

Leitfaden zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und Jahresnormemissionsfaktoren am Prüfstand

M. Heckmann

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

28b/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



Leitfaden

Inhalt

1	Einführung	5
2	Anwendungsbereich	5
3	Begriffe, Definitionen	6
4	Versuchsaufbau	8
4.1	Anforderungen an den Versuchsraum	8
4.2	Anforderungen an den Versuchsstand	8
4.2.1	Brennstoffzufuhr	9
4.2.2	Abgasmessstrecke	10
4.2.3	Wasserkreislauf	13
4.2.4	Versorgung mit elektrischer Hilfsenergie	14
4.3	Anforderungen an Messgeräte und -methoden	15
4.3.1	Umgebungsbedingungen	16
4.3.2	Abgasanalyse	16
4.3.3	Energiebilanz	17
4.3.4	Wasservolumen des Heizkessels	18
4.4	Messgenauigkeiten	20
5	Versuchsdurchführung	21
5.1	Grundlagen	21
5.2	Versuchsabläufe	22
5.2.1	100% Kesselleistung	22
5.2.2	Bei automatisch befeuerten Heizkesseln: Jahresreferenzlastzyklus	22
5.3	Durchführung der Feuerungsversuche	24
5.3.1	Kessel aufstellen	24
5.3.2	Kessel anschließen	24
5.3.3	Kessel befüllen	24
5.3.4	Einstellen der Regelung	24
5.3.5	Ausgangszustand	24
5.3.6	Versuchsbetrieb bei Volllast	25
5.3.7	Versuchsbetrieb mit dem Jahresreferenzlastzyklus bei automatisch beschickten Heizkesseln	28
5.3.8	Durchzuführende Messungen	30
5.4	Auswertung der Messungen	30
5.4.1	Bestimmung der Wärmeleistung und des Kesselwirkungsgrades	31
5.4.2	Bestimmung der Emissionswerte	32
5.4.3	Berechnungsschritte zur Auswertung der Messungen	32
5.4.4	Auswertung der Messungen mittels der Auswertesoftware	38

6	Protokoll	44
7	Literaturhinweise	45
7.1	Normative Verweise	45
7.2	Weitere Literaturangaben	46
	Anhang: Wirkungs- und Nutzungsgrade (informativ)	47

1 Einführung

Der vorliegende Leitfaden wurde im Zuge des Projekts „Bestimmung von Jahresnutzungsgrad und Jahresemissionsfaktoren am Prüfstand“ (Projektendbericht: [HECKMANN ET AL 2010]) erarbeitet und ist eine Anleitung zur korrekten Durchführung der Bestimmung am Prüfstand und der dazugehörigen Auswertung.

Die Bestimmung umfasst die Messung von Emissionen und Wirkungsgraden bei unterschiedlichen Betriebszuständen des Kessels. Im Unterschied zur EN 303-5 werden dabei auch nicht stationäre Betriebszustände gemessen und ausgewertet.

Die Messung kann zugleich mit der Prüfung nach [EN 303-5] erfolgen, daher ist diese Methode soweit wie möglich an diese Norm angelehnt.

2 Anwendungsbereich

Getestet werden können nach der in diesem Leitfaden beschriebenen Methode **Heizkessel für feste biogene Brennstoffe**. Der Leitfaden beschreibt die Anwendung der Methode bei automatisch- und händisch beschickten Kesseln.

Als **Brennstoffe** für diese Feuerungen gelten (entsprechend [EN 303-5]) folgende feste biogene Brennstoffarten: Naturbelassenes Brennholz in Form von

- **Stückholz** mit Wassergehalt $w < 25\%$;
- **Hackgut** (maschinell zerkleinertes Holz mit und ohne Rinde, in der Regel bis zu einer Stücklänge von 15 cm). Wassergehalt von $w > 15\%$ bis $< 35\%$ und Hackgut $w > 35\%$;
- **Presslingen** (ohne Bindemittel hergestellte Fließformen, z. B. Briketts oder Pellets aus Holz und/oder Rindenteilchen; zugelassen sind natürliche Bindemittel, wie Melasse, pflanzliche Paraffine und Stärke);
- Sägespänen, $w > 20\%$ bis $< 50\%$

Die Heizkessel können mit Naturzug oder mit Gebläse betrieben werden. Die Beschickung kann von Hand oder automatisch erfolgen.

Diese Methode gilt für Heizkessel mit einem eingebauten oder angebauten Wassererwärmer (Speicher- oder Durchlaufwassererwärmer) nur für jene Bauteile des Wassererwärmers, die den Betriebsbedingungen des Heizkessels zwangsläufig unterworfen sind (Heizungsteil).

Für Heizkessel mit kondensierendem Betrieb kann die Methode in dieser Form nicht angewendet werden.

3 Begriffe, 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 $[\text{kg/TJ}]$ angegeben¹

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:

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

¹ 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

4 Versuchsaufbau

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.

4.1 Anforderungen an den Versuchsraum

Raumtemperatur

Die Raumtemperatur des Versuchsraums muss 15°C - 30°C betragen, die Schwankung der Raumtemperatur darf während der Versuchsdurchführung 2 K/h nicht überschreiten.

Äußere Wärmequellen

Der Versuchsaufbau ist gegen direkten Einfluss anderer Wärmequellen, z.B. benachbarter Prüfaufbauten und Sonnenlicht, zu schützen.

4.2 Anforderungen an den Versuchsstand

Die zu prüfende Feuerungsanlage muss, zur Messung des Brennstoffverbrauchs mit den nach Kapitel 4.4 festgelegten Genauigkeitsanforderungen, auf einem Waagenpodest aufgebaut werden, wie in Abbildung 4-1 schematisch dargestellt.

Versuchsstandaufbau-Varianten

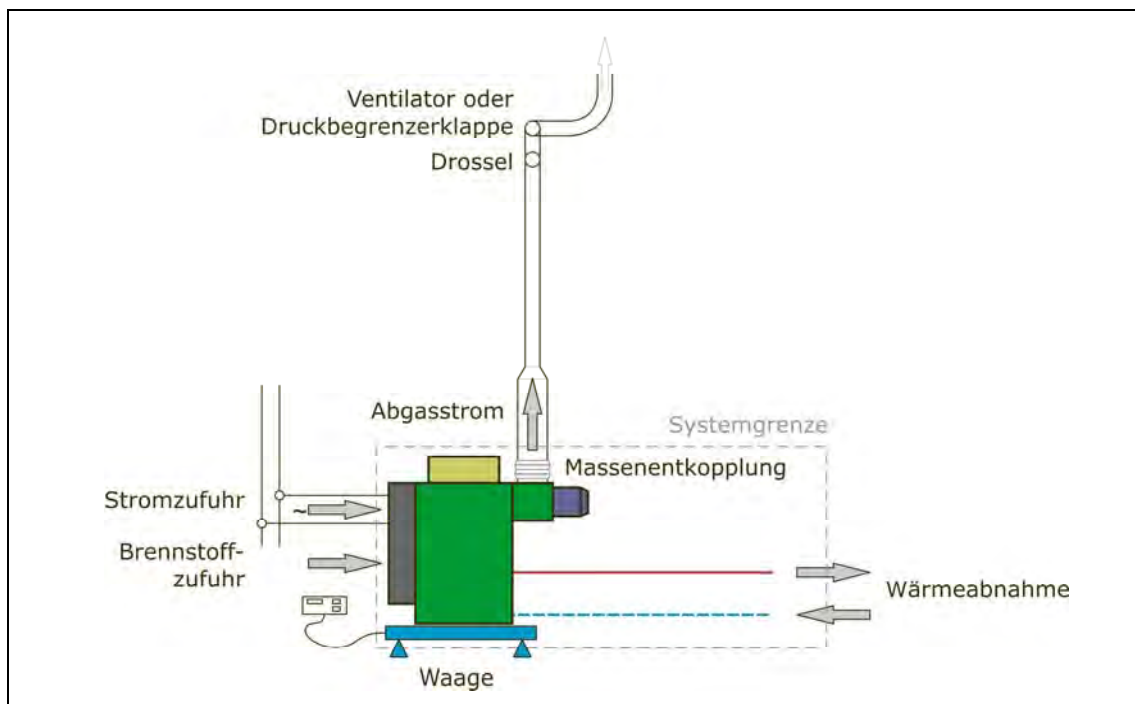


Abbildung 4-1: Schematischer Aufbau des Kessels mit integriertem Brennstoffbehälter auf dem Versuchsstand mit Darstellung der zu messenden Energie- und Massenströme über die Systemgrenze

Es ist auch möglich, den Brennstoffbehälter allein auf ein Waagenpodest aufzubauen, wie in Abbildung 4-2 gezeigt. Es ist eine mechanische Entkopplung von nicht auf der Waage befindlichen Komponenten wie Brennstoffzufuhr, Abgasmessstrecke und Wasserkreislauf vorzunehmen.

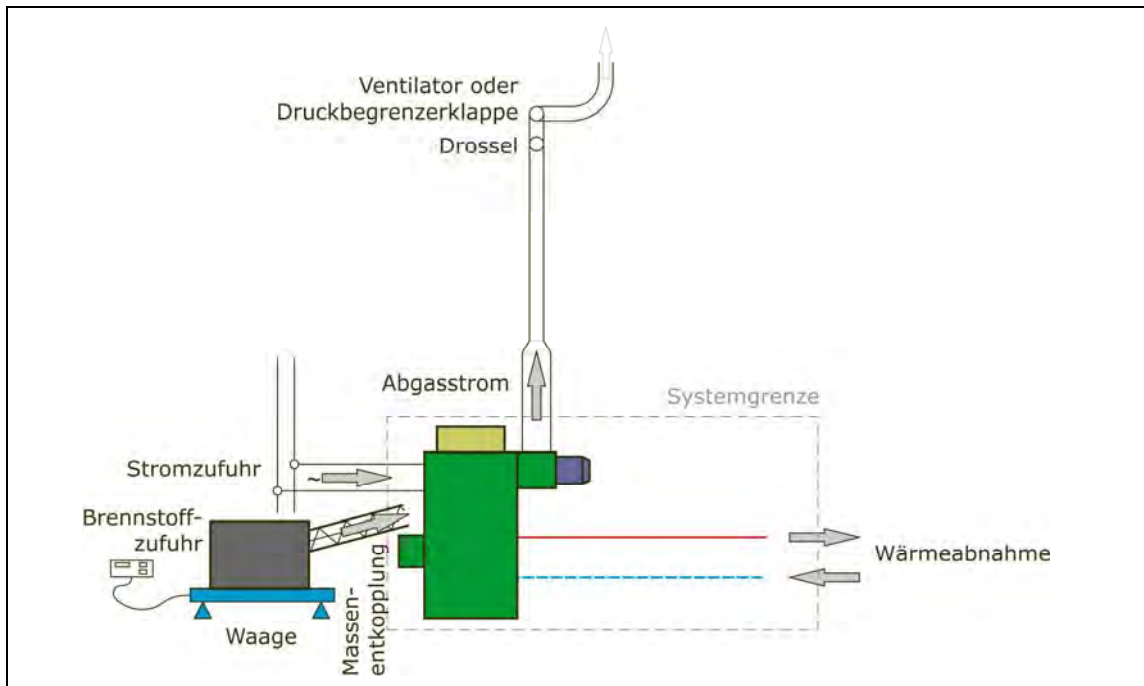


Abbildung 4-2: Schematischer Aufbau des Kessels mit separatem Brennstoffbehälter auf dem Versuchstand mit Darstellung der zu messenden Energie- und Massenströme über die Systemgrenze

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 Versuchsaufbauten sind zulässig.

4.2.1 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).

4.2.2 Abgasmessstrecke

Es ist eine geeignete Messstrecke mit Möglichkeiten Bestimmung des Förderdrucks, der Abgastemperatur, des Abgasvolumenstroms (z.B. über die Abgasgeschwindigkeit) und der Abgaszusammensetzung zu verwenden. Ein Beispiel gibt Abbildung 4-3. 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).

Gemäß Abbildung 4-3 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 (vergleiche Kapitel 4.2.2.4) so zu wählen, dass die Strömungsgeschwindigkeit möglichst in allen Betriebszuständen (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.

Die Messstrecke ist mit 40 mm dicker Mineralfaser (z.B. Steinwolle) oder ähnlichem Material vollständig zu umkleiden. Das Dämmmaterial soll eine Wärmeleitfähigkeit von $0,04 \text{ W/(m.K)}$ bei einer Durchschnittstemperatur von 20°C aufweisen. Bei Materialien mit höherer Wärmeleitfähigkeit als $0,04 \text{ W/(m.K)}$ ist die Dämmdicke entsprechend anzupassen.

Abgasmessstrecke

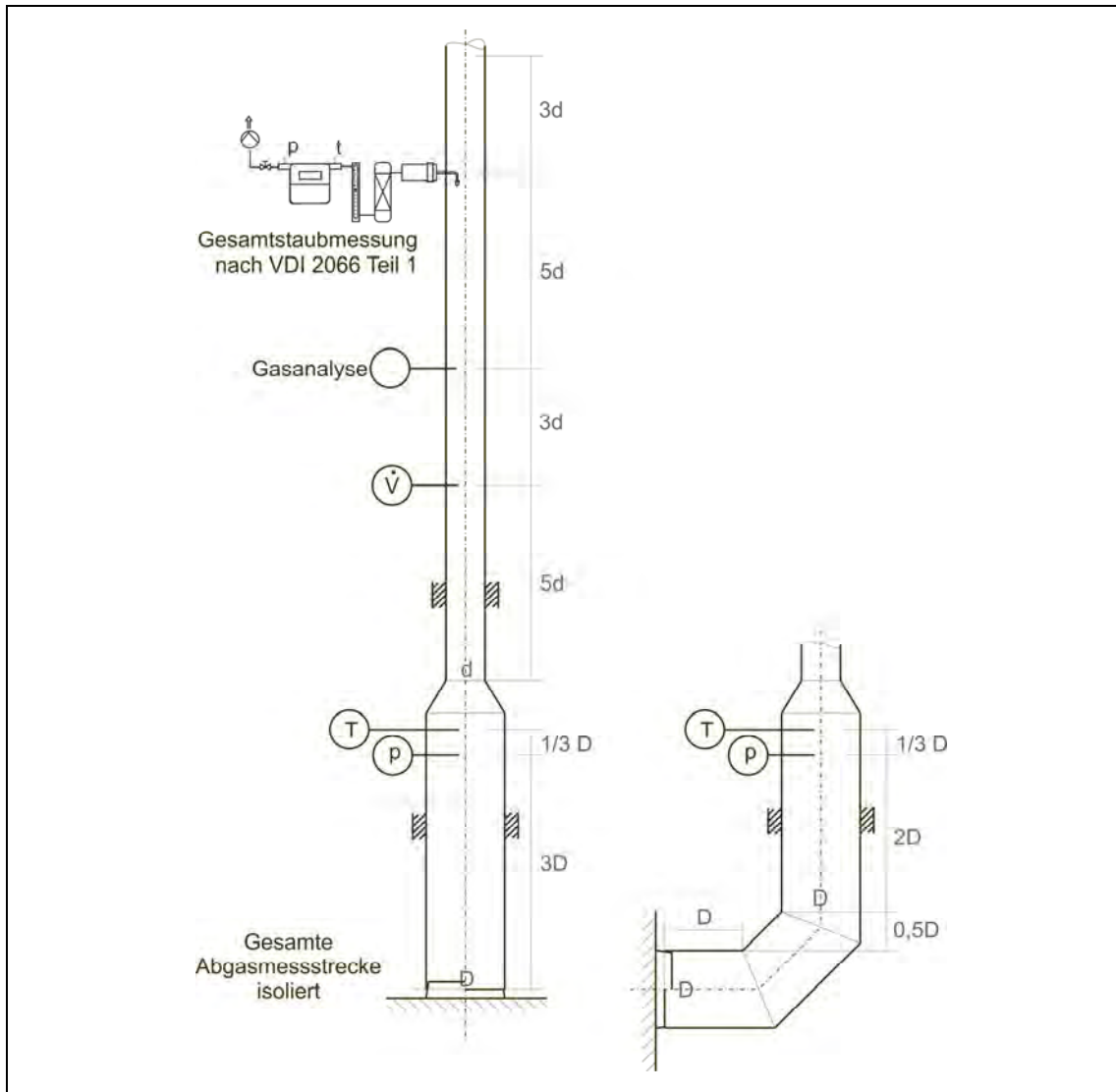


Abbildung 4-3: Beispiel einer schematischen Darstellung der Abgasmessstrecke; für vertikalen und horizontalen Anschluss-Stutzen am Kessel, hier für Aufbau bei externem Brennstoffbehälter²

4.2.2.1 Verbindung der Feuerstätte mit der Messstrecke

Das Verbindungsstück ist mit der gleichen Wärmedämmung wie die Messstrecke zu versehen. Für Feuerungsanlagen mit nicht rundem Abgasstutzen oder einem solchen, der anders ist als der der Messstrecke, muss das Verbindungsstück als Adapter ausgebildet sein, der die notwendigen Änderungen in Form oder Durchmesser ausgleicht, so dass dies zur Messstrecke passt.

² Ansonsten ist die Verbindung zwischen Anschluss-Stutzen am Kessel und Abgasmessstrecke mechanisch zu entkoppeln (schematisch dargestellt in Abbildung 4-1)

Wenn der Kessel gewogen wird ist die Verbindung zwischen Anschluss-Stutzen am Kessel und Abgasmessstrecke mechanisch zu entkoppeln (schematisch dargestellt in Abbildung 4-1).

4.2.2.2 Förderdruck

Für die Messung des Förderdrucks ist, wie auch in [EN 304] vorgeschrieben, ein Rohr mit einem Innendurchmesser von 6 mm nach Abbildung 4-4 in der Messstrecke (Positionierung in der Messstrecke siehe Abbildung 4-3) anzuordnen. Das Rohrende hat bündig mit der Innenwand der Messstrecke abzuschließen.

Der Förderdruck am Messpunkt ist entsprechend den Angaben des Kesselherstellers (bzw. mit 15 Pa, falls keine Angaben vorliegen) einzustellen und muss in allen Betriebszuständen eingehalten werden. Über den gesamten Versuchszeitraum darf der tatsächliche Förderdruck im Mittel um maximal 2 Pa von der Sollwertvorgabe abweichen.

4.2.2.3 Messung der Abgastemperatur

Für die Messung der Abgastemperatur ist eine Anordnung entsprechend [EN 304] vorzusehen, wie in der folgenden Abbildung 4-4 zu sehen.

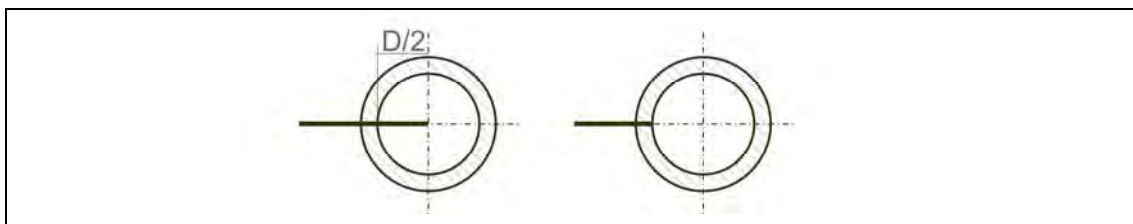


Abbildung 4-4: Anordnung des Thermoelements zur Messung der Abgastemperatur (links) und des Druckmessrohres (rechts)

4.2.2.4 Bestimmung der Abgasgeschwindigkeit

Bei Betriebszuständen mit sehr geringen Abgasgeschwindigkeiten nimmt die Messunsicherheit zu bzw. ist eine Messung unter Umständen nicht mehr möglich. Daher ist sicherzustellen, dass die gewählte Messausrüstung bereits für Abgasgeschwindigkeiten ab 0,5 m/s mit der in Kapitel 4.4 geforderten Genauigkeit einsetzbar ist.

4.2.2.5 Normvolumenstrom-Bestimmung

Zur Bestimmung des Abgas-Normvolumenstroms ist die Messung der Gasgeschwindigkeit, des Volumenstromes oder des Massenstromes erforderlich. Zudem können, abhängig von der gewählten Messmethode, die Messung der Abgastemperatur und des statischen Absolutdrucks sowie weiterer Größen an der Messstelle notwendig sein.

Der absolute Druck des Abgases kann, wenn der Förderdruck unter 20 Pa liegt, durch den Umgebungsdruck ersetzt werden, siehe Kap. 4.3.2.

4.2.2.6 Abgas-Probenahme

Die für die Gasprobenahmeleitung und die Sondenanschlüsse verwendeten Werkstoffe müssen den zu erwartenden Temperaturen standhalten und dürfen nicht mit den Abgasen reagieren oder deren Diffusion zulassen. Es dürfen sich im gesamten Probenahmesystem keine Undichtigkeiten befinden.

4.2.2.7 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. Die Staubprobenahmeeinrichtung ist nach [VDI 2066-1] auszuführen. Die Staubprobenahme erfolgt im Zentrum des Messstreckenquerschnitts. Wenn das abgesaugte Volumen der Messeinrichtung nach unten limitiert ist, wird ab dieser Grenze die minimale Menge konstant abgesaugt.

4.2.3 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.

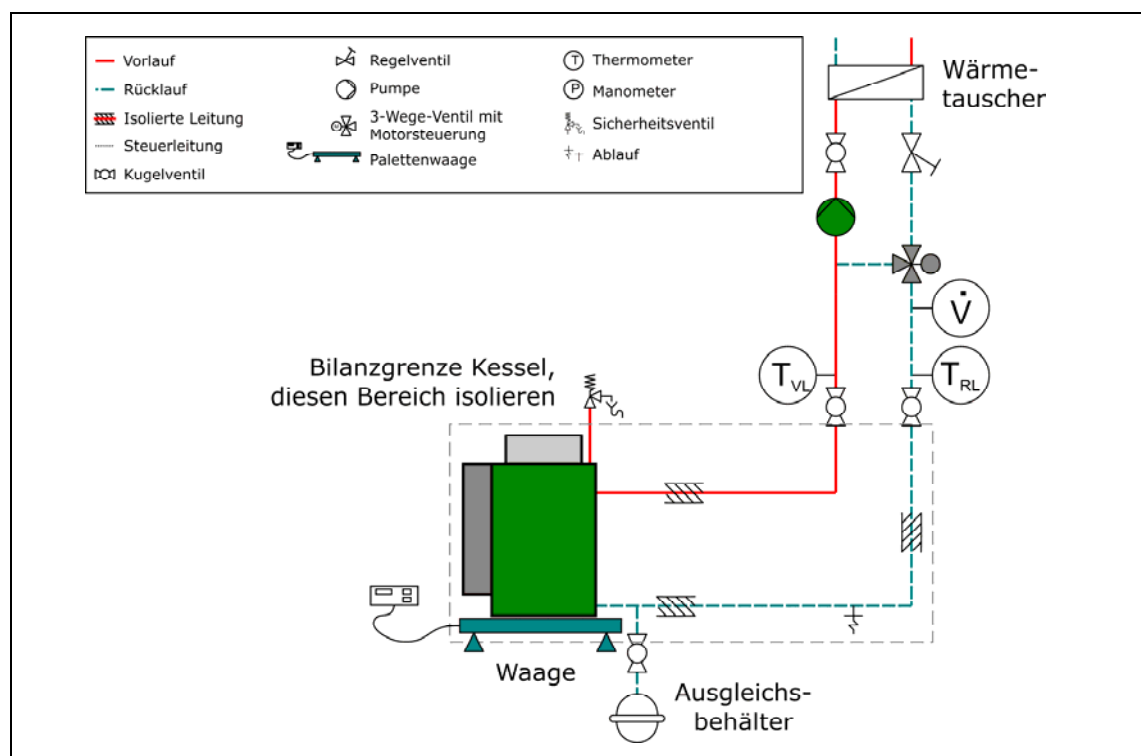


Abbildung 4-5: Beispielhafte Darstellung eines Hydraulikschemas für den Versuchsstand

In Abbildung 4-5 ist ein geeigneter Wasserkreislauf dargestellt. Der Aufbau hat jedenfalls anwendungsgetreu zu erfolgen. Eine gegebenenfalls vorhandene Rücklaufanhebung ist, wenn möglich, zu deaktivieren.

Der Bereich des Primärkreislaufs ist, wie in Abbildung 4-5 dargestellt, bis zu den Temperaturmessstellen entsprechend Tabelle 4-1 zu dämmen. Bei Materialien mit anderen Wärmeleitfähigkeiten als $0,035 \text{ W/(m.K)}$ ist die Mindestdämmdicke entsprechend anzupassen.

Art der Leitungen bzw. Armaturen	Mindestdämmdicke
Leitungen / Armaturen in nicht konditionierten Räumen	2/3 des Rohraußendurchmessers, jedoch höchstens 100 mm

Tabelle 4-1: Dicke der Dämmschicht bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/(m.K)}$ nach [OIB Richtlinie 6, Kap. 6.1]

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. Die Wärmeabnahme muss über eine geeignete Regeleinrichtung verfügen, die eine kontinuierliche Anpassung der Ist-Leistung gemäß der Sollwerte (siehe Kurve in Kapitel 5.2) ermöglicht.

Die Abweichung der über den Messzeitraum von der Feuerungsanlage geleisteten Arbeit von der anhand der Lastkurve vorgegebenen Arbeit darf maximal 5% betragen.

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 (vgl. Kapitel 5.3.5) aufzuheizen. Dafür ist der Einsatz einer geeigneten Beheizung (z.B. Heizpatrone) vorzusehen.

4.2.4 Versorgung mit elektrischer 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 4-1 bzw. Abbildung 4-2 liegen. In der Regel sind das Brennstoffförderung, Saugzug, Zündung und ggf. Ascheaustragung und Rostreinigung.

4.3 Anforderungen an Messgeräte und -methoden

Die verwendeten Messeinrichtungen müssen so ausgewählt werden, dass für jeden Messparameter die Anforderungen an die Messunsicherheit nach Kapitel 4.4 (soweit passend übernommen aus [HASLINGER ET AL 2008]) erfüllt werden. Der zu erwartende Maximalwert des zu messenden Parameters muss im Messbereich der verwendeten Messeinrichtung liegen.

Kontinuierliche Messungen

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 laut Kapitel 5.4.

Synchronisation der Messdaten

Da einige Messgeräte (insbesondere Gasanalysatoren) das Signal stark verzögert liefern, müssen Messwerte 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 (H_2O , CO, O_2 , CO_2 , NO_x , OGC)
 - Partikelemissionen
- Energiebilanz
- Brennstoff
 - Eigenschaften (Heizwert, Wassergehalt, Aschegehalt, Kohlenstoff-Gehalt)
 - Brennstoffverbrauch
- Wasserkreislauf
 - Wassertemperaturen (TVL, TRL, ...)
 - Volumenstrom oder Massenstrom im Heizkreislauf
- Elektrische Hilfsenergie
- Verbrennungsrückstände
 - Masse
 - Unverbrannte Bestandteile in der Asche

4.3.1 Umgebungsbedingungen

Raumtemperatur und Luftdruck müssen wenigstens einmal, im Idealfall kontinuierlich, während des Versuchs gemessen werden. Wenn mit stärkeren Schwankungen zu rechnen ist, sollte eine mehrfache oder kontinuierliche Messung erfolgen. Die Messung hat wie in den relevanten Normen³ beschrieben zu erfolgen (z.B. [EN 14785]). Bei der Messung des Luftdrucks soll die Messunsicherheit maximal ± 10 mbar, bei der Umgebungstemperatur ± 1 K (entspricht [EN 267]) betragen.

4.3.2 Abgasanalyse

4.3.2.1 Wassergehalt im Abgas

Der Wassergehalt im Abgas ist mit Hilfe einer geeigneten kontinuierlichen Messeinrichtung mit einer maximalen Messunsicherheit von 0,5 Volums-% bzw. 4% des Messwerts zu messen.

4.3.2.2 Abgastemperatur

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

4.3.2.3 Statischer Druck

Der statische Druck ist mit einer Messunsicherheit von ± 1 Pa entsprechend der Anforderungen in [HASLINGER ET AL 2008] zu messen.

4.3.2.4 Abgasnormvolumenstrom

Der Abgasnormvolumenstrom kann direkt gemessen oder die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt und auf den Normvolumenstrom umgerechnet werden. Die Messunsicherheit des Volumenstroms darf beim kleinsten angezeigten Wert maximal $\pm 10\%$ (relativ) betragen.

4.3.2.5 Gasförmige Komponenten

Die Messung der gasförmigen Komponenten CO, O₂, CO₂, NO_x bezogen auf das trockene Abgas und OGC bezogen auf das feuchte Abgas erfolgt kontinuierlich entsprechend [EN 303-5]. Die Kalibrierung des FID zur Bestimmung von OGC hat mittels Propan zu erfolgen, die Ergebnisse sind für die Auswertung auf C₁-Äquivalente umzurechnen (entsprechend [EN 12619]). Die Messunsicherheiten für die Messeinrichtungen betragen laut [HASLINGER ET AL 2008] für:

- CO: $\pm 10\%$ des Messwerts, aber max.
 - ± 10 ppm bei einem Messbereich von 500 ppm;
 - ± 45 ppm bei einem Messbereich von 3.000 ppm
- O₂ und CO₂: $\pm 0,4$ Volums-%
- NO_x: $\pm 5\%$ des Messwerts, aber max. ± 15 ppm
- OGC (Gehalt an org. C): $\pm 5\%$ der Größenordnung, aber max. ± 10 mg/Nm³

³ [EN 12809, Anhang A], [EN 13240, Anhang A], [EN 14785, Anhang A]

4.3.2.6 Partikelemissionen

Die Messung ist in Anlehnung an die Messvorschrift [VDI 2066-1] im heißen Abgas durchzuführen. Abweichend von der Norm beträgt die Probenahmedauer 8 Stunden. Die Entnahme der Staubprobe hat proportional zum Volumenstrom zu erfolgen⁴.

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.

Die Messunsicherheit für die Staubmessung ist maximal $\pm 15\%$ des Messwerts, aber max. 8 mg/Nm^3 , das Messergebnis ist auf den trockenen Abgasstrom zu beziehen [HASLINGER ET AL 2008].

4.3.3 Energiebilanz

4.3.3.1 Brennstoffverbrauch

Entsprechend [EN 304] ist der Brennstoffverbrauch über den Versuchszeitraum durch Wiegen zu bestimmen. Bei manueller Brennstoffaufgabe beträgt die maximale Messunsicherheit bei einer Masse bis $7,5 \text{ kg}$ laut [EN 13240] $\pm 5 \text{ g}$, über $7,5 \text{ kg}$ maximal $\pm 10 \text{ g}$. Bei automatischer Brennstoffzufuhr beträgt die maximale Messunsicherheit $\pm 0,1\%$ des Messwerts.

Zusätzlich ist eine kontinuierliche Messung erforderlich:

- 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.

⁴ Da die Staubfracht bei wechselnder Abgas-Geschwindigkeit bestimmt werden muss

Für die Bilanzierung sind außerdem folgende Analysen des Brennstoffs durchzuführen:

- Heizwert entsprechend [EN 14918]
- Wassergehalt entsprechend [EN 14774-2]
- Aschegehalt entsprechend [EN 14775]
- Kohlenstoffgehalt mittels CHN-Analyse nach [CEN/TS 15104]

4.3.3.2 Erzeugte Wärme im Heizungswasser

Die Wassertemperaturen in Vor- und Rücklauf sind mit geeigneten Messfühlern unmittelbar an der Systemgrenze (siehe Abbildung 4-5) zu messen. Zusätzlich sind die Messung des Massenstroms bzw. die Bestimmung desselben über Volumenstrom und Dichte des Heizungswassers erforderlich.

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.

Die Unsicherheiten für die Bestimmung der erzeugten Wärme darf maximal $\pm 1,5\%$ des Messwerts [HASLINGER ET AL 2008] betragen.

4.3.3.3 Elektrische Hilfsenergie

Die elektrische Hilfsenergie zum Betrieb des Kessels muss kontinuierlich mit einer maximalen Messunsicherheit von $\pm 0,1\%$ des Messwerts erfasst werden können (nach [HASLINGER ET AL 2008]). Der elektrische Energiebedarf bei Start, Stand-By und normalem Betrieb soll in Übereinstimmung mit [EN 15456] bestimmt werden.

4.3.3.4 Aschemasse

Erfolgt die Bestimmung der Brennstoffmasse durch Wiegen des Brennstoffbehälters, so ist keine Erfassung der im Versuch angefallenen Asche erforderlich. Eine Entnahme von Brennstoffresten oder Asche aus vorangegangenen Versuchen oder Betriebsphasen soll nicht erfolgen.

Wenn die Feuerungsanlage auf der Waage aufgestellt wird, ist die während des Versuchs anfallende Aschemasse zu bestimmen. Dazu ist vor und nach dem Versuch eine Feuer- und Ascheraumentleerung durchzuführen. Der Rost- und Schürddurchfall ist mit einer maximalen Messunsicherheit von ± 5 g zu bestimmen.

4.3.4 Wasservolumen des Heizkessels

Das Wasservolumen kann nach folgenden Methoden bestimmt werden:

- Bestimmung der Wassermasse mittels Waage beim Befüllen oder Entleeren, der Kessel muss dabei aber kalt sein.
- Bestimmung des Wasservolumens beim Befüllen oder Entleeren

Die Messunsicherheit darf maximal $\pm 1\%$ betragen.

Hinweis: Die vollständige Befüllung des Kessels ist durch eine geeignete Entlüftung sicherzustellen (falls vorhanden).

4.4 Messgenauigkeiten

Messgröße	Einheit	max. Messunsicherheit	Kommentar
Luftdruck	mbar	± 10 mbar	
Umgebungstemperatur	$^{\circ}\text{C}$	± 1 K	[EN 267]
Wassergehalt im Abgas	%	0,5 Volums-% bzw. 4% des Messwerts	
Abgastemperatur	$^{\circ}\text{C}$	± 1 K	[EN 267]
Statischer Druck	Pa	± 1 Pa	[HASLINGER ET AL 2008]
Abgasnormvolumenstrom	$\text{m}_\text{N}^3/\text{s}$	$\pm 10\%$ beim kleinsten angezeigten Wert	
CO	Volums-%	$\pm 10\%$ des Messwerts, aber max.: ± 10 ppm bei Messbereich 500 ppm; ± 45 ppm bei Messbereich 3.000 ppm	[HASLINGER ET AL 2008]
O ₂ - und CO ₂ -Gehalt	Volums-%	$\pm 0,4$ Volums-%	[HASLINGER ET AL 2008]
NO _x -Gehalt	ppm	$\pm 5\%$ des Messwerts, aber max. ± 15 ppm	[HASLINGER ET AL 2008]
OGC (Gehalt an org. C)	mg/Nm ³	$\pm 5\%$ der Größenordnung, aber max. ± 10 mg/Nm ³	[HASLINGER ET AL 2008]
Partikelemissionen	mg/Nm ³	$\pm 15\%$ des Messwerts, aber max. 8 mg/Nm ³	[HASLINGER ET AL 2008]
Brennstoffaufgabe manuell	kg	bis 7,5 kg ± 5 g, über 7,5 kg ± 10 g	nach [EN 13240]
Brennstoffmasse kontinuierlich	kg	$\pm 0,1\%$ des Messwerts	Messwert incl. Brennstoffbehälter und/oder Kessel
Erzeugte Wärme im Heizungswasser	kW	$\pm 1,5\%$ des Messwerts	[HASLINGER ET AL 2008]
Elektrische Hilfsenergie	W	$\pm 0,1\%$ des Messwerts	[Haslinger et al 2008]
Aschemasse	Kg	$\pm 0,5$ g	
Wasservolumen des Kessels	l	$\pm 1\%$	

Tabelle 4-2: Maximal zulässige Messunsicherheiten für die in Kapitel 4.3 beschriebenen Messmethoden

5 Versuchsdurchführung

5.1 Grundlagen

Vorbereitung und Zustand des Heizkessels

Es sind die vom Hersteller serienmäßig mitgelieferten bzw. von ihm empfohlenen Einbauten und das Zubehör zu verwenden. Bedienungs- und Montageanleitung sind zu beachten. Falls eine Umwälzpumpe zur Rücklaufanhebung integriert ist, ist diese nach Möglichkeit zu deaktivieren.

Der Heizkessel ist in dem Zustand und in der Ausstattung zu untersuchen, die der üblichen Verwendungsform entsprechen. Zusätzliche Wärmedämmung an wasser-, abgas- oder feuerberührten Teilen ist unzulässig (Die Rohre des Primärkreislaufes sind entsprechend Kap. 4.2.3 zu dämmen). Bei Bestimmung der Wärmeleistung eines Heizkessels mit eingebautem Brauchwassererwärmer (Speicher- oder Durchlaufprinzip) darf aus dem Heizkessel kein Brauchwasser entnommen werden. Die Wärmeleistung wird allein über den Heizungskreislauf bestimmt.

Das Wasservolumen des Heizkessels ist vor Versuchsbeginn entsprechend Kap. 4.3.4 zu bestimmen bzw. dem Typenschild zu entnehmen.

Vorbereitung der Messgeräte

Die Geräte sind zum Vermeiden von Fehlmessungen an Orten mit möglichst konstanter Temperatur aufzustellen und entsprechend den Herstellerangaben vor Versuchsbeginn in Betrieb zu nehmen und zu kalibrieren.

Die Uhren der Messgeräte sind vor Beginn der Messungen zu synchronisieren

Brennstoff

Entsprechend [EN 303-5] werden die Versuche mit Brennstoff handelsüblicher Qualität nach Wahl des Kesselherstellers gemäß Tabelle 5-1 durchgeführt.

Wasser-, Asche-, Kohlenstoffgehalt und Heizwert sind durch Messung zu bestimmen. Der Wassergehalt ist zumindest einmal zu Beginn der Versuche zu bestimmen.

Geeignete Brennstoffe

	Stückholz		Hackgut		Presslinge
	Weichholz	Hartholz	B1	B2	
Wassergehalt	12% - 20%	12% - 20%	20% - 30%	40% - 50%	≤12%
Aschegehalt	<0,4%	<0,4%	<0,4%	<0,4%	<0,5%
Heizwert $H_{u,wf}$ (wasserfrei)	18,8 MJ/kg ±5%	18,4 MJ/kg ±5%	18,8 MJ/kg ±5%	18,8 MJ/kg ±5%	18,8 MJ/kg ±5%
Größe / Länge	gemäß den Herstellerangaben ⁵				

Tabelle 5-1: Anforderungen an die Brennstoffe für die zulässigen Brennstoffklassen
nach [EN 303-5], Heizwerte aus [HARTMANN ET AL 2007]

5.2 Versuchsabläufe

Die Versuche beinhalten 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.

Die abgeführte Leistung an der Wärmeabnahme kann von Hand oder durch eine automatische Regelung eingestellt werden. Das Gerät muss während der Messungen entsprechend den Herstellerangaben betrieben werden.

5.2.1 100% Kesselleistung

Aufheizen von 45°C auf maximale Leistung, stationärer Betrieb für mindestens 6 Stunden bzw. eine Abbrandperiode⁶ entsprechend [EN 303-5] und 8-stündiges Abkühlen. Im Unterschied zur [EN 303-5] werden bei diesem Ablauf die Aufheiz- und Abkühlphase ebenfalls gemessen.

5.2.2 Bei automatisch befeuerten Heizkesseln: Jahresreferenzlastzyklus

Betrieb des Kessels beginnend bei einer Kesseltemperatur von 45°C entsprechend dem Profil in Abbildung 5-1 und den zugehörigen Daten in Tabelle 5-2. 100% Kesselauslastung entsprechen dabei der vom Hersteller angegebenen Nennleistung des Kessels. Die Herleitung dieses Jahresreferenzlastzyklus ist in [HECKMANN ET AL 2010] ausführlich dargestellt.

⁵ Maximal 5% der Masse des Prüfbrennstoffs dürfen eine Über- und Untergröße aufweisen.

⁶ Wenn gleichzeitig die Prüfung nach [EN 303-5] durchgeführt wird: 2 Abbrandperioden

Jahresreferenzlastzyklus grafisch und tabellarisch

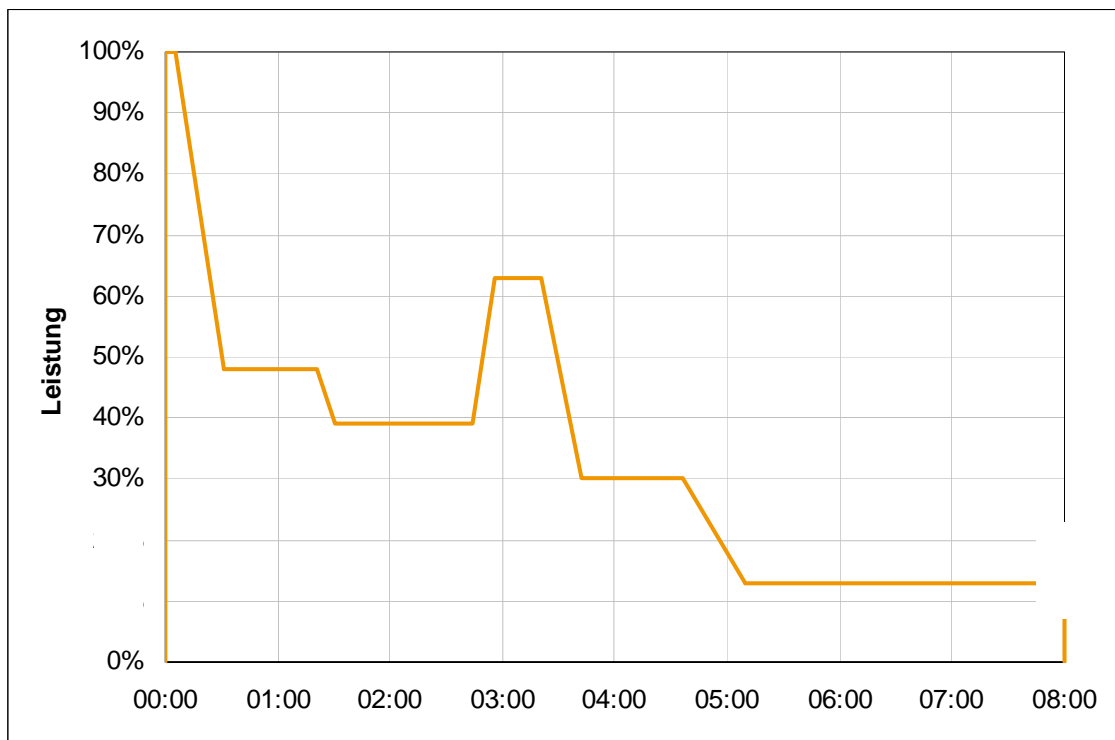


Abbildung 5-1: Jahresreferenzlastzyklus zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und -emissionsfaktoren

[HECKMANN ET AL 2010]

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

P_K	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 5-2: Datentabelle zum Jahresreferenzlastzyklus für den Jahresnormnutzungsgrad, P_K ist die Kesselleistung in % der Nennleistung

[HECKMANN ET AL 2010]

5.3 Durchführung der Feuerungsversuche

Entsprechend [EN 303-5] ist während des Abbrandes ein Eingriff von Hand in Form von Stochern oder Rütteln nicht gestattet. Bei Heizkesseln mit Handbeschickung ist es erlaubt, ca. 5 - 10 min vor Erreichen der Grundglut die Glut kurz zu schüren. Bei diesem Schüren werden noch unverbrannte Brennstoffteile verteilt und es wird eine bessere Beurteilung der Grundglut erreicht.

Die Messungen erfolgen in zwei Phasen, die an zwei Tagen unabhängig voneinander durchgeführt werden können.

5.3.1 Kessel aufstellen

Aufstellung des gesamten Kessels oder nur des Brennstoffbehälters auf einer Waage entsprechend der Angaben in Kap. 4.2

5.3.2 Kessel anschließen

Anschließen der Abgasleitung

Das Anschließen der Abgasleitung erfolgt, unter Beachtung der mechanischen Entkopplung von der Waage, entsprechend Kapitel 4.2.2. Der Förderdruck ist nach Angabe des Herstellers einzustellen.

Anschließen von Vorlauf und Rücklauf

Die Verbindungsleitungen für Vor- und Rücklauf in Übereinstimmung mit Kapitel 4.2.3 anschließen.

5.3.3 Kessel befüllen

Der Kessel ist mit Wasser zu befüllen, dabei ist das Wasservolumen entsprechend Kapitel 4.3.4 zu bestimmen.

5.3.4 Einstellen der Regelung

Falls die Anlage über eine Regelung mit mehreren Betriebsarten verfügt, ist eine geeignete Einstellung für den Winterbetrieb zu wählen. Für alle Parameter sind nach Möglichkeit Werkseinstellungen zu wählen. Alle Einstellungen sind ausreichend zu dokumentieren (z. B. Abreinigung, Hysterese der Kesselbetriebstemperatur).

Der Sollwert des Kessels ist entsprechend Kapitel 4.2.3 vorzugeben.

5.3.5 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.

5.3.6 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 5-2 dargestellt.

Die Abweichung der Temperaturen an Punkten, an denen Vorlauf- und Rücklaufemperatur ausgeglichen sein sollen, darf dabei maximal $\pm 0,5$ K betragen.

Versuchsstart

Zunächst wird die Umwälzpumpe eingeschaltet und der Kessel mittels externer Beheizung in einen stabilen Ausgangszustand bei einer Vorlauf- und Rücklaufemperatur von 45°C (siehe auch Kap. 5.3.5) gebracht (t_0). Die Messung wird spätestens zu diesem Zeitpunkt gestartet.

Versuchsbetrieb

Der Kessel wird gestartet, zeitgleich auch der Saugzug am Kamin. 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. Der stationäre Betrieb bei 100% Kesselleistung ist für mindestens 6 Stunden bzw. eine Abbrandperiode mit durchgehendem Mess- und Probenahmezeitraum einzuhalten. Der Beginn der Staubprobenahme erfolgt zeitgleich mit dem Start des Kessels.

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 Versuchszyklus wird die Umwälzpumpe nochmals eingeschaltet (t_4), bis sich wieder ein Temperaturgleichgewicht eingestellt hat, also die Vorlauf- gleich der Rücklaufemperatur 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 Abschluss⁷ durch weitere Abkühlung oder Aufheizung die Vorlaufemperatur auf 45°C zu bringen. Die Masse in diesem Zustand wird benötigt, um die Massen- und Energiebilanz schließen zu können.

⁷ Der Zeitpunkt dafür ist nicht entscheidend und kann geeignet gewählt werden

Zuletzt ist eine Abreinigung zu starten und die restliche Asche zu entnehmen (siehe Kap. 4.3.3.4).

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	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 5-3: Definition der Zeitpunkte, Bedingungen und Prozessschritte für den Versuchsablauf bei Volllast

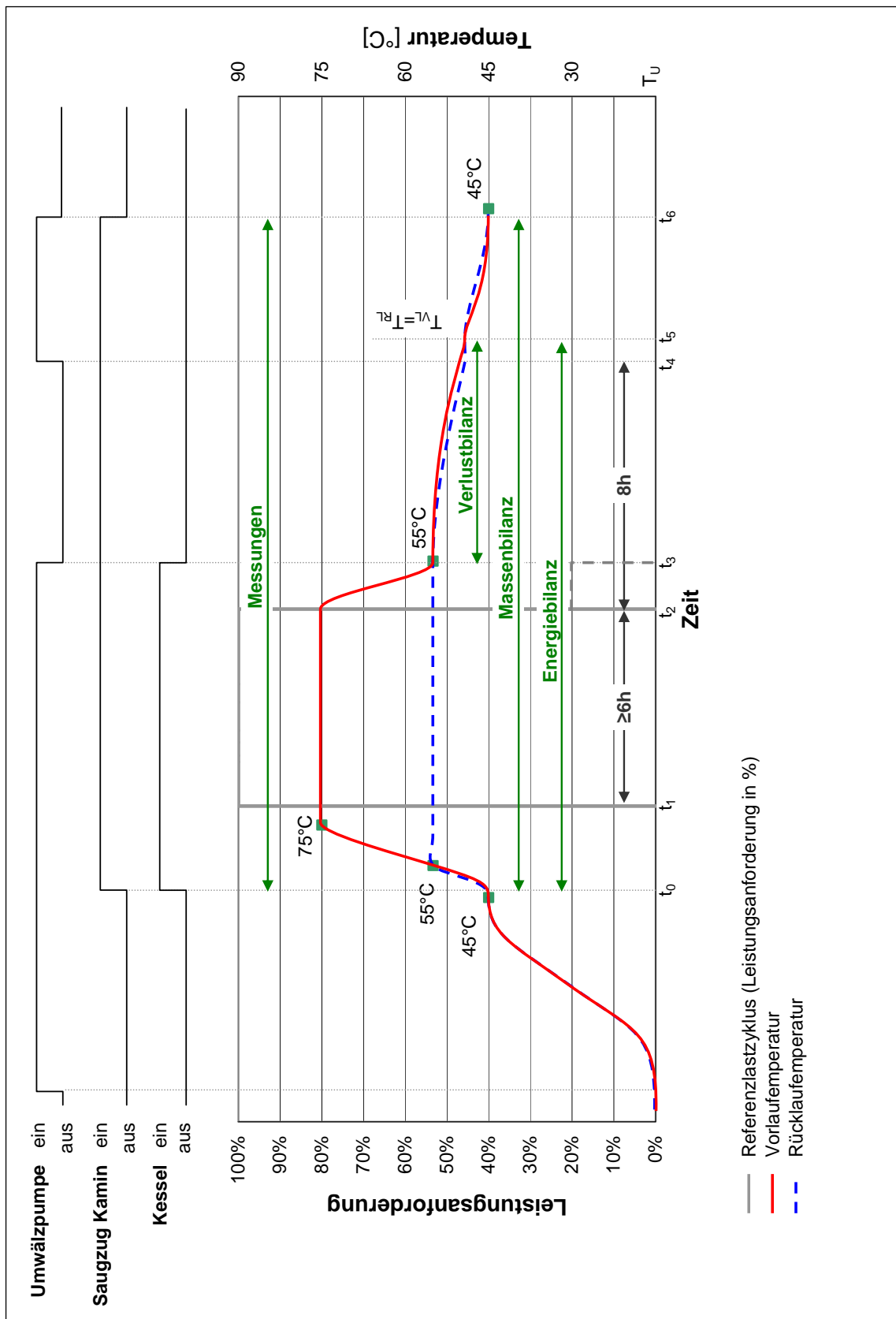


Abbildung 5-2: Ablaufschema für den Versuchsablauf bei Anwendung des Vollastzyklus

5.3.7 Versuchsbetrieb mit dem Jahresreferenzlastzyklus bei automatisch beschickten Heizkesseln

Der Ablauf für die Durchführung des Versuchs mit dem Jahresreferenzlastzyklus ist schematisch in Abbildung 5-3 dargestellt. Er ist grundsätzlich gleich wie in Phase 1 und dort detailliert beschrieben. An die Stelle des stationären Betriebs tritt der Jahresreferenzlastzyklus entsprechend dem Profil in Abbildung 5-1 und den zugehörigen Daten in Tabelle 5-2. 100% Kesselauslastung entsprechen dabei der in Phase 1 festgestellten Nennleistung des Kessels.

Der Unterschied zu Phase 1 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 5-4: Definition der Zeitpunkte, Bedingungen und Prozessschritte für den Versuchsablauf mit dem Referenzlastzyklus

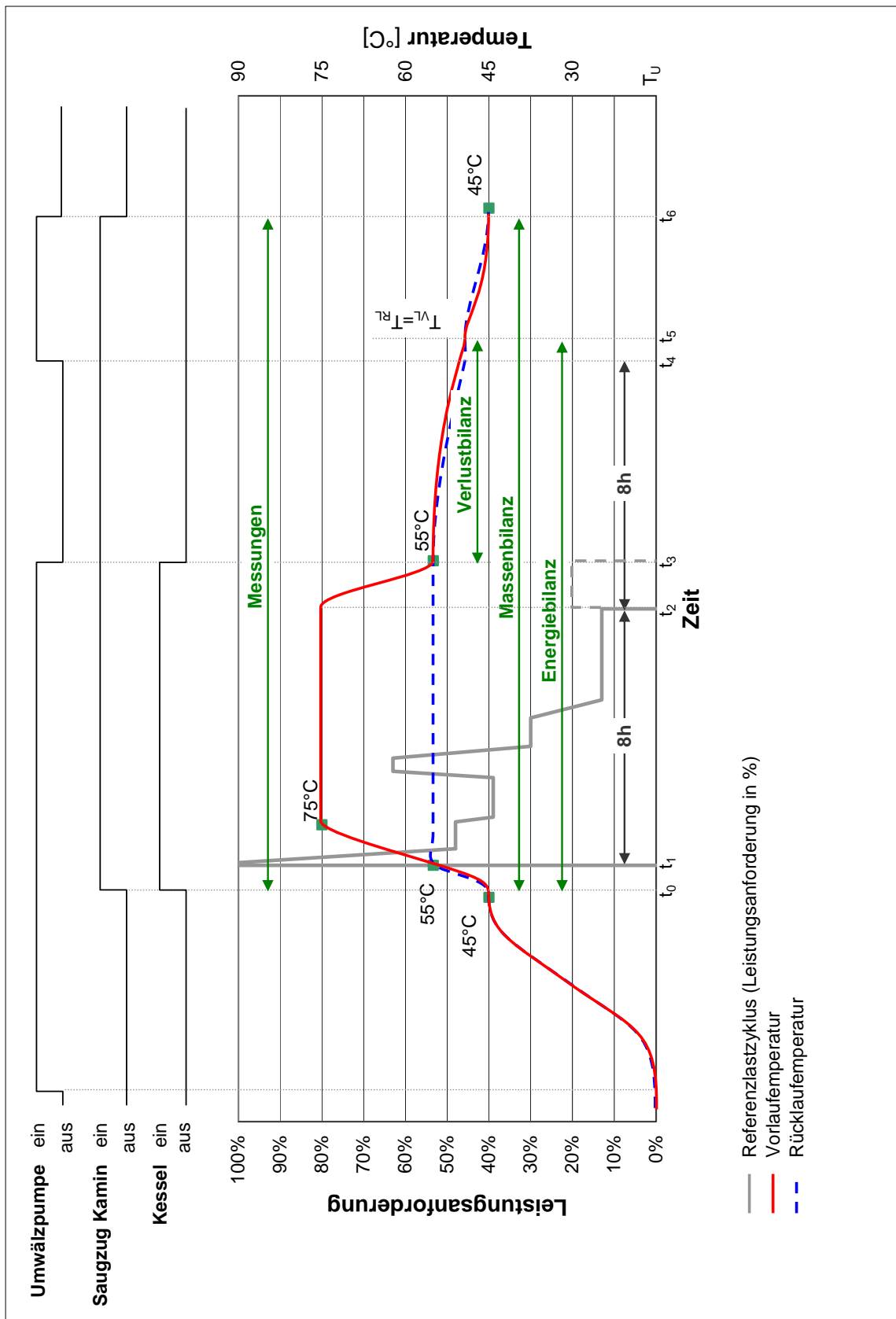


Abbildung 5-3: Ablaufschema für den Versuchsablauf bei Anwendung des Referenzlastzyklus

5.3.8 Durchzuführende Messungen

Einmalige Messungen

- Brennstoffeigenschaften
 - Heizwert
 - Wassergehalt
 - Aschegehalt
 - Kohlenstoffgehalt
- Zugeführte Brennstoffmasse
- Staubemissionen (mehrfach)
- Umgebungstemperatur (auch kontinuierliche Messung und Auswertung möglich)
- Luftdruck (auch kontinuierliche Messung und Auswertung möglich)

Kontinuierliche Messungen

- Energiezufuhr
 - Brennstoffverbrauch
 - Elektrische Hilfsenergie
- Temperatur des zugeführten Kaltwassers entsprechend [EN 304], Abbildung A.2;
- Erzeugte Wärme
 - Vorlauf- und Rücklauftemperatur
 - Kesselwasserdurchfluss
 - Abgastemperatur
- Emissionen im Abgas
 - Wassergehalt
 - O₂- und / oder CO₂-Gehalt
 - CO-Gehalt
 - NO_x-Gehalt
 - Organische gasförmige Bestandteile OGC (als organisch gebundener Kohlenstoff)

5.4 Auswertung der Messungen

Die Auswertung erfolgt durch direkte Übernahme der Messdaten aus dem Versuchsdurchlauf: Der mittlere Jahresnormnutzungsgrad 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.

5.4.1 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]	5-1
---	------	-----

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

5.4.2 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.

5.4.3 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 (siehe Kapitel 0).

5.4.3.1 Ermittlung der Massen- und Energieströme

Aus den gemessenen Momentanwerten der Massen und Energien werden die momentanen Änderungen errechnet und anschließend 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 5.3.5).

$m_{\text{korr}} = m - V_{\text{Kessel}} \times \left(\rho_{\text{H}_2\text{O}} \left(\frac{T_{\text{VL}} + T_{\text{RL}}}{2} \right) - \rho_{\text{H}_2\text{O}}(T_{\text{ref}}) \right)$	[kg]	5-2
--	------	-----

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]	5-3
--	--------	-----

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.

$E_{BSt} = \dot{m}_{BSt} \times H_u \times \Delta t$	[kJ]	5-4
--	------	-----

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.

$E_{H2O} = P_{WA} \times \Delta t$	[kJ]	5-5
------------------------------------	------	-----

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 Rücklaufemperatur 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]	5-6
--	------	-----

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]	5-7
-----------------------------------	------	-----

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

5.4.3.2 Interpolation von Datenpunkten

Um die Auswertung für die tatsächlichen Zeitpunkte (t_0 bis t_5) des Auswertezyklus durchführen zu können, sind die Werte für diese Zeitpunkte durch lineare Interpolation zu berechnen.

5.4.3.3 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.

$$\eta_{\text{Kessel}} = \frac{E_{SP}}{E_{zu,start} + E_{zu,load} + E_{zu,stop}} \times 100 \quad [\%] \quad 5-8$$

E_{SP} maximal im Puffer speicherbare Wärme bei einer Spreizung von 30 K nach Formel (5-9) [kJ]

E_{zu} Energie, die dem Kessel während der jeweiligen Betriebsphase (start/stop/load) zugeführt wird nach Formel (5-10) [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 5-11).

Die im Puffer speicherbare Wärme wird mittels folgender Formel errechnet:

$$E_{SP} = V_{SP} \times \rho_{H_2O}(T_m) \times c_{p,H_2O}(T_m) \times \Delta T_{SP} / 1.000 = E_{H_2O,start} + E_{H_2O,load} + E_{H_2O,stop} \quad [\text{kJ}] \quad 5-9$$

V_{SP} Volumen des Pufferspeichers nach Formel (5-10) [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.

$$E_{zu} = E_{Bst} + E_{el} \quad [\text{kJ}] \quad 5-10$$

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

$$E_{zu,load} = f_{sp} \times E_{stat} = f_{sp} \times (E_{Bst,stat} + E_{el,stat}) \quad [\text{kJ}] \quad 5-11$$

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:

$f_{SP} = \frac{(E_{H2O,SP} - E_{H2O,start} - E_{H2O,stop})}{E_{H2O,stat}}$	[kJ]	5-12
---	------	------

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:

$\eta_{Puffersystem} = \eta_{Kessel} - (100 - \eta_{SP})$	[%]	5-13
---	-----	------

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:

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

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

5.4.3.4 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 5-3).

$\eta_{mod} = \frac{E_{H2O} + \Delta E_{Kessel}}{E_{BSt} + E_{el}} \times 100$	[%]	5-15
--	-----	------

*η_{mod} Jahresnutzungsgrad für den modulierenden Betrieb
 ΔE_{Kessel} gespeicherte Energie am Ende des Auswertzeitraums abzüglich der am Beginn bereits vorhandenen Energie (E_{Kessel}(t₀) – E_{Kessel}(t₅)) [kJ]*

5.4.3.5 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]	5-16
---	------	------

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]	5-17
---	------	------

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

$dm_{Staub} = Em_{Staub} \times (1 - w) \times \dot{V}_{N,Abgas} \times \Delta t$	[kg]	5-18
---	------	------

Em_{Staub} ... Emission Staub [kg/m³]

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 5-3) 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]	5-19
--	---------	------

Bei der Berechnung der Emissionsfaktoren für den Pufferbetrieb wird wie bei der Berechnung des Nutzungsgrades der Anteil der Emissionen im Volllastbetrieb mittels des Skalierungsfaktors (Formel 5-12) ermittelt. Die Emissionen aus Start- und Stopp-Phase werden addiert (Zeiten t_0

bis t_5 entsprechend Abbildung 5-2), auf die ebenso umgerechnete zugeführte Brennstoffenergie bezogen und in [kg/TJ] angegeben:

$EF_{Em} = \frac{\sum_{t_0-t_1} dm_{Em,start} + f_{SP} \times \sum_{t_1-t_2} dm_{Em,stat} + \sum_{t_2-t_5} dm_{Em,stop}}{E_{BSt,start} + f_{SP} \times E_{BSt,stat} + E_{BSt,stop}} \times 10^9$	[kg/TJ]	5-20
--	---------	------

5.4.3.6 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.

$\Delta P = \frac{\Delta E_{Kessel}}{(V_{Kessel} \times \rho \times c_p + m \times c_p) \times \Delta T}$	[%]	5-21
---	-----	------

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]	5-22
--	------	------

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.

$$\Delta C = \left(\frac{\left(\frac{m_{CO_2}}{\rho_{CO_2}} + \frac{m_{CO}}{\rho_{CO}} \right) \times \rho_{orgC} + m_{orgC}}{m_{Bst} \times C \times (1 - w)} - 1 \right) \times 100 \quad [\%] \quad 5-23$$

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

C Kohlenstoffgehalt im Brennstoff

Durchschnittliche entnommene Wärmemenge während der Abkühlphase

Diese Abweichung ist ein Indikator für die Qualität der Messung.

Abweichung von der Referenztemperatur am Anfang und am Ende der Messung

Dieser Faktor gibt den Mittelwert der Abweichung von Vor- und Rücklauf-temperatur zur mittleren Temperatur am Anfang und Ende, den Referenzmessungen, an.

5.4.4 Auswertung der Messungen mittels der Auswertesoftware

Die Analyse der Messdaten erfolgt automatisiert mittels der Auswertesoftware, die auf Basis von MS Excel und Visual Basic arbeitet. Es sind dafür nur wenige Bedienungsschritte notwendig.

Vorbereitung der Auswertung

Um die Datenanalyse durchführen zu können, müssen die Daten in Form einer Tabelle vorliegen, die in MS Excel geöffnet werden kann (z.B. csv, asc, xls,...). Folgende Daten werden benötigt und müssen enthalten sein:

- Datum + Uhrzeit [d]
- Sauerstoffgehalt Abgas [Vol%]
- Kohlendioxidgehalt Abgas [Vol%]
- Wassergehalt im Abgas [Vol%]
- Kohlenmonoxidgehalt Abgas [ppm]
- Stickoxidgehalt Abgas [ppm]
- *optional: Schwefeldioxidgehalt Abgas* [ppm]
- Kohlenwasserstoffgehalt Abgas [ppm]
- Vorlauf-Temperatur [°C]
- Rücklauf-Temperatur [°C]
- Abgas-Temperatur [°C]
- Brennstoffwaage (mit oder ohne Kessel) [kg]
- Wasserwärmeleistung [kW]
- Normvolumenstrom Abgas [Nm³/h]
- elektrische Leistungsaufnahme [W]

Die folgenden Daten können für die Auswertung kontinuierlich oder als Einzelwert eingegeben werden:

- Raumtemperatur [°C]
- Luftdruck [mbar]
- Gesamtstaub im Abgas [mg/Nm³]

Fehlende Spalten sind ggf. zu ergänzen, z.B.

- bei getrennter Aufzeichnung von Datum und Uhrzeit: Eine Spalte mit der Summe von Datum und Uhrzeit einfügen (einfache Addition: Wert = "Datum" + "Uhrzeit")
- Bei Vorliegen anderer Einheit auf die benötigte Einheit umrechnen (darauf achten, dass die neue Spalte in der Kopfzeile erkennbar ist)

Die Tabelle muss zudem in der ersten Zeile die Bezeichnungen der Kanäle aufweisen⁸, damit in der Auswertung die Zuordnung erfolgen kann.

Beispielsweise kann die Datentabelle folgendermaßen aufgebaut sein:

Datum / Uhrzeit	MO Vorlauftemp	MO R?klauftemp	MO W?meleistung	MO Brennstoffwaage	MO O2 NGA
	°C	°C	kW	kg	%
17.12.2009 08:45:44	41,4953	41,4035	0,0687	440,946	18,5679
17.12.2009 08:45:54	41,4843	41,3902	0,0704	440,942	18,5524
17.12.2009 08:46:04	41,468	41,3794	0,066	440,943	18,1872
17.12.2009 08:46:14	41,4614	41,3616	0,0746	440,95	17,6705
17.12.2009 08:46:24	41,4447	41,3403	0,078	440,941	17,4048
17.12.2009 08:46:34	41,4454	41,333	0,0839	440,942	17,0471
17.12.2009 08:46:44	41,4161	41,312	0,0776	440,946	16,6443

Tabelle 5-5: Beispiel für den Aufbau der Datentabelle zur Auswertung

Durchführung der Auswertung

Folgende Arbeitsschritte sind auszuführen:

- Öffnen des Auswertesheets in MS Excel (Makros müssen aktiviert sein, da die Berechnungen mittels VB-Makros erfolgen⁹)
- Messdaten laden: Datei mit den zu analysierenden Daten in MS Excel öffnen
- Dateneingabe: Im Auswertesheet alle benötigten Informationen eingeben

⁸ Andere nicht benötigte Zeilen oberhalb der auszuwertenden Daten können gelöscht werden (werden aber durch die Software ignoriert)

⁹ Ggf. in Excel unter Extras – Optionen – Sicherheit – Makrosicherheit: Sicherheitsstufe „Mittel“ aktivieren

Prüfstelle	
Name	
Adresse	
Prüfstandsdaten	
Wasserinhalt Wärmeabnahme	
min. Abgasnormvolumenstrom	[l] [Nm ³ /h]
Kesseldaten	
Hersteller	Kesselhersteller Straße, Nummer PLZ, Ort
Typ / Modell	xyz
Herstelljahr	2006
Seriennummer	123456789
Beschickung	automatisch
Nennleistung	[kW]
Kesselleergewicht	[kg]
Wasserinhalt Kessel	[l]
Durchmesser Abgasstutzen	130 [mm]

Abbildung 5-4: Auswertesheet, Eingabe von Basisdaten zu Prüfstand und Kessel

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	5,0 [m% (w.b.)]
Energiegehalt	
Heizwert H _U	17,24 [MJ/kg (w.b.)] 17,31 [MJ/kg (w.b., a.f.)]
Brennwert H _o	18,28 [MJ/kg (d.b.)] 18,66 [MJ/kg (w.b.)] 19,64 [MJ/kg (d.b.)]
Verbrennungsrechnung	
L _{min}	4,33 [Nm ³ /kg _{fuel}]
V _{dry,min}	4,29 [Nm ³ /kg _{fuel}]
V _{min}	5,01 [Nm ³ /kg _{fuel}]
CO _{2 max}	20,3 [Vol%]
V _{CO2}	0,870 [Nm ³ /kg _{fuel}]
V _{H2O}	0,733 [Nm ³ /kg _{fuel}]

Abbildung 5-5: Auswertesheet, Eingabe von Basisdaten zum Brennstoff

■ Datenimport:

- (1) Im Feld „Datei“ das Tabellenblatt mit der auszuwertenden Datentabelle auswählen (dabei wird bei Excel-Arbeitsmappen das Tabellenblatt als „{Arbeitsblattname}@{Dateiname}“ angezeigt)
- (2) In den Kanalfeldern im Auswertesheet entsprechende Spalten der Tabelle wählen
- (3) Daten einlesen

Volllastversuch

Datei: 16_12_09 1s @ 16_12_09 1s.xls 1

Datum / Uhrzeit	1 Datum: Uhrzeit:	▼	[d]
Sauerstoffgehalt AG (O2)	2 MO_O2_NGA__1	▼	[Vol%]
Kohlendioxidgehalt AG (CO2)	3 MO_CO2_NGA__1	▼	[Vol%]
Wassergehalt AG (H2O)	4 MO_H2O	▼	[Vol%]
Kohlenmonoxidgehalt AG (CO)	5 MO_COS_NGA	▼	[ppm]
Stickoxidgehalt AG (NOx)	6 MO_NOxCLD7_1	▼	[ppm]
Schwefeldioxidgehalt AG (SO2)	7	▼	[ppm]
Kohlenwasserstoffgehalt AG (orgC)	8 MO_HC_JCT3	▼	[ppm]
Vorlauf-Temperatur (VLTemp)	9 MO_TVL____A	▼	[°C]
Rücklauf-Temperatur (RLTemp)	10 MO_TRL____A	▼	[°C]
Abgas-Temperatur (AGTemp)	11 MO_TAbgas__A	▼	[°C]
Brennstoffwaage <input checked="" type="checkbox"/> inkl. Kessel	12 MO_Waage__1	▼	[kg]
Wasserwärmeleistung (P-H2O)	13 MO_WL50100_A	▼	[kW]
Normvolumenstrom AG (AG-NVol)	14 MO_VAbgas__N	▼	[Nm ³ /h]
elektrische Leistungsaufnahme (P-el)	15 MO_NORMA_W_A	▼	[W]
Raumtemperatur (Raum-Temp)	16 MO_TRaum__A	▼	[°C]
Luftdruck (P-Luft)	17 MO_PUmgeb__1	▼	[mbar]
Gesamtstaub	18	▼	[mg/Nm ³]

Daten einlesen 3

Abbildung 5-6: Auswertesheet, Datenimport

■ Auswerteziträume im Format [dd.mm.yyyy hh:mm:ss] eingeben

Auswerteziträume:	
Kesselstart	16.12.2009 08:28
Start stationärer Betrieb	16.12.2009 08:40
Ende stationärer Betrieb	16.12.2009 16:40
Versuchsende	17.12.2009 00:40

Abbildung 5-7: Auswertesheet, Eingabe der Auswerteziträume

- Zur Kontrolle der Qualität der Messwerte und der gewählten Auswerteziträume werden einige Indikatoren errechnet und angezeigt, die Qualität kann durch Korrektur der Auswerteziträume noch optimiert werden

Datenqualität	
① Abweichung Lastzyklus	1,1 [%]
Abweichung C-Bilanz ②	-7,8 [%]
③ Entnahme Abkühlphase	0,2 [kW]
Abweichung Anfang zu Ende ④	0,2 / 45,1 [°C] / [°C]

Abbildung 5-8: Datenqualitäts-Parameter für den Betrieb mit dem Jahresreferenzlastzyklus

Datenqualität	
⑤ Kesseländerung stat. Betrieb	1,7 [%]
Abweichung C-Bilanz ②	-2,7 [%]
③ Entnahme Abkühlphase	0,6 [kW]
Abweichung Anfang zu Ende ④	0,1 / 45,1 [°C] / [°C]
⑥ Skalierung stationäre Phase	0,08 [-]

Abbildung 5-9: Datenqualitäts-Parameter für den Betrieb beim Vollastversuch

- Die Datenqualität hängt von den gemessenen Daten ab, die Indikatoren werden auch noch durch die richtige Wahl der Auswertezeiten beeinflusst.
 - (1) Der Wert *Abweichung Lastzyklus* muss entsprechend Kapitel 4.2.3 unter 5% liegen und ist ein Maß für die Qualität der Wärmeabnahme
 - (2) Die *Abweichung in der Kohlenstoffbilanz* ist ein Indikator für die Qualität der Messung, empfohlen wird ein Wert unter $\pm 5\%$
 - (3) Die *Entnahme während der Abkühlphase* ist ein Indikator für die Qualität der Messung, empfohlen wird ein Wert unter 0,5 kW
 - (4) Die *Abweichung Anfang zu Ende* bezieht sich auf die Referenztemperaturen (45°C) und gibt die Abweichung vom Mittelwert und den Mittelwert der Temperaturen an Anfang und Ende an.
 - (5) Die *Kesseländerung im stationären Betrieb* ist ein Maß für den Unterschied der im Kessel gespeicherten Energie an Anfang und Ende des stationären Betriebs, empfohlen wird ein Wert unter $\pm 1\%$
 - (6) Die *Skalierung stationärer Betrieb* beschreibt die Verkürzung der stationären Phase des Versuchs bei der Auswertung. Dieser Wert muss >0 sein

- Nach Eingabe der Auswerteziträume werden die errechneten Summen bzw. Mittelwerte im Ergebnisbereich angezeigt. Für den Vollastversuch sind die Ergebnisse folgendermaßen dargestellt:

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]

Abbildung 5-10: Ergebnisse der Auswertung des Vollastversuchs

- Anschließend werden die Werte für den Betrieb mit Pufferspeicher errechnet. Dafür wird eine Puffergröße angenommen (Referenzwert: 100 l/kW für Scheitholzkessel, 50 l/kW bei Pelletsfeuerungen)

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 5-11: Ergebnisse der Auswertung für Kessel und das Gesamtsystem (Puffer + Kessel) beim Vollastversuch

- Für den Jahresreferenzlastzyklus liefert die Auswertung Daten in folgender Form:

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 5-12: Ergebnisse der Auswertung für Kessel bei Betrieb mit dem Jahresreferenzlastzyklus

6 Protokoll

Ergebnis der Auswertung sind **Jahresnormnutzungsgrad und Emissionsfaktoren** der geprüften Feuerungen.

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 6-1: Ergebnisse der neuen Standardmethode

Das Auswertungsprotokoll soll außerdem folgende Informationen beinhalten:

- Titel
- Beschreibung des Heizkessels mit den auf dem Kesselschild enthaltenen Angaben.
- Name und Anschrift des Laboratoriums
- Ort der Versuchsdurchführung (wenn von der Anschrift des Laboratoriums verschieden).
- Datum / Daten der Versuchsdurchführung
- Angabe des angewendeten Verfahrens
- Zustandsbeschreibung des Heizkessels
- Hinweis auf angewendeten Probennahmeplan und -verfahren, sofern für die Ergebnisse bedeutsam
- Ergebnisse mit Angabe der Einheit
- Name(n), Stellung und Unterschrift(en), der Person(en), die den Bericht genehmigt(en)

7 Literaturhinweise

7.1 Normative Verweise

Dieser Leitfaden enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei starren Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

DIN 4702-8

Heizkessel, Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors.
Deutsches Institut für Normung

ENEV 2009

Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23, Bonn 04/2009

OIB Richtlinie 6

Energieeinsparung und Wärmeschutz; OIB-300-008/07; Österreichisches Institut für Bautechnik; Wien, April 2007

CEN/TS 15104

Feste Biobrennstoffe - Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an Gesamtkohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff - Instrumentelle Verfahren.

EN 267

Automatische Brenner mit Gebläse für flüssige Brennstoffe.

EN 303-5

Heizkessel/ Teil 5: Heizkessel für feste Brennstoffe, hand- und automatisch beschickte Feuerungen, Nenn-Wärmeleistung bis 300kW/ Begriffe, Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. 1999-07-01

EN 304

Heizkessel, Prüfregeln für Heizkessel mit Ölzerstäuberbrennern. 2005-02-01

EN 12619

Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration des gesamten gasförmigen organisch gebundenen Kohlenstoffs in geringen Konzentrationen in Abgasen - Kontinuierliches Verfahren unter Verwendung eines Flammenionisationsdetektors.

EN 12809

Heizkessel für feste Brennstoffe - Anforderungen und Prüfung.

EN 13240

Raumheizer für feste Brennstoffe - Anforderungen und Prüfung.

EN 13284-1

Emissionen aus stationären Quellen - Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen - Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren.

- EN 14774-2
Feste Biobrennstoffe, Verfahren zur Bestimmung des Wassergehaltes - Verfahren der Ofentrocknung, Teil 2: Gehalt an Gesamtwasser - Vereinfachtes Verfahren.
- EN 14775
Feste Biobrennstoffe - Verfahren zur Bestimmung des Aschegehaltes.
- EN 14785
Raumheizer zur Verfeuerung von Holzpellets - Anforderungen und Prüfverfahren.
- EN 14918
Feste Biobrennstoffe - Bestimmung des Heizwertes.
- EN 15315
Heating systems in buildings – Energy performance of buildings - Overall energy use, primary energy and CO2 emissions.
- EN 15316-4-7
Heizanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen. Teil 4-7: Wärmeerzeugung für die Raumheizung, Biomassewärmerezeuger.
- EN 15456
Heizkessel - Elektrische Leistungsaufnahme für Wärmeerzeuger - Systemgrenzen – Messungen.
- VDI 2066-1
Messen von Partikeln, Staubmessung in strömenden Gasen, Blatt 1: Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung. Verein Deutscher Ingenieure
- VDI 2640-3
Netzmessungen in Strömungsquerschnitten, Blatt 3: Bestimmung des Gasstromes in Leitungen mit Kreis-, Kreisring- oder Rechteckquerschnitt. Verein Deutscher Ingenieure
- VDI 4655
Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen

7.2 Weitere Literaturangaben

- HARTMANN ET AL 2007
Hartmann, H. et al: *Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen*; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, 2007
- HASLINGER ET AL 2008
HASLINGER, W. et al: *Endbericht EraNET*; Austrian Bioenergy Centre Wieselburg, 2008
- HECKMANN ET AL 2010
Heckmann, M. et al: *Bestimmung von Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren von Biomasse-Kleinfeuerungen am Prüfstand – Projektendbericht*; Bioenergy 2020+ GmbH, Wieselburg, September 2010
- UBA BE-277 2006:
SCHNEIDER, J. et al: *Schwebestaub in Österreich, Fachgrundlagen für eine kohärente österreichische Strategie zur Verminderung der Schwebestaubbelastung*; UBA BE-277; Umweltbundesamt Wien, 02/2006

Anhang: Wirkungs- und Nutzungsgrade (informativ)

Prinzipiell sind Wirkungs- wie Nutzungsgrad das Verhältnis

$$\frac{\text{nutzbare Energie}}{\text{zugeführte Energie}} * 100 \quad [\%]$$

wobei

- der **Wirkungsgrad** das Verhältnis von nutzbarer Energie zur zugeführten Energie bei stationären Betriebsbedingungen der Feuerung und
- der Nutzungsgrad das Verhältnis der abgegebenen nutzbaren Energie zur zugeführten Energie über einen bestimmten Zeitraum

beschreibt. Folgende Begriffsdefinitionen für Wirkungsgrad und Nutzungsgrad sind in einschlägigen Normen und Regelwerken angeführt:

- Nach EN 303-5 und DIN 4702-1 ist der Kesselwirkungsgrad η_K definiert als das Verhältnis der abgegebenen nutzbaren Wärmeleistung Q zur Feuerungsleistung Q_B , wobei die Feuerungsleistung als die dem Heizkessel pro Zeiteinheit zugeführte, auf dem Heizwert H_u basierende Wärmemenge festgelegt ist.
- Nach der 1. BImSchV ist der Nutzungsgrad das Verhältnis der von einer Feuerungsanlage nutzbar abgegebenen Wärmemenge zu dem der Feuerungsanlage mit dem Brennstoff zugeführten Wärmeinhalt bezogen auf eine Heizperiode.
- Nach DIN 4702-8 sind Norm-Nutzungsgrade für Heizbetrieb η_N und Wassererwärmung η_{NW} sowie Heizbetrieb mit Wassererwärmung η_{NHW} definiert. Der Norm-Nutzungsgrad ist eine aus experimentell ermittelten Wirkungsgraden bei unterschiedlicher relativer Kesselleistung berechnete Größe.
- Der in DIN 4702-8 definierte Teillast-Nutzungsgrad η_ϕ bezeichnet die bei einer bestimmten Kesselleistung abgegebene Wärme im Verhältnis zur Feuerungswärme (= Feuerungsleistung nach EN 303-5 = Feuerungswärmeleistung nach DIN 4702-1 = Verbrennungsleistung nach EN 15316-4-7). Im eigentlichen Sinn handelt es sich um einen Teillast-Wirkungsgrad!

Die Liste der Begriffsdefinitionen ist nicht vollständig. Die Systemgrenze ist bei allen angeführten Begriffen die Feuerung. Es handelt sich somit um Bewertungsgrößen für das Produkt und nicht für das System. Maßgeblich für die KonsumentInnen sind allerdings Systemkenngrößen.