



Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Bachelors of Engineering (BEng)
Von Hans-Jürgen Figur

Geboren am: 14.03.1987

In: Aschersleben

Vorgelegte Bachelorarbeit

Thema:

Im Rahmen der Bachelorarbeit sind die Abgasemissionen für verschiedene Betriebsregime der Brennwertzentrale CGW 20/120 mit dem portablen Abgasanalysator ecom J2KN zu untersuchen.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Heinz

Zweitprüfer: Dr.-Ing. Robert Artur Cichowicz

Merseburg, 06.09.2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	7
2	Aufgabenstellung	8
3	Theoretische Grundlagen zu Luftverunreinigungen, Messmethoden und Gesetzesvorgaben.....	9
3.1	Begriffserklärungen	9
3.1.1	Emission.....	9
3.1.2	Luftverunreinigungen.....	9
3.1.3	Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen–1. BImSchV	14
3.1.4	Kehr- und Überprüfungsordnung KÜO	15
3.1.5	Klimaschutzziele	15
3.2	Wichtige Abgasmessungen für Öl- und Gasfeuerungsanlagen zur Beheizung von Gebäuden oder Räumen mit Wasser als Wärmeträger.....	15
3.2.1	Messung des Kohlenmonoxid	16
3.2.2	Ermittlung des Abgasverlusts.....	16
3.2.3	Messung der Stickoxide	18
3.3	Die Abgasanalyse bei Brennwertthermen	19
3.4	Methoden zur Luft- und Abgasüberwachung.....	20
3.4.1	Hochpräzise instrumentelle Methoden.....	20
3.4.2	Einfache instrumentelle Methoden.....	20
3.4.3	Manuelle Prtikelüberwachungsmethoden	21
3.4.4	Manuelle nass-chemische Methoden.....	21
3.4.5	Passive Untersuchungsmethoden	21
4	ecom-J2KN- Grundlegende Eigenschaften und Abgasanalyse.....	22
4.1	Allgemeine Beschreibung des ecom-J2KN.....	22
4.2	Fotografischer Geräteaufbau des ecom-J2KN	24
4.3	Funktion des Gaskühlers	26
4.4	Den Messungen einen Anlagenbezug zuweisen	27
4.5	Speichern der Messungen über definierte Zeiträume.....	27
4.6	Protokollierung und Auswertung der Messungen im Programm DASNT 5.....	28
4.7	Durchführung der Abgasanalyse mit dem ecom J2KN.....	33
5	Brennwertzentrale Wolf CGW 20/120.....	36
5.1	Brennwerttechnik im Überblick	36
5.2	Heizwert oder Brennwert	40
5.3	Wirkungsgradverlauf bei Brennwertkesseln	42
5.4	Allgemeine Beschreibung der CGW 20/120.....	44
5.5	Schematische Darstellung CGW 20/120.....	50
5.6	Beschreibung des Bedienmodul BM.....	50
6	Laborarbeit-Planung, Messungen und Resultate.....	54
6.1	Planung der Versuche.....	54

6.2	Nachvollziehbare Durchführung der Laborarbeit	56
6.3	Berechnungen und Auswertung für die Vorversuchen der Abgasanalyse und Wirkungsgradbestimmung	63
6.3.1	Berechnungen und Ergebnisse zu den Vorversuchen der Abgasanalyse	64
6.3.2	Berechnungen und Ergebnisse zu den Vorversuchen der Wirkungsgradbestimmung	65
6.3.3	Auswertung der gemessenen und berechneten Ergebnisse für die Vorversuche	67
6.4	Berechnungen und Resultate aus Abgasanalyse und Wirkungsgradbestimmung der Hauptversuche	71
6.4.1	Berechnungen und Ergebnisse für die Abgasanalyse bei unterschiedlichen Warmwassertemperaturen	71
6.4.2	Berechnungen und Ergebnisse für die Kesselwirkungsgradbestimmung bei unterschiedlichen Warmwassertemperaturen	77
6.4.3	Abgasanalyse im Schornsteinfegerbetrieb	81
6.4.3.1	Berechnungen und Ergebnisse für die Abgasanalyse des Schornsteinfegerbetriebs	81
7	Auswertung der Hauptversuche	82
7.1	Betrachtung der Abgasanalyse und der ermittelten Kesselwirkungsgrade bei verschiedenen Warmwassertemperaturen	82
7.2	Auswertung der Schornsteinfegeruntersuchung.....	87
8	Fazit und Optimierungsvorschläge.....	89
9	Fehlerbetrachtung.....	91
10	Quellenverzeichnis	93
11	Anlage.....	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Faktoren zur Berechnung des Abgasverlustes	17
Tabelle 2: Grenzwerte für Abgasverlust von Öl- und Gasfeuerungsanlagen.....	17
Tabelle 3: Grenzwerte für Stickstoffdioxid bei der Verwendung von Heizöl EL.....	18
Tabelle 4: Grenzwerte für Stickstoffdioxid für Gase aus dem öffentlichen Netz	18
Tabelle 5: Mögliche Messgrößen für ecom-J2KN.....	22
Tabelle 6: Kohlenmonoxid und Stickoxide, ohne Kondensation.....	65
Tabelle 7: Kohlenmonoxid und Stickoxide, mit Kondensation	65
Tabelle 8: Berechneter Wirkungsgrad für CGW 20120-Vorversuch.....	67
Tabelle 9: Kohlenmonoxid und Stickoxide in mg/m ³ und mg/kWh	77
Tabelle 10: Kesselwirkungsgrad	80
Tabelle 11: Kohlenmonoxid- und Stickoxidkonzentration im Schornsteinfegerbetrieb	82
Tabelle 12: Abgasanalyse ohne Kondensation-Vorversuch.....	97
Tabelle 13: Abgasanalyse mit Kondensation-Vorversuch	98
Tabelle 14: Messergebnisse zur Bestimmung Wirkungsgrad-Vorversuch	99
Tabelle 15: Messergebnisse (Mittelwerte) der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen.....	100
Tabelle 16: Messergebnisse (Mittelwerte) für die Wirkungsgradbestimmung	101
Tabelle 17: Messergebnisse Abgasanalyse des Schornsteinfegerbetriebs 1	102
Tabelle 18: Messergebnisse Abgasanalyse des Schornsteinfegerbetriebs 2	103
Tabelle 19: Messergebnisse der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen-1.....	104
Tabelle 20: Messergebnisse der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen-2.....	105
Tabelle 21: Messergebnisse für die Wirkungsgradbestimmung	106

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anstieg der CO ₂ -Konzentration von 1958-2013 in der Atmosphäre	11
Abb. 2: Geräteaufbau der Basiseinheit ecom-J2KN	24
Abb. 3: Geräteaufbau Bedienteil ecom-J2KN.....	25
Abb. 4: Tastaturbeschreibung Bedienteil ecom-J2KN.....	25
Abb. 5: Darstellung des Gaskühlers für das ecom J2KN	26
Abb. 6: Bedienteil mit Speicherkarte	29
Abb. 7: DASNT 5 Benutzeroberfläche	29
Abb. 8: DASNT 5 Menüpunkt Messungen.....	30
Abb. 9: DASNT 5 Menüpunkt Kunden.....	30
Abb. 10: DASNT 5 Menüpunkt Messort	31
Abb. 11: DASNT 5 Menüpunkt Messdaten-Numerisch	31
Abb. 12: DASNT 5 Menüpunkt Messdaten-Grafisch.....	32
Abb. 13: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel erster Generation	38
Abb. 14: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel zweiter Generation	39
Abb. 15: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel dritter Generation	40
Abb. 16: Wirkungsgrad und Kondenswassermenge in Abhängigkeit von der Rücklaufemperatur.....	43
Abb. 17: Teillast-Nutzungsgrad in Abhängigkeit der Kesselauslastung.....	44
Abb. 18: Brennwertkessel CGW 20/120.....	45
Abb. 19: Brennkammeroberteil mit Brenner der CGW 20/120 für Flüssiggas.....	46
Abb. 20: Brennkammer mit Heizwasserwärmetauscher	47
Abb. 21: Warmwasserwärmetauscher, Heizkreispumpe und Speicherladepumpe	48
Abb. 22: Sondenkanäle für Gasmessung.....	49
Abb. 23: Schematische Darstellung Wolf Brennwertzentrale CGW 20/120	50
Abb. 24: Bedienmodul BM	51
Abb. 25: Sicherungskasten.....	56
Abb. 26: Millivoltmeter LG-1 der Firma Era.....	57
Abb. 27: Waage und Gasflasche	58
Abb. 28: Bedienfeld CGW 20/120.....	58
Abb. 29: Bedienmodul Einstellung Warmwassertemperatur	59
Abb. 30: Wasserentnahmestelle	60
Abb. 31: Rückansicht des Millivoltmeters.....	61
Abb. 32: Diagramm aus DASNT 5 für den Schornsteinfegerbetrieb.....	88
Abb. 33: Darstellung Wolf Brennwertzentrale mit Solarmodul, Speicher und Instrumenten..	109

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Abgastemperatur bei verschiedenen Temperatureinstellungen.....	70
Diagramm 2: Wirkungsgrad bei verschiedenen Temperatureinstellungen	71
Diagramm 3: Kohlenmonoxid- und Kohlendioxidkonzentration für verschiedene Warmwassertemperaturen.....	83
Diagramm 4: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad für die Abgasanalyse bei verschiedenen Warmwassertemperaturen.....	84
Diagramm 5: Abgastemperatur bei unterschiedlich eingestellten Warmwassertemperaturen	85
Diagramm 6: Errechneter Kesselwirkungsgrad bei unterschiedlichen Warmwassertemperatureinstellungen	86
Diagramm 7: Wirkungsgrad, Abgastemperatur und Taupunkt in Abhängigkeit der Schichtenspeichertemperatureinstellung.....	89

1 Einführung

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit der Betriebsoptimierung und Abgasanalyse der Brennwertzentrale CGW 20/120 der Firma Wolf. Die Brennwertzentrale befindet sich in der Technischen Universität in Lodz, Raum 258, und dient den Studenten als Versuchsanlage. Im zweiten Kapitel wird die Aufgabenstellung für die Bachelorarbeit kurz erläutert. Im dritten Kapitel werden Begriffe und Methoden, die für Abgasanalysen eine Rolle spielen, erklärt. Das Kapitel vier beschäftigt sich mit der Funktionsweise und den Arbeitseinsatz des Abgasanalysengerätes ecom J2KN sowie der Darstellung zur Anwendung des Computerprogrammes DASNT 5. Ein Überblick von Brennwertgeräten im Allgemeinen und der brennwertzentrale CGW 20/120 ist im Kapitel fünf niedergeschrieben. Im sechsten Kapitel sind alle Versuche mit deren Planung, Durchführungen, und Berechnungen hinterlegt. Die Auswertung für die Versuche ist in Kapitel sieben beschrieben. Optimierungsvorschläge für die Brennwertzentrale CGW 20/120 sind im Kapitel acht erläutert. Im Kapitel neun sind Fehler in der Arbeitsweise beschrieben und mit Lösungsvorschlägen angegeben. Die Grundlage zur Versuchsplanung und Durchführung bildeten die für das Industrieproject durchgeführten Vorversuche. Alle Versuche sind selbst geplant und von dem Bachelorbetreuer Herrn Dr. Robert Artur Cichowicz kontrolliert.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Bachelorarbeit sind die Abgasemissionen für verschiedene Betriebsregime der Brennwertzentrale CGW 20/120 mit dem portablen Abgasanalysator ecom J2KN zu untersuchen. Dabei sollen die folgenden Aufgaben bearbeitet werden:

- Darstellung der Funktionsweise der Brennwertzentrale CGW 20/120
- Erarbeitung eines Überblicks über Möglichkeiten der Abgasanalyse bei Brennwertthermen
- Darstellung der Funktionsweise und Einsatzbedingungen des Analysengerätes ecom J2KN
- Planung, Durchführung und Auswertung von Laborversuchen bei verschiedenen Betriebszuständen der Brennwertzentrale CGW 20/120
- Empfehlung für das Betriebsregime der Brennwertzentrale CGW 20/120 zur Einhaltung der zulässigen Abgasgrenzwerte

3 Theoretische Grundlagen zu Luftverunreinigungen, Messmethoden und Gesetzesvorgaben

3.1 Begriffserklärungen

3.1.1 Emission

„Emissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnlichen Erscheinungen.“¹

3.1.2 Luftverunreinigungen

„Luftverunreinigungen im Sinne dieses Gesetzes sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe.“² Luftverunreinigungen können auf Menschen und Tiere, Gewässer und Böden schädlich wirken. Zum Teil hat ihr Vorkommen in der Luft eine natürliche Ursache, als Beispiel sei hier der nach Europa transportierte feine Sahara-Staub genannt. Doch vor allem die verschiedenen Aktivitäten des Menschen beeinträchtigen die Sauberkeit unserer Luft. Saurer Regen führte in den letzten Jahrzehnten in Mitteleuropa zur Schädigung von Pflanzen und Gewässern. Starke Smogentwicklung hatte 1952 in London den Tod tausender Menschen zur Folge. In den letzten Jahren konnte die Belastung durch Luftschadstoffe deutlich reduziert werden. Dennoch sind erhöhte Werte von Ozon, Feinstaub und Stickstoffoxide weiterhin ein Problem. Die Verbesserung der Luftqualität sind daher auch in den kommenden Jahren auf nationaler und internationaler Ebene wichtige Aufgaben. Mit dem Ziel, die Belastung der Luft durch Schadstoffe zu verringern, wurden für die wichtigsten Luftschadstoffe europaweit einheitliche Grenzwerte festgelegt.³

Feinstaub

"Feinstaub (PM10) bezeichnet die Masse aller im Gesamtstaub enthaltenen Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist. Er kann natürlichen Ursprungs sein (beispielsweise als Folge von Bodenerosion) oder durch menschliches Handeln hervorgerufen werden. Feinstaub entsteht aus Energieversorgungs- und Industrieanlagen, bei der Metall- und Stahlerzeugung oder auch beim Umschlagen von

¹ Zitat: <http://www.bfga.de/arbeitschutz-lexikon-von-a-bis-z/fachbegriffe-c-i/emission>; 09.05.2013

² BImSchG; §3; Absatz 4

³ Vgl.: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutants.fwd>; 09.05.2013

Schüttgütern. In Ballungsgebieten ist der Straßenverkehr die dominierende Staubquelle."⁴ Zum Schutz der menschlichen Gesundheit gelten seit dem 01.01.2005 europaweit einheitliche Grenzwerte für Feinstaub (PM10). Laut dem Umweltbundesamt in Berlin beträgt der Tagesgrenzwert für Feinstaub 50 µg/m³ und darf nicht öfter als 35 mal im Jahr überschritten werden. Der zulässige Jahresmittelwert liegt bei 40 µg/m³. Über auftretende Feinstaubbelastungen und Überschreitungen soll die Öffentlichkeit möglichst schnell informiert werden. Aus diesem Grund gibt es in Großstädten häufig temporäre Geschwindigkeitsbegrenzungen, dadurch senkt sich der Brennstoffverbrauch der Kraftfahrzeuge und es wird weniger Feinstaub emittiert.⁵

Kohlenstoffdioxid

Kohlenstoffdioxid ist eine chemische Verbindung bestehend aus einem Kohlenstoffatom und zwei Sauerstoffatomen. CO₂ ist ein unbrennbares, farb- und geruchloses Gas. Es bildet in der Gegenwart von Wasser Kohlensäure. Dabei handelt es sich um eine sehr schwache Säure. Mit basischen Metalloxiden oder -hydroxiden bildet es zwei Arten von Salzen, die Carbonate CO₃²⁻ und die Hydrogencarbonate HCO₃⁻ genannt werden. Kohlenstoffdioxid ist ein natürlicher Bestandteil der Atmosphäre und für das Leben auf der Erde essentiell. Es ist für viele Stoffkreisläufe, z.B. der Fotosynthese, unabdingbar. Die Fotosynthese wird von Pflanzen, Algen und einigen anderen Mikroorganismen betrieben um aus abiotischer Materie biotische Materie zu bilden. Dazu benötigen die Organismen Kohlenstoffdioxid, Wasser und eine Energiequelle in Form von Licht. $6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{hv} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ Die dabei erzeugte Glukose ist die Lebensgrundlage für alle weiteren Lebewesen.⁶ Als natürlicher Bestandteil in der Atmosphäre hat sich im Laufe der Erdgeschichte ein Kohlenstoffdioxidgleichgewicht eingestellt. Es ist essentiell, aber auch ein starkes Treibhausgas. Die industrielle Entwicklung stört das Kohlenstoffdioxidgleichgewicht der Erde. Eine starke Freisetzung des Treibhausgases führt zu einer Klimaerwärmung, die drastische Folgen für das Leben auf der Erde nach sich ziehen kann. Derzeit kommt CO₂ in einer mittleren Konzentration von 0,04Vol-% (400ppm) in der Atmosphäre vor.⁷ „Abb. 1: Anstieg der CO₂-Konzentration von 1958-2013 in der Atmosphäre“ zeigt die monatliche Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre, über einen Zeitraum

⁴ Zitat: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=PM1>; 09.05.2013

⁵ Vgl.: <http://www.umwelt-plakette.de/feinstaub.php>; 09.05.2013

⁶ Vgl.: Walter R.; Wintersemester 2012/13

⁷ Vgl.: Walter R.; Wintersemester 2012/13

von 55 Jahren. Der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre ist in dieser Zeit um etwa 90ppm gestiegen. Der Grund dafür liegt in der industriellen Entwicklung des Menschen.⁸

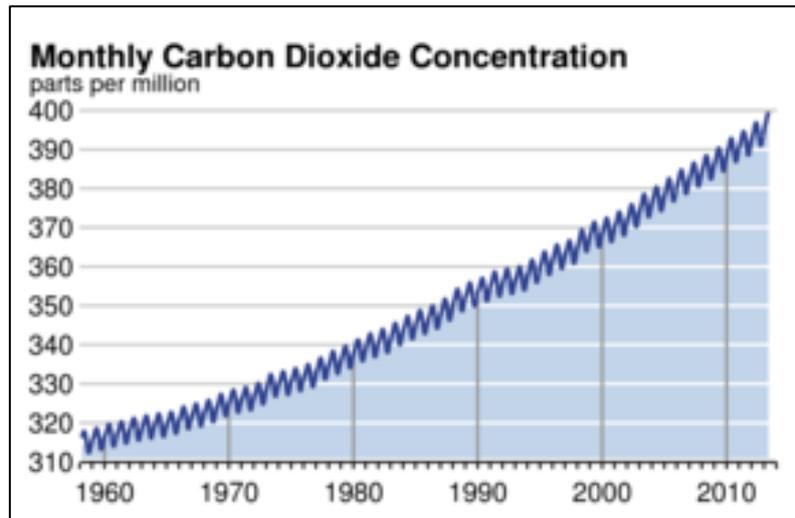


Abb. 1: Anstieg der CO₂-Konzentration von 1958-2013 in der Atmosphäre⁹

Um Arbeit aufzuwenden werden in den meisten Regionen der Erde Maschinen eingesetzt. Die Energie, die die Maschinen antreibt wird zum großen Teil aus Verbrennungsprozessen gewonnen. Auch die für unsere Behaglichkeit verwendete Wärme ist in der Regel ein Resultat von Verbrennungsprozessen. Bei diesen Prozessen werden brennbare organische Stoffe möglichst vollständig oxidiert. Die dabei entstehenden Gase, hauptsächlich Kohlenstoffdioxid und Wasser, gelangen in die Atmosphäre und sind möglicherweise der Hauptgrund für die bestehende Klimaerwärmung.¹⁰

Kohlenstoffmonoxid

Kohlenstoffmonoxid ist eine chemische Verbindung aus einem Kohlenstoff- und einem Sauerstoffatom. Es ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas. In genau diesen Eigenschaften liegt das Gefährdungspotential von CO, weil es sich hierbei um ein sehr toxisches Atemgift handelt. Wenn es über die Lunge in den Blutkreislauf gelangt, verbindet es sich mit dem zentralen Eisenatom des Hämoglobins und behindert so den Sauerstofftransport im Blut, was zum Tod durch Erstickung führen kann.¹¹ Dieses Gas

⁸ Vgl.: <http://scrippsco2.ucsd.edu/>; 11.05.2013

⁹ Abbildung aus: <http://scrippsco2.ucsd.edu/>; 11.05.2013

¹⁰ Vgl.: <http://www.nature.com/climate/2008/0812/full/climate.2008.122.html>; 11.05.2013

¹¹ Vgl.: <http://www.enius.de/schadstoffe/kohlenmonoxid.html>; 11.05.2013

ist ein Produkt aus Verbrennungsprozessen. Es entsteht bei einer unvollständigen Verbrennung. Dadurch geht von ihm eine besondere Gefahr in der Nähe von häuslichen und industriellen Verbrennungsanlagen aus. Weil CO nur unvollständig oxidiert ist, ist es leicht brennbar und kann problemlos in einer weiterführenden Verbrennung nachverbrannt werden. Dadurch kann das Gefährdungspotential für die Umwelt in industriellen Verbrennungsanlagen verringert werden. Hauptquelle für die CO-Belastung der Luft ist der Kfz-Verkehr. In der Nähe von stark befahrenen Straßen können problemlos Konzentrationen von 50ppm (60mg/m^3) erreicht werden.¹² „Am 01.01.2005 ist zum Schutz von Mensch und Umwelt der Grenzwert für Kohlenmonoxid in Kraft getreten. Danach darf der höchste 8-Stunden-Mittelwert eines Tages 10 mg/m^3 nicht überschreiten.“¹³

Ozon

Das Ozon-Molekül besteht aus 3 Sauerstoffatomen O_3 . Es hat die für den Menschen lebenswichtige Eigenschaft, aus dem Sonnenlicht die ultraviolette Strahlung herauszufiltern. In einer Höhe von ca. 20 - 30 km über dem Erdboden entsteht Ozon durch Sonneneinwirkung auf Sauerstoff. Dieses natürliche Ozon spielt als Luftschadstoff nur dann eine Rolle, wenn es durch vertikale Austauschvorgänge in Bodennähe gelangt. Das kommt jedoch nur selten vor. Problematisch wird das Ozon bei der Entstehung in Bodennähe.¹⁴ Hier tritt es als Bestandteil des Sommer-Smogs in einem Gemisch von Chemikalien bei intensiver Sonneneinstrahlung auf. Eine Möglichkeit zur Ozonbildung ist das Vorhandensein von Stickstoffdioxid NO_2 und Sonnenenergie $h\nu$: $\text{NO}_2 \xrightarrow{h\nu} \text{NO} + \frac{1}{2}\text{O}$ und $\frac{1}{2}\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$. Gleichzeitig wird O_3 wieder durch NO abgebaut. Es besteht also ein Gleichgewicht zwischen den Komponenten. In der Atmosphäre befinden sich aber auch flüchtige Kohlenwasserstoffe die durch OH-Radikale Peroxid-Radikale bilden. Diese Radikale sorgen dafür, das NO zu NO_2 oxidiert wird, ohne dass dabei O_3 verbraucht wird. Das Gleichgewicht wird dadurch gestört und die Ozon-Konzentration in Bodennähe kann ansteigen. Erhöhte Ozonkonzentrationen können beim Menschen Einschränkungen der Lungenfunktion und Lungenkrankheiten hervorrufen. Bei Pflanzen können Schäden an Blattorganen auftreten. Langfristige Belastungen

¹² Vgl.: Recknagel, Sprenger, Schramek; 2007/08; S. 2

¹³ Zitat: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=CO>; 11.05.2013

¹⁴ Vgl.: Recknagel, Sprenger, Schramek; 2007/08; S. 2

beeinträchtigen Wachstum und Ernteerträge.¹⁵ „Für die Ozonkonzentration gibt es eine Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und eine Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit ist ein Zielwert festgelegt: Der maximale 8-Stunden-Wert eines Tages darf an höchstens 25 Tagen pro Kalenderjahr, gemittelt über 3 Jahre, den Wert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschreiten. Langfristig sollen die maximalen 8-Stundenmittel den Wert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gar nicht mehr überschreiten.“¹⁶

Schwefeldioxid

Schwefeldioxid SO_2 ist ein farbloses, stechend riechendes, wasserlösliches Gas und besteht aus einem Schwefelatom und zwei Sauerstoffatomen. Es entsteht vor allem bei der Verbrennung der fossilen Energieträger Kohle und Öl. Mensch und Umwelt werden durch hohe SO_2 -Konzentrationen beeinträchtigt. Es führt beim Menschen zu Schleimhautreizungen, Kopfschmerzen, Übelkeit bis hin zum Erbrechen. Schwefeldioxid reagiert mit Wasser zu Schwefelsäure. Dieser Prozess verläuft in zwei Schritten. Als erstes reagiert das Schwefeldioxid mit dem Wasser unter der Bildung von schwefliger Säure $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$. Folgend findet eine Reaktion mit Sauerstoff statt und es entsteht Schwefelsäure $2\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4$. Diese Reaktion erklärt den Grund für die Bildung des sauren Regen, der Verursacher für zahlreiche Wald- und Fischsterben ist.¹⁷ Auch Gebäude werden durch den sauren Regen beschädigt. Hiervon besonders betroffen war in den 70er Jahren die Region zwischen Dresden, Prag und Krakau, auch Schwefeldreieck genannt. Eine große Zahl von Kohlekraftwerken auf engstem Raum hatte eine bis dahin ungeahnte Luftverschmutzung zur Folge. In der Atmosphäre aus Schwefeldioxid entstehende Sulfatpartikel tragen außerdem zur Belastung mit Feinstaub (PM_{10}) bei.¹⁸ „Für Schwefeldioxid gelten seit dem 1. Januar 2005 europaweit einheitliche Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Der 1-Stunden-Grenzwert beträgt $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und darf höchstens 24mal im Jahr überschritten werden. Der Tagesgrenzwert von $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ darf nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden.“¹⁹ Verbesserte Technik in Verbrennungsprozessen, sowie in der Abgasreinigung, führen zu einem jährlichen

¹⁵ Vgl.: Walter R.; Wintersemester 2012/13

¹⁶ Zitat: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=O3>; 11.05.2013

¹⁷ Vgl.: Walter R.; Wintersemester 2012/13

¹⁸ Vgl.: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=SO2>; 11.05.2013

¹⁹ Zitat: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=SO2>; 11.05.2013

Rückgang der SO₂-Emission.²⁰ „2011 wurden rund 18.500 Tonnen Schwefeldioxid emittiert und somit um ca. 75% weniger als 1990. Im Vergleich zu 2010 sind die Emissionen um 1,8% gesunken.“²¹

Stickoxide

Stickoxide, auch Nitrose Gase oder Stickstoffoxide genannt, sind Sammelbezeichnungen für gasförmige Oxide des Stickstoffs. Sie werden in der Summe als NO_x abgekürzt. NO_x entstehen überwiegend als unerwünschte Nebenprodukte bei der Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen bei hoher Temperatur. Der mit Abstand größte Verursacher ist der Verkehr. Für den Menschen besonders schädlich ist NO₂, da es Kopfschmerzen, Schwindelgefühl und in erhöhten Dosen Atemnot und Lungenödeme auslösen kann. Stickstoffdioxid ist ein rotbraunes und stechend riechendes Gas. Stickoxide sind Leitgase für die Bildung des Sommersmogs. Sie sind für die bodennahe Bildung von Ozon sowie für die Bildung von sauren Regen verantwortlich. In der Gegenwart von Wasser und Sauerstoff bilden Stickoxide, vor allem Stickstoffdioxid, Salpetersäure $4NO_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4HNO_3$.²² „Zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurde europaweit einheitlich für Stickstoffdioxid der 1-Stunden-Grenzwert von 200 µg/m³ festgelegt, der nicht öfter als 18mal im Kalenderjahr überschritten werden darf. Der Jahresgrenzwert beträgt 40 µg/m³“²³

3.1.3 Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen–1. BImSchV

Am 22.03.2010 ist die überarbeitete Kleinfeuerungsverordnung wirksam geworden. Bis dato galten Verordnungen von Stand 1988. Die Erreichung der Klimaschutzziele erforderte eine Veränderung in den Verordnungen. Grundlegend sollen durch diese Veränderungen Feinstäube, Schadgase und Geruchsstoffe als Emission verringert werden. Dafür sind Sanierungsmaßnahmen bestehender Anlage nötig, sowie die Inbetriebnahme einer neuen Generation von Feuerungsanlagen. Somit dient die Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen der Verwirklichung der Klimaschutzziele durch die Festlegung von Grenzwerten und Normen.²⁴ Jedoch wird die Abgasüberprüfung und Überwachung von Brennwertthermen nicht in dieser

²⁰ Vgl.: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=3578>; 25.08.2013

²¹ Zitat.: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/so2/>; 11.05.2013

²² Vgl.: Walter R.; Wintersemester 2012/13

²³ Zitat: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=NO2>; 11.05.2012

²⁴ Vgl.: <http://www.bmu.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/verordnung-ueber-kleine-und-mittlere-feuerungsanlagen-1-bimschv/>; 09.05.2013

Verordnung behandelt. Dafür ist die Verordnung über Kehrung und Überprüfung von Anlagen verantwortlich.²⁵

3.1.4 Kehr- und Überprüfungsordnung KÜO

Die Kehr- und Überprüfungsordnung bildet die Richtlinie für die Überwachung und Kehrung von häuslichen Feuerungsanlagen. Es werden Pflichten des Schornsteinfegers beschrieben, die Durchführung von Kehrungeu genannt und Wiederholungsintervalle für erneute Kehrungeu und Abgaswegeüberprüfungen aufgelistet, um nur einige zu nennen.²⁶

3.1.5 Klimaschutzziele

Die Ziele für den Klimaschutz haben die Absicht, die Umwelt langfristig vor Schadstoffen zu schützen und einen Ausstoß dieser Emissionen weitestgehend zu vermeiden. Das bezieht sich insbesondere auf klimagefährdende Treibhausgase. Aufbauend auf dem integrierten Energie- und Klimaprogramm von 2007 hat die Bundesregierung im Rahmen ihres Energiekonzepts von 2010 das Ziel bekräftigt, bis zum Jahr 2020 den Ausstoß von Treibhausgasemissionen gegenüber dem Basisjahr 1990 um 40 Prozent zu reduzieren. Dieses Ziel ist ambitioniert, aber laut der Bundesregierung erreichbar. Die Bundesregierung geht davon aus, dass durch die bisher beschlossenen und umgesetzten Maßnahmen bis 2020 bis zu 35 Prozent Minderung erreicht werden können. Um das 40 Prozent-Ziel zu erreichen, sind eine Reihe zusätzlicher Klimaschutzmaßnahmen erforderlich, insbesondere in den Bereichen Energieeffizienz, Verkehr und Emissionshandel.²⁷

3.2 Wichtige Abgasmessungen für Öl- und Gasfeuerungsanlagen zur Beheizung von Gebäuden oder Räumen mit Wasser als Wärmeträger

Die Abgasmessung, nicht zu verwechseln mit der Abgasuntersuchung aus dem Kfz, ist eine vom Schornsteinfeger durchzuführende Messung, die in der Hausheizungsanlage Gas- und Ölkessel betrifft. Ausgenommen sind Brennwertgeräte und in der Trinkwasseranlage Trinkwassererwärmer. Es ist eine wichtige Überprüfung die in Deutschland, durch die Verordnung für kleine und mittlere Feuerungsanlagen und der Kehr- und Überwachungsordnung, beschrieben wird. Die Überwachung von häuslichen Brennwertgeräten wird nur durch die Kehr- und Überprüfungsordnung beschrieben. Die

²⁵ Vgl.: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/k_o/gesamt.pdf; 15.08.2013

²⁶ Vgl.: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/k_o/gesamt.pdf; 15.08.2013

²⁷ Vgl.: <http://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/>; 09.05.2013

Abgasmessung wird mit einer Lambda-Sonde im Kernstrom des Verbindungsrohres zwischen Kessel und Abgasrohr durchgeführt. Die Messung wird einmalig innerhalb der ersten vier Wochen nach der Installation durchgeführt und wird dann, für Kessel die nicht älter als 12 Jahre alt sind, in jedem dritten Kalenderjahr wiederholt.²⁸

3.2.1 Messung des Kohlenmonoxid

Für die sicherheitstechnische Überprüfung von Gasfeuerstätten kommt die oft als CO-Messung bezeichnete Abgaswegeüberprüfung zur Anwendung. Im Abgaskanal wird der CO-Gehalt gemessen und auf einen unverdünnten Wert umgerechnet, bei dem der Sauerstoffgehalt im Abgas 0% beträgt. Der CO-Gehalt soll im unverdünnten Abgas, welches mit Hilfe der Luftüberschusszahl Lambda errechnet wird, unter 500 ppm betragen, bei Überschreitung ist dringend eine Inspektion anzuraten, damit ein großer Sicherheitsabstand zum Grenzwert von 1000 ppm erhalten bleibt, der zur sofortigen Stilllegung der Anlage führen kann.²⁹ Des Weiteren gilt für Kleinf Feuerungsanlagen die mit einem Brennstoff laut §3 Absatz 1 Nummer 8 bis 13, z.B. Heizöl oder Gase, betrieben werden, dass die Kohlenstoffmonoxidkonzentration im Abgas 250mg/m^3 nicht überschreiten darf.³⁰

3.2.2 Ermittlung des Abgasverlusts

Der Abgasverlust q_A gibt an, wie viel Prozent der Heiz-Nennwärmeleistung mit dem Abgas verloren gehen. Er ist desto kleiner, je niedriger die Abgastemperatur und je größer der CO_2 Gehalt des Abgases ist, was mit einer kleinen Luftüberschusszahl einhergeht.³¹ „Der Sauerstoffgehalt des Abgases sowie die Abgastemperatur sind quasikontinuierlich als Mittelwert über einen Zeitraum von 30 Sekunden jeweils zeitgleich im gleichen Punkt zu bestimmen. Die Temperatur der Verbrennungsluft wird in der Nähe der Ansaugöffnung des Wärmeerzeugers, bei raumluftunabhängigen Feuerungsanlagen an geeigneter Stelle im Zuführungsrohr gemessen. Der Abgasverlust wird aus den Mittelwerten der quasikontinuierlichen Messung von Abgastemperatur und Sauerstoffgehalt sowie aus den gemessenen Werten für Sauerstoffgehalt und Temperatur der Verbrennungsluft nach folgender Formel errechnet:“³²

²⁸Vgl.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; §14; Absatz 1 und 2; § 15; Absatz 3

²⁹ Vgl.: <http://www.poel-tec.com/lexikon/abgasmessung.php>; 12.05.2013

³⁰ Vgl.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; Anlage 4; Nummer 2

³¹ Vgl.: http://www.automobilly.com/lexikon/3_abgasmessung.html; 25.08.2013

³² Zitat: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; Anlage 2; 3.4.1

$$q_A = (t_A - t_L) \cdot \left(\frac{A}{21 - O_{2,A}} + B \right)$$

q_A ...Abgasverlust [%]

t_A ...Abgastemperatur [°C]

t_L ...Verbrennungslufttemperatur [°C]

$O_{2,A}$...Volumengehalt an Sauerstoff im trockenen Abgas [%]

In „Tabelle 1: Faktoren zur Berechnung des Abgasverlustes“ sind die Parameter A und B für die Berechnung des Abgasverlustes bei verschiedenen Brennstoffen dargelegt.³³

Tabelle 1: Faktoren zur Berechnung des Abgasverlustes³⁴

Faktor	Heizöl EL, naturbelassene Pflanzenöle, Pflanzenölmethylester	Gase der öffentlichen Gasversorgung	Kokereigas	Flüssiggas und Flüssiggasluft- Gemische
A	0,68	0,66	0,60	0,63
B	0,007	0,009	0,001	0,008

„Bei Öl- und Gasfeuerungsanlagen dürfen die nach dem Verfahren der Anlage 2 Nummer 3.4 für die Feuerstätte ermittelten Abgasverluste die nachfolgend genannten Prozentsätze nicht überschreiten.“³⁵ Dargestellt in „Tabelle 2: Grenzwerte für Abgasverlust von Öl- und Gasfeuerungsanlagen“.

Tabelle 2: Grenzwerte für Abgasverlust von Öl- und Gasfeuerungsanlagen³⁶

Nennwertleistung [kW]	Grenzwerte für Abgasverluste [%]
≥ 4 ≤ 25	11
> 25 ≤ 50	10
> 50	9

³³ VGL.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; Anlage 2; 3.4.1

³⁴ Vgl.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; Anlage 2; 3.4.1

³⁵ Zitat: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; § 10; Absatz 1

³⁶ Vgl.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; § 10; Absatz 1

3.2.3 Messung der Stickoxide

„Öl- und Gasfeuerungsanlagen zur Beheizung von Gebäuden oder Räumen mit Wasser als Wärmeträger und einer Feuerungswärmeleistung unter 10 Megawatt, die ab dem 22. März 2010 errichtet werden, dürfen nur betrieben werden, wenn ...Gehalt des Abgases an Stickstoffoxiden... die folgenden Werte nicht überschreitet.“³⁷ Die Grenzwerte für Stickstoffdioxid sind in „Tabelle 3: Grenzwerte für Stickstoffdioxid bei der Verwendung von Heizöl EL“ und „Tabelle 4: Grenzwerte für Stickstoffdioxid für Gase aus dem öffentlichen Netz“ hinterlegt. Jedoch gelten diese Grenzwerte nicht für häusliche Brennwertgeräte. Die CE Abgasnorm Klasse fünf schreibt für Schwefeldioxid einen Grenzwert von 70mg/kWh vor.³⁸

Tabelle 3: Grenzwerte für Stickstoffdioxid bei der Verwendung von Heizöl EL³⁹

Nennwertleistung [kW]	Emissionen [mg/kWh]
≤ 120	110
> 120 ≤ 400	120
> 400	185

Tabelle 4: Grenzwerte für Stickstoffdioxid für Gase aus dem öffentlichen Netz⁴⁰

Nennwertleistung [kW]	Emissionen [mg/kWh]
≤ 120	60
> 120 ≤ 400	80
> 400	120

Des Weiteren gilt für Kleinfeuerungsanlagen die mit einem Brennstoff laut §3 Absatz 1 Nummer 8 bis 13, z.B. Heizöl oder Gase, betrieben werden, dass die Stickoxide in Abgasen einer Anlage die nach dem 22.03.2010 errichtet wurde die Konzentration von 600mg/m³ nicht überschreiten darf.⁴¹

³⁷ Zitat: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; § 6; Absatz 1

³⁸ Vgl.: <http://www.sbz-monteur.de/2007/12/08/angabe-der-nox-klasse-bei-gasgeraten/>; 19.08.2013

³⁹ Vgl.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; § 6; Absatz 1

⁴⁰ Vgl.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; § 6; Absatz 1

⁴¹ Vgl.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; Anlage 4; Nummer 2

3.3 Die Abgasanalyse bei Brennwertthermen

Die Kehr- und Überprüfungsordnung bildet die Richtlinie für die Überwachung von Brennwertgeräten. Laut dieser Verordnung ist nur eine Messung für den Schornsteinfeger von Bedeutung, die Abgaswegeüberprüfung einschließlich Kohlendioxidmessung. Die Kohlenmonoxidmessung erfolgt wie in Punkt „3.2.1 Messung des Kohlenmonoxid“ beschrieben. Zusätzlich wird noch der Kohlenstoffdioxidgehalt im trockenen Abgas gemessen. Dabei soll der vorgegebene Grenzwert für Kohlenmonoxid 1000ppm nicht überschritten werden. Der Kohlendioxidgehalt soll im Abgas zwischen 10% und 12% liegen. In diesem Bereich kann von einer ausreichenden Verbrennung, in Abhängigkeit der Luftüberschusszahl Lambda, ausgegangen werden. Die Kohlendioxidgehalte im Abgas, für die jeweiligen Geräte, werden von den Herstellern zum Vergleich vorgegeben. Weitere Untersuchungen, wie Ermittlung des Abgasverlustes und Messung der Stickoxide, werden von dem Schornsteinfeger nicht durchgeführt. Es reicht aus, wenn der Hersteller nachweislich angibt, dass seine Geräte den maximalen Abgasverlust, siehe „3.2.2 Ermittlung des Abgasverlusts“, und den Grenzwert der CE Abgasnorm Klasse fünf für Stickoxide unterschreiten. Der maximale Grenzwert für Stickoxide im trockenen Abgas beträgt 70mg/kWh. Brennwertgeräte müssen diesen Wert der CE Abgasnorm unterschreiten, um auf dem deutschen Markt zugelassen zu werden.⁴² Grundsätzlich können für die Abgasanalyse von Brennwertgeräten alle handelsüblichen Abgashandmessgeräte und Abgaskoffermessgeräte, wie das ecom J2KN, verwendet werden. Bekannte Hersteller für Abgasanalysengeräte sind unter Anderem rbr-Messtechnik, MRU-Emissionstechnik und Wöhler Messtechnik. Die Abgasanalysen werden immer vor Ort durchgeführt. Eine Probenahme mit anschließender Laboruntersuchung bildet für die Abgasanalyse von häuslichen Feuerungsanlagen einen zu hohen Kostenfaktor und eine zu große Fehlerquelle. Außerdem wäre der technische Aufwand für diese Vorgehensweise unrentabel und stellt somit kein Vergleich zu dem Einsatz von portablen Geräten dar. Abgaskoffermessgeräte haben in der Regel ein größeres Analysenspektrum als Handmessgeräte. Für den Einsatz zur Abgasanalyse an Brennwertgeräten sind jedoch Handmessgeräte völlig ausreichend.⁴³ Zur Analyse der Abgasparameter werden in den Messgeräten meist elektrochemische, infrarote und

⁴² Vgl.: <http://www.sbz-monteur.de/2007/12/08/angabe-der-nox-klasse-bei-gasgeraten/>; 19.08.2013

⁴³ Eichler A. K. (2013); eingetragener Schornsteinfegermeister; Bezirk Aschersleben; Telefonische Auskunft vom 26.08.2013

katalytische Verfahren verwendet, siehe „Tabelle 5: Mögliche Messgrößen für ecom-J2KN“.

3.4 Methoden zur Luft- und Abgasüberwachung

Es gibt zahlreiche Methoden zur Überwachung bzw. Analyse von Luft oder Abgas. Sie unterscheiden sich hinsichtlich des Zeit- und Kostenaufwands. Die Wahl der Methode ist Abhängig von der Dauer der Überwachung, von dem Zustand des Mediums, von den zu überwachenden Substanzen im Medium und von der Art der Anlage bzw. des zu überwachenden Areals. Das Areal bezeichnet das Umfeld in der die Messung durchgeführt wird, das können Städte, Industriegebiete, ländliche Regionen oder auch Naturschutzgebiete sein. Die Anlage beschreibt die Art der Schadstofffreisetzung. Dabei handelt es sich zum Beispiel um Blockheizkraftwerke, Lackindustrien, Pharmaindustrien und Kleinf Feuerungsanlagen für Wohngebäude.⁴⁴

3.4.1 Hochpräzise instrumentelle Methoden

Diese Methoden liefern eine kontinuierliche Aufnahme der Schadstoffe über einen ausgedehnten Zeitraum, dabei kann es sich durchaus um Wochen, Monate oder sogar Jahre handeln. Sie können mit minimalem Aufwand betrieben werden und die Messtechnik hat einen hohen Grad an Präzision. Oft werden die Nachweisgrenzen für die Schadstoffe von dem Auftraggeber festgelegt. Die Instrumente haben auch besondere Anforderungen zu erfüllen, sie müssen über einen langen Zeitraum kontinuierlich laufen ohne an Messgenauigkeit zu verlieren. Das macht die hochpräzisen instrumentellen Methoden auch zu den kostspieligsten Überwachungsmethoden. Diese Methoden, wie z.B. die „differential optical absorption spectroscopy“ (DOAS), werden hauptsächlich für langfristige Studien oder spezielle Untersuchungen in der Industrie verwendet.⁴⁵

3.4.2 Einfache instrumentelle Methoden

Unter den einfach instrumentellen Methoden versteht man fest installierte oder portable Instrumente, zum Beispiel das ecom J2KN. Die aufgezeigten Methoden werden für schnelle Untersuchungen der Luft bzw. der Abgase verwendet, wobei die Messgenauigkeit geringer ist, als die der hochpräzisen instrumentellen Methoden.

⁴⁴ Vgl.: Gurjar B. R., Molina L. T., Chandra S. P.; 2010; S. 25-26

⁴⁵ Vgl.: Gurjar B. R., Molina L. T., Chandra S. P.; 2010; S. 25-26

Zudem sind einfach instrumentelle Methoden in der Anschaffung wesentlich günstiger.⁴⁶

3.4.3 Manuelle Partikelüberwachungsmethoden

Diese Methoden beruhen auf dem Prinzip der Filtration. Partikel, hauptsächlich Feinstaub, werden in der Apparatur auf einzelnen Filterschichten gespeichert. Die Filterschichten können verschiedene Porengrößen aufweisen, was die Ermittlung der Partikelgröße ermöglicht. So kann z.B. Feinstaub (PM₁₀) nachgewiesen werden.⁴⁷

3.4.4 Manuelle nass-chemische Methoden

Die nass-chemischen Methoden werden zur Bestimmung einer Vielzahl von gasförmigen Schadstoffen, wie zum Beispiel SO₂ und NO₂, verwendet. In der Regel sind die Bedienung und der Kostenfaktor den einfachen instrumentellen Methoden sehr ähnlich. Es lassen sich Kurzzeitmessungen durchführen, wobei die meisten Messungen einen längeren Zeitraum, von mehreren Stunden, durchlaufen. Manchmal können die nass-chemischen Messungen durch die Anwesenheit anderer Schadstoffe gestört werden.⁴⁸

3.4.5 Passive Untersuchungsmethoden

Bei diesen Methoden wird keine Analyse der Schadstoffe durchgeführt. Es werden lediglich Proben genommen, die dann später im Labor untersucht werden. Die Probenahme kann gesteuert in regelmäßigen Abständen über einen langen Zeitraum durchgeführt werden. Sie kann aber auch einmalig per Hand, mit der entsprechenden Aufnahmevorrichtung, oder in beliebigen Abständen erfolgen.⁴⁹

⁴⁶ Vgl.: Gurjar B. R., Molina L. T., Chandra S. P.; 2010; S. 25-26

⁴⁷ Vgl.: Gurjar B. R., Molina L. T., Chandra S. P.; 2010; S. 25-26

⁴⁸ Vgl.: Gurjar B. R., Molina L. T., Chandra S. P.; 2010; S. 25-26

⁴⁹ Vgl.: Gurjar B. R., Molina L. T., Chandra S. P.; 2010; S. 25-26

4 ecom-J2KN- Grundlegende Eigenschaften und Abgasanalyse

4.1 Allgemeine Beschreibung des ecom-J2KN

Tabelle 5: Mögliche Messgrößen für ecom-J2KN⁵⁰

Messgröße	Bereich	Verfahren
<i>O₂</i>	0...21vol-%	elektrochemisch
<i>CO</i>	0...2500ppm	elektrochemisch
<i>CO% (Option)</i>	2500...63000ppm	elektrochemisch
<i>NO (Option)</i>	0...5000ppm	elektrochemisch
<i>NO₂ (Option)</i>	0...1000ppm	elektrochemisch
<i>SO₂ (Option)</i>	0...5000ppm	elektrochemisch
<i>H₂S (Option)</i>	0...500ppm	elektrochemisch
<i>H₂ (Option)</i>	0...2000ppm	elektrochemisch
<i>HCL (Option)</i>	0...100ppm	elektrochemisch
<i>C_XH_Y (Option)</i>	0...4vol-% (CH ₄)	katalytisch
<i>C_XH_Y (Option)</i>	0...2000ppm (C ₃ H ₈)	infrarot
<i>C_XH_Y (Option)</i>	0...30000ppm (CH ₄)	infrarot
<i>CO% (Option)</i>	0...63000ppm	infrarot
<i>CO₂ (Option)</i>	0...20vol-%	infrarot
<i>Luftdruck</i>	300...1100hPa	DMS-Brücke
<i>CO₂</i>	0...CO _{2max} '	berechnet
<i>T-Gas</i>	0...500°C	NiCr/Ni
<i>T-Luft</i>	0...99°C	Halbleiter
<i>Differenzdruck</i>	0...+/- 100hPa	DMS-Brücke
<i>Wirkungsgrad</i>	0...120%	berechnet
<i>Abgasverlust</i>	0...99,9%	berechnet
<i>Luftüberschuss</i>	1...∞	berechnet
<i>CO-unverdünnt (O₂Bezug)</i>	-	berechnet
<i>Taupunkt der Abgase</i>	-	berechnet

⁵⁰ Vgl.: Bedienungsanleitung ecom-J2KN; Ausführung B; letzte Seite

Das ecom-J2KN ist ein fernbedienbares Gerät zur Abgasmessung, entwickelt von der rbr Messtechnik GmbH. Es kann zur Abgasanalyse von Festbrennstoff-, Flüssig- und Gasfeuerungsanlagen eingesetzt werden. „Tabelle 5: Mögliche Messgrößen für ecom-J2KN“ zeigt die Messgrößen auf die das ecom analysieren kann. Zusätzlich können mit dem ecom noch Zugmessungen, Strömungsmessungen und Rußmessungen durchgeführt werden. Das Gerät befindet sich in einem Aluminium-Rahmenkoffer, wodurch es vor Beschädigungen geschützt ist. Für Wartungs- oder Reparaturarbeiten lässt sich das schützende Metallgehäuse schnell abbauen.⁵¹ Da das ecom über einen Akku verfügt, kann es auch verwendet werden, wenn sich keine Stromquelle in der Nähe befindet. Der installierte Peltierkühler ermöglicht die Abgasanalyse oberhalb des Wasserdampftaupunktes. Zusätzlich verfügt eine der Entnahmesonden über eine beheizte Rußmesseinrichtung, die trockene Rußbilder garantiert. Das abnehmbare Bedienteil ist besonders für große Anlagen geeignet. Dadurch kann die Basiseinheit mit der kompletten Messtechnik direkt an der Messstelle aufgestellt werden, während das mobile Bedienteil zur Brenneinstellung oder zur Kontrolle von Anlagenkomponenten mitgenommen werden kann. Zur Abgasansaugung wurde dem Gerät eine großzügig dimensionierte Pumpe eingebaut. Sie verkraftet auch raue Einsatzbedingungen und garantiert jederzeit eine ausreichende Messgasversorgung für die Sensorik. Der von der Pumpe geförderte Volumenstrom wird permanent gemessen und kann so vom Anwender laufend kontrolliert werden. Eine automatische Kondensatentsorgung schützt das Messgerät vor Eindringen von schädlichem Kondensat; wichtig vor allem bei Anlagen mit hohem Kondensatanfall, z.B. Brennwertanlagen. Die Füllstandsüberwachung des Kondensatbehälters aktiviert bei Erreichen der Schaltschwelle die Kondensatpumpe. So wird das Kondensat aus dem Behälter befördert, bevor es die feuchteempfindlichen Sensoren schädigen kann. Ein separater Schadstofffilter entfernt sensorschädigende Substanzen wie NO, NO₂ und SO₂. Dadurch wird die Lebensdauer des CO-Sensors nachhaltig verlängert. Ein solcher Schutz ist unverzichtbar bei hohen Konzentrationen an NO, NO₂ und SO₂, wie sie bei Gas- und Dieselmotoren vorkommen können. Das Bedienteil ist mit einem Speicherkartenslot ausgestattet. Auf der Multi-Media-Karte können Punktmessungen als Textdatei und Datenloggeraufzeichnungen als csv-Datei gespeichert werden. Beide Dateitypen können problemlos in das Programm Excel importiert werden.⁵²

⁵¹ Vgl.: <http://rbr-ecom.at/de/k47.ecom-J2KNpro.htm>; 11.08.2013

⁵² Vgl.: http://www.betavertrieb.at/PrGasJ2KN_De.htm; 10.05.2013

4.2 Fotografischer Geräteaufbau des ecom-J2KN

Die folgenden drei Abbildungen beschreiben den Geräteaufbau des ecom J2KN. „Abb. 2: Geräteaufbau der Basiseinheit ecom-J2KN“ zeigt die Kofferansicht des Analysengerätes. In „Abb. 3: Geräteaufbau Bedienteil ecom-J2KN“ und „Abb. 4: Tastaturbeschreibung Bedienteil ecom-J2KN“ ist das Bedienmodul des ecom J2KN beschrieben.

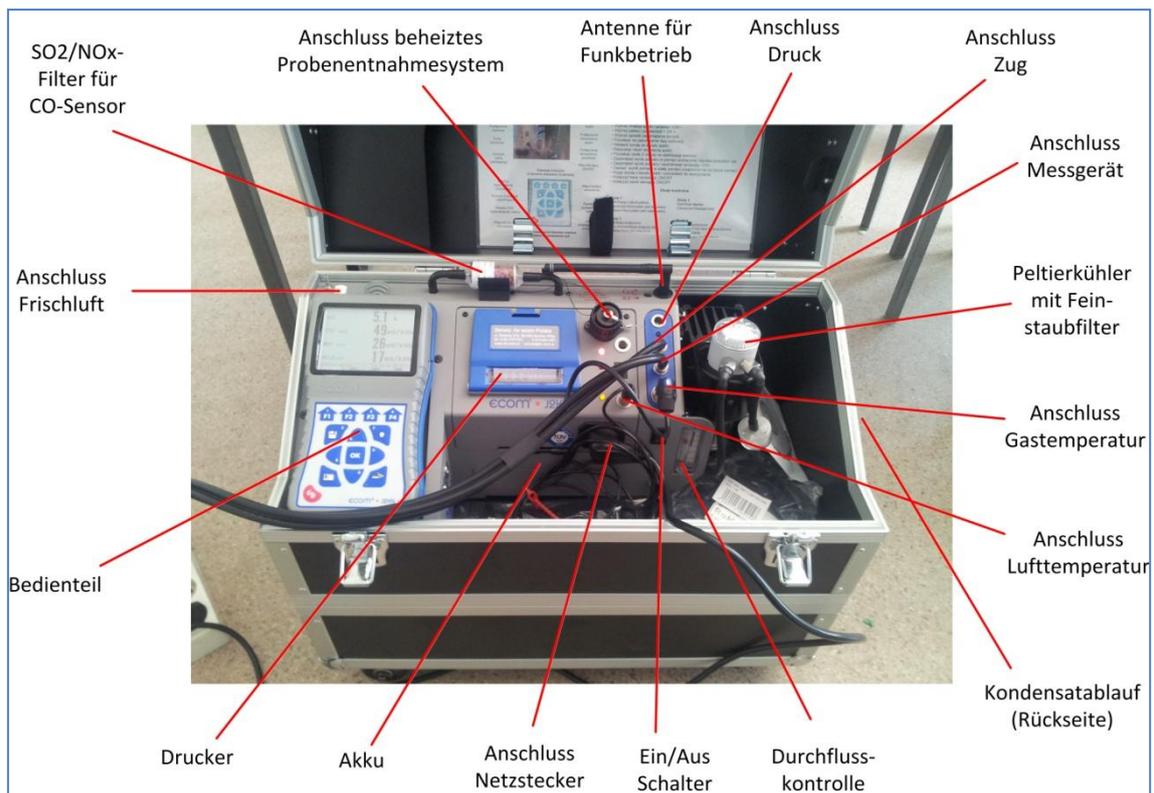


Abb. 2: Geräteaufbau der Basiseinheit ecom-J2KN



Abb. 3: Geräteaufbau Bedienteil ecom-J2KN⁵³

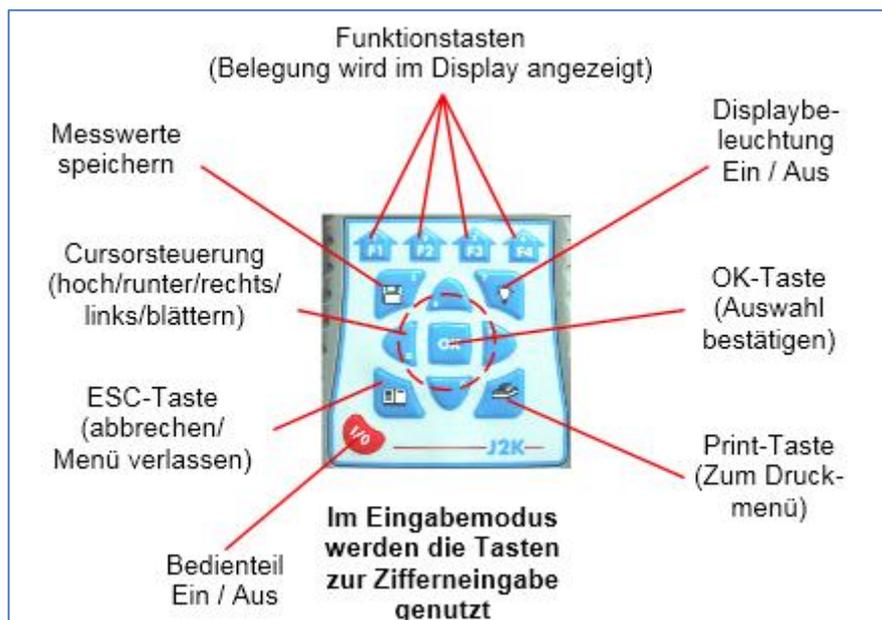


Abb. 4: Tastaturbeschreibung Bedienteil ecom-J2KN⁵⁴

⁵³ Abbildung: Bedienungsanleitung ecom-J2KN; Ausführung B; Seite 5

⁵⁴ Abbildung: Bedienungsanleitung ecom-J2KN; Ausführung B; Seite 5

4.3 Funktion des Gaskühlers

Abgas mit einer Temperatur oberhalb des Wasserdampftaupunktes (35-65°C) wird herunter gekühlt, um die Sensoren des ecom zu schützen. Dazu wird das Abgas spiralförmig durch einen oberflächenbehandelten Metallkörper mit guten Wärmeleiteigenschaften geführt. Das Gas gibt seine Wärme an diesen Metallkörper ab. Ein von einem Gleichstrom durchflossenes Peltierelement ist thermisch mit diesem sowie einem zweiten, mit Kühlrippen und Lüftungsschlitzen versehenen Metallkörper verbunden. Das Peltierelement ist ein Halbleiter-Kühlelement. Es erzeugt einen Wärmeübergang, dabei wird dem Gas Wärme entzogen die über den Metallkörper an den Kühlkörper abgegeben wird. Diese Wärme wird dann durch eine vertikale Zwangsbelüftung an die Umgebungsluft abtransportiert. Das dabei entstehende Kondensat tropft in einen Auffangbehälter und wird von dort durch eine periodisch arbeitende Pumpe auf Anforderung abgepumpt. Die Saugwirkung der Gasförderpumpe verhindert eine ausreichende Verweilzeit des Gases mit dem Kondensat, so dass Auswaschreaktionen, von z.B.: $NO_2 + H_2O \rightarrow H_2NO_3$, nicht stattfinden können.⁵⁵ Das Gas besitzt am Ausgang des Kühlers eine Temperatur von etwa 5°C mit einer relativen Sättigung von nahezu 100% relative Luftfeuchte. Das entspricht einen Wasserdampfanteil von weniger als 7g/m³. Der Gaskühler ist nur bei Netzanschluss verfügbar, weil er einen großen Strombedarf hat.⁵⁶ „Abb. 5: Darstellung des Gaskühlers für das ecom J2KN“ beschreibt den Aufbau des Kühlsystems des ecom J2KN.

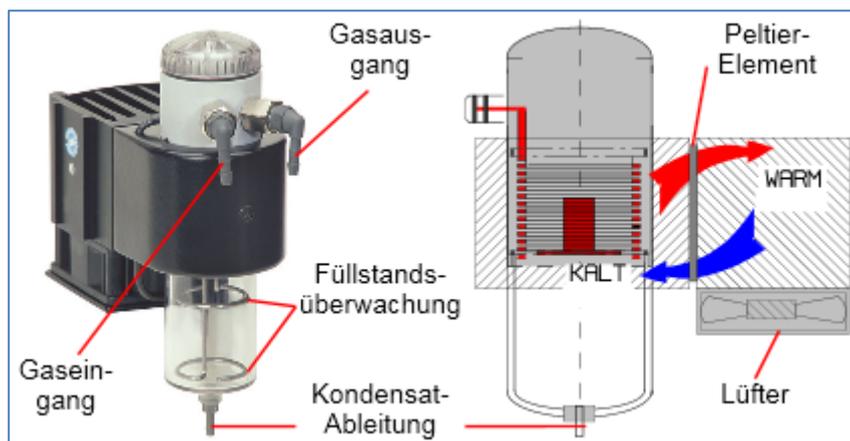


Abb. 5: Darstellung des Gaskühlers für das ecom J2KN⁵⁷

⁵⁵ Vgl.: <http://rbr-ecom.at/de/k47.ecom-J2KNpro.htm>; 11.08.2013

⁵⁶ Vgl.: Bedienungsanleitung ecom-J2KN; Ausführung B; Seite 7

⁵⁷ Abbildung: Bedienungsanleitung ecom-J2KN; Ausführung B; Seite 7

4.4 Den Messungen einen Anlagenbezug zuweisen

Häufig müssen Messungen für einen Standort über bestimmte Zeiträume wiederholt werden. Damit zusammenhängende Messungen auch zusammenhängend archiviert werden, hat das ecom J2KN eine Speicherfunktion, die es ermöglicht alle Ergebnisse einen Anlagenbezug zu zuweisen. Wenn eine Abgasanalyse durchgeführt werden soll, erscheint auf dem Display des Bedienteils die Frage: „Möchten Sie die Datenverarbeitung verwenden?“. Sollen die Messwerte einer Anlage zugeordnet werden, ist die Frage mit „Ja“ zu bestätigen. Soll eine Anlage im Gerät neu aufgenommen werden, dann ist der Menüpunkt „Neuanlage“ zu wählen. Hier kann der Anlage eine Ziffernreihe von maximal 16 Zeichen zugeordnet werden. Nach Bestätigung der Ziffernzuweisung besteht die Möglichkeit über eine Softwaretastatur einen Text mit maximal 20 Zeichen einzugeben. Nach Erstellung der Neuanlage können nun alle Messungen in diesem Anlagenbezug gespeichert werden. Sollen an einem späteren Zeitpunkt neue Messungen für diese Anlage durchgeführt werden, ist der Menüpunkt „Suchbegriffe“ zu wählen. Hier wird die vorher festgelegte Ziffernreihe eingegeben und bestätigt. Das Gerät sucht alle Übereinstimmungen mit dieser Ziffernfolge heraus. Nach Auswahl der gewünschten Anlage, können mit der „Speichern-“ oder der „Print-Taste“ die vorangegangenen Messungen aufgerufen werden. Nach zweimaliger Aktivierung der „ESC-Taste“ wird dieses Menü verlassen und die Aufnahme der aktuellen Messwerte kann beginnen. Damit die Messungen jederzeit abrufbar sind, ist es wichtig nach jeder Messaufnahme die Daten mit der „Speicher-Taste“ zu speichern.⁵⁸

4.5 Speichern der Messungen über definierte Zeiträume

Alle Messungen mit dem ecom-J2KN können auch ohne einen Anlagebezug auf der Speicherkarte des Bedienmoduls gespeichert werden. Das ist sinnvoll, wenn am Einsatzort nicht genügend Zeit vorhanden ist, um Einstellungen vorzunehmen und die Voreinstellung für einen Anlagenbezug noch nicht getroffen wurde. Nachdem das Bedienmodul angeschaltet wurde ist die Frage „Möchten Sie die Datenverarbeitung verwenden?“ mit „Nein“ zu beantworten. Als nächstes wird im Menüpunkt „Datenverarbeitung“ der Unterpunkt „Automatikmessungen“ ausgewählt. In diesem Punkt sind „CSV+Header“ und „Datenlogger“ zu wählen und mit „Ja“ zu aktivieren. Der Datenlogger erstellt dann für jede Aufzeichnung eine eigene Datei. Die Dateien

⁵⁸ Vgl.: Bedienungsanleitung ecom-J2KN; Ausführung B; Seiten 13-15

können später am Computer mit dem Programm DASNT eingelesen und ausgewertet werden, siehe „4.6 Protokollierung und Auswertung der Messungen im Programm DASNT 5“. Der CSV+Header ermöglicht die Erstellung von CSV Dateien. Mit Excel ist es möglich diese Dateien zu öffnen und in eine lesbare Form umzuschreiben. Im Punkt „Messzeit“ kann die Zeitspanne für die Messung aufgenommen werden. Das ist die Zeit in der Messgas angesaugt und analysiert wird. Eine Messung kann maximal 115 Minuten durchgeführt werden, danach muss sich das Analysengerät neu kalibrieren. Die „Automatikzeit“ zeigt die Zeitspanne von einer Kalibrierphase zur nächsten an. Sie ist automatisch fünf Minuten länger als die Messzeit. Somit beträgt der Maximalwert 120 Minuten und der Minimalwert 10 Minuten. Nachdem die Kalibrierphase abgeschlossen ist, wechselt das Analysengerät wieder in die Messzeit und eine neue Messreihe wird aufgenommen. Im Punkt „Speicherzeit“ ist die Intervallzeit für die Datenloggeraufzeichnung anzugeben. Es besteht die Möglichkeit das Intervall zwischen einer Sekunde und 255 Sekunden festzulegen. Eine niedrige Intervallzeit ermöglicht mehr Messaufnahmen, während einer Messung, als eine hohe Intervallzeit. Das kann für den jeweiligen Einsatzort sehr nützlich sein, weil die daraus gewonnenen Resultate in der Auswertung ein genaueres Ergebnis versprechen. Zu beachten ist, dass das Speichervolumen der Speicherkarte höher belastet wird. Letztlich wird der Punkt „Automatik“ mit „OK“ bestätigt und die Aufzeichnung der Messung beginnt. In der Mesanzeige ist nun in der rechten oberen Ecke eine „Diskette“ für den Speichervorgang und ein „A“ für Automatik zu sehen.⁵⁹

4.6 Protokollierung und Auswertung der Messungen im Programm DASNT 5

Nachdem die Abgasmessung gespeichert wurde, siehe „ 4.5 Speichern der Messungen über definierte Zeiträume“, ist die Speicherkarte aus dem Bedienmodul zu entnehmen. Der Speicherkartenslot ist in „Abb. 6: Bedienteil mit Speicherkarte“ dargestellt.

⁵⁹ Vgl.: <http://www.rbr.de/download/manual/bda-j2kn-d.pdf>; S. 34-35; 13.08.2013

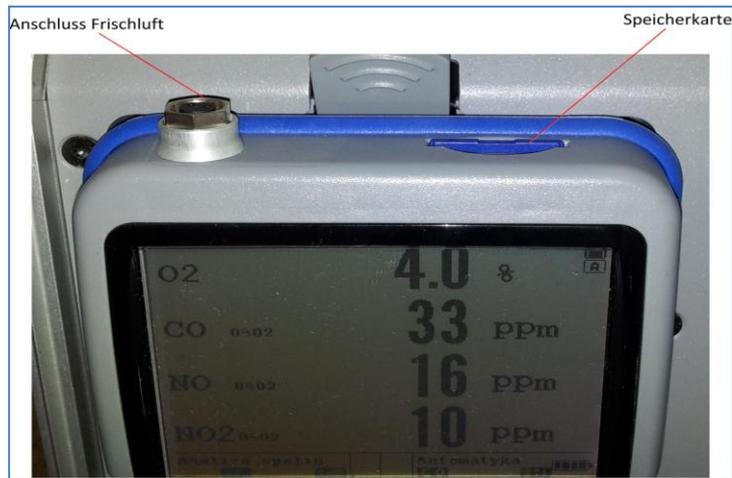


Abb. 6: Bedienteil mit Speicherkarte

Damit die gespeicherten Daten gelesen werden können ist die Speicherkarte in den Kartenleseslot des Computers einzuführen. Das Programm DASNT wurde von der rbr Messtechnik GmbH für die Auswertung der aus dem Gebrauch von portablen Abgasanalysengeräten gewonnen Messreihen entwickelt und kann von der rbr-Internetseite heruntergeladen werden. DASNT 5 bietet viele Möglichkeiten. Die gewonnen Daten können archiviert, protokolliert und als Diagramm ausgewertet werden.⁶⁰

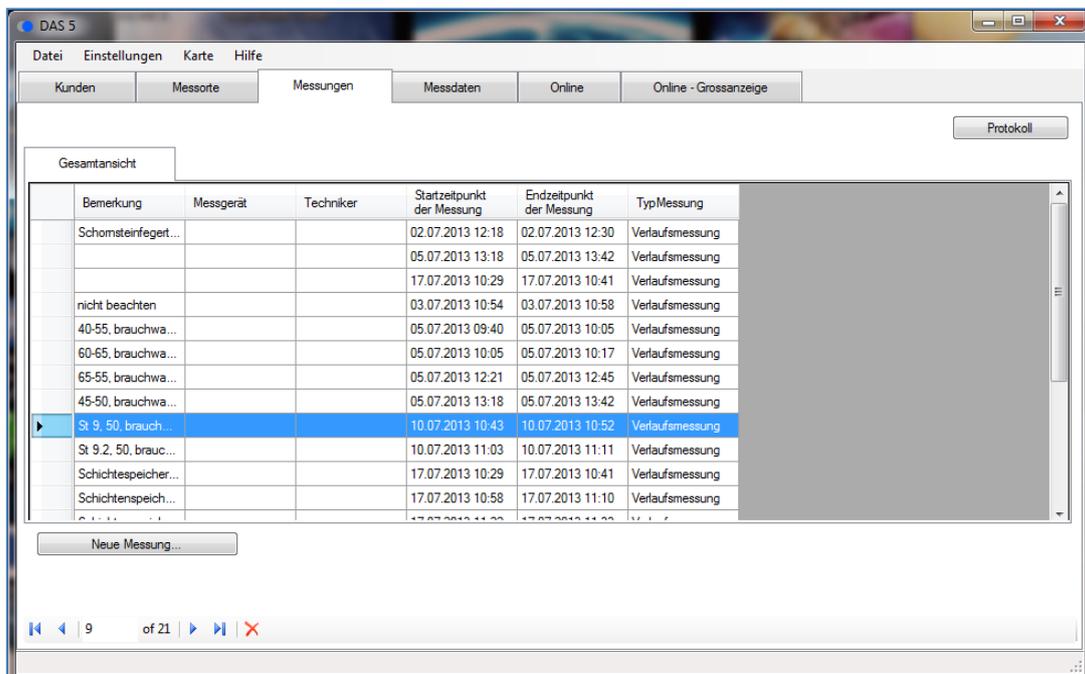


Abb. 7: DASNT 5 Benutzeroberfläche

⁶⁰ In Anlehnung: Programm DASNT 5
29

In der Kategorie „Karte“, siehe „Abb. 7: DASNT 5 Benutzeroberfläche“, wird durch die Wahl des Unterpunktes „Verlaufsmessung von Karte einlesen“ auf die Speicherkarte zugegriffen. Die gewünschten Dateien werden ausgewählt und von dem Programm eingelesen. Alle eingelesenen Messreihen werden im Menüpunkt „Messungen“ angezeigt.⁶¹ Den Messreihen können hier Bemerkungen, Messgerät und Techniker zugeführt werden, siehe „Abb. 8: DASNT 5 Menüpunkt Messungen“.

	Bemerkung	Messgerät	Techniker	Startzeitpunkt der Messung	Endzeitpunkt der Messung	TypMessung
▶	Schomsteinfeger...	ecom J2KN	Figur, H.-J.	02.07.2013 12:18	02.07.2013 12:30	Verlaufsmessung
				05.07.2013 13:18	05.07.2013 13:42	Verlaufsmessung
				17.07.2013 10:29	17.07.2013 10:41	Verlaufsmessung
	nicht beachten			03.07.2013 10:54	03.07.2013 10:58	Verlaufsmessung
	40-55, brauchwa...	ecom J2KN	Figur, H.-J.	05.07.2013 09:40	05.07.2013 10:05	Verlaufsmessung
	60-65, brauchwa...	ecom J2KN	Figur, H.-J.	05.07.2013 10:05	05.07.2013 10:17	Verlaufsmessung
	65-55, brauchwa...	ecom J2KN	Figur, H.-J.	05.07.2013 12:21	05.07.2013 12:45	Verlaufsmessung
	45-50, brauchwa...	ecom J2KN	Figur, H.-J.	05.07.2013 13:18	05.07.2013 13:42	Verlaufsmessung
	St 9, 50, brauch...	ecom J2KN	Figur, H.-J.	10.07.2013 10:43	10.07.2013 10:52	Verlaufsmessung
	St 9.2, 50, brauc...	ecom J2KN	Figur, H.-J.	10.07.2013 11:03	10.07.2013 11:11	Verlaufsmessung
	Schichtespeicher...	ecom J2KN	Figur, H.-J.	17.07.2013 10:29	17.07.2013 10:41	Verlaufsmessung
	Schichtespeich...	ecom J2KN	Figur, H.-J.	17.07.2013 10:58	17.07.2013 11:10	Verlaufsmessung

Abb. 8: DASNT 5 Menüpunkt Messungen

Damit die Daten logisch archiviert werden, ist es zu empfehlen den Messungen einen Kunden und einen Messort zu zuweisen. Dadurch kann zu jeder Zeit auf die richtigen Messungen zugegriffen werden. Im Menüpunkt „Kunden“ können alle wesentlichen Daten, wie Firma, Ansprechpartner und Adresse eingetragen werden, siehe „Abb. 9: DASNT 5 Menüpunkt Kunden“.

Kundennummer :	<input type="text" value="Kunde 1"/>	Bemerkung:	<input type="text" value="Storchnest im Schomstein"/>
Anrede :	<input type="text" value="Herr"/>		
Name / Firma :	<input type="text" value="Such und Such GmbH"/>		
Ansprechpartner :	<input type="text" value="Herr Such"/>		
Strasse :	<input type="text" value="Am Großen Teich 2"/>		
PLZ / Ort :	<input type="text" value="06110"/> <input type="text" value="Halle"/>		
Telefon :	<input type="text" value="92374433"/>		
Telefax :	<input type="text" value="02371-40305"/>		
Email :	<input type="text" value="such@suchundsuch.de"/>		
Mobiltelefon :	<input type="text" value="0173-09884098"/>		

Abb. 9: DASNT 5 Menüpunkt Kunden

⁶¹ In Anlehnung: Programm DASNT 5

In dem Menüpunkt „Messort“ werden im Unterpunkt „Eigentümer“ Angaben zu dem Ort der durchgeführten Messreihen gemacht. In den Unterpunkten „Kessel“ und „Brenner“ ist es möglich das Untersuchungsobjekt näher zu beschreiben, siehe „Abb. 10: DASNT 5 Menüpunkt Messort“.

Abb. 10: DASNT 5 Menüpunkt Messort

Die zuvor in dem Menüpunkt „Messungen“ ausgewählte Messreihe wird im Menüpunkt „Messdaten“ angezeigt. Es besteht die Möglichkeit zwischen zwei Unterpunkten zu wählen, „Numerisch“ und „Grafisch“. Im Unterpunkt „Numerisch“ werden alle gemessenen Parameter in der festgelegten Intervallzeit angegeben. Dadurch lässt sich genau sagen zu welcher Zeit, während der Messung, sich Parameter verändert haben, siehe „Abb. 11: DASNT 5 Menüpunkt Messdaten-Numerisch“. Außerdem können einzelne Datenpunkte markiert werden und durch anklicken des Symbols „Protokoll“ als Protokoll der Firma rbr mit sämtlichen voreingestellten Daten ausgedruckt werden.

Datum Uhrzeit	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	NO2 [ppm]	SO2 [ppm]	Zug [hPa]
05.07.2013 09:4...	5,0	61	14	9	0	0,98
05.07.2013 09:4...	5,0	62	14	9	0	0,98
05.07.2013 09:4...	5,0	63	14	9	0	0,98
05.07.2013 09:4...	5,0	63	14	9	0	0,98
05.07.2013 09:4...	4,9	63	15	9	0	0,98
05.07.2013 09:4...	4,9	64	15	9	0	0,98
05.07.2013 09:4...	4,9	64	15	9	0	0,98
05.07.2013 09:4...	4,9	65	15	9	0	0,98
05.07.2013 09:4...	4,9	65	15	10	0	0,97
05.07.2013 09:4...	4,9	65	15	10	0	0,97
05.07.2013 09:4...	4,9	66	15	10	0	0,97
05.07.2013 09:4...	4,9	67	15	10	0	0,96
05.07.2013 09:4...	4,9	67	15	10	0	0,96
05.07.2013 09:4...	4,9	67	15	10	0	0,96
05.07.2013 09:4...	4,9	67	15	10	0	0,95
05.07.2013 09:4...	4,9	68	15	10	0	0,95

Abb. 11: DASNT 5 Menüpunkt Messdaten-Numerisch

Damit die Messreihe in Form eines Diagrammes dargestellt wird ist der Unterpunkt „Grafisch“ zu wählen. Links neben dem Diagramm sind alle verfügbaren Parameter zu sehen die per Mausclick aktiviert bzw. deaktiviert werden können. Dadurch können alle gewünschten Parameter im Diagramm angezeigt werden, siehe „Abb. 12: DASNT 5 Menüpunkt Messdaten-Grafisch“. Durch Anklicken des Kästchens „3D-Ansicht“ wechselt das Diagramm in die 3D-Ansicht. Auch in diesem Unterpunkt ist es möglich ein Protokoll auszudrucken. Dazu muss das Symbol „Protokoll Grafik“ angeklickt werden.⁶²

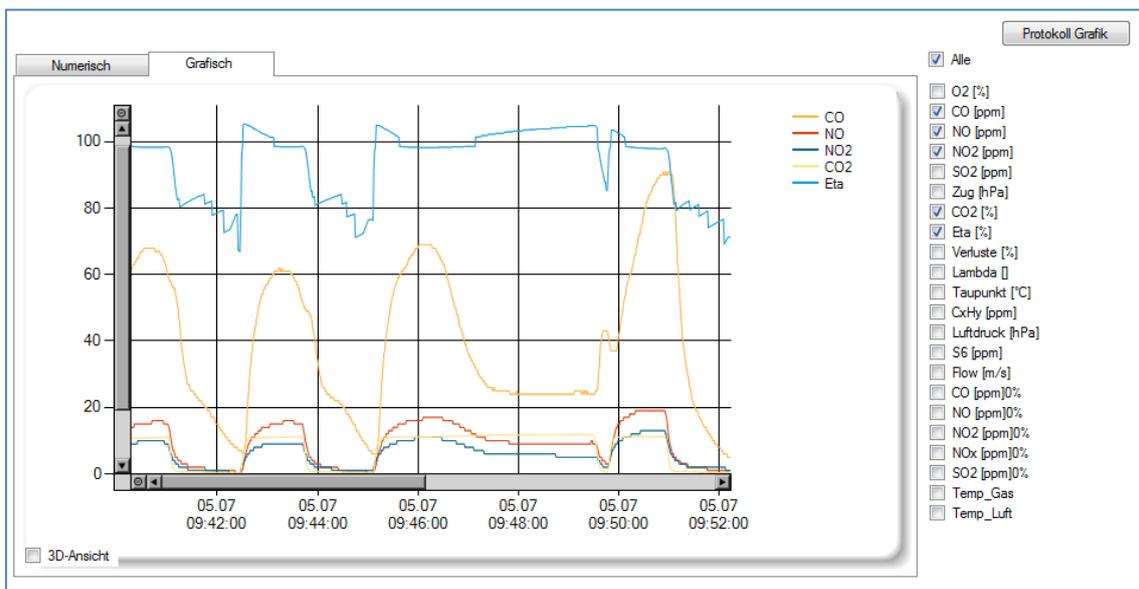


Abb. 12: DASNT 5 Menüpunkt Messdaten-Grafisch

Das Programm bietet noch zwei weitere Menüpunkte, „Online“ und „Online-Grossanzeige“. Mit diesen Punkten ist es möglich direkt mit dem Analysengerät zu kommunizieren ohne eine Speicherkarte in den PC einzuführen, allerdings muss das Gerät über die entsprechenden Funktionen verfügen, um eine Onlinedatenübertragung zu ermöglichen.⁶³

⁶² In Anlehnung: Programm DASNT 5

⁶³ In Anlehnung: Programm DASNT 5

4.7 Durchführung der Abgasanalyse mit dem ecom J2KN

Für die Planung der jeweiligen Durchführungsschritte wurde die Betriebsanleitung des ecom J2KN verwendet.⁶⁴

Schritt 1

Zu Beginn der Messung ist das Analysengerät ecom auf seine Vollständigkeit zu prüfen. Für die Gasanalyse werden die Abgasmesssonde, das Bedienteil und der Netzstecker benötigt. Die Anschlusspositionen sind der „Abb. 2: Geräteaufbau der Basiseinheit ecom-J2KN“ zu entnehmen.

Schritt 2

Für die Messung von Abgasen einer Gastherme oder ähnliches, ist es nötig das Gerät mit dem Stromnetz zu verbinden. Das Gerät verfügt auch über einen internen Akku. Beim Einsatz des integrierten Kühlers muss das Gerät jedoch über den Netzbetrieb laufen. Die Kühlfunktion wird bei Abgastemperaturen oberhalb des Wasserdampftaupunktes (35 bis 65°C) eingesetzt.

Schritt 3

Mit dem abnehmbaren Bedienteil lässt sich die Basiseinheit drahtlos steuern. Das Bedienteil wird wie folgt aus der Basiseinheit entnommen: 1. Entriegelung durch drücken betätigen. 2. Bedienteil nach vorne kippen. 3. Bedienteil aus Basiseinheit entnehmen.

Schritt 4

Nun kann das Bedienteil eingeschaltet werden, siehe „Abb. 4: Tastaturbeschreibung Bedienteil ecom-J2KN“. Der Informationsaustausch zwischen Basiseinheit und Bedienteil findet über Funk statt. Die Qualität der Funkverbindung kann durch eine Balkenanzeige im Hauptmenü des Gerätes überprüft werden. Dabei steht ein langer Balken für eine gute Funkverbindung. Bei Unterbrechung der Funkverbindung erscheint im Display eine Fehlermeldung. Kann diese nicht behoben werden, wird eine neue Datenübertragung mit einem Verbindungskabel ermöglicht.

⁶⁴ In Anlehnung: Bedienungsanleitung ecom-J2KN, Ausführung B

Schritt 5

Nachdem das Bedienteil eingeschaltet wurde erscheint auf dem Display das Hauptmenü. Es werden sieben Verzweigungen mit folgenden Funktionen angezeigt: Abgasanalyse, Zugmessung, Ruß...Ölderivate, Datenverarbeitung, Einstellungen, Kontrolle, Diagnosen. In der Kategorie „Einstellungen“ wird im Untermenü „Einheiten“ die für die Auswertung der Ergebnisse benötigte Einheit verändert werden. Zur Auswahl stehen: ppm, mg/m³, mg/kWh und mg/MJ. Nach Einstellung der gewünschten Einheit wird mit der „ESC-Taste“ das Menü verlassen.

Schritt 6

Sollen Messungen durchgeführt werden, muss zunächst die Basiseinheit eingeschaltet werden, siehe „Abb. 2: Geräteaufbau der Basiseinheit ecom-J2KN“. Jetzt ist mit den Pfeiltasten das Untermenü „Abgasmessung“ zu wählen. Nach Betätigung der „OK-Taste“ beginnt das Gerät mit einer einminütigen Kalibriephase. Während dessen erscheint im Display eine Auswahltabelle für Brennstoffarten. Es kann zwischen den Brennstoffen Heizöl, Erdgas, Stadtgas, Kokereigas und Flüssiggas gewählt werden. Nach Auswahl des Brennstoffes erfolgt die Abfrage ob die Messwerte einer Anlage zugeordnet werden sollen, ist dies nicht erwünscht wird die Abfrage mit „Nein“ bestätigt und es wird mit Schritt sieben fortgefahren. Dadurch müssen für folgende Messungen keine neuen Einstellungen getätigt werden und die Messergebnisse können im selben Datenpool gespeichert werden, siehe „4.4 Den Messungen einen Anlagenbezug zuweisen“.

Schritt 7

Damit die Messreihen auf einem Computer ausgewertet werden können ist die Einstellung nach „4.5 Speichern der Messungen über definierte Zeiträume“ vorzunehmen. Die gewonnenen Daten können dann nach der Abschluss der Messung in dem Programm DASNT, siehe „4.6 Protokollierung und Auswertung der Messungen im Programm DASNT 5“, oder in Excel betrachtet und ausgewertet werden. Dieser Schritt muss nicht zu Beginn der Messung durchgeführt werden. Die Speicherung der Daten kann auch eingestellt werden, wenn sich das Gerät bereits in der Abgasanalyse befindet. Dazu muss nur die ESC-Taste gedrückt werden. Hier können die Einstellung vorgenommen werden.

Schritt 8

Der Menüpunkt „Abgasanalyse“ wird gewählt und das Gerät geht als erstes in eine einminütigen Kalibrierphase über. Danach startet das Analysengerät automatisch den Messbetrieb. Die Abgassonde wird nun in den Abgaskanal so eingeführt, dass das Thermoelement vollständig von Abgas umströmt wird. Dazu wird die Messung im Kernstrom des Abgaskanals durchgeführt. Eine Trendanzeige erleichtert die Kernstromsuche. Solange im Display des Bedienteils ein Plus-Zeichen erscheint, steigt die gemessene Temperatur, das heißt die Sondenspitze bewegt sich in Richtung des Zentrums des Kernstromes. Erscheint ein Minus-Zeichen im Display bewegt sich die Sonde aus dem Kernstrom heraus und die Temperatur sinkt. Erfolgt für mindestens drei Sekunden keine Änderung der Temperatur mehr, erlischt die Trendanzeige. Die Sonde befindet sich nun in optimaler Position.

Schritt 9

Um korrekte Messergebnisse zu erhalten, ist es wichtig das Gerät nach jeder Messung, spätestens nach 115 Minuten, neu zu kalibrieren. Dafür muss die Sonde aus dem Abgaskanal entnommen werden. Der Start einer neuen Kalibrierphase wird im Menü „Einstellungen“ Untermenü „Neue Eichphase“ ausgewählt. Diese Einstellung muss nicht durchgeführt werden, wenn wie in „4.5 Speichern der Messungen über definierte Zeiträume“ eine für den Versuch passende Automatikzeit eingestellt wurde.

Schritt 10

Die Abgasmesswerte werden auf vier Displayseiten dargestellt. Mit den Cursors-Tasten kann einfach zwischen den Displayseiten gewechselt werden. Die Ergebnisse auf den Displayseiten können einzeln mit der „Messwerte Speichern-Taste“ gespeichert werden. Nach der Speicherung ist es auch möglich die Ergebnisse auszudrucken. Dazu wird die „Print-Taste“ gedrückt. Alle gespeicherten Ergebnisse werden mit dem integrierten Drucker ausgedruckt.

Schritt 11

Nach Beendigung aller Messungen ist die Basiseinheit auszuschalten. Anschließend wird auch das Bedienteil ausgeschaltet. Das Bedienteil wird wieder in die Basiseinheit positioniert. Bei der Verstauung der Sonde im Kofferdeckel ist besondere Vorsicht geboten. Die Sondenspitze ist sehr empfindlich und darf nicht beschädigt werden.

5 Brennwertzentrale Wolf CGW 20/120

5.1 Brennwerttechnik im Überblick

Ende der 70er Jahre gab es einen starken Wandel in der Umweltpolitik. Hohe Emissionen aus Industrie, Verkehr und Haushalte führten zu einer starken Umweltverschmutzung. Um diesen Schäden entgegen zu wirken wurde begonnen neue Technologien zu entwickeln. Technologien die unter anderem, durch das Erreichen einer erhöhten Effizienz, die Schadstoffemissionen verringern. 1982 wurde der erste Gas-Brennwertkessel für den Gebrauch in Ein- und Mehrfamilienhäusern von Richard Vetter entwickelt. Mit dieser Technologie wird ein höherer Kesselwirkungsgrad als bei Niedertemperatur-Gasheizkessel erreicht. Bei dem gleichen Aufwand wird weniger Wärme mit dem Abgas emittiert. Das führt zu einem erhöhten Ertrag an nutzbarer Energie. Dadurch kann zum Beispiel für ein Wohnhaus, bei der Umstellung eines Niedertemperaturkessels auf einen Brennwertkessel, Energie in Form von fossilen Energieträgern eingespart werden. Das wiederum führt zu einer Verringerung der Schadgasemissionen. Bei der Brennwerttechnik werden die Abgase mit Hilfe eines Wärmetauschers unter den Wasserdampf-Taupunkt abgekühlt, so dass eine teilweise Nutzung der Kondensationswärme des bei der Verbrennung gebildeten Wasserdampfs erfolgt. Zur Änderung eines Aggregatzustandes ist immer Energie notwendig. Um Wasser von der flüssigen in die gasförmige Phase zu wandeln, muss dem Medium Energie zu geführt werden. Diese Energie nennt man Verdampfungsenthalpie. Während des Phasenwechsels verändert sich nicht die Temperatur des Mediums, es ist ein isothermer Prozess, weil die zugeführte Energie ausschließlich für den Übergang in einen neuen Aggregatzustand genutzt wird. Um also Wasser von den flüssigen in den gasförmigen Zustand zu überführen muss Energie zugeführt werden. Das inverse Gegenstück zur Verdampfungsenthalpie ist die Kondensationsenthalpie. Sie beschreibt die Energie, die durch den Phasenwechsel von dem Gas zur Flüssigkeit, freigesetzt wird. Dementsprechend kann die Kondensation als Ertrag und die Verdampfung als Aufwand angesehen werden. Dadurch wird die Kondensationsenthalpie ΔH_K mit einem negativen Vorzeichen und die Verdampfungsenthalpie ΔH_V mit einem positiven Vorzeichen versehen: $-\Delta H_K = \Delta H_V$.⁶⁵ Für konventionelle Niedertemperaturkessel werden von den Herstellern Kesselwirkungsgrade von unter 100% angegeben. Die Brennwertgeräte

⁶⁵ Vgl.: Langeheinecke K.; Jany P.; Thieleke G.; 2011; S 36

erreichen laut Angaben der Hersteller Wirkungsgrade von bis zu 110%. Das ist physikalisch nicht möglich und wird in „5.2 Heizwert oder Brennwert“ beschrieben. Das Ausnutzen der Kondensation bringt eine besondere Herausforderung für die eingesetzten Werkstoffe. Das Kondenswasser ist durch die Anwesenheit vieler Schadgase äußerst korrosiv. Somit müssen in Brennwertkesseln alle Teile, die regelmäßig mit Kondenswasser in Berührung kommen, aus korrosionsbeständigen Materialien bestehen. V4A-Stähle und Alu-Gußlegierung, wie zum Beispiel AlSi12 und AlMgSi0.5, werden in der Brennwerttechnik besonders häufig eingesetzt. Mit diesen Materialien können problemlos Werkstofflebensdauern von bis zu 20 Jahren realisiert werden. Durch neue Oberflächenveredelungsmethoden kann die Lebensdauer sogar noch erhöht werden. Die Aluminium-Legierungen haben zu den Edelstählen einen klaren Vorteil, sie haben eine höhere Wärmeleitfähigkeit und geben keine Schwermetalle in das Kondenswasser ab.⁶⁶ Brennwertkessel lassen sich in drei Konstruktionsformen unterscheiden. Es gibt die Brennwertkessel der ersten Generation, siehe „Abb. 13: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel erster Generation“. Deren Basis bildet ein konventioneller Gasheizkessel, bestehend aus einem atmosphärischen Gasbrenner mit einem im Aufstrom der Abgase angeordneten Wärmetauscherblock. Der Kondensationsteil schließt sich an den konventionellen Kesselteil an. Der Kondensationswärmetauscher wird von den Abgasen vom oben nach unten durchströmt. Das Heizungswasser fließt im Kondensationswärmetauscher von unten nach oben. Bei dem Wärmetauscher handelt es sich somit um einen Gegenstromwärmetauscher. Allerdings weist dieser auch den Effekt eines Kreuzstromwärmetauschers auf, weil die Rohrschlange des Wärmetauschers vom Abgas vertikal getroffen wird. Das Kondensationswasser kann in dem Kondensationsteil ungehindert nach unten abfließen. In Folge des geringen Auftriebs der abgekühlten Abgase und der gegenüber einem konventionellen Kessel erhöhten Strömungswiderstände ist zur sicheren Abführung der Abgase ein Ventilator im Abgasaustritt angeordnet. Der dadurch im Kessel entstehende Unterdruck verhindert, dass bei Undichtigkeiten Verbrennungsabgase das Wärmetauchergehäuse verlassen können. Der eingesetzte Ventilator muss hitze- und korrosionsbeständig sein.⁶⁷

⁶⁶ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 17

⁶⁷ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 13-20

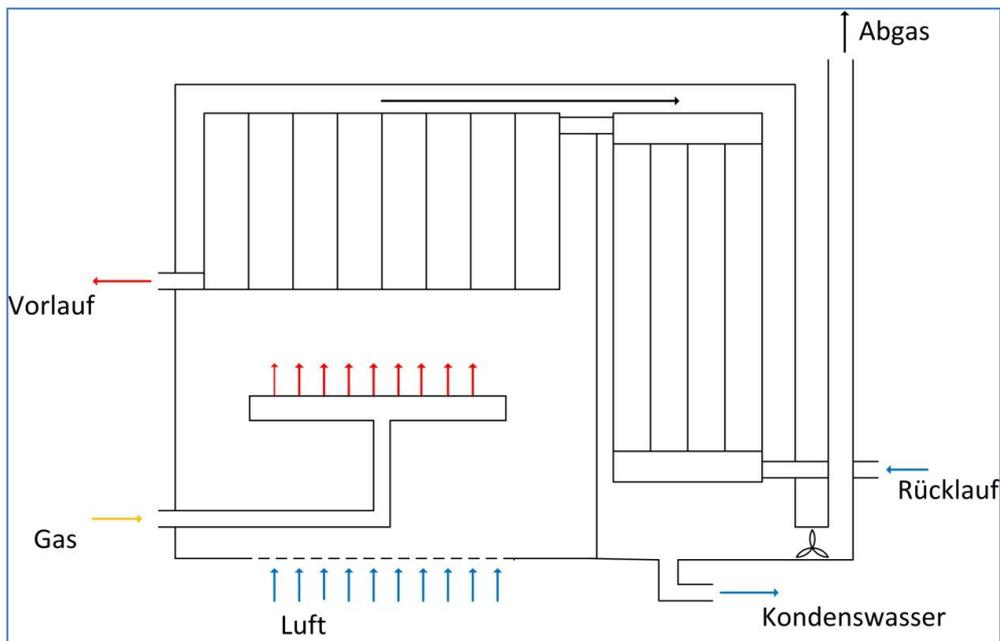


Abb. 13: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel erster Generation⁶⁸

Die Brennwertkessel der zweiten Generation werden nicht mehr in Kessel- und Kondensationsteil unterschieden, siehe „Abb. 14: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel zweiter Generation“. Es gibt nur einen Wärmetauscher in der Brennkammer. Er ist so groß, dass trockener und kondensierender Teil des Wärmetauschers ineinander übergehen. Durch diese vereinfachte Bauweise können Fertigungskosten erheblich eingespart werden, jedoch steigen die Materialkosten, weil korrosionsbeständige Werkstoffe durchgängig eingesetzt werden müssen. In der Regel wird der Wärmetauscher von oben nach unten vom Abgas durchströmt. Es gibt aber auch Varianten bei dem der Wärmetauscher Waagrecht oder schräg geneigt durchströmt wird. Das Heizungswasser wird im Wärmetauscher im Gegenstrom gefahren. Bei dieser Bauart kommen nahezu immer Vormischbrenner zum Einsatz. Dabei wird der Brennstoff mit Hilfe eines Ventilators vor der Verbrennung mit Luft vermischt. Durch die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit der Abgase ist ein Ventilator im Abgasaustritt häufig überflüssig.⁶⁹

⁶⁸ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 18

⁶⁹ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 13-20

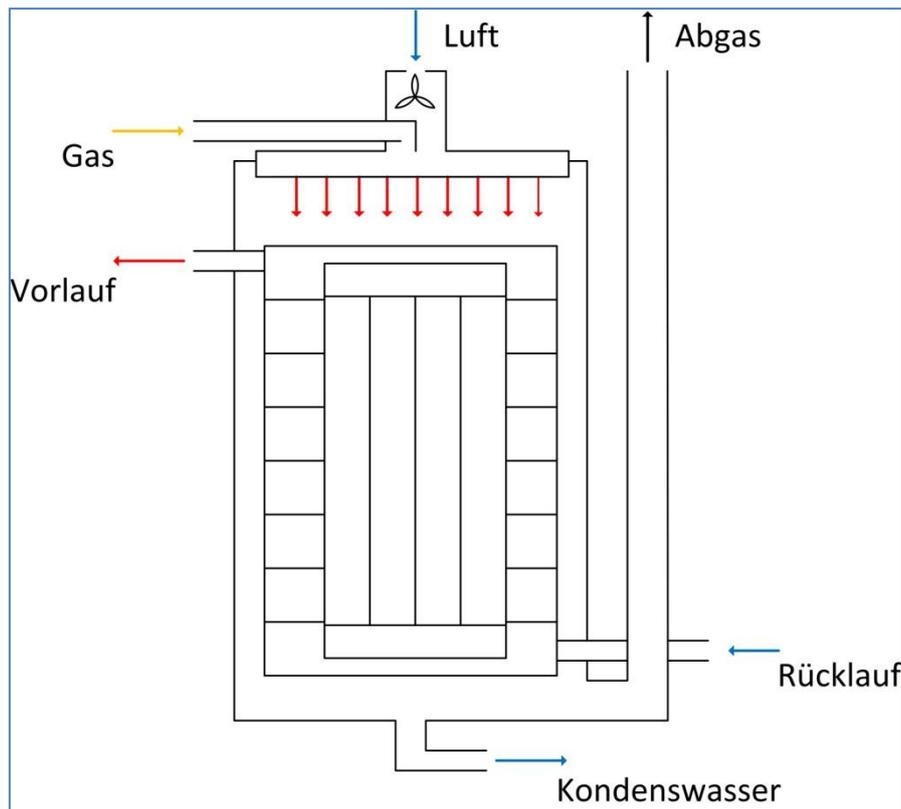


Abb. 14: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel zweiter Generation⁷⁰

Bei den Brennwertkesseln der dritten Generation wird die Brennkammer in einem Warmwasserspeicher integriert, siehe „Abb. 15: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel dritter Generation“. Die Brennkammer ist ein zylindrischer Wärmetauscher der koaxial in dem Speicher eingebaut ist und somit direkt vom Wasser umgeben ist. Meist steht hier nur die Trinkwassererwärmung im Vordergrund. Die Warmwasserversorgung für die Heizung fällt nur als Nebenprodukt an. Ähnlich wie bei den Brennwertkesseln der zweiten Generation werden für die Verbrennung Vormischbrenner eingesetzt. In der Regel werden diese Brennwertkessel nur für eine geringe Leistung von sieben bis 10 kW gebaut. Das Wasser für die Heizungsanlage wird einfach über eine in den Wasserspeicher integrierte Rohrschlange entnommen. Diese Bauart ist sehr einfach und somit auch die kostengünstigste der Brennwertkessel.⁷¹

⁷⁰ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 18

⁷¹ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 13-20

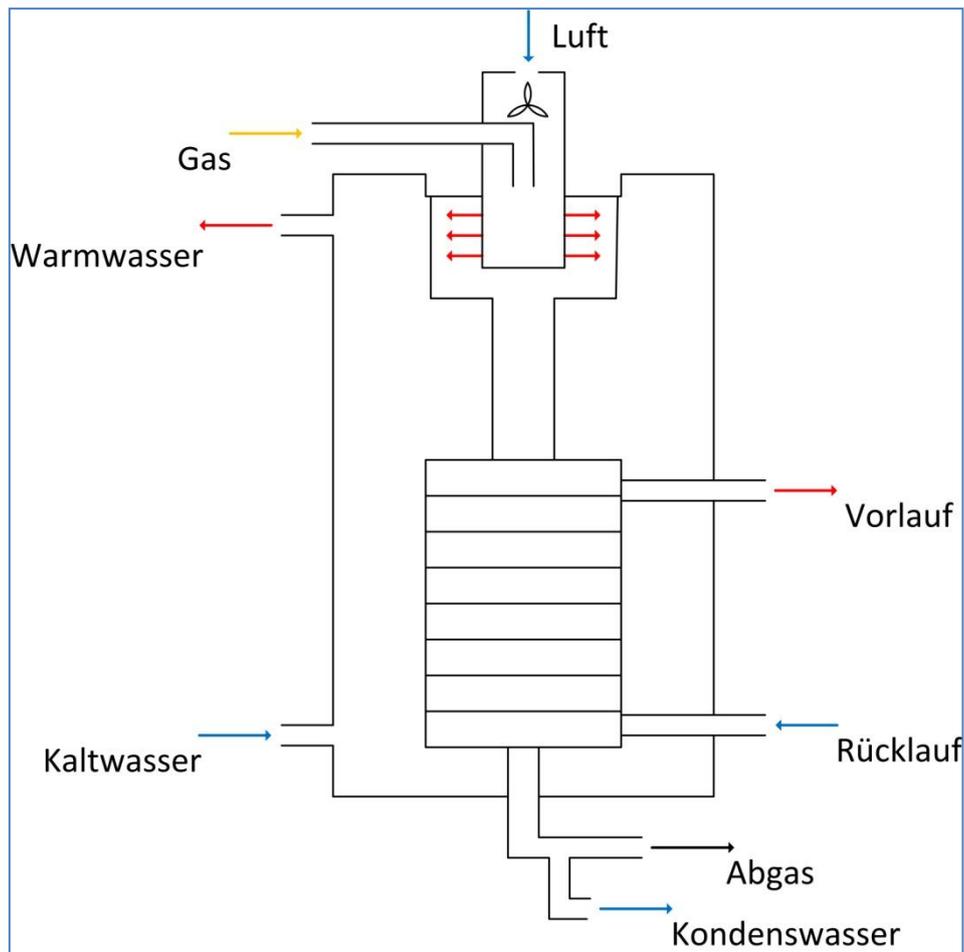


Abb. 15: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel dritter Generation⁷²

5.2 Heizwert oder Brennwert

Brennwertgeräte werden auf dem Markt mit Wirkungsgraden von etwa 110% angeboten. Der Wirkungsgrad ist der Quotient aus Ertrag und Aufwand eines Prozesses. Um einen Wirkungsgrad von über 100% zu erreichen, muss somit der Ertrag größer sein als der Aufwand. In dem Beispiel der Brennwerttechnik ist der Ertrag die Menge des erwärmten Wasser, also der gewonnenen Wärmestrom. Der Aufwand ist die gewonnene Energie aus der Verbrennung eines Brennstoffes, zum Beispiel Erdgas. Vereinfacht gesagt, wird die gespeicherte Energie des Brennstoffes auf das Wasser übertragen. Somit wird bei einem Wirkungsgrad von 100% die gesamte Energie des Brennstoffes verlustfrei auf das Wasser übertragen. Das ist zwar theoretisch möglich, jedoch praktisch nicht realisierbar, weil immer Verluste auftreten. Ein Verlust ist der Teil der Energie, der nicht für den gewünschten Prozess, zum Beispiel der Erwärmung des Wassers, zur Verfügung steht. Um nun den in Frage gestellten Wirkungsgrad von 110%

⁷² Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 18

zu erreichen muss der Ertrag größer sein als der Aufwand.⁷³ Das widerspricht dem Energieerhaltungssatz, den ersten Hauptsatz der Thermodynamik: „Bei einem offenen System ist die Summe aus Wärmestrom und Arbeitsleistung in einem stationären Prozess gleich der Summe aus den Änderungen der Enthalpieströme sowie der Ströme kinetischer und potentieller Energie der durch das System fließender Fluidströme.“⁷⁴ Es kann also maximal nur so viel Energie als Ertrag genutzt werden, wie Energie in Form eines Aufwandes abgegeben wird. Wie kommt nun der erhöhte Wirkungsgrad zustande? Dazu muss man die beiden Wärmeenergien Heizwert H_i und Brennwert H_s betrachten. Der Heizwert gibt die aus einem Kilogramm des jeweiligen Brennstoffes nutzbare Wärmeenergie, bezogen auf den internationalen Referenzzustand 1013,25hPa und 25°C an, wobei das bei der Verbrennung gebildete Wasser vollständig als Wasserdampf berücksichtigt wird. Der Brennwert kennzeichnet die unter den gleichen Bedingungen freiwerdende Wärmeenergie, wobei der bei der Verbrennung entstehende Wasserdampf vollständig in flüssiger Form, also kondensiert, betrachtet wird. Der Brennwert ist demzufolge höher als der Heizwert, weil er zusätzlich noch die Kondensationswärme als Energieanteil berücksichtigt und somit die zu 100% nutzbare Energie beschreibt.⁷⁵ Vor vielen Jahren war der Brennwert allerdings noch nicht bekannt. Die Wissenschaft ging also davon aus, dass der Heizwert die nutzbare Energie zu 100% beschreibt. Dadurch wurden alle Berechnungen für Kesselwirkungsgrade mit der Verwendung des Heizwertes ermittelt. Das ist auch bis heute noch in Deutschland üblich. Die Hersteller nutzen wohl diesen kleinen Trick, um die Wirkungsgrade ihrer Produkte zu verschönern. Um korrekte Ergebnisse zu bekommen, muss für die Berechnung eines Brennwert- oder anderen Feuerungskessel der Brennwert verwendet werden. Das wird am folgenden Rechenbeispiel verdeutlicht.⁷⁶

$$\eta = \frac{c_{pw} \cdot \Delta m_W \cdot (T_w - T_k)}{H_i \cdot \Delta m_B} \quad (5.1)$$

Im Zähler der Formel (5.1) ist die Wärmemenge die das Wasser aufnimmt, also der Ertrag. Im Nenner steht die Wärmemenge die der Brennstoff durch seiner Verbrennung abgibt. Zur Verdeutlichung wird Propan als Brennstoff eingesetzt. Es hat einen Heizwert H_i von 46,354MJ/kg und einen Brennwert H_s von 50,345MJ/kg.⁷⁷ Als Ertrag wird eine Wärmemenge von 50MJ angenommen. Die Masse des Brennstoffes wird auf

⁷³ Vgl.: Bendix D.; Wintersemester 2010

⁷⁴ Zitat: Langenheinecke K.; 2011; S.61; letzter Absatz

⁷⁵ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 8

⁷⁶ Vgl.: Zimmermann H.-W.; 1997; S. 38 -39

⁷⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert>; 13.08.2013

ein Kilogramm festgelegt. Durch einsetzen des Heizwertes ergibt sich folgendes Ergebnis für den Kesselwirkungsgrad.

$$\eta = \frac{50MJ}{46,354 \frac{MJ}{kg} \cdot 1kg} \cdot 100\% = 107,9\%$$

Wird nun der Brennwert für die Berechnung des Wirkungsgrades verwendet, sinkt das Ergebnis auf unter 100%.

$$\eta = \frac{50MJ}{50,345 \frac{MJ}{kg} \cdot 1kg} \cdot 100\% = 99,3\%$$

Durch die Verwendung des Heizwertes in der Wirkungsgradberechnung für Brennwertkessel steigt der Wirkungsgrad um etwa 8%. Die hohen Wirkungsgrade in der Brennwerttechnik sind also kein Perpetuum mobile, sondern beruhen lediglich auf eine fehlerhafte Berechnung. Physikalisch richtig ist es hingegen, zur Berechnung den Brennwert zu verwenden. In den Niederlanden ist die Verwendung des Brennwertes schon seit vielen Jahren üblich.⁷⁸

5.3 Wirkungsgradverlauf bei Brennwertkesseln

„Der Grad der Kondensationswärmenutzung ist beim Brennwertkessel zwangsläufig abhängig von der Temperatur des Heizungssystems. Damit ist der Wirkungsgrad eines Brennwertkessels ebenso abhängig von der Heizungswassertemperatur.“⁷⁹ Diese Aussage besagt, dass sich für Brennwertkessel keine konstante Nennwärmeleistung und kein konstanter Wirkungsgrad angeben lassen. Aus diesem Grund schreibt die Brennwertkessel-Norm DIN 4702, Teil 6, vor, dass Wirkungsgrade bei zwei oder mehreren Wassertemperaturen angegeben werden müssen. Es werden laut DIN die Temperaturpaare 40/30°C und 80/60°C angegeben. Alternativ dazu kann auch der Wirkungsgrad bei einer Temperatur von 75/60°C angegeben werden, siehe DIN 4702, Teil 8.⁸⁰ „Abb. 16: Wirkungsgrad und Kondenswassermenge in Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur“ zeigt wie entscheidend die Heizungswassertemperatur das Betriebsverhalten eines Brennwertkessels beeinflusst.

⁷⁸ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 8-9

⁷⁹ Zitat: Jannemann T. B.; 1996; S. 22; erster Abschnitt

⁸⁰ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 22-23

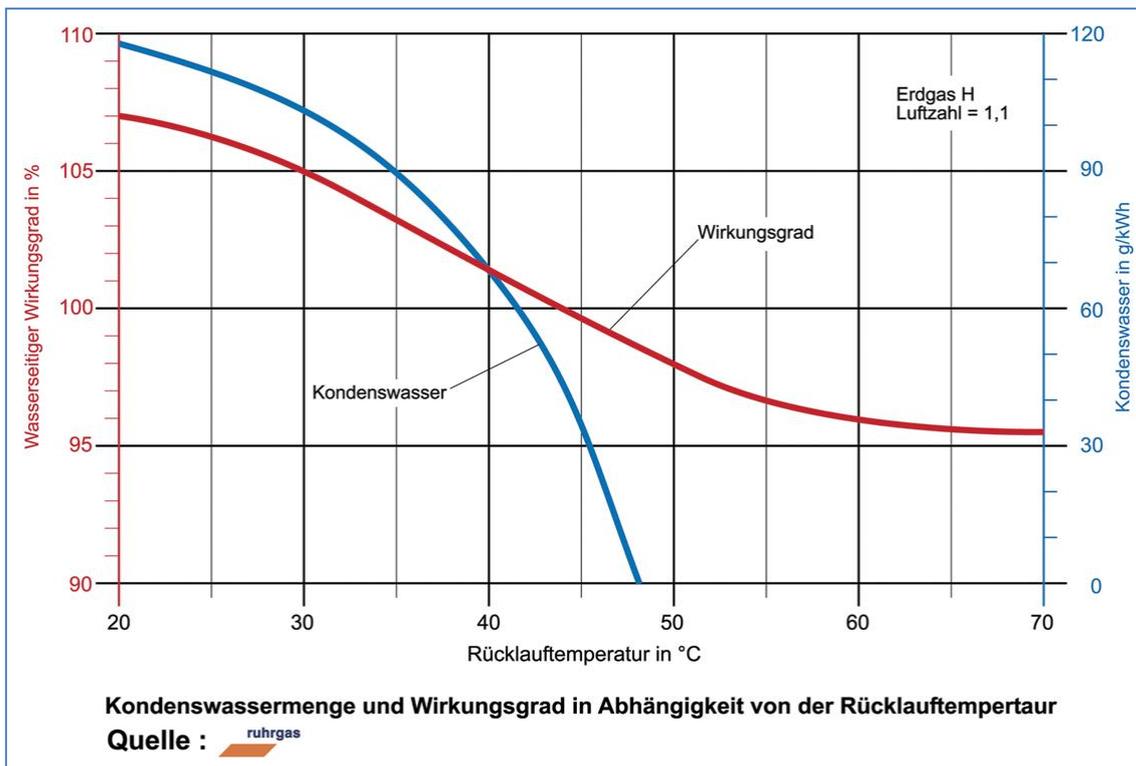


Abb. 16: Wirkungsgrad und Kondenswassermenge in Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur⁸¹

Durch eine erhöhte Heizungswassertemperatur steigt automatisch die Rücklauftemperatur des Heizwassers, weil sich die Parameter die benötigt werden um die Rücklauftemperatur konstant zu halten, wie Wärmeabnahme, Fließgeschwindigkeit des Wassers und Wärmedurchlässigkeitskoeffizient der Wärmetauscher, nicht verändern. Durch eine Zunahme der Rücklauftemperatur wird das Abgas minder abgekühlt. Je weiter sich die Abgastemperatur der Temperatur des Wasserdampftaupunktes nähert, umso weniger Kondensat wird gewonnen. Es steht weniger Kondensationsenergie zur Verfügung und der Kesselwirkungsgrad sinkt. Eine weitere Auswirkung auf den Kesselwirkungsgrad ist die Kesselauslastung gemessen über einen definierten Zeitraum. „Moderne Niedertemperatur- und Brennwertkessel werden mit gleitend abgesenkter Kesselwassertemperatur betrieben, die jeweils dem aktuellen Wärmebedarf des Gebäudes angepasst wird. Dadurch sind die Abgas-, Strahlungs- und Bereitschaftsverluste gegenüber einem Standardheizkessel nicht mehr konstant.“⁸² Diese Aussage bedeutet, dass bei abgesenkter Kesseltemperatur, die bei

⁸¹Abbildung: <http://www.heizungsbetrieb.de/img/BrennwertWirkungsgrad-Gas-Hs.jpg>; 21.08.2013

⁸² Zitat: <http://www.ikz.de/1996-2005/2004/18/0418044.php>; 21.08.2013

einer geringen Auslastung vorliegt, der Wirkungsgrad ansteigt, siehe „Abb. 17: Teillast-Nutzungsgrad in Abhängigkeit der Kesselauslastung“.

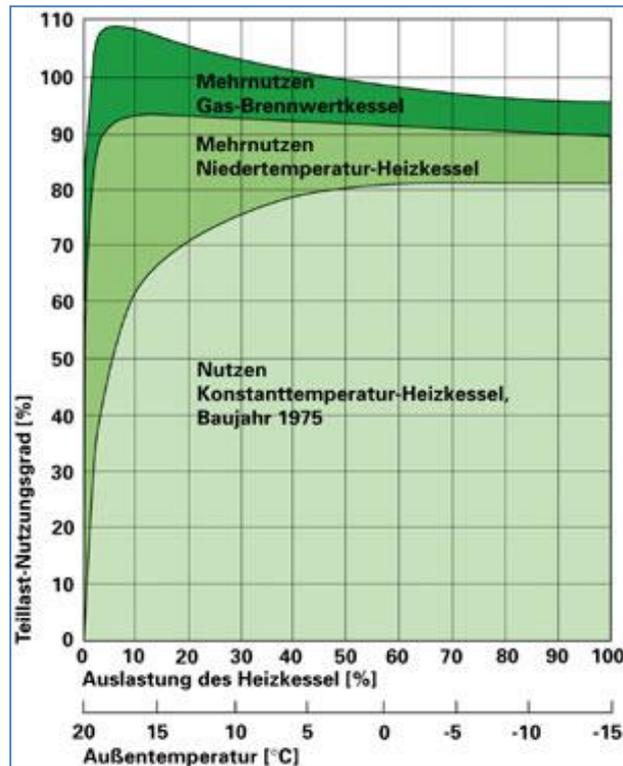


Abb. 17: Teillast-Nutzungsgrad in Abhängigkeit der Kesselauslastung⁸³

Genau wie die Kesselauslastung kann sich der Taktbetrieb des Brennwertkessels günstig auf den Wirkungsgrad auswirken. Da sich durch kurze Ein- und Ausschaltintervalle der Kondensationswärmetauscher auf das Temperaturniveau der Heizungsrücklauftemperatur herabsenkt. Somit wird nach jeder Stillstandszeit des Brenners bei jeder neuen Anfahrphase zunächst eine höhere Kondensationsleistung als bei kontinuierlichen Betrieb erreicht.⁸⁴

5.4 Allgemeine Beschreibung der CGW 20/120

In dem folgenden Absatz wird die Funktionsweise der Brennwertzentrale CGW 20/120 erläutert. Die Brennwertzentrale arbeitet mit einer Leistung zwischen 5,6kW und 20,5kW. Allerdings besitzt sie auch noch eine Boosterfunktion mit einer Leistung von 22,9kW. Die CGW 20/120 kann für Erdgas E/H und LL, Flüssiggas Propan oder Flüssiggas als Propan-Butan-Gemisch eingestellt werden. Der Gaszulauf wird über das

⁸³ <http://www.ikz.de/1996-2005/2004/18/0418044.php>; 21.08.2013

⁸⁴ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 24-25

Gaskombiventil gesteuert. Es ist so konzipiert, dass der Brennstoff nur in die Brennkammer gelangen kann, wenn die Brennwertzentrale aktiviert ist und der Kessel kurz vor der Zündung steht. Das Gas gelangt über das Gaskombiventil in die Vormischkammer. Am Kopf der Vormischkammer befindet sich ein Gebläsemotor mit einem Radialventilator. Er erzeugt in der Vormischkammer einen Unterdruck, wodurch atmosphärische Luft über das Ansaugrohr in die Kammer gezogen und mit dem Brenngas vermischt wird, siehe „Abb. 18: Brennwertkessel CGW 20/120“.⁸⁵



Abb. 18: Brennwertkessel CGW 20/120

Der Ventilator befördert das Gasgemisch über die Gebläseleitung in den Brenner. Eine in der Brennkammer befindende Zündelektrode entzündet den Brennstoff, siehe „Abb. 19: Brennkammeroberteil mit Brenner der CGW 20/120 für Flüssiggas“.

⁸⁵ In Anlehnung: Montage- Wartungsanleitung Gasbrennwertzentrale Wandhängend mit integriertem Hochleistungsschichtenspeicher; 2009

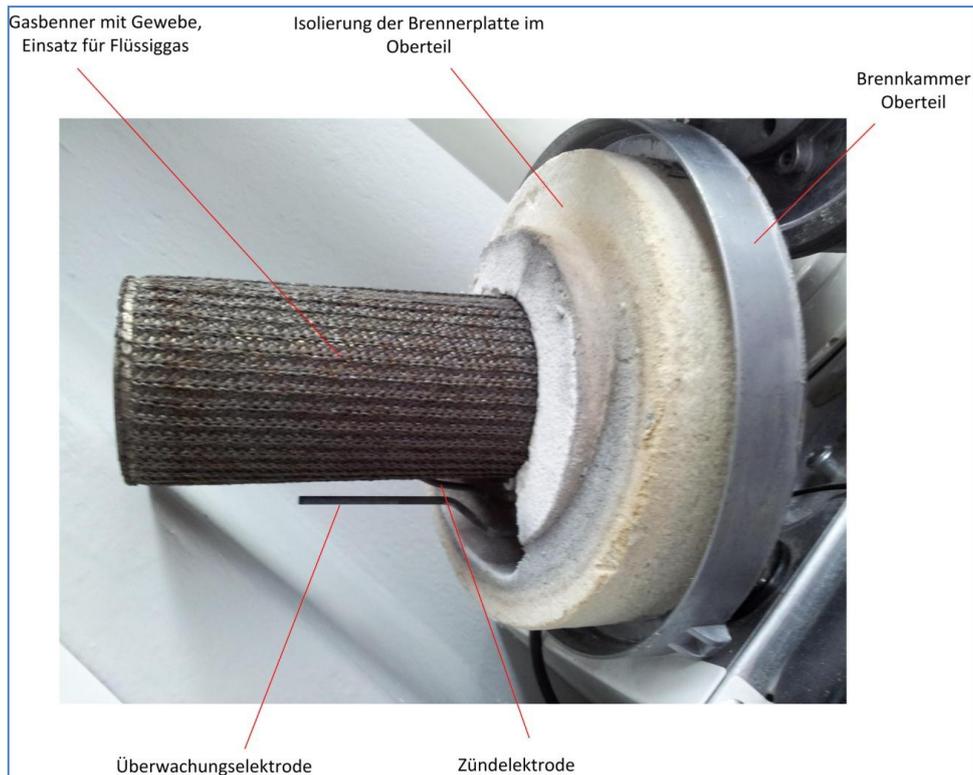


Abb. 19: Brennkammeroberteil mit Brenner der CGW 20/120 für Flüssiggas

In der Brennkammer wird das Gasmisch möglichst vollständig verbrannt. Die dabei entfachte Energie wird in Form von Wärme an den Edelstahlwarmwasserwärmetauscher abgegeben der gleichzeitig für die Kondensation des Wasserdampfes verantwortlich ist und somit zu der zweiten Generation von Brennwertkesseln zählt, siehe „Abb. 14: Vereinfachte Darstellung: Brennwertkessel zweiter Generation“. Dieser Wärmetauscher ist als Rohrschlange in der Brennkammer, an der zylindrisch geformten Wand, installiert, siehe „Abb. 20: Brennkammer mit Heizwasserwärmetauscher“.⁸⁶

⁸⁶ In Anlehnung: Montage- Wartungsanleitung Gasbrennwertzentrale Wandhängend mit integriertem Hochleistungsschichtenspeicher; 2009

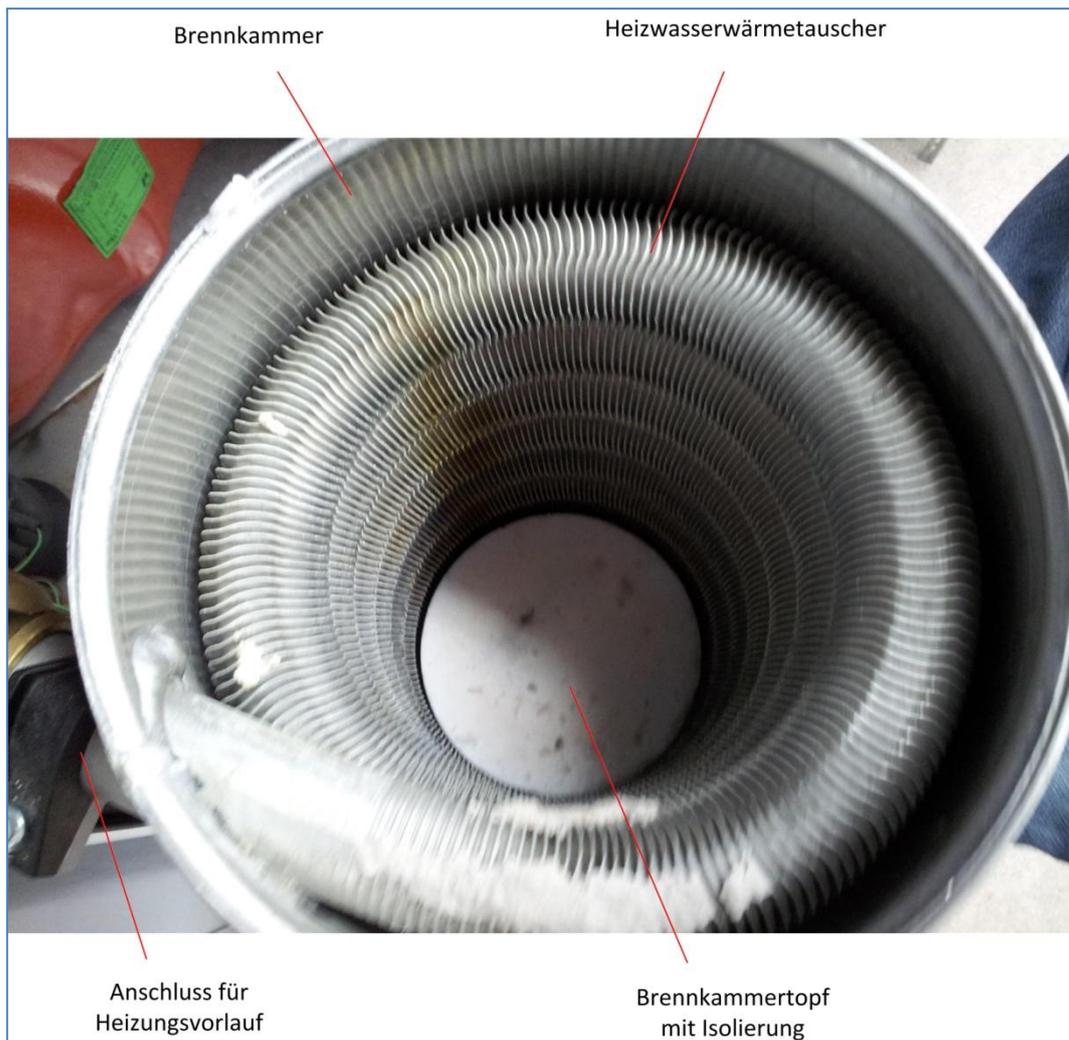


Abb. 20: Brennkammer mit Heizwasserwärmetauscher

Um Wärmeverluste möglichst gering zu halten, sind Deckel und Boden mit einer Dämmschicht isoliert. Der Edelstahlwärmetauscher ist mit dem Heizkreislaufsystem der Brennwertzentrale verbunden. Das im Wärmetauscher erwärmte Wasser fließt über die Rohre des Systems direkt zu den einzelnen Heizkörpern. Damit das Wasser in Zirkulation versetzt wird, ist im Heizungsrücklauf eine Heizkreispumpe installiert. Diese Pumpe ist in drei Stufen einstellbar, 42W, 62W und 82W. Durch Veränderung der Stufen kann die Fördermenge des Heizwassers variiert werden. In einem Restförderhöhe-Fördermenge-Diagramm kann die passende Pumpenstufe für das Heizsystem ausgewählt werden. Als Überschlag lässt sich sagen, dass die erste Stufe der Sparbetrieb ist. Sie wird für geringe Heizwasseraufkommen eingesetzt. Dementsprechend wird die Stufe drei für ein sehr hohes Heizwasseraufkommen eingesetzt. Werksseitig wird die Heizkreispumpe auf die Stufe zwei voreingestellt.

Um erhöhten Druck im Heizkreis auszugleichen, befindet sich in der Brennwertzentrale ein Ausdehnungsgefäß mit einem 12L Fassungsvermögen. Ist eine Raumaufheizung nicht erwünscht, so zirkuliert das Heizwassers nur zwischen den im Gehäuse der Anlage befindenden Rohren des Heizkreises und dem zweiten kleineren Warmwasserwärmetauscher. Bei diesem Wärmetauscher handelt es sich um einen Plattenwärmetauscher aus beschichtetem Edelstahl mit einer Leistung von bis zu 28kW, siehe „Abb. 21: Warmwasserwärmetauscher, Heizkreispumpe und Speicherladepumpe“.⁸⁷

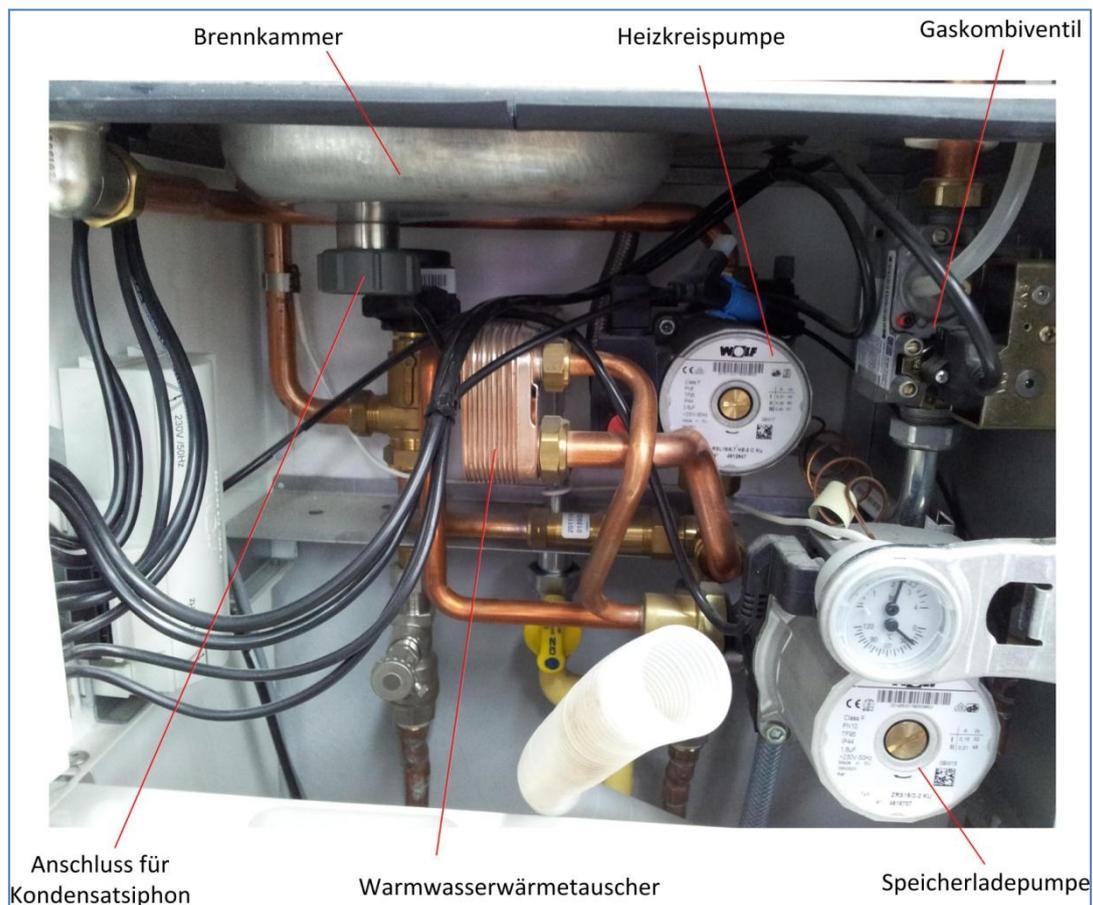


Abb. 21: Warmwasserwärmetauscher, Heizkreispumpe und Speicherladepumpe

Das energiereiche Heizwasser überträgt einen Teil seiner Energie im Warmwasserwärmetauscher auf das Trinkwasser. Der Schichtenspeicher besteht aus Edelstahl und hat ein Wasserreservoir von 120L. Im unteren Bereich des Speichers ist ein Temperaturfühler angebracht. Er signalisiert dem Regelsystem ob die erwünschte

⁸⁷ In Anlehnung: Montage- Wartungsanleitung Gasbrennwertzentrale Wandhängend mit integriertem Hochleistungsschichtenspeicher; 2009

Temperatur erreicht ist. Ist dies der Fall, schaltet sich der Brenner ab. Sobald nicht mehr ausreichend Wasser mit der gewünschten Temperatur zur Verfügung steht, schaltet sich der Brenner wieder ein und der Speicher wird wieder mit neu erwärmtem Wasser gefüllt. Regelknöpfe an der Front ermöglichen es, die Zentrale auf Brauchwassererwärmung oder auf Heizwasserbereitstellung mit kombinierter Brauchwassererwärmung einzustellen. Außerdem kann die gewünschte Temperatur des Brauchwassers eingestellt werden. Dafür gibt es an einem der Regelknöpfe die Einstellmöglichkeiten von eins bis neun, wobei eins die niedrigste Temperatur bedeutet. Eine weitere Einstellungsmöglichkeit ist die Verwendung des digitalen Bedienmoduls BM. Hier kann für die Speicherladung eine Temperatur zwischen 15°C und 65°C gewählt werden. Das Abgasrohr ist abgehend vom unteren Bereich der Brennkammer. Ein Ventilator zur Abfuhr der Abgase ist nicht nötig, weil der Radialventilator der Vormischkammer ausreichend Druck erzeugt, so dass auch bei geringer Abgastemperatur die Strömungsgeschwindigkeit ausreicht, um das Abgas abzuleiten. Im Bereich des Gehäusedeckels befinden sich zwei Sondenkanäle. Der linke Schacht dient zur Messung der Abgase und der rechte zur Messung der zugeführten Luft, siehe „Abb. 22: Sondenkanäle für Gasmessung“.⁸⁸

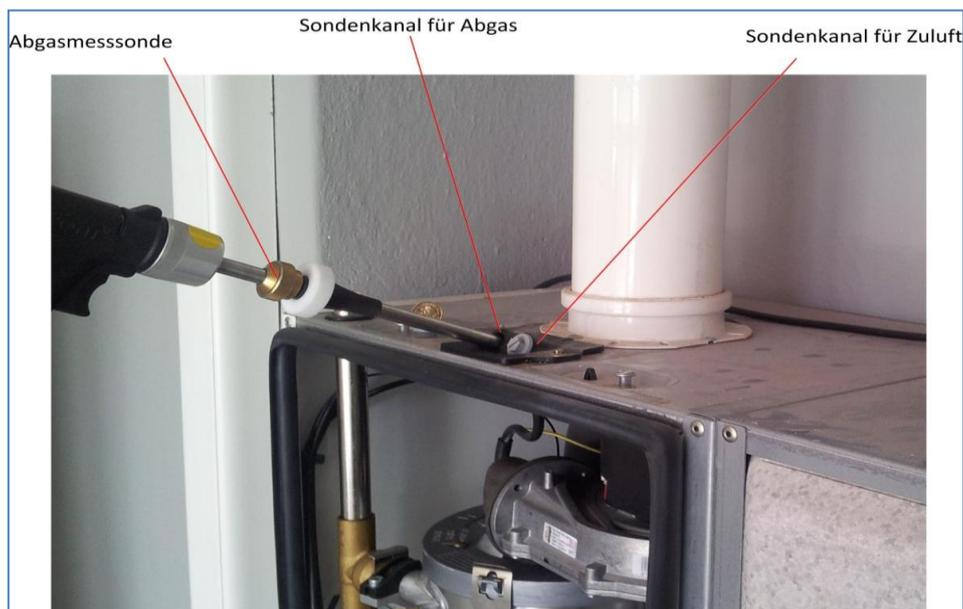


Abb. 22: Sondenkanäle für Gasmessung

⁸⁸ In Anlehnung: Montage- Wartungsanleitung Gasbrennwertzentrale Wandhängend mit integriertem Hochleistungsschichtenspeicher; 2009

5.5 Schematische Darstellung CGW 20/120

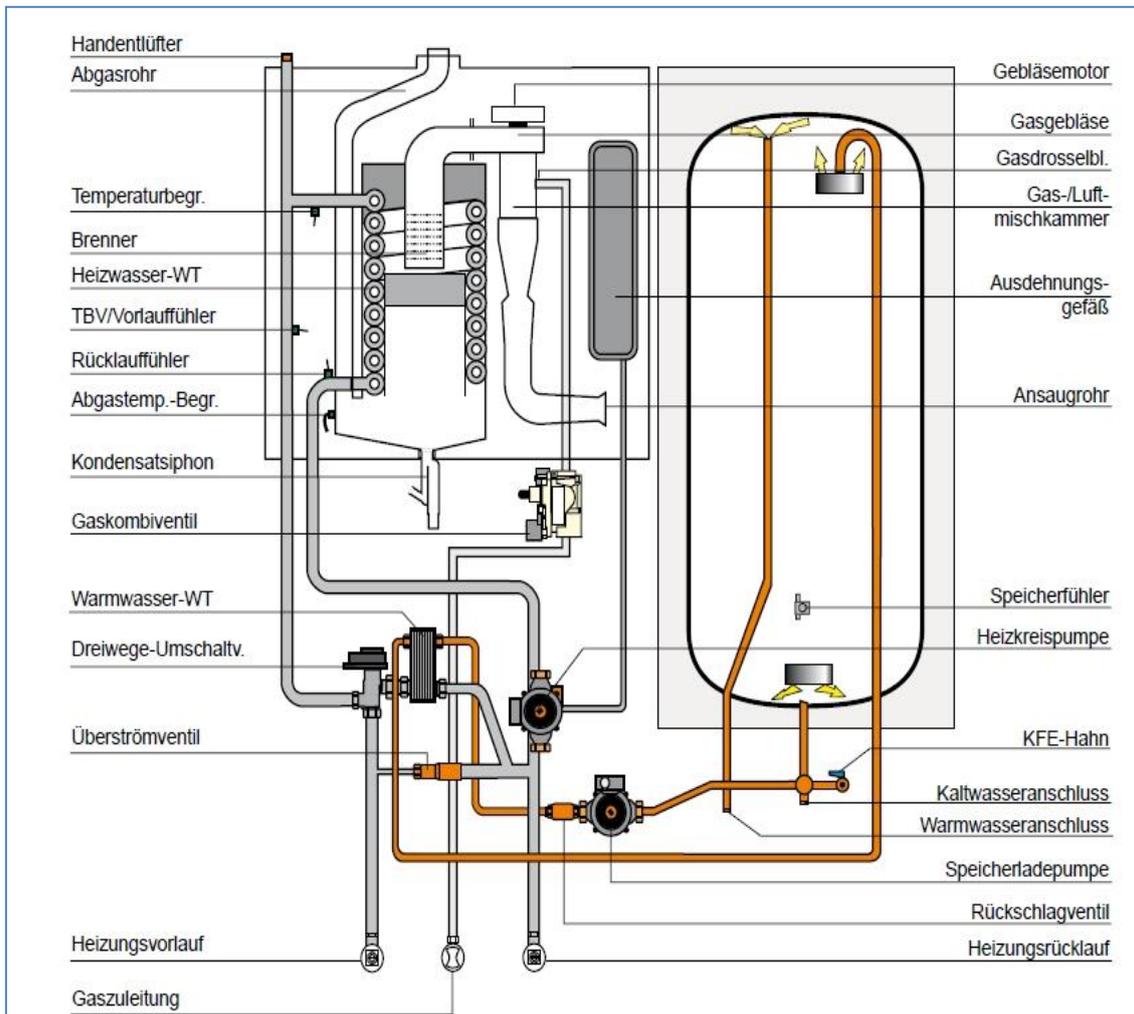


Abb. 23: Schematische Darstellung Wolf Brennwertzentrale CGW 20/120⁸⁹

5.6 Beschreibung des Bedienmodul BM

Das Bedienmodul BM der Brennwertzentrale bietet zahlreiche Einstellmöglichkeiten. Es ermöglicht die Regelung der Brauchwassertemperatur, Aktivierung oder Deaktivierung des Heizkreises und die Einstellung für eine einmalige Speicherladung, um nur einige zu nennen.⁹⁰

⁸⁹Abbildung: Montage- Wartungsanleitung Gasbrennwertzentrale Wandhängend mit integriertem Hochleistungsschichtenspeicher; 2009

⁹⁰ In Anlehnung: Montage-und Bedienungsanleitung Bedienmodul BM; 2012

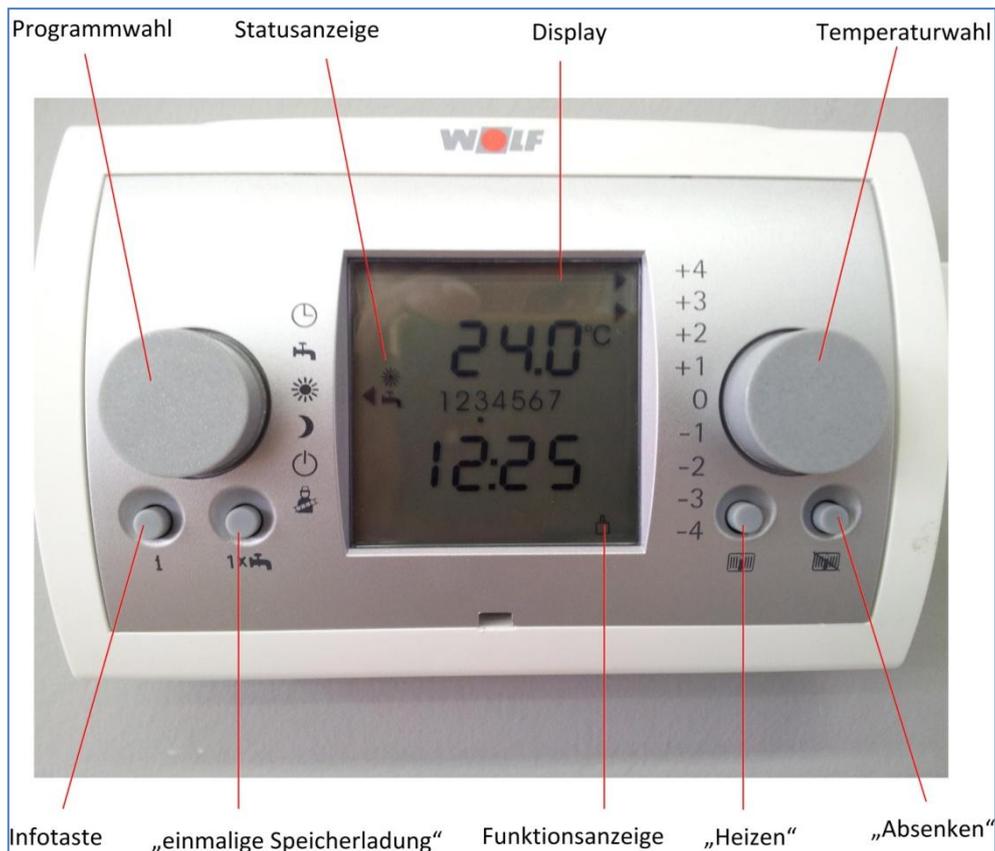


Abb. 24: Bedienmodul BM

Der linke Drehknopf Programmwahl ermöglicht es den Nutzer die Brennwertzentrale auf sechs verschiedene Programme einzustellen. Zur Verfügung stehen die Programme Automatikbetrieb, Sommerbetrieb, ständiger Heiz-/Warmwasserbetrieb, ständiger Absenkbetrieb, Standby-Betrieb und Schornsteinfegerbetrieb.



Im **Automatikbetrieb** werden Heizung und Speicherladung nach dem Schaltzeitprogramm geregelt. Das Bedienmodul bietet drei Einstellungen für das Schaltzeitprogramm. Bei Bedarf können die vorprogrammierten Schaltzeiten verändert werden, damit kann die Brennwertzentrale an jegliche häusliche Gegebenheiten angepasst werden. Beispielsweise schaltet sich der Heizkreis im Schaltzeitprogramm eins 6:00 Uhr morgens an und 22:00 Uhr abends ab, während sich die Warmwassererwärmung 5:30 Uhr an- und 22:00 Uhr abschaltet. Außerdem schaltet sich die Brennwertzentrale automatisch von den Winter- in den Sommerbetrieb und umgekehrt. Mit dem richtig ausgewählten Schaltzeitprogramm kann Energie gespart, Emissionen verringert und somit Geld eingespart werden.



Der **Sommerbetrieb** schaltet die Heizung aus und die Speicherladung ist gemäß dem Schaltzeitprogramm aktiviert. Um Schäden durch zu tiefe Temperaturen zu vermeiden ist das Frostschutzprogramm weiterhin aktiv. Auch der Pumpenstandsenschutz ist aktiv, um ein festsetzen der Pumpen zu vermeiden.



Im **ständigen Heiz-/Warmwasserbetrieb** ist das Schaltzeitprogramm nicht aktiv. Bei dieser Einstellung ist sowohl der Tagbetrieb der Heizung, als auch die Speicherladung über 24 Stunden freigegeben. Wenn sich das System im ständigen Heiz- und Warmwasserbetrieb befindet erfolgt keine Winter-Sommer-Umschaltung.



Der **ständige Absenkbetrieb** deaktiviert das Schaltzeitprogramm für die Heizung. Bei dieser Einstellung läuft der Heizbetrieb über 24 Stunden im Sparmodus. Das Schaltzeitprogramm für die Speicherladung ist aktiv und die Winter-Sommer-Umschaltung ist aktiviert.



Im **Standby-Betrieb** sind Brenner, Umwälzpumpe, Speicherladung und Antilegionellenfunktion aus. Zum Schutz der Anlage bleiben Frostschutz und Pumpenstandsenschutz aktiv.



Der **Schornsteinfegerbetrieb**, auch Abgastest genannt, wird zur Abgasmessung durch eine Fachfirma oder den Schornsteinfeger benötigt. In diesem Programm arbeitet die Brennwertzentrale nicht witterungsgeführt, sondern mit maximaler Heizleistung. Zum Schutz der Anlage schaltet sich der Brenner beim Erreichen der maximalen Vorlauftemperatur ab. Nach Auswahl des Programmes ist es in der Statusanzeige als Symbol auf dem Display zu sehen.

Zusätzlich können noch kurzzeitige Programme gewählt werden, welche die normalen Einstellungen nur für einen Moment unterbrechen. Dazu zählen „einmalige Speicherladung“, „Heizen“ und „Absenken“.



Durch Drücken der Taste „**einmalige Speicherladung**“ kann außerhalb der eingestellten Schaltzeiten eine einmalige Speicherladung aktiviert werden. Zur Signalisierung blinkt während des Speicherladebetriebs das Symbol des Sommerbetriebs in der Statusanzeige des Displays. Nach einer Stunde endet die einmalige Speicherladung automatisch und die Regelung arbeitet nach dem aktuellen Schaltzeitenprogramm weiter.



Durch betätigen der Taste „**Heizen**“ kann unabhängig von dem Schaltzeitprogramm und der Programmwahl auf Tagtemperatur geheizt werden. Das Programm „Heizen“ ist auf drei Stunden voreingestellt und kann durch drehen des rechten Knopfes auf bis zu 30 Tage erweitert werden. Nachdem die gewünschte Zeit eingestellt ist wird das Programm nach dem drücken des rechten Drehknopfes aktiviert. Zur Signalisierung blinkt während des außerordentlichen Heizbetriebs das Symbol des ständigen Warm-und Heizwasserbetriebs. Nach Ablauf der eingestellten Zeit wird das Programm automatisch beendet und die Brennwertzentrale nimmt das aktuelle Schaltzeitenprogramm wieder auf.



Die Aktivierung der Taste „**Absenken**“ ermöglicht es die Anlage, unabhängig vom Schaltzeitprogramm oder der jeweiligen Programmwahl, auf Spartemperatur abzusenken. Das kann im Falle einer Abwesenheit oder eines Urlaubs sehr nützlich sein. Nach Drücken der Taste werden automatisch drei Stunden Absenkbetrieb angenommen. Durch Drehen des rechten Knopfes kann die Zeit auf bis zu 30 Tage erweitert werden. Nachdem die Zeit eingestellt wurde, wird der Absenkbetrieb durch drücken des rechten Knopfes aktiviert. Während sich die Brennwertzentrale im Absenkbetrieb befindet blinkt das Symbol des ständigen Absenkbetriebes in der Statusanzeige. Die Funktion wird automatisch nach Ablauf der eingestellten Zeit beendet.

Im Hauptmenü des Bedienmodules können noch weitere Einstellungen getätigt werden. Durch Drücken des rechten Knopfes öffnet sich das Hauptmenü. Hier kann zwischen den Unterpunkten „Anzeige“, „Grundeinstellungen“, „Zeitprogramm“, „Fachmann“ und „zurück“ gewählt werden. Im Abschnitt „Anzeigen“ können alle verfügbaren Soll- und Isttemperaturen, Betriebsstunden und noch viele weitere Anlagenwerte angezeigt

werden. Die Abfrage in diesem Menüpunkt ist identisch mit der Abfrage bei der Betätigung der Infotaste. In den Grundeinstellungen können wichtige Parameter der Heizungsregelung, wie Uhrzeit, Wochentag, aktives Zeitprogramm, Heizkurve, Spartemperatur, Warmwassertemperatur, Sprache, Tagtemperatur, ECO/ABS-Auswahl und Winterumschlag, eingestellt werden. Im Menüpunkt „Zeitprogramm“ kann das bereits erläuterte Schaltzeitprogramm der Brennwertzentrale verändert werden. Der Punkt „Fachmann“ ist nur für Servicetechniker und Fachleute zugänglich. Um in diesen Unterpunkt zu gelangen ist ein Aktivierungscode erforderlich. Hier können Anlagenparameter, Heizgerätparameter, Mischerparameter, Kaskadenparameter, Solarparameter und sonstige Parameter verändert werden.⁹¹

Damit die Brennwertzentrale ökonomisch und ökologisch arbeitet, ist es wichtig sie an die häuslichen und witterungsbedingten Gegebenheiten anzupassen. Aus diesem Grund wurden die einzelnen Programme entwickelt. Häufig sind die Werkseinstellungen nicht für jeden Kunden passend. Sie sollten deshalb von einem Fachmann kontrolliert und gegebenenfalls verändert werden.

6 Laborarbeit-Planung, Messungen und Resultate

6.1 Planung der Versuche

Um die Versuche zur Abgasanalyse und Effizienzbestimmung der Brennwertzentrale CGW 20/120 ordnungsgemäß zu planen, werden die gewonnenen Kenntnisse aus den Vorversuchen, die im Industrieprojekt durchgeführt wurden, als Anhaltspunkt verwendet. In den Vorversuchen sind einige Probleme aufgetreten, auf die in Punkt „6.3.3 Auswertung der gemessenen und berechneten Ergebnisse für die Vorversuche“ Bezug genommen wird. Um frühere Probleme zu beseitigen wird ein Servicetechniker der Firma Wolf beordert. Er hat die Anlage gereinigt, neu gefüllt, entlüftet und auf ihre Funktionsweise geprüft. Er konnte keine Fehler in der Funktionsweise feststellen. Somit konnte eine Versuchsplanung aufgenommen werden. Um die Effizienz einer Brennwertzentrale, also den Wirkungsgrad genauer den Kesselwirkungsgrad, zu bestimmen, muss auf die Jahreszeit und verbunden damit die Außentemperatur geachtet werden. Zumindest, wenn der Kesselwirkungsgrad auf den Heizbetrieb mit Heizungserwärmung bezogen werden soll. Optimale Wirkungsgrade erreichen Brennwertthermen, im Bezug auf die Raumerwärmung, bei Außentemperaturen

⁹¹ In Anlehnung: Montage- und Bedienungsanleitung Bedienmodul BM; 2012

zwischen -4°C und 12°C . Bei zu hohen Außentemperaturen sinkt der Wärmebedarf der Räume, wodurch der Heizrücklauf nicht ausreichend abgekühlt wird, um das Kondensationsvermögen des Kondensationswärmetauschers auszulasten. Das führt zu einer Senkung des Wirkungsgrades.⁹² Moderne Brennwertzentrale, wie auch die CGW 20/120, können dieses Problem geringfügig ausgleichen. Sie nutzen die Funktion des Taktbetriebes, die zu einer Erhöhung des Wirkungsgrades führen kann. Die Erklärung dazu ist in Punkt „5.3 Wirkungsgradverlauf bei Brennwertkesseln“ niedergeschrieben. Allerdings ist diese Funktion maximal bis zu einer Außentemperatur von 18°C sinnvoll. Laut Aussagen der Firma Wolf ist eine Wirkungsgradbestimmung der Brennwertzentrale mit eingestelltem Heizbetrieb nur in den Monaten von Oktober bis April sinnvoll, wenn die Außentemperaturen maximal 16°C betragen. Im Projektzeitraum lag die Außentemperatur bei über 30°C , sogar die Raumtemperatur war permanent über 25°C . Dadurch konnten keine Versuchsplanungen zur Kesselwirkungsgradbestimmung für den Heizbetrieb zur Raumheizung durchgeführt werden. Die Bestimmung des Kesselwirkungsgrades bezogen auf die Brauchwassererwärmung ist jederzeit möglich, weil dabei kein Einfluss auf die Beheizung der Räume genommen wird. Es können somit Versuche zu Wirkungsgradbestimmung im Brauchwassererwärmungsbetrieb vorgenommen werden. Im Bedienmodul der Brennwertzentrale kann die Funktion „Sommerbetrieb“ eingestellt werden. Allein sie ermöglicht, dass die Brennwertzentrale den Heizbetrieb ausschließlich zur Brauchwassererwärmung, also zur Speicherladung, nutzt. Es besteht die Möglichkeit die Wassertemperatur für die Brauchwassererwärmung im Bedienmodul einzustellen. Die Funktion zur Brauchwassererwärmung bildet somit die Grundlage für die durchzuführenden Versuche. Die Versuche werden mit unterschiedlich eingestellten Brauchwassertemperaturen ausgeführt. Begonnen wird mit einer Temperatur von 40°C bis in fünf Schritten eine Temperatur von 65°C erreicht wird. Damit können die errechneten Wirkungsgrade mit den Herstellerangaben für eine obere und untere Heizbelastung verglichen werden. Die Berechnungsgrundlage bildet die Messung des zugeführten Wärmestroms des Brennstoffes und die Messung des aufgenommenen Wärmestroms des Wassers. Um vergleiche über die Genauigkeit der Arbeitsweise und Aussagen über die Abgasparameter zu erhalten werden zeitgleich Messungen mit dem Abgasanalysengerät ecom J2KN im Abgasstrom durchgeführt. Der nächste Versuchspunkt ist die Abgasanalyse während sich die Anlage im

⁹² Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 24-27

Schornstiefegerbetrieb befindet. In diesem Modus erhält man die aussagekräftigsten Ergebnisse zur Abgasanalyse, weil dabei die Anlage auf Höchstlast eingestellt ist und eine Versuchsreihe über 15 Minuten aufgenommen wird. Im Abschluss werden die Versuche ausgewertet, mit der Gesetzgebung und den Herstellerangaben verglichen. Desweiteren erfolgen Optimierungsvorschläge für den Einsatz der Brennwertzentrale CGW 20/120.

6.2 Nachvollziehbare Durchführung der Laborarbeit

Schritt 1

Zu Beginn der Versuche sind die Sicherungen eins bis fünf im Sicherungskasten einzuschalten, siehe „Abb. 25: Sicherungskasten“.



Abb. 25: Sicherungskasten

Schritt 2

Als nächstes ist das Millivoltmeter LG-1 der Firma Era waagrecht aufzustellen. Dazu befindet sich an der rechten Seite des Voltameters ein Drehknopf und auf der Oberseite die Libelle, siehe „Abb. 26: Millivoltmeter LG-1 der Firma Era“. Der Knopf wird nun soweit gedreht bis sich die Luftblase direkt im Zentrum der Libelle befindet.



Abb. 26: Millivoltmeter LG-1 der Firma Era

Schritt 3

Das Voltmeter misst die Spannungsdifferenz zwischen zwei Thermoelementen aufgrund eines Temperaturunterschiedes. Um genaue Temperaturen für den Versuch zu erhalten wird eines der Thermoelemente in eine mit Eis und Wasser gefüllte Thermoskanne getaucht. Das Gegenstück dazu befindet sich an der Warmwasserrohrlleitung der Brennwertzentrale und an der Rohrleitung für das zu erwärmende Wasser. Als nächstes wird die elektronische Analysenwaage an das Stromnetz angeschlossen. Sollte sich die Waage nicht in einer waagerechten Position befinden, werden die verstellbaren Füße zur Korrektur der Position verwendet. Die Waage wird eingeschaltet und ist nach wenigen Sekunden zu tarieren. Daneben befindet sich eine Propan-Butan-Gasflasche. Sie ist voll auf zu drehen. Anschließend wird sie vorsichtig mittig auf die Waage platziert. Der sich an der Wand befindende Kugelhahn ist mit der Gasleitung verbunden und wird geöffnet, siehe „Abb. 27: Waage und Gasflasche“.



Abb. 27: Waage und Gasflasche

Schritt 4

Jetzt wird die Brennwertzentrale CGW 20/120 eingeschaltet. Dazu wird der Hauptschalter siehe „Abb. 28: Bedienfeld CGW 20/120“ betätigt. Der Systemschalter wird auf die erste Position unten links gestellt. Dadurch wird die Brennwertzentrale nur für die Brauchwassererwärmung verwendet.

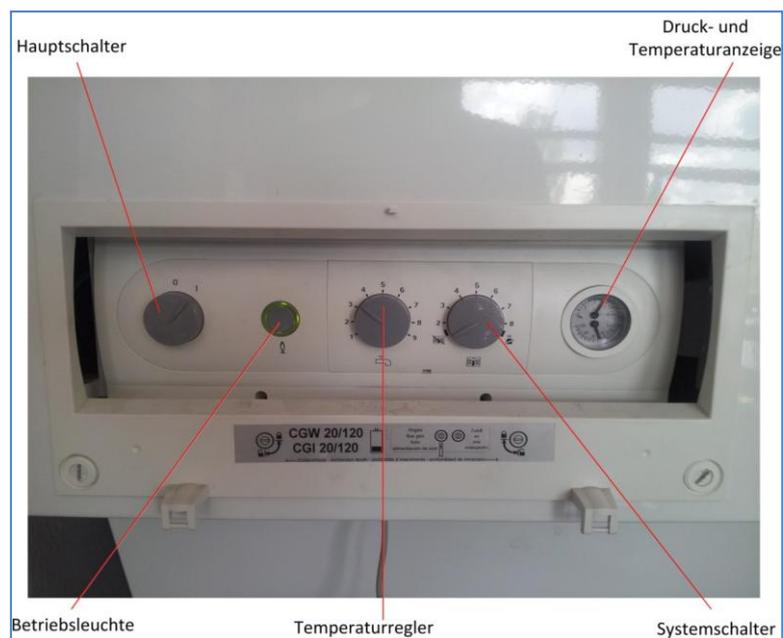


Abb. 28: Bedienfeld CGW 20/120

Schritt 5

Die nächsten Einstellungen werden am Bedienmodul vorgenommen, siehe „Abb. 24: Bedienmodul BM“. Die Versuche werden mit unterschiedlichen Warmwassertemperaturen durchgeführt. Begonnen wird mit einer Einstellung von 40°C. Im Abstand von je fünf °C werden nun Versuche bis zu einer Temperatur von 65°C durchgeführt. Dazu wird am Bedienmodul der rechte Drehknopf betätigt. Durch drehen im Uhrzeigerinn wird die Menüebene „Grundeinstellungen“ ausgewählt und durch erneutes drücken auf den Drehknopf bestätigt. Durch ein weiteres drehen im Uhrzeigersinn wird der Parameter Warmwassertemperatur ausgewählt. Auch dieser wird durch betätigen des Drehknopfes geöffnet. Auf dem Display ist nun das Einstellfeld für die Warmwassertemperatur zu sehen, siehe „Abb. 29: Bedienmodul Einstellung Warmwassertemperatur“. Die Warmwassertemperatur wird nun durch drehen des rechten Drehknopfes eingestellt und durch drücken dieses Knopfes bestätigt. Die Infotaste wird betätigt, um in die Standartanzeige zurück zu wechseln. Um die Einstellungen zu vollenden wird die Taste „einmalige Speicherladung“ betätigt.



Abb. 29: Bedienmodul Einstellung Warmwassertemperatur

Schritt 6

Nach einer kurzen Aufheizphase von etwa fünf Minuten wird das Ventil 1 etwa zur Hälfte geöffnet. Die Position wird im Laufe des Versuches nicht geändert, um konstante Verhältnisse zu gewährleisten. Die Ventile 2 und 3 sind zu schließen und das Ventil 4 ist komplett zu öffnen, siehe „Abb. 30: Wasserentnahmestelle“.



Abb. 30: Wasserentnahmestelle

Schritt 7

Anschließend werden die Temperaturen für das zu erwärmende und für das erwärmte Wasser gemessen. Dazu werden die Thermoelemente und das Millivoltmeter benötigt. Das an der Warmwasserleitung im Ausgang der Brennwertzentrale angebrachte Thermoelement ist an seinem Ende mit einem roten Klebeband markiert. Das an der Kaltwasserleitung hat ein blaues Klebeband. Das Kaltwasser sollte seine Temperatur nicht ändern, daher ist eine Messung zu Beginn und eine zum Ende des Versuches ausreichend. Dazu wird der blaue Stecker, des Thermoelements für die Messung des

kalten Wassers, hinten in den rechten Slot des Voltmeters platziert. Im linken Slot wird der andere Stecker platziert.⁹³ Dieselbe Vorgehensweise wird zur Messung der Warmwassertemperatur verwendet, siehe „Abb. 31: Rückansicht des Millivoltmeters“.

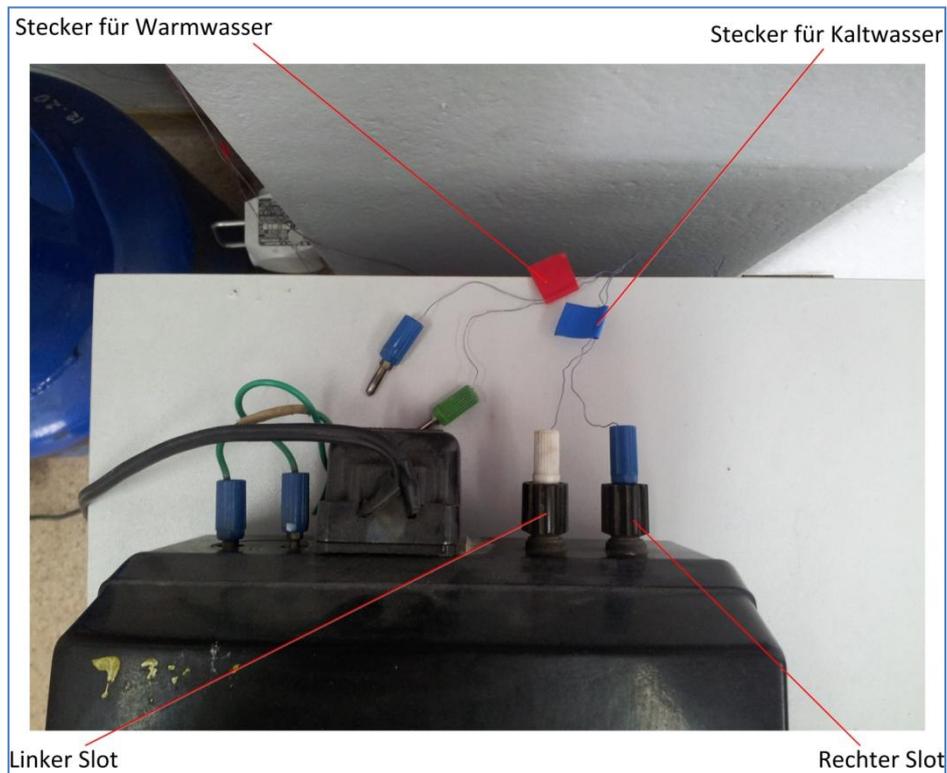


Abb. 31: Rückansicht des Millivoltmeters

Das Voltmeter wird mit dem Drehknopf zur Regelung des Messbereichs auf die Position „5“ gestellt. Die Wassertemperatur wird nun in Form einer Spannung abgelesen. Mit Hilfe der Formel (6.01) werden die abgelesenen Spannungen U in eine Temperatur umgerechnet. Die Thermoelementkonstante α wird mit der Spannung U und dem gewählten Messbereich n multipliziert und durch 100 dividiert.⁹⁴

$$n = 5$$

$$\alpha = 23,357 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mV}}$$

$$T = \frac{U \cdot n \cdot \alpha}{100} \quad (6.01)$$

⁹³ Dr.Cichowicz R. A.; Dozent an der Technische Universität Lodz; persönliches Gespräch vom 14.07.2013

⁹⁴ Dr.Cichowicz R. A.; Dozent an der Technische Universität Lodz; persönliches Gespräch vom 14.07.2013

$$T = \frac{U \cdot 5 \cdot 23,357 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mV}}}{100}$$

Anschließend werden für die Ermittlung der Wassertemperatur des Warmwassers die Stecker für die Kaltwassermessung entfernt und die Stecker für die Thermoelemente der Warmwasserseite eingeführt. Die Messung erfolgt nun analog der Messung für das Kaltwasser. Der Start des Messversuches kann beginnen, wenn sich beim Warmwasser ein konstanter Wert, $\pm 0,5\text{K}$ eingestellt hat.

Schritt 8

Zu einem definierten Zeitpunkt wird die Masse des Gasgemisches auf der Analysenwaage gleichzeitig mit dem verbrauchten Volumen des Wassers auf der Wasseruhr abgelesen, siehe „Abb. 30: Wasserentnahmestelle“. Die Dauer der Messung beträgt nun 9 Minuten. Zeitgleich wird eine Verlaufsmessung für die Abgasanalyse durchgeführt. Der Start der Messung kann durchaus eine Minute vor dem Beginn der Massenaufnahme des Gasgemisches erfolgen. Dafür wird in der Automatikmessung eine Messzeit von 11 Minuten eingestellt, siehe „4.5 Speichern der Messungen über definierte Zeiträume“. Die Durchführung für die Abgasanalyse mit dem ecom J2KN ist in dem Punkt „4.7 Durchführung der Abgasanalyse mit dem ecom J2KN“ niedergeschrieben.

Schritt 9

Die Temperatur des Warmwassers wird über den Versuchszeitraum mehrmals aufgenommen. Nach dem die Zehn Minuten vorbei sind, wird die Masse des verbrauchten Gasgemisches von der Analysenwaage abgelesen. Zur selben Zeit wird der Wasserverbrauch am Wasserzähler abgelesen und notiert.

Schritt 10

Als nächstes folgt eine neue Messphase. Im Bedienmodul der Brennwertzentrale wird, wie oben beschrieben, die Warmwassertemperatur um 5°C erhöht. Es wird wieder gewartet bis sich eine konstante Temperatur des erwärmten Wassers einstellt. Dann werden alle weiteren Messungen analog der oben beschriebenen durchgeführt. Die Messungen werden für die Warmwassereinstellungen 40°C , 45°C , 50°C , 55°C , 60°C und 65°C durchgeführt.

Schritt 11

Anschließend werden Analysenwaage und das Millivoltmeter vom Stromnetz getrennt und die Wasserentnahme wird beendet. Die Brennwertzentrale wird ausgeschaltet, der Kugelhahn an der Gasleitung geschlossen und die Gasflasche wird zu gedreht. Die zu Beginn aktivierten Sicherungen eins bis fünf sind wieder rauszunehmen, dabei ist darauf zu achten, dass die Sicherung für das Gas-Warn-System aktiviert bleibt, siehe „Abb. 25: Sicherungskasten“.

Schritt 12

Nach der praktischen Durchführung ist aus den Warmwassertemperaturen, für jede Einstellung, eine Mitteltemperatur zu errechnen. Es werden weitere Berechnungen durchgeführt, um Schadgaskonzentrationen und Wirkungsgrade zu ermitteln. Die gewonnenen Ergebnisse werden ausgewertet.

6.3 Berechnungen und Auswertung für die Vorversuchen der Abgasanalyse und Wirkungsgradbestimmung

Der folgende Abschnitt beinhaltet Ergebnisse aus den Versuchen die im Industrieprojekt durchgeführt wurden. Die Durchführung wurde wie im Punktes „6.2 Nachvollziehbare Durchführung der Laborarbeit“ gehandhabt, jedoch mit zwei Änderungen des Versuchablaufs. Im „Schritt 5“ wurden die Warmwassertemperaturen nicht mit dem digitalen Bedienmodul eingestellt. Zur Einstellung der Warmwassertemperaturen wurde der Temperaturregler am Bedienfeld der Brennwertzentrale verwendet, siehe „Abb. 28: Bedienfeld CGW 20/120“. Die Versuche wurden mit den Temperatureinstellmöglichkeiten zwei, vier, sechs, acht und neun durchgeführt. Bei dieser Methode ist die eingestellte Warmwassertemperatur leider nicht ablesbar. Desweiteren gab es Änderungen im „Schritt 8“. Bei der Abgasanalyse wurde nicht die Möglichkeit einer Verlaufsmessung mit der Speicherung der Daten für die spätere Auswertung am Computer verwendet. Es wurden Punktmessungen durchgeführt. Dazu wurde die Abgasanalyse, wie schon erläutert, gestartet. Es wurden keine Speichermöglichkeiten genutzt. Die gemessenen Parameter wurden mit der Printtaste ausgedruckt, siehe „Abb. 4: Tastaturbeschreibung Bedienteil ecom-J2KN“, und anschließend für die Auswertung verwendet.

6.3.1 Berechnungen und Ergebnisse zu den Vorversuchen der Abgasanalyse

Die Messergebnisse der Vorversuche für die Abgasanalyse sind in „Tabelle 12: Abgasanalyse ohne Kondensation-Vorversuch“ und „Tabelle 13: Abgasanalyse mit Kondensation-Vorversuch“ im Anhang hinterlegt. Folgend wird die Berechnung des CO- und NO_x-Gehaltes am Beispiel der Einstellung „2“ verdeutlicht.

$$M_{CO} = 28 \frac{g}{mol}$$

$$V_{norm} = 24,1 \frac{l}{mol}$$

Bei der Formel (6.02) ist darauf zu achten, dass die Werte in den hier aufgezeigten Einheiten eingesetzt werden. Die Umrechnung von [g/l] in [mg/m³] ergibt sich automatisch durch das Einsetzen der Konzentration in [ppm]. Die molare Masse M_{CO} des Kohlenmonoxids wird durch das molare Normvolumen eines idealen Gases V_{norm} dividiert und mit der Kohlenmonoxidkonzentration C_{CO} [ppm] multipliziert.⁹⁵ β_{CO} entspricht der Kohlenmonoxidkonzentration in [mg/m³]

$$\beta = \frac{M}{V_{norm}} \cdot C \quad (6.02)$$

$$\beta_{CO} = \frac{M_{CO}}{V_{norm}} \cdot C_{CO}$$

$$\beta_{CO} = \frac{28 \frac{g}{mol}}{24,1 \frac{l}{mol}} \cdot 76 ppm$$

$$\beta_{CO} = 88,3 \frac{mg}{m^3}$$

M_{CO} ...molare Masse Kohlenmonoxid [g/mol]

V_{norm} ...molares Normvolumen des idealen Gases [l/mol]

C_{CO} ...Konzentration Kohlenmonoxid [ppm]

β_{CO} ...Konzentration Kohlenmonoxid [mg/m³]

⁹⁵ Vgl.: http://www.schweizer-fn.de/abgas/umrech_ppm/umrech_ppm.php; 17.08.2013

Tabelle 6: Kohlenmonoxid und Stickoxide, ohne Kondensation

Einstellung	β_{CO} [mg/m³]	β_{NOx} [mg/m³]
2	88,30	61,08
4	101,08	70,62
6	110,37	72,53
8	112,70	76,35
9	68,55	61,08

β_{CO} ...Konzentration Kohlenmonoxid [mg/m³]

β_{NOx} ...Konzentration Stickoxide [mg/m³]

Tabelle 7: Kohlenmonoxid und Stickoxide, mit Kondensation

Einstellung	β_{CO} [mg/m³]	β_{NOx} [mg/m³]
9	76,68	78,26
9	72,03	68,71
6	73,20	80,17
6	75,52	76,35
4	72,03	76,35
4	73,20	78,26
2	73,20	78,26
2	73,20	76,35

β_{CO} ...Konzentration Kohlenmonoxid [mg/m³]

β_{NOx} ...Konzentration Stickoxide [mg/m³]

6.3.2 Berechnungen und Ergebnisse zu den Vorversuchen der

Wirkungsgradbestimmung

Die folgenden Berechnungen werden am Beispiel der Einstellung neun durchgeführt. Die dafür verwendeten Messergebnisse sind der "Tabelle 14: Messergebnisse zur Bestimmung Wirkungsgrad" dem Anhang zu entnehmen. Der Propangasgemischverbrauch Δm_p (6.03) ist die Differenz zwischen den Massenstartwert $m_{p,start}$ und den Massenendwert $m_{p,ende}$ des Propangasgemisches.

$$\Delta m_p = m_{p,start} - m_{p,ende} \quad (6.03)$$

$$\Delta m_p = 13,74kg - 13,582kg$$

$$\Delta m_p = 0,158kg$$

Δm_p ...Propangasgemischverbrauch [kg]

$m_{p,start}$...Masse des Gasgemisches zu Beginn [kg]

$m_{p,ende}$...Masse des Gasgemisches zum Ende [kg]

Zur Bestimmung des Wasserverbrauches Δm_w werden die Messwerte für den Wasserverbrauch $V_{w,start}$ und $V_{w,ende}$, sowie die Wasserdichte ρ_w in die Formel (6.04) eingesetzt. Zur Vereinfachung der Berechnungen wurde die Wasserdichte für eine Temperatur von 40°C gewählt.

$$\rho_w = 992 \frac{kg}{m^3}$$

$$\Delta m_w = (V_{w,ende} - V_{w,start}) \cdot \rho_w \quad (6.04)$$

$$\Delta m_w = (5,084 - 5,02)m^3 \cdot 992 \frac{kg}{m^3}$$

$$\Delta m_w = 63,488kg$$

ρ_w ...Dichte des Wassers bei 40°C [kg/m³]

Δm_w ...Wasserverbrauch [kg]

$V_{w,ende}$...Wasserverbrauch zum Ende [m³]

$V_{w,start}$...Wasserverbrauch zu Beginn [m³]

Der Wasserverbrauch Δm_w und der Propangasgemischverbrauch Δm_p werden zusammen mit der Wassertemperaturdifferenz ($T_w - T_k$), der spezifischen Wärmekapazität für Wasser c_{pw} und den Heizwert H_i in die Formel für den Wirkungsgrad (6.05) eingesetzt.⁹⁶

$$c_{pw} = 4,186 \frac{kJ}{kgK}$$

⁹⁶ Vgl.: Zimmermann H.-W.; 1997; S. 38 -39

$$H_i = 46000 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta = \frac{c_{pw} \cdot \Delta m_W \cdot (T_w - T_k)}{H_i \cdot \Delta m_P} \quad (6.05)$$

$$\eta = \frac{4,186 \frac{kJ}{kgK} \cdot 63,466 kg \cdot (42,2 - 13,4) K}{46000 \frac{kJ}{kg} \cdot 0,158 kg} \cdot 100\%$$

$$\eta = 105,2\%$$

c_{pw} ...spezifische Wärmekapazität für Wasser [kJ/kgK]

H_i ...Heizwert des Propan-Butan-Gemisches [kJ/kg]

Δm_W ...Wasserverbrauch [kg]

Δm_P ...Propangasgemischverbrauch [kg]

T_w ...Temperatur des erwärmten Wassers [°C]

T_k ...Temperatur des zu erwärmenden Wassers [°C]

η ...Wirkungsgrad [%]

Tabelle 8: Berechneter Wirkungsgrad für CGW 20120-Vorversuch

Einstellung	Δm_P [kg]	Δm_W [kg]	η [%]
9	0,158	63,488	105,2
6	0,086	66,464	103,9
4	0,049	65,472	104,2

Δm_W ...Wasserverbrauch [kg]

Δm_P ...Propangasgemischverbrauch [kg]

η ...Wirkungsgrad [%]

6.3.3 Auswertung der gemessenen und berechneten Ergebnisse für die Vorversuche

Die Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen der 1.BImSchV, Anlage 4, Nummer 2 besagt, dass für Feuerungsanlagen, ein Grenzwert für Kohlenmonoxid von 250mg/m³ und für Stickoxide von 600mg/m³ nicht überschritten werden darf.⁹⁷ Die ermittelten Konzentrationen, siehe „Tabelle 6: Kohlenmonoxid und Stickoxide, ohne Kondensation“ und „Tabelle 7: Kohlenmonoxid und Stickoxide, mit Kondensation“,

⁹⁷ Vgl.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV, Anlage 4 Nummer 2

unterschreiten die gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Allerdings widerspricht diese Verordnung der Verordnung über Kehrung und Überprüfung von Anlagen KÜO. „Bei Feuerstätten, Blockheizkraftwerken, Wärmepumpen und ortsfesten Verbrennungsmotoren für flüssige und gasförmige Brennstoffe darf der Kohlenmonoxidanteil im Rahmen der Abgaswegüberprüfung bezogen auf unverdünntes, trockenes Abgas nicht mehr als 1 000 ppm betragen. Bei Überschreitung dieser Werte ist die Überprüfung in Abhängigkeit von der konkreten Gefährdungslage spätestens nach sechs Wochen zu wiederholen.“⁹⁸ Nach dieser Verordnung müssen sich Schornsteinfeger, die häusliche Feuerungsanlagen überprüfen, richten. Laut der Kehr- und Überprüfungsordnung ist somit ein Grenzwert für Kohlenmonoxid von $1161,8\text{mg}/\text{m}^3$ festgelegt. Bei Überschreitung dieses Wertes muss die Anlage nicht zwangsläufig stillgelegt werden. Der Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks sagt, dass für Feuerungsanlagen die eine höhere Kohlenmonoxidkonzentration als 500ppm aufweisen eine Beobachtungspflicht besteht.⁹⁹ Die gemessene Kohlenmonoxidkonzentration unterschreiten die Vorgaben der Kehr- und Überwachungsordnung. Die Brennwertzentrale CGW 20/120 kann somit bedenkenlos weiter betrieben werden. In „Tabelle 13: Abgasanalyse mit Kondensation-Vorversuch“ sind die Kohlenmonoxidkonzentrationen, die Abgasverluste und die Abgastemperaturen geringer als in „Tabelle 12: Abgasanalyse ohne Kondensation-Vorversuch“. Das lässt auf eine bessere Wirkungsweise der Brennwertzentrale schließen. Fällt die Abgastemperatur unter die Taupunkttemperatur erhöht sich der Wirkungsgrad der Anlage, weil zusätzlich die Kondensationsenthalpie zur Erwärmung des Wassers genutzt wird. Je geringer die Temperatur des Wassers im Heizrücklauf, umso besser wird das Abgas am Edelstahlwärmetauscher herunter gekühlt. Wenn das Abgas ausreichend weit unter den Taupunkt des Wasserdampfes abgekühlt wird, erfüllt die Anlage ihren Zweck als Brennwerttherme.¹⁰⁰ Das ist in „Tabelle 13: Abgasanalyse mit Kondensation-Vorversuch“ der Fall. Obwohl alle Versuche unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurden gab es große Unterschiede in den Messergebnissen. In diesen Versuchen wurde keine Kondensation des Wasserdampfes im Abgas erreicht, wodurch der Wirkungsgrad stark abnimmt, siehe „Tabelle 12: Abgasanalyse ohne Kondensation-Vorversuch“. Warum eine Kondensation des Wasserdampfes in diesen

⁹⁸ Zitat: Kehr- und Überprüfungsordnung; §1; Absatz 2; 16.06.2009; BGBl Seite 1292

⁹⁹ Eichler A. K.; eingetragener Schornsteinfegermeister; Bezirk Aschersleben; Telefonische Gespräch vom 26.08.2013

¹⁰⁰ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 31

Versuchen nicht möglich war konnte nicht geklärt werden. Feuerungsanlagen mit einer Leistung unter 25kW dürfen laut dem Gesetzgeber einen maximalen Abgasverlust von 11% aufweisen.¹⁰¹ Die Brennwertzentrale CGW 20/120 unterschreitet diesen Grenzwert in jeder Messung. Für die Anlage wurden Abgasverluste von ein bis zwei Prozent erreicht, siehe „Tabelle 12: Abgasanalyse ohne Kondensation-Vorversuch“ und „Tabelle 13: Abgasanalyse mit Kondensation-Vorversuch“. Im „Diagramm 1: Abgastemperatur bei verschiedenen Temperatureinstellungen“ wurden die Abgastemperaturen über die Einstellungen aufgetragen. Auffällig ist, dass die Abgastemperaturen für jede Einstellung konstante Werte liefern. Allerdings sollten bei einer höher eingestellten Wassertemperatur die Abgastemperaturen steigen, weil mit einer erhöhten Brauchwassertemperatur auch die Wassertemperatur des Heizrücklaufes steigt und dadurch die Kühlfunktion des Heizwasserwärmetauschers für das Abgas abnimmt. Durch die Veränderung der Einstellung am Temperaturregler des Bedienfeldes kann die Wassertemperatur des zu erwärmenden Wasser verändert werden. Einstellung eins ist für die niedrigste Wassertemperatur von 15°C und Einstellung neun somit für die höchste Wassertemperatur mit 65°C. Möglicherweise ist die Funktionsfähigkeit des Temperaturreglers am Bedienfeld eingeschränkt. Das würde den unrealistischen Verlauf der Abgastemperaturen erklären. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Versuche ohne Kondensation mit einer gleichbleibenden Warmwassereinstellung durchgeführt wurden. Das gilt auch für die Versuche mit Kondensation. Allerdings muss die Temperatur des erwärmten Wassers bei den Versuchen ohne Kondensation höher als bei den Versuchen mit Kondensation gewesen sein.

¹⁰¹ Vgl.: Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV, § 10, Absatz 1

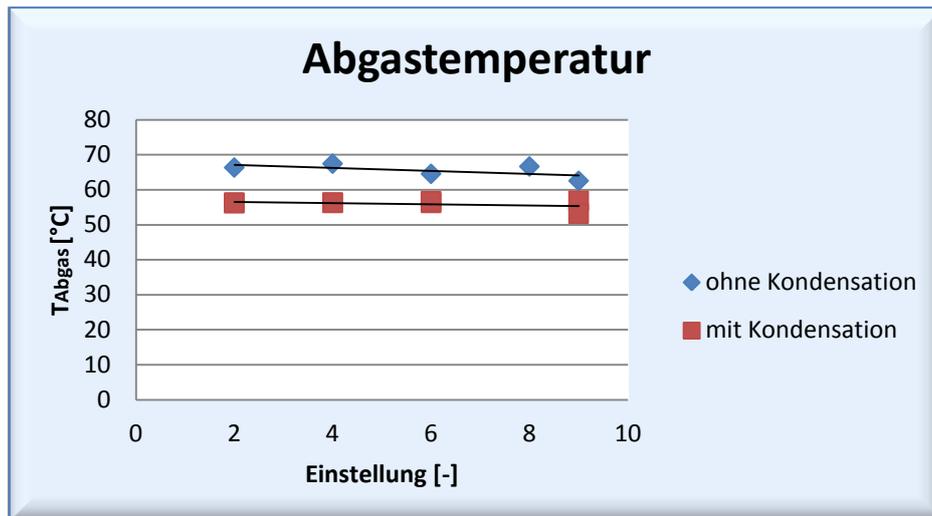


Diagramm 1: Abgastemperatur bei verschiedenen Temperatureinstellungen

Im „Diagramm 2: Wirkungsgrad bei verschiedenen Temperatureinstellungen“ wurden die Wirkungsgradkennlinien für die beiden Messreihen aufgezeigt. Zur Darstellung wurden nur die ermittelten Wirkungsgrade des ecom verwendet, siehe „Tabelle 12: Abgasanalyse ohne Kondensation-Vorversuch“ und „Tabelle 13: Abgasanalyse mit Kondensation-Vorversuch“. Die Unterschiede zwischen den beiden Messreihen wurden bereits beschrieben. Die Messreihe „mit Kondensation“, weist einen geringen Anstieg der Wirkungsgradkennlinie auf. Dieser Anstieg ist das Resultat eines kleinen Ausreißers an der Einstellung „9“. Bei Vernachlässigung dieses Punktes kann von einem konstanten Wirkungsgrad ausgegangen werden. Es wurde bereits erklärt, dass bei einer Erhöhung der Temperatur des erwärmten Wassers automatisch die Abgastemperatur steigt, weil die Temperatur des Wassers im Heizrücklauf steigt. Daraus hergehend muss der Wirkungsgrad bei einer höheren Einstellung der Wassertemperatur sinken.¹⁰² Das ist nicht der Fall und lässt wie schon erwähnt auf eine fehlerhafte Funktionsweise der Temperaturregler schließen.

¹⁰² Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S. 22-24

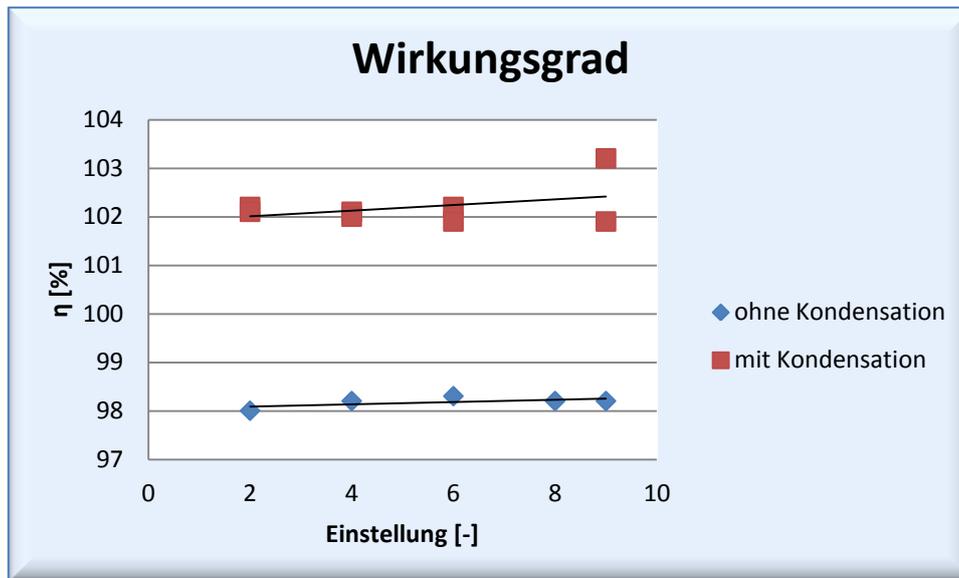


Diagramm 2: Wirkungsgrad bei verschiedenen Temperatureinstellungen

In „Tabelle 14: Messergebnisse zur Bestimmung Wirkungsgrad-Vorversuch“ ist zu sehen, dass bei fallender Einstellung für die Temperaturreglung auch die Warmwassertemperatur abnimmt. Das widerspricht der Aussage einer fehlerhaften Temperaturreglung am Bedienfeld. Die Versuche wurden an unterschiedlichen Tagen durchgeführt. Möglicherweise traten die Probleme mit dem Temperaturregler erst später auf. Allerdings ist das nur eine Hypothese. Die Berechneten Wirkungsgrade für die Brennwertzentrale, siehe „Tabelle 8: Berechneter Wirkungsgrad für CGW 20120-Vorversuch“ entsprechen nicht der theoretisch erwarteten Wirkungsgrade. Sie sollten, wie schon erläutert, bei geringerer Einstellung des Temperaturreglers ansteigen. Eine Erklärung dafür kann nicht getroffen werden.

6.4 Berechnungen und Resultate aus Abgasanalyse und Wirkungsgradbestimmung der Hauptversuche

Für die folgenden Ergebnisse wurden die dafür notwendigen Versuche, wie in den Punkten „6.2 Nachvollziehbare Durchführung der Laborarbeit“ und „4.7 Durchführung der Abgasanalyse mit dem ecom J2KN“ beschrieben, durchgeführt.

6.4.1 Berechnungen und Ergebnisse für die Abgasanalyse bei unterschiedlichen Warmwassertemperaturen

Die folgende Berechnungen werden am Beispiel der Warmwassertemperatur von 40°C durchgeführt, siehe „Tabelle 15: Messergebnisse (Mittelwerte) der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen“ im Anhang.

Schritt 1

Als Berechnungsparameter sind die CO- und NO_x-Konzentrationen des unverdünnten Zustandes zu wählen, CO_{unverdünnt} und NO_{xunverdünnt} siehe „Tabelle 15: Messergebnisse (Mittelwerte) der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen“. Das ecom J2KN berechnet diese Konzentrationen bezogen auf einen Sauerstoffbezugswert von Null Prozent.

$$C_{unverdünnt} = C_{gemessen} * \frac{21\% - O_{2bezug}}{21\% - O_{2gemessen}} \quad (6.06)$$

Die Kohlenmonoxidkonzentration beträgt in diesem Versuch 25ppm. Der dazu gemessene Sauerstoffgehalt beträgt 3,7%. Als Sauerstoffbezugswert sind in dem Analysengerät 0% Sauerstoff festgelegt. Die aufgezählten Parameter werden in die Formel (6.06) eingesetzt.¹⁰³ Damit ergibt sich eine unverdünnte Kohlenmonoxidkonzentration von 31ppm.

$$C_{unverdünnt} = 25\text{ppm} * \frac{21\% - 0\%}{21\% - 3,7\%}$$

$$C_{unverdünnt} = 31\text{ppm}$$

C_{unverdünnt} ...Konzentration eines Gases bezogen auf 0% Sauerstoff

Schritt 2

Bei der Formel (6.07) ist darauf zu achten, dass die Werte in den hier aufgezeigten Einheiten eingesetzt werden. Die Umrechnung von [g/l] in [mg/m³] ergibt sich automatisch durch das Einsetzen der Konzentration in [ppm]. Die molare Masse M_{CO} des Kohlenmonoxids wird durch das molare Normvolumen eines idealen Gases V_{norm} dividiert und mit der Kohlenmonoxidkonzentration C_{CO} [ppm] multipliziert.¹⁰⁴ β_{CO} entspricht der Kohlenmonoxidkonzentration in [mg/m³]. Die Berechnung der Stickoxidkonzentration in [mg/m³] wird analog der Berechnung für die Kohlenmonoxidkonzentration durchgeführt.

$$M_{CO} = 28 \frac{g}{mol}$$

¹⁰³ Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen(26.01.2010) – 1. BImSchV; Anlage 2; Nummer 2

¹⁰⁴ Vgl.: http://www.schweizer-fn.de/abgas/umrech_ppm/umrech_ppm.php; 17.08.2013

$$V_{norm} = 24,1 \frac{l}{mol}$$

$$\beta = \frac{M}{V_{norm}} \cdot C \quad (6.07)$$

$$\beta_{CO} = \frac{M_{CO}}{V_{norm}} \cdot C_{CO}$$

$$\beta_{CO} = \frac{28 \frac{g}{mol}}{24,1 \frac{l}{mol}} \cdot 31 ppm$$

$$\beta_{CO} = 36 \frac{mg}{m^3}$$

M_{CO} ... molare Masse Kohlenmonoxid [g/mol]

V_{norm} ... molares Normvolumen des idealen Gases [l/mol]

C_{CO} ... Konzentration Kohlenmonoxid [ppm]

β_{CO} ... Konzentration Kohlenmonoxid [mg/m³]

Schritt 3

Die Berechnung in die Einheit [mg/kWh] wird nur für die Stickoxide durchgeführt. Die Formel (6.8) wird laut DIN EN 267 verwendet um Konzentrationen von [mg/m³] in [mg/kWh] umzurechnen.¹⁰⁵

$$X_{NOX} = C_{NOX} \cdot \frac{V_{min,tr}}{H_{i,u}} \quad (6.08)$$

$H_{i,u}$... Heizwert des Gasgemisches Propan-Butan [kWh/m³]

$V_{min,tr}$... Mindestabgasmenge Gasgemisch Propan-Butan [m³/m³]

C_{NOX} ... Stickoxidkonzentration unverdünnt [mg/m³]

X_{NOX} ... Stickoxidkonzentration [mg/kWh]

Der Heizwert $H_{i,u}$ muss mit der Einheit [kWh/m³] in die Formel (6.08) eingesetzt werden. Da der Heizwert H_i nur in der Einheit [kJ/kg] bekannt ist, wird er mit Hilfe der idealen Gasgleichung umgerechnet. Als Druck P wird atmosphärischer Normdruck von 101,325kPa und eine Temperatur T von 25°C angenommen. Die spezifische Gaskonstante R wird mit Hilfe der universellen Gaskonstante R_u und den Molmassen

¹⁰⁵ Vgl.: <http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/angebote/publikationen/infoschriften/gasinfo05.pdf>; S. 9; 21.08.2013

der Gaskomponenten berechnet. Dazu werden diese Parameter in die Formel (6.09) eingesetzt. Das x in dieser Formel beschreibt den Molanteil der jeweiligen Gaskomponente.¹⁰⁶

$$R_u = 8,3145 \frac{kJ}{kmol \cdot K}$$

$$M_{Propan} = 44,1 \frac{kg}{kmol}$$

$$M_{Butan} = 58,12 \frac{kg}{kmol}$$

$$X_{Propan} = 0,55$$

$$X_{Butan} = 0,45$$

$$R = \frac{R_u}{M_{Propan}} \cdot x_{Propan} + \frac{R_u}{M_{Butan}} \cdot x_{Butan} \quad (6.09)$$

$$R = \frac{8,3145 \frac{kJ}{kmol \cdot K}}{44,1 \frac{kg}{kmol}} \cdot 0,55 + \frac{8,3145 \frac{kJ}{kmol \cdot K}}{58,12 \frac{kg}{kmol}} \cdot 0,45$$

$$R = 168,07 \frac{J}{kg \cdot K}$$

R_u ...universelle Gasgleichung [kJ/kmolK]

M_{Propan} ...Molmasse Propan [kg/kmol]

M_{Butan} ...Molmasse Propan [kg/kmol]

X_{Propan} ...Molanteil Propan [%]

X_{Butan} ...Molanteil Butan [%]

R ...spezifische Gaskonstante des Gasgemisches Propan-Butan [kJ/kgK]

Schritt 4

Durch umstellen der idealen Gasgleichung (6.10) wird die Dichte des Gasgemisches berechnet, siehe Formel (6.11).¹⁰⁷

$$P = 101325Pa$$

¹⁰⁶ Gaspol; Propan-Butan; S. 3; Absatz 3.1

¹⁰⁷ Vgl.: Fischer K.-F.; 2010; S.253

$$T = 25^{\circ}\text{C}$$

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (6.10)$$

$$\rho_{\text{Gas}} = \frac{m}{V} = \frac{P}{R \cdot T} \quad (6.11)$$

$$\rho_{\text{Gas}} = \frac{101325 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{168,07 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot (25 + 273,15)\text{K}}$$

$$\rho_{\text{Gas}} = 2,022 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

P...atmosphärischer Normdruck [Pa]

T...Gastemperatur [K]

ρ_{Gas} ...Dichte des Gasgemisches Propan-Butan [kg/m^3]

R...spezifische Gaskonstante des Gasgemisches Propan-Butan [kJ/kgK]

Schritt 5

Der Heizwert H_i wird mit der aus Formel (6.11) gewonnenen Gasdichte ρ_{Gas} multipliziert und durch 3600 dividiert, um [J] in [Wh] umzurechnen, siehe Formel (6.12).

$$H_i = 46020 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$H_{i,u} = \frac{H_i \cdot \rho_{\text{Gas}}}{3600} \quad (6.12)$$

$$H_{i,u} = \frac{46020 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 2,022 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3600}$$

$$H_{i,u} = 25,85 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

H_i...Heizwert des Gasgemisches Propan-Butan [kJ/kg]

ρ_{Gas} ...Dichte des Gasgemisches Propan-Butan [kg/m^3]

H_{i,u}...Heizwert des Gasgemisches Propan-Butan [kWh/m^3]

Schritt 6

Die Mindestabgasmenge $V_{min,tr}$ für das Propan-Butangemisch wird aus den Mindestabgas Mengen der beiden Komponenten berechnet, siehe Formel (6.13).¹⁰⁸ Für die Berechnung der Mindestabgasmenge ist der Volumenanteil der Komponenten zu verwenden. Das Avogadro Gesetz besagt: „Gleiche Volumina idealer Gase enthalten bei gleicher Temperatur und gleichem Druck die gleiche Anzahl Teilchen oder 1mol eines jeden idealen Gases besitzt bei gegebener Temperatur und gegebenem Druck dasselbe Volumen.“¹⁰⁹ Dementsprechend kann für die Berechnung der Mindestabgasmenge auch der Molanteil verwendet werden.

$$V_{min,tr,Propan} = 21,8 \frac{m^3}{m^3}$$

$$V_{min,tr,Butan} = 28,44 \frac{m^3}{m^3}$$

$$V_{min,tr} = V_{min,tr,Propan} \cdot X_{Propan} + V_{min,tr,Butan} \cdot X_{Butan} \quad (6.13)$$

$$V_{min,tr} = 21,8 \frac{m^3}{m^3} \cdot 0,55 + 28,44 \frac{m^3}{m^3} \cdot 0,45$$

$$V_{min,tr} = 24,79 \frac{m^3}{m^3}$$

$V_{min,tr,Propan}$...Mindestabgasmenge Propan [m^3/m^3]

$V_{min,tr,Butan}$...Mindestabgasmenge Butan [m^3/m^3]

$V_{min,tr}$... Mindestabgasmenge Gasgemisch Propan-Butan [m^3/m^3]

Schritt 7

Die aus dem zweiten Schritt erhaltene Stickoxidkonzentration C_{NOX} wird zusammen mit der ermittelten Mindestabgasmenge des Gasgemisches $V_{min,tr}$ und des neu berechneten Heizwertes $H_{i,u}$ in die Formel (6.08) eingesetzt.

¹⁰⁸Vgl.: [http://www.f09.fh-](http://www.f09.fh-koeln.de/imperia/md/content/institut_tga/fachschaft/grundstudium/verbrennungslehre/verbrennungslehre_formelsammlung.pdf)

[koeln.de/imperia/md/content/institut_tga/fachschaft/grundstudium/verbrennungslehre/verbrennungslehre_formelsammlung.pdf](http://www.f09.fh-koeln.de/imperia/md/content/institut_tga/fachschaft/grundstudium/verbrennungslehre/verbrennungslehre_formelsammlung.pdf); S. 22; 21.08.2013

¹⁰⁹ Zitat:

http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/thermodyn/einfuehrung/ideales_gas.vlu/Page/vsc/de/ch/13/pc/thermodyn/einfuehrung/avogadro.vscml.html; 21.08.2013

$$X_{NOx} = 39 \frac{mg}{m^3} \cdot \frac{24,79 \frac{m^3}{m^3}}{25,85 \frac{kWh}{m^3}}$$

$$X_{NOx} = 38 \frac{mg}{kWh}$$

Die berechneten Stickoxidkonzentrationen [mg/kWh] sind in „Tabelle 9: Kohlenmonoxid und Stickoxide in mg/m³ und mg/kWh“ hinterlegt.

Tabelle 9: Kohlenmonoxid und Stickoxide in mg/m³ und mg/kWh

$T_{ww} [^{\circ}C]$	$CO [mg/m^3]$	$NO_x [mg/m^3]$	$NO_x [mg/kWh]$
40	36	39	38
45	38	44	42
50	56	67	64
55	81	82	79
60	123	79	76
65	123	80	77

T_{ww} ...eingestellte Warmwassertemperatur am Bedienmodul [$^{\circ}C$]

CO ...Kohlenmonoxidkonzentration [mg/m^3]

NO_x ...Konzentration der Stickoxide [mg/m^3]; [mg/kWh]

6.4.2 Berechnungen und Ergebnisse für die Kesselwirkungsgradbestimmung bei unterschiedlichen Warmwassertemperaturen

Für die Berechnung des Wirkungsgrades der Brennwerttherme zur Brauchwassererwärmung, werden die Parameter Masse des erwärmten Wassers, Masse des verbrauchten Brennstoffes, dessen Heiz- bzw. Brennwert, die spezifische Wärmekapazität des Wassers und die Temperaturdifferenz zwischen kalt- und Warmwasser benötigt. Die für den Rechenweg notwendigen gemessenen Parameter sind in „Tabelle 16: Messergebnisse (Mittelwerte) für die Wirkungsgradbestimmung“ im Anhang hinterlegt. Als Beispiel für die folgenden Berechnungen dienen die Messergebnisse aus dem ersten Versuch mit einer Warmwassertemperatur von 40°C.

Schritt 1

Zunächst werden die Wassertemperaturen berechnet. Zur Berechnung der Temperatur für das Kaltwasser, wird als Grundlage die Formel zur Spannungsberechnung (6.14) verwendet. Die Formel (6.14) wird nach ΔT umgestellt. Es ergibt sich die Formel

(6.15). Die Formel (6.15) muss nun noch mit dem am Voltmeter eingestellten Messbereich n multipliziert und durch 100 dividiert werden. Die Thermoelementkonstante α , der Messbereich n und die Spannung U_k werden in die Formel (6.16) eingesetzt.¹¹⁰

$$\alpha = 25 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mV}}$$

$$n = 5$$

$$U = \frac{\Delta T}{\alpha} \quad (6.14)$$

$$\Delta T = U \cdot \alpha \quad (6.15)$$

$$\Delta T_k = \frac{U_k \cdot \alpha \cdot n}{100} \quad (6.16)$$

$$\Delta T_k = \frac{11,7\text{mV} \cdot 23,375 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mV}} \cdot 5}{100}$$

$$\Delta T_k = 13,6^{\circ}\text{C}$$

α ...Thermoelementkonstante [$^{\circ}\text{C}/\text{mV}$]

n ...Messbereich [-]

U_k ...Spannungsdifferenz Kaltwasser [mV]

T_k ...Kaltwassertemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

Die Berechnung der Warmwassertemperatur erfolgt analog der Berechnung für die Kaltwassertemperatur.

Schritt 2

Die Temperaturdifferenz ΔT wird durch subtrahieren der Kaltwassertemperatur T_k von der Warmwassertemperatur T_w berechnet, siehe Formel (6.17).

$$\Delta T = T_w - T_k \quad (6.17)$$

$$\Delta T = 33,7^{\circ}\text{C} - 13,6^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 20,1\text{K}$$

¹¹⁰ Dr. Cichowicz R. A.; Dozent an der Technischen Universität Lodz; persönliches Gespräch vom 14.07.2013

ΔT ...Temperaturdifferenz zwischen Warm- und Kaltwasser [K]

T_w ... Warmwassertemperatur [$^{\circ}C$]

T_k ...Kaltwassertemperatur [$^{\circ}C$]

Schritt 3

Die an der Wasseruhr abgelesene Menge an erwärmtem Wasser wird in Kilogramm umgerechnet. Dazu wird die Wasserdichte ρ_W benötigt, siehe „Tabelle 10: Kesselwirkungsgrad“.¹¹¹ Die Wasserdichte wird mit dem Wasserverbrauch ΔV_W in die Formel (6.18) eingesetzt.

$$\Delta m_W = \Delta V_W \cdot \rho_W \quad (6.18)$$

$$\Delta m_W = 0,043m^3 \cdot 994 \frac{kg}{m^3}$$

$$\Delta m_W = 42,908kg$$

ρ_W ...Wasserdichte bei T_w [kg/m^3]

ΔV_W ...Wasserverbrauch [m^3]

Δm_W ...Wasserverbrauch [kg]

Schritt 4

Der Wirkungsgrad wurde mit dem Heizwert H_i , der zu überhöhten Wirkungsgraden führt, und dem Brennwert H_s berechnet. Der Unterschied zwischen den beiden Werten wurde bereits in „5.2 Heizwert oder Brennwert“ erklärt. Die folgende Berechnung für den Wirkungsgrad wird mit dem Einsatz des Heizwertes H_i durchgeführt. Der Wasserverbrauch Δm_W und der Propangasgemischverbrauch Δm_P werden zusammen mit der Wassertemperaturdifferenz ΔT , der spezifischen Wärmekapazität für Wasser c_{pw} und dem Heizwert H_i in die Formel für den Wirkungsgrad (6.19) eingesetzt.¹¹²

$$c_{pw} = 4,186 \frac{kJ}{kgK}$$

$$H_i = 46020 \frac{kJ}{kg}$$

¹¹¹ Vgl.: <http://www.internetchemie.info/chemiewiki/index.php?title=Wasser-Dichtetabelle>; 20.09.2013

¹¹² Vgl.: Zimmermann H.-W.; 1997; S. 38 -39

$$H_s = 49890 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{Hi} = \frac{c_{pw} \cdot \Delta m_W \cdot (T_w - T_k)}{H_i \cdot \Delta m_P} \quad (6.19)$$

$$\eta_{Hi} = \frac{4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 42,908 \text{kg} \cdot 20,1 \text{K}}{46020 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,073 \text{kg}} \cdot 100\%$$

$$\eta_{Hi} = 106,8\%$$

c_{pw} ...spezifische Wärmekapazität für Wasser [kJ/kgK]

H_i ...Heizwert des Propan-Butan-Gemisches [kJ/kg]

H_s ...Brennwert des Propan-Butan-Gemisches [kJ/kg]

Δm_W ...Wasserverbrauch [kg]

Δm_P ...Propangasgemischverbrauch [kg]

ΔT ...Temperaturdifferenz Warm- und Kaltwasser [K]

η_{Hi} ...Wirkungsgrad [%]

Tabelle 10: Kesselwirkungsgrad

T_{ww} [°C]	ρ_w [kg/m ³]	Δm_W [kg]	T_k [°C]	T_w [°C]	ΔT [K]	η_{Hi} [%]	η_{Hs} [%]
40	994	42,908	13,6	33,7	20,1	106,8	98,5
45	993	43,196	13,6	38,4	24,7	104,1	96,1
50	991	43,109	13,8	42,9	29,0	100,1	92,4
55	989	42,527	14,6	48,5	33,9	97,8	90,3
60	987	43,181	14,0	52,6	38,6	96,8	89,3
65	984	42,558	13,4	58,4	45,0	96,8	89,3

T_{ww} ...eingestellte Warmwassertemperatur am Bedienmodul [°C]

ρ_w ...Wasserdichte bei T_w [kg/m³]

Δm_W ...Wasserverbrauch [kg]

T_k ...Kaltwassertemperatur [°C]

T_w ...Warmwassertemperatur [°C]

ΔT ...Differenz zwischen Kalt- und Warmwasser [°C]

η_{Hi} ...Wirkungsgrad berechnet mit dem Heizwert H_i [%]

η_{Hs} ...Wirkungsgrad berechnet mit dem Brennwert H_s [%]

6.4.3 Abgasanalyse im Schornsteinfegerbetrieb

Der Schornsteinfegerbetrieb der Brennwertzentrale wird genutzt um Abgasanalysen, wie die Abgaswegeuntersuchung, bei oberer Heizbelastung durchzuführen. Bei diesem Versuch ist als erstes das Analysengerät ecom J2KN aufzustellen. Anschließend wird die Brennwertzentrale mit dem Hauptschalter eingeschaltet und der Systemschalter wird auf die rechte Position mit dem Schornsteinfegersymbol im Uhrzeigersinn gedreht, siehe „Abb. 28: Bedienfeld CGW 20/120“. Bei aktivem Schornsteinfegerbetrieb blinkt die Statusleuchte des Bedienfeldes gelb. Die Abgasanalyse mit dem ecom J2KN wird analog der Punkte „4.5 Speichern der Messungen über definierte Zeiträume“ und „4.7 Durchführung der Abgasanalyse mit dem ecom J2KN“ durchgeführt. Die Abgasanalyse wird über einen Zeitraum von 15 Minuten durchgeführt. Die Brennwertzentrale ist nach Versuchsende wie in „6.2 Nachvollziehbare Durchführung der Laborarbeit“ abzuschalten. Die Auswertung der Messreihe wird mit dem Programm DASNT 5 vorgenommen.

6.4.3.1 Berechnungen und Ergebnisse für die Abgasanalyse des Schornsteinfegerbetriebs

Die benötigten Parameter für die Konzentrationsberechnung der Kohlenmonoxide und Stickoxide in [mg/m³] und [mg/kWh] sind der „Tabelle 17: Messergebnisse Abgasanalyse des Schornsteinfegerbetriebs 1“ dem Anhang zu entnehmen. Die Berechnungen wurden analog Berechnungen in „6.4.1 Berechnungen und Ergebnisse für die Abgasanalyse bei unterschiedlichen Warmwassertemperaturen“ durchgeführt.

Tabelle 11: Kohlenmonoxid- und Stickoxidkonzentration im Schronsteinfegerbetrieb

Messpunkt Über 15 min	CO [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]	NO _x [mg/kWh]
1	94	52	49
2	142	59	57
3	149	59	57
4	153	61	59
5	155	61	59
6	158	67	64
7	158	65	62
8	159	65	62
9	161	65	62
10	161	65	62
11	161	69	66
12	161	67	64
13	163	71	68
14	164	71	68
15	163	71	68
16	163	71	68
Mittelwert	154	65	62

CO...Kohlenmonoxidkonzentration [mg/m³]

NO_x...Stickoxidkonzentration [mg/m³]

NO_x...Stickoxidkonzentration [mg/kWh]

7 Auswertung der Hauptversuche

7.1 Betrachtung der Abgasanalyse und der ermittelten Kesselwirkungsgrade bei verschiedenen Warmwassertemperaturen

Die Abgasanalyse der Brennwertzentrale CGW 20/120, gemessen für verschiedene Einstellungen der Warmwassertemperatur, erfüllt die Aussagen der Kehr- und Überprüfungsordnung KÜO. Diese Verordnung besagt, dass für Feuerstätten, wie auch die Brennwertzentrale CGW 20/120, eine Kohlenmonoxidkonzentration in der Abgaswegeprüfung von 1000ppm nicht überschritten werden soll.¹¹³ Dieser Wert wird in allen Messreihen der Versuchsgruppe weit unterschritten. Die Abgaswegeüberprüfung liefert Kohlenmonoxidkonzentrationen, unverdünnt bezogen auf eine Sauerstoffkonzentration von 0%, zwischen 30 und 113ppm. Der Hersteller gibt für die CGW 20/120 als obere Belastung einen Kohlendioxidgehalt von 10,1% +/-0,3% und als untere Belastung einen Gehalt von 11,1% +/-0,5% an. Diese Werte beziehen sich

¹¹³ Vgl.: Kehr- und Überprüfungsordnung; §1; Absatz 2; 16.06.2009

auf den Einsatz von Flüssiggas, Propan-Butan-Gemisch, als Brennstoff.¹¹⁴ Die gemessenen Kohlendioxidkonzentrationen liegen zwischen 11,7% und 11,1%. Damit werden die Angaben des Herstellers nicht in jeder Messung erfüllt. Besonders die Messungen bei oberer Belastung 60°C/80°C weisen Abweichungen von etwa 1% der Herstellerangaben auf. Dennoch sind die ermittelten Werte unbedenklich. Sollten sie allerdings weiter ansteigen ist eine Neueinstellung der Gasdurchflussschraube am Gaskombiventil zu empfehlen.¹¹⁵ Im „Diagramm 3: Kohlenmonoxid- und Kohlendioxidkonzentration für verschiedene Warmwassertemperaturen“ sind die Kohlenmonoxidkonzentrationen und Kohlendioxidgehalte über der eingestellten Warmwassertemperaturen für den Schichtenspeicher dargestellt.

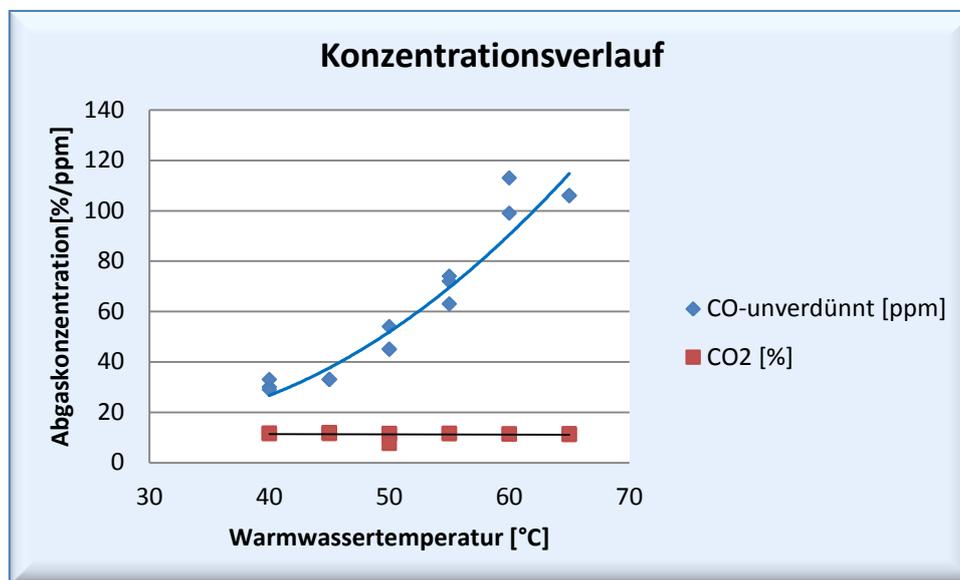


Diagramm 3: Kohlenmonoxid- und Kohlendioxidkonzentration für verschiedene Warmwassertemperaturen

Die Brennwertzentrale verfügt über das CE-Zeichen, und soll somit die Abgasnorm Klasse fünf erfüllen. Die Abgasnorm Klasse fünf erlaubt eine maximale Stickoxidkonzentration von 70mg/kWh. Das ist die Voraussetzung für Brennwertkessel im häuslichen Gebrauch, um uneingeschränkt auf dem deutschen Markt eingesetzt zu werden.¹¹⁶ In „Tabelle 9: Kohlenmonoxid und Stickoxide in mg/m³ und mg/kWh“ sind die Ergebnisse für die Stickoxidkonzentration für die Versuche der Abgasanalyse bei verschiedenen Warmwassertemperaturen hinterlegt. Die niedrigste

¹¹⁴ Vgl.:Montage- und Wartungsanleitung; Gasbrennwertzentrale wandhängend mit integriertem Hochleistungsschichtenspeicher; S. 30

¹¹⁵ 3061037_1209_CGW_CGI_Montage.pdf; Montage- und Wartungsanleitung; Gasbrennwertzentrale wandhängend mit integriertem Hochleistungsschichtenspeicher; S. 29

¹¹⁶ <http://www.sbz-monteur.de/2007/12/08/angabe-der-nox-klasse-bei-gasgeraten/>; Absatz 1; 22.08.2013

Stickoxidkonzentration beträgt bei einer eingestellten Warmwassertemperatur von 40°C 38mg/kWh. Die höchste Konzentration wurde bei einer Warmwassertemperatur von 55°C gemessen und beträgt 79mg/kWh. Die Abgasnorm Klasse fünf wird in 50% der Versuche überschritten. Es ist nicht geklärt ob die Ursache für die Stickoxidüberschreitung in einer fehlerhaften Übermittlung der Zusammensetzung des Flüssiggases Propan-Butan und einhergehend einer fehlerhaften Berechnung der Stickoxidkonzentration oder an Problemen im Verbrennungsprozess der Brennwertzentrale liegt. Der Hersteller Wolf gibt für die Brennwertzentrale CGW 20/120 einen Wirkungsgrad bei unterer Belastung (30/40), berechnet mit dem Heizwert, von 109% und für die obere Belastung (80/60) einen Wirkungsgrad von 98% an. Die mit dem ecom J2KN gemessenen feuerungstechnischen Wirkungsgrade sind in der „Tabelle 15: Messergebnisse (Mittelwerte) der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen“ und in dem „Diagramm 4: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad für die Abgasanalyse bei verschiedenen Warmwassertemperaturen“ hinterlegt. Die gemessenen Wirkungsgrade für eine Wassertemperatureinstellung von 40°C betragen ca. 106% und die Werte für eine Wassertemperatureinstellung von 65°C betragen ca. 98%. Damit liegen die ermittelten Werte in etwa im Bereich der Herstellerangaben. Der Unterschied der Wirkungsgrade bei unterer Belastung kann auf die Einstellung der Warmwassertemperatur zurück zu führen sein. Die untere Belastungsgrenze beschreibt den Wirkungsgrad bei Temperatureinstellungen zwischen 30°C und 40°C, in den Versuchen wurde allerdings nur Temperaturen von 40°C eingestellt. Auf die 30°C Einstellung wurde Aufgrund der hohen Sommertemperatur von über 30°C verzichtet.

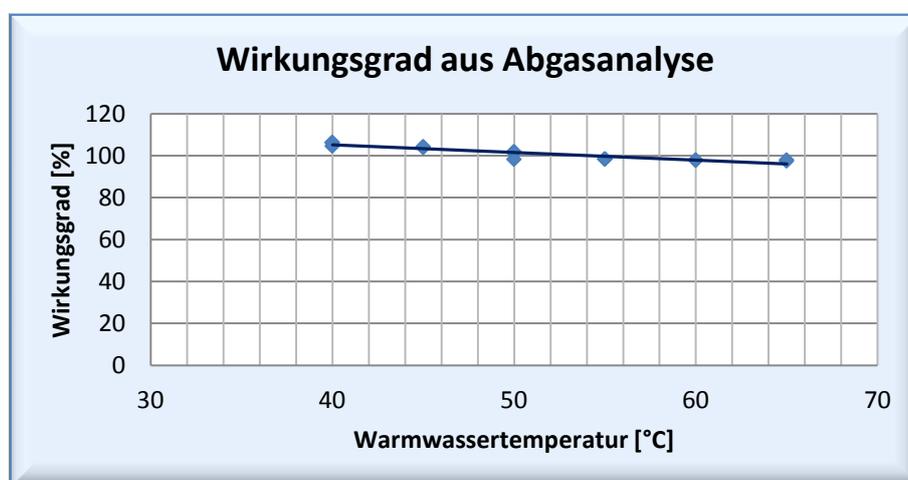


Diagramm 4: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad für die Abgasanalyse bei verschiedenen Warmwassertemperaturen

Die Abnahme des Wirkungsgrades bei steigender Warmwassererwärmung erklärt sich durch den Anstieg der Abgastemperatur, siehe „Diagramm 5: Abgastemperatur bei unterschiedlich eingestellten Warmwassertemperaturen“. Wird das Heizwasser der Brennwertzentrale auf ein höheres Energieniveau geführt, reicht der Wärmedurchgangskoeffizient des Warmwasserplattenwärmetauschers nicht aus, um das Heizwasser ausreichend weit herunter zu kühlen. Dadurch erhöht sich bei einer Steigung der Warmwassertemperatur der Heizwasserrücklauf. Die Temperatur des Heizrücklaufs ist jetzt zu hoch um das Abgas unter den Wasserdampftaupunkt zu kühlen. Es findet keine oder nur noch eine sehr geringe Kondensation des Wasserdampfes an dem Kondensationswärmetauscher statt. Die Kondensationsenthalpie steht nicht mehr für den Heizprozess zur Verfügung und der Wirkungsgrad der Brennwertzentrale sinkt. Dieses Prinzip wurde bereits in „5.3 Wirkungsgradverlauf bei Brennwertkesseln“ beschrieben.

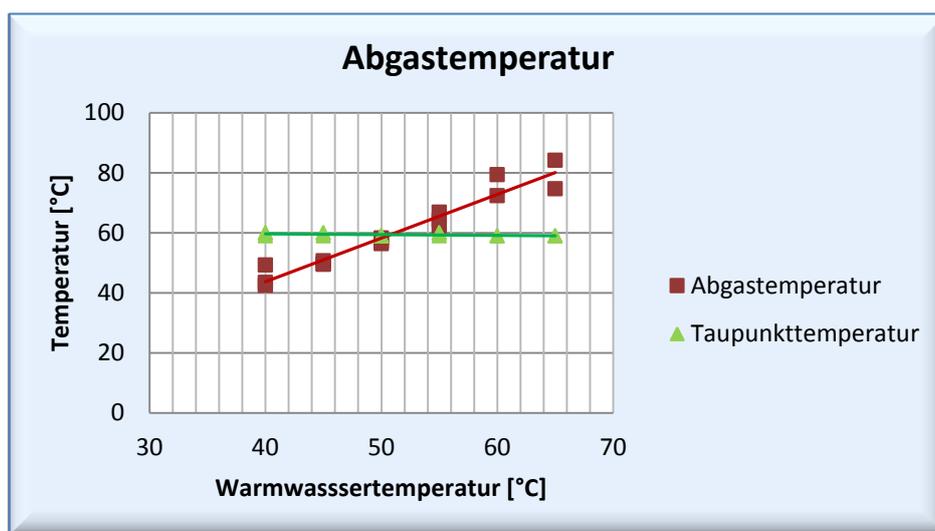


Diagramm 5: Abgastemperatur bei unterschiedlich eingestellten Warmwassertemperaturen

Die für die Brennwertzentrale errechneten Wirkungsgrade sind denen aus der Abgasanalyse sehr ähnlich, was auf eine korrekte Durchführung der Versuche schließen lässt, siehe „Tabelle 10: Kesselwirkungsgrad“. Der Kurvenverlauf nähert sich einem unteren Wirkungsgrad an. Dies ist auch zu erwarten, weil die Kondensationswärme immer weniger ausgenutzt wird, siehe „Diagramm 6: Errechneter Kesselwirkungsgrad bei unterschiedlichen Warmwassertemperatureinstellungen“.

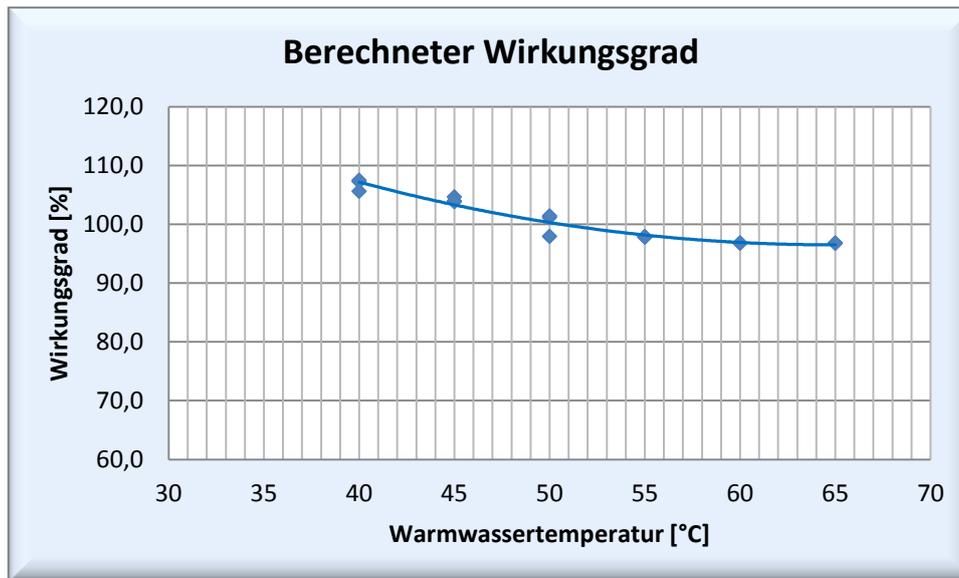


Diagramm 6: Errechneter Kesselwirkungsgrad bei unterschiedlichen Warmwassertemperatureinstellungen

Die geringen Unterschiede zwischen den errechneten Kesselwirkungsgraden und dem mit dem Analysengerät gemessenen feuerungstechnischen Wirkungsgraden beruhen auf den Berechnungsgrundlagen dieser beiden Wirkungsgrade. Für die Formel (7.1) des feuerungstechnischen Wirkungsgrads wird der Abgasverlust benötigt. Er ist durch die empirische Formel nach Siegert definiert. Bei dieser Variante zur Wirkungsgrad Ermittlung werden Strahlungsverluste und Betriebsbereitschaftsverluste nicht betrachtet. Diese Form ist auf den Brennwert bezogen. Um sie auf den Heizwert zu beziehen wird auf den errechneten feuerungstechnischen Wirkungsgrad noch der prozentuale Gewinn an Kondensationswärme zu addiert.

$$\eta_f = (1 - q_A) \cdot 100\% \quad (7.1)$$

η_f ...feuerungstechnischer Wirkungsgrad [%]

q_A ...Abgasverlust [-]

Der Kesselwirkungsgrad betrachtet auftretende Verluste, weil sich die Formel (7.2) zur Kesselwirkungsgradbestimmung auf den Ertrag des Prozesses und auf den aufzubringen Aufwand bezieht. Zur Berechnung kann auch der Brennwert H_s eingesetzt werden. Dadurch wird der Kesselwirkungsgrad zwar geringer, ist aber physikalisch richtig.

$$\eta_k = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{Q}_A} = \frac{\dot{m}_W \cdot c_{p,W} \cdot \Delta T}{\dot{V}_B \cdot H_i} \quad (7.2)$$

η_k ...Kesselwirkungsgrad [%]

\dot{Q}_E ...Wärmestrom als Ertrag [kW]

\dot{Q}_A ...Wärmestrom als Aufwand [kW]

\dot{m}_W ...Massenstrom Warmwasser [kg/s]

$c_{p,W}$...spezifische Wärmekapazität Wasser [kJ/kgK]

ΔT ...Temperaturdifferenz zwischen Kalt- und Warmwasser [K]

\dot{V}_B ...Volumenstrom des Brennstoffes [m^3/s]

H_i ...Heizwert des Brennstoffes [kJ/ m^3]

Allerdings sind die Verluste in modernen Brennwertgeräten so gering, dass keine nennenswerten Unterschiede zwischen den feuerungstechnischen Wirkungsgrad und den Kesselwirkungsgrad auftreten.¹¹⁷

7.2 Auswertung der Schornsteinfegeruntersuchung

Die Schornsteinfegeruntersuchung für Brennwertthermen wird bei der Installation des Gerätes und danach, wenn keine Herstellerangaben dazu verfügbar stehen, alle zwei Jahre wiederholt. Grundsätzlich ist bei Brennwertkesseln dem Hersteller gestattet die Untersuchungsintervalle fest zu legen. Für die CGW 20/120 ist die Schornsteinfegeruntersuchung alle drei Jahre zu wiederholen. Der wichtigste Untersuchungsparameter ist die Abgaswegeüberprüfung, einschließlich Kohlendioxidmessung, dabei wird die Kohlenmonoxidkonzentration im Abgas gemessen, auf einen unverdünnten Bezug mit 0% Sauerstoff umgerechnet und in der Einheit [ppm] angegeben. Der ermittelte Kohlendioxidgehalt wird in Prozent angegeben. Diese Parameter geben Auskunft ob die Anlage in ihrer Verbrennungsfunktion beeinträchtigt ist und ob ein Gefährdungspotenzial durch giftiges Kohlenmonoxid besteht. Die Kehr- und Überwachungsordnung KÜO gibt einen Kohlenmonoxidgrenzwert von 1000ppm vor. „Bei Überschreitung dieser Werte ist die Überprüfung in Abhängigkeit von der konkreten Gefährdungslage spätestens nach sechs Wochen zu wiederholen.“¹¹⁸ Der von der Verordnung erklärte Grenzwert überschreitet den in der Schornsteinuntersuchung ermittelten Wert. Die Kohlenmonoxidkonzentration in der Abgaswegeüberprüfung beträgt 133ppm. Von der Brennwertzentrale geht somit kein Gefährdungspotenzial im Bezug auf Kohlenmonoxidvergiftungen aus. Desweiteren

¹¹⁷ Vgl.: Hans-Werner Zimmermann; Untersuchungen zur Wirkungsgradsteigerung von Gas-Brennwertgeräten; Shaker verlag; 1997; S. 38 -39

¹¹⁸ Zitat: Kehr- und Überprüfungsordnung; §1; Absatz 2; 16.06.2009; BGBI Seite 1292

ergab die Abgasanalyse einen Kohlendioxidanteil von 10,7%. Der Hersteller gibt für die oberer Belastung, die bei der Schornsteinfegeruntersuchung gefahren wird, einen Kohlendioxidanteil von 10,1% +/- 0,3% vor.¹¹⁹ Der gemessene Wert überschreitet die Herstellervorgabe, jedoch ist diese geringe Erhöhung unbedenklich. Wie schon in „7.1 Betrachtung der Abgasanalyse und der ermittelten Kesselwirkungsgrade bei verschiedenen Warmwassertemperaturen“ erklärt, kann dieser Wert durch die Neueinstellung der Gasdurchflussschraube am Gaskombiventil angepasst werden. Die Abgasanalyse ergab eine Stickoxidkonzentration von 62 mg/kWh, siehe „Tabelle 11: Kohlenmonoxid- und Stickoxidkonzentration im Schornsteinfegerbetrieb“. Die CE Abgasnorm Klasse fünf für Stickoxide gibt einen Grenzwert von 70mg/kWh an NO_x vor.¹²⁰ Die gemessene Stickoxidkonzentration liegt unter diesem Grenzwert. Das Gerät ist somit für den deutschen Markt zugelassen. „Abb. 32: Diagramm aus DASNT 5 für den Schornsteinfegerbetrieb“ ist eine graphische Abbildung aus dem Programm DASNT 5 und zeigt den Verlauf der Parameter die im Schornsteinfegerbetrieb gemessen wurden.

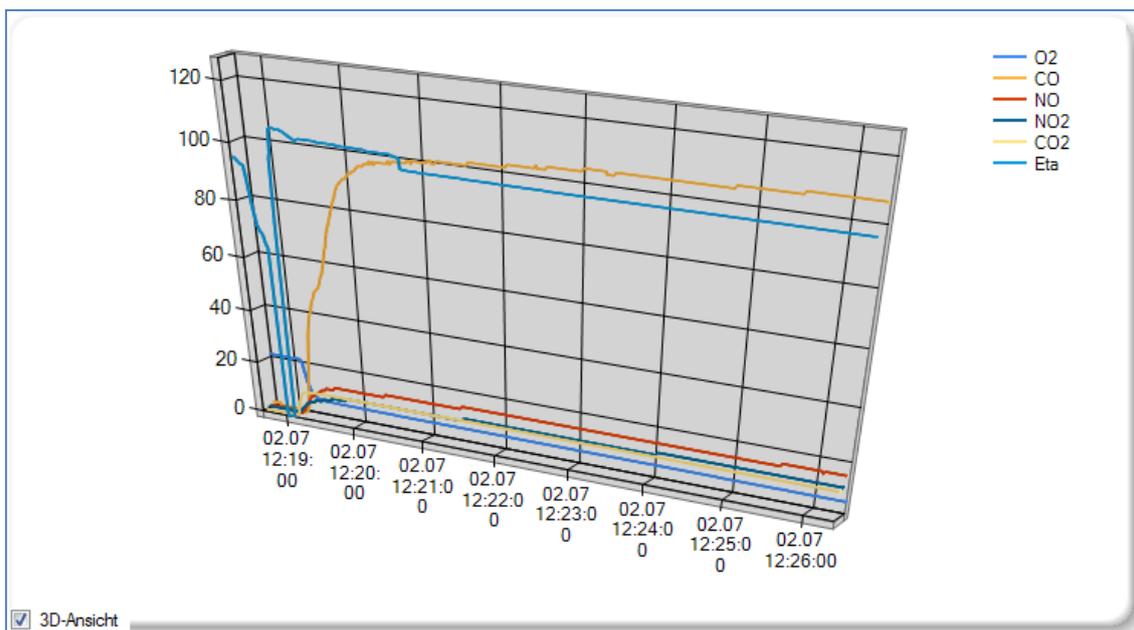


Abb. 32: Diagramm aus DASNT 5 für den Schornsteinfegerbetrieb

¹¹⁹ Vgl.: Montage- Wartungsanleitung Gasbrennwertzentrale Wandhängend mit integriertem Hochleistungsschichtenspeicher; 2009; S. 30

¹²⁰ <http://www.sbz-monteur.de/2007/12/08/angabe-der-nox-klasse-bei-gasgeraten/>; Absatz 1; 22.08.2013

8 Fazit und Optimierungsvorschläge

Für die Brennwertzentrale CGW 20/120 ist für die Brauchwassererwärmung eine Schichtenspeichertemperatureinstellung von unter 50°C empfehlenswert. Das wird in „Diagramm 7: Wirkungsgrad, Abgastemperatur und Taupunkt in Abhängigkeit der Schichtenspeichertemperatureinstellung“ verdeutlicht. Bei einer Temperatureinstellung von 50°C überschreitet die Abgastemperatur den Wasserdampfstaupunkt. Die Folge daraus ist, dass weniger Kondensationswärme für die Wassererwärmung zur Verfügung steht und der Wirkungsgrad stark abnimmt. Sicherlich ist die benötigte Wassertemperatur zum Baden, Waschen und Geschirr spülen individuell zu betrachten.

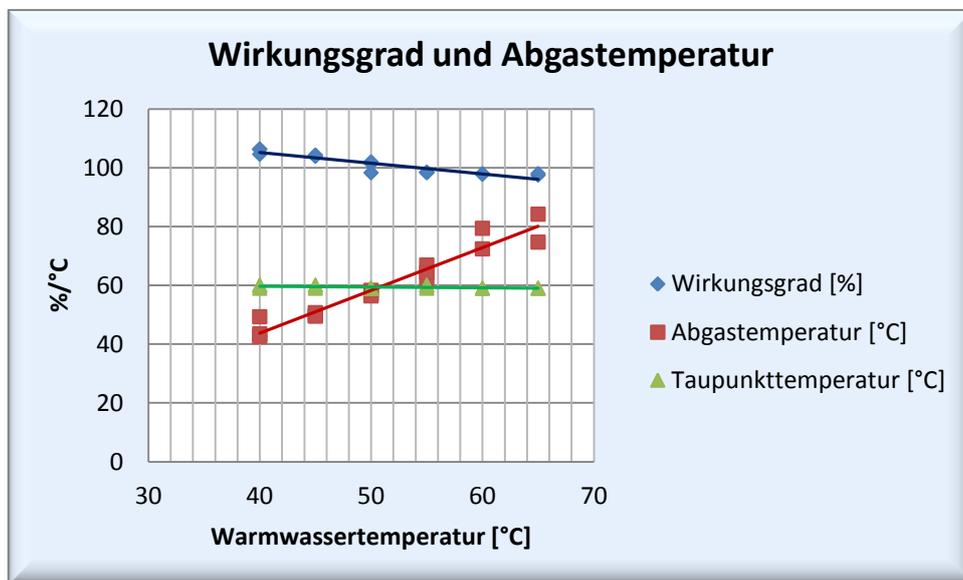


Diagramm 7: Wirkungsgrad, Abgastemperatur und Taupunkt in Abhängigkeit der Schichtenspeichertemperatureinstellung

Bei Umfragen aus vielen Internetforen und Gesprächsrunden ist eine Meinung sehr gehäuft vertreten. Wassertemperaturen zwischen 40°C und 45°C sind zum Duschen und Geschirr spülen völlig ausreichend. Höhere Wassertemperaturen werden meist unangenehm empfunden, wodurch sie mittels der Mischbatterie am Waschbecken oder in der Dusche, durch die Beimischung von kaltem Wasser, stark herabgesenkt wird. Das macht eine zu hohe Erhitzung des Wassers auch äußerst unwirtschaftlich. Das Wasser wird auf ein höheres Energieniveau geheizt, obwohl ein großer Teil der Energie nicht genutzt wird. Dadurch wird Brennstoff verschwendet. Das mag auf eine Speicherladung keine großen Auswirkungen haben, aber auf ein Jahr bezogen können dadurch erhebliche Kosten auftreten. Ausgehend von einem Flüssiggaspreis mit 70 Cent je Liter kann pro Speicherladung etwa sechs Cent eingespart werden, wenn als

Warmwassertemperatur 45°C anstatt 55°C eingestellt wird. Für 350 Speicherladungen im Jahr werden somit 21,5€ eingespart. Desweiteren werden durch eine niedriger eingestellte Warmwassertemperatur Emissionen reduziert, was wiederum der Umwelt zu Gute kommt. Die Konzentrationen von Kohlenmonoxid und Stickoxid im Abgas sind bei Temperatureinstellungen unter 50°C wesentlich geringer, siehe „Tabelle 19: Messergebnisse der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen-1“ und „Tabelle 20: Messergebnisse der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen-2“. Außerdem wird die CE Abgasnorm Klasse fünf, die für Stickoxide einen Maximalwert von 70mg/kWh festlegen, bei einer Warmwassereinstellung von über 55°C in einigen Messungen nicht erfüllt, siehe „Tabelle 9: Kohlenmonoxid und Stickoxide in mg/m³ und mg/kWh“. Aus den genannten Gründen ist es zu empfehlen die Voreinstellung der Brennwertzentrale CGW 20/120 mit einer Speicherladetemperatur von 50°C auf 45°C oder 40°C herab zu senken. Die Versuche wurden nur für die Brauchwassererwärmung durchgeführt, deshalb werden für die Optimierung des Heizbetriebes für die Raumerwärmung nur einige Anhaltspunkte genannt. Brennwertgeräte haben ihren besten Wirkungsgrad bei unterer Belastung. Somit eignen sie sich hervorragend für Niedertemperaturheizungen, wie Fußboden- und Wandheizungen. Durch den Einsatz dieser Niedertemperaturheizungen kann fast während der gesamten Heizperiode eine kondensierende Betriebsweise erreicht werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Kesseltemperatur der Niedertemperaturheizung angepasst wird und die Mischfunktion, falls ein Mischer im System integriert ist, ausgeschaltet wird, weil die Mischung zwischen Heizvorlauf und Heizrücklauf die Rücklauftemperatur nachteilig anheben würde und somit den Wirkungsgrad verringert.¹²¹ Ein wichtiger Aspekt ist es das Schaltzeitprogramm der CGW 20/120 auf die individuellen Bedürfnisse einzustellen. Wann wird morgens Warmwasser benötigt, wann soll die Raumheizung abends deaktiviert werden und wann soll die Anlage Tagsüber für Warmwasser und eine behagliche Raumtemperatur sorgen? All diese Parameter lassen sich im Bedienmodul der Brennwertzentrale einstellen und steuern. Es ist auch sinnvoll die Anlage bei Abwesenheit, zum Beispiel in Urlaubszeiten, in den Standby-Betrieb oder den ständigen Absenkbetrieb zu versetzen, siehe „5.6 Beschreibung des Bedienmodul BM“. Bei der Berücksichtigung der genannten Aspekte kann Flüssiggas eingespart werden. Das mindert die jährlichen Heizkosten und es werden weniger Emissionen frei gesetzt.

¹²¹ Vgl.: Jannemann T. B.; 1996; S.23-24

9 Fehlerbetrachtung

Das ecom J2KN ist mit vielen Sensoren ausgestattet, die potentiell immer eine Fehlerquelle bilden können. Um das zu umgehen, wird das Gerät in sinnvollen Zeitabständen neu kalibriert. Es ist wichtig, dass die Kalibrierung nicht im Abgaskanal, sonder in der Raumluft durchgeführt wird. Eine weitere Fehlerquelle ist das Strömungsprofil des Abgasrohres. Im Abgasrohr treten laminare und turbulente Strömungen auf, was einen Konzentrationsunterschied der Schadstoffe über den Rohrquerschnitt bewirken kann. Diese Fehlerquelle ist leicht zu umgehen. Die Sonde wird in den Abgaskanal eingeführt. Dabei wird die Abgastemperatur gemessen. Die Messung soll nun an dem Punkt mit der höchsten Abgastemperatur durchgeführt werden, dabei handelt es sich generell um den Kernstrom des Abgases. Um das zu ermöglichen befindet sich auf dem Display des Bedienteils ein Plus- bzw. Minuszeichen. Wenn die Abgastemperatur beim Einführen der Sonde steigt, ist das Pluszeichen auf dem Display zu sehen. Fällt die Temperatur im Abgas, erscheint das Minuszeichen und wenn kein Zeichen zu sehen ist, ist die höchste Temperatur erreicht. Die Sonde befindet sich jetzt an der richtigen Position. Um stabile Messwerte zu erhalten muss nach dem Start der Messung mindestens zwei Minuten gewartet werden. Bei der Ermittlung der Wassertemperaturen, in den Vorversuchen, mit den Thermoelementen und dem Millivoltmeter wurden in den ersten Messungen unrealistische Werte ermittelt, die zu Wirkungsgraden von 150 bis 250% führten. Grund dafür waren die veralteten und falsch angebrachten Thermoelemente. Risse und Rost auf den Thermoelementen wirken sich negativ auf eine korrekte Temperaturmessung aus, weil dadurch die Spannungsübertragung beeinträchtigt wird und somit die zur Berechnung der Temperatur benötigte Thermoelementkonstante neu bestimmt werden muss. Desweiteren waren diese Thermoelemente an nicht voll isolierten Kupferrohren befestigt, wodurch die Messung der korrekten Wassertemperatur unmöglich war.¹²² Für die Beseitigung dieser Fehlerquelle wurden neue Thermoelemente Installiert. Für diese Elemente musste keine neue Thermoelementkonstante bestimmt werden, weil sie vom Hersteller vorgegeben ist. Unter der Isolierschicht des Schichtenspeichers wurde das Thermoelement für die Warmwassertemperatur angebracht. Die Ermittlung der Wirkungsgrade in den Folgeversuchen erbrachte anfangs Werte von ca. 150%. Die Probleme mit den Thermoelementen wurden zu diesem Zeitpunkt bereits behoben. Als Fehlerquelle stellte sich die Analysenwaage heraus. Sie zeigten über den Zeitlauf von

¹²² Vgl.: Körtvélyessy L.; 1998; S. 28- 47

neun Minuten 32% weniger Masse auf dem Display an, als eigentlich an Flüssiggas verbraucht wurde. Um diesen Betrag festzustellen wurde vor dem Start einiger Versuche die Waage tariert und die Masse wurde aufgenommen. Dann wurde die Gasflasche von der Waage genommen und erst nach Versuchsende auf die neutarierte Waage gestellt. Die damit ermittelte Masse war im Mittel 32% größer, als die Masse bei der die Gasflasche nicht von der Waage genommen wurde. Versuche die mit einer kürzeren Zeit durchgeführt wurden wiesen eine geringere Differenz auf. Deshalb war es auch wichtig, alle Versuche mit demselben Zeitintervall durch zu führen. Warum die Waage fehlerhafte Werte wiedergibt ist nicht geklärt. Den abgelesenen Werten wurden 32% der angezeigten Masse zu addiert. Dadurch ergaben sich dann realistische Wirkungsgrade.

10 Quellenverzeichnis

Bücher

- Fischer Karl-Friedrich; Taschenbuch der Technischen Formeln; Leipzig: Hanser-Verlag (2010)
- Gurjar B. R., Molina L. T., Ojha C. S. P.; Air Pollutions- Health and Environmental Impacts; USA: CRC Press – Taylor & Francis Group (2010)
- Jannemann Theo B.; Kompendium Gas-Brennwerttechnik; 2. Auflage; Vulkan-Verlag Essen (1996)
- Joos L.; Energieeinsparung in Gebäuden; 2. Auflage; Deutschland: Vulkan-Verlag GmbH (2004)
- Körtvélyessy László; Thermoelement Praxis; 3. Auflage; Deutschland: Vulkan-Verlag (1998)
- Langeheinecke Klaus; Jany Peter; Thieleke Gerd; Thermodynamik für Ingenieure; 8. Auflage; Deutschland: Vieweg-Teubner Verlag (2011)
- Recknagel, Sprenger, Schramek; Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik; Auflage 73; Deutschland: Oldenbourg Industrieverlag (2007/08)
- Verein Deutscher Ingenieure: VDI Wärmeatlas; 10. Auflage; Berlin: Springer-Verlag (2006)
- Zimmermann H.-W.; Untersuchungen zur Wirkungsgradsteigerung von Gas-Brennwertgeräten; Shaker Verlag Aachen (1997)

Sonstige Literatur

- Bedienungsanleitung ecom-J2KN; Ausführung B; rbr Messtechnik GmbH; 3062535_201203.pdf (2012)
- Bendix Dietmar Prof. Dr.; Vorlesungsmitschrift Thermodynamik; HS-Merseburg; Wintersemester (2010/2011)
- Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)

- Cichiwicz Robert Artur Dr. Ing.; Bachelorbetreuer; Dozent an der Technischen Universität Lodz (2012)
- Eichler Andre Klaus; eingetragener Schornsteinfegermeister; Bezirk Aschersleben (2012)
- Gaspol; Gasgemischidentifikationsprotokoll; Propan-Butan (15.06.2011)
- Kehr- und Prüfungsordnung KÜO
- Montage- Wartungsanleitung Gasbrennwertzentrale Wandhängend mit integriertem Hochleistungsschichtenspeicher; CGW 20/120; 3061037_1209_CGW_CGI_Montage.pdf; (2009)
- Montage-und Bedienungsanleitung Bedienmodul BM; Firma Wolf; 3062535_201203.pdf; (2012)
- Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen– 1. BImSchV (26.01.2010)
- Walter Regina Prof. Dr.; Vorlesungsmitschrift Ökologische Stoffwandlung; HS-Merseburg; Wintersemester (2012/13)

Internet

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert>; 13.08.2013
- <http://rbr-ecom.at/de/k47.ecom-J2KNpro.htm>; S. 34-35; 11.08.2013
- <http://scrippsco2.ucsd.edu/>; 11.05.2013
- http://www.betavertrieb.at/PrGasJ2KN_De.htm; 10.05.2013
- http://www.betavertrieb.at/PrGasJ2KN_De.htm; 10.05.2013
- <http://www.bfga.de/arbeitsschutz-lexikon-von-a-bis-z/fachbegriffe-c-i/emission>; 06.05.2013
- <http://www.bmu.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/verordnung-ueber-kleine-und-mittlere-feuerungsanlagen-1-bimschv/>; 09.05.2013

- <http://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/>;
09.05.2013
- http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/thermodyn/einfuehrung/ideales_gas.vlu/Page/vsc/de/ch/13/pc/thermodyn/einfuehrung/avogadro.vscml.html; 21.08.2013
- <http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/angebote/publikationen/infoschriften/gasinfo05.pdf>; S. 9; 21.08.2013
- <http://www.enius.de/schadstoffe/kohlenmonoxid.html>; 11.05.2013
- <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=PM1>;
09.05.2013
- <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=CO>;
11.05.2013
- <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=O3>;
11.05.2013
- <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=SO2>;
11.05.2013
- <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutant.fwd?comp=NO2>;
11.05.2012
- <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/pollutants.fwd>; 09.05.2013
- http://www.f09.fh-koeln.de/imperia/md/content/institut_tga/fachschaft/grundstudium/verbrennungslehre/verbrennungslehre_formelsammlung.pdf; S. 22; 21.08.2013
- <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/ko/gesamt.pdf>; 15.08.2013
- <http://www.heizungsbetrieb.de/img/BrennwertWirkungsgrad-Gas-Hs.jpg>;
21.08.2013
- <http://www.ikz.de/1996-2005/2004/18/0418044.php>; 21.08.2013

- <http://www.internetchemie.info/chemiewiki/index.php?title=Wasser-Dichtetabelle>; 20.09.2013
- <http://www.nature.com/climate/2008/0812/full/climate.2008.122.html>; 11.05.2013
- <http://www.poel-tec.com/lexikon/abgasmessung.php>; 12.05.2013
- <http://www.rbr.de/download/manual/bda-j2kn-d.pdf>; 13.08.2013
- <http://www.sbz-monteur.de/2007/12/08/angabe-der-nox-klasse-bei-gasgeraten/>; 19.08.2013
- <http://www.sbz-monteur.de/2007/12/08/angabe-der-nox-klasse-bei-gasgeraten/>; Absatz 1; 22.08.2013
- <http://www.sbz-monteur.de/2007/12/08/angabe-der-nox-klasse-bei-gasgeraten/>; Absatz 1; 22.08.2013
- http://www.schweizer-fn.de/abgas/umrech_ppm/umrech_ppm.php; 17.08.2013
- <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/so2/>; 11.05.2013
- <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=3578>; Absatz 1; 25.08.2013
- <http://www.umwelt-plakette.de/feinstaub.php>; 09.05.2013

11 Anlage

Tabelle 12: Abgasanalyse ohne Kondensation-Vorversuch

Einstellung	2	4	6	8	9
<i>CO [ppm]</i>	76	87	95	97	59
<i>NO [ppm]</i>	21	23	23	24	21
<i>NO₂ [ppm]</i>	12	14	15	15	12
<i>NO_x [ppm]</i>	32	37	38	40	32
<i>SO₂ [ppm]</i>	0	0	0	0	0
<i>O₂ [%]</i>	4,8	4,5	4,6	4,6	4,7
<i>CO₂ [%]</i>	10,7	11,3	11,4	11,5	10,7
<i>Lambda [-]</i>	1,3	1,27	1,28	1,28	1,29
<i>T_{Luft} [°C]</i>	24,4	26,3	26,7	27	24,1
<i>T_{Abgas} [°C]</i>	66,3	67,4	64,5	66,6	62,5
<i>η [%]</i>	98	98,2	98,3	98,2	98,2
<i>q_A [%]</i>	2	1,9	1,8	1,8	1,8

Einstellung...Einstellmöglichkeit am Temperaturschalter der CGW 20/120[-]

CO...Kohlenmonoxidkonzentration [ppm]

NO...Stickstoffmonoxidkonzentration [ppm]

NO₂...Stickstoffdioxidkonzentration [ppm]

NO_x...Stickoxidkonzentration [ppm]

SO₂...Schwefeldioxidkonzentration [ppm]

O₂...Sauerstoffgehalt [%]

CO₂...Kohlendioxidgehalt [%]

Lambda...Luftüberschusszahl [-]

T_{Luft}...Raumlufttemperatur [°C]

T_{Abgas}...Abgastemperatur [°C]

η...Wirkungsgrad [%]

q_A...Abgasverlust [%]

Tabelle 13: Abgasanalyse mit Kondensation-Vorversuch

Einstellung	2	2	4	4	6	6	9
CO [ppm]	63	63	63	62	65	63	62
NO [ppm]	26	24	23	25	25	26	24
NO₂ [ppm]	13	14	13	15	15	16	13
NO_x [ppm]	40	41	41	40	40	42	36
SO₂ [ppm]	0	0	0	0	0	0	0
O₂ [%]	4,3	4,2	4,1	4,1	4,1	4,1	4,3
CO₂ [%]	11	11,1	11,3	11,5	11,5	11,7	11,1
Lambda [-]	1,23	1,24	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2
T_{Luft} [°C]	27,2	27,1	27,3	27,3	27,4	27,4	26,9
T_{Abgas} [°C]	56,3	56,1	56,3	56,2	56,7	56,2	53,1
η [%]	102,1	102,2	102	102,1	101,9	102,2	103,2
q_A [%]	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2

Einstellung...Einstellmöglichkeit am Temperaturschalter der CGW 20/120[-]

CO...Kohlenmonoxidkonzentration [ppm]

NO...Stickstoffmonoxidkonzentration [ppm]

NO₂...Stickstoffdioxidkonzentration [ppm]

NO_x...Stickoxidkonzentration [ppm]

SO₂...Schwefeldioxidkonzentration [ppm]

O₂...Sauerstoffgehalt [%]

CO₂...Kohlendioxidgehalt [%]

Lambda...Luftüberschusszahl [-]

T_{Luft}...Raumlufttemperatur [°C]

T_{Abgas}...Abgastemperatur [°C]

η...Wirkungsgrad [%]

q_A...Abgasverlust [%]

Tabelle 14: Messergebnisse zur Bestimmung Wirkungsgrad-Vorversuch

<i>Einstellung</i>	$m_{P,start}$ [kg]	$m_{P,ende}$ [kg]	$V_{W,start}$ [m ³]	$V_{W,ende}$ [m ³]	T_w [°C]	T_k [°C]
9	13,74	13,582	5,02	5,084	42,2	13,4
6	13,486	13,4	5,13	5,197	28,2	13,4
4	13,32	13,271	5,32	5,386	22,0	13,4

$m_{P,start}$...Masse des Propangasgemisches zu Beginn [kg]

$m_{P,ende}$...Masse des Propangasgemisches zum Ende [kg]

$V_{W,start}$...verbrauchtes Wasservolumen zu Beginn [m³]

$V_{W,ende}$...verbrauchtes Wasservolumen zum Ende [m³]

T_w ...Temperatur des erwärmten Wassers [°C]

T_k ...Temperatur des zu erwärmenden Wassers [°C]

Tabelle 15: Messergebnisse (Mittelwerte) der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen

T_{ww} [°C]	40	45	50	55	60	65
CO [ppm]	25	28	39	57	83	83
NO [ppm]	11	12	18	22	20	21
NO ₂ [ppm]	6	7	10	12	13	13
NO _x [ppm]	17	19	28	35	33	28
SO ₂ [ppm]	0	0	0	0	0	0
O ₂ [%]	3,8	3,6	3,9	3,9	4,6	4,5
CO ₂ [%]	11,6	11,8	10,2	11,6	11,4	11,3
Lambda [-]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
T _{Luft} [°C]	30	28	30	28	29	30
T _{Abgas} [°C]	45	50	57	65	76	79
ETA [%]	105,7	104,1	100,6	98,4	97,9	97,8
Verlust [%]	0,7	1,0	1,4	1,6	2,1	2,3
Zugluft [hPa]	0,08	0,18	0,41	0,50	1,07	1,09
T _{Taupunkt} [°C]	60	60	59	60	59	59
C _x H _y [ppm]	27	33	38	33	65	63
CO _{unver} [ppm]	31	33	48	70	106	106
NO _{unver} [ppm]	13	15	23	28	26	26
NO _{2unver} [ppm]	8	8	12	15	16	16
NO _{xunver} [ppm]	21	23	35	43	42	42

CO...Kohlenmonoxidkonzentration verdünnt [ppm]

NO/ NO₂...Stickstoffmonoxid/-dioxidkonzentration [ppm]

NO_x...Stickoxidkonzentration [ppm]

SO₂...Schwefeldioxidkonzentration [ppm]

O₂...Sauerstoffgehalt [%]

CO₂...Kohlendioxidgehalt [%]

Lambda...Luftüberschusszahl [-]

T_{Luft}/ T_{Abgas} ...Temperatur der angesaugten Luft/des Abgases [°C]

T_{Taupunkt}...Temperatur des Wasserdampftaupunktes [°C]

ETA...Wirkungsgrad der Brennwertzentrale [%]

Verlust...Abgasverlust [%]

Zugluft...Zugverhältnisse im Abgaskanal [hPa]

C_xH_y...Konzentration an Kohlenwasserstoffen, Propan und Methan [ppm]

CO_{unver}...Kohlenmonoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

NO_{unver}...Stickstoffmonoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

NO_{2unver}...Stickstoffdioxidkonzentration unverdünnt [ppm]

NO_{xunver}...Stickoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

Tabelle 16: Messergebnisse (Mittelwerte) für die Wirkungsgradbestimmung

$T_{ww} [^{\circ}C]$	$\Delta m_p [kg]$	$\Delta V_w [m^3]$	$U_k [mV]$	$U_w [mV]$	$T_{Modul} [^{\circ}C]$
40	0,073	0,043	11,7	28,8	35
45	0,093	0,044	11,7	32,8	40
50	0,114	0,044	11,8	36,7	44
55	0,134	0,043	12,5	41,5	49
60	0,157	0,044	12,0	45,0	55
65	0,180	0,043	11,5	50,0	60

T_{ww} ...eingestellte Warmwassertemperatur am Bedienmodul [$^{\circ}C$]

T_{Modul} ...Anzeigewert des Bedienmoduls für die Warmwassertemperatur im Schichtenspeicher

ΔV_w ... Wasserverbrauch [m^3]

Δm_p ... Propangasgemischverbrauch [kg]

U_k ... Spannungsdifferenz Kaltwasser [mV]

U_w ... Spannungsdifferenz Warmwasser [mV]

Tabelle 17: Messergebnisse Abgasanalyse des Schornsteinfegerbetriebs 1

Messpunkt Über 15 min	O ₂ [%]	CO _{unver} [ppm]	NO _{unver} [ppm]	NO _{2unver} [ppm]	NO _{Xunver} [ppm]	SO ₂ [ppm]	C _x H _y [ppm]	CO ₂ [%]
1	5,5	81	16	11	27	0	28	10,6
2	5,3	122	17	13	31	0	19	10,6
3	5,3	128	17	13	31	0	18	10,6
4	5,2	132	19	13	32	0	18	10,6
5	5,2	133	19	13	32	0	17	10,6
6	5,2	136	20	15	35	0	17	10,7
7	5,1	136	20	15	34	0	17	10,7
8	5,1	137	20	15	34	0	17	10,7
9	5,1	139	20	15	34	0	17	10,8
10	5,1	139	20	15	34	0	17	10,8
11	5,1	139	20	16	36	0	19	10,8
12	5	139	20	16	35	0	19	10,8
13	5	140	21	16	37	0	20	10,8
14	5,1	141	21	16	37	0	20	10,8
15	5	140	21	16	37	0	22	10,8
16	5	140	21	16	37	0	22	10,8
Mittelwert	5,1	133	20	15	34	0	19	10,7

CO_{unver}...Kohlenmonoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

O₂...Sauerstoffgehalt [%]

Lambda...Luftüberschusszahl [-]

T_{Luft}...Temperatur der angesaugten Luft [°C]

T_{Abgas}...Abgastemperatur [°C]

T_{Taupunkt}...Temperatur des Wasserdampftaupunktes [°C]

ETA...Wirkungsgrad der Brennwertzentrale [%]

Verlust...Abgasverlust [%]

Zugluft...Zugverhältnisse im Abgaskanal [hPa]

C_xH_y...Konzentration an Kohlenwasserstoffen, Propan und Methan [ppm]

Tabelle 18: Messergebnisse Abgasanalyse des Schornsteinfegerbetriebs 2

Messpunkt Über 15 min	T_{Abgas} [°C]	T_{Luft} [°C]	Lambda	Verlust [%]	ETA [%]	$T_{Taupunkt}$ [°C]	Zugluft [hPa]
1	50,7	27	1,35	1,1	103,8	58	1,19
2	52,3	27	1,34	1,2	103,5	58	1,45
3	53,1	27	1,34	1,2	103,2	58	1,42
4	54,1	27	1,33	1,3	102,8	58	1,23
5	66,4	26,9	1,33	1,9	98,1	58	1,58
6	68,1	26,9	1,33	2	98	58	1,7
7	71,4	26,9	1,32	2,1	97,9	58	1,75
8	72,5	26,8	1,32	2,2	97,8	58	1,79
9	73,5	26,8	1,32	2,2	97,8	58	1,79
10	73,6	26,8	1,32	2,2	97,8	58	-
11	73,9	26,8	1,32	2,2	97,8	58	1,81
12	74,2	26,8	1,31	2,2	97,8	58	-
13	74,4	26,9	1,31	2,2	97,8	58	-
14	74,3	26,8	1,32	2,2	97,8	58	1,81
15	74,6	26,9	1,31	2,2	97,8	58	1,79
16	74,7	26,9	1,31	2,2	97,8	58	1,78
Mittelwert	67,6	26,9	1,32	1,9	99,2	58	1,6

CO_{unver} ...Kohlenmonoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

O_2 ...Sauerstoffgehalt [%]

Lambda...Luftüberschusszahl [-]

T_{Luft} ...Temperatur der angesaugten Luft [°C]

T_{Abgas} ...Abgastemperatur [°C]

$T_{Taupunkt}$...Temperatur des Wasserdampftaupunktes [°C]

ETA...Wirkungsgrad der Brennwertzentrale [%]

Verlust...Abgasverlust [%]

Zugluft...Zugverhältnisse im Abgaskanal [hPa]

C_xH_y ...Konzentration an Kohlenwasserstoffen, Propan und Methan [ppm]

Tabelle 19: Messergebnisse der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen-1

T_{ww} [°C]	40	40	40	45	45	45	50	50	50
CO [ppm]	25	24	27	27	28	28	43	37	37
NO [ppm]	10	9	13	13	12	12	18	18	19
NO ₂ [ppm]	6	5	8	8	6	7	11	9	10
NO _x [ppm]	16	14	21	21	18	19	29	27	29
SO ₂ [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O ₂ [%]	3,7	3,8	4	4	3,4	3,3	4,2	3,8	3,8
CO ₂ [%]	11,7	11,6	11,5	11,5	11,9	11,9	11,4	11,6	7,6
Lambda [-]	1,21	1,22	1,24	1,24	1,19	1,19	1,25	1,22	1,22
T _{Luft} [°C]	30	30	30	30	26,9	27,1	30	29,2	29,7
T _{Abgas} [°C]	43,5	42,5	49,3	49,5	50,7	49,7	58,3	57,2	56,4
ETA [%]	106,2	106,4	104,6	104,3	103,9	104,2	101,5	102	98,3
Verlust [%]	0,6	0,6	0,9	0,9	1	1	1,3	1,2	1,7
Zugluft [hPa]	0,05	0,05	0,15	0,15	0,17	0,23	0,32	0,38	0,53
T _{Taupunkt} [°C]	60	60	59	59	60	60	59	59	59
C _x H _y [ppm]	30	26	24	24	36	38	19	50	45
CO _{unver} [ppm]	30	29	33	33	33	33	54	45	45
NO _{unver} [ppm]	12	11	16	16	14	14	23	22	23
NO _{2unver} [ppm]	7	6	10	10	7	8	14	11	12
NO _{xunver} [ppm]	19	17	26	26	21	22	37	33	35

CO...Kohlenmonoxidkonzentration verdünnt [ppm]

NO/ NO₂...Stickstoffmonoxid/-dioxidkonzentration [ppm]

NO_x...Stickoxidkonzentration [ppm]

SO₂...Schwefeldioxidkonzentration [ppm]

O₂...Sauerstoffgehalt [%]

CO₂...Kohlendioxidgehalt [%]

Lambda...Luftüberschusszahl [-]

T_{Luft}...Temperatur der angesaugten Luft [°C]

T_{Abgas}...Abgastemperatur [°C]

T_{Taupunkt}...Temperatur des Wasserdampftaupunktes [°C]

ETA...Wirkungsgrad der Brennwertzentrale [%]

Verlust...Abgasverlust [%]

Zugluft...Zugverhältnisse im Abgaskanal [hPa]

C_xH_y...Konzentration an Kohlenwasserstoffen, Propan und Methan [ppm]

CO_{unver}...Kohlenmonoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

NO_{unver}...Stickstoffmonoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

NO_{2unver}...Stickstoffdioxidkonzentration unverdünnt [ppm]

NO_{xunver}...Stickoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

Tabelle 20: Messergebnisse der Abgasanalyse für verschiedenen Warmwassertemperaturen-2

T_{ww} [°C]	55	55	55	60	60	65	65
CO [ppm]	50	59	61	78	88	83	83
NO [ppm]	18	25	24	21	19	21	20
NO ₂ [ppm]	11	13	13	13	12	13	12
NO _x [ppm]	29	38	37	34	31	24	32
SO ₂ [ppm]	0	0	0	0	0	0	0
O ₂ [%]	4,2	3,9	3,7	4,5	4,6	4,5	4,5
CO ₂ [%]	11,5	11,6	11,6	11,3	11,4	11,1	11,5
Lambda [-]	1,25	1,23	1,21	1,27	1,28	1,27	1,27
T _{Luft} [°C]	30,1	27,4	27,4	30,1	28,7	30,2	28,8
T _{Abgas} [°C]	66,9	62,3	64,3	79,4	72,4	84,2	74,7
ETA [%]	98,4	98,5	98,4	97,8	98	97,5	98
Verlust [%]	1,6	1,5	1,6	2,2	2	2,5	2
Zugluft [hPa]	0,4	0,57	0,52	0,74	1,39	0,83	1,34
T _{Taupunkt} [°C]	59	60	60	59	59	59	59
C _x H _y [ppm]	35	33	30	28	101	20	105
CO _{unver} [ppm]	63	72	74	99	113	106	106
NO _{unver} [ppm]	23	31	29	27	24	27	25
NO _{2unver} [ppm]	14	16	16	17	15	17	15
NO _{xunver} [ppm]	37	47	45	44	39	44	40

CO...Kohlenmonoxidkonzentration verdünnt [ppm]

NO/ NO₂...Stickstoffmonoxid/-dioxidkonzentration [ppm]

NO_x...Stickoxidkonzentration [ppm]

SO₂...Schwefeldioxidkonzentration [ppm]

O₂...Sauerstoffgehalt [%]

CO₂...Kohlendioxidgehalt [%]

Lambda...Luftüberschusszahl [-]

T_{Luft}/ T_{Abgas} ...Temperatur der angesaugten Luft/ Abgastemperatur [°C]

T_{Taupunkt}...Temperatur des Wasserdampftaupunktes [°C]

ETA...Wirkungsgrad der Brennwertzentrale [%]

Verlust...Abgasverlust [%]

Zugluft...Zugverhältnisse im Abgaskanal [hPa]

C_xH_y...Konzentration an Kohlenwasserstoffen, Propan und Methan [ppm]

CO_{unver}...Kohlenmonoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

NO_{unver}/ NO_{2unver} ...Stickstoffmonoxid/-dioxidkonzentration unverdünnt [ppm]

NO_{xunver}...Stickoxidkonzentration unverdünnt [ppm]

Tabelle 21: Messergebnisse für die Wirkungsgradbestimmung

$T_{ww} [^{\circ}C]$	$\Delta m_p [kg]$	$\Delta V_W [m^3]$	$U_k [mV]$	$U_w [mV]$	$T_{Modul} [^{\circ}C]$
40	0,075	0,0435	11,5	29	35
40	0,074	0,043	11,5	29	35
40	0,071	0,043	12	28,5	34
45	0,091	0,044	12	32,5	39
45	0,094	0,043	11,5	33	41
45	0,095	0,0435	11,5	33	40
50	0,111	0,0435	11,5	36	44
50	0,113	0,0435	12	37	45
50	0,117	0,0435	12	37	44
55	0,134	0,043	12,5	41,5	49
55	0,134	0,043	12,5	41,5	50
55	0,134	0,043	12,5	41,5	49
60	0,155	0,044	12,5	45	55
60	0,158	0,0435	11,5	45	55
65	0,181	0,0435	11,5	50	59
65	0,179	0,043	11,5	50	60

T_{ww} ... eingestellte Warmwassertemperatur am Bedienmodul [$^{\circ}C$]

T_{Modul} ... Anzeigewert des Bedienmoduls für die Warmwassertemperatur im Schichtenspeicher

ΔV_W ... Wasserverbrauch [m^3]

Δm_p ... Propangasgemischverbrauch [kg]

U_k ... Spannungsdifferenz Kaltwasser [mV]

U_w ... Spannungsdifferenz Warmwasser [mV]

Messergebnisse

Customer: Kunde 1 Title / Name / Company: Herr Such und Such GmbH
 Contact: Herr Such
 Straße / Hausnummer: Am Großen Teich 2 ZIP / City: 06110 Halle
 Phone: 92374433 Fax: 02371-40305
 Mobile: 0173-09884098 E-Mail: such@suchundsich.de
 Site: Brennwertzentrale Contact: Dr. Robert Artur Cichowicz
 Street / Number: Al. Politechniki 6 ZIP / City: 90-924 Lodz
 Phone: +48426313514 Fax:
 Mobile: E-Mail: robert.cichowicz@p.lodz.pl
 Boiler Wolf Type CGW 20/120 Power: 6,1-20,5kW Manufacturing year: 2009
 Manufacturer: :
 Burner Type Power: Manufacturing year:
 manufacturer: : Manufacturing year:

	Mess. 1	Mess. 2	Mess. 3	Mess. 4	Mess. 5	Mess. 6	Mess. 7	Mess. 8	Mess. 9	Mess. 10
Date	02.07.13	02.07.13	02.07.13	02.07.13	02.07.13	02.07.13	02.07.13	02.07.13	02.07.13	02.07.13
Time	12:22:21	12:22:53	12:23:25	12:23:45	12:24:13	12:25:11	12:25:52	12:25:38	12:26:38	12:26:43
Fuel	Propan									
O2	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5	5	5,1	5	5
Reference-O2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ppm	103	104	105	105	105	106	107	107	107	107
CO ppm	136	137	139	139	139	139	140	141	140	140
NO ppm	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16
NO ppm	20	20	20	20	20	20	21	21	21	21
NO2 ppm	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12
NO2 ppm	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16
NOx ppm	34	34	34	34	36	35	37	37	37	37
SO2 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO2 ppm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2 ppm										
H2 ppm										
S6 ppm										
S6ppm										
COxHy ppm	17	17	17	17	19	19	20	20	22	22
T-Gas	71,4	72,5	73,5	73,6	73,9	74,2	74,4	74,3	74,6	74,7
T-Air	26,9	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,9	26,8	26,9	26,9
T-Boiler										
Air pressure	993	992	993	993	993	993	993	992	993	993
CO2	10,7	10,7	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
Lambda	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,31	1,31	1,32	1,31	1,31
Verluste	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
ETA	97,9	97,8	97,8	97,8	97,8	97,8	97,8	97,8	97,8	97,8
Dew point	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Draft	1,75	1,79	1,79		1,81			1,81	1,79	1,78
CO (u)										
O2 (Ringsp.)	0	0	0		0			0	0	0
V.Gas	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
T1 (delta T)	71,4	72,5	73,5		73,9			74,3	74,6	74,7
T2 (delta T)	26,9	26,8	26,8		26,8			26,8	26,9	26,9

Notes:

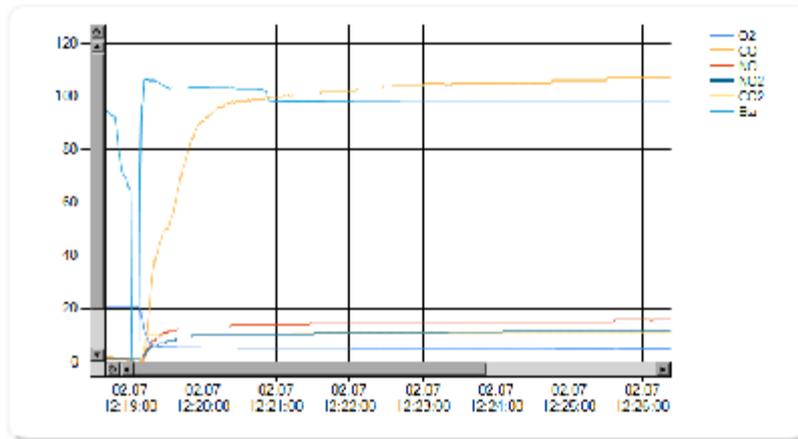
rbr Messtechnik GmbH * Am Grossen Teich 2 * 58640 Iserlohn *
 02371-9455 * 02371-40305 * * info@rbr.de * www.rbr.de *



Onlinemessung vom 20.08.2013 von 12:18:40 bis 12:30:03

Customer: Kunde 1 **Title / Name / Company:** Herr Such und Such GmbH
Contact: Herr Such
Street / Number: Am Großen Teich 2 **ZIP / City:** 08110 Halle
Phone: 92374433 **Fax:** 02371-40305
Mobile: 0173-09884098 **E-Mail:** such@suchundsuch.de
Site: Brennwertzentrale **Contact:** Dr. Robert Artur Cichowicz
Street / Number: Al. Politechniki 8 **ZIP / City:** 90-924 Lodz
Phone: +48426313514 **Fax:**
Mobile: **E-Mail:** robert.cichowicz@p.lodz.pl
Boiler: Wolf **Type:** CGW 20/120 **Power:** 6,1-20,5kW **Year:** 2009
Burner: **Type:** **Power:** **Year:**

Fuel:



Notes:

rbr Messtechnik GmbH * Am Grossen Teich 2 * 58640 Iserlohn *
 02371-9455 * 02371-40305 * * info@rbr.de * www.rbr.de *



Eidesstattliche Erklärung zur Bachelorarbeit

Ich versichere, die Bachelorarbeit selbstständig und lediglich unter Benutzung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben.

Ich erkläre weiterhin, dass die vorliegende Arbeit noch nicht im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht wurde.

Hans-Jürgen Figur

(Matr.Nr.:17857)

Ort:

Datum: