



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fakultät Life Sciences

# Bilanzierung und Optimierung einer Wärmeerzeugungsanlage

Masterarbeit

vorgelegt von  
Uwe Pryputsch  
1896345

Hamburg  
03. Juni 2013

Erstbetreuer: Herr Prof. Dr. Jörg Andreä (HAW Hamburg)  
Zweitbetreuer: Herr Dr. Arnold Harmsen (Plenum GmbH)

Die Abschlussarbeit wurde betreut und erstellt  
in Zusammenarbeit mit der Firma Plenum GmbH

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> . . . . .	III
<b>Tabellenverzeichnis</b> . . . . .	IV
<b>Formelverzeichnis</b> . . . . .	V
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> . . . . .	VII
<b>Symbolverzeichnis</b> . . . . .	VIII
<b>1 Einleitung</b> . . . . .	1
<b>2 Heizungsanlage des LANUV-Düsseldorf</b> . . . . .	2
2.1 Aufbau der Anlage . . . . .	2
2.2 Wärmeerzeugung . . . . .	4
2.3 Wärmeverteilung . . . . .	7
2.4 Wärmeabnahme . . . . .	8
2.5 Betriebsweise . . . . .	8
2.6 Simulation . . . . .	10
<b>3 Heizkesselbilanzierung</b> . . . . .	11
3.1 Problematik der Bilanzierung . . . . .	11
3.2 Kesselwirkungsgrad und Kesselverluste . . . . .	11
3.3 Messtechnik und Messaufbau . . . . .	19
3.4 Auswertung der Messwerte . . . . .	23
3.5 Fehlerbetrachtung . . . . .	41
3.6 Zusammenfassende Ergebnisdarstellung . . . . .	46
<b>4 Optimierung</b> . . . . .	48
4.1 Optimierung der Wärmeerzeugung . . . . .	48
4.2 Verbraucherseitige Optimierung . . . . .	50
<b>5 Fazit und Ausblick</b> . . . . .	52
<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	54
<b>Literatur</b> . . . . .	56
<b>Anhangsverzeichnis</b> . . . . .	57
<b>Anhang</b> . . . . .	58

# Abbildungsverzeichnis

1	Anlagenschema der Heizungsanlage des LANUV . . . . .	3
2	Energiebilanz NT-Kessel und Brennwertkessel bei Heizwassertemperatur 40/30 °C [RS03, S. 688] . . . . .	6
3	Darstellung der Wärmeerzeugerverluste . . . . .	13
4	Abhängigkeit der CO <sub>2</sub> -Konzentration und Abgastemperatur von der Kesselbelastung [EEPP87, S. 147] . . . . .	16
5	Abhängigkeit des Feuerungswirkungsgrads von der Kesselbelastung . . . . .	17
6	Abhängigkeit des Kesselwirkungsgrads von der Kesseltemperatur . . . . .	18
7	Abhängigkeit des Feuerungswirkungsgrads von der Abgastemperatur [KBFH10, S. 233] . . . . .	18
8	Anordnung der Messpunkte . . . . .	21
9	Verlauf der Heiz- und Feuerungsleistung . . . . .	24
10	Brennstoffleistung über Heizleistung . . . . .	25
11	Abgastemperatur und Einflussfaktoren von Heizkessel 2 (1. Messreihe) . . . . .	26
12	Abgastemperatur und Einflussfaktoren von Heizkessel 2 (2. Messreihe) . . . . .	27
13	Abgastemperatur und Einflussfaktoren von Heizkessel 3 (2. Messreihe) . . . . .	28
14	Abgasverlust über Abgastemperatur . . . . .	29
15	Abgasverlust über Brennermodulation von Heizkessel 2 . . . . .	30
16	Abgasverlust über Rücklauftemperatur von Heizkessel 2 . . . . .	31
17	Abgasverlust über Volumenstrom von Heizkessel 2 . . . . .	32
18	Abgasverlust über Vorlauftemperatur von Heizkessel 3 . . . . .	33
19	Temperatur- und Volumenstromverlauf von Heizkessel 3 . . . . .	34
20	Temperaturverlauf von Heizkessel 3 . . . . .	35
21	typische Schaltvorgänge von Heizkessel 2 . . . . .	36

22	Vergleich der berechneten Abgasverluste von Heizkessel 2 . . . . .	37
23	Berechnung der Verlustwärme von Heizkessel 2 . . . . .	38
24	Vergleich der Zählerdaten mit und ohne Korrektur . . . . .	41
25	Angabe zum Strahlungsverlust Quelle: Viessmann . . . . .	43
26	Verlauf des abgeschätzten Strahlungsverlusts Kessel 3 . . . . .	44
27	Angabe zum Wirkungsgrad Quelle: Viessmann . . . . .	45
28	Verlauf des berechneten Wirkungsgrads . . . . .	45
29	Gesamtwirkungsgrad in Abhängigkeit der Kesselbelastung von Heizkessel 1 .	48
30	Gesamtwirkungsgrad in Abhängigkeit der Kesselbelastung von Heizkessel 2 .	49
31	Gesamtwirkungsgrad für verschiedene Rücklauftemperaturen . . . . .	51

## Tabellenverzeichnis

1	Produktdaten zu Heizkessel 1 . . . . .	4
2	Produktdaten zu Heizkessel 2 . . . . .	5
3	Produktdaten zu Heizkessel 3 . . . . .	5
4	Anzahl der Takte vor und nach der Regelungsänderung [SPHL12, S. 42] . . .	9
5	Klappenstellung und Brennermodulation . . . . .	22
6	Verlustwärme der Schaltvorgänge . . . . .	39

## Formelverzeichnis

(1) Unterschied von Heiz- und Brennwert . . . . .	7
(2) Siegertsche Formel . . . . .	12
(3) Feuerungswirkungsgrad . . . . .	12
(4) Energiebilanz des Wärmeerzeugers . . . . .	12
(5) Strahlungsverlust . . . . .	12
(6) Kesselwirkungsgrad . . . . .	13
(7) Auskühlverlustwärme . . . . .	14
(8) Luftvolumenstrom . . . . .	14
(9) Auskühlverlust . . . . .	14
(10) Gesamtverluste der Wärmeerzeugung . . . . .	14
(11) Jahreswirkungsgrad nach Beedgen . . . . .	14
(12) Jahreswirkungsgrad nach Endrullat . . . . .	14
(13) Bereitschaftswirkungsgrad . . . . .	14
(14) Abgasverlustkorrektur . . . . .	15
(15) Abschätzung des Strahlungsverlusts für NT-Kessel . . . . .	17
(16) Abschätzung des Strahlungsverlusts für Brennwertkessel . . . . .	17
(17) Umrechnung von KS in BrMo für die Brennwertkessel . . . . .	23
(18) Umrechnung von KS in BrMo für den NT-Kessel . . . . .	23
(19) Heizleistung . . . . .	23
(20) Bereinigung des Abgasverlusts . . . . .	30
(21) Abgasverlust von Heizkessel 2 . . . . .	31
(22) Abgasverlust von Heizkessel 1 . . . . .	32
(23) Abgasverlust von Heizkessel 3 . . . . .	32

(24) Näherungsformel für den Gesamtwirkungsgrad . . . . .	40
(25) Näherungsformel für die Feuerungsleistung . . . . .	40
(26) Umrechnung der BrMo in Heizleistung von Heizkessel 1 . . . . .	40
(27) Umrechnung der BrMo in Heizleistung von Heizkessel 2 . . . . .	40
(28) Umrechnung der BrMo in Heizleistung von Heizkessel 3 . . . . .	40

## Abkürzungsverzeichnis

BrMo	Brennermodulation
dyn.	dynamisch
EnEV	Energieeinsparverordnung
GLT	Gebäudeleittechnik
KS	Klappenstellung
LANUV	Landesamt für Umwelt-, Natur- und Verbraucherschutz
NT	Niedertemperatur
spez.	spezifische
stat.	statisch
TUHH	Technische Universität Hamburg Harburg

# Symbolverzeichnis

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$A_{Abg}$	Querschnittsfläche des Abgasrohrs	$m^2$
$b_a$	Betriebsbereitschaftszeit	h
$b_B$	Brennerlaufzeit	h
$b_h$	Brennstoffdurchsatz	$m^3/h$ bzw. $kg/h$
$BrMo$	Brennermodulation	%
$b_{VH}$	Vollbenutzungsstunden	h
$c_{p,L}$	spezifische Wärmekapazität von Luft	$kWh/m^3 \cdot K$
$c_{p,W}$	spezifische Wärmekapazität von Wasser	$kJ/kg \cdot K$
$\Delta h_{H_2O}$	spez. Verdampfungsenthalpie von Wasser	$kWh/m^3$
$\Delta q_{Abg}$	Abgasverlust Differenz	%
$\Delta \vartheta_{RL}$	Rücklauftemperatur Differenz	K
$\eta_a$	Jahreswirkungsgrad	-
$\eta_F$	feuerungstechnischer Wirkungsgrad	-
$\eta_{Ges}$	Gesamtwirkungsgrad des Heizkessels	-
$\eta_K$	Kesselwirkungsgrad	-
$f_B$	Brennstoffbeiwert	1/K
$f_K$	Korrekturfaktor	-
$H_i$	Heizwert	$kWh/m^3$ bzw. $kWh/kg$
$H_s$	Brennwert	$kWh/m^3$ bzw. $kWh/kg$
$KS$	Klappenstellung	%
$\varphi_{CO_2}$	Volumenanteil von Kohlenstoffdioxid im Abgas	%
$p_L$	Zug im Abgasrohr	Pa
$q_{Abg}$	Abgasverlust	- bzw. %
$q_{Abg,K1}$	Abgasverlust von Kessel 1	%
$q_{Abg,K2}$	Abgasverlust von Kessel 2	%
$q_{Abg,K3}$	Abgasverlust von Kessel 3	%
$q_{Bb}$	Betriebsbereitschaftsverlust	-
$Q_{Brenn}$	Energiegehalt des Brennstoffs	kWh
$\dot{Q}_{Heiz,K1}$	Heizleistung von Kessel 1	kW
$\dot{Q}_{Heiz,K2}$	Heizleistung von Kessel 2	kW
$\dot{Q}_{Heiz,K3}$	Heizleistung von Kessel 3	kW
$\dot{Q}_{Str}$	Strahlungsverlustleistung	kW
$\dot{Q}_{VKue}$	Auskühlverlustleistung	kW
$\dot{Q}_{Heiz}$	Heizleistung	kWh
$\dot{Q}_K$	Nennleistung des Kessels	kW
$Q_{Netz}$	ins Heizungsnetz eingebrachte Wärme	kWh
$q_{Str}$	Strahlungsverlust	-
$Q_{VAbg}$	Verlustwärme übers Abgas	kWh
$Q_{VBet}$	Betriebsverlust	kWh

<b>Symbol</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Einheit</b>
$Q_{V_{Ges}}$	Gesamtverlust	kWh
$Q_{V_{Konv,A}}$	Verlustwärmeanteil am Strahlungsverlust durch Konvektion (Wärmemitnahme)	kWh
$Q_{V_{Leit,A}}$	Verlustwärmeanteil am Strahlungsverlust durch Wärmeleitung	kWh
$Q_{V_{Sti}}$	Stillstandsverlust	kWh
$Q_{V_{Str}}$	zusammengefasster Strahlungsverlust	kWh
$Q_{V_{Str,A}}$	Verlustwärmeanteil am Strahlungsverlust durch Wärmestrahlung	kWh
$\varrho_W$	Dichte von Wasser	kg/m <sup>3</sup>
$\varrho_L$	Dichte der Luft	kg/m <sup>3</sup>
$\vartheta_{Abg}$	Abgastemperatur	°C
$\vartheta_{Abg,M}$	mittlere Temperatur im Abgasrohr	°C
$\vartheta_R$	Raumtemperatur bzw. Temperatur der angesaugten Luft des Brenners	°C
$\vartheta_{RL}$	Rücklauftemperatur	°C
$\vartheta_{VL}$	Vorlauftemperatur	°C
$\dot{V}$	Volumenstrom	m <sup>3</sup> /s
$\dot{V}_L$	Volumenstrom der Luft	m <sup>3</sup> /h
$w_L$	Luftgeschwindigkeit im Abgasrohr	m/s

# 1 Einleitung

In Zeiten steigender Energiepreise und zunehmender Wertschätzung ökologischer Gesichtspunkte wird es interessanter, auch kleine Einsparpotenziale aufzudecken und zu nutzen. Die von einer Heizungsanlage produzierte Wärme wird hauptsächlich dafür aufgebracht, die Wärmeverluste des zu beheizenden Gebäudes auszugleichen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass gerade bei alten Gebäuden die bessere Dämmung der Außenfassade ein sehr großes Einsparpotenzial birgt. Die nachträgliche Dämmung eines Gebäudes ist jedoch sehr kostspielig und rechnet sich meist erst Jahrzehnte später. Es ist aber auch möglich durch kleine Änderungen, bspw. in der Regelung der Heizungsanlage, fast ohne Kosten direkt Energie einzusparen.

Verglichen mit anderen in einer Heizungsanlage auftretenden Verlusten gehören die sogenannten „Kesselverluste“ zu den prozentual geringsten. Das bedeutet jedoch nicht, dass es nicht wirtschaftlich sein kann sie weiter zu verringern. Unter dem Begriff Kesselverluste sind alle bei der Umwandlung der chemischen Energie des Brennstoffs zur Wärmeenergie des Heizungswassers auftretenden Verluste zusammengefasst. Diese energetische Umwandlung erfolgt im Heizkessel. Der Begriff Heizkessel wiederum beschreibt die Kombination von Kessel und Brenner und bezeichnet die vollständige Wärmeerzeugungseinheit.

Die Kesselverluste lassen sich durch Veränderungen in der Betriebsweise der Heizungsanlage bzw. Heizungsregelung beeinflussen. Wie groß die Verluste betragsmäßig sind und ob sie in gleicher Weise von den Einflussgrößen abhängig sind wie in der Theorie angenommen, ist in der untersuchten Anlage nicht hinreichend bekannt. Diese Arbeit setzt sich zum Ziel, die Höhe der betriebsabhängigen Kesselverluste zu bestimmen, um anschließend regeltechnische Veränderungen bewerten und Verbesserungsvorschläge einbringen zu können. Hierfür sind theoretische Vorbereitung, eine Vielzahl von Messungen, deren praktische Umsetzung sowie die Auswertung großer Datenmengen nötig. Der Schwerpunkt der Arbeit wurde auf die Bilanzierung und nicht auf die Optimierung der Heizungsanlage gelegt.

Für diese Arbeit wurde die Heizungsanlage des Landesamts für Umwelt-, Natur- und Verbraucherschutz NRW (LANUV) in Düsseldorf als Beispielobjekt gewählt, da dort bereits im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt ModQS regeltechnische Änderungen theoretisch erarbeitet und praktisch umgesetzt wurden<sup>1</sup>. Zudem wird die Wärmeerzeugung dort mittels einer Mehrkesselanlage realisiert. Dies erhöht die Möglichkeiten unterschiedliche Regelstrategien zu verwirklichen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen zukünftig in ein Simulationsprogramm zur Optimierung der Kesselbetriebsweise einfließen. Anschließend können im Rahmen der Simulation dann zusätzlich Energieverbräuche bzw. Einsparungen bestimmter Betriebsweisen ermittelt und verglichen werden.

---

<sup>1</sup>Der Link zur Homepage von ModQS: <http://www.modqs.de/modqs/>

## 2 Heizungsanlage des LANUV-Düsseldorf

### 2.1 Aufbau der Anlage

In Abb. 1 ist der grundsätzliche Aufbau der Zentralheizungsanlage mit einigen der in der Gebäudeleittechnik (GLT) vorhandenen Messpunkten dargestellt. Das Anlageschema zeigt vereinfacht die wichtigsten Bereiche wie Wärmeerzeugung, Warmeverteilung und Wärmeabnahme der Heizungsanlage. Die Leitungen des Vor- und Rücklaufs sind in den dafür üblichen Farben rot und blau dargestellt. Der für diese Arbeit wichtigste Teil, die Wärmeerzeugung, besteht aus drei Gasheizkesseln und befindet sich in dem Hochhaus im 12. Stock. Dort befinden sich auch der Gasanschluss der Heizkessel, die Pumpe und ein Teil der Warmeverteilung des Hochhausgebäudes. Von der Pumpe, die sich im Vorlauf der Anlage befindet, wird das von den Heizkesseln erwärmte Heizungswasser durch das Leitungsnetz zu den Wärmeabnehmern und wieder zurück zu den Wärmeerzeugern bewegt.

Die stationäre Heizung des LANUV Düsseldorf erfolgt mit Heizkörpern, die über ein Zweirohrsystem angeschlossen sind. Zusätzlich werden Lüftungsanlagen in den Laborgebäuden und die Warmwasserbereitung der Kantine und der Laborgebäude über das System versorgt. Ein Zweirohrsystem zeichnet sich nach Recknagel & Sprenger dadurch aus, dass jeder Heizkörper an die voneinander getrennten Vor- und Rücklaufleitung angeschlossen ist und dadurch annähernd die gleiche Vorlauftemperatur erhält [RS03, S. 542].

Insgesamt werden das Hochhausgebäude, zwei Laborgebäude und das Werkstattgebäude von der Heizungsanlage versorgt. Die gestrichelt umrandeten Abschnitte aus Abb. 1 zeigen die Zuordnung der Anlagenteile zu den verschiedenen Gebäuden.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst genauer auf die einzelnen Bestandteile eingegangen, bevor einige Aspekte der Regelung betrachtet werden sollen.

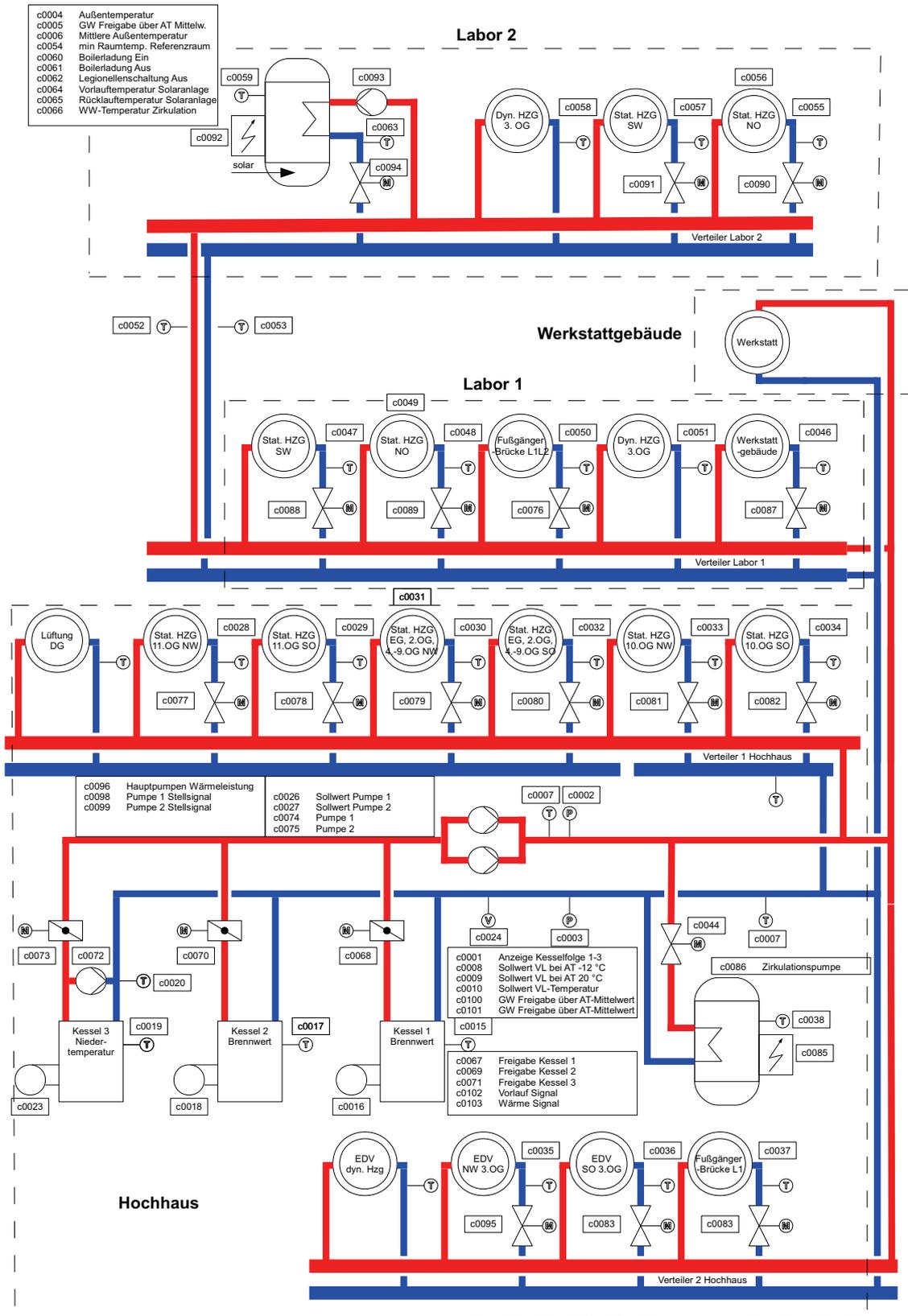


Abbildung 1: Anlagenschema der Heizungsanlage des LANUV

## 2.2 Wärmeerzeugung

Das Herzstück der Heizungsanlage, die Wärmeerzeugung, besteht aus einem Brennwertkessel mit 370 kW, einem Brennwertkessel mit 720 kW und einem Niedertemperatur (NT)-Kessel mit 780 kW Nennwärmeleistung. Die Kessel sind alle mit modulierenden Brennern der Firma Weishaupt ausgestattet. Der Leistungsbereich des Brenners des kleinen Brennwertkessels reicht von 55-550 kW, der der anderen beiden Kessel von 100-1100 kW. Die Brenner werden zusammen mit den Kesseln einreguliert, weshalb der Leistungsbereich der Heizkessel von denen der Brenner und der Kessel abweicht. Zusätzlich zu den Heizkesseln befindet sich auf dem Laborgebäude 2 ein Solarkollektor, der aber für die Ergebnisse dieser Arbeit nicht relevant ist und somit nicht weiter betrachtet wird. Die Heizkessel erbringen zusammen eine Leistung von 1870 kW. Das entspricht in etwa dem Hundertfachen der Wärmeleistung, die für ein Einfamilienhaus benötigt würde.

Aufsteigend nach ihrer Nennleistung werden die Heizkessel im Folgenden mit Heizkessel 1 bis Heizkessel 3 bezeichnet. In den Tab. 1-3 sind die wichtigsten Eigenschaften kurz zusammengefasst. Weitere Informationen sowie Abbildungen befinden sich auf den Datenblättern der Kessel im Anhang A.2.

**Tabelle 1:** Produktdaten zu Heizkessel 1

<b>Heizkessel 1</b>	
Kesselhersteller	Viessmann
Kesselart	Gas-Brennwertkessel
Kesselbezeichnung	Vitocrossal 300
Kesseltyp	CT3B
Kesselnennleistung	370 kW
Inhalt Kesselwasser	490 Liter
Brennerhersteller	Weishaupt
Brennerbezeichnung	WG 40 N/1-A Ausführung ZM-LN
Brennerleistung	55-550 kW

Die Definition eines NT- und Brennwert-Heizkessels befindet sich in dem § 2 der Energieeinsparverordnung (EnEV) und lautet wie folgt:

„Im Sinne dieser Verordnung

10. ist ein NT-Heizkessel ein Heizkessel, der kontinuierlich mit einer Eintrittstemperatur von 35 bis 40 Grad Celsius betrieben werden kann und in dem es unter bestimmten Umständen zur Kondensation des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes kommen kann,

11. ist ein Brennwertkessel ein Heizkessel, der für die Kondensation eines Großteils des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes konstruiert ist.“

**Tabelle 2:** Produktdaten zu Heizkessel 2

<b>Heizkessel 2</b>	
Kesselhersteller	Viessmann
Kesselart	Gas-Brennwertkessel
Kesselbezeichnung	Vitocrossal 300
Kesseltyp	CR3B
Kesselnennleistung	720 kW
Inhalt Kesselwasser	1407 Liter
Brennerhersteller	Weishaupt
Brennerbezeichnung	WM-G10/3A Ausführung ZM
Brennerleistung	110-1000 kW

Um bei NT-Heizkesseln einer Taupunktkorrosion vorzubeugen, muss laut *Recknagel* die Wasserdampfkondensation durch konstruktive Maßnahmen vermieden werden [RS03, S. 687]. Weiterhin ist wichtig, dass die Heizflächen nach Abschalten des Brenners trocken sind. Demnach ist erfahrungsgemäß eine kurzzeitige Kondenswasserbildung nach einem Kaltstart unproblematisch. Der Heizkessel 3 ist zur Vorbeugung der Taupunktkorrosion mit mehrschaligen Heizflächen ausgestattet. Diese Heizflächen besitzen Luftspalte zwischen den Außenwandungen, welche durch eine Reduzierung des Wärmeübergangs dafür sorgen, dass die Abgastemperatur über der Kesselwassertemperatur liegen kann. Dies verhindert bei längeren Betriebszeiten schon durch die Bauweise des Kessels, dass bei Rücklauftemperaturen unter dem Taupunkt des Abgases das darin enthaltene Wasser im Kessel kondensiert. NT-Heizkessel, die zur Abdeckung von Spitzenlasten genutzt werden, weisen häufig kurze Laufzeiten auf. Hierbei kann es in dem ausgekühlten Kessel zur Kondensation kommen, die bedingt durch die kurze Laufzeit nicht mehr vollständig trocknet. Eine sogenannte Rücklauftemperatur-Anhebung kann in diesem Fall über den Vorlauf des Kessels die Rücklauftemperatur erhöhen, um die Korrosionsgefahr durch Kondenswasser-

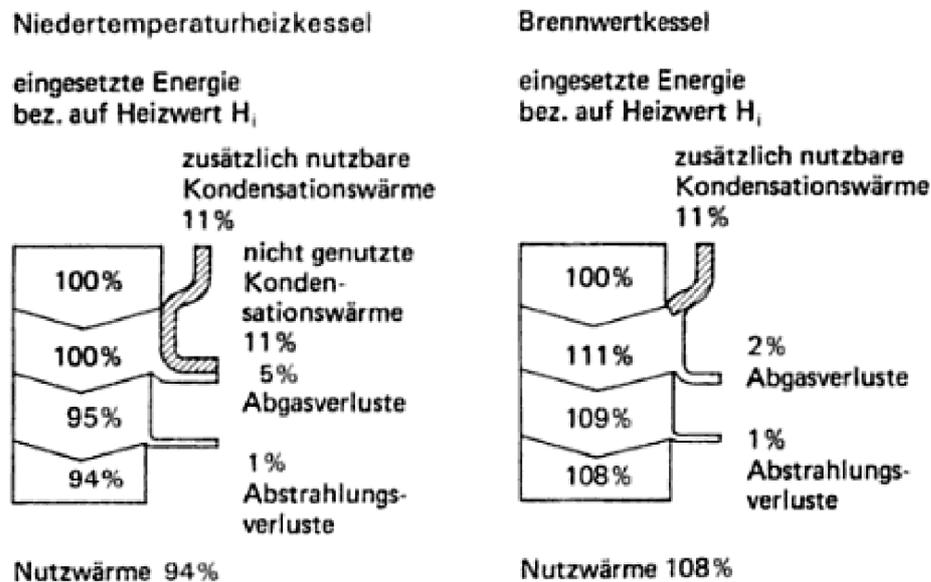
**Tabelle 3:** Produktdaten zu Heizkessel 3

<b>Heizkessel 3</b>	
Kesselhersteller	Viessmann
Kesselart	Öl-/Gas-Niedertemperaturkessel
Kesselbezeichnung	Vitoplex 300
Kesseltyp	TX3a
Kesselnennleistung	780 kW
Inhalt Kesselwasser	900 Liter
Brennerhersteller	Weishaupt
Brennerbezeichnung	WM-G10/3A Ausführung ZM
Brennerleistung	110-1000 kW

rückstände zu minimieren.

Der wesentliche Unterschied eines NT-Heizkessels zu einem Brennwert-Heizkessel besteht darin, dass die Kondensation in einem Brennwertkessel erwünscht ist. Der Grund ist die latente Wärme des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes. Im Wasserdampf steckt ein nicht unerheblicher Teil der Wärmeenergie, die bei der Verbrennung wasserstoffhaltiger Brennstoffe frei wird. Möglich wird die Kondensation des Wasserdampfs, indem dem Brennraum des Kessels ein Abgas-Wärmetauscher aus Edelstahl nachgeschaltet wird. Wichtig hierfür ist eine Rücklauftemperatur, die unter der Taupunkttemperatur des Abgases liegt. Nach *Rechnagel* ist für einen Brennwertkessel bei gegebener Feuerungsleistung (abgegebene Wärmeleistung des Brenners bezogen auf den Heizwert), die Abgastemperatur fast nur noch von der Rücklauftemperatur abhängig, wenn der Abgas-Wärmetauscher im Gegenstromprinzip ausgelegt ist [RS03, S. 688]. Auf diese Zusammenhänge wird in dieser Arbeit im Abschnitt 3.4 näher eingegangen.

Um die Unterschiede der NT-Technik und der Brennwerttechnik zu zeigen, sind in Abb. 2 die Verluste und „zusätzlichen“ Energiegewinne nebeneinander dargestellt.



**Abbildung 2:** Energiebilanz NT-Kessel und Brennwertkessel bei Heizwassertemperatur 40/30 °C [RS03, S. 688]

Bei der Verbrennung von Erdgas, welches zum größten Teil aus Methan ( $\text{CH}_4$ ) besteht, entsteht durch den darin enthaltenen Wasserstoff (H) Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in Form von Dampf. Aus dem enthaltenen Kohlenstoff (C) entsteht dabei Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ). Der für die Verbrennung benötigte Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) kommt aus der Luft. Die Wärmeenergie der Verbrennung steckt zum Teil im Phasenübergang von flüssigem zu gasförmigem Wasser. Die scheinbar zusätzlichen Energiegewinne des Brennwertkessels aus Abb. 2, die zu einer Nutzwärme von 108 % führen, kommen durch den in der Heizungstechnik üblichen Bezug des Energieinhaltes eines Brennstoffs auf seinen niedrigeren Heizwert  $H_i$  zustande. Auf der

Heizkostenabrechnung wird aber nach der gesamten im Brennstoff enthaltenen Energie, dem Brennwert  $H_s$  abgerechnet. Heizwert und Brennwert eines Stoffs unterscheiden sich genau um die Verdampfungsenthalpie der aus diesem Stoff entstandenen Menge Wasser. Also dem Energieanteil der Verbrennung, der für die Phasenumwandlung von flüssigem zu gasförmigem Wasser aufgebracht werden muss. Diese Energie wird ohne Brennwerttechnik ungenutzt mit dem Abgas an die Umwelt abgegeben. Der Zusammenhang ist in Gleichung (1) dargestellt.

$$H_i = H_s - \Delta h_{H_2O} \text{ in kWh/m}^3 \quad (1)$$

$\Delta h_{H_2O}$  ist die spezifische (spez.) Verdampfungsenthalpie von Wasser mit etwa  $1,1 \text{ kWh/m}^3$  für den Brennstoff Methan. Die Verdampfungsenthalpie kann durch die Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfs zurückgewonnen werden. Diese zurückgewonnene Energie entspricht dem zusätzlichen Brennwertnutzen. Je mehr Wasserstoff in einem Brennstoff enthalten ist, desto höherer Nutzen kann durch die Brennwerttechnik erzielt werden. Bei Erdgas ist es durch den ungefähr doppelt so hohen Wasserstoffanteil im Vergleich zu Öl ( $\approx CH_2$ ) sinnvoller, Brennwertkessel zu installieren.

## 2.3 Wärmeverteilung

Die wichtigsten Teile der Wärmeverteilung sind das Leitungsnetz mit seinen Regeleinrichtungen und die Pumpen. Das Leitungsnetz der Heizungsanlage im LANUV-Düsseldorf ist wie in Abschnitt 2.1 erwähnt ein Zweirohrsystem. Es ist dafür bestimmt, möglichst ohne Verluste die an anderer Stelle produzierte Wärme zu dem zu beheizenden Ort zu bringen. Hierfür wird das von den Heizkesseln erwärmte Wasser durch die in Abb. 1 im Vorlauf eingezeichnete Pumpe zu den Verteilern der einzelnen Bereiche befördert. Die Verteiler teilen das Heizungswasser auf die einzelnen Verbraucher bzw. Wärmeabnahmestellen auf. Über die Wärmeabnahme wird die Wärme anschließend durch Heizkörper, Lüftungsanlagen oder Wärmetauscher an die zu beheizenden Räumlichkeiten oder Medien übertragen. Am Rücklaufsammler wird das aus den einzelnen Rückläufen der Heizkörper stammende Wasser gesammelt und gebündelt zurück zu den Heizkesseln geführt.

Abweichend von der üblichen Schaltung mit jeweils einem Mischkreis mit Pumpe pro Heizkreis werden hier, beim LANUV, alle Verbraucher mit der gleichen witterungsabhängigen Vorlauftemperatur beaufschlagt. Die Klappen dienen dann in Verbindung mit Referenzraumfühlern der Nacht- und Wochenendabsenkung.

Der ständige Umlauf des Heizungswassers wird ausschließlich durch zwei redundante Pumpen gewährleistet. Für den regulären Betrieb ist die Leistung einer Pumpe ausreichend, weswegen beide nicht gleichzeitig in Betrieb sind. Die zweite Pumpe dient im Wesentlichen zur Erhöhung der Verfügbarkeit. Um trotzdem vergleichbare Betriebszeiten zu erhalten und Defekte zu erkennen, werden die Pumpen jede Woche abwechselnd betrieben. Ein solches System mit nur einer Umwälzpumpe wird nach *Roos* auch als „Einfachsystem“ bezeichnet [Roo02, S. 205].

Eine Besonderheit der Heizungsanlage ist, dass das gesamte Heizungswasser durch die Heizkessel fließen muss. Es sind keine Kurzschlussleitung oder Pufferspeicher vorhanden,

die den Verbraucher- und den Erzeugerkreis hydraulisch voneinander trennen. In ungünstigen Fällen, in denen durch die Wärmeabnahme mehr Wasser angefordert wird als durch die gerade betriebenen Heizkessel fließen kann, muss ein nicht betriebener Heizkessel geöffnet werden. Das Öffnen und Schließen der Kessel geschieht über die in Abb. 1 im Vorlauf der Kessel eingezeichneten Kesselklappen. Zusätzlich geöffnete und nicht betriebene Heizkessel wirken wie ein Bypass. Das führt dazu, dass die insgesamt erzeugte Vorlauf-temperatur niedriger ist als die Vorlauf-temperatur der in Betrieb befindlichen Heizkessel. Gleichzeitig kommt es dabei zu Verlusten des durchströmten, aber nicht beheizten Kessels. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit soll unter anderem untersucht werden, wodurch diese Verluste zustande kommen und wie groß sie betragsmäßig sind.

## 2.4 Wärmeabnahme

Wärmeabnehmer sind normale Heizkörper, Lüftungsanlagen und die Warmwasserbereitung. In Abb. 1 sind die Heizkörper mit statisch (stat.) Heizungen bezeichnet. Die Lüftungsanlagen sind darin mit dynamisch (dyn.) Heizungen angegeben. Die Warmwasserbereitung des Hochhausgebäudes befindet sich zwischen den Wärmeerzeugern und dem Verteiler 2 Keller. An dem Verteiler Labor 2 befindet sich die Warmwasserbereitung für die Labore, welche durch den Solarkollektor unterstützt wird. Details der Wärmeabnahme sind für die weiteren Untersuchungen nicht relevant, weswegen hier nicht weiter in die Tiefe gegangen werden soll.

## 2.5 Betriebsweise

Die Grundlage der Heizungsregelung ist die sogenannte „Heizkurve“. Dahinter steckt eine außentemperaturgeführte Vorlauf-temperatur. Diese soll bei niedrigen Außentemperaturen größer sein als bei hohen, da die Wärmeverluste des Gebäudes mit sinkender Außentemperatur zunehmen. Die Betriebsweise der Heizungsanlage des LANUV-Düsseldorf wurde durch eine im Forschungsprojekt ModQS erarbeitete Regelungsstrategie optimiert [SPHL12, S. 37 - 42]. Durch den zeitweiligen Bypass durch einen oder zwei Kessel ist die Regelung ein nicht triviales Problem, welches bis dahin nicht befriedigend gelöst war. In der Folge entstand die Frage, wie viel Energie durch die regelungstechnische Veränderungen eingespart werden kann.

Es ist nicht genau dokumentiert, wie die Regelung vor der Optimierung gearbeitet hat. Im Zuge der Anpassung wurde laut *Sewe* versucht, die Schaltheufigkeiten zu reduzieren sowie den Niedertemperaturkessel nur bei Leistungsanforderung über der Maximalleistung der anderen beiden Kessel einzusetzen [SPHL12, S. 40]. Andersherum wird dem Bericht nach bei geringer Wärmeabnahme unterhalb der Minimalleistung des kleinsten verfügbaren Kessels ein Taktbetrieb notwendig. Im Taktbetrieb läuft ein Brenner so lange auf seiner niedrigsten Leistungsstufe, bis die Vorlauf-temperatur einen festgelegten Wert über der Solltemperatur erreicht. Mit Erreichen der Solltemperatur wird der Brenner abgeschaltet. Er schaltet wieder ein, sobald die Vorlauf-temperatur auf eine festgelegte Temperatur unter dem Sollwert abgefallen ist.

Hierdurch kann es vorkommen, dass ein Brenner in kurzen Zeitabständen häufig ein- und ausgeschaltet wird. Das Takten verringert einerseits die Lebensdauer des Brenners durch erhöhten Verschleiß, andererseits kommt es dadurch zu inneren Auskühlverlusten des Kessels. Die Verluste kommen zu einem Zustand, dass in den ersten Minuten nach dem Brennerstart eine unvollständige Verbrennung stattfindet. Zudem wird die Brennkammer nach jedem Stopp und vor jedem Start mit Luft gespült, wodurch der Heizkessel etwas auskühlt.

**Tabelle 4:** Anzahl der Takte vor und nach der Regelungsänderung [SPHL12, S. 42]

	Brenner 1	Brenner 2	Brenner 3
Jun. 2010 vor der Änderung	3	2819	7
Jun. 2011 nach der Änderung	157	353	0
Jul. 2010 vor der Änderung	1	2449	0
Jul. 2011 nach der Änderung	228	291	9
Aug. 2010 vor der Änderung	1	3103	2
Aug. 2011 nach der Änderung	77	321	1
Sep. 2010 vor der Änderung	8	3025	17
Sep. 2011 nach der Änderung	130	224	2
Durschnitt vor der Änderung	3,25	2849	6,5
Durschnitt nach der Änderung	148	297,25	3

In Tab. 4 ist die Anzahl der Brennerschaltvorgänge vor und nach der Regelungsänderung aufgezeigt. Es wurden Monate mit geringem Verbrauch aus den Jahren 2010 und 2011 gewählt, für die Daten verfügbar waren und die vergleichbare Außentemperaturen aufwiesen. Die Daten von 2010 sind vor der Regelungsänderung und die von 2011 nach der Anpassung. Interessant ist die deutliche Reduktion der Takt-Häufigkeit beim Brenner 2, die allerdings mit einem leichten Anstieg der Takt-Häufigkeit beim Brenner 1 erkauft wurde. Die Schaltvorgänge des Brenners 3 sind vermutlich durch die häufigere Nutzung der kleineren Heizkessel geringer geworden. Zur Betrachtung der Takt-Häufigkeit von Brenner 3 sollte ein kälterer Monat gewählt werden, da der Kessel erst dann richtig genutzt wird. Ob und wie hoch die Einsparungen durch die Verminderung der Taktzahlen eines Brenners sind, soll im Abschnitt 3.4 dieser Arbeit untersucht werden.

Bei dem Betrieb einer Mehrkesselanlage stellt sich die Frage, ob Brennstoffeinsparungen dadurch möglich sind, einen Heizkessel bei ansteigender Auslastung so lange zu betreiben, bis seine Leistung alleine nicht mehr ausreicht und erst dann ein weiterer Kessel dazu geschaltet wird oder ob alle Kessel beinahe gleichzeitig hoch geregelt werden sollten. Letzteres sollte für Mehrkesselanlagen mit modulierenden Brennern laut *Recknagel* die Wahl sein, da der Kesselwirkungsgrad bei niedrigerer Kesselbelastung größer ist [RS03, S. 695]. In der hier betrachteten Heizungsanlage ist diese Betriebsweise bisher regelungstechnisch nicht umgesetzt worden.

## 2.6 Simulation

Zur Bewertung und Anpassung von Heizungssystemen und deren Regelung wurde von der Technischen Universität Hamburg Harburg (TUHH) und von Plenum ein Modell entworfen, mit dem eine Simulation der Anlage möglich ist. Das Modell basiert nicht auf der Simulation von hydraulischen Abläufen, sondern nutzt eine energetische Betrachtung des Systems. Hierdurch ist es möglich, ohne detaillierte Kenntnis des Leitungsnetzes oder hydraulischer Besonderheiten befriedigende Ergebnisse zu erzielen.

Die Simulation ist bisher jedoch nicht in der Lage, den für die Wärme benötigten Brennstoffverbrauch der Kessel betriebsabhängig zu berechnen. Bisher konnten lediglich allgemein bekannte Abhängigkeiten der Kesselverluste berücksichtigt und Größenordnungen dafür abgeschätzt werden, um Rückschlüsse auf den Energieverbrauch ziehen zu können.

Im nächsten Kapitel werden die jeweiligen Verluste im Einzelnen beschrieben und die vorgenommenen Messungen vorgestellt sowie deren Durchführung und Auswertung beschrieben.

## 3 Heizkesselbilanzierung

### 3.1 Problematik der Bilanzierung

Die wichtigsten Informationen, die benötigt werden, um eine Energiebilanz der Wärmezeugung zu erstellen, sind Energieaufwand und Energienutzen. Das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand wird im Allgemeinen als Wirkungsgrad bezeichnet und für den Heizkessel im nächsten Abschnitt detailliert betrachtet. Der Energienutzen, also der Teil der Wärme, der ins Heizungsnetz eingespeist wird, ist relativ einfach durch das Messen der Vor- und Rücklauftemperaturen sowie des Volumenstromes zu ermitteln. Über die Gebäudeleittechnik werden bereits Vor- und Rücklauftemperaturen der einzelnen Heizkessel im Minutentakt aufgezeichnet. Der Volumenstrom wird ebenfalls im Minutentakt gemessen, aber nur im Gesamtrücklauf und nicht für jeden Heizkessel einzeln. Das bedeutet, dass in jedem Fall zusätzliche Messstellen zur Erstellung der Energiebilanz installiert werden müssen.

Die Ermittlung des Energieaufwands kann prinzipiell über den Gaszähler erfolgen. Dies setzt allerdings voraus, dass der Zähler regelmäßig ausgelesen werden kann und zudem hinreichend genau ist. In dem untersuchten Objekt erweist sich die Messgenauigkeit als limitierender Faktor. Durch die Sanierung der Kesselanlage ist die Gas-Anschlussleistung von 3 MW auf 1,9 MW verringert worden, ohne den Gaszähler daran anzupassen. Das Fabrikat der Firma Elster stammt aus dem Jahre 1978 und weist einen Messbereich von  $65 - 1000 \text{ m}^3/\text{h}$  auf. Dies entspricht im Minimum, mit einem Heizwert von ungefähr  $10 \text{ kWh}/\text{m}^3$ , einer Feuerungsleistung von 650 kW. Das bedeutet, dass kleine Leistungen und Leistungsschwankungen der Heizkessel von dem Gaszähler gar nicht oder nur unzuverlässig erfasst werden. Somit kann der Verbrauch nur ungenau aus den Zählerwerten ermittelt werden. In dieser Arbeit soll jedoch nicht nur eine Gesamtenergiebilanz erstellt, sondern es soll zudem untersucht werden, wie sich die Wirkungsgrade der einzelnen Wärmeerzeuger bei verschiedenen Betriebszuständen verhalten. Falls die Ermittlung des Aufwands zu keinem befriedigenden Ergebnis führt, kann bei Kenntnis des Wirkungsgrads und des Energienutzens der Energieaufwand nachträglich näherungsweise errechnet werden.

Welche Maßnahmen oder Messungen zur Ermittlung der verschiedenen im Kessel auftretenden Verluste notwendig sind, soll im Folgenden untersucht werden.

### 3.2 Kesselwirkungsgrad und Kesselverluste

Jeder Heizkessel gibt einen Teil der zugeführten Energie während der Übertragung auf das Wärmemedium des Heizkreises ungenutzt in die Umgebung ab. Diese ungenutzte Energie wird dann als Verlust bezeichnet. Die Verluste werden, abhängig von der Art ihrer Entstehung, verschieden bezeichnet. Der größte Anteil der Verluste entfällt auf den Abgasverlust  $q_{Abg}$ . Dieser entsteht durch die ungenutzte Wärmeenergie der Abgase, sowie aus der chemischen Energie unvollständig verbrannter Abgase. Zu Errechnen ist der Abgasverlust laut *Endrullat* näherungsweise aus der Siegertschen Formel in Gleichung (2) [EPPP87, S. 126]. Die Gleichung trägt dem Verlust durch unverbrannte Abgase keine Rechnung.

Dieser müsste bei hohen CO-Konzentrationen ebenfalls berücksichtigt werden.

$$q_{Abg} = f_B \cdot \frac{\vartheta_{Abg} - \vartheta_R}{\varphi_{CO_2}} \text{ in } \% \quad (2)$$

$f_B$  ist der Brennstoffbeiwert in 1/K (für Erdgas mit Gebläsebrenner ungefähr 0,46 1/K [EEPP87]),  $\vartheta_{Abg}$  ist die Abgastemperatur,  $\vartheta_R$  ist die Raumtemperatur bzw. die Temperatur der angesaugten Luft in °C und  $\varphi_{CO_2}$  ist der gemessene CO<sub>2</sub>-Gehalt in %. Der Abgasverlust wird nach der Siegertschen Formel in Prozent der Feuerungsleistung berechnet. Er wird häufig wie Wirkungsgrade in Dezimalwerten zwischen Null und Eins für weiteren Rechnungen verwendet. Der Brennstoffbeiwert kann für andere Brennstoffe aus Tabellen entnommen oder bei bekannter Zusammensetzung des Brennstoffs errechnet werden [EEPP87].

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad  $\eta_F$  kann errechnen werden, indem der bei Nennwärmeleistung des Kessels errechnete Dezimalwert des Abgasverlusts von eins abgezogen wird.

$$\eta_F = 1 - \underbrace{\left( f_B \cdot \frac{\vartheta_{Abg} - \vartheta_R}{CO_2} \right)}_{q_{Abg}} \cdot \frac{1}{100 \%} \quad (3)$$

Neben dem Abgasverlust sind weitere Verluste zu betrachten, um einen Jahreswirkungsgrad  $\eta_a$  des Heizkessels errechnen zu können. In Abb. 3 sind die wichtigsten dafür zu berücksichtigende Verluste dargestellt. Die Energiebilanz des Wärmeerzeugers im Betrieb lautet somit, in Anlehnung an [EEPP87, S. 157]:

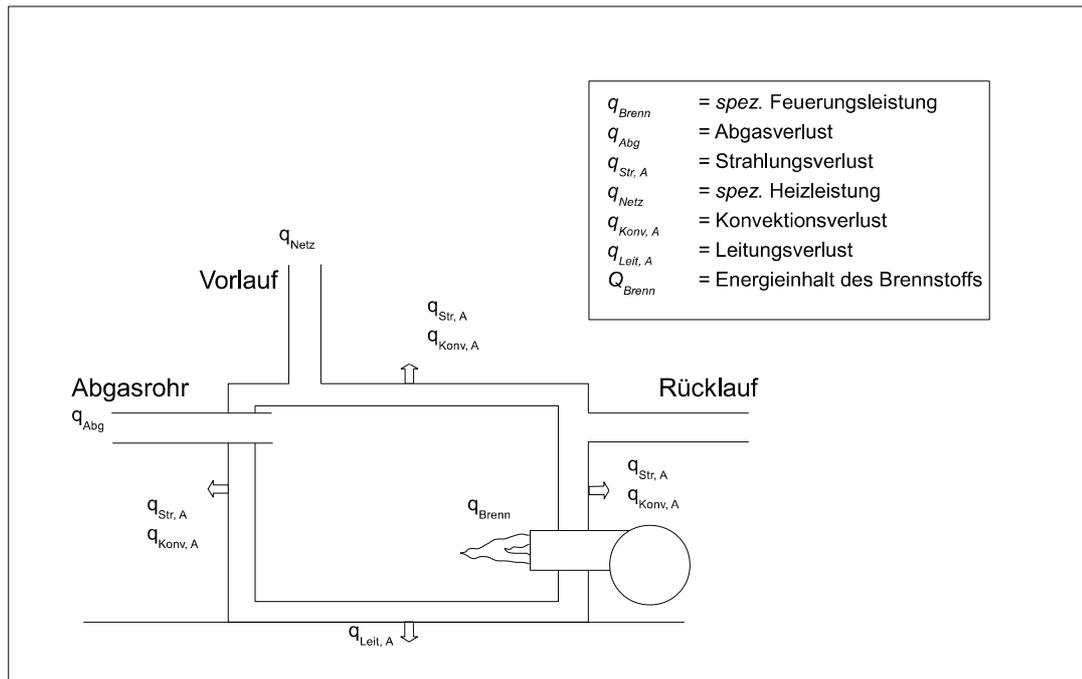
$$Q_{Brenn} = Q_{Netz} + Q_{V_{Abg}} + Q_{V_{Str,A}} + Q_{V_{Konv,A}} + Q_{V_{Leit,A}} \quad (4)$$

$Q_{Brenn}$  entspricht hierin dem Energiegehalt des eingesetzten Brennstoffs in kWh,  $Q_{Netz}$  entspricht dem Energieanteil der in das Heizungsnetz gelangt in kWh und  $Q_{V_{Abg}}$  steht für die über das Abgas verlorene Wärme in kWh. Die Strahlungs-, Konvektions- und Leitungsverluste werden auch „Restverluste“ genannt und nach [EEPP87, S. 157] in der Literatur oft unter dem Begriff „Strahlungsverlust“ zusammengefasst. Die dadurch verlorene Wärme setzt sich demnach wie folgt zusammen:

$$Q_{V_{Str}} = Q_{V_{Str,A}} + Q_{V_{Konv,A}} + Q_{V_{Leit,A}} = q_{Str} \cdot Q_{Brenn} \quad (5)$$

$Q_{V_{Str}}$  ist der aus den Wärmeverlustanteilen zusammengefasste Strahlungsverlust, wie dem Anteil aus der Wärmestrahlung  $Q_{V_{Str,A}}$ , dem Anteil aus der Wärmeleitung  $Q_{V_{Leit,A}}$  und dem Verlustanteil aus der Wärmekonvektion  $Q_{V_{Konv,A}}$  (alle in kWh). Das Produkt des Strahlungsverlusts  $q_{Str}$  mit dem Energieinhalt des Brennstoffs ergibt ebenfalls die im Strahlungsverlust zusammengefasste Wärmemenge.

Der Kesselwirkungsgrad  $\eta_K$  in Gleichung (6) ist nach der *VDI 2067* der Wirkungsgrad bei Nennwärmeleistung im Beharrungszustand [VDI12].  $\dot{Q}_K$  ist dann die Nennwärmeleistung des Kessels und  $\dot{Q}_{Brenn}$  die Brennerleistung bei Nennwärmeleistung. Strahlungs-



**Abbildung 3:** Darstellung der Wärmeerzeugerverluste

und Abgasverlust müssen in diesem Fall ebenfalls bei Nennwärmeleistung des Heizkessels ermittelt worden sein.

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_{Brenn}} = \frac{\dot{Q}_K}{H_i \cdot b_h} = 1 - q_{Abg} - q_{Str} \quad (6)$$

$H_i$  ist hier der Heizwert des Brennstoffs in kWh/m<sup>3</sup> und  $b_h$  der Brennstoffdurchsatz in m<sup>3</sup>/h.

Der Kesselwirkungsgrad beschreibt allerdings nur die Verluste während des Betriebs der Anlage. Bei Stillstand des Brenners sind die Verluste des Heizkessels nicht identisch mit denen bei Brennerbetrieb. Die Ermittlung der Strahlungsverluste bleibt unverändert, nur die „Abgasverluste“ können nicht wie in Gleichung (2) errechnet werden. Sie werden im folgenden nach *Beedgen* „Auskühlverluste“ genannt und entstehen durch die Wärmeabgabe des Heizkessels an die ihn durchströmende Luft [Bee84, S. 599]. Zur Reduzierung dieses Verlusts kann in der Abgasführung eine sogenannte Abgasklappe eingebaut werden, welche durch das Verschließen des Abgasrohrs bei Brennerstillstand eine Auskühlung verhindert. Bei Gebläseburnern benötigen Abgasklappen zusätzlichen Regelaufwand und sind für Anlagen ohne Strömungssicherung nicht notwendig, da eine Luftdurchströmung des Heizkessels bereits durch die Luftklappensteuerung verhindert wird.

In Gleichung (7)-(8) ist  $\dot{Q}_{V_{Kue}}$  die Auskühlverlustleistung in kW,  $\vartheta_{Abg,M}$  ist die mittlere Temperatur im Abgasrohr,  $c_{p,L}$  ist die spezifische Wärmekapazität von Luft in kWh/m<sup>3</sup>·K,  $\dot{V}_L$  ist der Luftvolumenstrom in m<sup>3</sup>/h,

$$\dot{Q}_{V_{Kue}} = (\vartheta_{Abg,M} - \vartheta_R) \cdot c_{p,L} \cdot \dot{V}_L \text{ in kW} \quad (7)$$

$$V_L = A_{Abg} \cdot 3600 \frac{s}{h} \cdot w_L = A_{Abg} \cdot 3600 \frac{s}{h} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_L}{\rho_L}} \text{ in m}^3/\text{h} \quad (8)$$

$A_{Abg}$  ist die Querschnittsfläche des Abgasrohrs in  $\text{m}^2$ ,  $w_L$  ist die Luftgeschwindigkeit im Abgasrohr in  $\text{m/s}$ ,  $p_L$  ist der Zug im Abgasrohr in  $\text{Pa}$ , und  $\rho_L$  ist die Dichte der Luft in  $\text{kg/m}^3$ . Bezogen auf die Kesselleistung ergibt das einen Auskühlverlust  $q_{Kue}$  von:

$$q_{Kue} = \frac{\dot{Q}_{V_{Kue}}}{\dot{Q}_K} \quad (9)$$

In Anlehnung an *Beedgen* sind die Gesamtverluste der Wärmeerzeugung durch Addition der Stillstands- und Betriebsverluste nach Gleichung (10) zu errechnen [Bee84, S. 599]. Da die Verluste bei Brennerstillstand nicht auf den Brennstoffverbrauch bezogen werden können ( $Q_{Brenn} = 0$ ), wird diesbezüglich mit Verlusten in Prozent der Kesselnennleistung gerechnet.

$$Q_{V_{Ges}} = Q_{V_{Sti}} + Q_{V_{Bet}} = (q_{Str} + q_{Kue}) \cdot \dot{Q}_K \cdot (b_a - b_{VH}) + (q_{Str} + 1 - \eta_F) \cdot \dot{Q}_K \cdot b_{VH} \quad (10)$$

Wobei  $Q_{V_{Ges}}$  die Gesamtverluste,  $Q_{V_{Sti}}$  die Stillstandsverluste und  $Q_{V_{Bet}}$  die Betriebsverluste in  $\text{kWh}$  sind.  $b_a$  ist die Betriebsbereitschaftszeit der Wärmeerzeuger in  $\text{h}$  und  $b_{VH}$  stellt die die Vollbenutzungstunden der Anlage dar.

Aus den Gesamtverlusten, bezogen auf die vom Brenner zugeführte Energie, lässt sich in Anlehnung an *Beedgen* ein Jahreswirkungsgrad der Anlage errechnen [Bee84, S. 600].

$$\eta_a = 1 - \frac{Q_{V_{Ges}}}{Q_{Brenn}} = 1 - q_{Ges} \quad (11)$$

Nach *Endrullat* kann der Jahreswirkungsgrad über folgende Beziehung errechnet werden [EEPP87, S. 177]:

$$\eta_a = \eta_K \cdot \eta_B \quad (12)$$

Der dafür benötigte Bereitschaftswirkungsgrad  $\eta_B$  wird wie nachstehend berechnet:

$$\eta_B = \frac{1 - q_{Bb} \cdot \frac{b_a}{b_B}}{1 - q_{Bb}} \quad (13)$$

$q_{Bb}$  ist der Betriebsbereitschaftsverlust und  $b_B$  die Brennerlaufzeit in  $\text{h}$ . Der Betriebsbereitschaftsverlust ist dem Datenblatt eines Kessels zu entnehmen.

Der Jahreswirkungsgrad ist zur Bewertung und zum Vergleich der Wärmeerzeugungsanlagen untereinander sehr gut geeignet. Es kann jedoch durch ihn keine Aussage über die Verluste des Heizkessels während eines momentanen Betriebszeitpunktes getroffen werden.

Der Kesselwirkungsgrad hingegen kann ausschließlich die Verluste während der Betriebszeit des Brenners beschreiben, da die Nutzwärme des Kessels auf den dafür eingesetzten Energieinhalt des Brennstoffs bezogen wird. Ist der Brenner außer Betrieb, kann somit kein Wirkungsgrad berechnet werden. Es ist daher sinnvoll, die Wärmeverluste des Heizkessels bei Brennerstillstand relativ zum höchstmöglichen Wert oder in Abhängigkeit von der Zeit als Leistungswert anzugeben. Es besteht ebenfalls die Möglichkeit, die Verluste auf die Kesselnennleistung zu beziehen.

Die an das Takten eines Kessels gebundenen zusätzlichen Verluste wurden bereits in Abschnitt 2.2 erwähnt. In den bisher genannten Berechnungsformeln wird dieser Verlust nicht berücksichtigt. Bei den Heizkesseln des LANUV werden ausschließlich Gebläsebrenner verwendet. Vor jedem Start und Stopp des Brenners wird die Brennkammer aus Sicherheitsgründen (Explosions- und Korrosionsschutz) mit Luft „gespült“, wodurch vom Gebläse verursachte Auskühlverluste entstehen. Andererseits werden durch die Gebläsesteuerung die dauerhaften Auskühlverluste durch Zugluft unterbunden. Der durch unvollständige Verbrennung hervorgerufene Anteil des Verlusts ist nur über eine Messung des CO-Gehalts ermittelbar. Erst nach einer halben bis einer Minute kann laut *Endrullat* von einer befriedigenden Verbrennungsqualität gesprochen werden. Er empfiehlt bei durchschnittlich 8000-12000 Schaltzyklen pro Jahr einen Korrekturfaktor einzuführen [EEPP87]. Der Verlust durch CO im Abgas kann unabhängig davon über die gemessene Konzentration berechnet werden, ist aber bei neuen Anlagen so gering, dass er vernachlässigt werden kann.

$$q_{Abg,neu} = q_{Abg,alt} \cdot f_K^{-1} \quad (14)$$

In dieser Gleichung soll mit einem Korrekturfaktor  $f_K \approx 0,97- 0,99$  gerechnet werden. Durch das Takten gibt es immer einen Wärmeverlust, der beispielsweise durch die Korrektur des Abgasverlusts nach Gleichung (14) berücksichtigt werden sollte.

Ein weiterer in dieser Arbeit untersuchter Verlust wird im Folgenden als „Durchströmungsverlust“ bezeichnet. Gemeint sind die Bereitschaftsverluste, die bei Brennerstillstand bei durchflossenen Kesseln auftreten. Die Verluste unterscheiden sich von der Art ihrer Entstehung nicht von den Bereitschaftsverlusten bei nicht durchströmten Heizkesseln. Der Unterschied besteht in der Kesseltemperatur, von der die Verluste im Wesentlichen abhängig sind. Bei nicht durchflossenem Heizkessel sinkt die Kesseltemperatur durch die Wärmeverluste ab und mit ihr auch die Bereitschaftsverluste. Wird der Kessel vom Rücklauf der Heizungen durchströmt, dann wird die Kesseltemperatur auf Rücklaufemperatur gehalten und die Verluste bleiben konstant.

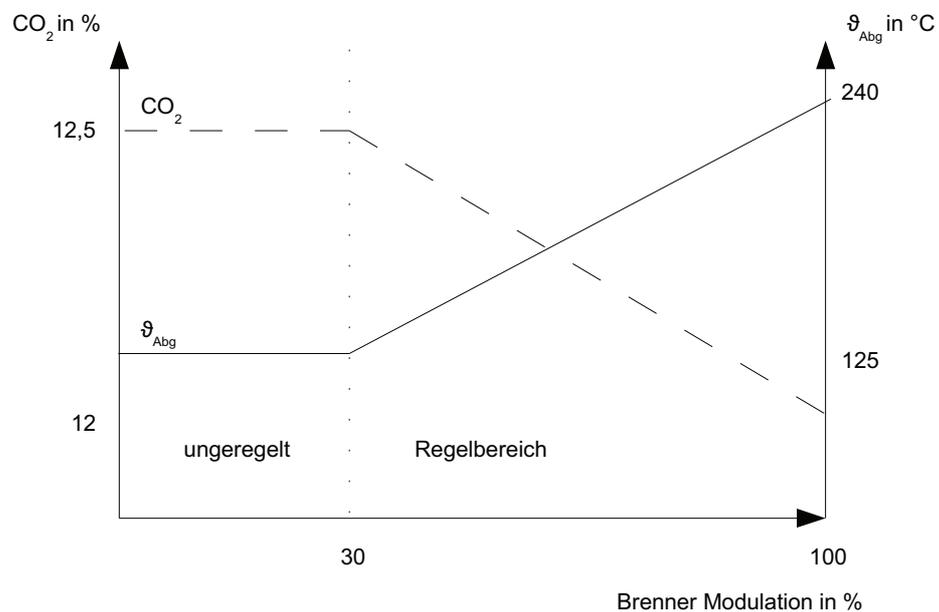
Bis hierhin sind alle für relevant erachteten Verluste aufgeführt worden. Für eine Bewertung und Optimierung einer Heizungsanlage ist es zudem notwendig, die Abhängigkeiten der Verluste und Wirkungsgrade zu kennen. Der größte Einflussfaktor für den Abgasverlust ist die Leistung, mit der der Kessel beaufschlagt wird. Ausschlaggebend dafür ist die Brennermodulation (BrMo) die bestimmt, wie viel Feuerungsleistung dem Kessel zugeführt wird. Zudem ist zu untersuchen, wie sich die Verluste in Abhängigkeit von Kesselwasser- oder Rücklaufemperatur verhalten.

Um genaue Aussagen zu den betriebsabhängigen Verlusten treffen zu können, sind entweder Aussagen vom Kesselhersteller, Messungen oder aufwendige Simulation der be-

treffenden Heizkessel notwendig. Angaben zu den Verlusten sind vom Kesselhersteller begrenzt zu erhalten und die Ergebnisse einer Simulation sollten anhand von Messungen bestätigt werden, wodurch eigene Messungen am sinnvollsten sind.

Um ein Gefühl zu bekommen, in welcher Form die Abhängigkeiten bestehen, sollen zunächst einige publizierte Darstellungen besprochen werden. In Abb. 4 ist die Abhängigkeit der  $\text{CO}_2$ -Konzentration und der Temperatur im Abgas von der Brennermodulation dargestellt [EPPP87, S. 147]. Der Regelbereich der modulierenden Brenner reicht in diesem Fall von etwa 30-100 %. Brennermodulationswerte unter dem Regelbereich entsprechen der Minimalleistung der Brenner. Interessant ist, dass die Abgastemperatur linear mit zunehmender Brennerleistung zunimmt.

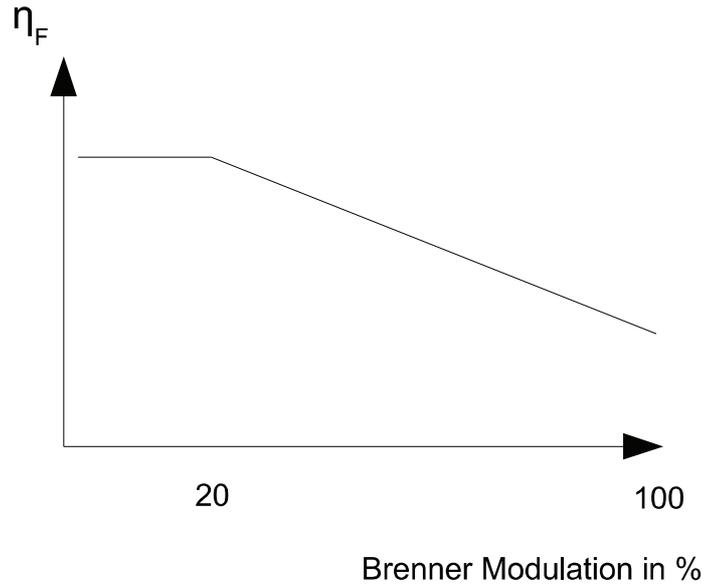
Mit Beachtung der Gleichung (2) und (3) kann aus dem Zusammenhang von Brennermodulation und Abgastemperatur, das Verhalten des feuerungstechnischen Wirkungsgrads in Abb. 5 als ebenfalls linear angenommen und schematisch dargestellt werden.



**Abbildung 4:** Abhängigkeit der  $\text{CO}_2$ -Konzentration und Abgastemperatur von der Kesselbelastung [EPPP87, S. 147]

Der Strahlungsverlust ist vermutlich exponentiell von der Kesseltemperatur abhängig und der davon abhängige Kesselwirkungsgrad schematisch in Abb. 6 dargestellt. Voraussetzung für die Richtigkeit des Zusammenhangs ist, dass der Abgasverlust konstant und keine Funktion der Kesseltemperatur ist.

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad  $\eta_F$  in Abhängigkeit der Abgastemperatur ist in Abb. 7 dargestellt. Der lineare Verlauf des Wirkungsgrads von hohen Abgastemperaturen nach unten bis etwa 55 °C ist durch die Siegertsche Formel und den umgekehrt proportionalen Zusammenhang von Abgastemperatur und Feuerungswirkungsgrad zu erklären. Bei Abgastemperaturen unter 55 °C kann eine Kondensation des Wasserdampfs stattfinden.



**Abbildung 5:** Abhängigkeit des Feuerungswirkungsgrads von der Kesselbelastung

den. Der dadurch hervorgerufene zusätzliche Brennwertnutzen hat eine starke Zunahme des Wirkungsgrads zur Folge. Die sich mit abnehmender Abgastemperatur seinem Maximum annähernde Kondensatmenge hat zur Folge, dass sich der Feuerungswirkungsgrad ebenfalls dem Maximum annähert.

In der DIN V 4701-12 sind Formeln zur Abschätzung von Strahlungs- und Betriebsbereitschaftsverlust in Abhängigkeit von der Kesselnennleistung  $\dot{Q}_K$  gegeben. Die Verluste beziehen sich dann auf die erbrachte Feuerungsleistung bei Nennwärmeleistung. Für einen Niedertemperatur-Kessel mit Gebläsebrenner ist dort für den Strahlungsverlust Gleichung (15) gegeben.

$$q_{Str} = \frac{7 \cdot \dot{Q}_K^{-0,4}}{100} \quad (15)$$

Gleichung (16) ist darin zur Abschätzung des Strahlungsverlusts bei Brennwertkesseln angegeben [DIN04].

$$q_{Str} = \frac{5,5 \cdot \dot{Q}_K^{-0,4}}{100} \quad (16)$$

Für Heizkessel 1 ergibt sich so ein Strahlungsverlust von 0,52 %. Das entspricht etwa einer Leistung von etwa 2 kW. Bei Heizkessel 2 sind es 0,4 % und etwa 2,85 kW Verlustleistung. Für den NT-Kessel errechnet sich ein Verlust von 0,49 % was einer Verlustwärmeleistung durch Strahlung und Konvektion von etwa 3,8 kW entspricht. Da die Feuerungsleistung noch nicht bekannt ist, wurde vorläufig mit der Kesselnennleistung gerechnet, um die Verlustleistung zu berechnen.

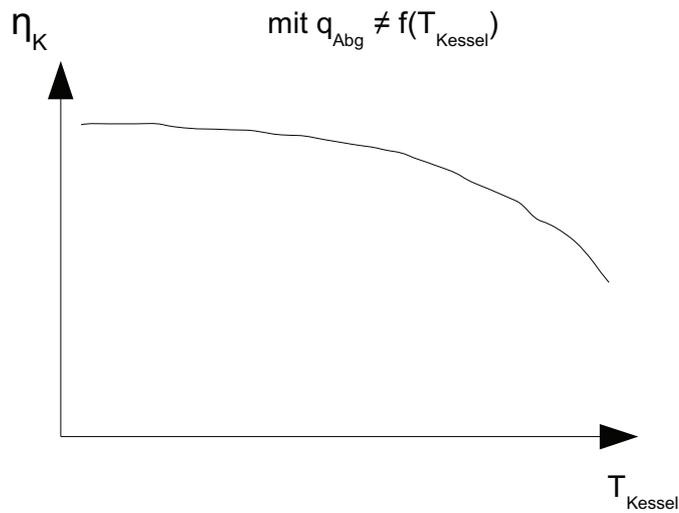


Abbildung 6: Abhängigkeit des Kesselwirkungsgrads von der Kesseltemperatur

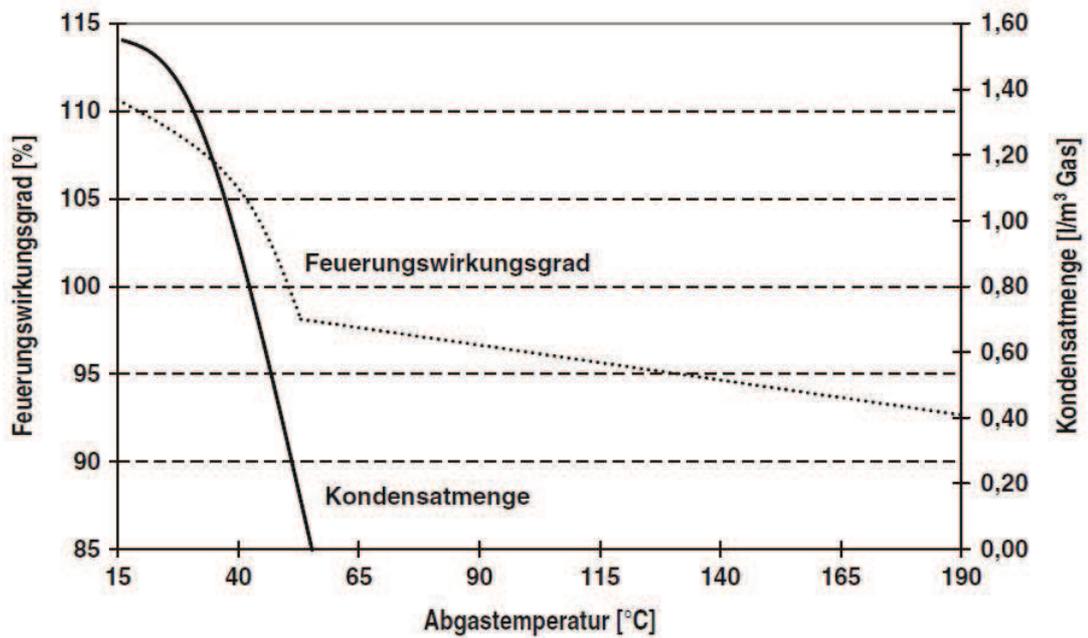


Abbildung 7: Abhängigkeit des Feuerungswirkungsgrads von der Abgastemperatur [KBFH10, S. 233]

### 3.3 Messtechnik und Messaufbau

Die in diesem Abschnitt verwendeten Messverfahren sind nachfolgend den zu ermittelnden Verlusten der Wärmeerzeugung zugeordnet.

- **Abgasverlust**

Der Abgasverlust ist messbar über eine Bestimmung der O<sub>2</sub>- oder CO<sub>2</sub>-Konzentration sowie einer Messung der Abgastemperatur und der Temperatur der angesaugten Luft des Brenners. Ermitteltbar ist der Verlust mit Hilfe der Siegertschen Formel (2) in Prozent der Feuerungsleistung. Eine weitere Möglichkeit ist die Berechnung über eine Geschwindigkeitsmessung im Abgas zusammen mit einer Abgas- und Raumtemperaturmessung. Mit diesen Messungen kann der Abgasverlust über die Beziehung (7) als Leistungswert bestimmt und bei Kenntnis des Gasverbrauchs auch als Prozentwert der Feuerungsleistung angegeben werden.

- **Strahlungsverlust**

Der Strahlungsverlust kann bei Kenntnis des Abgasverlusts und des Gasverbrauchs mit Gleichung 6 berechnet werden, indem von der Feuerungsleistung die Heizleistung und der Abgasverlust abgezogen werden. Dies erfordert eine gute Erfassung des Verbrauchs sowie verlässliche Werte für den Abgasverlust. Eine weitere Bestimmungsmöglichkeit besteht in dem Temperaturunterschied von Vor- und Rücklauf-temperatur. Ist der Brenner nicht in Betrieb und der Kessel wird vom Heizungswasser durchflossen, so kann der Strahlungsverlust theoretisch durch die Abkühlung des Rücklaufs über den Kessel errechnet werden. Voraussetzung ist, dass ein eventuell vorhandener Auskühlverlust des Heizkessels zuvor bestimmt und berücksichtigt wird. Die Angabe des Verlusts kann so als Leistungs- oder Prozentwert der Feuerungsleistung erfolgen. Theoretisch besteht auch die Möglichkeit, nach Abschalten des Brenners die Kesseltemperaturabkühlung auszuwerten oder über die Oberflächentemperatur des Heizkessels den Strahlungsverlust auszurechnen. Die tatsächliche Kesseltemperatur ist jedoch nicht direkt zu messen und die Berechnung über die Oberflächentemperatur ist, trotz großem Aufwand, ungenau, da die Oberflächentemperatur sehr inhomogen und stark zeitverzögert von der Kesseltemperatur abhängig ist.

- **Auskühlverlust**

Der Auskühlverlust, der durch die den Heizkessel durchströmende Luft entsteht, kann über eine Geschwindigkeitsmessung des Abgases und durch die Messung von Abgas- sowie Raumtemperatur bei Brennerstillstand wie in Gleichung (7) bestimmt werden. Diese Bestimmung führt zu einem Leistungswert. Bezogen auf die Nennkesselleistung kann auch ein Prozentwert angegeben werden.

- **Durchströmverlust**

Mit „Durchströmverlust“ ist der Verlust des Heizkessels bei Brennerstillstand und durchflossenem Kessel gemeint. Dieser eigentlich unerwünschte Effekt hat jedoch den Vorteil, dass dadurch, über die Abkühlung des Rücklaufs, eine weitere Möglichkeit besteht die Bereitschaftsverluste (Strahlungs- und Auskühlverlust) zu ermit-

teln. Eine Bestimmungsmöglichkeit liegt in der Auswertung der gemessenen Vor- und Rücklauftemperaturen. Theoretisch müsste, wenn der Heizkessel bei Brennerstillstand durchströmt wird, die Vorlauftemperatur unter der Rücklauftemperatur liegen. Mit der Temperaturdifferenz und dem Volumenstrom lässt sich ein Verlustleistung errechnen, die den Betriebsbereitschaftsverlusten entspricht.

- **Schaltverlust**

Der Schaltverlust ist die Auskühlung des Heizkessels durch die zum Spülen der Brennkammer verwendeten Luftmenge. Nach dem Ausschalten und vor der Inbetriebnahme des Brenners werden die Spülungen durchgeführt. Die Verlustwärme kann wie die des Auskühlverlusts bestimmt werden.

- **Brennwertnutzen**

Der Brennwertnutzen ist theoretisch messbar über eine Zählerablesung und eine zusätzliche Bestimmung der im selben Zeitraum angefallenen Kondensatmenge aus dem Abgas. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Messung der Luftfeuchtigkeit und der Abgastemperatur und anschließender Berechnung der Abgastaupunkttemperatur. Für diese Arbeit ist nicht geplant eine Messung des Brennwertnutzen durchzuführen, da die untersuchte Heizungsanlage hydraulisch nicht abgeglichen wurde und daher nur kurzzeitig Rücklauftemperaturen aufweist, die eine Messung überhaupt erst möglich machen.

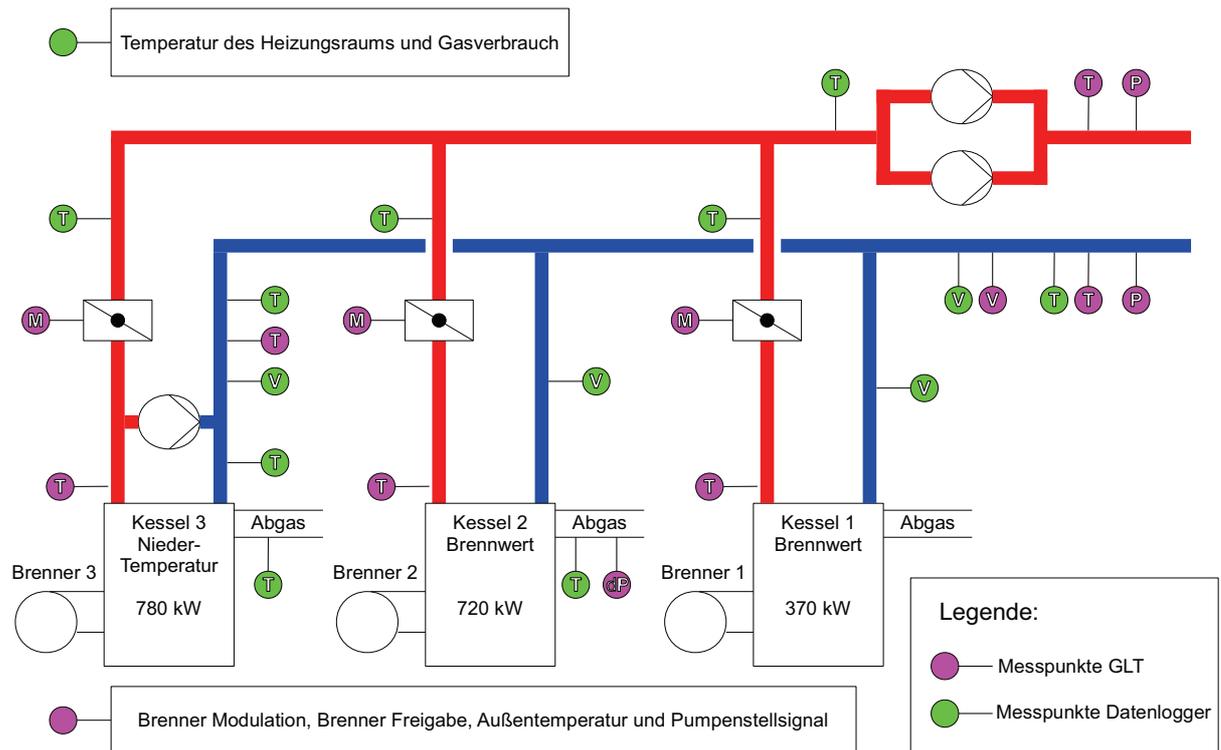
- **Gasverbrauch**

Der Gasverbrauch kann ausschließlich durch ein optisches Zähler-Auslesesystem erfasst werden. Als der Gaszähler installiert wurde, war eine automatische Erfassung des Verbrauchs noch nicht üblich, wodurch keine konstruktiven Vorkehrungen getroffen wurden, die das Auslesen erleichtern würden.

Für die Bestimmung der Kesselverluste wurden zusätzliche Messpunkte benötigt, die nicht von der GLT erfasst werden. In Abb. 8 sind die in der GLT vorhandenen und die zusätzlich aufgenommenen Messstellen dargestellt. Die Temperaturmessungen sind darin mit einem „T“, der Volumenstrom mit „V“, der Druck mit „P“ und die Druckdifferenzmessung mit „dP“ gekennzeichnet. Das „M“ steht für das Signal der Kesselklappen.

Die zusätzlich erforderlichen Messungen wurden am 11.12.12 installiert und über einen zentralen Datenlogger (Anhang A.2.10) 30 Tage lang bis zum 10.01.13 aufgezeichnet. Es wurde ein Messintervall von 10 Sekunden gewählt. Dies führte über den genannten Messzeitraum zu einer Gesamtzahl von etwa 260.000 Werten pro Messpunkt. Das Messintervall der von der Gebäudeleittechnik erfassten Messwerte beträgt eine Minute. Über den Messzeitraum wurden so etwa 43.000 Messwerte pro Messpunkt erfasst. Das entspricht einem Sechstel der über den Datenlogger erfassten Messwerte.

Von Heizkessel 2 und 3 sind über die 30 Tage zusätzlich die Abgastemperaturen direkt im Abgasstrom erfasst worden. 29 Tage davon wurde für Heizkessel 2 gleichzeitig die Abgasgeschwindigkeit aufgenommen. Bei Heizkessel 3 wurde diese nur etwa einen Tag lang gleichzeitig mit der Abgastemperatur erfasst, da für die Geschwindigkeitsmessung nur eine



**Abbildung 8:** Anordnung der Messpunkte

Sonde zur Verfügung stand. Für Heizkessel 1 erfolgte keine Messung von Abgastemperatur und -geschwindigkeit im Rahmen des Messaufbaus.

Zur Erfassung der Heizwasser- und Raumtemperaturen wurden die Pt100-Fühler 1/3 DIN (Anhang A.2.6) verwendet. Für die Messung der Abgastemperaturen wurden temperaturbeständigere Pt100-Fühler verwendet, deren Messgenauigkeit etwa der Klasse A entspricht (Anhang A.2.6). Ein wichtiger Unterschied zu den Temperaturmessungen der GLT besteht darin, dass die Pt100-Fühler als Anlegefühler von außen an das Heizungsrohr angebracht wurden. Die fest installierten Temperaturfühler sind in Tauchhülsen untergebracht und werden direkt vom Heizungswasser umströmt. Dies führt bei den nachträglich installierten Temperaturfühlern zu einer erhöhten Trägheit und vermutlich auch zu einer ungenaueren Messung der Absolutwerte. Durch die gute Wärmeleitfähigkeit der Stahlrohre und durch das wieder Anbringen des Dämmmaterials sollte der Messfehler der Temperaturen jedoch gering sein.

Die Erfassung des Volumenstroms erfolgte mit Durchflussmessgeräten des Typs FLUXUS ADM 6725 (Anhang A.2.4). Die Abgasgeschwindigkeit wurde mit einem Staurohr in Kombination mit dem Druckmessgerät TA460 der Firma Airflow aufgenommen (Anhang A.2.7 und A.2.8). Der Gasverbrauch wurde über ein optisches Gasuhr-Auslesesystem, dem Comet XRM-60 der Firma Xemtec AG, erfasst. Dieses Gerät erstellt alle drei Minuten ein Bild der Zähleruhr, interpretiert dann mit der integrierten Bilderkennung die Ziffern und speichert diese als Dezimalwert ab (Anhang A.2.9). Für den Gasverbrauch

stehen somit aus den 30 Tagen etwa 15.000 Messwerte zur Verfügung.

Für die direkte Aufnahme des Abgasverlusts wurde das Abgas-Analysegerät 330-2 LL der Firma Testo AG verwendet (siehe Anhang A.2.5). In diesem Gerät sind alle zur Ermittlung des Abgasverlusts notwendigen Sensoren integriert. Es können gleichzeitig Abgastemperatur, CO<sub>2</sub>- und CO-Gehalt sowie die Temperatur der vom Brenner angesaugten Luft gemessen werden.

Um das Verhalten des Abgasverlusts untersuchen zu können, sollte der Abgasverlust bei bestimmten Auslastungen der Heizkessel aufgenommen werden. Hierfür konnte über die GLT die Klappenstellung (KS) der Brenner auf Werte zwischen 0 und 100 eingestellt werden. Diese Werte lassen sich dann über einen linearen Zusammenhang in ein Brennermodulationssignal zurückrechnen. Auf diese Weise wurde der Abgasverlust aller Heizkessel mehrmals mit den Brenner-Klappenstellungen von 0, 25, 75 und 100 gemessen, bis der vom Messgerät angezeigte Abgasverlust konstant blieb. Ziel war bei der Auswertung des so erfassten Abgasverlusts eine Abhängigkeit des Abgasverlusts von der Brennermodulation oder der Kesselauslastung zu erhalten.

**Tabelle 5:** Klappenstellung und Brennermodulation

<b>Heizkessel 1</b>		
Klappenstellung	Klappenstellung real	BrennerModulation
0	1	30,7
25	22,7	45,89
50	45,4	61,78
75	68,1	77,67
100	90,8	93,56
<b>Heizkessel 2</b>		
Klappenstellung	Klappenstellung real	BrennerModulation
0	0	30
25	25	47,5
50	50	65
75	75	82,5
100	100	100
<b>Heizkessel 3</b>		
Klappenstellung	Klappenstellung real	BrennerModulation
0	1	40,6
25	23,8	54,28
50	47,7	68,62
75	77,6	86,56
100	95,5	97,3

In Tab. 5 sind zu den eingestellten Klappenstellungen die tatsächlich umgesetzten Klappenstellungen und die dazugehörigen Brennermodulationswerte angegeben. Die über die GLT eingestellten KS-Werte sind an die spezifische Kesselleistung angepasst worden und

entsprechen deshalb nicht den tatsächlich eingestellten Werten. Die tatsächlichen Werte sind in der Tabelle mit *KS real* bezeichnet und angegeben. Die dazugehörigen Brennermodulationswerte wurden über Formel (17) für die Brennwertkessel berechnet.

$$BrMo = 30 + \frac{70}{100} \cdot KS \text{ in } \% \quad (17)$$

Für den Niedertemperaturkessel ist die Umrechnung nach Formel (18) erfolgt.

$$BrMo = 40 + \frac{60}{100} \cdot KS \text{ in } \% \quad (18)$$

*BrMo* und *KS* sind hierbei in % angegeben.

### 3.4 Auswertung der Messwerte

Die Auswertung der Messdaten erfolgte mit Hilfe von EXCEL und MATLAB hauptsächlich durch die Erstellung und Interpretation von Diagrammen. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und der Vermeidung von Wiederholungen sind in dieser Arbeit nur ausgewählte Abbildungen im Textteil abgebildet. Bei Bedarf wird auf den Anhang Bezug genommen, in dem die weiteren Abbildungen enthalten sind.

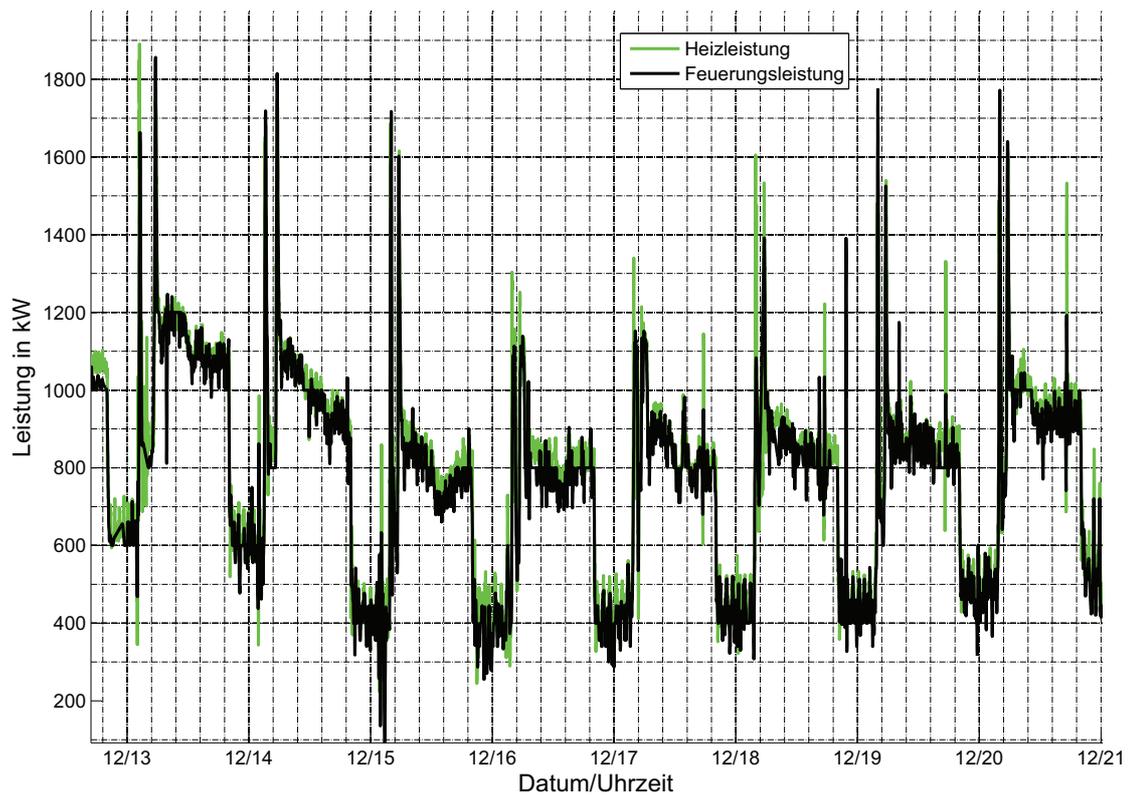
Das von dem optischen Auslesesystem Comet XRM-60 erstellte Messprotokoll erwies sich bei der Analyse der Messdaten als fehlerhaft und konnte ohne Korrektur nicht verwendet werden. Die optisch ausgelesenen Werte wurden häufig falsch erkannt, konnten aber durch händische Bearbeitung korrigiert werden. Bei der anschließenden Untersuchung des korrigierten Brennstoffverbrauchs stellte sich heraus, dass die errechnete Feuerungsleistung in der Regel unter der Heizleistung liegt.

In Abb. 9 ist zu erkennen, dass der Verlauf der Leistungen über mehrere Tage zwar gut übereinstimmt, jedoch ist ebenfalls zu erahnen, dass die Feuerungsleistung im Durchschnitt unter der Heizleistung liegt. Dies obwohl die Feuerungsleistung vorläufig mit einem Heizwert von 10 kWh/m<sup>3</sup> gerechnet wurde und für Erdgas vom Typ LL in Düsseldorf der Brennwert bereits bei 10,1 kWh/m<sup>3</sup> liegt. Der tatsächliche Heizwert würde dann nach Gleichung (1) bei etwa 9 kWh/m<sup>3</sup> liegen. Es ist folglich selbst ohne Brennwertnutzen mehr Energie im Heizwasser enthalten, was darauf schließen lässt, dass der Gaszähler tendenziell zu geringe Mengen erfasst, dass die Messung der Heizleistung fehlerhaft ist oder, dass der angegebene Heizwert nicht korrekt ist.

Die Heizleistung wurde mit den gemessenen Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizkessel, sowie des Volumenstroms über die Beziehung in Gleichung (19) errechnet.

$$\dot{Q}_{Heiz} = \dot{V} \cdot \varrho_W \cdot c_{p,W} \cdot (\vartheta_{VL} - \vartheta_{RL}) \cdot \frac{1h}{3600s} \text{ in kWh} \quad (19)$$

$\dot{Q}_{Heiz}$  ist die errechnete Heizleistung in kWh,  $\dot{V}$  ist der zu erwärmende Volumenstrom in m<sup>3</sup>/s,  $\varrho_W$  ist die Dichte von Wasser mit 980 kg/m<sup>3</sup> bei 70 °C,  $c_{p,W}$  ist die spezifische Wärmekapazität von Wasser mit 4,187 kJ/kg · K,  $\vartheta_{VL}$  und  $\vartheta_{RL}$  sind Vor- bzw. Rücklauf-temperatur in °C.



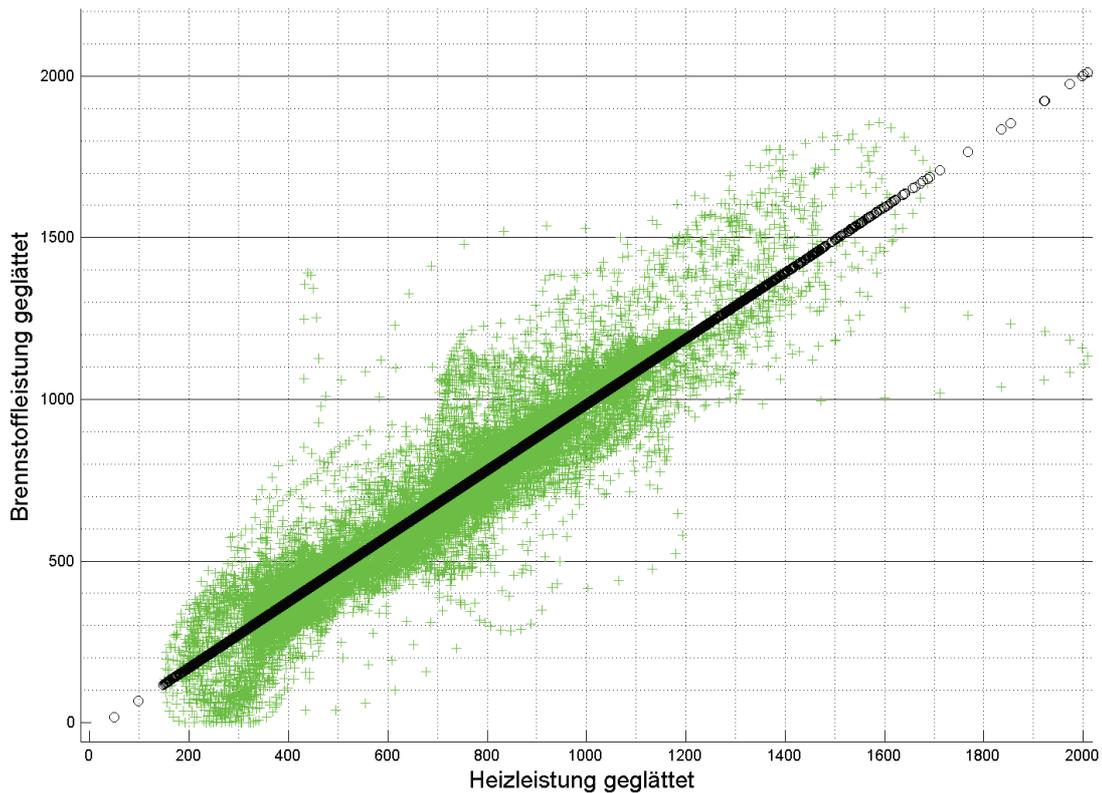
**Abbildung 9:** Verlauf der Heiz- und Feuerungsleistung

Für eine korrekte Darstellung der Heizleistung in Abb. 9 durch die zufälligen Messfehler von Temperatur und Volumenstrom spricht, dass die Heizleistung dann zumindest zeitweise größer als die Feuerungsleistung sein müsste. Das ist jedoch nur selten der Fall. Ein systematischer Messfehler bei der Erfassung der Heizleistung ist eher unwahrscheinlich, jedoch nicht ausgeschlossen.

In Abb. 10 ist die Brennstoff- bzw. Feuerungsleistung über die Heizleistung der gesamten Messperiode aufgetragen. Anhand der schwarzen Ausgleichsgeraden in dieser Abbildung ist die Diskrepanz abzulesen. Zum Erreichen einer Heizleistung von 1000 kW liegt die eingesetzte Brennstoffleistung demnach ebenfalls bei etwa 1000 kW.

Aus den Messungen des Abgasverlusts und den Aufzeichnungen des Datenloggers ist die Abhängigkeit der Abgastemperatur von der Klappenstellung zusammen mit Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur, Volumenstrom und errechneter Heizleistung in Diagrammen zusammengefasst worden. Diese Messreihen wurden anschließend als Grundlage zur Ermittlung der Abhängigkeiten und der Absolutwerte des Abgasverlusts verwendet.

In Abb. 11 ist eine der Abgasmessreihen dargestellt. Zusätzlich ist in dieser Graphik der geschätzte Verlauf der Heizleistung abgebildet, wenn die Klappenstellung länger unverändert bliebe. Es ist zu sehen, dass die Abgastemperatur direkt mit der gewählten Klappenstellung zusammenhängt und stabile Werte erreicht. Während der Messungen des Abgasverlusts waren nur die Werte des Abgasanalysegeräts wie Abgastemperatur, Abgasverlust und Sauerstoffgehalt direkt abzulesen, da der Datenlogger nicht in Reich-

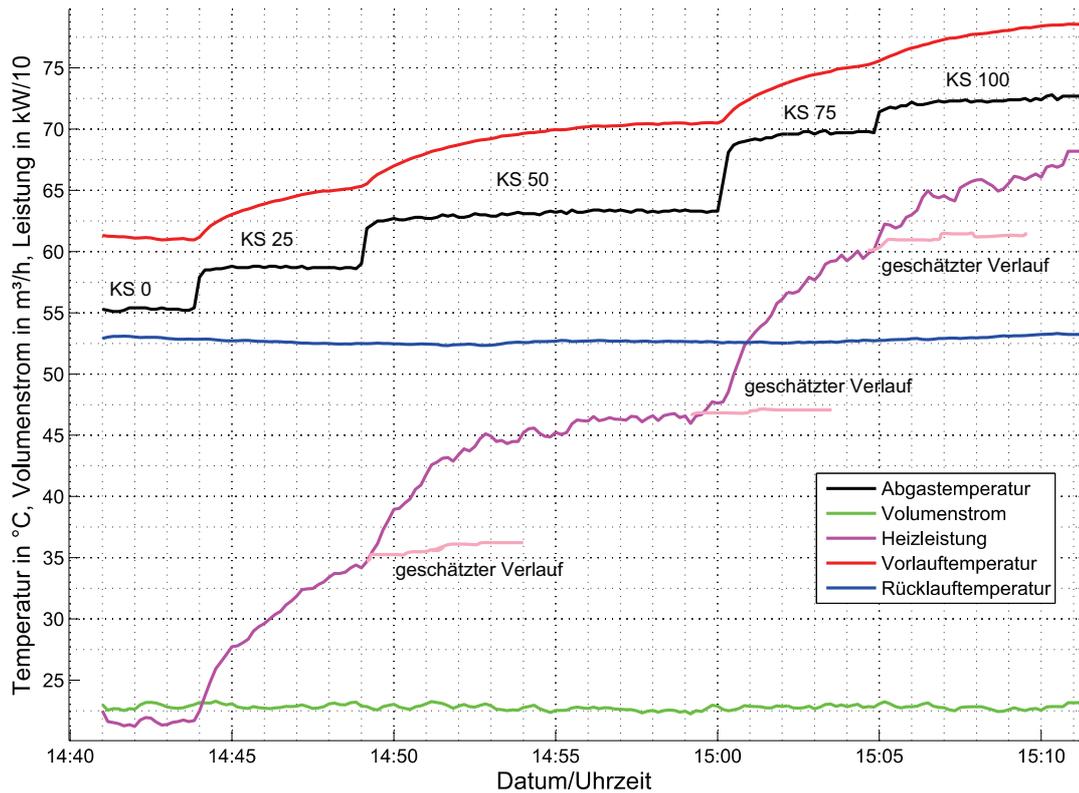


**Abbildung 10:** Brennstoffleistung über Heizleistung

weite war. Nachdem der Abgasverlust einige Zeit stabil war, wurde die Klappenstellung verändert. Es ist jedoch in der Abbildung zu sehen, dass für eine Messungen bei konstanter Heizleistung etwa eine Messperiode von 10 - 15 Minuten mehr Zeit nötig gewesen wären. Dies ist jedoch erst bei der Auswertung erkennbar gewesen.

Die in Abb. 11 gezeigte Messreihe des Heizkessels 2 ist zur Ermittlung des Abgasverlusts in Abhängigkeit von der Klappenstellung oder Brennermodulation und den dazugehörigen Heizleistungen sehr gut geeignet, da die anderen Einflussfaktoren wie Rücklauftemperatur und Volumenstrom sehr stabil sind. In Abb. 12 ist zu sehen, dass bei Messungen während des normalen Betriebs einer Heizungsanlage nicht immer diese optimalen Bedingungen vorliegen. Durch die gleichzeitige Veränderung aller Einflussfaktoren für den Abgasverlust ist die Bestimmung einzelner Abhängigkeiten schwierig. Zum besseren Verständnis der Abb. 12 ist zu erwähnen, dass die Brennerklappe zunächst über die dargestellten Klappenstellungspositionen vollständig geöffnet wurde. Anschließend wurde die Klappe über die selben Positionen aus dem geöffneten Zustand soweit wie möglich geschlossen (KS 0). Als letzte Position wurde von KS 0 direkt KS 100 angefahren.

Auffällig ist, dass die Abgastemperatur beim Öffnen der Brennerklappe bei den Klappenstellungen 25, 50 und 75 höher ist als die Abgastemperaturen der selben Klappenstellungen beim Schließvorgang. Die verfügbaren Brennermodulationswerte aus der GLT sind somit mit Vorsicht zu verwenden. Leider erreicht die Heizleistung des Kessels dabei ebenfalls keine stabilen Werte.

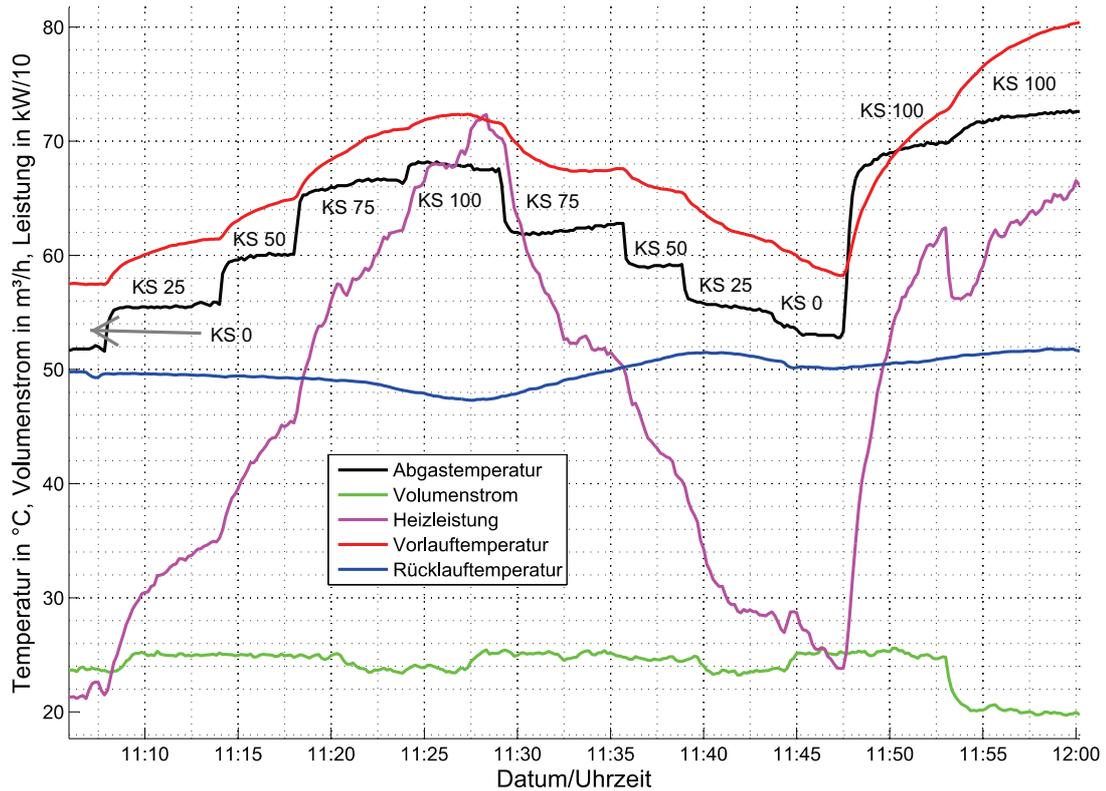


**Abbildung 11:** Abgastemperatur und Einflussfaktoren von Heizkessel 2 (1. Messreihe)

Bei der späten Messreihe von Heizkessel 2 ist gut die Abhängigkeit der Abgastemperatur von der Rücklauftemperatur zu erkennen. Wenn die Rücklauftemperatur steigt oder sinkt, dann verhält sich die Abgastemperatur ebenso. Um etwa 11:52:30 Uhr fällt plötzlich der Volumenstrom von  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  auf  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ , wodurch die Abgastemperatur ansteigt. Durch den verringerten Volumenstrom wird die Verweildauer des Heizungswassers im Kessel verlängert. Die Temperatur des Kesselwassers erhöht sich und die Wärmeübertragung aus dem Abgas verschlechtert sich. Die Abhängigkeit der Abgastemperatur vom Volumenstrom ist somit umgekehrt proportional.

In Abb. 13 ist eine Abgasverlust-Messreihe von Heizkessel 3 dargestellt. Im Vergleich zu Heizkessel 2 liegt die Abgastemperatur hier deutlich höher. Die Diskrepanz der Klappenstellung beim Öffnen und beim Schließen scheint noch ausgeprägter zu sein. Beim Öffnen erreicht die Abgastemperatur von KS 75 bereits entsprechende Werte von KS 100. Nur die Änderung des Volumenstroms lässt die Abgastemperatur bei voller Öffnung noch geringer erscheinen als sie bei KS 75 ist. Beim Schließen erreicht die Abgastemperatur von KS 75 sogar Werte unter KS 50 beim Öffnen. Für Heizkessel 3 wurde aus Zeitgründen keine Abgasmessung für die Klappenstellungen von 50 und 25 beim Schließen unternommen.

Die 1. Messreihe von Heizkessel 3 und beide von Heizkessel 1 befinden sich im Anhang A.1. In den Abgas-Messreihen von Heizkessel 1 sind keine großen Unterschiede in der Abgastemperatur beim Öffnen und Schließen der Brennerklappe festzustellen. Die Abgastemperaturen liegen in einem ähnlichem Bereich wie die des 2. Brennwertkessels.



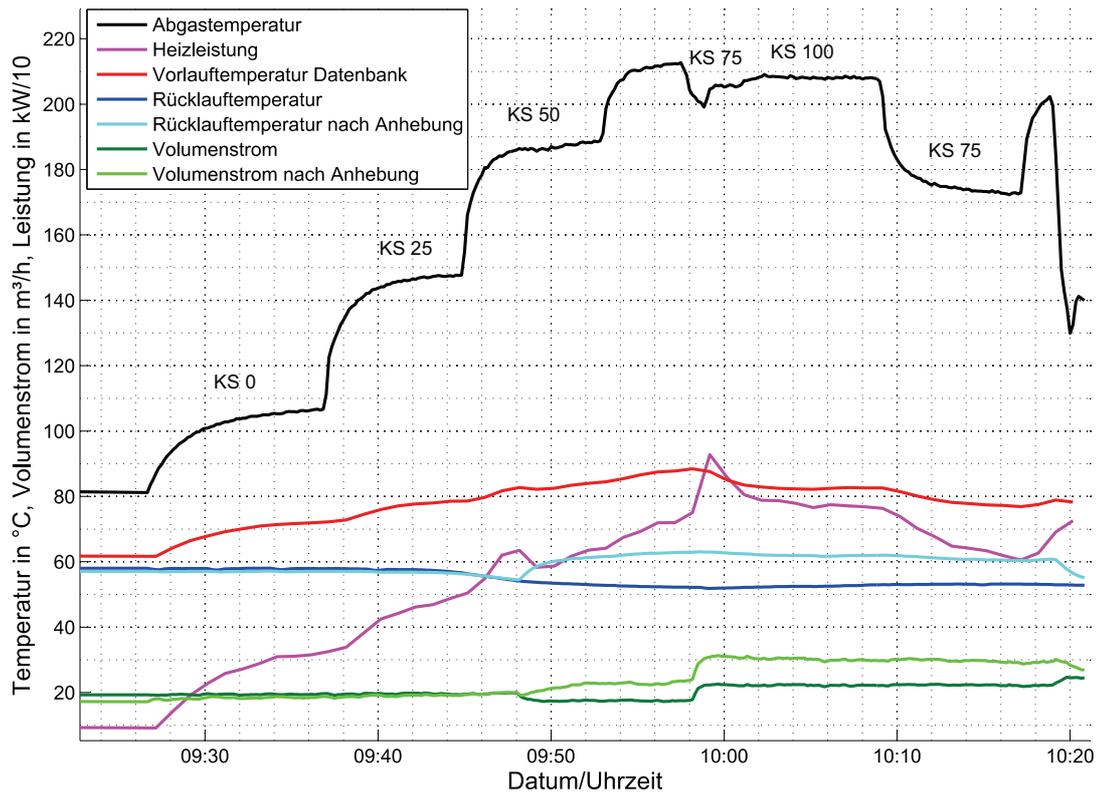
**Abbildung 12:** Abgastemperatur und Einflussfaktoren von Heizkessel 2 (2. Messreihe)

Der Volumenstrom ist relativ konstant und verändert sich nicht im Verlauf der Einzelmessungen.

Um den Zusammenhang von Abgastemperatur und Abgasverlust zu verdeutlichen, sind aus den Messreihen aller Heizkessel die gemessenen Werte in Abb. 14 übereinander aufgetragen. Zudem ist diese Form der Darstellung besonders gut geeignet, um einen direkten Vergleich der Heizkessel zu erhalten. Die absoluten Abgasverluste sind betragsmäßig, trotz gleicher prozentualer Abgasverluste, aufgrund der verschiedenen Kesselleistungen unterschiedlich. Durch die weitestgehend konstante Sauerstoffkonzentration im Abgas und eine relativ konstante Kesselraumtemperatur, ergibt sich eine geringe Abweichung zu den im Diagramm angegebenen Ausgleichsgeraden. Folglich können aus dem Verlauf der Abgastemperatur direkt Rückschlüsse auf den Abgasverlust gezogen werden.

Interessant ist, dass der kleinere Brennwertkessel (Kessel 1) scheinbar die geringsten Verluste besitzt. Der Niedertemperaturkessel schneidet im Vergleich hinsichtlich der Abgastemperaturen und des Abgasverlusts schlecht gegen die Brennwertkessel ab. Ziel der Auswertung ist es aber auch, eine Berechnungsgrundlage für den Abgasverlust bei verschiedenen Betriebszuständen zu erhalten.

Am Beispiel von Heizkessel 2 soll gezeigt werden, wie eine Berechnungsformel für den Abgasverlust entwickelt wird. Hierfür wurden aus den Abgas-Messreihen Bereiche extrahiert, bei denen sich möglichst nur ein Parameter verändert, welcher den Abgasverlust beeinflusst. Für Heizkessel 1 und 2 wurde versucht, Abhängigkeiten von  $Br_{Mo}$ ,  $\vartheta_{RL}$  und

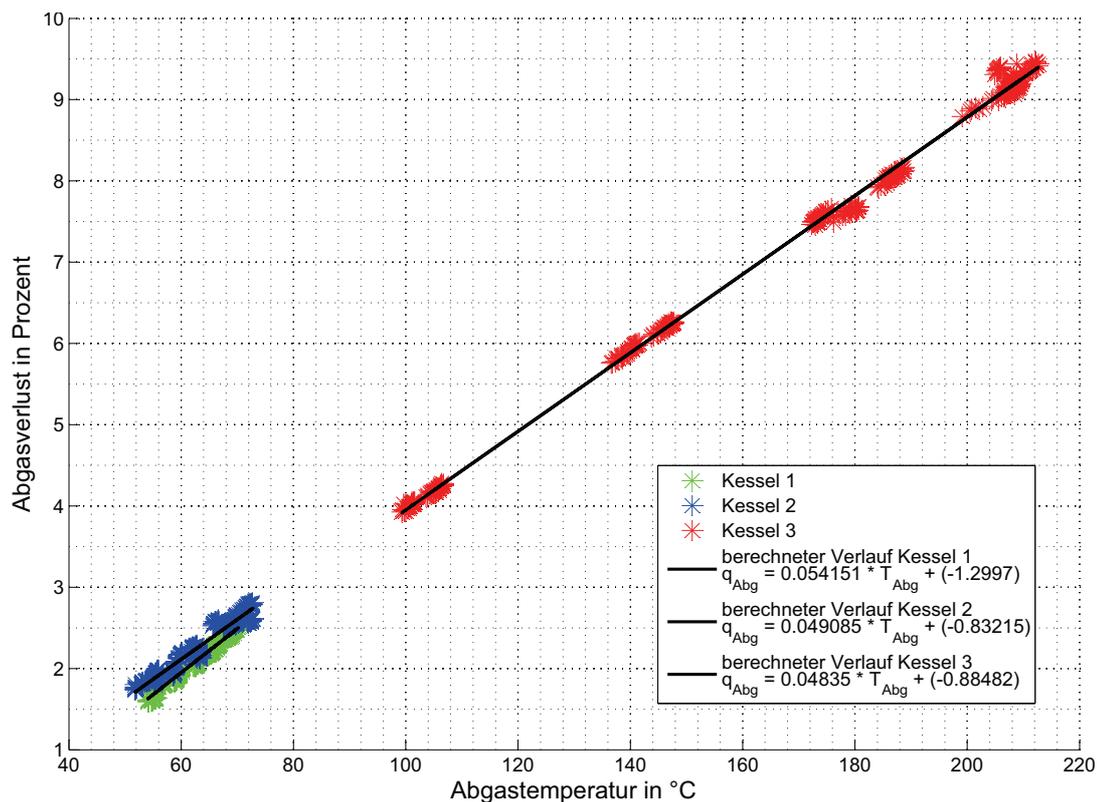


**Abbildung 13:** Abgastemperatur und Einflussfaktoren von Heizkessel 3 (2. Messreihe)

$\dot{V}$  zu finden. Bei Heizkessel 3 ist keine direkte Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur zu erwarten, da auch im Datenblatt des Kessels die Abgastemperatur in Abhängigkeit der Kesselwassertemperatur angegeben wird. Somit wurden Abhängigkeiten von  $\text{BrMo}$ ,  $\vartheta_{VL}$  und  $\dot{V}$  gesucht.

In Abb. 15 ist die Abhängigkeit des Abgasverlusts von der Brennermodulation dargestellt. Der Volumenstrom wurde für diese Darstellung auf einen Bereich zwischen  $23,5 \text{ m}^3/\text{h}$  und  $25,5 \text{ m}^3/\text{h}$  begrenzt. Für die Rücklauftemperatur ist die bei dieser Volumenstrom einschränkung auftretende Durchschnittstemperatur in dem Diagramm angegeben. Bei der Brennermodulation von 82,5 % kommen die großen Abweichung des gemessenen Abgasverlusts von der Ausgleichsgeraden durch die Unterschiede beim Öffnen und Schließen der Brennerklappe zustande. Es scheint so etwas wie eine mechanische Hysterese in der Klapensteuerung vorzuliegen. Im Mittel könnten sich die Abweichungen durch das Öffnen und Schließen ausgleichen, sodass der Mittelwert des Abgasverlust auf der Ausgleichsgeraden liegt.

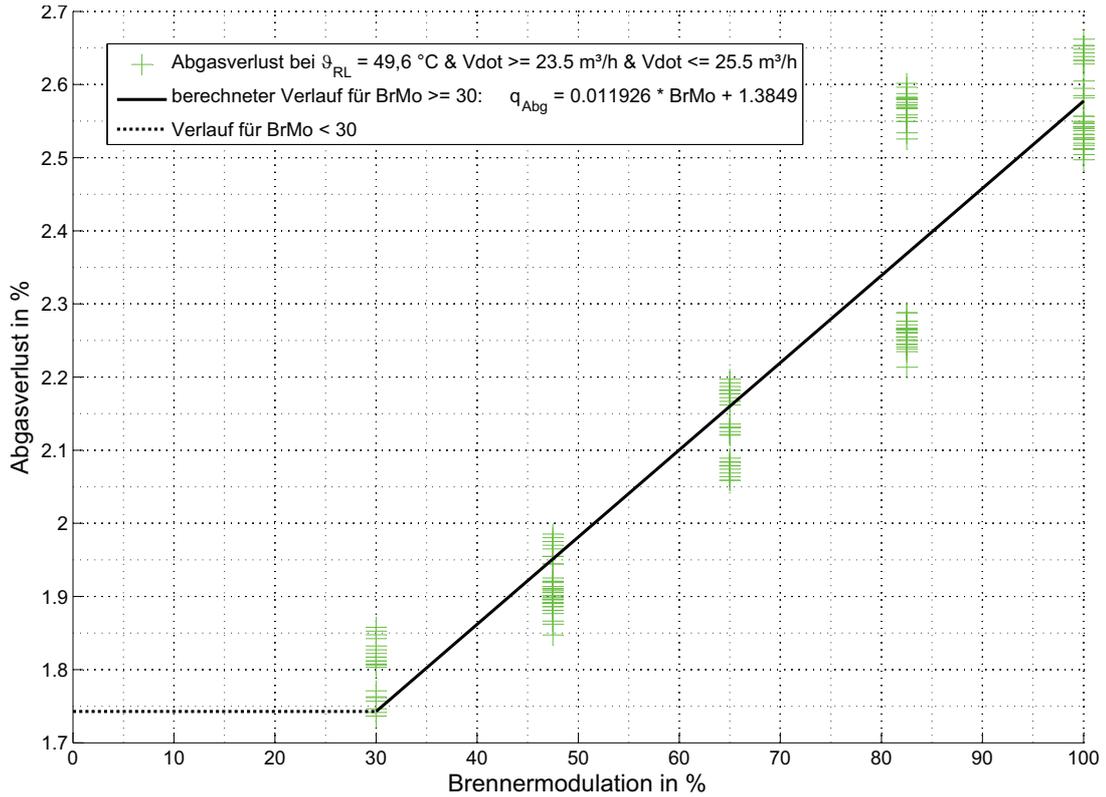
Die in Abb. 15 angegebene Formel für die Berechnung des Abgasverlusts gilt unter der Einschränkung, dass die Brennermodulation größer gleich 30 Prozent ist. Für  $\text{BrMo}$ -Werte unter 30 % zählt der errechnete Wert von 30 % (waagerechter Verlauf). Ebenso können die errechneten Werte des Abgasverlusts nur bei einer Rücklauftemperatur von etwa  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  und einem Volumenstrom von etwa  $24,5 \text{ m}^3/\text{h}$  gelten, da nur der bei diesen Werten auftretende Abgasverlust für die Ausgleichsgerade verwendet wurde.



**Abbildung 14:** Abgasverlust über Abgastemperatur

Die Abhängigkeit des Abgasverlusts von der Rücklaufftemperatur ist in Abb. 16 gezeigt. Die einzelnen Klappenstellungen wurden farblich voneinander unterschieden, um zusätzlich zu untersuchen, ob sich die Rücklaufftemperatur-Abhängigkeit durch die Brennermodulation ändert. Zudem ist es dadurch möglich eine mittlere Steigung der Ausgleichsgeraden zu errechnen. Es sind in der Abbildung nicht für alle aufgeführten Klappenstellungen auch Ausgleichsgeraden berechnet worden, da einige KS zu geringe Temperaturbereiche abdecken. Da die Abgasmessungen der einzelnen Heizkessel relativ kurz waren, sind die Änderungen in der Rücklaufftemperatur innerhalb einer Messreihe nur im Bereich von 1-2 K. Die erste und zweite Messreihe unterscheiden sich von den Rücklaufftemperaturen um etwa 3-5 K. Die im Diagramm auftretenden Punktwolken stammen somit aus der frühen (1. Messreihe) und der späten (2. Messreihe) Messung.

In Abb. 17 ist die Volumenstromabhängigkeit des Abgasverlusts von Heizkessel 2 untersucht worden. Die zusätzliche Unterteilung in früh und spät wurde gemacht, da die Messwerte der frühen Messungen in dieser Graphik bereinigt wurden. Mit bereinigt ist in diesem Fall gemeint, dass die unterschiedlichen Rücklaufftemperaturen mit Hilfe der in Abb. 16 angegebenen mittleren Steigung korrigiert wurden. Beim Vergleich der Rücklaufftemperaturen in den Darstellungen der Abgastemperaturverläufe auf Seite 11 f. ist festzustellen, dass in der 1. Messreihe die Rücklaufftemperatur konstant bei etwa 52.5 °C liegt. In der 2. Messreihe schwankt die Rücklaufftemperatur zwischen 48 und 52 °C. Ohne die Normierung war keine Volumenstromabhängigkeit zu erkennen, da sich die Abhängig-



**Abbildung 15:** Abgasverlust über Brennermodulation von Heizkessel 2

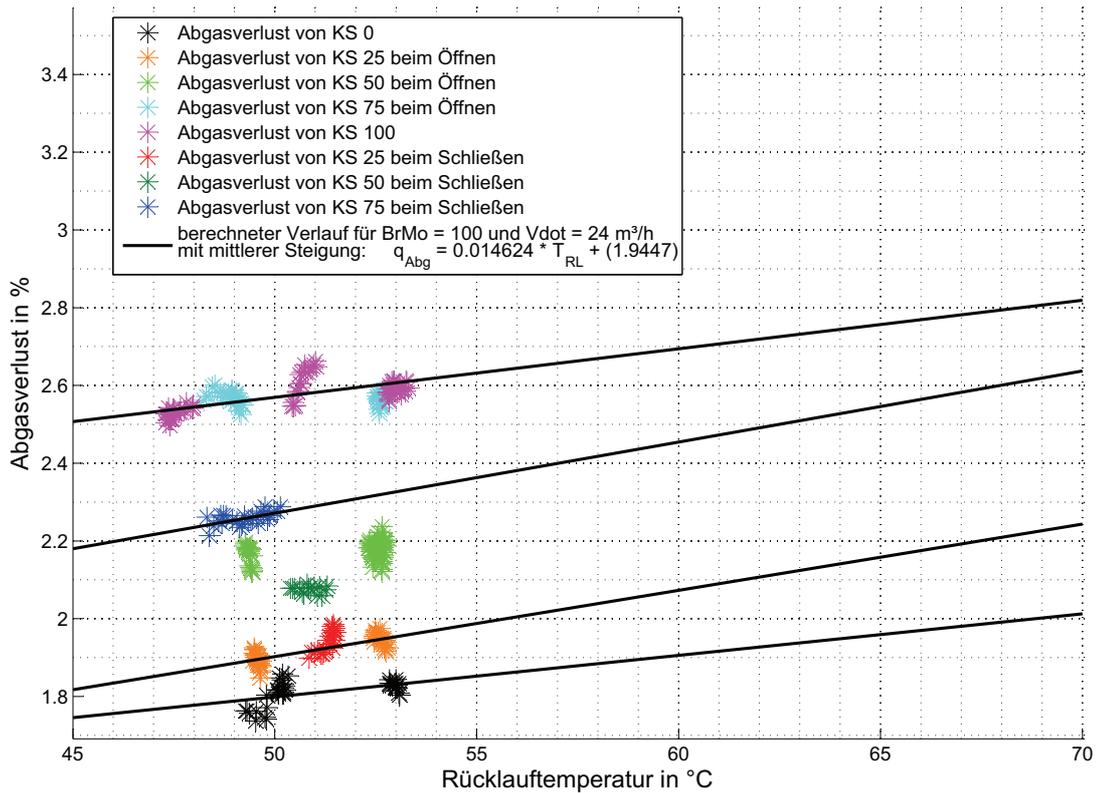
keiten von Rücklauftemperatur und Volumenstrom gegenseitig aufhoben.

Die Grundlage der Datenbereinigung basiert auf dem in Gleichung (20) dargestellten Zusammenhang.

$$q_{Abg,neu} = q_{Abg,alt} + \Delta q_{Abg} = q_{Abg,alt} + \underbrace{0,014624 \cdot \Delta \vartheta_{RL}}_{\Delta q_{Abg}} \text{ in \%} \quad (20)$$

Der Faktor von 0,014624 ist die mittlere Steigung aus der Rücklauftemperaturabhängigkeit des Abgasverlusts mit der Einheit 1/K.  $\Delta q_{Abg}$  ist die Differenz des Abgasverlusts, die aus der Rücklauftemperaturdifferenz  $\Delta \vartheta_{RL}$  errechnet wird.  $\Delta \vartheta_{RL}$  wird gebildet, indem von der Rücklauftemperatur, bei der der Abgasverlust angegeben werden soll, die Rücklauftemperatur des zu bereinigenden Abgasverlusts abgezogen wird.

Durch die ermittelten Abhängigkeiten des Abgasverlusts kann für jeden Heizkessel eine Formel gebildet werden, mit der alle Einflussfaktoren gemeinsam berücksichtigt werden. Die Bildung der Formel erfolgt aus dem Zusammenschluss der einzelnen Abhängigkeiten des Abgasverlusts, indem die Formel der Brennermodulationsabhängigkeit mit den Steigungstermen aus den Gleichungen der Rücklauf- und Volumenstromabhängigkeiten ergänzt wird. Der jeweilige Steigungsterm wird mit der Differenz von dem Wert, bei dem der Abgasverlust berechnet werden soll, und dem Wert, bei dem die Brennermodulationsabhängigkeit ermittelt wurde, multipliziert. Für Heizkessel 2 ist die komplette Formel in Gleichung (21) dargestellt. Die Formel gilt für Brennermodulationen größer 30 %. Bei



**Abbildung 16:** Abgasverlust über Rücklaufftemperatur von Heizkessel 2

kleineren Modulationswerten wird 30 eingesetzt. Es wird kein Brennwertnutzen in dieser Formel erfasst.

$$q_{Abg,K2} = 0,011926 \cdot BrMo + 1,3849 + 0,014624(\vartheta_{RL} - 49,6) - 0,031545(\dot{V} - 24,5) \text{ in \%} \quad (21)$$

Möglich wird diese Berechnung, da die Steigung des Abgasverlusts in den Diagrammen der Rücklaufftemperatur- und Volumenstromabhängigkeit unabhängig von der Brennermodulation ist. Das bedeutet, dass der prozentuale Abgasverlust bei allen untersuchten Klappenstellungen annähernd die selbe Abhängigkeit aufweist.

Für Heizkessel 1 und 3 ist auf dieselbe Weise eine Formel zur Berechnung des Abgasverlusts entwickelt worden. Beim Heizkessel 1 ist das Diagramm der Volumenstromabhängigkeit wie zuvor mit einer Temperaturkorrektur beaufschlagt worden. Die Abhängigkeiten beim Heizkessel 3 sind auf Brennermodulation und Volumenstrom begrenzt worden, da die Rücklaufftemperatur, wegen der Rücklaufanhebung, keinen direkten Einfluss auf den Abgasverlust hat. Selbst im Datenblatt des Kessels ist der Verlust in Abhängigkeit von der Kesselwassertemperatur angegeben und nicht, wie bei den Brennwertkesseln, von der Rücklaufftemperatur. Die Kesselwassertemperatur entspricht in etwa der Vorlauftemperatur. Die Abhängigkeit des Abgasverlusts von der Vorlauftemperatur ist in Abb. 18 dargestellt. Es ist zu sehen, dass die Vorlauftemperatur auch eine Funktion der Brennermodulation ist, da sie mit zunehmender Klappenstellung weiter zunimmt. Für kleine Brennermodulationen sind also auch kleine Vorlauftemperaturen zu erwarten. Aus diesem

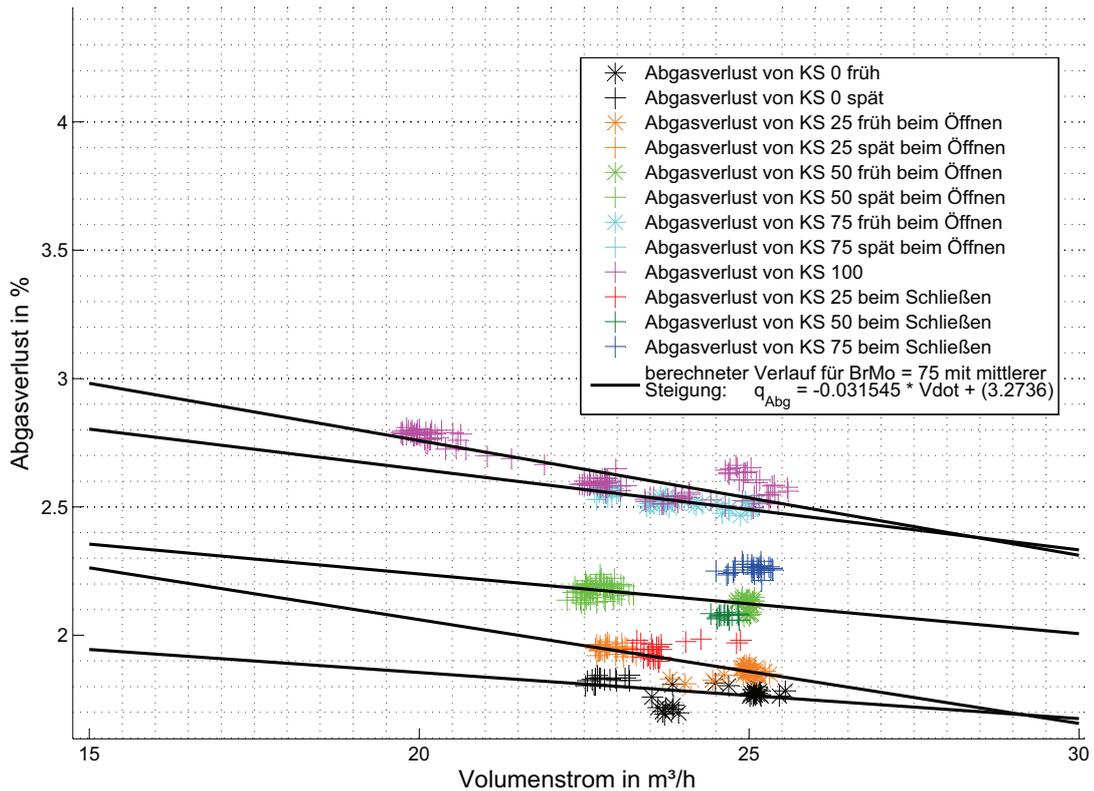


Abbildung 17: Abgasverlust über Volumenstrom von Heizkessel 2

Grund ist für den Niedertemperatur-Heizkessel keine zusätzliche Vorlauftemperaturabhängigkeit in der Berechnungsformel des Abgasverlusts enthalten.

Die Diagramme, aus denen die Abhängigkeit des Abgasverlusts für Heizkessel 1 und 3 entnommen wurden, sind im Anhang A.1 zu finden. Für Heizkessel 3 wurden bei der Brennermodulationsabhängigkeit des Abgasverlusts die Klappenstellungen 25 und 50 für die Ausgleichsgerade ignoriert, da nur Werte beim Öffnen der Klappen vorhanden waren und im Zuge der Auswertung festgestellt wurde, dass diese deutlich höher sind als die Werte beim Schließen der Klappen.

Der Abgasverlust für Heizkessel 1 lässt sich mit Gleichung (22) bestimmen.

$$q_{Abg,K1} = 0,0093207 \cdot BrMo + 1,406 + 0,045427(\vartheta_{RL} - 51,3) - 0,010372(\dot{V} - 9,13) \text{ in \%} \quad (22)$$

Die Verwendung der Formel unterliegt den selben Einschränkungen wie bei der Berechnung des Abgasverlusts von Heizkessel 2.

Zur Berechnung des Abgasverlusts von Heizkessel 3 wird Gleichung (23) verwendet. Abweichend zur Berechnung der Brennwertkessel ist der Modulationsbereich von 40 - 100 %. Das bedeutet, dass als kleinster BrMo-Wert 40 % eingesetzt werden kann.

$$q_{Abg,K3} = 0,090794 \cdot BrMo + 0,43697 - 0,10073(\dot{V} - 26,15) \text{ in \%} \quad (23)$$

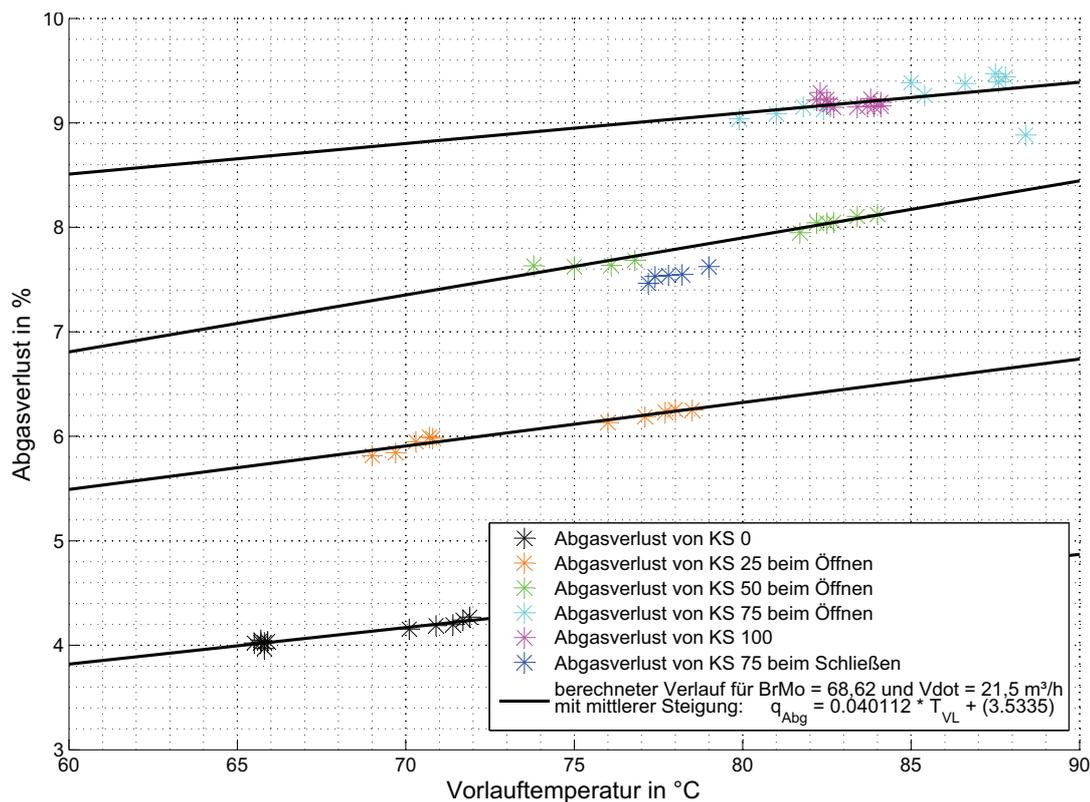
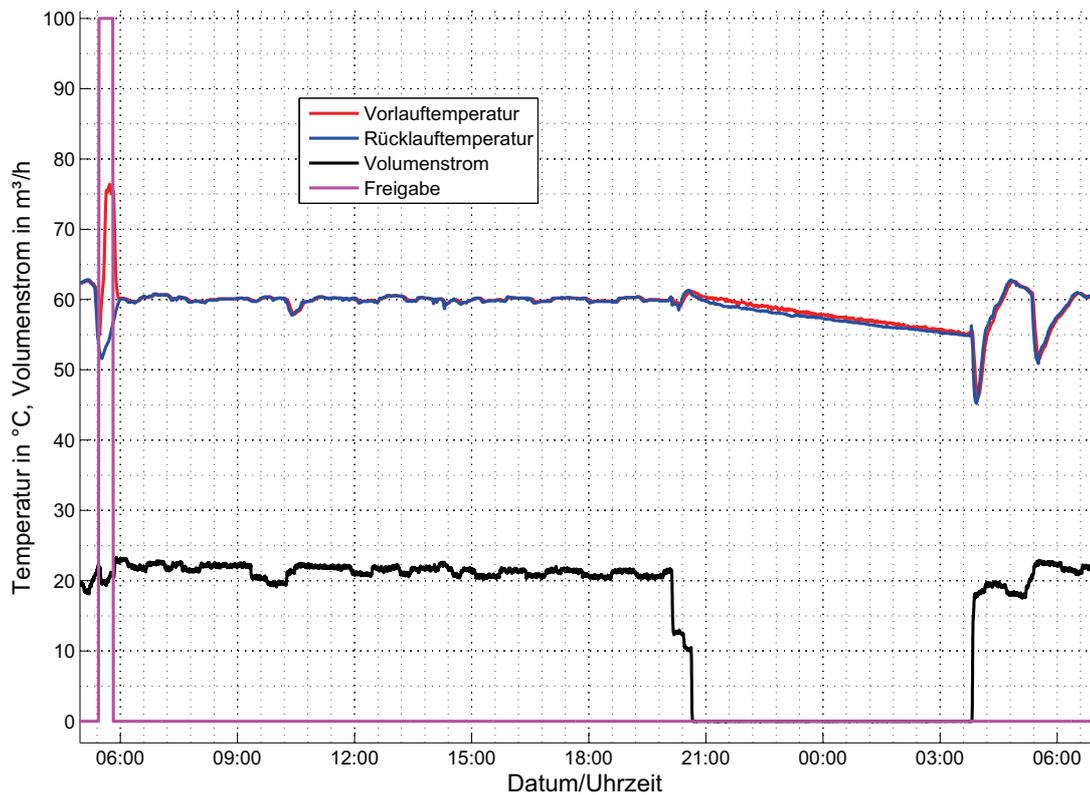


Abbildung 18: Abgasverlust über Vorlauftemperatur von Heizkessel 3

Der Strahlungsverlust sollte durch die Temperaturminderung der Vor- bzw. der Rücklauftemperatur ermittelt werden. Hierfür wurden Bereiche in der Datenaufzeichnung ausgewählt, bei denen die Heizkessel nicht in Betrieb waren, aber trotzdem mit dem Heizungswasser durchströmt wurden. Abb. 19 zeigt einen solchen Bereich für den NT Kessel. Mit Freigabe ist das Signal der GLT gemeint, welches eine Brennerfreigabe erteilt. 100 steht für „Freigabe“ und 0 für „keine Freigabe“. Ist dieses Signal auf 100, so ist der Brenner in Betrieb. Bei einem Freigabewert von 0 ist der Brenner definitiv ausgeschaltet.

Das Diagramm zeigt Vor- und Rücklauftemperatur, Volumenstrom und Brennerfreigabe. Die Temperaturen wurden aus den Aufzeichnungen der GLT genommen, da der selbst angebrachte Vorlauftemperaturfühler dieses Kessels ausgefallen war. Generell wiesen die Messfühler der GLT und die der eigenen Messungen annähernd die selben Temperaturen aus.

Am Anfang der Messung ist der Kessel kurzzeitig in Betrieb, was durch die Freigabe von 100 und der im Vergleich zur Rücklauftemperatur höheren Vorlauftemperatur zu erkennen ist. Nachdem die Freigabe erlischt, wird der Kessel weiterhin durchflossen, wodurch die Vorlauftemperatur auf die Rücklauftemperatur abfällt. In der Theorie sollte die Temperatur des Vorlaufs in dieser Phase unter der Temperatur des Rücklaufs liegen, da durch den Strahlungsverlust ein Teil der Wärme verloren geht. Gegen 21 Uhr wird der Heizkessel für etwa sechs Stunden nicht mehr durchflossen. In diese Zeit fallen die Temperaturen von Vor- und Rücklauf um etwa 10 °C ab. Es ist während dieser Zeit jedoch nicht

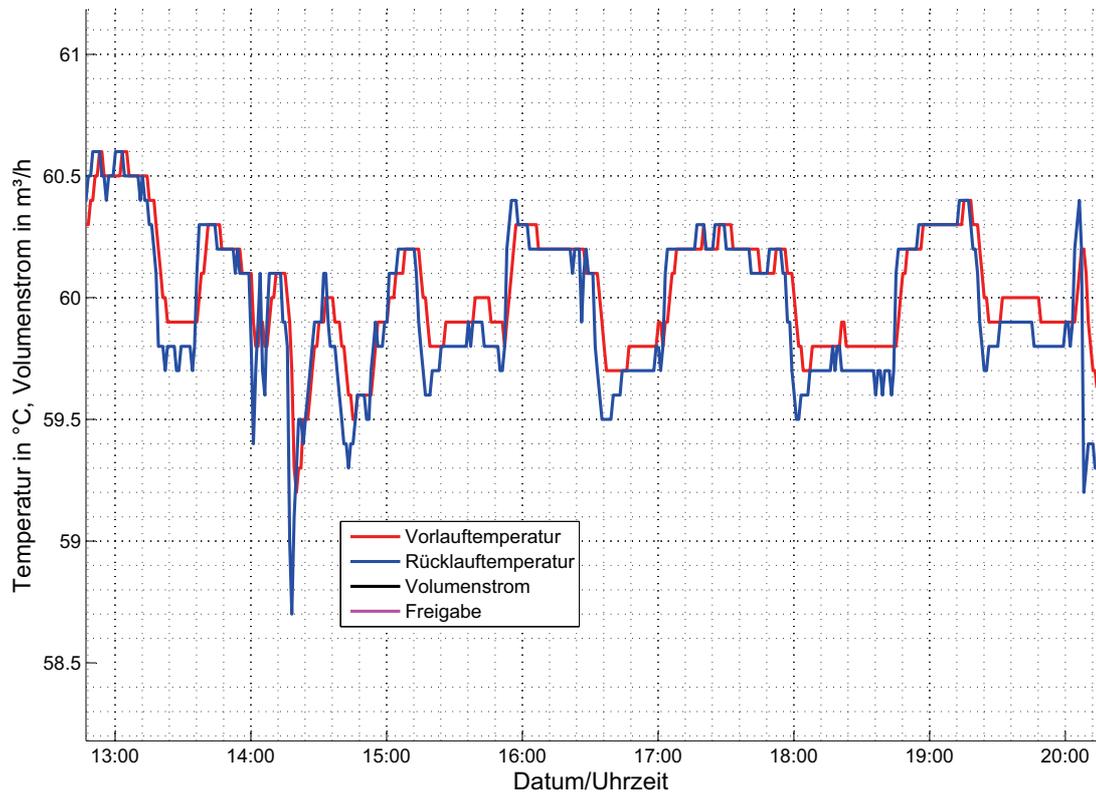


**Abbildung 19:** Temperatur- und Volumenstromverlauf von Heizkessel 3

die Auskühlung des Kessels zu erkennen, sondern lediglich die Heizwassertemperatur der Heizungsrohre von Vor- und Rücklauf, an denen die Temperaturfühler angebracht sind. Beim Betrieb des Heizkessels und wenn dieser durchströmt wird, ist die Vorlauftemperatur zwar näherungsweise als Kesseltemperatur zu nutzen, aber nicht wenn das Wasser in den Rohren steht. Nachdem der Heizkessel anschließend wieder durchströmt wird, nimmt der Kessel wieder die Rücklauftemperatur an.

In Abb. 20 ist ein Ausschnitt aus Abb. 19 dargestellt, in dem der Heizkessel nicht in Betrieb ist und dennoch durchströmt wird. Obwohl der Kessel schon seit einigen Stunden nicht in Betrieb ist, ist keine Abkühlung des Rücklaufs über den Heizkessel zu erkennen. Es ist anzunehmen, dass der Wärmeverlust durch Strahlung kleiner ist, als durch die vorgegebene Messgenauigkeit der Temperaturfühler zu ermitteln wäre. Die Messgenauigkeit der Pt100 Fühler ist in diesem Temperaturbereich etwa  $\pm 0,2$  °C. Mit einer vorherigen Fühlerkalibrierung hätte die Messgenauigkeit vermutlich auf  $\pm 0,1$  °C gesteigert werden können.

Für einen Volumenstrom von etwa  $21 \text{ m}^3/\text{h}$  und einer Temperaturdifferenz von  $0,2 \text{ K}$  entspricht das einer Verlustleistung von weniger als  $4,9 \text{ kW}$ . Anhand der Kesselnennleistung und der Schätzformel aus der DIN V 4701-12 wurde zuvor ein Strahlungsverlust von  $3,8 \text{ kW}$  abgeschätzt. Berechnet man anstelle des Strahlungsverlusts den Mindestvolumenstrom, bei dem die Ermittlung des abgeschätzten Strahlungsverlusts noch möglich wäre, so erhält man einen Volumenstrom der kleiner als  $16 \text{ m}^3/\text{h}$  sein müsste. Leider ließen



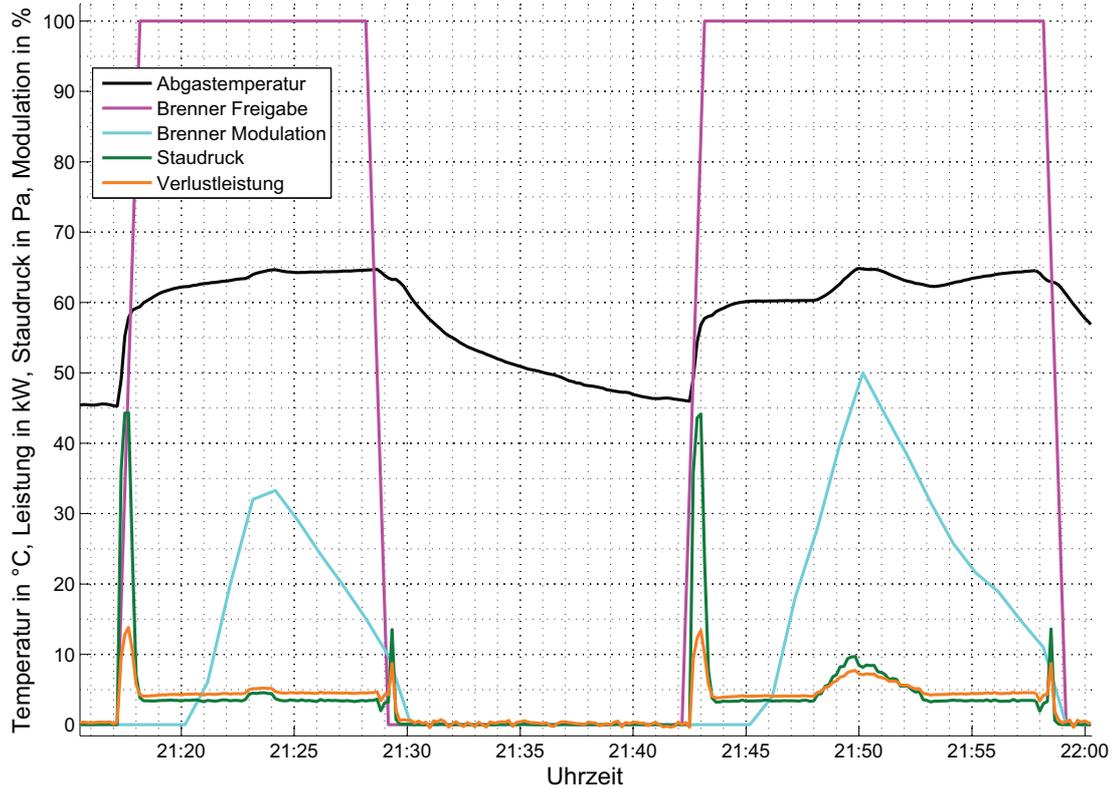
**Abbildung 20:** Temperaturverlauf von Heizkessel 3

auch Bereiche bei denen der Kessel mit  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  durchflossen wurde keine Ermittlung des Strahlungsverlusts zu, da die Temperaturdifferenz von Vor- und Rücklauftemperatur weiterhin zu gering war.

Leider führte die Untersuchung der Bereiche, die mit diesen Kriterien untersucht wurden, ebenfalls zu keinem befriedigendem Ergebnis.

Die Möglichkeit, den Strahlungsverlust durch die Abkühlung des Kessels zu errechnen entfällt ebenfalls, da die Kesseltemperatur nur bei durchströmtem Heizkessel bekannt ist. Somit verbleibt lediglich, den Strahlungsverlust für eine Gesamtbilanz abzuschätzen.

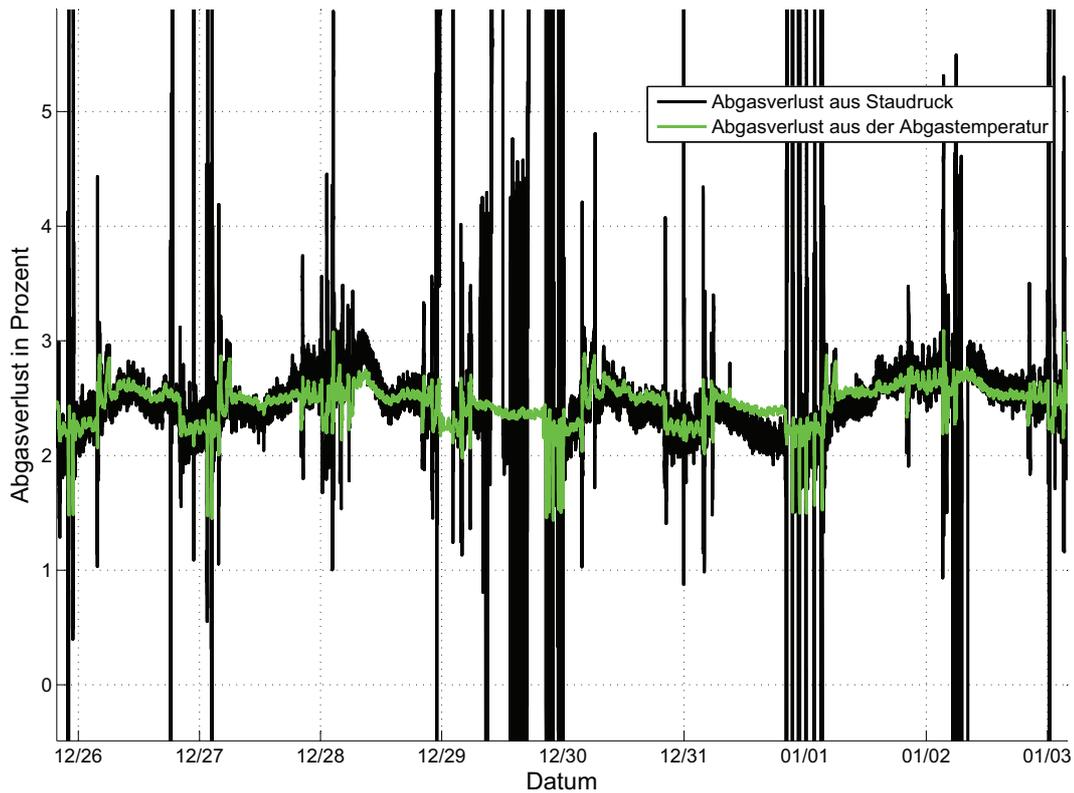
Der Schaltverlust sollte für Heizkessel 2 und 3 durch die Auswertung der aufgezeichneten Werte von Staudruck und Abgastemperatur ermittelt werden. Hierfür wurden Bereiche in den Messdaten analysiert, in welchen die Brenner häufig ein- und ausgeschaltet wurden. Abb. 21 zeigt einen Bereich mit zwei Schaltvorgängen von Heizkessel 2. Anhand der Brennerfreigabe ist zu erkennen, wann der Brenner ein- und ausgeschaltet wird. Direkt nach dem Einschalten ist zu erkennen, dass der im Abgasrohr gemessene Staudruck auf  $45 \text{ Pa}$  ansteigt und anschließend auf etwa  $4 \text{ Pa}$  abfällt. Das ist der erste Spülvorgang der Brennkammer mit „Frischlufte“. Direkt zu Beginn des Spülvorgangs ist auch ein Anstieg der Abgastemperatur festzustellen. Nach dem Abschalten des Brenners ist ein erneuter Spitzenwert im Staudruck zu sehen, der durch den zweiten Spülvorgang der Brennkammer hervorgerufen wird. Zusätzlich ist in dem Diagramm zu erkennen, dass der Regelbereich des Brenners von Heizkessel 2 wirklich erst bei  $30 \%$  beginnt. Beim zweiten Schaltvorgang



**Abbildung 21:** typische Schaltvorgänge von Heizkessel 2

steigt der Staudruck gut sichtbar nach Überschreiten der Brennermodulation von 30 % mit zunehmender Modulation an und verbleibt nach der Unterschreitung wieder auf den 4 Pa der Minimallast.

Der Staudruck ist der, durch die Geschwindigkeit hervorgerufene, dynamische Druck des Abgases in Pa (beim Spülvorgang der Druck der Luft). Anhand des gemessenen Drucks kann daraus wieder die Abgasgeschwindigkeit berechnet werden. Aus der Geschwindigkeit kann, bei bekanntem Rohrquerschnitt, ein Volumenstrom errechnet werden. Die Staudrucksonde war direkt in der Mitte des Querschnitts vom Abgasrohr angebracht. In der Mitte eines Rohres ist die Strömungsgeschwindigkeit am höchsten, wodurch dort nur die Maximalgeschwindigkeit gemessen werden kann. Für ein genaues Ergebnis muss der Volumenstrom jedoch aus der mittleren Geschwindigkeit errechnet werden. Die mittlere Geschwindigkeit kann, wie in der Betriebsanleitung des Staurohrs im Anhang A.2.7 beschrieben, durch das gleichzeitige Messen mit mehreren Staurohren ermittelt werden. Voraussetzung dafür ist, dass genügend Zugänge vorhanden oder anzubringen sind, die eine gleichzeitige Messung möglich machen. Diese Möglichkeit bestand jedoch nicht, da als einziger Zugang die zur Abgasanalyse des Schornsteinfegers vorgesehene Öffnung im Abgasrohr verfügbar war. Aus diesem Grund musste ein geeigneter Faktor zur Berechnung der mittleren Abgasgeschwindigkeit aus der Maximalgeschwindigkeit gefunden werden. Hierfür wurde der Abgasverlust einerseits aus dem linearen Zusammenhang aus Abb. 14 von der Abgastemperatur abgeleitet und andererseits aus dem Staudruck und der

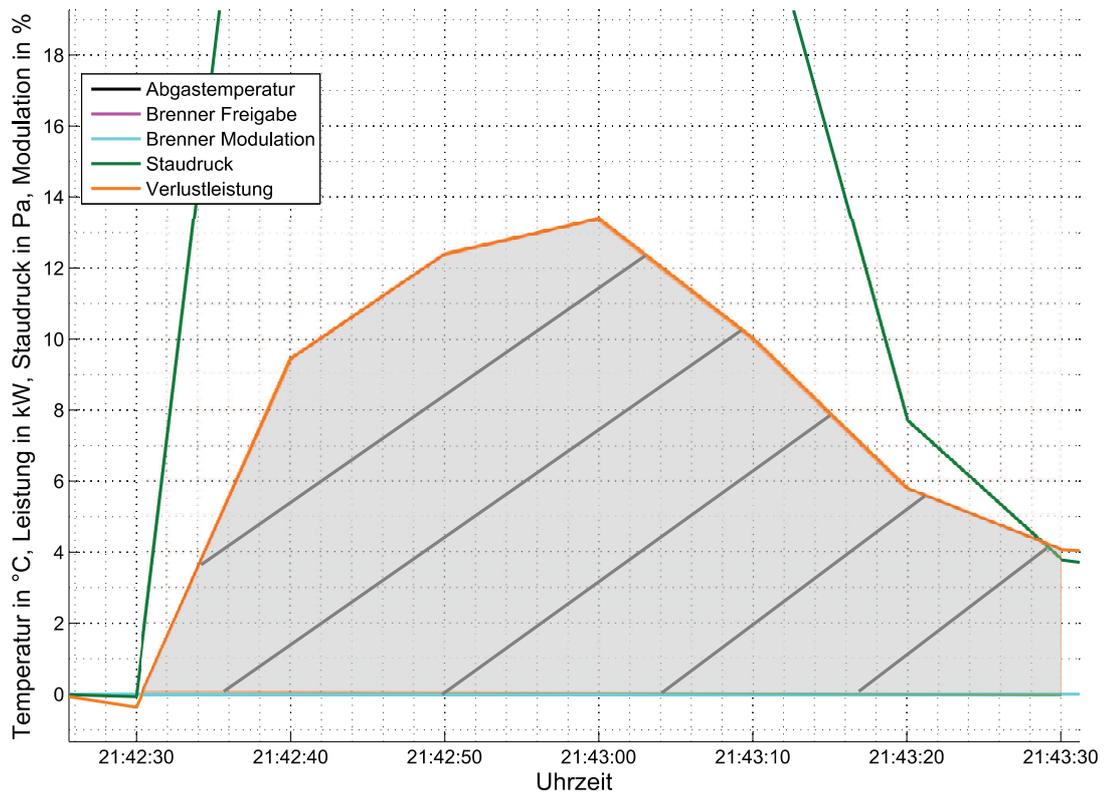


**Abbildung 22:** Vergleich der berechneten Abgasverluste von Heizkessel 2

Abgastemperatur errechnet. Die Verluste wurden graphisch verglichen und es wurde versucht, sie über einen Faktor anzugleichen. Das Ergebnis war, dass die Maximalgeschwindigkeit mit 0,85 multipliziert in etwa der mittleren Geschwindigkeit entsprechen muss, da die Abgasverluste damit graphisch weitestgehend übereinstimmten. Der Vergleich der Abgasverluste nach der Angleichung des aus dem Staudruck errechneten Abgasverlusts ist in Abb 22 dargestellt. Die teilweise sehr großen Abweichungen oder Ausschläge von mehreren Prozent des aus dem Staudruck berechneten Abgasverlusts kommen durch die Berechnungsweise zustande. Die aus dem Abgasvolumenstrom und der Abgastemperatur errechnete Verlustleistung ist auf die Summe von Heiz- und Verlustleistung bezogen worden. Der Strahlungsverlust wurde darin vernachlässigt, wodurch man einen geringfügig größeren prozentualen Abgasverlust erhält. Wenn der Brenner häufig ein- und ausschaltet, ergibt die Rechnung keinen Sinn mehr, da keine Heizleistung vorliegt und führt zu einem scheinbar sehr großen Abgasverlust. Die Staudruckmessung während der Schaltvorgänge ist, unbeachtet der „Ausreißer“ im Rahmen der Messgenauigkeit als zuverlässig zu betrachten.

Der Schaltverlust kann durch Integration der Verlustleistung über die Zeit der Spülvorgänge berechnet werden. Abb. 23 zeigt das Vorgehen zur Berechnung. Die Fläche unter der Verlustleistung entspricht der Verlustwärme im Zeitraum des Spülvorgangs. Für Heizkessel 2 konnten an 29 Tagen der Messung 20 Schaltverluste berechnet werden. Der Staudruck wurde bei Heizkessel 3 nur einen Tag aufgezeichnet, wodurch nur 5 Schaltvorgänge

analysiert werden konnten.



**Abbildung 23:** Berechnung der Verlustwärme von Heizkessel 2

Tabelle 6 zeigt die berechneten Schaltverluste der Heizkessel und deren Mittelwerte. Für Heizkessel 3 wurde der Mittelwert nur aus den ersten drei ermittelten Werten berechnet. Die zwei anderen Werte sind im Vergleich zu den ersten größer, da der Heizkessel von außen zum Takten angeregt wurde und sich beim Erreichen der Maximalleistung abschaltete. Dies führte zu sehr hohen Verlusten von 933 Wh des Spülvorgangs beim Abschalten des Brenners. Der letzte Wert ist mit 1424 Wh noch größer als der vorletzte, da der Brenner direkt nach dem vorherigen Ausschalten mit Maximalleistung wieder eingeschaltet wurde, wodurch die stark erwärmte Luft des vorherigen Spülvorgangs ausgespült wurde.

**Tabelle 6:** Verlustwärme der Schaltvorgänge

<b>Heizkessel 2</b>					
Schaltvorgang	Verlustwärme in Wh				
1 - 5	184,02	173,61	187,85	164,3	178,47
6 - 10	163,57	155,56	183,33	165,63	157,99
11 - 15	173,96	182,29	155,21	163,54	186,11
16 - 20	177,78	195,83	197,92	177,08	186,81
Mittelwert aus 1 - 20	175,54				
<b>Heizkessel 3</b>					
Schaltvorgang	Verlustwärme in Wh				
1 - 5	812,5	815,28	811,81	932,64	1424,31
Mittelwert aus 1 - 3	813,2				

Anhand der Reduktion der Schaltvorgänge des zweiten Heizkessels aus Tab. 4 von S. 4 und des errechneten Schaltverlusts aus Tab. 6 kann eine Einsparung abgeschätzt werden. Die durchschnittlich 2849 Schaltvorgänge sind auf 297 reduziert worden. Das entspricht im Durchschnitt 2552 Schaltvorgänge weniger im Monat. Geht man davon aus, dass diese Verminderung in sechs Monaten im Jahr zutrifft, dann ergibt das eine Gesamtreduktion von etwa 15.000 Schaltvorgängen. Das entspricht einer Energieersparnis von 2633 kWh oder etwa 263 m<sup>3</sup> Erdgas. Bezogen auf den Gesamtverbrauch von 4,7 Mio. kWh im Jahr ergibt sich eine Einsparung von etwa 0,06 %.

Bis hierhin sind alle relevanten Verluste untersucht worden und es stellt sich die Frage, wie sich der Wirkungsgrad der Heizkessel verhält. Um einen Gesamtwirkungsgrad der Heizkessel bei bestimmten Betriebszuständen angeben zu können, ist es wichtig, den Strahlungsverlust mit einzubeziehen. Die Abschätzungsformeln (15) und (16) geben den Strahlungsverlust bei 100 % Auslastung an. Somit kann der Wirkungsgrad und die Feuerungsleistung bei Vollast mit den bisherigen Erkenntnissen berechnet werden.

$$\eta_{Ges} = 1 - q_{Abg} - q_{Str} = \frac{\dot{Q}_{Heiz}}{\dot{Q}_F} \quad \Rightarrow \quad \dot{Q}_F = \frac{\dot{Q}_{Heiz}}{1 - q_{Abg} - q_{Str}}$$

Berechnet man nun die Strahlungsleistung bei Vollast mit

$$\dot{Q}_{Str} = q_{Str} \cdot \dot{Q}_F$$

und nimmt diese als konstant an, dann kann der Strahlungsverlust mit folgender Vereinfachung

$$\dot{Q}_F \approx \frac{\dot{Q}_{Heiz}}{1 - q_{Abg}}$$

näherungsweise über folgende Beziehung für beliebige Kesselbelastungen und Betriebszu-

stände berechnet werden.

$$q_{Str} \approx \frac{\dot{Q}_{Str} \cdot (1 - q_{Abg})}{\dot{Q}_{Heiz}}$$

Daraus kann dann wiederum der Wirkungsgrad und die Feuerungsleistung für beliebige Betriebszustände in guter Näherung berechnet werden.

$$\eta_{Ges} \approx 1 - q_{Abg} - \frac{\dot{Q}_{Str} \cdot (1 - q_{Abg})}{\dot{Q}_{Heiz}} \approx \frac{\dot{Q}_{Heiz}}{\dot{Q}_F} \quad (24)$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_F \approx \frac{\dot{Q}_{Heiz}}{1 - q_{Abg} - \frac{\dot{Q}_{Str} \cdot (1 - q_{Abg})}{\dot{Q}_{Heiz}}} \text{ in kW} \quad (25)$$

Der in den Gleichungen (24) und (25) verwendete Abgasverlust kann mit den Gleichungen 21 - 23 auf S. 21ff berechnet werden. Für die Strahlungsleistung wird der zuvor berechnete konstante Wert eingesetzt. Die Heizleistung ist von der Brennermodulation abhängig und kann durch Extrapolation der Heizleistung aus den Abbildungen des Abgastemperaturverlaufs ermittelt werden (siehe Abb. 11 auf S. 26). Die extrapolierte Heizleistung wurde dazu den Brennermodulationswerten aus Tab. 5 auf S. 22 zugeordnet. Die folgenden linearen Zusammenhänge wurden durch die Zuordnung von den größten errechneten Brennermodulationswerten zu den dabei auftretenden Heizleistungen entworfen:

$$\dot{Q}_{Heiz,K1} = 307 \cdot \frac{BrMo}{93,56} \text{ in kW} \quad (26)$$

$$\dot{Q}_{Heiz,K2} = 680 \cdot \frac{BrMo}{100} \text{ in kW} \quad (27)$$

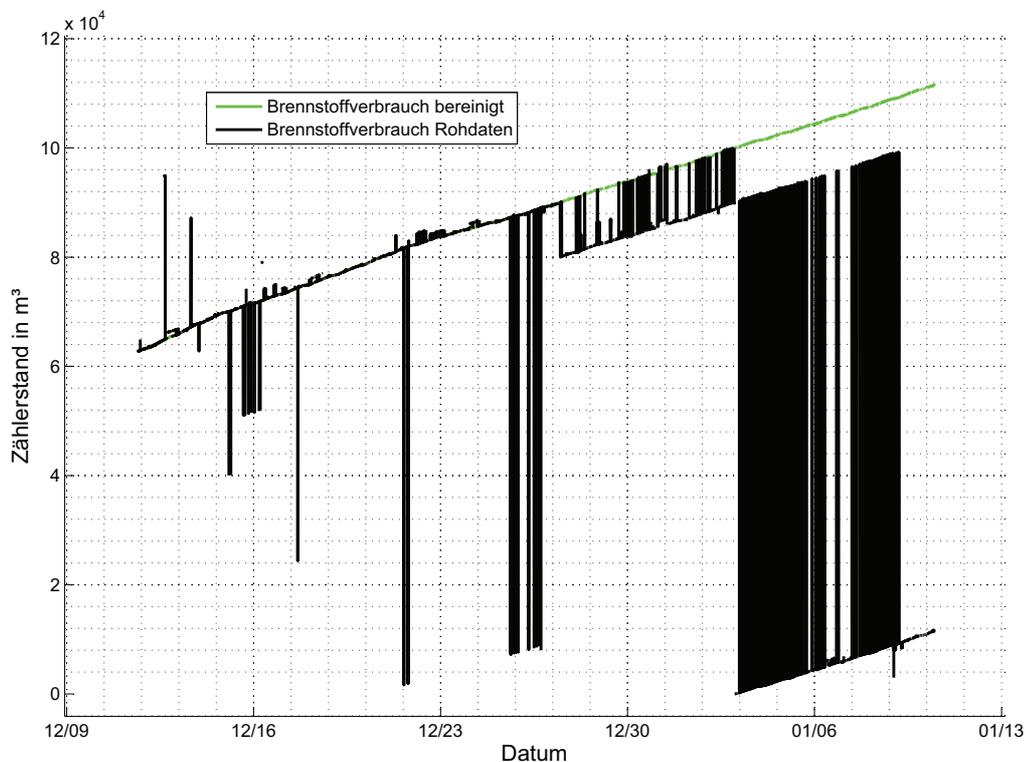
$$\dot{Q}_{Heiz,K3} = 764 \cdot \frac{BrMo}{97,3} \text{ in kW} \quad (28)$$

Die Werte der Brennermodulation müssen in den Gleichungen 26 - 28 in Prozent eingesetzt werden.

### 3.5 Fehlerbetrachtung

Die Fehler der einzelnen Messungen und Berechnungen sollen in der Reihenfolge der Auswertung betrachtet werden. Zunächst wurde in der Auswertung die messtechnische Auslesung des Gaszählers dargestellt. Die Genauigkeit des Gaszählers konnte nicht bestimmt werden und es kann lediglich vermutet werden, dass der Zähler systematisch einen zu geringen Gasverbrauch erfasst. Dieser Schluss kam durch die Tatsache zustande, dass sich die gemessene Heizleistung und die Feuerungsleistung kaum voneinander unterscheiden und ein zu geringer Heizwert sowie die fehlerhafte Messung der Heizleistung für eher unwahrscheinlich erachtet wurden. Vermutlich ist die systematische Messabweichung des Gaszählers auf die Erneuerung der Heizkessel zurückzuführen. Bei dem Umbau wurde die Gesamtleistung der Wärmeerzeugung reduziert, der Gaszähler jedoch nicht ausgetauscht. Vermutlich ist die Gasuhr erst bei einen größeren Brennstoffdurchsatz, als ihn die jetzige Wärmeerzeugung aufbringt, hinreichend genau.

Die Zuverlässigkeit des verwendeten Zähler-Auslesesystems ist in Abb. 24 dargestellt. Der bereinigte Brennstoffverbrauch wird teilweise von den Rohdaten verdeckt. Dies kommt



**Abbildung 24:** Vergleich der Zählerdaten mit und ohne Korrektur

dadurch zustande, dass der Verlauf der Rohdaten in der ersten Hälfte der Messung keine systematischen Abweichung aufweist und nur kurzzeitige Fehlinterpretationen von bestimmten Ziffern aufweist. Das Auslesesystem hat mit der exakten Ziffernerkennung noch einige Schwierigkeiten. Dies kann an einer fehlerhaften Kalibrierung liegen oder daran, dass die Bilderkennung nicht zuverlässig arbeitet. Die mechanischen Rädchen der Zähler

leruhr halten nicht immer exakt in der selben Position an oder sie sind während des Auslesevorgangs dabei weiterzulaufen, was ein Auslesen zusätzlich erschwert bzw. unmöglich macht. Ohne eine Korrektur sind die Messwerte für eine Auswertung definitiv nicht nutzbar gewesen. Dadurch, dass die Fehler der Auslesung häufig bei den selben Ziffern oder Rädchenpositionen auftraten, konnten sie händisch korrigiert werden. Für eine automatisierte Fernauslesung ist das System, so wie es bei dieser Messung arbeitete, nicht verwendbar.

Für die gemessene Heizleistung soll hier der Maximalfehler abgeschätzt werden. Hierfür ist nach dem linearen Fehlerfortpflanzungsgesetz das totale Differenzial der Heizleistung zu bilden. Dieses Verfahren eignet sich allerdings nur, wenn ein konstanter Leistungswert durch das Messen einer konstanten Vor- und Rücklauftemperatur sowie eines konstanten Volumenstroms erfolgt. Erst dann ist es möglich, Mittelwert und Standardabweichung zu berechnen und den absoluten Fehler daraus zu ermitteln.

Für eine überschlägige Abschätzung des Fehlers ist die Betrachtung eines bestimmten Betriebszustandes mit den in den Datenblättern angegebenen Messunsicherheiten der verwendeten Messgeräte zweckmäßig. Mit einer Temperaturspreizung von etwa 20 K, einem Volumenstrom von 20 m<sup>3</sup>/h und den Messunsicherheiten der Temperaturfühler von ±0.2 °C (bei 80 °C), sowie ±3 % vom Volumenstrom ergibt sich, im ungünstigsten Fall, ein Maximalfehler der Heizleistung von:

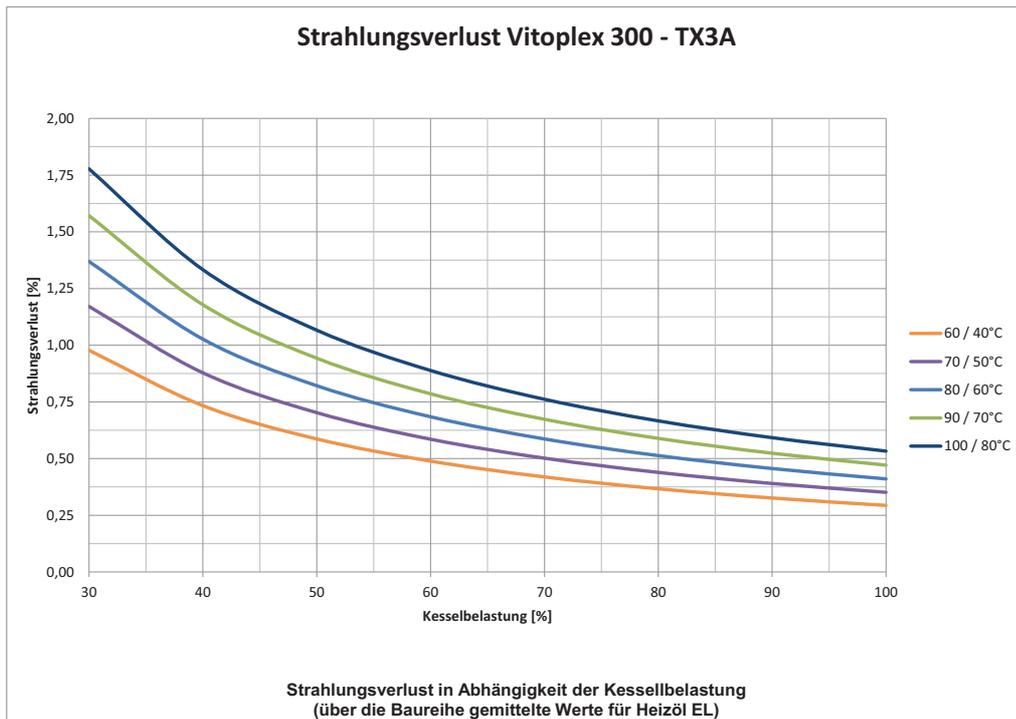
$$\frac{\Delta \dot{Q}_{Heiz}}{\dot{Q}_{Heiz}} \cdot 100 \% = \frac{20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 20 \text{ °C} - 20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,03 \cdot (20 + 0,4) \text{ °C}}{20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 20 \text{ °C}} \cdot 100 \% \approx 5 \%$$

Es ist allerdings sehr unwahrscheinlich, dass alle zufälligen Messabweichungen gleichzeitig in voller Höhe in die selbe Richtung gehen. Man kann davon ausgehen, dass der tatsächliche Fehler geringer ist.

Der Maximalfehler des mit dem Abgasanalysegerät gemessenen Abgasverlusts ist aus einer durchschnittlichen gemessenen Sauerstoffkonzentration der Brennwertkessel von etwa 4,5 %, einer durchschnittlichen Raumtemperatur von 20 °C und einer Abgastemperatur von 70 °C errechnet worden. Die Messgenauigkeiten des Messgeräts sind ±0,2 % der Sauerstoffkonzentration und ±0,5 °C für die Temperaturmessungen. Daraus errechnet sich, über die im Datenblatt (Anhang A.2.5) angegebene Berechnungsformel, ein Maximalfehler von etwa 2 % für den Abgasverlust der Brennwertkessel.

Für den Abgasverlust des Niedertemperaturkessels ist eine durchschnittliche Sauerstoffkonzentration von 4 % und eine Abgastemperatur von 180 °C angenommen worden. Die Messgenauigkeit der Abgastemperatur verändert sich dem Datenblatt nach für Temperaturen über 100 °C auf 5 % vom Messwert. Es ergibt sich ein Maximalfehler des Abgasverlusts von etwa 1 % vom Messwert. Die Tatsache, dass die Streuung in Abb. 14 sehr gering ist, deutet auf einen geringen Messfehler des Abgasverlusts hin.

Der berechnete Strahlungsverlust der Schätzformel kann für den NT-Kessel mit einer von der Firma Viessmann zur Verfügung gestellten Graphik verglichen werden. Abb. 25 zeigt den Strahlungsverlust, so wie er von Viessmann angegeben ist. Zum Vergleich ist der mit Gleichung (15) berechnete Strahlungsverlust über die Brennermodulation bzw. über der Kesselbelastung in Abb. 26 dargestellt. Die Brennermodulation wurde, damit die Dia-

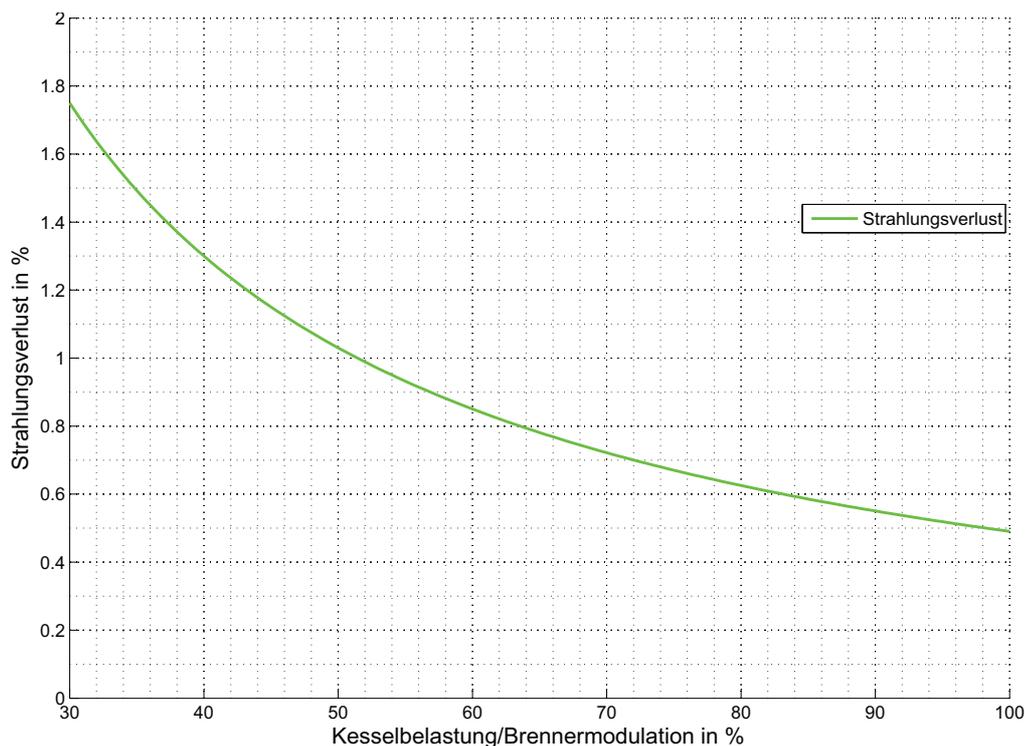


**Abbildung 25:** Angabe zum Strahlungsverlust Quelle: Viessmann

gramme besser vergleichbar sind, von 40-100 % auf 30-100 % erweitert. Der Kurvenverlauf des abgeschätzten Strahlungsverlusts entspricht dem Kurvenverlauf des höchsten Strahlungsverlusts in Abb. 25. Es ist möglich, den Strahlungsverlust durch einen geeigneten Faktor anzupassen, sodass für bestimmte Kesseltemperaturen verschiedene Kurvenverläufe möglich sind. Positiv zu bewerten ist die gute Übereinstimmung des Kurvenverlaufs vom Anfang bis zum Ende. Die verglichenen Kurven haben nicht nur den selben Start- und Endwert, sie durchlaufen auch dazwischen annähernd die selben Punkte.

Für die entwickelten Berechnungsformeln zum Abgasverlust wäre die beste Probe ein Vergleich zwischen einer Abgasmessung und dem berechneten Abgasverlust. Dafür könnten die aus der Gebäudeleittechnik beziehbaren Werte für die Berechnung des Abgasverlusts verwendet werden. Leider können die für diese Arbeit durchgeführten Abgasmessungen nicht als Vergleich verwendet werden, da von außen auf die Kesselsteuerung eingegriffen wurde, wodurch das Modulationssignal der GLT nicht mehr den tatsächlichen Werten entspricht. Für eine Überprüfung der Formeln müsste also eine zusätzliche Langzeitmessung des Abgasverlusts durchgeführt werden, ohne dass von außen in die Regelung eingegriffen wird.

Der Fehler des Schaltverlusts ist rechnerisch nicht zu bestimmen, da zum einen die Problematik der kontinuierlichen Messung eine Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen ausschließt und zum anderen keine Messgenauigkeit der Abgastemperaturfühler vorliegt. Zusätzlich wurde kein Strömungsprofil des Abgasrohrs ermittelt. Die mittlere Abgasgeschwindigkeit wurde aus der Maximalgeschwindigkeit mit Hilfe eines gra-



**Abbildung 26:** Verlauf des abgeschätzten Strahlungsverlusts Kessel 3

phisch ermittelten Faktors errechnet. Die relative Übereinstimmung der Kurvenverläufe in Abb. 22 ist die einzige Evaluationsmöglichkeit.

Die Berechnungsformel für den Gesamtwirkungsgrad kann nicht direkt geprüft werden. Es kann für den Heizkessel 3 ein Vergleich mit einer von der Firma Viessmann zur Verfügung gestellten Darstellung vollzogen werden. Das Problem dabei ist, dass nur der Gesamtwirkungsgradverlauf für einen mit Heizöl betriebenen Kessel zur Verfügung steht. Bei der Verbrennung wird nur halb soviel Wasser aus einem Mol Heizöl wie aus einem Mol Erdgas gebildet. Das führt dazu, dass der Wirkungsgrad von Heizöl ohne Brennwertnutzen tendenziell höher ist als bei der Nutzung von Erdgas.

Abb. 27 zeigt die Darstellung von Viessmann und Abb. 28 den selbst berechneten Wirkungsgradverlauf für einen Volumenstrom von  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ . Der Kurvenverlauf für Vor-/Rücklauftemperatur von  $60/40 \text{ }^\circ\text{C}$  in Abb. 27 kommt dem berechneten Kurvenverlauf am nächsten. Bei 100 % Kesselauslastung unterscheiden sich die Kurven jedoch um zwei Prozentpunkte. Die Steigung der Kurvenverläufe sollte trotz des Unterschieds von Heizöl- zu Ergasnutzung in etwa gleich sein. Dass die Steigung beim berechneten Kurvenverlauf geringer ist als in der Abbildung von Viessmann, muss jedoch nicht heißen, dass die erstellte Formel fehlerhaft ist. Die Abweichung kann durchaus durch Unterschiede im Gesamtsystem tatsächlich vorliegen. Wie Abb. 14 zeigt, wurden für Heizkessel 3 durchaus Abgasverluste von 9,5 % gemessen. Zusammen mit dem Strahlungsverlust ergibt sich daraus ein Gesamtverlust von etwa 10 %, wie in Abb. 28 bei voller Auslastung zu sehen.

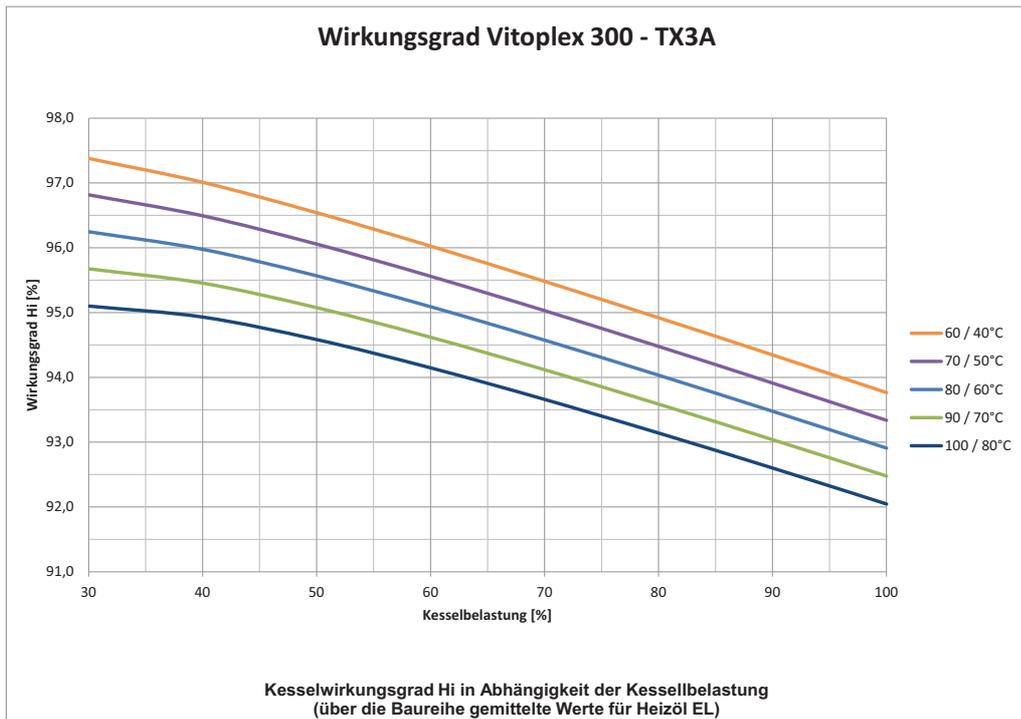


Abbildung 27: Angabe zum Wirkungsgrad Quelle: Viessmann

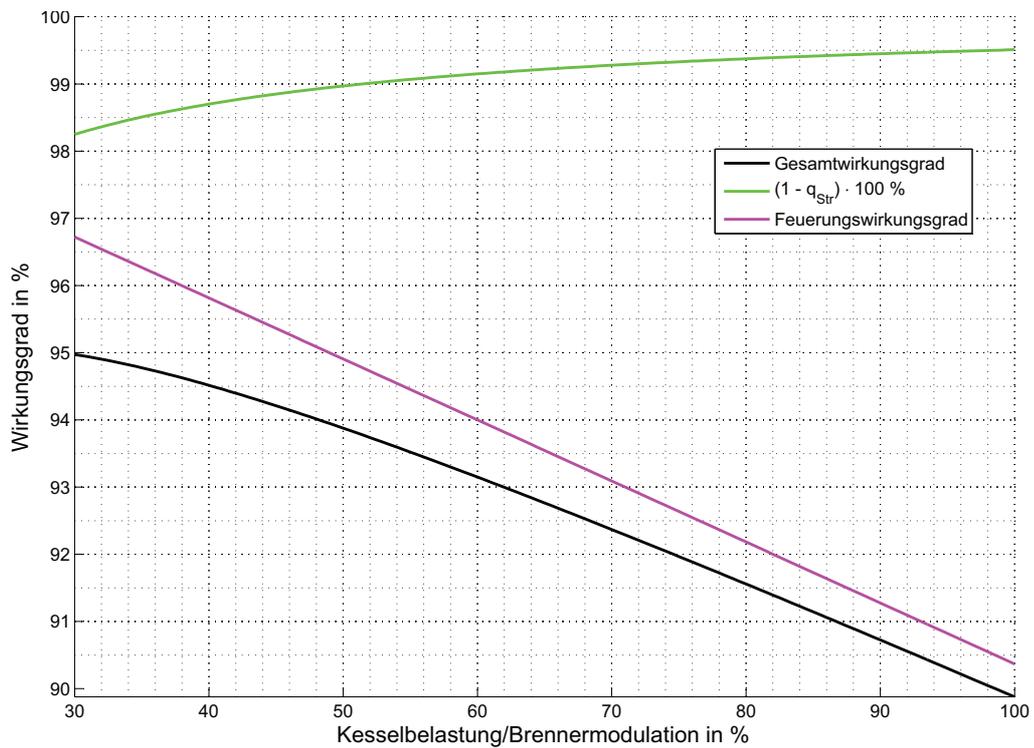


Abbildung 28: Verlauf des berechneten Wirkungsgrads

### 3.6 Zusammenfassende Ergebnisdarstellung

In diesem Abschnitt sollen die entwickelten Formeln noch einmal zusammengefasst dargestellt werden.

#### Heizkessel 1

Abgasverlust für BrMo von 30 - 100 %:

$$q_{Abg} = 0,0093207 \cdot BrMo + 1,406 + 0,045427(\vartheta_{RL} - 51,3) - 0,010372(\dot{V} - 9,13) \text{ in \%}$$

Strahlungsverlust bei 100 % Brennermodulation:

$$q_{Str} = 5,5 \cdot \dot{Q}_K^{-0,4} \text{ in \%}$$

Heizleistung:

$$\dot{Q}_{Heiz} = 307 \cdot \frac{BrMo}{93,56} \text{ in kW}$$

#### Heizkessel 2

Abgasverlust für BrMo von 30 - 100 %:

$$q_{Abg} = 0,011926 \cdot BrMo + 1,3849 + 0,014624(\vartheta_{RL} - 49,6) - 0,031545(\dot{V} - 24,5) \text{ in \%}$$

Strahlungsverlust bei 100 % Brennermodulation:

$$q_{Str} = 5,5 \cdot \dot{Q}_K^{-0,4} \text{ in \%}$$

Heizleistung:

$$\dot{Q}_{Heiz} = 680 \cdot \frac{BrMo}{100} \text{ in kW}$$

#### Heizkessel 3

Abgasverlust für BrMo von 40 - 100 %:

$$q_{Abg} = 0,090794 \cdot BrMo + 0,43697 - 0,10073(\dot{V} - 26,15) \text{ in \%}$$

Strahlungsverlust bei 100 % Brennermodulation:

$$q_{Str} = 7 \cdot \dot{Q}_K^{-0,4} \text{ in \%}$$

Heizleistung:

$$\dot{Q}_{Heiz} = 764 \cdot \frac{BrMo}{97,3} \text{ in kW}$$

## Gesamtwirkungsgrad

Für den Gesamtwirkungsgrad muss zunächst die Feuerungsleistung bei 100 % Brennermodulation berechnet werden, indem in folgende Gleichung der berechnete Abgasverlust, Strahlungsverlust und die Heizleistung bei 100 % BrMo eingesetzt werden (Abgasverlust und Strahlungsverlust als Dezimalwert).

$$\dot{Q}_F = \frac{\dot{Q}_{Heiz}}{1 - q_{Abg} - q_{Str}} \text{ in kW}$$

Aus der Feuerungsleistung und dem Strahlungsverlust wird dann die Strahlungsverlustleistung bei voller Kesselbelastung berechnet.

$$\dot{Q}_{Str} = q_{Str} \cdot \dot{Q}_F \text{ in kW}$$

In die Gleichung des Gesamtwirkungsgrads werden dann die Heizleistung und der Abgasverlust immer bei der selben Brennermodulation berechnet und eingesetzt. Für die Strahlungsverlustleistung wird immer der zuvor berechnete konstante Wert eingesetzt. Daraus ergibt sich dann der Gesamtwirkungsgrad bei der jeweiligen Brennermodulation.

$$\eta_{Ges} \approx 1 - q_{Abg} - \frac{\dot{Q}_{Str} \cdot (1 - q_{Abg})}{\dot{Q}_{Heiz}}$$

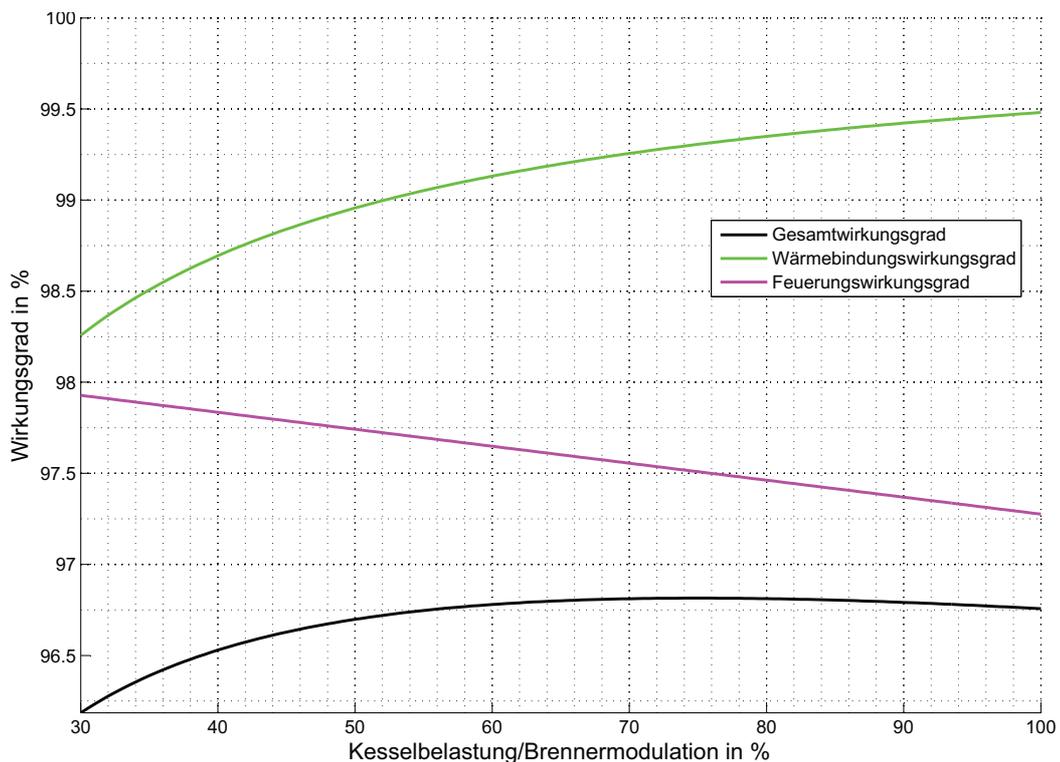
Die selben Bedingungen wie für den Gesamtwirkungsgrad gelten ebenfalls, wenn die Feuerungsleistung für beliebige Betriebszustände berechnet werden soll.

$$\dot{Q}_F \approx \frac{\dot{Q}_{Heiz}}{1 - q_{Abg} - \frac{\dot{Q}_{Str} \cdot (1 - q_{Abg})}{\dot{Q}_{Heiz}}} \text{ in kW}$$

## 4 Optimierung

### 4.1 Optimierung der Wärmeerzeugung

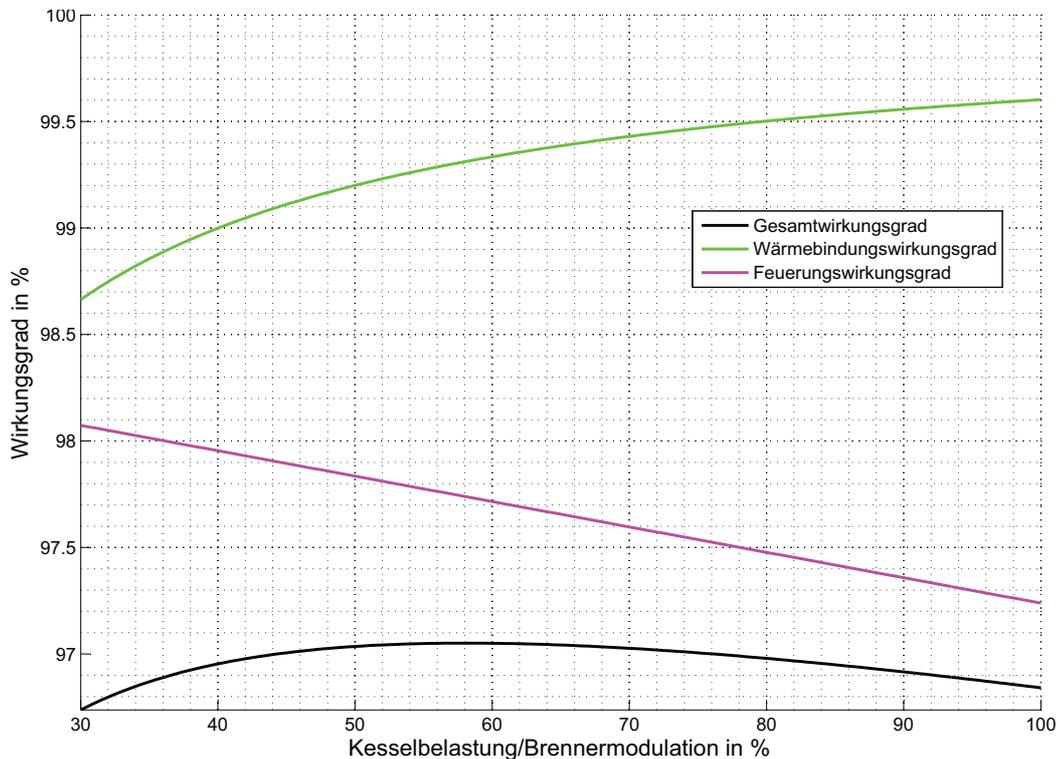
Die Grundlage für eine Optimierung der Wärmeerzeugung bilden die im Abschnitt 3.4 entwickelten Gleichungen zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads. Abb. 29 zeigt von Heizkessel 1 den Gesamtwirkungsgrad, den Feuerungswirkungsgrad und einem weiteren Wirkungsgrad der hier als „Wärmebindungswirkungsgrad“ eingeführt werden soll. Der Wärmebindungswirkungsgrad kann, ähnlich wie der feuerungstechnische Wirkungsgrad, errechnet werden, indem statt dem prozentualen Abgasverlust der prozentuale Strahlungsverlust von 100 % abgezogen wird. Die Wirkungsgrade wurden mit einer Rücklauftemperatur von 60 °C und einem Volumenstrom von 10 m<sup>3</sup>/h berechnet.



**Abbildung 29:** Gesamtwirkungsgrad in Abhängigkeit der Kesselbelastung von Heizkessel 1

Der Gesamtwirkungsgrad von Heizkessel 1 erreicht im Mittleren Modulationsbereich zwar ein Maximum, ist aber zwischen 50 und 100 % relativ stabil. Erst bei einer niedrigen Brennermodulation verringert sich der Gesamtwirkungsgrad durch den relativ zur Heizleistung zunehmenden Strahlungsverlust um etwa 0,5 Prozentpunkte. Es ist nun keine klare Empfehlung mehr für den optimalen Brennermodulationsbereich zu geben, da der Gesamtwirkungsgrad bei niedriger Auslastung des Heizkessels unter bestimmten Umständen deutlich erhöht werden kann. Die Abgastemperatur wird, bei geringer Brennermodulation, durch die Rücklauftemperatur deutlich stärker abgesenkt, als bei einer hohen Modulation. Dadurch kann der Brennwert des Erdgases eher im niedrigen Modulations-

bereich genutzt werden, wenn die Rücklauftemperatur unter der Taupunkttemperatur des Abgases liegt. Bei Rücklauftemperaturen oberhalb der Taupunkttemperatur sollte der Heizkessel 1 aus Effizienzgründen über 55 % Brennermodulation gefahren werden. Um den Brennwert bei geringen Rücklauftemperaturen bestmöglich auszunutzen ist eine niedrigere Kesselbelastung zu empfehlen. Unter Umständen könnte dies jedoch zu Engpässen in der Wärmeversorgung führen, weshalb in diesem Fall beide Brennwertkessel oder nur derjenige, dessen Leistung mit geringer Modulation ausreicht, betrieben werden sollten.



**Abbildung 30:** Gesamtwirkungsgrad in Abhängigkeit der Kesselbelastung von Heizkessel 2

In Abb. 30 sind die Wirkungsgrade von Heizkessel 2 über die Kesselbelastung aufgetragen. Die Berechnungen wurden mit einer Rücklauftemperatur von 60 °C und einem Volumenstrom von 23,5 m<sup>3</sup>/h durchgeführt. Es ergibt sich ein ähnliches Bild wie beim Heizkessel 1. Mit der Ausnahme, dass die Spitze des Wirkungsgrads etwas ausgeprägter ist, da der Wirkungsgrad ab 70 Brennermodulation wieder etwas absinkt. Heizkessel 2 wird somit am effektivsten im Bereich zwischen 50 und 70 % Brennermodulation betrieben. Eine sehr niedrige und eine sehr hohe Kesselbelastung führt zu geringfügig höheren Verlusten von etwa 0,3 %

Der Gesamtwirkungsgrad von Heizkessel 3 ist in Abschnitt 3.5 bereits dargestellt worden. Der Strahlungsverlust des NT-Kessels wirkt sich auch unteren Modulationsbereich des Brenners nicht sehr stark auf den Gesamtwirkungsgrad aus, sodass der effizienteste Betrieb des Heizkessels durch den stark reduzierten Abgasverlust mit niedriger Brennermodulation zu erreichen ist.

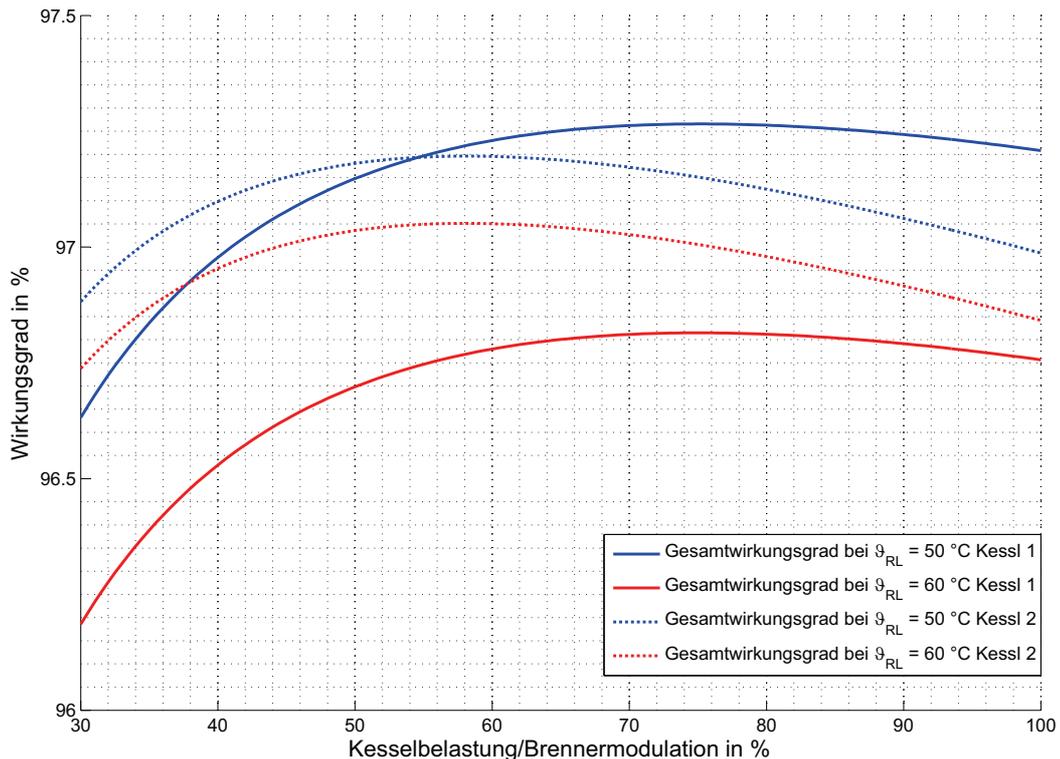
Insgesamt sind die zusätzlichen Verluste durch Belastungsunterschiede der Brennwertkessel mit 0,3 - 0,5 %relativ gering, weshalb eine Änderung der derzeitigen Regelstrategie nicht erforderlich ist. Obwohl die ursprüngliche Idee der Regelstrategie hauptsächlich darin bestand, die Schaltverluste zu reduzieren und den Heizkessel 3 möglichst wenig in Betrieb zu nehmen, wurde damit auch die optimale Betriebsweise der Brennwertkessel mit abgedeckt. Die Tatsache, dass der Niedertemperaturkessel nur eingeschaltet wird, wenn die Leistung der Brennwertkessel nicht ausreicht, ist aufgrund der etwa fünffach höheren Verluste klar gerechtfertigt. Ein gleichzeitiges Hochfahren und Belasten der Brennwertkessel kann nicht mehr grundsätzlich empfohlen werden, da die Verluste sich dadurch im niedrigen Modulationsbereich sogar erhöhen würden. Einzig bei Rücklauftemperaturen unter der Abgastaupunkttemperatur sollte dies eine erhebliche Wirkungsgraderhöhung durch den zusätzlichen Brennwertnutzen mit sich bringen. Effizienter ist es erst einen Brennwertkessel voll auszulasten bevor der andere hinzu geschaltet wird.

## 4.2 Verbraucherseitige Optimierung

Eines der größten Problem der Heizungsanlage ist, dass die Rücklauftemperatur beinahe dauerhaft über 50 °C liegt. Einerseits können die Brennwertkessel dadurch nur kurzzeitig im Brennwertbereich arbeiten und andererseits sind dadurch die Verteilungsverluste und Kesselverluste erhöht. Eine Möglichkeit, die Rücklauftemperatur zu senken, ist das Aufspüren und Vermeiden von hydraulischen Kurzschlüssen. Ein Kurzschluss kann beispielsweise entstehen, wenn ein Raum mit einer zu kleinen Heizung ausgestattet ist, wodurch der Raum nicht ausreichend versorgt werden kann. Das Thermostat der Heizung öffnet dann komplett, um den Raum zu erwärmen. Die Wärme kann aber über den zu kleinen Heizkörper nur begrenzt abgegeben werden und im Extremfall hat der Rücklauf des Heizkörpers dadurch annähernd die Vorlauftemperatur. Sind in einem Gebäude mehrere solcher Kurzschlüsse vorhanden, kann sich insgesamt eine unnötig hohe Rücklauftemperatur ergeben.

In Abb. 31 ist dargestellt, wie groß die Einsparungen der Brennwertkessel bei Senkung der Rücklauftemperatur um 10 °C wären. Es wäre zu erwarten gewesen, dass die Rücklauftemperaturabhängigkeiten der Brennwertkessel in etwa gleich sind. Doch der Heizkessel 2 zeigt deutlich geringere Empfindlichkeit gegenüber Rücklauftemperaturänderungen. Für Heizkessel 1 würde eine Rücklauftemperatursenkung um 10 °C etwa 0,4 % weniger Verluste bedeuten und für Heizkessel 2 etwa 0,15 % weniger. Eine Steigerung um bis zu 11 % würde eine dauerhaft niedrige Rücklauftemperatur bringen, die 10 - 15 °C unter der Abgastaupunkttemperatur liegt und dadurch dauerhaft den Brennwert nutzen könnte (siehe Abb. 2). Bei einem durchschnittlichen Energiebedarf der Wärmeerzeugung von etwa 4,7 Mio. kWh im Jahr entspricht ein um 0,2 % höherer Wirkungsgrad etwa 9400 kWh Energieersparnis.

Eine weitere Möglichkeit, die Rücklauftemperatur zu senken und ein zusätzliches Einsparpotenzial birgt die Warmwasserbereitung der Labore. Diese muss dauerhaft mit einer Vorlauftemperatur von etwa 75 °C versorgt werden. Die benötigte Vorlauftemperatur für die Heizungen würde im Sommer bei 40 °C liegen. Das unnötig heiße Wasser zirkuliert in der gesamten Anlage, da die Warmwasserbereitung der Labore zu weit entfernt von der



**Abbildung 31:** Gesamtwirkungsgrad für verschiedene Rücklauftemperaturen

Wärmeerzeugung angebracht ist und somit kein Mischkreis installiert werden kann. Die Warmwasserbereitung müsste komplett von der übrigen Heizungsanlage getrennt werden und getrennt versorgt werden. Vor allem in den Sommermonaten könnten die Verteilungsverluste auf diese Weise deutlich reduziert werden.

In Verbindung mit einem hydraulischen Abgleich könnte zusätzlich der Volumenstrom in der gesamten Anlage reduziert werden, wodurch die Rücklauftemperatur weiter gesenkt und Pumpleistung eingespart werden kann.

Die Durchströmverluste, die überwiegend beim Heizkessel 3 auftreten, könnten über einen gut gedämmten und geregelten Bypass verhindert werden. In dem Messzeitraum von 30 Tagen ist der Kessel 3 etwa 606 h (720 h sind möglich) durchströmt worden ohne in Betrieb gewesen zu sein. Die Strahlungsverlustleistung des Kessels liegt bei etwa 4,26 kW. Angenommen zwei Drittel der Strahlungsverlustleistung gehen über den durchströmten Heizkessel verloren, dann errechnet sich daraus ein Gesamtverlust von etwa 1721 kWh im genannten Messzeitraum. Die Verlustleistung über den Bypass kann vernachlässigt werden. Der errechnete Gesamtverlust könnte also durch die Installation eines geregelten Bypass innerhalb von 30 Tagen eingespart werden. Für das Jahr 2012 ergibt sich aus den Daten der GLT eine Durchflusszeit von 4211 h und damit etwa 12.000 kWh Verlustwärme. Das entspricht etwa 0,25 % von den durchschnittlich 4,7 Mio. kWh Gesamtverbrauch der Heizungsanlage im Jahr.

## 5 Fazit und Ausblick

Trotz vereinzelter Schwierigkeiten bei der Auswertung der Messergebnisse, wie der zu geringen Verbrauchswerte des Gaszählers im Verhältnis zur eingebrachten Heizleistung, ist es gelungen, eine Gesamtbilanz der Wärmeerzeugungsanlage zu erstellen und den optimalen Betrieb der einzelnen Heizkessel und des Gesamtsystems zu bestimmen. Die Wirkungsgrade der untersuchten Brennwertkessel liegen, bezogen auf den Heizwert des Brennstoffs, über den gesamten Modulationsbereich bei etwa 97 %. Der untersuchte Niedertemperaturheizkessel besitzt innerhalb des Modulationsbereichs einen Wirkungsgrad zwischen 90 und 95 %. Die Brennwerttechnik ist der Niedertemperaturtechnik somit energetisch vorzuziehen, auch wenn die Heizkessel nicht im Brennwertbereich arbeiten.

Mit den gewonnenen Ergebnissen kann gezeigt werden, dass durch die momentane Regelstrategie bereits ein effizienter Kesselbetrieb gegeben ist. Zukünftig wird es nach Implementierung der Ergebnisse in einem Simulationsmodell ermöglicht, den Kesselbetrieb weiter zu optimieren. Weiteres Optimierungspotenzial steckt vor allem auf der Seite der Verbraucher und der Wärmeverteilung. Es ist dadurch beispielsweise möglich, die Rücklauftemperatur soweit zu senken, dass die Brennwertkessel häufiger und länger im Brennwertbereich arbeiten können, was bisher nur kurzzeitig morgens beim Aufheizen der Anlage vorkommt.

Die ermittelte Energieersparnis, die durch das Verringern der Schalthäufigkeiten des Brenners von Heizkessel 2 erzielt wurde, liegt bezogen auf den Gesamtenergiebedarf der Anlage von 4,7 Mio. kWh zwar lediglich bei etwa 0,06 %, kann aber die Lebensdauer von Brenner und Kessel erhöhen und damit ebenfalls zur Wirtschaftlichkeit beitragen.

Aufgrund der nicht verwendbaren Messwerte des Gaszählers zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads fehlte leider eine Kontrollmöglichkeit der gewonnenen Ergebnisse. Ebenfalls ging dadurch eine weitere Berechnungsmöglichkeit für den Strahlungsverlust verloren, sodass dieser nicht bestimmt werden konnte und anhand gegebener Berechnungsformeln der DIN V 4701-12 abgeschätzt wurde.

Die Auswertung der Abgasmessungen hätte erleichtert werden können, wenn die Messungen bei den einzelnen Klappenstellungen etwa 15 min statt den verwendeten 5-8 min andauert hätten. Einerseits lagen so noch keine stabilen Heizleistungen vor und andererseits waren die Änderungen in der Rücklauftemperatur und im Volumenstrom gering und selten. Besser sind sogar halbstündige Messungen bei allen Klappenstellungen, da dann nach Erreichen einer stabilen Heizleistung, mehr Zeit bleibt in der Änderungen im Volumenstrom und der Rücklauftemperatur bei konstanter Heizleistung erfasst werden können. Längere Messreihen und die dadurch größere Datenmenge hätten das Auswerten der Abhängigkeiten von der Rücklauftemperatur und dem Volumenstrom stark vereinfacht, da es nicht so zeitaufwendig gewesen wäre Bereiche zu finden, in denen sich nur ein Parameter ändert. Bei Messungen, die während des regulären Betriebs einer Heizungsanlage durchgeführt werden, sollte zu jeder Zeit die ausreichende Versorgung des Gebäudes gewährleistet sein, wodurch im einzelnen entschieden werden muss, wie lange die Messungen tatsächlich durchgeführt werden können.

Das in dieser Arbeit zum Auslesen des Gaszählers verwendete Gerät, der Comet XRM 60, kann durch die häufige Fehlinterpretation der Ziffern des Gaszählers nicht empfohlen wer-

den. Die aufgezeichneten Werte des Gasverbrauchs konnten ohne eine Korrektur nicht weiter verwendet werden. Die Rohdaten mussten zudem manuell korrigiert werden, da ohne erheblichen Programmieraufwand kein Korrekturalgorithmus denkbar gewesen ist.

Offen bleibt die Frage, wie genau die in dieser Arbeit entwickelten Formeln zur Berechnung des betriebsabhängigen Abgas- und Gesamtverlusts den tatsächlichen Energieverbrauch der Wärmeerzeugung abbilden können. Dies könnte mit Hilfe eines Vergleichs von den berechneten Werten mit einer Langzeitmessung des Abgasverlusts oder mit den abgerechneten Jahresverbräuchen überprüft werden. Der abgeschätzte Strahlungsverlust, der in der Berechnungsformel des Gesamtwirkungsgrads Verwendung findet, ist darin bisher ein konstanter Wert. In Zukunft könnte dieser in Abhängigkeit von der Kesseltemperatur bzw. der Vorlauftemperatur bestimmt werden und in die Formel implementiert werden. Zudem können die Formeln noch um einen Term erweitert werden, welcher den Brennwertnutzen berücksichtigt.

## Zusammenfassung

Ziel der Arbeit ist es, die betriebsabhängigen Kesselverluste der untersuchten Heizungsanlage zu bestimmen, um damit Verbesserungsvorschläge für die Betriebsweise der Kessel geben zu können. Ebenfalls sollen die Ergebnisse für eine Simulation nutzbar gemacht werden. Bisher kann mit der Simulation nur die benötigte Heizleistung bestimmter Kesselbetriebsweisen errechnet werden, nicht aber der dafür benötigte Brennstoffverbrauch.

Für die Bestimmung der Kesselverluste wurden zusätzlich zu den in der Gebäudeleittechnik vorhandenen Messstellen weitere Messgeräte installiert. Anschließend wurden die aufgenommenen Daten mit MATLAB und EXCEL ausgewertet. Einige der Daten mussten für die Auswertung aufbereitet bzw. korrigiert werden, da sie ansonsten nicht verwendbar waren.

Insgesamt sollten Abgasverlust, Strahlungsverlust, Auskühlverlust, Schaltverlust, Durchflussverlust, Brennwertnutzen und der Gesamtwirkungsgrad der Heizkessel untersucht werden. Das Vorhandensein des Auskühlverlusts konnte im Laufe der Untersuchungen ausgeschlossen werden, da die Gebläsebrenner der Heizkessel eine Luftdurchströmung des ausgeschalteten Heizkessels verhindern. Der Brennwertnutzen konnte nicht ermittelt werden, da die Rücklauftemperatur der Heizungsanlage selten unter der Abgastaupunkttemperatur liegt. Die Heizkessel arbeiten somit in der untersuchten Anlage überwiegend nicht im Brennwertbereich. Bei der Auswertung der aufgezeichneten Werte des Gaszählers zeigte sich, dass die Werte tendenziell zu gering waren und keinen Schluss auf die tatsächliche Feuerungsleistung zuließen.

Von den untersuchten Kesselverlusten konnten nicht alle wie geplant ermittelt werden. Der Strahlungsverlust musste mit einer in der DIN V 4701-12 angegebenen Formel abgeschätzt werden, da die Messgenauigkeit der verwendeten Geräte eine Bestimmung nicht erlaubte. Der Durchflussverlust, welcher bei einem ausgeschalteten und dabei vom Heizungswasser durchflossenen Kessel auftritt, konnte, da er über den Strahlungsverlust bestimmt wird, ebenfalls nur abgeschätzt werden. Die übrigen untersuchten Verluste konnten wie geplant bestimmt werden. Die Verluste, die während eines Taktbetriebs der Heizkessel auftreten, konnten beziffert werden, wodurch es nun möglich ist, den energetischen Nutzen durch die Reduktion der Brennerschaltvorgänge zu ermitteln. Für den Abgasverlust konnte die Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur, dem Volumenstrom und der Brennermodulation ermittelt und in einer Gleichung festgehalten werden. Mit dem Abgasverlust und dem abgeschätzten Strahlungsverlust wurde anschließend das Verhalten des Gesamtwirkungsgrads der Heizkessel untersucht, um die optimale Betriebsweise zu erkennen und die Zweckmäßigkeit der derzeitigen Regelung zu überprüfen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die derzeitigen Regelung der Heizungsanlage bereits einen effizienten Betrieb gewährleistet. Lediglich einige bei der Optimierung gewonnenen Ideen, welche die Wärmeerzeugung in Sonderfällen noch effizienter machen würden, könnten in Zukunft noch in die Regelung implementiert werden. Die Brennwertkessel könnten, bei Rücklauftemperaturen unter der Taupunkttemperatur des Abgases, gleichzeitig mit niedriger Brennermodulation laufen. Je niedriger der Modulationsbereich, desto näher kommt die Abgastemperatur der Rücklauftemperatur. Dadurch könnte die Brennwerttechnik zumindest zeitweise ausgenutzt werden. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Brenn-

werttechnik der Niedertemperaturtechnik auch ohne Brennwertnutzen überlegen ist, da der Gesamtwirkungsgrad der Brennwertkessel mit etwa 97 % über dem Wirkungsgrad des Niedertemperaturkessels liegt, welcher abhängig von der Kesselbelastung zwischen 90 und 95 % schwankt.

## Literatur

- [Bee84] BEEDGEN, O.: *Öl- und Gasfeuerungstechnik*. 2. Aufl. Ladenburg : Werner, 1984
- [DIN04] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. : *DIN V 4701-12 Energetische Bewertung heiz und raumluftechnischer Anlagen im Bestand*. Berlin, Feb. 2004
- [EEPP87] ENDRULLAT, K. ; EPINATJEFF, P. ; PETZOLD, D. ; PROTZ, H.: *Wärmetechnik*. Bd. IV. Berlin : Springer-Verlag, 1987
- [KBFH10] KOENIGSDORFF, R. ; BECKER, M. ; FLOSS, A. ; HAIBEL, M. ; PEHNT, M. (Hrsg.): *Energieeffizienz*. 1. Aufl. Berlin : Springer Verlag, 2010
- [Roo02] ROOS, Hans (Hrsg.): *Hydraulik der Wasserheizung*. 5. Aufl. Oldenbourg, 2002
- [RS03] RECKNAGEL, H. ; SPRENGER, E. ; SCHRAMEK, R. (Hrsg.): *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. 71. Aufl. München : Oldenbourg, 2003
- [SPHL12] SEWE, E. ; PANGALOS, G. ; HARMSSEN, A. ; LICHTENBERG, G.: Umsetzung eines neuen Konzepts zur Mehrkesselregelung mit Durchflusssensoren. In: *HLH* 1 (2012), S. 37 – 42
- [VDI12] VDI FACHBEREICH TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG: *VDI 2067 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen*. Düsseldorf, Sep. 2012

# Anhangsverzeichnis

A.1	Diagramme . . . . .	58
A.1.1	Heizkessel 1 . . . . .	58
A.1.2	Heizkessel 3 . . . . .	61
A.2	Datenblätter . . . . .	63
A.2.1	Kessel 1 . . . . .	63
A.2.2	Kessel 2 . . . . .	66
A.2.3	Kessel 3 . . . . .	69
A.2.4	Durchflussmesser . . . . .	72
A.2.5	Abgasanalysegerät . . . . .	75
A.2.6	PT100 1/3 DIN . . . . .	79
A.2.7	Staurohr . . . . .	80
A.2.8	Druckmessgerät TA460 . . . . .	86
A.2.9	Xemtec XRM-60 . . . . .	89
A.2.10	Datenlogger . . . . .	92

# Anhang

## A.1 Diagramme

### A.1.1 Heizkessel 1

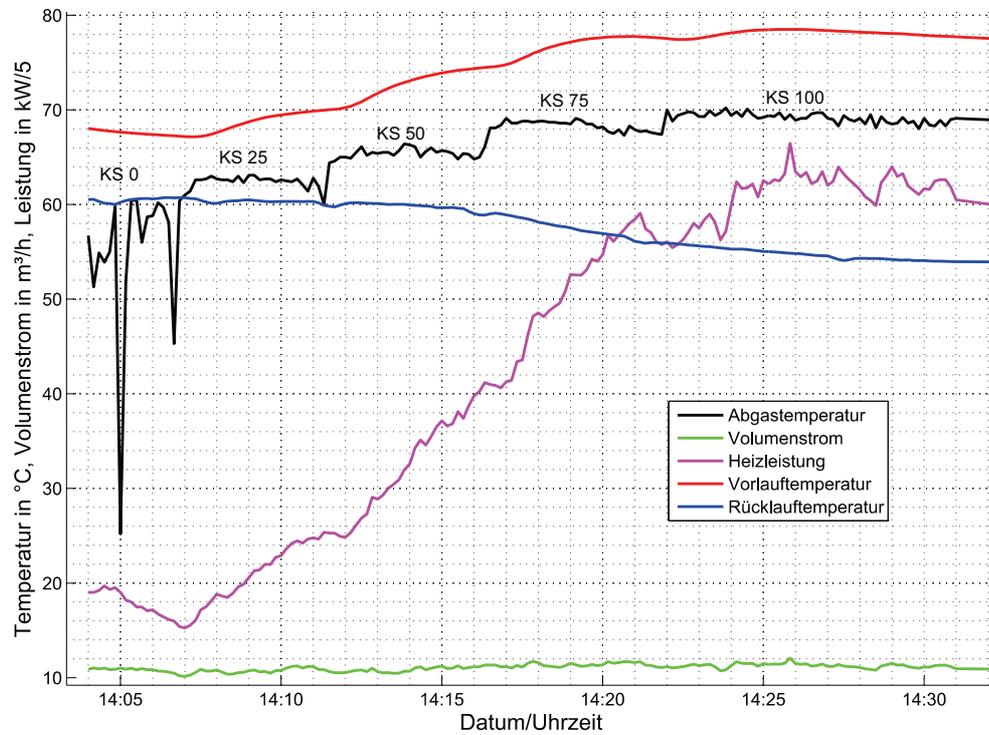


Abbildung 32: Abgastemperatur und Einflussfaktoren von Heizkessel 1 (1. Messreihe)

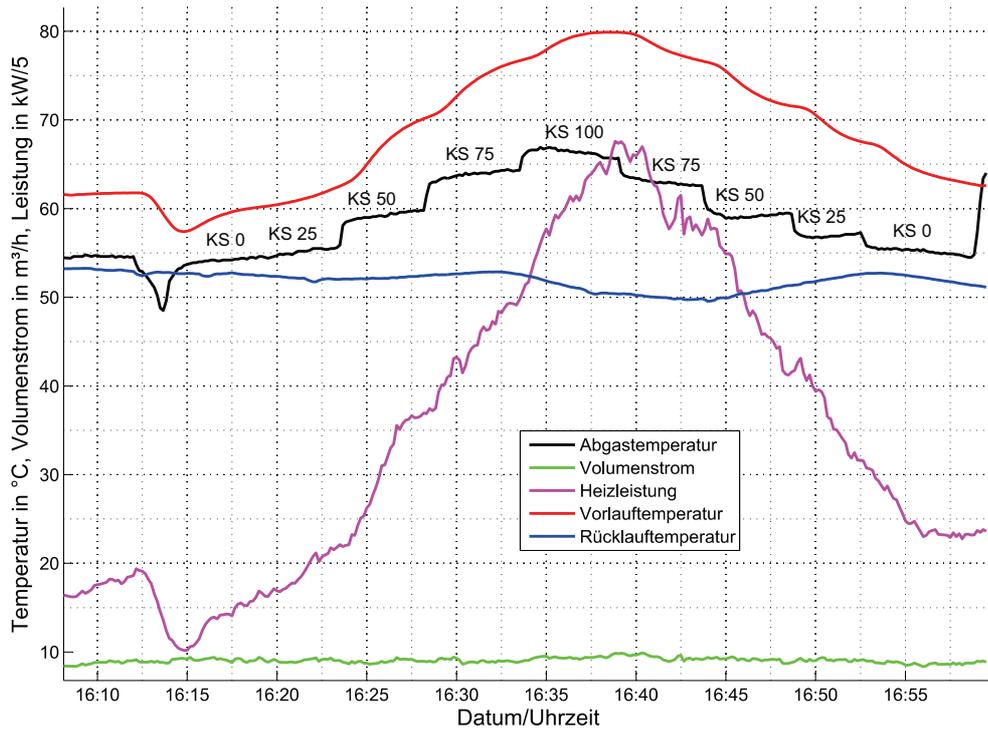


Abbildung 33: Abgastemperatur und Einflussfaktoren von Heizkessel 1 (2. Messreihe)

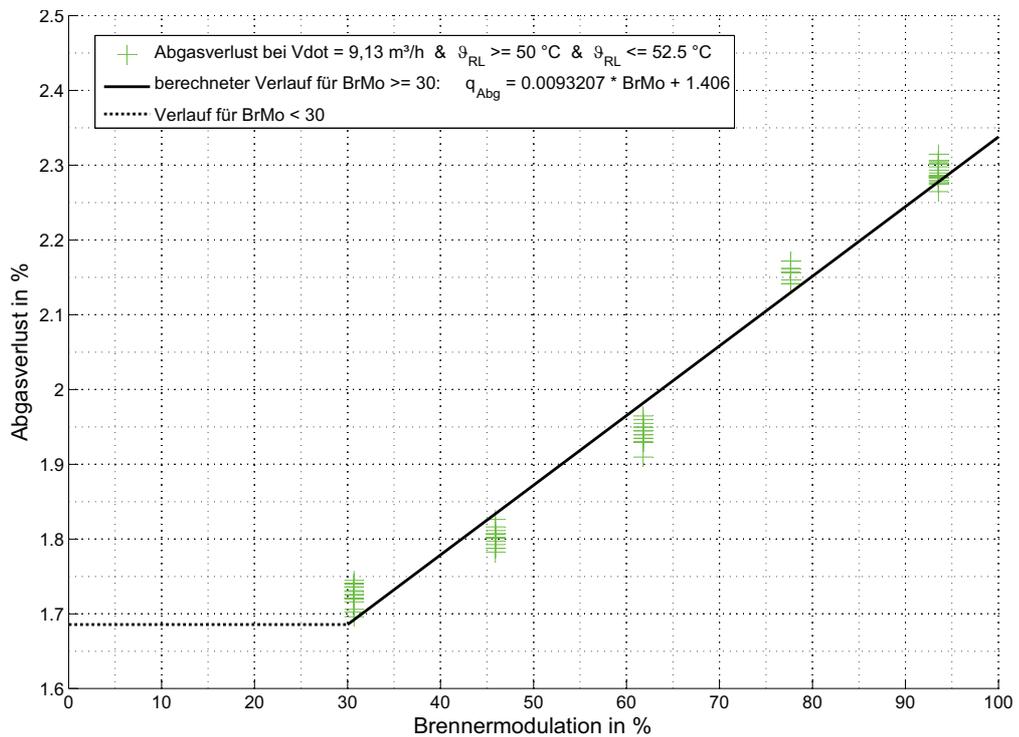


Abbildung 34: Abgasverlust über Brennermodulation von Heizkessel 1

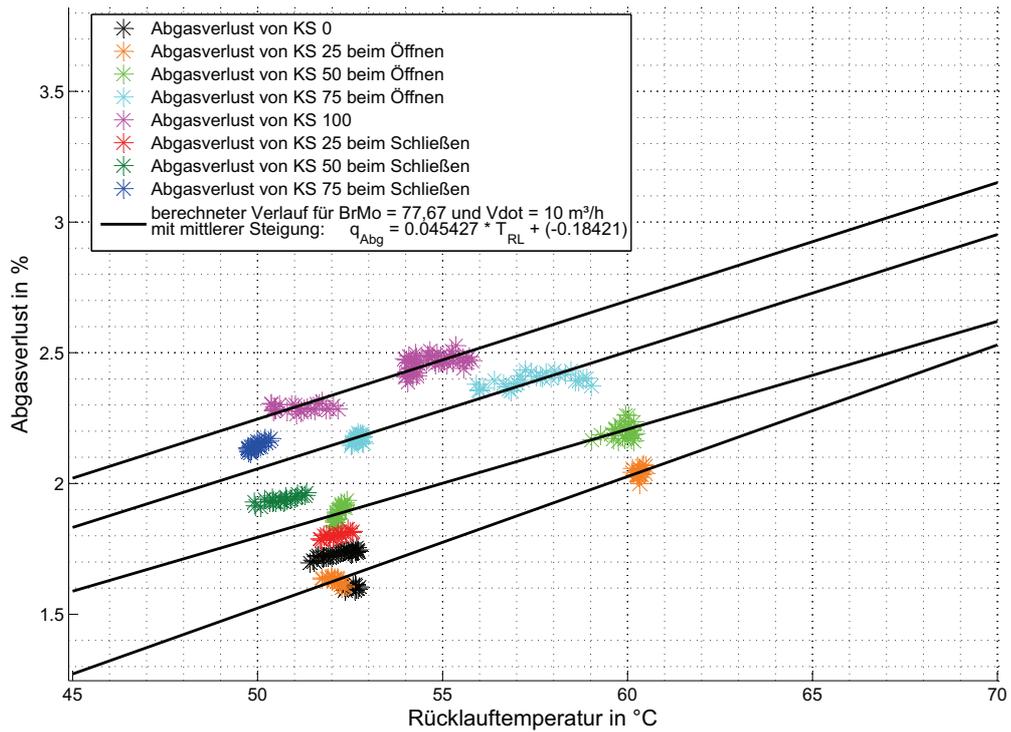


Abbildung 35: Abgasverlust über Rücklauftemperatur von Heizkessel 1

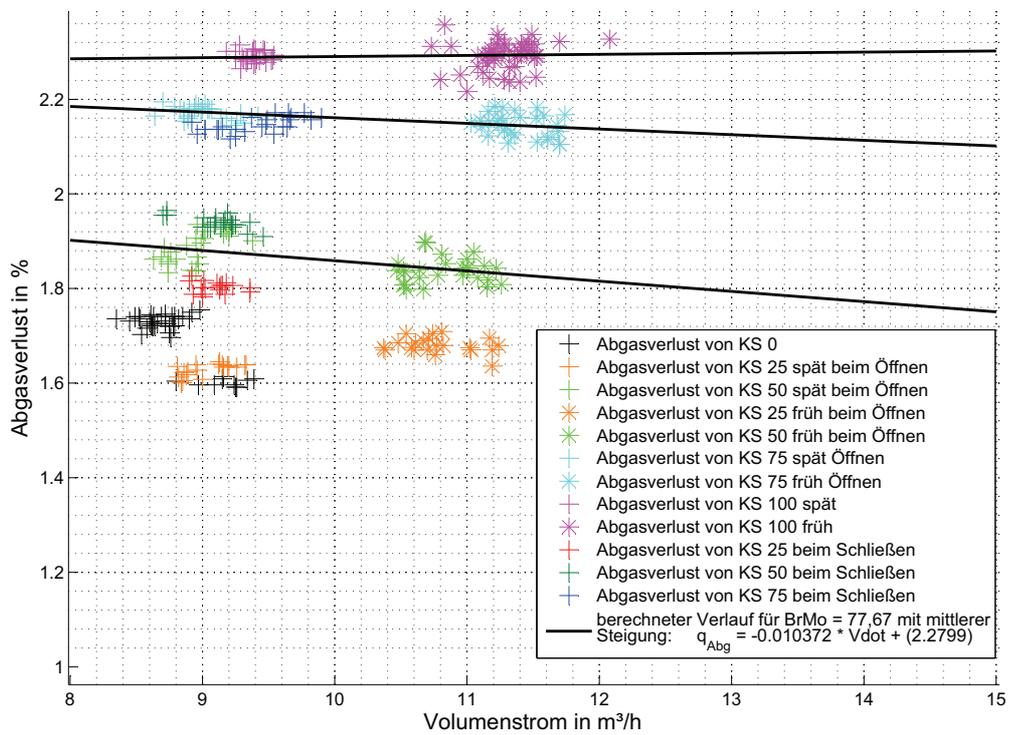


Abbildung 36: Abgasverlust über Volumenstrom von Heizkessel 1

## A.1.2 Heizkessel 3

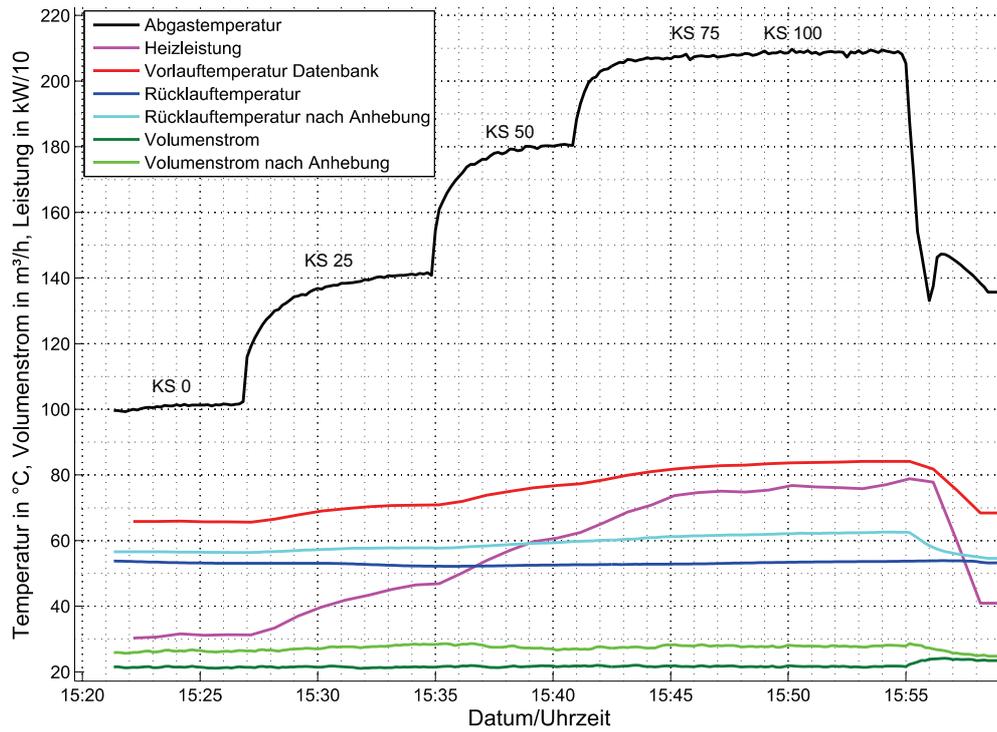


Abbildung 37: Abgastemperatur und Einflussfaktoren von Heizkessel 3 (1. Messreihe)

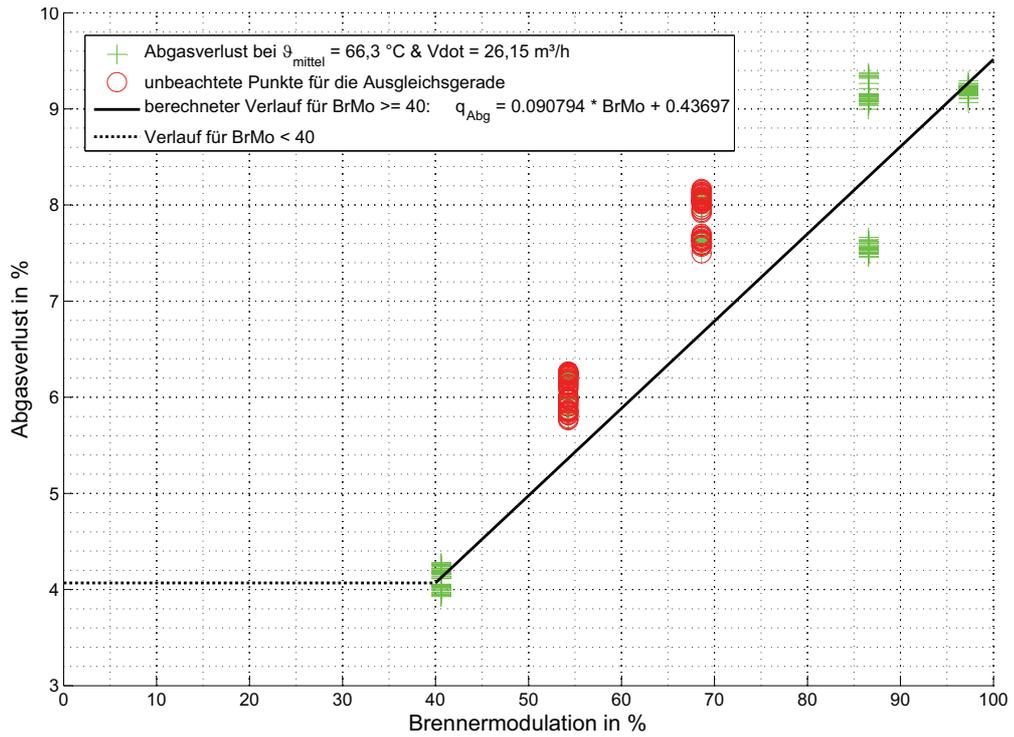


Abbildung 38: Abgasverlust über Brennermodulation von Heizkessel 3

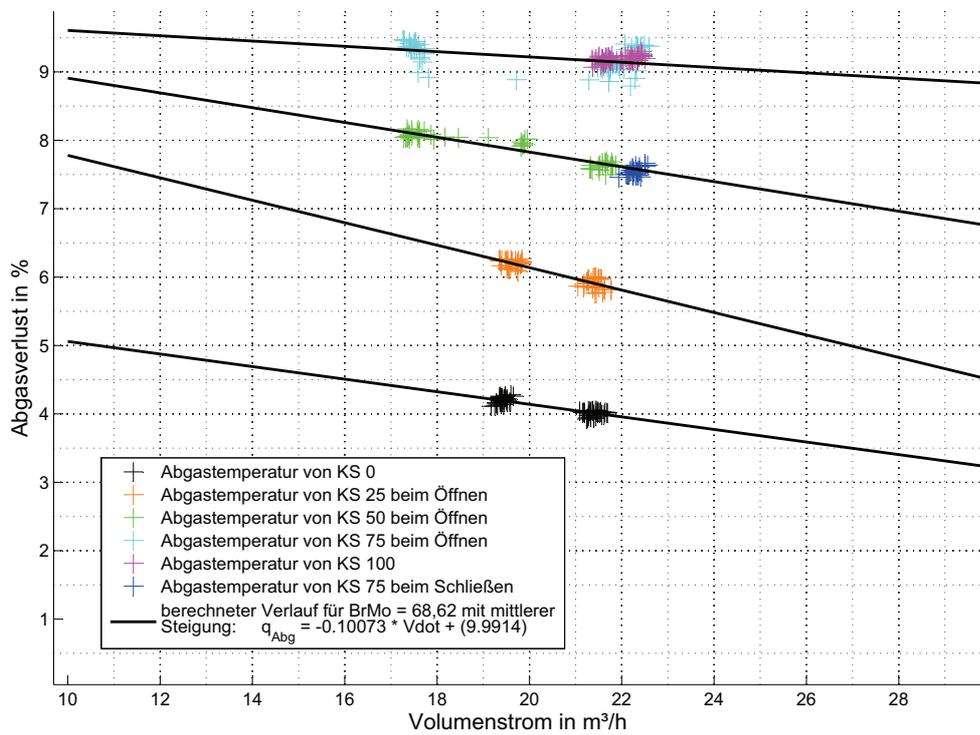


Abbildung 39: Abgasverlust über Volumenstrom von Heizkessel 3

## A.2 Datenblätter

### A.2.1 Kessel 1

**VIESSMANN**

**VITOCROSSAL 300**

Gas-Brennwertkessel  
187 bis 635 kW

#### Datenblatt

Best.-Nr. und Preise: siehe Preisliste



#### **VITOCROSSAL 300** Typ CT3B

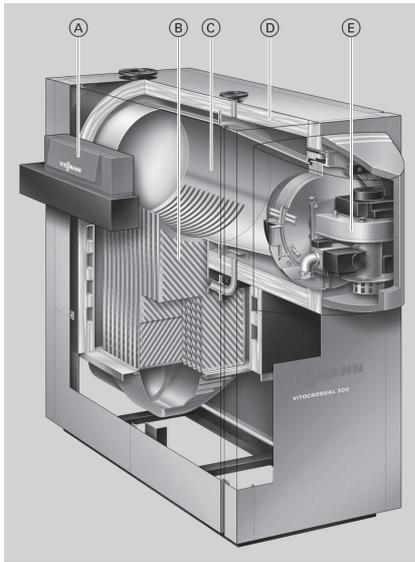
**Gas-Brennwertkessel** für Erdgas E, LL und Flüssiggas  
Mit modulierendem Matrix-Strahlungsbrenner bis 314 kW  
(Erdgas E und LL)

5609 892

5/2012

## Die Vorteile auf einen Blick

- Norm-Nutzungsgrad: bis 98% (H<sub>2</sub>)/109% (H<sub>1</sub>).
- Hohe Betriebssicherheit und lange Nutzungsdauer durch korrosionsbeständige Inox-Crossal-Heizfläche aus Edelstahl Rostfrei.
- Inox-Crossal-Heizfläche für hochwirksame Wärmeübertragung und Kondensationsrate.
- Selbstreinigungseffekt durch glatte Edelstahloberfläche.
- Schadstoffarme Verbrennung durch niedrige Brennraumbelastung und Durchgangsbrennraum.
- Mit Matrix-Strahlungsbrenner bis 314 kW für besonders wirtschaftlichen und umweltschonenden Betrieb mit einem Modulationsbereich von 30 bis 100 %.
- Alternativ mit ELCO oder Weishaupt Gas-Gebläsebrenner.
- Zwei Rücklaufstutzen für eine brennwertoptimierte hydraulische Anbindung.
- Einfach zu bedienende Vitotronic Regelung mit Klartext- und Grafikanzeige.



- Ⓐ Vitotronic Regelung
- Ⓑ Inox-Crossal-Heizflächen aus Edelstahl Rostfrei
- Ⓒ Wassergekühlte Brennkammer aus Edelstahl

- Ⓓ Hochwirksame Wärmedämmung
- Ⓔ Modulierender Matrix-Strahlungsbrenner

## Technische Angaben Heizkessel

### Technische Daten

<b>Nenn-Wärmeleistung</b>							
$T_v/T_R = 40/30 \text{ °C}$	kW	187	248	314	408	508	635
$T_v/T_R = 80/60 \text{ °C}$	kW	170	225	285	370	460	575
<b>Nenn-Wärmebelastung</b>	kW	177	234,5	297	385,5	479	599
<b>Produkt-ID-Nummer</b>		CE-0085AQ0257					
<b>Zul. Betriebstemperatur</b>	°C	100	100	100	100	100	100
<b>Zul. Vorlauftemperatur</b> (= Absicherungstemperatur)	°C	110	110	110	110	110	110
<b>Zul. Betriebsdruck max.</b>	bar	4	4	4	5,5	5,5	5,5
<b>Zul. Betriebsdruck min.<sup>*1</sup></b>	bar	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Heizgasseitiger Widerstand</b>	Pa mbar	100 1,0	140 1,4	160 1,6	200 2,0	220 2,2	270 2,7
<b>Abmessungen Kesselkörper</b>							
Länge c + d (ohne Kesseltür)	mm	1650	1728	1783	1823	1901	2057
Breite t	mm	684	684	684	800	800	800
Höhe n (mit Stützen)	mm	1745	1794	1794	2012	2012	2012
<b>Gesamtabmessungen</b>							
Gesamtlänge b	mm	1636	1714	1795	1871	1949	2105
Gesamtlänge a (mit Matrix-Brenner)	mm	1889	1967	2045	—	—	—
Gesamtbreite q	mm	988	988	988	1104	1104	1104
Gesamthöhe p	mm	1959	2009	2032	2290	2290	2290
Breite u (mit Wärmedämmung)	mm	821	821	821	937	937	937
<b>Fundament</b>							
Länge	mm	1350	1450	1500	1600	1650	1800
Breite	mm	800	800	800	900	900	900
Höhe	mm	100	100	100	100	100	100
<b>Gewicht</b>							
– Kesselkörper	kg	445	490	510	740	780	890
– Abnehmbare Brennkammer ohne Kesseltür	kg	96	96	96	124	124	124
<b>Gesamtgewicht</b> Heizkessel mit Wärmedämmung und Kesselkreisregelung	kg	608	660	683	937	982	1098
<b>Inhalt Kesselwasser</b>	l	240	265	300	460	500	540
<b>Anschlüsse Heizkessel</b>							
Kesselvorlauf	PN 6 DN	65	65	80	100	100	100
Kesselrücklauf 1 <sup>*2</sup>	PN 6 DN	65	65	80	100	100	100
Kesselrücklauf 2 <sup>*2</sup>	PN 6 DN	50	50	50	80	80	80
Sicherheitsanschluss (Sicherheitsventil)	R	1¼	1¼	1¼	1¼	1½	1½
Entleerung	R	1	1	1	1	1	1
Kondenswasserablauf	R	½	½	½	½	½	½
<b>Abgaskennwerte<sup>*3</sup></b>							
Temperatur (bei Rücklauftemperatur von 30 °C)							
– bei Nenn-Wärmeleistung	°C	45	45	45	45	45	45
– bei Teillast	°C	40	40	40	40	40	40
Temperatur (bei Rücklauftemperatur von 60 °C)							
– bei Nenn-Wärmeleistung	°C	75	75	75	75	75	75
Massenstrom (bei Erdgas)							
– bei Nenn-Wärmeleistung	kg/h	269	357	452	586	727	909
– bei Teillast	kg/h	81	107	136	176	218	272
Verfügbare Förderdruck	Pa	70	70	70	70	70	70
am Abgasstutzen	mbar	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
<b>Abgasanschluss</b>	∅ mm	200	200	200	250	250	250
<b>Norm-Nutzungsgrad</b>							
bei Heizsystemtemp. 40/30 °C	%	bis 98 (H <sub>2</sub> )/109 (H <sub>1</sub> )					
bei Heizsystemtemp. 75/60 °C	%	bis 95 (H <sub>2</sub> )/106 (H <sub>1</sub> )					
Bereitschaftsverlust q <sub>B,70</sub>	%	0,40	0,30	0,30	0,30	0,28	0,25

<sup>\*1</sup> Für den sicheren Betrieb ist ein Mindest-Betriebsdruck von 0,5 bar erforderlich. Dafür kann ein Minimaldruckwächter eingesetzt werden.

<sup>\*2</sup> Beim Anschluss von 2 Heizkreisen den Heizkreis mit dem niedrigsten Temperaturniveau an den Kesselrücklauf 1 anschließen.

<sup>\*3</sup> Rechenwerte zur Auslegung der Abgasanlage nach EN 13384 bezogen auf 10 % CO<sub>2</sub> bei Erdgas

Abgastemperaturen als gemessene Bruttowerte bei 20 °C Verbrennungslufttemperatur.

Die Angaben für die Teillast beziehen sich auf eine Leistung von 30 % der Nenn-Wärmeleistung. Bei abweichender Teillast (abhängig von der Betriebsweise des Brenners) ist der Abgasmassenstrom entsprechend zu errechnen.

## A.2.2 Kessel 2

**VIESSMANN**

**VITOCROSSAL 300**

Gas-Brennwertkessel  
787 bis 1400 kW

### Datenblatt

Best.-Nr. und Preise: siehe Preisliste



**VITOCROSSAL 300** Typ CR3B

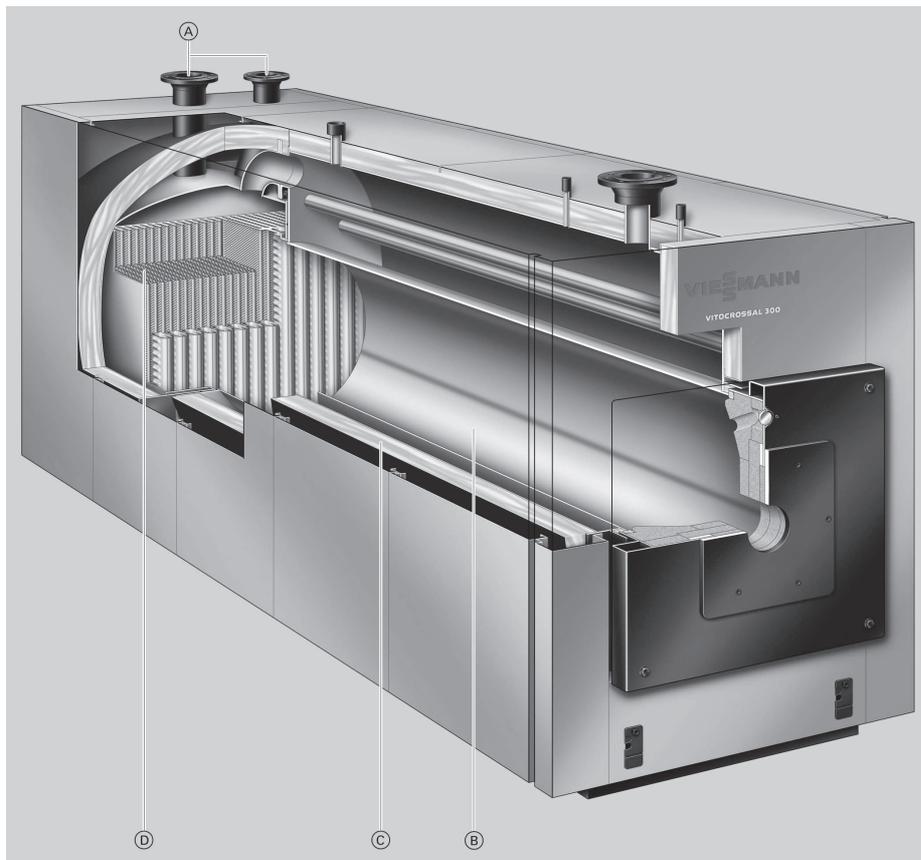
Gas-Brennwertkessel für Erdgas E, LL und Flüssiggas

5605 007

9/2011

## Die Vorteile auf einen Blick

- Norm-Nutzungsgrad: bis 98% (H<sub>2</sub>)/109% (H<sub>1</sub>).
- Hohe Betriebssicherheit und lange Nutzungsdauer durch korrosionsbeständige Inox-Crossal-Heizfläche aus Edelstahl Rostfrei.
- Inox-Crossal-Heizfläche für hochwirksame Wärmeübertragung und Kondensationsrate.
- Selbstreinigungseffekt durch glatte Edelstahloberfläche.
- Schadstoffarme Verbrennung durch niedrige Brennraumbelastung und Durchgangsbrennraum.
- Als Unit-Ausführung mit Elco oder Weishaupt Gas-Gebälsebrenner.
- Einfache Einbringung durch geteilte Ausführung.
- Zwei Rücklaufstutzen für eine brennwertoptimierte hydraulische Anbindung.
- Einfach zu bedienende Vitotronic Regelung mit Klartext- und Grafikanzeige.



- Ⓐ Zwei Rücklaufstutzen
- Ⓑ Brennraum aus Edelstahl Rostfrei

- Ⓒ Hochwirksame Wärmedämmung
- Ⓓ Inox-Crossal-Heizflächen aus Edelstahl Rostfrei

## Technische Angaben

### Technische Daten

<b>Nenn-Wärmeleistung</b>						
$T_v/T_R = 50/30 \text{ °C}$	kW	787	978	1100	1400	
$T_v/T_R = 80/60 \text{ °C}$	kW	720	895	1006	1280	
<b>Nenn-Wärmebelastung</b>		kW	742	923	1038	1320
<b>Produkt-ID-Nummer</b>		CE-0085AU0315				
<b>Zul. Betriebstemperatur</b>		°C	100	100	100	100
<b>Zul. Vorlauftemperatur (= Absicherungstemperatur)</b>		°C	110	110	110	110
<b>Zul. Betriebsdruck</b>		bar	6	6	6	6
<b>Heizgasseitiger Widerstand</b>		Pa	420	420	460	480
		mbar	4,2	4,2	4,6	4,8
<b>Abmessungen Kesselkörper</b>						
Länge b	mm	2894	3094	3193	3543	
Breite c	mm	960	960	1200	1200	
Höhe (mit Stützen)	mm	1676	1676	1676	1676	
<b>Abmessungen Module</b>						
Länge Brennkammer-Modul g	mm	1938	2138	2237	2587	
Länge Wärmetauscher-Modul o	mm	1198	1198	1216	1216	
<b>Gesamtabmessungen</b>						
Gesamtlänge a	mm	3021	3221	3338	3688	
Gesamtbreite Wärmedämmung	mm	1114	1114	1296	1296	
Gesamtbreite mit Regelung f	mm	1281	1281	1463	1463	
Gesamthöhe	mm	1550	1550	1550	1550	
<b>Fundament</b>						
Länge	mm	3100	3350	3450	3900	
Breite	mm	1200	1200	1350	1350	
<b>Gewicht</b>						
– Brennkammer-Modul	kg	780	845	1060	1160	
– Wärmetauscher-Modul	kg	615	615	720	810	
<b>Gesamtgewicht</b>	kg	1553	1635	1980	2185	
Heizkessel mit Wärmedämmung und Kesselkreisregelung						
<b>Inhalt Kesselwasser</b>	l	1407	1552	1558	1833	
<b>Anschlüsse Heizkessel</b>						
Kesselvorlauf	PN 6 DN	100	100	125	125	
Kesselrücklauf 1 <sup>*1</sup>	PN 6 DN	100	100	125	125	
Kesselrücklauf 2 <sup>*1</sup>	PN 6 DN	100	100	100	100	
Sicherheitsanschluss	R	2	2	2	2	
Entleerung	R	1¼	1¼	1¼	1¼	
Kondenswasserablauf	R	½	½	½	½	
<b>Abgaskennwerte<sup>*2</sup></b>						
Temperatur (bei Rücklauftemp. 30 °C)						
– bei Nenn-Wärmeleistung	°C	40	40	40	40	
– bei Teillast	°C	30	30	30	30	
Temperatur (bei Rücklauftemp. 60 °C)						
– bei Teillast	°C	70	70	70	70	
Massenstrom (bei Erdgas)						
– bei Nenn-Wärmeleistung	kg/h	1140	1415	1640	2025	
– bei Teillast	kg/h	340	425	490	605	
Verfügbare Förderdruck	Pa	70	70	70	70	
am Abgasstutzen <sup>*3</sup>	mbar	0,7	0,7	0,7	0,7	
<b>Abgasanschluss</b>	Ø mm	300	300	350	350	
<b>Norm-Nutzungsgrad</b>						
bei Heizsystemtemperatur 40/30 °C	%	bis 98 (H <sub>2</sub> )/109 (H <sub>1</sub> )				
75/60 °C	%	bis 95 (H <sub>2</sub> )/106 (H <sub>1</sub> )				
<b>Bereitschaftsverlust q<sub>B,70</sub></b>	%	0,25	0,25	0,25	0,25	

<sup>\*1</sup> Beim Anschluss von 2 Heizkreisen den Heizkreis mit dem niedrigsten Temperaturniveau an den Kesselrücklauf 1 anschließen.

<sup>\*2</sup> Rechenwerte zur Auslegung der Abgasanlage nach EN 13384 bezogen auf 10 % CO<sub>2</sub> bei Erdgas.

Abgastemperaturen als gemessene Bruttowerte bei 20 °C Verbrennungslufttemperatur.

Die Angaben für die Teillast beziehen sich auf eine Leistung von 30 % der Nenn-Wärmeleistung. Bei abweichender Teillast (abhängig von der Betriebsweise des Brenners) ist der Abgasmassenstrom entsprechend zu errechnen.

<sup>\*3</sup> Die verfügbaren Förderdrücke werden mit den im Lieferprogramm befindlichen Gas-Gebälsebrennern (Fabr. Weishaupt und Elco) sowie vielen anderen Gas-Gebälsebrennern erreicht.

Abweichende verfügbare Förderdrücke sind mit den Brennerlieferanten abzustimmen. Beim Einsatz des Vitocrossal 300 an feuchte-unempfindlichen Schornsteinen darf der Förderdruck max. 0 Pa betragen.

## A.2.3 Kessel 3

**VIESSMANN**

**VITOPLEX 300**  
Niedertemperatur-Öl-/Gas-Heizkessel  
620 bis 2000 kW

### Datenblatt

Best.-Nr. und Preise: siehe Preisliste



### **VITOPLEX 300** Typ TX3A

Niedertemperatur-Öl-/Gas-Heizkessel  
Dreizugkessel mit mehrschaligen Konvektionsheizflächen  
Für den Betrieb mit gleitend abgesenkter Kesselwassertemperatur.  
Mit Vitotrans 300 als Brennwerteinheit.

5368 757

5/2012

## Die Vorteile auf einen Blick

- Mehrschalige Konvektionsheizflächen für hohe Betriebssicherheit und lange Nutzungsdauer.
- Norm-Nutzungsgrad für den Betrieb mit Heizöl: 90 % (H<sub>h</sub>)/96 % (H<sub>i</sub>).
- Optionaler Edelstahl-Abgas-/Wasser-Wärmetauscher für höheren Norm-Nutzungsgrad durch Brennwertnutzung.
- Dreizugkessel mit niedriger Brennraumbelastung, dadurch schadstoffarme Verbrennung mit niedrigen Emissionen.
- Weite Wasserwände und großer Wasserinhalt sorgen für eine gute Eigenzirkulation und sichere Abführung der Wärme.
- Integrierte Anfahrtschaltung Therm-Control ersetzt Beimischpumpe oder stetige Rücklauf temperaturanhebung und spart Montagezeit und Kosten.
- Fastfix-Montagesystem für einfache und schnelle Montage.
- Mit begehbaren Kesselabdeckung – erleichtert die Montage und Wartung.
- Wirtschaftlicher und sicherer Betrieb der Heizungsanlage durch kommunikationsfähiges, digitales Regelungssystem Vitotronic. Standardisierter LON-BUS ermöglicht die komplette Einbindung in Gebäudemanagement-Systeme.

## Technische Angaben Heizkessel

### Technische Daten

Nenn-Wärmeleistung	kW	620	780	1000	1250	1600	2000
Nenn-Wärmebelastung	kW	667	839	1075	1344	1720	2150
CE-Kennzeichnung		CE-0085BT0478					
gemäß Gasgeräte-richtlinie							
Zul. Vorlauftemperatur (= Absicherungstemperatur)	°C	110 (bis 120 °C auf Anfrage)					
Zul. Betriebsdruck	bar	6	6	6	6	6	6
Heizgasseitiger Widerstand	Pa	350	400	400	500	850	800
	mbar	3,5	4,0	4,0	5,0	8,5	8,0
<b>Abmessungen Kesselkörper</b>							
Länge (Maß k) <sup>*1</sup>	mm	2230	2230	2480	2480	3100	3100
Breite (Maß c)	mm	1085	1085	1180	1180	1280	1280
Höhe (mit Stützen) (Maß e)	mm	1670	1670	1900	1900	2120	2120
<b>Gesamtabmessungen</b>							
Gesamtlänge (Maß f)	mm	2320	2320	2570	2570	3220	3220
Gesamtbreite							
– mit Regelung (Maß a)	mm	1460	1460	1555	1555	1660	1660
– ohne Regelung (Maß b)	mm	1285	1285	1380	1380	1485	1485
Gesamthöhe (mit Aufhängeösen) (Maß h)	mm	1690	1690	1920	1920	2140	2140
Höhe schallabsorbierende Kesselunterlagen (belastet)	mm	37	37	37	37	37	37
<b>Fundament</b>							
Länge	mm	1900	1900	2150	2150	2700	2700
Breite	mm	1200	1200	1300	1300	1400	1400
Brennraumdurchmesser	mm	620	620	720	720	720 <sup>*2</sup>	720 <sup>*2</sup>
Brennraumlänge	mm	1700	1700	1930	1930	2530	2530
Gewicht Kesselkörper	kg	1700	1800	2500	2670	3600	3900
Gesamtgewicht	kg	1800	1900	2645	2815	3780	4080
Heizkessel mit Wärmedämmung und Kesselkreisregelung							
Inhalt Kesselwasser	Liter	965	900	1510	1440	2475	2315
<b>Anschlüsse Heizkessel</b>							
Kesselvor- und -rücklauf	PN 6 DN	100	100	125	125	150	150
Sicherheitsanschluss (Sicherheitsventil)	PN 16 DN	50	50	65	65	65	65
Entleerung	R (außen)	1¼	1¼	1¼	1¼	1¼	1¼
<b>Abgaskennwerte<sup>*3</sup></b>							
Temperatur (bei Kesselwassertemperatur von 60 °C)							
– bei Nenn-Wärmeleistung	°C			160			
– bei Teillast	°C			105			
Temperatur (bei Kesselwassertemperatur von 80 °C)							
	°C			175			
Abgasmassenstrom							
– bei Erdgas	kg/h			1,5225 x Feuerungsleistung in kW			
– bei Heizöl EL	kg/h			1,5 x Feuerungsleistung in kW			
Notwendiger Förderdruck	Pa/mbar	0	0	0	0	0	0
Abgasanschluss	Ø mm	300	300	350	350	400	400
Gasinhalt gesamt	m <sup>3</sup>	0,80	0,80	1,25	1,25	1,90	2,00
Brennkammer, Heizgaszüge, Rückführrohre, Umlenkung und Abgaskasten							
Norm-Nutzungsgrad (für den Betrieb mit Heizöl) bei Heizsystemtemp. 75/60 °C	%	90 (H <sub>s</sub> )/96 (H <sub>t</sub> )					
Bereitschaftsverlust q <sub>B,70</sub>	%	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
<b>Passender Vitotrans 300</b>							
– Gasbetrieb	Best.-Nr.	Z007 212		Z007 213		Z007 214	
– Ölbetrieb	Best.-Nr.	Z007 215		Z007 216		Z007 217	
<b>Nenn-Wärmeleistung</b>							
Heizkessel mit Vitotrans 300							
– Gasbetrieb	kW	682	858	1100	1375	1760	2200

\*1 Kesseltür abgebaut.

\*2 Konischer Brennraum 720/840 mm (Brennraumdurchmesser vorn/hinten)

\*3 Rechenwerte zur Auslegung der Abgasanlage nach EN 13384 bezogen auf 13,2 % CO<sub>2</sub> bei Heizöl EL und 10 % CO<sub>2</sub> bei Erdgas.

Abgastemperaturen als gemessene Bruttowerte bei 20 °C Verbrennungslufttemperatur.

Die Angaben für die Teillast beziehen sich auf eine Leistung von 60 % der Nenn-Wärmeleistung. Bei abweichender Teillast (abhängig von der Betriebsweise) ist der Abgasmassenstrom entsprechend zu errechnen.

5368 757

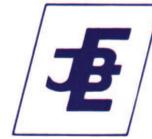
VITOPLEX 300

VIESSMANN 3

## A.2.4 Durchflussmesser

# H. HERMANN EHLERS GMBH

**Fördern - Messen - Regeln - Dosieren - Verdichten**  
**Ingenieurbüro - Werksvertretungen**



## FLUXUS® ADM 6725

Der FLUXUS® ADM 6725 ist ein tragbarer Ultraschall-Durchflußmesser, der sich dank Clamp-On-Technik und netzunabhängige Stromversorgung ideal für Servicearbeiten eignet.

Wie bei allen Geräten der FLUXUS® ADM Baureihe sorgen der digitale Signalprozessor (DSP) und die hohe Anzahl von Meßzyklen für stabile und zuverlässige Ergebnisse auch unter schwierigen Meßbedingungen.

Die Bedienung des Durchflußmessers wird durch einen klar strukturierten und leicht nachzuvollziehenden Bedienungsdialog besonders einfach.

Jedes mit dem Gerät gelieferte Sensorpaar ist kalibriert. Die Kalibrierdaten mit Sensorkennung und Sensorparametern sind in den Sensoren permanent gespeichert und werden beim Anschließen automatisch an den Meßumformer übergeben. Die Bedienung wird dadurch vereinfacht und ein Nullpunkt-abgleich erübrigt sich.

Die Sensoren und der Kabelmantel sind aus Edelstahl gefertigt und für den Einsatz in rauher Industrieumgebung konzipiert. Wasserdichte Sensoren und feste Sensorverkabelung garantieren auch langfristig gute Meßergebnisse.

### Merkmale

- Geringer Installationsaufwand, niedrige Montagekosten
- Messung ist unabhängig von Leitfähigkeit und Druck des Mediums
- Kein Druckverlust, keine Leckagemöglichkeiten
- Keine Rohrleitungsunterbrechung/Anlagenstillstand erforderlich.
- Keine zusätzlichen Armaturen zur Wartung erforderlich.
- Totraumfreie, hygienisch einwandfreie Messung, Reinstwassergeeignet
- Kein Medienkontakt, keine Korrosion bei chemisch aggressiven Medien
- Preisvorteil bei der Anwendung für große Rohrmennweiten, hohe Druckstufen etc.
- Geringe Lagerhaltungskosten da der Hauptnennweitenbereich durch nur 2 Sensoren abgedeckt wird.



### Technische Daten

#### Messung

Meßverfahren:	Ultraschall-Laufzeitdifferenz-Korrelationsverfahren
Strömungsgeschw.:	(0,01...25) m/s
Auflösung:	0,025 cm/s
Reproduzierbarkeit:	0,15% v. MW $\pm$ 0,01 m/s
Meßwertabweichung	(für rotationssymmetrisches, voll ausgebildetes Strömungsprofil)
- Volumenfluß:	$\pm$ 1%...3% v. MW $\pm$ 0,01 m/s je nach Applikation $\pm$ 0,5% v. MW $\pm$ 0,01 m/s bei Prozeßkalibrierung
- Pfadgeschwind.:	$\pm$ 0,5% v. MW $\pm$ 0,01 m/s
Meßbare Flüssigkeiten:	alle akustisch leitfähigen Flüssigkeiten mit Gas- und Feststoffanteil < 10% des Volumens

#### Meßumformer

Gehäuse	
- Gewicht:	ca. 3,9 kg
- Schutzgrad:	IP54 gem. EN60529
- Werkstoff:	Aluminium, pulverbeschichtet
- Abmessungen: (BxHxT)	(270 x 100 x 180) mm (ohne Griff)
Kanalzahl:	2
Hilfsenergie:	Akku (6 V/4 Ah) Netzbetrieb (100-240) VAC
Dauerbetrieb mit Akku:	> 10 h
Anzeige:	2 x 16 Zeichen, Punktmatrix, hintergrundbeleuchtet
Betriebstemperatur:	-10°C...60°C

An der Autobahn 45 ♦ 28876 Oyten ♦ Tel. 04207/91 21-0 ♦ Fax 04207/91 21 41  
Email [verkauf@ehlersgmbh.de](mailto:verkauf@ehlersgmbh.de) ♦ Home <http://www.ehlers-oyten.de>

### Meßumformer (Fort.)

Leistungsaufnahme:	< 15 W
Signaldämpfung:	(0...100) s, einstellbar
Meßzyklus:	(100...1000) Hz (1 Kanal)
Ansprechzeit:	1 s (1 Kanal), 70 ms opt.

### Meßfunktionen

Meßgrößen:	Volumenstrom, Massestrom, Strömungsgeschwindigkeit, Wärmestrom
Mengenzähler:	Volumen, Masse, Wärme
Berechnungsfunktionen:	Mittelwert/Differenz/Summe
Sprache (Bedienerschnittstelle):	Dänisch, Deutsch, Englisch, Französisch, Holländisch, Norwegisch, Polnisch, Tschechisch, Spanisch

### Meßwertspeicher

speicherbare Werte:	alle Meßgrößen und totalisierte Meßgrößen
Größe:	> 100.000

### Kommunikation

Schnittstelle:	RS232
Daten:	aktueller Meßwert, gespeicherte Meßwerte, Parametersätze

### Software FluxData (optional)

Funktion:	Auslesen der Meßdaten/Parametersätze, graphische Ansicht, Konvertierung in andere Formate
Betriebssysteme:	Alle Windows™ Versionen

### Prozeßeingänge

- Alle Eingänge sind galvanisch vom Grundgerät getrennt.	
- Es können maximal 4 Eingänge installiert werden.	
Temperatur	PT100 in Vierleitertechnik
- Meßbereich:	-50°C...400°C
- Auflösung:	0,1 K
- Genauigkeit:	$\pm (0,2 \text{ K} + 0,1\% \text{ v. MW})$
Strom	$R_i = 50 \Omega$
- Meßbereich:	aktiv: (0...20) mA passiv: (-20...20) mA
- Genauigkeit:	0,1% v. MW $\pm 10 \mu\text{A}$
Spannung	$R_i = 1 \text{ M}\Omega$
- Meßbereich:	(0...1) V oder (0...10) V
- Genauigkeit:	0...1 V: 0,1% v. MW $\pm 1 \text{ mV}$ 0...10 V: 0,1% v. MW $\pm 10 \text{ mV}$

### Prozeßausgänge

- Alle Ausgänge sind galvanisch vom Grundgerät getrennt.  
- Die maximale Anzahl von Ausgängen, die installiert werden können, hängt vom Ausgangstyp ab. Wenden Sie sich an Flexim für weitere Informationen.

Strom	aktiv: $R_{ext} < 500 \Omega$ passiv: $U_{ext} < 24 \text{ V}$ , $R_{ext} < 1 \text{ k}\Omega$
- Meßbereich:	(0/4...20) mA
- Genauigkeit:	0,1% v. MW $\pm 15 \mu\text{A}$
Spannung	$R_i = 500 \Omega$
- Meßbereich:	(0...1) V oder (0...10) V
- Genauigkeit:	0...1 V: 0,1% v. MW $\pm 1 \text{ mV}$ 0...10 V: 0,1% v. MW $\pm 10 \text{ mV}$
Frequenz	open collector: 24 V/4 mA totem pool: 5 V/4 mA
- Meßbereich:	0...1 kHz oder 0...10 kHz
Binär	open collector: 24 V/4 mA reed contact: 48 V/0,1 A totem pool: 5 V/4 mA
als Status-Ausgang:	Grenzwert, Vorzeichenwechsel oder Fehler
als Impuls-Ausgang:	Wertigkeit: (0,01...1000) Einh. Breite: (80...1000) ms

### Durchflußsensoren (Clamp-On)

#### Typ M2N, M2E, M3N

spezifizierter (möglicher) Nennweitenbereich:	M2N,M2E: (50)100...2500 mm M3N: (50)100...6500 mm
Abmessungen:	(60 x 30 x 33,5) mm
Werkstoff:	Gehäuse: Edelstahl Kontaktfläche: PEEK (M2N) oder Polyimid (M2E)
Betriebstemperatur:	M2N,M3N: -30°C...130°C M2E: -30°C...200°C, kurzzeitig 300°C
Schutzgrad:	IP65 gem. EN60529 M2N, M3N: IP68 auf Anfrage

#### Typ Q3N, Q3E

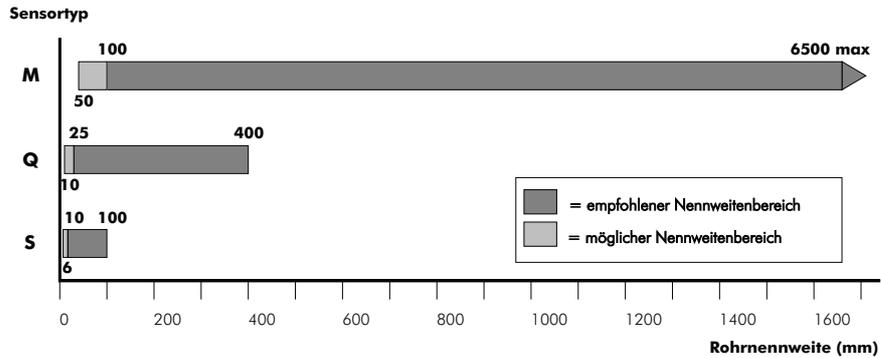
spezifizierter (möglicher) Nennweitenbereich:	(10)25 ... 400 mm
Abmessungen:	(42,5 x 18 x 21,5) mm
Werkstoff:	Gehäuse: Edelstahl Kontaktfläche: PEEK (Q3N) oder Polyimid (Q3E)
Betriebstemperatur:	Q3N: -30°C...130°C Q3E: -30°C...200°C, kurzzeitig 300°C
Schutzgrad:	IP65 gem. EN60529 Q3N: IP68 auf Anfrage

### Wanddickenmeßköpfe

Meßbereich:	(1,0...200) mm
Auflösung:	0,01 mm
Linearität:	0,1 mm
Betriebstemperatur	
- Standard:	-20°C...+60°C
- Hochtemperatur:	0°C...+200°C, kurzzeitig bis +540°C

An der Autobahn 45 ♦ 28876 Oyten ♦ Tel. 04207/91 21-0 ♦ Fax 04207/91 21 41  
Email [verkauf@ehlersgmbh.de](mailto:verkauf@ehlersgmbh.de) ♦ Home <http://www.ehlers-oyten.de>

## Auswahl der Sensoren



Der **empfohlene Nennweitenbereich** ist der Bereich, der unter normalen Betriebsbedingungen (Dämpfung des Signals hauptsächlich durch das Medium, keine Gas- oder Feststoffanteile) durch einen Sensor abgedeckt wird.

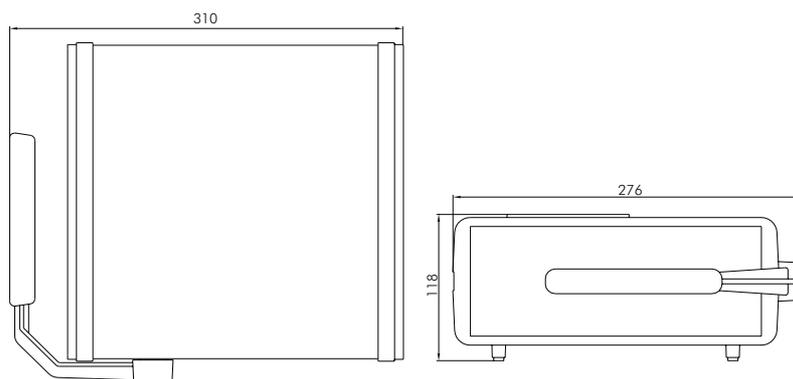
Der **mögliche Nennweitenbereich** ist der Bereich, in dem unter guten Meßbedingungen gemessen werden kann.

## Empfohlener minimaler und maximaler Meßbereich

Nennweite (mm)	minimaler Meßbereich (m³/h)	maximaler Meßbereich (m³/h)
15	0 bis 0,19	0 bis 15,90
25	0 bis 0,53	0 bis 44,18
50	0 bis 2,12	0 bis 177
75	0 bis 4,77	0 bis 398
100	0 bis 8,48	0 bis 707
125	0 bis 13,25	0 bis 1.104
150	0 bis 19,09	0 bis 1.590
200	0 bis 33,93	0 bis 2.827

Nennweite (mm)	minimaler Meßbereich (m³/h)	maximaler Meßbereich (m³/h)
250	0 bis 53,01	0 bis 4.418
300	0 bis 76,34	0 bis 6.362
400	0 bis 136	0 bis 11.310
500	0 bis 212	0 bis 17.670
1000	0 bis 848	0 bis 28.300
1500	0 bis 1.909	0 bis 63.500
2000	0 bis 3.400	0 bis 110.000

## Abmessungen des Gehäuses (in mm)



An der Autobahn 45 ♦ 28876 Oyten ♦ Tel. 04207/91 21-0 ♦ Fax 04207/91 21 41  
 Email [verkauf@ehlersgmbh.de](mailto:verkauf@ehlersgmbh.de) ♦ Home <http://www.ehlers-oyten.de>

## A.2.5 Abgasanalysegerät

testo 330-1, -2, -3 / testo 330-1<sup>L</sup>, -2<sup>L</sup>  
Abgas-Analysegerät

Bedienungsanleitung

de



## K.2 Messbereiche und -genauigkeiten

Messgröße	Messbereich	Genauigkeit	Auflösung	t90 <sup>1</sup>
O <sub>2</sub>	0...21Vol.%	±0,2Vol.%	0,1Vol.%	<20s
CO (testo 330-1 / testo 330-1LL)	0...4000ppm (H <sub>2</sub> -Anteil <10%)	±20ppm bei 0...400ppm ±5% v. Mw. bei 401...1000ppm ±10% v. Mw. bei 1001...4000ppm	1ppm	<40s
CO, H <sub>2</sub> -komp. (testo 330-2, -3 / testo 330-2LL) <sup>2</sup>	0...8000ppm	±10ppm oder ±10% v. Mw. <sup>3</sup> ±20ppm oder ±5% v. Mw. <sup>3</sup> ±10% v. Mw. bei 0...200ppm bei 201...2000ppm bei 2001...8000ppm	1ppm	<40s
CO <sub>umg</sub> , über Abgassonde	0...2000ppm	±10ppm ±10% v. Mw.	1ppm	<35s
CO <sub>umg</sub> , über 0632 3331	0...500ppm	±5ppm ±5% v. Mw.	1ppm	-
NO (NO <sub>low</sub> -Messzelle)	0...300ppm	±2ppm ±5% v. Mw.	0,1ppm	<30s
NO (NO-Messzelle)	0...3000ppm	±5ppm ±5% v. Mw. ±10% v. Mw.	1ppm	<30s
Zug <sup>5</sup>	-9,99...40hPa	±0,02hPa oder ±5% v. Mw. <sup>3</sup> ±0,03hPa ±1,5% v. Mw.	0,01hPa	-
ΔP	0...200hPa	±0,5hPa ±1% v. Mw. ±1,5% v. Mw.	0,1hPa	-

<sup>1</sup> Ansprechzeit 90%, empfohlene Mindest-Messdauer zur Gewährleistung korrekter Messwerte: 3min;  
<sup>2</sup> oberhalb der Sensorschutzschwelle: Auflösung 500ppm (bis max. 30000ppm); <sup>3</sup> größerer Wert gilt;  
<sup>4</sup> bei 10...30°C, außerhalb dieses Bereichs zusätzlich ±0,2% v. Mw./°C ; <sup>5</sup> mit Option Feinstzugmessung: Messbereich 0...100,0Pa, Auflösung 0,1Pa

Messgröße	Messbereich	Genauigkeit	Auflösung	t90 <sup>1</sup>
Temperatur	-40...1200°C	±0,5°C bei 0,0...100,0°C ±0,5% v. Mw. im restl. Bereich	0,1°C bei -40,0...999,9°C 1°C bei 1000°C...1600°C	sonden- abhängig
Wirkungsgrad	0...120%	-	0,1%	-
Abgasverlust	-20,0...99,9%	-	0,1%	-
CO <sub>2</sub> umg, über 0632 1240	0...10000ppm	±50ppm+2% v. Mw. bei 0...5000ppm ±100ppm+3% v. Mw. bei 5001...10000ppm	1ppm	-

<sup>1</sup> Ansprechzeit 90%, empfohlene Mindest-Messdauer zur Gewährleistung korrekter Messwerte: 3min



## K.5 Berechnungsgrundlagen

### K.5.1 Brennstoffparameter

Brennstoff	A2 <sup>1</sup>	B <sup>1</sup>	CO <sub>2</sub> max <sup>2</sup>	O <sub>2</sub> -Bezug <sup>2</sup>
Erdgas	0,660	0,009	11,8 Vol.%	3 Vol.%
Heizöl EL	0,680	0,007	15,4 Vol.%	3 Vol.%
Flüssiggas	0,630	0,008	13,7 Vol.%	3 Vol.%
Holz	0,765	0,000	20,3 Vol.%	13 Vol.%
Pellets	0,765	0,000	20,3 Vol.%	13 Vol.%
Brikett	0,833	0,000	18,9 Vol.%	8 Vol.%
Braunkohle	0,955	0,000	19,8 Vol.%	8 Vol.%
Steinkohle	0,758	0,000	20,5 Vol.%	8 Vol.%
Kokereigas	0,600	0,011	10,3 Vol.%	3 Vol.%
Stadtgas	0,630	0,011	13,6 Vol.%	3 Vol.%
Prüfgas	0,0000	0,000	0,00 Vol.%	0 Vol.%

<sup>1</sup> brennstoffspezifischer Faktor

<sup>2</sup> Werkseinstellung

### K.5.2 Berechnungsformeln

$$\text{Kohlendioxid: } CO_2 = \frac{CO_{2max} \times (21\% - O_2)}{21\%}$$

CO<sub>2</sub>max: brennstoffspezifischer  
Kohlendioxid-Wert  
21%: Sauerstoffgehalt der Luft  
O<sub>2</sub>: Gemessener Sauerstoff-  
gehalt in %

$$\text{Abgasverlust: } q_A = \left( (AT - VT) \times \left( \frac{A_2}{21\% - O_2} + B \right) \right) - Kk$$

AT: Abgastemperatur  
VT: Verbrennungslufttemperatur  
A<sub>2</sub>/B: brennstoffspezifische  
Parameter  
21%: Sauerstoffgehalt der Luft  
O<sub>2</sub>: Gemessener Sauerstoff-  
gehalt in %  
Kk: berechneter Wert zur  
Berücksichtigung der  
rückgewonnenen  
Kondensationswärme bei  
Taupunktunterschreitung  
(für Brennwertanlagen).

Wirkungsgrad:  $\eta = 100 - q_A$

q<sub>A</sub>: berechneter Abgasverlust

**Luftverhältniszahl:**  $\lambda = \frac{CO2max}{CO2}$       CO2max: brennstoffspezifischer Kohlendioxid-Wert  
CO2: berechneter Kohlendioxidwert

**Stickstoffoxide:**  $NOx = NO + (NO2Zuschl. \times NO)$       NO: gemessener Stickstoffmonoxidwert  
NO2Zuschl: Stickstoffdioxid-Zuschlagsfaktor

**Kohlenmonoxid unverdünnt:**  $uCO = CO \times \lambda$       CO: gemessener Kohlenmonoxidwert  
λ: berechnete Luftverhältniszahl

**Abgastaupunkt:**  $ATP = \frac{\ln\left(\frac{FH20 \times PAbs}{610,78}\right) \times 234,175}{\ln\left(\frac{FH20 \times PAbs}{610,78}\right) - 17,08085}$       FH20: abgasspezifischer Wasserdampfgehalt in Vol.%  
PAbs: Absolutdruck in mbar/hPa

Umrechnung von ppm in mg/m<sup>3</sup>:

**Kohlenmonoxid:**  $CO [mg/m^3] = \frac{21\% - O2Bez}{21\% - O2} \times CO [ppm] \times 1,25$       21%: Sauerstoffgehalt der Luft  
O2: Gemessener Sauerstoffgehalt in %  
O2Bez: brennstoffspezifische Sauerstoff-Bezugszahl in %

**Stickstoffoxide:**  $NOx [mg/m^3] = \frac{21\% - O2Bez}{21\% - O2} \times NOx [ppm] \times 2,05$       21%: Sauerstoffgehalt der Luft  
O2: Gemessener Sauerstoffgehalt in %  
O2Bez: brennstoffspezifische Sauerstoff-Bezugszahl in %

## A.2.6 PT100 1/3 DIN



Eine gute Adresse für  
Massetechnik aus einer Hand.

[www.omega.de](http://www.omega.de)  
07056-83960 (Deutschland) / 0800-826342 (Gebührenfrei)

HOME
LITERATUR
ANSPRECHPARTNER
PRODUKTE

Suchen nach:

Suchen

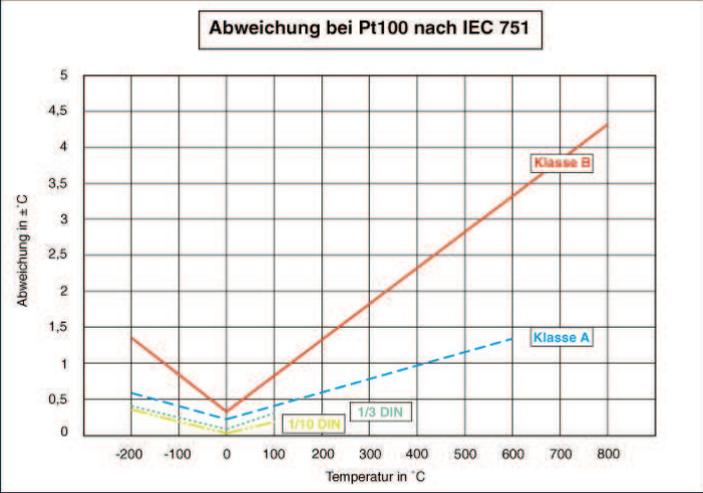
Einkaufswagen
 Kontakt
 E-Mail
 Info

OMEGA Technische Informationen

<< zur Themen-Übersicht
zur Pt100 Produktseite >>

Referenzdaten : Genauigkeitsklassen von Pt100-Aufnehmern

**Abweichung bei Pt100 nach IEC 751**



Abweichung bei Pt100 nach IEC 751				
Temperatur in °C	Klasse B Abweichung in ±°C	Klasse A Abweichung in ±°C	1/3 DIN Abweichung in ±°C	1/10 DIN Abweichung in ±°C
-200	1,3	0,55	0,43	0,38
-100	0,8	0,35	0,27	0,12
0	0,3	0,15	0,10	0,03
100	0,8	0,35	0,27	0,12
200	1,3	0,55		
300	1,8	0,75		
400	2,3	0,95		
500	2,8	1,15		
600	3,3	1,35		
700	3,8			
800	4,3			

© 2003-2013 Newport Electronics GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

## A.2.7 Staurohr



SPEZIALISTEN IN DER LÜFTUNGSTECHNIK

### AIRFLOW-Staurohre aus Edelstahl mit elliptischer Kopfform



#### **Bedienungsanleitung**

Bitte vor der Inbetriebnahme sorgfältig durchlesen!

**Airflow Lufttechnik GmbH, Postfach 1208, D-53349 Rheinbach**

Telefon 0 22 26 / 92 05-0, Telefax 0 22 26 / 92 05-11, eMail: [info@airflow.de](mailto:info@airflow.de), Internet: <http://www.airflow.de>  
Airflow Developments Ltd., High Wycombe, England, Phone +44-1494/525252, Fax +44-1494/461073  
Airflow Lufttechnik GmbH, o. s. Praha, Česká republika Phone +420 274 772 230, Fax +420 274 772 370

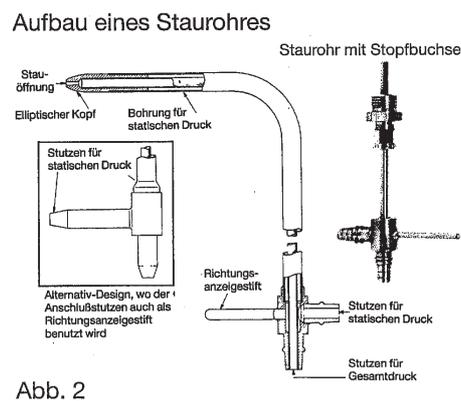
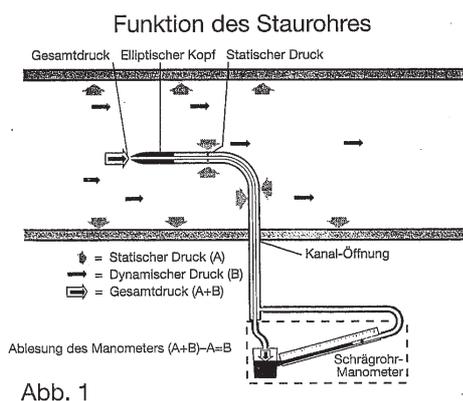
## Das Staurohr

ist ein anerkanntes Instrument zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit in Kanälen. Bei der Verwendung hochpräziser Mikromanometer erlaubt die Staurohrmessung weitaus genauere Messwerte als jede nicht elementare Messmethode.

Der Vorteil eines Staurohres besteht auch darin, dass mit relativ geringem Aufwand eine schnelle Messung mit reproduzierbaren Messergebnissen möglich ist. Im Vergleich zu anderen Messmethoden zur Geschwindigkeitsmessungen in geleiteter Luft- oder Gasströmung ergeben sich weitere Vorteile:

es besteht kein Durchfluss des Mediums durch den Messaufbau. Dies schließt eventuelle Fehler durch den Einfluss von Systemveränderungen aus. Das bedeutet, dass es praktisch keine Entfernungsbegrenzung zwischen Staurohr und Mikromanometer gibt. Die Tatsache dass kein Gasdurchfluss vorliegt verhindert auch die Ablagerung von Staub in den Staurohren. Das Messverfahren kann daher problemlos auch in verunreinigten Medien eingesetzt werden, wie z. B. in staubhaltigen Abgasen oder solchen mit Verbrennungsrückständen. Die Robustheit der Staurohre aus Edelstahl macht eine problemlose Reinigung mit Lösemittel und/oder trockener Druckluft möglich.

Die Temperaturbeständigkeit der AIRFLOW-Staurohre  $< 8 \text{ mm } \varnothing$  beträgt im Dauereinsatz  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ , kurzzeitig ca.  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ , die Verbindungen sind hart gelötet. Die Temperaturbeständigkeit der Staurohre  $> 8 \text{ mm } \varnothing$  beträgt im Dauereinsatz ca.  $680 \text{ }^\circ\text{C}$ , kurzfristig bis  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ , die Verbindungen sind unter Schutzgas geschweißt. Die Anzeigeringe zur Vorwahl der Messpunkte sind bereits am Staurohr angebracht und bis ca.  $275 \text{ }^\circ\text{C}$  beständig



## Beschreibung der Konstruktion

Das Staurohr besteht im Grunde aus zwei konzentrisch angeordneten Metallrohren, deren Ende um 90° gebogen ist, damit es nach Einführung in den Messkanal gegen die Strömungsrichtung gehalten werden kann. Das innere Rohr führt von der Staudrucköffnung an der Spitze zu dem Anschlussstutzen am anderen Ende des Staurohres. Das äußere Rohr führt von den kreisförmig um die Rohrspitze angeordneten Öffnungen zu dem zweiten, rechtwinklig angeschweißten Anschlussstutzen.

## Charakteristik

Die Form des Kopfes, seine Größe, Anzahl und Anordnung der Bohrungen für die Aufnahme der Drücke sind Kriterien für die Charakteristik eines Staurohres. Die modifizierte elliptische Kopfform der AIRFLOW-Staurohre übertrifft das klassische Prandtl-Staurohr in der Fehlertoleranz durch abweichende Anströmungsrichtung und hat sich in der Praxis daher bestens bewährt. Die Konstruktion zeichnet sich durch die Kombination von zwei praktischen Vorteilen aus: hohe Präzision im verwertbaren Bereich (Beiwert ist 0,997) und relative Unempfindlichkeit gegenüber abweichender Anströmungsrichtung (Abb. 3 und 4).

Charakteristik von AIRFLOW-Staurohren verschiedener Durchmesser in sehr niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten

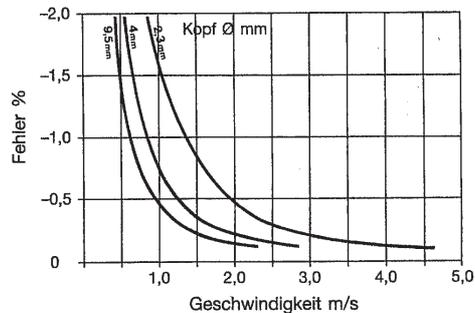


Abb. 3

Auswirkung des abweichenden Anströmungswinkels auf den Messfehler des Differenzdruckes

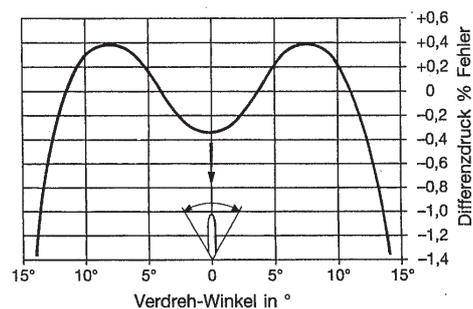


Abb. 4

### **Empfohlene Wahl der Messstelle** (nach VDI 2066 Blatt 1)

In der Messstrecke sollte eine Messstelle gefunden werden, an der die Strömung am besten beruhigt ist. Umlenkungen, Querschnittsänderungen, Abzweigungen, Klappen, und andere Einbauten sowie die Nähe der Ventilatoren wirken sich negativ auf die Strömungsverhältnisse aus, führen zu ungleichmäßiger Strömungsverteilung und somit zu Ergebnissen mit größerer Fehlertoleranz.

Die Messstelle soll daher innerhalb einer geraden Messstrecke mit gleichbleibender Form und Größe des Querschnitts angeordnet sein. Die Längen des störungsfreien Ein- und Auslaufes um die Messstelle sollen mindestens das dreifache, besser fünffache des Kanalquerschnittes (bei rechteckigen Kanälen entsprechend der Diagonalen des Kanalquerschnittes) betragen. Ist diese Anforderung nicht zu erfüllen, dann ist die Einlaufstrecke länger als die Auslaufstrecke zu wählen (Längenverhältnis ca. 2/3 zu 1/3).

### **Empfohlene Wahl der Messpunkte zur Staurohrmessung** (nach VDI 2066 Blatt 1)

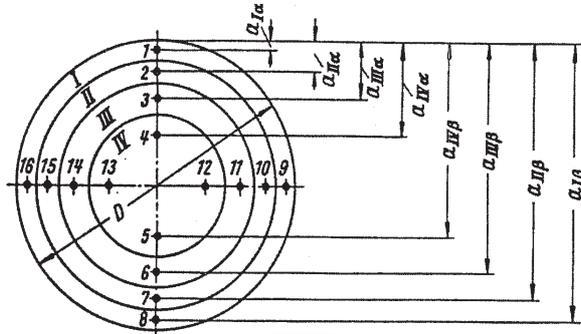
Da die Gasgeschwindigkeit im Messquerschnitt nur an einzelnen Punkten gemessen werden kann ist eine für den Messquerschnitt repräsentative Auswahl der Messpunkte zu treffen. Durch die entsprechende Anzahl und Lage der Messpunkte im Messquerschnitt soll der Gasstrom mit vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand möglichst genau gemessen werden.

Für eine Messung teilt man den Messquerschnitt in gleichgroße Teilflächen ein und verwendet deren Flächenschwerpunkte als Messpunkte (Netzmessung). Bei rechteckigen Querschnitten sollten die Teilflächen der Form der Gesamtfläche ähnlich sein.

Bei runden Querschnitten wird die Messebene in flächengleiche Kreisringe eingeteilt. Die Messpunkte liegen auf den Schnittpunkten der Schwerelinien mit den zwei Messachsen.

Bei sehr gleichmäßiger Strömung kann auch eine Messachse genügen; in schwierigen Sonderfällen können auch mehr Achsen oder der Einbau von Strömungsgleichrichtern erforderlich sein.

### Anordnung der Messpunkte bei einem runden Querschnitt



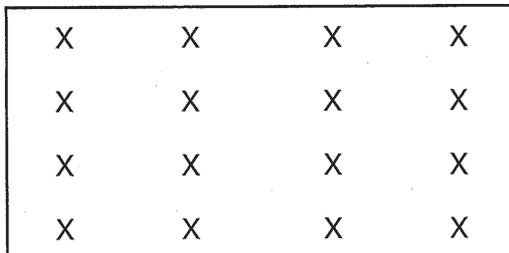
$$a_n = D \cdot \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{2i-2n+1}{2i}} \right) = D \cdot K_n$$

$i$  Anzahl der Teilflächen  
 $n$  Ordnungszahl

Werte für  $K_n$

$n \setminus i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I $\alpha$	0,14645	0,06699	0,04356	0,03229	0,02566	0,02129	0,01819	0,01588	0,01409	0,01265
I $\beta$	0,85355	0,93301	0,95644	0,96771	0,97434	0,97871	0,98181	0,98412	0,98591	0,98734
II $\alpha$		0,25000	0,14645	0,10472	0,08167	0,06699	0,05679	0,04931	0,04357	0,03902
II $\beta$		0,75000	0,85355	0,89528	0,91833	0,93301	0,94320	0,95069	0,95643	0,96098
III $\alpha$			0,29588	0,19382	0,14645	0,11812	0,09911	0,08542	0,07508	0,06699
III $\beta$			0,70412	0,80618	0,85355	0,88188	0,90089	0,91458	0,92492	0,93301
IV $\alpha$				0,32322	0,22614	0,17725	0,14645	0,12500	0,10913	0,09689
IV $\beta$				0,67678	0,77386	0,82275	0,85355	0,87500	0,89087	0,90371
V $\alpha$					0,34189	0,25000	0,20119	0,16928	0,14645	0,12919
V $\beta$					0,65811	0,75000	0,79881	0,83072	0,85355	0,87081
VI $\alpha$						0,35566	0,26855	0,22049	0,18819	0,16459
VI $\beta$						0,64434	0,73146	0,77951	0,81180	0,83541
VII $\alpha$							0,36637	0,28349	0,23648	0,20419
VII $\beta$							0,63363	0,71651	0,76352	0,79581
VIII $\alpha$								0,37500	0,29588	0,25000
VIII $\beta$								0,62500	0,70412	0,75000
IX $\alpha$									0,38215	0,30635
IX $\beta$									0,61785	0,69365
X $\alpha$										0,38879
X $\beta$										0,61181

### Anordnung der Messpunkte bei einer Netzmessung in einem rechteckigen Querschnitt



## Anzahl der nötigen Messpunkte

Messquerschnitt m <sup>2</sup>	Anzahl der Messpunkte
0,03 bis 1 m <sup>2</sup>	4
> 1 m <sup>2</sup>	4 pro m <sup>2</sup> Querschnitt

In der Regel reichen jedoch max. 20 Messpunkte in größeren Messquerschnitten aus. Die erforderliche Anzahl der Messpunkte richtet sich

nach der Strömungsverteilung und der Fläche des Messquerschnittes. Je ungleichmäßiger die Strömungsverteilung ist, um so mehr Messpunkte sind nötig.

## Berechnung der Geschwindigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeit kann bei der Messung aus dem Staudruckwert des dynamischen Druckes unter Anwendung folgender vereinfachter Formel ausgerechnet werden.

$$V(m/s) = 1,29 \times \sqrt{p_{dyn} (Pa)}$$

Die vereinfachte Formel gilt für Standardluft von 1,2 kg/m<sup>3</sup> (entsprechend den verschiedenen Normen: 16 °C bei 1000 hPa bzw. 20 °C bei 1013 hPa, beides bei 55 % rel. Luftfeuchte). Da der Staudruck stark durch die Dichte des Mediums ( $\gamma$  in kg/m<sup>3</sup>) beeinflusst wird, ist nachstehend die Korrekturformel aufgeführt. Die Korrektur erübrigt sich in der Praxis, wenn der statische Druck im System nicht mehr als 1000 Pa und die anderen Parameter nicht mehr als ca. 2 bis 3 % abweichen. Für eventuelle Korrekturen bei stärker abweichenden Werten benutzt man vorteilhaft den Airflow-Rechenschieber oder kalkuliert selbst mit folgender Formel nach:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho_f} \times p_{dyn}} \quad p_f = 1,2931 \times \frac{p_{atm} + p_{stat}}{b_0} \times \frac{T_0}{T_0 + T}$$

- $v$ : Strömungsgeschwindigkeit (m/s) im Betriebszustand des Mediums
- $\rho_f$ : Dichte des Mediums
- $p_n$ : 1,2931, Konstante für Standardluft
- $b_0$ : barometrisches Normal (1013 hPa)
- $T_0$ : Temperaturnormal (293 K)
- $p_{dyn}$ : dynamischer Staudruck (Pa), gemessen
- $p_{atm}$ : barometrischer Druck (hPa), gemessen
- $p_{stat}$ : statischer Druck im System (Pa), gemessen
- $T$ : Temperatur des Mediums (°C), gemessen

Bei Ermittlung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit aus einer Anzahl von Messwerten ist es rechnerisch richtiger die Geschwindigkeiten an jedem Messpunkt zu berechnen und dann den Mittelwert zu bilden. In der Praxis beträgt die Abweichung zu den korrekten Ergebnissen

## A.2.8 Druckmessgerät TA460

# AIRFLOW



## Bedienungsanleitung TA460



Bitte lesen sie sich diese vor Gebrauch sorgfältig durch.

**Airflow Lufttechnik GmbH, Postfach 1208, D-53349 Rheinbach**  
Telefon 0 22 26 / 92 05-0, Telefax 0 22 26 / 92 05-11, eMail: [info@airflow.de](mailto:info@airflow.de), Internet: <http://www.airflow.de>  
**Airflow Developments Ltd., High Wycombe, England, Phone +44-1494/525252, Fax +44-1494/461073**  
**Airflow Lufttechnik GmbH, o. s. Praha, Česká republika, Phone +420 274 772 230, Fax +420 274 772 370**

## Anhang A Technische Daten

Modelle TA460

Strömungsgeschwindigkeit in einem „Pitot- Tube“ (Staurohr) gemessen:

Bereich<sup>1</sup> 50 bis 15500 ft/min. (1,27 bis 78,7 m/s)  
Genauigkeit<sup>2</sup> ±1,5% bei 2000 f/min. (10,16 m/s)  
Auflösung: 1 f/min. (0,1 m/s)

Geschwindigkeit vom Thermosensor

Messbereich 0 bis 30 m/s  
Genauigkeit<sup>3&4</sup> % des Messwerts oder ±0,015 m/s, größerer Wert gilt  
Auflösung 0,01 m/s

Kanalgröße

Abmessungen 1 bis 635 cm in Schritten von 0,1 cm

Volumenstrom

Messbereich abhängig von Geschwindigkeit und Kanalfäche, Druck, und K-Faktor

Temperatur der Thermosonde

Messbereich -10 bis 60 °C  
Genauigkeit<sup>3</sup> ±0,3°C  
Auflösung 0,1 °C

Relative Feuchte der Thermosonde

Messbereich 0 bis 95 % RH  
Genauigkeit<sup>4</sup> ±3 % RH  
Auflösung 0,1 % RH

Feuchtkugeltemperatur der Thermosonde

Messbereich 5 bis 60 °C  
Auflösung 0,1 °C

Taupunkt der Thermosonde

Messbereich -15 bis 49 °C  
Auflösung 0,1 °C

Hitzefluss der Thermosonde

Bereich: Funktion der Geschwindigkeit, Temperatur, Feuchte und des barometrischen Drucks.

Verfügbare Messungen: Sensibler Hitzefluss, latenter Hitzefluss, Totales Hitzefluss und sensibler Hitze Faktor.

Gemessenen Einheiten: BTU/hr, kW

feststehender / veränderlicher Druck:

Bereich<sup>7</sup>: -5 bis +15 in. H2O ( -9,3 bis 28,0 mm Hg, -1245 bis + 3735 Pa )  
Genauigkeit: ±1% Ablesung ±0,005 in. H2O ( ±1 Pa, ±0,01 mm Hg ), ±0,02%/OF (±0,03%/OC )  
Auflösung: 0,001 in. H2O ( 1 Pa, 0,01 mm Hg )

Barometrischer Druck

Bereich: 2,036 bis 36,648 inches Hg (517,15 bis 930,87 HG)  
Genauigkeit 2% des Messwertes

#### Temperaturbereich Messgerät

Betrieb (Elektronik)	5 bis 45 °C
Betrieb (Sonde)	-10 bis 60 °C
Lagerung	-20 bis 60 °C

#### Geräte- Betriebsbedingungen:

Höhenmeter bis zu 4000 m ü. N.  
relative Luftfeuchtigkeit bis zu 80%, nicht Kondensierend  
Luftverschmutzungsgrad 1 nach IEC 664

#### Speicherkapazität

Bereich 26.500+ Messwerte und 100 Test IDs

#### Speicherintervall

1 Sekunde bis zu 1 Stunde

#### Zeitkonstante

Benutzerwählbar: 1,5,10,20,30 Sekunden

#### Reaktionszeit:

Geschwindigkeit	200 msek
Temperatur:	2 Minuten (bis 66% des Endwertes)
Luftdruck:	0,1 ms
Luftfeuchte:	< 1 Minute (bis 66% des Endwertes)

#### Abmessungen

10,7 cm x 18,3 cm x 3,8 cm

#### Gewicht (inkl. Batterien)

0,36 kg

#### Display- Abmessungen:

Haupt- Display:	4-digit LCD, 0,6 in. ( 15 mm ) Ziffern- Höhe
Neben- Display:	3,5-digit LCD, 0,3 in. ( 8 mm ) Ziffern- Höhe

#### Sondenabmessungen

Sondenlänge	101,6 cm
Durchmesser Sondenspitze	7,0 mm
Durchmesser Sondenbasis	13,0 mm

#### Abmessungen abwinkelbare Sonde

Länge des Winkelstückes	16,26 cm
Durchmesser des Gelenkstückes	9,5 mm

#### Stromversorgung

Vier Batterien der Größe AA oder Netzteil

<sup>1</sup> Messungen von Strömungsgeschwindigkeiten unterhalb 5 m/s ( 1000 ft/min. ) werden nicht angeraten. Beste Ergebnisse werden oberhalb 10 m/s ( 2000 ft/min. ) erzielt. Der Messbereich kann in Abhängigkeit vom Luftdruck variieren.

<sup>2</sup> die Genauigkeit der Messergebnisse resultiert aus der Umrechnung von Luftdruck in Strömungsgeschwindigkeit und erhöht sich in dem Maße, wie sich der aktuelle Luftdruck erhöht

<sup>3</sup> Temperaturkompensiert über einen Bereich von 5-65°C

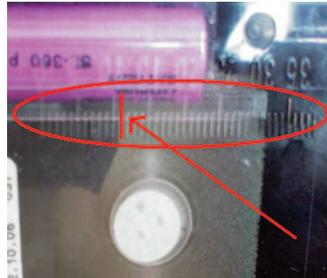
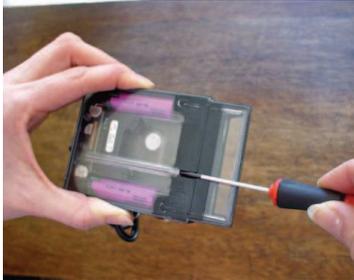
<sup>4</sup> Die Genauigkeitsangabe von  $\pm 3\%$  der messung oder  $\pm 3\text{ft}/\text{min}$  ( $\pm 0,015\text{ m/s}$ ), immer der größerer Wert beginnt bei 30 ft/min bis 9999 ft/min (0,15m/s bis 50m/s)

<sup>5</sup> Die Genauigkeit des Messgerätes bezieht sich auf eine Temperatur von 77°F (25°C). Fügen sie eine Unsicherheit von 0,05°F (0,03°C) für Wechsel in der Temperatur hinzu.

<sup>6</sup> Die Genauigkeit der Sonde bezieht sich auf eine Temperatur von 77°F (25°C). Fügen sie eine Unsicherheit von 0,1%RH/F° (0,2%RH/°C) für Wechsel in der Sonden Temperatur hinzu. Beinhaltet 1% Hysterese.

<sup>7</sup> Überdruck- Bereich = 7 psi ( 190 in. H<sub>2</sub>O, 360 mmHg, 48 kPa ).

## A.2.9 Xemtec XRM-60



4. Before adjusting the plastic casting which carries the optical components, you need to estimate the distance between the surface of the digits to be read and the outer face of the rear optical window of the Comet module.  
This distance should never be less than 5 mm.

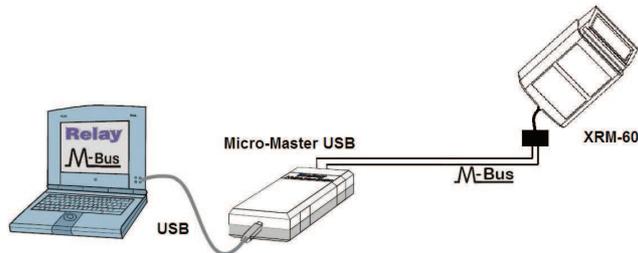
5. When you know the distance ( $\pm 3$  mm) set the front face of the plastic casting carrying the optical components to align with the graduation on the scale that corresponds to the estimated distance. The elevating screw can be driven by a precision screwdriver (e.g Lux-Tools Part No. 58 5740, PH00 x 60 mm; Part No. 58 5730, 1.5 x 60 mm)



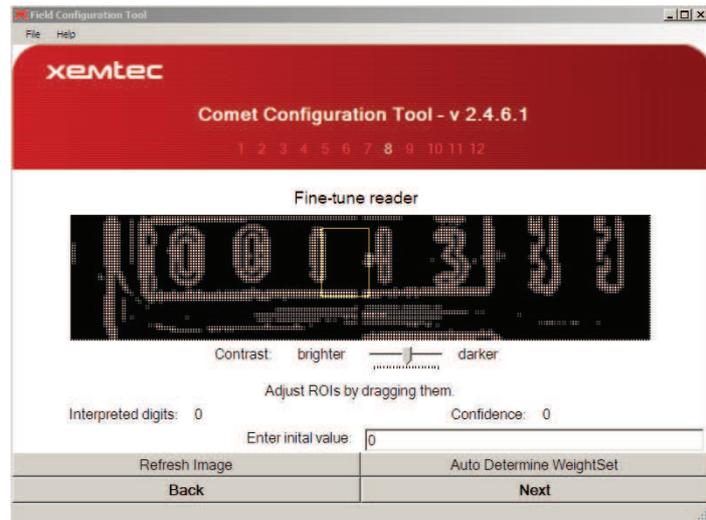
6. Insert the COMET module into the plastic bracket as shown in the photograph



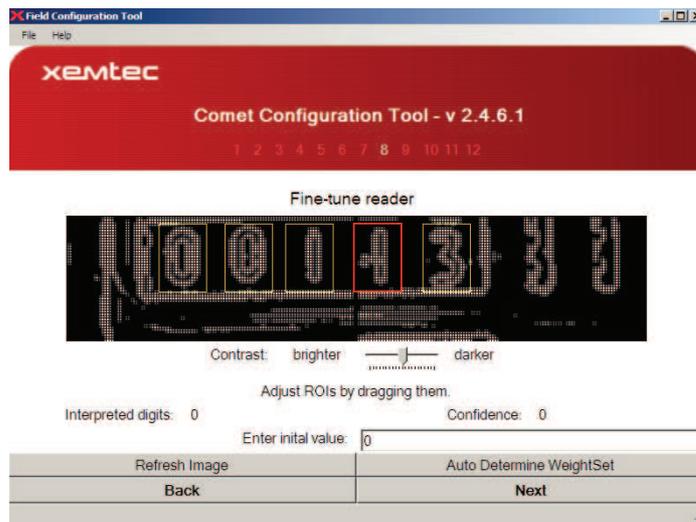
7. Secure the module by inserting the sealable red locking strap provided for this purpose.



8. Connect the XRM-60 to your PC through a Micro-Master USB interface from the Company RELAY GmbH. For more information and the USB driver see [www.relay.de](http://www.relay.de). The driver simulates a virtual serial COM port in Windows operating system. Set the COM port in the FCT Options as described on page 11.



1. Position the number of yellow rectangles or so called *ROI's*, around the number of digits you want to read. To add a ROI, point the arrow with your mouse on the digit you want to read and right or left click with your mouse. To remove a ROI, click on it (its color changes from yellow to red) and press on the *delete* key of your computer. The size of the ROI can also be adjusted to fit well around the digit. For the adjustment of the ROI, place the arrow with your mouse on the bottom right corner of the ROI and drag it inwards to minimize it or outwards to maximize it.



1. Once the ROI's are correctly positioned, click on *Refresh image* and make sure that the digits are correctly recognized.

## A.2.10 Datenlogger

# 6100A 6180A

MODELLE

invenSYS  
Eurotherm



### Papierloser Grafiksreiber Datenblatt

- Farbiges Touch Screen Display
- USB 'Plug & Play'
- Bis zu 48 Universaleingänge
- Bis zu 96MB nicht flüchtiger Speicher
- 125ms Abtastrate
- Compact Flash (CF) oder USB Stick
- Modbus RTU
- Ethernet TCP/IP
- Webserver
- EtherNet/IP server
- Unterstützte Sprachen: Französisch, Holländisch, Deutsch, Italienisch, Japanisch, Koreanisch, Portugiesisch, Russisch und vereinfachtes Chinesisch

Die Modelle der Serie 6000 verfügen über hochgenaue Eingänge mit einer Abtastrate von 125ms, für bis zu 48 Kanäle. Die Eingangskanäle sind frei konfigurierbar und individuell auf Ihre Prozessanforderungen anpassbar. Jedes Gerät verfügt über eine intuitive Touch Screen Oberfläche, die dem Bediener eine klare Übersicht des Prozesses in verschiedenen Formaten bietet. Beide Geräte verfügen über einen internen Datenspeicher, Ethernet Kommunikation oder Compact Flash Karten. Die Daten werden in einem binären, fälschungssicheren Format gespeichert. Deshalb sind die Geräte auch ideal für sichere Langzeitaufzeichnungen von Prozessen. Die Serie 6000 wurde speziell auf die Anforderungen einer modernen Netzwerkumgebung abgestimmt. Zugriff über lokales Netzwerk, Modemverbindung, Intranet oder Internet sind kein Problem.

Verfügbare Funktionen	 	
	6100A	6180A
<b>Anzeige</b>	5,5" 1/4 VGA	12,1" XGA
<b>Kanäle</b>	18	48
<b>Relais</b>	12	27
<b>Ereigniseingänge</b>	24 (6 pro Optionskarte)	
<b>Gruppen</b>	6 Standard (12 optional)	
<b>Audit Funktionen</b>	Als Lite oder Full Version verfügbar	
<b>Virtuelle Kanäle</b>	36, 96, 128	
<b>Timer</b>	Standard	
<b>Alarmer</b>	4 pro Kanal	
<b>Batch</b>	Optional	
<b>Bridge-</b>	Lite als Standard (Full optional)	
<b>Fern-Anzeige Software</b>	24 (optional)	
<b>Screen Builder</b>	Unbegrenzte Anzahl Benutzernamen mit konfigurierbaren Zugriffsrechten und Passwort	
<b>Sicherheit</b>	Standard	
<b>Konfigurationssoftware</b>	Standard	
<b>Review/Quickchart Lite Software</b>	Standard	
<b>Standard Darstellungen</b>	Vertikaler und horizontaler Trend, Vertikaler und horizontaler Bargraphs, Kreisblatt und Numerische Werte	

imagine bigger better smaller