

Bestimmung von Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren von Biomasse- Kleinfeuerungen am Prüfstand

M. Heckmann, G. Friedl, M. Schwarz, P. Rossmann,
H. Hartmann, H. Baumgartner, L. Lasselsberger, A. Themessl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

28a/2011

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Bestimmung von Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren von Biomasse- Kleinfeuerungen am Prüfstand

Günther Friedl, Markus Schwarz, Matthias Heckmann
BIOENERGY 2020+ GmbH Standort Wieselburg

Armin Themessl
AEE Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie Kärnten

Leo Lasselsberger, Harald Baumgartner
FJ-BLT Biomass-Logistics-Technology Francisco Josephinum

Hans Hartmann, Paul Rossmann
TFZ Technologie- und Förderzentrum

Wieselburg, September 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT. Sie wurde 2003 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT soll durch Forschung und Technologieentwicklung die Gesamteffizienz von zukünftigen Energiesystemen deutlich verbessert und eine Basis zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger geschaffen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und involvierten Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Mehrfache Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist, die Projektergebnisse – sei es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit leicht zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort von Manfred Wörgetter

Europas Energiepolitik hat ehrgeizige Ziele. Der Anteil erneuerbarer Energie soll von knapp 8% im Jahr 2007 auf 20% im Jahr 2020 angehoben werden. 14%, also mehr als 2/3 davon, soll die Bioenergie beitragen. Ziel der Bemühungen ist, die Effizienz zu steigern, die Energieversorgung zu sichern und die Treibhausgasemissionen zu mindern.

Österreich hat die Pflicht, den Erneuerbare-Energie-Anteil von 29% im Jahr 2008 auf 34% im Jahr 2020 zu steigern. Im Mix der Erneuerbaren soll die Bioenergie 51% beitragen. Die Erzeugung von Wärme aus Holz, Hackschnitzel und Pellets soll durch die öffentliche Hand durch Kesseltauschprogramme gefördert werden.

Neben den Nachhaltigkeitszielen sind für Feuerungsanlagen weitere Vorgaben zu berücksichtigen. Preise und Kosten müssen sozial verträglich sein, die Luft muss sauberer, neue, effiziente Technologien müssen auf den Markt gebracht werden. Bereits heute erwirtschaftet unsere Kesselindustrie jährlich mehr als eine Milliarde Euro, Vorsprung durch Technik ist die Zukunft unserer Wirtschaft.

Österreichs Bioenergieforschung ist gut aufgestellt und schafft beste Voraussetzungen für den Ausbau der weltweiten Technologieführerschaft. „Best available technologies“, der höchste technische Standard, sind gefordert. Ständige Verbesserungen und der Nachweis dafür sind unerlässlich. Dazu braucht es geeignete Maßzahlen. Vor diesem Hintergrund hat Bioenergy 2020+ mit Partnern aus Österreich und Deutschland und mit Mitteln aus dem Forschungsprogramm „Energiesysteme der Zukunft“ eine Methode entwickelt, die die Beurteilung der Effizienz und der Emissionen von Biomassefeuerungen kleiner Leistung am Prüfstand ermöglicht. Das Projekt soll der Auftakt für weitere Arbeiten mit der Industrie, den Behörden und Normungsgremien sein.

Manfred Wörgetter

Inhalt

1	Einleitung	9
1.1	Zielsetzung und Aufgabenstellung	9
1.2	Einordnung in das Programm Energie der Zukunft	10
1.3	Anwender	10
1.4	Grenzen der Methode	11
1.5	Arbeitspakete des Projekts	11
2	Begriffe und Definitionen	13
3	Stand des Wissens	15
3.1	Emissionsfaktoren	15
3.1.1	Emissionsfaktoren für Österreich	15
3.1.2	Emissionsfaktoren für Deutschland	17
3.2	Standardmethoden zur Nutzungsgradbestimmung	20
3.2.1	EN 303-5:1999-06	20
3.2.2	DIN 4702-8:1990	23
3.2.3	Entwurf EN 15316-4-7:2006-03	26
3.2.4	Concise Cycle Test	29
3.2.5	Energieausweis	32
3.2.6	Fahrzyklen für Rollenprüfstandstests	35
3.2.7	Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen	39
3.3	Einbettung der neuen Standardmethode in das Umfeld	40
3.3.1	Gegenstand der Betrachtung	40
3.3.2	Verwendungszweck	40
3.3.3	Methodenbeschreibung	41
3.3.4	Ergebnisse	41
3.3.5	Anwender	42
3.3.6	Gültigkeitsbereich	42
3.3.7	Grenzen der Methode	42
3.3.8	Schlussfolgerungen	43
3.4	Abgrenzung zu anderen Methoden	43
4	Methodenentwicklung	44
4.1	Betrachtetes System	44
4.1.1	Örtliche Systemgrenzen	44
4.1.2	Zeitliche Systemgrenzen	45
4.2	Entwicklung des Versuchszyklus für den modulierenden Betrieb	46
4.2.1	Analyse von Lastgängen von Kleinfeuerungen	46
4.2.2	Ermittlung von repräsentativen Lastkurven	47
4.2.3	Festlegung von 5 Typtagen und zugehörigen Tageslastprofile	48
4.2.4	Reduktion auf ein vereinfachtes Jahreslastprofil	50
4.2.5	Reduktion auf einen 8-stündigen Referenzlastzyklus	51

4.3	Entwicklung des Versuchsaufbaus	53
4.3.1	Material und Methoden	53
4.3.2	Standardisierte Mess- und Analyseverfahren	54
4.3.3	Messverfahren zur Bestimmung des Volumenstroms	54
4.3.4	Kontinuierliche Messung der Staubemissionen	61
4.4	Überprüfung der Versuchsmethode	66
4.4.1	Auswertung von Messdaten	66
4.4.2	Lastverlauf über 24 Stunden	67
4.4.3	Lastverlauf über 8 Stunden	72
4.4.4	Vergleich der 24 Stunden und der 8 Stunden Messungen	76
4.4.5	Vergleich von Tageslastzyklen und Jahreslastzyklus	78
4.5	Festlegung des Versuchsaufbaus für die Umsetzung der Methode	80
4.5.1	Anforderungen an den Versuchsstand	80
4.5.2	Anforderungen an Messgeräte und -methoden	85
4.6	Festlegung des Ablaufs zur Durchführung der Feuerungsversuche	88
4.6.1	Ausgangszustand	88
4.6.2	Versuchsbetrieb bei Volllast	88
4.6.3	Versuchsbetrieb mit dem Jahresreferenzlastzyklus	91
4.7	Auswertung der Messergebnisse	93
4.7.1	Bestimmung der Wärmeleistung und des Kesselwirkungsgrades	93
4.7.2	Bestimmung der Emissionswerte	94
4.7.3	Berechnungsschritte zur Auswertung der Messungen	94
4.7.4	Auswertung der Messungen mittels der Auswertesoftware	101
5	Überprüfung der neuen Methode in Prüfstandsmessungen	102
5.1	Messungen am Prüfstand von TFZ Straubing	102
5.1.1	Beschreibung der Pelletsfeuerung (Anlage A)	102
5.1.2	Durchführung der Versuche mit der Pelletsfeuerung (Anlage A)	104
5.1.3	Beschreibung der Hackschnitzelfeuerung (Anlage B)	105
5.1.4	Durchführung der Versuche mit der Hackgutfeuerung (Anlage B)	107
5.2	Messungen am Prüfstand bei FJ-BLT Wieselburg	111
5.2.1	Versuchsanordnung – Messmethoden	111
5.2.2	Abgasmessstrecke	114
5.2.3	Beschreibung der Pelletsfeuerung (Anlage C)	115
5.2.4	Durchführung der Versuche mit der Pelletsfeuerung (Anlage C)	116
5.2.5	Beschreibung der Stückholzfeuerung (Anlage D)	125
5.2.6	Durchführung der Versuche mit der Stückholzfeuerung (Anlage D)	126
5.3	Messungen am Versuchsstand von BE2020+	132
5.3.1	Messmethoden und Messgeräte	132
5.3.2	Beschreibung des Pelletskessels (Anlage E)	135
5.3.3	Durchführung der Versuche mit der Pelletsfeuerung (Anlage E)	136
5.4	Zusammenfassung und Vergleich der Messergebnisse	143
6	Zusammenfassung	152

7	Ausblick und Empfehlungen	154
8	Verzeichnisse	155
8.1	Tabellenverzeichnis	155
8.2	Abbildungsverzeichnis	157
9	Referenzen	161

1 Einleitung

Der Schutz der Umwelt im Allgemeinen und die Beobachtung der Umweltbelastungen im Speziellen sind wichtige Aufgaben des Staates. Der Einfluss von Energiebereitstellung und -verbrauch auf den Zustand der Umwelt ist für den Gesetzgeber, die zuständigen Behörden, aber auch die breite Öffentlichkeit von Bedeutung. Für die Ermittlung der Umweltbelastung und der Verluste bei der Bereitstellung von Energiedienstleistungen sind leistungsfähige, kostengünstige und exakte Methoden erforderlich. Voraussetzung dafür sind Kenntnisse der Emissionsfaktoren und der Jahresnutzungsgrade.

Die derzeit verfügbaren Daten sind älter als 10 Jahre und berücksichtigen die dynamische Entwicklung bei den Biomassefeuerungen kleiner Leistung nicht. Dies führt in der öffentlichen und politischen Diskussion zu Fehleinschätzungen und behindert den vermehrten Einsatz moderner Holzfeuerungen.

Im Rahmen des Projekts arbeitete von März 2008 bis Juni 2010 ein Konsortium, bestehend aus Bioenergy 2020+ GmbH, FJ-BLT Biomass-Logistics-Technology, TFZ Technologie- und Förderzentrum Straubing und AEE Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie Kärnten, an der Entwicklung einer Versuchsstandmethode zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und Jahresnormemissionsfaktoren von Biomassekleinfeuerungen am Prüfstand.

1.1 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer einfachen Methode zur Bestimmung von Jahresnutzungsgrad und praxisrelevanten Emissionskennzahlen (=Jahresnormemissionsfaktoren) von Biomasse-Kleinfeuerungen durch Messungen auf dem Prüfstand im Rahmen von Typenprüfungen. Aus den Jahresnormemissionsfaktoren sollen Emissionsfaktoren, wie sie z.B. im Rahmen internationaler Berichtspflichten benötigt werden, für Gruppen typischer Technologien ableitbar sein.

Die Veröffentlichung der Methode ist der erste Schritt zur Ausarbeitung einer nationalen oder europäischen Norm für die Ermittlung von Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren von Biomasse-Kleinfeuerungen.

Die Arbeiten konzentrieren sich auf die Schaffung einer Standardmethode zur Bestimmung des Jahresnormnutzungsgrades von Biomassekleinfeuerungen, die Vergleichbarkeit unter den Produkten der unterschiedlichen Hersteller schafft. Messbare Kenngrößen, die einen direkten Rückschluss auf den Brennstoffverbrauch und somit die Brennstoffkosten ermöglichen, führen zu einem verstärkten Wettbewerb der Technologieanbieter.

Die praktikable Methode soll ohne allzu großen zusätzlichen Aufwand zur Kesselprüfung am Versuchsstand die Ermittlung von Jahresnutzungsgraden und Emissionsfaktoren auch bei

instationären Betriebsbedingungen, die den tatsächlichen praktischen Betrieb abbilden, erlauben.

Für die Realisierung einer solchen Methode steht im ersten Projektteil die Ermittlung eines geeigneten Lastzyklus im Vordergrund, der einen realitätsnahen Versuchsstand-Betrieb ermöglicht.

Für die Umsetzung der Methode ist die Auswahl geeigneter Messmethoden wesentlich, um die notwendigen Messungen mit vertretbarem Aufwand realisieren zu können und eine ausreichende Genauigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Eine korrekte und sinnvolle Auswertung sowie ein einfach anzuwendendes Auswertetool sind erforderlich, um wiederum mit geringem Aufwand die Ergebnisse geeignet ermitteln und darstellen zu können.

Schließlich soll ein Leitfaden als Dokumentation und Anleitung zur Methode dienen und als zentrales Vermittlungswerkzeug zur Verbreitung und einfachen Anwendung der Methode zur Verfügung gestellt werden.

1.2 Einordnung in das Programm Energie der Zukunft

Die Entwicklung einer Methode zur Ermittlung des Jahresnormnutzungsgrades von Biomassekleinfeuerungen, adressiert vor allem die Themenfelder „Energie in Gebäuden“ und „Energie und Endverbraucher“, in geringerem Umfang auch das Themenfeld „Energie in Industrie und Gewerbe“ (sofern Wärmebereitstellungslösungen mit Kleinfeuerungen für die jeweiligen Sektoren relevant sind) des Programms Energie der Zukunft¹. Damit verbunden ist die Möglichkeit, bereits frühzeitig in Entwicklung und Systemgestaltung möglichst effiziente Wärmeversorgungssysteme zu schaffen,

1.3 Anwender

Der Entwicklungsprozess bei **Herstellern** von Heizkesseln wird maßgeblich beschleunigt, da wichtige Kenngrößen wie der Nutzungsgrad rascher bestimmt werden können. Durch die Kenntnis von zu erwartenden Lastzyklen kann die Standardmethode als Werkzeug zur Optimierung der Leistungsregelung von Biomassekleinfeuerungen eingesetzt werden. Standardisierte Methoden zur Ermittlung des Jahresnormnutzungsgrades liefern vergleichbare Ergebnisse, die als Marketingargument eingesetzt werden können (in Analogie zum Kraftstoffverbrauch bei Fahrzeugen). Durch Veröffentlichung von Jahresnormnutzungsgraden einzelner Hersteller wird der Wettbewerb der Branche angespornt.

¹ Programmwebseite Energie der Zukunft: <http://www.ffg.at/content.php?cid=670>

Für **Heizungsanlagenbetreiber** soll die Möglichkeit geschaffen werden, Kessel untereinander zu vergleichen. Sie erhalten praxisrelevante Kennzahlen für den Brennstoffverbrauch, der direkt aus dem Jahresnormnutzungsgrad abgeleitet werden kann. Dadurch ist es möglich, die laufenden Kosten und die Umweltfreundlichkeit (Emissionen) der Heizungsanlagen abzuschätzen. Das aktuelle Auswahlkriterium Wirkungsgrad wird durch den aussagekräftigeren Jahresnormnutzungsgrad ersetzt, der zudem zur besseren Abschätzung des zu erwartenden Brennstoffverbrauchs dienen kann.

Für die **Normierung und Prüfung** stellt die Methode eine wissenschaftliche Basis zur kontinuierlichen kostengünstigen Ermittlung von Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren dar. Zudem können Ergebnisse der Methode für die Ergänzung und Absicherung von Kennzahlen und Parametern von Normen und Richtlinien dienen, wie das etwa in Lot 15² erforderlich ist.

Gesetzgebern und Behörden steht mit der Methode ein Werkzeug für die schnelle Ermittlung gesicherter Daten (Emissionsfaktoren) für die Berichterstattung (siehe Kapitel 3.1) zur Verfügung. Für die Aktualisierung der Emissionsfaktoren kann die Anzahl der benötigten kostspieligen Feldtestmessungen reduziert werden und es wird eine laufende Aktualisierung der Faktoren ermöglicht.

1.4 Grenzen der Methode

Um vergleichbare Kenngrößen ermitteln zu können ist die Festlegung auf einen Referenzstandort notwendig. Sollen die Faktoren für einen anderen Standort ermittelt werden, ist eine Umrechnung erforderlich. Die Methode beschreibt die Bestimmung des Referenzlastzyklus für Standorte mit anderen Klimazonen-Daten.

Mit der neuen Methode erfolgt keine Prüfung des Gesamtsystems. Eine richtige Auslegung der Komponenten des Heizungssystems ist daher wichtig, um eine gute Übereinstimmung der realen Verhältnisse mit den Ergebnissen der Prüfung zu erzielen.

Feinstaub (PM10)-Messungen werden aufgrund des zusätzlichen Aufwands im Rahmen der Methode nicht umgesetzt. Partikelförmige Emissionen werden durch eine Gesamtstaubmessung bestimmt, die für die betrachteten Anlagen sehr gut mit PM10 korreliert (siehe auch Kapitel 4.4.1).

1.5 Arbeitspakete des Projekts

Die Bearbeitung des Projekts erfolgte in sechs Arbeitspaketen, die sich an den oben beschriebenen Forschungsfragen orientieren:

² Webseite: <http://www.ecosolidfuel.org/>

AP1 Umfeldanalyse Nutzungsgradbestimmung

- Detaillierte Betrachtung und Analyse der Erfolgsfaktoren von bereits existierenden standardisierten Verfahren zur Nutzungsgradbestimmung
- Konkrete Positionierung der Standardmethode (Einbettung in das Umfeld) sowie Festlegung der Systemgrenzen

AP2 Ermittlung typischer Lastfolgen im Jahreszyklus

- Ermittlung typischer Lastzyklen für die unterschiedlichen Einsatzgebiete und Nennleistungen der betrachteten Biomassefeuerungen

AP3 Entwicklung der Versuchsmethode

- Ausarbeitung eines Standardversuchsablaufs zur Ermittlung der relevanten Daten für die Bestimmung des Nutzungsgrads
- Aufbereitung der Anforderungen an die benötigten Messmethoden (AP4) und die Aufbereitung der technischen Anforderungen an den Versuchsstand
- Durchführung erster Praxistests

AP4 Auswertung des Standardversuchs

- Ausarbeitung und Aufbereitung der Auswertemethoden für den Standardversuch.
- Detaillierte Beschreibung der Auswertung und Erstellung eines Softwarepakets

AP5 Erstellung eines Leitfadens (best practise guideline)

- Erstellung eines Leitfadens zur Durchführung des Standardversuchs und zur Auswertung des Jahresnutzungsgrades und der Emissionsfaktor im Sinne einer „best practise guideline“

AP6 Prüfstandstests

- Durchführung der Methode unter Praxisbedingungen
- Überprüfung von Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Der Zusammenhang der Arbeitspakete ist in Abbildung 1-1 grafisch dargestellt.

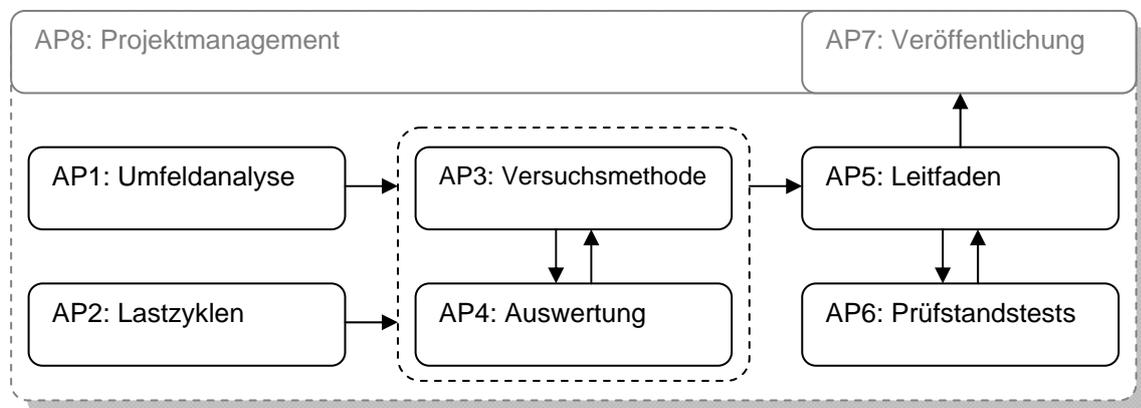


Abbildung 1-1: Projektstruktur

2 Begriffe und Definitionen

Abgasnormvolumenstrom

Abgeführtes Volumen der gasförmigen Verbindungen, die den Abgasstutzen einer Feuerstätte je Zeiteinheit verlassen, bei Normbedingungen (Druck $p_N = 1.013 \text{ mbar}$ und Temperatur $T_N = 0^\circ\text{C}$)

Emissionsfaktor gasförmige Emissionen

Als Emissionsfaktoren gasförmiger Emissionen werden die mittleren Emissionen (über ein gesamtes Jahr) für Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffoxide und gasförmige organische Kohlenstoffverbindungen bezeichnet und bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie in $[\text{kg/TJ}]$ angegeben³

Emissionsfaktor Gesamtstaub-Emission

Als Emissionsfaktor Gesamtstaub wird die mittlere Emission (über ein gesamtes Jahr) für Gesamtstaub bezeichnet und bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie in $[\text{kg/TJ}]$ angegeben

Förderdruck

Differenz zwischen dem statischen Druck der Luft im Aufstellungsraum und dem statischen Druck des Abgases im Messpunkt

Jahresnormemissionsfaktoren

Der Jahresnormemissionsfaktor ist der mit Hilfe der hier beschriebenen Methode basierend auf dem Jahresreferenzlastprofil ermittelte mittlere Emissionsfaktor der untersuchten Anlage

Jahresnormnutzungsgrad

Der Jahresnormnutzungsgrad ist der mit Hilfe der hier beschriebenen Methode basierend auf dem Jahresreferenzlastprofil ermittelte Jahresnutzungsgrad

Jahresnutzungsgrad

Der Jahresnutzungsgrad ist der Nutzungsgrad der Feuerungsanlage (Heizkessel) bei Betrachtung eines gesamten Jahres (Heizperiode und die Zeiten reiner Warmwasserbereitstellung), wobei grundsätzlich für Nutzungs- bzw. Wirkungsgrade gilt:

$$\eta = \frac{\text{nutzbareEnergie}}{\text{zugeführteEnergie}}$$

³ Die Messung von Schwefeldioxid kann bei Holzbrennstoffen entfallen. Die SO_2 -Emissionen sind durch den Schwefelgehalt des Brennstoffs bestimmt, der im Zuge der CHNS-Analyse bestimmt wird.

Jahresreferenzlastzyklus

Als Jahresreferenzlastzyklus wird das zur Bestimmung des Jahresnormnutzungsgrades von modulierenden Kesseln festgelegte Heizlastprofil bezeichnet

Lastgang

Der Lastgang stellt den Verlauf der tatsächlich gemessenen Wärmeabnahme (Heizwärme, Warmwasser) oder Leistung über eine zeitliche Periode dar (Tag, Jahr,...)

Lastprofil

Ein Lastprofil stellt den typischen, normierten Verlauf einer Wärmeabnahme (Heizwärme, Warmwasser) oder Leistung bezogen auf einen bestimmten Zeitraum dar

Lastzyklus

Unter Lastzyklus versteht man das Durchlaufen einer Beanspruchung nach vorgegebenen Betriebspunkten und Zeit

Nutzbare Energie

Die nutzbare Energie ist der Gesamtwärmeertrag durch den Heizkessel, also die gesamte an den Wasserkreis abgeführte Energie

Pufferbetrieb

Betrieb des Heizkessels zum Laden eines Pufferspeichers, also mit Volllast so lange, bis die maximal speicherbare Wärme erzeugt ist

Zugeführte Energie

Die zugeführte Energie ist die Summe aus der mit dem Brennstoff zugeführten Energie (bezogen auf den Heizwert bei gegebenem Wassergehalt) und der zugeführten elektrischen Hilfsenergie

3 Stand des Wissens

Prüfungen an Biomasse-Kleinfeuerungen haben in den letzten Jahrzehnten eindrucksvoll den Stand der Entwicklung gezeigt. Dabei erfolgen die Messungen, entsprechend den genormten Vorschriften, unter stationären Bedingungen. Die Ergebnisse spiegeln wieder, was unter optimalen Bedingungen erreicht werden kann. Das für den praktischen Betrieb typische Verhalten kann jedoch davon abweichen.

Für die Ermittlung der Umweltbelastung und der Verluste sind leistungsfähige, kostengünstige und exakte Methoden erforderlich. Voraussetzung dafür sind Kenntnisse der Emissionsfaktoren und der Jahresnutzungsgrade. Die derzeit verfügbaren Daten sind älter als 10 Jahre und berücksichtigen die dynamische Entwicklung bei den Biomassefeuerungen kleiner Leistung nicht. Dies führt in der öffentlichen und politischen Diskussion zu Fehleinschätzungen und behindert den vermehrten Einsatz moderner Holzfeuerungen.

Die Umfeldanalyse ist ein grundlegender Baustein für die Erarbeitung der Methode für Biomassekessel. Daraus abgeleitet wird die konkrete Positionierung der Standardmethode (Kap. 3.3: Einbettung der neuen Standardmethode in das Umfeld), sowie die Festlegung der Systemgrenzen.

3.1 Emissionsfaktoren

Eine wichtige Anwendung der Bestimmung von Emissionsfaktoren von Biomasse-Kleinfeuerung auf dem Prüfstand kann aus der Möglichkeit entstehen, notwendige Daten für nationale und internationale Berichte ständig aktualisieren zu können. In diesem Abschnitt werden die aktuell verwendeten Emissionsfaktoren für Österreich und Deutschland kurz dargestellt.

3.1.1 Emissionsfaktoren für Österreich

3.1.1.1 Letzte Erhebung von Emissionsfaktoren für Biomassefeuerungen

Zuletzt wurden die Emissionsfaktoren für Biomassefeuerungen Mitte der 1990er im Zuge einer Feldmesskampagne bestimmt ("Emissionsfaktoren für feste Brennstoffe" [Spitzer 1998]). Dazu wurden die ausgewählten Feuerungsanlagen in Einzelofen-Holz (29 Anlagen) und Zentralheizung-Holz (79 Anlagen) unterteilt. In der Auswahl befinden sich vorwiegend Naturzugkessel, einige Hackgut- und keine Pelletskessel. Die Feldmessungen selbst wurden von Juni 1997 bis Juni 1998 durchgeführt. Gemessene Werte gibt es darin für CO, NO_x, organischen Kohlenstoff (org-C) und Staub (Tabelle 3-1).

Neue Erhebungen sollen erfolgen, Termine dazu gibt es noch nicht, zurzeit wird von UBA und Joanneum Research noch an der Finanzierung der Messungen gearbeitet. Zusätzlich soll dabei

auch der Einfluss des Nutzererhaltens auf die Emissionen bei manuell beschickten (Stückholz-) Kesseln untersucht werden.⁴

3.1.1.2 Aktuell verwendete Emissionsfaktoren

Der gültige Bericht für Emissionsfaktoren ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts die Publikation „Emissionsfaktoren als Grundlage für den Österreichischen Luftschadstoffinventur 2003“ [UBA 2004], basierend auf den Messungen in [Spitzer 1998]. Die Daten sind daher relativ alt, es sind kaum automatisch beschickte Feuerungen berücksichtigt.

	Einzelofen	Zentralheizung
CO	4.463 ± 35%	4.303 ± 18%
NO _x	106 ± 34%	107 ± 26%
org-C (Organischer Kohlenstoff)	664 ± 62%	448 ± 25%
TSP (Gesamtstaub, Schwebestaub)	148 ± 46%	90 ± 26%

Tabelle 3-1: Emissionsdaten für Holz in [kg/TJ]

Quelle: [Spitzer 1998]

Probleme

Eine Herausforderung ist, dass Endenergieeinsätze und Emissionsfaktoren repräsentativ für den vorhandenen Mix aus alten und neuen Anlagen dargestellt werden müssen. Bei Fahrzeugen sind die Emissionsdaten das Produkt aus Emissionsfaktoren und dem Endenergieeinsatz. Dabei ist anhand von Zulassungszahlen die Art und Anzahl der einzelnen Fahrzeugtypen bekannt (anders bei Feuerungen). Zudem gibt es Prognosen über die Entwicklung des Fuhrparks.

Für die Bestimmung von Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren von Biomasse-Kleinfeuerungen am Prüfstand liegt der Fokus bei der Analyse einzelner Kessel und deren Performance, für Statistiken ist hingegen der Jahresnutzungsgrad in Hinblick auf den jährlichen Durchschnitt aller Feuerungen ausschlaggebend.

3.1.1.3 Einsatz der Emissionsfaktoren für Österreich

Vom UBA (<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/>) werden gemeinsam mit WIFO, TU-Wien und TU-Graz sowie der Austrian Energy Agency Berichte zur Erfüllung nationaler und internationaler Berichtspflichten Österreichs erstellt.⁴ Dafür werden die Emissionsfaktoren (3.1.1.2) teils in Kombination mit Daten zum Endenergieeinsatz (erstellt durch die Statistik Austria) verwendet.

National sind folgende Berichte zu erstellen:

- Nationale Schadstoffinventur (OLI)

⁴ Storch, Alexander; UBA: mündliche Informationen, 17. Juli 2008

Padinger, Reinhard; Joanneum Research: mündliche Informationen, 22. Juli 2008

- Emissionsprognose (EMIPRO 2020)
- Quantifizierung von Maßnahmen
- Bundesländer Luftschadstoff-Inventur (BLI)

International sind folgende Berichte zu erstellen:

- *Nationale Schadstoffinventur* OLI und *Emissionsprognose* EMIPRO sind im Rahmen internationaler Berichtspflichten an die Europäische Kommission bzw. die Vereinten Nationen (*United Nations Framework Convention on Climate Change* UNFCCC) im Rahmen der Klimaschutzvereinbarung (ein Teil davon ist das von Österreich mitratifizierte Kyoto-Protokoll) zu berichten
- *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution* LRTAP (<http://unece.org/env/lrtap/>): Hier gibt es eine jährliche Berichtspflicht an die *United Nations Economic Commission for Europe* UNECE
- *European Monitoring and Evaluation Programme* EMEP (<http://www.emep.int/>), Berichtspflicht (Schadstoffausbreitungsregister)

Berichte zur Österreichischen Luftschadstoff-Inventur (OLI)

Folgende Berichte über Luftemissionen sind aktuell vom Umweltbundesamt publiziert⁵:

Trendanalyse und -beschreibung:

- Klimaschutzbericht 2009
- Emissionstrends 1990-2007
- Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2007

Berichte zur Treibhausgas-Inventur:

- Austria's National Inventory Report 2010 (UNFCCC-Berichtspflicht)
- Austria's Annual Greenhouse Gas Inventory 1990-2008 (EU Monitoring)
- National Inventory System Austria. Implementation Report

Berichte zu den klassischen Luftschadstoffen:

- Austria's Informative Inventory Report 2009 (UNECE-Berichtspflicht)
- Austria's Annual Air Emission Inventory 1990-2008 (NEC-RL)
- Emissionen österreichischer Großfeuerungsanlagen 1990-2004 (LRG-K)

3.1.2 Emissionsfaktoren für Deutschland

3.1.2.1 Letzte Erhebung von Emissionsfaktoren für Biomassefeuerungen

Die Emissionsfaktoren für Biomassefeuerungen wurden zuletzt 2008 veröffentlicht (mit Bezugsjahr 2005; „*Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung*“, UBA-

⁵ <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/emiberichte/>

Texte 44/08 [Struschka 2008]). Die Erhebungen wurden am IVD⁶ in Stuttgart im Auftrag des UBA⁷ durchgeführt. Dabei wurden Emissionsfaktoren für folgende Abgasbestandteile betrachtet: CO₂, CO, NO_x, SO₂, VOC, NMVOC, CH₄, Partikel, N₂O, PCDD/PCDF, Benzol, HCL, PAH und Metalle (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn). Eine Auswahl der Daten zeigt Tabelle 3-2.

3.1.2.2 Aktuell verwendete Emissionsfaktoren

Zurzeit werden die Emissionsfaktoren aus den Erhebungen des IVD im Bericht „Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung“, UBA-Texte 44/08 [Struschka 2008], verwendet.

	Kaminöfen	Pelletöfen	Heizkessel handbeschickt		Heizkessel für Pellets	
	< 15 kW	< 15 kW	4-25 kW	> 25-50 kW	4-25 kW	> 25-50 kW
CO	2.319	648	4.568	1.433	216	138
NO _x als NO ₂	65	185	124	81	81	84
SO ₂	9	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
VOC als C	281	7,7	19	49	3,8	3,6
Partikel	106	57	90	52	23	13

Tabelle 3-2: Auswahl einiger Emissionsdaten für Brennholz in [kg/TJ]

Quelle: [Struschka 2008]

3.1.2.3 Einsatz der Emissionsfaktoren für Deutschland

Die Emissionsfaktoren werden vor allem in Berichten des UBA zu Luftreinhaltung und Gewässerschutz verwendet (z.B. bei der Zuordnung der Feinstaubemissionen zu einzelnen Quellgruppen). Zudem finden sie Anwendung in der GEMIS-Datenbank (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme)⁸.

Die GEMIS-Datenbasis enthält Informationen zu den spezifischen Emissionen bzw. den Emissionsfaktoren folgender Prozesse:

- Bereitstellung von Energieträgern: fossile Energieträger (Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas), regenerative Energien und Uran sowie Nachwachsende Rohstoffe (schnell wachsende Hölzer, Chinagrass, Raps, Zuckerhirse) sowie Wasserstoff (jeweils mit Brennstoffdaten + vorgelagerten Prozessen)
- Bereitstellung von Wärme und Strom (Heizungen, Warmwasser, Kraftwerke vieler Größen und Brennstoffe, Heizkraftwerke, BHKW...)

⁶ IVD: Universität Stuttgart, Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Abteilung Reinhaltung der Luft.

⁷ UBA: Umweltbundesamt, Berlin

⁸ <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>

- Bereitstellung von Stoffen: vor allem Grundstoffe, Baumaterialien inklusive ihnen vorgelagerte Prozesse (bei Importen auch im Ausland)
- Transportprozesse: Personenkraftwagen (für Benzin, Diesel, Strom, Biokraftstoffe), Öffentliche Verkehrsmittel (Bus, Bahn) und Flugzeuge sowie Gütertransport (Lastkraftwagen, Bahn, Schiffe und Pipelines)

GEMIS berechnet für alle Prozesse und Szenarien sog. Lebenszyklen, d.h. es berücksichtigt von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie bzw. Stoffbereitstellung alle wesentlichen Schritte und bezieht auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen mit ein. Die Datenbasis enthält für alle diese Prozesse:

- Kenndaten zu Nutzungsgrad, Leistung, Auslastung, Lebensdauer
- direkte Luftschadstoffemissionen (SO₂, NO_x, Halogene, Staub, CO, NMVOC, H₂S, NH₃)
- Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄, N₂O sowie SF₆ und FKW)
- feste Reststoffe (Asche, Entschwefelungsprodukte, Klärschlamm, Produktionsabfall, Abraum)
- flüssige Reststoffe (AOX, BSB₅, CSB, N, P, anorganische Salze)
- Flächenbedarf

Weiterhin können dem PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) Informationen zu Emissionen bestimmter Quellen entnommen werden, die auf Emissionsfaktoren beruhen.

Dieses Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister informiert zukünftig online z.B. über Schadstoffe, die von großen Industriebetrieben in Ihrer Region freigesetzt werden.

Auf Grundlage der Europäischen PRTR-Verordnung (E-PRTR-VO VO 166/2006 EU) berichten Industriebetriebe der 27 europäischen Mitgliedstaaten:

- die Freisetzung von Schadstoffen in Luft, Wasser und Boden,
- die Verbringung von Abfallmengen und
- die Verbringung von Schadstoffen im Abwasser, das in externe Kläranlagen eingeleitet wird.

Das europäische Register enthält außerdem Informationen zu Emissionen aus diffusen Quellen bspw. aus Verkehr und Landwirtschaft.

Daneben wird Deutschland auf Basis des PRTR-Protokolls der UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) und des deutschen "PRTR-Gesetzes" (SchadRegProtAG) mit den für das E-PRTR berichteten Daten ein nationales Register (PRTR) aufbauen, in das ebenfalls Emissionen aus diffusen Quellen aufgenommen werden.

3.2 Standardmethoden zur Nutzungsgradbestimmung

Methodenauswahl

Es gibt für die Bestimmung des Nutzungsgrades im Raumwärmebereich bereits standardisierte Methoden. Aber auch nicht normierte Methoden (z.B. Concise Cycle Test aus dem Solarbereich) und bereits ausgereifte Methoden aus anderen Gebieten (z.B. Fahrzyklusmessung auf dem Rollenprüfstand) werden berücksichtigt.

Recherche

Für die Durchführung der Recherche wurden relevante Normen erhoben, außerdem wurden ähnliche Methoden gesucht und durch eine Expertenrunde überprüft, um eine möglichst vollständige Erfassung sicherzustellen.

Evaluierung

Zur Evaluierung wurden die folgenden Methoden ausgewählt:

- EN 303-5: Heizkessel für feste Brennstoffe, hand- und automatisch beschickte Feuerungen, Nenn-Wärmeleistung bis 300 kW - Begriffe, Anforderungen, Prüfungen und Kennzeichnung
- DIN 4702-8: Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors
- Entwurf EN 15316-4-7: Heizanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen
- Concise Cycle Test
- Energieausweis
- Rollenprüfstandstest
- Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen

Die gesammelten Methoden werden evaluiert. Betrachtet wird der Einfluss der Methode auf den Technologiefortschritt im jeweiligen Sektor um so die Erfolgsfaktoren identifizieren zu können. Im Detail betrachtet werden die Messmethoden, der Mess- und Auswerteaufwand sowie die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Darüber hinaus werden die Rahmenbedingungen, wie Veröffentlichung der Ergebnisse, Akzeptanz von Kennzahlen usw. beurteilt.

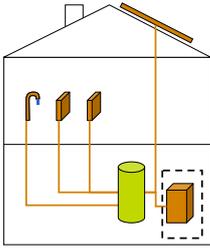
3.2.1 EN 303-5:1999-06

EN 303-5: Heizkessel für feste Brennstoffe, hand- und automatisch beschickte Feuerungen, Nenn-Wärmeleistung bis 300 kW / Begriffe, Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

Diese Norm wird derzeit überarbeitet, eine Aktualisierung ist 2011 zu erwarten.⁹

⁹ Mündliche Information von Leo Lasselsberger (FJ-BLT, Mitglied im betroffenen Normenausschuss)

3.2.1.1 Gegenstand der Betrachtung



Die Norm reglementiert die Prüfung des **Heizkessels**, die Systemgrenze wird daher unmittelbar nach dem Heizkessel gezogen.

Das **Wärmeversorgungssystem** wird am Prüfstand durch eine Wärmeabnahme ersetzt, das **Gebäude** fließt in die Untersuchung nicht ein.

Geprüft werden Heizkessel für feste Brennstoffe bis 300 kW Nenn-Wärmeleistung. Zum Einsatz können folgende feste Brennstoffe kommen: Stückholz, Hackgut, Presslinge, Sägespäne sowie fossile Brennstoffe. Die Norm gilt für Kessel mit Beschickung von Hand oder automatisch.

Der Zustand und die Ausstattung des Kessels müssen der handelsüblichen Lieferungsform entsprechen.

3.2.1.2 Verwendungszweck

Diese seit 1999 bestehende Norm legt die Anforderungen für eine europaweit vereinheitlichte **Kesselprüfung** fest.

Sie hat den Zweck, die notwendigen Begriffe, die regelungs- und sicherheitstechnischen Anforderungen, die Bauanforderungen, die heiztechnischen Anforderungen (unter Berücksichtigung der Umweltaanforderungen) und deren Prüfungen sowie die Kennzeichnung für Heizkessel für feste Brennstoffe festzulegen.

3.2.1.3 Methodenbeschreibung

Die Kesselprüfung erfolgt hier bei stationären Betriebsbedingungen, der Kessel muss also vor Messbeginn auf Betriebstemperatur gebracht werden. Es sind 2 Durchläufe vorgeschrieben, wobei einer bei Nenn- und einer bei kleinster Leistung (30% bei Hackgut und Holzpellets, 50% bei Scheitholz) zu erfolgen hat.

Die Prüfung muss auf einem der EN 304 entsprechenden Kesselprüfstand durchgeführt werden.

Der zeitliche Aufwand für die Messung beträgt etwa eine Arbeitswoche, da der Kessel zweimal auf Betriebstemperatur gebracht, geprüft und wieder abgekühlt werden muss. Die Messdauer selbst beträgt in jedem Leistungsbereich jeweils 6 Stunden.

Bei Kesseln mit Handbeschickung sind bei Nennleistung 2 Nenn-Abbrandperioden und bei kleinster Leistung 1 Brenndauer vorgeschrieben.

Die Auswertung erfolgt standardisiert durch Mittelwertbildung über den gesamten Auswertzeitraum.

3.2.1.4 Ergebnisse

Ergebnis der Prüfung sind **Wirkungsgrad und Emissionen** der geprüften Feuerungen für die 2 untersuchten Betriebszustände (Nennleistung und kleinste Leistung, siehe auch 3.2.1.3).

Parameter	Einheit	Grenzwert
Nenn-Wärmeleistung	kW	
Kleinste Wärmeleistung	kW	Ja
Kesselwirkungsgrad	%	Ja
Emissionen		
CO	mg/m ³	Ja
NO _x	mg/m ³	Ja
Org-C	mg/m ³	Ja
Staub	mg/m ³	Ja

Tabelle 3-3: Ergebnisse der EN 303-5

3.2.1.5 Anwender

In erster Linie sind von dieser Norm die **Hersteller** von Heizkesseln betroffen, die ihre Produkte nach dieser Norm standardisiert prüfen müssen.

Für den **Endkunden** bietet die Norm die Möglichkeit, die geprüften Kessel untereinander zu vergleichen.

Durchgeführt wird die Prüfung von anerkannten **Prüfstellen**, entweder an einer Prüfstation oder auch durch anerkannte Prüfer beim Hersteller auf einem der EN 304 entsprechenden Prüfstand.

3.2.1.6 Gültigkeitsbereich

Diese Norm ist eine Europäische Norm und legt einen europaweiten Standard für die Prüfung von Kesseln fest.

Status	Region	Gegenstand	Brennstoffe	Leistungsbereich
Norm	Europa	Heizkessel	Feste Brennstoffe	Bis 300 kW

Tabelle 3-4: Gültigkeitsbereich der EN 303-5

3.2.1.7 Grenzen der Methode

Die Prüfung erfolgt bei stationärem Betrieb, die Fähigkeit der Regelung, die Leistung an die realen Lastzyklen anzupassen, wird also nicht berücksichtigt. Da nur 2 ausgewählte Betriebszustände (Nennleistung und kleinste Wärmeleistung) betrachtet werden ist kein Rückschluss auf reale Nutzungsgrade und Emissionsfaktoren möglich. Die Ergebnisse gelten also nur für den bestmöglichen Betrieb. Auch Start- und Abstellphasen sind nicht berücksichtigt.

3.2.1.8 Schlussfolgerungen

Durch diese Norm wurde erstmals ein europaweit vergleichbarer einheitlicher Standard für die Prüfung von Kesseln festgelegt.

Die Reproduzierbarkeit ist bei der Messung nach praktischen Erfahrungen sehr gut, beispielsweise wurden bei Wiederholungen von Kesselprüfungen bei der Leistungsmessung Übereinstimmungen in der Größenordnung von 0,1 kW erzielt¹⁰.

Nur für Kessel mit Handbeschickung ist ein Grenzwert für die Wiederholbarkeit angegeben: Beide Abbrandperioden müssen bei Nenn-Wärmeleistung ähnliche Messergebnisse aufweisen, die Wärmeleistung darf um $\pm 20\%$ abweichen.

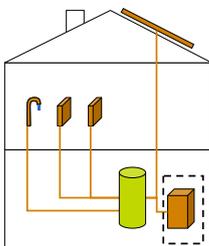
Die **Erfolgsfaktoren** dieser Norm sind zum einen die Vergleichbarkeit von Heizkesseln durch die genormte Überprüfung, zum anderen die europaweite Anwendung und damit die europaweite Vergleichbarkeit.

3.2.2 DIN 4702-8:1990

DIN 4702-8: Heizkessel; Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors

Die Norm (aus dem Normenausschuss Gastechnik) gilt für die Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors von Heizkesseln für die Brauchwassererwärmung mit Heizbetrieb, den Heizbetrieb und für die Brauchwassererwärmung ohne Heizbetrieb.

3.2.2.1 Gegenstand der Betrachtung



Mit Hilfe dieser Norm sollen für den **Heizkessel** in Kombination mit Brenner und Kesselregelung Daten über das Betriebsverhalten ermittelt werden.

¹⁰ Mündliche Information von Leo Lasselsberger (FJ-BLT), 2. Juli 08

Wärmeversorgungssystem und Gebäude werden bei der Prüfung nicht berücksichtigt

Die Prüfung kann für Heizkessel bis 2 MW angewendet werden. Zum Einsatz kommen feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe.

Der Kessel muss bei der Prüfung mit allen für den Betrieb erforderlichen Regeleinrichtungen sowie mit dem festgelegten Brenner versehen sein.

3.2.2.2 Verwendungszweck

Für den Heizkessel in Kombination mit Brenner und Kesselregelung werden Daten über das Betriebsverhalten für einen definierten Lastverlauf hinsichtlich des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors bestimmt. Dabei wird zwischen Brauchwassererwärmung mit Heizbetrieb, Heizbetrieb und Brauchwassererwärmung ohne Heizbetrieb unterschieden.

Die Norm legt die Durchführung und Auswertung der Messungen auf Prüfständen fest.

3.2.2.3 Methodenbeschreibung

Zur Berücksichtigung des Belastungsbereiches während einer Heizperiode wurden fünf verschiedene Belastungsstufen festgelegt, die jeweils die gleiche Heizarbeit aufweisen. Dies bedeutet, dass die in der festgelegten Wärmebedarfs-Häufigkeitskurve dargestellten Rechteckflächen den gleichen Flächeninhalt haben müssen (siehe Abbildung 3-1). Die Auswertung wird dadurch erleichtert, da nur der Mittelwert gebildet werden muss.

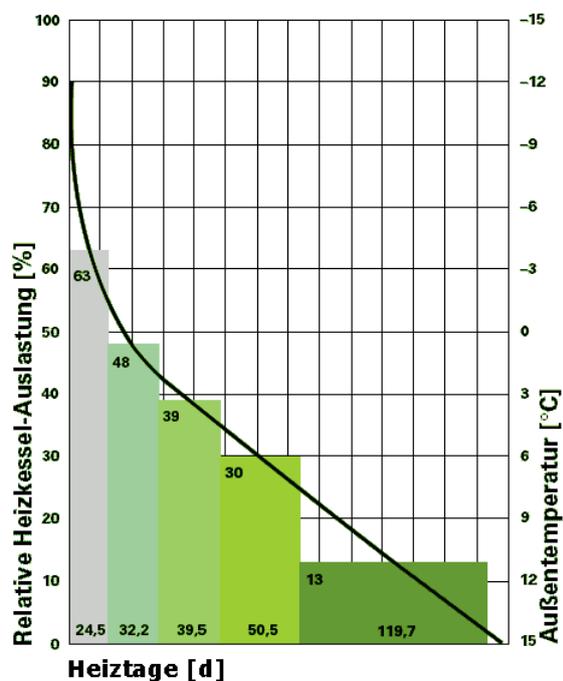


Abbildung 3-1: Belastungsstufen in DIN 4702-8

Grafikgrundlage aus <http://www.heizungsbetrieb.de/de/def-stat.html#ausl>

Für die Wassererwärmung ohne Heizbetrieb¹¹ werden die Messungen nach einem vorgeschriebenen, in der Norm definierten, Zapf-Programm durchgeführt. Der ermittelte Wert gilt nur für die Kessel-Speicher-Kombination.

3.2.2.4 Ergebnisse

Aus den gemessenen Daten bei fünf verschiedenen Belastungsstufen (bzw. bei einem definierten Zapfprogramm) werden durch Bildung des harmonischen Mittels ein **Norm-Nutzungsgrad** sowie ein **Norm-Emissionsfaktor** errechnet.

Parameter	Einheit
Norm-Nutzungsgrad	%
Norm-Emissionsfaktor	mg/kWh

Tabelle 3-5: Ergebnisse der DIN 4702-8

3.2.2.5 Anwender

Planer von Wärmeerzeugungssystemen werden bei der richtigen Auslegung des Systems unterstützt.

Hersteller von Heizkesseln können ihre Produkte nach dieser Norm standardisiert prüfen.

Für den **Endkunden** bietet die Norm die Möglichkeit, die geprüften Kessel untereinander zu vergleichen.

Die Prüfung der Kessel zur Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und zur Ermittlung des Norm-Emissionsfaktors wird von anerkannten **Prüfstellen** durchgeführt. Geprüft wird auf Prüfständen, die der DIN 4702-2 (Heizkessel; Regeln für die heiztechnische Prüfung) entsprechen müssen.

3.2.2.6 Gültigkeitsbereich

Diese Norm gilt für Kessel nach DIN 4702-1 (Heizkessel; Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung), 4702-3 (zurückgezogen¹², Heizkessel; Gas-Spezialheizkessel mit Brenner ohne Gebläse) und 4702-6 (Heizkessel; Brennwertkessel für gasförmige Brennstoffe).

Status	Region	Gegenstand	Brennstoffe	Leistungsbereich
Norm	Deutschland	Heizkessel	Fossile Brennstoffe	Bis 2 MW

Tabelle 3-6: Gültigkeitsbereich der DIN 4702-8

¹¹ für Kessel bis 120 kW mit einem festgelegten kombinierten Wassererwärmer

¹² wurde ersetzt durch folgende Normen für „Heizkessel für gasförmige Brennstoffe“: DIN EN 297, DIN EN 625, DIN EN 656 und DIN EN 13836

3.2.2.7 Grenzen der Methode

Die Prüfung erfolgt zwar mit mehreren Abstufungen, aber ebenso wie die EN 303-5 (Kapitel 3.2.1) bei stationärem Betrieb. Die Ergebnisse gelten also ebenso nur für bestimmte Betriebszustände, vor allem Start- und Abstellphasen sind nicht berücksichtigt.

Die Berücksichtigung einer Überdimensionierung der Heizung ist nicht möglich.

3.2.2.8 Schlussfolgerungen

Es wird ein Standard für die Prüfung von Kesseln, die mit fossilen Brennstoffen beheizt werden, festgelegt. Der Erfolgsfaktor dieser Methode ist die Vergleichbarkeit von Heizkesseln durch eine genormte Überprüfung.

Der dargestellte Nutzungsgrad liegt unterhalb des Wirkungsgrades, weshalb sich die Ergebnisse dieser Methode schlecht als Verkaufsargumentation verwenden lassen. Da die Methode zudem relativ zeitaufwendig (6 Versuchsdurchläufe) und vom Gesetzgeber nicht vorgeschrieben ist, wird sie in der Praxis kaum angewandt.

3.2.3 Entwurf EN 15316-4-7:2006-03

Die gesamte Normenreihe *EN 15316 Heizungsanlagen in Gebäuden — Verfahren zur Berechnung des Energiebedarfs und Nutzungsgrade der Anlagen* besteht aus folgenden Teilen:

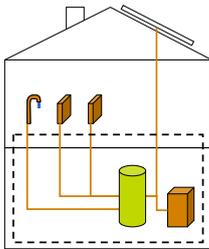
Teil 1	Allgemeines
Teil 2-1	Wärmeübergabesysteme für die Raumheizung
Teil 2-3	Wärmeverteilungssysteme für die Raumheizung
Teil 3-1	Trinkwassererwärmung, Charakterisierung des Bedarfs (Zapfprogramm)
Teil 3-2	Trinkwassererwärmung, Verteilung
Teil 3-3	Trinkwassererwärmung, Erzeugung
Teil 4-1	Wärmeerzeugung für die Raumheizung, Verbrennungssysteme
Teil 4-2	Space heating generation systems, heat pump systems
Teil 4-3	Wärmeerzeugungssysteme, thermische Solaranlagen
Teil 4-4	Wärmeerzeugungssysteme, gebäudeintegrierte KWK-Anlagen
Teil 4-5	Wärmeerzeugungssysteme, Leistungsfähigkeit und Effizienz von Fernwärme - und großvolumigen Systemen
Teil 4-6	Wärmeerzeugungssysteme, photovoltaische Systeme
Teil 4-7	Wärmeerzeugung für die Raumheizung, Biomassewärmeerzeuger

Tabelle 3-7: Normenreihe EN 15316

Für das gegenständliche Projekt ist *Teil 4-7: Wärmeerzeugung für die Raumheizung, Biomassewärmeerzeuger* relevant. Dieser Normentwurf stellt Verfahren zur Berechnung des zusätzli-

chen Energiebedarfs eines Wärmeerzeugungssystems vor, der erforderlich ist, um den Bedarf des Verteilungs- und/oder Speicherungsteilsystems zu decken. Die Berechnung beruht auf den Leistungskenngrößen der in Produktnormen angegebenen Produkte und auf weiteren Kenngrößen, die zur Bewertung der Leistung der im System enthaltenen Produkte erforderlich sind.

3.2.3.1 Gegenstand der Betrachtung



Im Normentwurf wird das Wärmeerzeugungssystem, also der **Heizkessel** einschließlich des **Verteilungssystems**, betrachtet. Falls ein **Speicherungssystem** erforderlich ist, wird dieses ebenso berücksichtigt.

3.2.3.2 Verwendungszweck

Die Norm soll dazu dienen, die erforderlichen Eingaben, das Berechnungs-Verfahren und die erforderlichen Ausgaben für die Wärmeerzeugung durch Biomassewärmeerzeuger, einschließlich deren Regelung, festzulegen.

Die Anwendung des Verfahrens erfolgt zur

- Beurteilung im Hinblick auf Erfüllung der Energievorgaben
- Optimierung der Energieeffizienz eines geplanten Wärmeerzeugungssystems durch Anwendung des Verfahrens auf mehrere mögliche Optionen
- Einschätzung der Auswirkung möglicher Energiesparmaßnahmen auf bestehende Wärmeerzeugungsanlagen durch Berechnung des Energieverbrauchs mit und ohne Energiesparmaßnahme

3.2.3.3 Methodenbeschreibung

Es wird zusätzliche Energie benötigt, um den Bedarf des Verteilungs- und/oder Speicherungsteilsystems zu decken. Mittels **Berechnungsverfahren**, die in diesem Normentwurf enthalten sind, wird dieser zusätzliche Energiebedarf eines Wärmeerzeugungssystems errechnet.

Die Berechnung beruht auf einigen Kenngrößen:

- Leistungskenngrößen der in Produktnormen angegebenen Produkte
- weitere Kenngrößen, die zur Bewertung der Leistung der im System enthaltenen Produkte erforderlich sind

Das Verfahren wird für eine bestimmte Periode durchgeführt und umfasst in Kürze die folgenden Berechnungsschritte:

- Wärmebilanz des Kessels, einschließlich Regelung der Wärmeerzeugung und eines Wärmespeichersystems (sofern erforderlich)
- Bedarf an thermischer Energie für die Wärmeerzeugung
- Rückgewinnbare und nicht rückgewinnbare Hilfsenergie
- Rückgewinnbare, zurückgewonnene und nicht rückgewinnbare Wärmeeinträge
- Zeiträume (jährlicher Primärenergiebedarf der Heizanlage)
- Berechnung nach Zonen (getrennte Kreise der Heizanlage)
- Leistung der Heizanlage

3.2.3.4 Ergebnisse

Mit Hilfe des Verfahrens wird der Energiebedarf des Verteilungs- und / oder Speicherungsteilsystems ermittelt.

Parameter	Einheit
Brennstoffbedarf	kg/Periode
Nutzungsgrad	%
Bedarf an thermischer Energie für Wärmeerzeugung	kWh/d
Bedarf an Hilfsenergie	kWh/d

Tabelle 3-8: Ergebnisse der EN 15316-4-7

3.2.3.5 Anwender

Durch die Berechnung werden **Planer von Wärmeerzeugungssystemen** einerseits bei der richtigen Auslegung, andererseits bei der Planung in Hinblick auf Energieeffizienz des Systems unterstützt. Ebenso können bei der Planung von Energiesparmaßnahmen an bestehenden Anlagen die Auswirkungen abgeschätzt werden.

3.2.3.6 Gültigkeitsbereich

Dieser Normentwurf soll einen europaweiten Standard für die Berechnung von Energieanforderungen und Nutzungsgraden der Anlagen festlegen.

Status	Region	Gegenstand	Brennstoffe	Leistungsbereich
Normentwurf	Europa	Heizanlagen	Feste Biomasse	Keine Angabe

Tabelle 3-9: Gültigkeitsbereich der EN 15316-4-7

3.2.3.7 Grenzen der Methode

Es fehlen Parameter und Korrekturfaktoren, die die Diskrepanz zwischen konstanter Leistungsabnahme bei Prüfstandsmessungen und variablen Lastzyklen unter realen Bedingungen berücksichtigen. Zum Teil sind Parameter und Korrekturfaktoren enthalten, die auf groben Schätzungen beruhen.

3.2.3.8 Schlussfolgerungen

Diese Norm soll Energieanforderungen und Nutzungsgrade, die bislang nur durch aufwändige Feldtests ermittelt werden können, rechnerisch ermittelbar machen. Dazu sind zahlreiche Parameter und Korrekturfaktoren erforderlich, von denen einige noch fehlen.

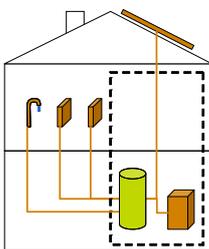
Erfolgsfaktoren dieser Norm sind die einfache Anwendbarkeit und die Vergleichbarkeit der aus Prüfstandtests errechneten Daten mit realen Verhältnissen. Die Berechnung ist allerdings kompliziert.

Anmerkung: Dieser Normentwurf wurde nach Bearbeitung dieses Projektteils zu einer Norm (EN 15316-4-7:2009).

3.2.4 Concise Cycle Test

Der Concise Cycle Test (CCT) ist ein Verfahren zur Prüfung der Funktionstüchtigkeit und Abschätzung der Leistungsfähigkeit von solarthermischen Systemen. Er ist ein Ergebnis der Forschungsarbeiten im Rahmen des Task 26 (Solar Combisystems, <http://www.iea-shc.org/task26/>) des IEA-Solarprogrammes. [SPF 2004]

3.2.4.1 Gegenstand der Betrachtung



Mittels dieses Verfahrens können **solare Kombisysteme** (Systeme für Warmwasser und Raumheizung) untersucht werden.

Die **Kollektoren** werden im Vorfeld geprüft und im CCT durch einen Heiz- und Kühlkreis emuliert. Der Kühlkreis wird durch eine dynamische Simulation des Kollektorfeldes gesteuert. Als weitere Komponente wird die **Gebäudelast** durch einen Kühlkreis simuliert, der seinerseits durch eine Gebäudesimulation gesteuert wird.

Alle anderen Komponenten des Systems können installiert und direkt geprüft werden. Es sind dies in der Regel: **Wärmespeicher, Heizkessel und Brenner**, alle Verbindungen zwischen den Komponenten (inklusive Solarkreis-Verrohrung) und die Steuerung. Für die Temperaturfühler der Systemsteuerung (Außentemperatur, Innenraumtemperatur, Kollektortemperatur) werden die entsprechenden Randbedingungen bzw. Betriebstemperaturen eigens generiert.

3.2.4.2 Verwendungszweck

Die Methode dient zur einfachen (mittels eines zeitlich gerrafften Zyklus) Prüfung von solaren Kombisystemen.

Ein wichtiger Zweck dieser Methode ist auch die Überprüfung der korrekten Funktion des untersuchten Systems, also die Bewertung von Funktionalität und Effizienz von Systemen. Außerdem können Optimierungen abgeleitet werden.

3.2.4.3 Methodenbeschreibung

Vor dem eigentlichen Testbeginn wird der Wärmespeicher auf eine vordefinierte Anfangstemperatur gebracht. Auf eine anschließende 18-stündige Initialisierungsphase folgt die 12-tägige Kernphase des Prüfzyklus. Die Reihenfolge der Tage entspricht in seiner Charakteristik einem Jahresablauf (aus realen Messdaten abgeleitet). Sie beginnt und endet mit kalten und strahlungsarmen Tagen.

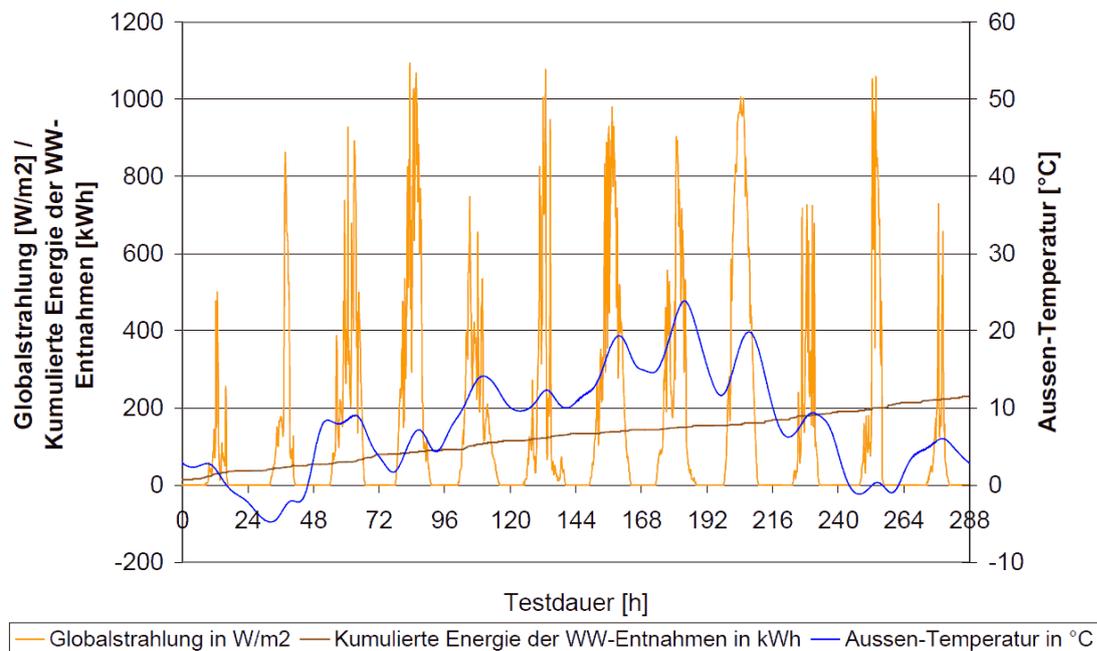


Abbildung 3-2: Prüfzyklus der CCT-Testmethode

Quelle: [SPF 2004]

Die Tage der Kernphase (ein Versuchstag entspricht dabei einem Monat) wurden so ausgewählt, dass sie in Bezug auf Mittelwert und Fluktuation weitgehend ein typisches Jahr des gewählten Klimas, in diesem Fall des Schweizerischen Mittellandes, repräsentieren.

3.2.4.4 Ergebnisse

Neben Überprüfung der korrekten **Funktionsweise** eines Solarsystems wird in diesem Verfahren die **Leistungsfähigkeit** des Systems ermittelt.

Parameter	Einheit
Brennstoffverbrauch	kWh/a
Hilfsenergieverbrauch	kWh/a
Einsparung des Solarsystems	kWh/a und kWh/(m ² -a)

Tabelle 3-10: Ergebnisse des Concise Cycle Test

3.2.4.5 Anwender

Dieses Verfahren bietet **Prüfstellen** die Möglichkeit, solare Kombisysteme zu testen. Damit erhalten **Hersteller und Endkunden** die Möglichkeit, die Funktionsfähigkeit bei der Planung eines Kombisystems zu kennen und die Leistungsfähigkeit abschätzen zu können, sowie Optimierungspotentiale finden zu können.

3.2.4.6 Gültigkeitsbereich

Die Methode hat nicht den Status einer Norm. Sie ist grundsätzlich allgemein anwendbar, der 12-tägige Prüfzyklus ist auf das Klima des Schweizerischen Mittellandes abgestimmt.

Status	Region	Gegenstand	Brennstoffe	Leistungsbereich
Testverfahren	Keine Angabe	Solare Kombisysteme	Keine Angabe	Keine Angabe

Tabelle 3-11: Gültigkeitsbereich des Concise Cycle Test

3.2.4.7 Grenzen der Methode

Eine Aussage über die tatsächliche Performance des Systems kann der Test nicht liefern. Die Werte unterschiedlicher Systeme sind nur dann vergleichbar, wenn die Systeme bzgl. Speichergröße und Leistungsfähigkeit des Kollektorfeldes vergleichbar dimensioniert sind.

3.2.4.8 Schlussfolgerungen

Es ist entscheidend, dass alle zum System gehörigen regelungstechnischen Geräte geprüft werden.

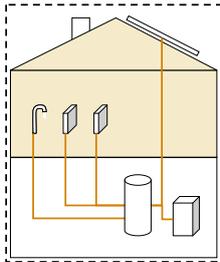
Der Kessel muss als Teil der Anlage geprüft werden. Viele Probleme sind auf das Zusammenspiel des Kessels mit den übrigen Komponenten des Systems zurückzuführen, hierauf konzentriert sich diese Methode.

Erfolgsfaktoren dieser Methode sind die Einzigartigkeit einer Prüfung von solaren Kombisystemen, deren Funktion sonst nur in der Praxis überprüfbar ist.

3.2.5 Energieausweis

Der Energieausweis ist ein gemäß [OIB Richtlinie 6] erstellter Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes in Umsetzung der [EU-Richtlinie 2002/91/EG] (Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden)¹³ und des Energieausweisvorlagegesetz [EAVG 2006]¹⁴.

3.2.5.1 Gegenstand der Betrachtung



Der Energieausweis ist quasi der „Energie-Typenschein“ eines **Gebäudes**. Er macht den gesamten Energiebedarf bzw. die Energieeffizienz eines Hauses oder Wohnung sichtbar, die Systemgrenze wird um das gesamte Wohnobjekt gelegt.

3.2.5.2 Verwendungszweck

Der Energieausweis dient als Umsetzung der [EU-Richtlinie 2002/91/EG] und des österreichischen Energieausweisvorlagegesetzes [EAVG 2006]. Diese EU-Richtlinie verfolgt den Zweck, CO₂-Emissionen sowie Schadstoffemissionen zu reduzieren, Berechnungs- und Beurteilungsmethoden in den EU-Ländern zu vereinheitlichen, sowie die Energienachfrage zu steuern.

Der Energieausweis wird laut Energieausweisvorlagegesetz bei Verkauf, Vermietung und Verpachtung eines Gebäudes oder Wohnung erstellt, sowie bei Gebäuden mit einer Größe über 1.000 m². Bei denkmalgeschützten und bei nicht beheizten Gebäuden, sowie bei Gebäuden, deren Wohnfläche 50 m² nicht überschreitet, ist er nicht verpflichtend.

Er kann für Wohngebäude aber auch Nicht-Wohngebäude (öffentliche Gebäude, Industriebauten etc.) erstellt werden. Für einzelne Wohnungen kann und für einzelne Nutzungszonen eines Gebäudes (z.B. Wohnbereich und Geschäftsbereich) muss sogar ein eigener Energieausweis erstellt werden.

¹³ Die EU-Richtlinie 2002/91/EG „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ hat als Ziel CO₂-Emissionen sowie Schadstoffemissionen zu reduzieren, Berechnungs- und Beurteilungsmethoden in den EU-Ländern zu vereinheitlichen, sowie die Energienachfrage zu steuern. Diese Richtlinie wurde am 16. Dezember 2002 vom europäischen Parlament und Rat verabschiedet.

¹⁴ Das Energieausweisvorlagegesetz soll die Umsetzung der EU-Richtlinie 2002/91/EG „Gesamtenergieeffizienz“ von Gebäuden bewirken. Dieses Gesetz regelt die Pflicht, dass alle Verkäufer, Vermieter und Verpächter ab 1.1.2009 bei Vertragsabschluss einen Energieausweis vorzulegen haben.

3.2.5.3 Methodenbeschreibung

Zuerst werden mit Hilfe von Bauplänen oder einer Bestandsaufnahme vor Ort die entsprechenden Daten für die Berechnung ermittelt. Außen-, Fenster- und Dachflächen, Wanddämmstärken usw. werden in einem Berechnungsprogramm erfasst und damit die Energiekennzahlen errechnet.

3.2.5.4 Ergebnisse

Nachfolgende Informationen werden im Energieausweis dargestellt:

Energieausweis für Wohngebäude

- Heizwärmebedarf HWB des Gebäudes auf Basis eines österreichischen Durchschnittsklimas (Referenzstandort) sowie der Heizwärmebedarf am tatsächlichen Standort
- Warmwasserwärmebedarf WWB
- Heiztechnikenergiebedarf HTEB¹⁵ des Gebäudes
- Endenergiebedarf EEB des Gebäudes

Zusätzlich im Energieausweis für Nicht-Wohngebäude

- Kühlbedarf des Gebäudes
- Energiebedarf für die haustechnischen Anlagen, und zwar getrennt für Heizung, Kühlung, mechanische Belüftung sowie für die Beleuchtung des Gebäudes

Parameter	Einheit
Heizwärmebedarf	kWh/(m ² ·a)
Warmwasserwärmebedarf WWB	kWh/(m ² ·a)
Heiztechnikenergiebedarf HTEB	kWh/(m ² ·a)
Endenergiebedarf EEB	kWh/(m ² ·a)

Tabelle 3-12: Ergebnisse des Energieausweises für Wohngebäude

3.2.5.5 Anwender

Verkäufer, Vermieter und Verpächter sind verpflichtet, spätestens bei Vertragsabschluss dem Käufer, Mieter oder Pächter den Energieausweis vorzulegen. Rechtlich gesehen ist bei Fehlen dieses Ausweises der Vertrag ungültig, da er als rechtmäßiger Bestandteil des Vertrages angesehen wird.

Es kann aber jeder Haus- oder Wohnungsbesitzer freiwillig einen Energieausweis über sein Wohnobjekt erstellen lassen, um Aufschluss über dessen Energieeffizienz zu erhalten.

¹⁵ Umfasst Energieverluste, die bei der Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Abgabe für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser auftreten

Der **Käufer, Mieter oder Pächter** des Objektes erfährt mit Hilfe des Heizwärmebedarfs (HWB), wie es um die Energieeffizienz des Gebäudes steht. Er kann diese Kennzahl mit der von anderen Gebäuden vergleichen. Der Ausweis kann dadurch auch als Entscheidungsgrundlage für den Kauf herangezogen werden.

Ein Energieausweis darf nur von qualifizierten und **befugten Personen** ausgestellt werden. Dies sind primär Baumeister, Ziviltechniker und technische Büros.

3.2.5.6 Gültigkeitsbereich

Der Energieausweis wurde als Umsetzung der [EU-Richtlinie 2002/91/EG] erstellt. Grundsätzliches Hauptziel darin ist die Erhöhung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in ganz Europa.

Erstmals trat der Energieausweis in Österreich mit 1.1.2008 verpflichtend in Kraft [EAVG 2006], aber nur für Objekte mit Baubewilligung ab 1.1.2006. Seit 1.1.2009 ist bei jedem Verkauf oder Vermietung eines Hauses oder Wohnung ein Energieausweis vorzulegen.

In Deutschland sind die Energieausweise seit dem 1. Juli 2008 für Wohngebäude bis Baujahr 1965 verpflichtend, für alle anderen Wohngebäude seit dem 1. Januar 2009 [EnEV 2007].

In der Schweiz wurde ein freiwilliger Energieausweis (Gebäudeenergieausweis der Kantone, GEAK) eingeführt, eine Verpflichtung wird in einigen Kantonen geprüft¹⁶.

Status	Region	Gegenstand	Brennstoffe	Leistungsbereich
Gesetzlich verpflichtend	Österreich	Gebäude	Unabhängig	Keine Angabe
Gesetzlich verpflichtend	Deutschland	Gebäude	Unabhängig	Keine Angabe
Freiwillig	Schweiz	Gebäude	Unabhängig	Keine Angabe

Tabelle 3-13: Gültigkeitsbereich des Energieausweises für Wohngebäude

3.2.5.7 Grenzen der Methode

Da die Umsetzung des Energieausweises in den Bereich Baurecht fällt und dieser in Österreich Ländersache ist, werden die Anforderungen der Richtlinie teilweise sehr unterschiedlich umgesetzt.

Eine Vereinheitlichung stellt die [OIB Richtlinie 6] des Österreichischen Instituts für Baurecht dar, sowie die auf deren Basis erstellte [ÖNORM B 8110].

¹⁶ Gebäudeenergieausweis der Kantone (<http://www.geak.ch>)

Aufgrund der zahlreichen Parameter, die zum Teil abgeschätzt werden müssen, kann das Ergebnis dadurch bewusst oder unbewusst verändert werden.

3.2.5.8 Schlussfolgerungen

Basierend auf einem normierten Berechnungsverfahren, ist die Vergleichbarkeit der Kennzahlen sehr gut.

Der Energieausweis bietet ein Instrument, den Energiebedarf oder -verbrauch eines Gebäudes für den Kunden transparent zu machen und ihm dadurch eine Entscheidungsbasis für weitere Maßnahmen, beispielsweise durch Wärmeschutz, zu geben. Er bietet einen Anreiz für Sanierungen und steigert somit auch den Wert der Immobilien. Ab 2009 ist er bei Verpachtung, Vermietung und Verkauf verbindlich.

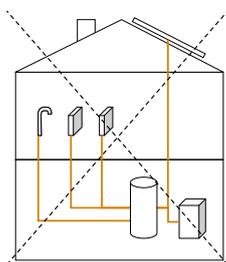
Wichtig für den Erfolg der Methode ist, dass die Darstellung anhand weniger einfacher Kennzahlen und zusammengefasst in einer einfach vergleichbaren bildlichen Darstellung erfolgt. Für die Durchsetzung ist einerseits die gesetzliche Verpflichtung bei Verpachtung, Vermietung und Verkauf von Gebäuden wichtig, andererseits, dass die Wohnbauförderung an den Energieausweis gekoppelt ist.

3.2.6 Fahrzyklen für Rollenprüfstandtests

Ein Fahrzyklus legt Bedingungen und Geschwindigkeitsabläufe fest, unter denen ein Fahrzeug bei der Ermittlung von Emissionen und Kraftstoffverbrauch am Rollenprüfstand betrieben wird.

Fahrzyklen sollen eine möglichst realitätsnahe Belastung produzieren, um reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. In der Europäischen Union erfolgt die Ermittlung von Emissionen und Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen seit 1. Januar 1996 im NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus).

3.2.6.1 Gegenstand der Betrachtung



Der Fahrzyklus legt Bedingungen und Geschwindigkeitsabläufe fest, unter denen ein Fahrzeug bei der Ermittlung von CO₂-Emission und Kraftstoffverbrauch am Prüfstand betrieben wird.

3.2.6.2 Verwendungszweck

Ein Fahrzyklus ist ein wesentlicher Bestandteil einer Abgasvorschrift, ist aber auch relevant für die Durchführung von Diagnosen. Häufig müssen Diagnosen während des Fahrzyklus zu einem Ergebnis gebracht werden.

3.2.6.3 Methodenbeschreibung

Es gibt international eine Reihe von unterschiedlichen Fahrzyklen, hier eine Auswahl davon¹⁷:

- NEDC (NEFZ) New European Driving Cycle
- Japan 10–15 Mode
- HYZEM Urban Hybrid technology development approaching efficient Zero Emission Mobility
- HYZEM Rural
- HYZEM Highway
- UDDS (FTP-72) Urban Dynamometer Driving Schedule
- FTP-75 Federal Test Procedure
- SFTP-US06 Supplemental Federal Test Procedure Start Control
- SFTP-SC03
- EPA NYCC Environmental Protection Agency New-York City Cycle
- EPA HWFET EPA Highway Fuel Economy Test
- IM 240 Inspection and Maintenance
- California LA92 Cycle Los Angeles
- Indian Driving Cycle
- Milano Cycle

Für die Prüfung wird ein genormter Fahrzyklus auf einem Rollenprüfstand abgefahren und die Abgasemission gemessen. Anschließend wird aus der Abgasemission der Kraftstoffverbrauch berechnet. Der Fahrzyklus NEFZ (siehe Abbildung 3-3) und die Vorgehensweise bei der Messung sind in der [Richtlinie des Rates 70/220/EWG] beschrieben.

¹⁷ z.B. bei EPA (<http://www.epa.gov/otaq/emisslab/testing/dynamometer.htm>) und Diesel Net (<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/>)

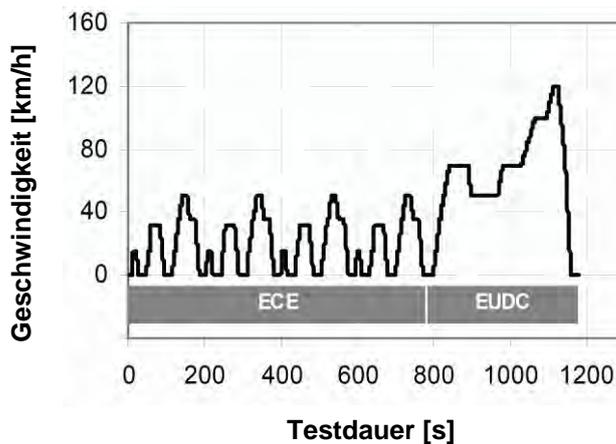


Abbildung 3-3: Neuer Europäischer Fahrzyklus NEFZ

Abbildung aus [Bach 2007]

Um eine bessere Annäherung an reale Verhältnisse zu erreichen, wurde im europäischen AR-TEMIS-Projekt [André 2004] auch ein realitätsnäherer Fahrzyklus entwickelt, der in Abbildung 3-4 zu sehen ist.

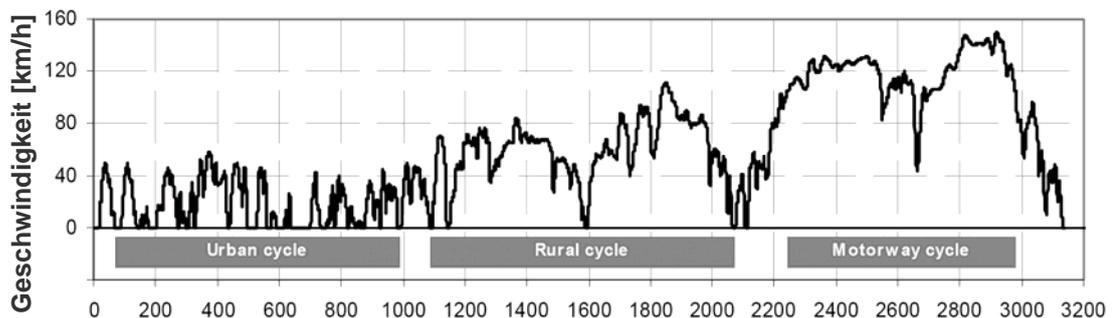


Abbildung 3-4: Artemis-Fahrzyklus

Abbildung aus [Bach 2007]

Die Durchführung der Prüfung erfolgt auf einem Rollenprüfstand: ein Motorenprüfstand, bei dem die Leistungsmessung durch die Übertragung der Räder eines Kraftfahrzeuges auf eine Rolle, die mit der Prüfstandsbremse verbunden ist, erfolgt. Am Fahrzeug wird dabei eine Beschleunigung simuliert, die Motordrehzahl wird gemessen.

Für die Ermittlung des Verbrauchs müssen vor der Messung auf dem Rollenprüfstand die Fahrwiderstände des Fahrzeugs auf der Straße exakt ermittelt und auf den Rollenprüfstand übertragen werden.

3.2.6.4 Ergebnisse

Ergebnisse der Prüfstandstests sind **Emissionen** und **Kraftstoffverbrauch** eines Fahrzeugs. Außerdem wird die Einhaltung von Normen überprüft. Der Verbrauch wird dabei aus den ge-

messenen CO₂, CO und HC-Emissionen rechnerisch bestimmt (siehe [Richtlinie der Kommission 93/116/EG]).

Parameter	Einheit
Emissionen	
CO	g/km
HC	g/km
NO _x	g/km
PM	g/km
Verbrauch	l/100 km

Tabelle 3-14: Ergebnisse des Rollenprüfstandstests

3.2.6.5 Anwender

Aus Sicht der **Hersteller** bietet ein Fahrzyklus Entwicklungssicherheit, für die **Endkunden** vergleichbare Werte beim Kauf von Fahrzeugen. Der Gesetzgeber hat ein Instrument, mit dessen Hilfe Emissionen überprüft und eine Reduktion von Emissionen vorangetrieben werden kann.

3.2.6.6 Gültigkeitsbereich

Eine Prüfung gemäß [Richtlinie des Rates 70/220/EWG] erfolgt nach dem NEFZ und gilt jeweils für einen Fahrzeugtyp, also Fahrzeuge, die keine wesentlichen Unterschiede in Hinblick auf Motor und Schwungmasse aufweisen.

Status	Region	Gegenstand	Brennstoffe	Leistungsbereich
Richtlinie	Europa	Kraftfahrzeuge	Flüssig oder gasförmig	Keine Angabe

Tabelle 3-15: Gültigkeitsbereich des NEFZ

3.2.6.7 Grenzen der Methode

Die Fahrzyklen stimmen oft nicht mit dem tatsächlichen Nutzungsprofil überein, besonders dann, wenn viel Kurzstrecken- und Stadtverkehr vorkommt oder auf Autobahnen sehr hohe Geschwindigkeiten gefahren werden.

Die Verbrauchsermittlung geht außerdem von einer energiesparenden Fahrweise aus. Zusatzverbraucher, wie insbesondere die Klimaanlage und andere elektrischen Antriebe und Apparate zur Erhöhung des Komforts, werden nicht berücksichtigt. Dadurch sind die amtlichen Verbrauchsangaben oft nicht oder nur schwer im realen Betrieb erreichbar.

Beim Verbrauch lassen sich Abweichungen von bis zu 50 Prozent beobachten. „Einerseits mag dies am wenig realitätsnah zusammengestellten EU-Fahrzyklus liegen, andererseits eröffnen die in Eigenregie der Hersteller im Labor durchgeführten Messungen gewisse Gestaltungsmöglichkeiten. Insider wissen: Es gibt viele Tricks, um unter Laborbedingungen den Verbrauch zu

senken. Da werden Reifen bis auf drei Bar aufgepumpt, Batterien vorher voll geladen, wird die Umfeldtemperatur erhöht, und elektrische Verbraucher insbesondere die energiezehrende Klimaanlage bleiben während des Testlaufs tunlichst ausgeschaltet.“¹⁸

Kaltstartphasen sind im Prüfzyklus überproportional vertreten, was bei unterschiedlichen Antriebstypen (z.B. Hybridantrieb) zu Abweichungen führt.

Bei Fahrzeugen mit Schaltgetriebe ist im Prüfzyklus die genaue Wahl der Gänge vorgeschrieben, was bei handgeschaltete Fahrzeuge mit großvolumigen Motoren zu hohen Drehzahlen und damit höherem Verbrauch führen kann. Bei Fahrzeugen mit Automatikgetriebe gibt es keine Vorgaben an die Wahl des Ganges.

3.2.6.8 Schlussfolgerungen

Bei der Prüfung von Kraftfahrzeugen gibt es eine ähnliche Problematik wie bei Kesseln, dass zwischen herkömmlich gemessenen Prüfstandswerten und tatsächlichen Praxiswerten teils erhebliche Diskrepanzen bestehen. Zur Annäherung an die Realität werden realitätsnähere Fahrzyklen erstellt, wichtig ist auch hier die Beachtung von Randbedingungen (wie mitlaufende elektrische Verbraucher o.ä.), die die Ergebnisse beeinflussen können.

Der erfolgreiche Einsatz der Methode ist vor allem dadurch begründet, dass die Durchführung durch den Gesetzgeber vorgeschrieben ist. Als Verkaufsargument wird sie erfolgreich verwendet, da vergleichbare Werte vorliegen und für den Kunden damit ein Richtwert existiert, welcher Verbrauch in der Praxis zu erwarten ist. Dazu sind möglichst realitätsnahe Zyklen erwünscht.

3.2.7 Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen

Im Rahmen des im Oktober 2002 ins Leben gerufenen IEA HPP Annex 28 (<http://www.annex28.net/>) wurden Prüfmethode und Berechnung von Jahresarbeitszahlen für Wärmepumpen mit kombinierter Heizungs- und Warmwasserbereitung entwickelt.

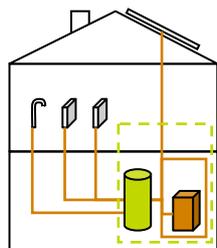
Allerdings wird bei den derzeitigen Prüfungen wie bei der herkömmlichen Prüfung von Heizkesseln für feste Brennstoffe [EN 303-5] nur bei wenigen, konstanten Betriebspunkten gemessen.

¹⁸ DIE ZEIT Nr.46 vom 08.11.2007 (http://www.zeit.de/2007/46/Benzinkonsum_Traeume)

3.3 Einbettung der neuen Standardmethode in das Umfeld

Gestützt durch die Erhebungen und Analysen aus Kapitel 3.2 werden die Systemgrenzen für die neue Standardmethode abgeleitet.

3.3.1 Gegenstand der Betrachtung



--- Rechnerisch, Auswertung
— Experimentelle Betrachtung

Die neue Methode soll zur Ermittlung erreichbarer Nutzungsgrade und Emissionsfaktoren von **Heizkesseln** dienen. Da viele Systeme einen **Pufferspeicher** brauchen bzw. mit Pufferspeicher ein anderes Regelverhalten und andere Ergebnisse erzielen, soll die Systemgrenze für die Gesamtbetrachtung den Heizkessel und Puffer einbeziehen. Die experimentelle Überprüfung beschränkt sich auf den Heizkessel.

Das **Wärmeversorgungssystem** wird am Prüfstand durch eine Wärmeabnahme ersetzt, das **Gebäude** fließt in die Untersuchung nicht ein.

Geprüft werden sollen Heizkessel für feste Brennstoffe bis 400 kW Nenn-Wärmeleistung. Zum Einsatz können Pellets, Hackgut und Scheitholz kommen. Die Methode soll außerdem für automatisch- oder von Hand beschickte Kessel anwendbar sein.

3.3.2 Verwendungszweck

Die Standardmethode zur Bestimmung des Nutzungsgrades schafft **Vergleichbarkeit** unter den Produkten der unterschiedlichen Hersteller. Messbare Kenngrößen, die einen direkten Rückschluss auf den Brennstoffverbrauch und somit die Brennstoffkosten ermöglichen, führen zu einem verstärkten **Wettbewerb** der Technologieanbieter.

Die konsequente Umsetzung der Projekterkenntnisse soll eine **Erhöhung des Nutzungsgrades** um 10 bis 15% erwirken, die Emissionsfaktoren werden noch wesentlich signifikanter reduziert.

3.3.3 Methodenbeschreibung

Im Rahmen des Projektes wird eine Methode zur Bestimmung von Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren am Prüfstand entwickelt. Für die Bewertung der Feuerungen können ähnlich wie in EN 303-5 nur messbare Größen herangezogen werden. Eine Simulation des Kesselverhaltens basierend auf den internen Leistungsregelungsparametern ist also nicht möglich.

Die Prüfung soll, im Gegensatz zu den etablierten Methoden, auch die dynamischen Phasen berücksichtigen, d.h. Start, Stopp und Lastwechsel. Der zeitliche Aufwand für die Messung soll ähnlich wie bei der EN 303-5 etwa eine Arbeitswoche betragen, d.h. dass für die Messdauer selbst ca. 3 Arbeitstage zur Verfügung stehen. Durch die Integration in die Messung nach EN 303-5 beträgt der Mehraufwand nur 1 Tag.

Die Auswertung soll standardisiert mittels einer eigenen, einfach bedienbaren Software erfolgen.

Die detaillierte Erarbeitung der Methode erfolgt in Arbeitspaket 3 des gegenständlichen Projekts, in Arbeitspaket 4 wird das Auswertungsprogramm erarbeitet.

3.3.4 Ergebnisse

Ergebnis der Prüfung sind **Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren** der geprüften Feuerungen. Außerdem wird der Bedarf an elektrischer Hilfsenergie bestimmt.

Parameter	Einheit
Jahresnutzungsgrad	[%]
elektrischer Energiebedarf	[%]
Emissionsfaktoren	
CO	[kg/TJ]
NO _x	[kg/TJ]
SO ₂	[kg/TJ]
Org. C	[kg/TJ]
Gesamtstaub	[kg/TJ]

Tabelle 3-16: Ergebnisse der neuen Standardmethode

Die Ergebnisse werden für modulierenden- und Pufferbetrieb ermittelt und ermöglichen so den Vergleich beider Betriebsvarianten.

3.3.5 Anwender

Der Entwicklungsprozess bei **Herstellern** von Heizkesseln wird maßgeblich beschleunigt, da Kenngrößen wie der Nutzungsgrad rascher bestimmt werden können. Durch die Kenntnis von zu erwartenden Lastzyklen kann die Standardmethode als Werkzeug zur Optimierung der Leistungsregelung von Biomassekleinfeuerungen eingesetzt werden. Der mit der standardisierten Methode ermittelte Jahresnutzungsgrad kann durch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse als Marketingargument eingesetzt werden (in Analogie zum Kraftstoffverbrauch bei Fahrzeugen). Spätestens nach Veröffentlichung von Nutzungsgraden einzelner Hersteller wird der Wettbewerb der Branche angespornt.

Für **Endkunden** soll die Möglichkeit geschaffen werden, Kessel untereinander zu vergleichen. Sie erhalten vergleichbare, praxisrelevante Kennzahlen für den Brennstoffverbrauch, der direkt aus dem Nutzungsgrad abgeleitet werden kann, und für die Umweltfreundlichkeit (Emissionsfaktoren). Das aktuelle Auswahlkriterium Wirkungsgrad wird durch den aussagekräftigeren Nutzungsgrad (Brennstoffverbrauch) ersetzt.

Für die **Normierung und Prüfung** stellt die Methode eine wissenschaftliche Basis zur kostengünstigen Ermittlung von Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren dar. Zudem können Ergebnisse der Methode für die Ergänzung und Absicherung von Kennzahlen und Parametern von Normen und Richtlinien dienen.

Gesetzgebern und Behörden steht mit der Methode ein Werkzeug für die schnelle Ermittlung gesicherter Daten (Emissionsfaktoren) für die Berichterstattung zur Verfügung. Die Aktualisierung der Emissionsfaktoren kann unter Reduktion der kostspieligen Feldtestmessungen erfolgen.

3.3.6 Gültigkeitsbereich

Diese Methode soll einen europaweiten Standard für die Prüfung von Kesseln festlegen.

Status	Region	Gegenstand	Brennstoffe	Leistungsbereich
In Entwicklung	Europa	Heizkessel	Feste Brennstoffe	-

Tabelle 3-17: Gültigkeitsbereich der neuen Standardmethode

3.3.7 Grenzen der Methode

Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, ist die Festlegung auf einen Referenzstandort notwendig. Um die Kennzahlen für einen anderen Standort zu ermitteln, ist eine Umrechnung erforderlich.

Mit der neuen Methode erfolgt keine Prüfung des Gesamtsystems, eine richtige Auslegung der Komponenten des Heizungssystems ist daher wichtig, um eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse der Prüfung mit realen Verhältnissen zu erzielen.

3.3.8 Schlussfolgerungen

Durch die Schaffung und Etablierung der neuen Methode soll ein einheitlicher, vergleichbarer, praktisch anwendbarer Standard geschaffen werden, der der Realität besser entspricht als die bisherigen Verfahren.

Als **Erfolgsfaktoren** der neuen Methode sind zu erwarten: Dass die ermittelten Kennzahlen besser der Realität entsprechen als bei zur Zeit verwendeten Methoden, die Prüfung bei den Prüfstellen ohne erheblichen Mehraufwand (im Vergleich zur bisherigen Typenprüfung nach EN 303-5) durchgeführt werden kann, sowie die Etablierung der Prüfung (durch gesetzliche Vorschreibung bzw. Verpflichtung in Zusammenhang mit Förderungen) als Standardmethode.

3.4 Abgrenzung zu anderen Methoden

Im Unterschied zur **EN 303-5**, die derzeit in Überarbeitung ist, sollen vor allem die Anpassung der Leistungsregelung an reale Lastzyklen berücksichtigt werden. Start- und Abstellphasen werden Berücksichtigung finden, damit soll auch ein Rückschluss auf reale Nutzungsgrade und Emissionsfaktoren ermöglicht werden.

Bei der Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades auf experimentellem Weg nach **DIN 4702-8** werden ebenso wie bei der EN 303-5 Wirkungsgrade bei stationären Betriebsbedingungen ermittelt.

Während die **EN 15316-4-7** Energieanforderungen und Nutzungsgrade *rechnerisch* ermittelbar macht, werden diese hier *praktisch* am Prüfstand ermittelt. Fehlende Parameter und Korrekturfaktoren, die derzeit noch auf groben Schätzungen beruhen, können mittels der neuen Methode ergänzt bzw. verbessert werden.

4 Methodenentwicklung

4.1 Betrachtetes System

Wesentlich für die Angabe von Nutzungsgraden ist eine örtliche und zeitliche Begrenzung des Systems. Nur wenn Klarheit über die Systemgrenzen besteht, können Nutzungsgrade verglichen werden. Darüber hinaus werden die im Praxisbetrieb ermittelten Nutzungsgrade durch vorherrschende Wetterbedingungen und die NutzerInnen des Gebäudes in der Betrachtungsperiode beeinflusst.

4.1.1 Örtliche Systemgrenzen

Abbildung 4-1 zeigt eine Darstellung zur Definition des Systems für Nutzungsgradangaben von Gebäuden.

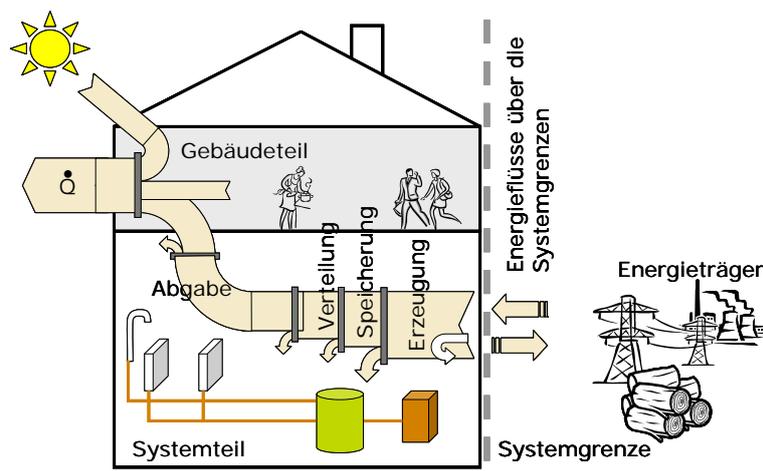


Abbildung 4-1: Systemdarstellung für Nutzungsgradangaben

Quelle: nach [EN 15315]

Für eine Produktbewertung ist nur die Feuerungsanlage (Heizkessel) zu betrachten. Bei Betrachtung des Systems Feuerung inklusive Speichersystem (teilweise mit zusätzlichem solarem Wärmeeintrag) kann eine Bewertung der Effizienz des Wärmebereitstellungssystems einschließlich der Warmwasserbereitstellung durchgeführt werden.

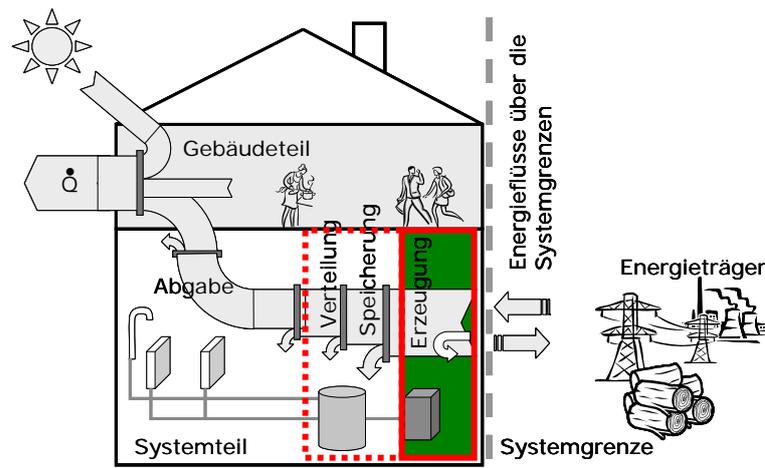


Abbildung 4-2: Systemgrenzen für die verwendete Methode: Feuerung = Erzeugung und Feuerung + Speicher = Erzeugung + Speicherung

Da viele Systeme einen **Pufferspeicher** brauchen und mit einem solchen ein anderes Regelverhalten und andere Ergebnisse aufweisen, bezieht die Systemgrenze für die Gesamtbetrachtung Heizkessel und Puffer mit ein. Die experimentelle Überprüfung beschränkt sich auf den Heizkessel, Daten unter Berücksichtigung eines Pufferspeichers werden im Zuge der Auswertung rechnerisch ermittelt.

Das **Wärmeversorgungssystem** wird am Prüfstand durch eine Wärmeabnahme ersetzt, das **Gebäude** fließt in die praktische Untersuchung nicht ein.

Im Zuge der Auswertung erfolgte die Errechnung der Kennzahlen für eine **optimal ausgelegte Anlage** in einem **Referenzgebäude** an einem **Referenzstandort**. Eine Umlegung der Ergebnisse auf ein individuelles Gebäude bzw. einen anderen Standort könnte anschließend durch Umrechnung im Zuge einer Gebäudesimulation erfolgen.

4.1.2 Zeitliche Systemgrenzen

Möglichkeiten für Betrachtungsperioden sind definierte Versuchszeiträume für Prüfstandsmethoden, eine einzelner Tag, ein Monat, eine Heizperiode oder ein Jahr. Im Rahmen dieser Methode erfolgt die Analyse für ein Jahr, also die gesamte Heizperiode und die Zeiten reiner Warmwasserbereitstellung (Sommer).

4.2 Entwicklung des Versuchszyklus für den modulierenden Betrieb

Für den Standardversuchsablauf wurde ein „synthetischer“ Versuchszyklus entwickelt, der folgende Bedingungen erfüllt:

- Effektive Versuchsdauer 8 Stunden (innerhalb eines Arbeitstages möglich)
- Die Laststufen entsprechen denen der DIN 4702-8
- Der Versuch soll als Ganzes auswertbar sein
- Der Zyklus ist für ein gesamtes Jahr repräsentativ

Die Leistung wird vorgegeben. Der gesamte Messzyklus enthält alle Phasen des Kesselbetriebs:

- Kaltstart
- Warmstart
- Lastwechsel, Leistungssteigerung und -reduktion
- Stationärer Betrieb bei unterschiedlicher Last
- Abschalten
- Stillstand

Das Ergebnis ist ein Versuchszyklus, der in kurzer Zeit die Messung des Jahresnormnutzungsgrades und der Jahresnormemissionsfaktoren ermöglicht.

4.2.1 Analyse von Lastgängen von Kleinfeuerungen

Die Erhebung der Lastgänge erfolgte auf Basis von Erfahrungen des Projektkonsortiums und von Biomassekesselherstellern, sowie einer umfangreichen Literaturrecherche. Die erhobenen Messdaten weisen eine hohe Streuung auf. Daher erfolgt die weitere Arbeit auf Basis von Literaturstudien. Einige Arbeiten wurden aufgrund Ihrer Bedeutung für die Entwicklung der Lastzyklen genauer untersucht:

- Andreas Schuster, Diplomarbeit: Auslegung von Biomasse-Nahwärmenetzen mit dezentralen Wärmespeichern [Schuster 2004]
- Bernd Geiger, Mark Hellwig; Entwicklung von Lastprofilen für die Gaswirtschaft im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. und des Verbandes kommunaler Unternehmen e.V. [Geiger 2002]
- VDI 4655 Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen [VDI 4655]

Basierend auf gemessenen Gasverbrauchsdaten wurde von Geiger und Hellwig [Geiger 2002] für verschiedene Gebäudetypen und Altersklassen eine Sigmoidfunktion als Ausgleichsfunktion ermittelt, die die Abhängigkeit des normierten Energieverbrauchs von der Außentemperatur darstellt. Im Vergleich dazu stellt [Schuster 2004] in seiner Diplomarbeit den Zusammenhang

der Leistung und der Außentemperatur mittels Geraden dar. Die Gerade steigt auch bei sehr niedrigen Temperaturen linear an, d.h. es gibt hier eigentlich keinen Sättigungsbereich wie bei der Sigmoidkurve. Dieser Bereich lässt sich aber in der Praxis sehr wohl feststellen, daher gehen die weiteren Betrachtungen von einer Sigmoidfunktion aus.

Für die Betrachtung „typischer“ Tageslastgänge spielt die Standortwahl eine untergeordnete Rolle, weil die Lastgänge in Abhängigkeit von mittlerer Tagestemperatur und Gebäudetyp ermittelt werden und die mittleren Tagestemperaturen sich an verschiedenen Standorten wiederholen. Die geänderten klimatischen Verhältnisse werden in [VDI 4655] durch die unterschiedliche Verteilung der Typtage berücksichtigt. Daher kann man davon ausgehen, dass die Methode zur mathematischen Abbildung des Lastgangs für österreichische Verhältnisse angewendet werden kann.

4.2.2 Ermittlung von repräsentativen Lastkurven

Ziel sind repräsentative Lastkurven für die Messreihe zur Ermittlung des Jahresnormnutzungsgrades von Biomasse - Heizkesseln.

Grundsätzlich ist die Lastkurve eines Gebäudes in erster Linie von der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Raumtemperatur und der solaren Einstrahlung abhängig. An bewölkten Tagen ist die Temperaturschwankung geringer. Die Speichermasse des Gebäudes glättet die Lastkurve zusätzlich. Eine glatte Lastkurve entspricht durchwegs der Praxis, wird aber noch von Wassererwärmung und Nachtabsenkung überlagert. Die Warmwasserleistung wird zur Heizungsleistung addiert, beide gemeinsam können maximal die gesamte Kesselleistung erreichen. Die Nachtabsenkung ist für die niedrigen Leistungsbedürfnisse während der Absenkezeit und die Lastspitze am Übergang von Absenkezeit zu Heizzeit verantwortlich.

Die Datenkurven aus der [VDI 4655] stammen von Gasgeräten und entsprechen nach Erfahrung des Projektkonsortiums nicht dem typischen Verhalten von Biomassefeuerungen. Die Wassererwärmung nach VDI entspricht dem Leistungsprofil für eine Gas-Kombitherme, nicht aber den Verhältnissen bei Betrieb eines Pelletskessels mit Warmwasserboiler oder gar Pufferspeicher. Die Kurven zeigen zudem, dass keine Nachtabsenkung erfolgt.

Die Anzahl der in „Auslegung von Biomasse-Nahwärmenetzen mit dezentralen Wärmespeichern“ [Schuster 2004] pro Objektkategorie zur Verfügung stehenden Datensätze ist zu gering, um auf ihrer Basis eine konkrete Aussage über typische Lastprofile machen zu können.

Die im Folgenden festgelegten Lastkurven entsprechen dem typischen Verlauf bei Biomassefeuerungen, wie sie den Erfahrungen der Experten des Projektkonsortiums entsprechen.

Annahmen zur Ermittlung der Wärmebedarfskurven

Haustyp

Bei den angegebenen Lastkurven handelt es sich um typische Energiebedarfsverläufe von Einfamilienhäusern, die einen **Energiebedarf von 20 MWh/a** aufweisen. Bei einer angenommenen Betriebsdauer von **2.000 Volllaststunden** ist ein 10 kW-Kessel zur Produktion der benötigten Wärme erforderlich.

Der Gebäudetyp ist ansonsten nicht näher spezifiziert, soll aber dem aktuellen Standard der Wärmedämmung entsprechen (neues Gebäude oder gut sanierter Altbau).

Warmwasserbedarf

Der Warmwasserbedarf wird folgendermaßen angenommen: 2 kWh/Person und Tag (4 Personen-Haushalt = **8 kWh/d**).

Die Relation zwischen Heizbedarf und Warmwasserbedarf hängt von der tatsächlichen Kesselleistung ab. Die Übertragungsleistung des Wärmetauschers im Warmwasserboiler ist durch die Auslegung fixiert. Bei geringer Kesselleistung kann die Warmwasserspitze durchaus 100% der Kesselleistung betragen, während bei hoher Kesselleistung die 100% nicht erreicht werden.

Boiler

300 Liter, integrierter Glattrohrwärmetauscher, **6 kW Übertragungsleistung bei 40 K Spreizung**

Boilerladung

Die Ladung des Boilers erfolgt 2x täglich (morgens und abends mit jeweils halbem Tagesbedarf = 4 kWh) ohne Boilervorrang. Die Warmwasserleistung wird also zur Heizungsleistung addiert und beide gemeinsam können maximal die gesamte Kesselleistung erreichen.

Nachtabsenkung

Die Vorlauftemperatur wird im Absenkungszeitraum auf den rechnerischen Wert zur Erhaltung der Absenkttemperatur zurückgenommen. Die Umwälzpumpe lässt also das Heizungswasser weiterhin, mit abgesenkter Temperatur, zirkulieren.

4.2.3 Festlegung von 5 Typtagen und zugehörigen Tageslastprofile

Typtage

In Anlehnung an die [VDI 4655] (in der Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern auf Basis von ein- und mehrjährigen Messreihen für 10 Typtagkategorien festgelegt werden) werden folgende 5 Typtage ausgewählt, auf eine Unterscheidung zwischen Werktag und Samstag/Sonntag wird verzichtet.

Typtag	Kürzel	Typtag	Kürzel
Übergangszeit-Tag heiter	ÜxH	Wintertag heiter	WxH
Übergangszeit-Tag bewölkt	ÜxB	Wintertag bewölkt	WxB
Sommer-Tag	SxX		

Tabelle 4-1: Reduzierte Typtage in Anlehnung an VDI 4655

Für den Sommer wird näherungsweise angenommen, dass die Wasserentnahme der eines heiteren Tages in der Übergangszeit entspricht und eine Heizung nicht benötigt wird.

Standort, Klimazone

Der Standort wird entsprechend den Klimadaten des Deutschen Klimadienstes auf Zone TRY 13 (schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland, Repräsentanzstation Passau; TRY: Testreferenzjahr des deutschen Wetterdienstes) festgelegt.¹⁹

Tage je Typtag

Die Aufteilung der 365 Tage des Jahres auf Typtage für Klimazone TRY 13 erfolgt entsprechend VDI 4655 (wobei hier die Zahlen der betreffenden Typtage aufsummiert sind, z.B. ÜxH = ÜWH + ÜSH), wie in Tabelle 4-2 dargestellt.

Jahreszeit	Übergangszeit				Sommer		Winter			
	heiter		bewölkt		SWX	SSX	heiter		bewölkt	
Witterung	ÜWH	ÜSH	ÜWB	ÜSB					WWH	WSH
Typtag VDI										
Anzahl Tage VDI	37	15	72	10	73	13	29	6	91	19
Typtag JLZ	ÜxH		ÜxB		SxX		WxH		WxB	
Anzahl Tage JLZ	52		82		86		35		110	

Tabelle 4-2: Aufteilung der Tage auf die Typtage nach VDI 4655 (VDI) und aufsummierte Anzahl für die Ermittlung des Jahresreferenzlastzyklus (JLZ)

W ... Werktag, S ... Sonntag

Tagesmitteltemperatur

- für den heiteren Wintertag -5°C
- für den bewölkten Wintertag +2°C
- für den Tag in der Übergangszeit +5°C

Tageslastprofile

Für die definierten Typtage wurden für den Standort und unter Annahme der festgelegten Tagesmitteltemperaturen Lastprofile festgelegt. In Abbildung 4-3 sind diese Profile für einen 10 kW-Kessel dargestellt.

¹⁹ Webseite des Deutschen Klimadienstes: <http://www.dwd.de/TRY>

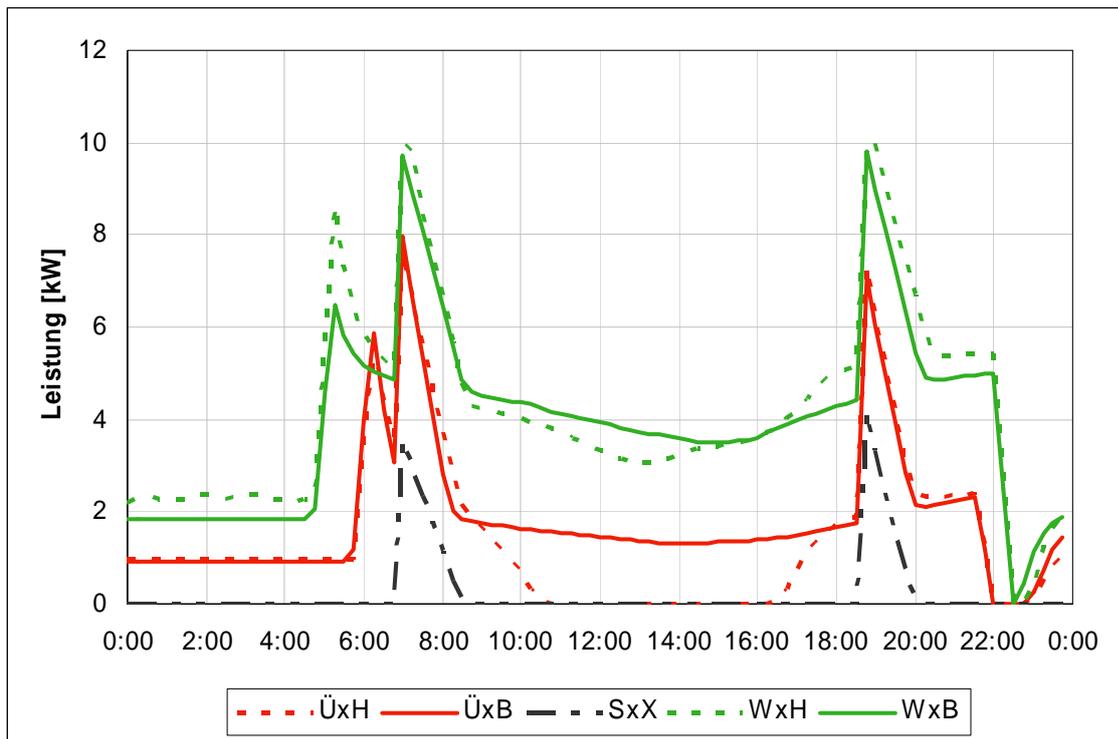


Abbildung 4-3: Lastprofile für die definierten Typtage für einen 10 kW-Kessel

4.2.4 Reduktion auf ein vereinfachtes Jahreslastprofil

Um ein für die Ermittlung am Versuchsstand sinnvoll anwendbares Profil (ohne allzu kurze Lastspitzen) zu erhalten, werden die Leistungen auf einige definierte Laststufen verteilt. Die Zeitabschnitte, an denen eine Laststufe auftritt, werden zusammengefasst, wodurch sich ein stark vereinfachtes Profil mit wenigen Stufen ergibt.

In Anlehnung an [DIN 4702-8] werden 5 Leistungsstufen definiert, die hier noch um eine Stufe mit 100% Nennleistung ergänzt werden.

Die auf Laststufen umgerechneten Profile sind in Abbildung 4-4 dargestellt. Diese simplifizierten Lastprofile werden, mit der der Klimazone TRY 13 entsprechenden Anzahl von Tagen gewichtet (siehe Tabelle 4-2), zu einem Jahreslastprofil zusammengefasst.

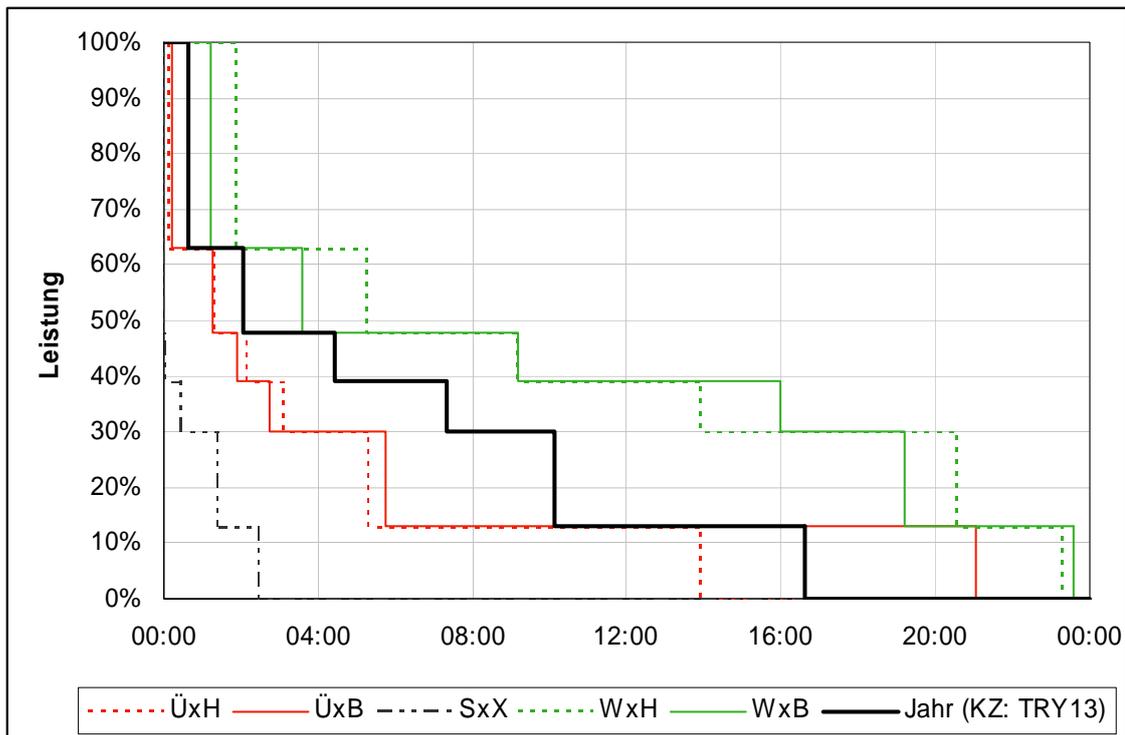


Abbildung 4-4: Lastprofile für die Typtage, auf Laststufen reduziert und sortiert

Jahr ... Jahreslastprofil für eine Klimazone

KZ: TRY 13... Klimazone TRY 13 des deutschen Wetterdienstes

4.2.5 Reduktion auf einen 8-stündigen Referenzlastzyklus

Da die Versuchsdurchführung an den Prüfständen keine längeren Dauern erlaubt, muss der so ermittelte Tageszyklus noch auf 8 Stunden verkürzt werden. Dabei kann die 0%-Laststufe unberücksichtigt bleiben, da die Abkühlung und Stillstand nach Ablauf des Zyklus ohne großen Aufwand bestimmt werden können.

Jeder Lastwechsel im so erhaltenen 8-Stunden-Zyklus wird mit definierten Steigungen versehen, um einerseits Sprünge in der Wärmeabnahme zu vermeiden und andererseits die Feuerungen mit unterschiedlich raschen Lastwechseln zu beanspruchen. Das so ermittelte Jahresreferenzlastprofil ist in Abbildung 4-5 dargestellt, die Zahlenwerte sind in der dazugehörigen Tabelle 4-3 zu finden.

Jahresreferenzlastzyklus grafisch und tabellarisch

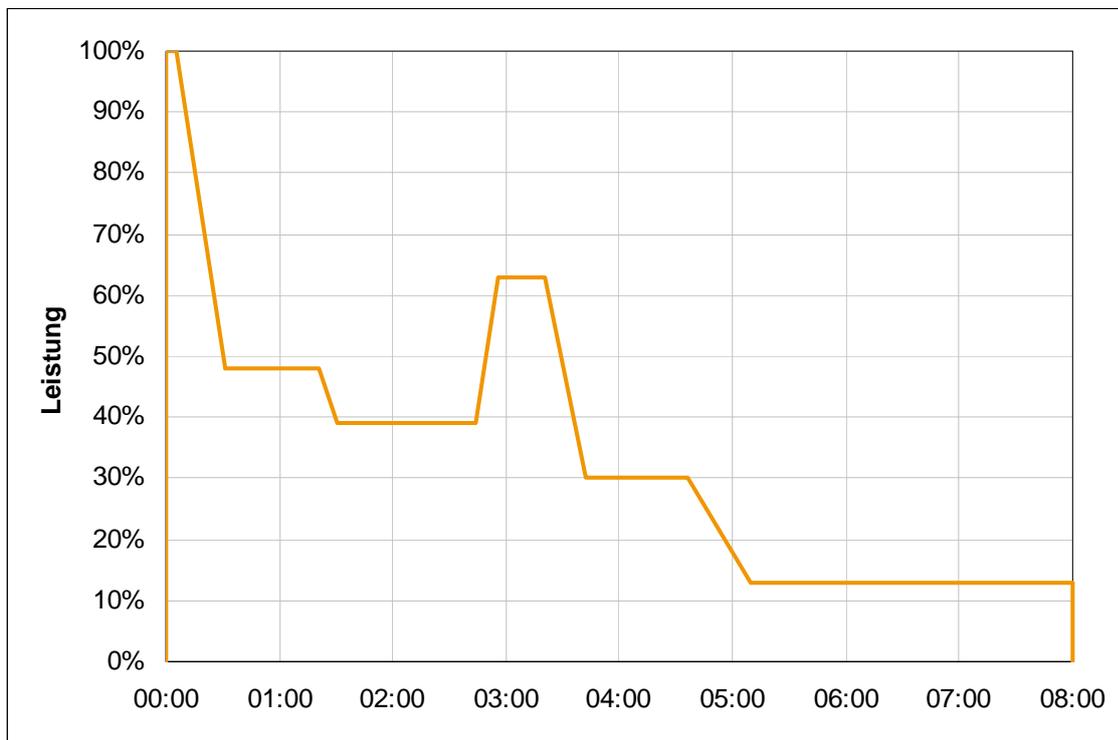


Abbildung 4-5: Jahresreferenzlastzyklus zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und -emissionsfaktoren

Daten in der folgenden Tabelle 4-3

P_K	0%	100%	48%	48%	39%	39%
Dauer	00:00:00	00:04:52	00:26:00	00:50:15	00:09:00	01:13:44
Zeit	00:00:00	00:04:52	00:30:52	01:21:07	01:30:07	02:43:51

PK	63%	63%	30%	30%	13%	13%	0%
Dauer	00:12:00	00:24:38	00:22:00	00:53:14	00:34:00	02:50:17	00:00:00
Zeit	02:55:51	03:20:29	03:42:29	04:35:43	04:09:43	08:00:00	08:00:00

Tabelle 4-3: Datentabelle zum Jahresreferenzlastzyklus für den Jahresnormnutzungsgrad, P_K ist die Kesselleistung in % der Nennleistung

4.3 Entwicklung des Versuchsaufbaus

Zur Messung bei instationären Bedingungen, wie es für die entwickelte Methode erforderlich ist, ist eine Adaption des Versuchsaufbaus hinsichtlich des Versuchsstands sowie der Messgeräte und -methoden erforderlich. Der technische Aufwand muss dabei möglichst begrenzt bleiben, um die praktische Anwendung der Methode zu ermöglichen. Zudem muss die Durchführung der heiztechnischen Prüfung nach EN 303-5 mit demselben Aufbau möglich sein.

Die Durchführung erster Praxistests zur Ermittlung und Erprobung einer geeigneten Versuchsanordnung wurde mittels einer handelsüblichen Unterschubfeuerung mit 25 kW Nenn-Wärmeleistung vorgenommen.

4.3.1 Material und Methoden

Zum Aufbau des **Versuchsstandes** zählen die Abgasmessstrecke, die Wärmeleistungsmessstrecke sowie die messtechnische Erfassung des Brennstoffverbrauches. Sie werden nachfolgend beschrieben:

Abgasmessstrecke

Die Messungen wurden auf dem Feuerungsprüfstand des Technologie- und Förderzentrums (TFZ) in Straubing durchgeführt. Den schematischen Aufbau der Messstrecke zeigt Abbildung 4-6.

Die gasförmigen Bestandteile der Verbrennungsrückstände werden im vertikalen Abgasweg entnommen und den Gasanalysatoren zugeführt. Das am Ende des Abgaswegs arbeitende Saugzuggebläse erzeugt im gesamten Abgasweg einen definierten Unterdruck.

Wärmeleistungsmessstrecke

Die Kessel werden wasserseitig an einen Kühlkreislauf angeschlossen, der die direkte Erfassung und Regelung der vom Kessel abgegebenen Nutzwärme ermöglicht. Die hydraulische Messstrecke entspricht EN 303-5 bzw. EN 304. Die Bestimmung der Wärmeleistung erfolgt über Differenztemperaturmessung zwischen Vor- und Rücklauf und konstanten Kesselwasserdurchfluss. Die Rücklauftemperatur wird zur Anpassung der Leistungsabnahme über ein 3-Wege-Mischventil geregelt.

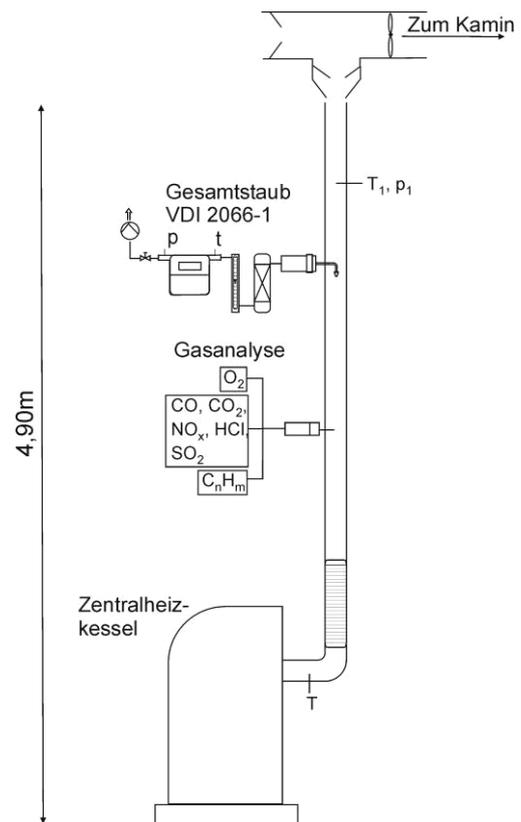


Abbildung 4-6: Aufbau der Abgasmessstrecke am TFZ

Brennstoffverbrauch

Zur Bestimmung des Brennstoffverbrauchs wird der komplette Kessel, oder der Vorratsbehälter für den Brennstoff, auf einer Plattformwaage aufgestellt. Damit kann der Gewichtsverlust kontinuierlich aufgezeichnet und damit der Brennstoffdurchsatz bestimmt werden.

4.3.2 Standardisierte Mess- und Analyseverfahren

Im Rahmen des Messprogramms werden folgende Parameter und Messgrößen erfasst:

Luftverunreinigende Stoffe im Abgas	Betriebsparameter der Feuerungsanlage
Kohlenmonoxid (CO)	Sauerstoff (O ₂)
flüchtige organische Stoffe (Org. C)	Kohlendioxid (CO ₂)
Stickstoffoxide (NO _x)	Abgasfeuchte (H ₂ O)
Schwefeldioxid (SO ₂)	Wärmeleistung und feuerungstechnischer Wirkungsgrad
	Abgastemperaturen, Vor- und Rücklauftemperaturen, Raum- bzw. Verbrennungslufttemperatur
	Brennstoffdurchsatz
	Förderdruck sowie dynamischer Druck am Prandtl-Staurohr
	Elektrische Hilfsenergie

Tabelle 4-4: Parameter und Messgrößen

Die Erfassung aller Messgrößen erfolgt kontinuierlich. Die angewandten Messmethoden entsprechen standardisierten Verfahren. Alle Messdaten werden erfasst, im Sekundentakt aufgezeichnet und als Minuten-Mittelwerte gespeichert. Die Gasgeschwindigkeit wird für jedes Intervall aus Minutenmittelwerten des dynamischen Drucks, der Abgaszusammensetzung und der Abgastemperatur berechnet.

4.3.3 Messverfahren zur Bestimmung des Volumenstroms

Für die Durchführung einer Lastverlaufsmessung am Feuerungsprüfstand sind aufgrund der vorliegenden Fragestellungen (Emissionsfaktoren) gravierende Abweichungen von der in der EN 303-5 üblichen Vorgehensweise bei der Datenerfassung und Auswertung erforderlich. Dabei ist es in Prüfstandsmessungen üblich, dass die aufgrund veränderlicher Leistungen (z.B. bei Scheitholzfeuerungen im Naturzug) eintretenden Volumenstromänderungen bei der Mittelwertbildung der Abgaskonzentrationen in der Auswertung eines Verbrennungszyklus unberücksichtigt bleiben. Das heißt, dass bislang keine Gewichtung der Messwerte nach den tatsächlichen Abgasvolumenströmen erfolgt. Die Schadstoffkonzentrationen bei kleinen Abgasvolumenströmen werden somit stets mit dem gleichen Gewichtungsfaktor berücksichtigt, wie die Konzentra-

tionen bei großen Abgasvolumina (z. B. Vollastbetrieb), obgleich es sich hierbei um sehr unterschiedliche Schadstofffrachten (Schadstoffmasse pro Zeiteinheit) handeln kann.

Für die Bestimmung von Emissionsfaktoren sollte daher im hier geplanten Standardversuchsablauf eine direkte Bestimmung der Abgasvolumenströme erfolgen, wodurch die Phasen mit geringen Abgasgeschwindigkeiten entsprechend ihrer jeweiligen Abgasbildung in die Berechnungen eingehen können. Um dies zu erreichen mussten neue Messsensoren für den Prüfstandsbetrieb beschafft und erprobt werden. Dazu wurde zunächst eine intensive Recherche nach geeigneten Messverfahren und Messgeräten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Recherche sind nachfolgend beschrieben und in Tabelle 4-5 zusammengefasst.

Prinzip/Messgerät	Messprinzip	Vorteile	Nachteile
<p>Flügelrad- Strömungssensor</p>  <p>Höntzsch Flügelrad- Strömungssensor FA, Preis: ca. 4000 €</p>	<p>Das Flügelrad nimmt eine der Strömungsgeschwindigkeit proportionale Drehzahl an, welche durch einen Näherungsinitiator berührungslos abgetastet wird</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ hohe Temperaturbeständigkeit (bis zu 500°C) ■ messbarer Volumenstrom ab 2,6 m³/h (bei d = 50 mm) ■ hohe Messdynamik (0,4 - 20 m/s) ■ problemloser Ein- und Ausbau während der Messung ■ geringe Messunsicherheit: 1,5% v. MW +0,1 m/s 	<ul style="list-style-type: none"> ■ keine direkte Messung des Abgasvolumenstroms ■ mögliche Beeinflussung des Messwertes durch Partikelablagerungen am Flügelrad ■ mechanischer Verschleiß von Flügelrad und Lager ■ Reduzierung des Abgasrohres bei geringen Volumenströmen notwendig
<p>Vortex- Strömungssensor</p>  <p>Höntzsch Vortex- Strömungssensor VA, Preis: ca. 3000 €</p>	<p>Ablösung von Wirbeln durch ein in die Strömung eingesetztes Hindernis. Die Wirbelfrequenz wird mit Ultraschall bestimmt und ist ein Maß für die Geschwindigkeit.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ keine Beeinträchtigung der Messung durch Staub ■ hohe Messdynamik (0,5 - 40 m/s) ■ problemloser Ein- und Ausbau während der Messung ■ kein Verschleiß von beweglichen Teile ■ geringe Messunsicherheit: 1% v. MW + 0,03 m/s 	<ul style="list-style-type: none"> ■ geringe Temperaturbeständigkeit (180°C) ■ messbarer Volumenstrom ab 6,5 m³/h (bei d = 80 mm) ■ keine direkte Messung des Abgasvolumenstroms ■ Reduzierung des Abgasrohres bei geringen Volumenströmen notwendig

Tabelle 4-5: Mögliche Messprinzipien und Versuchsanstellungen zur direkten Bestimmung der Abgasgeschwindigkeit bzw. des Abgasvolumenstroms von Feuerungsanlagen (ohne Staurohrprinzip)

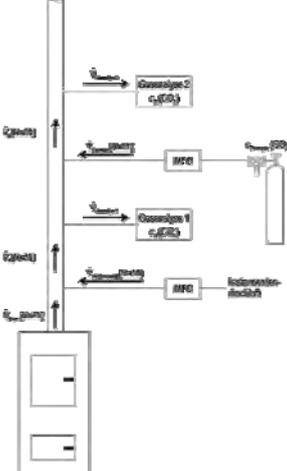
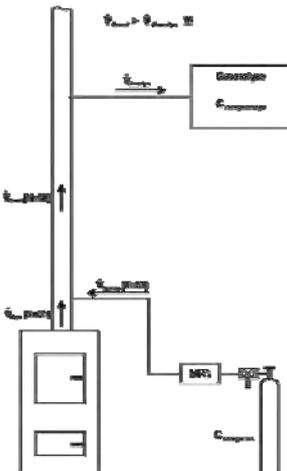
Prinzip/Messgerät	Messprinzip	Vorteile	Nachteile
CO ₂ -Tracergas mit zwei CO ₂ -Messstellen 	Dem Abgas wird eine definierte Menge CO ₂ zugegeben. Über die Änderung des CO ₂ -Gehalts kann der Abgasvolumenstrom berechnet werden.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bestimmung des mittleren Abgasvolumenstromes ■ keine Beeinträchtigung der Messung durch Staub ■ Volumenstrommessung theoretisch ab 0 m³/h ■ kein Druckverlust 	<ul style="list-style-type: none"> ■ sehr hohe Messunsicherheit ■ vollständige Durchmischung ist nicht geklärt ■ hohe Kosten (Tracergasmenge 0,5 m³/h, zusätzliches CO₂-Messgerät) ■ zeitlicher Versatz der Messwerte ■ Methode muss noch verifiziert werden
Fluorhaltige Tracergase (z.B. SF ₆ , C ₄ F ₈) 	Dem Abgas wird ein Tracergas zugegeben welches bei Verbrennungen nicht entsteht. Über die gemessene Konzentration wird der Volumenstrom bestimmt.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bestimmung des mittleren Abgasvolumenstromes ■ keine Beeinträchtigung der Messung durch Staub ■ Volumenstrommessung theoretisch ab 0 m³/h ■ kein Druckverlust ■ sehr leichte Detektierbarkeit mit IR-Messgeräten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ thermische Stabilität des Tracergases nicht geklärt ■ vollständige Durchmischung nicht geklärt ■ Treibhauspotential SF₆: 22.800 C₄F₈: 8.700 ■ hohe Kosten durch zusätzliches Gasanalysegerät ■ zeitlicher Versatz der Messwerte ■ Methode muss noch verifiziert werden

Tabelle 4-5: Mögliche Messprinzipien und Versuchsanstellungen zur direkten Bestimmung der Abgasgeschwindigkeit bzw. des Abgasvolumenstroms von Feuerungsanlagen (ohne Staurohrprinzip)

Die CO₂-Tracer-Methode hätte eine eigene technische Entwicklung des Messverfahrens erforderlich gemacht, und es konnten keine Herstellerangaben zur Messunsicherheit herangezogen werden. Deshalb wurde hierzu eine Fehlerrechnung zur Beurteilung der Messunsicherheit für verschiedene Messbereiche (d. h. Abgasvolumenströme) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sowie die dazu getroffenen Annahmen zeigt Abbildung 4-7. Demnach ist gerade im sehr kleinen Leistungsbereich einer Feuerung bei geringen Abgasvolumenströmen (z. B. Anheizphase) mit erheblichen Messunsicherheiten zu rechnen, wobei jedoch eine paarweise

Kalibrierung der benötigten CO₂-Messgeräte deutliche Vorteile gegenüber der Verwendung zweier unabhängiger CO₂-Messgeräte bewirken würde. Generell liegt die beste erreichbare Messunsicherheit mit diesem Verfahren bei ca. 10%. Von Nachteil ist außerdem, dass ein zusätzliches CO₂-Messgerät erforderlich wäre und mit erheblichen Betriebskosten durch den CO₂-Verbrauch zu rechnen ist (vgl. Tabelle 4-5).

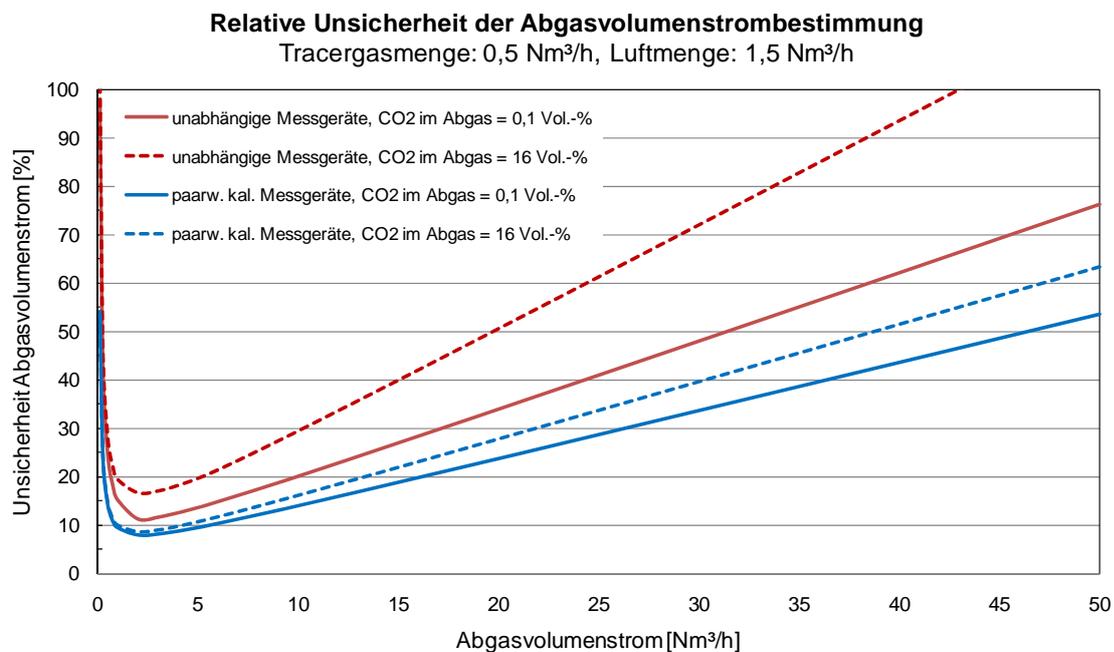


Abbildung 4-7: Relative Unsicherheit der Abgasvolumenstrombestimmung bei der CO₂-Tracer-Methode (Tracergasmenge: 0,5 Nm³/h, Luftmenge 1,5 Nm³/h)

Ähnliches gilt auch für die Verwendung von Schwefel-Hexafluorid (SF₆) als Tracer. Allerdings ließe sich damit die Messunsicherheit auf Werte bis unter 5% deutlich verringern (Abbildung 4-8). Nachteilig sind hier aber die hohen Betriebskosten und die hohe Treibhauswirkung der eingesetzten Tracergase, deren thermische Stabilität bei höheren Abgastemperaturen ebenfalls noch unklar ist.

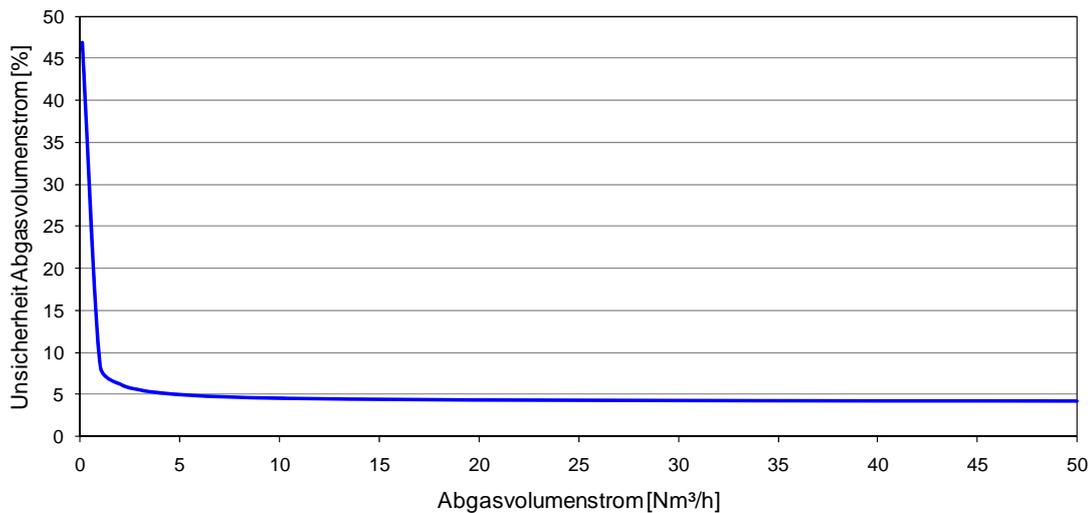


Abbildung 4-8: Relative Unsicherheit der Abgasvolumenstrombestimmung bei der Verwendung von Schwefel-Hexafluorid (SF_6) als Tracer (Tracergasmenge: 10 NI/h, Luftmenge 1 Nm^3/h , Konzentration 0-10.000 ppm)

Auf Basis der in Tabelle 4-5 vorgestellten Recherche und der Berechnung der Messunsicherheiten wurden ein Flügelrad-Strömungssensor sowie ein Vortex-Strömungssensor beschafft, um die jeweils am besten geeigneten Einsatzbereiche flexibel abdecken zu können. Für die Verwendung in Abgasmessstrecken mit definiertem Rohrdurchmesser und mit z. T. querschnittsverengende Sensoreinbauten ist allerdings noch eine eigene Kalibrierung erforderlich. Die hierzu ebenfalls erforderliche Kalibriertechnik (Gasuhr für hohen Durchsatz) wurde am TFZ beschafft. Die Kalibrierung erfolgte mit kalter Reinluft. In Vorversuchen konnte bereits eine gute Übereinstimmung der beiden Messverfahren im heißen Abgasstrom festgestellt werden. Um eine ausreichende Messgenauigkeit auch bei kleinen Volumenströmen zu erreichen, wurde die Abgasmessstrecke im relevanten Abschnitt für die Volumenstrombestimmung auf einen effektiven Rohrdurchmesser von 80 mm verjüngt. Die Kalibrierung erfolgte mit einem Drehkolbengaszähler und ist in Abbildung 4-9 dargestellt. Zur Umrechnung des angezeigten Messwertes in die tatsächliche mittlere Gasgeschwindigkeit im Querschnitt des Abgasrohres wird der Messwert mit dem Profilkfaktor multipliziert.

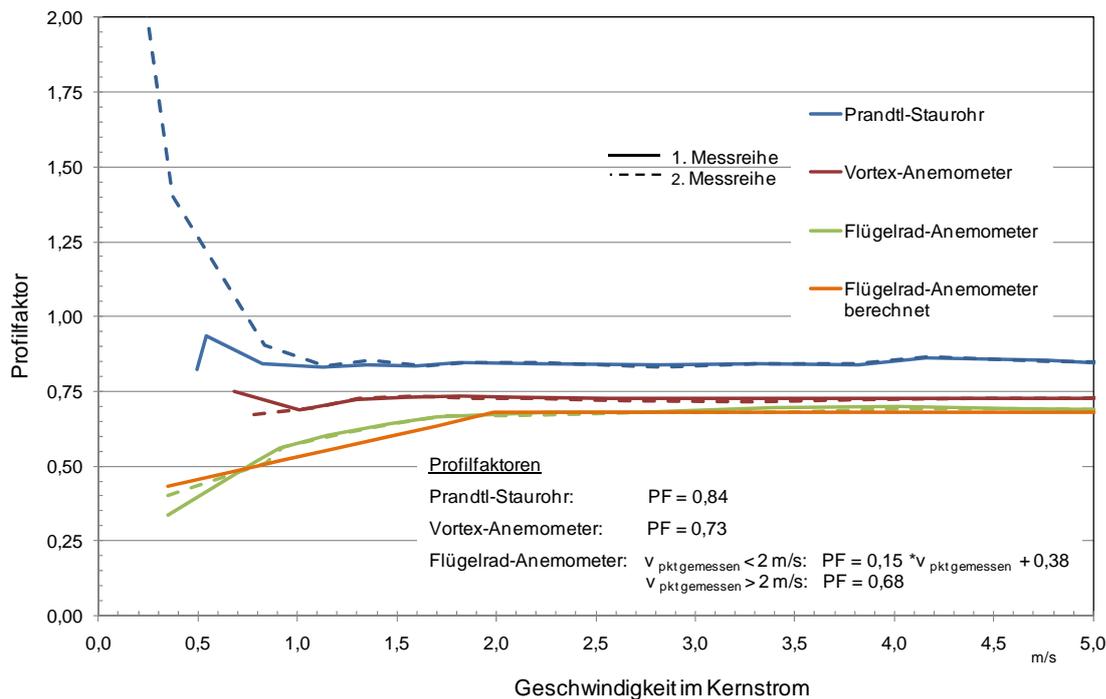


Abbildung 4-9: Kalibrierkurven (Profilfaktoren) für Flügelrad-Strömungssensor sowie Vortex-Strömungssensor mit Hilfe eines Drehkolbengaszählers (RMG 132-A) in einem Abgasrohr mit $\varnothing = 80,9 \text{ mm}$; Medium: Luft mit $T = 25^\circ\text{C}$

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen zu den verschiedenen Methoden der Geschwindigkeitsmessung im heißen Abgas sind in Abbildung 4-10 dargestellt. Hierzu wurde ein Pelletskessel mit einer Nennwärmeleistung von 25 kW und einer Regelung mit dreistufiger diskreter Leistungsanpassung (100% Leistung, 50% Leistung, 30% Leistung) bei einer variablen Leistungsentnahme von 5 bis 12 kW (grüne Kurve in Abbildung 4-10) betrieben. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Feuerungsanlage bei einer Leistungsabnahme von weniger als 10 kW in den Taktbetrieb wechselt und die Brennstoffzufuhr in Abständen von 20 bis 30 Minuten für einige Minuten eingeschaltet wird. In der Phase einer Leistungsabnahme von mehr als 10 kW (ca. Minute 210 bis Minute 260) kann die Regelung der Feuerungsanlage die Brennstoffzufuhr der entnommenen Leistung kontinuierlich anpassen und es kommt nicht zu einem längeren Abschalten der Feuerungsanlage (rote Kurve in Abbildung 4-10). Zusätzlich zu Kesselleistung und Feuerungsleistung sind in Abbildung 4-10 die mittleren normierten Abgasgeschwindigkeiten (berechnet bei einem Druck von 1013 mbar und einer Temperatur von 273 Kelvin) von Prandtl-Staurohr, Vortex-Strömungssensor und Flügelrad-Strömungssensor dargestellt. Hier ist eine gute Übereinstimmung der unterschiedlichen Messgeräte zu erkennen.

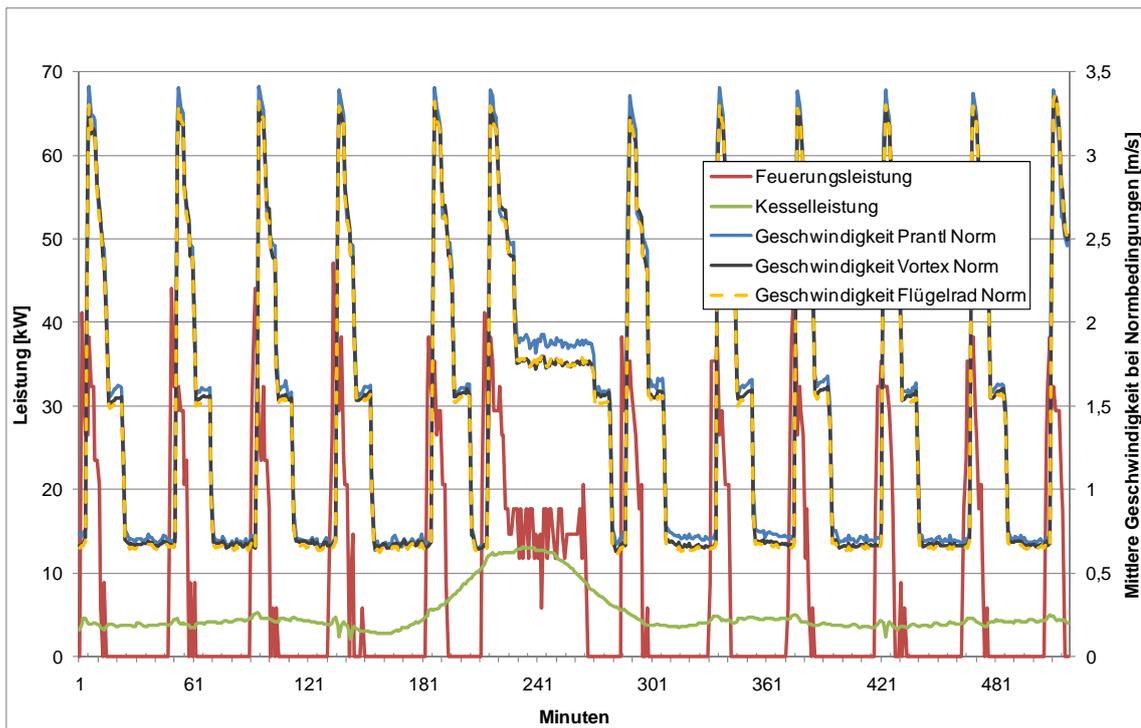
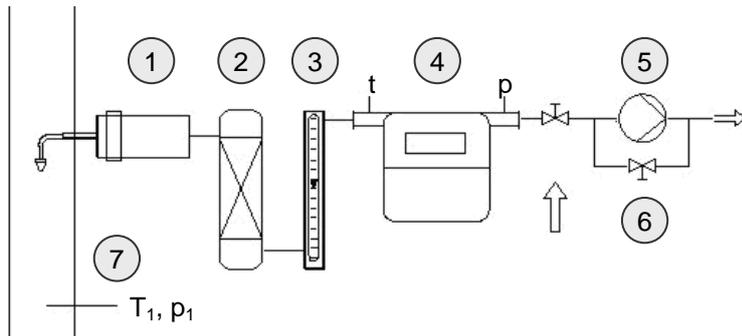


Abbildung 4-10: Feuerungsleistung, Kesselleistung und Abgasgeschwindigkeit unter Normbedingungen eines 25 kW Pelletskessels bei einer entnommenen Leistung von 5 bis 12 kW

4.3.4 Kontinuierliche Messung der Staubemissionen

Nach EN 303-5 erfolgt bei der Typenprüfung die Bestimmung der Gesamtstaubemission nach der gravimetrischen Methode in Anlehnung an das in VDI 2066-1 beschriebene Messverfahren. Bei dieser Probenahme wird ein staubeladener Teilgasstrom unter isokinetischen Bedingungen entnommen und einem Rückhaltesystem zur Staubabscheidung zugeführt. Als Abscheidemedium wird eine mit Quarzfaserwatte gestopfte Filterhülse und nachgeschaltet im selben Filterkopfgerät ein Glasfaserplanfilter (Retention 99,998% gemäß DOP (0,3 µm), Durchmesser 45 mm) eingesetzt. Das Filterkopfgerät ist außerhalb des Abgaskanals angeordnet. Das Absaugrohr und das Rückhaltesystem werden mit einer Heizmanschette beheizt, um eine Unterschreitung des Abgastempunktes im Filtersystem zu vermeiden. Nach dem Filterkopfgerät gelangt das Messgas in die Absaugapparatur. Diese besteht aus einer Einheit zur Gastrocknung, den Geräten zur Ermittlung des Volumenstroms sowie des Gaszustandes (Druck und Temperatur), und einer Saugpumpe. Der für die isokinetische Probenahme erforderliche Volumenstrom wird beispielsweise mit Hilfe eines Schwebekörper-Durchflussmessgerätes festgestellt und durch ein Nadelventil am Bypass der Pumpe eingestellt (siehe Abbildung 4-11). In EN 303-5 sind für die Gesamtstaubprobenahme mindestens 4 Messungen über die Dauer von jeweils 30 Minuten vorgegeben.



- | | |
|----------------------------------|--|
| 1 Filterkopfgerät | 5 Absaugpumpe |
| 2 Trockenturm | 6 Regelbypass |
| 3 Schwebekörper-Durchflussmesser | 7 Prantl-Staurohr und Temperaturfühler |
| 4 Gasmengenzähler | |

Abbildung 4-11: Gravimetrische Gesamtstaubmessung
nach VDI 2066

Auf dem Versuchsstand des TFZ erfolgt bei Forschungsarbeiten abweichend von EN 303-5 eine Anpassung der Gesamtstaubprobenahme an die jeweilige Versuchsvariante und die zu erwartende Staubemission. Außerplanmäßig abgebrochen wird die Staubbemessung, wenn die Filterbeladung so groß wird, dass die Leistungsgrenze der Absaugpumpe erreicht wird. Die Staubmasse wird nach Konditionierung der Filter gravimetrisch bestimmt. Dazu werden die Filter unbeladen und beladen mit einer Präzisionswaage gewogen. Die Gesamtstaubprobenahme nach VDI 2066 ist eine diskontinuierliche Messung und gibt als Ergebnis eine mittlere Staubemission über den jeweiligen Absaugzeitraum wieder. Der Absaugzeitraum ist begrenzt durch die Leistungsfähigkeit der Absaugpumpe und die Stabilität des verwendeten Filtermaterials. Aufgrund der zunehmenden Filterbeladung steigt der Unterdruck in der Gasuhr, der durch die Pumpe zur Einhaltung des nötigen Absaugvolumenstromes überwunden werden muss.

Zur Bestimmung des Jahresnormemissionsfaktors für Staub ist aber eine durchgängige Messung der Staubemissionen über den Prüfzeitraum von 8 Stunden und darüber hinaus noch über die Startphase und über die Abkühlphase notwendig. Um dieses Problem zu lösen, wurden zunächst zwei Möglichkeiten in Betracht gezogen. Zum einen ist es möglich, eine Messdauer von 8 und mehr Stunden durch ein entsprechend großes Filtermedium zu realisieren. Die Belastbarkeit des Filtermediums muss dabei so groß sein, dass die Staubbemessung nicht an die Beladungsgrenze der Staubfilter stößt. Zum Anderen können zwei Staubbemessungen parallel aufgebaut und alternierend betrieben werden, d.h. wird bei einer Messeinrichtung die Beladungsgrenze für den Staubfilter erreicht, schaltet das System automatisch auf die zweite Messeinrichtung um, so dass in der ersten Messeinrichtung der beladene gegen einen unbeladenen Filter für die nächste Teilphasenmessung ausgetauscht werden kann.

Da eine Staubprobenahme mit großen Filtermedien nicht mit den bereits am TFZ vorhandenen Staubabsaugeinrichtungen und Filterhaltern realisierbar war, entschloss man sich für zwei pa-

parallel aufgebaute Staubmesseinrichtungen im alternierenden Betrieb. Der Aufbau ist schematisch in Abbildung 4-12 dargestellt.

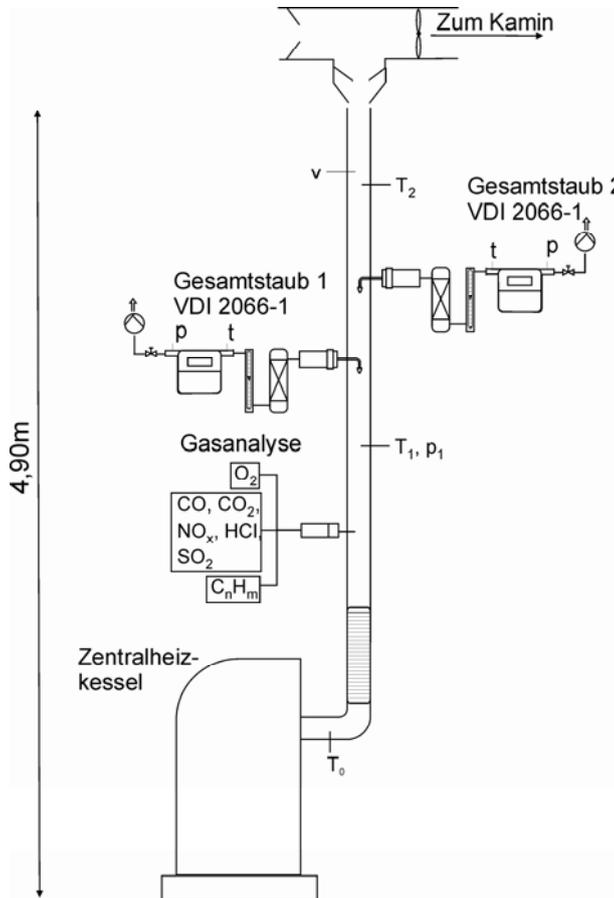


Abbildung 4-12: Schematische Darstellung des Aufbaus zur durchgängigen Messung der Staubemissionen über einen Zeitraum von mehr als 8 Stunden

Der Aufbau der Messstrecke entspricht im Wesentlichen der Beschreibung der Messstrecke in Kapitel 4.5.1.2 und den darin angegebenen Abständen und Beruhigungsstrecken. Abweichend von der beschriebenen Messstrecke befindet sich hier jedoch das Flügelrad-Anemometer zur Bestimmung der mittleren Abgasgeschwindigkeit über den Querschnitt des Abgasrohres im oberen Teil der Messstrecke.

Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass eine längere Einlaufstrecke für das Flügelrad realisiert werden konnte. Zudem wurde das Abgasrohr im Bereich des Flügelrades nicht isoliert, wodurch die Abgastemperatur hier stärker abgesenkt wird. Diese Abkühlung erhöht die Lebensdauer des empfindlichen Messgerätes. Die Verringerung des Abgasvolumenstromes durch die Staubabsaugung vor der Geschwindigkeitsmessstelle wurde bei der Bestimmung der Abgasgeschwindigkeit rechnerisch berücksichtigt.

Die isokinetische Staubprobenahme am TFZ war bisher entsprechend dem Schema in Abbildung 4-11 aufgebaut. Der abgesaugte Abgasvolumenstrom wurde am Schwebekörperdurchflussmesser abgelesen und gegebenenfalls per Hand über das Bypassventil der Pumpe nachgeregelt. Bei jedem Regelvorgang wurden Druck und Temperatur an der Gasuhr per Hand in eine Tabelle eingetragen.

Da diese manuelle Datenaufzeichnung sehr fehleranfällig und zudem bei einer Messung über mehr als 8 Stunden mit hohem Personalaufwand verbunden ist, wurde eine automatische Isokinetikregelung entwickelt.

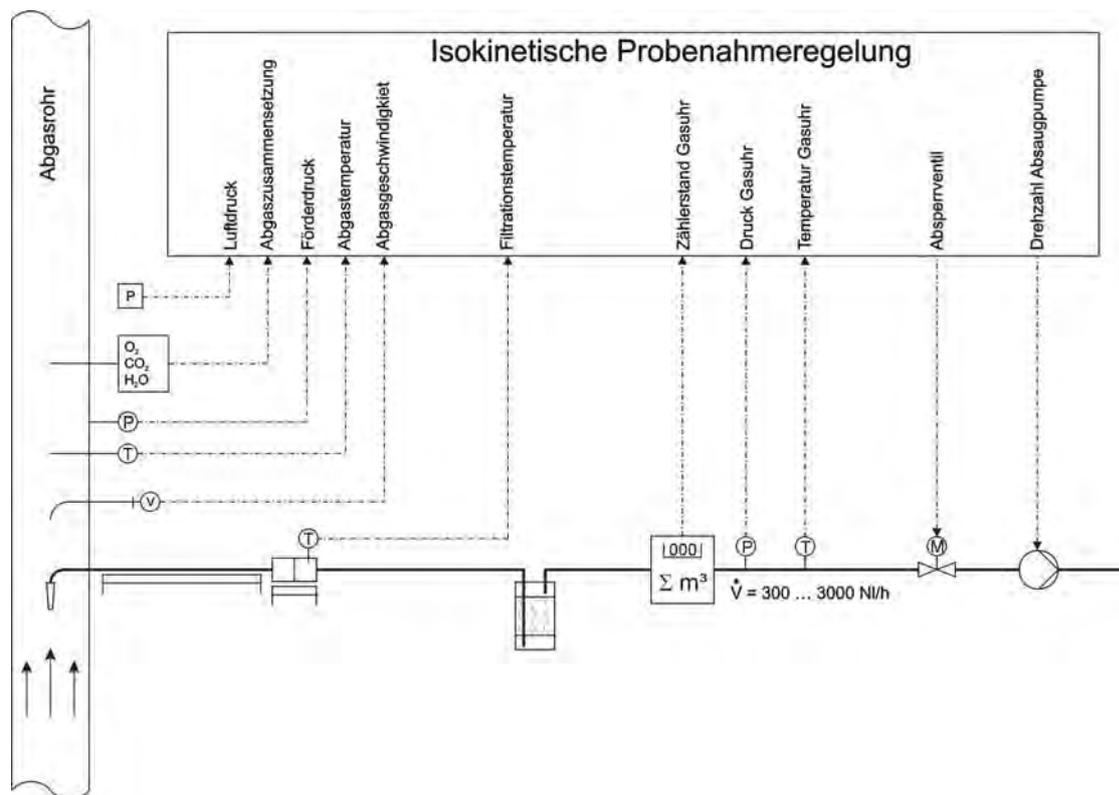


Abbildung 4-13: Schema der automatisierten isokinetischen Staubprobenahmeeinrichtung

Zur Automatisierung der isokinetischen Staubprobenahme war zunächst die Erstellung eines Regelkonzeptes notwendig. Dies ist in Abbildung 4-13 dargestellt. Regelgrößen sind dabei die Abgaszusammensetzung, der Luftdruck der Umgebung, der Förderdruck im Abgasrohr, Abgastemperatur und -geschwindigkeit, Temperatur im Filterhalter, Zählerstand der Gasuhr sowie Druck und Temperatur an der Gasuhr. Geregelt werden die Stellung des Absperrventils und die Drehzahl der Absaugpumpe.

Aus dem Arbeitsbereich der Gasuhr (300 Normliter/h bis 3.000 Normliter/h) und dem regelbaren Drehzahlbereich der Absaugpumpe inklusive einer unteren und oberen Sicherheitsreserve ergibt sich für die automatisierte Staubprobenahme ein minimaler Gasvolumenstrom von

0,4 Nm³/h und ein maximaler Gasvolumenstrom von 2,2 Nm³/h. Die Anpassung an die minimale und maximale Gasgeschwindigkeit im Abgas erfolgt durch eine geeignete Wahl des Düsendurchmessers der Probenahmesonde.

Zum Aufbau dieses Systems mussten zu den bereits vorhandenen Komponenten zusätzlich eine Gasuhr zur Volumenstrommessung, ein Temperatursensor und ein Drucksensor mit elektronisch erfassbarem Ausgangssignal sowie ein elektronisch regelbares Absperrventil und eine Pumpe mit elektronischer Drehzahlregelung beschafft und in das System integriert werden.

Die Software zur Steuerung der automatischen Staubprobenahme wurde am TFZ entwickelt. Sie erlaubt es, zwei Staubmesseinrichtungen parallel aufzubauen und alternierend zu betreiben, d.h. wird bei einer Messeinrichtung die vordefinierte Beladungsgrenze für den Staubfilter erreicht, schaltet das System automatisch auf die zweite Messeinrichtung um, so dass in der ersten Messeinrichtung der beladene gegen einen unbeladenen Filter für die nächste Teilphasenmessung ausgetauscht werden kann.

4.4 Überprüfung der Versuchsmethode

Im Zuge des Aufbaus des Versuchsstands wurde die Versuchsmethode auf ihre Eignung überprüft. Einige der dazu durchgeführten Untersuchungen sind in der Folge dargestellt.

4.4.1 Auswertung von Messdaten

In einem ersten Auswertungsschritt wurden die **Abgaskenngrößen** Luftverhältniszahl, Normdichte, Normvolumenstrom und Massenstrom als Minutenmittelwerte aus den Messwerten berechnet. Anschließend wurden Mittelwerte der berechneten und gemessenen Werte über die Dauer der Staubprobenahme gebildet. Sämtliche erfassten Emissionen wurden als Massenkonzentrationen (mg/Nm^3 bei Bezugszustand 13% O_2) ausgewiesen. C_nH_m -Emissionen werden als organisch gebundener Kohlenstoff bezogen auf feuchtes Abgas, NO_x -Emissionen als NO_2 und Schwefeloxidemissionen als SO_2 angegeben. Eine grafische Darstellung ist in Abbildung 4-14 zu sehen.

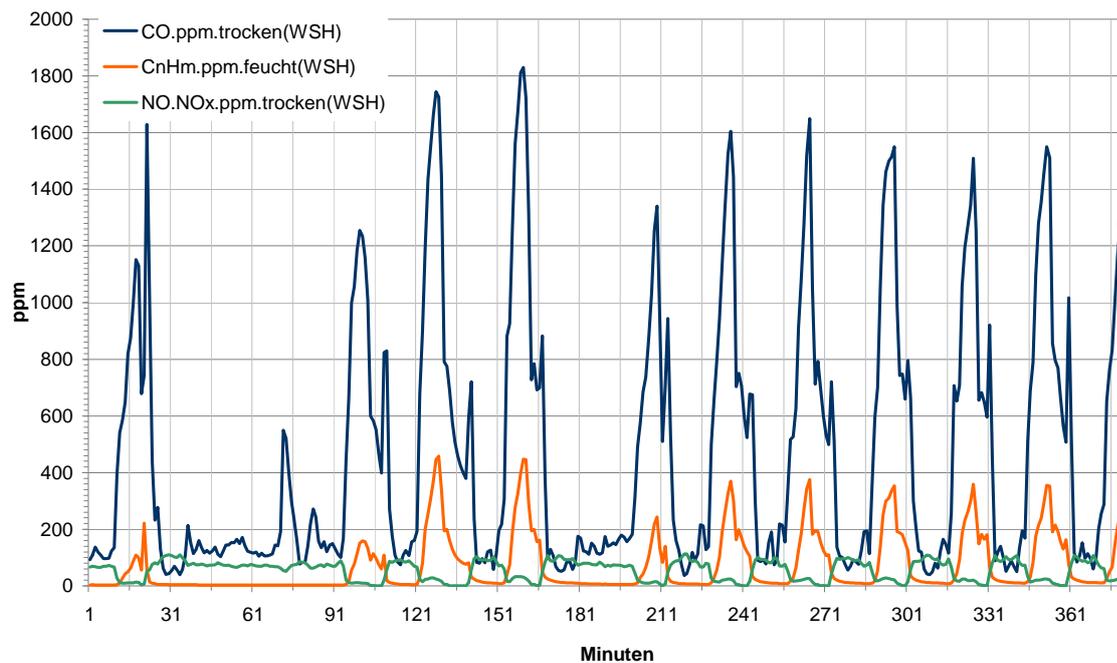


Abbildung 4-14: Verlauf einiger Emissionen beim Nachfahren der Leistungskurve für den Typtag WSH (entsprechend VDI 4655, Winter, Sonntag, heiter), gemessen an einem 25 kW Pelletskessel

Mittels Brennstoffmassenstrom, Brennstoffzusammensetzung und Momentanwerten der Abgaskenngrößen, Temperaturen und Kühlwasserdurchsatz erfolgte die Berechnung der **Wärmeleistung** und des feuerungstechnischen **Wirkungsgrads**. Dazu wurden der Kühlwasservolumenstrom, dessen Temperatur im Kesseleingang und die Vorlauftemperatur kontinuierlich erfasst, sowie der Brennstoffverbrauch bestimmt. Die Mittelwertbildung der Momentanwerte wurde über die Dauer der Probenahme durchgeführt.

In den Auswertungen wurden die vom **Brennstoff** ermittelten Elementaranalysen, die Werte für den Wasser- und Aschegehalt, sowie der Heizwert berücksichtigt. Außerdem wird der Bedarf an **elektrischer Hilfsenergie** über einen Energiemonitor kontinuierlich erfasst und aufgezeichnet.

Das Projektkonsortium entschied, die PM10 Messung im Rahmen der Methode nicht umzusetzen, da der zusätzliche Aufwand für eine Messung von PM10 nicht in Relation zum Erkenntnisgewinn steht. Partikelförmige Emissionen werden im Zuge der Gesamtstaubmessung bestimmt, die für die betrachteten Anlagen sehr gut mit PM10 korreliert (PM10-Emissionen von Kleinverbrauchern können laut Umweltbundesamt für längere Mittelungszeiträume mit 90% des Gesamtstaubs angenommen werden [UBA 2006]).

4.4.2 Lastverlauf über 24 Stunden

Es wurden in 2 Versuchsreihen über jeweils 24 Stunden definierte Lastprofile nachgefahren. Die betrachteten Lastprofile waren Referenzlastprofile nach [VDI 4655]. Es handelte sich um ein Lastprofil für einen heiteren Sonntag im Winter (WSH) und für einen bewölkten Werktag in der Übergangszeit (ÜWB). Der Lastverlauf für den Typ WSH ist in Abbildung 4-15 dargestellt.

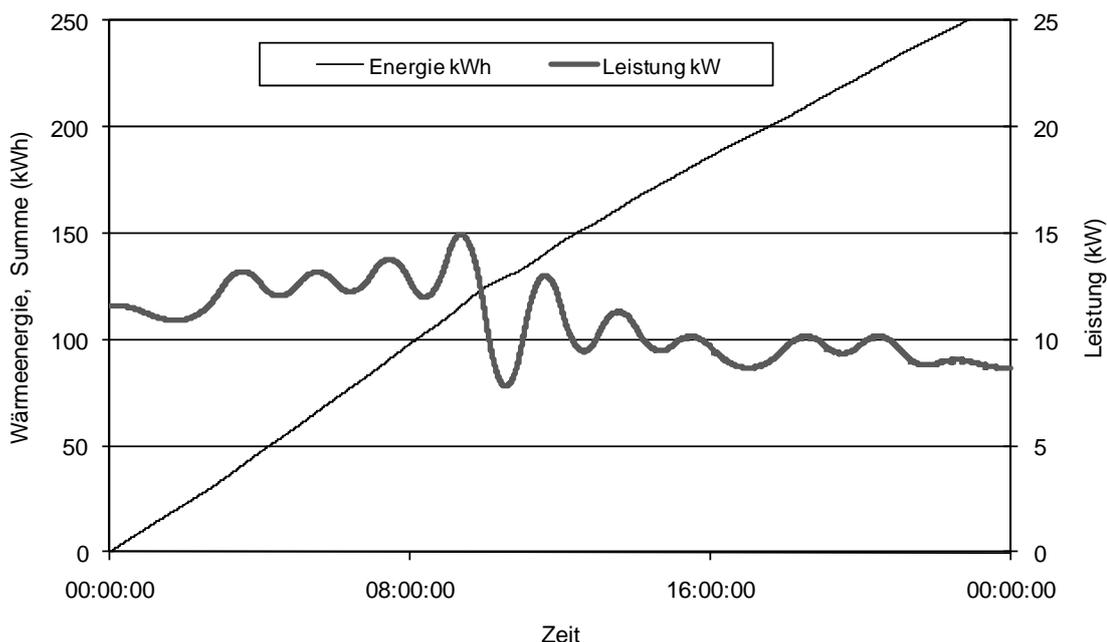


Abbildung 4-15: Lastverlauf für den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter) nach VDI 4655

Bei den ersten Auswertungen der Lastverlaufsmessungen wurde zunächst folgendermaßen vorgegangen: In einem ersten Auswertungsschritt wurden die Abgaskenngrößen Luftverhältniszahl, Normdichte, Normvolumenstrom und Massenstrom als Minutenmittelwerte aus den Messwerten berechnet. Anschließend wurden Mittelwerte der berechneten und gemessenen Werte über die Dauer der Staubprobenahme gebildet. Sämtliche erfassten Emissionen wurden als Massenströme (in [g/h]) und als Massenkonzentrationen bezogen auf die zugeführte Brenn-

stoffenergie (in [mg/MJ]) ausgewiesen. C_nH_m-Emissionen werden als organisch gebundener Kohlenstoff (Gesamt-C) und Stickoxidemissionen als NO₂ angegeben.

Mit der Brennstoffzusammensetzung und den Momentanwerten der Abgaskenngrößen, Temperaturen und Kühlwasserdurchsatz erfolgt die Berechnung der Kessel- und Feuerungswärmeleistung und des feuerungstechnischen Wirkungsgrads. Dazu wurden der Kühlwasservolumenstrom, dessen Temperatur im Kesseleingang und die Vorlauftemperatur kontinuierlich erfasst sowie der Brennstoffverbrauch bestimmt. Die Mittelwertbildung der Momentanwerte wurde über die Dauer der Probenahme durchgeführt.

Typtag			ÜWB 24h	WSH 24h
Massenkonzentrationen	Kohlenmonoxid	[mg/MJ]	399	223
	org. geb. Kohlenstoff	[mg/MJ]	103	39
	Stickstoffoxide als NO ₂	[mg/MJ]	164	112
	Schwefeldioxid	[mg/MJ]	80	48
	Staub	[mg/MJ]	38	24
Massenströme	Kohlenmonoxid	[g/h]	10,3	10,5
	org. geb. Kohlenstoff	[g/h]	2,7	1,9
	Stickstoffoxide als NO ₂	[g/h]	4,2	5,3
	Schwefeldioxid	[g/h]	2,1	2,2
	Staub	[g/h]	1,0	1,1
Wärmeleistung und Wirkungsgrad	Feuerungsleistung	[kW]	7,2	13,0
	Kesselleistung	[kW]	5,4	11,0
	Auslastung des Kessels	[%]	21,4	43,8
	Kesselwirkungsgrad	[%]	74,9	84,2

Tabelle 4-6: Massenkonzentrationen, Massenströme bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie und Wirkungsgrad eines 25 kW Pelletskessels für den Typtag ÜWB (Übergangszeit/Werktag/Bewölkt) und den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter)

Neben der tabellarischen Ausgabe in Tabelle 4-6 erfolgte eine grafische Darstellung (vgl. Abbildung 4-16). Der dargestellte Verlauf der Schadstoffemissionen lässt auf stark diskontinuierliche Verbrennungsbedingungen schließen. Tatsächlich kommen derartige Verlaufskurven vor allem durch stark intermittierenden Betrieb der Feuerung zustande.

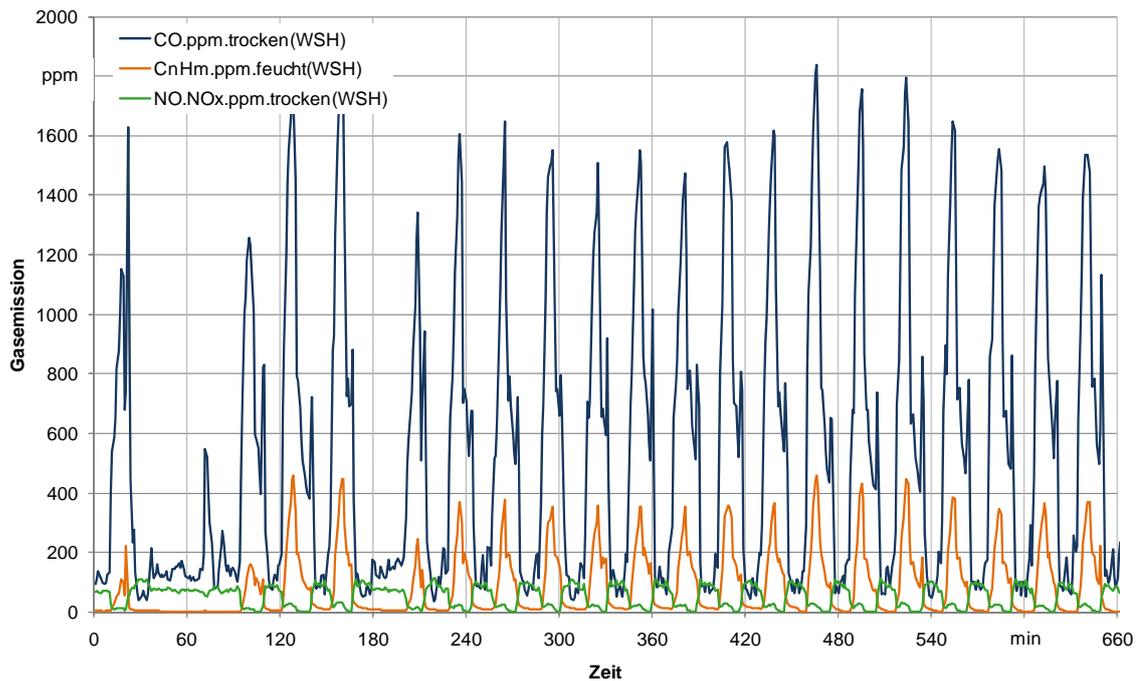


Abbildung 4-16: Verlauf einiger Emissionsparameter beim Nachfahren der Leistungskurve für den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter) über 24 Stunden. Hier dargestellt sind die ersten 11 Stunden

Solche durch den Taktbetrieb verursachte Betriebsschwankungen zeigt Abbildung 4-17. Während die Kesselleistung (rote Kurve, unten) der Lastabnahme weitgehend folgt, kann die dabei anfallende Teillastwärmebereitstellung vom Kessel nur durch einen geregelten Ein/Aus-Betrieb erreicht werden. Dieser Ein/Aus-Betrieb lässt sich sowohl an den maximalen Schwankungen der Abgastemperatur um jeweils ca. 40 K (grüne Kurve, oben) sowie parallel dazu an den zeitgleich eintretenden Schwankungen der am momentanen Brennstoffverbrauch gemessenen Feuerungswärmeleistung (blaue Kurve, Mitte) ablesen. Hierin zeigt sich auch, dass zwischen einer Prüfung unter konstanter Last, wie sie bei Bauartzulassungsmessungen (Typenprüfungen) üblich ist, und einer praxisnahen Lastverlaufsmessung im Rahmen der hier durchgeführten Versuchsanstellung große Unterschiede bestehen, die sich auch auf das Ergebnis auswirken.

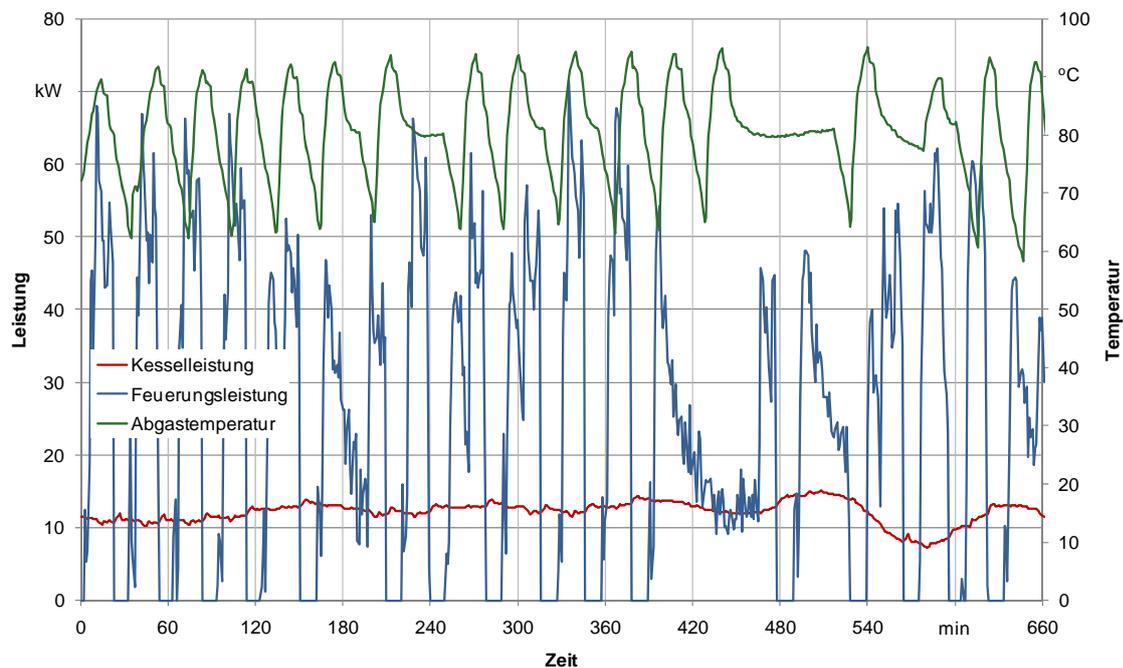


Abbildung 4-17: Bestimmung eines typischen Verlaufs der Feuerungs- und Kesselleistung bei lastvariablen Betrieb eines Pellet-Zentralheizungskessels (25 kW) sowie Verlauf der Abgastemperatur beim Nachfahren der Leistungskurve für den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter) über 24 Stunden. Hier dargestellt sind die ersten 11 Stunden

Die Ergebnisse einer solchen Gegenüberstellung von Messungen mit konstanter und variabler Last zeigt Abbildung 4-18, wobei hier als Zielgröße der Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad gewählt wurde. Dabei zeigt sich, dass mit einem 25 kW-Pelletkessel an einem heiteren Wintersonntag ein Nutzungsgrad von nur noch 84% erzielt wird, obgleich der Kessel bei der Typenprüfung (d. h. bei Nennwärmeleistung) noch mehr als 95% Wirkungsgrad erreicht hatte. Noch geringer ist die Brennstoffausnutzung, wenn die Ganztagesmessung mit dem Lastprofil eines bewölkten Werktags während der Übergangsjahreszeit durchgeführt wird (Abbildung 4-18, grüne Säule). Bei Verwendung eines Wärmespeichers ist zu erwarten, dass die gemessenen Nutzungsgrade wegen der geringeren Betriebsbereitschaftsverluste bzw. wegen der weniger häufigen Anzündvorgänge günstiger ausfallen.

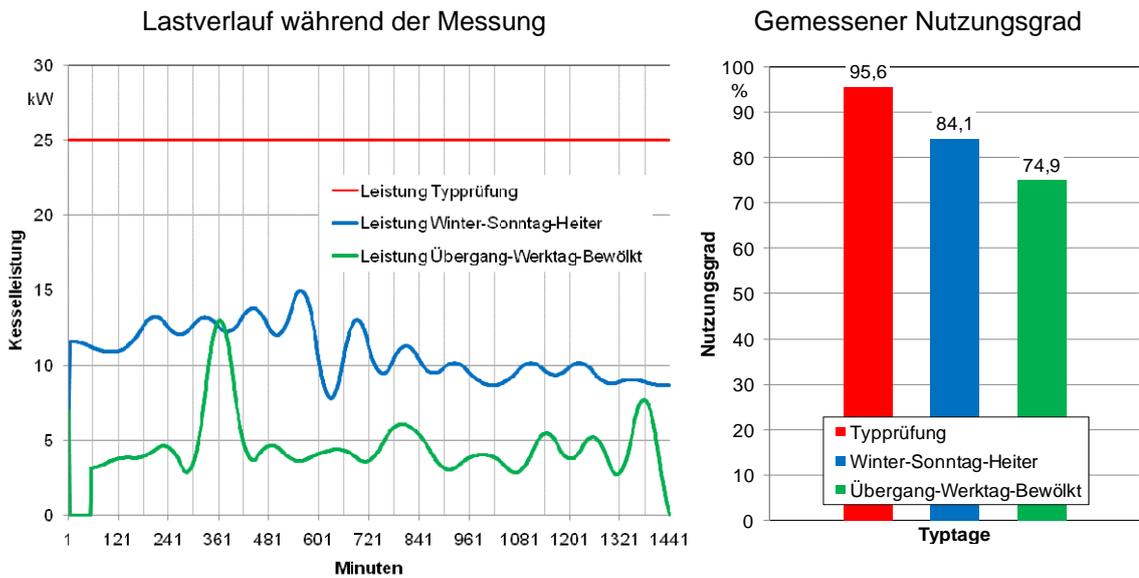


Abbildung 4-18: Gemessener Nutzungsgrad (rechts) bei zwei verschiedenen Tageslastzyklen (links) im Vergleich zur Volllastmessung der Typenprüfung. Messungen an einem 25 kW-Pellet-Zentralheizungskessel (Volllastmessung nach Typenprüfbericht BLT-Wieselburg)

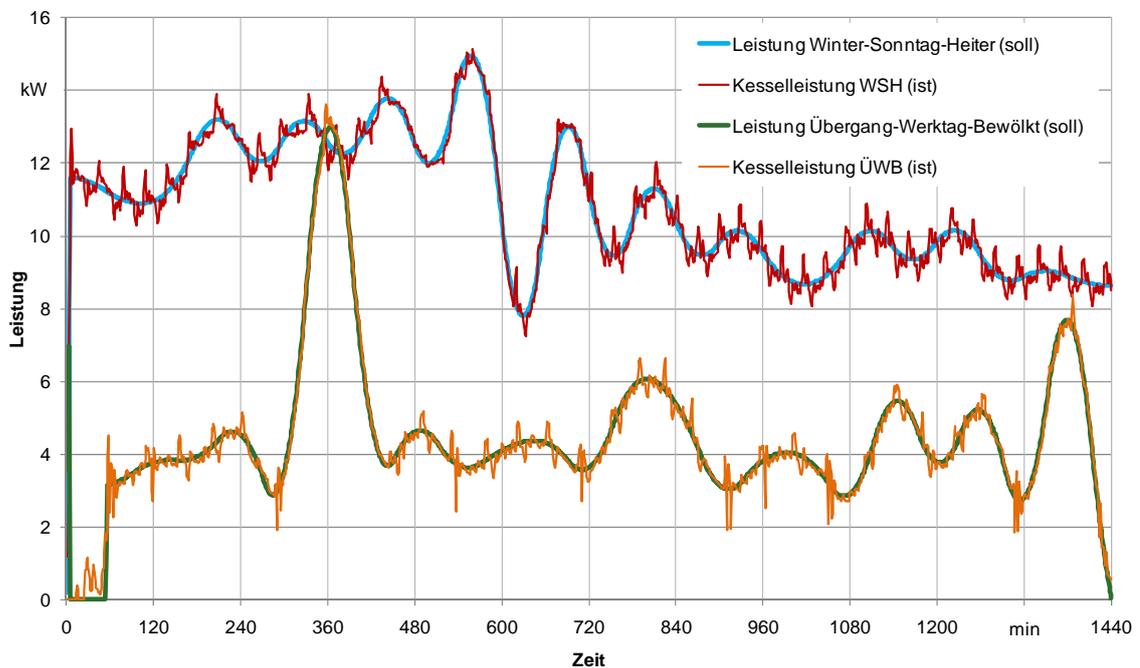


Abbildung 4-19: Sollwert für die Kesselleistung entsprechend der Lastkurve und von der Wärmeleistungsmeßstrecke abgenommene Leistung für den Typtag ÜWB (Übergangszeit/Werktag/bewölkt) und den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter)

Abbildung 4-19 zeigt die dem Kessel tatsächlich über die Wärmeleistungsmessstrecke entnommene Wärmeleistung im Verhältnis zu der von der Lastkurve vorgegebenen Leistung für den Typtag ÜWB (Übergangszeit/Werktag/bewölkt) und den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter). Die geringfügigen Schwankungen auf der Kurve sind bedingt durch eine gewisse Trägheit der Regelung.

4.4.3 Lastverlauf über 8 Stunden

Die über jeweils 24 Stunden definierten Lastprofile für einen heiteren Sonntag im Winter (WSH) und für einen bewölkten Werktag in der Übergangszeit (ÜWB) wurden in je ein Stufenprofil über 24 Stunden umgewandelt und die Unterscheidung zwischen Sonntag und Werktag wurde aufgegeben (die auftretenden Lastzustände wurden definierten Stufen zugeordnet und für diese Stufen wurde eine Häufigkeitsverteilung mit definierten Lastwechseln angenommen). Anschließend wurden diese Profile auf 8-stündige Stufenprofile komprimiert.

Die Umwandlung ist in Kapitel 4.2 beschrieben, die betrachteten Stufenlastprofile sind in Abbildung 4-20 dargestellt.

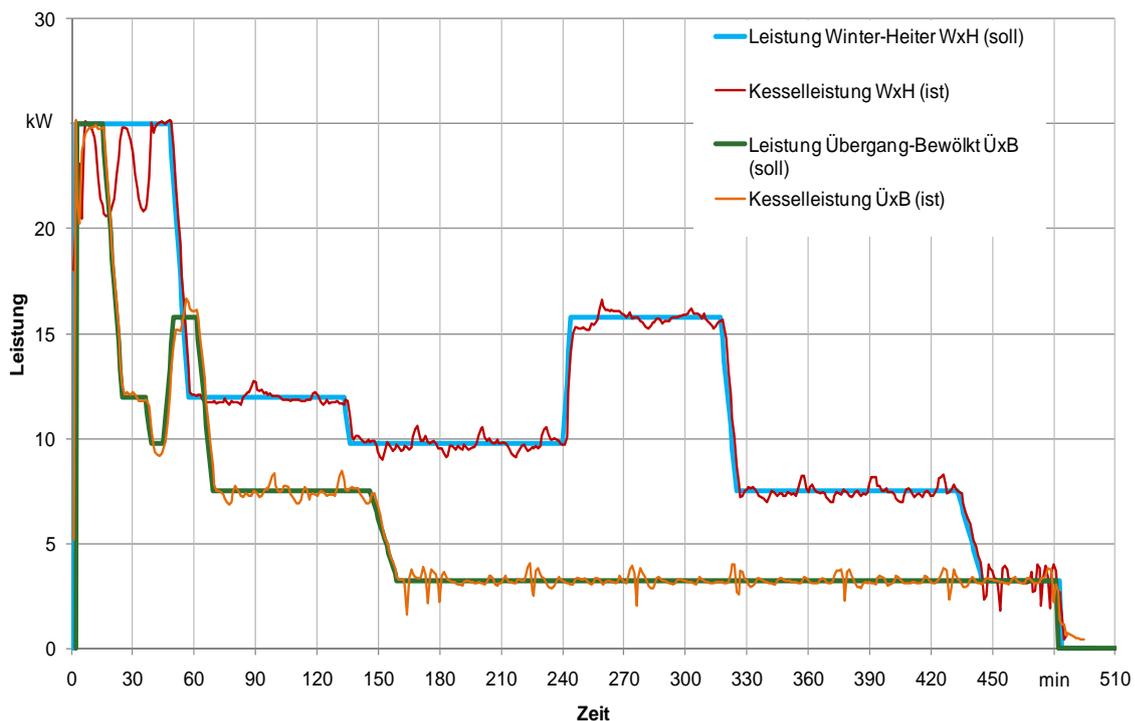


Abbildung 4-20: Stufenlastprofile über die Dauer von 8 Stunden für einen heiteren Tag im Winter (WxH) und für einen bewölkten Tag in der Übergangszeit (ÜxB) sowie von der Wärmeleistungsmessstrecke tatsächlich abgenommene Leistung

Zu diesen beiden Stufenlastprofilen wurden auf dem Prüfstand Emissions- und Wirkungsgradmessungen durchgeführt. Hierzu wurde der Pelletkessel zunächst auf Nennlast hochgefahren

und so lange betrieben, bis sich konstante Betriebsbedingungen eingestellt hatten. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Wärmeabnahme entsprechend dem Stufenlastprofil gestartet. Während der dann folgenden Betriebszeit über 8 Stunden wurden kontinuierlich die Gasemissionen, die Energieabnahme über die Wärmeleistungsmessstrecke und der Energieeintrag über die Brennstoffzufuhr gemessen. Die Messung der Staubemissionen wurden entsprechend den Darstellungen in Kapitel 4.3.4 durchgeführt.

Die dem Kessel tatsächlich über die Wärmeleistungsmessstrecke entnommene Leistung stimmte sehr gut mit der durch die Stufenlastprofile vorgegebenen Leistung überein (siehe Abbildung 4-20). Die einzelnen Laststufen proportional zur Kesselnennleistung und deren Dauer sind in Tabelle 4-7 angegeben.

ÜxB [Zeit]	WxH [Zeit]	Laststufe [%]
00:00:00	00:00:00	0
00:00:23	00:00:21	100
00:12:27	00:44:35	100
00:22:23	00:53:36	48
00:33:39	02:09:37	48
00:37:05	02:12:44	39
00:43:03	03:57:06	39
00:47:38	04:01:15	63
00:58:48	05:14:31	63
01:07:12	05:22:08	30
02:23:36	07:10:45	30
02:36:34	07:22:32	13
07:59:37	07:59:39	13
08:00:00	08:00:00	0

Tabelle 4-7: Laststufen der Lastprofile über die Dauer von 8 Stunden für einen heiteren Tag im Winter (WxH) und für einen bewölkten Tag in der Übergangszeit (ÜxB)

Auch bei den Messungen an den komprimierten 8 Stunden Lastkurven lässt der Verlauf der Schadstoffemissionen auf diskontinuierliche Verbrennungsbedingungen schließen (siehe Abbildung 4-21).

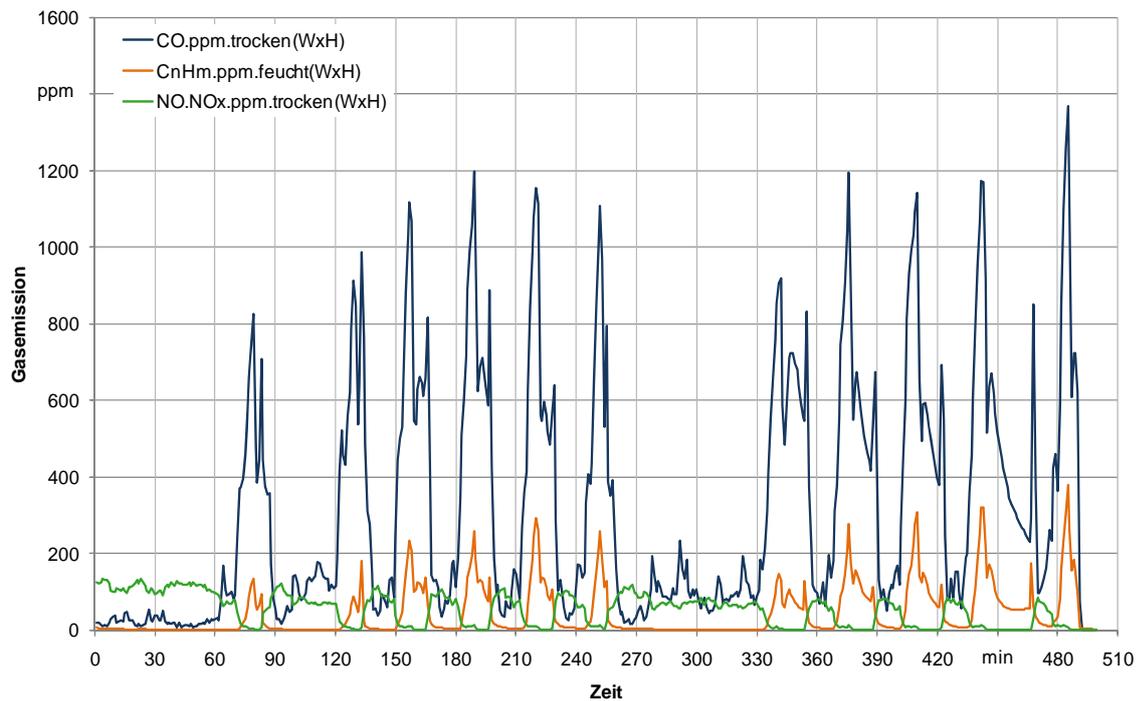


Abbildung 4-21: Verlauf einiger Emissionen beim Nachfahren des Stufenlastprofils für den Typtag WxH (Winter/heiter) über 8 Stunden.

Die durch den Taktbetrieb eintretenden Betriebsschwankungen zeigt Abbildung 4-22. Die Kesselleistung (rote Kurve, unten) folgt sehr gut der Lastabnahme (siehe Abbildung 4-20), aber die Wärmebereitstellung durch den Kessel im Teillastbetrieb kann nur durch einen geregelten Ein/Aus-Betrieb erreicht werden. Dieser Ein/Aus-Betrieb lässt sich sowohl an den maximalen Schwankungen der Abgastemperatur um jeweils ca. 40 K (grüne Kurve, oben) sowie parallel dazu an den zeitgleich eintretenden Schwankungen der am momentanen Brennstoffverbrauch gemessenen Feuerungswärmeleistung (blaue Kurve, Mitte) ablesen.

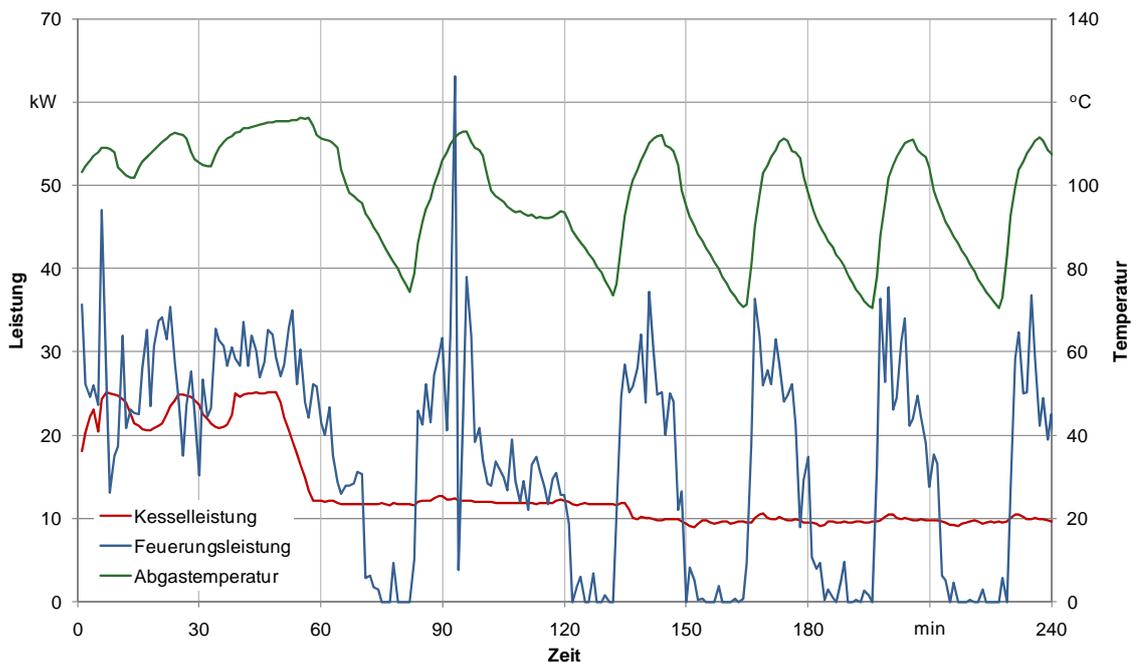


Abbildung 4-22: Bestimmung eines typischen Verlaufs der Feuerungs- und Kesselleistung bei lastvariablen Betrieb eines Pellet-Zentralheizungskessels (25 kW) sowie Verlauf der Abgastemperatur beim Nachfahren der Stufenlastkurve für den Typtag WxH (Winter/heiter) über 8 Stunden. Hier dargestellt sind die ersten 4 Stunden.

Die gemessenen Massenströme, die Massenkonzentrationen bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie, der Wirkungsgrad und die mittlere Auslastung des Kessels sind in Tabelle 4-8 dargestellt.

Typtag			ÜxB 8h	WxH 8h
Massenkonzentrationen	Kohlenmonoxid	[mg/MJ]	318	216
	org. geb. Kohlenstoff	[mg/MJ]	65	35
	Stickstoffoxide als NO ₂	[mg/MJ]	140	108
	Schwefeldioxid	[mg/MJ]	52	35
	Staub	[mg/MJ]	25	23
Massenströme	Kohlenmonoxid	[g/h]	11,9	10,8
	org. geb. Kohlenstoff	[g/h]	2,4	1,7
	Stickstoffoxide als NO ₂	[g/h]	5,3	5,4
	Schwefeldioxid	[g/h]	2,0	1,7
	Staub	[g/h]	0,9	1,1
Wärmeleistung und Wirkungsgrad	Feuerungsleistung	[kW]	10,4	13,8
	Kesselleistung	[kW]	8,0	11,2
	Auslastung des Kessels	[%]	32,0	44,9
	Kesselwirkungsgrad	[%]	77,0	81,2

Tabelle 4-8: Massenkonzentrationen und Massenströme bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie und Wirkungsgrad eines 25 kW Pelletkessels beim Nachfahren der Stufenlastkurve für den Typtag ÜxB (Übergangszeit/bewölkt) und den Typtag WxH (Winter/heiter) über 8 Stunden

4.4.4 Vergleich der 24 Stunden und der 8 Stunden Messungen

In Tabelle 4-9 sind die Massenströme, die Massenkonzentrationen bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie und der Wirkungsgrad eines 25 kW Pelletkessels für die 24 Stunden-Typtage den Messergebnissen aus den entsprechenden Stufenlastkurven über 8 Stunden gegenübergestellt. Mit diesem Vergleich soll festgestellt werden, ob die Komprimierung des 24 Stunden Lastprofils zu einem 8 Stunden Stufenlastprofil möglich ist und annähernd ähnliche Messergebnisse erzielt werden können.

Typtag			ÜxB 8h	ÜWB 24h	WxH 8h	WSH 24h
Massenkonzentration bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie	Kohlenmonoxid	[mg/MJ]	318	399	216	223
	org. geb. Kohlenstoff	[mg/MJ]	65	103	35	39
	Stickstoffoxide als NO ₂	[mg/MJ]	140	164	108	112
	Schwefeldioxid	[mg/MJ]	52	80	35	48
	Staub	[mg/MJ]	25	38	23	24
Massenströme	Kohlenmonoxid	[g/h]	11,92	10,33	10,79	10,49
	org. geb. Kohlenstoff	[g/h]	2,45	2,67	1,73	1,85
	Stickstoffoxide als NO ₂	[g/h]	5,26	4,24	5,36	5,26
	Schwefeldioxid	[g/h]	1,96	2,06	1,73	2,23
	Staub	[g/h]	0,93	0,98	1,13	1,11
Wärmeleistung und Wirkungsgrad	Feuerungsleistung	[kW]	10,4	7,2	13,8	13,0
	Kesselleistung	[kW]	8,0	5,4	11,2	11,0
	Auslastung des Kessels	[%]	32,0	21,4	44,9	43,8
	Kesselwirkungsgrad	[%]	77,0	74,9	81,2	84,2

Tabelle 4-9: Massenströme, Massenkonzentrationen bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie und Wirkungsgrad eines 25 kW Pelletskessels für Lastkurven von Typtagen über 24 Stunden (ÜWB = Übergangszeit/Werktag/bewölkt und WSH = Winter/Sonntag/heiter) und für Stufenlastkurven über 8 Stunden (ÜxB = Übergangszeit/bewölkt und WxH = Winter/heiter)

Bezüglich der Emissions-Massenströme von Kohlenstoffmonoxid, organisch gebundenem Kohlenstoff, Stickstoffoxid, Schwefeloxid und Staub konnten recht gute Übereinstimmungen zwischen den Lastprofilen über 24 Stunden und den entsprechenden Stufenlastprofilen über 8 Stunden festgestellt werden (siehe Tabelle 4-9).

Betrachtet man die Messergebnisse über die Lastprofile für die Winterzeit (WSH 24h und WxH 8h), so sind hier die Unterschiede zwischen den 24 Stunden Messungen und den 8 Stunden Messungen etwas geringer als bei den Lastprofilen für die Übergangszeit (ÜWB 24h und ÜxB 8h). Das liegt daran, dass bei den Stufenlastprofilen über 8 Stunden die Lastprofile der jeweiligen Typtage für einen Werktag und einen Sonntag entsprechend VDI Richtlinie 4655 zu einem Stufenlastprofil über 8 Stunden zusammengeführt wurden (siehe Tabelle 4-2 in Kapitel 4.2.3) und die Unterschiede zwischen den Lastprofilen an einem Werktag und einem Sonntag in der Übergangszeit größer sind als an einem Werktag und einem Sonntag in der Winterzeit.

Die Ergebnisse für die Emissions-Massenströme sind in Abbildung 4-23 grafisch dargestellt. Die gute Übereinstimmung zwischen den Messwerten zeigt, dass ein 24 Stunden Lastzyklus in ein 8 Stunden Stufenlastprofil umgesetzt werden kann, ohne dass die gemessenen Emissions-Massenströme stärker abweichen. Abbildung 4-24 zeigt die Kesselleistung, die Feuerungsleistung, die Kesselauslastung und den Kesselwirkungsgrad eines 25 kW Pelletskessels für Lastkurven von Typtagen über 24 Stunden und für Stufenlastkurven über 8 Stunden.

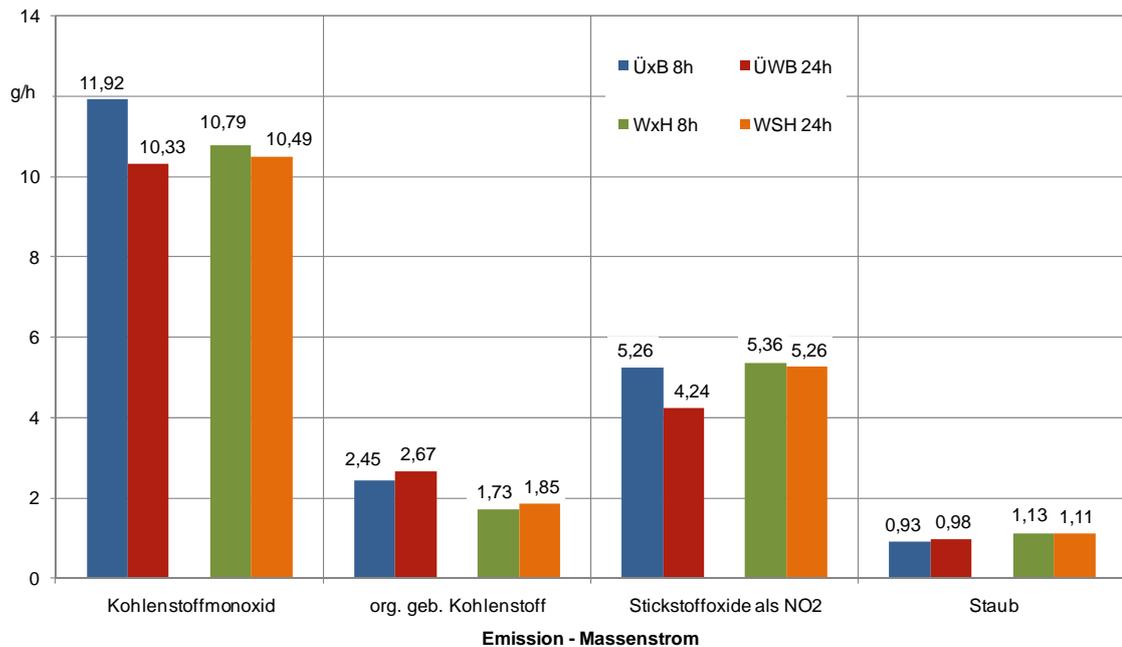


Abbildung 4-23: Emissions-Massenströme eines 25 kW Pelletskessels für Lastkurven von Typtagen über 24 Stunden und für Stufenlastkurven über 8 Stunden

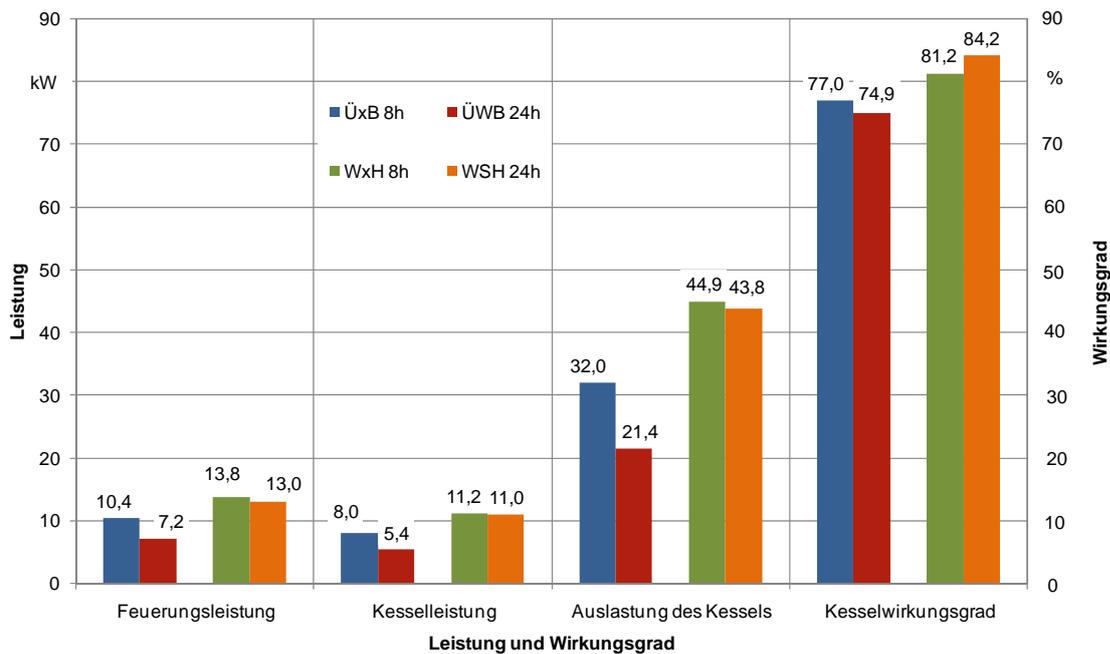


Abbildung 4-24: Kesselleistung, Feuerungsleistung, Kesselauslastung und Kesselwirkungsgrad eines 25 kW Pelletskessels für Lastkurven von Typtagen über 24 Stunden und für Stufenlastkurven über 8 Stunden

4.4.5 Vergleich von Tageslastzyklen und Jahreslastzyklus

Aufgrund der guten Übereinstimmung der Messwerte bei den vergleichenden Messungen wurden auch für die übrigen Tagestypen (siehe Tabelle 4-2 in Kapitel 4.2.3) Stufenlastprofile über 8 Stunden entwickelt und daraus ein Jahresreferenzlastzyklus erstellt. Um die Qualität des nach Kapitel 4.2 ermittelten Jahreslastzyklus zu überprüfen, wurden für jedes der 5 einzelnen Stufenlastprofile sowie für den Jahreslastzyklus an einem 25 kW Pelletskessel Emissionsmessungen durchgeführt. Die Messergebnisse aus den Messungen der 5 Stufenlastprofile wurden entsprechend der Verteilung der Tagestypen laut Tabelle 4-2 in Kapitel 4.2.3 gewichtet und zusammengefasst. Die Werte sind in Tabelle 4-10 angegeben. Die Ergebnisse zeigen, dass die Jahresemissionen und der Jahresnutzungsgrad des Pelletskessels recht gut mit Hilfe einer einzigen Messung eines Jahreslastprofils über 8 Stunden abgebildet werden können.

		WxH 8h	WxB 8h	ÜxH 8h	ÜxB 8h	SxX 8h	Gesamt 8h	Mittelwert gewichtet 5 Typtage	
Anzahl Tage pro Jahr		35	110	52	82	86	365	365	
Massenkonzentration bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie	Kohlenmonoxid	[mg/MJ]	216	178	318	411	327	207	273
	org. geb. Kohlenstoff	[mg/MJ]	35	32	65	102	45	35	50
	Stickstoffoxide als NO2	[mg/MJ]	108	91	140	175	91	94	112
	Schwefeldioxid	[mg/MJ]	35	34	52	66	28	26	40
	Staub	[mg/MJ]	23	20	25	36	21	19	24
Massenströme	Kohlenmonoxid	[g/h]	10,8	8,6	11,9	11,6	13,9	9,1	11,2
	org. geb. Kohlenstoff	[g/h]	1,7	1,5	2,4	2,9	1,9	1,6	2,1
	Stickstoffoxide als NO2	[g/h]	5,4	4,4	5,3	5,0	3,8	4,1	4,6
	Schwefeldioxid	[g/h]	1,7	1,6	2,0	1,9	1,2	1,1	1,6
	Staub	[g/h]	1,1	0,97	0,93	1,0	0,89	0,84	0,97
Wärmeleistung und Wirkungsgrad	Feuerungsleistung	[kW]	13,8	13,5	10,4	7,8	11,7	12,1	11,4
	Kesselleistung	[kW]	11,2	10,9	8,0	5,5	9,4	9,7	9,0
	Auslastung des Kessels	[%]	44,9	43,5	32,0	22,1	37,6	38,9	35,8
	Kesselwirkungsgrad	[%]	81,2	80,8	77,0	70,7	80,1	80,1	77,9

Tabelle 4-10: Messergebnisse aus den Messungen der 5 Stufenlastprofile, des Jahreslastzyklus und der gewichtete Mittelwert aus den Messungen der 5 Stufenlastprofile

4.5 Festlegung des Versuchsaufbaus für die Umsetzung der Methode

Die hier angeführten Anforderungen für den Versuchsstandaufbau genügen auch den Anforderungen der Normen [EN 303-5] und [EN 304], beide Messungen sind daher am selben Versuchsstand möglich.

4.5.1 Anforderungen an den Versuchsstand

Die zu prüfende Feuerungsanlage muss zur Messung des Brennstoffverbrauchs auf einem Waagenpodest aufgebaut werden, wie in Abbildung 4-25 schematisch dargestellt. Es ist auch möglich, den Brennstoffbehälter allein auf ein Waagenpodest aufzubauen, wie in Abbildung 4-26 gezeigt. Es ist eine mechanische Entkopplung von nicht auf der Waage befindlichen Komponenten wie Brennstoffzufuhr, Abgasmessstrecke und Wasserkreislauf vorzunehmen.

Der Wirkungsgrad muss sowohl im stationären Betrieb als auch über den Referenzlastzyklus mit einer Toleranz von $\pm 3\%$ -Punkten bestimmt werden können (wie auch in [EN 303-5] vorgeschrieben). Andere gleichwertige Versuchsstände sind zulässig.

Versuchsstandaufbau-Varianten

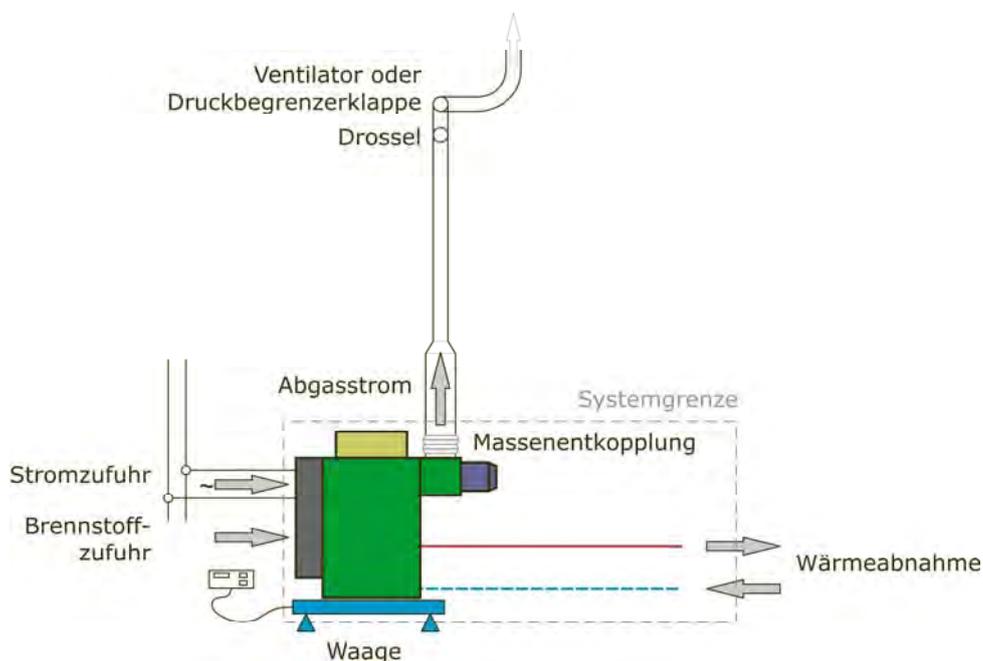


Abbildung 4-25: Schematischer Aufbau des Kessels mit integriertem Brennstoffbehälter auf dem Versuchsstand mit Darstellung der zu messenden Energie- und Massenströme über die Systemgrenze

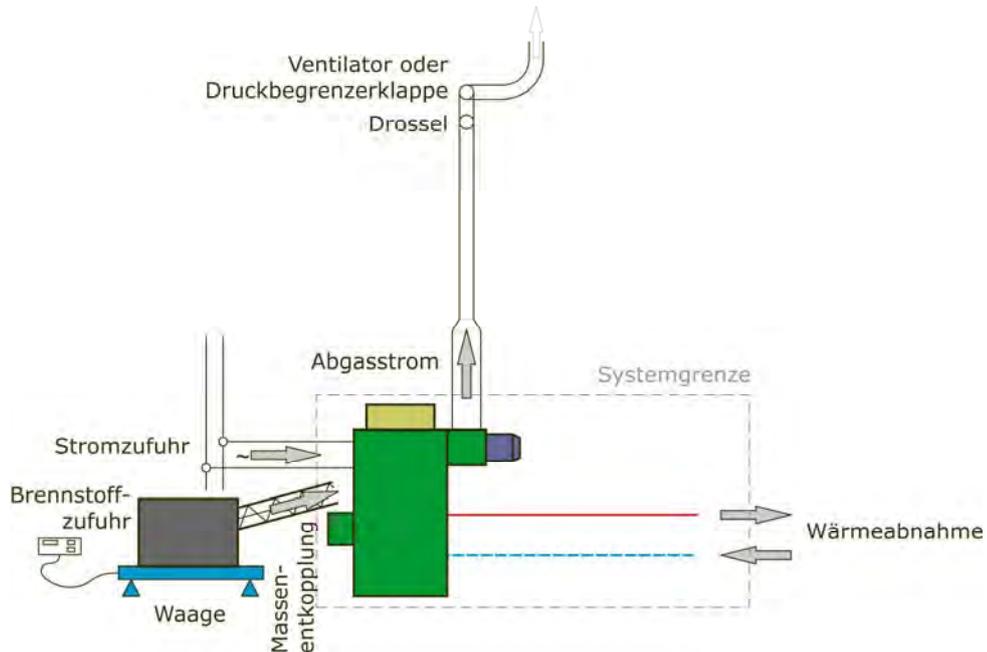


Abbildung 4-26: Schematischer Aufbau des Kessels mit separatem Brennstoffbehälter auf dem Versuchstand mit Darstellung der zu messenden Energie- und Massenströme über die Systemgrenze

4.5.1.1 Brennstoffzufuhr

Um den Brennstoffverbrauch bestimmen zu können, ist der Kessel mit integriertem Brennstoffbehälter oder der Brennstoffbehälter allein auf einem Waagenpodest aufzustellen. Dabei ist sicherzustellen, dass Verbindungen wie Kabel, Abgasrohre, Anschlussschläuche etc. keinen störenden Einfluss auf die Bestimmung der Masse haben. Der Brennstoffverbrauch ergibt sich aus der gemessenen Masseänderung im Betrachtungszeitraum. Wenn auch die Feuerungsanlage selbst auf der Waage aufgestellt ist, sind zusätzlich die Verbrennungsrückstände und die temperaturabhängige Massenänderung des Wärmeträgermediums zu berücksichtigen (die Massenänderung wird durch die Auswertesoftware aus der Wassertemperatur und dem Kesselwasservolumen automatisch errechnet).

4.5.1.2 Abgasmessstrecke

Es ist eine geeignete Messstrecke mit Möglichkeiten zur Bestimmung des Förderdrucks, der Abgastemperatur, des Abgasvolumenstroms (z.B. über die Abgasgeschwindigkeit) und der Abgaszusammensetzung zu verwenden. Ein Beispiel gibt Abbildung 4-27. Die darin angegebenen Ein- und Auslaufstrecken an den Messpunkten für Volumenstrom und Gesamtstaub sind als Mindestwerte zu betrachten und gegebenenfalls entsprechend den Anforderungen der Messgeräte zu verlängern.

Am Ende der Messstrecke ist eine Einstellmöglichkeit vorzusehen, um einen konstanten Förderdruck nach Angabe der Kesselhersteller aufrechtzuerhalten (z. B. durch einen geregelten Absaugventilator).

Abgasmessstrecke

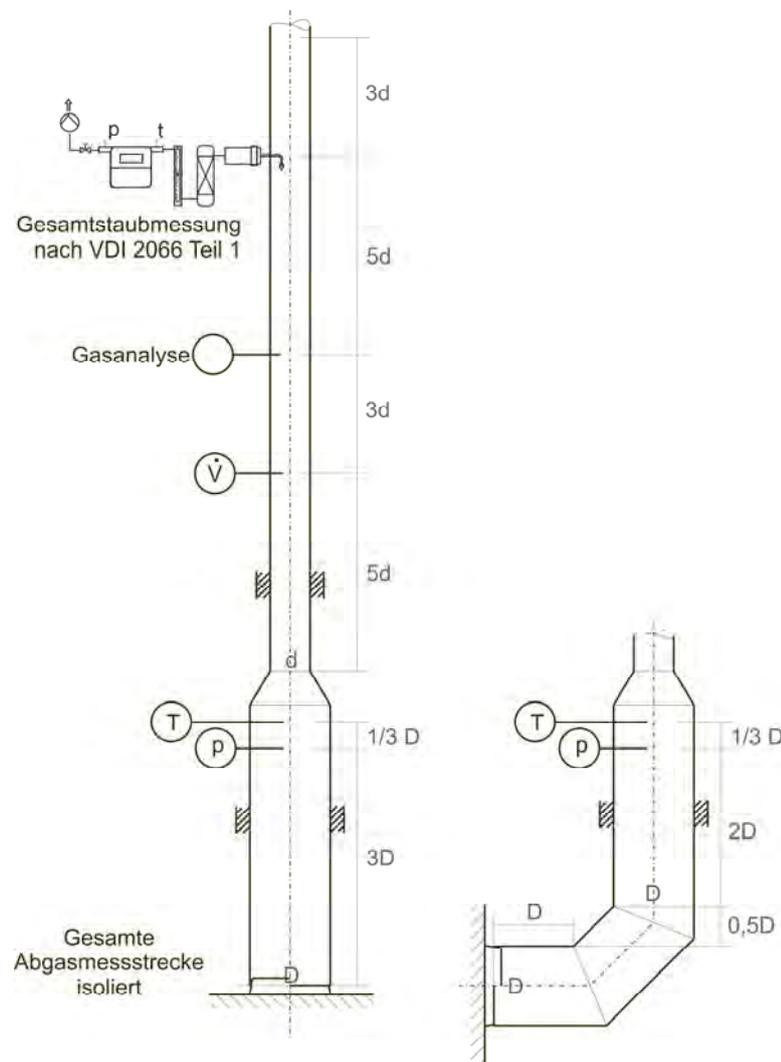


Abbildung 4-27: Beispiel einer schematischen Darstellung der Abgasmessstrecke; für vertikalen und horizontalen Anschluss-Stutzen am Kessel, hier für Aufbau bei externem Brennstoffbehälter²⁰

Gemäß Abbildung 4-27 muss der Innendurchmesser D am Eingang der Messstrecke dem Außendurchmesser des Abgasstutzens der Feuerungsanlage entsprechen. Der Durchmesser der Messstrecke kann gegebenenfalls zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit verjüngt werden. Die Verjüngung darf den problemlosen Ein- und Ausbau der Staubprobenahme sowie anderer Messeinrichtungen (z.B. Geschwindigkeitsmessgeräte) nicht behindern. Sie ist in Abhängigkeit von der Leistung der Feuerungsanlage und des Messbereichs der Geschwindigkeitsmessung so zu wählen, dass die Strömungsgeschwindigkeit möglichst in allen Betriebszustän-

²⁰ Ansonsten ist die Verbindung zwischen Anschluss-Stutzen am Kessel und Abgasmessstrecke mechanisch zu entkoppeln (schematisch dargestellt in Abbildung 4-25)

den (Stillstand bis Volllast), aber zumindest bei Volllast des Kessels mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden kann.

Vor dem Messpunkt zur Normvolumenstrom-Bestimmung darf keine extraktive Messung durchgeführt werden, da dadurch die Messung des Volumenstroms beeinflusst würde.

Verbindung der Feuerstätte mit der Messstrecke

Wenn der Kessel gewogen wird ist die Verbindung zwischen Anschluss-Stutzen am Kessel und Abgasmessstrecke mechanisch zu entkoppeln (schematisch dargestellt in Abbildung 4-25).

Staubmessung

Der für die Staubmessung abgesaugte Volumenstrom muss über den gesamten Messzyklus (8h) proportional zum Norm-Abgasvolumenstrom geregelt werden. Eine kontinuierliche Probenahme kann gegebenenfalls durch den alternierenden Betrieb von zwei in Serie eingebauten Probenahmeeinrichtungen realisiert werden. Wenn das abgesaugte Volumen der Messeinrichtung nach unten limitiert ist, wird ab dieser Grenze die minimale Menge konstant abgesaugt.

4.5.1.3 Wasserkreislauf

Der Wasserkreislauf muss so ausgelegt sein, dass eine kontinuierliche, ausreichend schnelle und genaue Regulierung der Leistungsabnahme möglich ist. Der Kreislauf muss Möglichkeiten zur Messung der Parameter Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur und Kesselwasserdurchfluss aufweisen.

In Abbildung 4-28 ist ein geeigneter Wasserkreislauf dargestellt. Der Aufbau hat jedenfalls anwendungsgetreu zu erfolgen. Eine gegebenenfalls vorhandene Rücklaufanhebung ist, wenn möglich, zu deaktivieren.

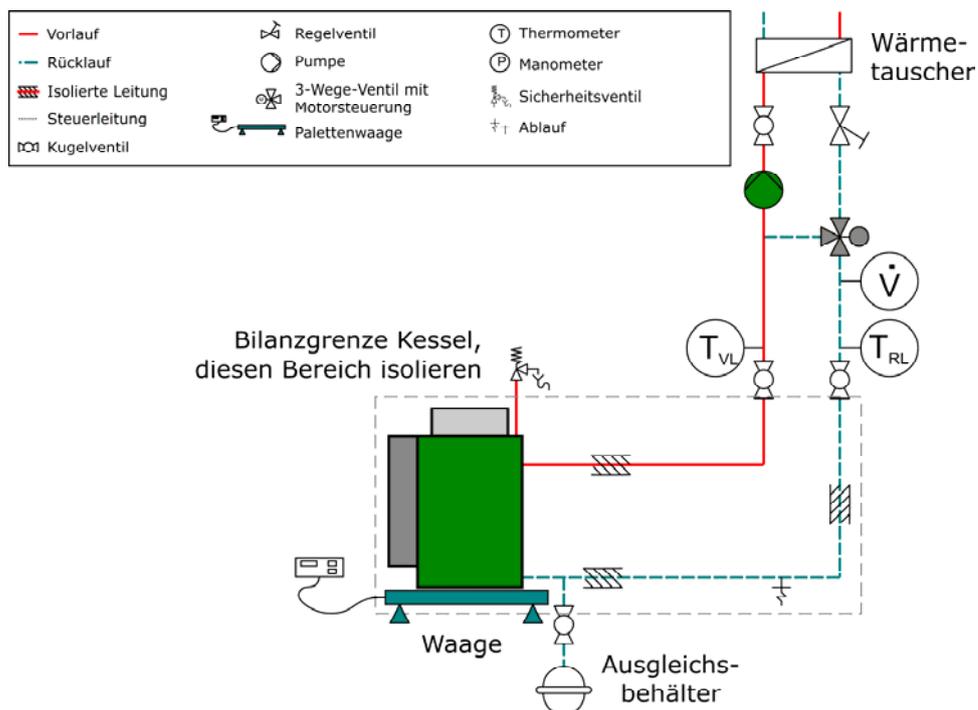


Abbildung 4-28: Beispielhafte Darstellung eines Hydraulikschemas für den Versuchsstand

Einstellung der Wärmeabnahme

Die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf bei Nennleistung soll 15 bis 25 Kelvin betragen und die Kessel-Solltemperatur ist in der Kesselsteuerung mit 70°C bis 80°C vorzugeben. Die Leistung wird durch Änderung der Spreizung und/oder des Volumenstroms angepasst.

Wärmeleistungs-Messung

Zur Bestimmung der abgeführten Wärmeleistung ist neben Vor- und Rücklauftemperatur der Volumen- oder Massenstrom des Wassers zu messen.

Vorheizen des Kesselwassers

Am Beginn des Versuchsablaufs ist das Kesselwasser auf 45°C aufzuheizen. Dafür ist der Einsatz einer geeigneten Beheizung (z.B. Heizpatrone) vorzusehen.

4.5.1.4 Elektrische Hilfsenergie

Der Bedarf an elektrischer Hilfsenergie ist kontinuierlich zu erfassen. Dabei sind alle Komponenten zu erfassen, die direkt zum Kessel gehören, also innerhalb der Systemgrenzen nach Abbildung 4-25 bzw. Abbildung 4-26 liegen. In der Regel sind das Brennstoffförderung, Saugzug, Zündung und ggf. Ascheaustragung und Rostreinigung.

4.5.2 Anforderungen an Messgeräte und -methoden

Alle Parameter mit Ausnahme der Partikelemissionen müssen in Abständen von höchstens 20 sec gemessen und in Abständen von höchstens 1 min als Mittelwerte aufgezeichnet werden. Die Zeitabstände sind so zu wählen, dass Messwertschwankungen mit genügender Sicherheit erfasst werden können. Die aufgezeichneten Mittelwerte bilden die Grundlage für die Auswertung.

Synchronisation der Messdaten

Da einige Messgeräte (insbesondere Gasanalysatoren) das Signal stark verzögert liefern, müssen Messwerte dann synchronisiert werden (z.B. mit dem Signal der Gasgeschwindigkeitsmessung), wenn die Verzögerungen größer als das halbe Aufzeichnungsintervall sind.

Erforderliche Messgrößen

- Umgebungsbedingungen
 - Luftdruck
 - Umgebungstemperatur
- Abgaseigenschaften
 - Abgastemperatur
 - Statischer Druck
 - Abgasnormvolumenstrom
- Abgasanalyse
 - Gasförmige Komponenten (H₂O, CO, O₂, CO₂, NO_x, OGC)
 - Partikelemissionen
- Energiebilanz
- Brennstoff
 - Eigenschaften (Heizwert, Wassergehalt, Aschegehalt, Kohlenstoff-Gehalt)
 - Brennstoffverbrauch
- Wasserkreislauf
 - Wassertemperaturen (T_{VL}, T_{RL}, ...)
 - Volumenstrom oder Massenstrom im Heizkreislauf
- Elektrische Hilfsenergie
- Verbrennungsrückstände
 - Masse
 - Unverbrannte Bestandteile in der Asche

Abgastemperatur

Die Abgastemperatur ist kontinuierlich mit einer maximalen Messunsicherheit von ± 1 K zu messen (entspricht [EN 267]).

Abgasnormvolumenstrom

Der Abgasnormvolumenstrom kann direkt gemessen oder die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt und auf den Normvolumenstrom umgerechnet werden.

Partikelemissionen

Abweichend von der Norm beträgt die Probenahmedauer 8 Stunden. Die Entnahme der Staubprobe hat proportional zum Volumenstrom zu erfolgen²¹.

Möglichkeiten für eine Realisierung der kontinuierlichen Staubmessung:

- Eine durchgängige Messung über den gesamten Messzyklus, wenn diese ohne Wechsel der Filtermedien durchgeführt wird und die Beladungsgrenze der Filtermedien nicht überschritten wird.
- Zwei in Serie aufgebaute Staubmessungen, die alternierend betrieben werden. Bei Erreichen der Beladungsgrenze der Filtermedien einer Messeinrichtung wird auf die andere Messeinrichtung umgeschaltet und in die erste Messeinrichtung können neue Filtermedien eingesetzt werden.
- Falls nur eine Messeinrichtung zur Verfügung steht und die Beladungsgrenze der Filtermedien überschritten wird, kann auch ein rascher Wechsel der Filtermedien in Phasen mit konstantem Betrieb der Feuerung durchgeführt werden. Die Unterbrechungen dürfen dabei in Summe nicht mehr als 2% der Messzeit ausmachen.

Brennstoffmassenstrom

- Steht der Brennstoffbehälter separat auf der Waage, wird der Brennstoffverbrauch über die Masseänderung des Brennstoffbehälters gemessen.
- Ist der Brennstoffbehälter in die Feuerungsanlage integriert, so dass der gesamte Heizkessel auf dem Waagenpodest aufgebaut werden muss, sind zur Bestimmung des Brennstoffverbrauchs neben der Masseänderung zusätzlich die Verbrennungsrückstände und die temperaturabhängige Massenänderung des Wärmeträgermediums zu berücksichtigen.

Für die Bilanzierung sind außerdem folgende Analysen des Brennstoffs durchzuführen:

- Heizwert
- Wassergehalt
- Aschegehalt
- Kohlenstoffgehalt

Erzeugte Wärme im Heizungswasser

Die Wassertemperaturen in Vor- und Rücklauf sind mit geeigneten Messfühlern unmittelbar an der Systemgrenze (siehe Abbildung 4-28) zu messen. Zusätzlich sind die Messung des Massenstroms bzw. die Bestimmung desselben über Volumenstrom und Dichte des Heizungswassers erforderlich.

²¹ Da die Staubfracht bei wechselnder Abgas-Geschwindigkeit bestimmt werden muss

Um die energetische Bilanzierung durchführen zu können ist zudem ein definierter Anfangs- und Endzustand erforderlich, der Kessel ist also vor und nach dem Versuch bei stationärem Zustand und einer Kesselwassertemperatur von 45°C zu wiegen.

4.6 Festlegung des Ablaufs zur Durchführung der Feuerungsversuche

Mit dem entwickelten Versuchszyklus (Kapitel 4.2) und dem festgelegten Versuchsaufbau (Kapitel 4.5) wird der detaillierte Ablauf definiert. Zur Abbildung der unterschiedlichen Betriebsweisen (modulierender- und Pufferbetrieb) beinhalten die Versuche Volllast- und Referenzlastzyklen. Für manuell beschickte Anlagen ohne Teillastfähigkeit können sie auch auf den Volllastzyklus reduziert werden. Der Pufferbetrieb wird anhand der Messergebnisse für den Volllastzyklus berechnet.

Der gesamte Ablauf ist für die praktische Anwendung der Methode in dem ebenfalls im Rahmen des Projekts erstellten Leitfaden [Heckmann 2010] dokumentiert.

4.6.1 Ausgangszustand

Das Hochfahren erfolgt von einer definierten Starttemperatur von 45°C, da die Leistungs- und Emissionsdaten bei unterschiedlicher Ausgangstemperatur unterschiedlich ausfallen. Zudem ist ein gleicher Ausgangs- und Endzustand eine Bedingung für exaktes Verwiegen. Das Kesselwasser ist dafür mittels externer Beheizung auf diese Temperatur zu erwärmen.

4.6.2 Versuchsbetrieb bei Volllast

Dieser Versuch kommt bei automatisch und manuell beschickten Anlagen zum Einsatz, der Ablauf für die Durchführung des Versuchs mit dem Volllastzyklus ist schematisch in Abbildung 4-29 dargestellt. Der stationäre Betrieb bei 100% Kesselleistung ist für mindestens 6 Stunden bzw. eine Abbrandperiode mit durchgehendem Mess- und Probenahmezeitraum einzuhalten.

Versuchsstart

Zunächst wird die Umwälzpumpe eingeschaltet und der Kessel mittels externer Beheizung in einen stabilen Ausgangszustand bei einer Vorlauf- und Rücklaufemperatur von 45°C gebracht (t_0). Die Messung wird spätestens zu diesem Zeitpunkt gestartet.

Versuchsbetrieb

Der Kessel wird gestartet, zeitgleich auch der Saugzug am Kamin. Der Beginn der Staubprobenahme erfolgt zeitgleich mit dem Start des Kessels. Der Startzeitpunkt für den eigentlichen Messzyklus ist das Ende der Aufheizphase (t_1), das dann gegeben ist, wenn der Anstieg der Abgastemperatur einen Wert von 0,5 K pro Minute unterschreitet.

Abkühlphase

Der Kessel wird abgeschaltet (t_2). Die Wärmeabnahme wird solange auf 20% der Nennleistung weiterbetrieben, bis die Vorlaufemperatur auf 55°C gesenkt ist (t_3). Die Emissionsmessungen enden frühestens zu diesem Zeitpunkt. Anschließend wird die Umwälzpumpe der Wärmeabnahme abgeschaltet. Bei (t_3) beginnt auch die Verlustbilanz.

8 Stunden nach dem Ende des Volllastbetriebs wird die Umwälzpumpe nochmals eingeschaltet (t_4), bis sich wieder ein Temperaturgleichgewicht eingestellt hat, also die Vorlauf- gleich der Rücklauf-temperatur ist (t_5). Mit den Messdaten bei diesem zweiten Temperaturgleichgewicht wird die Verlustbilanz geschlossen.

Versuchsabschluss

Bei Kesseln, die auf einer Waage aufgebaut werden, ist zum Abschluss durch weitere Abkühlung oder Aufheizung die Vorlauf-temperatur auf 45°C zu bringen. Die Masse in diesem Zustand wird benötigt, um die Massen- und Energiebilanz schließen zu können.

Zuletzt ist eine Abreinigung zu starten und die restliche Asche zu entnehmen.

Zeitpunkt	Bedingung	Nächster Prozessschritt
t_0	Kesseltemperatur 45°C	Start des Kessels und der Messungen
t_1	Temperaturanstieg < 5 K/min	Start des Volllastzyklus
t_2	Ende des Lastzyklus, Start der Abkühlphase	Abfuhr der Nutzwärme bei Abnahme von 20% der Nennlast
t_3	Vorlauf-temp. = Rücklauf-temp. = 55°C	Stopp der Wärmeabnahme, Bestimmung der Verluste
t_4	Ende der 8-stündigen Abkühlphase	Aktivierung der Wärmeabnahme zum Temperatenausgleich
t_5	Vorlauf-temp. = Rücklauf-temp.	Abfuhr der restlichen Wärme
t_6	Kesseltemperatur 45°C	Versuchsende

Tabelle 4-11: Definition der Zeitpunkte, Bedingungen und Prozessschritte für den Versuchsablauf bei Volllast

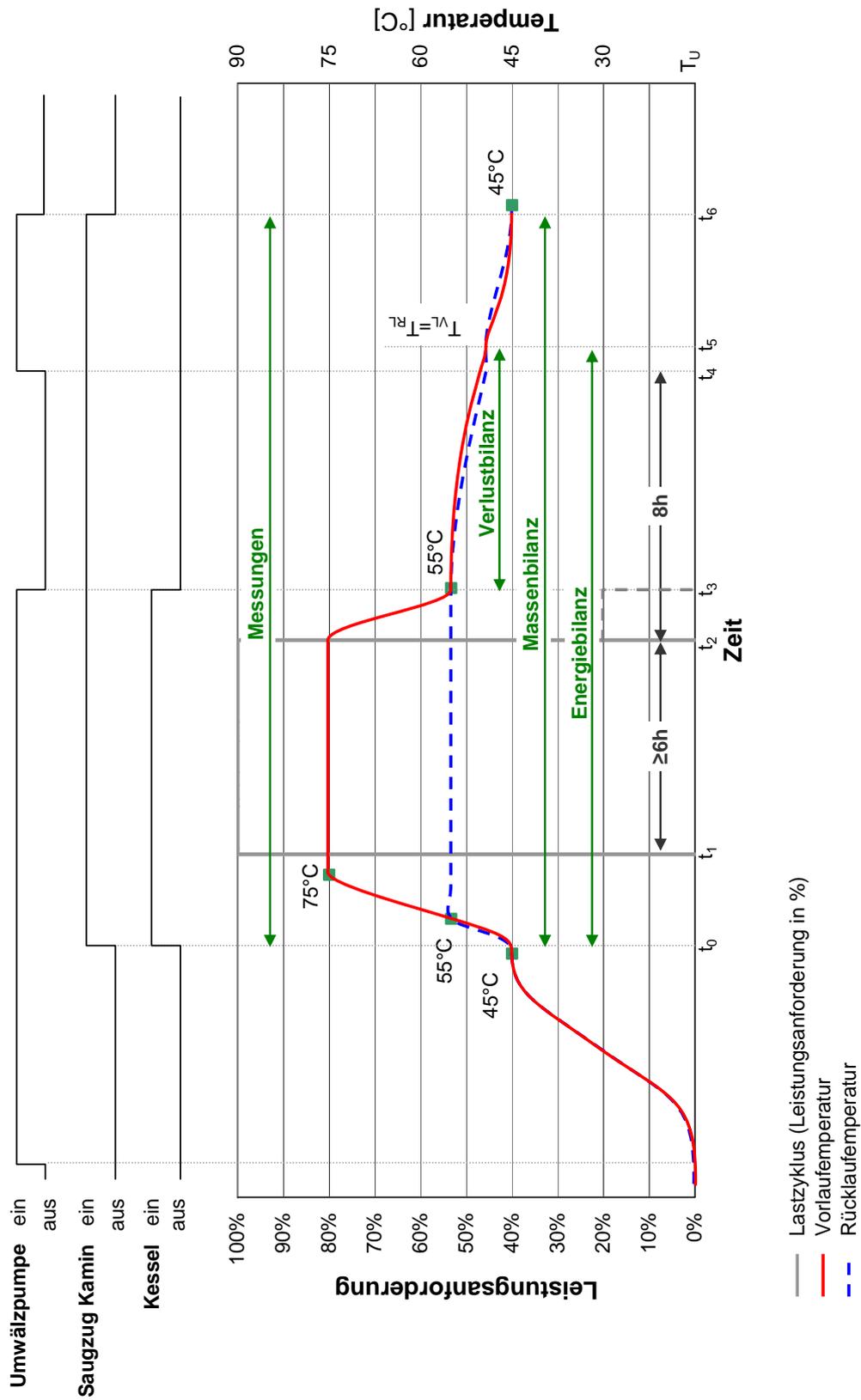


Abbildung 4-29: Ablaufschema für den Versuchsablauf bei Anwendung des Volllastzyklus

4.6.3 Versuchsbetrieb mit dem Jahresreferenzlastzyklus

Der Ablauf für die Durchführung des Versuchs mit dem Jahresreferenzlastzyklus ist schematisch in Abbildung 4-30 dargestellt. Er ist grundsätzlich gleich wie beim Volllastbetrieb (Kap. 4.6.2) und dort detailliert beschrieben. An die Stelle des stationären Betriebs tritt der Jahresreferenzlastzyklus entsprechend dem Profil in Abbildung 4-5 und den zugehörigen Daten in Tabelle 4-3. 100% Kesselauslastung entsprechen dabei der in Phase 1 festgestellten Nennleistung des Kessels.

Der Unterschied zum Volllastbetrieb ist im eigentlichen Versuchsbetrieb zu machen. Der 8-stündige Referenzlastzyklus wird dann gestartet, wenn die Vorlauftemperatur die Rücklauftemperatur von 55°C übersteigt (t_1).

Zeitpunkt	Bedingung	Nächster Prozessschritt
t_0	Kesseltemperatur 45°C	Start des Kessels und der Messungen
t_1	Vorlauftemp. = Rücklauftemp. = 55°C	Start des Referenzlastzyklus
t_2	Ende des Lastzyklus, Start der Abkühlphase	Abfuhr der Nutzwärme bei Abnahme von 20% der Nennlast
t_3	Vorlauftemp. = Rücklauftemp. = 55°C	Stopp der Wärmeabnahme, Bestimmung der Verluste
t_4	Ende der 8-stündigen Abkühlphase	Aktivierung der Wärmeabnahme zum Temperatenausgleich
t_5	Vorlauftemp. = Rücklauftemp.	Abfuhr der restlichen Wärme
t_6	Kesseltemperatur 45°C	Versuchsende

Tabelle 4-12: Definition der Zeitpunkte, Bedingungen und Prozessschritte für den Versuchsablauf mit dem Referenzlastzyklus

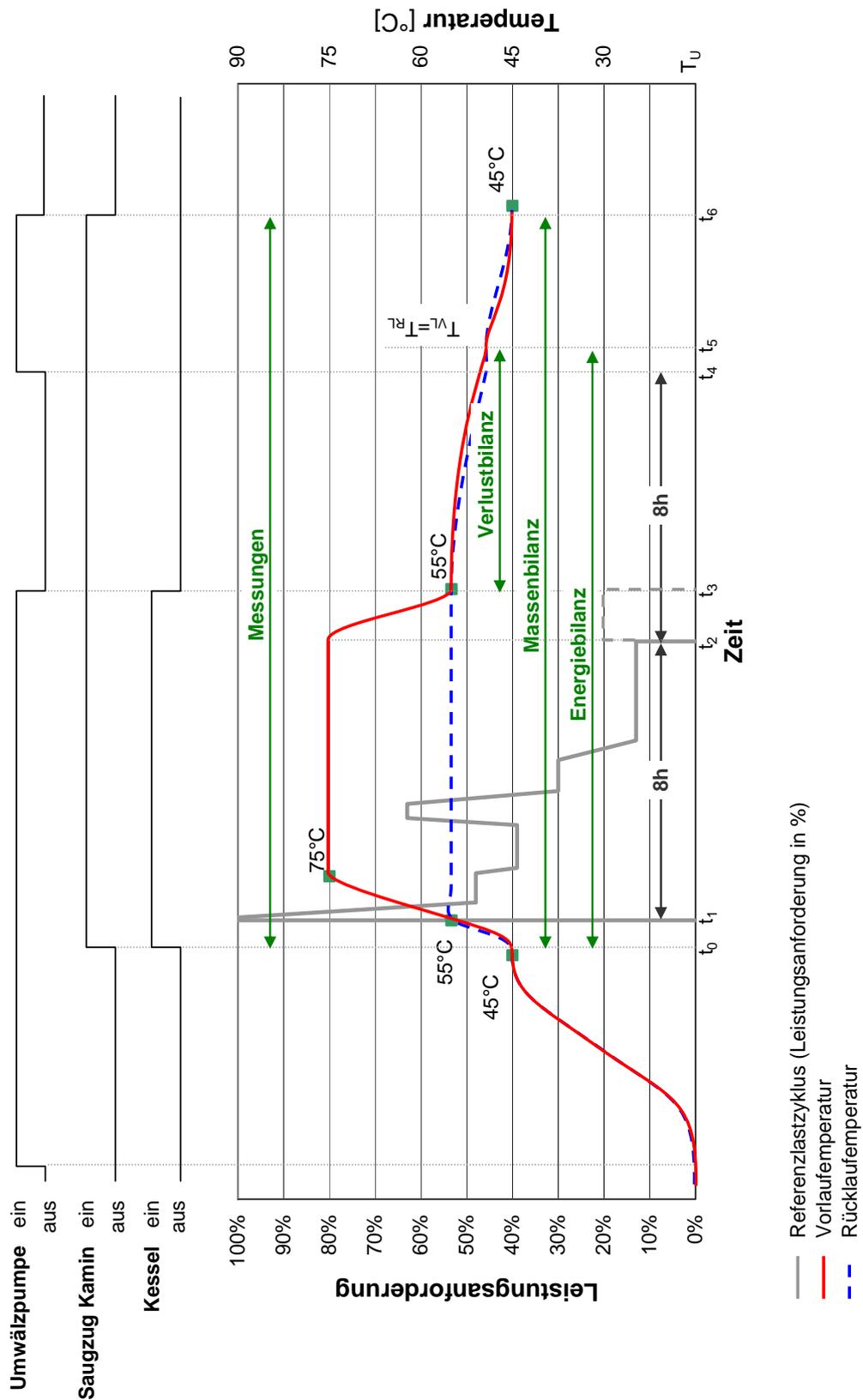


Abbildung 4-30: Ablaufschema für den Versuchsablauf bei Anwendung des Referenzlastzyklus

4.7 Auswertung der Messergebnisse

Die Auswertung erfolgt durch direkte Übernahme der Messdaten aus dem Versuchsdurchlauf: Der mittlere Jahresnormnutzungsgrad für modulierenden Betrieb ist gleich dem gemessenen Wert für den Wirkungsgrad über den Testzyklus, die gemessenen Emissionen entsprechen den mittleren Emissionen während eines Jahres für den Kessel (bei Betrieb entsprechend den bei der Ermittlung des Jahresnormzyklus getroffenen Annahmen).

Jahresnormnutzungsgrad und Emissionen werden auf die Summe von mit dem Brennstoff zugeführter Energie und elektrischer Hilfsenergie bezogen.

4.7.1 Bestimmung der Wärmeleistung und des Kesselwirkungsgrades

Verfahren der Wärmeleistungsmessung

Die an den Wärmeträger nutzbar abgegebene Wärmeleistung wird gemessen. Sie kann unmittelbar am Heizkessel oder mittelbar an einem Wärmeaustauscher bestimmt werden.

Bestimmung der Wärmeleistung unmittelbar am Heizkessel

Die an das Heizwasser nutzbar abgegebene Wärmeleistung wird durch Messung des in den Kesselkreislauf eingespeisten Kaltwasser-Massenstromes und Temperaturerhöhung auf Vorlauftemperatur oder der durch Messung des im Kesselkreislauf umgewälzten Wasser-Massenstromes und seiner Temperaturerhöhung ermittelt.

Bestimmung der Wärmeleistung mittelbar an einem Wärmeaustauscher

Die vom Heizkessel gelieferte Wärmeleistung wird durch einen Wärmeaustauscher an das Kühlwasser übertragen. Die von diesem aufgenommene Wärmeleistung wird aus dem Durchfluss und der Temperaturerhöhung des Kühlwassers ermittelt. Die Wärmeverluste der gut zu dämmenden Verbindungsleitungen zwischen Heizkessel und Wärmeaustauscher und die des Wärmeaustauschers selbst sind entweder durch Vorversuche zu bestimmen, oder sie sind zu berechnen. Die Wärmeleistung des Heizkessels muss die Summe der beiden vorgenannten Wärmeleistungen sein.

Bei den Versuchen bei Nenn-Wärmeleistung muss während des Versuches die Vorlauftemperatur in ihrem Mittelwert zwischen 70°C und 80°C liegen, wobei die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf zwischen 15 K und 25 K liegen muss. Außerdem sind die Verhältnisse entsprechend der folgenden Formel einzuhalten.

$$\frac{T_{VL} + T_{RL}}{2} - T_U \geq 40,0$$

[°C]

4-1

T_{VL} Vorlauf-Temperatur des Wassers [°C]

T_{RL} Rücklauf-Temperatur des Wassers [°C]

T_U Umgebungstemperatur [°C]

Bestimmung des Kesselwirkungsgrades (direkte Methode)

Der Wirkungsgrad wird nach der direkten Methode bestimmt und auf den unteren Heizwert H_u bezogen. Nach [EN 304, Formel (5)] sind die Verluste der Wärmeabnahme zu berücksichtigen, wobei der Wärmeverlust des Prüfaufbaus nach Anhang F der Norm zu bestimmen ist.

4.7.2 Bestimmung der Emissionswerte

Die Emissionswerte können, anders als in [EN 303-5], nicht als einfache Mittelwerte angegeben werden, sondern müssen als momentane Frachten in Abhängigkeit vom wechselnden Abgasvolumenstrom ermittelt werden, aus denen dann für den Auswertzeitraum die Gesamtfrachten aufsummiert werden.

Für die Berechnung der Emissionsfaktoren wird die Gesamtfracht im Auswertzeitraum auf die zugeführte Brennstoffenergie bezogen.

4.7.3 Berechnungsschritte zur Auswertung der Messungen

In der Folge sind die grundsätzlichen Berechnungsschritte zur Analyse der Daten angeführt. Die Analyse kann mittels der Auswertesoftware erfolgen, in der die folgenden Berechnungen durchgeführt werden.

4.7.3.1 Ermittlung der Massen- und Energieströme

Aus den gemessenen Momentanwerten der Massen und Energien werden die momentanen Änderungen errechnet und anschließen über die Auswertzeiträume aufsummiert.

Korrektur der Massen

Wenn der gesamte Kessel auf Waage steht, dann ergibt sich ein nicht zu vernachlässigender Teil der Massenänderung aus der Temperatur- und damit Dichteänderung des im Kessel enthaltenen Wassers. Daher muss zur korrekten Bestimmung der Brennstoffmasse eine Kompensation der Masse des Kesselwassers erfolgen. Diese wird mit Hilfe von Kesselvolumen und mittlerer Kesseltemperatur berechnet und auf die Referenztemperatur von 45°C bezogen (vgl. Kapitel 4.6.1).

$m_{\text{korr}} = m - V_{\text{Kessel}} \times \left(\rho_{\text{H}_2\text{O}} \left(\frac{T_{\text{VL}} + T_{\text{RL}}}{2} \right) - \rho_{\text{H}_2\text{O}}(T_{\text{ref}}) \right)$	[kg]	4-2
--	------	-----

m Momentanwert der Kesselmasse [kg]
V_{Kessel} Wasservolumen des Kessels [m³]
ρ_{H₂O}(T) Dichte des Wassers bei Temperatur *T* [kg/m³]
T_{ref} Referenztemperatur (= 45°C)

Brennstoffverbrauch

Der augenblickliche Brennstoffverbrauch wird aus der Änderung der korrigierten Massen berechnet, wobei die Abnahme der gesamten Masse dem Verbrauch an Brennstoff gleichgesetzt wird.

$\dot{m}_{\text{BSt}} = - \frac{\Delta m_{\text{korr}}}{\Delta t}$	[kg/s]	4-3
--	--------	-----

Zugeführte Brennstoffenergie

Zur Berechnung der im Aufzeichnungsintervall durch den Brennstoff zugeführten Energie wird der Brennstoffverbrauch mit der Intervalldauer und dem Heizwert des feuchten bzw., falls der Kessel auf der Waage steht, mit dem des feuchten, jedoch aschefreien Brennstoffes berechnet.

$E_{\text{BSt}} = \dot{m}_{\text{BSt}} \times H_u \times \Delta t$	[kJ]	4-4
--	------	-----

Über den Wasserkreislauf abgenommene Wärmemenge

Die Wärmeleistung, die dem Kessel durch die Wärmeabnahme entzogen wird, wird an der Wärmeabnahme gemessen. Die abgenommene Wärmemenge ist das Produkt aus der über den Wasserkreislauf abgenommenen Leistung und dem Zeitintervall.

$E_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{WA}} \times \Delta t$	[kJ]	4-5
--	------	-----

P_{WA} gemessene Leistung an der Wärmeabnahme [kW]

Kesselenergie-Speicherung

Für die Betrachtung der instationären Zustände ist es notwendig, auch die im Kessel gespeicherte Energie zu berücksichtigen. Diese verteilt sich auf Kesselwasser und Kesselkörper. Die gespeicherte Energie wird mit dem Volumen des Kesselwassers, dem Leergewicht des Kessels und dem Mittelwert aus Vor- und Rücklauftemperatur abgeschätzt.

$E_{Kessel} = \left((V_{Kessel} + V_{WA}) \times \rho_{H2O} \left(\frac{T_{VL} + T_{RL}}{2} \right) \times c_{pH2O} \left(\frac{T_{VL} + T_{RL}}{2} \right) + m_{Kessel} \times c_{pStahl} \right) \times \left(\frac{T_{VL} + T_{RL}}{2} \right) / 1.000$	[kJ]	4-6
--	------	-----

m_{Kessel}..... Leergewicht des Kessels [kg]
c_{p,Stahl}..... Spezifische Wärmekapazität von Stahl, konstant (470 [J/(kg×K)])
c_{p, H2O(T)}..... Spezifische Wärmekapazität des Wassers bei Temperatur T [J/(kg×K)]

Elektrische Hilfsenergie

Die vom Kessel z.B. für Zündung, Saugzuggebläse, Umwälzpumpe oder Brennstoffförderung benötigte elektrische Hilfsenergie ist das Produkt aus der gemessenen elektrischen Leistung und dem Zeitintervall.

$E_{el} = P_{el} \times \Delta t$	[kJ]	4-7
-----------------------------------	------	-----

P_{el} Gemessene elektrische Leistung zum Betrieb des Kessels [kW]

4.7.3.2 Interpolation von Datenpunkten

Um die Auswertung für die tatsächlichen Zeitpunkte (*t₀* bis *t₅*) des Auswertezyklus durchführen zu können, sind die Werte für diese Zeitpunkte durch lineare Interpolation zu berechnen.

4.7.3.3 Berechnung des Nutzungsgrades bei Pufferbetrieb

Bei der Berechnung des Nutzungsgrades bei Pufferbetrieb ist die Annahme einer Puffergröße erforderlich. Für Scheitholz-Feuerungen wird dabei ein Volumen von 100 l/kW Nennleistung, für automatisch beschickte Feuerungen von 50 l/kW Nennleistung zugrunde gelegt.

$\eta_{Kessel} = \frac{E_{SP}}{E_{zu,start} + E_{zu,load} + E_{zu,stop}} \times 100$	[%]	4-8
--	-----	-----

E_{SP} maximal im Puffer speicherbare Wärme bei einer Spreizung von 30 K nach Formel (4-9) [kJ]
E_{zu}..... Energie, die dem Kessel während der jeweiligen Betriebsphase (start/stop/load) zugeführt wird nach Formel (4-10) [kJ]

Für die Berechnung der dem Puffer zugeführten Energie werden 3 Phasen betrachtet: Die Startphase, die Endphase und der Ladebetrieb. Für die Ermittlung der im Ladebetrieb zugeführten Energie wird die stationäre Phase linear so skaliert, dass der Puffer vollständig geladen wird (siehe Formel 4-11).

Die im Puffer speicherbare Wärme wird mittels folgender Formel errechnet:

$E_{SP} = V_{SP} \times \rho_{H_2O}(T_m) \times c_{p,H_2O}(T_m) \times \Delta T_{SP} / 1.000 = E_{H_2O,start} + E_{H_2O,load} + E_{H_2O,stop}$ [kJ]	4-9
---	-----

V_{SP} Volumen des Pufferspeichers nach Formel (4-10) [m³]
 T_m mittlere Temperatur T_m des Wassers im Speicher, mit 60°C angenommen [°C]
 ΔT_{SP} Spreizung der Wassertemperatur im Pufferspeicher, mit 30 K festgelegt [K]
 E_{H_2O} über das Wasser abgeführte Energie [kJ]

$E_{zu,start}$ und $E_{zu,stop}$ sind die Energiemengen, die während der Start- und Stopp-Phase dem Kessel zugeführt werden müssen, also die Summen aus elektrischer- und Brennstoff-Energie.

$E_{zu} = E_{Bst} + E_{el}$	[kJ] 4-10
-----------------------------	-----------

In der Phase des Ladebetriebs setzt sich die Energie $E_{zu,load}$, die dem Kessel zugeführt wird, folgendermaßen zusammen:

$E_{zu,load} = f_{SP} \times E_{stat} = f_{SP} \times (E_{Bst,stat} + E_{el,stat})$	[kJ] 4-11
---	-----------

f_{sp} Skalierungsfaktor, der die Verkürzung der stationären Phase beschreibt [-]

Der Skalierungsfaktor f_{sp} beschreibt die Verkürzung der stationären Phase, sodass der Puffer vollständig geladen wird, wobei die in der Start- und Stopp-Phase in den Puffer eingebrachte Energie ebenfalls berücksichtigt werden muss:

$f_{SP} = \frac{(E_{H_2O,SP} - E_{H_2O,start} - E_{H_2O,stop})}{E_{H_2O,stat}}$	[kJ] 4-12
---	-----------

Bei der Nutzung eines Pufferspeichers ist in der Betrachtung des Gesamtsystems der Pufferverlust mit zu berücksichtigen. Der Nutzungsgrad des Systems ist also der um den Wärmeverlust des Pufferspeichers reduzierte Kesselnutzungsgrad:

$\eta_{Puffersystem} = \eta_{Kessel} - (100 - \eta_{SP})$	[%] 4-13
---	----------

Der Pufferverlust $(100 - \eta_{SP})$ wird dazu mit Hilfe einer empirischen Formel für den Tagesverlust eines Pufferspeichers (wie in der Berechnung zur [OIB Richtlinie 6]) folgendermaßen bestimmt:

$100 - \eta_{SP} = \frac{365 \times (0,5 \times 0,25 \times V_{SP}^{0,4})}{2000 \times P_N} \times 100$	[%]	4-14
---	-----	------

$(0,5+0,25 \times V_{SP}^{0,4})$ Tagesverlust des Pufferspeichers in [kWh/d]
 2000..... Volllaststunden des Kessels für ein Jahr
 P_N Nennleistung des Kessels

4.7.3.4 Berechnung des Nutzungsgrades für den Lastzyklus

Der Nutzungsgrad wird aus der über das Wasser abgeführten und der im Kessel gespeicherten Energie sowie der über den Brennstoff und die elektrische Hilfsenergie zugeführten Energie berechnet.

Der Nutzungsgrad ist der Quotient aus erzeugter Wärme und zugeführter Energie für den Auswertzeitraum (siehe Abbildung 4-30).

$\eta_{mod} = \frac{E_{H2O} + \Delta E_{Kessel}}{E_{Bst} + E_{el}} \times 100$	[%]	4-15
--	-----	------

η_{mod} Jahresnutzungsgrad für den modulierenden Betrieb
 ΔE_{Kessel} gespeicherte Energie am Ende des Auswertzeitraums abzüglich der am Beginn bereits vorhandenen Energie ($E_{Kessel}(t_0) - E_{Kessel}(t_5)$) [kJ]

4.7.3.5 Berechnung der Emissionsfrachten

Zunächst müssen die gemessenen Konzentrationen in Frachten für jedes Zeitintervall der Aufzeichnung berechnet werden. Dies erfolgt durch Multiplikation der Konzentration mit dem Abgasnormvolumenstrom, der Dichte des Stoffes im Normzustand, sowie der Dauer des Zeitintervalls. Alle analysierten Gasinhaltsstoffe bis auf den Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff werden im trockenen Abgasstrom bestimmt. Daher muss deren Konzentration durch Multiplikation mit (1-w) auf jene im feuchten Abgasstrom umgerechnet werden.

$dm_{Em} = Em \times (1 - w) \times \dot{V}_{N,Abgas} \times \rho_{Em} \times \Delta t$	[kg]	4-16
---	------	------

Em Konzentration [kg/kg]
 w Wassergehalt im Abgas [kg/kg]
 $\dot{V}_{N,Abgas}$ Abgas-Normvolumenstrom [m³/s]
 ρ_{Em} Dichte des emittierten Gases im Normzustand [kg/m³]

Für den organisch gebundenem Kohlenstoff entfällt die Multiplikation mit (1-w), da im feuchten Abgasstrom gemessen wird.

$dm_{orgC} = Em_{orgC} \times \dot{V}_{N,Abgas} \times \rho_{orgC} \times \Delta t$	[kg]	4-17
---	------	------

Staubemissionen werden bereits als Massenkonzentrationen gemessen, daher fällt hier die Umrechnung mittels der Dichte weg:

$dm_{\text{Staub}} = Em_{\text{Staub}} \times (1 - w) \times \dot{V}_{N, \text{Abgas}} \times \Delta t$	[kg]	4-18
---	------	------

$Em_{\text{Staub}} \dots\dots\dots \text{Emission Staub [kg/m}^3\text{]}$

Die Emissionsfaktoren werden als Quotient aus der Summe der Emissionen und der zugeführten Brennstoffenergie im Auswertzeitraum errechnet.

Die Emissionsfaktoren f_{Em} für den Referenzlastzyklus werden aus der Summe der Frachten vom Startzeitpunkt t_0 bis zum Endpunkt t_5 (siehe Abbildung 4-30) bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie berechnet und in [kg/TJ] angegeben:

$EF_{Em} = \frac{\sum_{t_0-t_5} dm_{Em}}{E_{BSt}} \times 10^9$	[kg/TJ]	4-19
--	---------	------

Bei der Berechnung der Emissionsfaktoren für den Pufferbetrieb wird wie bei der Berechnung des Nutzungsgrades der Anteil der Emissionen im Vollastbetrieb mittels des Skalierungsfaktors (Formel 4-12) ermittelt. Die Emissionen aus Start- und Stopp-Phase werden addiert (Zeiten t_0 bis t_5 entsprechend Abbildung 4-29), auf die ebenso umgerechnete zugeführte Brennstoffenergie bezogen und in [kg/TJ] angegeben:

$EF_{Em} = \frac{\sum_{t_0-t_1} dm_{Em, \text{start}} + f_{SP} \times \sum_{t_1-t_2} dm_{Em, \text{stat}} + \sum_{t_2-t_5} dm_{Em, \text{stop}}}{E_{BSt, \text{start}} + f_{SP} \times E_{BSt, \text{stat}} + E_{BSt, \text{stop}}} \times 10^9$	[kg/TJ]	4-20
--	---------	------

4.7.3.6 Überprüfung der Datenqualität

Kesseländerung stationärer Betrieb (beim Vollastversuch)

Unterschied der im Kessel gespeicherten Energie zwischen Anfang und Ende des stationären Betriebs bezogen auf die bei einer Temperaturdifferenz von 20°C im Kessel gespeicherte Energiemenge, wobei die Stoffkonstanten auf 65°C bezogen werden. Empfohlen wird ein Wert unter ±1%

$\Delta P = \frac{\Delta E_{\text{Kessel}}}{(V_{\text{Kessel}} \times \rho \times c_p + m \times c_p) \times \Delta T}$	[%]	4-21
---	-----	------

Abweichung der Leistung vom vorgegebenen Sollwert (beim Jahresreferenzlastzyklus)

Zunächst ist der Zeitpunkt des Zyklusstarts festzulegen und die Sollwerte an den so gewählten Zeitpunkt zu verschieben. Aus Sollwert und Istwert der Leistung die über die Wärmeabnahme abgeführt wird, wird dann der Absolutwert der momentanen Abweichung folgendermaßen errechnet:

$\Delta P = \left \frac{(P_{WA} - P_{Soll})}{P_{Nenn}} \right $	[kW]	4-22
--	------	------

Aus den Absolutwerten der Abweichungen in jedem Zeitintervall im Auswertzeitraum wird die mittlere Abweichung in [%] errechnet. Diese Abweichung darf maximal 5% betragen und ist ein Maß für die Qualität der Wärmeabnahme.

Abweichung des emittierten vom zugeführten Kohlenstoff

Die Abweichung in der Kohlenstoffbilanz wird aus dem Quotienten der Summe des Kohlenstoffs in den Emissionen von CO₂, CO und OGC und dem zugeführten Kohlenstoff der Brennstoffmasse und dem Brennstoff-Kohlenstoffgehalt aus der Elementaranalyse errechnet und ist ein Indikator für die Qualität der Messung, empfohlen wird ein Wert unter ±5%.

$\Delta C = \left(\frac{\left(\frac{m_{CO_2}}{\rho_{CO_2}} + \frac{m_{CO}}{\rho_{CO}} \right) \times \rho_{orgC} + m_{orgC}}{m_{Bst} \times C \times (1 - w)} - 1 \right) \times 100$	[%]	4-23
---	-----	------

$$m_{Em} = \sum_{t0-t5} dm_{Em} \quad \text{Masse der Emissionen im Auswertzeitraum}$$

C Kohlenstoffgehalt im Brennstoff

Weitere Überprüfungsmöglichkeiten

Die folgenden Werte sind ebenfalls zur Überprüfung der Qualität der Messungen und der Auswertung geeignet und in der Auswertesoftware implementiert.

Durchschnittliche entnommene Wärmemenge während der Abkühlphase

Diese Abweichung ist ein Indikator für die Qualität der Messung, empfohlen wird ein Wert unter 0,5 kW.

Abweichung von der Referenztemperatur am Anfang und am Ende der Messung

Dieser Faktor gibt die Abweichung vom Mittelwert und den Mittelwert der Temperaturen am Anfang und Ende, den Referenzmessungen, an.

Skalierung stationärer Betrieb

Die Verkürzung der stationären Phase des Versuchs bei der Auswertung muss größer als 0 sein.

4.7.4 Auswertung der Messungen mittels der Auswertesoftware

Die Analyse der Messdaten erfolgt automatisiert mittels der im Rahmen des Projektes erstellten Auswertesoftware, die auf Basis von MS Excel und VBA Makros arbeitet. Die Bedienung ist im Leitfaden [Heckmann 2010] beschrieben.

5 Überprüfung der neuen Methode in Prüfstandsmessungen

Zur Überprüfung der Verwendbarkeit der neu entwickelten Messmethode, der Abläufe, der Messtechnik, des „Leitfaden zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und Jahresnormemissionsfaktoren am Prüfstand“ [Heckmann 2010] und der Auswertung wurden Versuche an den Prüfständen des TFZ Straubing, von FJ-BLT Wieselburg sowie am Versuchsstand von Bioenergy 2020+ durchgeführt. Im Zuge der Versuche wurden auch Verbesserungen aus den gewonnenen Erkenntnissen erarbeitet, wodurch die einzelnen Versuche teilweise von einander und von der endgültig fixierten Methode abweichen. Die Interpretation aller Versuche ist in Kapitel 5.4 zusammengefasst.

5.1 Messungen am Prüfstand von TFZ Straubing

Der im Projekt entwickelte Jahresreferenzlastzyklus wurde am Prüfstand des Technologie- und Förderzentrums an zwei ausgewählten Feuerungsanlagen getestet. Die Prüfobjekte waren eine Pelletsfeuerung mit einer Nennwärmeleistung von 27 kW, im Folgenden als Anlage A bezeichnet, und eine Hackschnitzelfeuerung mit einer Nennwärmeleistung von 30 kW, bezeichnet als Anlage B. Sowohl an Anlage A als auch an Anlage B wurde der im Projekt entwickelte Jahresreferenzlastzyklus (siehe Kapitel 4.2.5) getestet. Zu Anlage B erfolgte zudem noch eine Volllastmessung.

5.1.1 Beschreibung der Pelletsfeuerung (Anlage A)

Anlage A ist eine Pelletsfeuerung mit Quereinschub mit einer Nennwärmeleistung von 27 kW. Der gewählte Kessel ist mit Abgasturbulatoren ausgestattet und wird automatisch gezündet.

Die minimale Kesselleistung im kontinuierlichen Betrieb liegt bei 4 kW. Der Kessel ist mit einer Lambdaregelung, einer automatischen Zündung und Abgasturbulatoren zur automatischen Reinigung der Wärmetauscherflächen ausgestattet. In der Quereinschubfeuerung wird im Primärverbrennungsbereich der Brennstoff über eine Schneckenförderung von der Seite auf den Brennteller geschoben und eine geringe Strömungsgeschwindigkeit der Primärluft sorgt für ein ruhiges Brennstoffbett. Der Ausbrand der freigesetzten Gase erfolgt im aufgesetzten Nachverbrennungsring. Die anlagentechnischen Merkmale der Anlage A sind in Tabelle 5-1 wiedergegeben.

Anlagenkomponente	Ausführung
<i>Feuerung</i>	
Anlagenart	Pelletsfeuerung
Bauart	Feuerung in Kessel integriert, Brennstoffbehälter integriert
Nennwärmeleistung	27 kW mit Holzpellets
kleinste Wärmeleistung	4 kW mit Holzpellets
Feuerungsprinzip	Quereinschub mit Flammrohrbrenner und geteilter Primärluftführung
Brennstoffzufuhr	automatisch über Schnecken
Zündung	automatisch mit Zündgebläse
Entaschung	manuell
<i>Wärmetauscher</i>	
Form	Rohrwärmetauscher stehend
Reinigung	automatisch
<i>Verbrennungsluft</i>	
Primärluftzufuhr 1	durch den Rost beim Brennstoffeinschub (vorderer Teil des Brenntellers)
Primärluftzufuhr 2	durch den Rost auf der gegenüberliegenden Seite des Brennstoffeinschubs (hinterer Teil des Brenntellers)
Sekundärluftzufuhr	Nachverbrennungsring im Flammrohr
Gebläse	Druckgebläse
Luftmengenregelung	Drehzahlregelung der Gebläse
<i>Leistungsregelung</i>	
Regelgrößen	Kesselwasser- und Abgastemperatur
Stellgrößen	Brennstoff- und Verbrennungsluftmenge
<i>Verbrennungsregelung</i>	
Regelgrößen	Abgastemperatur
Stellgrößen	Verbrennungsluftmenge
<i>Betriebsdaten</i>	
Gewicht	ca. 450 kg inklusive Pelletsvorratsbehälter
Betriebstemperatur	70-80°C
Wasserinhalt	55 l
Rauchrohrdurchmesser	130 mm
El. Leistungsaufnahme	Standby 16 W, Zündung max. 290 W

Tabelle 5-1: Anlagentechnische Merkmale Anlage A

5.1.2 Durchführung der Versuche mit der Pelletsfeuerung (Anlage A)

Abbildung 5-1 zeigt die Kesselleistung, die Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus, die geleistete elektrische Arbeit und den gemessenen Normvolumenstrom bei Anlage A. Deutlich erkennbar ist die gute Übereinstimmung zwischen gemessener Kesselleistung (grüne gestrichelte Linie) und Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus (rote Linie). Nur zu Beginn des Referenzlastzyklus ist eine etwas größere Abweichung zwischen der Kesselleistung und der Sollleistung zu sehen. Dies liegt daran, dass der Start des Jahresreferenzlastzyklus dann erfolgt, wenn die Kesselvorlauftemperatur eine Kesselrücklaufumtemperatur von 55°C übersteigt. Die abgegebene Kesselleistung kann dem sofortigen Anstieg auf 100% Leistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus nicht folgen, da sich der Kessel erst erwärmt und die Leistungsabgabe je nach Kesselmasse und Kesselwasserinhalt mehr oder weniger träge erfolgt. Nicht dargestellt ist hier die Abkühlphase, in der die im Kessel gespeicherte Energie festgestellt wird.

Der Normvolumenstrom wird gut der jeweiligen Leistungsstufe angepasst und sinkt beim Taktbetrieb am Ende der Jahresreferenzlastkurve bei 13% der Nennleistung bei Anlagenstillstand auf einen sehr niedrigen Wert ab. Die Anlage schließt also bei Stillstand die Luftzuführungen. Die kurzzeitigen Spitzen mit einem Normvolumenstrom von mehr als 60 Nm³/h entstehen bei der automatischen Abreinigung der Anlage, da dies mit einer deutlichen Erhöhung der Gebläsedrehzahl einher geht.

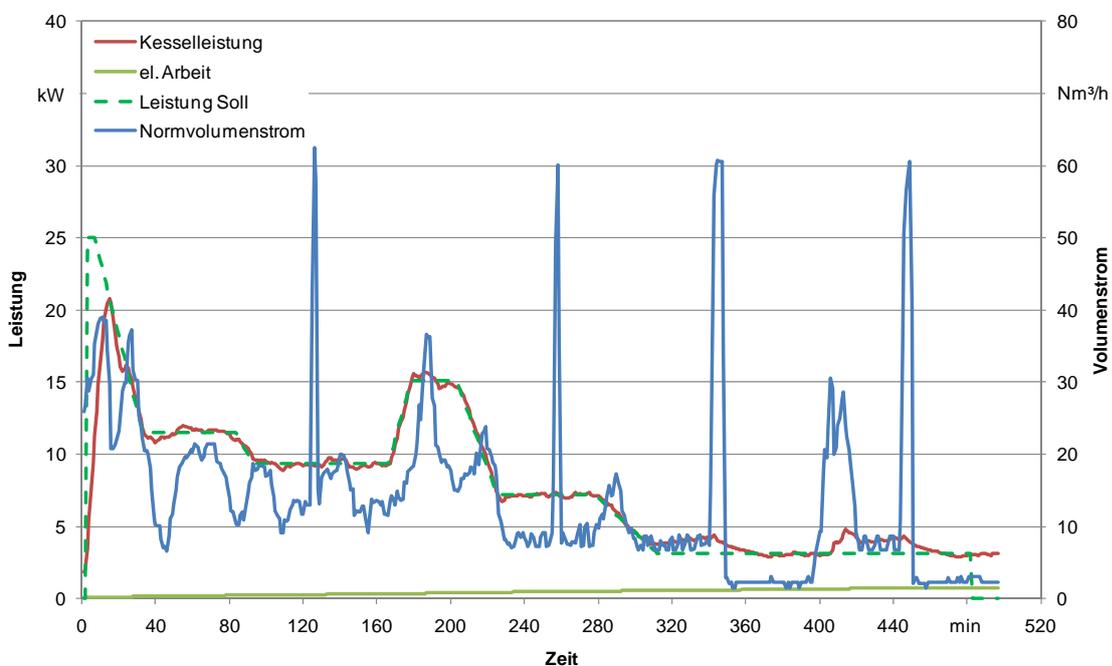


Abbildung 5-1: Kesselleistung, Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus, geleistete elektrische Arbeit und Normvolumenstrom bei Anlage A

Die Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus bei Anlage A zeigt Abbildung 5-2. Der gemessene Jahresnutzungsgrad beträgt somit 81,0% bei einem Elektroenergiebedarf von 0,9%. Die Kohlenstoffmonoxidemissionen betragen 274,1 kg/TJ, während die Stickstoffoxidemissionen, ausgewiesen als Stickstoffdioxidemissionen, bei 74,9 kg/TJ liegen.

Die Schwefeldioxidemissionen wurden in diesem Versuch zwar gemessen, eine spätere Überprüfung des Gasanalysators ließ allerdings Zweifel an der Richtigkeit der Messergebnisse aufkommen (zu große Querempfindlichkeiten zu anderen Messgrößen). Deshalb wird hier auf eine Angabe der Schwefeldioxidemissionen verzichtet.

Die Emissionen von organischem Kohlenstoff liegen bei 13,5 kg/TJ und die Staubemissionen bei 14,6 kg/TJ.

Lastzyklus	
<i>Datei:</i>	Anlage_A_Lastkurve_190210 @ Daten_Anlage_A_Lastkurve_ ▾
<i>Auswertezeiträume</i>	
Kesselstart	19.02.2010 09:10
Zyklusstart	19.02.2010 09:20
Zyklusende	19.02.2010 17:20
Versuchsende	19.02.2010 18:22
<i>Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren</i>	
Nutzungsgrad	81,0 [%]
el. Energiebedarf	0,9 [%]
CO	274,1 [kg/TJ]
NOx	74,9 [kg/TJ]
SO2	25,1 [kg/TJ]
org. C	13,5 [kg/TJ]
Staub	14,6 [kg/TJ]

Abbildung 5-2: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus bei Anlage A

5.1.3 Beschreibung der Hackschnitzelfeuerung (Anlage B)

Anlage B ist eine Hackschnitzelfeuerung mit Quereinschub und Treppenrost mit einer Nennwärmeleistung von 30 kW und einer Minimalleistung von ca. 9 kW im Dauerbetrieb. Der Brennstoff wird über ein Heißluftgebläse automatisch gezündet und bei einer Feuerraumtemperatur von ca. 650°C verbrannt. Ein beweglicher Treppenrost sorgt für eine automatische Rostreinigung, für die notwendige Bewegung im Glutbett und für den Ascheabtransport. Die Anlage ver-

fügt über eine elektronische Regelung mit Lambdasonde, die Primärluftzufuhr erfolgt durch den Treppenrost und die Sekundärluft wird in eine Ausbrandzone oberhalb des Glutbetts eingeblasen. Die Reinigung des Rohrbündelwärmetauschers erfolgt automatisch in frei programmierbaren Zeitintervallen. Die anlagentechnischen Merkmale der Anlage B sind in Tabelle 5-2 wiedergegeben.

Anlagenkomponente	Ausführung
<i>Feuerung</i>	
Anlagenart	Hackschnitzelfeuerung
Bauart	Feuerung in Kessel integriert
Nennwärmeleistung	30 kW
kleinste Wärmeleistung	9 kW
Feuerungsprinzip	Einschub mit bewegtem, luftgekühltem Schrägrost
Brennstoffzufuhr	automatisch über Schnecken
Zündung	automatisch mit Zündgebläse
Entaschung	automatischer Austrag mit Schnecken
<i>Wärmetauscher</i>	
Form	Rohrbündelwärmetauscher stehend
Reinigung	automatisch
<i>Verbrennungsluft</i>	
Primärluftzufuhr	durch den Rost
Sekundärluftzufuhr	beidseitig über der Flamme in die Brennkammer
Gebläse	Druckgebläse
Luftmengenregelung	Drehzahlregelung der Gebläse
<i>Leistungsregelung</i>	
Regelgrößen	Kesselwasser- und Abgastemperatur
Stellgrößen	Brennstoff- und Primärluftmenge
<i>Verbrennungsregelung</i>	
Regelgrößen	Abgastemperatur, Lambda
Stellgrößen	Sekundärluftmenge
<i>Betriebsdaten</i>	
Gewicht	ca. 380 kg
Betriebstemperatur	60-80°C
Wasserinhalt	128 l
Rauchrohrdurchmesser	150 mm
el. Leistungsaufnahme	Standby 22 W, Zündung Ø 668 W

Tabelle 5-2: Anlagentechnische Merkmale Anlage B

5.1.4 Durchführung der Versuche mit der Hackgutfeuerung (Anlage B)

Abbildung 5-3 zeigt die Kesselleistung, die Sollleistung, die geleistete elektrische Arbeit und den gemessenen Normvolumenstrom bei Vollastbetrieb bei Anlage B. Die Kurven zeigen erwartungsgemäß einen relativ konstanten Verlauf, wobei die angestrebte Nennleistung von 30 kW nicht ganz erreicht wurde. Der Normvolumenstrom beträgt etwa 55 Nm³/h und die beiden Minima im Normvolumenstrom in der Mitte der Abbildung sind durch Abreinigungsverfahren bedingt. Diese Anlage regelt während der Abreinigung die Gebläsedrehzahl zurück.

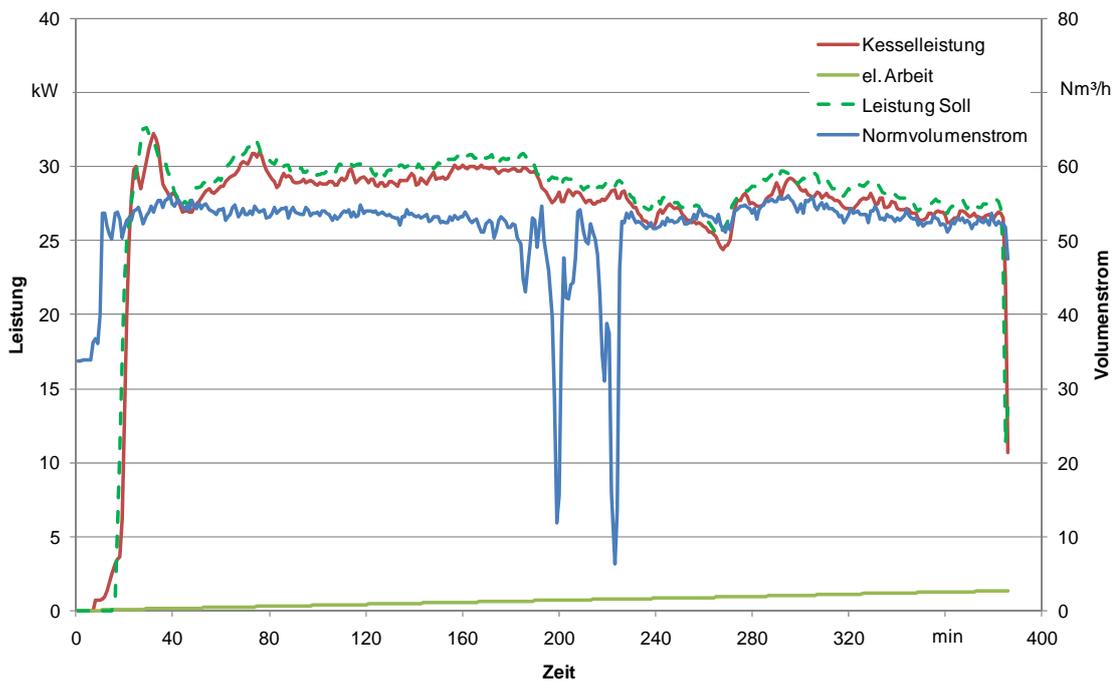


Abbildung 5-3: Kesselleistung, Sollleistung, geleistete elektrische Arbeit und Normvolumenstrom bei Vollastbetrieb bei Anlage B

In Abbildung 5-4 sind die Kesselleistung, die Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus, die geleistete elektrische Arbeit und der gemessene Normvolumenstrom bei Anlage B dargestellt. Auch hier ergibt sich wieder eine gute Übereinstimmung zwischen gemessener Kesselleistung (grüne gestrichelte Linie) und Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus (rote Linie). Allerdings ist bei Anlage B zu Beginn des Referenzlastzyklus die Abweichung zwischen der Kesselleistung und der Sollleistung deutlich größer als bei Anlage A. Die Gründe dieser Abweichung entsprechen denen bei Anlage A, nur reagiert Anlage B aufgrund der höheren Kesselmasse und des größeren Wasserinhalts zum Start des Jahresreferenzlastzyklus träger als Anlage A. Auch hier ist die Abkühlphase, in der die im Kessel gespeicherte Energie festgestellt wird, nicht dargestellt.

Der Normvolumenstrom wird bei Anlage B weniger gut der jeweiligen Leistungsstufe angepasst, was auf ein weniger flexibles Regelungskonzept der Anlage schließen lässt. Zudem bleibt der

Normvolumenstrom während der Versuchszeit fast immer oberhalb von 30 Nm³/h, d.h. die Luftöffnungen werden bei Stillstandsbetrieb nicht geschlossen. Dadurch erfolgt eine stärkere Abkühlung des Kessels während der Stillstandszeiten.

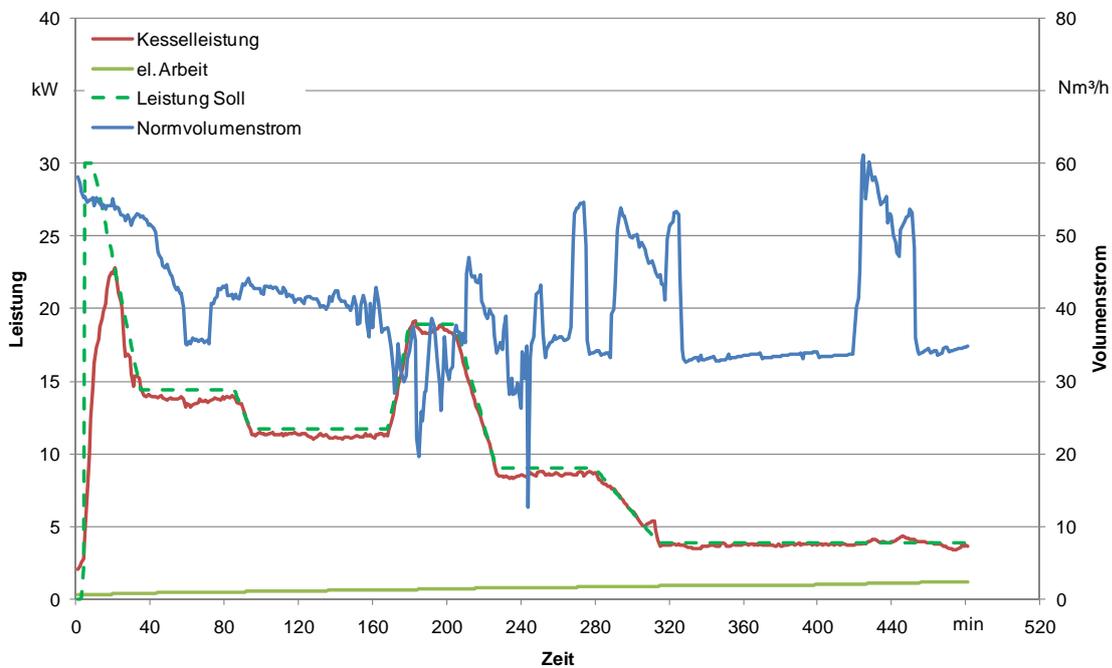


Abbildung 5-4: Kesselleistung, Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus, geleistete elektrische Arbeit und Normvolumenstrom bei Anlage B

Die Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Volllastbetrieb bei Anlage B zeigt Abbildung 5-5. Der gemessene Wirkungsgrad beträgt somit 82,8%. Die Kohlenstoffmonoxidemissionen betragen 167,7 kg/TJ, während die Stickstoffoxidemissionen, ausgewiesen als Stickstoffdioxidemissionen, bei 111,8 kg/TJ liegen.

Die Schwefeldioxidemissionen wurden in diesem Versuch zwar gemessen, eine spätere Überprüfung des Gasanalysators ließ allerdings Zweifel an der Richtigkeit der Messergebnisse aufkommen (zu große Querempfindlichkeiten zu anderen Messgrößen). Deshalb wird hier auf eine Angabe der Schwefeldioxidemissionen verzichtet.

Die Emissionen von organischem Kohlenstoff liegen bei 1,8 kg/TJ und die Staubemissionen bei 32,6 kg/TJ. Die Staubemissionen wurden als Mittelwerte über die Standzeit der jeweiligen Filtermedien ermittelt.

Der Einsatz eines Pufferspeichers mit einem Volumen von 1500 Liter könnte den Nutzungsgrad auf 90,0% erhöhen. Die weitere Interpretation der Daten und der Abweichungen zwischen den nach den verschiedenen Auswerteverfahren ermittelten Werte erfolgt in Kapitel 5.4.

Volllastversuch	
Datei:	AnlageB_Volllast_190710 @ Daten_AnlageB_Volllast_1007 ▼
Auswertezeiträume:	
Kesselstart	19.07.2010 11:46
Start stationärer Betrieb	19.07.2010 12:35
Ende stationärer Betrieb	19.07.2010 18:00
Versuchsende	20.07.2010 08:19
Wirkungsgrad / Emissionen nach EN 303-5	
Wirkungsgrad (direkt)	82,5 [%]
CO	167,7 [mg/MJ]
NOx	111,8 [mg/MJ]
SO2	0,0 [mg/MJ]
org. C	1,8 [mg/MJ]
Staub	32,6 [mg/MJ]
Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren Pufferbetrieb	
Puffergröße	1500 [l]
Nutzungsgrad Kessel	90,0 [%]
el. Energiebedarf	0,8 [%]
Pufferverlust	3,1 [%]
Nutzungsgrad System	86,8 [%]
CO	778,7 [kg/TJ]
NOx	141,8 [kg/TJ]
SO2	0,0 [kg/TJ]
org. C	191,2 [kg/TJ]
Staub	67,8 [kg/TJ]

Abbildung 5-5: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Volllastbetrieb bei Anlage B

In

Abbildung 5-6 sind die Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus bei Anlage B dargestellt. Der gemessene Jahresnutzungsgrad liegt bei nur 73,3%, der Elektroenergiebedarf bei 1,4%. Die Kohlenstoffmonoxidemissionen betragen 916,4 kg/TJ, während die Stickstoffoxidemissionen, ausgewiesen als Stickstoffdioxidemissionen, bei 127,7 kg/TJ liegen.

Die Schwefeldioxidemissionen wurden in diesem Versuch zwar gemessen, eine spätere Überprüfung des Gasanalysators ließ allerdings Zweifel an der Richtigkeit der Messergebnisse aufkommen (zu große Querempfindlichkeiten zu anderen Messgrößen). Deshalb wird hier auf eine Angabe der Schwefeldioxidemissionen verzichtet.

Die Emissionen von organischem Kohlenstoff liegen bei 53,6 kg/TJ und die Staubemissionen bei 55,3 kg/TJ. Die Staubemissionen konnten allerdings nur als Mittelwerte über die Standzeit der jeweiligen Filtermedien ermittelt werden.

Lastzyklus

Datei:

Auswerteziträume

Kesselstart	01.07.2010 10:52
Zyklusstart	01.07.2010 11:11
Zyklusende	01.07.2010 19:11
Versuchsende	02.07.2010 08:35

Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren

Nutzungsgrad	73,3 [%]
el. Energiebedarf	1,4 [%]
CO	916,4 [kg/TJ]
NOx	127,7 [kg/TJ]
SO2	0,0 [kg/TJ]
org. C	53,6 [kg/TJ]
Staub	55,3 [kg/TJ]

Abbildung 5-6: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus bei Anlage B

5.2 Messungen am Prüfstand bei FJ-BLT Wieselburg



Abbildung 5-7: Arbeiten am Prüfstand bei FJ-BLT Wieselburg

Foto: Harald Baumgartner, FJ-BLT Wieselburg

5.2.1 Versuchsanordnung – Messmethoden

Kesselprüfstand mit Wärmetauscher

Die Wärmeleistungsmessung erfolgt durch unmittelbare Messung der im Kreislauf umgewälzten Wassermenge und deren Temperaturerhöhung entsprechend DIN 4702-2:1990. Die Wärmeabnahme wird entsprechend der vorgegebenen Soll-Rücklauftemperatur oder der gewählten Spreizung und auf die erforderliche Durchflussmenge eingestellt. Die Rücklauftemperatur kann seitens des Prüfstandes konstant gehalten oder auf eine konstante Differenztemperatur geregelt werden

Bei den Versuchen mit der Pelletsfeuerung war diese mit einem Mischer im Kesselvorlauf zur gleitenden Vorlauftemperaturregelung ausgestattet. Die Laständerung wurde entsprechend dem vorgegebenen Zyklus halbautomatisch durchgeführt. Zum vorgegebenen Zeitpunkt der Laständerung wurden Durchflussmenge und Spreizung am Kesselprüfstand von Hand eingestellt. Die Regelung der Leistungsabnahme durch den Kesselprüfstand erfolgte automatisch.

Bei den Versuchen mit der Stückholzfeuerung wurde die Rücklauf­temperatur des Prüfstandes konstant gehalten.

Abgasabfuhr

über senkrechte Messstrecke, Erzeugung des Förderdruckes durch Fertigteilfang, Durchmesser 200 mm, Höhe über Grund 9 m, Begrenzung des Förderdruckes durch Zugbegrenzer-Klappe.

Wärmeleistungsmessung

Bestimmung des Massedurchflusses mit Coriolis-Massendurchflussmessgerät PROMASS 63 F der Fa. Endress & Hauser, Wassertemperaturen am Kesselein- und -austritt mit Widerstandsthermometer Pt 100, 1/3 DIN, paarweise kalibriert.

Abgastemperatur

in der Messstrecke durch Netzmessung mit 5 Widerstandsthermometern Pt 100.

Förderdruck

Differenzdruckmessumformer (Delta-P P92K), Messbereich 0 - 100 Pa.

Gehalt an CO₂ und CO

Nicht dispersiver Infrarotgasanalysator NGA 2000 der Firma Emerson; Kohlendioxid: kleinster Messbereich 0 - 5%, größter Messbereich 0 - 20%; Kohlenmonoxid: CO Low - kleinster Messbereich 0 - 50 ppm, größter Messbereich 0 - 2.500 ppm, CO High - kleinster Messbereich 0 - 1,0%, größter Messbereich 0 - 10%; Bestimmung im trockenen Abgas.

Staubgehalt

Gravimetrische Gesamtstaub-Messeinrichtung der Firma Paul Gothe GmbH mit einer Nennabsaugmenge von 6 m³/h, Staubabscheidung auf gestopfte Quarzwollfilter; Filter direkt nach Entnahmesonde und Winkelstück, Bestimmung des Teilstromvolumens mit Trockengaszähler und vorgeschaltetem Trockenturm. Die Entnahmestelle für die Bestimmung des Staubgehaltes ist unmittelbar nach der Messstrecke angeordnet.

Gehalt an organischen gasförmigen Stoffen

Flammenionisationsdetektor Thermo-FID „ES“; Probenahme über beheizten Filter und beheizte Leitung (auf 180°C thermostatisiert); Bestimmung im feuchten Abgas.

Gehalt an NO

Gasanalysator der Firma ECO PHYSICS, TypeCLD 700 EI-ht; Messprinzip Chemilumineszenz, Probenahme über beheizten Filter und beheizte Leitung; Gaskühler; Bestimmung im trockenen Abgas.

Elektrische Leistungsaufnahme

Modularer Energiezähler ULYS ETD der Firma ENERDIS, Drehstrom 100 - 400 mit einer Messgenauigkeit der Wirkenergie nach IEC 61036/EN61036 Cl.1. Maximale Auflösung des Impulsausgangs: 0,1 Wh.

Power Analyzer Norma 4000 mit 3 Power Phase PP40 und folgenden Spezifikationen: 8 Messbereiche für Spannung (0,3 / 1 / 3 / 10 / 100 / 300 / 1000 V), 6 Messbereiche für Strom (30 - 100 mA - 0,3 - 1 - 3 - 10 A). Die Basisgenauigkeit ist $\pm 0,1\%$ vom Messwert und $\pm 0,1\%$ vom Messbereich, Sample Rate 341 kHz, Bandbreite für Spannung 3 MHz.

Messdatenerfassung

Datenerfassungssystem TopMessage der Firma Delphin Technologie AG, Abfrageintervall 1 sec, Mittelwertbildung über 10 Messungen, Ablage der gemittelten Daten auf Datenträger.



Abbildung 5-8: Versuchsaufbau am Versuchsstand bei FJ-BLT Wieselburg

Foto: Harald Baumgartner, FJ-BLT Wieselburg

5.2.2 Abgasmessstrecke

Die Abgasmessstrecke musste vor den Messungen aufgrund der gegebenen Anschlusshöhen der Kaminsysteme entsprechend den Skizzen in Abbildung 5-9 und Abbildung 5-10 adaptiert werden.

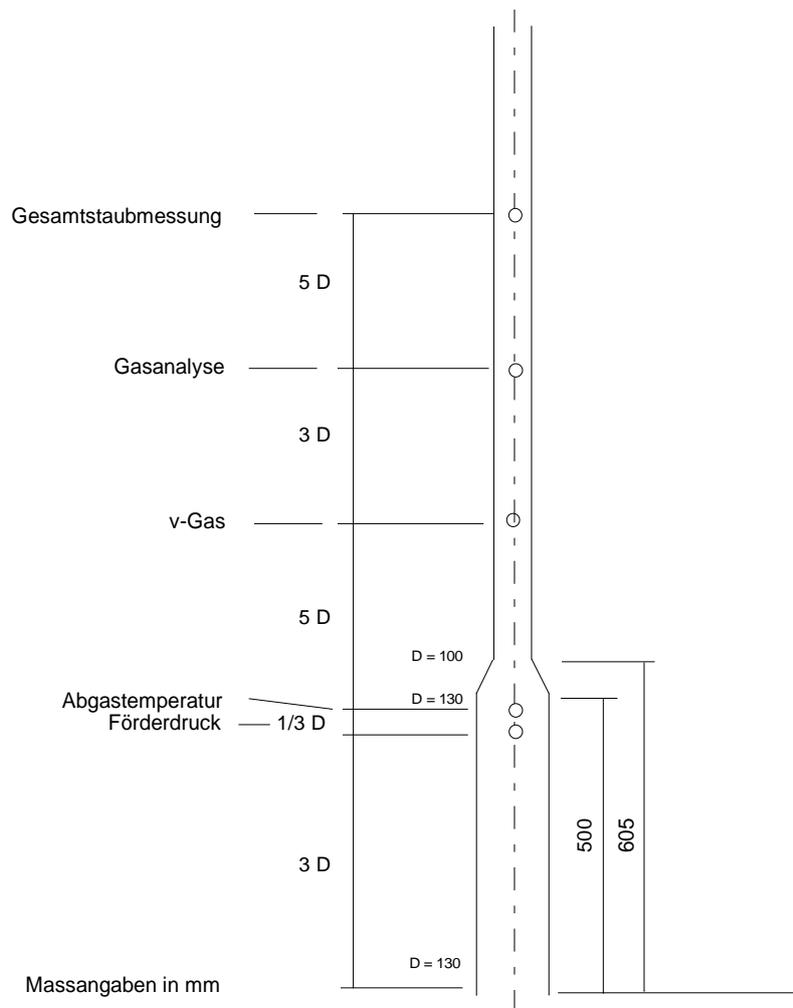


Abbildung 5-9: Abgasmessstreckenaufbau bei Messungen mit der Pelletsfeuerung

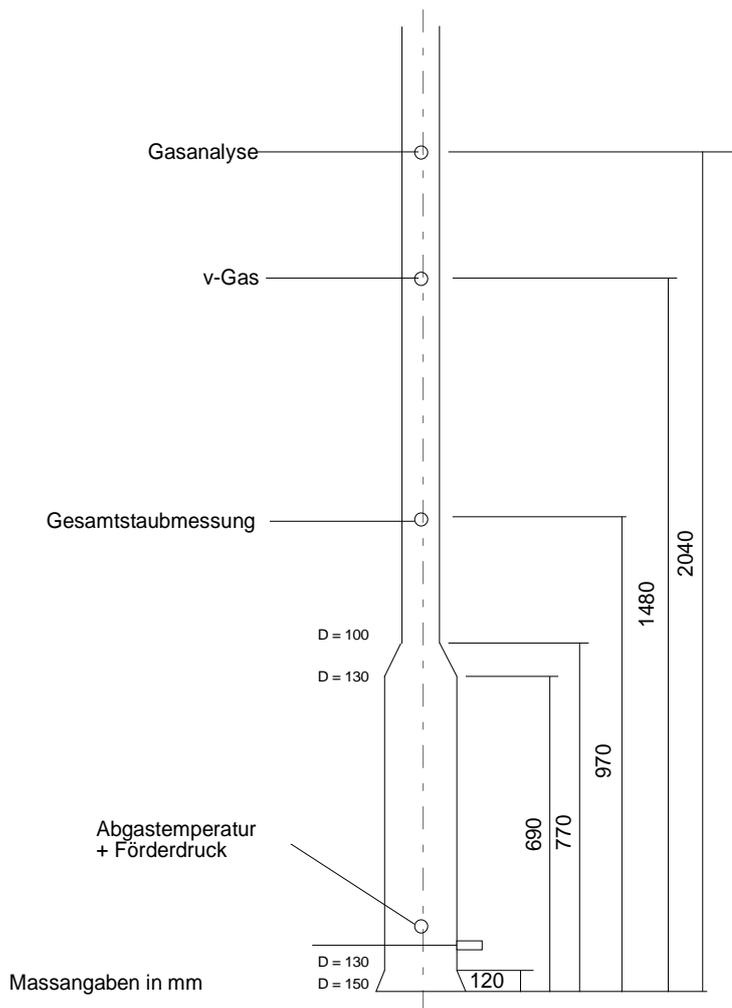


Abbildung 5-10: Abgasmessstreckenaufbau bei Messungen mit der Stückholzfeuerung

5.2.3 Beschreibung der Pelletsfeuerung (Anlage C)

Die Pelletsfeuerung, mit einer Nenn-Wärmeleistung von 14,9 kW, besteht aus dem Pellets-Zwischenbehälter mit Dosiereinheit, dem Brennraum und einem 3-Zug-Wärmetauscher.

Eine Dosierschnecke entnimmt im Heizbetrieb die Pellets dem Zwischenbehälter von unten. Diese werden durch die Zellradschleuse (Rückbrandsicherung) zur Stokerschnecke und von dieser in den Brennraum auf den Rost gefördert. Beim Kaltstart werden die Pellets mittels Zündstab automatisch gezündet. Zur Zünderkennung werden sowohl die Abgastemperatur als auch der Sauerstoffgehalt im Abgas verwendet. Der Gastransport im Kessel erfolgt durch Unterdruck, der mit einem drehzahlgeregelten Radialgebläse am Ende des Wärmetauschers erzeugt wird. Die erforderliche Verbrennungsluft wird zum Teil als Primärluft von unten dem Glutbett, und als Sekundärluft seitlich der Flamme zugeführt. Die Verbrennungsluftmenge wird mit einer Differenzdruckmessung überwacht. Die Verbrennungsgase ziehen vom Brennraum nach oben in den Flammraum (1. Zug), weiter nach unten durch den 2. Zug in die Absetz-/ Wende-

kammer und schließlich durch den 3. Zug in den oberen Abgassammelkasten und weiter zum Abgasstutzen. Der 2. und 3. Zug sind als Rohrwärmetauscher ausgeführt und mit automatisch betätigten Reinigungs-Wirbulatoren bestückt. Die Verbrennungsluftmenge wird durch die Abgasgebläsedrehzahl geregelt. Die Pelletsfeuerung ist mit einem Mischer im Kesselvorlauf zur gleitenden Vorlauftemperaturregelung, einem Ausdehnungsgefäß, Sicherheitsventil, Entlüftung und Manometer ausgestattet.

Eine Mikrocontroller-Steuerung übernimmt die erforderlichen Mess-, Steuer- und Regelungsaufgaben sowie die Kommunikation mit dem Umfeld und dem Bediener. Der Kessel wird mit den Messgrößen Kessel-, Vorlauf- und Abgastemperatur sowie Restsauerstoffgehalt des Abgases geregelt. Die Stellgrößen sind dabei Brennstoffmenge, Abgasgebläsedrehzahl und Stellung des Vorlaufmischers. Ein Display an der Kesselfront dient zur Anzeige der Messgrößen, Parameter und Zustände der Steuerungskomponenten sowie zur Parametrierung der Anlage.

Gesamtabmessungen Pelletsfeuerung	Wert	Einheit
Gesamtbreite inkl. Vorratsbehälter	1.160	mm
Gesamttiefe	600	mm
Gesamthöhe inkl. Abgasrohranschlusstutzen	1.150	mm
Abgasrohrdurchmesser	120	mm
Vorlauf-/Rücklaufanschluss	3/4	"
Wasserinhalt (gemessen)	27	l
Wärmedämmung	30 - 100	mm
Gesamtmasse (Kessel + Vorratsbehälter + Einbauten)	246	kg

Tabelle 5-3: Gesamtabmessungen der untersuchten Pelletsfeuerung

Quelle: Messung an der FJ-BLT Wieselburg

5.2.4 Durchführung der Versuche mit der Pelletsfeuerung (Anlage C)

Zum Zeitpunkt der Messungen war noch kein endgültiger Versuchsablauf definiert, daher weisen die einzelnen Versuche geringe Abweichungen zur im Leitfaden beschriebenen Methode auf. Bei dem Test im modulierenden Betrieb mit Lastzyklus wurde beispielsweise die Umwälzpumpe in der Abkühlphase nicht abgeschaltet, wodurch es zu einer zu geringen Bewertung der Abstrahlungsverluste in der Standby-Phase kam.

Die Abgasmessstrecke wurde entsprechend Abbildung 5-9 aufgebaut, wobei die Messstrecke von $D = 130$ mm auf $D = 100$ mm reduziert wurde. Die Feuerung ist als Kompaktanlage mit in der Verkleidung integriertem Zwischenbehälter aufgebaut. Die Feuerung inklusive dem Zwischenbehälter befindet sich bei den Versuchen auf der Abbrandwaage.

Der Sensor zur Messung der Abgasfeuchte wurde bereits bei der ersten Messung defekt und war auch für die folgenden Messungen nicht verfügbar, die Abgasfeuchte wurde daher anhand

der Brennstoffzusammensetzung berechnet. Die Zusammensetzung und die verbrennungstechnischen Kenngrößen der verwendeten ÖNORM-Pellets sind in der Abbildung 5-11 zu sehen.

Brennstoffdaten		Pellets
Art		
Elementaranalyse		
C		50,80 [m% (d.b.)]
H		6,20 [m% (d.b.)]
O		43,00 [m% (d.b.)]
N		- [m% (d.b.)]
A		0,23 [m% (d.b.)]
Wassergehalt		7,10 [m% (w.b.)]
Energiegehalt		
Heizwert H_U		17,60 [MJ/kg (w.b.)]
		17,64 [MJ/kg (w.b., a.f.)]
Brennwert H_O		19,13 [MJ/kg (d.b.)]
		19,04 [MJ/kg (w.b.)]
		20,49 [MJ/kg (d.b.)]

Abbildung 5-11: Eigenschaften der bei den Versuchen verwendeten Holzpellets

Quelle: Messung an der FJ-BLT Wieselburg

FILE: MO: 15_12_09 1s.asc DATUM: 15.12.2010 Brennstoff: Holzpellets
VERSUCH: Lastzyklus

Vor Versuchsbeginn wurde das System extern mit einer Therme auf eine Kesselvorlauftemperatur von 41,4°C und Kesselrücklauftemperatur von 40,8°C temperiert.

Einstellung Wärmeabnahme

- Der Durchfluss im Kesselkreislauf des Wärmeabfuhrsystems wurde konstant gehalten
- Die Kesselkreislaufpumpe wurde mit Erreichen der Kesselvorlauftemperatur von 50°C eingeschaltet
- Die Temperaturspreizung von Vorlauf- zu Rücklauftemperatur wurde entsprechend dem vorgegebenen Lastzyklus variiert
- Die Feuerung regelte nach der eingestellten Soll-Kesseltemperatur

Aufgrund der geringen Akkulaufzeit des Abgas-Geschwindigkeitssensors kam es kurzzeitig zur Verfälschung der Messwerte. Der minimale Messwert dieses Gerätes ist 0,3 m/s, dies entspricht einem Abgasnormvolumenstrom von 5 Nm³/h.

Zeit	Ereignis
09:36:18	Kesselvorlauftemp.: 41,4°C / Kesselrücklauftemp.: 40,8°C
09:38:38	Feuerung START
09:49:05	Kesseltemperatur hat 50°C erreicht Wärmeabnahme 100% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung 20 K
09:50:16	Kesselkreislaufpumpe EIN
09:53:48	Wärmeabnahme 48% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung 9,6 K
11:12:40	Wärmeabnahme 39% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung 7,8 K
11:15 - 11:25	Stromversorgung des Abgasgeschwindigkeitssensors von AKKU auf Netzgerät geändert.
12:45:20	Wärmeabnahme 63% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung 12,6 K
13:22:34	Wärmeabnahme 30% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung 6,0 K
14:24:48	Wärmeabnahme 13% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung 2,6 K
17:49:05	Wärmeabnahme aus, Verteilerpumpe Nr. 3 = AUS, Kesselkreislaufpumpe und Durchflussmenge des Wärmeabfuhrsystems bleiben unverändert; Spreizungsvorgabe = 0 K, Die Kesselregelung ist auf außentemperaturgeführte Regelung (25°C) eingestellt.

Die Durchflussmenge im Kesselkreislauf wurde automatisch geregelt; die angegebenen Spreizungen in den Zyklen wurden zu den angeführten Zeitpunkten manuell eingestellt.

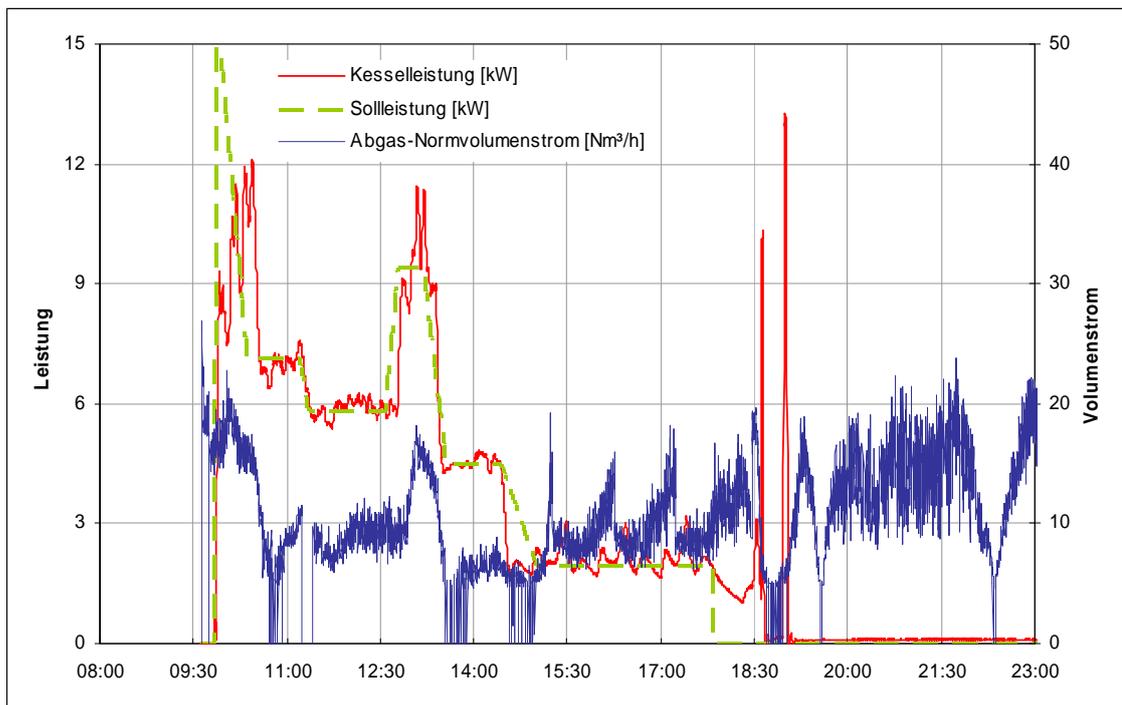


Abbildung 5-12: Kesselleistung, Solleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus und Normvolumenstrom bei Anlage C am 15.12.

Wie man in Abbildung 5-12 erkennen kann, ist die abgenommene Kesselleistung mehrmals höher als die Solleistung entsprechend dem Lastzyklus. Dies ist durch die manuelle Vorgabe von Spreizung und Volumenstrom bedingt und geschieht, wenn die Kesseltemperatur über die Solltemperatur ansteigt.

Eines der besonderen Charakteristika dieses Prüfstandes ist die ausschließliche Verwendung von Naturzug im Kamin, d.h. es gibt keine Unterstützung durch ein Saugzuggebläse. Dadurch kommt es, wie im realen Einsatz, zu witterungsbedingten, im Vergleich zu andern Prüfständen erhöhten Schwankungen im Kaminzug und dadurch auch im Abgasvolumenstrom, wie man auch in Abbildung 5-12 sehen kann.

Die Ergebnisse sowie die ausgewerteten Zeitintervalle des Testlaufes mit Anlage C sind in Abbildung 5-13 zu sehen.

Lastzyklus	
Datei:	15_12_09 1s @ 15_12_09 1s.xls
<i>Auswerteziträume</i>	
Kesselstart	15.12.2009 09:38
Zyklusstart	15.12.2009 09:52
Zyklusende	15.12.2009 17:52
Versuchsende	16.12.2009 01:52
<i>Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren</i>	
Nutzungsgrad	85,6 [%]
el. Energiebedarf	1,5 [%]
CO	442,1 [kg/TJ]
NOx	57,8 [kg/TJ]
SO2	0,0 [kg/TJ]
org. C	11,4 [kg/TJ]
Staub	8,9 [kg/TJ]

Abbildung 5-13: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Anlage C , Versuch von 15.12.

FILE: MO: 16_12_09 1s.asc DATUM: 16.12.2010 Brennstoff: Holzpellets
VERSUCH: Lastzyklus

Dieser Versuchslauf ist identisch mit jenem am Tag zuvor. Er diente zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

Vor Versuchsbeginn wurde das System extern mit einer Therme auf eine Kesselvorlauftemperatur von 40,9°C und Kesselrücklauftemperatur von 40,2°C temperiert.

Wärmeabnahmeeinstellung

- Der Durchfluss im Kesselkreislauf wurde konstant gehalten.
- Die Kesselkreislaufpumpe wurde mit Versuchsbeginn eingeschaltet.
- Die Temperaturspreizung von Vorlauf- zu Rücklauftemperatur wurde entsprechend dem vorgegebenen Lastzyklus variiert.
- Die Feuerung regelte nach der eingestellten Soll-Kesseltemperatur.

Analog zum vorherigen Testlauf gab es Einschränkungen bei der Messung von geringen Werten beim Abgasvolumenstrom.

Zeit	Ereignis
08:27:35	Feuerung START, Kesselvorlauftemp.: 40,9°C / Kesselrücklauftemp.: 40,2°C
08:31:34	Kesselkreislaufpumpe des Wärmeabfuhrsystems EIN
09:43:18	Kesseltemperatur hat 50°C erreicht, Wärmeabnahmesystem EIN (Lüfter, Verteilerpumpe) Wärmeabnahme 100% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung: 20,0 K
09:48:01	Wärmeabnahme 48% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung: 9,6 K
10:04:16	Wärmeabnahme 39% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung: 7,8 K
11:27:00	Wärmeabnahme 63% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung: 12,6 K
12:03:47	Wärmeabnahme 30% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung: 6,0 K
13:19:01	Wärmeabnahme 13% der Nenn-Wärmeleistung, Spreizung: 2,6 K
16:43:18	Wärmeabnahme aus, Verteilerpumpe Nr. 3 = AUS, Kesselkreislaufpumpe und Durchflussmenge des Wärmeabfuhrsystems bleiben unverändert; Spreizungsvorgabe = 0 K
16:47:28	Feuerungsstatus „BEREIT“

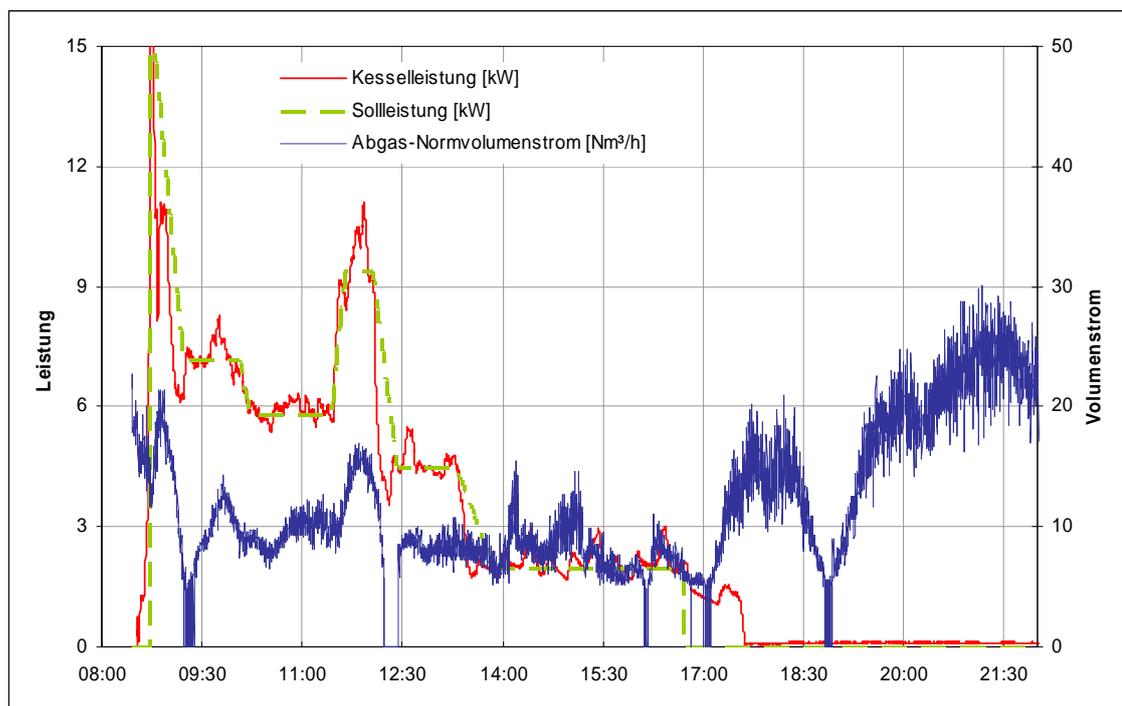


Abbildung 5-14: Kesselleistung, Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus und Normvolumenstrom bei Anlage C am 16.12.

Die Kesselregelung ist auf außentemperaturgeführte Regelung (mit einem Wert von 25°C) eingestellt. Die Durchflussmenge im Kesselkreislauf wurde automatisch geregelt; die angegebenen Spreizungen in den Zyklen wurden zu den angeführten Zeitpunkten manuell eingestellt.

Lastzyklus	
<i>Datei:</i>	16_12_09 1s @ 16_12_09 1s.xls
<i>Auswertezeiträume</i>	
Kesselstart	16.12.2009 08:28
Zyklusstart	16.12.2009 08:43
Zyklusende	16.12.2009 16:43
Versuchsende	17.12.2009 00:43
<i>Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren</i>	
Nutzungsgrad	85,6 [%]
el. Energiebedarf	1,4 [%]
CO	416,9 [kg/TJ]
NOx	57,9 [kg/TJ]
SO2	0,0 [kg/TJ]
org. C	10,6 [kg/TJ]
Staub	10,0 [kg/TJ]

Abbildung 5-15: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus bei Anlage C, Versuch von 16.12.

Die beiden Versuchsläufe mit dem Lastzyklus liefern für die Feuerungsanlage C ein identisches Ergebnis für den Nutzungsgrad und den elektrischen Energiebedarf. Bei beiden Versuchsläufen wurde ein Nutzungsgrad von 85,6% ermittelt, der Hilfsenergiebedarf weicht nur um 0,1% ab. Bei den Emissionsfaktoren liegen Abweichungen vor, wobei diese, insbesondere wenn man berücksichtigt, dass es sich hier um eine instationäre Messung handelt, minimal sind. Die Emissionsfaktoren beider Messungen für Stickoxide sind gleich, da sie primär vom Stickstoffgehalt des Brennstoffes abhängen. Die Unterschiede bei den ermittelten Emissionsfaktoren für die unverbrannten Komponenten Kohlenmonoxid und organisch gebundenem Kohlenstoff liegen in der Größenordnung von 5 bis 10% und sind auf zufällige Abweichungen beim Abbrand zurückzuführen.

FILE: MO: 17_12_09 1s.asc DATUM: 17.12.2010 Brennstoff: Holzpellets
VERSUCH: Pufferladung

Als abschließender Versuch mit diesem Kessel wurde er bei Volllast betrieben, um den Nutzungsgrad sowie die Emissionsfaktoren auch für den Fall der Pufferladung zu bestimmen, wobei ein Puffervolumen von 745 l (= 50 · P_N) angenommen wurde.

Vor Versuchsbeginn wurde das System extern mit einer Therme auf eine Kesselvorlauf- und Kesselrücklauf-temperatur von 41,4°C temperiert.

Wärmeabnahmeeinstellung

- Der Durchfluss im Kesselkreislauf wurde konstant gehalten.
- Die Kesselkreislaufpumpe wurde mit Versuchsbeginn eingeschaltet.
- Die Temperaturspreizung von Vorlauf- zu Rücklauf-temperatur wurde auf 20 K eingestellt.
- Die Feuerung regelte nach der eingestellten Soll-Kesseltemperatur.

Bei Strömungsgeschwindigkeiten kleiner als 0,35 m/s gibt das Messgerät einen Signalwert von 0 m/s aus.

Zeit	Ereignis
08:45:45	Feuerung START, Kesselvorlauf-temp.: 41,4°C / Kesselrücklauf-temp.: 41,4°C Kesselkreislaufpumpe des Wärmeabfuhrsystems läuft
08:50:01	Kesseltemperatur hat 50°C erreicht, Wärmeabnahmesystem EIN (Lüfter, Verteilerpumpe)
12:45	Reinigung des Abgasgeschwindigkeitssensors
14:45:45	Wärmeabnahme aus, Verteilerpumpe Nr. 3 = AUS, Kesselkreislaufpumpe und Durchflussmenge des Wärmeabfuhrsystems bleiben unverändert; Spreizungsvorgabe = 0 K Die Durchflussmenge im Kesselkreislauf wurde automatisch geregelt; die angegebene Spreizung wurde zum angeführten Zeitpunkt manuell eingestellt.

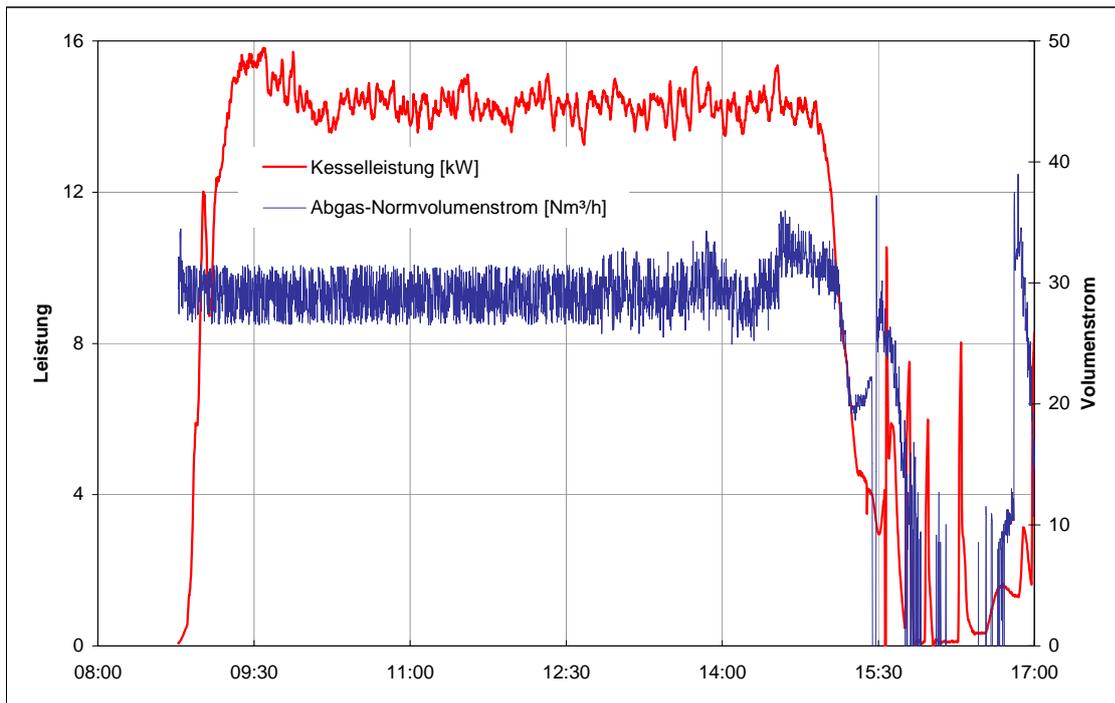


Abbildung 5-16: Kesselleistung bei Kesselbetrieb bei V und Normvolumenstrom bei Anlage C am 17.12.

Der Verlauf der abgenommenen Wärmeleistung sowie jener des Abgasstromes während des Vollastversuches ist in der Abbildung 5-16 zu sehen.

Bei dem Versuch wurde nach der Beendigung des Vollastbetriebes die Wärmeabnahme abgeschaltet, es wurde jedoch der Kessel nicht gestoppt. Daher liegt für die Messung keine Abkühlkurve im Standby-Zustand vor. Die Kesseltemperatur zu Versuchsende betrug 68°C, es war somit noch nutzbare Wärme in ihm gespeichert. Die Ergebnisse der Auswertung des Testlaufes unter Verwendung des im Rahmen des Projektes entwickelten Softwaretools sind in Abbildung 5-17 zu sehen.

Vollastversuch	
Datei:	17_12_09 1s @ 17_12_09 1s.xls
Auswertezeiträume:	
Kesselstart	17.12.2009 08:52
Start stationärer Betrieb	17.12.2009 09:50
Ende stationärer Betrieb	17.12.2009 14:50
Versuchsende	17.12.2009 15:30
Wirkungsgrad / Emissionen nach EN 303-5	
Wirkungsgrad (direkt)	89,7 [%]
CO	3,2 [mg/MJ]
NOx	76,9 [mg/MJ]
SO2	0,0 [mg/MJ]
org. C	0,3 [mg/MJ]
Staub	11,1 [mg/MJ]
Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren Pufferbetrieb	
Puffergröße	745 [l]
Nutzungsgrad Kessel	82,5 [%]
el. Energiebedarf	0,6 [%]
Pufferverlust	4,9 [%]
Nutzungsgrad System	77,6 [%]
CO	62,9 [kg/TJ]
NOx	98,4 [kg/TJ]
SO2	0,0 [kg/TJ]
org. C	1,1 [kg/TJ]
Staub	11,2 [kg/TJ]

Abbildung 5-17: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Vollast bei Anlage C, Versuch von 17.12

Aufgrund der zuvor angeführten Abweichungen vom Standardversuchslauf ist der ermittelte Wert für den Nutzungsgrad um ungefähr 3% zu gering.

5.2.5 Beschreibung der Stückholzfeuerung (Anlage D)

Der Stückholzkessel ist ein geschweißter Stahlheizkessel mit einer Nenn- Wärmeleistung von 30 kW. Bei diesem Stückholzkessel handelt es sich um eine Konstruktion mit unterem Abbrand, wobei die Verbrennungsluft durch ein Saugzuggebläse dem Brennstoff zugeführt wird.

Der Füllraum ist quaderförmig ausgeführt, für den Betrieb mit ½-m Scheiten konzipiert und nach unten durch einen Rost abgeschlossen. Unterhalb des Rostes befinden sich der Brennraum und der Aschenraum. Durch den Brennraum werden die Verbrennungsgase nach hinten zum

Rohrwärmetauscher geführt. Über die Fülltür wird der Füllraum mit Brennstoff beschickt. Mit Hilfe des Saugzuggebläses wird durch die elektrisch geregelten Luftschieber die Verbrennungsluft angesaugt. Über einen Temperaturfühler im Kesselwasser regeln die Stellmotoren die Primär- und Sekundärluftschieber und damit die zugeführte Luftmenge. Mit einer Lambdasonde, die direkt nach den Rohrwärmetauschern angeordnet ist, und der entsprechenden Regelung wird die Sekundärluft auf Grund des Sauerstoffgehaltes im Abgas geregelt.

Das Schüren und Entfernen der Asche erfolgt durch die Aschentür an der Frontseite des Kessels. Die Reinigung der Rohrwärmetauscherflächen erfolgt über eingehängte Wirbulatoren, die von außen betätigt werden. Die anfallenden Ruß- und Staubanteile können ebenfalls durch die an der Frontseite des Kessels angebrachte Aschentür entfernt werden. Der Füllschacht und die Kesselzüge sind wassergekühlt, nach außen wärmegeklämt und mit Blech verkleidet.

Gesamtabmessungen Stückholzfeuerung	Wert	Einheit
Gesamtbreite	610	mm
Gesamttiefe	1.100	mm
Gesamthöhe inkl. Abgasrohranschlusssutzen	1.498	mm
Abgasrohrdurchmesser	150	mm
Vorlauf-/Rücklaufanschluss	5/4	"
Wasserinhalt (gemessen)	98	l
Wärmedämmung	20 - 100	mm
Gesamtmasse (Kessel + Vorratsbehälter + Einbauten)	583	kg

Tabelle 5-4: Gesamtabmessungen der untersuchten Stückholzfeuerung

Quelle: Messung an der FJ-BLT Wieselburg

5.2.6 Durchführung der Versuche mit der Stückholzfeuerung (Anlage D)

Ziel der Versuche war die Überprüfung, ob das entwickelte Bewertungsverfahren auch bei Stückholzfeuerungen angewendet werden kann. Da diese ausschließlich in Kombination mit einem Pufferspeicher eingesetzt werden, wurde kein Versuch mit dem Jahresreferenzlastzyklus durchgeführt.

Die Einstellungen der Feuerung mussten aufgrund der Verengungen in der Abgasmessstrecke von $D = 150$ mm auf $d = 100$ mm und der Ergebnisse aus den Vorversuchen auf die Einbausituation angepasst werden.

Die brennstofftechnischen Eigenschaften sowie die Zusammensetzung des bei den Versuchen als Brennstoff verwendeten Scheitholzes sind in Abbildung 5-18 angeführt.

Brennstoffdaten	
Art	Scheitholz
Elementaranalyse	
C	47,49 [m% (d.b.)]
H	6,32 [m% (d.b.)]
O	46,20 [m% (d.b.)]
N	0,10 [m% (d.b.)]
A	0,40 [m% (d.b.)]
Wassergehalt	12,50 [m% (w.b.)]
Energiegehalt	
Heizwert H _U	15,76 [MJ/kg (w.b.)]
	15,82 [MJ/kg (w.b., a.f.)]
Brennwert H _O	18,36 [MJ/kg (d.b.)]
	17,28 [MJ/kg (w.b.)]
	19,75 [MJ/kg (d.b.)]

Abbildung 5-18: Eigenschaften des bei den Versuchen eingesetzten Brennstoffs

Quelle: Messung an der FJ-BLT Wieselburg

FILE: MO: HKA_1003 DATUM: 17.03.2010 Brennstoff: Stückholz Buche
VERSUCH: NENN-WÄRMELEISTUNG (Füllraum 100% Füllung)

Der letzte Versuch mit der Feuerung wurde am Vortag um ca. 17:00 Uhr beendet, danach Auskühlen der Feuerung. Vor Versuchsbeginn wurde das System extern mit einer Therme auf ca. 40°C - 45°C vorgewärmt. Die Rücklauftemperatur wird konstant gehalten (ca. 52°C). Die Stückholzfeuerung ist auf eine Kessel-Solltemperatur von 72,5°C eingestellt.

Zeit	Ereignis
07:12:40	Beginn Befüllung des Füllraums mit Brennholz (57,15 kg inkl. Anheizmaterial)
07:21:45	Kessel befüllt; Start Anheizen
07:32:30	Füllraum+ Manteltür (Abgastemperatur lt. Betriebsanleitung) schließen
14:53:18	Heizungspumpen (Wärmeabfuhrsystem) aus
15:31:04	Heizungspumpen (Wärmeabfuhrsystem) bei einer Kesseltemperatur von 62,0°C ein
20:03:44	Kesselvorlauftemp.: 52,1°C / Kesselrücklauftemp.: 51,4°C / Abgastemp.: 33,2°C

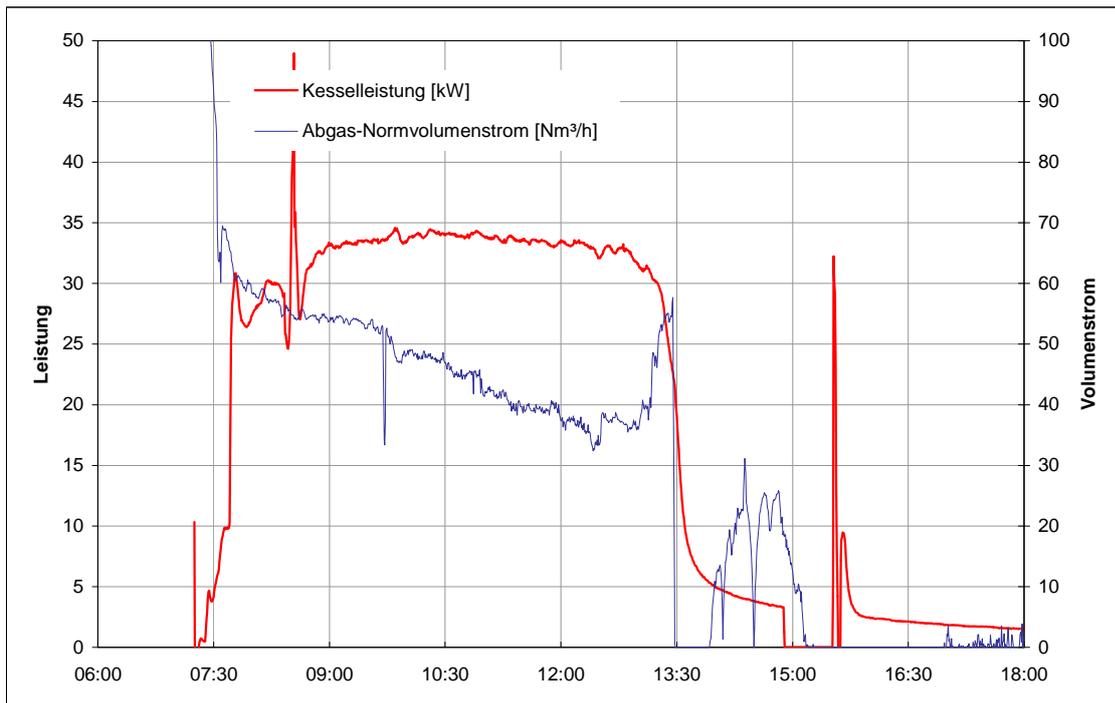


Abbildung 5-19: Kesselleistung und Abgasnormvolumenstrom bei Anlage D am 17.3.

Wie man anhand des stetig abnehmenden Verlaufes des Abgasvolumenstromes in Abbildung 5-19 erkennen kann, verändern sich die Verbrennungsbedingungen während des Abbrandes stetig. Durch die Aufkohlung des Brennstoffes während des Abbrandes steigt der Brennwert des Brennstoffes im Füllraum der Feuerung stetig an, da der Kessel mit konstanter Leistung läuft wird von der Kesselsteuerung die Verbrennungsluft und dadurch die Abgasmenge kontinuierlich reduziert.

Vollastversuch

Datei:

Auswertezeiträume:

Kesselstart	17.03.2010 07:20
Start stationärer Betrieb	17.03.2010 08:23
Ende stationärer Betrieb	17.03.2010 13:10
Versuchsende	17.03.2010 21:10

Wirkungsgrad / Emissionen nach EN 303-5

Wirkungsgrad (direkt)	84,5 [%]
CO	85,3 [mg/MJ]
NOx	76,4 [mg/MJ]
SO2	0,0 [mg/MJ]
org. C	1,1 [mg/MJ]
Staub	12,7 [mg/MJ]

Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren Pufferbetrieb

Puffergröße	3000 [l]
Nutzungsgrad Kessel	80,5 [%]
el. Energiebedarf	0,3 [%]
Pufferverlust	4,0 [%]
Nutzungsgrad System	76,4 [%]
CO	345,0 [kg/TJ]
NOx	59,5 [kg/TJ]
SO2	0,0 [kg/TJ]
org. C	6,1 [kg/TJ]
Staub	7,3 [kg/TJ]

Abbildung 5-20: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei voller Beladung und Vollast bei Anlage D, Versuch von 17.3.

Die Auswertung der Messdaten erfolgte mit dem dazu entwickelten Softwaretool, das Ergebnis ist in Abbildung 5-20 zusammengefasst.

**FILE: MO: HKA_1004 DATUM: 18.03.2010 Brennstoff: Stückholz Buche
VERSUCH: TEIL-WÄRMELEISTUNG (Füllraum 50% Füllung)**

Der letzte Versuch mit der Feuerung wurde am Vortag um ca. 16:00 Uhr beendet, danach Auskühlen der Feuerung; Vor Versuchsbeginn wurde das System extern mit einer Therme auf ca. 40°C vorgewärmt. Die Rücklaufterperatur wird konstant gehalten (ca. 52°C) Die Stückholzfeuerungsung ist auf eine Kessel-Solltemperatur von 72°C eingestellt

Zeit	Ereignis
08:15:00	Beginn Befüllung des Füllraums mit Brennholz (30,55 kg inkl. Anheizmaterial)
08:19:00	Kessel befüllt; Start Anheizen
08:26:50	Füllraum+ Manteltür (Abgastemperatur lt. Betriebsanleitung) schließen
11:42	Feuerung schaltet aus
16:16	Heizungspumpen (Wärmeabfuhrsystem) aus

Dieser Versuch wurde mit etwa der halben Brennstoffmenge im Füllraum durchgeführt, er entspricht somit einem typischen Einheizen in der Übergangszeit. Ziel war es, die im Zuge der Auswertung durchgeführte Skalierung der Vollastphase zu überprüfen. Das Ergebnis für den Pufferbetrieb sollte weitgehend mit dem vorherigen Versuch mit höherer Brennstoffmenge identisch sein.

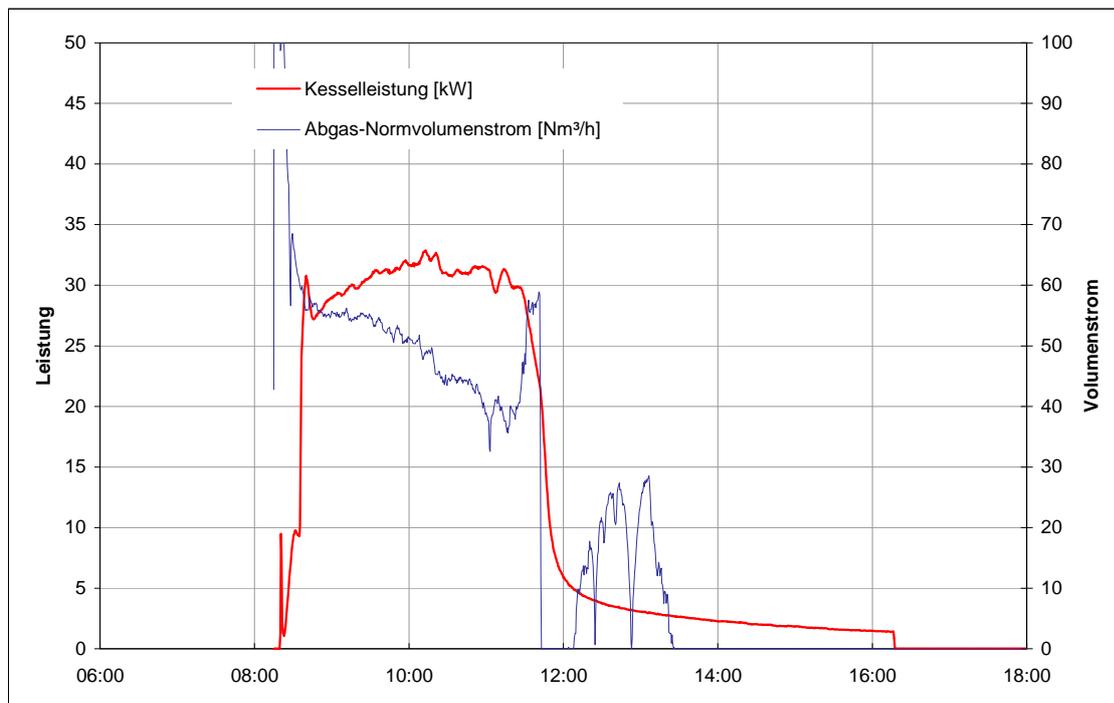


Abbildung 5-21: Kesselleistung und Abgasnormvolumenstrom bei Anlage D mit halber Brennstoffmenge am 18.3.

Der Verlauf des Abgasvolumenstromes zeigt ein analoges Verhalten wie bei dem vorherigen Versuch. Der Peak zu Versuchsbeginn, den man in Abbildung 5-21 deutlich sehen kann, wird von der beim Anzünden geöffneten Füllraumtür verursacht. Gegen Ende des Abbrandes, wenn nur mehr die letzten Holzkohlestücke abbrennen erhöht die Kesselsteuerung wieder die Luftmenge, da die Sollleistung nicht mehr erreicht wird. Dies ist am Verlauf der Abgasmenge ebenfalls gut zu erkennen.

Vollastversuch	
Datei:	MO_HKA_1004 JNG konvertiert_mod @ MO_HKA_1004.xls
Auswertezeiträume:	
Kesselstart	18.03.2010 08:19
Start stationärer Betrieb	18.03.2010 09:20
Ende stationärer Betrieb	18.03.2010 11:25
Versuchsende	18.03.2010 16:17
Wirkungsgrad / Emissionen nach EN 303-5	
Wirkungsgrad (direkt)	85,4 [%]
CO	65,7 [mg/MJ]
NOx	79,1 [mg/MJ]
SO2	0,0 [mg/MJ]
org. C	0,5 [mg/MJ]
Staub	9,6 [mg/MJ]
Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren Pufferbetrieb	
Puffergröße	3000 [l]
Nutzungsgrad Kessel	81,8 [%]
el. Energiebedarf	0,2 [%]
Pufferverlust	4,0 [%]
Nutzungsgrad System	77,8 [%]
CO	268,7 [kg/TJ]
NOx	66,2 [kg/TJ]
SO2	0,0 [kg/TJ]
org. C	2,9 [kg/TJ]
Staub	7,8 [kg/TJ]

Abbildung 5-22: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Vollast bei Anlage D, Versuch von 18.3.

Trotz der stark unterschiedlichen Skalierungsfaktoren (0,36 bei hoher und 0,93 beim Versuch mit geringer Brennstoffmenge) für die Phase des stationären Betriebes liefern beide Versuche für den Pufferbetrieb ähnliche Resultate für den mit der Feuerungsanlage erreichbaren Nutzungsgrad. Aufgrund der, von der Vorschrift abweichenden, kürzeren Stillstandsphase liegt das Ergebnis des Tests mit geringerer Brennstoffmenge etwas höher. Die Emissionsfaktoren sind weitgehend gleich, nur jene für Kohlenmonoxid weichen um etwa 25% voneinander ab. Da auch die Ergebnisse der Auswertung nach EN 303-5 die gleiche Abweichung besitzen, stammt die Differenz aus einer Phase mit zufällig aufgetretenen hohen Emissionen während des stationären Betriebs der Anlage, sie wird nicht durch die Auswertemethode verursacht.

5.3 Messungen am Versuchsstand von BE2020+

Nach der im Projekt entwickelten Prüfmethode wurde ein Pelletskessel mit einer Nennleistung von 15 kW am Versuchsstand des BE2020+ in Wieselburg getestet.



Abbildung 5-23: Messaufbau im Technikum von Bioenergy 2020+ in Wieselburg

5.3.1 Messmethoden und Messgeräte

Der Pelletskessel wurde am Versuchsstand auf einer Abbrandwaage aufgebaut. Um eine Störung der Massenbestimmung zu vermeiden ist die Wärmeabnahme über flexible Schläuche verbunden, das Abgasrohr ist ebenfalls entkoppelt. Die Wärmeabnahme ist elektronisch geregelt, es können sowohl der Wasservolumenstrom als auch die Rücklauftemperatur variiert werden um die vorgegebene Wärmemenge kontrolliert abnehmen zu können. Zur Temperierung auf 45°C, wie es der Prüfzyklus am Anfang und am Ende des Versuchslaufes vorsieht, wurde an den hydraulischen Kreis ein Pufferspeicher angebunden, der während der Messung mit Ventilen abgeschlossen ist. Der Kaminzug wird an der vorgegebenen Messstelle bestimmt und durch Variation der Drehzahl des Saugzuggebläses am Ende der Messtrecke über die gesamte Versuchsdauer konstant auf 14 Pa eingestellt.

Während des Versuchslaufes wird die Zusammensetzung des Abgases mittels extraktiver Messung kontinuierlich bestimmt. Der Teilvolumenstrom wird über eine beheizte Sonde abgezogen und zu den Analysatoren geleitet. Die nachfolgende Tabelle 5-5 beinhaltet eine Auflistung der Messgrößen der Analysatoren sowie die Kurzbezeichnungen, mit welchen diese in den nachfolgenden Kapiteln und Diagrammen bezeichnet sind. Wie man der Tabelle entnehmen kann wurden zur Detektion von Kohlenmonoxid zwei Sensoren mit stark unterschiedlichem Messbereich eingesetzt. Alle Messwerte der Abgasanalyse, mit Ausnahme der Gasfeuchte und dem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff, beziehen sich auf den trockenen Abgasstrom.

Messgröße	Symbol	Messprinzip	Messgerät	Messbereich
Sauerstoff	O ₂	paramagnetisch	Emerson Process NGA 2000 - Abgasanalysator	0 - 25 v%
Kohlenmonoxid	CO Low	NDIR		0 - 5.000 ppm
	CO High			0 - 10 v%
Kohlendioxid	CO ₂			0 - 20 v%
Stickstoffmonoxid	NO	UV		0 - 2.500 ppm
Stickstoffdioxid	NO ₂			0 - 500 ppm
Schwefeldioxid	SO ₂		0 - 3000 ppm	
Org. gebundener Kohlenstoff	org. C	FID	M&A Thermo-FID ES	1 - 100.000 ppm
Wasser	H ₂ O	kapazitiv	Vaisala HMT 335	0 - 100%rH

Tabelle 5-5: Abgasanalyse: Messprinzipien, -geräte und -bereiche

Die Messung der Staubemissionen erfolgt in Anlehnung an die Richtlinie [VDI 2066-1] mittels eines Planfilterkopfes. Dazu wird an der Messöffnung am Ende der Abgasmesstrecke kontinuierlich ein Teilvolumenstrom abgezogen und durch das extern auf 130°C beheizte Rückhaltesystem geleitet, in welchem der Staub abgeschieden wird. Der Volumenstrom wird proportional zur Gasgeschwindigkeit von Hand kontinuierlich eingestellt und nachjustiert. Der abgezogene Teilvolumenstrom wird nach der Trocknung über Silikagel mittels Gasuhr quantifiziert. Die Filterplatte wird vor und nach der Messung für mehrere Stunden im Trockenschrank aufbewahrt und deren Masse mittels einer Sartorius ME 235P Mehrbereichswaage (Ablesbarkeit: 0,01 mg) bestimmt, die Gewichts Differenz entspricht der gesammelten Staubmenge.

Messgröße	Symbol	Messprinzip	Messgerät	Messbereich
Staub	TSP	gravimetrisch	Ströhlein STE 4 (Planfilter)	0 – 50 mg/Nm ³
Gasgeschwindigkeit	V _{AG}	vortex	Höntzsch VA 40	0,5 - 40 m/s

Tabelle 5-6: Staubmessung: Messprinzipien, -geräte und -bereiche

Die Bestimmung des Wirkungsgrades erfolgt nach der in diesem Projekt entwickelten Messvorschrift ausschließlich nach der direkten Methode.

Bei der direkten Bestimmung des Wirkungsgrades werden die zugeführte Brennstoffenergie-
menge und die elektrischen Leistungsaufnahme der in den Heizkreislauf abgeführten Wärme-
menge gegenübergestellt. Die Brennstoffleistung wird durch die Massenänderung der Ab-
brandwaage sowie den Heizwert des Brennstoffes berechnet, die Wasserwärmeleistung über
den Massenstrom und die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf. Zur Reduktion von
Messfehlern sind diese beiden Temperatursensoren aufeinander abgeglichen.

Messgröße	Symbol	Messprinzip	Messgerät	Messbereich
Vorlauftemperatur	T_{VL}	Widerstand	Pt-100 Sensor	-75 - 350°C
Rücklauftemperatur	T_{RL}			
Wasser- volumenstrom	V_{Wasser}	magnetisch induktiv	Endress Hauser Promag 50	0 - 80 l/min
Masse	m_{Kessel}	DMS	Sartorius IUS4 - 1500NI - NCE	0 - 1500 kg
el. Hilfsenergie	P_{el}	Netzanalysator	Janitza UMG-604	0 - 9500 W

Tabelle 5-7: Wirkungsgradbestimmung: Messprinzipien, -geräte und -bereiche

Auch die Abgastemperatur und der Förderdruck werden an den entsprechenden Messstellen
(siehe Abbildung 5-24), deren Positionen identisch sind mit denen nach EN 303-5, gemessen
und aufgezeichnet.

Messgröße	Symbol	Messprinzip	Messgerät	Messbereich
Abgastemperatur	T_{AG}	Widerstand	Pt-100 Sensor	-75 - 350°C
Förderdruck	p_{Kamin}	induktiv	Halstrup Walcher P92	0 - 50 Pa
el. Hilfsenergie	P_{el}	Netzanalysator	Janitza UMG-604	0 - 9500 W

Tabelle 5-8: sonstige Messgrößen: Messprinzipien, -geräte und -bereiche

Alle analogen Signale der Sensoren werden auf Datenerfassungsgeräten (Modell TopMessage,
Fa. Delphin Technology AG) mit hoher Auflösung (24 bit) periodisch aufgenommen. Die Daten
werden zentral erfasst und auf dem Rechner am Versuchsstand aufgezeichnet.

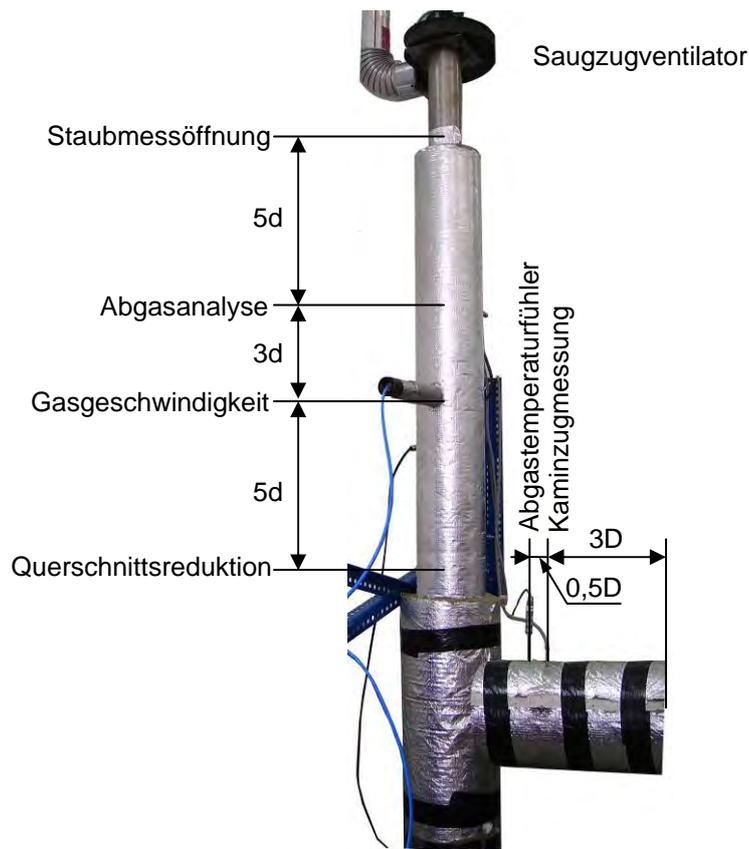


Abbildung 5-24: Aufbau der Abgasmessstrecke ($D=130\text{ mm}$, $d=80\text{ mm}$)

Die Position der wichtigsten Messpunkte ist in Abbildung 5-24 zu sehen. Zur Erhöhung der Abgasgeschwindigkeit und damit zur Verbesserung der Messgenauigkeit dieser wichtigen Messgröße wurde der Querschnitt der Abgasmessstrecke reduziert.

5.3.2 Beschreibung des Pelletskessels (Anlage E)

Bei dem untersuchten Kessel handelt es sich um eine etwa 5 Jahre alte Abwurfheizung mit einer Nenn-Wärmeleistung von 15 kW, die bereits mehr als 1.500 Stunden mit unterschiedlichsten Brennstoffen im Versuchsbetrieb im Einsatz war. Er verfügt über einen Tagesbehälter für den Brennstoff, einen wassergekühlten Brennraum, einen 2-Zug-Wärmetauscher mit Turbulatoren zur Verbesserung der Wärmeübertragung sowie ein drehzahlreguliertes Saugzuggebläse. Der Brenntopf ist mit einer automatischen Entschungsvorrichtung sowie mit einer elektrischen Zündung ausgestattet.

Im Heizbetrieb entnimmt die stark ansteigende Dosierschnecke, die mit einer Löscheinrichtung ausgestattet ist, den Brennstoff aus dem Tagesbehälter und fördert diesen über eine Fallstufe in den Brenntopf, der eine getrennte Zuführung für die Primär und Sekundärluft besitzt. Die Verbrennungsgase gelangen durch den stehend angeordneten Wärmetauscher mit integrierter Abreinigungsvorrichtung zum Abgasrohr.

Basierend auf der Brennraum- und Kesseltemperatur regelt ein Mikroprozessor sowohl die

Verbrennung als auch die Leistung stufenlos durch Variation der Drehzahl von Stokerschnecke und Saugzuggebläse.

KenngroÙe	Wert	Einheit
Nennwärmeleistung	15	kW
Kleinste Wärmeleistung	4,3	kW
Gesamtbreite inkl. Vorratsbehälter	1.028	mm
Gesamttiefe	733	mm
Gesamthöhe	1.461	mm
Vorlauf-/Rücklaufanschluss	1	Zoll
Wasserinhalt	59	l
Gesamtmasse (Kessel + Vorratsbehälter + Einbauten)	312	kg
Abgasrohrdurchmesser	130	mm

Tabelle 5-9: Kenndaten der untersuchten Pelletsfeuerung

5.3.3 Durchführung der Versuche mit der Pelletsfeuerung (Anlage E)

Der Pelletskessel (Anlage E) wurde sowohl im Volllastbetrieb als auch mit dem im Rahmen des Projektes entwickelten Lastzyklus getestet. Die Daten wurden über die gesamte Dauer des Versuches aufgezeichnet, dies umfasst auch die Abkühlphase sowie die vorgeschriebenen Zeitbereiche zum Temperieren des Systems.

Bei allen Versuchen wurden die Steuerungsparameter für die Verbrennungs- und die Leistungsregelung auf die dem Auslieferungszustand entsprechenden Standardparameter eingestellt. Die Kesselsolltemperatur wurde entsprechend der Vorgabe der Methode auf 75°C gesetzt.

Als Brennstoff wurden Holzpellets, produziert entsprechend ÖNORM M 7135 eingesetzt. Die Brennstoffzusammensetzung und die verbrennungstechnischen KenngroÙen, wie sie auch in der Auswertung eingesetzt wurden, sind der Abbildung 5-25 zu entnehmen.

Brennstoffdaten	
Art	Pellets
Elementaranalyse	
C	49,4 [m% (d.b.)]
H	6,2 [m% (d.b.)]
O	43,9 [m% (d.b.)]
N	0,1 [m% (d.b.)]
A	0,4 [m% (d.b.)]
Wassergehalt	5,8 [m% (w.b.)]
Energiegehalt	
Heizwert H_U	17,15 [MJ/kg (w.b.)]
	17,22 [MJ/kg (w.b., a.f.)]
Brennwert H_O	18,36 [MJ/kg (d.b.)]
	18,58 [MJ/kg (w.b.)]
	19,72 [MJ/kg (d.b.)]
Verbrennungsrechnung	
L_{min}	4,30 [Nm ³ /kg _{fuel}]
$V_{dry,min}$	4,26 [Nm ³ /kg _{fuel}]
V_{min}	4,98 [Nm ³ /kg _{fuel}]
CO_2_{max}	20,3 [Vol%]
v_{CO_2}	0,863 [Nm ³ /kg _{fuel}]
v_{H_2O}	0,738 [Nm ³ /kg _{fuel}]

Abbildung 5-25: Kenngrößen des bei den Versuchen eingesetzten Brennstoffes

Quelle: ISEB Auswertung, Bioenergy2020+

Für die Versuche wurde die Wärmeabnahme am Prüfstand automatisiert, der Parameter „Soll-Wärmeleistung“ wurde dazu implementiert. Dieser ermöglicht die Abnahme der Wärmeleistung zu limitieren, wobei eine ebenfalls einstellbare, minimale Rücklaufemperatur im Betrieb nicht unterschritten wird. Durch Variation von Wasservolumenstrom und der Rücklaufemperatur kann die Wärmemenge sehr gut justiert werden. Die Temperierung des Kessels vor und nach dem Versuchslauf erfolgt halbautomatisch, die Ventile des Pufferspeichers müssen von Hand betätigt werden.

Der Verlauf von abgenommener Ist-, Soll- und Kessel-Wärmeleistung, benötigter elektrischer Hilfsenergie und Abgasnormvolumenstrom während des Vollastversuches ist in Abbildung 5-26 zu sehen. Der Parameter Kessel-Wärmeleistung ist die interne Regelgröße der Kesselsteuerung. Um den Kessel in seinem Betriebsverhalten während des Vollastversuches nicht zu limitieren, wurde die Soll-Wärmeleistung höher als die Nennwärmeleistung eingestellt. Am Verlauf des Abgasnormvolumenstroms in Abbildung 5-26 erkennt man, dass der Kessel während des Versuchsbetriebs ohne Unterbrechung stabil lief, die Nennwärmeleistung wurde jedoch erst nach mehr als 100 Minuten annähernd erreicht.

Nach dem Abstellen des Kessels wurde die Umwälzpumpe weiter betrieben bis die Vorlaufemperatur unter 55°C gesunken war, d.h. die üblicherweise genutzte Wärmemenge wurde aus

dem Pelletskessel abgezogen. Danach wurde sie abgeschaltet und erst 8 Stunden später zum Temperieren des Kessels auf den Ausgangszustand wieder in Betrieb genommen.

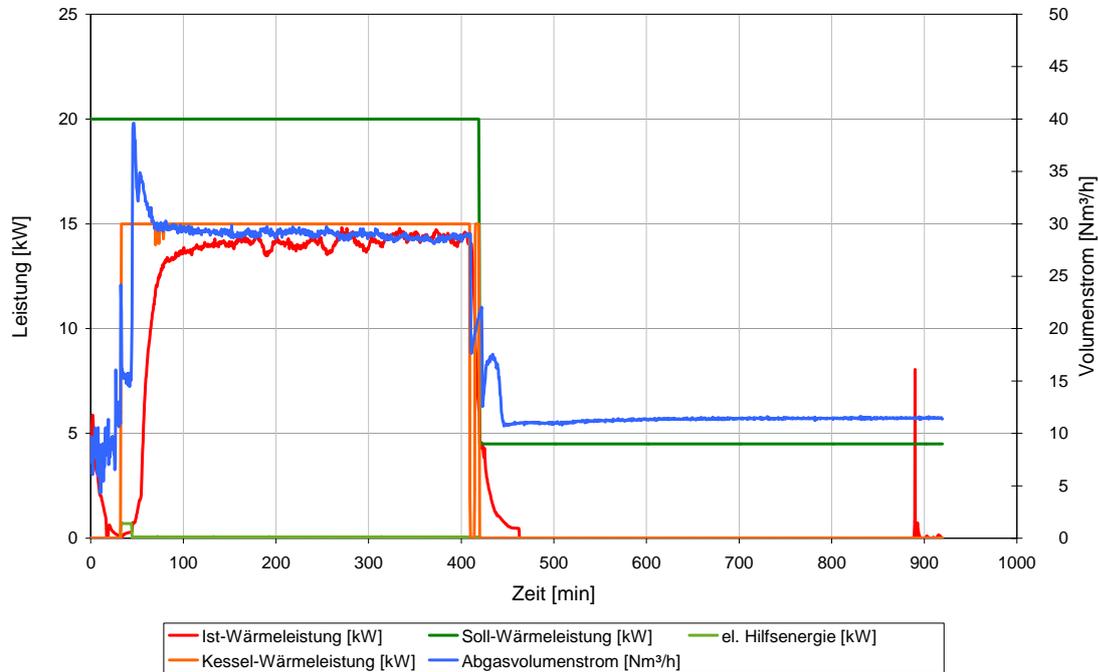


Abbildung 5-26: Wärmeleistung und Abgasvolumenstrom während des Vollastversuches

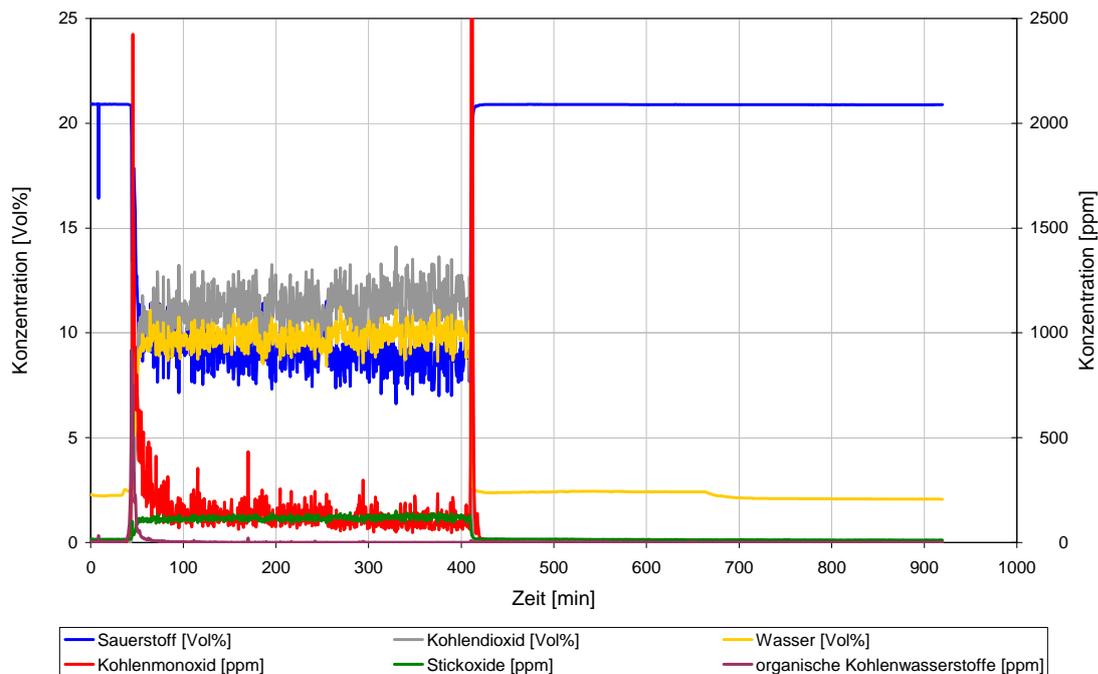


Abbildung 5-27: Verlauf der Abgaszusammensetzung im Vollastversuch

Die Abgaszusammensetzung von Anlage E zeigt den typischen Verlauf, wie man ihn von der Typenprüfung kennt, nur dass bei diesem Test auch die Emissionen der Start- und Abschaltphase erfasst wurden. Wie man in Abbildung 5-27 erkennen kann sind diese Zeiträume nur sehr kurz, weisen aber stark erhöhte Emissionen insbesondere an Kohlenmonoxid auf.

Vollastversuch	
Datei:	100610a_FL_05s @ 100610a_Jahresnutzungsgrad_FL_cut.
Auswertezeiträume:	
Kesselstart	10.06.2010 13:50
Start stationärer Betrieb	10.06.2010 15:30
Ende stationärer Betrieb	10.06.2010 20:00
Versuchsende	11.06.2010 04:15
Datenqualität	
Kesseländerung stat. Betrieb	1,7 [%]
Abweichung C-Bilanz	-2,7 [%]
Entnahme Abkühlphase	0,6 [kW]
Abweichung Anfang zu Ende	0,1 / 45,1 [°C] / [°C]
Skalierung stationäre Phase	0,08 [-]
Wirkungsgrad / Emissionen nach EN 303-5	
Wirkungsgrad (direkt)	84,7 [%]
CO	64,8 [mg/MJ]
NOx	105,8 [mg/MJ]
SO2	1,5 [mg/MJ]
org. C	2,1 [mg/MJ]
Staub	10,4 [mg/MJ]
Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren Pufferbetrieb	
Puffergröße	750 [l]
Nutzungsgrad Kessel	78,6 [%]
el. Energiebedarf	1,0 [%]
Pufferverlust	4,9 [%]
Nutzungsgrad System	73,7 [%]
CO	168,1 [kg/TJ]
NOx	125,4 [kg/TJ]
SO2	5,9 [kg/TJ]
org. C	11,9 [kg/TJ]
Staub	14,3 [kg/TJ]

Abbildung 5-28: Auswertung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Vollastbetrieb bei Anlage E

Quelle: ISEB Auswertung, Bioenergy 2020+

In der Auswertung des Vollastversuchs mit der dazu entwickelten Software sind die Auswirkungen des erweiterten Auswertezeitraumes jedoch deutlich zu sehen. Gegenüber den Ergebnis-

sen der Auswertung des Volllastbetriebs nach EN 303-5 sind die Emissionsfaktoren für den Pufferbetrieb insbesondere bei den unverbrannten Anteilen bis zu 5-fach höher.

Bei der Betrachtung der Sektion „Datenqualität“ erkennt man auch einen weiteren Grund hierfür: Neben der Start- und der Abschaltphase sind nur 20% des stationären Versuchsbetriebs notwendig um den 750 l großen Puffer zu füllen. Die Ergebnisse der Prüfung nach EN 303-5 spielen daher in der Berechnung der Emissionsfaktoren des Pufferbetriebs nach der in dieser Arbeit beschriebenen Methode nur eine untergeordnete Rolle.

Der Versuchslauf nach dem Referenzlastzyklus bildet den Verlauf eines Kessels ohne Pufferspeicher ab. Der Lastzyklus wird von der Steuerung der Wärmeabnahme automatisch gestartet, wenn die Vorlauftemperatur über 55°C steigt, d.h. sobald der Kessel nutzbare Wärme produziert. Die Abbildung 5-29 zeigt die abgenommene Ist-, Soll- und Kessel- Wärmeleistung sowie die benötigte elektrische Hilfsenergie und den Abgasnormvolumenstrom während des Testlaufes. Deutlich erkennbar ist die sehr gute Übereinstimmung von Ist- und Soll-Wärmeleistung, sobald sich die Kurven annähern. Auch der synchrone Verlauf von Kesselleistung und Abgasvolumenstrom ist klar ersichtlich. Abweichungen zeigen sich hier nur während der Start- und Abschaltvorgänge, die auf diese Weise eindeutig identifiziert werden können. Die Abweichung der Kesselwärmeleistung von der Sollwärmeleistung entspricht dem typischen Regelverhalten der Feuerung beim Betrieb unter wechselnder Last, der durchgehende Verlauf der Kurve zeigt das stufenlose, weite Modulationsspektrum dieser Feuerungsanlage.

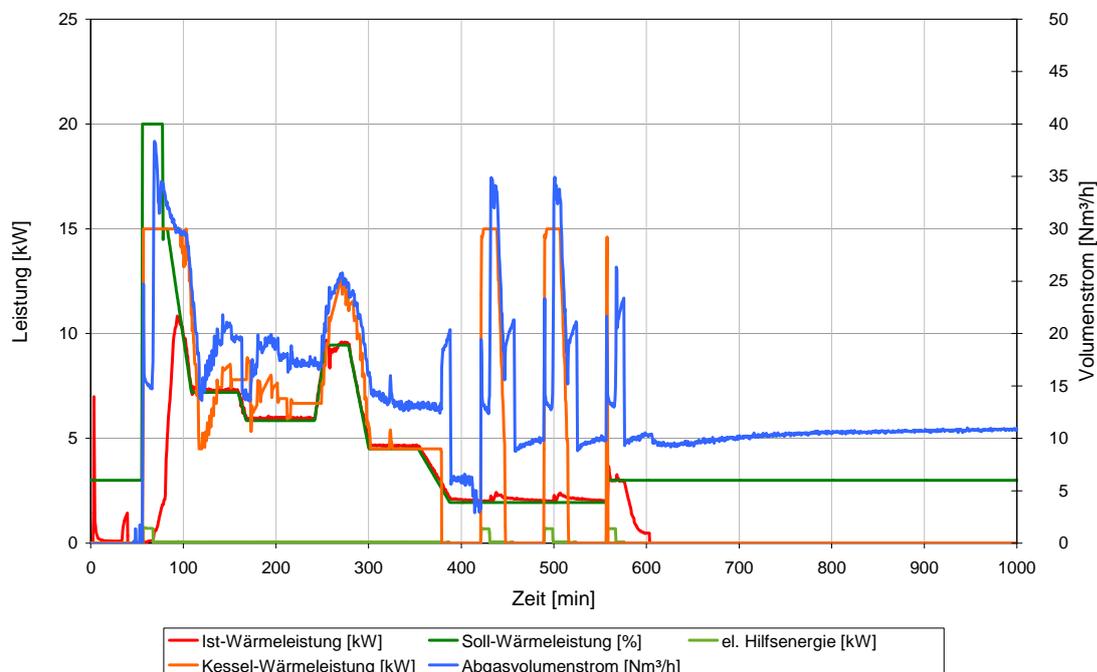


Abbildung 5-29: Wärmeleistung und Abgasvolumenstrom während des Lastzyklus

Nach der Beendigung des Lastzyklus wurde ebenfalls die gesamte nutzbare Wärme aus dem Kessel abgezogen und die Umwälzpumpe abgeschaltet. Erst nach dem Ende der Abkühlphase

wurde sie wieder eingeschaltet um den Restenergiegehalt im Kessel zu erfassen und ihn anschließend auf die Anfangsbedingungen temperieren zu können.

Der Verlauf der Abgaszusammensetzung zeigt ein sehr differentes Bild zu jenem des Volllastversuches. Wie in Abbildung 5-30 zu sehen ist, steigt der Restsauerstoffgehalt im Abgas bei Betrieb mit reduzierter Leistung an, wobei die Emissionen an unverbrannten Abgasbestandteilen (Kohlenmonoxid und organisch gebundenem Kohlenstoff) weitgehend konstant sind. Mit Beginn der schwächsten Laststufe (13% der Nennwärmeleistung) geht der Kessel in Taktbetrieb über. In den kurzen Betriebsphasen des intermittierenden Betriebes weist die Anlage hohe Emissionen auf, die mit starken Änderungen im Abgasvolumenstroms einhergehen.

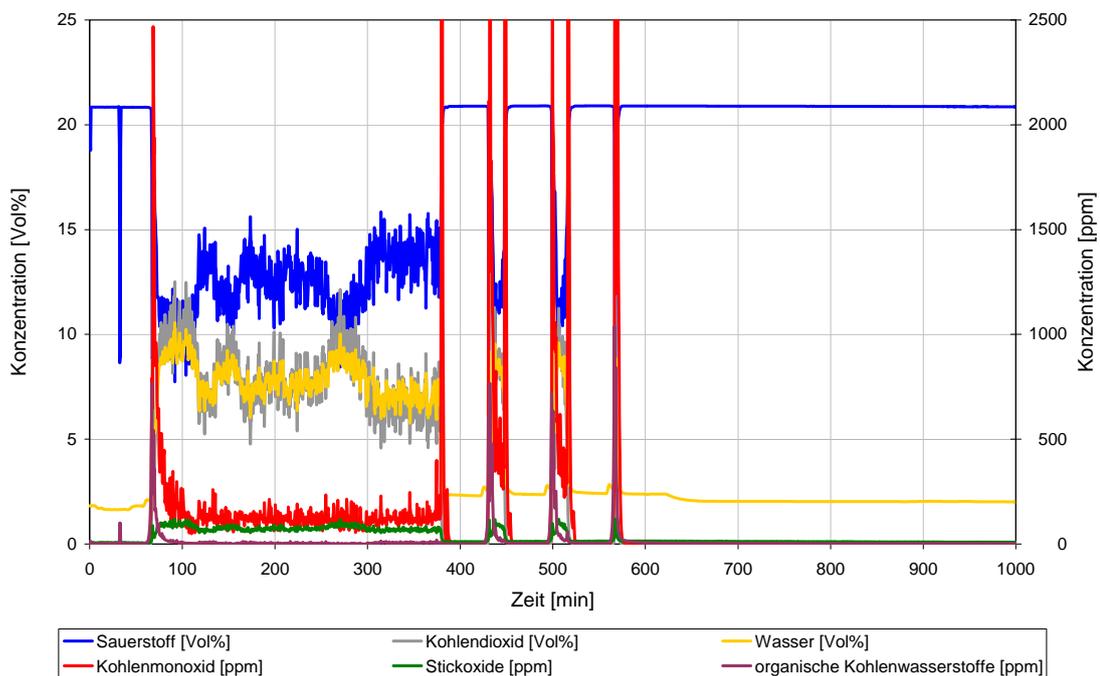


Abbildung 5-30: Verlauf der Abgaszusammensetzung im dynamischen Betrieb nach dem Lastzyklus

Der im Betrieb mit dem Lastzyklus bei Anlage E ermittelte Jahresnormnutzungsgrad liegt knapp über dem des Systems mit (hypothetischem) Pufferspeicher, jedoch deutlich unterhalb des Ergebnisses der Auswertung nach EN 303-5, wie man aus dem Vergleich von Abbildung 5-31 mit Abbildung 5-28 erkennt. Der Unterschied ist unter anderem deshalb so gering, da die elektrische Energieaufnahme in der Berechnung berücksichtigt wird, und diese durch die große Anzahl an Startvorgängen im Lastzyklusbetrieb signifikant höher liegt als beim Volllastversuch.

Dem höheren Nutzungsgrad gegenüber stehen, maßgeblich bedingt durch den Taktbetrieb, erhöhte Emissionsfaktoren im Vergleich zum Betrieb mit Puffer. Alle Emissionen, mit Ausnahme jener der Stickoxide, liegen signifikant über jenen des Tests bei Volllast.

Lastzyklus

Datei:

Auswertezeiträume

Kesselstart	08.06.2010 08:29
Zyklusstart	08.06.2010 08:51
Zyklusende	08.06.2010 16:51
Versuchsende	09.06.2010 01:00

Datenqualität

Abweichung Lastzyklus	1,1 [%]
Abweichung C-Bilanz	-7,8 [%]
Entnahme Abkühlphase	0,2 [kW]
Abweichung Anfang zu Ende	0,2 / 45,1 [°C] / [°C]

Nutzungsgrad / Emissionsfaktoren

Nutzungsgrad	75,2 [%]
el. Energiebedarf	1,5 [%]
CO	289,1 [kg/TJ]
NOx	105,2 [kg/TJ]
SO2	6,4 [kg/TJ]
org. C	15,7 [kg/TJ]
Staub	20,0 [kg/TJ]

Abbildung 5-31: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus

Quelle: ISEB Auswertung, Bioenergy2020+

5.4 Zusammenfassung und Vergleich der Messergebnisse

Zur Evaluierung der im Rahmen des Projektes entwickelten Methode wurden mehrere automatisch und händisch beschickte Biomassekleinfeuerungen auf insgesamt 3 Prüf- bzw. Versuchsständen getestet.

Zwischen den Testständen gab es vom Aufbau teilweise wesentliche Unterschiede. Während die Versuchsstände beim TFZ sowie bei Bioenergy 2020+ Saugzugventilatoren im Abgasfang besitzen, wird der Prüfstand der FJ-BLT ausschließlich im Naturzug betrieben. Die Gebläse haben den Vorteil, dass der durch die Messstrecke im Abgasrohr verursachte Druckverlust leicht kompensiert werden kann und dass die Feuerung ohne große Druckschwankungen während des gesamten Versuches betrieben wird. Dies ist jedoch nicht realitätsnah, in der Praxis werden die Kesselanlagen nahezu ausschließlich im Naturzug betrieben.

Bei den verwendeten Wärmabnahmen handelt es sich in allen Fällen um geschlossene Systeme, am Versuchsstand der FJ-BLT ist diese jedoch nur halbautomatisch ausgeführt, die Lastwechsel bei der Messung des Prüfzyklus wurden von Hand vorgegeben. Demgegenüber besitzen sowohl das TFZ als auch Bioenergy 2020+ vollautomatische Wärmeabnahmen, wobei ein Teststand die abgenommene Wärmemenge ausschließlich durch Variation der Rücklauftemperatur ändert, während am anderen auch der Wasservolumenstrom in Abhängigkeit von der Solllast geregelt wird. Trotz der Unterschiede entsprechen alle verwendeten Wärmeabnahmen den Vorgaben der Methode. Messungen am Versuchsstand mit der halbautomatischen Regelung weisen jedoch eine höhere Abweichung zwischen Soll- und tatsächlich abgenommener Wärmeleistung auf.

Die Versuche erfolgten unter Anwendung des im Zuge der Arbeit entwickelten Leitfadens, der auf diese Weise ebenfalls einer Prüfung unterzogen wurde. Da manche Details zum Prüfablauf in der damaligen Version nicht explizit ausformuliert waren, kam es bei einigen Versuchen zu Abweichungen gegenüber der Vorschrift. In der aktuellen Version [Heckmann 2010] wurde das Feedback der Prüfindenieure implementiert. Wie jedes standardisierte Prüfverfahren erlaubt auch die Methode zur Bestimmung des Jahresnormnutzungsgrades bei der Durchführung gewisse Toleranzen. Zum Vergleich der Messergebnisse werden die Versuchsläufe daher im Detail analysiert.

In Tabelle 5-10 sind die technischen Daten der getesteten Biomassekessel zusammengefasst. Die getesteten Anlagen haben Nennleistungen im Bereich von 14,9 bis 30 kW, wobei bei je einer Feuerung Stückholz und Hackgut sowie bei den restlichen Holzpellets als Brennstoff dienen. Die Kesselsolltemperatur war bei den Anlagen A bis D auf 70°C, bei Anlage E auf 75°C eingestellt. Beachtenswert ist der große Unterschied beim Wasserinhalt der Kessel. Während Anlage C nur über 27 l Kesselinhalt verfügt, ist Anlage B mit 128 l Wasser befüllt.

Kesseldaten	Anlage A	Anlage B	Anlage C	Anlage D	Anlage E	Einheit
Brennstoff	Pellets	Hackgut	Pellets	Scheitholz	Pellets	[-]
Nennleistung	25	30	14,9	30	15	[kW]
Leergewicht	450	380	246	583	312	[kg]
Wasserinhalt	55	128	27	98	59	[l]

Tabelle 5-10: Übersicht technische Daten der untersuchten Feuerungen

Eine Auswertung der stationären Phase der Vollastversuche entsprechend EN 303-5 wurde durchgeführt, um die Performance der untersuchten Anlagen einschätzen zu können. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 5-11 zu sehen, von Anlage A liegen keine entsprechenden Daten vor. Trotz der unterschiedlichen Brennstoffe besitzen die Feuerungen ähnliche Wirkungsgrade, nur Anlage C weist einen um etwa 5% höheren Wert auf. Generell waren die ermittelten Wirkungsgrade geringer als die bei der Typenprüfung erreichten Werte, da die Feuerungsanlagen mit universellen, nicht auf den eingesetzten Brennstoff optimierten Betriebsparametern betrieben wurden.

EN 303-5	Anlage A	Anlage B	Anlage C	Anlage D	Anlage E	Einheit
Wirkungsgrad	-	82,5	89,7	84,5	84,7	[%]
CO ₂	-	9,1	13,3	14,5	11,3	[Vol%]
CO	-	167,7	3,2	85,3	64,8	[mg/MJ]
NO _x	-	111,8	76,9	76,4	105,8	[mg/MJ]
org. C	-	1,8	0,3	1,1	2,1	[mg/MJ]
Staub	-	33	11	13	10	[mg/MJ]

Tabelle 5-11: Übersicht Auswertung stationärer Betrieb nach EN 303-5 der untersuchten Feuerungen

Im Vergleich zu den Ergebnissen bei der Typenprüfung waren, mit Ausnahme von Anlage C, die im Zuge der Messungen ermittelten Kohlenmonoxidemissionen erhöht, lagen jedoch noch immer weit unter dem gesetzlich gültigen Grenzwert von 500 mg/MJ bzw. 1.100 mg/MJ für Anlage D. Im Vergleich der Anlagen untereinander sieht man, dass die Hackgutfeuerung die mit Abstand höchsten Kohlenmonoxidemissionen aufweist. Die Werte von Anlage D (Scheitholzfeuerung) und E (Pelletskessel) liegen auf ähnlichem Niveau. Anlage E weist die geringsten Staubemissionen auf, bedingt durch den minderwertigeren Brennstoff sind diese bei der Hackgutanlage (Anlage B) am höchsten.

Auffallend an den Messwerten ist, dass die Anlagen C und D mit höherer Konzentration an Kohlendioxid und somit weniger Luftüberschuss betrieben wurden, was sich positiv auf den Wirkungsgrad auswirkt. Das kann durch Unterschiede in der Bauart oder auch durch besser eingestellte Verbrennungsparameter in der Kesselsteuerung begründet sein.

Bei der Auswertung des Volllastbetriebes entsprechend der im Projekt entwickelten Bestimmungsmethode werden neben dem stationären Betrieb sowohl Start- als auch Auskühlphase berücksichtigt. Für die Bestimmung des Jahresnormnutzungsgrades sowie der Jahresnormemissionsfaktoren wird die in der EN 303-5 ausschließlich betrachtete stationäre Phase linear skaliert, damit die gesamte produzierte Wärmemenge kalkulatorisch dem Fassungsvermögen des Puffertanks entspricht. Die Ergebnisse dieser Auswertung, die der Berechnung zugrunde liegende Puffergröße, sowie die dadurch erhaltenen effektiven Systemnutzungsgrade und Emissionsfaktoren, sind in Tabelle 5-12 zu sehen. Für Anlage A liegen auch in diesem Fall keine Werte vor.

Volllast	Anlage A	Anlage B	Anlage C	Anlage D	Anlage E	
Puffergröße	1250	1500	745	3000	750	[l]
η_{Kessel}	-	90,0	82,5	80,5	78,6	[%]
el. Energiebedarf	-	0,8	0,6	0,3	1,0	[%]
Pufferverlust	3,5	3,1	4,9	4,0	4,9	[%]
$\eta_{\text{Puffersystem}}$	-	86,8	77,6	76,4	73,7	[%]
CO	-	778,7	62,9	345,0	168,1	[kg/TJ]
NO _x	-	141,8	98,4	59,5	125,4	[kg/TJ]
org. C	-	191,2	1,1	6,1	11,9	[kg/TJ]
Staub	-	68	11	7	14	[kg/TJ]

Tabelle 5-12: Übersicht der Auswertung des gesamten Volllastbetriebs entsprechend der entwickelten Methode

Die nach der neuen Berechnungsvorschrift für den Volllastversuch ermittelten Jahresnormnutzungsgrade (η_{Kessel}), die dem Betrieb des Kessels mit Pufferspeicher entsprechen, liegen bei den Anlagen C bis E etwa 5% bis 9% unterhalb der Wirkungsgrade, demgegenüber liegt der Jahresnormnutzungsgrad bei Anlage B um 7,5% höher. Anlage C hätte das Potential für einen höheren Nutzungsgrad, jedoch wurde der Testlauf frühzeitig abgebrochen und es war noch eine erhebliche Menge an Wärme im Kessel gespeichert (siehe Kapitel 5.2.4). Anlage E ist dadurch benachteiligt, dass die Kesselsolltemperatur um 5°C höher eingestellt war, daher ist auch mit ihr ein besserer Wert erreichbar.

Von besonderem Interesse ist die Analyse der Daten von Anlage B, die im Vergleich zur Messung nach EN 303-5 einen erheblich höheren Nutzungsgrad aufweist. Der Grund dafür ist einerseits, dass dieser Kessel geringe Verluste im Stillstand aufweist. Nach mehr als 14 Stunden Standby lag die Kesseltemperatur immer noch über 55°C. Andererseits wurde der Kessel durch kurzzeitigen Betrieb auf die Referenztemperatur von 45°C erwärmt. Da die Feuerung große Wärmemengen speichern kann ist davon auszugehen, dass sie sich zu Versuchsbeginn in keinem thermischen Gleichgewicht befand. Diese Abweichung von der im Leitfaden vorgeschriebenen Versuchsdurchführung führt zu einem Überbefund für den Nutzungsgrad, der richtige Wert kann basierend auf den zu Verfügung stehenden Daten nicht ermittelt werden.

Zur Berechnung des System-Jahresnormnutzungsgrades ($\eta_{\text{Puffersystem}}$) werden auch die Verluste des Pufferspeichers berücksichtigt. Diese hängen von der Größe des Puffers ab, die Berechnung ist in Kapitel 4.7.3.3 angeführt. Die effektiven Jahresnormnutzungsgrade für den Pufferbetrieb liegen zwischen 3% und 5% unterhalb der nur auf den Kessel bezogenen Werte. In Summe liegen die Jahresnormnutzungsgrade (mit Ausnahmen von Anlage B) somit etwa 10% unterhalb der Wirkungsgrade nach EN 303-5.

Eine Differenz zwischen den Ergebnissen der neuen Methode und jenen entsprechend EN 303-5 ergibt sich für die Emissionen an unverbrannten Komponenten. Die bei dieser Methode ebenfalls erfasste Startphase und der Abschaltvorgang sind jene Zeitbereiche, die durch sehr hohe Emissionen gekennzeichnet sind, da die Verbrennungsbedingungen nicht optimal sind. Beim Startvorgang ist der Feuerraum noch zu kalt um den vollständigen Ausbrand der Gase zu garantieren, beim Abschalten tritt der gleiche Effekt aufgrund des hohen Luftüberschusses auf.

Die Jahresnormemissionsfaktoren von Kohlenmonoxid und organisch gebundenem Kohlenstoff liegen höher als die Zahlenwerte bei der Typenprüfung, wobei der beste getestete Kessel, Anlage C, nach dieser Berechnung die Grenzwerte für das österreichische Umweltzeichen UZ 37 nur knapp verfehlt. Bis auf Anlage B liegen bei allen getesteten Anlagen die ermittelten Jahresnormemissionsfaktoren unterhalb der österreichischen Emissionsgrenzwerte. Nur bei der Hackgutfeuerung waren die Emissionen durch Einbeziehung von Start- und Abstellphase in den Auswertezeitraum erhöht. Anlage B besitzt einen Jahresnormemissionsfaktor für CO von 779 kg/TJ, jener für organisch gebundenen Kohlenstoff liegt bei 192 kg/TJ. Bei der Interpretation der Emissionen an organischen Verbindungen muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese keine einheitliche chemische Zusammensetzung besitzen. In der Zündphase entweichen aus dem Brennstoff große Mengen an niedermolekularen Verbindungen (Alkohole, Fette und Terpene), die, im Vergleich zu den im stationären Betrieb auftretenden Produkten der unvollständigen Verbrennung (PAH), weniger toxisch sind.

Die im Abgas enthaltenen Mengen an Stickoxiden und Staub weichen erheblich weniger von den Ergebnissen der Auswertung nach EN 303-5 ab. Bei den Hackgut- und Pelletsfeuerungen liegen die Jahresnormemissionsfaktoren nur 30% höher, für die Scheitholzfeuerung wurden sogar geringere Jahresnormemissionsfaktoren ermittelt, verglichen mit den Emissionen bei einer Auswertung entsprechend der Typenprüfung.

Die Berechnung des Jahresnormnutzungsgrades sowie der Jahresnormemissionsfaktoren für den modulierenden Betrieb bei automatisch beschickten Kesseln erfolgt basierend auf den Messdaten des Lastzyklusversuches. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Tabelle 5-13 zu finden. Für den Scheitholzkessel liegen keine Daten vor, dieser wird ausschließlich mit Pufferspeicher betrieben.

Lastzyklus	Anlage A	Anlage B	Anlage C	Anlage D	Anlage E	
$\eta_{\text{modulierend}}$	81,0	73,3	85,6	-	75,2	[%]
el. Energiebedarf	0,9	1,4	1,4	-	1,5	[%]
CO	274,1	916,4	416,9	-	289,1	[kg/TJ]
NO _x	74,9	127,7	57,9	-	105,2	[kg/TJ]
org. C	13,5	53,6	10,6	-	15,7	[kg/TJ]
Staub	15	55	10	-	20	[kg/TJ]

Tabelle 5-13: Übersicht der Auswertung des Lastzyklus entsprechend der entwickelten Methode

Im modulierenden Betrieb weisen die Feuerungsanlagen Jahresnormnutzungsgrade ($\eta_{\text{modulierend}}$) im Bereich von 73,3% bis 85,6% auf. Im Vergleich des Gesamtsystems zum Betrieb der Feuerungsanlagen mit Puffer liegt dieser bei den Anlagen C und E um 10% bzw. 2% höher. Anlage B (Wert um 15% geringer) kann nicht verglichen werden, da sie beim Volllastbetrieb aufgrund des fehlenden thermischen Gleichgewichts überbewertet wurde. Im Vergleich mit den Wirkungsgraden nach EN 303-5 sind die erreichten Jahresnormnutzungsgrade von Anlage B und E um 12%, jener von Anlage C um etwa 5% geringer. Aufgrund des mehrfachen Zündens im intermittierenden Betrieb bei sehr geringer Last ist der elektrische Hilfsenergiebedarf fast doppelt so hoch wie beim Pufferbetrieb.

Die Jahresnormemissionsfaktoren für unverbrannte Komponenten (CO und org. C) sind bei allen getesteten Feuerungen im Vergleich zum Betrieb mit Pufferspeicher höher. Verursacher der Emissionen ist hauptsächlich der intermittierende Betrieb der Feuerungsanlage. Wobei auch der Betrieb in Teillast über lange Zeitbereiche des Versuchslaufs mit erhöhten Emissionen verbunden ist.

Die Jahresnormemissionsfaktoren für Stickoxide sind teilweise erheblich niedriger, auch im Vergleich zu den Emissionen nach EN 303-5. Grund dafür ist sowohl die Reduktion der Stickoxide im Brennraum aufgrund der bei den Versuchen erhöhten Kohlenmonoxidemissionen, als auch eine Veränderung des Verhältnisses von Primär- zu Sekundärluft im Teillastbetrieb bei Feuerungen ohne Luftmengenregelung, wodurch bessere Bedingungen zur Stickoxidreduktion direkt am Rost vorherrschen.

Bei den Staubemissionen ist das Ergebnis indifferent, da zwei Faktoren die Feinstaubbildung beeinflussen: Einerseits kommt es bei geringen Brennraumtemperaturen, wie etwa in der Startphase, zu Rußbildung, andererseits wird im Teillastbetrieb aufgrund der geringeren Gasgeschwindigkeit durch das Glutbett und die niedrigere Temperatur weniger Feinstaub gebildet.

Trotz der schwierigen Prüfbedingungen beim Lastzyklus durch die stetige Variation der abgenommenen Wärmemenge bis hin zu geringsten Leistungen weisen alle untersuchten Pelletsfeuerungen Jahresnormemissionsfaktoren auf, die unterhalb der gesetzlichen Anforderungen für die Typenprüfung liegen.

Bei den Kohlenmonoxidemissionen zeigt Anlage C Schwächen, obwohl sie sonst sehr gut beur-

teilt wurde. Bei genauer Analyse des Emissionsverlaufes erkennt man, dass sie Kohlenmonoxid fast ausschließlich in der Abschaltphase emittiert. Dies ist ein Indiz für eine Anreicherung des Brennstoffes im Brenntopf während der Teillastphasen, wie sie üblicherweise bei zu geringem Luftstrom durch das Glutbett auftritt. Das lässt vermuten, dass die Parameter der Verbrennungsregelung beim Versuchskessel sehr hoch eingestellt waren, um möglichst geringe Energieverluste im Abgasstrom und somit gute Messergebnisse zu erreichen.

Neben der Wärmemenge des Abgasstromes ist die Wärmeabstrahlung des Kesselkörpers trotz guter Dämmung die bedeutendste Ursache für Wirkungs- bzw. Nutzungsgradverluste. Diese steigt proportional zur Kesseltemperatur stark an, weshalb bei der Kesselprüfung der Mittelwert aus Vor- und Rücklauf temperatur des Speisewassers mehr als 40°C über der Umgebungstemperatur liegen muss, um für alle Kessel vergleichbare Bedingungen zu erreichen. Der Vergleich des Verlaufes der Kesseltemperatur während des Lastzyklus bei den nach dieser Methode getesteten 4 Feuerungsanlagen ist in der Abbildung 5-32 zu sehen.

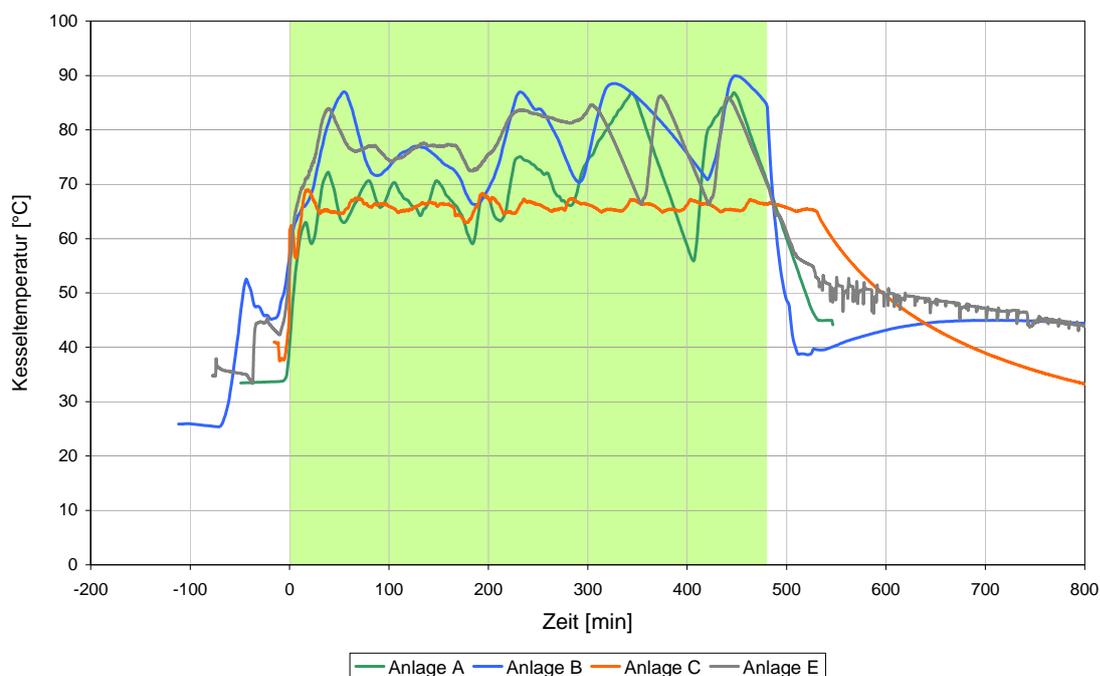


Abbildung 5-32: Verlauf der Kesseltemperatur während des Versuchsbetriebs im Lastzyklus

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Kesseltemperaturen nicht deckungsgleich sind, sondern ein voneinander abweichendes Verhalten zeigen. Dieses hängt nicht von der eingestellten Kesselsolltemperatur ab, sondern hauptsächlich vom Algorithmus der Leistungsregelung sowie von der thermischen Trägheit der Feuerungsanlage.

Die Kesseltemperatur bei Anlage C weist einen nahezu idealen Verlauf auf, der auch im intermittierenden Betrieb nur geringe Schwankungen zeigt. Demgegenüber stabilisiert sich die Kesseltemperatur bei Anlage A nicht, sie weist über den gesamten Versuchslauf ein Sägezahnprofil auf, wobei die Schwankungen im Ein/Aus Betrieb bis zu 30°C betragen. Die Anlagen B und E

besitzen ein ähnliches Regelverhalten, jedoch unterschiedliche thermische Speichermassen, wobei Anlage B mit 90°C die höchste im Rahmen der Versuche gemessene Kesseltemperatur erreicht.

Die unterschiedliche Reaktion der Feuerungsanlagen auf Lastwechsel im instationären Betrieb hat große Auswirkung auf den Nutzungsgrad im alltäglichen Betrieb, dieses Verhalten unterscheidet einen guten modernen Biomassekessel von einem mittelmäßigen. Da bei der Kesselprüfung entsprechend EN 303-5 ausschließlich Messungen im stationären Betrieb der Anlage erfolgen, ist dieser Unterschied im Prüfbericht, der meist als Basis für eine Produktbewertung herangezogen wird, nicht ersichtlich. Das unterschiedliche Verhalten wird bei einer Messung nach der im Zuge der Arbeit entwickelten Methode eindeutig erkannt. Es ist sowohl am Wert des Jahresnormnutzungsgrades im Lastzyklusbetrieb als auch an der Differenz dieser Kennzahl zum Wirkungsgrad nach EN 303-5 ablesbar. Anlage C weist im modulierenden Betrieb einen nur um 4,1 Prozentpunkte geringeren Nutzungsgrad auf, während der Abstand zur Auswertung nach EN 303-5 bei den Anlagen B und E 9,2 bzw. 9,5 Prozentpunkte beträgt, wie man Tabelle 5-14 entnehmen kann.

Effizienzfaktor	Anlage A	Anlage B	Anlage C	Anlage D	Anlage E	
Wirkungsgrad	-	82,5	89,7	84,5	84,7	[%]
η_{Kessel}	-	(90,0)	(82,5)	80,5	78,6	[%]
$\eta_{\text{Puffersystem}}$	-	(86,8)	(77,6)	76,4	73,7	[%]
$\eta_{\text{modulierend}}$	81,0	73,3	85,6	-	75,2	[%]

Tabelle 5-14: Übersicht der unterschiedlichen Effizienzfaktoren bei den getesteten Anlagen

Mehrere Effizienzfaktoren von Anlage B und C sind in Klammer gesetzt, da bei deren Bestimmung relevante Abweichungen vom vorgegebenen Versuchsbetrieb auftraten

Die in Tabelle 5-14 angeführten Jahresnormnutzungsgrade stellen die bei der Verwendung eines Pufferspeichers, oder ohne Puffer im modulierenden Betrieb der Anlage, erreichbaren Werte dar, die die getestete Biomassefeuerung bei fachmännischer Dimensionierung des Heizungssystems sowie regelmäßiger Wartung erreichen kann. Gerade diese beiden Bedingungen sind im Praxisfall jedoch vielfach nicht erfüllt, dies muss bei einem Vergleich mit publizierten Ergebnissen von Feldmessungen berücksichtigt werden, genau so wie der beim Jahresnormnutzungsgrad verwendete Bezug auf die Summe von Brennstoff und elektrischer Energie.

Es gibt nur 2 relevante wissenschaftliche Artikel, in welchen Nutzungsgrade und Emissionsfaktoren von modernen Pelletskesseln angeführt werden, wobei keine detaillierten Informationen über die überwachten Kessel vorliegen. Schraube et.al. [Schraube 2010] untersuchten Feuerungsanlagen mit gleicher Basiskonstruktion (Unterschubbrenner) und ermittelten Jahresnutzungsgrade für die Kessel (fast alle im Betrieb mit Pufferspeicher und mit Solarunterstützung) von 70% bis 90% bezogen auf die Brennstoffwärmemenge (für ein Brennwertgerät sogar 101%), wobei die Mehrheit der Geräte im Bereich von 70% bis 73% lag. Die starke Varianz der ermittelten Werte zeigt die starke Abhängigkeit des Nutzungsgrades von der Betriebsweise, die

von den Kesseleinstellungen (z.B. Solltemperatur), der Konfiguration und der Auslegung der hydraulischen Anlage abhängig ist. Die Messungen von Kunde et.al. [Kunde 2009] lieferten ein nahezu identisches Ergebnis, die meisten untersuchten Feuerungen weisen einen Nutzungsgrad zwischen 70% und 76% auf, eine Anlage schaffte knapp über 80%. Jene Feuerungen, die im modulierenden Betrieb eingesetzt werden, liegen am unteren Ende der Skala. Auch bei dieser Untersuchung wurden große Unterschiede bei baugleichen Kesseln in unterschiedlichen Gebäuden festgestellt.

Die mit der im Projekt entwickelten Methode ermittelten Jahresnormnutzungsgrade für den Kessel im Pufferbetrieb (η_{Kessel}) oder im modulierenden Betrieb ($\eta_{\text{modulierend}}$) liegen aufgrund der Annahme einer perfekten Auslegung erwartungsgemäß an der oberen Grenze der in Feldtests ermittelten Nutzungsgrad-Spanne. Wie auch die in der Literatur beschriebenen Messergebnisse zeigen, sind die Werte für den Betrieb ohne Puffer einige Prozentpunkte geringer als jene für den Betrieb mit Puffer. Basierend auf den vorliegenden Daten ist eine gute Übereinstimmung zwischen den am Versuchsstand bestimmten Ergebnissen und den Messungen im Feld festzustellen.

Im Gegensatz dazu sind die bei der Berechnung des Jahresnormnutzungsgrades für das System Kessel mit Puffer ($\eta_{\text{Puffersystem}}$) erhaltenen Daten noch genauer zu überprüfen, da die nach der Norm [OIB Richtlinie 6] berechneten Speicherverluste stark von in der Praxis ermittelten Werten abweichen. Absolute Pufferverluste in der Größenordnung zwischen 15% und 25% wurden im Feldtest gemessen, wobei darin auch die Wärmeverluste der Zirkulationsleitung des Warmwassers beinhaltet sind [Schraube 2010].

Der Vergleich der ermittelten Emissionsfaktoren mit der Realität gestaltet sich schwieriger, da es de facto keine Emissionsmessungen über die Dauer eines Jahres gibt. Zusätzlich hat der Einfluss der Betriebsführung einen extrem hohen Einfluss, vor allem auf die emittierten Mengen an unverbrannten Komponenten (CO und org. C), weshalb auch eine große Anzahl an Messungen notwendig wäre um repräsentative Werte zu erreichen.

Kunde et.al. haben im Feldtest auch den Ausstoß einiger Luftschadstoffe über die Dauer von mehreren Stunden erfasst und im Mittel für alle untersuchten Kessel Emissionen von 481 mg/MJ für CO und 26 mg/MJ für Staub festgestellt. Das Ergebnis wird jedoch durch einen Kessel mit sehr hohen Emissionen verfälscht. Ohne Berücksichtigung dieser einen Feuerungsanlage ergibt sich für die Kohlenmonoxidemissionen ein Mittelwert von 208 mg/MJ, wobei 5 der 11 untersuchten Kessel Werte unter 60 mg/MJ aufwiesen [Kunde 2009]. Es zeigt sich also in der Praxis, dass einige Kessel sehr gut laufen, während andere mit hohen Emissionen kämpfen, wobei anzunehmen ist, dass die Kessel mit individuellen, aufgrund der vorherrschenden Wettersituation unterschiedlichen, Lastkurven betrieben wurden, da die Messungen nicht zeitgleich stattfanden. Ein Vergleich der am Prüfstand bestimmten Emissionsfaktoren mit diesen Daten ist daher nicht angebracht.

Auch mit den offiziellen österreichischen Emissionsfaktoren für Biomassefeuerungen [Spitzer 1998] ist eine Gegenüberstellung nicht möglich, da diese veraltet sind und nahezu aus-

schließlich auf Messungen an Scheitholz-Naturzugkesseln basieren, die im Zuge des Projektes nicht getestet wurden. Da es bisher für die Ermittlung von Emissionsfaktoren keine Alternative zu Feldmessungen gab, ist eine neue Messkampagne zur Aktualisierung der Emissionsfaktoren seit einiger Zeit geplant, wurde aber bis dato nicht gestartet.

Im Gegensatz dazu sind die deutschen Emissionsfaktoren [Struschka 2008] erheblich neuer und nach Kesselbauarten aufgegliedert. Sie basieren auf kurzfristigen Messungen, wobei die Daten mittels Modellrechnungen auf den Betrieb über ein gesamtes Jahr hochgerechnet wurden.

Emissionsfaktor	Hackgut		Scheitholz		Pellets		
	JNEF	EF	JNEF	EF	JNEF	EF	
CO	848	600	345	1.433	248	216	[kg/TJ]
NOx	135	89	60	81	89	81	[kg/TJ]
org. C	122	28	6	49	11	4	[kg/TJ]
Staub	62	44	7	52	14	23	[kg/TJ]

Tabelle 5-15: Vergleich der am Versuchsstand ermittelten Jahresnormemissionsfaktoren (JNEF) mit den deutschen Emissionsfaktoren (EF) [Struschka 2008]

Die Abweichungen bei Hackgut- und Scheitholzfeuerungen in der Gegenüberstellung in Tabelle 5-15 sind zwar groß, jedoch nicht repräsentativ, da nur je eine Feuerung vermessen wurde. Demgegenüber zeigt der Vergleich der Jahresnormemissionsfaktoren mit den deutschen Emissionsfaktoren bei Pelletsfeuerungen eine weit bessere Übereinstimmung, da die Stichprobe viel größer war, wobei auch hier Abweichungen bei den Werten für organisch gebundenem Kohlenstoff und Gesamtstaub vorliegen.

Es zeigt sich jedoch auch, dass die nach der im Zuge des Projektes entwickelten Methode gemessenen Jahresnormemissionsfaktoren der Realität weitgehend entsprechen. Für einen aussagekräftigen Beweis der Gleichwertigkeit muss die Datenbasis noch erweitert werden.

6 Zusammenfassung

Im Projekt wurde eine einfache Methode zur Bestimmung des Jahresnormnutzungsgrades und von Jahresnormemissionsfaktoren von Biomasse-Kleinfeuerungen erarbeitet, die mit geringem Mehraufwand als Erweiterung der Typenprüfungen durchgeführt werden kann. Aus den Jahresnormemissionsfaktoren lassen sich nationale Emissionsfaktoren ableiten und die Mitte der 90-er Jahre im Zuge einer Feldmesskampagne ermittelten Emissionsfaktoren für CO, NO_x, org. C und Staub kostengünstig aktualisieren.

Die entwickelte Methode baut auf bekannten und bewährten Standardmethoden auf und berücksichtigt Installationen mit und ohne Pufferspeicher. Nach einer umfangreichen Erhebung des Standes des Wissens mit besonderem Bezug auf einschlägige Regelwerke in Österreich und Deutschland wurden Tageslastprofile von Heizungsanlagen analysiert und Profile für Typ-tage erarbeitet. Durch eine Reduktion der Profile auf Stufen wurde ein instationärer Prüfzyklus entwickelt, der den dynamischen Wärmebedarf des Gebäudes einschließlich der Warmwasserbereitung abbildet. Diese Profile wurden zu einem Jahreslastprofil zusammengefasst und auf einen 8-stündigen Jahresreferenzlastzyklus reduziert, wie in der Abbildung 6-1 dargestellt.

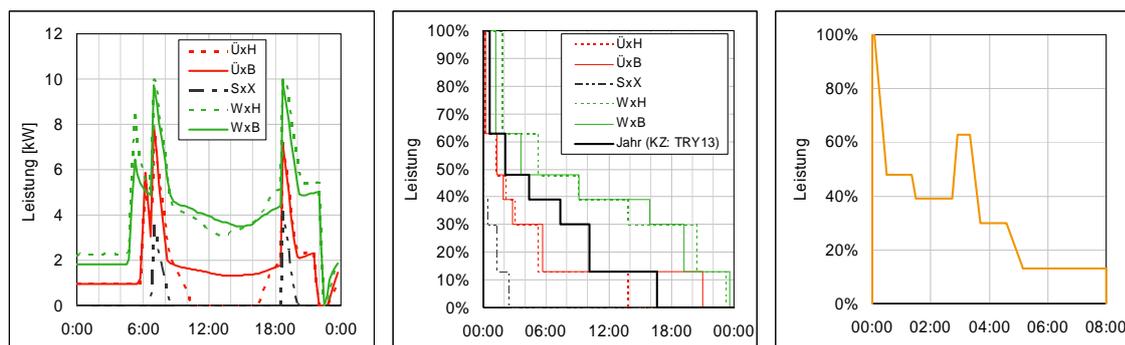


Abbildung 6-1: Entwicklung des Jahresreferenzlastzyklus aus Tageslastprofilen

Links: Lastprofile für Typ-tage, mitte: auf Stufen reduzierte Lastprofile, rechts: 8-stündiger Jahresreferenzlastzyklus

Neben dem Versuch mit dem Jahresreferenzlastzyklus wird auch ein Versuch bei Nennleistung durchgeführt, wobei die Start- und Abkühlphase ebenfalls in die Auswertung miteinbezogen werden. Diese Messung kann auch für die Prüfung nach EN 303-5 genutzt werden. Die Methode ist für automatisch und manuell beschickte Geräte anwendbar.

Bei der Entwicklung der Versuchsmethode wurden bewährte Prüfnormen und bestehende Messaufbauten berücksichtigt. Der Aufbau des Versuchsstands, die Messtechnik und die Messmethoden sind so gewählt, dass die zur Prüfung nach EN 303-5 bestehende Infrastruktur genutzt werden kann. Zusätzlicher Aufwand ist für die kontinuierliche Erfassung der Messwerte, die lückenlose Messung der Staubemissionen über die gesamte Versuchsdauer sowie für die kontinuierliche Bestimmung des Abgasvolumenstroms und der Abgasfeuchte erforderlich.

Für die Auswertung wurde eine einfach zu bedienenden Software entwickelt. Ergebnisse der Auswertung sind der Jahresnormnutzungsgrad und die Jahresnormemissionsfaktoren für CO, NO_x, org. C und Gesamtstaub. Diese werden sowohl für den instationären Betrieb als auch für den Betrieb mit einem Pufferspeicher ausgewiesen.

Die umfangreiche und detaillierte Beschreibung der Methode ist als Grundlage für eine spätere Normung geeignet. Die Methode wurde auf den Versuchsständen des TFZ Straubing, von FJ-BLT Wieselburg und von Bioenergy 2020+ in Wieselburg an 3 Pelletskessel und je einer Scheitholz- und Hackgutfeuerung erprobt. Die Messergebnisse bilden das Verhalten im instationären Betrieb gut ab und lassen quantitative Schlüsse auf den Entwicklungsstand der Feuerung einschließlich der Leistungsregelung zu.

Die ermittelten Jahresnormnutzungsgrade liegen ca. 5% bis 10% unter den im stationären Test ermittelten Wirkungsgraden und stimmen mit den Ergebnissen von Feldtests überein. Deutliche Unterschiede zu den nach EN 303-5 bestimmten Werten wurden bei den Emissionen brennbarer Substanzen festgestellt (siehe Tabelle 6-1). Wie erwartet sind die Emissionen von CO und org. C bei Berücksichtigung von Kesselstart und Ausbrand um mehr als eine Größenordnung höher als bei Messungen im stationären Betrieb. Die ermittelten Jahresnormemissionsfaktoren entsprechen dem realen Betriebsverhalten, da der gesamte Abbrand berücksichtigt wird. Sie weisen eine gute Übereinstimmung zu publizierten Werten [Struschka 2008] auf.

	Betrieb mit Puffer	Betrieb ohne Puffer	Bestimmung EN 303-5	Grenzwerte	Emissionsfaktoren	
η	82,5	85,6	89,7	77,4	-	[%]
CO	63	417	3,2	500	4.303	[mg/MJ]
NO _x	98	58	77	150	107	[mg/MJ]
org. C	1	11	0,3	40	448	[mg/MJ]
Staub	11	10	11	60	90	[mg/MJ]

Tabelle 6-1: Gegenüberstellung der Ergebnisse instationärer und stationärer Messungen zu gesetzlichen Grenzwerten und den Emissionsfaktoren für Pelletsfeuerungen in Österreich

Quelle: Auswertung der Messungen an Anlage C bei FJ-BLT; Grenzwerte laut [EN 303-5], Emissionsfaktoren nach [UBA 2004]

Die gemessenen Jahresnormemissionsfaktoren weichen jedoch um Größenordnungen von den „Emissionsfaktoren als Grundlage für den Österreichischen Luftschadstoffinventur 2003“ [UBA 2004] ab (siehe Tabelle 6-1) und zeigen deutlich die Verbesserungen durch den Einsatz moderner Biomassefeuerungen auf.

Alle Projektziele wurden plangemäß erreicht. Die Aussagekraft der mit der vorgeschlagenen instationären Methode ermittelbaren Daten ist wesentlich höher als bei stationären Messungen bei Voll- und Teillast. Die Kenntnis dieser Daten erlaubt eine selektive und differenzierte Weiterentwicklung von Holzkesseln kleiner Leistung, weitere Bemühungen um die Etablierung im nationalen und internationalen Normenwerk sind angebracht.

7 Ausblick und Empfehlungen

Jahresnormnutzungsgrade und Jahresnormemissionsfaktoren von Kleinf Feuerungen im Allgemeinen und von Biomassefeuerungen im Speziellen haben Bedeutung für:

- die Anlagenerrichter, die damit Informationen über den Brennstoffverbrauch und für die Auswahl des Kessels bekommen und die mittelfristig mit einer Senkung der Kosten für das gesamte Heizungssystem rechnen können,
- den Handel und die Heizungsinstallateure, die damit Daten über die Effizienz des Kessels bekommen und eine genau Auswahl der Kesselgröße treffen können,
- die Kesselhersteller, die Informationen über das Verhalten im praktischen Betrieb bekommen und ihre Entwicklung in Richtung Gesamteffizienz weiter treiben können,
- die Normungsgremien, da der Stand der Technik laufend beschrieben wird und bestehende Normen verbessert werden können,
- die Behörden, die Maßnahmen zur Minderung der lokalen und regionalen Umweltbelastung treffen können,
- die Ministerien, die belastbare Daten für Fördermaßnahmen und für die nationalen Berichtspflichten erhalten.

In einem ersten Schritt sollen die Erkenntnisse des Projekts mit Hilfe des „Energie der Zukunft“ - Programmmanagements in Ministerien, Landesregierungen, Behörden, Normungsgremien und in der Industrie verbreitet und Verständnis für die Aufnahme in Kesselprüfnormen geweckt werden.

In einem weiteren Schritt soll ein Projekt mit dem Ziel der Ermittlung des aktuellen Standes der Technik initiiert werden, in dem für eine repräsentative Gruppe von Produkten Jahresnormnutzungsgrade und Normemissionsfaktoren erhoben werden. Die Ergebnisse sollen mit den für die nationalen Berichtspflichten Verantwortlichen diskutiert werden und zu einem einvernehmlichen Vorgehen bei der Aktualisierung von Emissionsfaktoren im Rahmen der Berichtspflichten führen.

Ebenso wünschenswert ist es, die Ergebnisse auf europäischer Ebene einfließen zu lassen. Dies könnte z.B. im Rahmen von LOT 15, der Ökodesignrichtlinie „Solid Fuel Small Combustion Installations“, erfolgen und z.B. zu einem Mandat für die Aufnahme der Methode ins Europäische Normenwerk führen.

8 Verzeichnisse

8.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Emissionsdaten für Holz in [kg/TJ].....	16
Tabelle 3-2: Auswahl einiger Emissionsdaten für Brennholz in [kg/TJ].....	18
Tabelle 3-3: Ergebnisse der EN 303-5.....	22
Tabelle 3-4: Gültigkeitsbereich der EN 303-5.....	22
Tabelle 3-5: Ergebnisse der DIN 4702-8.....	25
Tabelle 3-6: Gültigkeitsbereich der DIN 4702-8.....	25
Tabelle 3-7: Normenreihe EN 15316.....	26
Tabelle 3-8: Ergebnisse der EN 15316-4-7.....	28
Tabelle 3-9: Gültigkeitsbereich der EN 15316-4-7.....	28
Tabelle 3-10: Ergebnisse des Concise Cycle Test.....	31
Tabelle 3-11: Gültigkeitsbereich des Concise Cycle Test.....	31
Tabelle 3-12: Ergebnisse des Energieausweises für Wohngebäude.....	33
Tabelle 3-13: Gültigkeitsbereich des Energieausweises für Wohngebäude.....	34
Tabelle 3-14: Ergebnisse des Rollenprüfstandstests.....	38
Tabelle 3-15: Gültigkeitsbereich des NEFZ.....	38
Tabelle 3-16: Ergebnisse der neuen Standardmethode.....	41
Tabelle 3-17: Gültigkeitsbereich der neuen Standardmethode.....	42
Tabelle 4-1: Reduzierte Typtage in Anlehnung an VDI 4655.....	49
Tabelle 4-2: Aufteilung der Tage auf die Typtage nach VDI 4655 (VDI) und aufsummierte Anzahl für die Ermittlung des Jahresreferenzlastzyklus (JLZ).....	49
Tabelle 4-3: Datentabelle zum Jahresreferenzlastzyklus für den Jahresnormnutzungsgrad, P_K ist die Kesselleistung in % der Nennleistung.....	52
Tabelle 4-4: Parameter und Messgrößen.....	54
Tabelle 4-5: Mögliche Messprinzipien und Versuchsanstellungen zur direkten Bestimmung der Abgasgeschwindigkeit bzw. des Abgasvolumenstroms von Feuerungsanlagen (ohne Staurohrprinzip).....	57
Tabelle 4-6: Massenkonzentrationen, Massenströme bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie und Wirkungsgrad eines 25 kW Pelletskessels für den Typtag ÜWB Übergangszeit/Werktag/Bewölkt) und den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter).....	68
Tabelle 4-7: Laststufen der Lastprofile über die Dauer von 8 Stunden für einen heiteren Tag im Winter (WxH) und für einen bewölkten Tag in der Übergangszeit (ÜxB).....	73
Tabelle 4-8: Massenkonzentrationen und Massenströme bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie und Wirkungsgrad eines 25 kW Pelletkessels beim Nachfahren der	

Stufenlastkurve für den Typtag ÜxB (Übergangszeit/bewölkt) und den Typtag WxH (Winter/heiter) über 8 Stunden	75
Tabelle 4-9: Massenströme, Massenkonzentrationen bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie und Wirkungsgrad eines 25 kW Pelletskessels für Lastkurven von Typtagen über 24 Stunden (ÜWB = Übergangszeit/Werktag/bewölkt und WSH = Winter/Sonntag/heiter) und für Stufenlastkurven über 8 Stunden (ÜxB = Übergangszeit/bewölkt und WxH = Winter/heiter)	76
Tabelle 4-10: Messergebnisse aus den Messungen der 5 Stufenlastprofile, des Jahreslastzyklus und der gewichtete Mittelwert aus den Messungen der 5 Stufenlastprofile	79
Tabelle 4-11: Definition der Zeitpunkte, Bedingungen und Prozessschritte für den Versuchsablauf bei Volllast	89
Tabelle 4-12: Definition der Zeitpunkte, Bedingungen und Prozessschritte für den Versuchsablauf mit dem Referenzlastzyklus	91
Tabelle 5-1: Anlagentechnische Merkmale Anlage A	103
Tabelle 5-2: Anlagentechnische Merkmale Anlage B	106
Tabelle 5-3: Gesamtabmessungen der untersuchten Pelletsfeuerung	116
Tabelle 5-4: Gesamtabmessungen der untersuchten Stückholzfeuerung	126
Tabelle 5-5: Abgasanalyse: Messprinzipien, -geräte und -bereiche	133
Tabelle 5-6: Staubmessung: Messprinzipien, -geräte und -bereiche	133
Tabelle 5-7: Wirkungsgradbestimmung: Messprinzipien, -geräte und -bereiche	134
Tabelle 5-8: sonstige Messgrößen: Messprinzipien, -geräte und -bereiche	134
Tabelle 5-9: Kenndaten der untersuchten Pelletsfeuerung	136
Tabelle 5-10: Übersicht technische Daten der untersuchten Feuerungen	144
Tabelle 5-11: Übersicht Auswertung stationärer Betrieb nach EN 303-5 der untersuchten Feuerungen	144
Tabelle 5-12: Übersicht der Auswertung des gesamten Volllastbetriebs entsprechend der entwickelten Methode	145
Tabelle 5-13: Übersicht der Auswertung des Lastzyklus entsprechend der entwickelten Methode	147
Tabelle 5-14: Übersicht der unterschiedlichen Effizienzfaktoren bei den getesteten Anlagen ..	149
Tabelle 5-15: Vergleich der am Versuchsstand ermittelten Jahresnormemissionsfaktoren (JNEF) mit den deutschen Emissionsfaktoren (EF) [Struschka 2008]	151
Tabelle 6-1: Gegenüberstellung der Ergebnisse instationärer und stationärer Messungen zu gesetzlichen Grenzwerten und den Emissionsfaktoren für Pelletsfeuerungen in Österreich	153

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Projektstruktur.....	12
Abbildung 3-1: Belastungsstufen in DIN 4702-8.....	24
Abbildung 3-2: Prüfzyklus der CCT-Testmethode	30
Abbildung 3-3: Neuer Europäischer Fahrzyklus NEFZ.....	37
Abbildung 3-4: Artemis-Fahrzyklus	37
Abbildung 4-1: Systemdarstellung für Nutzungsgradangaben	44
Abbildung 4-2: Systemgrenzen für die verwendete Methode: Feuerung = Erzeugung und Feuerung + Speicher = Erzeugung + Speicherung	45
Abbildung 4-3: Lastprofile für die definierten Typtage für einen 10 kW-Kessel.....	50
Abbildung 4-4: Lastprofile für die Typtage, auf Laststufen reduziert und sortiert	51
Abbildung 4-5: Jahresreferenzlastzyklus zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und -emissionsfaktoren	52
Abbildung 4-6: Aufbau der Abgasmessstrecke am TFZ.....	53
Abbildung 4-7: Relative Unsicherheit der Abgasvolumenstrombestimmung bei der CO ₂ -Tracer- Methode (Tracergasmenge: 0,5 Nm ³ /h, Luftmenge 1,5 Nm ³ /h)	58
Abbildung 4-8: Relative Unsicherheit der Abgasvolumenstrombestimmung bei der Verwendung von Schwefel-Hexafluorid (SF ₆) als Tracer (Tracergasmenge: 10 NI/h, Luftmenge 1 Nm ³ /h, Konzentration 0-10.000 ppm).....	59
Abbildung 4-9: Kalibrierkurven (Profilfaktoren) für Flügelrad-Strömungssensor sowie Vortex- Strömungssensor mit Hilfe eines Drehkolbengaszählers (RMG 132-A) in einem Abgasrohr mit Ø = 80,9 mm; Medium: Luft mit T = 25°C.....	60
Abbildung 4-10: Feuerungsleistung, Kesselleistung und Abgasgeschwindigkeit unter Normbedingungen eines 25 kW Pelletskessels bei einer entnommenen Leistung von 5 bis 12 kW.....	61
Abbildung 4-11: Gravimetrische Gesamtstaubmessung.....	62
Abbildung 4-12: Schematische Darstellung des Aufbaus zur durchgängigen Messung der Staubemissionen über einen Zeitraum von mehr als 8 Stunden	63
Abbildung 4-13: Schema der automatisierten isokinetischen Staubprobenahmeeinrichtung.....	64
Abbildung 4-14: Verlauf einiger Emissionen beim Nachfahren der Leistungskurve für den Typtag WSH (entsprechend VDI 4655, Winter, Sonntag, heiter), gemessen an einem 25 kW Pelletskessel	66
Abbildung 4-15: Lastverlauf für den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter) nach VDI 4655	67
Abbildung 4-16: Verlauf einiger Emissionsparameter beim Nachfahren der Leistungskurve für den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter) über 24 Stunden. Hier dargestellt sind die ersten 11 Stunden.....	69

Abbildung 4-17: Bestimmung eines typischen Verlaufs der Feuerungs- und Kesselleistung bei lastvariablem Betrieb eines Pellet-Zentralheizungskessels (25 kW) sowie Verlauf der Abgastemperatur beim Nachfahren der Leistungskurve für den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter) über 24 Stunden. Hier dargestellt sind die ersten 11 Stunden	70
Abbildung 4-18: Gemessener Nutzungsgrad (rechts) bei zwei verschiedenen Tageslastzyklen (links) im Vergleich zur Volllastmessung der Typenprüfung. Messungen an einem 25 kW-Pellet-Zentralheizungskessel (Volllastmessung nach Typenprüfbericht BLT-Wieselburg)	71
Abbildung 4-19: Sollwert für die Kesselleistung entsprechend der Lastkurve und von der Wärmeleistungsmessstrecke abgenommene Leistung für den Typtag ÜWB (Übergangszeit/Werntag/bewölkt) und den Typtag WSH (Winter/Sonntag/heiter)	71
Abbildung 4-20: Stufenlastprofile über die Dauer von 8 Stunden für einen heiteren Tag im Winter (WxH) und für einen bewölkten Tag in der Übergangszeit (ÜxB) sowie von der Wärmeleistungsmessstrecke tatsächlich abgenommene Leistung	72
Abbildung 4-21: Verlauf einiger Emissionen beim Nachfahren des Stufenlastprofils für den Typtag WxH (Winter/heiter) über 8 Stunden.	74
Abbildung 4-22: Bestimmung eines typischen Verlaufs der Feuerungs- und Kesselleistung bei lastvariablem Betrieb eines Pellet-Zentralheizungskessels (25 kW) sowie Verlauf der Abgastemperatur beim Nachfahren der Stufenlastkurve für den Typtag WxH (Winter/heiter) über 8 Stunden. Hier dargestellt sind die ersten 4 Stunden.	75
Abbildung 4-23: Emissions-Massenströme eines 25 kW Pelletsessels für Lastkurven von Typtagen über 24 Stunden und für Stufenlastkurven über 8 Stunden.	77
Abbildung 4-24: Kesselleistung, Feuerungsleistung, Kesselauslastung und Kesselwirkungsgrad eines 25 kW Pelletsessels für Lastkurven von Typtagen über 24 Stunden und für Stufenlastkurven über 8 Stunden	78
Abbildung 4-25: Schematischer Aufbau des Kessels mit integriertem Brennstoffbehälter auf dem Versuchsstand mit Darstellung der zu messenden Energie- und Massenströme über die Systemgrenze.	80
Abbildung 4-26: Schematischer Aufbau des Kessels mit separatem Brennstoffbehälter auf dem Versuchsstand mit Darstellung der zu messenden Energie- und Massenströme über die Systemgrenze.	81
Abbildung 4-27: Beispiel einer schematischen Darstellung der Abgasmessstrecke; für vertikalen und horizontalen Anschluss-Stutzen am Kessel, hier für Aufbau bei externem Brennstoffbehälter	82
Abbildung 4-28: Beispielhafte Darstellung eines Hydraulikschemas für den Versuchsstand	84
Abbildung 4-29: Ablaufschema für den Versuchsablauf bei Anwendung des Volllastzyklus	90
Abbildung 4-30: Ablaufschema für den Versuchsablauf bei Anwendung des Referenzlastzyklus	92

Abbildung 5-1: Kesselleistung, Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus, geleistete elektrische Arbeit und Normvolumenstrom bei Anlage A	104
Abbildung 5-2: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus bei Anlage A	105
Abbildung 5-3: Kesselleistung, Sollleistung, geleistete elektrische Arbeit und Normvolumenstrom bei Volllastbetrieb bei Anlage B.....	107
Abbildung 5-4: Kesselleistung, Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus, geleistete elektrische Arbeit und Normvolumenstrom bei Anlage B.....	108
Abbildung 5-5: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Volllastbetrieb bei Anlage B	109
Abbildung 5-6: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus bei Anlage B	110
Abbildung 5-7: Arbeiten am Prüfstand bei FJ-BLT Wieselburg	111
Abbildung 5-8: Versuchsaufbau am Versuchsstand bei FJ-BLT Wieselburg	113
Abbildung 5-9: Abgasmessstreckenaufbau bei Messungen mit der Pelletsfeuerung.....	114
Abbildung 5-10: Abgasmessstreckenaufbau bei Messungen mit der Stückholzfeuerung.....	115
Abbildung 5-11: Eigenschaften der bei den Versuchen verwendeten Holzpellets	117
Abbildung 5-12: Kesselleistung, Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus und Normvolumenstrom bei Anlage C am 15.12.	119
Abbildung 5-13: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Anlage C , Versuch von 15.12.	120
Abbildung 5-14: Kesselleistung, Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus und Normvolumenstrom bei Anlage C am 16.12.	121
Abbildung 5-15: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus bei Anlage C, Versuch von 16.12.....	122
Abbildung 5-16: Kesselleistung bei Kesselbetrieb bei V und Normvolumenstrom bei Anlage C am 17.12.	124
Abbildung 5-17: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Volllast bei Anlage C, Versuch von 17.12.....	125
Abbildung 5-18: Eigenschaften des bei den Versuchen eingesetzten Brennstoffs	127
Abbildung 5-19: Kesselleistung und Abgasnormvolumenstrom bei Anlage D am 17.3.....	128
Abbildung 5-20: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei voller Beladung und Volllast bei Anlage D, Versuch von 17.3.....	129
Abbildung 5-21: Kesselleistung und Abgasnormvolumenstrom bei Anlage D mit halber Brennstoffmenge am 18.3.....	130
Abbildung 5-22: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Volllast bei Anlage D, Versuch von 18.3.....	131
Abbildung 5-23: Messaufbau im Technikum von Bioenergy 2020+ in Wieselburg.....	132

Abbildung 5-24: Aufbau der Abgasmessstrecke (D=130 mm, d=80 mm).....	135
Abbildung 5-25: Kenngrößen des bei den Versuchen eingesetzten Brennstoffes.....	137
Abbildung 5-26: Wärmeleistung und Abgasvolumenstrom während des Vollastversuches	138
Abbildung 5-27: Verlauf der Abgaszusammensetzung im Vollastversuch.....	138
Abbildung 5-28: Auswertung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Vollastbetrieb bei Anlage E	139
Abbildung 5-29: Wärmeleistung und Abgasvolumenstrom während des Lastzyklus.....	140
Abbildung 5-30: Verlauf der Abgaszusammensetzung im dynamischen Betrieb nach dem Lastzyklus.....	141
Abbildung 5-31: Ergebnisse der Bestimmung von Nutzungsgrad und Emissionsfaktoren mit Hilfe des Jahresreferenzlastzyklus.....	142
Abbildung 5-32: Verlauf der Kesseltemperatur während des Versuchsbetriebs im Lastzyklus	148
Abbildung 6-1: Entwicklung des Jahresreferenzlastzyklus aus Tageslastprofilen.....	152

9 Referenzen

André 2004

ANDRÉ, M.: *The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions*. INRETS, Laboratory Transport and Environment, Case 24; Bron Cedex, France, 1. April 2004

Bach 2007

BACH, C.; LIENIN, S.: *Emissionsvergleich verschiedener Antriebsarten in aktuellen Personenwagen*. EMPA Materials Science and Technology; Dübendorf, 1. November 2007

EAVG 2006

Energieausweis-Vorlage-Gesetz - EAVG: BGBl. I Nr. 137/2006; 08/2006

Geiger 2002

GEIGER, B.; HELLWIG, M.: *Entwicklung von Lastprofilen für die Gaswirtschaft im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. und des Verbandes kommunaler Unternehmen e.V.* Lehrstuhl im Institut für Energietechnik, TU München, 11/2002

Heckmann 2010

HECKMANN, M. ; SCHWARZ, M.: *Leitfaden zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und Jahresnormemissionsfaktoren am Prüfstand*. Bioenergy 2020+ GmbH, Wieselburg, September 2010

Kunde 2009

KUNDE, R., VOLZ, F., GADERER, M., SPLIETHOFF, H.: *Felduntersuchungen an Holzpellet-Zentralheizkesseln. Beurteilung realer Schadstoffemissionen und Jahresnutzgrade*. BWK-Energie-Fachmagazin 61 (1-2) 2009

Pfeiffer 2000

PFEIFFER F., STRUSCHKA M., BAUMBACH G.: *Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher*. UBA-Texte 14/00; Berlin, Mai 2000

Schuster 2004

SCHUSTER, A.: *Auslegung von Biomasse-Nahwärmenetzen mit dezentralen Wärmespeichern*. Diplomarbeit am Lehrstuhl für thermische Kraftanlagen. ZAE BAYERN, 04/2004

Schraube 2010

SCHRAUBE C., JUNG T., WILMOTTE J.-Y., MABILAT C., CASTAGNO F.: *Long-term monitoring of small pellet boiler based heating systems in domestic applications*. Proceedings of the 18th European Biomass Conference and Exhibition, Lyon 2010

SPF 2004

Jahresleistungsermittlung von Solarsystemen mit der Concise Cycle Test (CCT) Methode. <http://www.solarenergy.ch/publ/systeme/KombiPruefmethodeCCT.pdf>, SPF Institut für Solartechnik; Rapperswil, 2004

Spitzer 1998

SPITZER, J. et al: *Emissionsfaktoren für feste Brennstoffe*. Institut für Energieforschung; Graz, Dezember 1998

Struschka 2003

STRUSCHKA, M. et al: *Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung*; UBA-Texte 41/03; Februar 2003

Struschka 2008

STRUSCHKA, M. et al: *Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung*; UBA-Texte 44/08; November 2008

UBA 2004

WIESER, Manuela; KURZWEIL, Agnes: *Emissionsfaktoren als Grundlage für die österreichische Luftschadstoff-Inventur Stand 2003*. UBA BE-254; Wien, 2004

UBA 2006

UMWELTBUNDESAMT: *Schwebestaub in Österreich, Fachgrundlagen für eine kohärente österreichische Strategie zur Verminderung der Schwebestaubbelastung*; Bericht BE277; Wien, 02/2006

Normen und Richtlinien

DIN 4702-8

Heizkessel, Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors. Deutsches Institut für Normung; 03/1990

EnEV 2007

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV); 24. Juli 2007

EN 14785

Raumheizer zur Verfeuerung von Holzpellets - Anforderungen und Prüfverfahren.

EN 15315

Heating systems in buildings – Energy performance of buildings - Overall energy use, primary energy and CO₂ emissions

EN 15316-4-7:2006

Heizanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen. Österreichisches Normungsinstitut; Entwurf; Ausgabe: 2006-03-01

EN 303-5

Heizkessel/ Teil 5: Heizkessel für feste Brennstoffe, hand- und automatisch beschickte Feuerungen, Nenn-Wärmeleistung bis 300kW/ Begriffe, Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. Österreichisches Normungsinstitut; Ausgabe: 1999-07-01

EN 304

Heizkessel, Prüfregeln für Heizkessel mit Ölzerstäuberbrennern. Österreichisches Normungsinstitut; Ausgabe: 2005-02-01

EU-Richtlinie 2002/91/EG

Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften ABI. L 001; 01/2003

OIB Richtlinie 6

Energieeinsparung und Wärmeschutz; OIB-300-008/07; Österreichisches Institut für Bautechnik; Wien, April 2007

ÖNORM B 8110

Wärmeschutz im Hochbau; Normenreihe des Österreichisches Normungsinstituts

Richtlinie der Kommission 93/116/EG

Richtlinie vom 17. Dezember 1993 zur Anpassung der Richtlinie 80/1268/EWG des Rates über den Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen an den technischen Fortschritt.
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften ABI. L 329, S. 39; 12/1993

Richtlinie des Rates 70/220/EWG

Richtlinie des Rates vom 20. März 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften ABI. L 76, S. 1; 04/1970

VDI 2066-1

Messen von Partikeln – Staubmessungen in strömenden Gasen – Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung. Verein Deutscher Ingenieure.

VDI 4655

Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen. Verein Deutscher Ingenieure.