



# Masterarbeit

# Thermische Energieanalyse

erstellt für

**Shell Austria GmbH**

**Vorgelegt von:**

Dipl.-Ing. Bernhard Ludwig  
0235012

**Betreuer/Gutachter:**

O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.mont. Werner L. Kepplinger

Leoben, Februar 2012

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit/Bachelorarbeit 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.

## **AFFIDAVIT**

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

# **DANKSAGUNG**

Dank wem Dank gebührt.

## **Kurzfassung**

### **Thermische Energieanalyse**

Der Standort Lobau ist nicht nur die Bürozentrale der Shell Austria GmbH, es befindet sich dort auch ein Schmiermittelwerk und ein Tanklager. Zur Bereitstellung der thermischen Energie stehen zwei Dampfkessel mit je 6 MW Brennstoffwärmeleistung zu Verfügung, welche über ein Dampfsystem über aufgeständerte Rohrtrassen die Verbraucher mit Wärme versorgen. Als Brennstoff wird Heizöl schwer eingesetzt. Die Gebäudeheizung erfolgt über ein Warmwassersystem, welches die Energie aus dem Dampfsystem bezieht. Des Weiteren wird auch ein benachbarter Betrieb mit Dampf versorgt.

Da das Dampfsystem aus dem Jahr 1972 stammt, in weiterer Folge wenig Investitionen in dessen Erhaltung getätigt wurden und eine Erneuerung angedacht war, wurde beschlossen, eine Energiebedarfserhebung als Unterstützung für die Auslegung der neuen Anlage durchzuführen.

Als Basisjahr wurde das Jahr 2009 angesetzt. In diesem geht aus den Unterlagen des Dampfschreibers eine Jahresproduktion von 23.513 Tonnen Dampf mit einer Temperatur von 240 °C und einem Druck von 12,5 bar hervor. Folgende Verbraucher wurden versorgt: Jettankanlage, Basistanks, VIS-50 Anlage, Ölmischanlage, Büro und Werkstättenbereich, Labor und Garderoben, Materialmagazin, Kläranlage, P2P (benachbarter Betrieb). Als größter Verbraucher wurden die Basistanks identifiziert. Des Weiteren zeigte sich, dass sehr viel Energie zum einen bereits bei der Verteilung aufgrund der oberirdisch verlegten Leitungen und zum anderen durch defekte Kondensomaten bzw. die drucklose Ausführung des Kondensatbehälters verloren geht.

## **Abstract**

### **Thermal energy analysis**

The site Lobau is not only the office center of Shell Austria GmbH, but also located there is a lubricant factory and a fuel depot. To supply the thermal energy, two steam boilers with a heat capacity of 6 MW each are available that supply heat to the consumers via a steam system over an elevated pipe route. Heavy heating oil is used as fuel. The building is heated by a warm water system that obtains its energy from the steam system. Further, a neighboring company is also supplied with steam.

The steam system was built in 1972, in succession few investments for maintenance were made and a renewal was considered, therefore it has been decided to do an energy demand evaluation as support for the coordination of the new facility.

2009 was set as base year. Looking at the documentation of the steam recorder at that stage there is an annual output of 23513 tons of steam with a temperature of 240 °C and pressure of 12.5 bar.

Following consumers are supplied: jet tank facility, base tanks, VIS-50 facility, oil mixing plant, office and workshop area, lab and changing rooms, stocks, filter plant, P2P (neighboring company). The base tanks were identified to be the biggest consumers. Moreover, it appeared that a lot of energy gets lost on the one hand by the distribution due to above ground installed pipes, and on the other due to defect steam traps.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>3</b>
1.1 Problemstellung .....	3
1.2 Zielsetzung .....	3
<b>2 DAMPFPRODUKTION .....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Beschreibung des Dampfkreislaufes .....	4
2.1.2 Dampfproduktion .....	5
2.1.3 Heizölverbrauch .....	7
2.1.4 Brennstoffnutzungsgrad .....	8
2.1.5 Energiestrombilanz der Kessel .....	9
<b>3 VERBRAUCHER .....</b>	<b>13</b>
3.1 Energetische Bewertung der Gebäude .....	13
3.1.1 Kläranlage .....	15
3.1.2 Magazin .....	18
3.1.3 Bürogebäude alt .....	20
3.1.4 Werkstatt .....	22
3.1.5 Bürogebäude neu .....	25
3.2 P2P .....	26
3.3 VISK 50 Anlage .....	26
3.4 Basistanklager .....	27
3.5 Jettanks .....	28
3.6 Ölmischanlage .....	29
<b>4 ERGEBNISSE / DISKUSSION .....</b>	<b>31</b>
4.1 Heizlasten der Gebäude .....	31
4.1.1 Bewertung und Vergleich der Heizlasten .....	31
4.2 Energiebedarf der Gebäude .....	33
4.2.1 Vergleich des Heizenergiebedarfs .....	34
4.3 P2P .....	34
4.4 VISK 50 Anlage .....	35
4.5 Basistanks .....	35
4.6 Jettanks .....	36
4.7 Ölmischanlage (ÖMA) .....	36

4.8	Zusammenfassung .....	37
4.9	Verluste.....	37
4.10	Verteilung in Abhängigkeit der Jahreszeit.....	40
<b>5</b>	<b>MESSUNGEN .....</b>	<b>44</b>
5.1	Prinzip der Messblende [12] .....	45
5.2	Einflüsse auf das Messergebnis .....	49
<b>6</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>I</b>
6.1	Literatur.....	I
6.2	Abkürzungsverzeichnis .....	II
6.3	Tabellen .....	II
6.4	Abbildungen .....	III

# 1 Einleitung

Die Shell Austria GmbH hat in der Lobau ihre Zentrale mit zwei Bürogebäuden, einer Anlage zur Schmiermittelproduktion, einem Basistanklager, einem Produktlager, einem Materialmagazin, einem Labor, einer Werkstätte und einer Kläranlage.

## 1.1 Problemstellung

Das Dampfsystem am Standort Lobau stammt aus dem Jahr 1972. Die Dampfleitungen wurden damals oberirdisch verlegt, da für die unterirdische Verlegung keine Genehmigung erteilt wurde. Seit Erbauung wurde nur wenig investiert, weshalb die Anlage in verbesserungsfähigem Zustand ist. Da früher auch eine Bitumenanlage betrieben wurde, sind die Dampfkessel für die momentane Betriebssituation überdimensioniert. Daraus ergibt sich das Problem, dass die bei Minimallast produzierte Dampfmenge im Sommer höher ist, als die benötigte. Zudem wurde im Dezember 2009 beschlossen, die Schmiermittelproduktion ins Ausland zu verlagern, wodurch der Dampfbedarf weiter sinkt. Zu diesem Zeitpunkt wurde beschlossen ein neues System zur Wärmeerzeugung für die noch verbleibenden Verbraucher zu planen.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel der Masterarbeit ist die Darstellung der thermischen Energieflüsse innerhalb des als Grundlage für die Auslegung der neuen Heizungsanlage, die Unternehmens. Des Weiteren soll eine Energiebedarfserhebung durchgeführt werden, die zur Auslegung einer Heizung, die nur mehr die Raumwärme für die Büro- und Werkstättenräume zur Verfügung stellt, dienen soll.

Zu diesem Zweck wird versucht den Energieverbrauch der einzelnen Positionen zu berechnen, da hier keine aussagekräftigen Unterlagen zur Beurteilung vorliegen. Im ersten Schritt wird eine Bilanz über die beiden Kessel erstellt und eine Verbrennungsrechnung durchgeführt. In weiterer Folge werden zuerst alle Verbraucher identifiziert. Im Falle der Gebäude soll ein Energieausweis gerechnet werden um den jährlichen Verbrauch zu bestimmen. Zusätzlich wird für die Gebäude eine Heizlastberechnung für die Auslegung der Heizung nach DIN EN 12 831 durchgeführt. Für die Tanks sind die Abmessungen, Wärmedurchgangskoeffizienten und die Benutzungsstunden bekannt, wodurch die Wärmeverluste bestimmt werden können. Teilweise sind für einzelne Verbraucher im Bereich der Ölmischanlagen die Wärmeleistungen bekannt.

Die gewonnenen Daten sollen nicht nur der Auslegung der neuen Heizung dienen, sondern auch eine Basis für die verursachungsgerechte Aufteilung der Wärmekosten auf die einzelnen Positionen bilden.

## 2 Dampfproduktion

Vorhanden sind zwei liegende Dreizugkessel mit Überhitzer mit jeweils 6 MW Brennstoffwärmeleistung. Als Brennstoff wird Heizöl schwer eingesetzt. Die wichtigsten Daten der Kessel sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Das Tanklager für den Brennstoff ist außerhalb der Dampfkesselanlage im Freien aufgestellt. Meistens ist nur ein Kessel in Betrieb, teilweise wird jedoch auch der zweite Kessel zur Absicherung auf Druck gehalten, falls es Probleme mit dem ersten Kessel geben sollte.

Tabelle 1: Übersicht über die wichtigsten Daten der Kessel

Verdampferfläche	[m <sup>2</sup> ]	225
Überhitzerfläche	[m <sup>2</sup> ]	47
höchstzulässige Temperatur	[°C]	300
höchstzulässiger Druck	[atü]	16
Wasserinhalt	[l]	18100
Dampfleistung normal	[kg/h]	7200
Dampfleistung maximal	[kg/h]	9000
Leistung Heizölbrenner	[kg/h]	670
Brennstoff		Heizöl S

### 2.1.1 Beschreibung des Dampfkreislaufes

Der in den beiden Kesseln erzeugte Dampf hat eine Temperatur im Bereich von 238 - 242 °C bei einem Druck von etwa 12,5 bar. Der Dampf wird zum einen über ein Verteilnetz zur Wärmetauscherstation im alten Bürogebäude geleitet. Dort sind zwei Umformer vorhanden, einer für das Heiz- und Sanitärwarmwasser mit einer Vorlauftemperatur von 90 °C und einer für die Sanitärwarmwasserbereitung im Sommer mit einer Vorlauftemperatur von 55 °C.

Zum anderen wird der Dampf zur Verteilerstation im Gebäude der Ölmischanlage geleitet, wo er über eine Drossel isenthalp auf den Druck von 5 bar entspannt wird. Von dieser Verteilerstation wird der Dampf zu den anderen Verbrauchern geleitet. Einzig die Heizöltanks und die Jettanks werden direkt mit Hochdruck versorgt.

Die Steuerung der Wärmeabgabe erfolgt bei den meisten Verbrauchern über sogenannte Kondensomaten. Das anfallende Kondensat wird in eigenen Behältern gesammelt und bei Erreichen eines gewissen Füllstandes automatisch in den großen, drucklosen Kondensatbehälter an der Rückseite des Dampfkesselhauses gepumpt. Bei kleineren Kondensatmengen, wie zum Beispiel im Fall der Kläranlage wird das Kondensat nicht gesammelt sondern verworfen.

Diese Kondensatverluste und die weiteren Verluste durch Undichtheiten im System bzw. durch das Entwässern der Heizschlangen, welches alle 14 Tage durchgeführt wird, werden durch Fischwasser ausgeglichen. Dieses wird zuerst nach dem Prinzip der Umkehrosmose aufbereitet und direkt in den Kondensatbehälter gepumpt. Von dort wird das Wasser über



einen Entgaserturm, in dem das Speisewasser entgast und gleichzeitig erwärmt wird, in den Kessel gefördert.

Für die einzelnen Berechnungen werden nun die Zustände des Wassers bzw. des Dampfes aus Tabelle 2 angenommen. Dabei wird von einer mittleren Temperatur des Frischwassers von 10°C ausgegangen. Druck und Temperatur des erzeugten Dampfes werden in der Messwarte im Dampfkesselhaus simultan gemessen, für die Berechnung wurden die gängigsten Werte genommen. Die Stoffwerte nach der Drossel ergeben sich durch den vorgegebenen Druck und den isenthalpen Vorgang. Die Temperatur und der Druck des Kondensats in den Kondensatleitungen betragen laut Messungen im Betrieb 110 °C und 4 bar. Im Kondensatbehälter wird das Kondensat in weiterer Folge auf Umgebungsdruck entspannt und kühlt weiter ab.

Tabelle 2: Zustandswerte des Dampfes an den verschiedenen Positionen

Position	Druck	Temperatur	Enthalpie
	[bar]	[°C]	[kJ/kg]
Frischwasser kalt	1	10	42,12
Speisewasser	13	90	377,92
Dampf aus Kessel	12,5	240	2915,35
Dampf nach Drossel	5	228	2915,35
Kondensat Kondensomaten	5	152	640,10
Kondensat Kondensatleitungen	4	110	461,55
Kondensat Kondensatbehälter	1	90	377,03

Es kann davon ausgegangen werden, dass das direkt an den Kondensomaten anfallende Kondensat noch bei 5 bar vorliegt und deshalb nur bis zur Verdampfungstemperatur bei 5 bar (152 °C) abkühlt. Aus diesem Grund wurde auch die Enthalpie dieses Zustands (640,1 kJ/kg) für die Berechnung der nutzbaren Enthalpiedifferenz verwendet.

Die nutzbare Enthalpiedifferenz (zwischen dem Dampf nach der Drossel und dem Kondensat direkt an den Kondensomaten beträgt somit 2275,25 kJ/kg.

## 2.1.2 Dampfproduktion

Um die jährliche Dampfproduktion zu bestimmen wurden die Dampfschreiber der beiden Kessel für das Jahr 2009 ausgewertet. Für manche Tage waren keine Daten vorhanden. Für diese Tage wurde anhand der Aufzeichnungen der Dampfkesselwärter überprüft, ob ein Heizölverbrauch und eine Dampfproduktion erfolgt hatten. War dies der Fall, so wurde die durchschnittliche tägliche Dampfproduktion des jeweiligen Monats, ermittelt aus den Werten der anderen Tage, für diesen Tag angesetzt.

Mit Hilfe dieser korrigierten Daten ergibt sich eine jährliche Dampfproduktion von 23.513 t/a. Diese Produktionsmenge teilt sich nun wie aus Abbildung 1 ersichtlich auf die einzelnen Monate auf.



Um die Aussagekraft der Daten noch zu verstärken wird nun in Abbildung 2 die durchschnittliche tägliche Dampfproduktion graphisch dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der Verbrauch im Februar mit durchschnittlich 101 t/d am höchsten war.

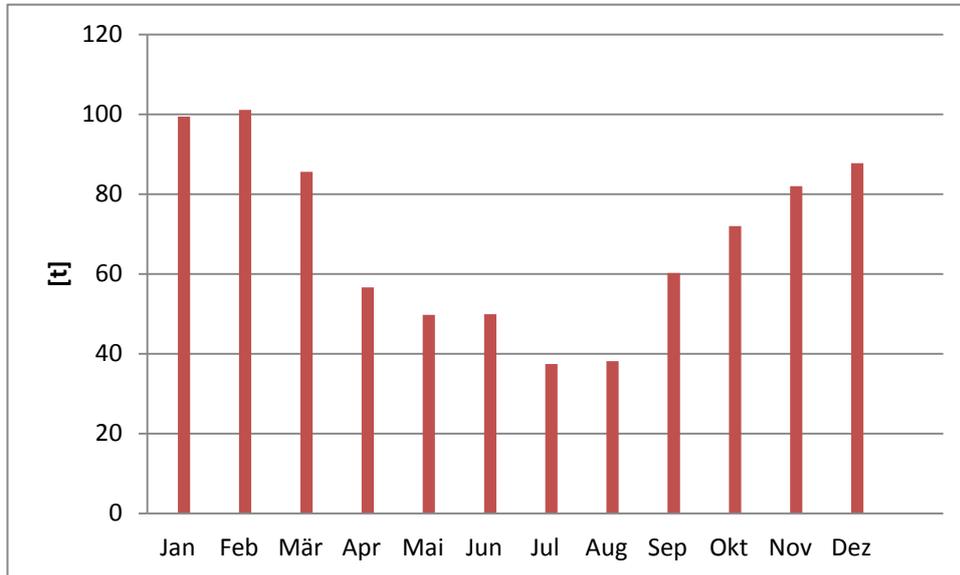


Abbildung 1: Monatliche Dampfproduktion im Jahr 2009

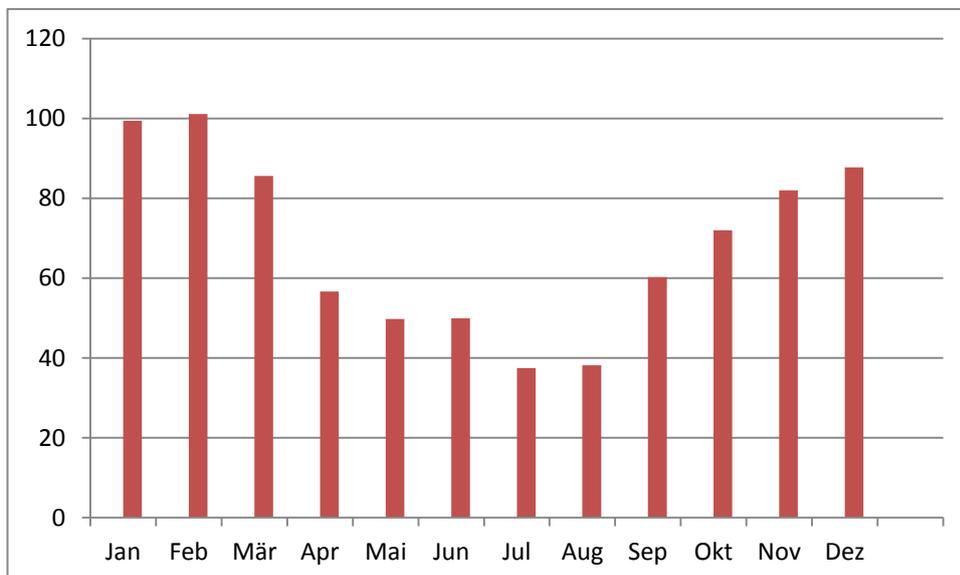


Abbildung 2: Durchschnittliche tägliche Dampfproduktion im Jahr 2009

Zusammenfassend sind in der Tabelle 3 die Dampfproduktion in Tonnen und %, sowie die durchschnittliche tägliche Produktion je Monat für das Jahr 2009 dargestellt.

Die durchschnittliche stündliche Dampfproduktion betrug 3,43 t/h. Über diese durchschnittliche Dampfproduktion konnten in weiterer Folge die Benutzungsstunden berechnet werden. Diese ergeben sich zu 6.850 h/a.

Tabelle 3: Dampfproduktion 2009

Monat	Produktion [t]	Produktion [%]	Ø tägliche Produktion
Jänner	2.983,11	12,69	99,44
Februar	2.829,76	12,03	101,06
März	2.683,49	11,41	85,56
April	1.528,80	6,51	56,62
Mai	1.094,98	4,66	49,77
Juni	1.298,76	5,52	49,95
Juli	1.123,55	4,78	37,45
August	993,06	4,22	38,19
September	1.626,72	6,92	60,25
Oktober	2.087,64	8,88	71,99
November	2.542,33	10,81	82,01
Dezember	2.721,13	11,57	87,78
<b>SUMME</b>	<b>23.513,31</b>	<b>100</b>	

### 2.1.3 Heizölverbrauch

Wie bereits erwähnt wird als Energieträger für die Dampfproduktion Heizöl schwer eingesetzt. Die für dieses Projekt wichtigsten Stoffwerte sind in Tabelle 4 dargestellt. Die Verbrauchsdaten für das Heizöl (Tabelle 5) wurden den täglichen Aufzeichnungen der Dampfkesselwärter entnommen. Hier wird der Verbrauch für jeden Kessel separat angeführt. Obwohl meistens nur ein Kessel Dampf produziert, wird in der kalten Tageszeit zur Sicherheit auch der zweite Kessel auf Druck gehalten. Das bedeutet, dass hier auch Aussagen darüber getroffen werden können, wie viel Energie für das Konstanthalten des Drucks aufgebracht werden muss.

Tabelle 4: Daten des Heizöl Schwer [1]

Parameter	Einheit	
Heizwert	MJ/kg	40,20
Dichte	kg/dm <sup>3</sup>	0,92

Wie in Tabelle 5 ersichtlich, betrug der Heizölverbrauch 2009 knapp unter 2 Millionen Liter (genau 1.986.380 Liter), wovon nur 37.000 Liter bzw. 1,86 % für das Halten der Kessel auf Druck aufgewandt wurden.

Tabelle 5: Heizölverbrauch 2009

	Liter HS Dampfproduktion	Liter HS auf Druck halten
Jänner	268.130	4.850
Februar	233.100	3.610
März	228.710	3.990
April	123.680	5.110
Mai	95.180	2.380
Juni	98.240	2.070
Juli	94.460	480
August	87.480	1.310
September	102.020	2.190
Oktober	174.130	3.770
November	218.230	3.530
Dezember	226.020	3.710
<b>SUMME</b>	<b>1.949.380</b>	<b>37.000</b>

### 2.1.4 Brennstoffnutzungsgrad

In einem weiteren Schritt kann nun mit Hilfe der Produktionsmengen Dampf ( $m_{\text{Brennstoff}}$ ), der Enthalpiedifferenz zwischen produziertem Dampf ( $h_{\text{Dampf}}$ ) und Speisewasser ( $h_{\text{Speisewasser}}$ ), sowie dem Heizwert des Heizöls ( $H_u$ ) der Brennstoffnutzungsgrad ( $\eta$ ) der Dampfproduktion über die folgende Formel berechnet werden.

$$\eta = \frac{m_{\text{Dampf}} \cdot (h_{\text{Dampf}} - h_{\text{Speisewasser}})}{m_{\text{Brennstoff}} \cdot H_u} \quad (1)$$

Dabei kann der Zähler des Bruches als Energienutzen und der Nenner des Bruches als Energieaufwand gesehen werden. In Tabelle 6 sind diese Werte einander gegenübergestellt und der Nutzungsgrad des jeweiligen Monats wird angegeben.

Das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand gibt nun den Brennstoffnutzungsgrad an. Wie aus Tabelle 6 ersichtlich beträgt dieser durchschnittlich 82,76 %. Auffällig hier ist, dass sich auf Basis der vorliegenden Daten im September ein Nutzungsgrad von 109,4 % ergibt, was nach dem Energieerhaltungssatz unmöglich ist. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die entsprechenden Daten fehlerhaft sind. Wird der Wert des Septembers nicht berücksichtigt und ein Mittelwert nur über die restlichen elf Werte gebildet, so ergibt sich ein Nutzungsgrad von 81,71 %. Das bedeutet, dass lediglich 81,71 % der im verwendeten Heizöl enthaltenen Energie schlussendlich auch nutzbar in Form von überhitztem Dampf vorliegen.

Weiters ist in Tabelle 6 ersichtlich, dass prinzipiell keine Abhängigkeit des Brennstoffnutzungsgrades von der Außentemperatur erkennbar ist, da sich keine Tendenz im Sommer oder im Winter feststellen lässt.



Tabelle 6: Gegenüberstellung des Energieaufwands und –nutzens bezogen auf den Brennstoff

	Energieaufwand [MJ]	Energienutzen [MJ]	Brennstoffnutzungsgrad [%]
Jänner	9.916.520	7.569.433	76,33
Februar	8.620.970	7.180.318	83,29
März	8.458.611	6.809.168	80,50
April	4.574.181	3.879.223	84,81
Mai	3.520.137	2.778.435	78,93
Juni	3.633.308	3.295.513	90,70
Juli	3.493.509	2.850.929	81,61
August	3.235.360	2.519.820	77,88
September	3.773.108	4.127.688	109,40
Oktober	6.440.024	5.297.240	82,25
November	8.071.018	6.450.984	79,93
Dezember	8.359.124	6.904.677	82,60
<b>SUMME</b>	72.095.870	59.663.378	82,76

### 2.1.5 Energiestrombilanz der Kessel

In weiterer Folge erfolgt eine Bilanzierung der Kessel, wobei die Daten so behandelt werden, als wäre nur ein Kessel vorhanden. Im ersten Schritt wird eine Verbrennungsrechnung durchgeführt. Für diese wird die Zusammensetzung von Heizöl Schwer dem Dubbel Taschenbuch für Maschinenbau entnommen, da keine firmeneigenen Analysedaten vorlagen.

Tabelle 7: Zusammensetzung von Heizöl Schwer [2]

Element	Gew-%
C	84,9
H	11,1
S	2,5
N	1,5

Diese Berechnungen sind notwendig, da keine Messergebnisse vorhanden waren. Es waren lediglich die Temperatur des Rauchgases (235 °C) und der Sauerstoffgehalt im Abgas (4,6 %) bekannt. Der Mindestluftbedarf wurde mit 10,588 m<sup>3</sup>/kg Brennstoff berechnet. Über den bekannten Sauerstoffgehalt im Abgas konnte das Luftverhältnis (1,3) iterativ bestimmt werden. Damit wurden der Luftbedarf und die Zusammensetzung des Rauchgases berechnet.

Die Zusammensetzung des Rauchgases ergab sich zu folgenden, in Tabelle 8 dargestellten, Werten.



Tabelle 8: Zusammensetzung des Rauchgases

Verbindung	Vol_ %
N2	74,6
CO2	10,9
H2O	9,9
O2	4,6
SO2	0,1

Mit Hilfe dieser Werte können nun die Abgasverluste bestimmt werden. Die Bilanzierung des Kessels erfolgt nach Formel 2, bezogen auf 1 kg Brennstoff. Diese besagt, dass die Enthalpie der eintretenden Luft ( $H_{Luft}$ ) plus der Enthalpie des Brennstoffs ( $H_{Brennstoff}$ ) und der Enthalpie des Speisewassers gleich dem Verlustwärmestrom ( $Q_{Verlustwärme}$ ), der Enthalpie des Verbrennungsgases ( $H_{Verbrennungsgas}$ ) und der Enthalpie des Dampfes ( $H_{Dampf}$ ) ist. Dabei beinhaltet die Position Verlustwärmestrom die Abschamm-, Absalz- und Strahlungsverluste.

$$H_{Luft} + H_{Brennstoff} + H_{Speisewasser} = Q_{Verlustwärme} + H_{Verbrennungsgas} + H_{Dampf} \quad (2)$$

Wenn als Betrachtungszeitraum das Jahr 2009 genommen wird, so ergibt die Bilanzierung die in Tabelle 9 aufgezeigten Werte.

Tabelle 9: Energieströme in und aus dem Kessel, bezogen auf das Jahr 2009

	Position	[MJ/a]	[%]
Input	$H_{Luft}$	9.279.000	9,69
	$H_{Brennstoff}$	77.580.000	81,03
	$H_{Speisewasser}$	8.886.000	9,28
Output	$H_{Verlustwärme}$	2.792.000	2,92
	$H_{Verbrennungsgas}$	24.410.000	25,49
	$H_{Dampf}$	68.550.000	71,59

Hier wird nun ersichtlich, dass der Dampf lediglich ca. 71,6 % des Energieoutputs ausmacht. Auffällig ist der mit ca. 25,5 % hohe Verlust im Verbrennungsgas. Zur Veranschaulichung dieser Daten zeigt Abbildung 3 ein Sankey-Diagramm mit den entsprechenden Werten.

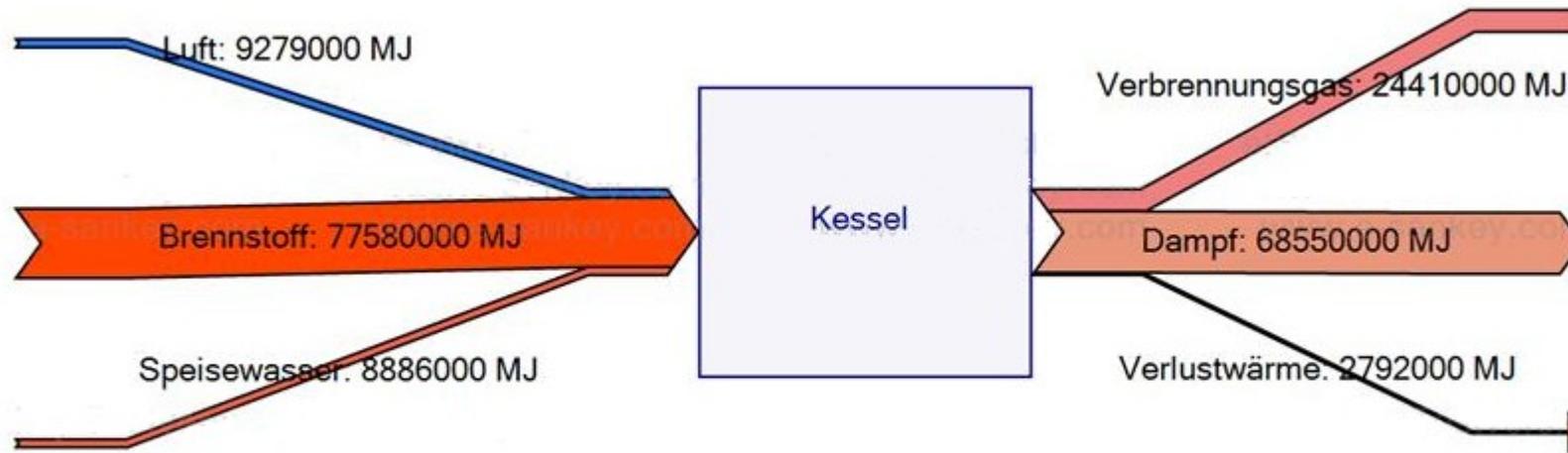


Abbildung 3: Energiebilanz über den Kessel

Die Verlustwärme beinhaltet unter anderem die Abstrahlungsverluste. Diese sind zu einem großen Teil unabhängig von der Last des Kessels und hängen nur von der Betriebstemperatur ab. Das heißt, dass diese Verluste prozentuell am Energieeinsatz bei geringerer Auslastung zunehmen [3]. Da die vorliegenden Kessel vorwiegend gering ausgelastet waren, kann dies mitunter als Erklärung für die hohe Verlustwärme gesehen werden.

### 3 Verbraucher

Es sind folgende Wärmeverbraucher am Standort vorhanden: die Jet-Anlage, die VISK 50 Anlage, das Basistanklager, die Ölmischanlage, das Heizöllager, das Bürogebäude alt, das Bürogebäude neu, das Materialmagazin, der Werkstattbereich, die Kläranlage und P2P.

Bei dem Verbraucher P2P handelt es sich um eine benachbarte Firma, die mit Hochdruckdampf beliefert wird. P2P und das Basistanklager sind die einzigen Verbraucher, die mit Hochdruckdampf versorgt werden.

In weiterer Folge wird nun der Verbrauch der einzelnen Positionen berechnet. Dabei werden zuerst alle Gebäude behandelt, die mit Dampf beheizt werden. Im Folgenden werden die weiteren Verbraucher untersucht.

#### 3.1 Energetische Bewertung der Gebäude

Im Zuge dieses Projektes sollte unter anderem die Bauphysik jener Gebäude, die nach der Stilllegung der Schmiermittelproduktion noch mit Wärme zu versorgen sind, bewertet werden. Hierfür wurde zum einen ein sogenannter Energieausweis mit Hilfe des Programms „Der Gebäudeprofi 2.0“ gerechnet und zum anderen eine Berechnung der Heizlast der einzelnen Gebäude nach DIN EN 12831 durchgeführt. Bei den zu bewertenden Gebäuden handelt es sich um folgende:

- Kläranlage
- Magazin
- Bürogebäude alt
- Werkstatt
- Bürogebäude neu

In der folgenden Abbildung ist nun der Lageplan dieser Gebäude dargestellt.



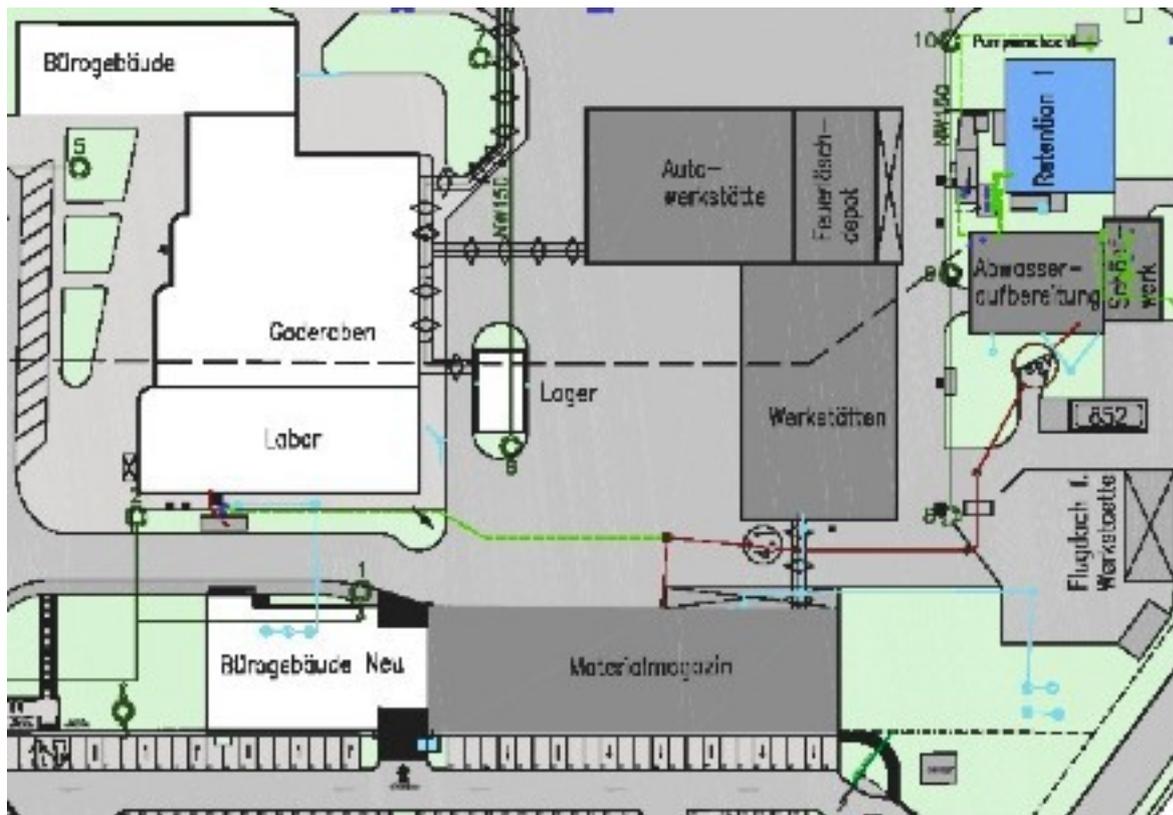


Abbildung 4: Lageplan der Gebäude

Während für das neue Bürogebäude schon ein Energieausweis vorlag und die Bauphysik bekannt war, musste diese für die anderen Gebäude erst bestimmt werden. Teilweise war die Bauphysik in alten Plänen zu finden, teilweise konnte sie vor Ort bestimmt werden. Für manche Bauteile jedoch musste der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert oder auch k-Wert) aus den für die Bauperiode typischen Werten abgeschätzt werden.

Dieser Wärmedurchgangskoeffizient der Bauteile bestimmt die Transmissionswärmeverluste. Die Transmissionswärmeverluste beschreiben die Verluste durch die wärmebegrenzende Hüllfläche des Gebäudes durch Wärmeleitung. Alles was an Verlusten aus dem Gebäude hinausgeht, muss die Heizung zur Aufrechterhaltung der Innenraumtemperatur wieder nachliefern. Die Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes sind umso höher, je höher der U-Wert der einzelnen Bauteile. Einfach gesagt heißt das, dass durch einen Bauteil mit einem höheren U-Wert mehr Wärme verloren geht als durch eines mit einem geringeren Wert.

Die U-Werte der diversen Bauteile der Gebäude sollen mit Literaturwerten verglichen werden, um eine Aussage treffen zu können, welcher Bauteil die bauphysikalische Schwachstelle des jeweiligen Gebäudes ist. Hierfür stehen für Decken, Wände und Fenster Werte aus dem Handbuch für Energieberater [4] zur Verfügung (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Richtwerte für U-Werte für Gebäudeteile

Thermische Qualität	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]		
	Decken	Wand	Fenster
Sehr gut	0,3	0,4	1,5
Gut	0,5	0,6	2,1
Durchschnittlich	1	1	2,5
Schlecht	1,5	1,4	2,9

### 3.1.1 Kläranlage

Zur Behandlung der am Standort anfallenden Abwässer ist eine Kläranlage vorhanden. Die Kläranlage hat eine beheizte Grundfläche von ca. 303 m<sup>2</sup>, die Höhe des Gebäudes beträgt 7,5 m.



Abbildung 5: Kläranlage

Für die Kläranlage wurden Pläne gefunden, in welchen die Bauphysik des Daches und des Bodens wie folgt erläutert wird:

Tabelle 11: Bauphysik der Kläranlage

Deckenaufbau	Bodenaufbau
Presskiesdach 5 % Querneigung	Schutzbeton
Isolierung 3 lagig	Isolierung
Stahlbetondachplatten auf Stahlbetonfertigteilrahmen	Unterbeton 8 cm
	Rollierung 20 cm

Für die Außenwände wurde aufgrund der Wahrnehmung vor Ort angenommen, dass es sich um Schalungssteine aus Leichtbeton handelt. Bei den Fenstern in dem Gebäude handelt es sich um Sicherheitsfenster mit 1-Scheiben-Verglasung.

Mit Hilfe dieser Daten wurden nun folgende Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für die Bauteile bestimmt, wobei es sich beim U-Wert der Fenster um Angaben aus dem Bauteilkatalog des Programms „Der Gebäudeprofi“ handelt:

Tabelle 12: U-Werte der Bauteile der Kläranlage

Bauteil	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Boden	1,4
Wand	0,7
Decke	0,52
Fenster	5

Der Vergleich mit den Richtwerten (Tabelle 10) zeigt, dass, was die Außenwand und die Decke betrifft, durchaus von guten U-Werten gesprochen werden kann. Schwachpunkt sind die 1-scheibigen Gläser der Fenster, die einen sehr hohen Wärmedurchlasskoeffizienten haben.

Zurzeit wird die Kläranlage mit Dampf beheizt. Dabei erfolgt die Wärmeabgabe mittels Wärmestrahlung über ein ungedämmtes Rohr, durch welches der Dampf strömt (siehe Abbildung 6).

Um die Wärmeleistung zu bestimmen benötigt man die Rohrdimension und die Temperaturdifferenz zwischen heißer Oberfläche des Rohres und der Umgebung. Die gemessenen Werte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Dabei ist für die Rohrtemperatur die mittlere gemessene Temperatur angegeben, da die gemessenen Temperaturen zwischen 110 °C und 150 °C lagen.



Abbildung 6: Die Wärmeabgabe in der Kläranlage erfolgt durch ungedämmte Rohre

Tabelle 13: Gemessene Werte in der Kläranlage

Rohrlänge ungedämmt	[m]	51,2
Rohrdimension		DN 125
T Umgebung	[°C]	20
T Rohr avg	[°C]	130

Mit Hilfe der Rohrdimension und der Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und der Oberfläche des Rohrs aus nachfolgendem Diagramm nach Wrede die Wärmeleistung berechnet werden. Hier zeigt sich, dass im vorliegenden Fall mit einer Temperaturdifferenz von 90 K ein mittlerer Wärmeverlust von etwa 605 W/m Rohrlänge ergibt.

Damit ergibt sich auf die gesamte Rohrlänge bezogen ein Wärmeverlust von 30,98 kW. Dieser Wert bezieht sich allerdings auf eine Innentemperatur von 20 °C. Da aber eine Innentemperatur von 18 °C angestrebt wird, ist ein Multiplikationsfaktor von 0,992 anzuwenden, wodurch sich der Wärmeverlust auf 30,73 kW verringert.

Das heißt, dass in jeder Stunde, die das Rohr von Dampf durchflossen wird, ca. 31 kWh an Wärme an den Raum abgegeben werden, bzw. dass hier eine Heizleistung von ca. 31 kW vorhanden ist.

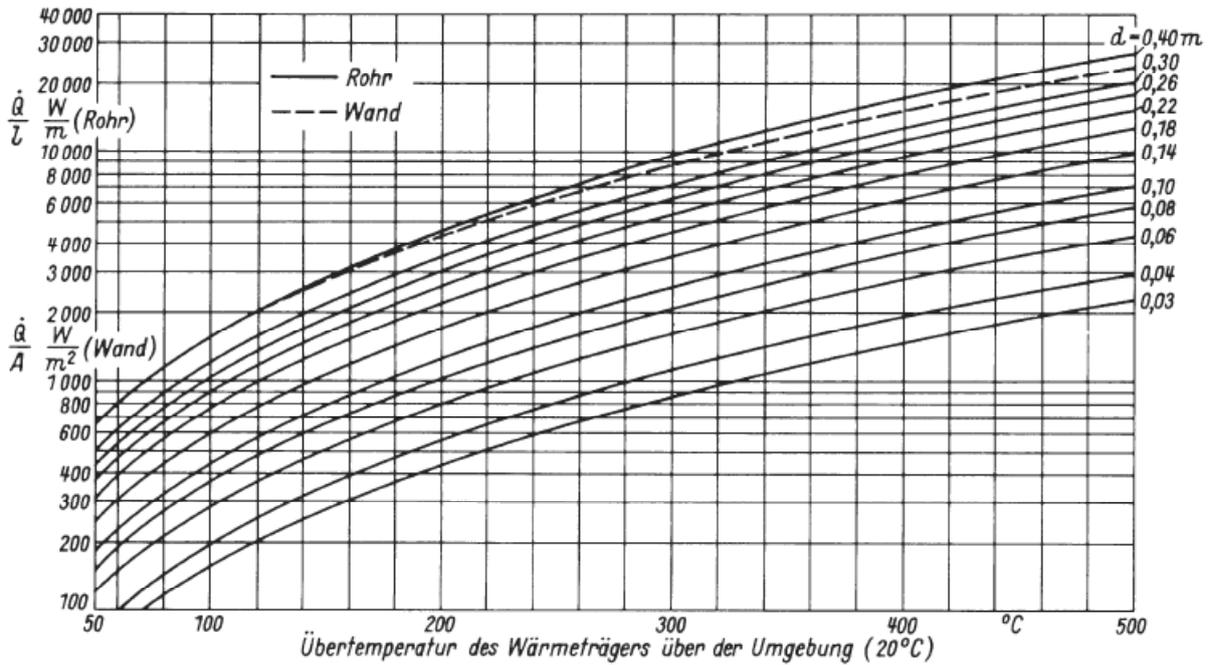


Abbildung 7: Wärmeverluste nichtisolierter Rohre in Innenräumen nach Wrede [5]

### 3.1.2 Magazin

Das Magazin hat eine Grundfläche von ca. 1.113 m<sup>2</sup> und ist in etwa 6,5 m hoch. Der Aufbau der Decke und des Bodens des Magazins konnte in Plänen gefunden werden und gestaltet sich wie folgt:

Tabelle 14: Bauphysik des Magazins

Deckenaufbau	Bodenaufbau
Presskiesdeckung	Hartbetonestrich
Polystyrol 3 cm	Schwarzisolierung
Dampfsperre mit Druckausgleich	Unterbeton 15 cm
Fertigteilplatten auf Fertigteilbalken	Schotter 15 cm

Für die Außenwände wurde angenommen, dass es sich um dieselben Wände wie beim alten Bürogebäude handelt – um Blähton-Hohlsteine mit Verputz. Bei den Fenstern konnte der U-Wert teilweise im Rahmen abgelesen werden, zum Teil mussten wieder gängige Werte aus dem Handbuch für Energieberater verwendet werden.



Abbildung 8: Magazin

Tabelle 15: U-Werte der Bauteile des Magazins

Bauteil	U-Wert [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]
Boden	1,4
Wand	0,8
Decke	0,8
Fenster 1 und Glas der Türen	1,1
Fenster 2	1,7
Stahltor	3

Auch hier erfolgt eine Bewertung der Bauphysik im Vergleich zu den Richtwerten aus Tabelle 10. Der Vergleich zeigt nun, dass Decke und Wand im Bereich zwischen guter und durchschnittlicher thermischer Qualität liegen. Bei den Fenstern handelt es sich durchgängig um sehr gute Qualität, was vor allem daran liegt, dass es sich um relativ neue Fenster handelt. Als Bereich mit dem schlechtesten U-Wert wurden hier die Stahl Tore identifiziert.

Die Wärmeversorgung des Magazins erfolgt über ein Warmwassersystem. Dabei wird über eine Wärmetauscherstation im alten Bürogebäude die Wärme vom Dampf auf das Wasser übertragen. Die Wärmeabgabe erfolgt über Heizregister.

### 3.1.3 Bürogebäude alt

Das Gebäude besteht aus mehreren Bereichen: einem Labortrakt, zwei Bürotrakten, einem Garderobentrakt und dem Bereich der Kantine und der Küche. Insgesamt hat das Gebäude eine Grundfläche von ca. 2.507 m<sup>2</sup>, wobei eine Nutzfläche von 3.697 m<sup>2</sup> zur Verfügung steht, da das Gebäude teilweise zweistöckig ist.

Auch hier war der Aufbau des Bodens und der Decke aus den Plänen bekannt, allerdings nur für den westlichen Bürotrakt. Da es sonst keine Unterlagen gab, wird davon ausgegangen, dass derselbe Aufbau für das gesamte Gebäude angenommen werden kann.

Tabelle 16: Bauphysik des Bürogebäudes alt

Deckenaufbau	Bodenaufbau
Bitumenisolierung 0,5 cm	Fußbodenbelag 0,5 cm
Zementmörtelglattstrich	Schwimmender Estrich 5,5 cm
Leca Gefällsbeton 3 - 15 cm	Plastikfolie
Plastikfolie	Tellwolleplatten 2 cm
Tellwolleplatten 4 cm	Feuchtigkeitsisolierung 0,5 cm
Dampfsperre 0,5 cm	Unterbeton 10 cm
Stahlbetonplatte 20 cm	

Für den Aufbau der Außenwände wurden zwar keine Unterlagen gefunden, doch konnte an einer Stelle ein Loch in der Wand gefunden werden, an der eine Probe entnommen wurde (siehe Abbildung 9). Diese zeigt, dass es sich um Blähton-Hohlsteine handelt.



Abbildung 9: Probe aus dem Mauerwerk des Bürogebäudes alt



Abbildung 10: Bürogebäude alt

Mit Hilfe der Mauerstärke, die bekannt ist, und dem Handbuch für Energieberater konnte so auch für die Außenwand ein U-Wert bestimmt werden. Die U-Werte der Decke und des Bodens konnten mittels des oben genannten Aufbaus bestimmt werden. Im Gebäude sind unterschiedliche Fenster vorhanden, von denen die U-Werte zum Teil im Rahmen abgelesen werden konnten. Die resultierenden Werte sind in zusammengefasst.

Tabelle 17: U-Werte der Bauteile des Bürogebäudes alt

Bauteil	U-Wert [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
Boden	1,37
Wand	0,8
Decke	0,8
Fenster 1	1,8
Fenster 2	1,7
Fenster 3	1,5
Glas in den Türen	1,1

Wenn hier die U-Werte der verschiedenen Bauteile mit den Werten der Tabelle 10 verglichen werden, zeigt sich, dass Decke und Außenwand wiederum im Bereich zwischen guter und durchschnittlicher Qualität liegen. Die Fenster und das Glas in den Türen sind mit sehr gut bis gut einzustufen.

Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt über das bereits angesprochene Warmwassersystem. Die Wärmeabgabe erfolgt über Heizregister in den einzelnen Räumen bzw. über Radiatoren.

### 3.1.4 Werkstatt

Das Gebäude, welches hier als Werkstatt bezeichnet wird, beinhaltet neben dem mechanischen Werkstättenbereich auch noch die Autowerkstätte mit der Waschbox und das Feuerlöschdepot. Ein Teil der mechanischen Werkstätte wurde umgebaut und wird jetzt für Büroräume genutzt. Insgesamt hat das Gebäude eine Gesamtfläche von ca. 1.906 m<sup>2</sup>, die sich wie folgt aufteilen: mechanische Werkstätte ca. 740 m<sup>2</sup>, Umbau ca. 137 m<sup>2</sup>, Autowerkstatt und Waschbox ca. 692 m<sup>2</sup>, Feuerlöschdepot ca. 337 m<sup>2</sup>. Die Anordnung ist in Abbildung 11 dargestellt, wobei das Kürzel FLD für Feuerlöschdepot steht.

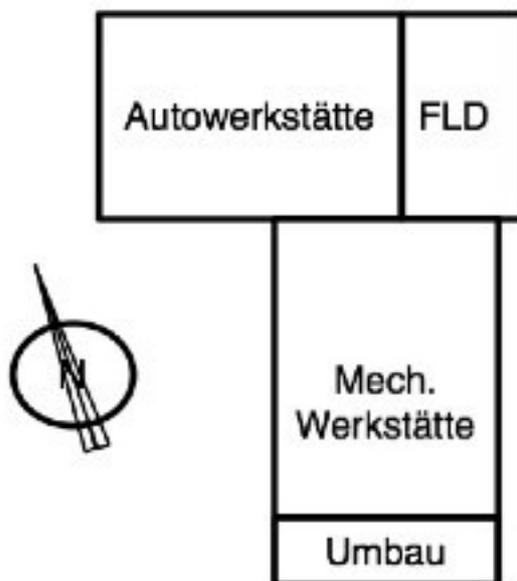


Abbildung 11: Skizze der Werkstatt

In den Plänen konnten Werte bezüglich des Aufbaus des Bodens und der Decke gefunden werden. Diese unterscheiden sich zum Teil je Bereich. So wurden eigene Werte für den umgebauten Teil der mechanischen Werkstätte (Umbau genannt), hier wurde auch eine neue Decke eingezogen und ein neuer Boden verlegt, das Feuerlöschdepot und mechanische Werkstätte gefunden.



Abbildung 12: Werkstattgebäude

Tabelle 18: Bauphysik der mechanischen Werkstätte

Deckenaufbau	Bodenaufbau
Presskiesdeckung	Holzstöcklpflaster 7 cm
Polystyrol 3 cm	Schutzbeton 3 cm
Dampfsperre mit Druckausgleich	Schwarzisolierung
Fertigteilplatten auf Fertigteilbalken	Unterbeton 15 cm
	Schotter 15 cm

Tabelle 19: Bauphysik des Feuerlöschdepots

Deckenaufbau	Bodenaufbau
Schwarzdeckung 0,8 cm	Verschleiß-Schicht 3 cm
Wärmedämmung 5 cm	Estrich mit Baustahlgitter 12 - 15 cm
Bitumenanstrich 0,2 cm	Rollierung 30 cm
Ytong-Dielen im Gefälle 20 cm	

Tabelle 20: Bauphysik des Umbaus

Deckenaufbau	Bodenaufbau
TEL Wärmedämmplatten 12 cm	Linol
Alutel 12 cm	Estrich
Insichtschienenraster	Folie
	Glaswolle TDP 35/30 TDP 50/50

Für die Außenwände wurde wiederum angenommen, dass es sich um Blähton-Hohlsteine mit Verputz handelt. Bei den Fenstern mussten gängige Werte aus dem Handbuch für Energieberater verwendet werden. Die U-Werte der Bauteile, mit Hilfe derer in weiterer Folge der Energieausweis und die Heizlast berechnet wurden, sind in Tabelle 21 angeführt.

Auch im Bereich der Werkstatt wurden die U-Werte der Bauteile bewertet. Während die Außenwände durchgängig im Bereich guter bis durchschnittlicher thermischer Qualität liegen, unterscheidet sich die Bewertung der Decke nach dem betrachteten Bereich. So geht über die Decke der mechanischen Werkstätte wesentlich mehr Wärme pro m<sup>2</sup> verloren als zum Beispiel im umgebauten Teil, wo der U-Wert von 0,19 sehr guter thermischer Qualität entspricht. Die Decke des Feuerlöschdepots liegt ziemlich genau in der Mitte der beiden Werte und ist mit gut zu bewerten. Bezüglich des Bodens fällt hier, wie auch bei den Fenstern, die stark unterschiedliche Qualität im umgebauten Bereich im Vergleich zum Rest des Gebäudes auf.

Tabelle 21: U-Werte der Bauteile der Werkstatt

Bauteil	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Boden mechanische Werkstätte	1,4
Boden Feuerlöschdepot	1,46
Boden Umbau	0,19
Decke mechanische Werkstätte	0,8
Decke Feuerlöschdepot	0,48
Decke Umbau	0,19
Wand	0,8
Fenster 1	3,2
Fenster 2	1,1
Tür	3,7
Tor	5,88

Bauphysikalische Schwachstellen im Werkstattegebäude sind eindeutig die alten Fenster (2-scheibiges Sicherheitsglas) und die Tore.

Die Wärmeversorgung der mechanischen Werkstätte erfolgt ebenfalls über das Warmwassersystem. Lediglich die Waschbox wird mit Dampf beheizt.

### 3.1.5 Bürogebäude neu

Das Gebäude hat eine Grundfläche von ca. 995 m<sup>2</sup> und hat eine Höhe von etwa 7,5 m. Hier lagen Pläne vor, jedoch war bereits 2007 ein Energieausweis für dieses Gebäude vom Zivilingenieurbüro DI Willibald Boder erstellt worden. Aus diesem ist auch der Aufbau der einzelnen Bauteile, deren U-Werte sowie die Abmaße des Gebäudes bekannt.

Tabelle 22: Bauphysik des Büro neu

<b>Außenwand Aufbau</b>	<b>Decke zu unbeheiztem Keller Aufbau</b>
Gipskartonplatten 1,5 cm	Teppichauflage 1 cm
Isocell Öko Naturdampfbremse	Estrich 5 cm
Mineralfaser Glaswolle 120 10 cm	Polyethylen Folie
Stahlbetonwand 25 cm	Heralan-TP 30/25 2,5 cm
	Polystyrol-Hartschaum 40 4 cm
	Blähton 450 4,5 cm
	Abdichtungsbahn 3-lagig
	Stahlbetondecke 20 cm
<b>Erdanliegender Fußboden Aufbau</b>	<b>Deckenaufbau</b>
Teppichauflage 1 cm	Gipskartonplatten 1,5 cm
Estrich 6 cm	Aluminium 0,3 cm
Polyethylen Folie	Polystyrol-Hartschaum 50 12 cm
Heralan-TP 30/25 2,5 cm	Aluminium 0,3 cm
Polystyrol-Hartschaum 40 4 cm	Trapezblech 0,2 cm
Blähton 450 4,5 cm	
Abdichtungsbahn 3-lagig	
Stahlbetondecke 20 cm	
<b>Deckenaufbau 2</b>	
Gipskartonplatten 1,5 cm	
Stahlbetondecke 16 cm	
Aufbeton 10 cm	
Polystyrol-Hartschaum 50 16 cm	
Glasvlies Bitumendachbahn	
Schüttung Kies 16/32 8 cm	

Wie bereits erwähnt konnten die U-Werte dem Energieausweis entnommen werden. Die Werte wurden auf Plausibilität geprüft und in weiterer Folge verwendet. In Tabelle 23 sind diese aufgelistet.

Tabelle 23: U-Werte der Bauteile des Bürogebäudes neu

Bauteil	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Erdanliegender Boden	0,391
Decke zu unbeheiztem Keller	0,368
Decke 1	0,267
Decke 2	0,188
Außenwand	0,352
Fenster	1,1

Auch hier erfolgt eine Bewertung der Bauphysik im Vergleich mit den Richtwerten aus Tabelle 10. Der Vergleich zeigt, dass es sich in diesem Fall durchgängig Bauteile mit sehr guten weil niedrigen U-Werten handelt

Die Wärmeversorgung des Bürogebäudes neu erfolgt über das Warmwassersystem. Die Wärmeabgabe erfolgt über Radiatoren.

### 3.2 P2P

Bei der Firma P2P handelt es sich um einen benachbarten Betrieb, der Industrieverpackungen produziert. Die Firma hat einen Dampfliefervertrag mit der Shell Austria GmbH und benötigt Hochdruckdampf. Geliefert wird der Dampf im produzierten Zustand, er wird also nicht so wie für die meisten anderen Verbraucher vorher entspannt.

Da es sich um eine Fremdfirma handelt stehen keine weiteren Informationen über die Verwendung des Dampfes zu Verfügung. Da zwischen den beiden Firmen jede einzelne Tonne Dampf verrechnet wird, liegen hier jedoch Aufzeichnungen vor, wie viel Dampf im Jahr geliefert wird.

### 3.3 VISK 50 Anlage

Die VISK 50 Anlage ist Teil der Schmiermittelproduktion und steht in der Halle der Ölmischanlage. In der Anlage werden Polymere dem Basisöl als Blöcke beigemischt. Um diese aufzulösen, muss die Temperatur für zwei Stunden zwischen 120 und 140 °C gehalten werden.

Es sind zwei 6 m<sup>3</sup> Behälter vorhanden, die jeweils eine Charge von je 4.400 kg Basisöl aufnehmen. Im Außenmantel sind Heizschlangen verlegt, um die Beheizung zu gewährleisten. In der Anlage werden laut dem Betriebsleiter pro Woche im Jahresschnitt 40 Chargen bearbeitet.

Der größte Dampfverbrauch resultiert an diesem Verbraucher aus der Aufheizung der Chargen auf die Solltemperatur. Vor der Mischung hat das Basisöl eine Temperatur von ca. 28 °C, in weiterer Folge wird es auf ca. 130 °C aufgeheizt. Die spezifische Wärmekapazität vom Basisöl war nicht bekannt. Aus dem VDI Wärmeatlas [5] ist bekannt,



dass die spezifische Wärmekapazität von Wärmeträgern auf Mineralölbasis stark von der Temperatur abhängt. Da die Werte der einzelnen Stoffe stark variieren, wurde beschlossen, von einer spezifischen Wärmekapazität von 2,0 kJ/kgK auszugehen und den Einfluss der Temperatur auf diesen Wert nicht zu berücksichtigen.

Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 24 zusammengefasst.

Tabelle 24: Daten zur VISK 50 Anlage

Anzahl Chargen	[Chargen/a]	2600
Masse Charge	[kg/Charge]	4400
spezifische Wärmekapazität Rohöl	[kJ/kgK]	2
Anlieferungstemperatur	[°C]	28
Solltemperatur	[°C]	130

Diese Temperatur muss dann für zwei Stunden konstant gehalten werden. In dieser Zeit müssen nur mehr die Wärmeverluste der Behälter ausgeglichen werden. Für die Berechnung der Wärmeverluste ist bekannt, dass die Temperatur des Basisöls, wenn es über das Wochenende im Tank gelassen wird, pro Tag um ca. 2 °C sinkt.

Mit Hilfe dieser Angabe kann mit Hilfe der Gleichung 3 der Wärmeverlust über einen Tag berechnet werden. Dabei ist  $m$  die Masse des Basisöls,  $c_p$  die spezifische Wärmekapazität des Basisöls und  $\Delta T_1$  ist die Temperaturdifferenz des Basisöls in der entsprechenden Zeit, in diesem Fall 2 °C.

$$Q = m * c_p * \Delta T_1 \quad (3)$$

Dieser Verlust kann näherungsweise auf einen Verlust pro Stunde umgerechnet werden. Mit diesem kann über die Benutzungsstunden (2 Stunden pro Charge) der Wärmeverlust der Behälter über das Jahr abgeschätzt werden.

### 3.4 Basistanklager

Im Basistanklager werden, die Basisöle gelagert, aus welchen in weiterer Folge die Produkte erzeugt werden. In Summe bilden 26 Tanks unterschiedlicher Größe das Basistanklager. Die relevanten Daten der Tanks sind in Tabelle 25 zusammengefasst. Die Tanks sind isoliert, lediglich deren Böden sind unisoliert. Die Tanks werden prinzipiell nur von November bis einschließlich Februar geheizt. In dieser Zeit werden die Tanks auf die jeweilige Solltemperatur, die dem Regelungsprogramm in der Leitwarte vorgegeben ist, beheizt. Die Solltemperaturen liegen zwischen 30 und 90 °C und richten sich nach dem gelagerten Basisöl.

Tabelle 25: Daten der Basistanks

Anzahl	Volumen	Oberfläche	isolierte Oberfläche	unisolierte Oberfläche
	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
3	500	350,53	50,27	150,80
9	150	165,14	15,90	143,14
6	100	133,53	9,62	57,73
8	50	76,39	9,62	76,97

Die U-Werte der isolierten und unisolierten Oberfläche waren bekannt und sind in Tabelle 26 angeführt.

Tabelle 26: U-Werte der Basistanks

	U-Wert
	[W/m <sup>2</sup> K]
isoliert	1,04
unisoliert	11

Für die Berechnung der Wärmeverluste wurden zusätzlich folgende Werte der Homepage der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik entnommen [6], wobei die Klimadaten der Wetterstation Groß-Enzersdorf genommen wurden, da diese dem Standort des Betriebes am nächsten ist.

Tabelle 27: Mittlere Temperatur der Monate, in denen die Basistanks beheizt werden [6]

	mittlere Temperatur
	[°C]
November	4,2
Dezember	1,1
Jänner	-0,4
Februar	1,1

### 3.5 Jettanks

Bei den Jettanks handelt es sich um das Fertigproduktlager. Insgesamt sind 14 Behälter unterschiedlicher Größen (siehe Tabelle 28) vorhanden. Ein 150 m<sup>3</sup> Behälter steht jedoch leer und ein 80 m<sup>3</sup> Behälter muss nicht beheizt werden, da dieser mit dem Öl aus der VISK 50 Anlage befüllt wird, welches eine so hohe Temperatur hat (ca. 130 °C), dass hier im Gegensatz zu den anderen Tanks keine Beheizung notwendig ist. Die anderen Tanks werden alle bis auf einen 80 m<sup>3</sup> Tank, welcher eine Solltemperatur von 35 °C hat, auf einer Temperatur von 25 °C gehalten.



Tabelle 28: Daten der Jettanks

Anzahl	Volumen	Oberfläche
	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
6	150	170
6	80	105
1	20	44
1	300	256

Aus einer früheren Studie der Firma Shell ist bekannt, welche Fläche der Tanks isoliert und welche unisoliert sind. Von der gesamten Oberfläche sind demnach nur ca. 17,5 % isoliert. Die U-Werte der isolierten und unisolierten Flächen sind bereits in Tabelle 26 dargestellt, da diese die gleichen wie bei den Basistanks sind.

### 3.6 Ölmischanlage

In der Ölmischanlage werden aus den unterschiedlichen Basisölen verschiedene Produkte gemischt. Thermische Energie wird hier für die Beheizung der Halle, für das vollständige Entleeren von Fässern, bei denen sich Feststoffe am Boden abgesetzt haben, und für das Aufwärmen der Öle vor deren Verarbeitung in Heizschränken eingesetzt.

Für die Beheizung des Gebäudes wäre eigentlich eine Luftheizung vorhanden, aufgrund der großen Abwärme der ungedämmten Produkt- und Dampfrohrleitungen im gesamten Gebäude wird diese aber nicht betrieben. In Zusammenarbeit mit dem Produktionsleiter wurden die Länge der ungedämmten Rohrleitungen und die Anzahl der ungedämmten Armaturen geschätzt. In weiterer Folge konnte mit Hilfe der Abbildung 7 die Wärmeleistung der Rohre bestimmt werden. Für die Armaturen wurde die gleichwertige Länge eines isolierten Rohres ermittelt [5], woraus im Weiteren unter Zuhilfenahme des in Abbildung 13 abgebildeten Nomogrammes die Wärmeleistung der Armaturen geschätzt werden konnte. Zusätzlich wurde für die isolierten Rohrleitungen im Gebäude die Wärmeleistung näherungsweise berechnet. Die entsprechenden Daten sind in der Tabelle 29 zusammengefasst.

Es zeigt sich, dass hier insgesamt (Rohrleitungen und Armaturen) eine Wärmeverlustleistung von 77,14 kW vorhanden ist.

Tabelle 29: Wärmeverlustleistungen der Rohrleitungen und Armaturen in der ÖMA

Position	Länge	Wärmeleistung
	[m]	[W/m]
DN 150 unisoliert	5	600
DN 80 unisoliert	10	350
DN 50 unisoliert	20	280
Armaturen	360	104
Rohrleitung isoliert	230	120



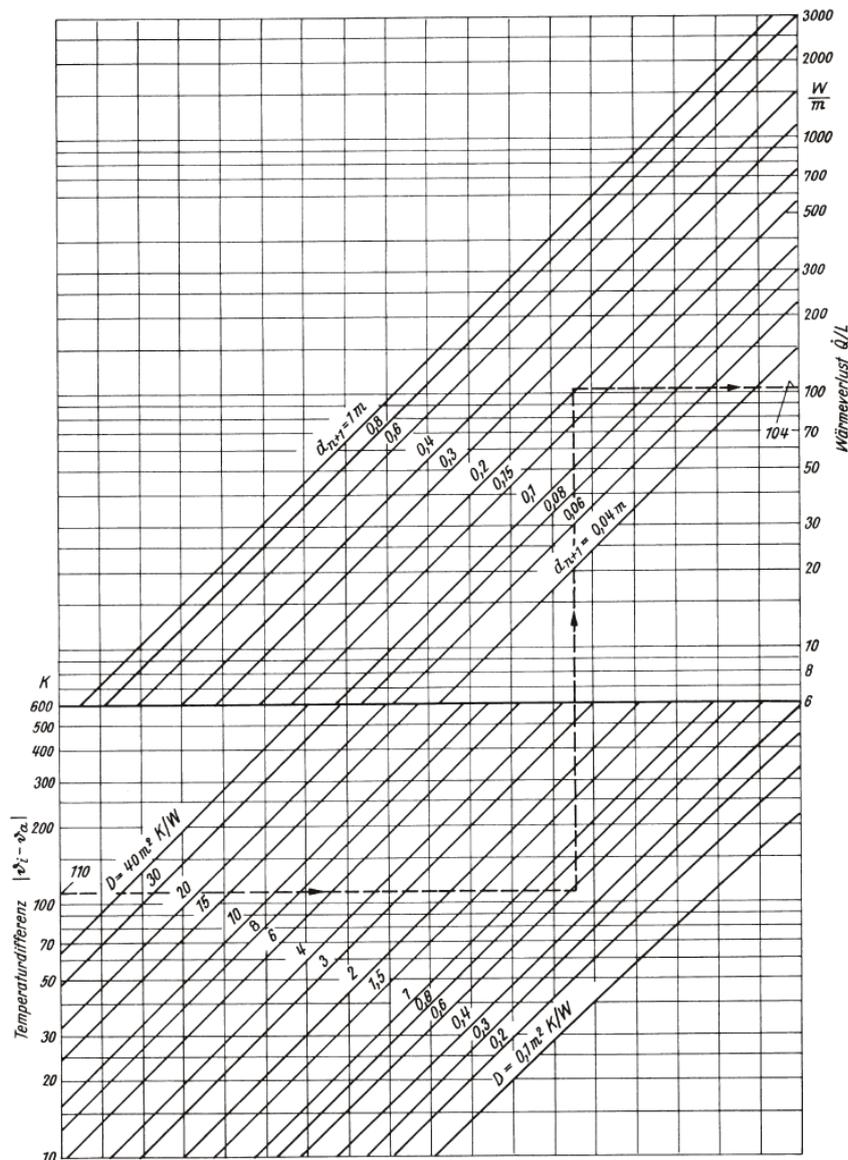


Abbildung 13: Nomogramm zur überschlägigen Berechnung des Wärme- bzw. Kälteverlustes isolierter Rohrleitungen [7]

Für das Aufwärmen der Fässer sind drei große Heizschränke mit einem Fassungsvermögen von 12 Fässern und ein Heizschrank mit einem Fassungsvermögen von 8 Fässern vorhanden. Die Wärmeleistung der großen Heizschränke liegt bei 3,3 kW, die der kleinen bei 2,0 kW.

Für die Entleerung der Fässer stehen insgesamt 9 Gruben zur Verfügung, welche mit Heizschlangen ausgelegt sind. Die Gruben haben jeweils ein Volumen von 1400 Litern bzw. eine Oberfläche von 5,65 m<sup>2</sup>. Es wird von einer Wärmeleistung von 1,5 kW/m<sup>2</sup> ausgegangen.



## 4 Ergebnisse / Diskussion

### 4.1 Heizlasten der Gebäude

Die Heizlastberechnungen erfolgten nach DIN EN 12831.

Im Fall der Kläranlage musste für die Berechnung der Heizlast berücksichtigt werden, dass der beheizte Raum nicht zur Gänze frei steht, sondern im Süden ein nicht beheizter Raum angrenzt, wodurch sich in diese Richtung geringere Verluste ergeben. Im Gegensatz zu den anderen Gebäuden wird hier eine Innentemperatur von 18 °C als ausreichend empfunden, was in der Berechnung der Heizlast berücksichtigt wurde. Hier ergibt sich eine Heizlast von 36 kW.

Wenn man nun die momentane Wärmeversorgung betrachtet, sieht man, dass die vorhandene Heizleistung von knapp 31 kW geringfügig unter der Heizlast liegt. Da sich in diesem Gebäude jedoch keine Personen über längere Zeit aufhalten dient die Heizung lediglich dem Frostschutz, wodurch keine Raumtemperatur von 20°C erreicht werden muss. Aufgrund der geringen Aufenthaltszeit von Personal in der Kläranlage könnte die Heizlast auf 25,8 kW reduziert werden. In diesem Fall könnte allerdings bei den kältesten Außentemperaturen die Innentemperatur lediglich auf 10°C gehalten werden.

Obwohl das Magazin an das Bürogebäude neu angrenzt, wurde die Heizlastberechnung für die beiden Teile separat durchgeführt. Durch diese Angrenzung fällt eine Außenwand weg, was sich positiv auf die Heizlast auswirkt. Die Berechnung ergab für das Magazin eine Heizlast von 112 kW.

Für das alte Bürogebäude ergab sich eine Heizlast von 223 kW. Gerechnet wurde hier auf eine Norminnentemperatur von 20 °C, wie in Büroräumen üblich. Wenn diese Norminnentemperatur auf 22 °C angehoben wird, erhöht sich die Heizlast auf 233 kW.

Die Berechnung der Heizlast für das Werkstattegebäude ergab eine Heizlast von 195 kW. Dabei wurde jedoch von einer Luftwechselrate von 0,5 h<sup>-1</sup> ausgegangen, was jedoch kritisch zu hinterfragen ist, da die großen Tore oft auch im Winter offen stehen. Hier würde jedoch die Möglichkeit bestehen einen Schalter einzubauen, der die Wärmeabgabe in die Werkstatt stoppen würde, sobald das Tor aufgeht. Dadurch könnte eine höhere Luftwechselrate und damit auch größere Wärmeverluste verhindert werden.

So wie für das Magazin gilt auch für das Bürogebäude neu, dass durch die Angrenzung eines Gebäudes (des Magazins) für die Berechnung eine Außenwand wegfällt, was sich positiv auf die Heizlast auswirkt. Die Berechnung ergab hier eine Heizlast von 60 kW.

#### 4.1.1 Bewertung und Vergleich der Heizlasten

Um die Heizlasten der einzelnen Gebäude untereinander oder auch mit Werten aus der Literatur vergleichen zu können, muss diese auf eine objektive Größe bezogen werden. Hier eignet sich zum einen der Bezug auf die Bruttogeschossfläche (BGF) und zum anderen auf



das Gebäudevolumen (G-Vol). Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 30 zusammengefasst.

Tabelle 30: Vergleich der spezifischen Heizlasten

Gebäude	Heizlast [kW]	BGF [m <sup>2</sup> ]	G-Vol. [m <sup>3</sup> ]	Spezifische Heizlast [W/m <sup>2</sup> ]	Spezifische Heizlast [W/m <sup>3</sup> ]
Werkstätte	195	1.906	12.955	102,3	15,1
Bürogebäude alt	223	3.609	13.065	61,8	17,1
Bürogebäude neu	60	1.857	7.480	32,3	8
Magazin	112	1.113	8.351	100,6	13,4
Kläranlage	35	303	2.271	115,5	15,4
<b>Summe</b>	<b>625</b>				

Beim Vergleich untereinander fallen nun vor allem die merklich niedrigeren Werte für das Bürogebäude neu auf. Dies ist aufgrund dessen, dass es sich um ein neueres Gebäude handelt, bei dem Wert auf bessere bauphysikalische Eigenschaften gelegt wurde als dies in der Vergangenheit der Fall war. Mit einer spezifischen Heizlast von 32,3 W/m<sup>2</sup> fällt das Gebäude in die Kategorie eines Niedrigenergiehauses, wobei dieser Wert davon begünstigt wird, dass an die Südseite das Magazin grenzt und deshalb in diese Richtung keine Wärmeverluste auftreten.

Auf den ersten Blick auch etwas überraschend ist, dass das Bürogebäude alt mit 61,8 W/m<sup>2</sup> eigentlich auch eine relativ niedrige spezifische Heizlast hat. Dies dürfte an der für das Baujahr des Gebäudes guten thermischen Qualität der Bauteile und den relativ neuen Fenstern liegen.

Im Vergleich dazu sind die spezifischen Heizlasten für das Magazin, die Werkstätte und die Kläranlage als wesentlich höher einzustufen. Allerdings liegen die Werte von 100 – 120 W/m<sup>2</sup> durchaus in dem Bereich, der zu erwarten war. An und für sich wäre aufgrund der Bauphysik ein höherer Wert für die Kläranlage zu erwarten gewesen, allerdings wurde hier die Heizlast mit einer Norminnentemperatur von 18 °C berechnet, wodurch ein niedrigerer Wert erreicht wurde.

Die Betrachtung der spezifischen Heizlast bezogen auf das Volumen ist vor allem für Hallen sinnvoll. Hier werden in der Literatur Richtwerte von 17 – 35 W/m<sup>3</sup> genannt, wobei leider nicht bekannt ist mit welchen Luftwechselraten diese Werte berechnet wurden. Jedenfalls liegen sowohl die Werkstätte und das Magazin als auch die Kläranlage, für die diese Betrachtung sinnvoll ist, im unteren Bereich. Wiederum muss hier darauf hingewiesen werden, dass bei der Kläranlage mit einer Norminnentemperatur von 18 °C gerechnet wurde. Bei der Werkstätte dürfte der Wert zum einen durch die sehr gute Wärmedämmung im Bereich des umgebauten Bereichs begünstigt werden, zum anderen ist dieser Wert auch kritisch zu betrachten, da eine Abschätzung der Luftwechselrate nur sehr schwer möglich war.



In Summe ergibt sich jedenfalls für die betrachteten Gebäude eine Heizlast von ca. 625 kW.

## 4.2 Energiebedarf der Gebäude

Zur Beurteilung des Energiebedarfs der Gebäude, wurde jeweils ein Energieausweis nach OIB Richtlinie 6 erstellt, wodurch schon sehr viele Rahmenbedingungen vorgegeben waren.

Für die Kläranlage ergibt sich ein Heizenergiebedarf von 219 kWh/m<sup>2</sup>a. Dies entspricht einem Wert der Energieeffizienz-Klasse F. In Summe ergibt sich hier ein Jahres-Heizenergiebedarf von 66.316 kWh/a, wobei Anlagenverluste nicht berücksichtigt sind. Über diesen Bedarf und die vorhandene Heizleistung von 31 kW können nun die so genannten Vollbenutzungsstunden berechnet werden. Diese ergeben sich zu 1.895 h. Da die Heizleistung in der Kläranlage jedoch eigentlich nicht regelbar ist und die Wärmeabgabe deshalb immer mit 31 kW erfolgt, würde dieser Verbrauch bedeuten, dass lediglich 1.895 h/a Wärme abgegeben wird.

Im Falle des Magazins ergibt sich ein Heizenergiebedarf von 163,1 kWh/m<sup>2</sup>a, ohne Berücksichtigung von Anlagenverlusten oder etwaigem Warmwasserbedarf. Wenn diese beiden Positionen mitberücksichtigt werden, wobei ein Standardwert für den Warmwasserbedarf verwendet wird, so ergibt sich ein Endenergiebedarf von 216,2 kWh/m<sup>2</sup>. Dies entspricht einem Wert der Energieeffizienz-Klasse E. In Summe ergibt sich hier ein Jahres-Heizenergiebedarf von 181.546 kWh/a (nur Heizenergie, nicht Endenergie). Mit diesem Bedarf und der zuvor errechneten Heizlast können die Vollbenutzungsstunden berechnet werden. Diese ergeben sich zu 1.620 h, was darauf schließen lässt, dass Heizlast und Heizenergiebedarf plausibel sind.

Der Heizenergiebedarf für das Bürogebäude alt beträgt der Berechnung des Energieausweises nach 164,2 kWh/m<sup>2</sup>a. Unter Annahmen von Standardwerten für den Warmwasserverbrauch und die Anlagenverluste ergibt sich ein Endenergiebedarf von 211,8 kWh/m<sup>2</sup>. Damit fällt das Gebäude in die Energieeffizienz-Klasse E. Der Jahres-Heizenergiebedarf beläuft sich hier auf 592.579 kWh/a. Mit diesem Bedarf und der zuvor berechneten Heizlast kann wieder ein Wert für die Vollbenutzungsstunden berechnet werden, welcher somit 2.657 h beträgt. Dies ist ein zu hoher Wert, was in diesem Fall eher darauf schließen lässt, dass die Heizlast zu gering für das Gebäude wäre.

Der Berechnung des Energieausweises zu Folge ergibt sich hier ein Heizenergiebedarf in der Höhe von 224,9 kWh/m<sup>2</sup>a. Damit liegt das Gebäude in der Energieeffizienz-Klasse F. Aufgrund der vielen Fensterflächen mit teils hohen Wärmedurchgangskoeffizienten entspricht dies den Erwartungen.

In Summe ergibt sich ein Jahres-Heizenergiebedarf von 427.846 kWh/a. Die unter Berücksichtigung der Heizlast berechneten Vollbenutzungsstunden betragen 2.194 h/a. Dies ist ein im Vergleich mit Standardwerten hoher Wert, der in diesem Fall auf einen zu hoch angesetzten Jahres-Heizenergiebedarf durch den Energieausweis zurückzuführen ist.



Laut des bereits vorliegenden Energieausweises beläuft sich der Heizenergiebedarf auf ungefähr 54,15 kWh/m<sup>2</sup>a. Damit fällt das Gebäude in die Energieeffizienz-Klasse C. Der Jahres-Heizenergiebedarf beträgt 100.581 kWh/a. Mit diesem Bedarf und der Heizlast von 60 kW ergeben sich Vollbenutzungsstunden in der Höhe von 1.676 h/a. Ein Wert in dieser Höhe konnte erwartet werden.

#### 4.2.1 Vergleich des Heizenergiebedarfs

In diesem Abschnitt sollen die Werte für den Heizenergiebedarf, bezogen sowohl auf die Fläche in kWh/m<sup>2</sup>a als auch auf den Jahres-Heizenergiebedarf, der einzelnen Gebäude gegenübergestellt und ein Jahres-Gesamtheizenergiebedarf für die betrachteten Gebäude angegeben werden. Die zusammengefassten Werte sind in Tabelle 31 dargestellt.

Es zeigt sich, dass, wie erwartet, das Bürogebäude neu den geringsten auf die Fläche bezogenen Heizenergiebedarf hat und auch mit der Einstufung in die Energieeffizienzklasse C bei weitem am besten bewertet wird.

Am schlechtesten eingestuft werden hier die Kläranlage und die Werkstätte, welche in der Energieeffizienz-Klasse F liegen. Dies verwundert nicht, da es sich hier um Gebäude handelt, bei denen weniger Augenmerk auf die thermische Qualität der Bauteile gelegt worden war. Die Werte liegen hier bei 219 kWh/m<sup>2</sup>a für die Kläranlage und 224,9 kWh/m<sup>2</sup>a für die Werkstätte. Die Werte des Bürogebäudes alt und des Magazins, beide sind in der Energieeffizienz-Klasse E, liegen mit 163,1 und 164,2 kWh/m<sup>2</sup>a sehr eng beieinander.

In Summe würde sich den Energieausweisen zufolge für alle Gebäude ein Jahres-Heizenergiebedarf von 1.368.868 kWh/a ergeben.

Tabelle 31: Heizenergiebedarf der einzelnen Gebäude

Gebäude	spezifischer Heizenergiebedarf	Jahres- Heizenergiebedarf	Energieeffizienzklasse
	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/a]	
Kläranlage	219	66.316	F
Magazin	163,1	181.546	E
Bürogebäude alt	164,2	592.579	E
Werkstätte	224,9	427.846	F
Bürogebäude neu	54,15	100.581	C
<b>Summe</b>		<b>1.368.868</b>	

#### 4.3 P2P

Hier lagen wie bereits erwähnt, Aufzeichnungen über die 2009 verrechnete bzw. gelieferte Dampfmenge vor. Aus den Unterlagen geht ein Verbrauch von 3.116 t/a hervor.

Die Problematik in diesem Bereich ist, dass die Messblende nicht regelmäßig gewartet wird, weshalb unsicher ist, wie verlässlich die Aufzeichnungen sind. Laut Auskunft der Firma



Spirax Sarco GmbH, einem Spezialisten für Dampf- und Kondensattechnologie, tritt bei Messblenden häufig das Problem auf, dass diese auf einen gewissen Durchfluss ausgelegt sind. Wenn der tatsächliche Durchfluss von diesem Auslegungsdurchfluss stark abweicht, können Abweichungen des Messergebnisses vom realen Wert von bis zu 60 % auftreten. [8]

Aus diesem Grund ist der Wert von 3.116 t/a kritisch zu betrachten. Aus Mangel an Alternativen zur Berechnung wird dieser Wert jedoch für die Bilanz verwendet.

#### 4.4 VISK 50 Anlage

Der Dampfverbrauch der VISK Anlage ergibt sich aus dem Energiebedarf zum Aufheizen der Chargen und dem Ausgleich der Wärmeverluste der Behälter.

Auf Grundlage der in Kapitel 3.3 angeführten Daten resultiert folgender, in Tabelle 32 dargestellter Dampf- bzw. Energiebedarf für die VISK 50 Anlage.

Tabelle 32: Dampf- bzw. Energiebedarf der VISK 50 Anlage

	Energiebedarf	Dampfbedarf
	[MJ/a]	[t/a]
Aufheizen	1883981	762,659
Ausgleich der Wärmeverluste	7696	3,115

Hier ist ersichtlich, dass der Energiebedarf zum Ausgleich der Wärmeverluste der Behälter eher vernachlässigbar verglichen mit dem Energiebedarf zum Aufheizen ist.

#### 4.5 Basistanks

Der Dampfverbrauch im Bereich der Basistanks ergibt sich aufgrund der Wärmeverluste der Tanks. Durch diese Wärmeverluste weicht die Ist- von der Solltemperatur ab. Die Solltemperatur ist abhängig vom Medium bzw. der Viskosität des Mediums, da die Öle mit geringerer Viskosität bei einer geringeren Temperatur gelagert werden können.

Die Wärmeverluste wurden mit Hilfe der Temperaturdifferenzen zwischen den mittleren Temperaturen der Monate, in denen die Behälterheizung aktiviert ist, und der Solltemperaturen der Behälter, der Stunden der Monate und der U-Werte der Behälter berechnet.

Insgesamt ergibt sich ein Energiebedarf zur Deckung der Wärmeverluste von 3.136.231 kWh/a, welcher über die nutzbare Enthalpiedifferenz des Dampfes in einen Dampfbedarf von ca. 4.570 t/a umgerechnet werden kann.

## 4.6 Jettanks

Der Wärmeverbrauch im Bereich der Jettanks wurde auf dieselbe Weise berechnet wie jener für das Basistanklager, da auch hier die Temperaturdifferenzen und die U-Werte der Behälter bekannt waren.

In Summe ergibt sich hier ein Energiebedarf von 1.223.194 kWh/a oder 1.783 Tonnen Dampf pro Jahr.

## 4.7 Ölmischanlage (ÖMA)

Für die Berechnung des Wärmebedarfs der Heizschränke bzw. der Wärmeverluste der warmen Rohrleitungen wurde davon ausgegangen, dass die Ölmischanlage 80 % des Jahres in Betrieb ist (7.008 h/a, Abschätzung des Produktionsleiters). Mit Hilfe dieser Annahme und den zuvor berechneten Wärmeleistungen können die Verbräuche ermittelt werden. Für die Fassentleerung stand die Information zur Verfügung, dass die Gruben im Jahresmittel in etwa 2 h/d in Betrieb sind. Der Wärmeverbrauch wurde auf Grundlage dieser Aussage berechnet.

Die sich ergebenden Werte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 33: Wärmeverbräuche in der Ölmischanlage

Position	kWh/a
Heizschränke	83395,2
Fassentleerung	55680,75
Heizung	540597,12

In Summe ist in der Ölmischanlage also von einem Verbrauch in der Höhe von etwa fast 679.700 kWh/a auszugehen.

## 4.8 Zusammenfassung

Folgend sollen noch einmal der Dampfbedarf der einzelnen Verbraucher dargestellt werden. Dies geschieht zuerst in tabellarischer Form (siehe Tabelle 34) und anschließend zur besseren Darstellung auch in einem Sankey-Diagramm.

In Summe ergibt sich ein Dampfbedarf von 13.331 t/a. Dem gegenüber steht eine Dampfproduktion von 23.513 t/a. Das bedeutet, dass lediglich 56,7 % der produzierten Dampfmenge theoretisch von den Verbrauchern benötigt werden. Beim Rest handelt es sich demnach um Verluste.

Tabelle 34: Zusammenfassung des Dampfbedarfs und Anteil der Verbraucher am Gesamtenergiebedarf

Verbraucher	Dampfbedarf	Anteil
	[t/a]	[%]
Kläranlage	207,15	0,88
Magazin	264,57	1,13
Bürogebäude alt	863,58	3,67
Werkstatt	623,51	2,65
Bürogebäude neu	146,58	0,62
P2P	3116,00	13,25
VISK 50 Anlage	765,77	3,26
Basistanklager	4570,51	19,44
Jettanks	1782,59	7,58
Ölmischanlage	990,50	4,21
Verluste	10182,24	43,30

Aus der Tabelle wird nun ersichtlich, dass, abgesehen von den Verlusten, das Basistanklager mit fast 19,5 % der größte Verbraucher am Standort ist. Gefolgt wird es von der Fremdfirma P2P, welche 13,25 % des Dampfes abnimmt. Die Beheizung der Gebäude macht in Summe ca. 9 % des Gesamtenergiebedarfes aus.

## 4.9 Verluste

Wie aus Tabelle 34 ersichtlich ist, gehen ca. 43,3 % der Energie im System als Verluste verloren.

Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass das Kondensat entspannt wird und nicht als Hochdruck Kondensat dem Kessel wieder zugeführt wird. Tabelle 2 zeigt, dass das Kondensat beim Anfall noch eine Enthalpie von ca. 640 kJ/kg hat. Das Kondensat im Kondensatbehälter hat jedoch nur eine Enthalpie von 377 kJ/kg. Die Enthalpiedifferenz von 263 kJ/kg geht verloren.

Bei der Entspannung von Kondensat entsteht Entspannungsdampf. Dieser Entspannungsdampf entweicht dann ins Freie, wodurch dessen Wärmeinhalt verloren geht.



Die Menge an Entspannungsdampf, die entsteht, ist abhängig von den Druckniveaus, also dem Druck von dem und auf den entspannt wird. Eine Abschätzung kann über folgendes Diagramm erfolgen.

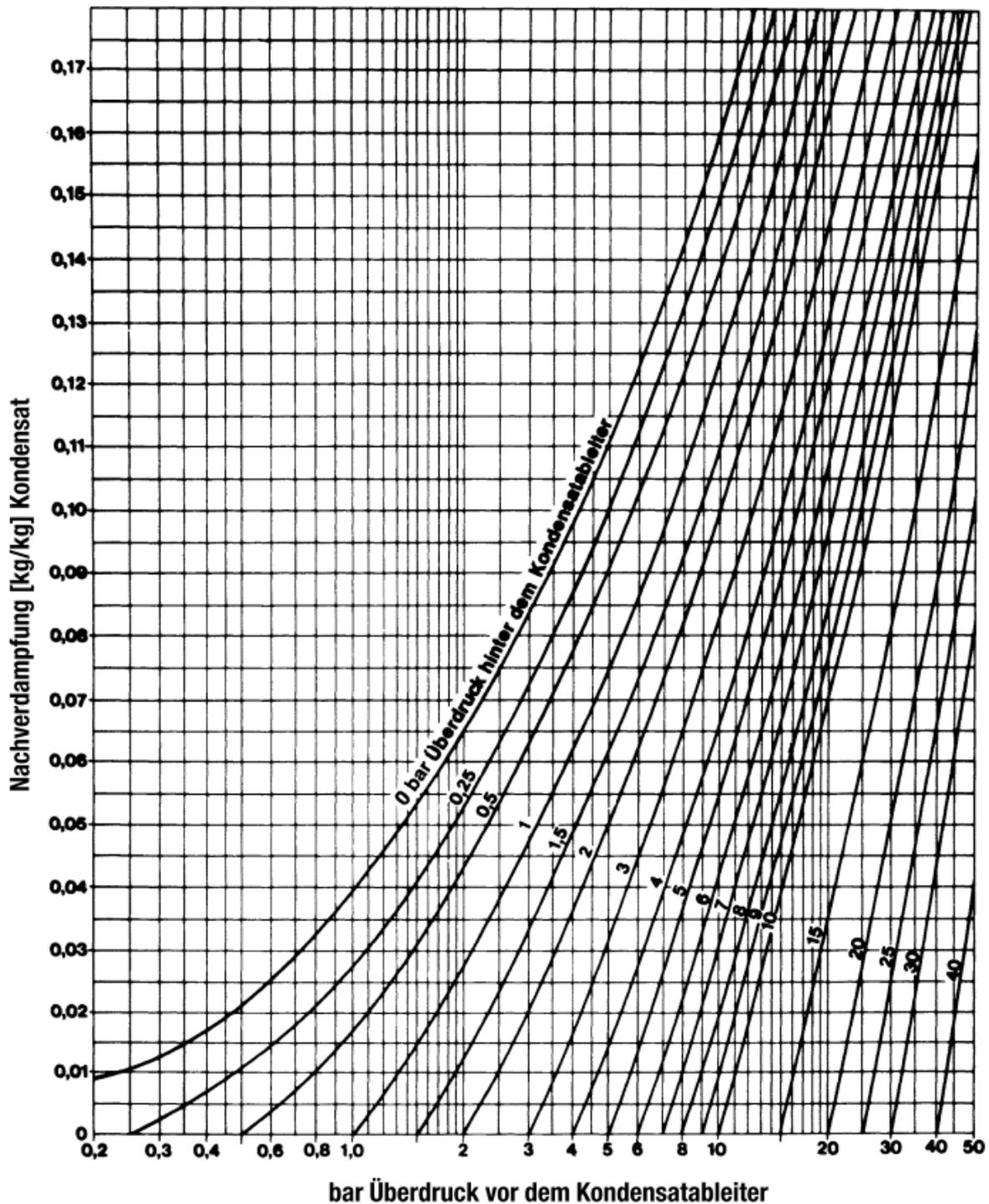


Abbildung 14: Nachverdampfung bei der Entspannung von Siedekondensat [9]

Im vorliegenden Fall wird von 4 barü auf Umgebungsdruck entspannt. Dabei ist mit einem Anfall von ca. 0,086 kg Dampf / kg Kondensat zu rechnen. Bei einer Kondensatmenge von insgesamt ca. 23.500 t/a entspricht das ca. 2.020 t Dampf pro Jahr. Der Dampf hat bei

Umgebungsdruck eine Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme von 2.256,57 kJ/kg, die dem Kondensat entzogen wird und damit verloren geht.

In Summe kann also davon ausgegangen werden, dass durch Nicht-Nutzung des Entspannungsdampfes ca. 455.830 MJ/a verloren gehen. Diese Energie kann in weiterer Folge zur besseren Vergleichbarkeit über die nutzbare Enthalpiedifferenz des erzeugten Dampfes wieder in Tonnen Dampf umgerechnet werden – 2.000 t/a. Damit können 19,6% der Verluste auf die Nachverdampfung zurückgeführt werden.

Laut Aussage des Betriebsleiters sind einige Kondensomaten Defekt. Bei den Kondensomaten handelt es sich durchgängig um Kugelschwimmer-Kondensomaten (siehe Abbildung 15).

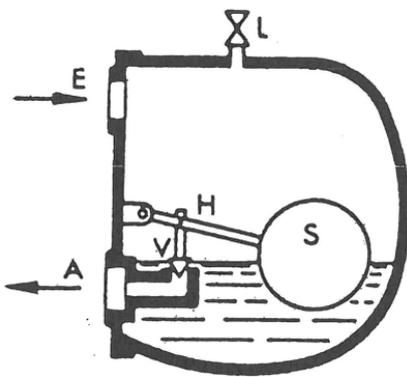


Abbildung 15: Kugelschwimmer-Kondensomat [10]

Bei diesem Kondensomaten strömt das Kondensat durch den Eingang (E) zu. Wenn genug Kondensat vorhanden ist führt der Auftrieb der Schwimmerkugel (S) dazu, dass über den Hebel (H) das Ventil (V) geöffnet wird und das Kondensat durch den Ausgang (A) abfließen kann.

Wenn diese Kondensomaten nicht gewartet werden, wie das in diesem Betrieb der Fall ist, kann es dazu kommen, dass der Hebel stecken bleibt und das Ventil nicht mehr schließt. Dadurch kann Dampf, noch bevor er kondensiert, in die Kondensatleitung gelangen. In weiterer Folge gelangt dieser Dampf dann ins Freie und der Wärmeinhalt geht verloren.

Aufgrund fehlender detaillierterer Daten kann keine Abschätzung der Verluste durch defekte Kondensomaten erfolgen.

Des Weiteren ist im Betrieb aufgefallen, dass die Dampfleitungen an mehreren Stellen Leckagen haben, wodurch es an diesen Stellen zu weiteren Dampfverlusten kommt. Da auch die Isolierung der Dampfleitungen teilweise beschädigt ist, kann davon ausgegangen werden, dass es auch innerhalb der Leitungen zu verstärkten Wärmeverlusten kommt.

In Summe scheinen damit die errechneten 43,3 % Wärmeverlust ein realistischer Wert zu sein.

## 4.10 Verteilung in Abhängigkeit der Jahreszeit

Da manche Bereiche nur in einer gewissen Zeit, genauer gesagt von November bis Februar, mit Dampf versorgt werden, soll in Tabelle 35 der Verbrauch in dieser Zeit dem Verbrauch in der restlichen Zeit gegenübergestellt werden.

Tabelle 35: Verbräuche in Abhängigkeit der Jahreszeit

Verbraucher	Dampfbedarf gesamt	Dampfbedarf März - Oktober	Dampfbedarf November - Februar
	[t/a]	[t/a]	[t/a]
Kläranlage	207,15	63,61	143,54
Magazin	264,57	81,24	183,33
Bürogebäude alt	863,58	265,18	598,40
Werkstatt	623,51	191,46	432,05
Bürogebäude neu	146,58	45,01	101,57
P2P	3116	2119,50	996,50
VISK 50 Anlage	765,77	381,33	384,44
Basistanklager	4570,51	0,00	4570,51
Jettanks	1782,59	0,00	1782,59
Ölmischanlage	990,5	325,64	664,86

In weiterer Folge werden die, sich daraus ergebenden, Sankey-Diagramme dargestellt – eines für das gesamte Jahr (Abbildung 16), eines für die Zeit von März bis Oktober (Abbildung 17) und eines für die Zeit von November bis Februar (Abbildung 18). Die in den Sankey-Diagrammen angegebenen Zahlenwerte repräsentieren den Verbrauch in dem jeweils betrachteten Zeitraum.

Wie aus der Tabelle 35 hervor geht, entfallen lediglich ca. 26 % des jährlichen Dampfverbrauches auf die Zeit zwischen März und Oktober und die restlichen 74 % auf die winterliche Zeit. Hieraus wird schon auf den ersten Blick ersichtlich, dass der Anteil des produktionsbedingten Dampfbedarfs gegenüber dem Dampfbedarf für Heizzwecke bzw. dem Ausgleich von Wärmeverlusten sehr gering ist.

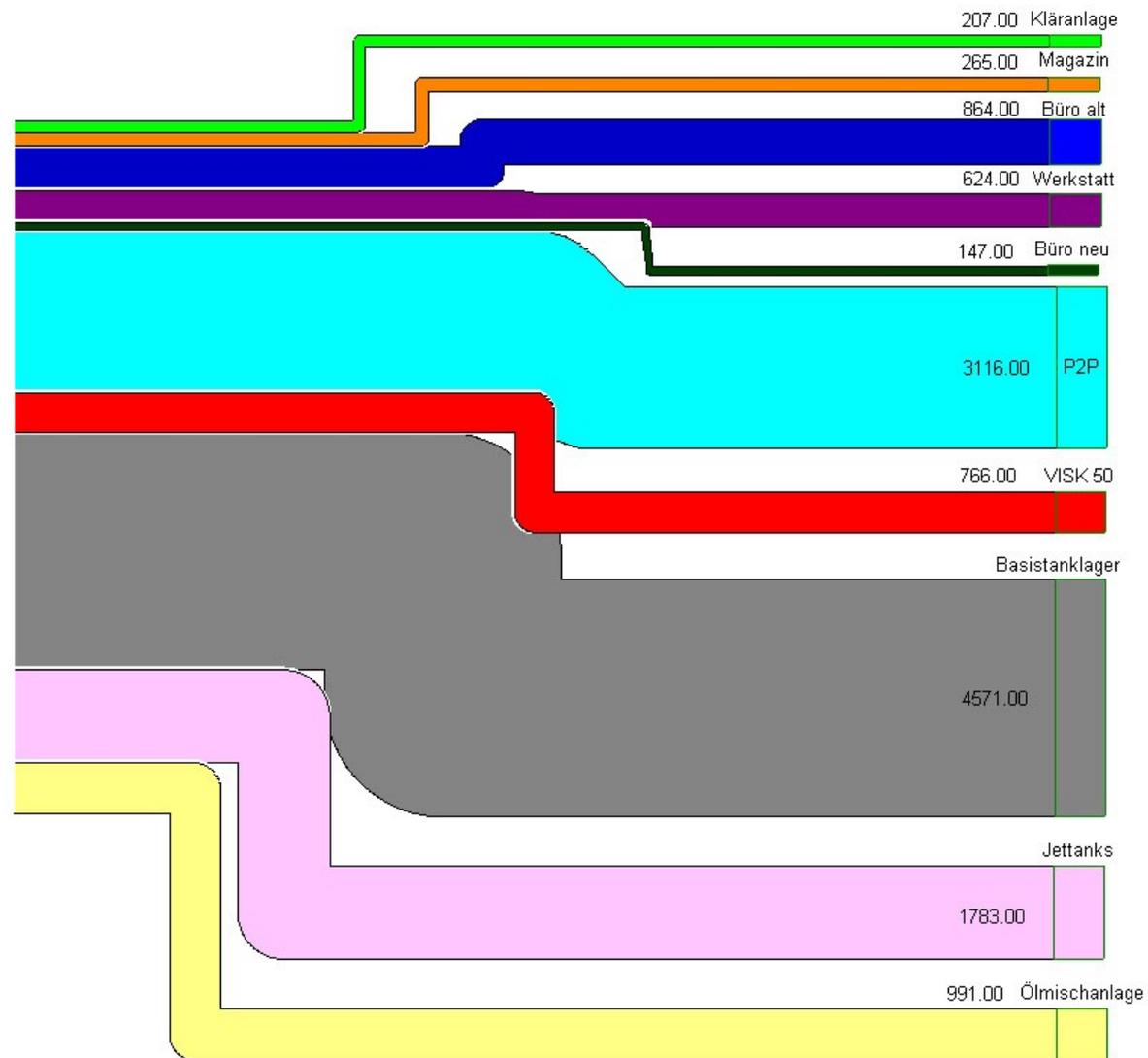


Abbildung 16: Graphische Darstellung der Verteilung des jährlichen Dampfverbrauchs in einem Sankey-Diagramm

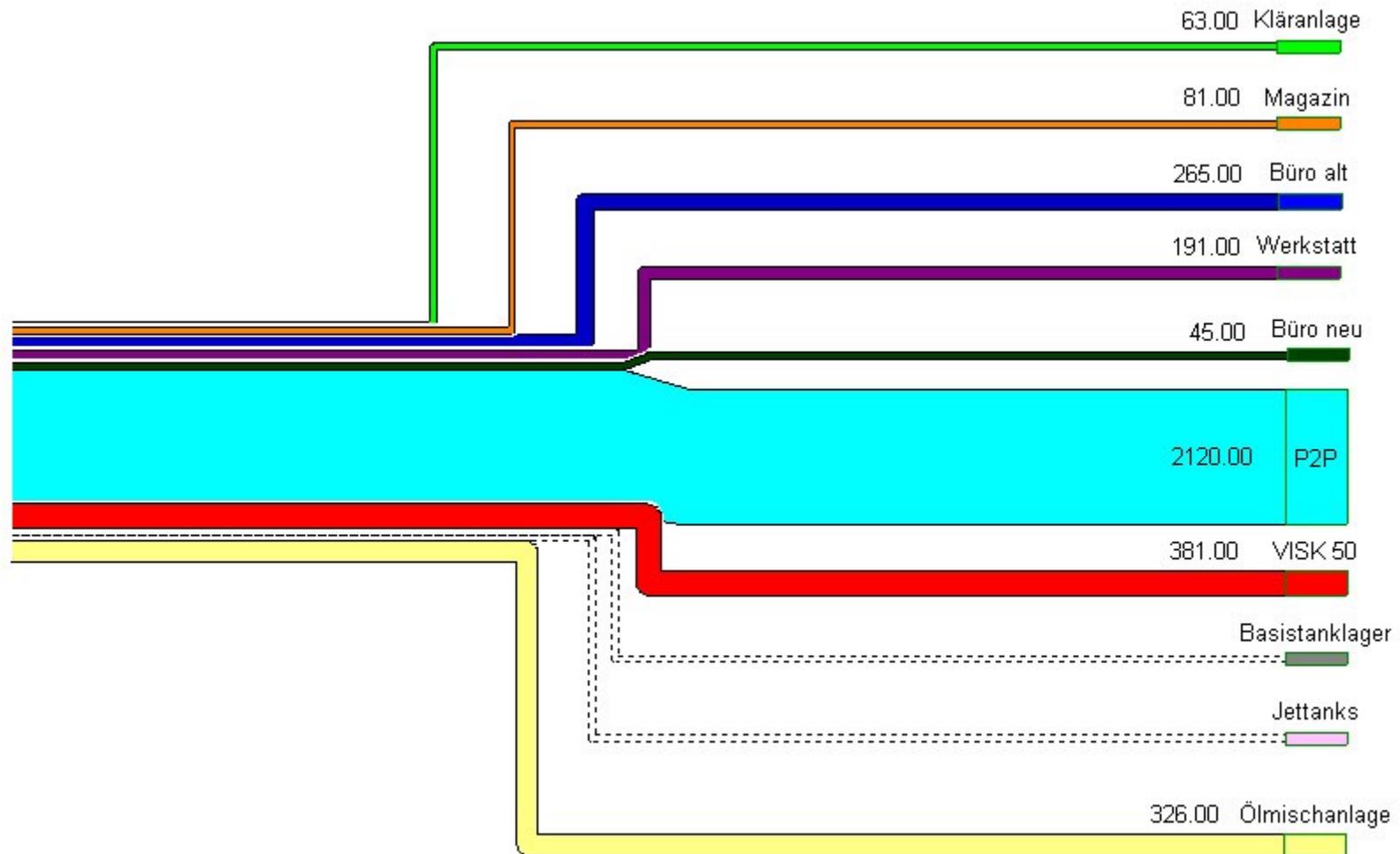


Abbildung 17: Graphische Darstellung der Verteilung des Dampfverbrauchs von März bis Oktober in einem Sankey-Diagramm

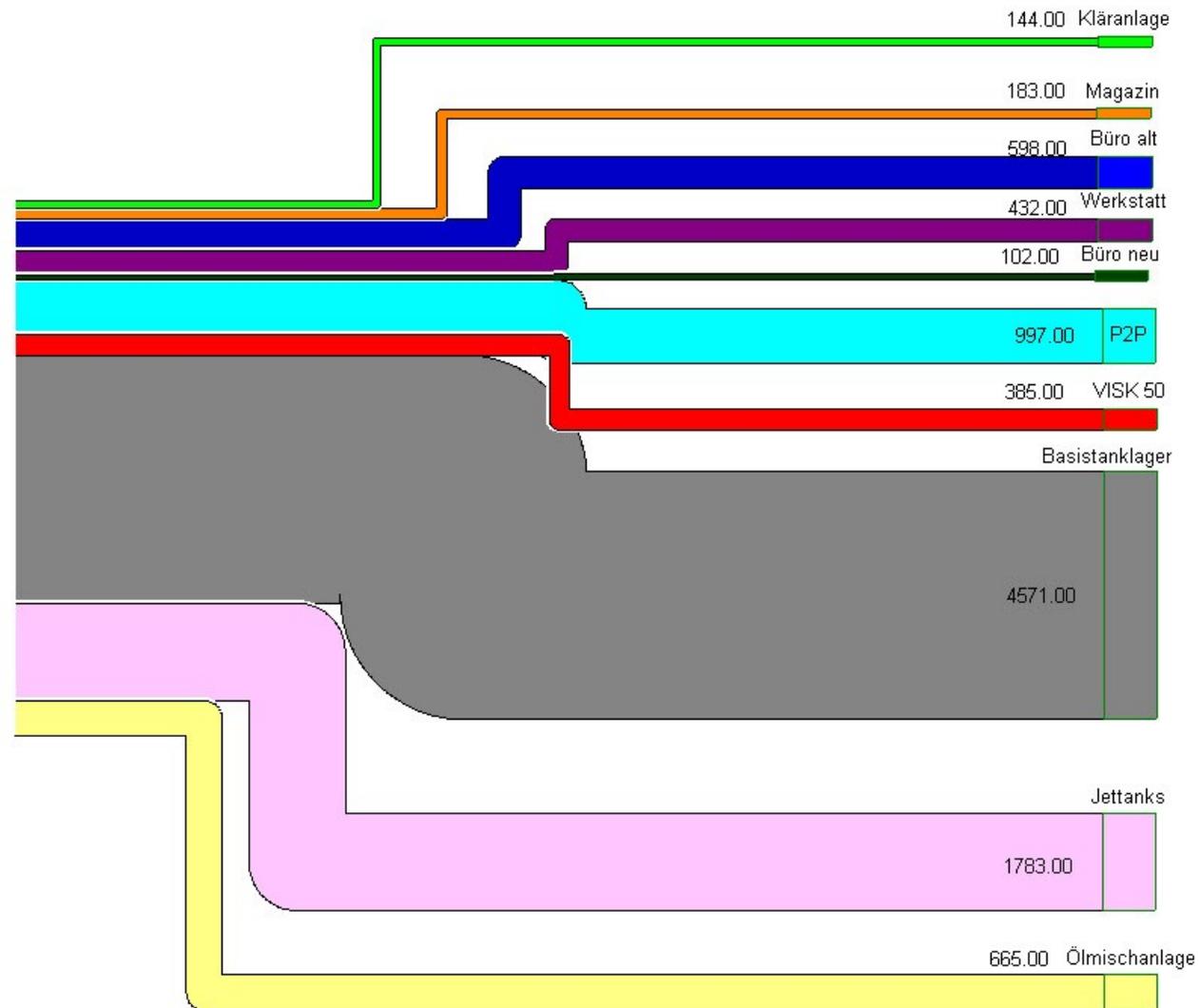


Abbildung 18: Graphische Darstellung der Verteilung des Dampfverbrauchs von November bis Februar in einem Sankey-Diagramm

## 5 Messungen

Am Standort wird der Dampfverbrauch der einzelnen Verbraucher mit der Hilfe von Messblenden aufgezeichnet. Im Beobachtungszeitraum waren für unten angeführte Positionen Aufzeichnungen vorhanden:

Tabelle 36: Energieverbrauch laut Messblenden

Verbraucher	Dampfbedarf
	[t/a]
Kläranlage, Magazin, Werkstatt	1721,26
Ölmischanlage	1365,02
Basistanklager	1130,31
P2P	3116,00
VISK 50 Anlage	830,47

Dem gegenüber stehen die errechneten Verbräuche laut Tabelle 34. In der nachfolgenden Tabelle sollen den Werten der Tabelle 36 die entsprechenden errechneten Werte bzw. Positionen gegenübergestellt werden.

Tabelle 37: Vergleich der Verbräuche

Verbraucher	Dampfbedarf laut Messblenden	errechneter Dampfbedarf	Differenz
	[t/a]	[t/a]	[t/a]
Kläranlage, Magazin, Werkstatt	1721,26	1095,23	626,03
Ölmischanlage	1365,02	990,5	374,52
Basistanklager	1130,31	4570,51	-3440,2
P2P	3116,00	3116,00	*
VISK 50 Anlage	830,47	765,77	64,7

\* Für die Position P2P konnte kein Verbrauch errechnet werden, hier wurde der Bedarf laut Messblende übernommen

Um Aussagen über die Ursachen für die teilweise sehr hohen Abweichungen treffen zu können sollen im nächsten Schritt die Grundlagen bzw. das Grundprinzip der Messblenden erläutert werden.

Vorab sei erwähnt, dass Dampfmessungen Ausnahmen der Eichordnung sind [9], da diese nichteichfähig sind. Dies zeigt, wie wichtig die nicht erfolgte Wartung der Messblenden in den vergangenen Jahren gewesen wäre



## 5.1 Prinzip der Messblende [12]

Mit Hilfe der Messblende kann der Durchfluss einer Rohrleitung nach dem Differenzdruck- bzw. Wirkdruckverfahren ermittelt werden.

Die Strömung (rote Pfeile in Abbildung 19) mit dem statischen Druck  $p_1$  und der Geschwindigkeit  $c_1$  trifft auf die Blende, an welcher sie gezwungen wird, sich zu verengen. Es kommt zu einer starken Strahlkontraktion und die Strömung reißt an der scharfen Kante der Blende ab. Dabei ist zu beachten, dass der kleinste Strahlenquerschnitt geringer ist, als der Blendenquerschnitt, da es nach der Drosselscheibe noch zu einer weiteren Kontraktion kommt und sich Wirbel bilden, die Verluste im statischen Druck verursachen. In einem Abstand von der Blende, der das 8-10-fache des Rohrdurchmessers entspricht, ist wieder eine ungestörte Strömung anzufinden. Aufgrund der Kontinuität führt die Kontraktion zu einem Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit, wohingegen die Aufweitung einen Abfall der Geschwindigkeit zu Folge hat. Im Bereich der ungestörten Strömung wird wieder die Geschwindigkeit der Strömung vor der Blende erreicht. Der statische Druck hingegen verhält sich genau entsprechend umgekehrt, allerdings wird aufgrund der Druckverluste in Folge der Wirbel der ursprüngliche Wert vor der Blende nicht mehr erreicht. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit bzw. der minimale Druck herrscht an der Stelle des engsten Strahlenquerschnitts.

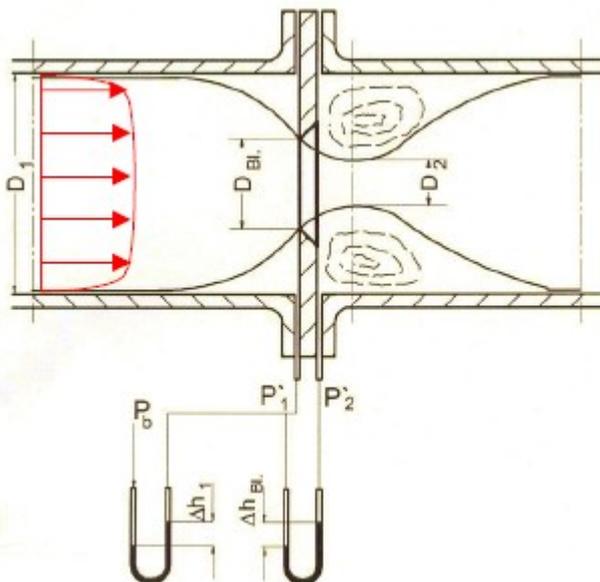


Abbildung 19: Prinzipskizze einer Messblende [12]

Wie bereits erwähnt, wird der Durchfluss über das Differenzdruck-Verfahren bestimmt. Hierfür wird die Druckänderung  $p_1 - p_2$  zwischen 2 Messpunkten - einer unmittelbar vor (1), der andere hinter der Messblende (2) - gemessen. Zuerst wird von einer inkompressiblen



Strömung ausgegangen, dementsprechend wird von einer Volumenstrombestimmung gesprochen. Da die eingebaute Blende einen Druckverlust zu Folge hat, gilt  $p_1' > p_2'$ . Der Druck  $p_1'$  entspricht, bis auf geringere Verluste vor der Blende, dem Staudruck, welcher sich in der Ecke bildet. Aufgrund der Kontraktion ist der statische Druck des Strahls an dieser Stelle wesentlich geringer. Hingegen wird am Punkt  $p_2'$  die Strömung nicht aufgestaut. Dementsprechend entspricht der zugehörige Druck  $p_2'$  näherungsweise dem des Strahls an dieser Stelle.

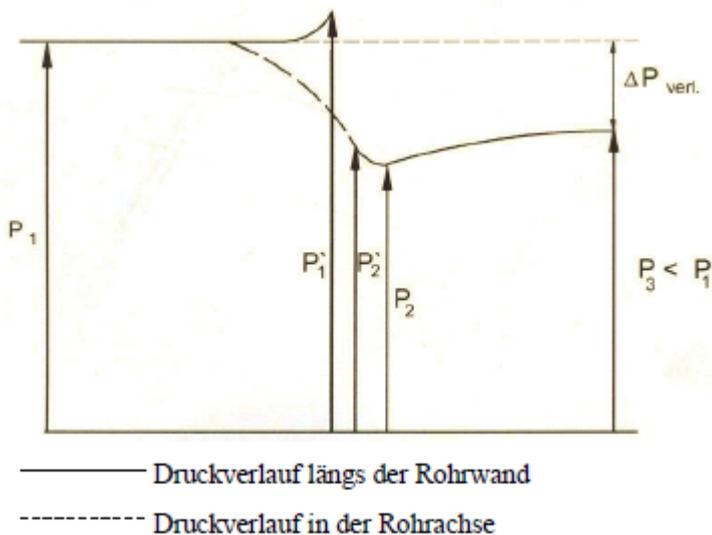


Abbildung 20: Druck- und Strömungsverlauf in einem turbulent durchströmten Rohr bei der Messblende, zeitlich gemittelt [12]

Die Bernoulli-Gleichung beschreibt im zeitlichen Mittel den physikalischen Zusammenhang zwischen Druckdifferenz und Volumenstrom - abgesehen von einem mittels Kalibrierung zu bestimmenden Korrekturfaktor - richtig, obwohl die Voraussetzungen (Reibungsfreiheit, Stationarität, Eindimensionalität) bei turbulenten Strömungen nicht erfüllt sind.

Die Bernoulli- und die Kontinuitätsgleichung werden formal von einem Punkt auf der Rohrachse vor der Blende (ungestörte Anströmung, Index 1) bis zum Punkt des engsten Querschnittes (Index 2) aufgestellt:

$$V = c_1 * A_1 = c_2 * A_2 = c_{BL} * A_{BL} = \mu * c_2 * A_{BL} \quad (4)$$

wobei  $\mu$ , der Kontraktionsfaktor, wie folgt definiert ist:

$$\mu = \frac{A_2}{A_{BL}} \quad (5)$$

und es sich bei  $A_{BL}$  um die durchströmte Blendenringfläche und bei  $c_{BL}$  um die Geschwindigkeit in eben dieser handelt.



Die Bernoulli-Gleichung von 1 nach 2 ergibt sich zu:

$$\frac{c_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{c_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} \quad (6)$$

Über das Öffnungswinkelverhältnis

$$m = \frac{A_{BL}}{A_1} \quad (7)$$

kann die Geschwindigkeit  $c_1$  wie folgt ausgedrückt werden:

$$c_1 = c_2 * \frac{A_2}{A_1} = c_2 * \frac{A_2}{A_{BL}} * m = c_2 * \mu * m \quad (8)$$

Durch Einsetzen in die Bernoulli-Gleichung erhält man:

$$\frac{c_2^2 * \mu^2 * m^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{c_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} \rightarrow c_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho} * \frac{p_1 - p_2}{1 - \mu^2 * m^2}} \quad (9)$$

womit sich der aufgrund der Vernachlässigung der Reibungsverluste theoretische Volumenstrom wie folgt ausdrücken lässt:

$$V = \mu * A_{BL} * \sqrt{\frac{2}{\rho} * \frac{p_1 - p_2}{1 - \mu^2 * m^2}} \quad (10)$$

Der tatsächliche Volumenstrom ist aufgrund der Reibungsverluste demnach geringer als der theoretische. Um Aussagen über die Ursachen für die teilweise sehr hohen Abweichungen treffen zu können sollen im nächsten Schritt die Grundlagen bzw. das Grundprinzip der Messblenden erläutert werden.

Vorab sei erwähnt, dass Dampfmessungen Ausnahmen der Eichordnung sind [11], da diese nichteichfähig sind. Dies zeigt, wie wichtig die nicht erfolgte Wartung der Messblenden in den vergangenen Jahren gewesen wäre. Da die Drucknahmestellen 1 (ungestörte Strömung vor der Blende) und 2 (Zentrum der Einschnürung hinter der Blende) nicht ortsfest sind, sind diese schwierig festzulegen. Daher werden die Eck-Drucknahmestellen 1' und 2' unmittelbar vor und hinter der Messblende verwendet. Durch Verwendung des Korrekturfaktors  $\phi$  wird der Druckunterschied zwischen den Strömungsquerschnitten 1/2 und 1'/2' berücksichtigt.

$$V = \mu * \phi * \frac{1}{\sqrt{1 - \mu^2 * m^2}} * A_{BL} * \sqrt{\frac{2}{\rho} * (p'_1 - p'_2)} \quad (11)$$

Des Weiteren wird die Durchflusszahl  $\alpha$  eingeführt, ein dimensionsloser Korrekturfaktor, der die in der Theorie nicht zugänglichen Strömungseffekte, wie mittlere Strömungsgeschwindigkeit, Reibungsverluste und geometrische Größen, erfasst. Sie fasst



die dimensionslosen Kennzahlen zusammen. Die Korrekturfaktoren  $\mu$ ,  $\phi$  und  $\alpha$  werden größtenteils empirisch bestimmt.

$$\alpha = \mu * \phi * \frac{1}{\sqrt{1 - \mu^2 * m^2}} \quad (12)$$

Damit kann der Volumenstrom wie folgt ausgedrückt werden:

$$V = \alpha * A_{BL} * \sqrt{\frac{2}{\rho} * (p'_1 - p'_2)} = \alpha * A_{BL} * \sqrt{\frac{2}{\rho} * \Delta p_{BL}} \quad (13)$$

$\Delta p_{BL}$  gibt die Differenz der statischen Drücke zwischen den Wand-Druckentnahmen im Ein- und Auslauf eines Drosselgerätes an, das in eine gerade, voll durchströmte Rohrleitung eingebaut ist und wird als Wirkdruckdifferenz der Blende bezeichnet.

Wenn der Wirkdruck  $\Delta p_{BL}$ , der Volumenstrom  $V$ , der Rohrdurchmesser  $D$ , die durchströmte Blendingfläche  $A_{BL}$ , die Fluidichte  $\rho$ , die kinematische Zähigkeit des Fluids  $\nu$  und die äquivalente Rohrrauigkeit  $k$  als Einflussgrößen des Strömungsvorganges angenommen werden, ergibt eine Dimensionsanalyse Folgendes:

$$\alpha = \alpha\left(\frac{c_1 * D}{\nu_1}, \frac{A_{BL}}{A_1}, \frac{k}{D}\right) \quad (14)$$

Im Fall eines glatten Rohres reduziert sich die Abhängigkeit von  $\alpha$  auf die Reynoldszahl, welche das Verhältnis von Trägheits- zu Reibungskräften ausdrückt, und das Öffnungsverhältnis  $m$ :

$$\alpha = \alpha(Re_D; m) \quad (15)$$

Da die Durchflusszahl also von der Strömungsgeschwindigkeit abhängt und diese erst ermittelt werden muss, handelt es sich hierbei um ein iteratives Verfahren.

Die oben angeführte Formel für die Berechnung des Volumenstroms ist nur im Unterschall gültig, wodurch für Gasströmungen mit höheren Machzahlen ( $Ma > 0,3$ ), bei denen zwischen den beiden Druckmessstellen der Blende Dichteänderungen (kompressible Effekte) auftreten, ein weiterer Korrekturfaktor, die Expansionszahl  $\varepsilon$ , eingeführt werden muss.

Die Formel für den Volumenstrom ergibt sich dann wie folgt:

$$V = \varepsilon * \alpha * A_{BL} * \sqrt{\frac{2}{\rho'_1} * \Delta p_{BL}} \quad \left[\frac{m^3}{s}\right] \quad (16)$$

und jene für den Massenstrom:



$$m = \rho_1' * V' = \varepsilon * \alpha * A_{BL} * \sqrt{2 * \rho_1' * \Delta p_{BL}} \quad \left[ \frac{kg}{s} \right] \quad (17)$$

mit

$$\rho_1' = \frac{p_1'}{R_L * T_1'} \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (18)$$

und

$$R_L = 287,2 \quad \left[ \frac{J}{kg * K} \right] \quad (19)$$

Die Expansionszahl  $\varepsilon$  ist vom Isotropenexponenten  $\kappa$ , dem Öffnungsverhältnis  $m$  und dem Verhältnis des absoluten statischen Druckes an der Druckentnahme im Auslauf zu dem absoluten statischen Druck an der Druckentnahme im Einlauf des Drosselgerätes abhängig.

$$\varepsilon = \varepsilon \left( m; \frac{p_2'}{p_1'}; \kappa \right) \quad (20)$$

Damit ist die Expansionszahl praktisch von der Reynolds-Zahl unabhängig. Wenn die oben aufgeführten Werte bekannt sind, kann der entsprechende  $\varepsilon$ -Wert Diagrammen oder Tabellen entnommen werden.

## 5.2 Einflüsse auf das Messergebnis

Es kann unterschiedliche Einflüsse auf das Messergebnis geben. Beeinflusst wird dabei entweder der Druck vor oder nach der Messblende.

In diesem Kapitel sollen lediglich die Einflüsse betrachtet werden, von denen angenommen wird, dass sie im vorliegenden System auftreten.

Eine mögliche Beeinflussung wäre das Aufstauen von Kondensat vor der Messblende. Da sämtliche Dampfleitungen oberirdisch verlegt sind, kommt es zu verstärkten Wärmeverlusten und damit auch zur Kondensatbildung in den Dampfleitungen. Durch den schlechten Wartungszustand der Anlage kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich im Bereich der Messblenden Kondensat anstaut. Durch das Kondensat verengt sich der Strömungsquerschnitt des Gases vor der Blende, wodurch sich die Gasgeschwindigkeit erhöht und der Druck  $p_1'$  sinkt. Dadurch wird  $\Delta p_{BL}$  geringer, wodurch sich nach Gleichung 15 auch ein geringerer Volumenstrom ergeben würde. Das heißt, dass ein durch das Anstauen von Kondensat vor der Blende eine Verfälschung des Messergebnisses hin zu geringeren Durchflüssen bewirkt.



Eine Verfälschung des Messergebnisses kann auch durch eine korrodierte Blende entstehen. Auch bei der Korrosion der Blende wird ein geringerer Druck  $p_1'$  gemessen, da der Staudruck in der Ecke durch die Ablösungen oder auch Löcher in der Blende geringer wird. In weiterer Folge ergibt sich auch hier ein kleinerer Volumenstrom.

Eine weitere Fehlerursache könnte sein, dass beim Einbau der Messblenden die benötigten Ein- und Auslaufstrecken nicht eingehalten wurden. Laut ISO 5167 beträgt die benötigte Einlaufstrecke für eine exakte Messung bis zum 60-fachen des inneren Rohrdurchmessers, bei Auslaufstrecken bis zum 7-fachen des inneren Rohrdurchmessers [13]. Leider sind die vom Hersteller der Blende vorgeschlagenen Werte der Ein- und Auslaufstrecke nicht bekannt, weshalb nicht gesagt werden kann, ob diese eingehalten werden.

Ein weiteres Problem könnte sein, dass die Messblenden für einen höheren Durchfluss dimensioniert wurden. Da der Dampfverbrauch über die Jahre immer weiter abnahm, ist davon auszugehen, dass die Messblenden für die Messung von kleineren Mengen nicht ideal sind und der angezeigte Messwert dadurch verfälscht ist.

Dies dürfte vor allem in jenen Bereichen eine Rolle spielen, in denen in den Sommermonaten ein geringerer Dampfbedarf besteht, wie zum Beispiel bei der Ölmischanlage. Bei Anlagen wie der Kläranlage, die lediglich in den Wintermonaten mit Dampf versorgt werden, dürfte dieser Einfluss jedoch gering sein.



## 6 Verzeichnisse

### 6.1 Literatur

- [1] Schramek, Ernst-Rudolf: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik; München: Oldenbourg – Industrieverlag, 2007.
- [2] Grote, Karl-Heinrich: Dubbel Taschenbuch für Maschinenbau; Berlin Heidelberg: Springer, 2007.
- [3] Kulterer, Konstantin: Dampfleitfaden; Wien: Österreichische Energieagentur, 2011.
- [4] Frey, Konrad: Handbuch für Energieberater; Graz: Selbstverlag, 1989.
- [5] VDI Wärmeatlas 10. Auflage, 2006, Wärmeverlust von Wänden und Rohrleitungen, Eb 5: Wärmeverlust nichtisolierter Rohre und Behälter in Innenräumen
- [6] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Klimadaten von Österreich, 1971 – 2000. Online im WWW unter URL: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm). Stand: Mai 2011
- [7] VDI Wärmeatlas 10. Auflage, 2006, Wärmeverluste von Wänden und Rohrleitungen, Eb2: Nomogramm zur überschlägigen Bestimmung des Wärme- bzw. Kälteverlustes isolierter Rohrleitungen
- [8] Schirmer, Michael: Spirax Sarco GmbH: persönliches Gespräch am 27. April 2011.
- [9] GESTRA Information C1.2: Ausnutzung der Kondensatwärme, Bremen: Selbstverlag, 1979
- [10] Spirax Sarco GmbH: Grundlagen der Dampf- und Kondensattechnologie 2. Auflage, Konstanz: Selbstverlag, 1981
- [11] BGBl. I S. 1657: EO 1988: Eichordnung 22, Anhang A
- [12] Dr. J. Franke: Messung von Volumen- und Massenstrom, Universität Siegen
- [13] SPS Magazin. Online unter URL: [http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article\\_show&nr=30490](http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=30490). Stand: Juni 2006



## 6.2 Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
atü	Atmosphäre Überdruck
barü	bar Überdruck
BGF	Bruttogeschossfläche
bzw.	beziehungsweise
d	Tag
DIN	Deutsche Industrie-Norm
EN	Europäische Norm
g	Gramm
Gew-%	Gewichts-Prozent
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
G.-Vol.	Gebäudevolumen
h	Stunde
HS	Heizöl schwer
J	Joule
k-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
m	Meter
Ma	Machzahl
t	Tonne
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
Vol-%	Volums-Prozent
W	Watt
°C	Grad Celsius

## 6.3 Tabellen

Tabelle 1: Übersicht über die wichtigsten Daten der Kessel .....	4
Tabelle 2: Zustandswerte des Dampfes an den verschiedenen Positionen .....	5
Tabelle 3: Dampfproduktion 2009.....	7
Tabelle 4: Daten des Heizöl Schwer [1].....	7
Tabelle 5: Heizölverbrauch 2009 .....	8
Tabelle 6: Gegenüberstellung des Energieaufwands und –nutzens bezogen auf den Brennstoff.....	9
Tabelle 7: Zusammensetzung von Heizöl Schwer [2] .....	9
Tabelle 8: Zusammensetzung des Rauchgases .....	10
Tabelle 9: Energieströme in und aus dem Kessel, bezogen auf das Jahr 2009 .....	10
Tabelle 10: Richtwerte für U-Werte für Gebäudeteile .....	15
Tabelle 11: Bauphysik der Kläranlage .....	16



Tabelle 12: U-Werte der Bauteile der Kläranlage.....	16
Tabelle 13: Gemessene Werte in der Kläranlage .....	17
Tabelle 14: Bauphysik des Magazins .....	18
Tabelle 15: U-Werte der Bauteile des Magazins.....	19
Tabelle 16: Bauphysik des Bürogebäudes alt.....	20
Tabelle 17: U-Werte der Bauteile des Bürogebäudes alt .....	21
Tabelle 18: Bauphysik der mechanischen Werkstätte .....	23
Tabelle 19: Bauphysik des Feuerlöschdepots .....	23
Tabelle 20: Bauphysik des Umbaus .....	24
Tabelle 21: U-Werte der Bauteile der Werkstatt .....	24
Tabelle 22: Bauphysik des Büro neu .....	25
Tabelle 23: U-Werte der Bauteile des Bürogebäudes neu.....	26
Tabelle 24: Daten zur VISK 50 Anlage .....	27
Tabelle 25: Daten der Basistanks.....	28
Tabelle 26: U-Werte der Basistanks .....	28
Tabelle 27: Mittlere Temperatur der Monate, in denen die Basistanks beheizt werden [6].....	28
Tabelle 28: Daten der Jettanks.....	29
Tabelle 29: Wärmeverlustleistungen der Rohrleitungen und Armaturen in der ÖMA .....	29
Tabelle 30: Vergleich der spezifischen Heizlasten.....	32
Tabelle 31: Heizenergiebedarf der einzelnen Gebäude.....	34
Tabelle 32: Dampf- bzw. Energiebedarf der VISK 50 Anlage .....	35
Tabelle 33: Wärmeverbräuche in der Ölmischanlage .....	36
Tabelle 34: Zusammenfassung des Dampfbedarfs und Anteil der Verbraucher am Gesamtenergiebedarf.....	37
Tabelle 35: Verbräuche in Abhängigkeit der Jahreszeit .....	40
Tabelle 36: Energieverbrauch laut Messblenden .....	44
Tabelle 37: Vergleich der Verbräuche .....	44

## 6.4 Abbildungen

Abbildung 1: Monatliche Dampfproduktion im Jahr 2009.....	6
Abbildung 2: Durchschnittliche tägliche Dampfproduktion im Jahr 2009 .....	6



Abbildung 3: Energiebilanz über den Kessel .....	11
Abbildung 4: Lageplan der Gebäude .....	14
Abbildung 5: Kläranlage .....	15
Abbildung 6: Die Wärmeabgabe in der Kläranlage erfolgt durch ungedämmte Rohre .....	17
Abbildung 7: Wärmeverluste nichtisolierter Rohre in Innenräumen nach Wrede [5].....	18
Abbildung 8: Magazin .....	19
Abbildung 9: Probe aus dem Mauerwerk des Bürogebäudes alt.....	20
Abbildung 10: Bürogebäude alt .....	21
Abbildung 11: Skizze der Werkstatt.....	22
Abbildung 12: Werkstattgebäude.....	23
Abbildung 13: Nomogramm zur überschlägigen Berechnung des Wärme- bzw. Kälteverlustes isolierter Rohrleitungen [7].....	30
Abbildung 14: Nachverdampfung bei der Entspannung von Siedekondensat [9] .....	38
Abbildung 15: Kugelschwimmer-Kondensomat [10].....	39
Abbildung 16: Graphische Darstellung der Verteilung des jährlichen Dampfverbrauchs in einem Sankey-Diagramm.....	41
Abbildung 17: Graphische Darstellung der Verteilung des Dampfverbrauchs von März bis Oktober in einem Sankey-Diagramm.....	42
Abbildung 18: Graphische Darstellung der Verteilung des Dampfverbrauchs von November bis Februar in einem Sankey-Diagramm .....	43
Abbildung 19: Prinzipskizze einer Messblende [12] .....	45
Abbildung 20: Druck- und Strömungsverlauf in einem turbulent durchströmten Rohr bei der Messblende, zeitlich gemittelt [12].....	46

