemeinsame Herausforderung. München: Carl Hanser Verlag München Wien. ISBN 3-446-18107-5

Cerbe, G.; Wilhelms, G. (2008): Technische Thermodynamik. 15. Aufl., Braunschweig: Carl Hansen Verlag München. ISBN 978-3-446-41561-4

Däumler, K. (1996): Anwendung von Investitionsrechnungsverfahren in der Praxis. 4.Aufl., Berlin: Verlag Neue Wirtschafts-Briefe Herne/Berlin. ISBN 3-482-56564-3

DIN EN ISO 14001, Ausgabe: 2009-11: Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung

Eggert, R. (1995): EG-Verordnung über das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung. In: Petrick, K; Eggert, R., et al. (Hrsg) (1995): Umwelt- und Qualitätsmanagementsysteme – Eine gemeinsame Herausforderung. München: Carl Hanser Verlag München Wien. ISBN 3-446-18107-5

Eggert, R. (1995): Zertifizierung von Umweltmanagementsystemen. In: Petrick, K; Eggert, R., et al. (Hrsg) (1995): Umwelt- und Qualitätsmanagementsysteme – Eine gemeinsame Herausforderung. München: Carl Hanser Verlag München Wien. ISBN 3-446-18107-5

Frese, E. (1992): Handwörterbuch der Organisation. 3. Aufl., Stuttgart: C.E. Poeschl Verlag Stuttgart. ISBN 3-7910-8027-X

- Gaap, W. (1993): ISO 9000 leichtgemacht – Praktische Hinweise und Hilfen zur Einführung von QS – Systemen. München: Carl Hanser Verlag München Wien. ISBN 3-446-17634-9
- KAESER Kompressoren (2001): Wärmerückgewinnung an Kaeser Kompressoren – TMS09 – S0125. Firmenunterlagen
- Kamiske, G.; Brauer, J. (1999): Qualitätsmanagement von A bis Z – Erläuterung moderner Begriffe des Qualitätsmanagements. 3.Aufl., München: Carl Hanser Verlag München Wien. ISBN 3-446-21217-5
- Lechner, K.; Egger, A.; Schauer, R. (1996): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 16.Aufl., Wien: Linde Verlag Wien GmbH. ISBN 3-8651222-555-4
- Litke, H. (1995): Projektmanagement-Methoden, Techniken, Verhaltensweisen. 3. Aufl., München: Carl Hanser Verlag München Wien. ISBN 3-446-18310-8
- Lock, D. (1997): Projekt Management. Wirtschaftsverlag Carl Ueberreuter, Wien. ISBN 3-7064-0280-7
- Macharzina, K.; Wolf, J. (2008): Unternehmensführung – Das internationale Managementwissen. 6. Aufl., Stuttgart und Kiel: Gabler I GVW Fachverlage GmbH Wiesbaden. ISBN 978-3-8349-1119-3
- Mantz, M. (1995): Rechtliche Aspekte des Umweltqualitätsmanagements – Problematik der Umsetzung von Umweltschutzziele. In: Petrick, K; Eggert, R., et al. (Hrsg) (1995): Umwelt- und Qualitätsmanagementsysteme – Eine gemeinsame Herausforderung. München: Carl Hanser Verlag München Wien. ISBN 3-446-18107-5
- Nissen, U.; Friedel, A. (1995): Untersuchungsmethoden im betrieblichen Umweltschutz. In: Petrick, K; Eggert, R., et al. (Hrsg) (1995): Umwelt- und Qualitätsmanagementsysteme – Eine gemeinsame Herausforderung. München: Carl Hanser Verlag München Wien. ISBN 3-446-18107-5
- Nolte, H. (1999): Organisation – Ressourcenorientierte Unternehmensgestaltung. München: Oldenbourg Verlag. ISBN 3-486-24409-4
- Oberhofer, A. (1987): Qualitätswirtschaft. Köln: TÜV Rheinland GmbH Köln. ISBN 3-88585-405-8
- ÖNORM EN 12831, Ausgabe: 2003-12-01: Heizungsanlagen in Gebäuden-Verfahren zur Berechnung der Normlast
- ÖNORM EN ISO 9001, Ausgabe: 2009-08-15: Qualitätsmanagement – Anforderungen
- ÖNORM EN ISO 10628, Ausgabe: 2001-03-01: Fließschemen für verfahrenstechnische Anlagen – Allgemeine
- Patzak, G.; Rattay, G.; Volonte, K. (1998): Projekt Management – Leitfaden zum Management von Projekten, Projektportfolios und projektorientierten Unternehmen. 3. Aufl., Wien: Linde Verlag Wien Ges.m.b.H.. ISBN 3-85122-757-3
- Posch, W.; Zwainz, M.; Rabengruber, A. (2009): Betriebliches Energiemanagement. In: Baumgartner, R.J., et al. (Hrsg.) (2009): Öko-Effizienz: Konzepte,

Anwendungen und Best Practices. München: Rainer Hampp Verlag. S.43-53. ISBN 978-3-86618-329-2

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J. (1996): Qualitätsmanagement, Aschheim: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 3-540-61078-2

Schierenbeck, H.; Wöhle, C. (2008): Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre. 17. Aufl., München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. ISBN 978-3-486-58772-2

Schmid, C. (2004): Energieeffizienz in Unternehmen-Eine wissenschaftliche Analyse von Einflussfaktoren und Instrumenten, Zürich: vdf Hochschulverlag AG. ISBN 3-7281-2951-8

Schnitzer, H. (1991): Grundlagen der Stoff- und Energiebilanzierung, Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH. ISBN 3-528-04794-1

Schreyögg, G. (2008): Organisation – Grundlagen moderner Organisationsgestaltung. 5. Aufl., Berlin: Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden. ISBN 978-3-8349-0703-5

Stahelin, E.; Suter, R.; Siegwart, N. (2007): Investitionsrechnung. 10. Aufl., St.Gallen: Verlag Rüegger Zürich Chur. ISBN 978-3-7253-0842-2

Tischler, K. (1996) Ökologische Betriebswirtschaftslehre, München: Oldenbourg Verlag. ISBN

Weber, G. (1997): Thermodynamik in der Klima-, Heizungs-, Kältetechnik. 2. Aufl., Heidelberg: C.F.Müller Verlag, Heidelberg. ISBN 3-7880-7594-5

Wöhe, G. (1996): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 19. Aufl., München: Verlag Franz Vahlen GmbH. ISBN 3-8006-2092-8

Austrian Energy Agency

<http://www.energyagency.at/energien-in-zahlen/gaspreisindex.html>

(Zugriff:25.05.2010)

Drucklufttechnik

<http://www.drucklufttechnik.de/index.html>

(Zugriff:17.03.2010)

EMAS-Info

http://www.emas.de/fileadmin/user_upload/06_service/PDF-Dateien/UGA_Infoblatt-EMAS_III_Jan_2010.pdf

(Zugriff: 12.08.2010)

EMAS Ziele

<http://umwelt.lebensministerium.at/article/articleview/62758/1/13970>

(Zugriff:12.08.2010)

Erdgaspreis

http://www2.e-steiermark.com/_pdf/4b66f34ed52d7.pdf

(Zugriff:31.05.2010)

Energie Schweiz

http://www.druckluft.ch/dokumentation/pdf/Infoblaetter/04-erzeugung_de.pdf

(Zugriff:17.03.2010)

Energy Management System

ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/ENE_Adopted_02-2009.pdf

(Zugriff:20.03.2010)

EWI/Prognos - Studie

http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Dokumentationen/ewi-prognos_E2_80_93studie-entwicklung-der-energiemaerkte-545,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf

(Zugriff:28.05.2010)

Gaspreisindex in Österreich

<http://www.e-control.at/de/industrie/gas/gaspreis/grosshandelspreise>

(Zugriff:25.05.2010)

Gaspreis Zusammensetzung

<http://www.e-control.at/de/konsumenten/gas/der-gaspreis/preiszusammensetzung>

(Zugriff:25.05.2010)

Gaspreis Entstehung

<http://www.e-control.at/de/industrie/gas/gaspreis/grosshandelspreise>

(Zugriff:25.05.2010)

Gasversorgungsreport

http://www.mikrosysteme.org/documents/Report_Gas.pdf

(Zugriff:26.05.2010)

Investitionsplanung

http://www.economics.phil.unierlangen.de/lehre/lehmaterialien/bwl/ws0506/hs_bwl/thema1_ha.pdfgl

(Zugriff:20.03.2010)

Norm-Aussentemperatur

http://www.ifea.tugraz.at/hp_old/heizlast/wertetab2.htm

(Zugriff:17.03.2010)

LUIS Steiermärkische Landesregierung

<http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10021928/2061730/>

<http://app.luis.steiermark.at/luft2/suche.php?station1=118&station2=&komponente1=114&station3=&station4=&komponente2=&mittelwert=1>

(Zugriff:26.05.2010)

STAN2

<http://www.iwa.tuwien.ac.at/iwa226/stan.html>

(Zugriff:20.03.2010)

Spezifische Dichten

http://www.lrzmuenchen.de/~volland/vhb/einblicke/grundlagen/pskript11_1.pdf

(Zugriff: 11.03.2010)

Treibhausgasemissionszertifikatsgesetz

<http://www.ris.bka.gv.at/Dokument.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Dokumentnummer=NOR30003610&ResultFunctionToken=02f431fa-8a51-47e6-8876-bbc89c297095&Kundmachungsorgan=&Index=&Titel=&Gesetzesnummer=&VonArtikel=&BisArtikel=&VonParagraf=&BisParagraf=&VonAnlage=&BisAnlage=&Typ=&Kundmachungsnummer=&Unterzeichnungsdatum=&FassungVom=05.06.2010&ImRisSeit=Undefined&ResultPageSize=100&Suchworte=EZG>

(Zugriff: 18.03.2010)

Wärmekapazitäten:

http://de.wikibooks.org/wiki/Tabellensammlung_Chemie/_spezifische_WaermeKapazitaeten

(Zugriff:11.03.2010)

Anhang

A. Berechnungen zur Norm-Heizlastrechnung

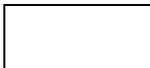
Um die benötigten Wärmemengen der untersuchten Arbeitsstätten eruieren zu können müssen die physikalischen Eigenschaften ermittelt werden, dies gelingt mittels der genormten Heizlastrechnung, welche hier erläutert wird

a. Berechnung des U-Wertes

Die Baustoffe eines Gebäudes haben einen gewichtigen Einfluss auf die Norm-Heizlast. Aufgrund des Alters der Bausubstanzen waren keine Aufzeichnungen über die verbauten Materialien wie auch deren Stoffwerte verfügbar. Dies erforderte eine Begehung der Objekte, bei der die erkennbaren Materialien aufgezeichnet wurden. Mithilfe der tabellierten Daten für die Leitfähigkeit (λ_i) und den geometrischen Abmessungen wurde der Wärmeleitwiderstand R_i der Bausubstanz errechnet. Der Reziprokwert der Summe aller Wärmeleitwiderstände in einer Baugruppe ergibt den gesuchten U-Wert.



Glg. A-1



Glg. A-2

Die Wärmeübergangswiderstände vom Innenraum an die Innenwand und der Aussenwand an die Umgebung mussten nicht gesondert berechnet werden, da diese von der Norm vorgeschrieben werden. Diese wurden in der Glg. 5-2 berücksichtigt.

b. Berechnung des Lüftungswärmeverlusts

Die Berechnung des Lüftungswärmeverlusts erfolgte mit, der aus der ÖNORM EN 12831 entnommen Glg. 5-3¹³²

$$\dot{Q}_{L, \text{Luft}} = 0,34 \cdot V_i \cdot n_{\text{min}} \cdot (\Theta_{\text{int},i} - \Theta_e) \cdot (c_{p,L} \cdot \rho_L) \cdot 1000 / 3600$$

Glg. A-3

mit: $0,34 = (c_{p,L} \cdot \rho_L) \cdot 1000 / 3600$ [W/K.m³]
 $(1,005 \text{ [kJ/kg.K]} \cdot 1,2 \text{ [kg/m}^3]) / 3,6$

V_i = Rauminnenvolumen der Arbeitsstätte [m³]
 n_{min} = Mindest-Außenluftwechselzahl je Stunde [h⁻¹]
 $\Theta_{\text{int},i}$ = Innentemperatur des beheizten Raumes [K]
 Θ_e = Norm-Außentemperatur [K]

Die Volumen der Arbeitsstätten wurden in Kapiteln a.c.i und a.c.ii berechnet.

c. Pläne der vermessenen Gebäude

Die Berechnung der Norm-Heizlastrechnung basiert auf der Gebäudestruktur, daher ist es notwendig über die dementsprechenden Pläne zu verfügen. Da dies nicht der Fall war, mussten die Objekte vermessen werden und mit Auto-CAD dokumentiert werden. Dabei wurden die verwendeten Baumaterialien mitaufgezeichnet. Die nächsten beiden Abschnitte zeigen die Pläne der Walzendreherei und des Magazins.

i. Walzendreherei

Tabelle 33: Raumvolumen und Heizinnenfläche der Walzendreherei

Räumlichkeiten	Länge	Breite	Höhe	Raum-Innenvolumen	Innenfläche
[-]	[m]	[m]	[m]	[m ³]	[m ²]
Walzendreherei gesamt	22,5	12,9	6,5	1886,6	-
Sanitärräume	2,9	3,7	2,7	28,9	-
Walzendreherei Arbeitsstätte	-	-	-	1857,6	1040,7

¹³² Vgl. ÖNORM EN 12831 S. 31

ii. Magazin

Tabelle 34: Raumvolumen und Heizinnenfläche des Magazins

Räumlichkeiten	Länge	Breite	Höhe	Höhe	Raum-Innenvolumen	Innenfläche
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³]	[m ²]
Magazin gesamt	40,9	10,3	7,6	5,8	2857,0	1520,0

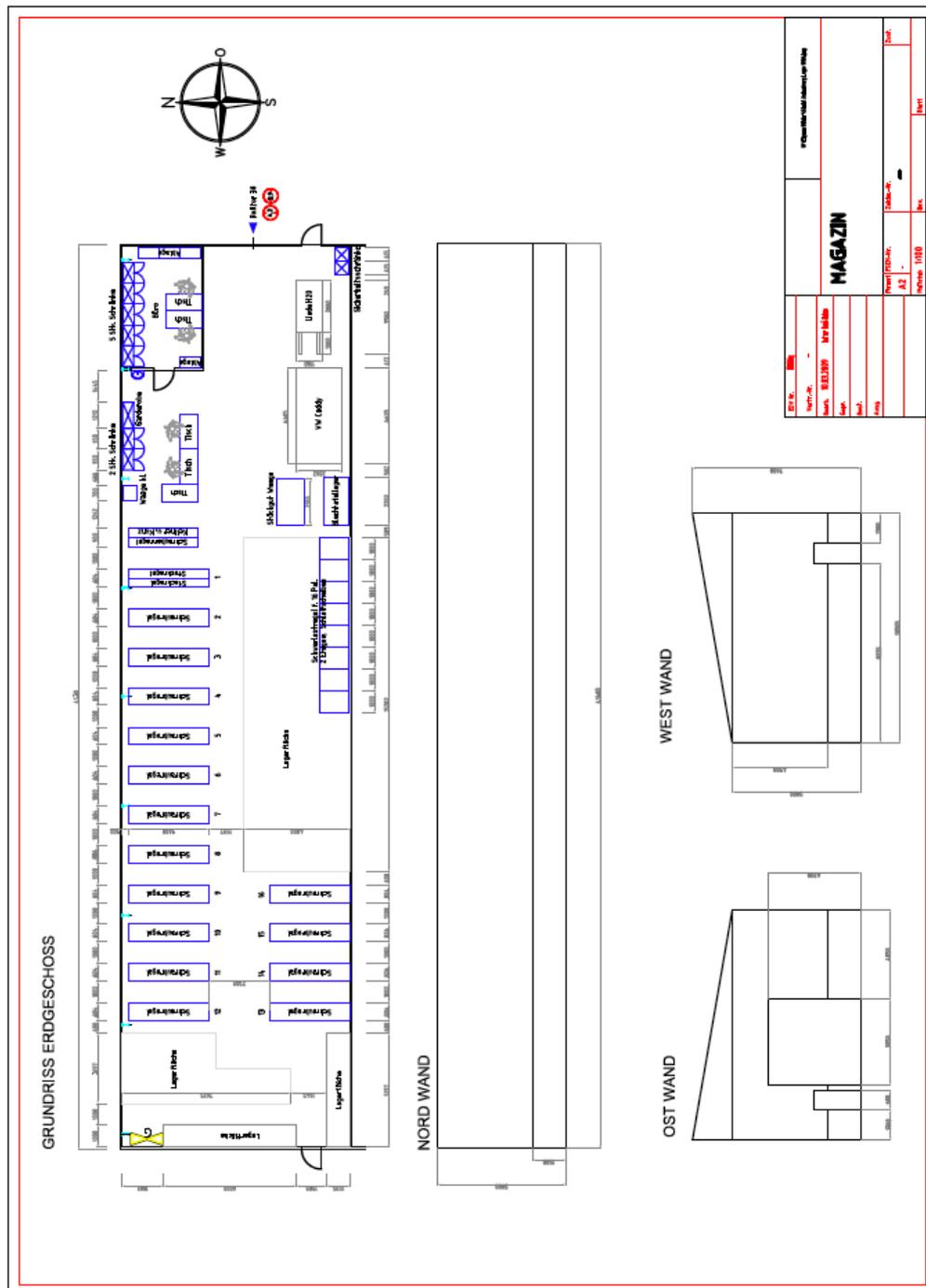


Abbildung 40: Auto-CAD Plan des Magazins

B. Berechnung der Innentemperatur-Absenkungen

Zur Berechnung der Innentemperatur-Absenkung der Walzendreherei und des Magazins wurde die numerische Lösungsmethode, dem differentiellen Ansatz vorgezogen. Es stellte sich heraus das der Einfluss der Stoff- und Mengengrößen der Baumaterialien wie auch der gewählten Systemgrenzen zu große Variationen ermöglichen und keine klare Deutung der Ergebnisse zuließen. Aus Gründen der Vollständigkeit werden der Ansatz und die Lösung des Differential als angeführt.



Glg. B-1



Glg. B-2

Die Grundüberlegung, welcher die Berechnung der Innentemperatur-Absenkung zugrunde liegt, geht von der Frage aus: Wie viel Zeit wird benötigt damit sich die Innentemperatur eines stationäres, sich selbstüberlassenen Systems ohne externer Wärmezufuhr, aufgrund der Wärmeverluste des Systems um einen Kelvin senkt. Die Berechnung wurde bis zu jenen Zeitpunkt durchgeführt, an dem die Innentemperatur und die äußere Lufttemperatur das selbe Niveau hatten und somit keine Energie mehr vom System in die Umgebung transportiert wird. In Diagrammenform wurden die Innenraumtemperaturen über die kumulierten Zeiträume der Temperaturabsenkungen für die Walzendreherei und dem Magazin visualisiert und den Abschnitt 4.1.2 dargestellt.

Beispielhaft wird das Berechnungsfahren für die Raumtemperaturabsenkung der Walzendreherei um einen Kelvin bei einer Aussentemperatur von -18 °C durchgeführt. Alle berechneten Energiezustände des jeweiligen Systems wurden dabei relativ auf 0 °C bezogen.

Ausgangsbasis der Untersuchung ist die gespeicherte Energie des Systems im stationären Zustand bei 20 °C . Die Systemenergie ergibt sich aus den gespeicherten Einzelenergien der Gebäudebestandteile und dem umschlossenen Luftvolumen, mithilfe der nachstehenden Formel.



Glg. B-3

Das in Kapitel a.c berechnete Raumvolumen der Walzendreherei wird dem Luftvolumen gleichgesetzt. Dieses wurde mit der Wärmekapazität und der Dichte von Luft multipliziert.

Tabelle 35 gibt die verwendeten Parameter zur Berechnung der Systemenergie der Walzendreherei wieder. Die Bauteildicke wurde geringer angenommen als die tatsächliche Dicke der Bausubstanz, da davon ausgegangen werden muß, dass sich über den Durchmesser nach Aussen hin ein Temperaturgradient einstellt und Grund dessen nicht das gesamte thoretische Wärmereservoir des Materials der Wärmespeicherung zur Verfügung steht.

Tabelle 35: Berechnung der Systemenergie der Walzendreherei, bei 20 °C Innentemperatur

Bauteil	Bauteil-Dicke	Raum-Fläche	Wärme-kapazität ¹³³	Dichte ¹³⁴	Systemenergie (20 °C)
[-]	[m]	[m ²]	[kJ/kg.K]	[kg/m ³]	[kJ/K]
Ziegel	0,1000	131	0,9200	1500	18.078
Betondecke	0,0500	293	0,8960	2400	31.503
Glas	0,0100	116	0,7030	2200	1.794
Tore	0,0015	13	0,4770	7800	73
Betonsteher	0,4000	56	0,8960	2400	48.169
Luft	-	-	1,0035	1,2040	2.244
Summe	-	-	-	-	101.861

Die Berechnung der Systemenergie des Magazins erfolgte auf die selbe Weise, wie die Berechnung für die Walzendreherei. Die Rechenwerte wie auch das Ergebnis ist in Tabelle 36 dargestellt. Das in Kapitel a.c berechnete Raumvolumen der Walzendreherei wird dem Luftvolumen gleichgesetzt. Dieses wurde mit der Wärmekapazität und der Dichte von Luft multipliziert.

Tabelle 36: Berechnung der Systemenergie des Magazins, bei 20 °C Innentemperatur

Bauteil	Bauteildicke	Raumfläche	Wärme-kapazität ¹³⁵	Dichte ¹³⁶	Systemenergie (20 °C)
[-]	[m]	[m ²]	[kJ/kg.K]	[kg/m ³]	[kJ/K]
Betonwand	0,1000	85	0,8960	2.400	18.321
Glas	0,0100	259	0,7030	2.200	3.999
Tore	0,0100	23	0,4770	7.800	813
Blechdach	0,0010	431	0,4770	7.800	1.602
Luft	-	-	1,0035	1,20	3.452
Summe	-	-	-	-	28.187

Mit dem Leistungsbezug aus der Norm-Heizleistungsberechnung und der Formel für die eindimensionale Wärmeübertragung wurde die Dauer der Temperaturabsenkung um ein Kelvin berechnet.



Glg. B-4



Glg. B-5

Die Wärmemenge, welche während der Innentemperatursenkung an die Umgebung abgegeben wird, wird für den nächsten Rechenschritt von der vorange-

¹³³ Vgl. Wärmekapazitäten (2010)

¹³⁴ Vgl. Spezifische Dichten (2010)

¹³⁵ Vgl. Wärmekapazitäten (2010)

¹³⁶ Vgl. Spezifische Dichten (2010)

gangenen Energiemenge im System abgezogen und die Berechnung der fortlaufenden Temperaturabsenkung beginnt von Neuem.

Die Resultate der Berechnung zum Temperaturabsenkungsverhalten der Walzendreherei und des Magazins, bei unterschiedlichen Außenlufttemperaturen, sind in Tabelle 38 bis Tabelle 44 ausgewiesen.

Tabelle 37: Raum-Temperaturabsenkung der WD bei konstanter Aussenlufttemperatur von -6°C

Temperatur-Differenz	Wärme-Verluste	System-Energie	Verlust-Energie	Zeit	Kum. Zeit	Raum-Temperatur
[K]	[kW]	[kJ]	[kJ]	[s]	[h]	[K]
26	84,15	2.648.396	-	0	0	20
25	84,15	2.648.396	101.861	1.210	0,34	19
24	80,91	2.546.535	101.861	1.259	0,69	18
23	77,68	2.444.673	101.861	1.311	1,05	17
22	74,44	2.342.812	101.861	1.368	1,43	16
21	71,20	2.240.951	101.861	1.431	1,83	15
20	67,97	2.139.089	101.861	1.499	2,24	14
19	64,73	2.037.228	101.861	1.574	2,68	13
18	61,49	1.935.366	101.861	1.656	3,14	12
17	58,26	1.833.505	101.861	1.748	3,63	11
16	55,02	1.731.644	101.861	1.851	4,14	10
15	51,78	1.629.782	101.861	1.967	4,69	9
14	48,55	1.527.921	101.861	2.098	5,27	8
13	45,31	1.426.059	101.861	2.248	5,89	7
12	42,07	1.324.198	101.861	2.421	6,57	6
11	38,84	1.222.337	101.861	2.623	7,30	5
10	35,60	1.120.475	101.861	2.861	8,09	4
9	32,37	1.018.614	101.861	3.147	8,96	3
8	29,13	916.752	101.861	3.497	9,94	2
7	25,89	814.891	101.861	3.934	11,03	1
6	22,66	713.030	101.861	4.496	12,28	0
5	19,42	611.168	101.861	5.245	13,74	-1
4	16,18	509.307	101.861	6.295	15,48	-2
3	12,95	407.446	101.861	7.868	17,67	-3
2	9,71	305.584	101.861	10.491	20,58	-4
1	6,47	203.723	101.861	15.736	24,95	-5
0	3,24	101.861	101.861	31.473	33,70	-6

Tabelle 38: Raum-Temperaturabsenkung der WD bei konstanter Aussenlufttemperatur von -18°C

Temperatur-Differenz	Wärme-Verluste	System-Energie	Verlust-Energie	Zeit	Kum. Zeit	Raum-Temperatur
[K]	[kW]	[kJ]	[kJ]	[s]	[h]	[K]
38	110,65	3.870.733	-	0	0	20
37	110,65	3.870.733	101.861	921	0,26	19
36	107,73	3.768.871	101.861	945	0,52	18
35	104,82	3.667.010	101.861	972	0,79	17
34	101,91	3.565.149	101.861	1.000	1,07	16
33	99,00	3.463.287	101.861	1.029	1,35	15
32	96,09	3.361.426	101.861	1.060	1,65	14
31	93,18	3.259.564	101.861	1.093	1,95	13
30	90,26	3.157.703	101.861	1.128	2,26	12
29	87,35	3.055.842	101.861	1.166	2,59	11
28	84,44	2.953.980	101.861	1.206	2,92	10
27	81,53	2.852.119	101.861	1.249	3,27	9
26	78,62	2.750.257	101.861	1.296	3,63	8
25	75,71	2.648.396	101.861	1.346	4,00	7
24	72,79	2.546.535	101.861	1.399	4,39	6
23	69,88	2.444.673	101.861	1.458	4,80	5
22	66,97	2.342.812	101.861	1.521	5,22	4
21	64,06	2.240.951	101.861	1.590	5,66	3
20	61,15	2.139.089	101.861	1.666	6,12	2
19	58,23	2.037.228	101.861	1.749	6,61	1
18	55,32	1.935.366	101.861	1.841	7,12	0
17	52,41	1.833.505	101.861	1.944	7,66	-1
16	49,50	1.731.644	101.861	2.058	8,23	-2
15	46,59	1.629.782	101.861	2.186	8,84	-3
14	43,68	1.527.921	101.861	2.332	9,49	-4
13	40,76	1.426.059	101.861	2.499	10,18	-5
12	37,85	1.324.198	101.861	2.691	10,93	-6
11	34,94	1.222.337	101.861	2.915	11,74	-7
10	32,03	1.120.475	101.861	3.180	12,62	-8
9	29,12	1.018.614	101.861	3.498	13,59	-9
8	26,21	916.752	101.861	3.887	14,67	-10
7	23,29	814.891	101.861	4.373	15,89	-11
6	20,38	713.030	101.861	4.998	17,28	-12
5	17,47	611.168	101.861	5.831	18,90	-13
4	14,56	509.307	101.861	6.997	20,84	-14
3	11,65	407.446	101.861	8.746	23,27	-15
2	8,74	305.584	101.861	11.661	26,51	-16
1	5,82	203.723	101.861	17.492	31,37	-17
0	2,91	101.861	101.861	34.983	41,08	-18

Tabelle 39: Raum-Temperaturabsenkung der WD bei konstanter Aussenlufttemperatur von 0°C

Temperatur-Differenz	Wärme-Verluste	System-Energie	Verlust-Energie	Zeit	Kum. Zeit	Raum-Temperatur
[K]	[kW]	[kJ]	[kJ]	[s]	[h]	[K]
20	64,73	2.037.228	-	0	0	20
19	64,73	2.037.228	101.861	1.574	0,44	19
18	61,49	1.935.366	101.861	1.656	0,90	18
17	58,26	1.833.505	101.861	1.748	1,38	17
16	55,02	1.731.644	101.861	1.851	1,90	16
15	51,78	1.629.782	101.861	1.967	2,44	15
14	48,55	1.527.921	101.861	2.098	3,03	14
13	45,31	1.426.059	101.861	2.248	3,65	13
12	42,07	1.324.198	101.861	2.421	4,32	12
11	38,84	1.222.337	101.861	2.623	5,05	11
10	35,60	1.120.475	101.861	2.861	5,85	10
9	32,37	1.018.614	101.861	3.147	6,72	9
8	29,13	916.752	101.861	3.497	7,69	8
7	25,89	814.891	101.861	3.934	8,79	7
6	22,66	713.030	101.861	4.496	10,03	6
5	19,42	611.168	101.861	5.245	11,49	5
4	16,18	509.307	101.861	6.295	13,24	4
3	12,95	407.446	101.861	7.868	15,43	3
2	9,71	305.584	101.861	10.491	18,34	2
1	6,47	203.723	101.861	15.736	22,71	1
0	3,24	101.861	101.861	31.473	31,45	0

Tabelle 40: Raum-Temperaturabsenkung der WD bei konstanter Aussenlufttemperatur von 0°C

Temperatur-Differenz	Wärme-Verluste	System-Energie	Verlust-Energie	Zeit	Kum. Zeit	Raum-Temperatur
[K]	[kW]	[kJ]	[kJ]	[s]	[h]	[K]
10	32,37	1.018.614	-	0	0	20
9	32,37	1.018.614	101.861	3.147	0,87	19
8	29,13	916.752	101.861	3.497	1,85	18
7	25,89	814.891	101.861	3.934	2,94	17
6	22,66	713.030	101.861	4.496	4,19	16
5	19,42	611.168	101.861	5.245	5,64	15
4	16,18	509.307	101.861	6.295	7,39	14
3	12,95	407.446	101.861	7.868	9,58	13
2	9,71	305.584	101.861	10.491	12,49	12
1	6,47	203.723	101.861	15.736	16,86	11
0	3,24	101.861	101.861	31.473	25,61	10

Tabelle 41: Raum-Temperaturabsenkung des MZ bei konstanter Aussenlufttemperatur von -18°C

Temperatur-Differenz	Wärme-Verluste	System-Energie	Verlust-Energie	Zeit	Kum. Zeit	Raum-Temperatur
[K]	[kW]	[kJ]	[kJ]	[s]	[h]	[K]
38	161	1071095	-	0	0	20
37	161	1071095	28187	175	0,05	19
36	157	1042908	28187	179	0,10	18
35	153	1014721	28187	184	0,15	17
34	149	986535	28187	190	0,20	16
33	144	958348	28187	195	0,26	15
32	140	930161	28187	201	0,31	14
31	136	901974	28187	207	0,37	13
30	132	873788	28187	214	0,43	12
29	127	845601	28187	221	0,49	11
28	123	817414	28187	229	0,55	10
27	119	789228	28187	237	0,62	9
26	115	761041	28187	246	0,69	8
25	110	732854	28187	255	0,76	7
24	106	704668	28187	265	0,83	6
23	102	676481	28187	276	0,91	5
22	98	648294	28187	288	0,99	4
21	93	620107	28187	302	1,07	3
20	89	591921	28187	316	1,16	2
19	85	563734	28187	332	1,25	1
18	81	535547	28187	349	1,35	0
17	76	507361	28187	369	1,45	-1
16	72	479174	28187	390	1,56	-2
15	68	450987	28187	415	1,68	-3
14	64	422801	28187	442	1,80	-4
13	59	394614	28187	474	1,93	-5
12	55	366427	28187	510	2,07	-6
11	51	338240	28187	553	2,23	-7
10	47	310054	28187	603	2,39	-8
9	42	281867	28187	663	2,58	-9
8	38	253680	28187	737	2,78	-10
7	34	225494	28187	829	3,01	-11
6	30	197307	28187	948	3,28	-12
5	25	169120	28187	1106	3,58	-13
4	21	140934	28187	1327	3,95	-14
3	17	112747	28187	1659	4,41	-15
2	13	84560	28187	2212	5,03	-16
1	8	56373	28187	3317	5,95	-17
0	4	28187	28187	6635	7,79	-18

Tabelle 42: Raum-Temperaturabsenkung des MZ bei konstanter Aussenlufttemperatur von -6°C

Temperatur-Differenz [K]	Wärme-Verluste [kW]	System-Energie [kJ]	Verlust-Energie [kJ]	Zeit [s]	Kum. Zeit [h]	Raum-Temperatur [K]
26	110	732.854	-	0	0,00	20
25	110	732.854	28.187	255	0,07	19
24	106	704.668	28.187	265	0,14	18
23	102	676.481	28.187	276	0,22	17
22	98	648.294	28.187	288	0,30	16
21	93	620.107	28.187	302	0,39	15
20	89	591.921	28.187	316	0,47	14
19	85	563.734	28.187	332	0,57	13
18	81	535.547	28.187	349	0,66	12
17	76	507.361	28.187	369	0,76	11
16	72	479.174	28.187	390	0,87	10
15	68	450.987	28.187	415	0,99	9
14	64	422.801	28.187	442	1,11	8
13	59	394.614	28.187	474	1,24	7
12	55	366.427	28.187	510	1,38	6
11	51	338.240	28.187	553	1,54	5
10	47	310.054	28.187	603	1,71	4
9	42	281.867	28.187	663	1,89	3
8	38	253.680	28.187	737	2,09	2
7	34	225.494	28.187	829	2,33	1
6	30	197.307	28.187	948	2,59	0
5	25	169.120	28.187	1.106	2,90	-1
4	21	140.934	28.187	1.327	3,26	-2
3	17	112.747	28.187	1.659	3,72	-3
2	13	84.560	28.187	2.212	4,34	-4
1	8	56.373	28.187	3.317	5,26	-5
0	4	28.187	28.187	6.635	7,10	-6

Tabelle 43: Raum-Temperaturabsenkung des MZ bei konstanter Aussenlufttemperatur von 0 °C

Temperatur-Differenz	Wärme-Verluste	System-Energie	Verlust-Energie	Zeit	Kum. Zeit	Raum-Temperatur
[K]	[kW]	[kJ]	[kJ]	[s]	[h]	[K]
20	85	563.734	-	0	0,00	20
19	85	563.734	28.187	332	0,09	19
18	81	535.547	28.187	349	0,19	18
17	76	507.361	28.187	369	0,29	17
16	72	479.174	28.187	390	0,40	16
15	68	450.987	28.187	415	0,52	15
14	64	422.801	28.187	442	0,64	14
13	59	394.614	28.187	474	0,77	13
12	55	366.427	28.187	510	0,91	12
11	51	338.240	28.187	553	1,06	11
10	47	310.054	28.187	603	1,23	10
9	42	281.867	28.187	663	1,42	9
8	38	253.680	28.187	737	1,62	8
7	34	225.494	28.187	829	1,85	7
6	30	197.307	28.187	948	2,12	6
5	25	169.120	28.187	1.106	2,42	5
4	21	140.934	28.187	1.327	2,79	4
3	17	112.747	28.187	1.659	3,25	3
2	13	84.560	28.187	2.212	3,87	2
1	8	56.373	28.187	3.317	4,79	1
0	4	28.187	28.187	6.635	6,63	0

Tabelle 44: Raum-Temperaturabsenkung des MZ bei konstanter Aussenlufttemperatur von +10°C

Temperatur-Differenz	Wärme-Verluste	System-Energie	Verlust-Energie	Zeit	Kum. Zeit	Raum-Temperatur
[K]	[kW]	[kJ]	[kJ]	[s]	[h]	[K]
10	42	281.867	-	0	0,00	20
9	42	281.867	28.187	663	0,18	19
8	38	253.680	28.187	737	0,39	18
7	34	225.494	28.187	829	0,62	17
6	30	197.307	28.187	948	0,88	16
5	25	169.120	28.187	1.106	1,19	15
4	21	140.934	28.187	1.327	1,56	14
3	17	112.747	28.187	1.659	2,02	13
2	13	84.560	28.187	2.212	2,63	12
1	8	56.373	28.187	3.317	3,56	11
0	4	28.187	28.187	6.635	5,40	10

C. Unterstützende Berechnung zur Bestimmung der Abwärmemengen

In diesem Abschnitt werden die unterstützenden Berechnungen zu Bestimmung der geleisteten Abwärmemengen der Kompressoren der Kompressorstation Ost erläutert.

a. Berechnung der spezifischen Wärmekapazität

Die Wärmekapazität der Luft unterliegt einer Temperaturabhängigkeit. Näherungsweise lässt sich diese mittels dem nachfolgendem Polynom berechnen

$$\boxed{}$$

Glg. C-1

Bei der Entwicklung des Polynoms der spezifischen Wärmekapazität, wurden die Koeffizienten der Tabelle 45 eingesetzt. Die Temperatur wurde mit 323,15 Kelvin eingesetzt, da dies der gemessenen mittleren Ablufttemperatur der Kompressoren entspricht.

Tabelle 45: Koeffizienten zur Berechnung der temperaturabhängigen Wärmekapazität von Luft¹³⁷

Temperaturbereich	a	b	c	d	e
[K]	[kJ/kg.K]	[kJ/kg.K ²]	[kJ/kg.K ³]	[kJ/kg.K ⁴]	[kJ/kg.K ⁵]
300 bis 1000	1,0679	-0,5378*10 ⁻³	1,3544*10 ⁻⁶	-9,8872*10 ⁻¹⁰	2,4484*10 ⁻¹³

Für Abluft mit einer Temperatur von 323,15 Kelvin, ergibt sich mit der oben angeführten Gleichung eine spezifische Wärmekapazität von 1,003537 kJ/kg.K.

b. Berechnung der Luftdichte

Die Luftdichte wurde mit dem idealen Gasgesetz bei Normdruck berechnet.

$$\boxed{\rho = \frac{p}{R \cdot T}}$$

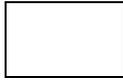
Glg. C-2

Das Luftvolumen und die molare Stoffmenge wurden durch die folgenden Zusammenhänge ersetzt.

¹³⁷ Vgl. Cerbe S. 69.



Glg. C-3



Glg. C-4

Durch Einsetzen der beiden Ausdrücke in das ideale Gasgesetz ergibt sich nachfolgende Formel.



Glg. C-5

- mit: ρ_{Abluft} = Dichte der Abluft bei 323,15 K
 P_u = Umgebungsdruck (101,13 hPa)
 MM_{Luft} = spezifische Molare Masse der Luft (28,9626 kg/kmol)¹³⁸
 R_m = molare Gaskonstante (8314,47 J/kmol.K)
 T_{Abluft} = gemessene mittlere Ablufttemperatur (323,15 K)

Für Abluft mit einer Temperatur von 323,15 Kelvin, ergibt sich mit der oben angeführten Gleichung eine Luftdichte von 1,204088 kg/Nm³.

¹³⁸ Cerbe S. 34.

c. Rückgewinnbare Wärmemengen in der Praxis

Tabelle 46: Rückgewinnbare Wärmemenge über Abluftkonzept (Messwerte Fa. Kaeser)

Zeit	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
[h]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
0-1	82,3	77,4	76,6	61,7	46,8	16,0
1-2	79,6	71,8	62,8	67,4	56,0	16,1
2-3	80,2	71,4	67,8	65,9	52,9	16,1
3-4	82,2	81,9	61,9	69,5	63,1	18,7
4-5	93,2	97,0	77,8	86,2	45,8	19,0
5-6	83,0	88,4	92,9	113,0	20,5	16,3
6-7	171,5	252,5	208,0	275,4	12,2	16,9
7-8	187,6	250,5	331,3	275,4	15,0	15,8
8-9	209,2	218,7	360,3	292,0	16,6	16,5
9-10	201,3	215,3	389,1	259,7	15,4	16,2
10-11	198,2	192,8	368,6	202,1	15,9	14,5
11-12	209,4	216,9	391,3	232,7	16,0	16,8
12-13	213,8	224,8	339,1	217,4	17,0	16,4
13-14	170,7	216,7	232,9	195,1	16,7	16,2
14-15	145,1	160,2	138,0	156,1	15,1	15,0
15-16	143,0	151,1	135,6	136,4	15,0	17,8
16-17	136,9	130,3	111,2	109,4	14,9	16,1
17-18	136,0	123,0	120,2	106,7	15,1	18,1
18-19	107,6	108,6	110,3	82,2	15,3	17,2
19-20	115,7	119,1	108,3	92,3	16,4	14,3
20-21	109,4	117,9	111,5	98,0	16,8	18,7
21-22	95,4	93,7	86,0	71,6	15,8	16,5
22-23	83,7	79,4	66,3	76,8	15,8	16,1
23-24	75,6	74,6	70,5	59,6	15,3	15,8

Tabelle 47: Rückgewinnbare Wärmemenge über ein Wärmetauscherkonzept (Messwerte Fa. Kaeser)

Zeit	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
[h]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
0-1	64,0	60,2	59,6	48,0	36,4	12,5
1-2	61,9	55,9	48,9	52,4	43,5	12,5
2-3	62,4	55,5	52,7	51,2	41,2	12,5
3-4	63,9	63,7	48,2	54,0	49,1	14,6
4-5	72,5	75,5	60,5	67,1	35,6	14,8
5-6	64,5	68,7	72,2	87,9	16,0	12,7
6-7	133,4	196,4	161,8	214,2	9,5	13,2
7-8	145,9	194,8	257,7	214,2	11,7	12,3
8-9	162,7	170,1	280,2	227,1	12,9	12,8
9-10	156,6	167,4	302,6	202,0	12,0	12,6
10-11	154,1	149,9	286,7	157,2	12,4	11,3
11-12	162,9	168,7	304,4	181,0	12,5	13,1
12-13	166,3	174,9	263,8	169,1	13,2	12,7
13-14	132,8	168,6	181,2	151,8	13,0	12,6
14-15	112,8	124,6	107,3	121,4	11,8	11,7
15-16	111,2	117,5	105,5	106,1	11,7	13,9
16-17	106,5	101,4	86,5	85,1	11,6	12,5
17-18	105,8	95,7	93,5	83,0	11,8	14,1
18-19	83,7	84,5	85,8	63,9	11,9	13,4
19-20	90,0	92,6	84,2	71,8	12,7	11,1
20-21	85,1	91,7	86,7	76,2	13,1	14,6
21-22	74,2	72,9	66,9	55,7	12,3	12,8
22-23	65,1	61,7	51,6	59,7	12,3	12,5
23-24	58,8	58,0	54,8	46,3	11,9	12,3

D. Mittlere historische Heizlast

Tabelle 48 stellt den stündlichen Bedarf der Wärmeenergie für die Walzendreherei, das Magazin und der Elektrowerkstätte dar. Hierbei wurden die aufgezzeichneten Erdgas- Normkubikmeter-Verbräuche mithilfe des saisonalen Heizwertes in den monatlichen Energiebedarf umgerechnet und auf eine ganztägige Heizdauer pro Monatstag umgelegt.

Tabelle 48: spezifischen Verbräuche der Walzendreherei, des Magazins und der Elektrowerkstätten in den Jahren 2007-2009

	Walzendreherei			Magazin			Elektrowerkstätte		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009	2007	2008	2009
Monat	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
Jänner	33,58	36,01	41,57	16,66	33,42	29,47	24,99	14,32	29,47
Februar	24,76	31,43	35,24	11,80	23,90	22,83	17,72	10,25	22,84
März	22,92	27,75	23,78	10,94	15,28	13,92	16,41	6,55	13,92
April	3,94	15,70	3,46	3,34	9,44	4,68	5,01	4,05	4,68
Mai	1,38	1,10	0,97	0,78	1,74	1,02	0,78	0,75	1,02
Juni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juli	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
August	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
September	2,41	6,94	1,71	1,07	2,57	0,00	1,60	2,57	0,00
Oktober	13,39	13,02	13,71	10,42	8,46	3,03	4,46	8,47	12,08
November	30,72	27,02	24,85	25,65	17,15	11,46	10,99	17,17	26,77
Dezember	53,48	23,55	29,89	32,22	20,74	15,92	13,82	20,74	37,14

E. CO₂ Emissionen

Ausgehend von der, vom Erdgaslieferanten angegebenen Erdgaszusammensetzung wurde eine chemische Verbrennungsrechnung aufgestellt. Dabei wurden die in Tabelle 49 angeführten Reaktionen berücksichtigt.

Tabelle 49: Reaktionen der Verbrennungsrechnung

- $N_2 \rightarrow N_2$
- $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$
- $C_2H_6 + 3,5O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$
- $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$
- $C_4H_{10} + 6,5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$
- $CO_2 \rightarrow CO_2$

Mithilfe der in Tabelle 49 angegebenen chemischen Reaktionen und den in Tabelle 50 beispielsweise aufgelisteten Erdgaszusammensetzung wurden der Sauerstoffbedarf für eine vollständige Verbrennung, wie auch die dadurch entstehenden Abgasvolumina errechnet.

Tabelle 50: Berechnung der molaren Abgasmenge

Erdgas-Bestandteile	Gaszusammensetzung	O ₂	CO ₂	H ₂ O	Summe Abgas
[-]	Vol-%	Vol-%	Vol-%	Vol-%	[Nm ³]
Stickstoff	0,0086	0,0000	0,0000	0,0000	0,0086
Methan	0,9760	1,9520	0,9760	1,9520	2,9280
Ethan	0,0095	0,0333	0,0190	0,0285	0,0475
Propan	0,0031	0,0155	0,0093	0,0124	0,0217
Butan	0,0012	0,0078	0,0048	0,0060	0,0108
CO ₂	0,0016	0,0000	0,0016	0,0000	0,0016
Summe	1,0000	2,0086	1,0107	1,9989	3,0182

Gestützt durch die Annahme einer Luftzusammensetzung von 21% Sauerstoff und 79 % Stickstoff wurde der trockene Norm-Mindestluftbedarf berechnet. Daraus resultiert die trockene Mindestabgasmenge.

Tabelle 51: spezifischer Mindestluftbedarf und mindest Abgasmenge in Normkubikmeter

min Luftt, Bedarf	min AbG_{tr}
[Nm ³ Luft/Nm ³ Erdgas]	[Nm ³ AbG _{tr} /Nm ³ Erdgas]
9,565	10,574

Die jeweiligen Erdgasverbräuche der Gebäude wurden mit der Mindestabgasmenge aus Tabelle 54 multipliziert, somit konnte die Abgasmenge des jeweiligen Objekts errechnet werden. Das Abgas setzt sich aus den Komponenten CO₂, H₂O und N₂ zusammen. Über die prozentuelle Gewichtung dieser Abgasbestandteile wurden die Volumina der einzelnen Bestandteile berechnet.

Tabelle 52: Prozentuelle Anteile der Abgasbestandteile

N₂ Anteil	CO₂ Anteil	H₂O Anteil
Vol-%	Vol-%	Vol-%
71,46	9,56	18,90

Mithilfe der Normdichte von Kohlendioxid von 1,9767 kg/m³ wurden die Kohlendioxidvolumina auf Tonnen pro Jahr umgelegt.

Tabelle 53: CO₂ Emissionen des Jahres 2007

	Walzendreherei	Magazin	Elektrowerkstätte
[-]	[t CO ₂ /mon]	[t CO ₂ /mon]	[t CO ₂ /mon]
Jänner	4,82	2,39	3,59
Februar	3,55	1,69	2,54
März	3,29	1,57	2,35
April	0,57	0,48	0,72
Mai	0,20	0,11	0,11
Juni	0,00	0,00	0,00
Juli	0,00	0,00	0,00
August	0,00	0,00	0,00
September	0,35	0,00	0,23
Oktober	1,92	1,50	0,64
November	4,41	3,68	1,58
Dezember	7,68	4,63	1,98
Jahresemissionen	26,78	16,05	13,75
Emissionsanteil	0,25 %	0,15 %	0,13 %

Tabelle 54: CO₂ Emissionen des Jahres 2008

Monat	Walzendreherei	Magazin	Elektrowerkstätte
[-]	[to CO ₂ /mon]	[to CO ₂ /mon]	[to CO ₂ /mon]
Jänner	5,16	4,79	2,05
Februar	4,51	3,43	1,47
März	3,98	2,19	0,94
April	2,25	1,35	0,58
Mai	0,16	0,25	0,11
Juni	0,00	0,00	0,00
Juli	0,00	0,00	0,00
August	0,00	0,00	0,00
September	1,00	0,37	0,37
Oktober	1,87	1,87	1,87
November	3,88	2,47	2,47
Dezember	3,38	2,98	2,98
Jahresemissionen	26,20	19,71	12,84
Emissionsanteil	0,26%	0,20%	0,13%

Tabelle 55: CO₂ Emissionen des Jahres 2009

Monat	Walzendreherei	Magazin	Elektrowerkstätte
[-]	[to CO ₂ /mon]	[to CO ₂ /mon]	[to CO ₂ /mon]
Jänner	6,12	4,34	4,34
Februar	5,19	3,36	3,37
März	3,50	2,05	2,05
April	0,51	0,69	0,69
Mai	0,14	0,15	0,15
Juni	0,00	0,00	0,00
Juli	0,00	0,00	0,00
August	0,08	0,00	0,00
September	0,25	0,00	0,00
Oktober	1,97	0,44	1,74
November	3,57	1,65	3,85
Dezember	4,30	2,29	5,34
Jahresemissionen	25,64	14,97	21,52
Emissionsanteil	0,37%	0,21%	0,31%

F. Lokale Witterungsbedingungen

In unmittelbarer Nähe des Werksgeländes befindet sich eine meteorologische Meßstation der Steiermärkischen Landesregierung. Online lassen sich die gewünschten Parameter abrufen. Die gemessenen Tageswerte der Meßstation wurden zu arithmetisch mittleren Monatswerten zusammengefasst. Diese Werte werden im folgenden Diagramm dargestellt.

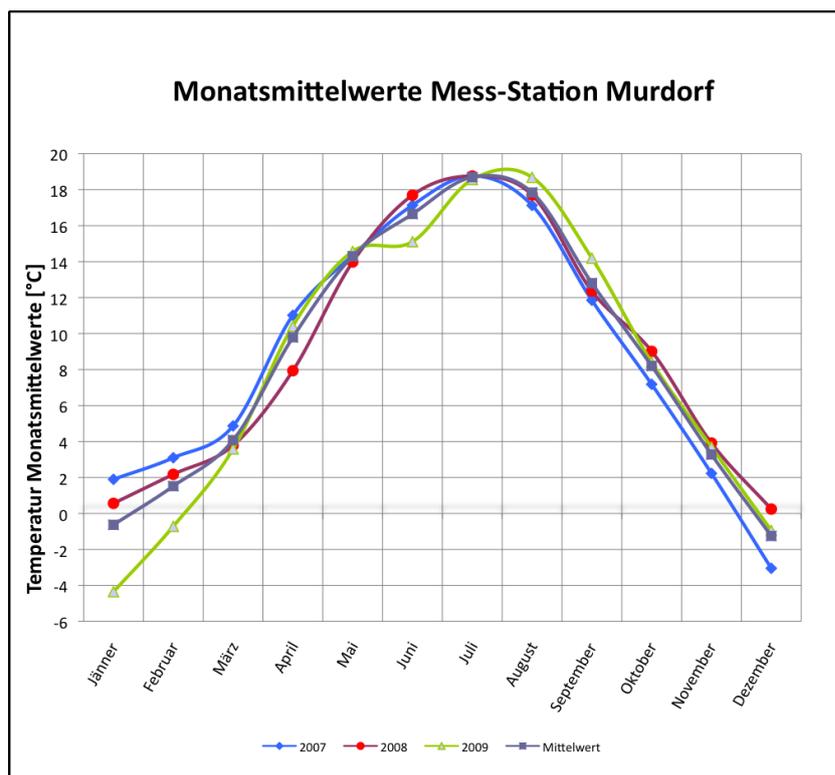


Abbildung 41: gemittelte Temperatur-Monatswerte der Mess-Station Murdorf¹³⁹

¹³⁹ Vgl. LUIS Steiermärkische Landesregierung

Tabelle 56: gemittelte Temperatur-Monatswerte der Mess-Station Murdorf

Monate	2007	2008	2009	Mittelwerte
[-]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Jänner	1,90	0,56	-4,35	-0,63
Februar	3,10	2,18	-0,72	1,52
März	4,87	3,78	3,59	4,08
April	11,02	7,94	10,42	9,79
Mai	14,35	13,98	14,57	14,30
Juni	17,14	17,70	15,11	16,65
Juli	18,77	18,76	18,57	18,70
August	17,13	17,71	18,69	17,84
September	11,85	12,37	14,19	12,80
Oktober	7,18	9,01	8,41	8,20
November	2,23	3,91	3,69	3,28
Dezember	-3,05	0,24	-0,95	-1,25

G. Gegenwartswert-Tabelle

Tabelle 57: erster Teil der Gegenwartstabelle (Teil 2 siehe Tabelle 58)¹⁴⁰

Anzahl Jahre	2%	4%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
1	0.980	0.962	0.943	0.926	0.909	0.893	0.877	0.862	0.847
2	1.942	1.886	1.833	1.783	1.736	1.690	1.647	1.605	1.566
3	2.884	2.775	2.673	2.577	2.486	2.402	2.322	2.246	2.174
4	3.808	3.63	3.465	3.312	3.170	3.037	2.914	2.798	2.690
5	4.713	4.452	4.212	3.993	3.791	3.605	3.433	3.274	3.127
6	5.601	5.242	4.917	4.623	4.355	4.111	3.889	3.685	3.498
7	6.472	6.002	5.582	5.206	4.868	4.564	4.288	4.039	3.812
8	7.325	6.733	6.210	5.747	5.335	4.968	4.639	4.344	4.078
9	8.162	7.435	6.802	6.247	5.759	5.328	4.946	4.607	4.303
10	8.983	8.111	7.360	6.710	6.145	5.650	5.216	4.833	4.494
11	9.787	8.760	7.887	7.139	6.495	5.938	5.453	5.029	4.656
12	10.575	9.385	8.384	7.536	6.814	6.194	5.660	5.197	4.793
13	11.348	9.986	8.853	7.904	7.103	6.424	5.842	5.342	4.910
14	12.106	10.563	9.295	8.244	7.367	6.628	6.002	5.468	5.008
15	12.849	11.118	9.712	8.559	7.606	6.811	6.142	5.575	5.092
16	13.578	11.652	10.106	8.851	7.824	6.974	6.265	5.668	5.162
17	14.292	12.166	10.477	9.122	8.022	7.120	6.373	5.749	5.222
18	14.992	12.659	10.828	9.372	8.201	7.250	6.467	5.818	5.273
19	15.678	13.134	11.158	9.604	8.365	7.366	6.550	5.877	5.316
20	16.351	13.590	11.470	9.818	8.514	7.469	6.623	5.929	5.353
21	17.011	14.029	11.764	10.017	8.649	7.562	6.687	5.973	5.384
22	17.658	14.451	12.042	10.201	8.772	7.645	6.743	6.011	5.410
23	18.292	14.857	12.303	10.371	8.883	7.718	6.792	6.044	5.432
24	18.914	15.247	12.550	10.529	8.985	7.784	6.835	6.073	5.451
25	19.523	15.622	12.783	10.675	9.077	7.843	6.873	6.097	5.467
30	22.369	17.292	13.765	11.258	9.427	8.055	7.003	6.177	5.517
35	24.999	18.665	14.498	11.655	9.644	8.176	7.070	6.215	5.539
40	27.355	19.793	15.046	11.925	9.779	8.244	7.105	6.233	5.548
45	29.490	20.720	15.456	12.108	9.863	8.283	7.123	6.242	5.552
50	31.424	21.482	15.762	12.233	9.915	8.304	7.133	6.246	5.554

¹⁴⁰ Vgl. Staehelin (2007) S. 264.

Tabelle 58: zweiter Teil der Gegenwartstabelle (Teil 1 siehe Tabelle 57)¹⁴¹

20%	22%	24%	26%	28%	30%	35%	40%	Anzahl Jahre
0.833	0.820	0.806	0.794	0.781	0.769	0.741	0.714	1
1.528	1.492	1.457	1.424	1.392	1.361	1.289	1.224	2
2.106	2.042	1.981	1.923	1.868	1.816	1.696	1.589	3
2.589	2.494	2.404	2.320	2.241	2.166	1.997	1.849	4
2.991	2.864	2.745	2.635	2.532	2.436	2.220	2.035	5
3.326	3.167	3.020	2.885	2.759	2.643	2.385	2.168	6
3.605	3.416	3.242	3.083	2.937	2.802	2.508	2.263	7
3.837	3.619	3.421	3.241	3.076	2.925	2.598	2.331	8
4.031	3.786	3.566	3.366	3.184	3.019	2.665	2.379	9
4.192	3.923	3.682	3.465	3.269	3.092	2.715	2.414	10
4.327	4.035	3.776	3.543	3.335	3.147	2.752	2.438	11
4.439	4.127	3.851	3.606	3.387	3.190	2.779	2.456	12
4.533	4.203	3.912	3.656	3.427	3.223	2.799	2.469	13
4.611	4.265	3.962	3.695	3.459	3.249	2.814	2.478	14
4.675	4.315	4.001	3.726	3.483	3.268	2.825	2.484	15
4.730	4.357	4.033	3.751	3.503	3.283	2.834	2.489	16
4.775	4.391	4.059	3.771	3.518	3.295	2.840	2.492	17
4.812	4.419	4.080	3.786	3.529	3.304	2.844	2.494	18
4.843	4.442	4.097	3.799	3.539	3.311	2.848	2.496	19
4.870	4.460	4.110	3.808	3.546	3.316	2.850	2.497	20
4.891	4.476	4.121	3.816	3.551	3.320	2.852	2.498	21
4.909	4.488	4.130	3.822	3.556	3.323	2.853	2.498	22
4.925	4.499	4.137	3.827	3.559	3.325	2.854	2.499	23
4.937	4.507	4.143	3.831	3.562	3.327	2.855	2.499	24
4.948	4.514	4.147	3.834	3.564	3.329	2.856	2.499	25
4.979	4.534	4.160	3.842	3.569	3.332	2.857	2.500	30
4.992	4.541	4.164	3.845	3.571	3.333	2.857	2.500	35
4.997	4.544	4.166	3.846	3.571	3.333	2.857	2.500	40
4.999	4.545	4.166	3.846	3.571	3.333	2.857	2.500	45
4.999	4.545	4.167	3.846	3.571	3.333	2.857	2.500	50

¹⁴¹ Vgl. Staehelin (2007) S. 265.

H. Datenblätter

Der folgende Abschnitt beinhaltet die Datenblätter der in der Kompressorstation Ost installierten Kompressorentypen von der Firma Kaeser.

a. DSD201 Datenblatt

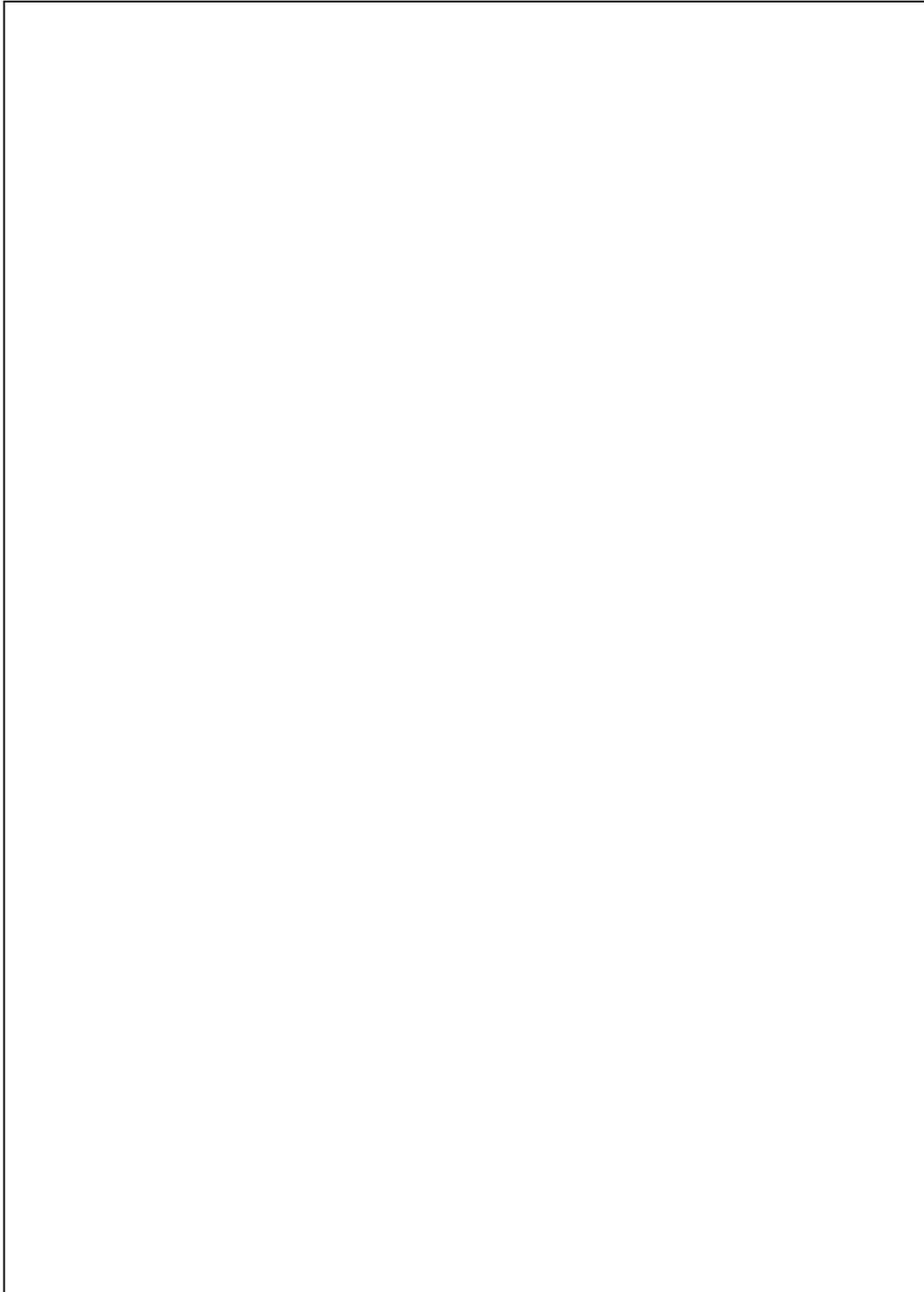


Abbildung 42: Datenblatt des Kompressortyps DSD201 der Firma Kaeser

b. FS440 Datenblatt

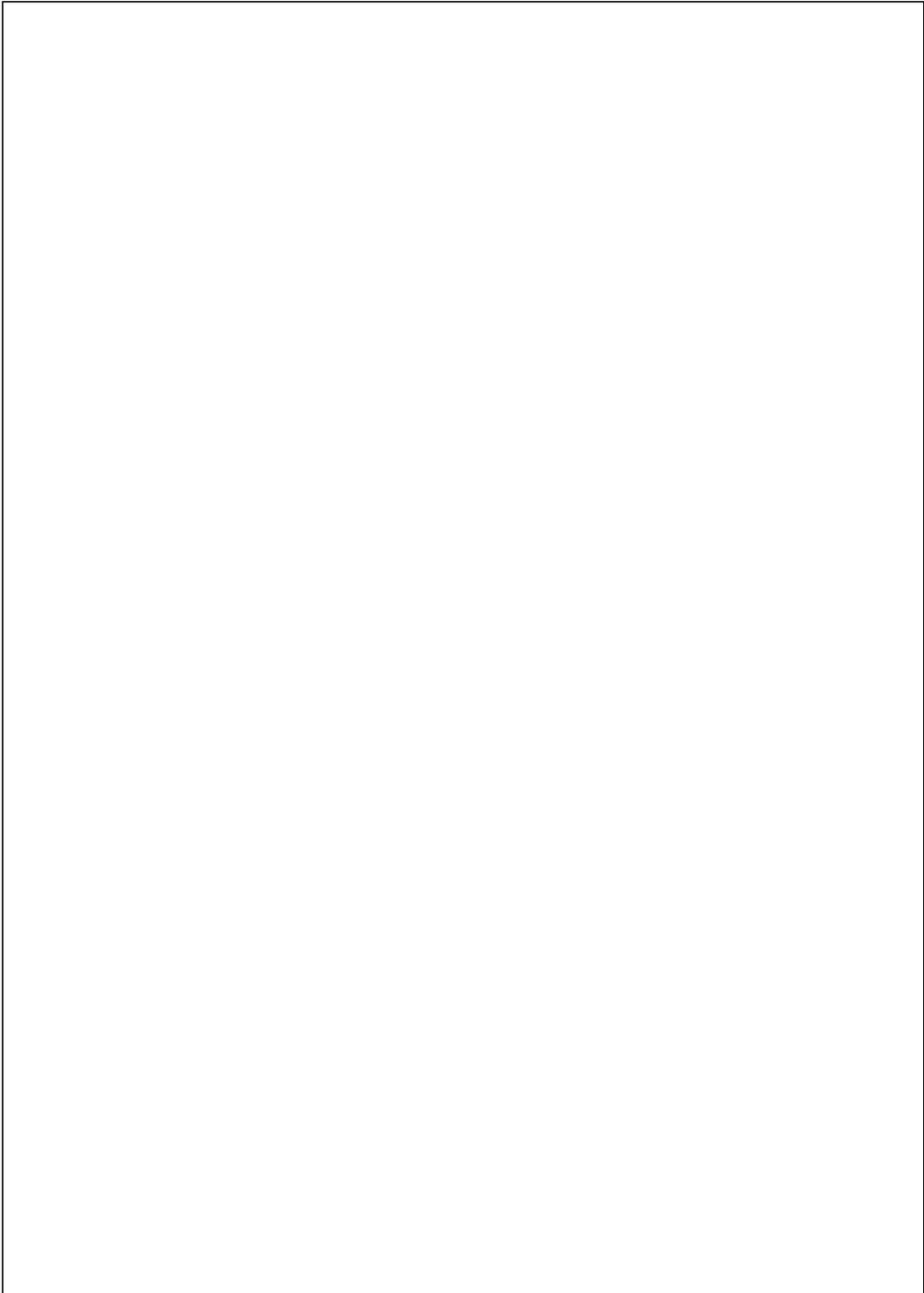


Abbildung 43: Datenblatt des Kompressortyps FS440 der Firma Kaeser

I. Ablufttemperaturmessung der Kompressoren

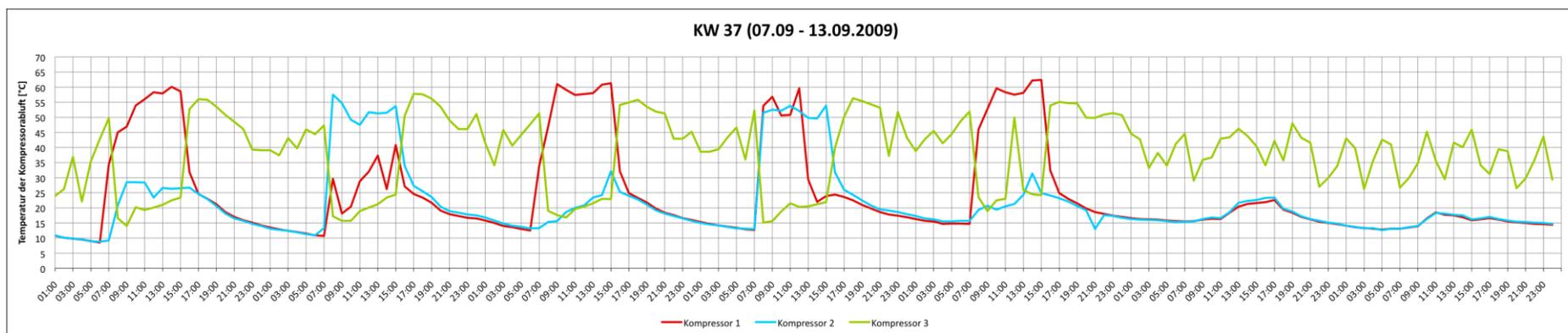


Abbildung 44: Ablufttemperaturmessung in der Kalenderwoche 37 des Jahres 2009

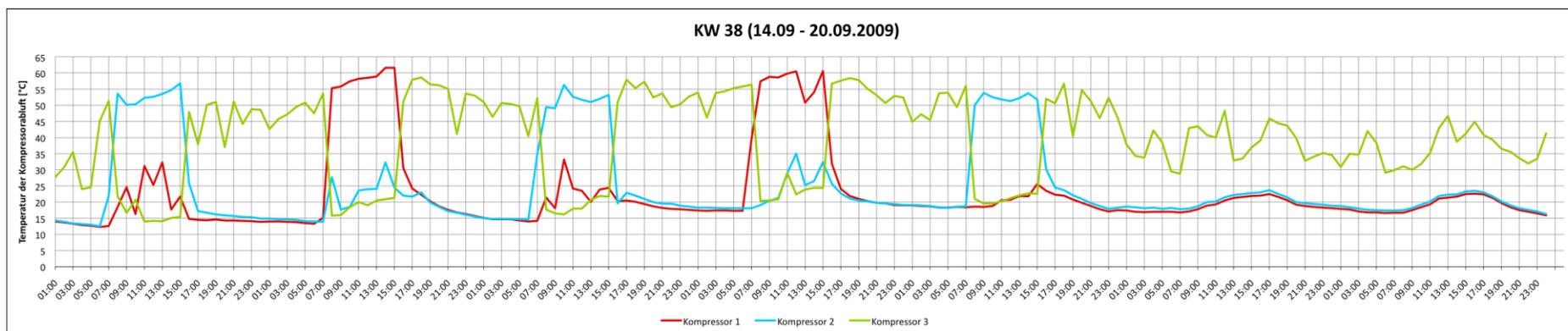


Abbildung 45: Ablufttemperaturmessung in der Kalenderwoche 38 des Jahres 2009

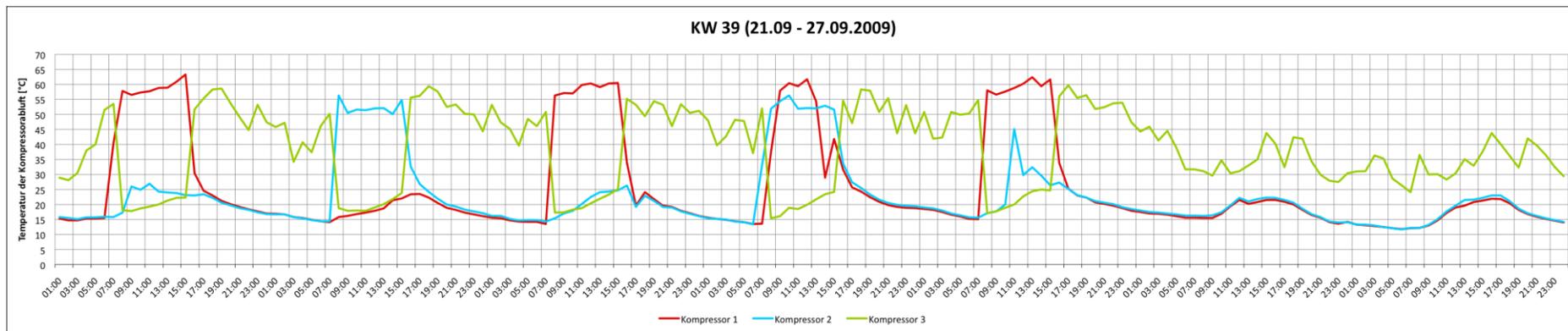


Abbildung 46: Ablufttemperaturmessung in der Kalenderwoche 39 des Jahres 2009

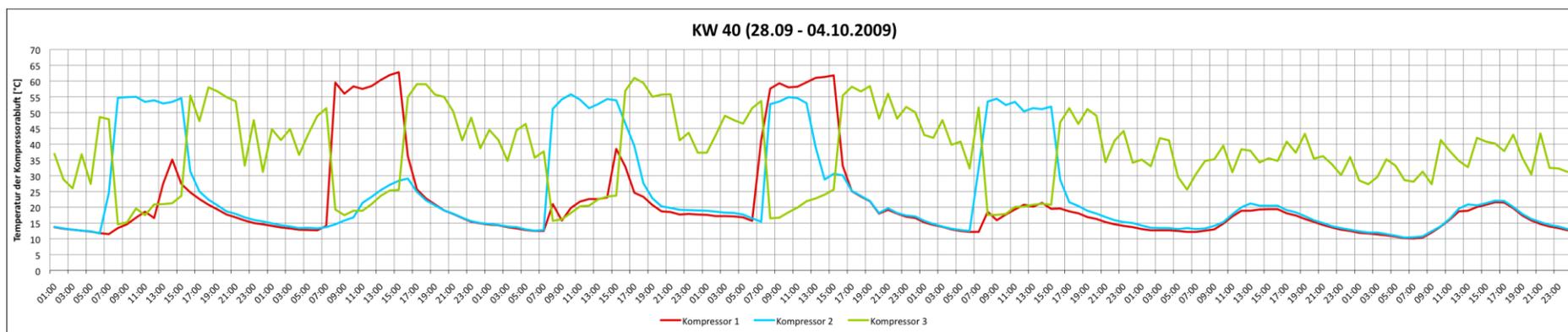


Abbildung 47: Ablufttemperaturmessung in der Kalenderwoche 40 des Jahres 2009