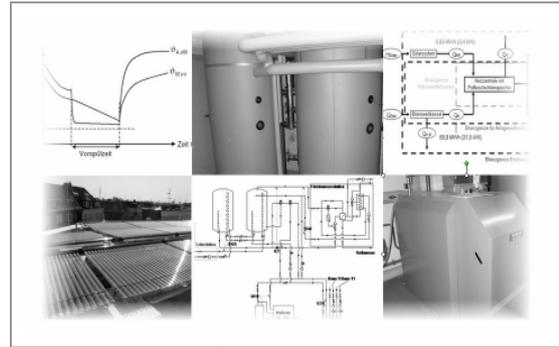


# Abschlussbericht



Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme  
mit großen Solaranlagen

## Teil 3: Kesselprüfstand

Der Bericht wurde erstellt für die  
Projektgruppe von:

Dipl.-Ing. (FH) Jörn Deidert  
Dipl.-Ing. (FH) Jens Glembin

Die Verantwortung für den Inhalt  
dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

gefördert vom



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages



FKZ 0325958A

**Projektgruppe:**



EOS – Institut für Energieoptimierte Systeme  
Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften



ISFH – Institut für Solarenergieforschung  
Hameln/Emmerthal



E<sup>2</sup> - Erneuerbare Energien und Energieeffizienz  
Fachhochschule Düsseldorf (ab 2010)



ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH  
Hilden (bis 2010)

**Bezugsmöglichkeiten für den Bericht in 5 Teilen**

als Datei  
im Internet

<http://www.delta-q.de>

**Verantwortlichkeiten für den Inhalt dieses Berichtes**

Ostfalia
ISFH

Abschnitte: 1 bis 7
Abschnitte: 1 bis 7

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Kurzüberblick und Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung und Lösungsstrategie</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Prüfstands Aufbau und Testkessel</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Prüfstands Aufbau</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Messgeräte</b> .....	<b>11</b>
3.2.1	Brennstoff- und Luftzufuhr .....	11
3.2.2	Kesseldaten .....	14
3.2.3	Abgasdaten.....	15
3.2.4	Heizwasserdaten.....	16
3.2.5	Zentrale Datenerfassung .....	16
3.2.6	Unsicherheit der Messeinrichtungen.....	17
<b>3.3</b>	<b>Nicht geeignete Messtechnik</b> .....	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>Inbetriebnahme des Prüfstandes</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>Testkessel</b> .....	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Messungen und Prüfverfahren</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Auflistung der durchzuführenden Prüfungen</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Zeitlicher Ablauf und Probleme bei den Prüfungen</b> .....	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Messung des Wirkungsgrades</b> .....	<b>27</b>
4.3.1	Vorgeschriebene Prüfbedingungen.....	27
4.3.2	Durchführung am Prüfstand.....	28
4.3.3	Berechnungsmethode .....	28
<b>4.4</b>	<b>Messung der Bereitschaftsverluste</b> .....	<b>30</b>
4.4.1	Vorgeschriebene Prüfbedingungen.....	30
4.4.2	Durchführung am Prüfstand.....	32
4.4.3	Berechnungsmethode .....	32
<b>4.5</b>	<b>Aufnahme der Zeitkonstanten und Startautomatik</b> .....	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Kesselprüfung</b> .....	<b>39</b>
<b>5.1</b>	<b>Kessel O1</b> .....	<b>39</b>
5.1.1	Grunddaten des Kessels .....	39
5.1.2	Durchgeführtes Messprogramm und Erläuterung des Anhangs .....	39
5.1.3	Wirkungsgradmessung $\eta_{100}$ .....	40
5.1.4	Wirkungsgradmessung $\eta_{30}$ .....	40
5.1.5	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	41
5.1.6	Andere Wirkungsgradmessungen.....	42
5.1.7	Kennfelder Kondensatmenge .....	43
5.1.8	Betriebsbereitschaftsverlust.....	44
5.1.9	Zeitkonstanten Kesselwasser .....	45
5.1.10	Zeitkonstanten Abgas.....	47
5.1.11	Startautomatik.....	48
<b>5.2</b>	<b>Kessel O2</b> .....	<b>50</b>
5.2.1	Grunddaten des Kessels .....	50
5.2.2	Durchgeführtes Messprogramm und Erläuterung des Anhangs .....	50
5.2.3	Wirkungsgradmessung $\eta_{100}$ .....	51
5.2.4	Wirkungsgradmessung $\eta_{30}$ .....	51
5.2.5	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	52
5.2.6	Andere Wirkungsgradmessungen.....	53
5.2.7	Kennfelder Kondensatmengen .....	54
5.2.8	Betriebsbereitschaftsverlust.....	55
5.2.9	Zeitkonstanten Kesselwasser .....	56
5.2.10	Zeitkonstanten Abgas.....	58
5.2.11	Startautomatik.....	59

<b>5.3</b>	<b>Kessel G1</b> .....	<b>61</b>
5.3.1	Grunddaten des Kessels .....	61
5.3.2	Durchgeführtes Messprogramm und Erläuterung des Anhangs .....	61
5.3.3	Wirkungsgradmessung $\eta_{100}$ .....	62
5.3.4	Wirkungsgradmessung $\eta_{30}$ .....	62
5.3.5	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	63
5.3.6	Andere Wirkungsgradmessungen .....	64
5.3.7	Kennfelder Kondensatmenge .....	65
5.3.8	Betriebsbereitschaftsverlust .....	66
5.3.9	Zeitkonstanten Kesselwasser .....	66
5.3.10	Zeitkonstanten Abgas .....	71
5.3.11	Startautomatik .....	74
<b>5.4</b>	<b>Kessel G2</b> .....	<b>75</b>
5.4.1	Grunddaten des Kessels .....	75
5.4.2	Durchgeführtes Messprogramm und Erläuterung des Anhangs .....	75
5.4.3	Wirkungsgradmessung $\eta_{100}$ .....	76
5.4.4	Wirkungsgradmessung $\eta_{30}$ .....	76
5.4.5	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	77
5.4.6	Andere Wirkungsgradmessungen .....	78
5.4.7	Kennfelder Kondensatmenge .....	79
5.4.8	Betriebsbereitschaftsverlust .....	80
5.4.9	Zeitkonstanten Kesselwasser .....	81
5.4.10	Zeitkonstanten Abgas .....	83
5.4.11	Startautomatik .....	84
<b>5.5</b>	<b>Validierung</b> .....	<b>85</b>
5.5.1	Herstellerdaten .....	85
5.5.2	Kesselmodell .....	86
<b>5.6</b>	<b>Hinweise für Kesselmessungen</b> .....	<b>86</b>
<b>6</b>	<b>Fazit zum Teilprojekt</b> .....	<b>87</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>89</b>
<b>7.1</b>	<b>Quellen</b> .....	<b>89</b>
<b>7.2</b>	<b>Berechnungsverfahren</b> .....	<b>89</b>
<b>7.3</b>	<b>Übersicht Messprogramm</b> .....	<b>90</b>
7.3.1	Kessel O1 .....	90
7.3.2	Kessel O2 .....	92
7.3.3	Kessel G1 .....	93
7.3.4	Kessel G2 .....	95
<b>7.4</b>	<b>Übersicht Ergebnisse Kesselprüfung</b> .....	<b>96</b>
7.4.1	Kessel O1 .....	96
7.4.2	Kessel O2 .....	100
7.4.3	Kessel G1 .....	102
7.4.4	Kessel G2 .....	114

# 1 Kurzüberblick und Zusammenfassung

Am Institut für energieoptimierte Systeme (EOS) der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften in Wolfenbüttel wurde ein neuer Teststand für die Vermessung von Heizkesseln aufgebaut.

Vier Kessel unterschiedlichster Bauform (Stahl, Guss, bodenstehend, wandhängend) und Brennstoffart (Gas und Heizöl) wurden vermessen.

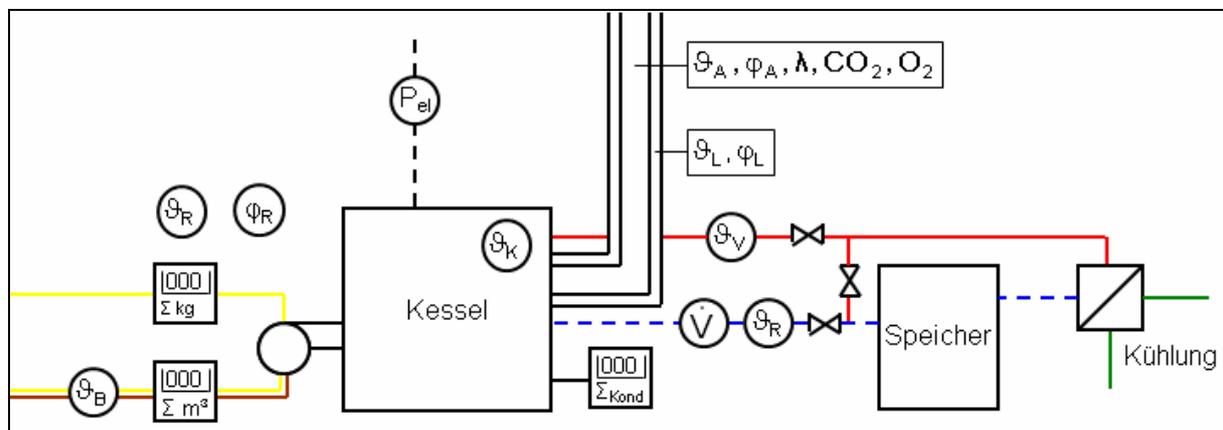
Kessel	Kessel O1	Kessel O2	Kessel G1	Kessel G2
<b>zur Anonymisierung sind einzelne Werte für Nennleistung, Masse, Wasserinhalt, Wirkungsgrade und Betriebsbereitschaftsverlust leicht geändert dargestellt</b>				
Brennstoff	Öl	Öl	Erdgas	Erdgas
Nennleistung	19,2 kW	18,6 kW	14,8 kW	14,4 kW
Modulation (minimale Leistung)	zweistufig (11,1 kW)	Einstufig	Modulierend (2,7 kW)	Modulierend (3,2 kW)
Masse	115 kg	177 kg	41 kg	54 kg
Wasserinhalt	54,0 l	57,0 l	1,5 l	1,5 l

**Tabelle 1: Übersicht der geprüften Heizkessel (anonymisiert)**

Mit Hilfe dieser Parameter wurde am Institut für Solarenergieforschung in Hameln/Emmerthal (ISFH) das Kessel-Simulationsmodell validiert und weiter entwickelt.

## Prüfstands Aufbau und Messgrößen

Der Prüfstand wurde in Anlehnung an die DIN EN 304 (ölbefeuerte Wärmeerzeuger) und DIN EN 303-3 (gasbefeuerte Wärmeerzeuger) aufgebaut und die dort beschriebenen Prüfungen wurden durchgeführt.



**Abbildung 1: Aufbau des Kesselprüfstandes mit allen Messpunkten**

## Prüfprogramm

Auf dem Prüfstand wurden unter anderem Herstellerangaben wie der Nenn- und Teillastwirkungsgrad und der Bereitschaftsverlust überprüft sowie diverse Messungen zum dynamischen Verhalten, u. a. Zeitkonstanten beim Einschalten, Lastwechsel und Ausschalten durchgeführt.

Kessel	Kessel O1	Kessel O2	Kessel G1	Kessel G2
Stationäre Messpunkte	211	62	153	43
davon Nennleistungspunkt	12	9	9	7
Messungen Bereitschaftsverlust	9	4	3	-
Messungen dynamische Zeitkonstanten	27	18	150	24
Dynamische Messungen	12	12	-	-

**Tabelle 2: Statistik der Messungen**

Nach anfänglichen Problemen mit der Messtechnik, lieferte der neue Teststand sehr gute und auswertbare Ergebnisse. Auch die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist gegeben.

## Ergebnisse der Messungen

Unter stationären Betriebsbedingungen wurden am Prüfstand der feuerungstechnische und der Kesselwirkungsgrad gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu werden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 304 (Ölkessel) bzw. EN 303-3 (Gaskessel) eingestellt. Ebenso wurde bei der Messung des Betriebsbereitschaftsverlustes nach der EN 304 verfahren.

Die Tabelle 14 zeigt die gemessenen Wirkungsgrade bei Nennleistung und den Betriebsbereitschaftsverlust sowie die Nenn- und Minimalleistung des Kessels und vergleicht diese mit den Herstellerangaben. Alle Wirkungsgrad- und Leistungsmessungen wurden bei 80°C Austritts- und 60°C Eintrittstemperatur vorgenommen.

Kessel	Kessel O1	Kessel O2	Kessel G1	Kessel G2
Nennleistung bei 80/60°C (Herstellerangabe)	19.2 kW	18.6 kW	14.8 kW	14.4 kW
Nennleistung bei 80/60°C (Messung)	17.8 kW	18.0 kW	14.3 kW	15.2 kW
Minimalleistung bei 80/60°C (Herstellerangabe)	11.1 kW <sup>1</sup>	-	2.7 kW <sup>2</sup>	3.2 kW <sup>2</sup>
Minimalleistung bei 80/60°C (Messung)	11.3 kW <sup>1</sup>	-	3.1 kW <sup>2</sup>	3.7 kW <sup>2</sup>
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung und 80/60°C (Hersteller)	91.4%	89.9%	87.5%	88.4%
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung und 80/60°C (Messung)	89.2%	90.0%	86.2%	86.5%
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung und 80/60°C (Hersteller)	92.0%	91.9%	88.1%	-
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung und 80/60°C (Messung)	91.8%	92.6%	88.3%	88.7%
Betriebsbereitschaftsverlust (Hersteller)	0.9%	1.5%	0.9%	1.2%
Betriebsbereitschaftsverlust (Messung)	1.2%	1.2%	1.2%	-

<sup>1</sup> Minimalleistung entspricht der Grundstufenleistung.  
<sup>2</sup> Minimalleistung entspricht der Leistung bei minimalen Modulationsgrad

**Tabelle 3: Übersicht der Nachmessung der Herstellerdaten**

- Die gemessene Nennleistung entspricht bei drei der vier getesteten Kessel nicht der Herstellerangabe (Kessel O1, O2 und G2).
- Die Abweichungen in den Minimalleistungen sind absolut geringer, relativ liegen diese aber z. T. höher (Kessel G1 und G2).
- Die Kesselwirkungsgrade bei Nennleistung weichen z. T. erheblich von der Herstellerangabe ab (Kessel O1 >2%, G1 >1%, G2 >1.5%). Die Abweichung im feuerungstechnischen Wirkungsgrad ist dagegen deutlich geringer (maximal beim Kessel O2: +0.65%). Allerdings fehlt bei den Herstellerangaben die genaue Beschreibung, wie der feuerungstechnische Wirkungsgrad ermittelt wurde, eine Bewertung dieser Größe ist daher nur eingeschränkt möglich.
- Die Messung des Betriebsbereitschaftsverlusts ergab bei den drei getesteten Kesseln nahezu den gleichen Wert. Die Hersteller geben allerdings bei zwei Kesseln einen zu geringen (Kessel O1, G1) und bei Kessel O2 einen zu hohen Wert an.

Die Angaben der Hersteller und die Messungen am Prüfstand zeigen z. T. deutliche Unterschiede in den untersuchten Parametern. Zu den Abweichungen kann es aus unterschiedlichen Gründen kommen. Neben den Messunsicherheiten an den Prüfständen der Ostfalia und des jeweiligen Herstellers können einige der Randbedingungen der Messungen unterschiedlich sein. Dies betrifft vor allem die Eingangsgrößen, die in den Prüfnormen nicht festgelegt werden wie beispielsweise Temperatur und Feuchtigkeit der Verbrennungsluft.

Auch können Unterschiede zwischen den geprüften Geräten im Rahmen der Produktstreuung auftreten. Außerdem ist denkbar, dass die Einstellung der Geräte beim Hersteller und auf dem Prüfstand der Ostfalia (hier Werkeinstellung) unterschiedlich war.

Werden die Herstellerangaben als Parameter für das Simulationsmodell in TRNSYS verwendet, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass allein durch die ungenaue Parametrierung deutliche Unterschiede zwischen Messung und Simulation auftreten können. Dies betrifft vor allem den Wirkungsgrad bei Nennleistung. Aus diesem Grund sollte wenn möglich eine eigene Messung des Nennleistungspunktes durchgeführt werden, um eine gute Parametrierung des Modells sicherzustellen.

Der Nennwirkungsgrad der getesteten Kessel stimmte nur bei einem mit den Herstellerangaben überein. Bei den anderen Kesseln wurden Werte gemessen, die 1,3%-Punkte bis 2,2%-Punkte unter der Herstellerangabe liegen. Auch bei den Angaben zu Nenn- und Minimalleistung zeigen sich z. T. relative Abweichungen bis zu 6%.

Ebenfalls lassen sich die von den Herstellern angegebenen Bereitschaftsverluste nur bedingt reproduzieren. Bei keinem der vier getesteten Kessel stimmen die Herstellerangaben mit den Messwerten überein. Bei zwei Messungen wurde ein höherer Betriebsbereitschaftsverlust als vom Hersteller angegeben und bei zwei Kesseln ein niedriger gemessen. Die Abweichungen lagen im Bereich von 0,3 %-Punkten bis 0,6 %-Punkten.

Die Messungen für den Teillastwirkungsgrad wurden nach Prüfung der beiden Öl-Kessel eingestellt, da zum einen nicht geklärt werden konnte, nach welchem Verfahren die Hersteller messen und zum anderen die Messungen für die Validierung des Kesselmodells nicht benötigt wurden.

Aus der Fülle der Messwerte der vier Kessel, lassen sich keine typischen Zeitkonstanten ableiten. Darum ist es notwendig für genaue TRNSYS-Simulationen die zu simulierenden Kessel vorher individuell zu testen.

## Empfehlungen zur Kesselprüfungen als Grunddaten einer Simulation

Für eine "gute" Parametrierung des TRNSYS-Kesselmodells wird die Durchführung folgender Messungen am Kessel empfohlen:

- Eigene Messung des feuerungstechnischen Wirkungsgrads und des Kesselwirkungsgrads bei Nennleistung, dabei auch Messung der Nennleistung sowie der Randbedingungen (z. B. Zulufttemperatur und Feuchte von Zuluft und Abgas).
- Temperaturmessung von Abgas- und Wasseraustrittstemperatur eines Brennerzyklus (d.h. Einschalten – Erreichen nahezu stationärer Bedingungen im Betrieb – Ausschalten – Erreichen nahezu stationärer Bedingungen im Standby) zur Bestimmung des Faktoren für die Zeitkonstanten
- Zusätzlich bei Brennwertkesseln: Messung der Abgasfeuchte bei Nenn- und Minimalleistung bei niedrigen Wassereintrittstemperaturen, bei denen Kondensation auftritt (z. B. bei 35°C und 45°C), sowie Bestimmung der Kondensatmenge.

Für diese Versuche sind folgende Größen zu messen:

- Wassereintrittstemperatur und Wassermassenstrom (müssen während der Versuche konstant gehalten werden)
- Wasseraustrittstemperatur (Bestimmung der Kesselleistung und der Aufheizkurve)
- Abgasaustrittstemperatur (Bestimmung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades und der Aufheizkurve)
- Brennwert und Masse des verfeuerten Brennstoffes (Bestimmung der durch den Brennstoff zugeführten Energie)
- Zulufttemperatur und –feuchte (Bestimmung der mit der Verbrennungsluft zugeführten Energie)
- Abgasfeuchte und Kondensatmenge (Bestimmung Kondensationsverhalten)

Die Sensoren im Abgasstrom müssen örtlich so nah wie möglich am Wärmeübertrageraustritt platziert werden. Die häufig in realen Anlagen genutzte Öffnung im Abgasrohr ist ungünstig, da es hier bereits (je nach Verlauf der Abgasleitung im Kessel) zu einer Abkühlung und damit auch zu einer höheren Sättigung des Abgases mit Wasserdampf gekommen sein kann.

Außerdem muss für die Abgastemperaturmessung ein Sensor bzw. eine Anzahl von Sensoren verwendet werden, der eine genaue Ermittlung der mittleren Temperatur in einem Gasstrom erlaubt (z. B. Strahlungsschutz).

Bei der Feuchtemessung von Zuluft und Abgas ist darauf zu achten, dass beide Werte an der gleichen Stelle wie die jeweilige Temperatur zu messen sind, um die absolute Wasserdampfmenge zu bestimmen.

## 2 Aufgabenstellung und Lösungsstrategie

Der einleitende Abschnitt erläutert die vorhandene Aufgabe und die Herangehensweise bei der Lösung.

### **Aufgabenstellung**

Das Ziel des Teilprojektes der Ostfalia in Zusammenarbeit mit dem ISFH ist die Überprüfung der Herstellerdaten von verschiedenen Heizkesseln. Des Weiteren werden eine große Anzahl weiterer Messungen durchgeführt:

- Norm-Wirkungsgrad bei Voll- und Teillast nach Norm
- Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Eintrittstemperaturen und Massenströmen
- Feuerungstechnischer Wirkungsgrad
- Betriebsbereitschaftsverlust
- Kondensatmenge
- Startautomatik
- Zeitkonstanten Kesselwasser und Abgas beim Anfahren, Ausschalten und Lastwechsel
- dynamisches Verhalten bei unterschiedlichen Lasten

Die aufgenommenen Parameter werden für die Entwicklung und Validierung eines Modells zur dynamischen Abbildung von Heizkesseln verwendet. Dieses Modell soll als Komponente für das Simulationsprogramm TRNSYS (Transient System Simulation Programm) zur Verfügung gestellt werden.

### **Vorgehensweise bei der Problemlösung**

Im Labor für Heizungstechnik am Institut EOS der Ostfalia sind bereits drei Versuchsstände zur Leistungsmessung von Heizkesseln aufgebaut. Allerdings erfüllt keiner der Stände die Vorgaben aus dem Projektantrag. Daher musste ein komplett neuer Prüfstand aufgebaut werden. Im nachfolgenden Kapitel 3 werden dieser, alle eingesetzte Messgeräte und die Inbetriebnahme beschrieben. Eine wichtige Voraussetzung, die der neue Prüfstand erfüllen muss, ist ein leichter Austausch der Heizkessel.

Insgesamt wurden vier unterschiedliche Heizkessel untersucht. Diese wurden der Ostfalia von den Herstellern kostenlos zur Verfügung gestellt. In Kapitel 3.5 ist eine anonymisierte Liste der einzelnen Heizkessel aufgeführt.

Mit dem Prüfstand sollen die vom Kesselhersteller angegebenen Kesselleistungen, Normwirkungsgrade und Bereitschaftsverluste überprüft werden.

Sind diese Daten aufgenommen und überprüft, erfolgen weitere Wirkungsgradmessungen bei unterschiedlichen Eintrittstemperaturen, Massenströmen und Kesselleistungen (bei mehrstufigen oder modulierenden Heizkesseln). Weiterhin werden die Startautomatik, das Aufheizen und Abkühlen, bei mehrstufigen oder modulierenden Heizkesseln der Lastwechsel und das dynamische Verhalten im Betrieb untersucht.

Der Ablauf der einzelnen Messungen, die den Prüfungen zugrunde liegenden Normen und gewählte Einstellungen werden in Kapitel 4 beschrieben.

In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Messungen für jeden Heizkessel einzeln aufgeführt und bewertet.

## 3 Prüfstandsaufbau und Testkessel

Für die Validierung des Kesselmodells wurde im Labor für Heizungstechnik an der Ostfalia Hochschule ein Prüfstand aufgebaut. Mit diesem kann die Belastbarkeit einzelner Herstellerangaben überprüft werden. Außerdem lassen sich typische Parameter für das TRNSYS-Kesselmodell ermitteln.

Nachfolgend wird in Kapitel 3.1 der Prüfstandaufbau im Allgemeinen vorgestellt. Die einzelnen Messgeräte werden in Kapitel 3.2 detaillierter beschrieben. In Kapitel 3.3 werden informativ Messgeräte genannt, die sich bei den ersten Messungen als nicht geeignet herausstellten. Die Inbetriebnahme des Prüfstandes wird in Kapitel 3.4 beschrieben und das Kapitel 3.5 gibt einen Überblick über die getesteten Kessel.

### 3.1 Prüfstandsaufbau

Als Grundlage für den Aufbau des Prüfstandes dient die Messung nach DIN EN 303-3. Nach dieser Norm werden alle gasbefeuerten Wärmeerzeuger geprüft. Der Prüfstandaufbau für ölbefeuerte Wärmeerzeuger ist in der DIN EN 304 erläutert und weicht nur gering von der DIN EN 303-3 ab. Aus diesem Grund wird für beide Brennstoffarten ein und derselbe Prüfstand verwendet.

Ein wichtiger Aspekt für den Aufbau des Prüfstandes war, dass unterschiedliche Bauarten von Wärmeerzeugern (bodenstehende Kessel oder wandhängende Thermen) geprüft werden sollen. Hierfür ist ein schneller und leichter Austausch der Geräte am Prüfstand wichtig. In der nachfolgenden Abbildung 2 ist der Prüfstand mit allen Messpunkten und -größen dargestellt.

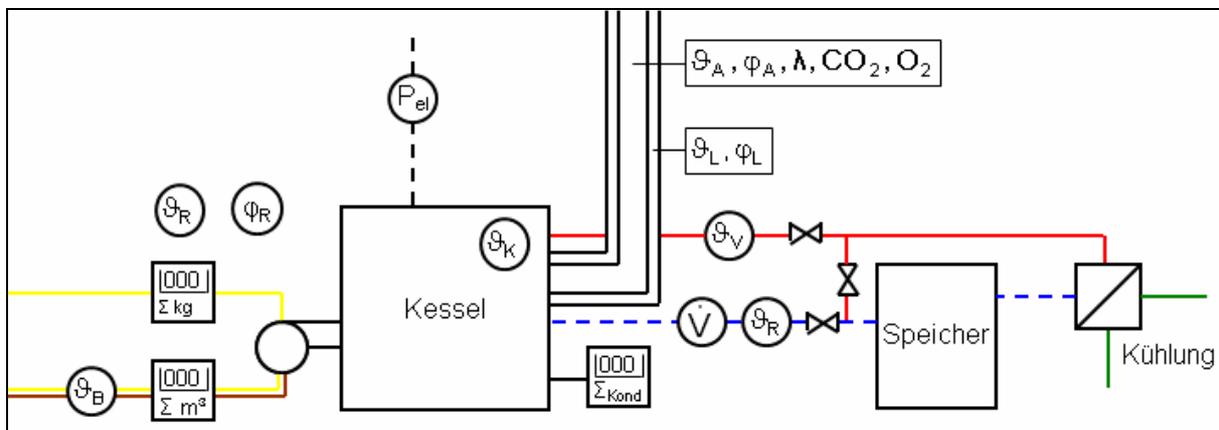


Abbildung 2: Aufbau des Kesselprüfstandes mit allen Messpunkten

Auf der Inputseite des Wärmeerzeugers werden folgende Messwerte aufgenommen:

- Umgebungs- und Verbrennungslufttemperatur
- Luftdruck und Luftfeuchtigkeit
- Öldurchsatz mittels Waage

ODER

- Gasverbrauch mittels Gaszähler
- Gastemperatur und Gasdruck
- Brennwert und Dichte des Gases mittels Kalorimeter

Am Wärmeerzeuger werden folgende Messwerte aufgenommen:

- Kesseltemperatur
- elektrische Leistungsaufnahme
- Kondensatmasse

Auf der Abgasseite des Wärmeerzeugers ergeben sich folgende Messwerte:

- Abgastemperatur
- Luftverhältnis
- Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt
- Abgasfeuchte
- Abgasgeschwindigkeit

Auf der Wasserseite werden folgende Messwerte aufgenommen:

- Vor- und Rücklauftemperatur
- Wasservolumenstrom

Der Testkesselkreis weist keinen Verbraucher auf. Die im Testkessel erzeugte Wärme wird per Kältemaschine und Rückkühler aus dem Kesselkreis entzogen. Bei früheren Messungen wurde festgestellt, dass es durch die Kühlung zu Schwankungen in der Rücklauftemperatur von bis zu einem Kelvin kommen kann. In den Prüfstand ist aus diesem Grund ein Speicher integriert, der die Rücklauftemperatur konstant hält.

Der Bypass zwischen Vor- und Rücklauf vorm Speicher wird für die Bereitschaftsverlustmessung benötigt. Ebenso die beiden Absperrorgane vor bzw. hinter dem Kessel (in Fließrichtung).

Die maximale Kesselgröße, die auf dem Prüfstand vermessen werden kann, liegt bei ca. 20 kW. Größere Kessel können aufgrund der Leistung der Kältemaschine nicht getestet werden.

## **3.2 Messgeräte**

Nachfolgend werden alle eingesetzten Messgeräte sortiert nach dem Einsatzgebiet und mit Angabe der Herstellerdaten aufgelistet. Die Messwerte werden von einer Datenerfassung aufgezeichnet bzw. müssen manuell abgelesen werden.

### **3.2.1 Brennstoff- und Luftzufuhr**

#### **Verbrennungsluft**

Die Verbrennungslufttemperatur wird möglichst nah vor dem Eintritt in die Brennkammer und die Umgebungstemperatur in einem Abstand von ca. 20 cm und in halber Kesselhöhe gemessen. Zum Einsatz kommen für die Verbrennungslufttemperatur ein PT 100 Messfühler und für die Umgebungstemperatur ein Thermoelement.

Der Luftdruck und die Luftfeuchte (Messgerät siehe Abgasfeuchte, Kapitel 3.2.3) werden zu Beginn und am Ende jeder Messung notiert.

## Brennstoff Gas

Durch ein im Labor für Gas- und Verbrennungstechnik der Ostfalia befindliches Kalorimeter werden die Gaseigenschaften kontinuierlich erfasst. Die gemessene Normdichte und der Brennwert werden zu Beginn und am Ende jeder Messung abgelesen.

Das vorhandene Messgerät ist ein Prozessgaschromatograph vom Typ "Optichrom Advance 11 Komponenten als Brennwert- und Normdichtemessgerät für Gase" der Firma Marquis GmbH in Witten, siehe Abbildung 3.

Relevante Herstellerdaten:

- Modell Typ: Optichrom Advance 11 Komponenten
- Messbereich: Brennwert 7 – 14 kWh/m<sup>3</sup>  
Normdichte 0,7 – 1,0 kg/m<sup>3</sup>  
CO<sub>2</sub> 0 – 50 Mol-%
- Fabrikat Nr.: AV 1594
- Baujahr: 1994



**Abbildung 3: Kalorimeter**

Das durchgesetzte Gasvolumen wird mittels eines geeichten Balgengaszählers der Firma Ritter Apparatebau GmbH & Co. KG aufgenommen, siehe Abbildung 4.

- Gerät: Balgengaszähler, BG4
- Typ: BG 4
- Serien-Nr.: 0.53A.A36/2010
- Impulsgeber: PG V 3.2
- Durchfluss: 40 – 6.000 l/h
- max. Druck: 300 mbar



**Abbildung 4: Balgengaszähler**

Der Gasvolumenzähler ist auf die zentrale Datenerfassung aufgeschaltet.

In der Gasanschlussleitung zum Wärmeerzeuger sind zusätzlich ein Thermometer und ein Manometer eingebaut. Diese werden zu Beginn und am Ende jeder Messung abgelesen.

### **Brennstoff Öl**

Der Öldurchsatz wird mittels einer Waage gemessen. Dazu wird das Öl aus dem vom Großhändler gelieferten Ölfass in einen kleinen Behälter (siehe Abbildung 5) umgefüllt.

Die Waage besitzt eine Schnittstelle und übermittle die Daten an die zentrale Datenerfassung. Zusätzlich wird zu Beginn und am Ende jeder Messung der Waagenstand notiert. Herstellerangaben:

- Typ: Sartorius Signum Advanced SIWADCP



**Abbildung 5: Ölmenge messung**

Für die Messungen der beiden Ölkessel wurden verschiedene Ölsorten (schwefelarm/schwefelhaltig) bzw. verschiedene Chargen verwendet. Der Brennwert wurde für jede Charge am Institut für Verfahrensoptimierung und Entsorgung (IVE) der Ostfalia bestimmt.

### 3.2.2 Kesseldaten

#### Kesseltemperatur

Die Kesseltemperatur wird mit einem PT100-Messfühler gemessen. Der Einbauort wird möglichst so gewählt, dass der Messfühler sich in unmittelbare Nähe zum Regelfühler des Kessels befindet. Die Messwerte werden kontinuierlich von der zentralen Datenerfassung aufgezeichnet.

#### Leistungsaufnahme

Die elektrische Leistungsaufnahme des Kessels wird mit einem einphasigen Wirkleistungsmessumformer der Firma CELSA gemessen, siehe Abbildung 6. Das Ausgangssignal wird ständig auf die Datenerfassung übertragen.

- Typ: CPR/1wNV
- Leistung: 1 kW
- Ausgang: 0 – 20 mA
- Eingangsstrom: 5/5 A
- Eingangsspannung: 230 V
- Frequenz: 50 – 60 Hz

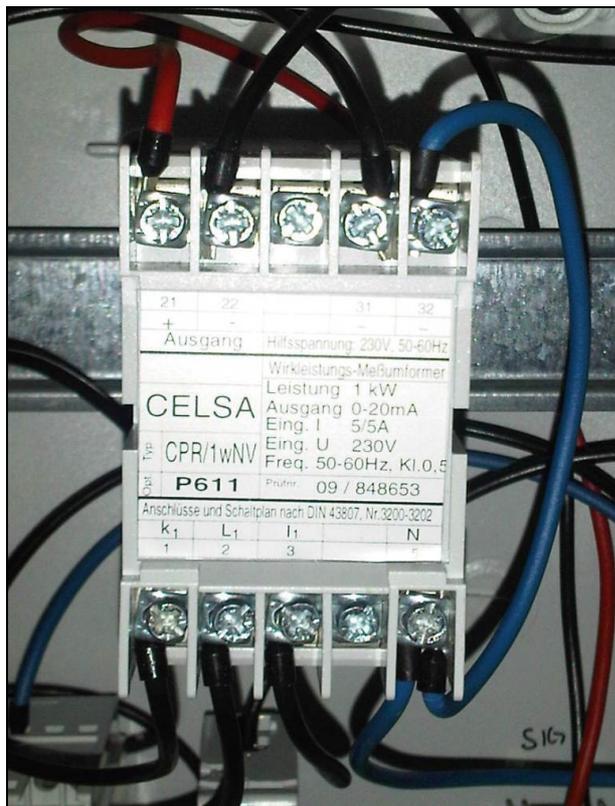


Abbildung 6: Wirkleistungsmessung

## Kondensat

Das bei der Verbrennung im Ölkessel entstehende Kondensat wird in einer Schale aufgefangen und nach jeder Messung auf einer Waage gewogen und notiert.

Die Kondensatmasse der gasbefeuerten Wärmeerzeuger wird ebenfalls in einer Schale aufgefangen, aber kontinuierlich gewogen und an die Datenerfassung übertragen (siehe Waage für Öldurchsatz). Das durch die Abkühlung des Abgases im Abgasrohr entstehende Kondensat wird vor dem Heizkessel aufgefangen, abgeleitet und nicht gemessen.

### 3.2.3 Abgasdaten

#### Abgaszusammensetzung

Mit einem Abgasanalysegerät der Firma rbr Messtechnik GmbH aus Iserlohn wird die Abgaszusammensetzung am Ende jeder Messung gemessen, siehe Abbildung 7.



Abbildung 7: Abgasanalysegerät

Es wird davon ausgegangen, dass sich während der stationären Messung die Abgaszusammensetzung nicht ändert. Aufgenommen werden u. a. der Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffgehalt sowie das Luftverhältnis im Abgas. Bei der Messung ist zu beachten, dass die Messsonde in der Mitte des Abgasmassenstromes platziert wird.

#### Abgastemperatur

Die Abgastemperatur wird in der Mitte des Abgasmassenstromes und so nah wie möglich an der Brennkammer durchgehend gemessen und zur Datenerfassung übertragen. Zum Einsatz kommt hier ein PT 100 Messfühler.

#### Abgasfeuchte und -geschwindigkeit

Die Abgasfeuchte wird gegen Ende jeder Messung gemessen und notiert. Zum Einsatz kommt ein universelles Messgerät vom Typ "THERM 2295-2", das u. a. zur Strömungs- und Feuchtemessung geeignet ist.

Es handelt sich dabei um ein Gerät der Firma Ahlborn Mess- und Regelungstechnik aus Holzkirchen. Die Abgasfeuchte wird ebenfalls so dicht wie möglich am Austritt aus der Brennkammer in der Mitte des Abgasmassenstromes gemessen und notiert.

Für die Abgasgeschwindigkeit wird das gleiche Messgerät verwendet. Die Messung erfolgt hier aus Platzgründen erst kurz vor dem Austritt aus dem Schornstein und wird ebenfalls notiert.

### 3.2.4 Heizwasserdaten

#### Vor- und Rücklauftemperatur

Die Vor- und Rücklauftemperaturen werden mit PT 100 Messfühlern gemessen und kontinuierlich an die Datenerfassung übertragen. Die Messpunkte sind so zu wählen, dass sie möglichst dicht am Kessel installiert sind.

#### Volumenstrom

Der Heizwasservolumenstrom wird mittels eines induktiven Durchflussmessgerätes kontinuierlich gemessen und an die Datenerfassung übermittelt. Zum Einsatz kommt ein Gerät der Firma Endress und Hauser, siehe Abbildung 8.

- Serien Nr.: V7 314185
- K-factor: 0,9268 / 35
- Typ: DN 15 1.4435 PN40

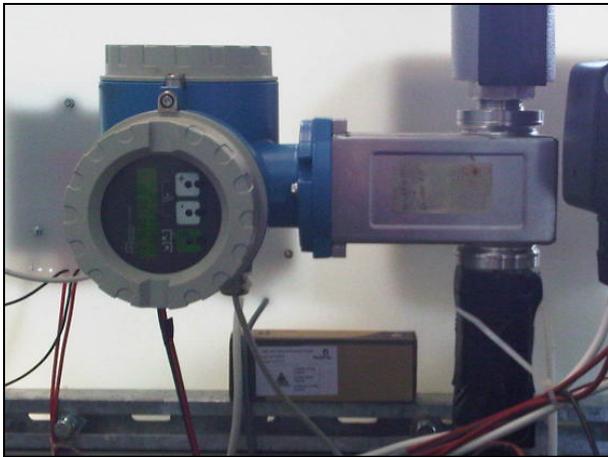


Abbildung 8: Induktiver Durchflussmesser

Der Volumenstrommesser ist im Rücklauf installiert. Der Einbau kann senkrecht oder waagrecht erfolgen und vor und nach dem Messgerät muss eine Beruhigungsstrecke eingerichtet sein.

### 3.2.5 Zentrale Datenerfassung

Für die Datenerfassung wird das Gerät MV2000 der Firma Yokogawa verwendet, siehe Abbildung 9. Die Messwerte werden alle 2 Sekunden gespeichert und sind zusätzlich auf dem Monitor als Einzelwerte und Trendkurven sichtbar.



Abbildung 9: Zentrale Datenerfassung

### 3.2.6 Unsicherheit der Messeinrichtungen

#### Vor- und Rücklaufemperatur des Heizwassers

Die im Prüfstand verwendeten Temperatursensoren für Ein- und Austritt des Heizwassers wurden am ISFH kalibriert. Dies geschah jeweils durch Vergleich der Referenztemperatur mit dem Anzeigewert des am Prüfstand eingesetzten Datenloggers und des dort verwendeten Temperatursensors.

Für die Eintrittstemperatur in den Kessel (Rücklauf) ergab sich folgende Kalibrierfunktion:

$$\vartheta_{in} = \vartheta_{in,Anzeige} - \left[ 0,133 + 2,22 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta_{in,Anzeige} - 5,76 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta_{in,Anzeige}^2 \right] \quad (1)$$

für die Austrittstemperatur aus dem Kessel (Vorlauf) ergab sich folgende Kalibrierfunktion:

$$\vartheta_e = \vartheta_{e,Anzeige} - \left[ 0,172 - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta_{e,Anzeige} + 1,05 \cdot 10^{-5} \cdot \vartheta_{e,Anzeige}^2 \right] \quad (2)$$

Ein- und Austrittstemperatur weisen mithilfe der Kalibrierfunktion noch insgesamt eine Unsicherheit von ca.  $u_{Mess} = 0,07$  K auf (inkl. Datenlogger). Am Datenlogger wird der Wert mit zwei Nachkommastellen angezeigt, somit ergibt sich zusätzlich eine Unsicherheit durch die Anzeigenauigkeit von  $u_{Anzeige} = 0,005$  K.

Insgesamt beträgt die Unsicherheit somit:

$$u(\vartheta_{in}) = u(\vartheta_e) = \sqrt{(0,07 \text{ K})^2 + (0,005 \text{ K})^2} = 0,07 \text{ K} \quad (3)$$

#### Heizwasserdurchfluss

Auch der induktive Durchflussmesser ist am ISFH kalibriert worden. Dabei wurde der Wert des Messgeräts am gleichen Datenlogger wie die Referenz angezeigt, so dass hier nur das Messgerät selbst kontrolliert wurde.

Bei einem Volumenstrom von ca.  $0,75 \text{ m}^3/\text{h}$  ergab sich eine Abweichung von 2,5%, bei  $1,42 \text{ m}^3/\text{h}$  von 2,4%. Der Volumenstrom wird in dem gemessenen Bereich durch Interpolation zwischen diesen beiden Werten korrigiert:

$$\dot{V} = \dot{V}_{Anzeige} + \dot{V}_{Anzeige} \cdot \left( -0,025 + \left( \frac{-0,024 + 0,025}{1,42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} - 0,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \right) \cdot \left( \dot{V}_{Anzeige} - 0,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \right) \quad (4)$$

Mit diesem Verfahren ergibt sich eine Restunsicherheit für die reine Durchflussmessung per Induktion von 0,25%.

Zusätzlich treten durch den verwendeten Datenlogger Unsicherheiten auf. Vom Hersteller wird eine allgemeine Unsicherheit von 0,05% auf den Anzeigewert angegeben. Darüber hinaus beträgt die Unsicherheit 3 digits. Bei dem gewählten Messbereich ( $5 \text{ V}$  entsprechen  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ) ergibt sich daraus eine zusätzliche Unsicherheit von  $0,0012 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Der Volumenstrom wird am Datenlogger in  $\text{m}^3/\text{h}$  mit drei Nachkommastellen ausgegeben, die Anzeigunsicherheit beträgt somit  $0,0005 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Insgesamt ergibt sich daraus eine Unsicherheit von:

$$u(\dot{V}) = \sqrt{(\dot{V} \cdot 0,0025)^2 + (\dot{V} \cdot 0,0005)^2 + (0,0012 \frac{\text{m}^3}{\text{h}})^2 + (0,0005 \frac{\text{m}^3}{\text{h}})^2} \quad (5)$$

### Heizölverbrauch

Als weiterer Messwert der Ölkesselprüfung wird das in dem jeweiligen Versuch verbrauchte Heizöl benötigt. Dies wird über eine Differenzmessung des Heizölbehälters vor und nach dem Versuch ermittelt.

Für die Waage wird vom Hersteller eine Standardabweichung von 0,4 g angegeben. Auf der Anzeige der Waage wechselt der Wert in 0,2 g Schritten, die Ablesegenauigkeit beträgt somit 0,1 g.

Die gesamte Unsicherheit der Waage bei manueller Ablesung beträgt:

$$u(m_{\text{Öl}}) = \sqrt{0,0004^2 + 0,0001^2} = 0,000412 \text{ kg} \quad (6)$$

Am 18.06.2010 ist die Waage auf die zentrale Messwerterfassung bzw. den Datenlogger aufgeschaltet worden. Am 09.07.2010 wurde am ISFH die Messkette von der Waage bis zum Datenlogger kalibriert.

Daraus resultiert folgende Kalibrierfunktion:

$$m_{\text{Öl}} = m_{\text{Öl,Anzeige}} - \left[ 2 \cdot 10^{-4} - 5,57 \cdot 10^{-4} \cdot m_{\text{Öl,Anzeige}} + 6,18 \cdot 10^{-5} \cdot m_{\text{Öl,Anzeige}}^2 \right] \quad (7)$$

Die Messunsicherheit ergibt sich in Abhängigkeit vom angezeigten Wert aus der Interpolation zwischen 2,3 g bei maximalem Anzeigewert von 16 kg und 0,04 g bei 0 kg. Da am Datenlogger der Wert auf Gramm genau angegeben wird, besteht zusätzlich noch eine Unsicherheit durch die Anzeigegegenauigkeit von 0,5 g.

Die gesamte Messunsicherheit der Gewichtsmessung für die Messungen ist damit:

$$u(m_{\text{Öl}}) = \sqrt{u(m_{\text{Öl}}) + 0,0005^2} \text{ kg} \quad (8)$$

## Gesamtübersicht

In der nachfolgenden Tabelle sind die Messunsicherheiten aller Messpunkte incl. ggf. des Datenloggers zusammengefasst.

Größe	Beschreibung	Sensor	Unsicherheit <sup>1</sup>
$\dot{V}_W$	Wasservolumenstrom	Induktives Volumenstrommessgerät	1% (vom Messwert)
$\vartheta_{BR} / \vartheta_L / \vartheta_G$ $\vartheta_{W,in} / \vartheta_{W,e}$	Temperatur von Brennstoff, Zuluft, Abgas, Wasserein- und austritt	PT100-Einsatzwiderstandsthermometer	0,07 K
$\vartheta_K$	Kesseltemperatur	PT100-Chipsensor	0,07 K
$\vartheta_a$	Umgebungstemperatur	Thermoelement	0,07 K
$\varphi_A / \varphi_L$	Abgas- und Zuluftfeuchte	Kapazitiver Feuchtigkeitssensor	2% (vom Messwert)
$n_{O_2}$	Sauerstoffanteil	Abgasanalysegerät	$n_{O_2} \cdot 0,02 + 0,1 \%$
$P_{el}$	Elektrische Leistung	Strom- und Spannungsmessumformer	5 W
$m_{Öl} / m_{Kond}$	Öl und Kondensatmasse	Mechatronisches Wägesystem	$\sqrt{\left(\frac{2,25}{16000} \cdot m + 0,04\right)^2 + 0,5^2}$ g
$\dot{V}_G$	Gasvolumenstrom	Balgengaszähler	2% (vom Messwert)
$H_{S,G}$	Brennwert Erdgas	Prozessgaschromatograph	0,8% (vom Messwert)
$H_{S,Öl}$	Brennwert Öl	Labormessung	<1% (vom Messwert)

<sup>1</sup> Unsicherheitsangaben beziehen sich auf die vom Datalogger erfassten Werte.

**Tabelle 4: Eingesetzte Messtechnik und Messunsicherheiten**

### 3.3 Nicht geeignete Messtechnik

Während der ersten Messungen stellte sich heraus, dass die bis dato verwendeten Thermoelemente zu ungenau waren und durch PT 100 Messfühler ersetzt werden mussten.

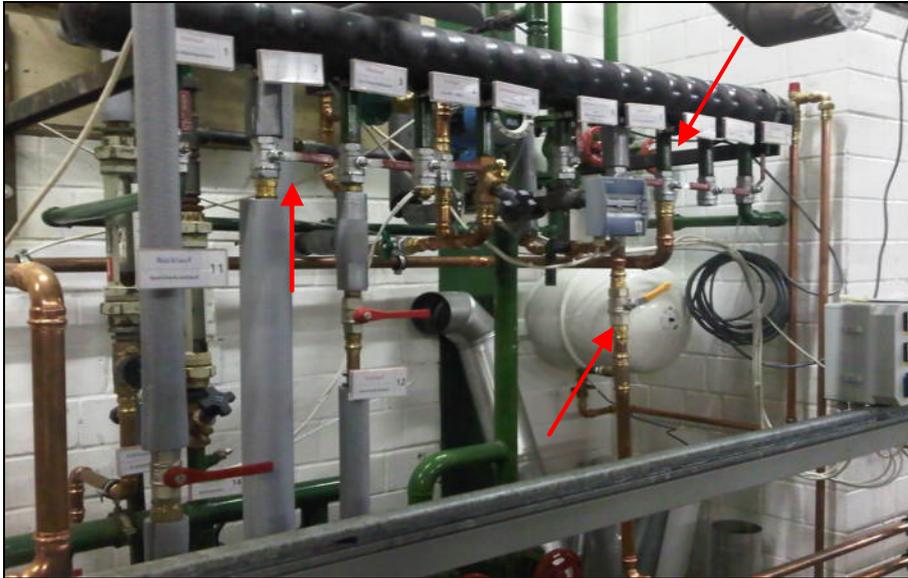
Für die Messung der abgegebenen Kesselwärmemenge wurde ein Wärmemengenzähler eingebaut. Dieser zeigt neben der durchgesetzten Wärme auch den aktuellen Volumenstrom an. Während der ersten Messungen stellte sich heraus, dass die Übertragung zum Datenlogger nur zeitversetzt möglich war. Für die stationären Messungen konnte dies toleriert werden. Aber bei den dynamischen Messungen führte es zu Diskrepanzen, die nicht akzeptiert werden konnten. Daraufhin wird die abgegebene Kesselwärmemenge mit Hilfe des Volumenstromzählers und der Vor- und Rücklauftemperatur gebildet (vergleiche Kapitel 4.3.3.).

### 3.4 Inbetriebnahme des Prüfstandes

#### Aufbau

Der zu prüfende Kessel ist nach den Angaben des Herstellers aufzubauen und einzurichten. Es sind alle notwendigen Isolierungen und Abdeckungen am Kessel ordnungsgemäß anzubringen. Der Kessel ist, wie im Schema nach Abbildung 2 dargestellt, an den Prüfstand anzuschließen. Dabei ist zu beachten, dass die Vor- und Rücklauftemperaturfühler so nah wie möglich am Kessel ein- bzw. -austritt installiert werden. Es sind alle Rohrleitungen inkl. Messgeräte bis zum Bypass sorgfältig zu dämmen.

Vor der Inbetriebnahme des Prüfstandes muss sichergestellt sein, dass der Anlagendruck ausreichend hoch (ca. 1 bar), der Prüfstand entlüftet, alle Press- und Schraubverbindungen dicht und die Kugelhähne am Kessel und die entsprechenden Kugelhähne am Verteiler und Sammler geöffnet sind (Abbildung 10).



**Abbildung 10: Verteiler und Sammler**

Alle andern Absperrorgane müssen geschlossen sein. Des Weiteren muss geprüft werden, ob der Zulauf zum MAG geöffnet ist. Ist dies der Fall, kann die Datenerfassung eingeschaltet werden. Diese sollte vor Beginn der Messungen ca. eine Stunde laufen um temperaturbedingte Messfehler auszuschließen.

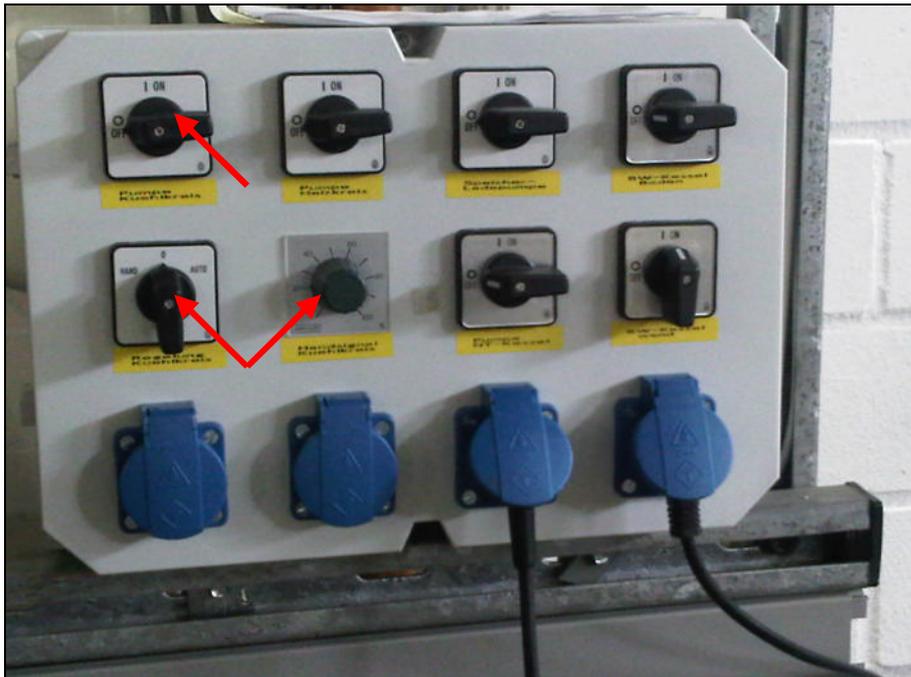
### **Inbetriebnahme des Kessels**

Wenn keine Messung bei Kaltstart des Kessels durchgeführt werden soll, können ebenfalls der Kessel und die Pumpe eingeschaltet werden. Hier ist zu beachten dass auch die Brennstoffzufuhr gewährleistet ist. Wie der Kessel betrieben werden muss, ist den jeweiligen Betriebsunterlagen der Hersteller zu entnehmen. Vor Beginn der Messung ist der Prüfstand auf die entsprechenden Prüfbedingungen einzustellen. Am Beispiel einer Wirkungsgradmessung wird dies nachfolgend erläutert.

Zunächst ist der gesamte Prüfstand inkl. Speicher auf die entsprechende Temperatur aufzuheizen. Dabei muss der Bypasskugelhahn während der Dauer der Messung geschlossen bleiben. Für das Aufheizen kann auch die zweite Pumpe im Prüfstand (unterhalb des Wärmeübertragers für die Kühlung) zur Hilfe genommen werden.

### **Zuschaltung und Einregulierung der Kühlung**

Ist die gewünschte Rücklauftemperatur erreicht, muss die Kühlung eingeschaltet werden. Dies erfolgt über den linken oberen Schalter am Schaltkasten für alle Prüfstände (Abbildung 11).



**Abbildung 11: Schaltkasten für alle Prüfstände**

Des Weiteren ist das Drosselventil (Abbildung 12) des Kühlwasserkreises aufzudrehen. An der da drüber liegenden Skala, kann der eingestellte Volumenstrom abgelesen werden. Der notwendige Kühlwasserdurchfluss ist abhängig vom Heizwasservolumenstrom und der gewünschten Rücklauftemperatur. Die Einstellungen für die vermessenen Kessel sind den einzelnen Wirkungsgraddatenblättern zu entnehmen.



**Abbildung 12: Drosselventil und Motorventil im Kühlwasserkreis**

Zusätzlich zur manuellen Einstellung der Kühlung über das Drosselventil kann auch das Motorventil links neben dem Drosselventil verwendet werden. Hierfür muss am Schaltkasten der linke untere Schalter auf Hand gestellt und das Handrad (Handsignal) rechts daneben auf die gewünschte Prozentzahl eingestellt werden.

Die aus der Kühlung resultierende Rücklauftemperatur wird direkt nach dem Wärmeübertrager gemessen und sollte etwa 0,2 bis 0,5 K über der gewünschten Kesselrücklauftemperatur liegen. Sie kann in der Datenerfassung abgelesen werden.

### **Einregulierung des Kesselvolumenstroms**

Gleichzeitig kann der Volumenstrom im Kesselkreis auf den gewünschten Wert eingestellt werden. Um Energie einzusparen, sollte zunächst die zusätzliche Pumpe ausgeschaltet und geprüft werden, ob die kleinste Leistung der Prüfstandpumpe ausreicht.

Über einen Kugelhahn (gelber Griff) und ein Drosselventil (siehe Abbildung 13) kann der Heizwasservolumenstrom zusätzlich gedrosselt werden. Dabei ist die Kühlung immer anzupassen. Je geringer der Volumenstrom wird, desto länger dauert es, bis sich die Temperatur nach dem Wärmeübertrager stabil einstellt.



**Abbildung 13: Drosselventil und Motorventil im Kühlwasserkreis**

Sind alle Temperaturen und der Heizwasservolumenstrom stabil, kann mit der Messung begonnen werden.

### **Messung ohne Durchfluss**

Für die Bereitschaftsverlustmessung ist zu beachten, dass ein Ausdehnungsgefäß am zu prüfenden Kessel angeschlossen ist. Des Weiteren müssen die beiden Kugelhähne am Verteiler und Sammler geschlossen und der Bypasskugelhahn geöffnet sein.

### **3.5 Testkessel**

Auf dem Prüfstand wurden insgesamt vier Heizkessel vermessen und zur Validierung des TRNSYS-Modells genutzt – jeweils zwei Öl- und zwei Gaskessel.

In Tabelle 5 sind für jeden der Kessel die wichtigsten Kenndaten aufgeführt. Die einzelnen Werte sind den Produktdaten der jeweiligen Hersteller entnommen worden. Die Angabe der Werte erfolgt verschlüsselt ohne Kennzeichnung des Herstellers, daher werden die entsprechenden Quellen im Text nicht genannt.

Zusätzlich zeigt die Tabelle die Anzahl der durchgeführten Versuche an dem jeweiligen Kessel aufgeteilt in stationäre und dynamische Messungen sowie Messungen von Nennleistungswirkungsgrad und Betriebsbereitschaftsverlust.

Kessel	Kessel O1	Kessel O2	Kessel G1	Kessel G2
<b>zur Anonymisierung sind einzelne Werte für Nennleistung, Masse, Wasserinhalt, Wirkungsgrade und Betriebsbereitschaftsverlust leicht geändert dargestellt</b>				
Brennstoff	Öl	Öl	Erdgas	Erdgas
Nennleistung	19,2 kW	18,6 kW	14,8 kW	14,4 kW
Modulation (minimale Leistung)	zweistufig (11,1 kW)	Einstufig	Modulierend (2,7 kW)	Modulierend (3,2 kW)
Masse	115 kg	177 kg	41 kg	54 kg
Wasserinhalt	54,0 l	57,0 l	1,5 l	1,5 l
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung <sup>1</sup>	91,4%	89,9%	87,5%	88,4%
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung <sup>1,2</sup>	92,0%	91,9%	88,1%	-
Betriebsbereitschaftsverlust <sup>3</sup>	0,89%	1,46%	0,91%	1,23%
<b>Statistik der Messungen</b>				
Stationäre Messpunkte	211	62	153	43
davon Nennleistungspunkt	12	9	9	7
Messungen Bereitschaftsverlust	9	4	3	-
Messungen dynamische Zeitkonstanten	27	18	150	24
Dynamische Messungen	12	12	-	-
<sup>1</sup> Wirkungsgrade sind gemessen bei 60°C Eintrittstemperatur und bezogen auf den Brennwert.				
<sup>2</sup> Der feuerungstechnische Wirkungsgrad wurde aus den Kohlendioxidgehalt und der Abgastemperatur nach Hersteller berechnet unter Annahme einer Verbrennungslufttemperatur von 20°C.				
<sup>3</sup> Die Wärmeverluste werden auf die Nennleistung bezogen und in % angegeben.				

**Tabelle 5: Übersicht der geprüften Heizkessel (anonymisiert)**

### Stationäre Messungen

Die stationären Messungen wurden bei unterschiedlichen Wassereintrittstemperaturen und Wassermassenströmen sowie Kesselleistungen durchgeführt. Letztere beschränken sich aufgrund der Modulationsfähigkeit bei Kessel O2 auf die Nennleistung und bei Kessel O1 auf die beiden Stufenleistungen.

Die Gaskessel sind modulierend, die Leistung wurde hier auf Modulationsgrade von 25%, 50%, 75% und 100% eingestellt. Die stationären Messungen wurden für die Validierung des Kesselmodells benutzt, aber auch für die Messung des Wirkungsgrades bei Nennleistung und zur Messung der Abgasfeuchte.

### Dynamische Messungen

Die dynamischen Zeitkonstanten wurden aus Ein-/Ausschalt- und Lastwechselversuchen bei unterschiedlichen Eintrittstemperaturen, Massenströmen und Kesselleistungswerte ermittelt. Die hohe Anzahl an Versuchen beim modulierenden Kessel G1 resultiert aus unterschiedlichen Kesselleistungen unter denen der Kessel ein-/aus- oder umgeschaltet wurde. Aus den Einschalt- und Ausschaltversuchen wurden zudem die Kenngrößen der Startautomatik ermittelt, z. T. ergänzt durch Messung des Abgasmassenstroms während der Belüftungsphasen vor dem Einschalten bzw. nach dem Ausschalten. Dynamische Messungen zur Validierung wurden nur für die beiden Ölkessel und in einem Versuch an Kessel G1 vorgenommen.

## 4 Messungen und Prüfverfahren

In diesem Abschnitt wird an Hand eines zweistufigen Ölkessels der Prüfungsablauf vorgestellt. Im Abschnitt 4.1 werden zunächst alle Prüfungen und Messungen aufgeführt, die an den zu testenden Kesseln durchgeführt werden sollen. In Abschnitt 4.2 wird auf die zeitliche Abwicklung und die Probleme der einzelnen Messungen eingegangen.

In Abschnitt 4.3 wird das Verfahren für die Ermittlung des Kesselwirkungsgrades beschrieben. Der Abschnitt 4.4 beschäftigt sich mit der Messung der Bereitschaftsverluste und Abschnitt 4.5 gibt einen Überblick über die Aufnahme der Zeitkonstanten und den Ablauf der Startautomatik. Je nach Kesselcharakteristik und Brennstoffart, ist der Ablauf der Messungen ggf. anzupassen.

### 4.1 Auflistung der durchzuführenden Prüfungen

Nachfolgend werden die durchzuführenden Messungen an den Testkesseln aufgelistet. Zusätzlich sind die für die Prüfung zugrunde liegenden Normen und Richtlinien aufgeführt.

#### **Wirkungsgradmessung unter Prüfbedingungen im Volllastbetrieb ( $\eta_{100}$ )**

Grundlage: EN 304 (Ölgebläsebrenner), Abschnitte 5.3/5.4 (S. 9)  
EN 303-3 (Gasgebläsebrenner)

#### **Wirkungsgradmessung unter Prüfbedingungen im Teillastbetrieb ( $\eta_{30}$ )**

Grundlage: EN 304 (Ölgebläsebrenner), Abschnitt 5.8  
Gewählte Methode: Direkte Methode, Betriebsart 1 (Abschnitt 5.8.1.1, S. 12)  
Grundlage: EN 303-3 (Gasgebläsebrenner)

#### **Bereitschaftsverlustmessung unter Prüfbedingungen ( $Q_B$ )**

Grundlage: EN 304 (Ölgebläsebrenner), Abschnitt 5.7 (S. 11)  
EN 304 (Gasgebläsebrenner; Angabe Firma Viessmann), Abschnitt 5.7 (S. 11)

#### **Wirkungsgradbestimmung bei unterschiedlichen Rücklauftemperaturen, Temperaturspreizungen und Kesselleistungen**

Tabelle 6 zeigt einen beispielhaften Reihenversuch für den zweistufigen Ölkessel, der in seiner 2. Stufe 60 % der Nennleistung aufweist. Die Wertepaare aus Vor- und Rücklauftemperatur sowie Massenstrom führen beim gewählten Kessel zu Voll- bzw. 60%-Last. Die Werte sind zu modifizieren, sofern andere Kessel geprüft werden.

Gegen Ende jedes Versuches wird eine Abgasanalyse durchgeführt, die Abgasfeuchte gemessen und die Kondensatmenge gewogen. Bei Gasgeräten werden zusätzlich der Brennwert, die Normdichte, die Gastemperatur, der Gasdruck und der Luftdruck gemessen.

Versuch	Rücklauf­temperatur, in °C	Massenstrom	Leistung	Vorlauf­temperatur, in °C
1	30	1660 kg/h	100%	40
2	30	1660 kg/h	60%	<40
3	30	830 kg/h	100%	50
4	30	830 kg/h	60%	<50
5	30	560 kg/h	100%	60
6	30	560 kg/h	60%	<60
7	45	1660 kg/h	100%	55
8	45	1660 kg/h	60%	<55
9	45	830 kg/h	100%	65
10	45	830 kg/h	60%	<65
11	45	560 kg/h	100%	75
12	45	560 kg/h	60%	<75
13	60	1660 kg/h	100%	70
14	60	1660 kg/h	60%	<70
15	60	830 kg/h	100%	80
16	60	830 kg/h	60%	<80
17	60	1100 kg/h	100%	75
18	60	1100 kg/h	60%	<75

**Tabelle 6: Durchzuführenden Prüfungen an einem zweistufigen Ölkessel**

### Messung der elektrischen Leistung des Kessels während des Starts und im Betrieb

Messung von Kaltstarts, Warmstarts, jeweils bei Betrieb in 2. Stufe und 1. Stufe bzw. Modulationsstufen, Gebläsenachlaufzeit.

### Aufnahme des Startablaufes

Der Startablauf wird gekennzeichnet von folgenden Fragestellungen:

- Wann werden die Ölvorwärmung, das Gebläse, die Ölpumpe und die Zündung eingeschaltet?
- Wie lange läuft die Vorspülzeit?
- Gibt es eine Mindestlaufzeit?
- Mit welcher Leistung startet der Kessel?
- Gibt es eine Nachspülzeit?

### Bestimmung der Totzeit ( $T_t$ ) und der Verzögerungszeit ( $T_1$ )

Gemessen wird die Zeit, welche vom Anforderungssignal bis zur Temperaturerhöhung  $(+0,5 \text{ K})^1$  im Vorlauf verstreicht (Totzeit). Darüber hinaus wird festgestellt, wann 63 % der maximalen Vorlauf­temperaturerhöhung eines bestimmten Lastfalls erreicht sind (Verzögerungszeit).

Beide Werte sind zur Abbildung des Anfahrverhaltens des Kessels notwendig. Zur Vereinfachung wird für das Kesselverhalten eine Exponentialfunktion vorausgesetzt (siehe Berichtsband 2).

## 4.2 Zeitlicher Ablauf und Probleme bei den Prüfungen

Vor Beginn jeder Prüfung müssen der zu testende Kessel und der Prüfstand einschließlich der Rückkühlung auf die geforderten Prüfbedingungen (Vor- und Rücklauf­temperatur und Volumenstrom) eingestellt werden. Dies dauert je nach Kesselcharakteristik (Stahl oder Guss und Wasserinhalt) etwa eine bis eineinhalb Stunden.

<sup>1</sup> Durch die Prüfer festgelegt.

## **Wirkungsgradmessungen**

Die zeitliche Länge einer Prüfung hängt in erster Linie von den in der entsprechenden Norm angegebenen Prüfbedingungen ab. Die Versuchsdauer der Wirkungsgradmessung nach EN 304 zum Beispiel, beträgt 60 Minuten. Dabei sind jeweils nach 30 Minuten Zwischenmessungen zu machen.

Die Prüfer sind im Rahmen des Projektes noch einen Schritt weiter gegangen, und haben immer drei Messungen (je 30 Minuten) durchgeführt. Diese mussten dann innerhalb eines Toleranzbereiches der Ergebnisse von 0,5 % liegen. War dies nicht der Fall, wurde noch eine weitere Messung durchgeführt. In den meisten Fällen reichten aber drei Messungen aus, um entsprechend wenig schwankende Ergebnisse zu erhalten.

Dies bedeutet zum Beispiel für einen Wirkungsgradpunkt bei einem Temperaturverhältnis von 40/30°C und Nennleistungsbetrieb, dass eine Prüfung mindestens 1,5 Stunden dauert.

Hinzu kommt, dass bei den Ölkesseln zwischen den Messungen eine Pause von ca. zwei bis drei Minuten notwendige wurde, um das angefallene Kondensat zu wiegen. Bei den Gaskesseln wird das Kondensat durchgehend gemessen, da der Auffangbehälter auf einer Waage steht und diese an die Datenerfassung angeschlossen ist.

Das Anfahren des nächsten Messpunktes ist wiederum von den Prüfbedingungen und der Kesselcharakteristik abhängig. Liegen die Messpunkte dicht zusammen, beispielsweise in der ersten Messung 40/30°C und danach 50/30°C, ist von etwa 20 bis 30 Minuten zwischen den Messreihen auszugehen. In dieser Zeit werden der neue Volumenstrom eingestellt und die Rückkühlung kalibriert.

Muss der Prüfstand aber von 30 °C auf 60 °C erwärmt werden, kann es bis zu zwei Stunden dauern, bis der Prüfstand wieder stationär ist und mit der nächsten Messung begonnen werden kann.

## **Zeitkonstanten und Bereitschaftsverluste**

Bei der Aufnahme der Zeitkonstanten und der Messung der Bereitschaftsverluste ist die Versuchsdauer in erster Linie von der Kesselcharakteristik abhängig. So kann die Bereitschaftsverlustmessung eines Gusskessels mit großem Wasserinhalt bis zu 10 Stunden betragen. Es sind auch hier wieder die in der Norm festgelegten Prüfbedingungen zu beachten.

## **Dynamische Messungen**

Die Messung des Zeitverhaltens bzw. von Start- und Lastwechselphasen sind in sehr kurzer Zeit durchführbar. Lediglich ein Kaltstart lässt sich an einem Versuchstag seltener durchführen (je nach Kesselwasserinhalt).

## **Probleme bei den Prüfungen**

Probleme gab es bei der Messung des Teillastwirkungsgrades  $\eta_{30}$ . Für diese Prüfung gibt es unterschiedliche Prüfbedingungen in den Normen und es ist nicht ersichtlich, welcher Hersteller welche Prüfbedingungen zu Grunde gelegt hat. Die Ergebnisse von Teillastmessungen schwanken stark. Die Messung von Teillastwirkungsgraden wurde nicht vertieft, da dieser nicht im TRNSYS-Modell verwendet wird.

### 4.3 Messung des Wirkungsgrades

Der Prüfstand ermöglicht es, die zu- und abgeführten Energieströme bzw. Leistungen und damit den Wirkungsgrad von Heizkesseln zu ermitteln. In den Versuchen zur Ermittlung der stationären Wirkungsgrade werden über einen Zeitraum von 30 min alle Eingangsgrößen konstant gehalten bzw. es wird nur eine minimale Schwankung der Größen während des Versuches erlaubt.

Zur Berechnung des Wirkungsgrades werden die Energiemengen verwendet, die im gesamten Zeitraum von 30 min verzeichnet wurden. Korrekterweise wird somit ein Nutzungsgrad berechnet, der aber wegen der nahezu konstanten Energieströme auch dem Wirkungsgrad entspricht.

#### 4.3.1 Vorgeschriebene Prüfbedingungen

Tabelle 7 führt die Bedingungen auf, die für die normgerechte Prüfung des Wirkungsgrades eines Ölkessels im Nennleistungspunkt  $\eta_{100}$  nach DIN EN 304 vorgeschrieben sind. Tabelle 8 zeigt die Werte für die Messung von Gaskesseln nach EN 303-3.

Prüfbrennstoff	
Art	Heizöl oder Kerosin
Temperatur	Keine Vorgabe
Umgebung	
Temperatur	$\geq 15^\circ\text{C}$
Zuluft	
Luftüberschuss	Keine Vorgabe
Temperatur	Keine Vorgabe
Feuchte	Keine Vorgabe
Einstellung	
Leistung	100-105% der Nennleistung
Austrittstemperatur	80-90°C
Temperaturdifferenz zum Eintritt	10 -25 K
Übertemperatur	min. 50 K
Messvorgaben	
Betrieb vor Messung	1 h unter Volllast
Beharrungszustand	Wassertemperaturen auf $\pm 2$ K konstant
Definition Beharrungszustand	Änderung Wassertemperaturen $< 0,5$ K/h
Messdauer	2 x 30 min
Gesamte Unsicherheit	$\pm 2\%$

**Tabelle 7: Prüfbedingungen der Nennleistungs-Wirkungsgradprüfung ( $\eta_{100}$ ) nach DIN EN 304**

Prüfbrennstoff	Erdgas H	Erdgas L
Art	G 20 bzw. ab 300 kW Netzgas	G 25 bzw. ab 300 kW Netzgas
Temperatur	15°C (über Normierung)	
Druck	10 <sup>13</sup> mbar (über Normierung)	
Umgebung		
Temperatur	20°C	
Zuluft		
Luftüberschuss	1,4 – 0,1 · log ( $\dot{Q}_{\text{Nenn}}$ ) bzw. 1,2	
Temperatur	Keine Vorgabe (20°C)	
Feuchte	Keine Vorgabe	
Einstellung		
Leistung	Maximale Belastung	
Austrittstemperatur	80 $\pm$ 2°C	
Temperaturdifferenz zum Eintritt	20 $\pm$ 1 K	
Übertemperatur	min. 50 K	
Messvorgaben		
Betrieb vor Messung	1 h unter Volllast	
Beharrungszustand	Wassertemperaturen auf $\pm 2$ K konstant	
Definition Beharrungszustand	Änderung Wassertemperaturen $< 0,5$ K/h	
Messdauer	1 x 10 min	
Gesamte Unsicherheit	$\pm 2\%$	

**Tabelle 8: Prüfbedingungen der Nennleistungs-Wirkungsgradprüfung ( $\eta_{100}$ ) nach DIN EN 303-3**

### 4.3.2 Durchführung am Prüfstand

Am Beispiel der Prüfung eines Ölkessels wird die Prüfung erläutert. Bei Gaskesseln ergibt sich grundsätzlich die gleiche Vorgehensweise, sofern die Prüfbedingungen eingehalten werden.

Der zu testende Heizkessel ist ab Werk mit einem Temperaturbegrenzer ausgestattet. Dieser schaltet den Kessel bei einer Kesseltemperatur von ca. 82°C ab. Da während der Prüfung Temperaturen oberhalb dieses Wertes möglich sind, wird für die Dauer der Prüfung der Regeltemperaturfühler des Kessels vom Einbauort entfernt und außerhalb des Kessels positioniert. Dadurch ist ebenfalls der Sicherheitstemperaturbegrenzer (STB) außer Betrieb.

Bei einer Umgebungstemperatur von beispielsweise 24°C im Prüflabor wird ein Betriebspunkt mit einer Eintrittstemperatur von 70°C und einer Austrittstemperatur von 85°C festgelegt. Damit sind die vorgeschriebenen Werte eingehalten (Differenz Ein-/Austritt 15 K, Über-temperatur 53,5 K). Der für den Temperaturhub von 15 K notwendige Massenstrom wird mit der vom Hersteller angegebenen Nennwärmeleistung berechnet:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{\text{Nenn}}}{c_p \cdot (\vartheta_e - \vartheta_{\text{in}})} = \frac{19000 \text{ W}}{1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kgK}} \cdot (85 - 70)\text{K}} = 1090 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (9)$$

Der Heizkessel wird auf Handschaltung gestellt, der Drehschalter wird auf 90°C eingestellt, dieser Wert ist unter den gegebenen Bedingungen vom Heizkessel nicht zu erreichen (Regeltemperaturfühler außerhalb des Kessels). Der Heizkessel wird somit mit voller Heizleistung betrieben.

Für jede der durchgeführten Messungen werden permanent die Umgebungs-, Zuluft-, Abgas-, Heizwasser ein- und -austritts- sowie Kesseltemperatur erfasst. Außerdem werden Wassermassenstrom und die elektrische Leistungsaufnahme aufgezeichnet. Zusätzlich wird die vom Kessel aufgenommene Ölmenge über die Wiegung des Ölvorratsbehälters bestimmt.

Außerdem wird innerhalb jeder Messung eine Abgasanalyse mit einem entsprechenden Messgerät durchgeführt, aus deren Daten u. a. der feuerungstechnische Wirkungsgrad ermittelt wird.

### 4.3.3 Berechnungsmethode

#### Abgegebene Energiemenge

Für den Prüfzeitraum wird in jedem aufgenommenen Messpunkt (Zeitschritt  $t_{\text{Step}} = 2 \text{ s}$ ) die Wärmemenge des Kessels aus Volumenstrom und den Temperaturen am Ein- und Austritt bestimmt:

$$\begin{aligned} Q_{K,i} &= \dot{V}_K \cdot \rho_W \cdot (c_{p,e} \cdot \vartheta_e - c_{p,in} \cdot \vartheta_{\text{in}}) \cdot t_{\text{Step}} \\ &= \dot{V}_K \cdot \rho_W \cdot (c_{p,e} \cdot \vartheta_e - c_{p,in} \cdot \vartheta_{\text{in}}) \cdot 2 \text{ s} \end{aligned} \quad (10)$$

Die Dichte des Heizwassers wird in Abhängigkeit der Fluidtemperatur mit einem Polynom 8. Grades ermittelt, das aus den entsprechenden Angaben des VDI-Wärmeatlas [Gn02] entwickelt wurde. Als Fluidtemperatur wird hier die gemessene Temperatur am Kesselaustritt verwendet, da hier auch das Volumenstrommessgerät eingebaut ist.

Die spezifischen Wärmekapazitäten werden ebenfalls mithilfe einer Funktion bestimmt, die aus den Werten des VDI-Wärmeatlas abgeleitet ist (5fache Exponentialfunktion). Als Fluidtemperatur wird jeweils der arithmetische Mittelwert aus Ein- und Austrittstemperatur verwendet.

Für jede der Einzelmessung wird ebenfalls die Standardunsicherheit berechnet nach:

$$u_i(\dot{Q}_K) = \sqrt{\left(t_{\text{Step}} \cdot \rho_W \cdot (c_{p,e} \cdot \vartheta_e - c_{p,in} \cdot \vartheta_{in})\right)^2 \cdot u^2(\dot{V}_K) + \left(t_{\text{Step}} \cdot \dot{V}_K \cdot \rho_W \cdot c_{p,e}\right)^2 \cdot u^2(\vartheta_e) + \left(-t_{\text{Step}} \cdot \dot{V}_K \cdot \rho_W \cdot c_{p,in}\right)^2 \cdot u^2(\vartheta_{in})} \quad (11)$$

Die Kesselenergiemenge über den Messzeitraum entspricht der Summe der Energiemengen aus jedem Zeitschritt. Startpunkt des Summenintervalls ist der erste Messwert nach dem Versuchsstart  $i = 1$  (d.h. startet der Versuch zum Zeitpunkt  $x$ , wird die Energiemenge dieses Zeitschrittes  $i = 0$  nicht in die Summe aufgenommen, da diese mit einer Ölmenge erbracht wurde, die der Differenz aus diesem Zeitschritt und dem davor liegendem Zeitschritt  $i = -1$  entspricht). Bei einem Messintervall von 2 s werden im Messzeitraum von 30 min 900 Werte aufgenommen.

$$Q_K = \sum_{i=1}^n Q_{K,i} = \frac{1}{900} \sum_{i=1}^{900} Q_{K,i} \quad (12)$$

Die Unsicherheit der Energiemenge ergibt sich aus den Unsicherheiten der Einzelmessungen. Hierbei wurde näherungsweise davon ausgegangen, dass keine Korrelation zwischen den einzelnen Werten vorliegt, dies ist in dem Sinne eine Näherung, da die Temperaturen und Volumenströme in jedem Zeitschritt mit den gleichen Kalibrierfunktionen korrigiert wurden:

$$u(\dot{Q}_K) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(Q_K)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{900} u_i^2(Q_K)} \quad (13)$$

### Aufgenommene Energiemenge

Die Wärmebelastung gibt an, welche Energiemenge der Kessel über den Brennstoff im Messzeitraum aufgenommen hat. Diese bestimmt sich bei einer Ölkesselmessung über den Brennwert des Heizöles und der in der Versuchszeit verbrauchten Ölmenge. Die verbrauchte Ölmenge entspricht der Differenz der Messungen beim Beginn und beim Ende eines Versuchs:

$$Q_{\text{Bel}} = (m_{\text{Öl,Start}} - m_{\text{Öl,Ende}}) \cdot H_{S,\text{Öl}} = \Delta m_{\text{Öl}} \cdot H_{S,\text{Öl}} \quad (14)$$

Der Brennwert des verwendeten Heizöles ist vom Institut für Verfahrensoptimierung und Entsorgungstechnik IVE der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften ermittelt worden [Ro10]:

$$H_{S,\text{Öl}} = 45022 \pm 575 \text{ kWs/kg} \quad (15)$$

Die Unsicherheit der mit dem Öl aufgenommenen Energiemenge entspricht:

$$u(\dot{Q}_{\text{Bel}}) = \sqrt{(H_{\text{S,Öl}})^2 \cdot 2 \cdot u^2(m_{\text{Öl}}) + (m_{\text{Öl,Start}} - m_{\text{Öl,Ende}})^2 \cdot u^2(H_{\text{S,Öl}})} \quad (16)$$

Bei einer Gaskesselmessung ergibt sich die aufgenommene Energiemenge aus dem Brennwert des Erdgases und dem in der Versuchszeit verbrauchten Erdgasvolumen:

$$Q_{\text{Bel}} = V_{\text{Gas}} \cdot H_{\text{S,Gas}} \quad (17)$$

Der Brennwert des Erdgases wird kontinuierlich von einem Prozessgaschromatograph, welcher sich im angrenzenden Labor für Gas- und Verbrennungstechnik der Ostfalia befindet, gemessen und zu Beginn und am Ende jeder Messung abgelesen wird.

### Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad entspricht dem Verhältnis aus abgegebener zu aufgenommener Energiemenge:

$$\eta_K = \frac{Q_{\text{Nenn}}}{Q_{\text{Bel}}} \quad (18)$$

Die Messunsicherheit ist dementsprechend:

$$u(\eta_K) = \sqrt{\left(\frac{1}{Q_{\text{Bel}}}\right)^2 \cdot u^2(Q_{\text{Nenn}}) + \left(-\frac{Q_{\text{Nenn}}}{Q_{\text{Bel}}^2}\right)^2 \cdot u^2(Q_{\text{Bel}})} \quad (19)$$

Die so berechnete Standardmessunsicherheit entspricht nach [ENV] einem Grad des Vertrauens von 68.3%. Durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor  $k_p = 2$  wird die Unsicherheit mit einem Grad des Vertrauens von 95.45% berechnet:

$$u(\eta_{K,95.45\%}) = u(\eta_K) \cdot 2 \quad (20)$$

## 4.4 Messung der Bereitschaftsverluste

Der Betriebsbereitschaftsverlust gibt an, welche Energie der Kessel aufbringen muss, um ohne Nutzwärmeentzug das Heizungswasser im Kessel auf der Bereitschaftstemperatur zu halten. Der Bereitschaftsverlust entspricht somit der Menge an Energie, die zur Sicherstellung der Betriebsbereitschaft notwendig ist und ist daher ein Maß für die Wärmeverluste des Kessels an die Umgebung.

### 4.4.1 Vorgeschriebene Prüfbedingungen

Innerhalb der Prüfung wird der Kesselregelfühler auf eine Temperatur um 50 K über Umgebung eingestellt, wobei die eingestellte Temperatur eine Abweichung von  $\pm 3$  K aufweisen darf. Nach dem Aufheizen auf die entsprechende Kesseltemperatur, schaltet der Brenner ab. Beim nächsten Brennerstart beginnt die Messung.

Um eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu erhalten, ist das Kesselwasser nach dem Brennerstart in einem Bypass umzuwälzen. Die Zirkulation ist bis 3 min nach dem Ausschalten des Kessels aufrecht zu erhalten. Die Wärmeverluste, die durch die Zirkulation des Fluides durch den Bypass entstehen, sind bei der Berechnung des Bereitschaftsverlustes zu berücksichtigen.

Die Messung läuft über mehrere Perioden. Eine Periode ist die Zeit zwischen zwei Brennerstarts (d.h. Beginn ist beim Starten des Brenners, Ende beim nächsten Starten, siehe Darstellung in Abbildung 14).

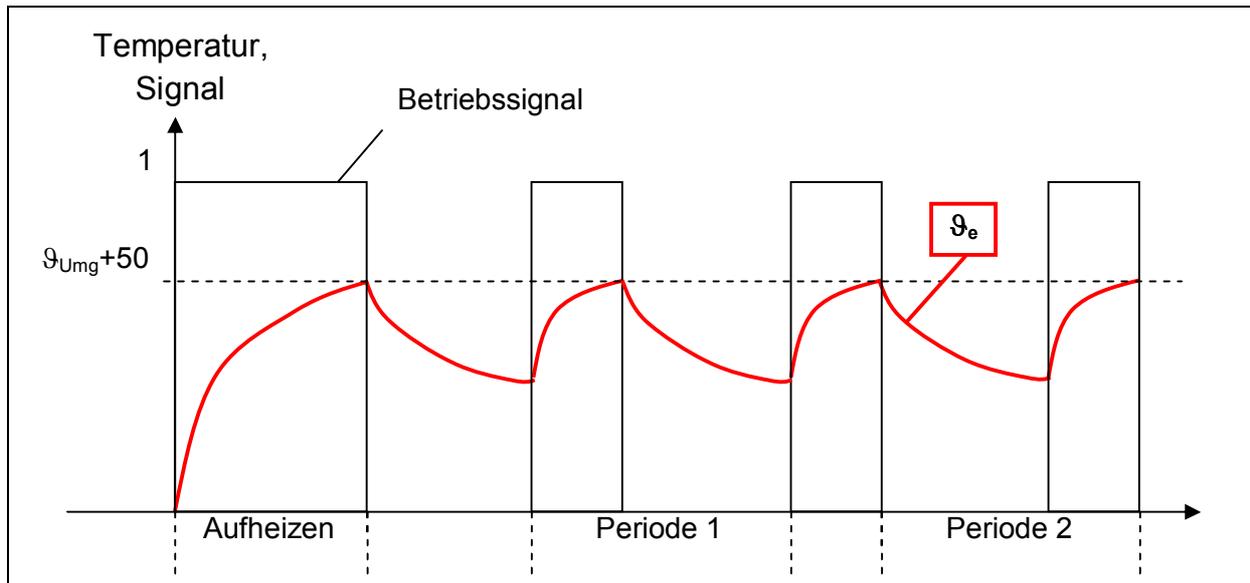


Abbildung 14: Ablauf der Prüfung für den Betriebsbereitschaftswärmeverlust<sup>2</sup>

Der Bereitschaftsverlust wird für jede Periode berechnet. Weichen zwei Folgeergebnisse nicht mehr als 5% voneinander ab, wird der Versuch beendet. In der folgenden Tabelle sind die Bedingungen zusammenfassend aufgeführt, die für die normgerechte Prüfung des Betriebsbereitschaftsverlustes nach DIN EN 304 bzw. DIN EN 303-3 vorgeschrieben sind.

Prüfbrennstoff	
Art	Heizöl/Kerosin bzw. G20 bei Erdgas H bzw. G25 bei Erdgas L
Temperatur	Keine Vorgabe
Umgebung	
Temperatur	Keine Vorgabe
Zuluft	
Luftüberschuss	Keine Vorgabe
Temperatur	Keine Vorgabe
Feuchte	Keine Vorgabe
Einstellung	
Leistung	Bestimmt Heizkessel
Austrittstemperatur	50 K über Umgebungstemperatur
Messvorgaben	
Messdauer	Zeit zwischen zwei Brennerstarts
Abweichung	Max. 5% zweier Folgeergebnisse

Tabelle 9: Prüfbedingungen der Betriebsbereitschaft nach DIN EN 304 und DIN EN 303-3

<sup>2</sup> Die Darstellung erfolgt ohne Berücksichtigung der Totzeit, d.h. der Ausschaltzeitpunkt (50°C über Umgebungstemperatur) wird hier nicht überschritten.

#### 4.4.2 Durchführung am Prüfstand

Für die Messung des Betriebsbereitschaftsverlustes ist zwingend notwendig, dass die Kesseltemperaturregelung in Betrieb ist. Im Gegensatz zur Prüfung des Wirkungsgrades bei Nennleistung darf der Regeltemperaturfühler des Kessels nicht von seinem Einbauort entfernt werden.

Ausgehend von der Umgebungstemperatur wird der Kesselregler auf eine Temperatur von 50 K über dieser eingestellt. Der Kessel startet und wird aufgeheizt. Nach Ausschalten des Kessels kühlt dieser ab. Die Abkühldauer hängt von der Kesselkonstruktion (Speichermassen, Dämmung usw.) ab. Bei den getesteten Ölkesseln dauerte dieser Prozess ca. 2,5 Stunden.

Beim nächsten Einschalten des Kessels beginnt die Messung. Zeitnah zum Einschalten wird die Umwälzpumpe zugeschaltet, um das Heizwasser durch den Bypass zu fördern. Nach dem Ausschalten des Kessels wird die Umwälzung wie vorgeschrieben 3 min aufrechterhalten. Dann wird die Pumpe ausgeschaltet und der Kessel kühlt wieder ab bis mit dem nächsten Start die folgende Messung beginnt.

Für die Unsicherheit der einzelnen Messwerte, siehe Abschnitt 4.3.3.

#### 4.4.3 Berechnungsmethode

Für die Berechnung des Betriebsbereitschaftsverlustes ist die Menge des verbrauchten Heizöls bzw. Erdgases über die Messperiode zu ermitteln.

#### Wärmeverluste des Bypasses

Da während des Kesselbetriebs die Umwälzpumpe das Heizwasser durch den Bypass fördert, entstehen hier Wärmeverluste, die nicht durch Oberflächenverluste des Kessels hervorgerufen werden. Zunächst sind somit diese Wärmeverluste der Bypassleitung innerhalb der Messperiode zu ermitteln.

Die Wärmeverluste entsprechen der Wärme, die der Kessel aufbringen muss, um das eintretende Fluid auf die Austrittstemperatur zu erwärmen. Befindet sich beispielsweise im Bypass ein Wasserinhalt von 10 l bei Umgebungstemperatur, muss diese Menge zusätzlich vom Kessel auf ein Temperaturniveau von 50 K über Umgebungstemperatur angehoben werden. Der Ölverbrauch für diesen Temperaturhub wird somit nicht durch die Oberflächenverluste des Kessels hervorgerufen.

Darüber hinaus weist das Rohr selbst während der Zeit der Durchströmung (3 min) Oberflächenverluste durch Auskühlung aus.

Für jede Einzelmessung wird der Wärmeverlust bestimmt, indem die Wärmeleistung in jedem Zeitschritt mit der Dauer eines Zeitschrittes (hier 2 s) multipliziert wird:

$$Q_{K,i} = \dot{V}_K \cdot \rho_W \cdot (c_{p,e} \cdot \vartheta_e - c_{p,in} \cdot \vartheta_{in}) \cdot t_{\text{Zeitschritt}} \quad (21)$$

Dementsprechend lässt sich die Unsicherheit für jede Einzelmessung bestimmen. Der gesamte Wärmeverlust ergibt sich für den Zeitraum bei eingeschaltetem Volumenstrom, d.h. während des Kesselbetrieb und der Nachlaufzeit von 3 min. Da es für die anderen Wärmeverluste aufgrund des nicht vorhandenen Volumenstroms nach Formel (21) keinen Wert ergibt, ergibt sich der gesamte Wärmeverlust durch Aufsummierung aller Werte über den Prüfzeitraum:

$$Q_V = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{V,i} \quad (22)$$

bei einer Unsicherheit von:

$$u(Q_V) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(Q_V)} \quad (23)$$

### Brennstoffmenge für die Wärmeverluste des Bypasses

Für den Wärmeverlust des Bypasses muss die benötigte Brennstoffmenge bestimmt werden. Unter der Annahme dass der Kessel nicht im Brennwertbetrieb arbeitet (Berücksichtigung des Heizwertes des verwendeten Brennstoffes), lässt sich die Masse des verbrauchten Brennstoffes mit dem Wirkungsgrad bei Nennleistung bestimmen. Für den Brennstoff Öl lautet die Gleichung:

$$m_{\text{Öl,Verlust}} = \frac{Q_{V,\text{Bel}}}{H_{i,\text{Öl}}} = \frac{Q_V}{\eta_{100} \cdot H_{i,\text{Öl}}} \quad (24)$$

Für den Wirkungsgrad bei Nennleistung wird die Angabe des Herstellers (hier 95.2%) verwendet. Als Unsicherheit des Wirkungsgrades wird die in der Norm geforderte maximale Gesamtunsicherheit von 2% verwendet. Damit ergibt sich als Unsicherheit der Brennstoffmenge:

$$u(m_{\text{Öl,Verlust}}) = \sqrt{\left(\frac{1}{\eta_{100} \cdot H_{i,\text{Öl}}}\right)^2 \cdot u^2(Q_V) + \left(-\frac{Q_V}{(\eta_{100})^2 \cdot H_{i,\text{Öl}}}\right)^2 \cdot u^2(\eta_{100})} \quad (25)$$

### Brennstoffmenge für die Betriebsbereitschaft

Für einen Ölkessel errechnet sich die Brennstoffmenge, die für die Betriebsbereitschaft benötigt wird, als Differenz der Ölmasse vor und nach dem Versuch abzüglich des Ölbedarfs für den Wärmeverlust im Bypass:

$$m_{\text{Öl,B}} = (m_{\text{Öl,Start}} - m_{\text{Öl,Ende}}) - m_{\text{Öl,Verlust}} = \Delta m_{\text{Öl}} - m_{\text{Öl,Verlust}} \quad (26)$$

bei einer Unsicherheit von:

$$u(m_{\text{Öl,B}}) = \sqrt{u(m_{\text{Öl,Start}})^2 + u(m_{\text{Öl,Ende}})^2 + u(m_{\text{Öl,Verlust}})^2} \quad (27)$$

### Bereitschaftsverlust

Der Berechnung des Bereitschaftsverlustes erfolgt nach EN 304:

$$q = \frac{m_{\text{Öl,B}}}{\dot{m}_{\text{Öl,Nenn}} \cdot t_{\text{Versuch}}} \quad (28)$$

mit den Massenstrom bei Nennleistung von:

$$\dot{m}_{\text{Öl,Nenn}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Bel,Nenn}}}{H_{i,\text{Öl}}} \quad (29)$$

Die Unsicherheit des Bereitschaftsverlustes berechnet sich mit (für den Massenstrom bei Nennleistung wird keine Unsicherheit angenommen):

$$u(q) = \sqrt{\left(\frac{1}{\dot{m}_{\text{Öl,Nenn}} \cdot t_{\text{Versuch}}}\right)^2 \cdot u^2(m_{\text{Öl,B}})} \quad (30)$$

### Temperaturkorrektur des Bereitschaftsverlustes

Der Betriebsbereitschaftsverlust entspricht dem Bereitschaftsverlust, wenn die Kesseltemperatur 50 K über der Umgebungstemperatur liegt. Liegt innerhalb der Messung die Kesseltemperatur nicht genau 50 K über der Umgebungstemperatur ist nach EN 304 folgende Korrektur für Ölkessel bzw. nach EN 303-3 für Gaskessel durchzuführen.

$$Q_B = q \cdot \left(\frac{50 \text{ K}}{\Delta\vartheta_{\text{Mess}}}\right)^{1,15} \quad (31)$$

Die Temperaturdifferenz entspricht dabei der Differenz Kessel zur Umgebung:

$$\Delta\vartheta_{\text{Mess}} = \vartheta_{\text{Kessel}} - \vartheta_a \quad (32)$$

Für die Versuchsdurchführung musste aber der Kesseltemperaturfühler entfernt werden, daher wird hier die Temperatur als arithmetisches Mittel aus Ein- und Austrittstemperatur gebildet:

$$\Delta\vartheta_{\text{Mess}} = \frac{\vartheta_{\text{In}} + \vartheta_{\text{e}}}{2} - \vartheta_a \quad (33)$$

Diese Berechnung macht allerdings nur Sinn, wenn die Umwälzpumpe eingeschaltet ist, dies entspricht dem Zeitraum vom Messbeginn (Kessel schaltet ein) bis zu Ausschalten der Kesselpumpe (3 min nach Kessel aus). Die sich hier ergebende Temperatur entspricht jedoch nicht der Kesseltemperatur innerhalb des Versuches (beim Aufheizen wahrscheinlich höher als beim gesamten Zyklus aus Aufheizen und Abkühlen).

Hierdurch entsteht eine Verfahrensunsicherheit, die nicht genau quantifiziert werden kann, aber bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

Die Messunsicherheit der Temperaturdifferenz entspricht:

$$u(\Delta\vartheta_{\text{Mess}}) = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot u(\vartheta_{\text{In}}) + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot u(\vartheta_{\text{e}}) + (-1)^2 \cdot u(\vartheta_a)} \quad (34)$$

Dies führt zu einer gesamten Unsicherheit für den Betriebsbereitschaftsverlustes von:

$$u(Q_B) = \sqrt{\left( \left( \frac{50}{\Delta \vartheta_{\text{Mess}}} \right)^{1.15} \right)^2 \cdot u^2(q) + \left( -q \cdot 50 \cdot 1.15 \cdot \left( \frac{1}{\Delta \vartheta_{\text{Mess}}} \right)^{2.15} \right)^2 \cdot u^2(\Delta \vartheta_{\text{Mess}})} \quad (35)$$

Die so berechnete Standardmessunsicherheit entspricht einem Grad des Vertrauens von 68.3%. Durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor  $k_p = 2$  wird die Unsicherheit mit einem Grad des Vertrauens von 95.45% berechnet:

$$u(Q_{B,95.45\%}) = u(Q_B) \cdot 2 \quad (36)$$

#### 4.5 Aufnahme der Zeitkonstanten und Startautomatik

Es wird angenommen, dass der Kessel im dynamischen Betrieb ein P-T<sub>1</sub>-T<sub>t</sub> Verhalten mit gleicher Zeitkonstante T<sub>1</sub> und gleicher Totzeit T<sub>t</sub> beim Aufheizen und Abkühlen nach dem Ein- und Ausschalten aufweist.

##### Bestimmung der Zeitkonstanten

Damit kann die Aufheiz- und Abkühlphase durch eine lineare Differenzialgleichung 1.Ordnung (e-Funktion) dargestellt werden. Die Zeitkonstante T<sub>1</sub> kann aus dem Schnittpunkt der Tangente an die Sprungantwort im Punkte t = 0 (nach Ablauf der Totzeit T<sub>t</sub>) mit der Temperatur des Kessels im stationären Zustand (maximal mögliche Temperatur) nach dem Sprung graphisch ermittelt werden (siehe Abbildung 15) [AP02].

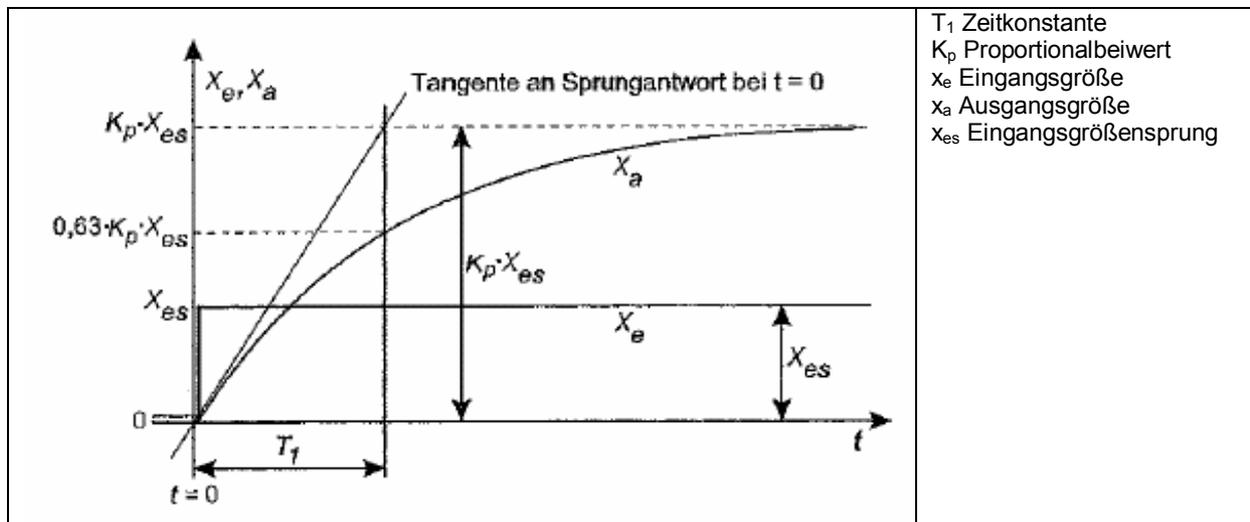


Abbildung 15: Sprungantwort eines P-T<sub>1</sub>-Gliedes [AP02]

Zum Zeitpunkt  $t = T_1$  werden ca. 63 % des Beharrungswertes erreicht. Somit kann auch eine rechnerische Auswertung der Zeitkonstanten durchgeführt werden.

##### Weitere Festlegungen

Für alle Kessel wird dieses Verfahren im Grundsatz angewendet. Da die Kessel je nach Bauart ein unterschiedliches Aufheizverhalten zeigen, werden zur Ermittlung der Zeitkonstanten weitere Festlegungen getroffen, die nachfolgend beschrieben werden.

Einer der vermessenen Kessel besitzt eine Vollast- und eine Grundlaststufe. Für folgende Leistungsänderungen werden Tot- und Verzögerungszeiten ermittelt:

- Aufheizen des Kessels von 0% auf 100%
- Aufheizen des Kessels von 60% auf 100%
- Abkühlen des Kessels von 100% auf 0%
- Abkühlen des Kessels von 100% auf 60%
- Abkühlen des Kessels von 60% auf 0%.

Folgende Messpunkte werden dabei betrachtet (Vorlauf-/Rücklaufftemperatur):

- 40/30°C; 50/30°C; 60/30°C
- 55/45°C; 65/45°C; 75/45°C
- 70/60°C; 80/60°C; 85/60°C

Für jede Temperaturpaarung werden bis zu drei Messungen durchgeführt. Nachfolgend werden die Festlegungen für die Aufnahme der Zeitkonstanten aufgeführt.

Bei den anderen Testkesseln wurden die Zeitkonstanten an weniger Messpunkten bestimmt.

#### **Aufheizkurve von 0% auf 100% Leistung**

Bei nahezu gleicher Vor- und Rücklaufftemperatur (Abweichung < 0,5 K) wird der Kessel von Hand auf Vollast (100%) eingeschaltet (Beginn der Totzeit) und bei konstanter Rücklaufftemperatur auf die maximale Temperaturdifferenz gefahren.

Ist die Vorlaufftemperatur um ca. 0,5 Kelvin angestiegen, endet die Totzeit und die Verzögerungszeit beginnt. Ist die Vorlaufftemperatur auf ca. 63 % der maximalen Temperaturdifferenz angestiegen, endet die Verzögerungszeit.

Wenn die maximale Temperatur erreicht und konstant ist, wird die Messung beendet.

Die Messung kann auch zur Auswertung der Abgaszeitkonstante verwendet werden. Die Verzögerungszeit der Abgastemperatur beginnt mit der Zündung des Kessels und endet, wenn 63 % der maximalen Temperatur am Ende der Messung erreicht ist. Eine Totzeit wird nicht bestimmt.

Abbildung 16 zeigt die Zusammenhänge an einer Beispielmessung.

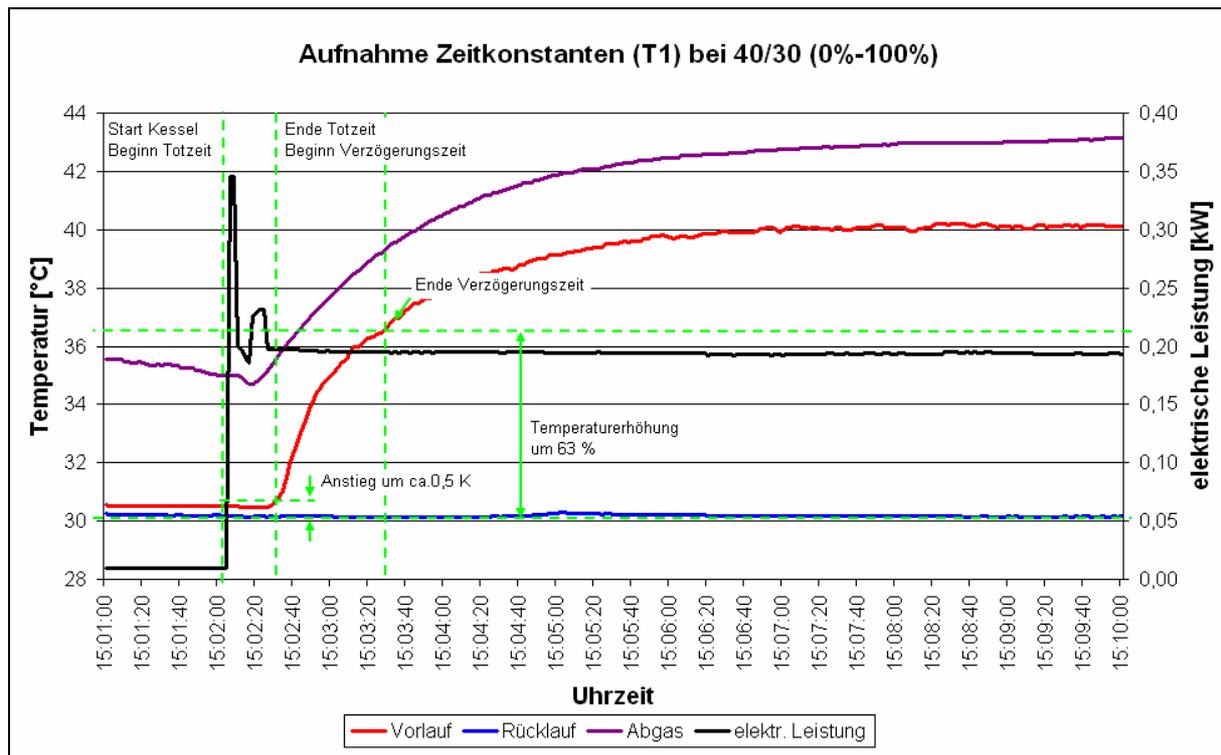


Abbildung 16: Aufnahme Aufheizkurve

### Aufheizkurve von 60% auf 100% Leistung

Die Vorlauftemperatur wird für mindestens eine Minute konstant gehalten, während der Kessel 60% der Kesselleistung hat. Von Hand wird die Leistung von 60% auf 100% gesteigert. Ist die Leistungsänderung an der elektrischen Leistungsaufnahme erkennbar, beginnt die Totzeit.

Steigt die Vorlauftemperatur um 0,5 K an, endet die Totzeit und die Verzögerungszeit beginnt. Ist die Vorlauftemperatur auf ca. 63 % der maximalen Temperaturdifferenz angestiegen, endet die Verzögerungszeit. Die Rücklauftemperatur wird über den gesamten Messzeitraum konstant gehalten. Wenn die maximale Temperatur erreicht und konstant ist, wird die Messung beendet und die Zeitkonstanten des Kesselwasserkreises können berechnet werden.

Die Messung kann auch zur Auswertung der Abgaszeitkonstante verwendet werden. Die Verzögerungszeit beginnt, wie bei der Vorlauftemperatur, wenn die Leistungsänderung an der elektrischen Leistungsaufnahme erkennbar ist. Ist die Abgastemperatur um ca. 63 % gestiegen (Differenz zwischen Start- und Endwert), endet die Verzögerungszeit. Eine Totzeit wird nicht bestimmt.

### Abkühlkurven

Die Vorlauftemperatur wird für mindestens eine Minute konstant bei der eingestellten Kesselleistung gehalten. Von Hand wird die Leistung entsprechend geändert. Ist diese Leistungsänderung an der elektrischen Leistungsaufnahme erkennbar, beginnt die Totzeit. Sinkt die Vorlauftemperatur um 0,5 K ab, endet die Totzeit und die Verzögerungszeit beginnt. Ist die Vorlauftemperatur auf ca. 63 % der maximalen Temperaturdifferenz abgefallen, endet die Verzögerungszeit.

Die Rücklauftemperatur wird über den gesamten Messzeitraum konstant gehalten. Wenn die Vor- und Rücklauftemperatur nahezu gleich und konstant sind (Abweichung < 0,5 K), wird die Messung beendet.

Für die Abgaszeitkonstanten ergibt sich folgendes: die Verzögerungszeit beginnt, wenn die Leistungsänderung an der elektrischen Leistungsaufnahme erkennbar ist. Ist die Abgastemperatur um ca. 63 % abgefallen (Differenz zwischen Start- und Endwert), endet die Verzögerungszeit. Eine Totzeit wird nicht bestimmt.

Abbildung 17 zeigt die Zusammenhänge an einer Beispielmessung.

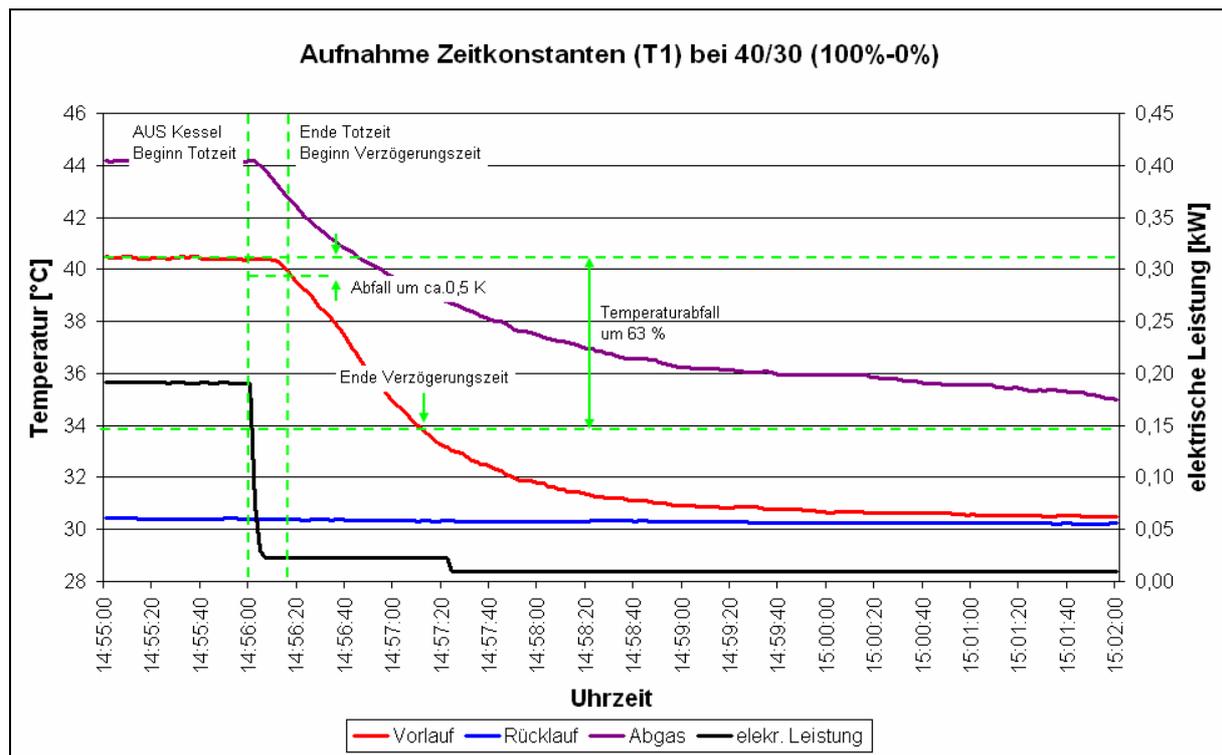


Abbildung 17: Aufnahme Abkühlkurve

### Zusatz zur Auswertung der Totzeit

Die Totzeit lässt sich in zwei Anteile differenzieren. Der erste Anteil ist immer gleich und besteht aus dem Ablauf der Startautomatik. Die Startautomatik schließt bei einem Ölkessel beispielsweise die Ölvorwärmung (nur bei einem "Kaltstart" von Bedeutung) und das Vorspülen des Gebläses ein.

Der zweite Anteil beginnt mit der Zündung der Flamme (bzw. wenn ein Flammensignal vorliegt). Dieser Zeitpunkt kann bei einzelnen Kesseln mit einer vom Hersteller mitgelieferten Software ausgelesen werden.

Der zweite Anteil ist abhängig von der Kesseltemperatur und dem Volumenstrom. Er beginnt mit der Zündung der Flamme und endet mit dem Anstieg der Vorlauftemperatur. Wie bei der Verzögerungszeit wurden auch hier drei Messungen durchgeführt, ausgewertet und daraus der Mittelwert gebildet.

## 5 Ergebnisse der Kesselprüfung

Auf dem Kesselprüfstand wurden insgesamt vier unterschiedliche Heizkessel von vier verschiedenen Herstellern vermessen. Es handelte sich dabei um jeweils zwei Öl- und Gaskessel. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Grunddaten der Kessel, die vorgenommenen Prüfungen und die Ergebnisse vorgestellt und bewertet. Alle Angaben erfolgen ohne Kennzeichnung des Herstellers, daher werden auch für die Grunddaten der einzelnen Kessel keine Quellen angegeben.

### 5.1 Kessel O1

#### 5.1.1 Grunddaten des Kessels

Bei dem zuerst vermessenen Kessel handelt es sich um einen zweistufigen Ölbrennwertkessel. Nachfolgend sind die wichtigsten technischen Daten des Kessels aufgeführt. Zur besseren Anonymisierung sind einzelnen Wert leicht geändert dargestellt.

Nennwärmeleistung 1. / 2. Stufe	11,1 kW / 19,2 kW
Kesselmasse	115 kg
Kesselwasserinhalt	54,0 Liter
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung <sup>3</sup>	91,4 %
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung	92,0 %
Betriebsbereitschaftsverlust	0,89 %

#### 5.1.2 Durchgeführtes Messprogramm und Erläuterung des Anhangs

Insgesamt wurden 211 stationäre Messungen, 27 Messungen zur Bestimmung der Zeitkonstanten (Verzögerungszeit und Totzeit) beim Aufheizen und Abkühlen und 12 Messungen zum dynamischen Verhalten des Kessels bei aktiver Regelung durchgeführt. Des Weiteren wurden je zwei Messungen zum Bereitschaftsverlust und zum Teillastwirkungsgrad ( $\eta_{30}$ ) vorgenommen. Eine Übersicht der einzelnen Messungen befindet sich im Anhang. Dort sind alle Messungen unter Angabe der eingestellten Kesselleistung, Fluidtemperaturen, Massenstrom und Anzahl der einzelnen Versuche aufgeführt.

---

<sup>3</sup> Wirkungsgrade sind gemessen bei 60°C Eintrittstemperatur und bezogen auf den Brennwert

### 5.1.3 Wirkungsgradmessung $\eta_{100}$

Unter stationären Betriebsbedingungen wurde am Prüfstand der Kesselwirkungsgrad ( $\eta_{100}$ ) gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu wurden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 304 eingestellt, dies betrifft die Wassereintrittstemperatur, die Kesselleistung, den Massenstrom und den Luftüberschuss.

Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse der insgesamt 12 Wirkungsgradmessungen.

Die 12 Messungen wurden mit zwei unterschiedlichen Ölchargen durchgeführt. Der Brennwert der beiden Chargen betrug 45,154 MJ/kg (Öl 1) bzw. 45,117 MJ/kg (Öl 2). Der Mittelwert der ersten Messreihe, bestehend aus drei Einzelmessungen (Messung 1-3), lag bei 89,5 % und der der zweiten Messreihe (Messung 4-12) bei 89,1 %. Der daraus resultierende Mittelwert von 89,2 % liegt deutlich, nämlich ca. 2,2 %, unter den Herstellerangaben.

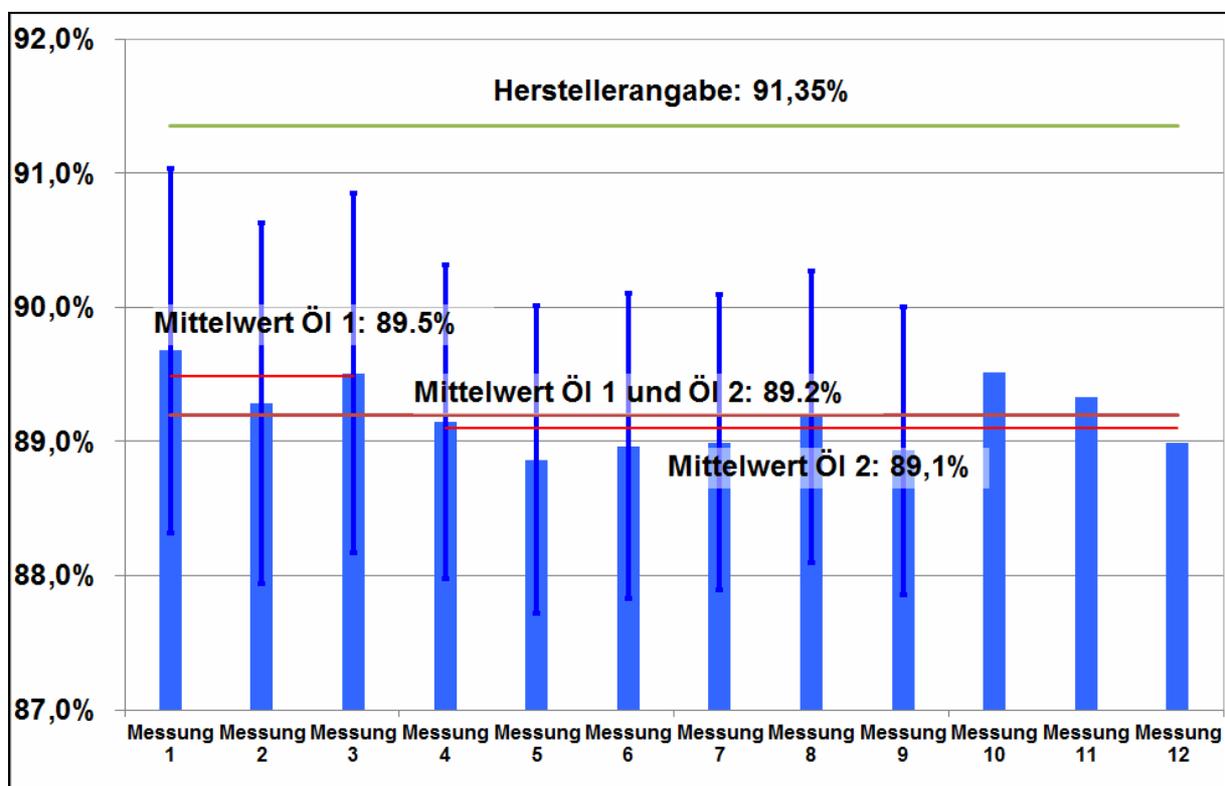


Abbildung 18: Vergleich des gemessenen Wirkungsgrads mit Herstellerangaben – Kessel O1

### 5.1.4 Wirkungsgradmessung $\eta_{30}$

An diesem Kessel wurden zunächst Messungen zum Teillastwirkungsgrad  $\eta_{30}$  durchgeführt. Da die Ergebnisse aber starken Schwankungen unterlagen, und aus den Herstellerunterlagen nicht ersichtlich war, nach welchen Prüfbedingungen der Wirkungsgrad gemessen wurde, wurde auf weitere Messungen verzichtet. Hinzu kommt auch, dass die Ergebnisse nicht im TRNSYS-Modell verwendet werden.

### 5.1.5 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

Unter stationären Betriebsbedingungen wurde am Prüfstand der feuerungstechnische Wirkungsgrad ( $\eta_f$ ) gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu wurden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 304 eingestellt, dies betrifft die Wassereintrittstemperatur, die Kesselleistung, den Massenstrom und den Luftüberschuss.

Die nachfolgende Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse der insgesamt 12 Wirkungsgradmessungen.

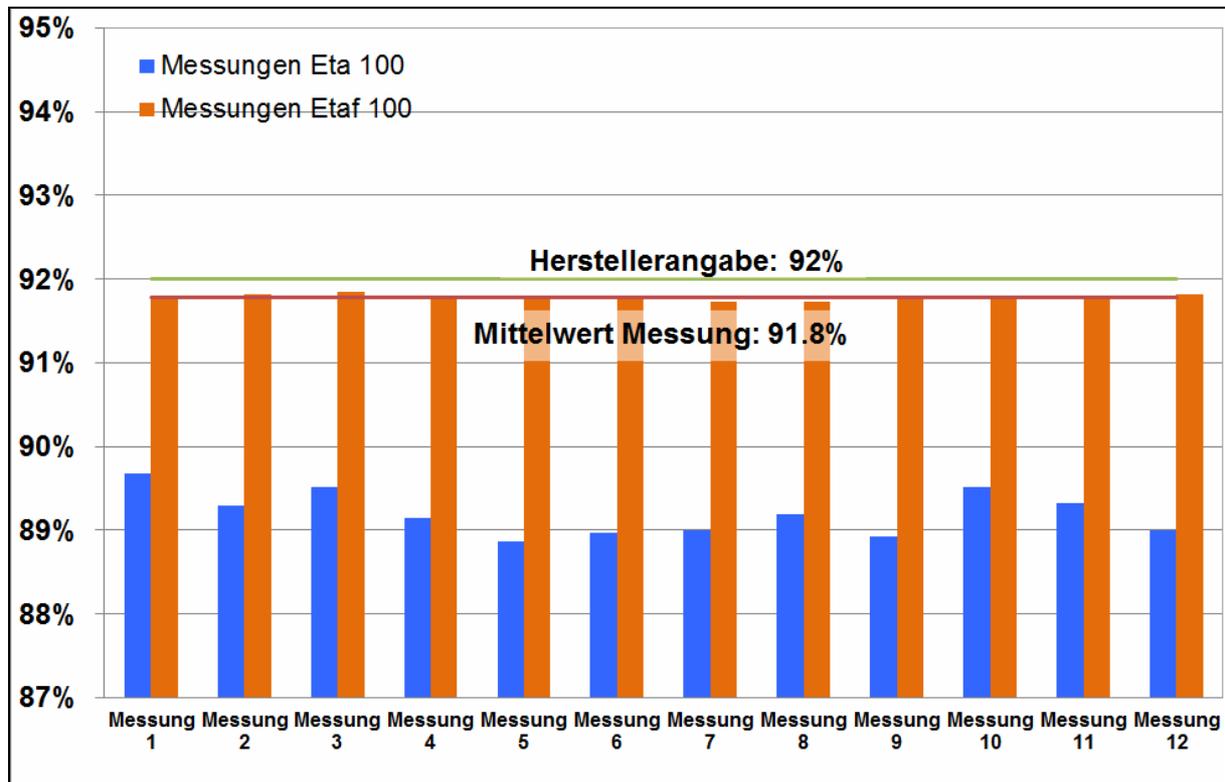


Abbildung 19: Vergleich des gemessenen feuerungstechnischen Wirkungsgrads mit Herstellerangaben – Kessel O1

Die 12 Messungen wurden ebenfalls mit zwei unterschiedlichen Ölchargen durchgeführt, da sie zeitgleich zu den Kesselwirkungsgradmessungen abliefen. Der Mittelwert von 91,8 % liegt nur knapp, nämlich ca. 0,2 %, unter den Herstellerangaben. Zum Vergleich ist auch der Kesselwirkungsgrad aufgetragen.

### 5.1.6 Andere Wirkungsgradmessungen

Neben dem  $\eta_{100}$  wurden noch weitere Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Rücklauftemperaturen, Volumenströmen (bzw. Temperaturdifferenz) und Kesselleistungen aufgenommen, um das TRNSYS-Modell zu validieren. Es wurden ebenfalls bei diesen Messungen die Prüfbedingungen der DIN EN 304 eingehalten.

Die nachfolgende Abbildung 20 zeigt den Kesselwirkungsgrade (bezogen auf den Brennwert) und den feuerungstechnischen Wirkungsgrad bei Volllast (100%) und Teillast (60%) aufgetragen über der Eintrittstemperatur bei unterschiedlichen Massenströmen.

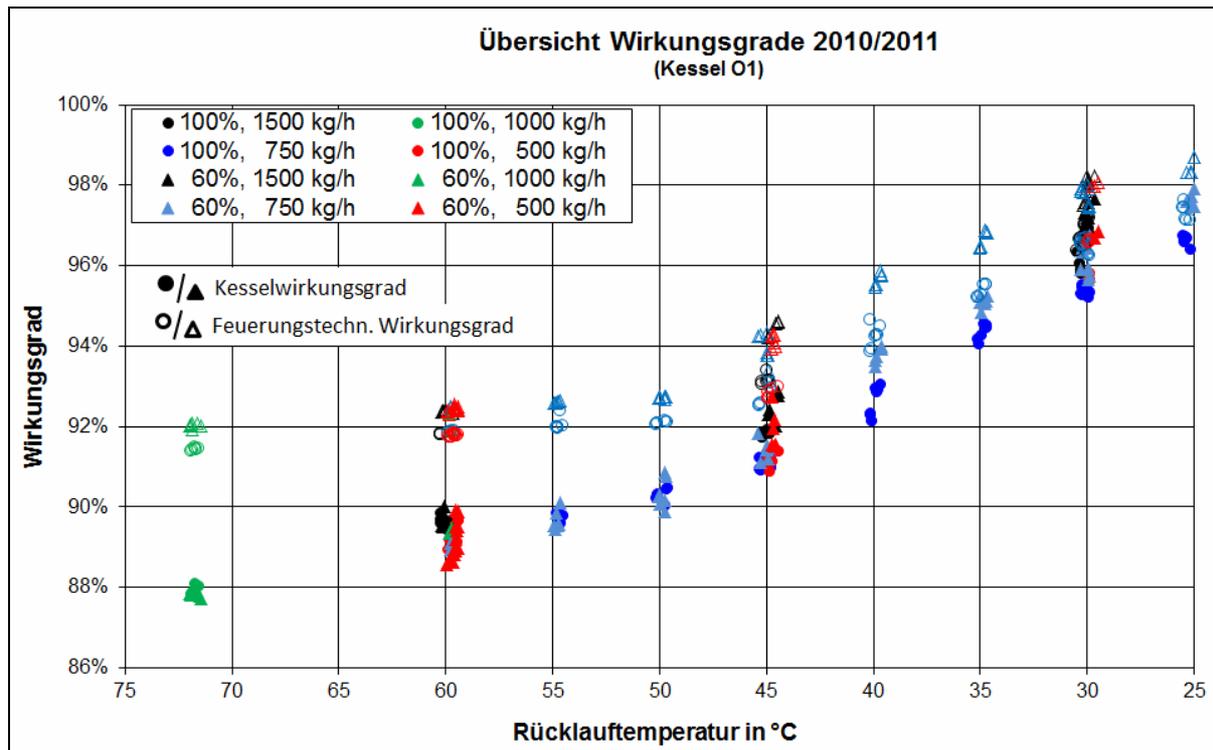


Abbildung 20: Kessel- und feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Volumenströmen und Kesselleistungen aufgetragen über der Rücklauftemperatur – Kessel O1

Bei den ausgefüllten Kreisen und Dreiecken handelt es sich um den Kesselwirkungsgrad ( $\eta_{100}$ ) und bei den offenen Kreisen und Dreiecken um den feuerungstechnischen Wirkungsgrad ( $\eta_f$ ).

In der Abbildung ist deutlich zusehen, dass beide Wirkungsgrade bei niedrigen Rücklauftemperaturen ansteigen. Dies hängt mit der Kondensation des Abgases zusammen. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Änderung des Massenstromes bei gleicher Rücklauftemperatur nur geringe Auswirkung (ca. 0,5 bis 1,0%) auf den Kesselwirkungsgrad hat. Beim feuerungstechnischen Wirkungsgrad ist die Differenz kleiner.

### 5.1.7 Kennfelder Kondensatmenge

Während der Messungen zum Wirkungsgrad wurde nach jedem Versuch die angefallene Kondensatmenge aufgefangen und gewogen. In nachfolgender Abbildung 21 und Abbildung 22 sind die Kondensatmenge, die mittlere Abgastemperatur und die Abgasfeuchte in Abhängigkeit von der Eintrittstemperatur und der Belastung aufgetragen.

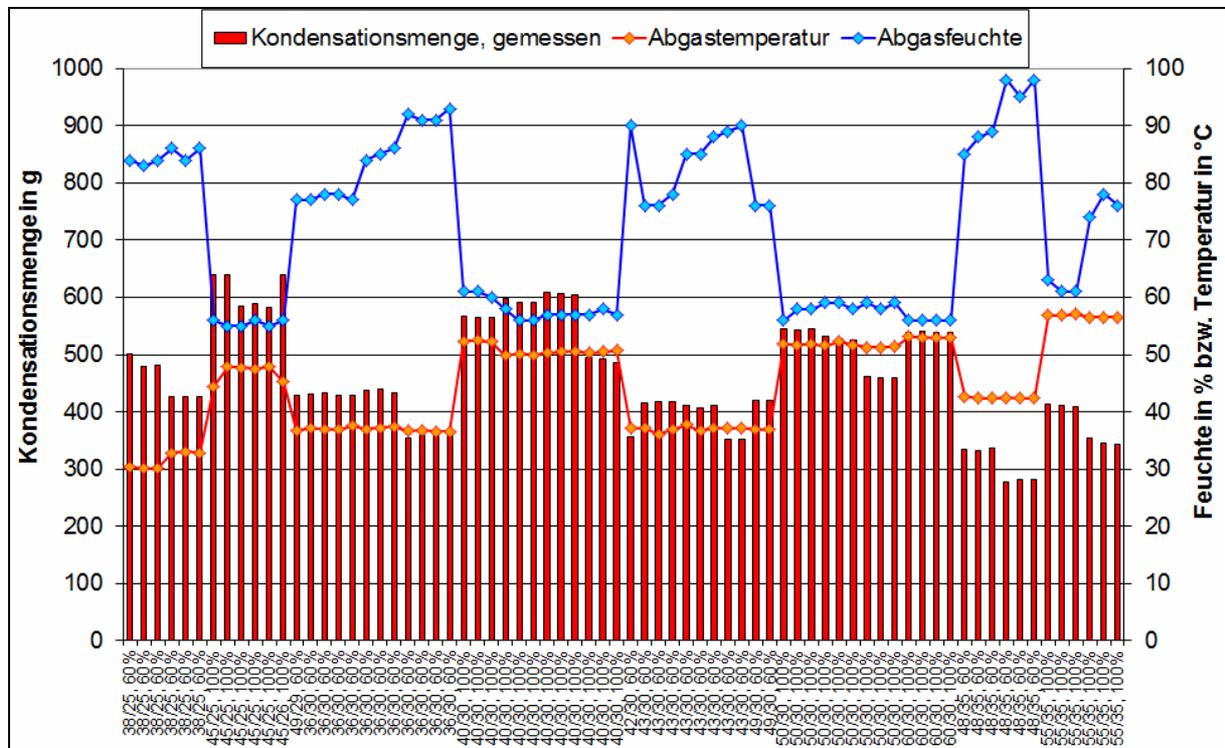


Abbildung 21: Übersicht der Kondensatmenge, Abgastemperatur und Abgasfeuchte in Abhängigkeit der Belastung und der Eintrittstemperatur – Kessel O1 (Teil 1)

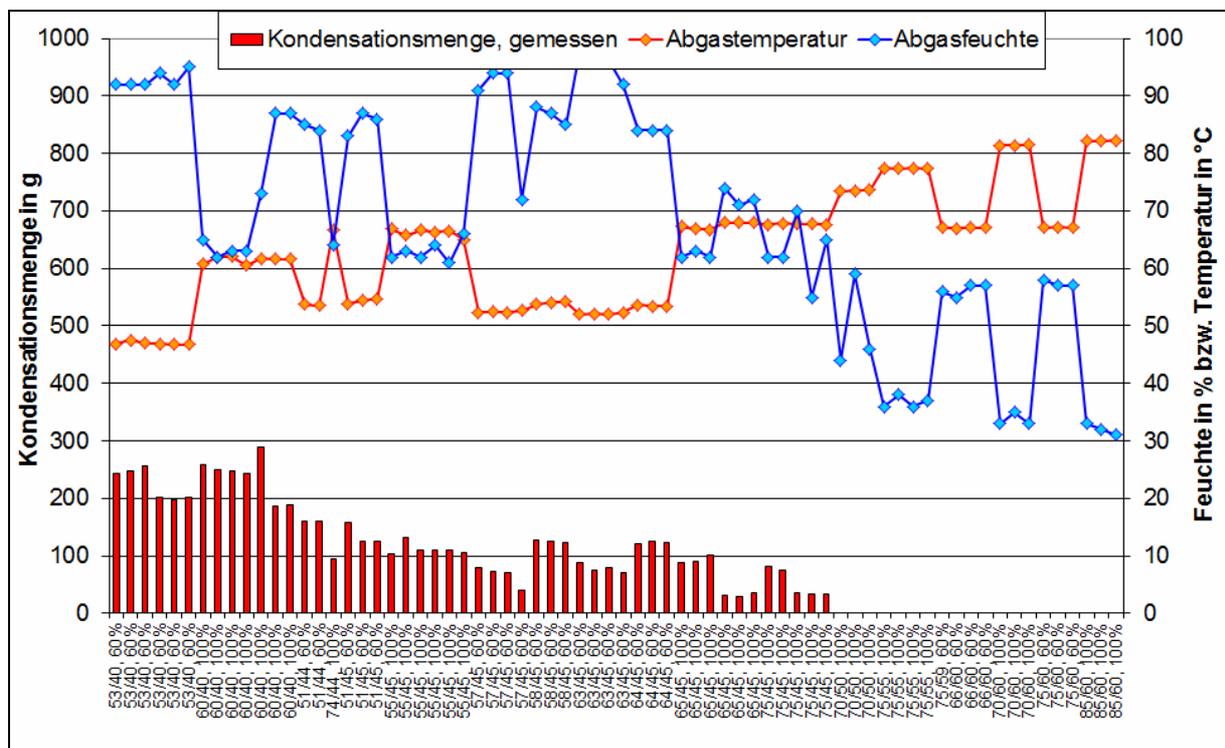


Abbildung 22: Übersicht der Kondensatmenge, Abgastemperatur und Abgasfeuchte in Abhängigkeit der Belastung und der Eintrittstemperatur – Kessel O1 (Teil 2)

Es ist deutlich zusehen, dass bei steigender Eintrittstemperatur die Kondensatmenge abnimmt und die Abgastemperatur ansteigt. Zudem ist auch deutlich zu erkennen, dass ab einer Eintrittstemperatur von ca. 45°C keine Kondensation mehr stattfindet.

Des Weiteren liegt die Abgasfeuchte im Kondensationsbereich nicht wie erwartet bei 100 %, sondern schwankt im Bereich um 60 % bei Vollast und 80 % bis 95 % im Teillastbereich.

Dies spiegelt sich auch bei der Betrachtung der Kondensatmenge und der Abgasfeuchte wieder. Im Teillastbereich fällt bei konstanter Eintrittstemperatur deutlich weniger Kondensat an als im Volllastbetrieb. Bei der Abgasfeuchte verhält es sich genau anders herum. Hier ist die Abgasfeuchte im Teillastbereich viel höher als im Volllastbereich. Somit wird im Volllastbetrieb mehr Wasserdampf aus dem Abgas kondensiert und mehr Wärme an das Heizwasser abgegeben.

### 5.1.8 Betriebsbereitschaftsverlust

Die Messung des Betriebsbereitschaftsverlustes wird nach DIN EN 304 durchgeführt. Hier müssen mindestens zwei aufeinander folgende Messungen eine Abweichung von weniger als 5 % aufweisen. In der nachfolgenden Abbildung 23 sind die einzelnen Messungen aufgetragen. Messung 2 bis 4 wurden am 07.10.2010 und die Messungen 6 bis 9 am 13.10.2010 durchgeführt.

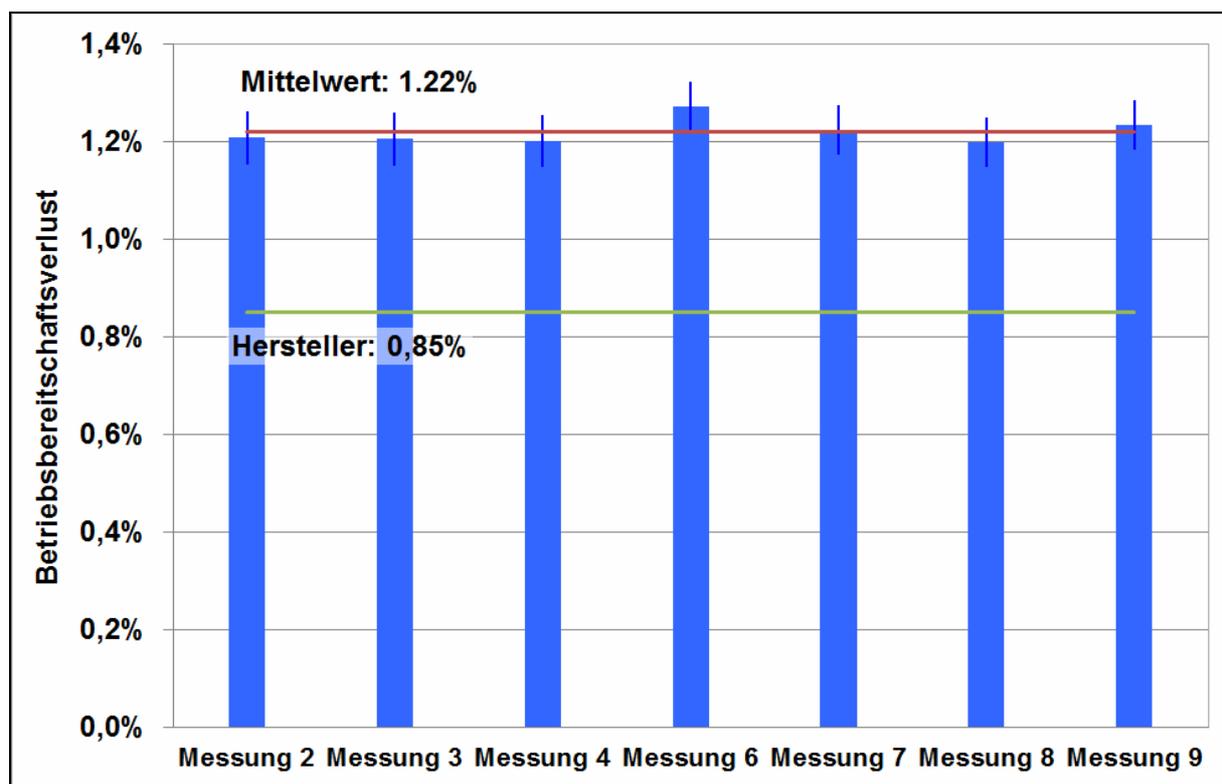


Abbildung 23: Übersicht Bereitschaftsverlust – Kessel O1

Die sieben Messungen an zwei unterschiedlichen Tagen schwanken im Bereich von 1,20 % und 1,27 % und sind aber als konstant anzusehen. Der Mittelwert liegt bei 1,22 % und damit um ca. 50 % über den Herstellerangaben (0,85 %).

### 5.1.9 Zeitkonstanten Kesselwasser

Die Zeitkonstanten für das Kesselwasser, Totzeit ( $T_t$ ) und Verzögerungszeit ( $T_1$ ), wurden bei drei unterschiedlichen Eintrittstemperaturen (30°C, 45°C und 60°C) und drei unterschiedlichen Volumenströmen (ca. 1600 l/h, 800 l/h und 550 l/h bzw. 600 l/h) ermittelt. Es wurden je drei Messungen beim Start (0% auf 100% Leistung), beim Lastwechsel (100% auf 60% bzw. 60% auf 100%) und beim Ausschalten (100% auf 0% bzw. 60% auf 0%) durchgeführt. Alle Ergebnisse der Messungen befinden sich im Anhang. Die nachfolgende Grafik zeigt die Mittelwerte der einzelnen Messpunkte.

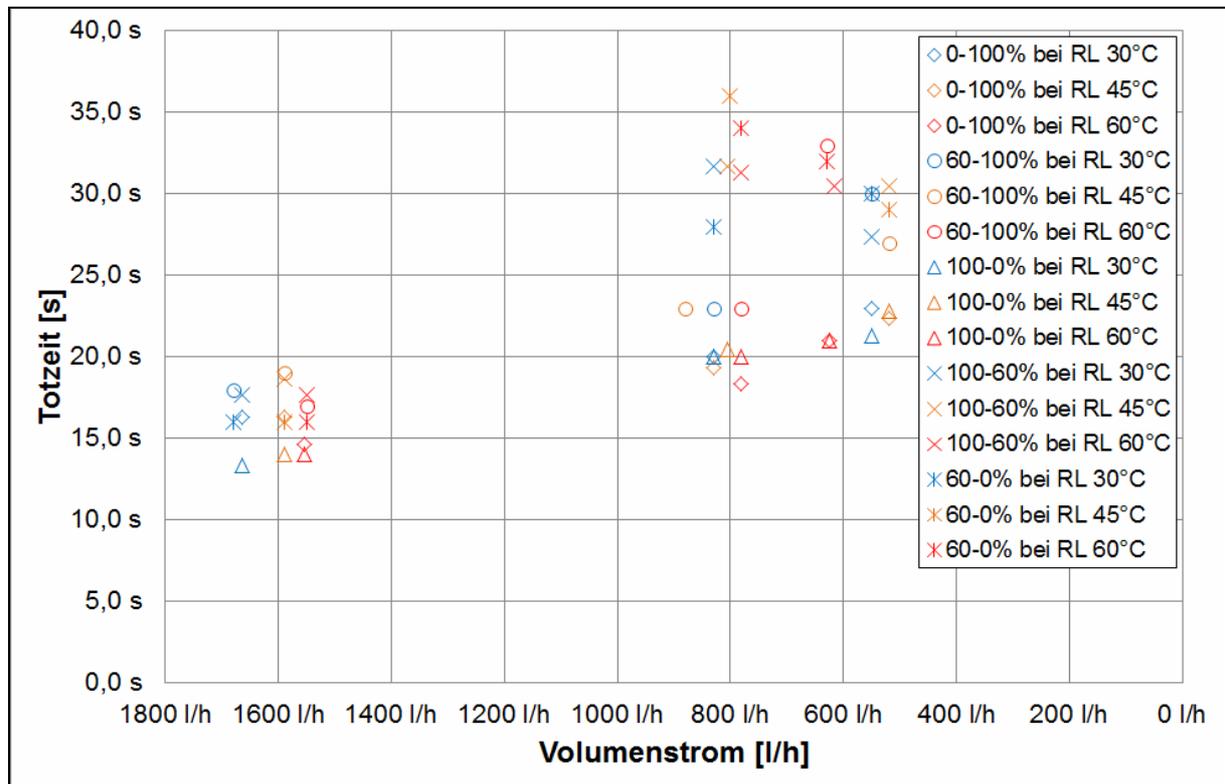


Abbildung 24: Mittelwerte Totzeit – Kessel O1

Bei einem Volumenstrom von ca. 1600 l/h liegt die Totzeit des Kessels im Bereich von 13 bis 19 Sekunden unabhängig, ob es sich um einen Start, einen Lastwechsel oder ums Ausschalten handelt. Eine größere Streuung der Messwerte liegt im Bereich eines Volumenstroms von 800 l/h vor. Hier liegt die Totzeit zwischen 18 und 36 Sekunden. Bei einem Volumenstrom von 550 l/h bzw. 600 l/h (85°C/60°C) liegt die Totzeit zwischen 21 und 33 Sekunden. Fest zuhalten bleibt, tendenziell nimmt die Totzeit mit steigender Temperaturspreizung zwischen Ein- und Austritt bzw. sinkendem Volumenstrom zu.

Abbildung 25 zeigt die Verzögerungszeit T1 in Abhängigkeit des Volumenstroms.

Bei einem Volumenstrom von ca. 1600 l/h liegt die Verzögerungszeit des Kessels im Bereich von 51 bis 64 Sekunden unabhängig, ob es sich um einen Start, einen Lastwechsel oder ums Ausschalten handelt.

Eine etwas größere Streuung der Messwerte liegt im Bereich eines Volumenstroms von 800 l/h vor. Hier liegt die Verzögerungszeit zwischen 86 und 111 Sekunden. Bei einem Volumenstrom von 600 l/h (85°C/60°C) liegt die Verzögerungszeit zwischen 118 und 150 Sekunden und bei ca. 550 kg/h zwischen 136 und 176 Sekunden.

Fest zuhalten bleibt, tendenziell nimmt die Verzögerungszeit mit steigender Temperatur- spreizung zwischen Ein- und Austritt bzw. sinkendem Volumenstrom zu.

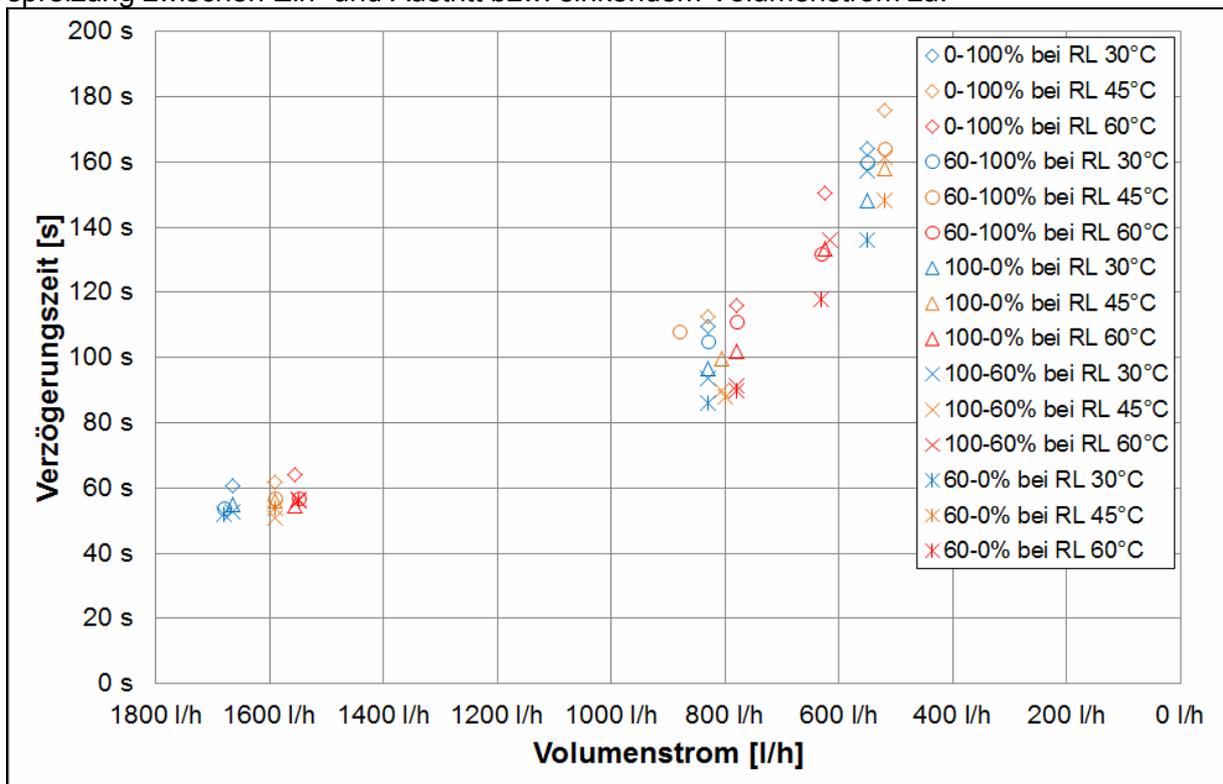


Abbildung 25: Mittelwerte Verzögerungszeit – Kessel O1

### 5.1.10 Zeitkonstanten Abgas

Bei der Abgastemperatur wird nur die Verzögerungszeit ermittelt. Eine Totzeit wird hier nicht berücksichtigt. Die Messung der einzelnen Zeiten erfolgte mit den gleichen Einstellungen, wie bei der Aufnahme der Zeitkonstanten des Kesselwassers. Allerdings wurde hier auf Messungen beim Ausschalten verzichtet. Die nachfolgende Grafik zeigt die Ergebnisse der Messungen beim Start (0-100%) und beim Lastwechsel (100-60% bzw. 60-100%). Es wurde nur eine Messung pro Messpunkt durchgeführt. Alle Ergebnisse der Messungen befinden sich im Anhang.

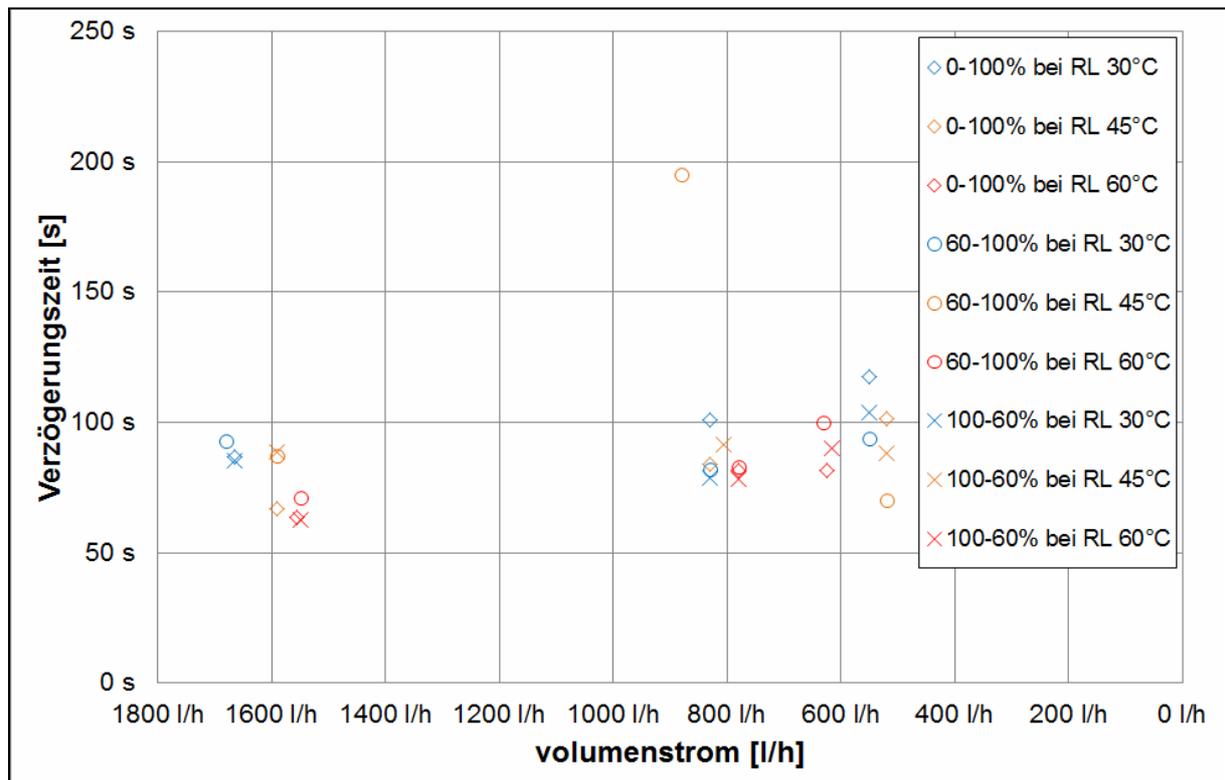


Abbildung 26: Mittelwerte Verzögerungszeit Abgas – Kessel O1

Bei einem Volumenstrom von ca. 1600 l/h liegt die Verzögerungszeit Abgas des Kessels im Bereich von 63 bis 93 Sekunden, unabhängig ob es sich um einen Start oder um einen Lastwechsel handelt. Deutlich zu sehen ist auch, dass mit steigender Eintrittstemperatur und damit verbunden, mit niedrigerem Volumenstrom, die Verzögerungszeit Abgas abnimmt. Im Bereich eines Volumenstroms von ca. 800 l/h liegt die Verzögerungszeit zwischen 78 und 101 Sekunden. Beim Messwert von etwa 195 Sekunden liegt vermutlich ein Messfehler vor. Für die weiteren Berechnungen und Auswertungen, wird dieser Wert nicht berücksichtigt. Bei einem Volumenstrom von ca. 600 l/h (85°C/60°C) liegt die Verzögerungszeit zwischen 81 und 100 Sekunden und bei ca. 550 kg/h zwischen 70 und 117 Sekunden. Fest zuhalten bleibt, tendenziell nimmt die Verzögerungszeit mit steigender Temperaturspreizung zwischen Ein- und Austritt bzw. sinkendem Volumenstrom leicht zu.

### 5.1.11 Startautomatik

Es gibt zwei Arten von Starts bei diesem Kessel. Zum einen den Kaltstart. Dieser tritt immer dann auf wenn der Kessel über mehrere Stunden nicht in Betrieb war. Die nachfolgende Abbildung 27 zeigt die elektrische Leistungsaufnahme des Kessels und den Verlauf der Vorlauf-temperatur während eines solchen Anfahrens.

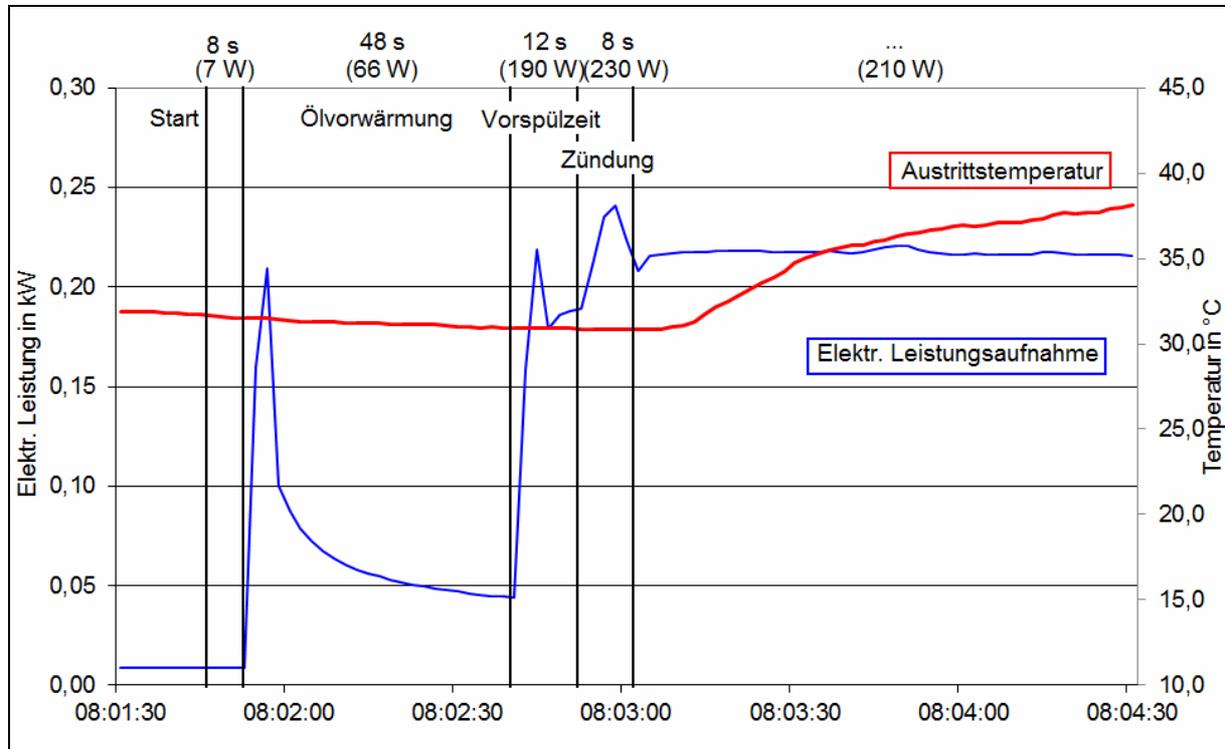
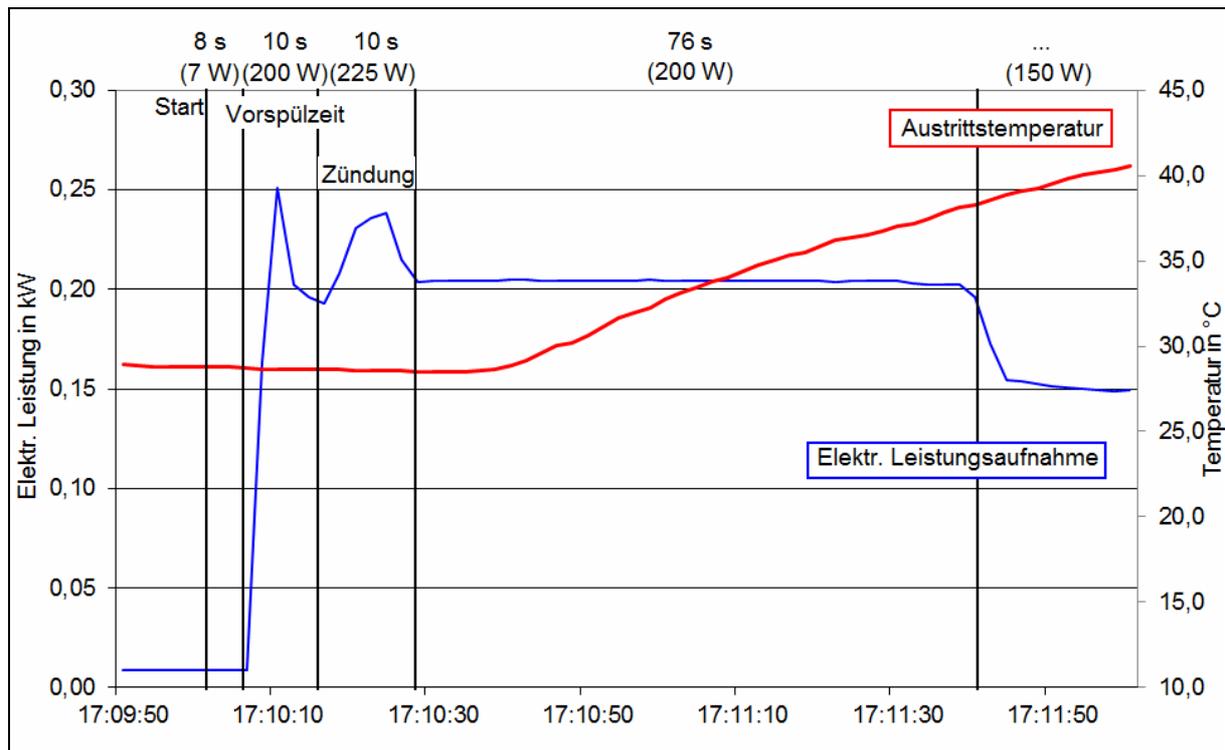


Abbildung 27: Startphase "Kalt" eines Ölbrennwertkessels – Kessel O1

Im Standby-Modus hat dieser Kessel eine elektrische Leistungsaufnahme von 7 W. Erhält der Kessel das Anforderungssignal, vergehen zunächst etwa 8 Sekunden bis sich die Öl-Vorwärmung einschaltet. Diese benötigt ca. 38 Sekunden bei einer mittleren elektrischen Leistung von 66 W, um das Öl auf die entsprechende Temperatur zu bringen. Danach erfolgt die Vorspülzeit. Hier werden etwa 12 Sekunden lang unverbrannte Gase aus dem Brennraum gespült. Die elektrische Leistungsaufnahme beträgt im Schnitt rund 190 W. Ist die Vorspülzeit beendet, beginnt die Zündung einen Zündfunken zu erzeugen, das Magnetventil öffnet und das Öl wird entzündet. Hier beträgt die elektrische Leistungsaufnahme ca. 230 W. Bildet sich nach 8 Sekunden keine Flamme, geht der Kessel auf Störung. Die elektrische Leistungsaufnahme im Betrieb beträgt etwa 210 W.

Der Kaltstartmodus eines Kessels wird jedoch im TRNSYS-Modell nicht abgebildet. Der Grund hierfür ist, dass es nicht möglich war, eine feste Zeit zu ermitteln, wann der Kessel einen Kalt- und wann einen Warmstart macht. Daraufhin wurde diese Messung für die anderen Kessel gestrichen.

Der Warmstart läuft genauso ab wie der Kaltstart, nur findet hier keine Öl-Vorwärmung statt. Die nachfolgende Abbildung 28 zeigt den Verlauf eines Warmstarts.



**Abbildung 28: Startphase "Warm" eines Ölbrennwertkessels – Kessel O1**

Die elektrische Leistung des Kessels im Standby-Modus beträgt wiederum 7 W. Ca. 8 Sekunden nach Erhalt des Anforderungssignals läuft für etwa 10 Sekunden die Vorspülzeit bei einer elektrischen Leistung von im Mittel 200 W. Danach wird das Magnetventil für die Brennstoffzufuhr geöffnet und die Zündung beginnt das Heizöl zu entzünden. Dieser Vorgang dauert etwa 10 Sekunden und die elektrische Leistung beträgt im Mittel ca. 225 W.

Entsteht während der Zündzeit eine Flamme, läuft der Kessel weiter. Die elektrische Leistungsaufnahme beträgt in der Vollaststufe 200 W. Ist die Heizleistung zu hoch, schaltet die Regelung nach einer Mindestlaufzeit von ca. 76 Sekunden in die Teillaststufe. Ist die Solltemperatur erreicht, schaltet der Kessel aus.

Auf Grund der Bauweise diese Kessels, gibt es eine Nachspülzeit von ca. 80 Sekunden mit einer elektrischen Leistung von etwa 21 W. Nach dieser Zeit geht der Kessel in den Standby-Modus über und hat wieder eine elektrische Leistungsaufnahme von 7 W. In der nachfolgenden Tabelle, sind die mittleren Zeiten und Leistungen noch einmal zusammengefasst aufgeführt. Die Aufnahme dieser Parameter erfolgte zusammen mit den Zeitkonstanten.

	Start	Vorspülen	Zündung	Vollast	Teillast	Nachspülen
Zeit [s]	8	10	10	min. 76	-	80
elektrische Leistung [W]	7	200	225	200	150	21

**Tabelle 10: Übersicht Startautomatik – Kessel O1**

## 5.2 Kessel O2

### 5.2.1 Grunddaten des Kessels

Beim zweiten Kessel handelt es sich um einen einstufigen Ölkessel mit Abgaswärmeübertrager. Nachfolgend sind die wichtigsten technischen Daten des Kessels aufgeführt. Zur besseren Anonymisierung sind einzelnen Wert leicht geändert dargestellt.

Nennwärmeleistung	18,6 kW
Kesselmasse	177 kg
Kesselwasserinhalt	57,0 Liter
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung <sup>4</sup>	89,9 %
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung	91,9 %
Betriebsbereitschaftsverlust	1,46 %

### 5.2.2 Durchgeführtes Messprogramm und Erläuterung des Anhangs

Insgesamt wurden 62 stationäre Messungen, 18 Messungen zur Bestimmung der Zeitkonstanten (Verzögerungszeit und Totzeit) beim Aufheizen und Abkühlen und 12 Messungen zum dynamischen Verhalten des Kessels bei aktiver Regelung durchgeführt. Des Weiteren wurden je zwei Messungen zum Bereitschaftsverlust und zum Teillastwirkungsgrad ( $\eta_{30}$ ) vorgenommen. Eine Übersicht der einzelnen Messungen befindet sich im Anhang. Dort sind alle Messungen unter Angabe der eingestellten Kesselleistung, Fluidtemperaturen, Massenstrom und Anzahl der einzelnen Versuche aufgeführt.

---

<sup>4</sup> Wirkungsgrade sind gemessen bei 60°C Eintrittstemperatur und bezogen auf den Brennwert

### 5.2.3 Wirkungsgradmessung $\eta_{100}$

Unter stationären Betriebsbedingungen wurde am Prüfstand der Kesselwirkungsgrad ( $\eta_{100}$ ) gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu wurden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 304 eingestellt, dies betrifft die Wassereintrittstemperatur, die Kesselleistung, den Massenstrom und den Luftüberschuss. Die nachfolgende Abbildung 29 zeigt die Ergebnisse der insgesamt neun Wirkungsgradmessungen.

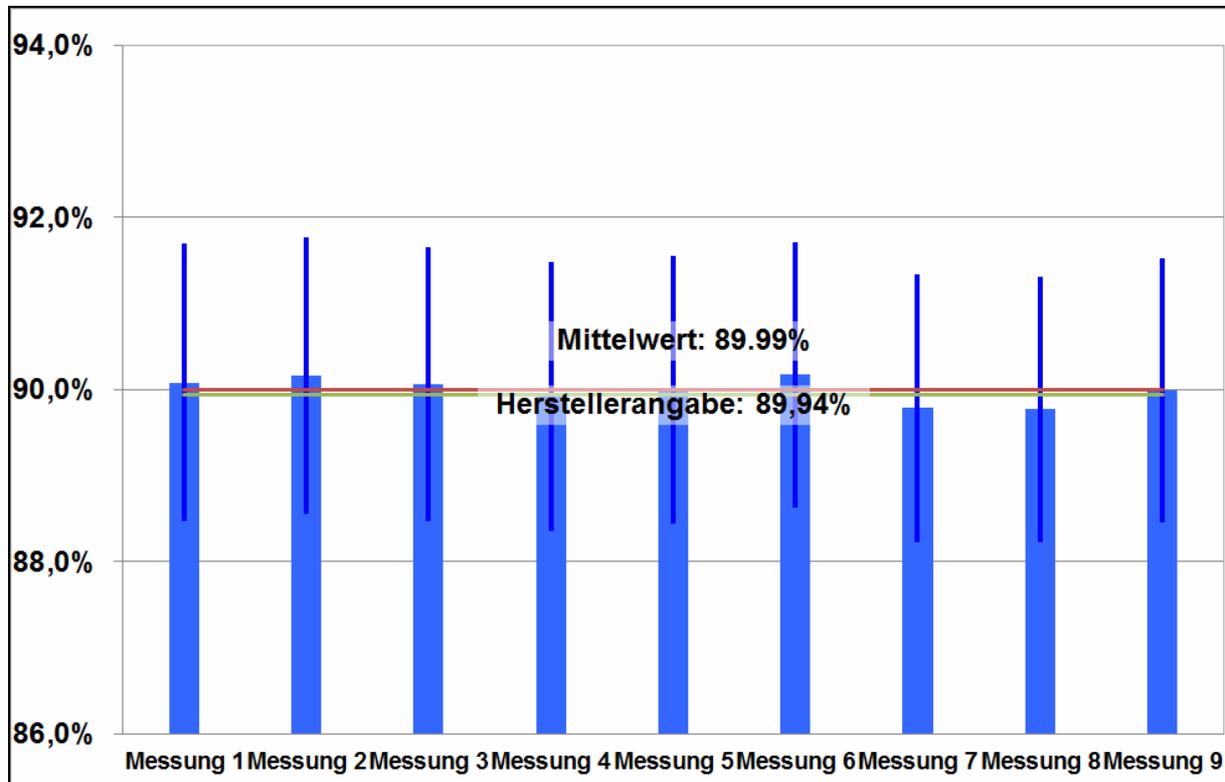


Abbildung 29: Vergleich des gemessenen Wirkungsgrads mit Herstellerangaben – Kessel O2

Um einen verlässlichen Mittelwert zu bekommen, wurden insgesamt neun Messreihen mit je drei Einzelmessungen aufgenommen. Alle Messungen wurden mit einer Ölcharge mit einem Brennwert von 45,173 MJ/kg durchgeführt. Der aus den neun Messungen resultierende Mittelwert mit 89,99 % bestätigt die Angabe des Herstellers von 89,94 %.

### 5.2.4 Wirkungsgradmessung $\eta_{30}$

An diesem Kessel wurden zunächst Messungen zum Teillastwirkungsgrad  $\eta_{30}$  durchgeführt. Da die Ergebnisse aber starken Schwankungen unterlagen, und aus den Herstellerunterlagen nicht ersichtlich war, nach welchen Prüfbedingungen der Wirkungsgrad gemessen wurde, wurde auf weitere Messungen verzichtet. Hinzu kam auch, dass die Ergebnisse nicht im TRNSYS-Modell verwendet wurden.

### 5.2.5 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

Unter stationären Betriebsbedingungen wurde am Prüfstand der feuerungstechnische Wirkungsgrad ( $\eta_f$ ) gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu wurden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 304 eingestellt, dies betrifft die Wassereintrittstemperatur, die Kesselleistung, den Massenstrom und den Luftüberschuss. Die nachfolgende Abbildung 30 zeigt die Ergebnisse der insgesamt 9 Wirkungsgradmessungen.

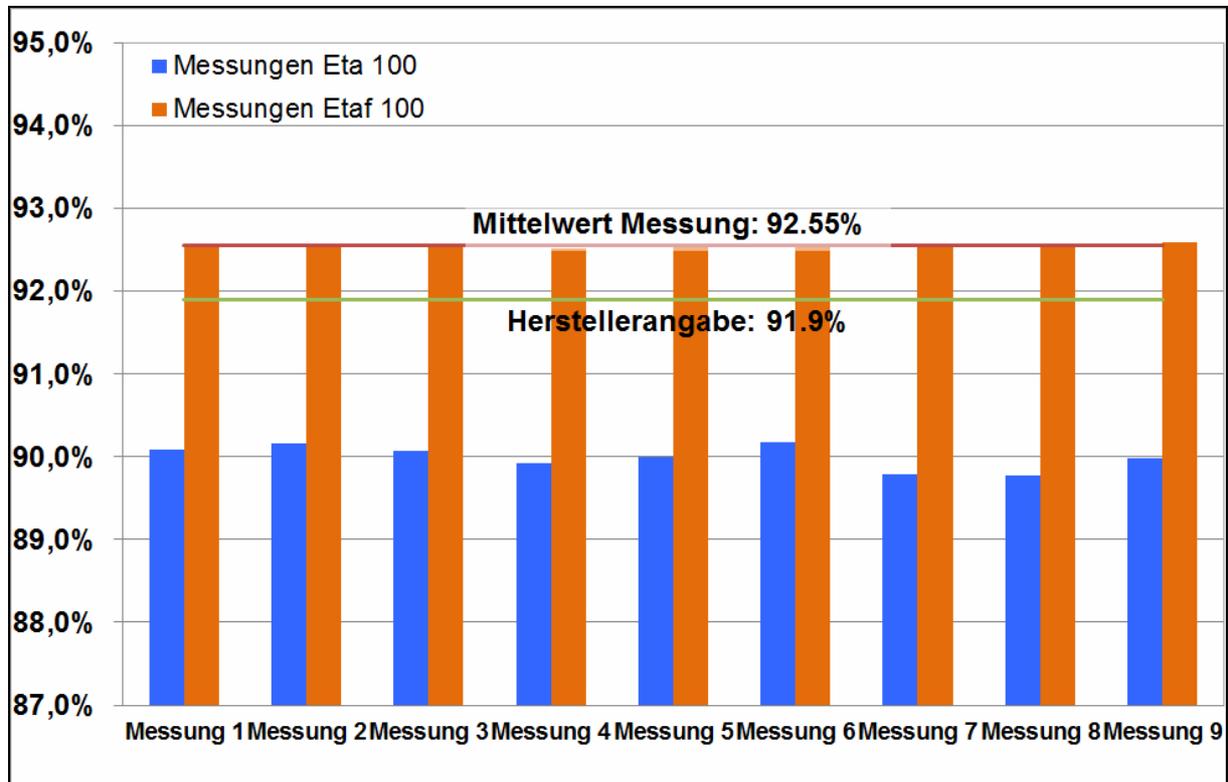
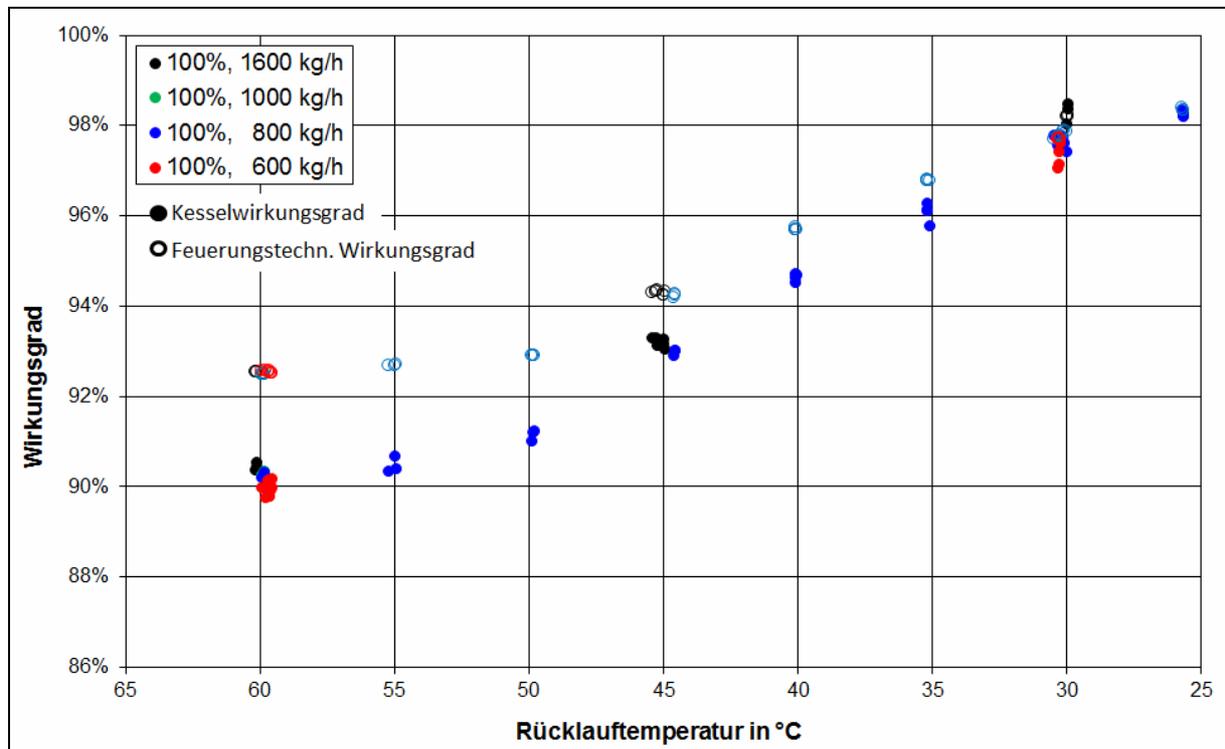


Abbildung 30: Vergleich des gemessenen feuerungstechnischen Wirkungsgrads mit den Herstellerangaben – Kessel O2

Neben dem feuerungstechnischen Wirkungsgrad  $\eta_f$  (orange) ist in der obigen Abbildung der Kesselwirkungsgrad (blau) aufgetragen. Der Mittelwert der neun  $\eta_f$ -Messungen beträgt 92,55 % und liegt damit ca. 0,6 % über den Herstellerangaben.

### 5.2.6 Andere Wirkungsgradmessungen

Neben dem  $\eta_{100}$  wurden noch weitere Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Rücklauftemperaturen und Volumenströmen (bzw. Temperaturdifferenz) aufgenommen, um das TRNSYS-Modell zu validieren. Es wurden auch bei diesen Messungen die Prüfbedingungen der DIN EN 304 eingehalten. Die nachfolgende Abbildung 31 zeigt den Kesselwirkungsgrade (bezogen auf den Brennwert) und den feuerungstechnischen Wirkungsgrad bei Volllast (100%) aufgetragen über der Eintrittstemperatur bei unterschiedlichen Massenströmen.



**Abbildung 31: Übersicht Kessel- und feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Volumenströmen aufgetragen über der Rücklauftemperatur – Kessel O2**

Bei den ausgefüllten Kreisen handelt es sich um den Kesselwirkungsgrad ( $\eta_{100}$ ) und bei den offenen Kreisen um den feuerungstechnischen Wirkungsgrad ( $\eta_f$ ). In der Abbildung ist deutlich zusehen, dass beide Wirkungsgrade bei niedrigen Rücklauftemperaturen ansteigen. Dies hängt mit der Kondensation des Abgases zusammen. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Änderung des Massenstromes bei gleicher Rücklauftemperatur nur sehr geringe Auswirkung (ca. 0,2 bis 0,5 %) auf den Kesselwirkungsgrad hat. Beim feuerungstechnischen Wirkungsgrad ist die Differenz noch kleiner.



### 5.2.8 Betriebsbereitschaftsverlust

Die Messung des Betriebsbereitschaftsverlustes wird nach DIN EN 304 durchgeführt. Hier müssen mindestens zwei aufeinander folgende Messungen eine Abweichung von weniger als 5 % aufweisen. In der nachfolgenden Abbildung 33 sind die einzelnen Messungen aufgetragen. Messung 1 und 2 wurden am 26.11.2010 und die Messungen 3 und 4 am 10.12.2010 durchgeführt.

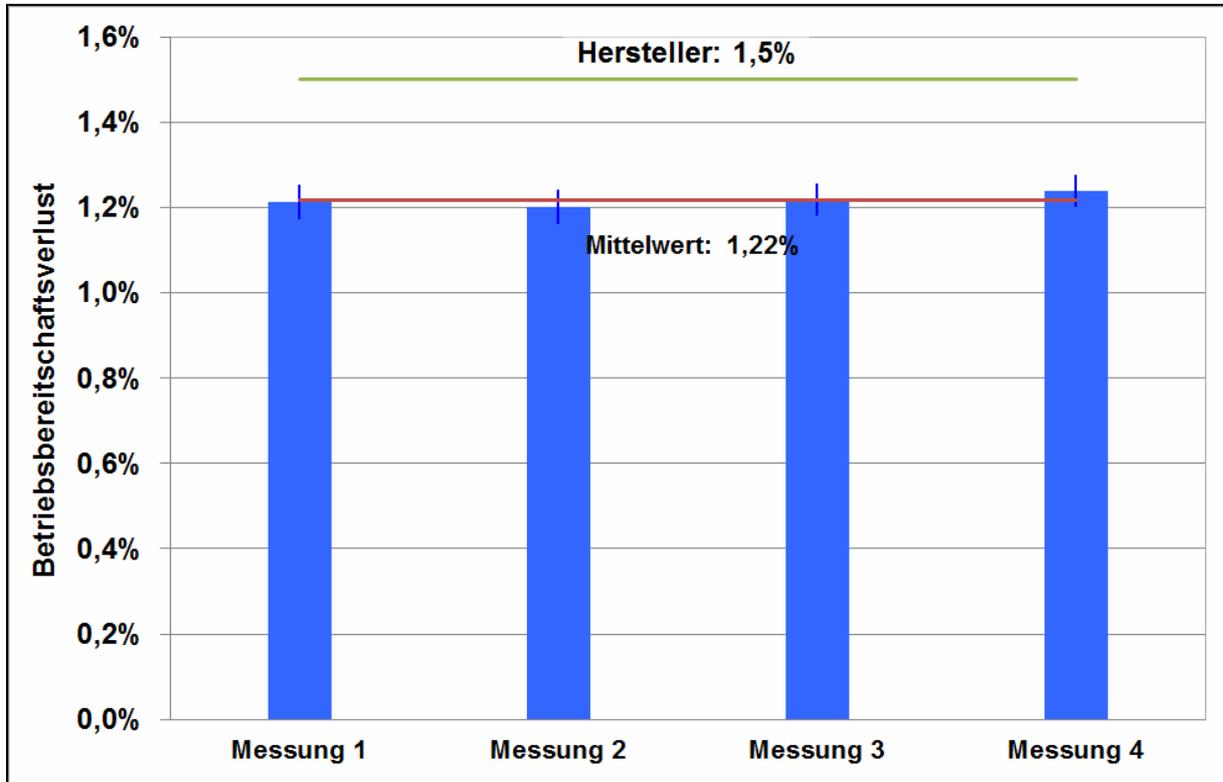


Abbildung 33: Übersicht Bereitschaftsverlust – Kessel O2

Die vier Messungen an zwei unterschiedlichen Tagen schwanken im Bereich von 1,20 % und 1,24 % und sind daher als konstant anzusehen. Der Mittelwert von 1,22 % aus den vier Messungen liegt bei diesem Kessel deutlich unter dem Herstellerwert von 1,5 %.

### 5.2.9 Zeitkonstanten Kesselwasser

Die Zeitkonstanten für das Kesselwasser, Totzeit ( $T_t$ ) und Verzögerungszeit ( $T_1$ ), wurden bei drei unterschiedlichen Rücklaufftemperaturen (30°C, 45°C und 60°C) und drei unterschiedlichen Volumenströmen (ca. 1700 l/h, 1100 l/h, 800 l/h und 600 l/h) ermittelt. Es wurden je zwei bis vier Messungen beim Start (0% auf 100% Leistung) und je zwei bis drei Messungen beim Ausschalten (100% auf 0%) durchgeführt. Alle Ergebnisse der Messungen befinden sich im Anhang.

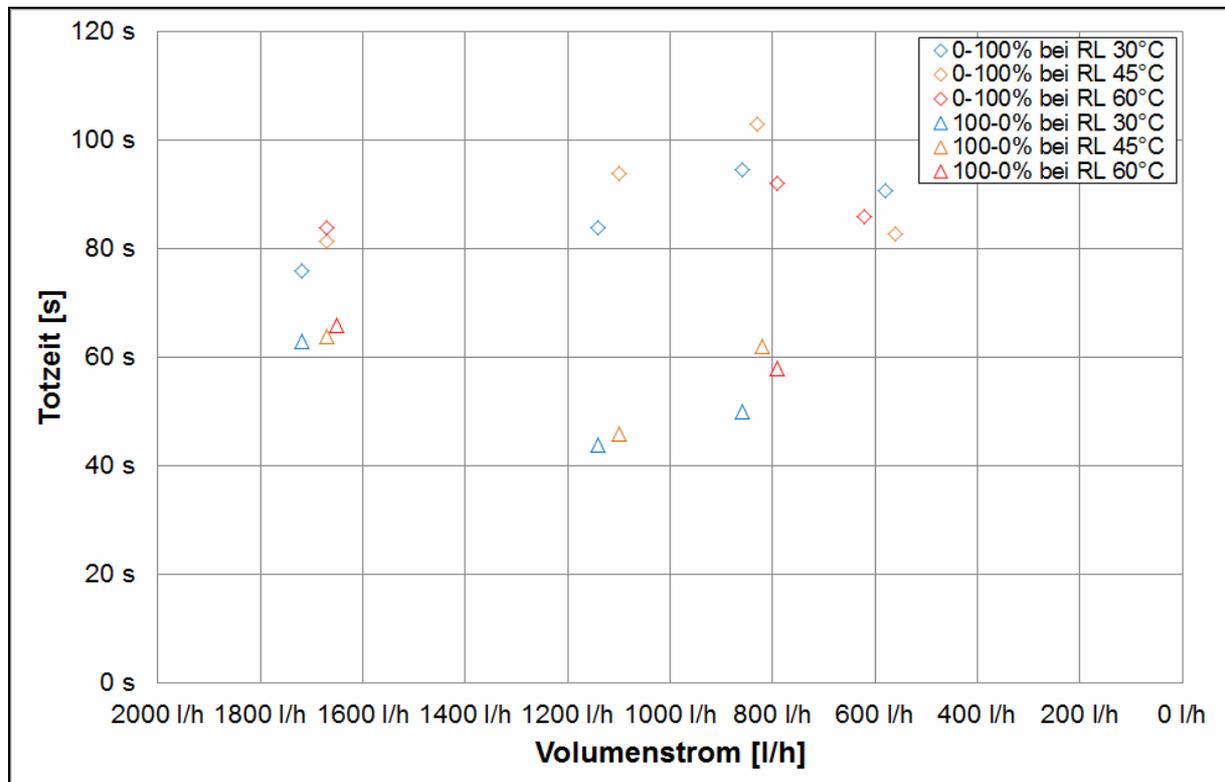
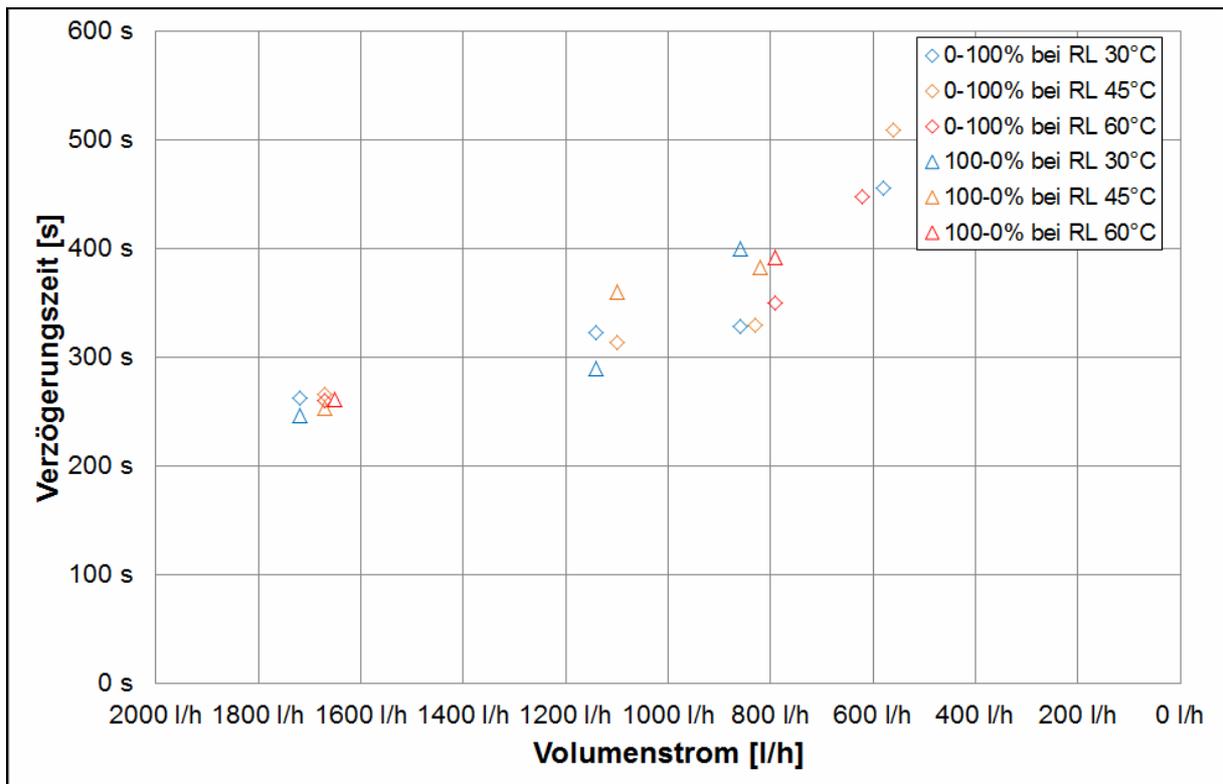


Abbildung 34: Mittelwerte Totzeit – Kessel O2

Beim zweiten Kessel kann bei der Totzeit deutlich zwischen Ein- und Ausschalten unterschieden werden. Bei 1700 l/h beträgt die Totzeit beim Einschalten etwa 80 Sekunden und beim Ausschalten ca. 62 Sekunden. Bei 1100 l/h und 850 l/h ist die Differenz noch deutlicher zu sehen. Beim Einschalten vergehen ca. 85 Sekunden bzw. 95 Sekunden bis die Austrittstemperatur ansteigt und beim Ausschalten nur etwa 42 Sekunden bzw. 55 Sekunden bis die Austrittstemperatur sinkt. Eine Abhängigkeit der Totzeit von der Eintrittstemperatur und dem Volumenstrom ist hier nicht so deutlich zu sehen. Zwar steigt die Totzeit beim Einschalten mit sinkendem Volumenstrom zunächst an, aber bei einem Volumenstrom von ca. 600 l/h fällt sie wieder ab.

Die nachfolgende Grafik zeigt die Verzögerungszeit ( $T_1$ ) in Abhängigkeit des Volumenstroms.



**Abbildung 35: Mittelwerte Verzögerungszeit – Kessel O2**

Bei einem Volumenstrom von ca. 1700 l/h liegt die Verzögerungszeit des Kessels im Bereich von 255 Sekunden unabhängig ob es sich um einen Start oder ums Ausschalten handelt. Eine etwas größere Streuung der Messwerte liegt im Bereich eines Volumenstroms von 1100 l/h und 800 l/h vor. Hier liegt die Verzögerungszeit bei ca. 325 Sekunden bzw. ca. 365 Sekunden. Bei einem Volumenstrom von 600 l/h liegt die Verzögerungszeit bei etwa 480 Sekunden. Fest zuhalten bleibt, tendenziell nimmt die Verzögerungszeit mit steigender Temperaturspannung zwischen Ein- und Austritt bzw. sinkendem Volumenstrom zu.

### 5.2.10 Zeitkonstanten Abgas

Bei der Abgastemperatur wurde nur die Verzögerungszeit ermittelt. Eine Totzeit wurde nicht berücksichtigt. Die Messung der einzelnen Zeiten erfolgte mit den gleichen Einstellungen, wie bei der Aufnahme der Zeitkonstanten das Kesselwassers. Alle Ergebnisse der Messungen befinden sich im Anhang.

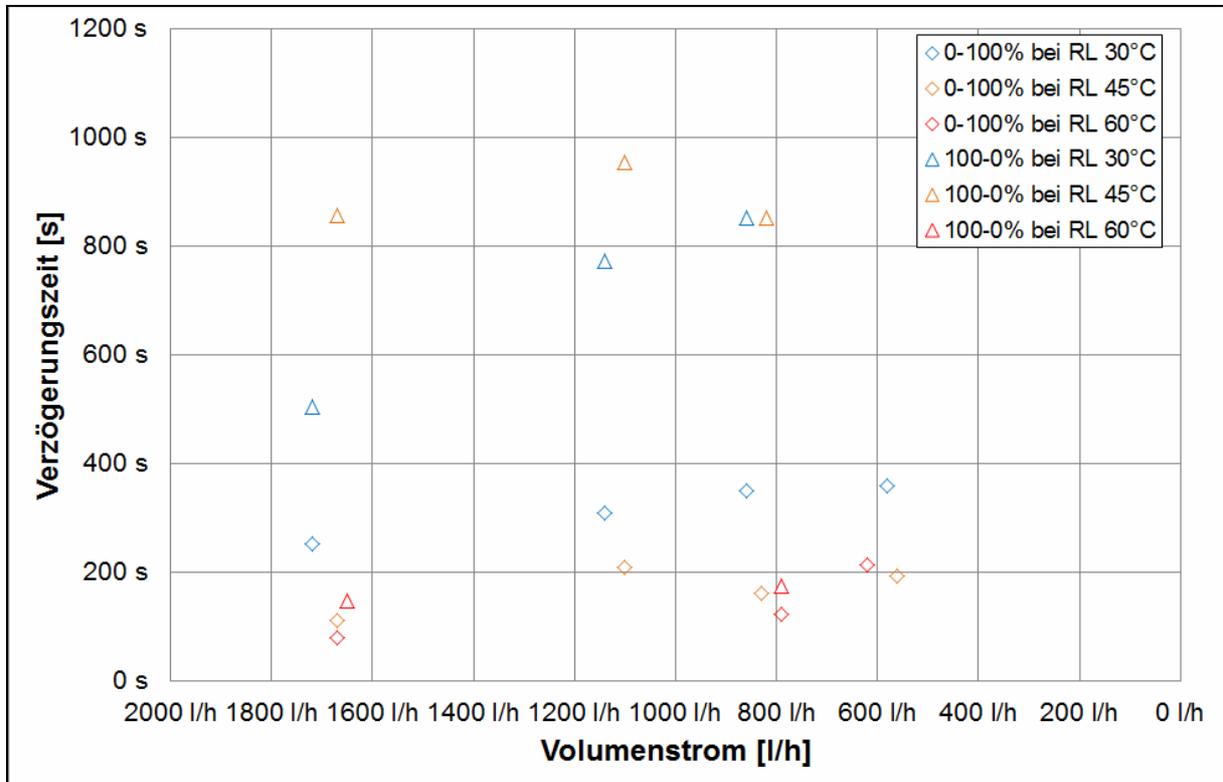
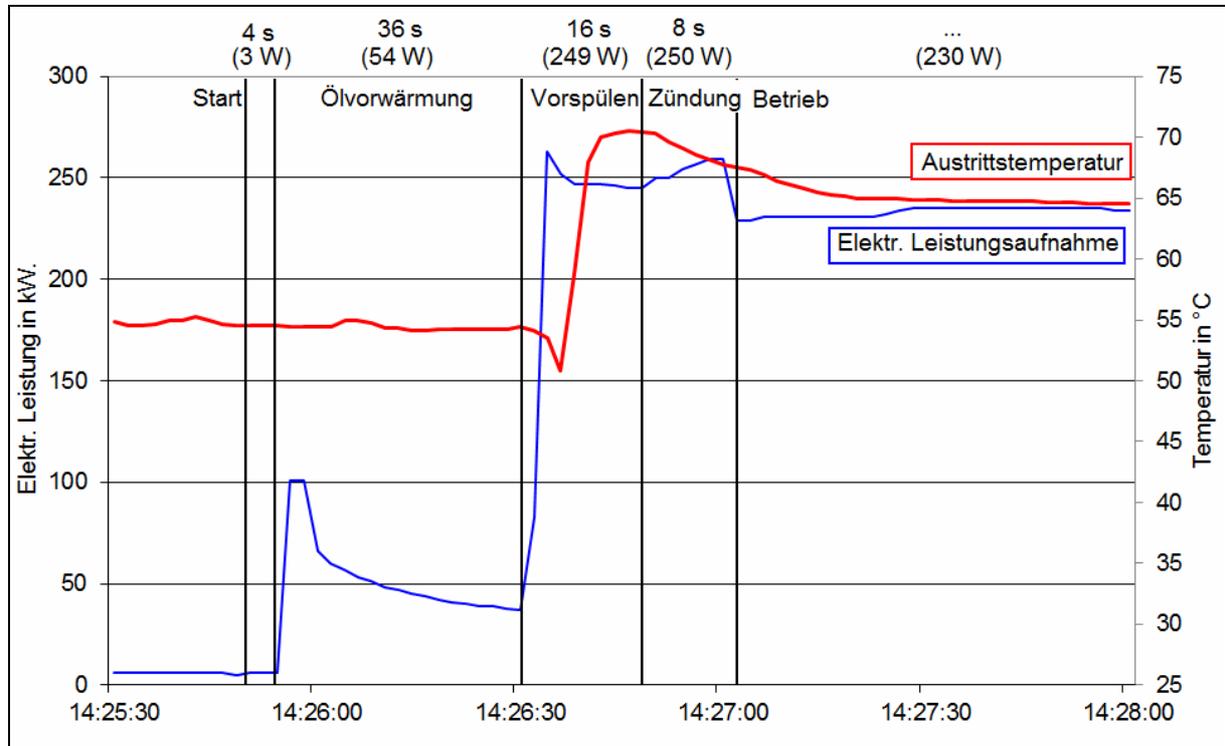


Abbildung 36: Mittelwerte Verzögerungszeit Abgas – Kessel O2

Bei der Verzögerungszeit Abgas gibt es eine sehr große Streuung der Messwerte. Festzuhalten bleibt, dass tendenziell die Verzögerungszeit beim Ausschalten sehr viel größer ist, als beim Einschalten. Des Weiteren ist auch wieder der Anstieg der Verzögerungszeit bei sinkendem Volumenstrom zu sehen. Bei den Messwerten "100-0% bei RL 60°C" handelt es sich vermutlich um Messfehler.

### 5.2.11 Startautomatik

Es gibt zwei Arten von Starts bei diesem Kessel. Zum einen den Kaltstart. Dieser tritt immer dann auf, wenn der Kessel über mehrere Stunden nicht in Betrieb war. Die nachfolgende Abbildung 37 zeigt die elektrische Leistungsaufnahme des Kessels und den Verlauf der Vorlauf-temperatur während der Bereitschaftsverlustmessung. Daher beschreibt die Vorlauf-temperatur auch nicht den üblichen Verlauf.

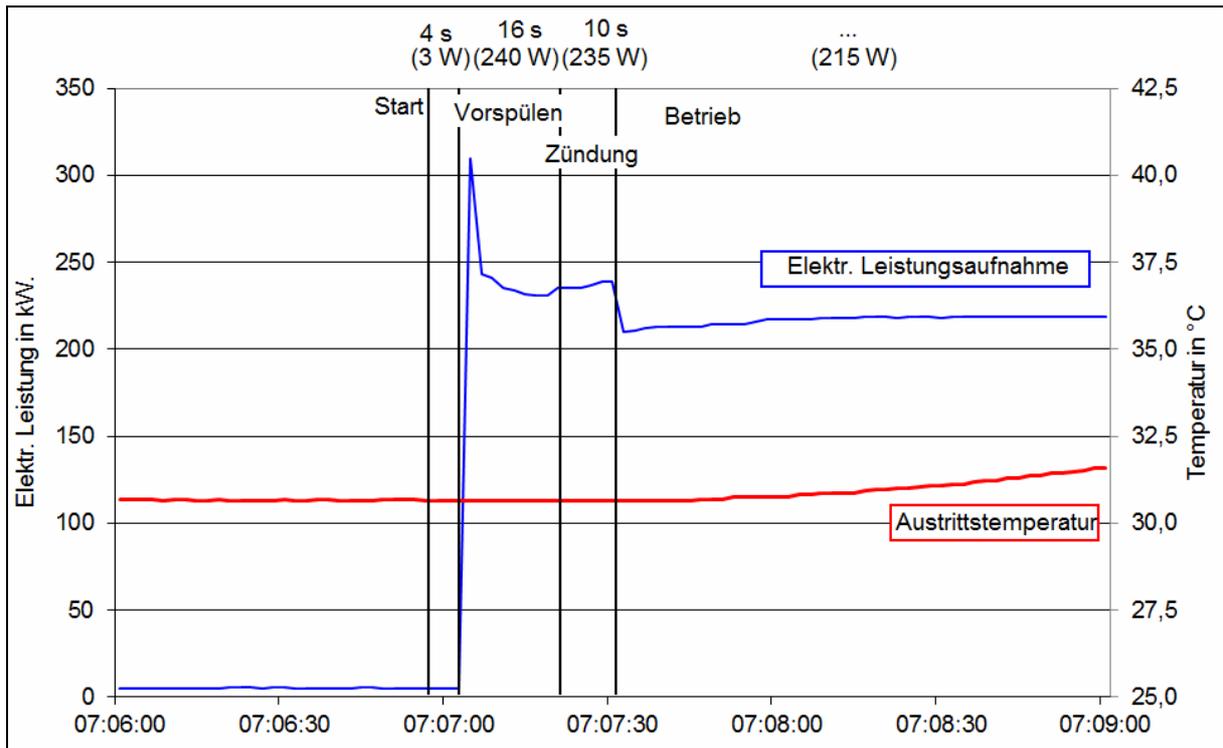


**Abbildung 37: Startphase "Kalt" eines Ölkessels mit Abgaswärmeübertrager – Kessel O2**

Im Standby-Modus hat dieser Kessel eine elektrische Leistungsaufnahme von 3 W. Erhält der Kessel das Anforderungssignal, vergehen zunächst etwa 4 Sekunden bis sich die Öl-Vorwärmung einschaltet. Diese benötigt ca. 36 Sekunden bei einer mittleren elektrischen Leistung von 54 W, um das Öl auf die entsprechende Temperatur zu bringen. Danach erfolgt die Vorspülzeit. Hier werden etwa 16 Sekunden lang unverbrannte Gase aus dem Brennraum gespült. Die elektrische Leistungsaufnahme beträgt im Schnitt rund 249 W. Ist die Vorspülzeit beendet, beginnt die Zündung, einen Zündfunken zu erzeugen, das Magnetventil öffnet und das Öl wird entzündet. Hier beträgt die elektrische Leistungsaufnahme ca. 250 W. Bildet sich nach 8 Sekunden keine Flamme, geht der Kessel auf Störung. Die elektrische Leistungsaufnahme im Betrieb beträgt etwa 230 W.

Der Kaltstartmodus eines Kessels wird jedoch im TRNSYS-Modell nicht abgebildet. Der Grund hierfür ist, dass es nicht möglich war, eine feste Zeit zu ermitteln, wann der Kessel einen Kalt- und wann einen Warmstart macht. Daraufhin wurde diese Messung für die anderen Kessel gestrichen.

Der Warmstart läuft genauso ab wie der Kaltstart, nur findet hier keine Öl-Vorwärmung statt. Die nachfolgende Abbildung 38 zeigt den Verlauf eines Warmstarts.



**Abbildung 38: Startphase "Warm" eines Ölkessels mit Abgaswärmeübertrager – Kessel O2**

Die elektrische Leistung des Kessels im Standby-Modus beträgt wiederum 3 W. Ca. 4 Sekunden nach Erhalt des Anforderungssignals läuft für etwa 16 Sekunden die Vorspülzeit bei einer elektrischen Leistung von im Mittel 240 W. Danach wird das Magnetventil für die Brennstoffzufuhr geöffnet und die Zündung beginnt das Heizöl zu entzünden. Dieser Vorgang dauert etwa 10 Sekunden und die elektrische Leistung beträgt im Mittel ca. 235 W. Entsteht während der Zündzeit eine Flamme, läuft der Kessel weiter. Die elektrische Leistungsaufnahme beträgt dann etwa 215 W. Ist die Solltemperatur erreicht, schaltet der Kessel aus. Bei diesem Kessel gibt es keine Nachspülzeit. Der Kessel geht wieder in den Standby-Modus. In der nachfolgenden Tabelle, sind die mittleren Zeiten und Leistungen noch einmal zusammengefasst aufgeführt. Die Aufnahme dieser Parameter erfolgte zusammen mit den Zeitkonstanten.

	Start	Vorspülen	Zündung	Vollast
Zeit [s]	4	16	10	-
elektrische Leistung [W]	3	240	235	215

**Tabelle 11: Übersicht Startautomatik – Kessel O2**

## **5.3 Kessel G1**

### **5.3.1 Grunddaten des Kessels**

Beim dritten Kessel handelt es sich um eine modulierende Gasbrennwerttherme. Nachfolgend sind die wichtigsten technischen Daten der Therme aufgeführt. Zur besseren Anonymisierung sind einzelnen Wert leicht geändert dargestellt.

Nennwärmeleistung	14,8 kW (mod. 2,7 kW)
Kesselmasse	41 kg
Kesselwasserinhalt	1,5 Liter
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung <sup>5</sup>	87,5 %
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung	88,1 %
Betriebsbereitschaftsverlust	0,91%

### **5.3.2 Durchgeführtes Messprogramm und Erläuterung des Anhangs**

Insgesamt wurden 153 stationäre Messungen, 150 Messungen zur Bestimmung der Zeitkonstanten (Verzögerungszeit und Totzeit) beim Aufheizen, Abkühlen und beim Lastwechsel durchgeführt. Des Weiteren wurden drei Messungen zum Bereitschaftsverlust vorgenommen. Eine Übersicht der einzelnen Messungen befindet sich im Anhang. Dort sind alle Messungen unter Angabe der eingestellten Kesselleistung, Fluidtemperaturen, Massenstrom und Anzahl der einzelnen Versuche aufgeführt. Nachfolgend wird auf einige Ergebnisse genauer eingegangen.

---

<sup>5</sup> Wirkungsgrade sind gemessen bei 60°C Eintrittstemperatur und bezogen auf den Brennwert

### 5.3.3 Wirkungsgradmessung $\eta_{100}$

Unter stationären Betriebsbedingungen wurde am Prüfstand der Kesselwirkungsgrad ( $\eta_{100}$ ) gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu wurden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 303-3 eingestellt, dies betrifft die Wassereintrittstemperatur, die Kesselleistung, den Massenstrom und den Luftüberschuss.

Die nachfolgende Abbildung 39 zeigt die Ergebnisse der insgesamt 15 Wirkungsgradmessungen.

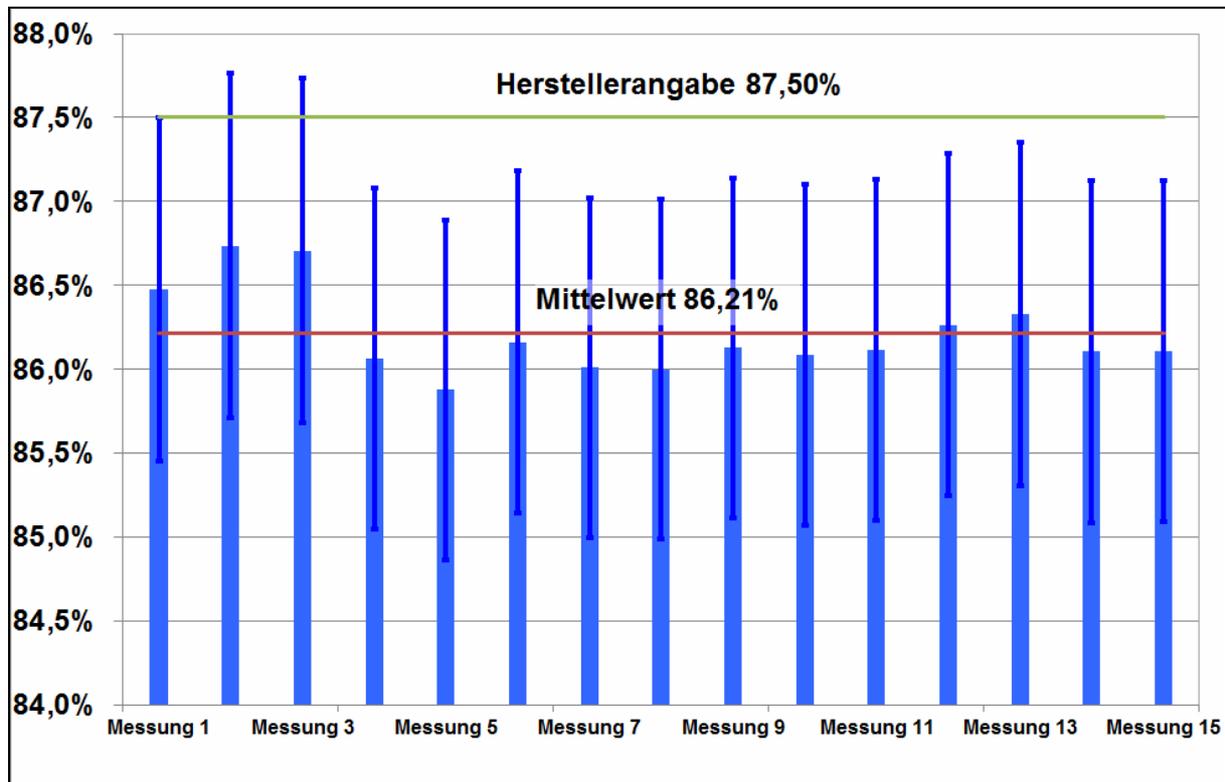


Abbildung 39: Vergleich des gemessenen Wirkungsgrads mit Herstellerangaben – Kessel G1

Da es bei den ersten sechs Messungen zu großen Schwankungen gekommen ist, wurden noch neun weitere durchgeführt. Der Mittelwert der nun insgesamt 15 Messungen beträgt 86,21 % und liegt damit deutlich unter der Herstellerangabe von 87,50 %.

### 5.3.4 Wirkungsgradmessung $\eta_{30}$

Da der Teillastwirkungsgrad  $\eta_{30}$  für das TRNSYS-Modell nicht benötigt wird, wurden hier keine Messungen durchgeführt.

### 5.3.5 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

Unter stationären Betriebsbedingungen wurde am Prüfstand der feuerungstechnische Wirkungsgrad ( $\eta_f$ ) gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu wurden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 303-3 eingestellt, dies betrifft die Wassereintrittstemperatur, die Kesselleistung, den Massenstrom und den Luftüberschuss.

Die nachfolgende Abbildung 40 zeigt die Ergebnisse der insgesamt 15 Wirkungsgradmessungen.

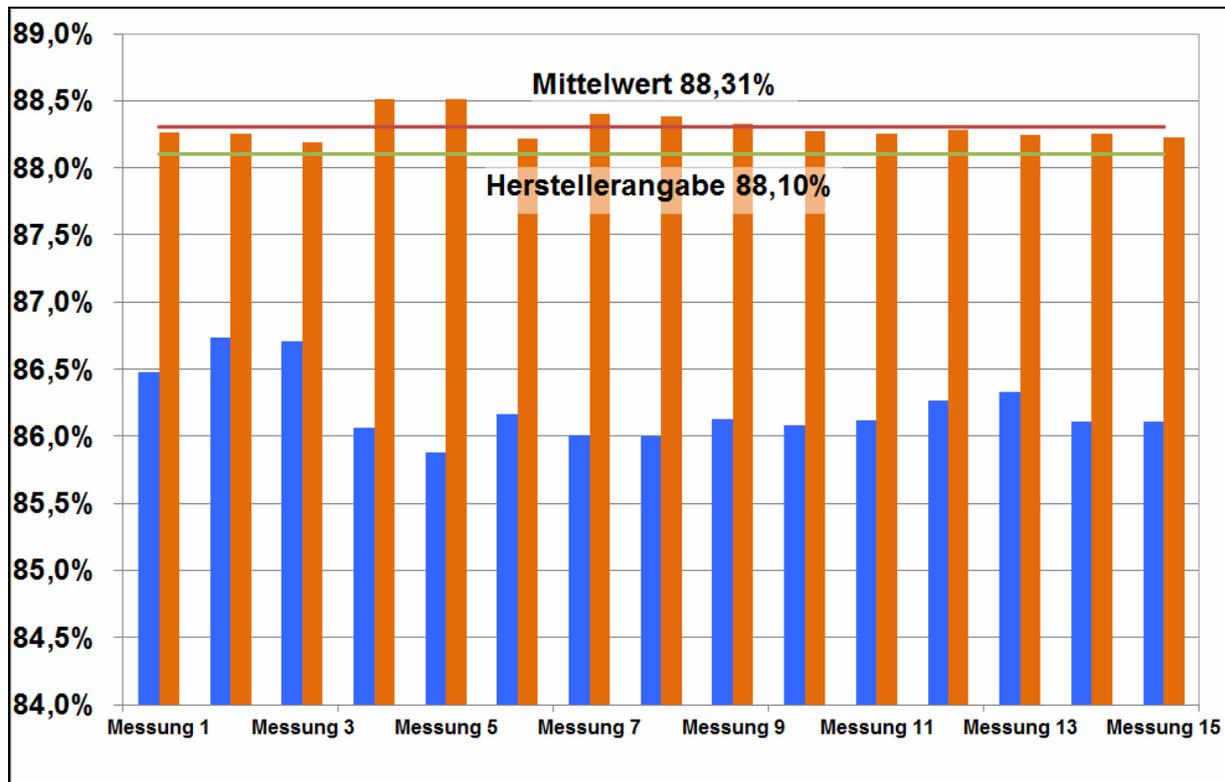


Abbildung 40: Vergleich des gemessenen feuerungstechnischen Wirkungsgrads mit den Herstellerangaben – Kessel G1

Neben dem feuerungstechnischen Wirkungsgrad  $\eta_f$  (orange) ist in der obigen Abbildung auch der Kesselwirkungsgrad (blau) aufgetragen. Der Mittelwert der 15  $\eta_f$ -Messungen beträgt 88,31 % und liegt damit nur gering über der Herstellerangabe von 88,10 %.

### 5.3.6 Andere Wirkungsgradmessungen

Neben dem  $\eta_{100}$  wurden noch weitere Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Rücklauftemperaturen, Volumenströmen (bzw. Temperaturdifferenz) und Belastungen aufgenommen, um das TRNSYS-Modell zu validieren. Es wurden auch bei diesen Messungen die Prüfbedingungen der DIN EN 303-3 eingehalten.

Die nachfolgende Abbildung 41 zeigt den Kesselwirkungsgrade (bezogen auf den Brennwert) und den feuerungstechnischen Wirkungsgrad bei verschiedenen Belastungen aufgetragen über der Eintrittstemperatur bei unterschiedlichen Massenströmen.

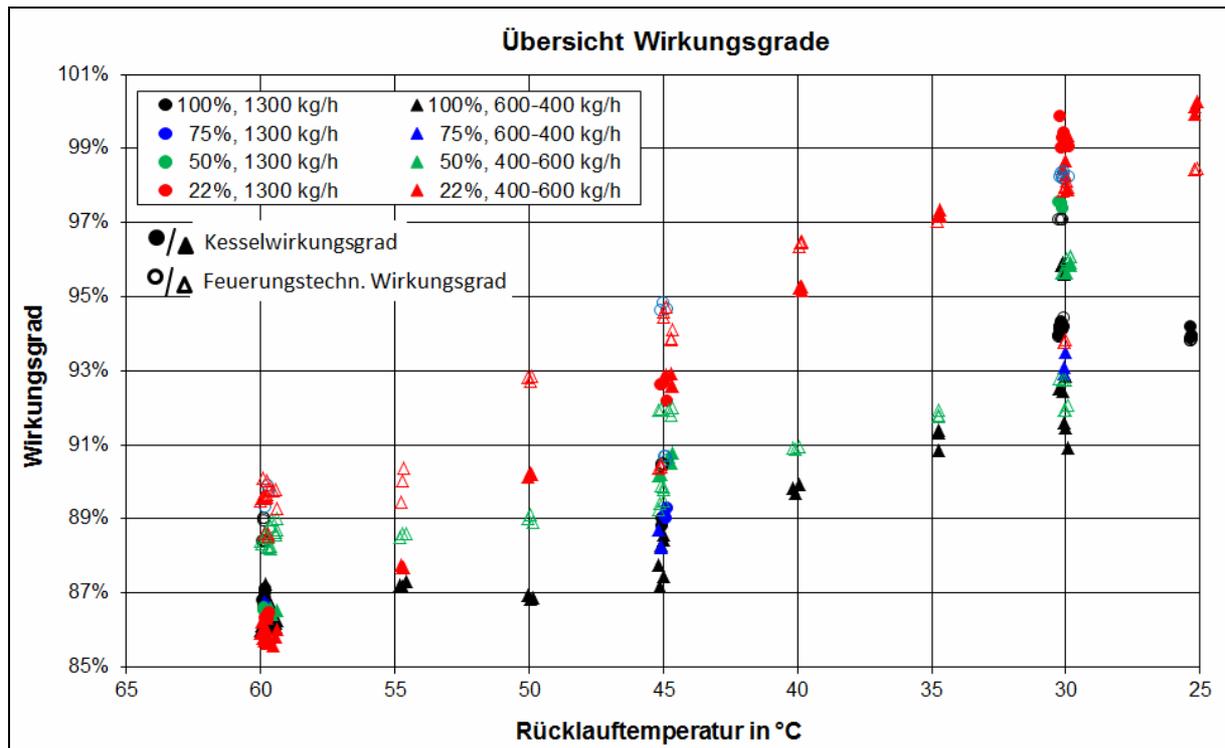


Abbildung 41: Übersicht Kessel- und feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Volumenströmen und Kesselbelastungen aufgetragen über der Rücklauftemperatur – Kessel G1

Bei den ausgefüllten Kreisen und Dreiecken handelt es sich um den Kesselwirkungsgrad ( $\eta_{100}$ ) und bei den offenen Kreisen und Dreiecken um den feuerungstechnischen Wirkungsgrad ( $\eta_f$ ). In der Abbildung ist deutlich zusehen, dass beide Wirkungsgrade bei niedrigen Rücklauftemperaturen ansteigen.

Dies hängt mit der Kondensation des Abgases zusammen. Des Weiteren ist zu erkennen, dass bei einer hohen Eintrittstemperatur von 60 °C und unterschiedlichen Massenströmen und Belastungen der Wirkungsgrad nur gering schwankt. Er liegt im Mittel bei ca. 86,3 %. Je niedriger die Eintrittstemperatur und die Belastung werden, desto größer wird auch die Streuung der Messwerte. In der kleinsten Leistungsstufe (22 %) nähert sich der Wirkungsgrad bei einer Eintrittstemperatur von 30 °C den 100 % an. Da dies normalerweise nicht sein kann, ist hier von einem Messfehler auszugehen.

### 5.3.7 Kennfelder Kondensatmenge

Während der Messungen zum Wirkungsgrad wurde nach jedem Versuch die angefallene Kondensatmenge aufgefangen und gewogen. In Abbildung 42 und Abbildung 43 sind die Kondensatmenge, die mittlere Abgastemperatur und die Abgasfeuchte in Abhängigkeit von der Eintrittstemperatur und der Belastung aufgetragen.

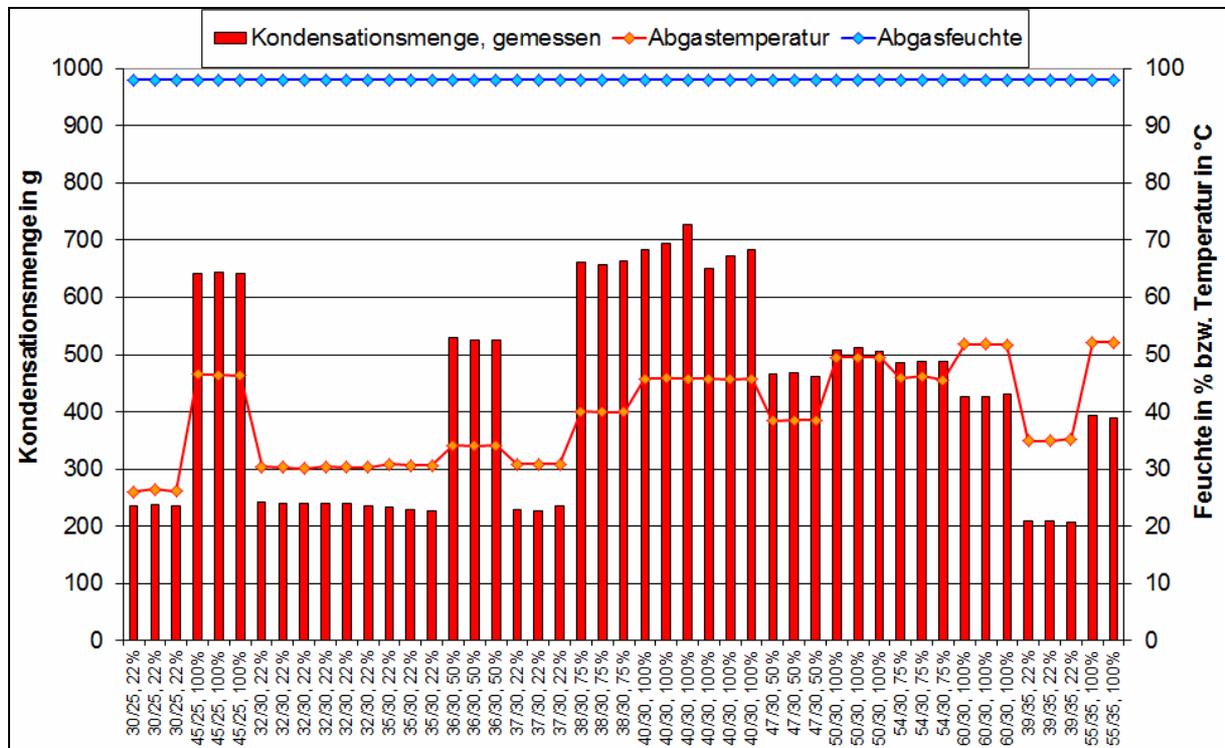


Abbildung 42: Übersicht der Kondensatmenge, Abgastemperatur und Abgasfeuchte in Abhängigkeit der Belastung und der Eintrittstemperatur – Kessel G1 (Teil 1)

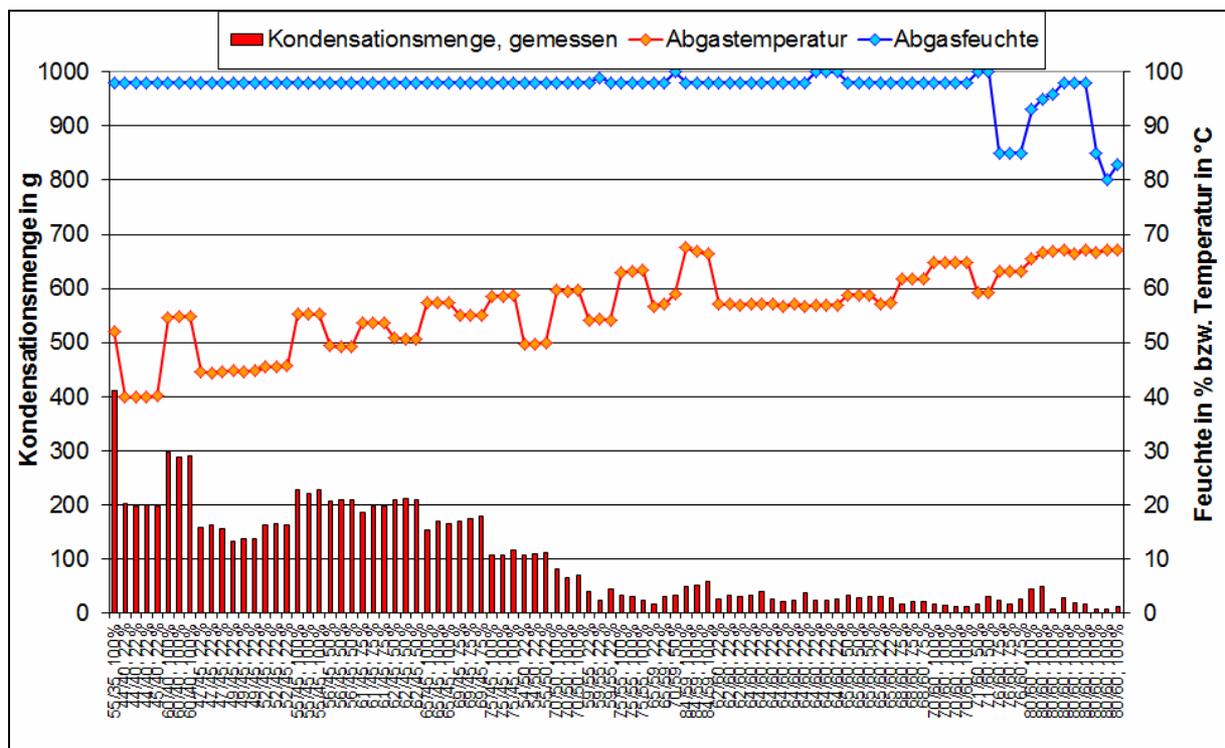


Abbildung 43: Übersicht der Kondensatmenge, Abgastemperatur und Abgasfeuchte in Abhängigkeit der Belastung und der Eintrittstemperatur – Kessel G1 (Teil 2)

Es ist deutlich zusehen, dass bei steigender Eintrittstemperatur die Kondensatmenge abnimmt und die Abgastemperatur ansteigt. Zudem ist auch deutlich zu erkennen, dass über den gesamten Messbereich Kondensation auftritt. Des Weiteren liegt die Abgasfeuchte immer nahezu bei 100%. Die Abgastemperatur steigt bei steigender Eintrittstemperatur an.

### 5.3.8 Betriebsbereitschaftsverlust

Die Messung des Betriebsbereitschaftsverlustes wird nach DIN EN 304 durchgeführt. Hier müssen mindestens zwei aufeinander folgende Messungen eine Abweichung von weniger als 5 % aufweisen.

In der nachfolgenden Abbildung 44 sind die einzelnen Messungen aufgetragen. Die Messungen 1 bis 3 wurden am 05.10.2011 durchgeführt.

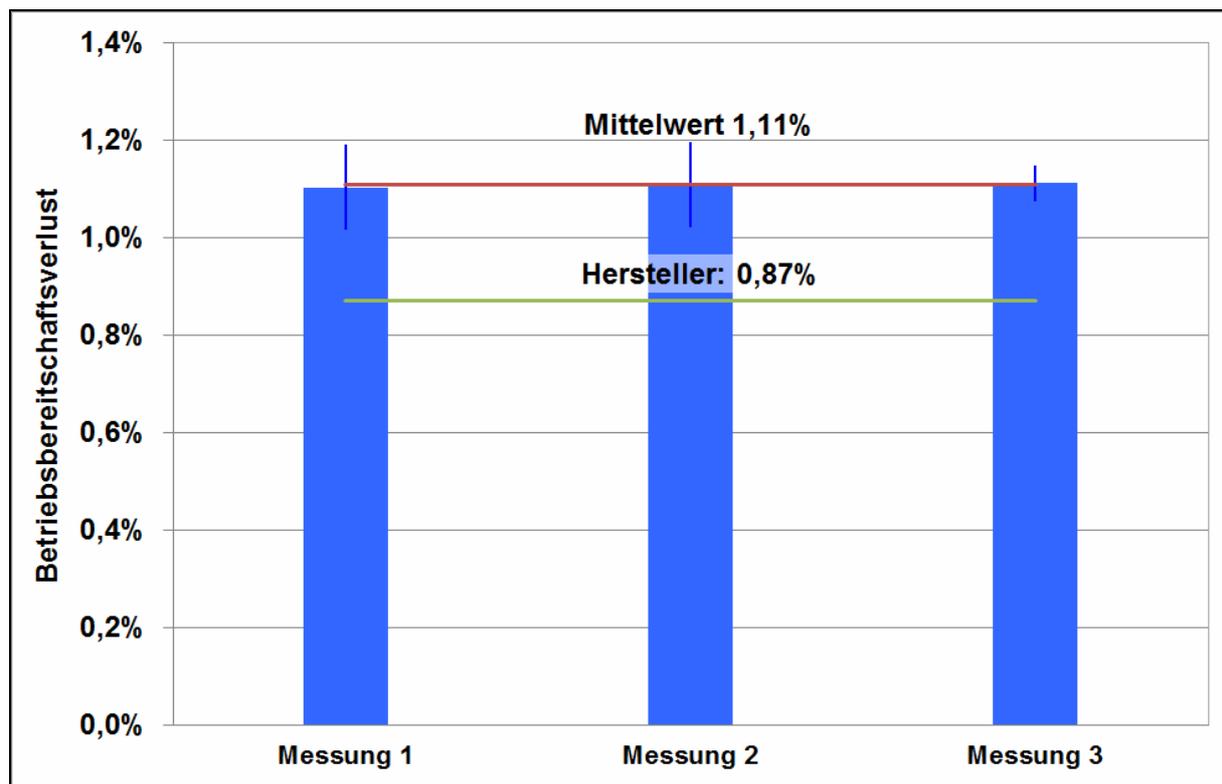


Abbildung 44: Übersicht Bereitschaftsverlust – Kessel G1

Die drei Messungen schwanken nur sehr gering im Bereich von 1,10 % und 1,11 % und sind daher als konstant anzusehen. Der Mittelwert von 1,11 % aus den drei Messungen liegt bei diesem Kessel deutlich über dem Herstellerwert von 0,87 %.

### 5.3.9 Zeitkonstanten Kesselwasser

Die Zeitkonstanten für das Kesselwasser, Totzeit  $T_t$  und Verzögerungszeit  $T_1$ , wurden bei drei unterschiedlichen Eintrittstemperaturen (30°C, 45°C und 60°C), drei verschiedenen Volumenströmen (ca. 1250 l/h, 620 l/h und 410 l/h bzw. 480 l/h) und sechs Kesselleistungen (100 %, 84,7 %, 71,3 %, 52,0 %, 34,7 % und 19,3 %) ermittelt. Es wurden Messungen beim Anfahren auf Vollast und Teillast, beim Ausschalten aus Vollast und Teillast und beim Lastwechsel durchgeführt.

Zunächst wird die Totzeit des Kessels G1 bei Anfahren und Ausschalten betrachtet.

Abbildung 45 zeigt den Mittelwert der Totzeit aufgetragen über der eingestellten Kesselleistung. Es ist zu erkennen, dass die Totzeit nur gering schwankt. Die Spannweite liegt zwischen 24 und 30 Sekunden. Abbildung 46 zeigt die Totzeit des Kessels G1 beim Ausschalten über der eingestellten Kesselleistung. Hier ist zu sehen, dass die Totzeit mit sinkender Kesselleistung zunimmt, egal welche Austrittstemperatur herrscht.

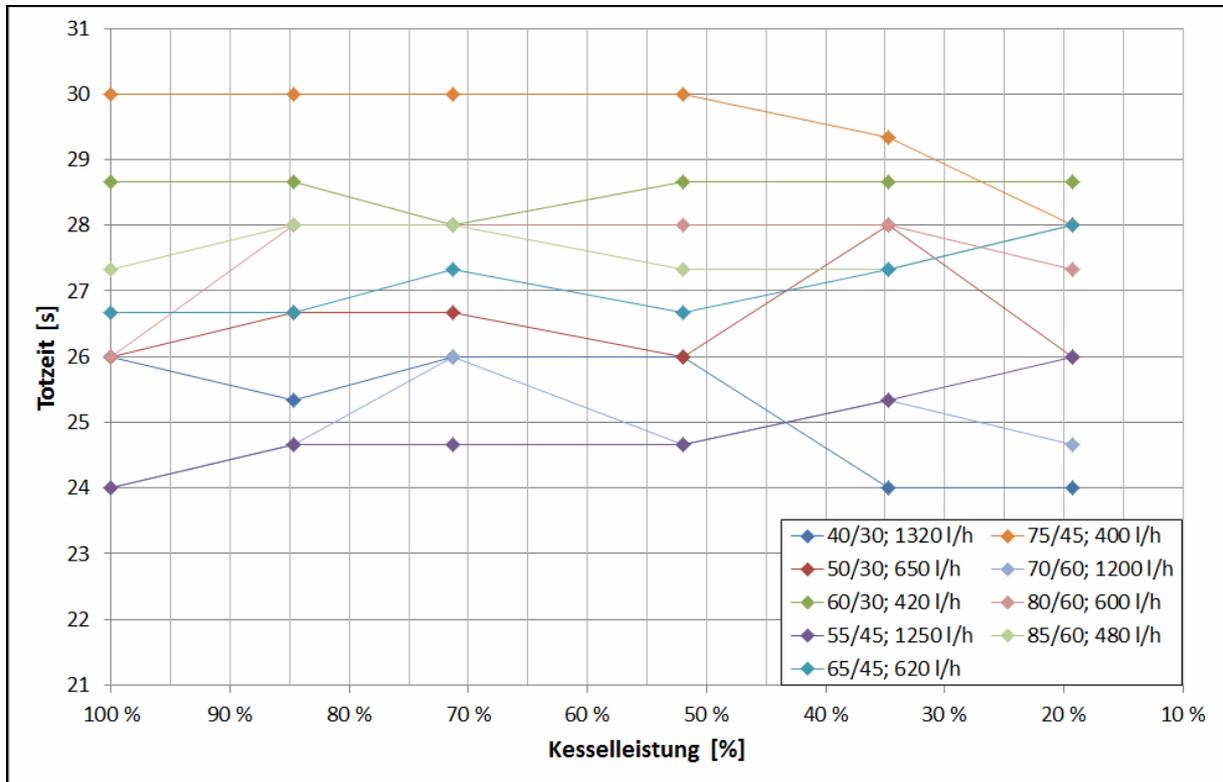


Abbildung 45: Mittelwerte Totzeit beim Anfahren – Kessel G1

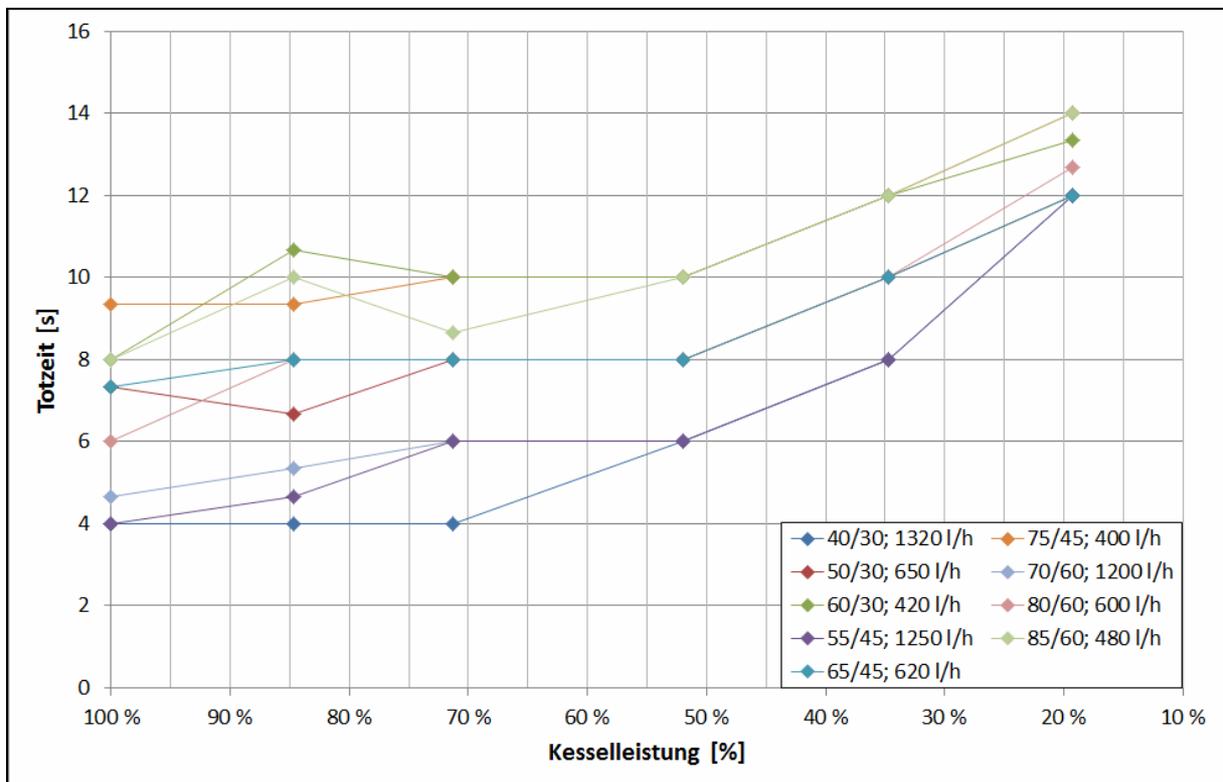


Abbildung 46: Mittelwerte Totzeit beim Ausschalten – Kessel G1

Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen die Totzeit beim Lastwechsel aufgetragen über dem Messpunkt. Es wurden nur die Messpunkte 40/30°C, 65/45°C und 85/60°C betrachtet. Abbildung 47 und Abbildung 48 zeigen, dass die Austrittstemperatur und der Volumenstrom nur bedingt Auswirkung auf die Totzeit beim Lastwechsel haben.

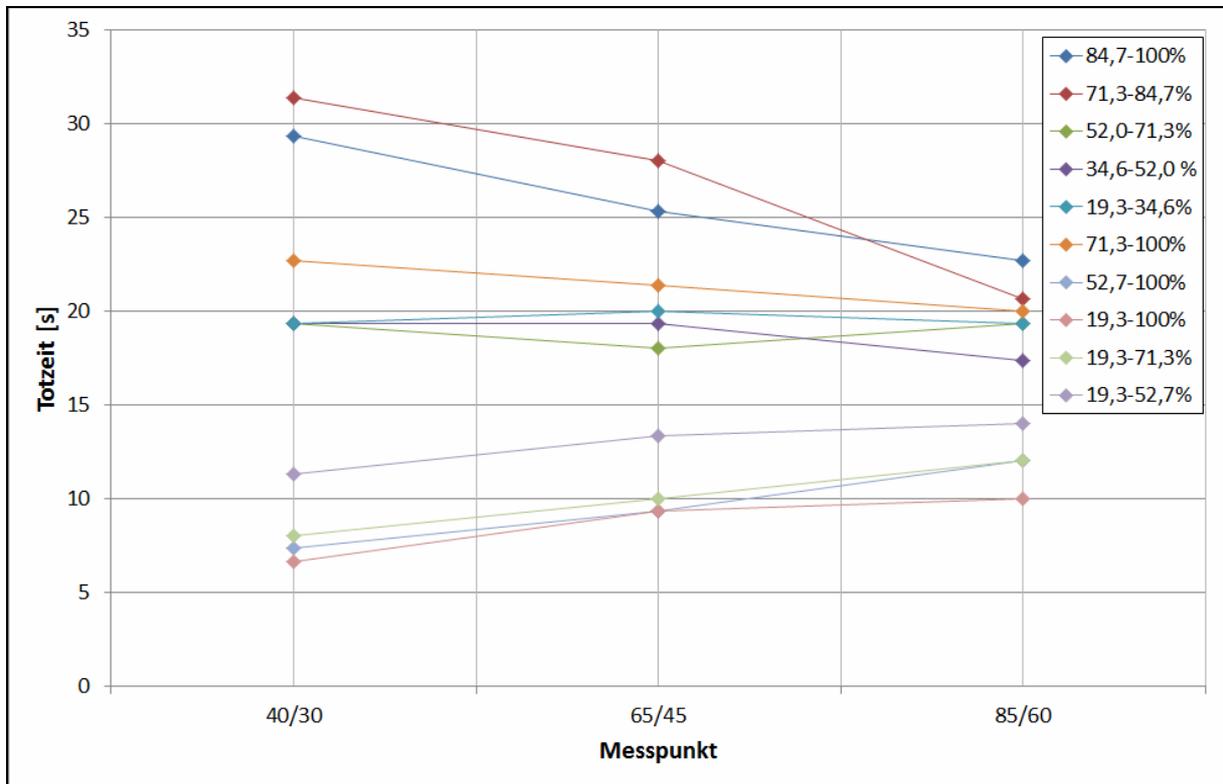


Abbildung 47: Übersicht Totzeit beim Lastwechsel (Aufheizen) – Kessel G1

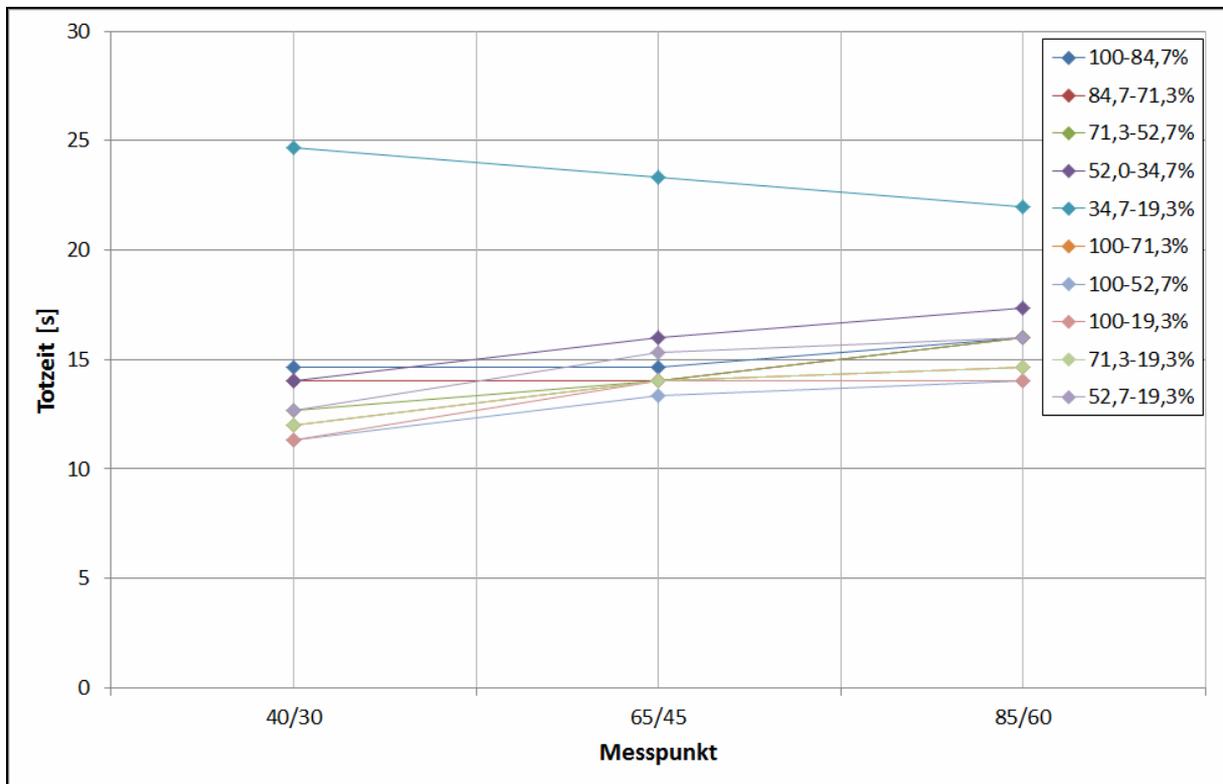


Abbildung 48: Übersicht Totzeit beim Lastwechsel (Abkühlen) – Kessel G1

Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen die Verzögerungszeit des Kessels G1 aufgetragen über der eingestellten Kesselleistung beim Aufheizen (Abbildung 49) und Abkühlen (Abbildung 50). Im Gegensatz zur Totzeit, verringert sich die Verzögerungszeit beim Anfahren bei abnehmender Kesselleistung. Allerdings hat die Kesselleistung beim Ausschalten keinen großen Einfluss auf die Verzögerungszeit. Hier ist nur ein leichter Anstieg zu sehen.

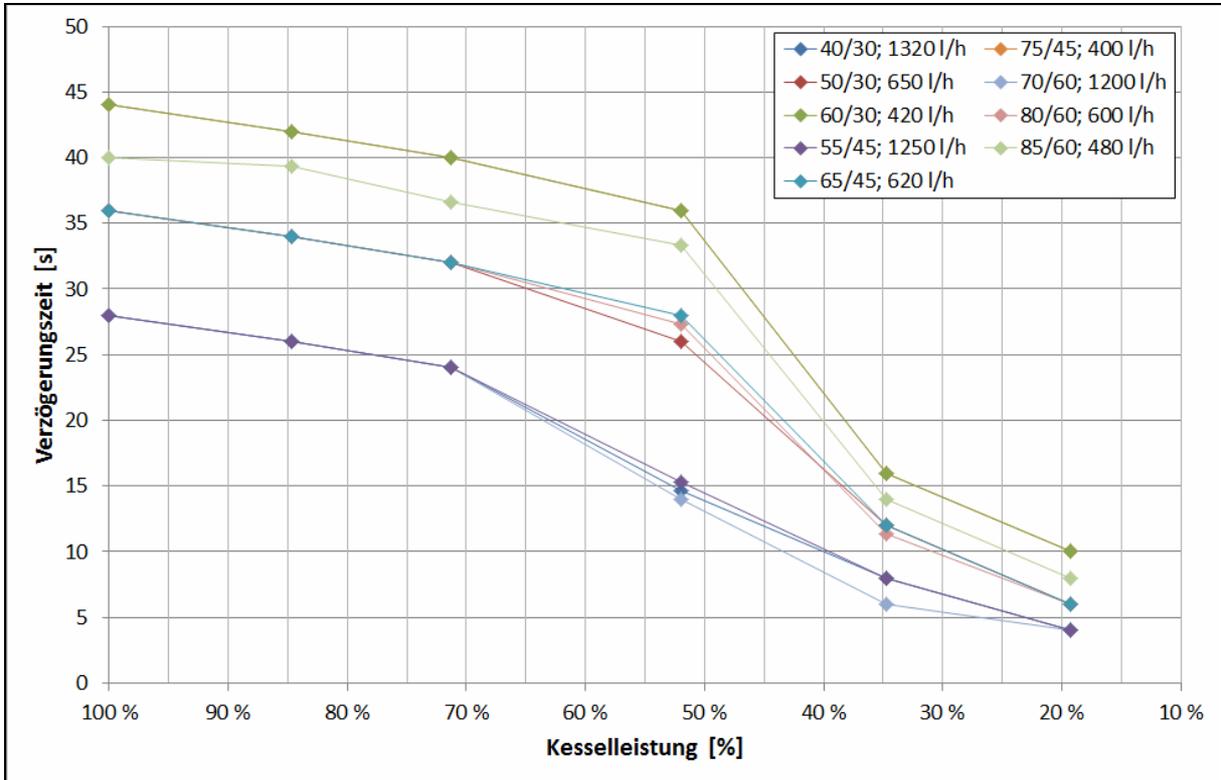


Abbildung 49: Mittelwerte Verzögerungszeit beim Anfahren – Kessel G1

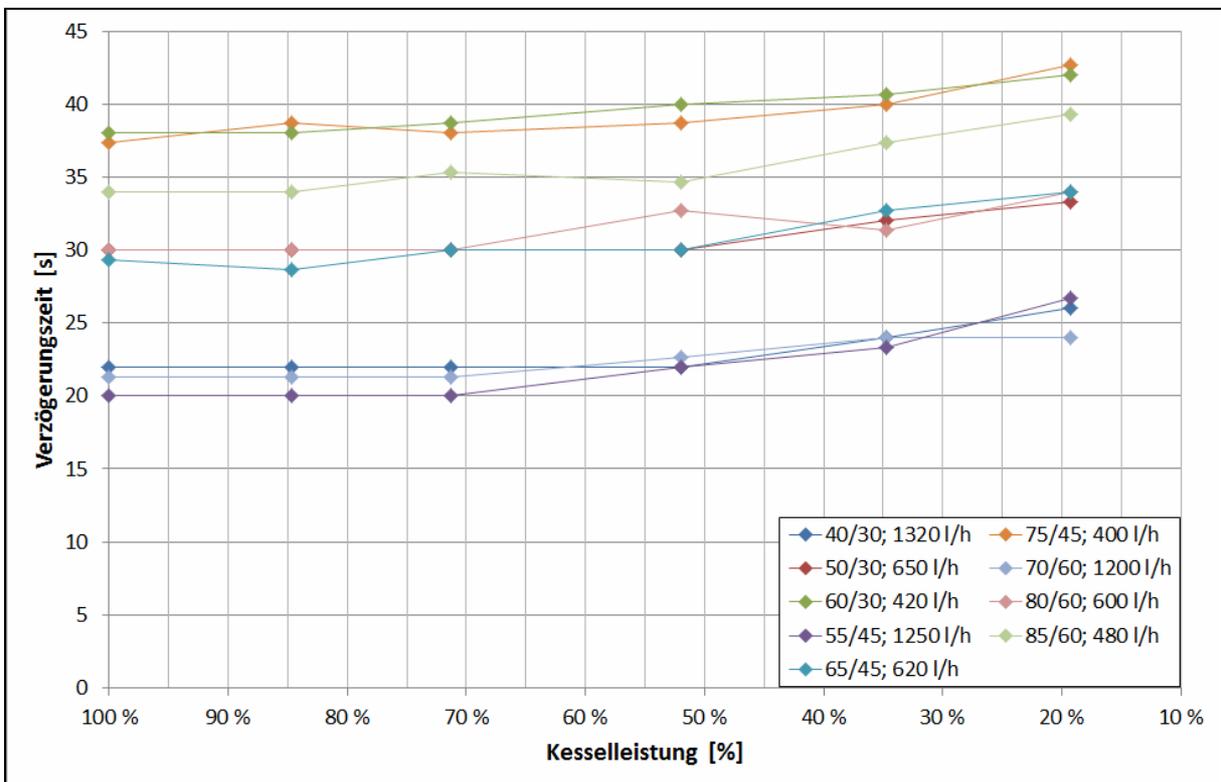


Abbildung 50: Mittelwerte Verzögerungszeit beim Ausschalten – Kessel G1

Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen die Verzögerungszeit beim Lastwechsel. Es wurden wiederum nur die Messpunkte 40/30°C, 65/45°C und 85/60°C angefahren. Abbildung 51 zeigt die Verzögerungszeit beim Aufheizen (Lastwechsel) und Abbildung 52 beim Abkühlen (Lastwechsel) aufgetragen über dem Messpunkt. Bei beiden Grafiken ist zu sehen, dass mit steigender Austrittstemperatur und verringertem Volumenstrom die Verzögerungszeit ansteigt.

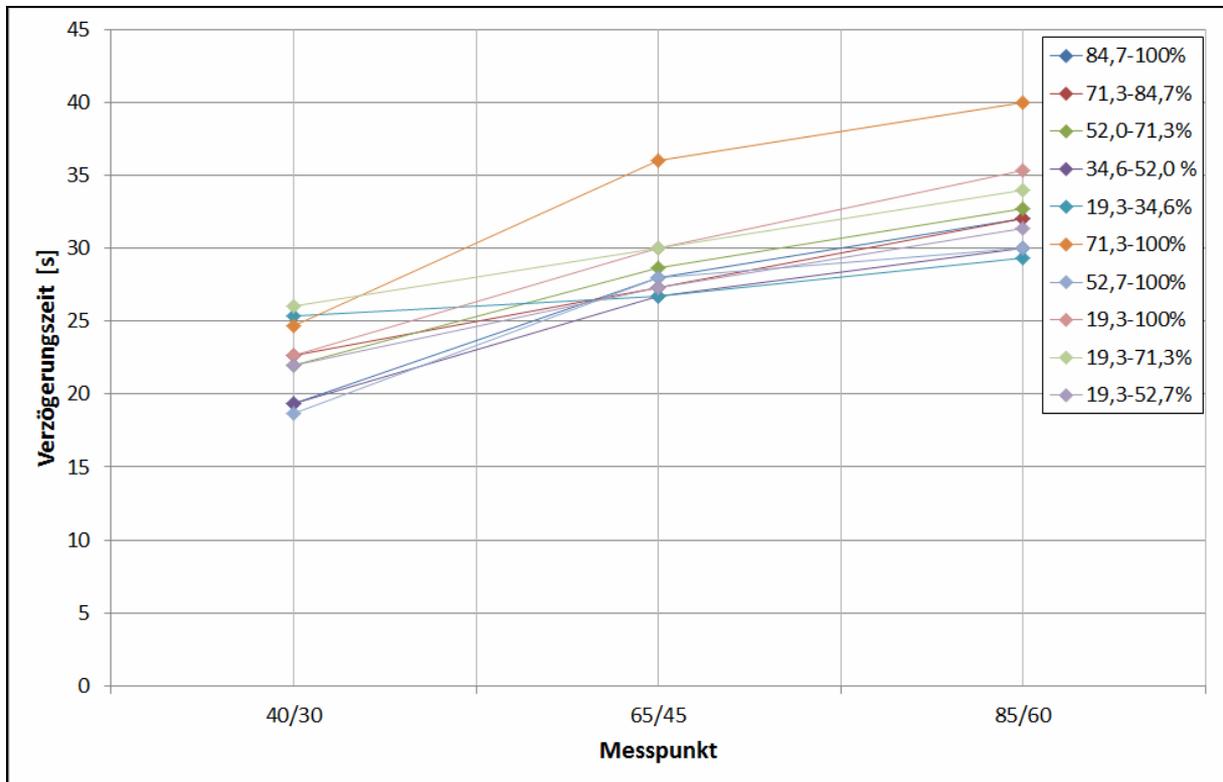


Abbildung 51: Übersicht Verzögerungszeit beim Lastwechsel (Aufheizen) – Kessel G1

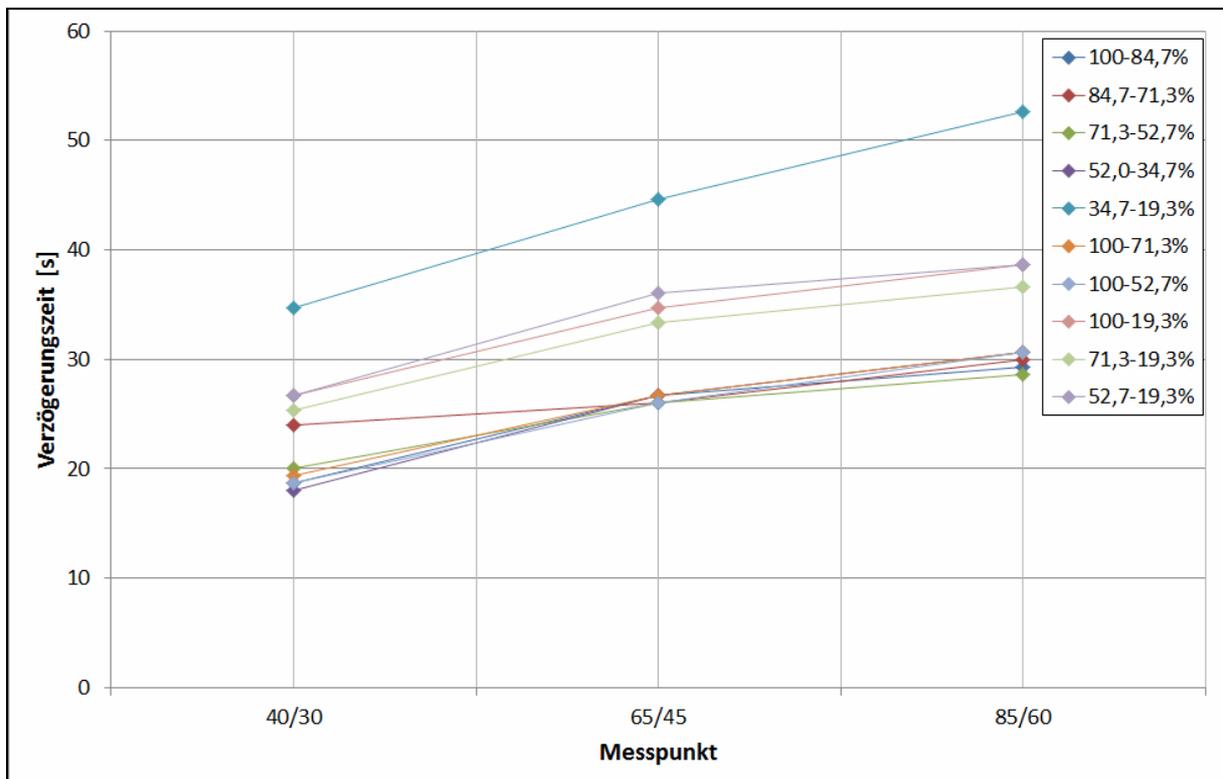


Abbildung 52: Übersicht Verzögerungszeit beim Lastwechsel (Abkühlen) – Kessel G1

### 5.3.10 Zeitkonstanten Abgas

Bei der Abgastemperatur wurde nur die Verzögerungszeit ermittelt. Eine Totzeit wurde nicht berücksichtigt. Die Messung der einzelnen Zeiten erfolgte mit den gleichen Einstellungen, wie bei der Aufnahme der Zeitkonstanten das Kesselwassers. Alle Ergebnisse sind im Anhang aufgeführt.

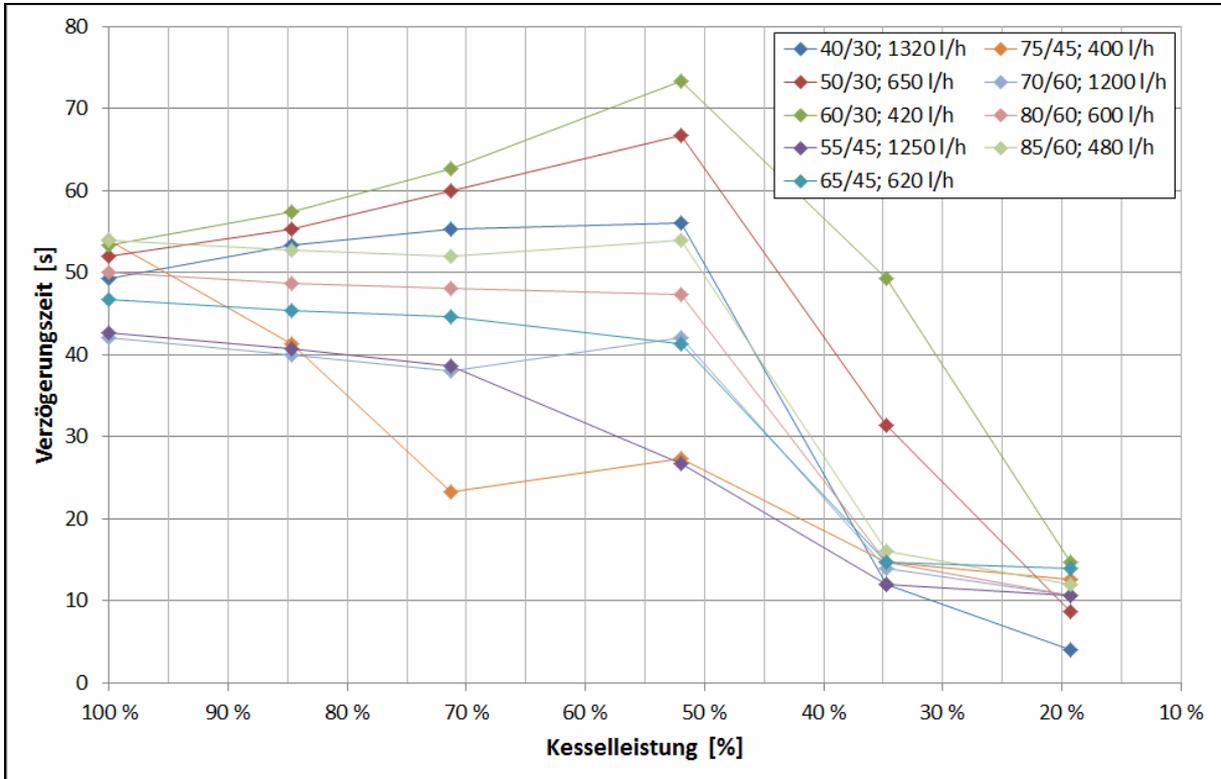


Abbildung 53: Mittelwerte Verzögerungszeit Abgas beim Anfahren – Kessel G1

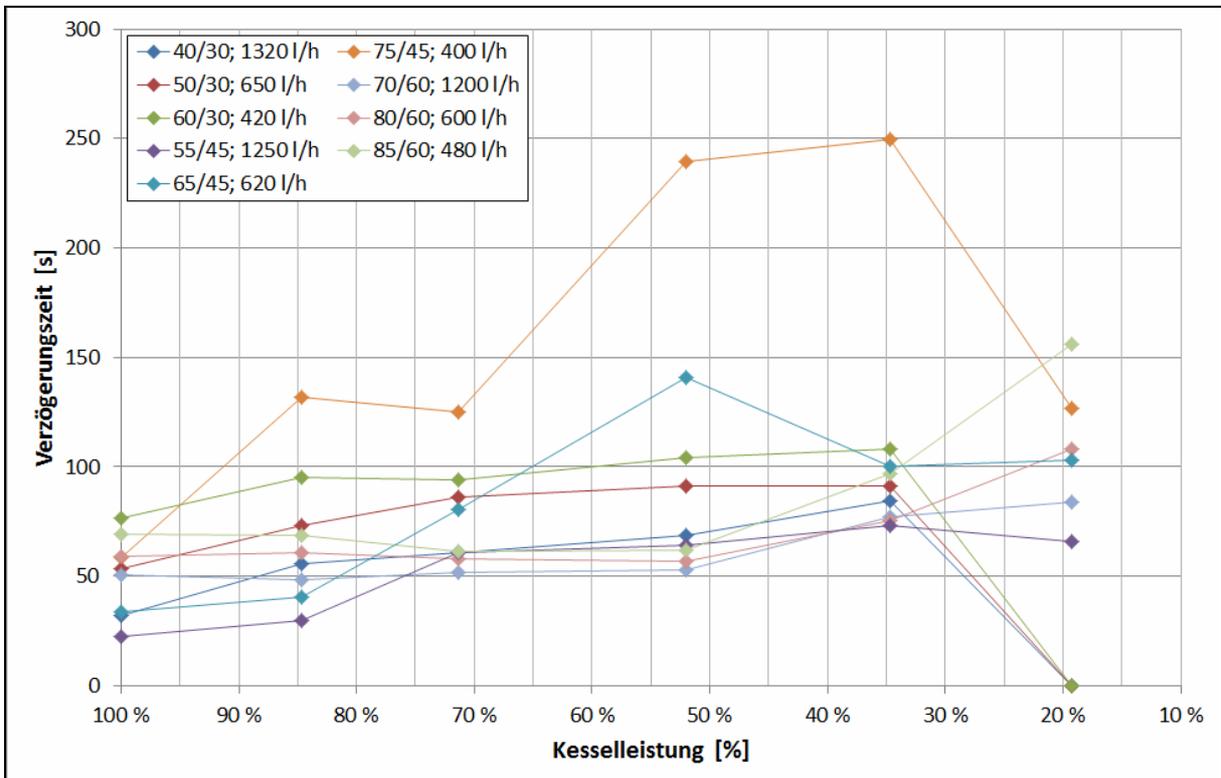


Abbildung 54: Mittelwerte Verzögerungszeit Abgas beim Ausschalten – Kessel G1

Die beiden obigen Abbildungen zeigen die Verzögerungszeit Abgas beim Anfahren (Abbildung 53) und Ausschalten (Abbildung 54) aufgetragen über der eingestellten Kesselleistung.

Die Verzögerungszeit Abgas nimmt beim Anfahren deutlich ab, wenn der Kessel nicht in Volllast sondern in einer kleineren Leistungsstufe startet. Bei Volllast beträgt T1 im Schnitt 49,3 Sekunden und in der kleinsten Leistungsstufe nur 10,9 Sekunden.

Anders verhält sich die Verzögerungszeit Abgas beim Ausschalten. Hier ist ein leichter Anstieg der Zeit zu sehen. Bei den Messpunkten mit einer Eintrittstemperatur von 30 °C wurden in der kleinsten Leistungsstufe keine Messungen durchgeführt.

Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen die Verzögerungszeit beim Lastwechsel aufgetragen über den Messpunkten. Es wurden nur die Messpunkte 40/30°C, 65/45°C und 85/60°C angefahren. Beim Lastwechsel ist weder beim Aufheizen noch beim Abkühlen ein deutlicher Unterschied in der Verzögerungszeit zu sehen.

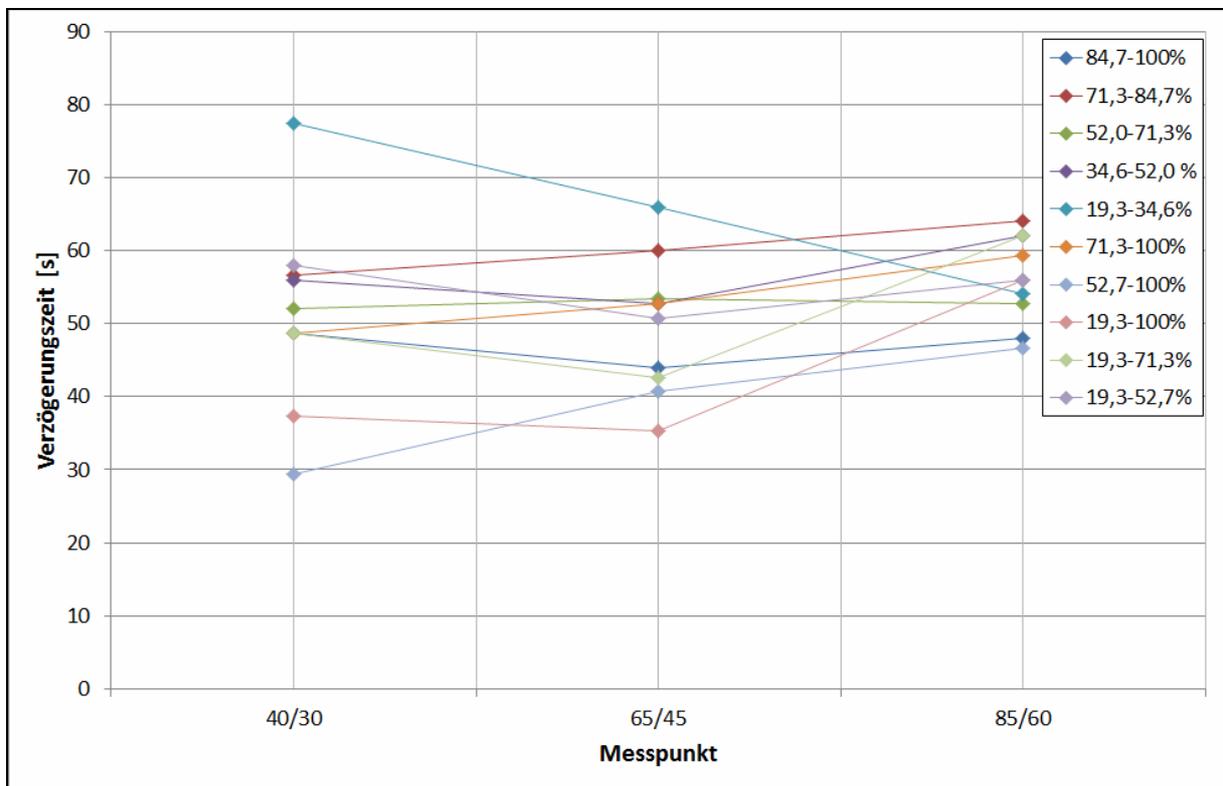


Abbildung 55: Übersicht Verzögerungszeit Abgas beim Lastwechsel (Aufheizen) – Kessel G1

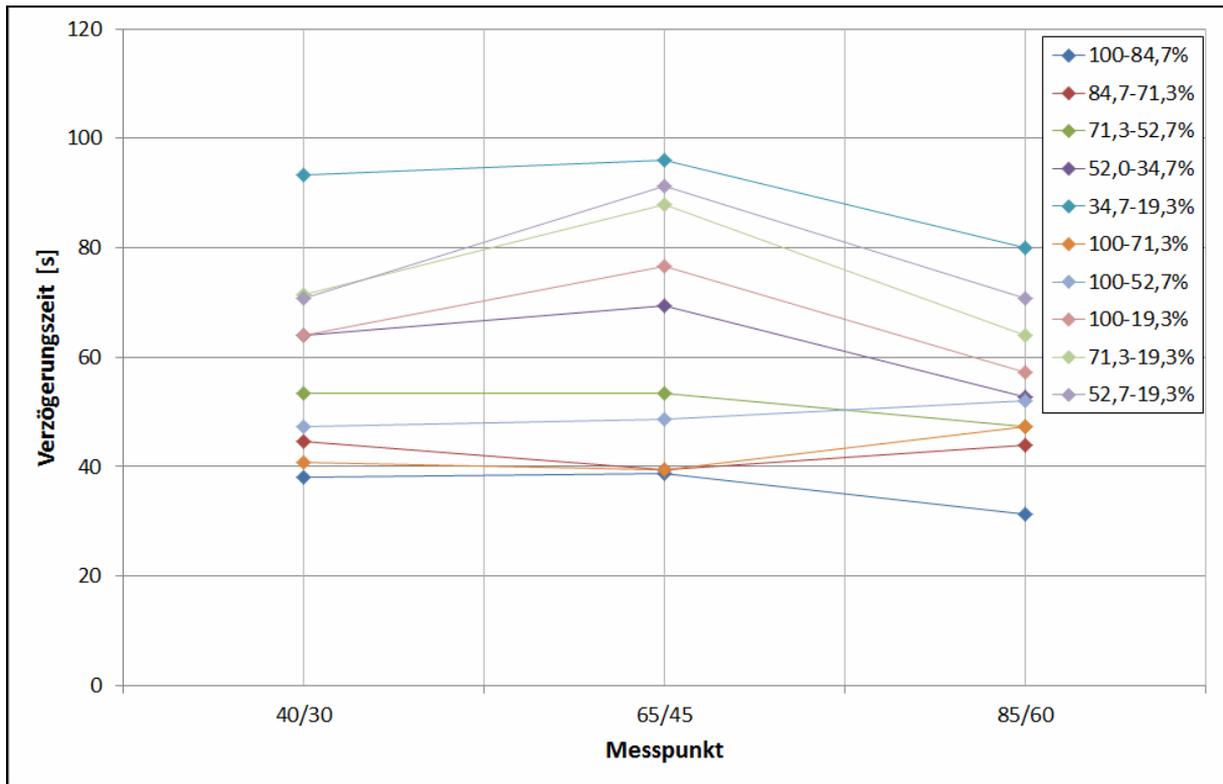


Abbildung 56: Übersicht Verzögerungszeit Abgas beim Lastwechsel (Abkühlen) – Kessel G1

### 5.3.11 Startautomatik

Es gibt zwei Arten von Starts bei diesem Kessel. Den Kalt- und den Warmstart. Der Kaltstart wurde bei dieser Therme nicht aufgenommen, da er nicht in das TRNSYS-Modell übernommen wird. Daher beschränken sich alle Untersuchungen zur Startautomatik auf den Warmstart. Die nachfolgende Abbildung 57 zeigt das Verhalten der Therme bei einem Warmstart.

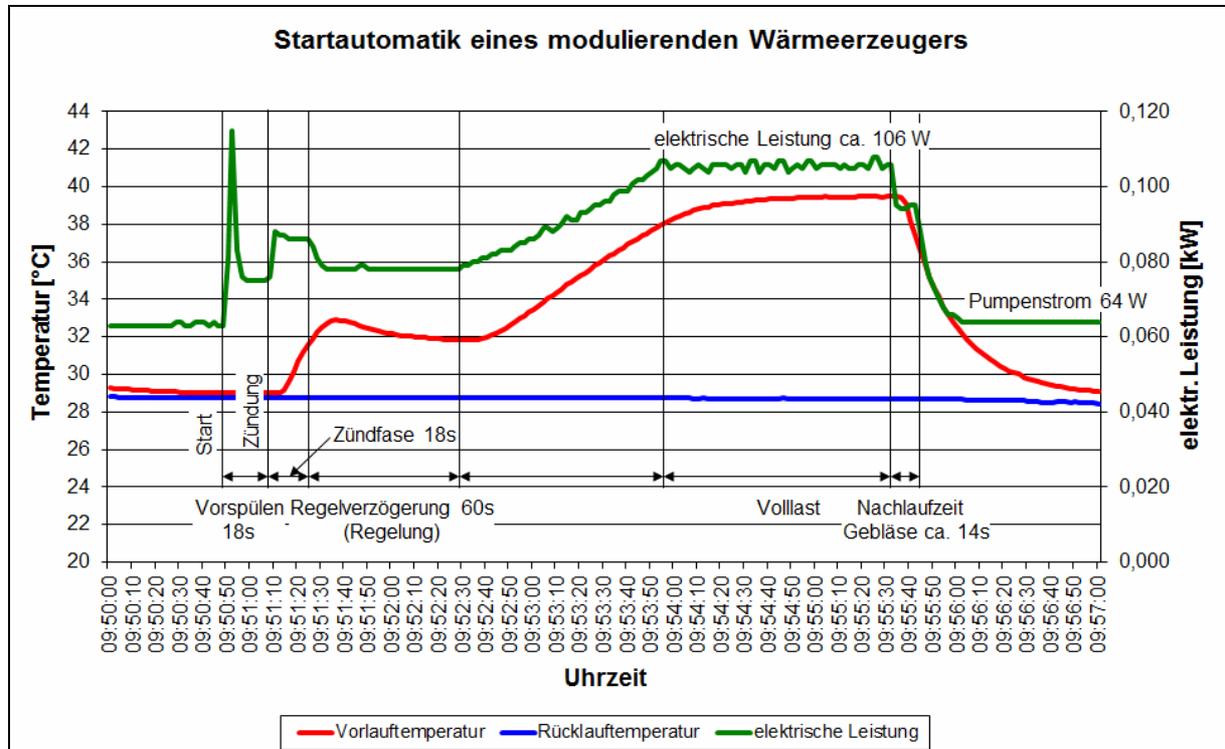


Abbildung 57: Startautomatik eines modulierenden Wärmeerzeugers – Kessel G1

Die elektrische Leistung des Kessels im Standby-Modus beträgt 64 W und beinhaltet die Leistung für die Pumpe. Nach Erhalt des Anforderungssignals läuft für etwa 18 Sekunden die Vorspülzeit bei einer elektrischen Leistung von im Mittel 90 W. Danach wird das Magnetventil für die Brennstoffzufuhr geöffnet und die Zündung beginnt, das Gas zu entzünden. Dieser Vorgang dauert ebenfalls etwa 18 Sekunden und die elektrische Leistung beträgt im Mittel ca. 88 W. Entsteht während der Zündzeit eine Flamme, läuft der Kessel weiter. Die elektrische Leistungsaufnahme beträgt zunächst etwa 78 W.

Der Kessel startet nicht in der Volllaststufe. Wird eine höhere Wärmeanforderung benötigt, wird die Kesselleistung nach ca. 60 Sekunden erhöht bis zur Volllast. Hier beträgt die elektrische Leistungsaufnahme ca. 106 W. Nähert sich die Ist-Temperatur der Therme der Soll-Temperatur, so wird die abgegebene Leistung reduziert und auch die elektrische Leistungsaufnahme sinkt (in Abbildung 57 nicht dargestellt).

Beim Ausschalten des Kessels läuft das Gebläse für etwa 14 Sekunden nach. Die elektrische Leistung beträgt dann ca. 95 W. Der Kessel geht wieder in den Standby-Modus und die elektrische Leistungsaufnahme beträgt inkl. der Pumpe 64 W. In der nachfolgenden Tabelle, sind die mittleren Zeiten und Leistungen noch einmal zusammengefasst aufgeführt. Die Aufnahme dieser Parameter erfolgte zusammen mit den Zeitkonstanten.

	Start	Vorspülen	Zündung	Teillast	Volllast	Nachspülen
Zeit [s]	0	18	18	60	-	14
elektrische Leistung [W]	64	90	88	78	215	95

Tabelle 12: Übersicht Startautomatik – Kessel G1

## 5.4 Kessel G2

### 5.4.1 Grunddaten des Kessels

Beim vierten und letzten Kessel handelt es sich wiederum um eine modulierende Gasbrennwerttherme. Nachfolgend sind die wichtigsten technischen Daten des Kessels aufgeführt. Zur besseren Anonymisierung sind einzelnen Wert leicht geändert dargestellt.

Nennwärmeleistung	14,4 kW (mod. 3,2 kW)
Kesselmasse	54 kg
Kesselwasserinhalt	1,5 Liter
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung <sup>6</sup>	88,4 %
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung	- %
Betriebsbereitschaftsverlust	1,23 %

### 5.4.2 Durchgeführtes Messprogramm und Erläuterung des Anhangs

Insgesamt wurden 43 stationäre Messungen, 24 Messungen zur Bestimmung der Zeitkonstanten (Verzögerungszeit und Totzeit) beim Aufheizen und Abkühlen durchgeführt. Eine Übersicht der einzelnen Messungen befindet sich im Anhang. Dort sind alle Messungen unter Angabe der eingestellten Kesselleistung, Fluidtemperaturen, Massenstrom und Anzahl der einzelnen Versuche aufgeführt. Nachfolgend wird auf einige Ergebnisse genauer eingegangen.

---

<sup>6</sup> Wirkungsgrade sind gemessen bei 60°C Eintrittstemperatur und bezogen auf den Brennwert

### 5.4.3 Wirkungsgradmessung $\eta_{100}$

Unter stationären Betriebsbedingungen wurde am Prüfstand der Kesselwirkungsgrad ( $\eta_{100}$ ) gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu wurden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 303-3 eingestellt, dies betrifft die Wassereintrittstemperatur, die Kesselleistung, den Massenstrom und den Luftüberschuss.

Die nachfolgende Abbildung 58 zeigt die Ergebnisse der insgesamt sieben Wirkungsgradmessungen.

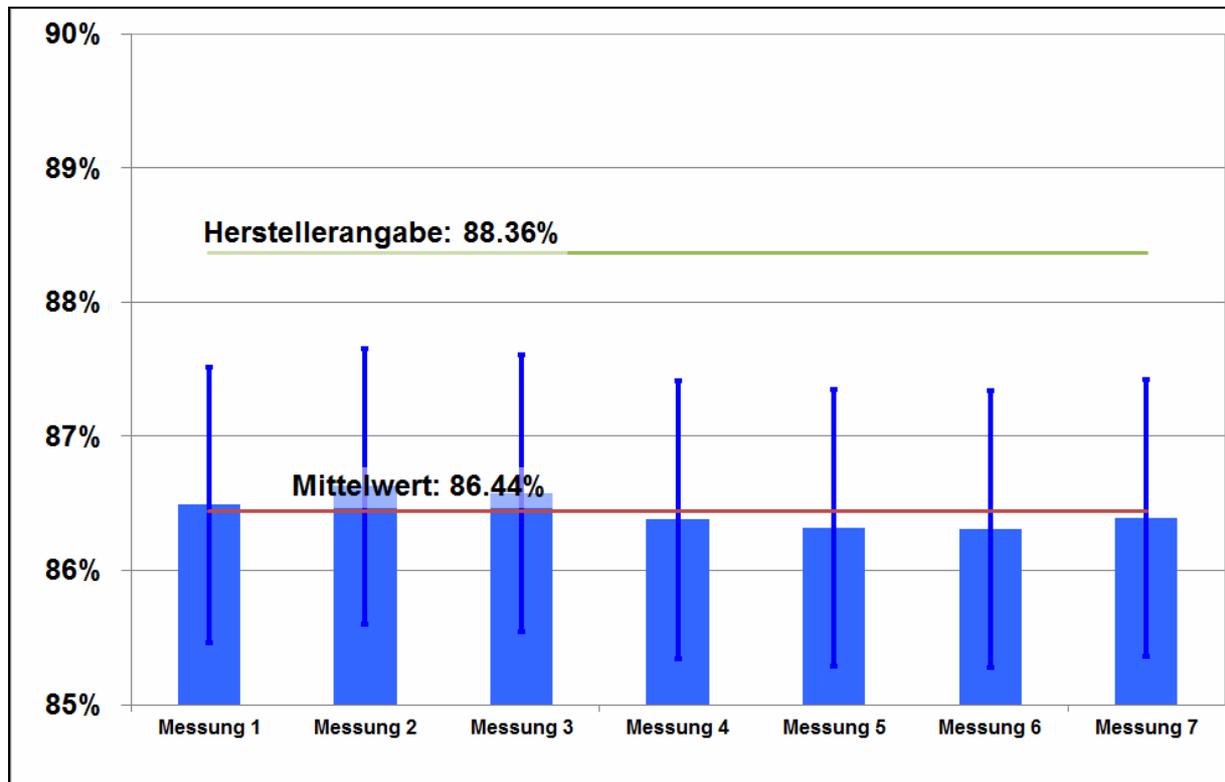


Abbildung 58: Vergleich des gemessenen Wirkungsgrads mit Herstellerangaben – Kessel G2

Um einen verlässlichen Mittelwert zu bekommen, wurden insgesamt zwei Messreihen mit drei bzw. vier Einzelmessungen aufgenommen. Der aus den sieben Messungen resultierende Mittelwert mit 86,44 % liegt deutlich unter der Angabe des Herstellers. Dieser gibt einen Wirkungsgrad bei Volllast von 88,36 % an.

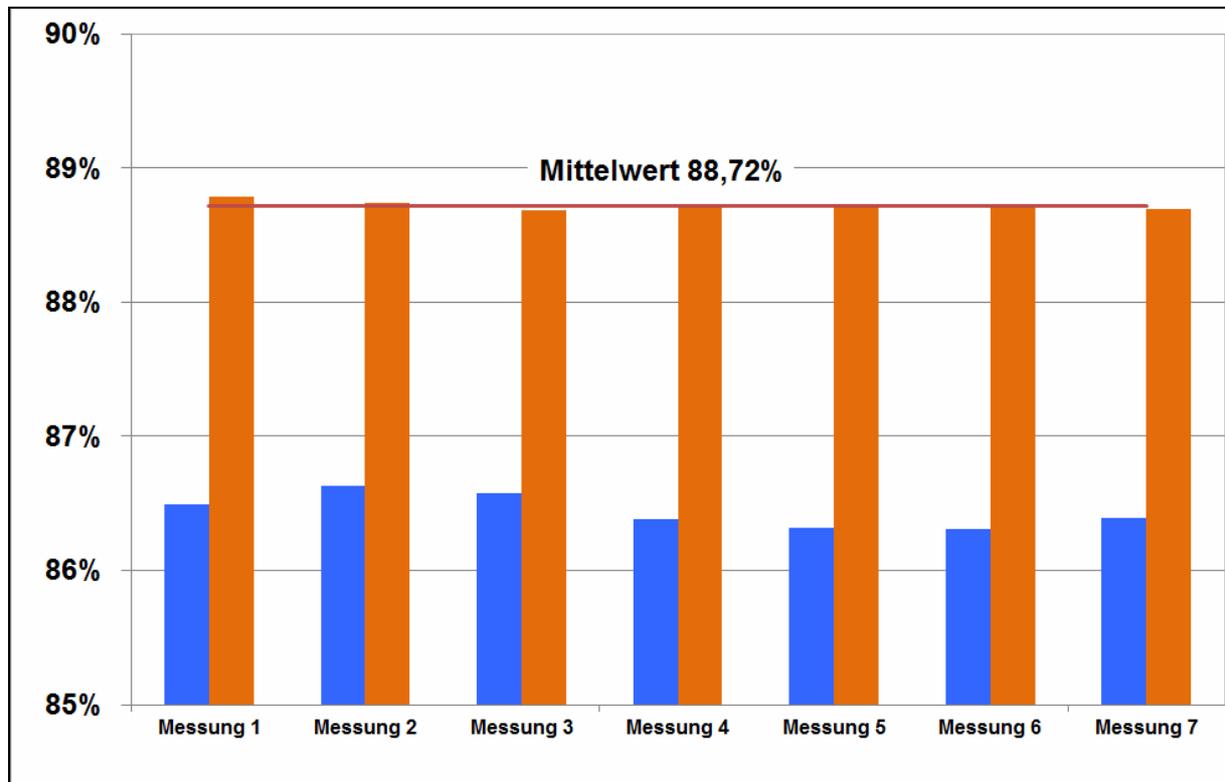
### 5.4.4 Wirkungsgradmessung $\eta_{30}$

Da der Teillastwirkungsgrad  $\eta_{30}$  für das TRNSYS-Modell nicht benötigt wird, wurden hier keine Messungen durchgeführt.

### 5.4.5 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

Unter stationären Betriebsbedingungen wurde am Prüfstand der feuerungstechnische Wirkungsgrad ( $\eta_f$ ) gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu wurden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 303-3 eingestellt, dies betrifft die Wassereintrittstemperatur, die Kesselleistung, den Massenstrom und den Luftüberschuss.

Die nachfolgende Abbildung 59 zeigt die Ergebnisse der insgesamt sieben Wirkungsgradmessungen.



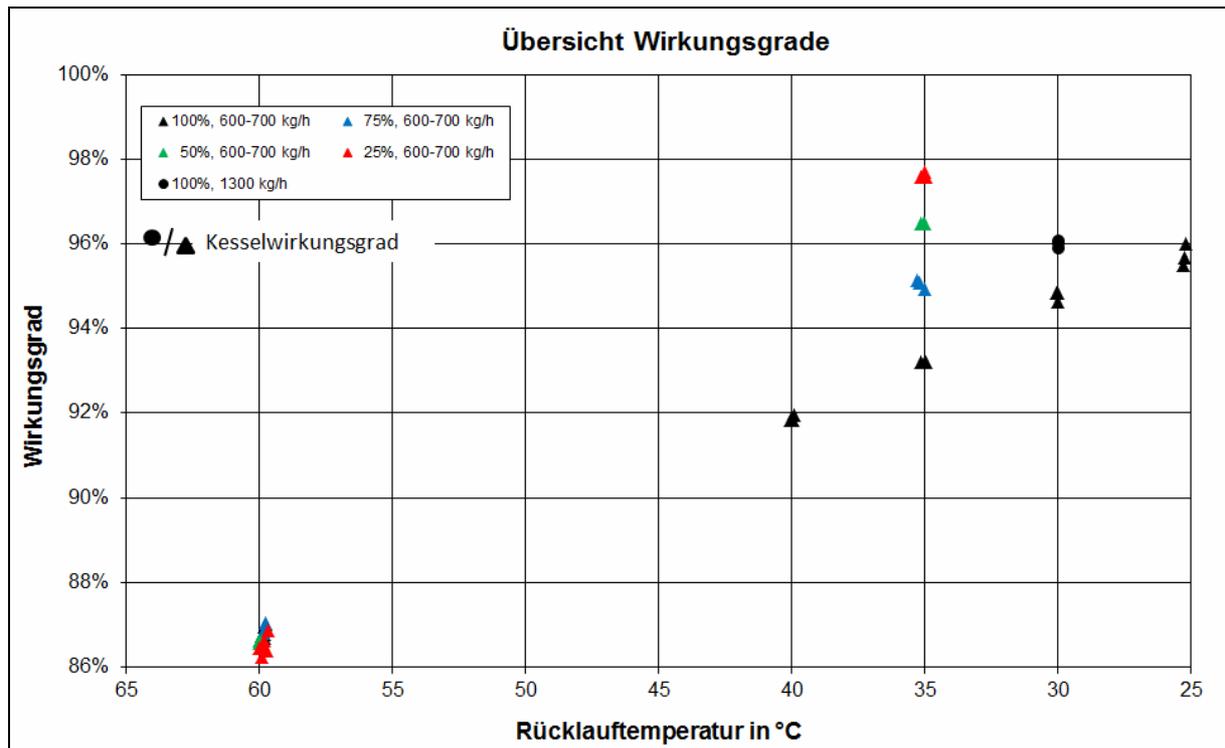
**Abbildung 59: Vergleich des gemessenen feuerungstechnischen Wirkungsgrads mit den Herstellerangaben – Kessel G2**

Neben dem feuerungstechnischen Wirkungsgrad  $\eta_f$  (orange) ist in der obigen Abbildung auch der Kesselwirkungsgrad (blau) aufgetragen. Der Mittelwert der sieben  $\eta_f$ -Messungen beträgt 88,72 %. Ein Vergleich mit der Herstellerangabe ist leider nicht möglich, da dieser nicht vorliegt.

### 5.4.6 Andere Wirkungsgradmessungen

Neben dem  $\eta_{100}$  wurden noch weitere Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Rücklauftemperaturen, Volumenströmen (bzw. Temperaturdifferenz) und Belastungen aufgenommen, um das TRNSYS-Modell zu validieren. Es wurden auch bei diesen Messungen die Prüfbedingungen der DIN EN 303-3 eingehalten.

Die nachfolgende Abbildung 60 zeigt den Kesselwirkungsgrade (bezogen auf den Brennwert) und den feuerungstechnischen Wirkungsgrad bei verschiedenen Belastungen aufgetragen über der Eintrittstemperatur bei unterschiedlichen Massenströmen.



**Abbildung 60: Übersicht Kessel- und feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Volumenströmen und Kesselbelastungen aufgetragen über der Rücklauftemperatur – Kessel G2**

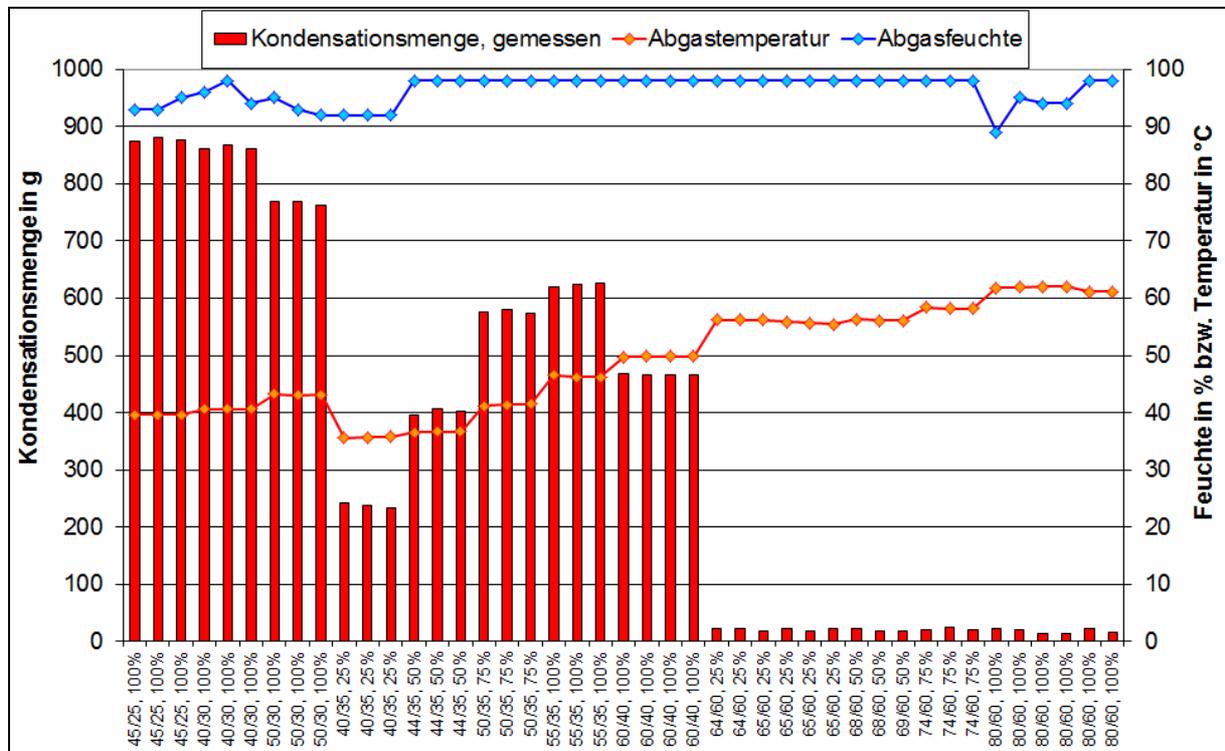
In der Abbildung ist deutlich zu sehen, dass die Wirkungsgrade bei niedrigen Rücklauftemperaturen ansteigen. Dies hängt mit der Kondensation des Abgases zusammen. Des Weiteren ist zu erkennen, dass bei einer hohen Eintrittstemperatur von 60 °C und unterschiedlichen Massenströmen und Belastungen der Wirkungsgrad nur gering schwankt. Er liegt im Mittel bei ca. 86,5 %.

Je niedriger die Eintrittstemperatur und die Belastung, desto größer wird auch die Streuung der Messwerte. In der kleinsten Leistungsstufe (25 %) liegt der Wirkungsgrad bei einer Eintrittstemperatur von 35 °C bei fast 98 %.

### 5.4.7 Kennfelder Kondensatmenge

Während der Messungen zum Wirkungsgrad wurde nach jedem Versuch die angefallene Kondensatmenge aufgefangen und gewogen.

In den nachfolgenden Abbildung 61 sind die Kondensatmenge, die mittlere Abgastemperatur und die Abgasfeuchte in Abhängigkeit von der Eintrittstemperatur und der Belastung aufgetragen.



**Abbildung 61: Übersicht der Kondensatmenge, Abgastemperatur und Abgasfeuchte in Abhängigkeit der Belastung und der Eintrittstemperatur – Kessel G2**

Es ist deutlich zu sehen, dass bei steigender Eintrittstemperatur die Kondensatmenge abnimmt und die Abgastemperatur ansteigt. Zudem ist auch deutlich zu erkennen, dass über den gesamten Messbereich Kondensation auftritt. Des Weiteren liegt die Abgasfeuchte immer nahezu bei 100 %. Die Abgastemperatur steigt bei steigender Eintrittstemperatur an.

#### 5.4.8 Betriebsbereitschaftsverlust

Die Messung des Betriebsbereitschaftsverlustes wird nach DIN EN 304 durchgeführt. Hier müssen mindestens zwei aufeinander folgende Messungen eine Abweichung von weniger als 5 % aufweisen.

In der nachfolgenden Abbildung 62 sind die einzelnen Messungen aufgetragen. Die Messungen wurden am 19.10.2011 durchgeführt.

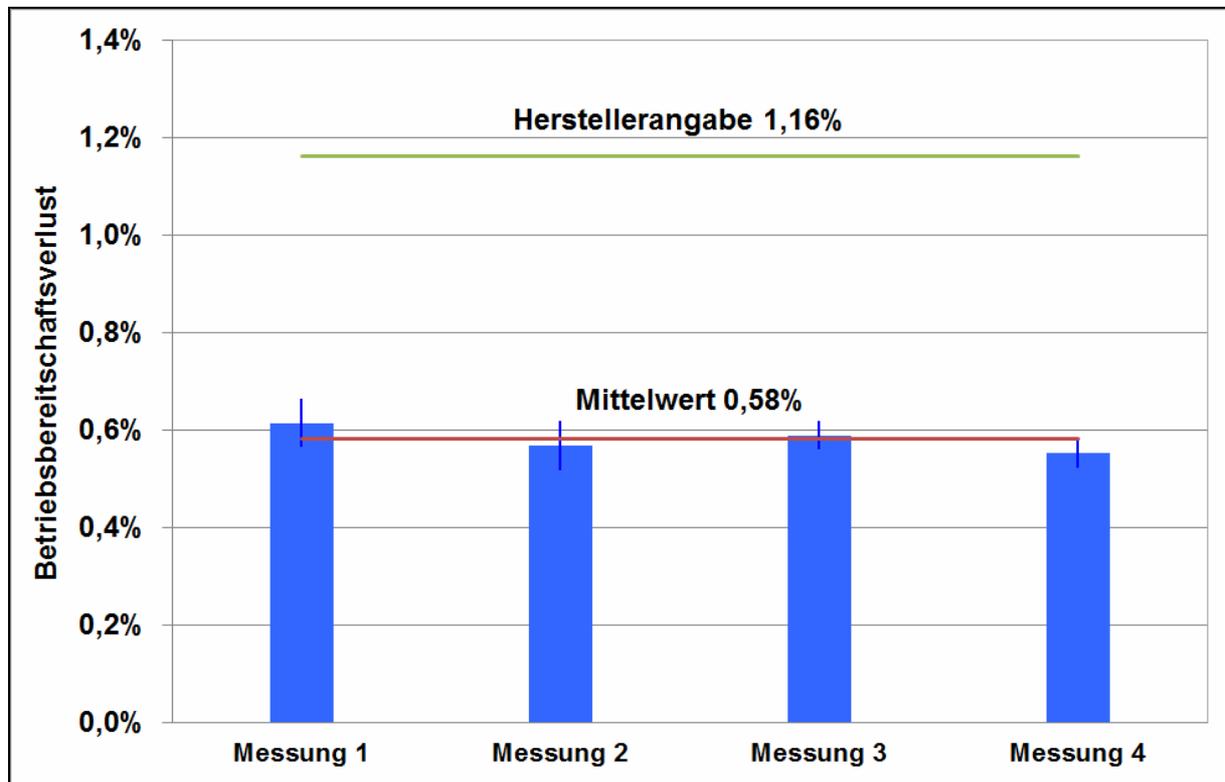


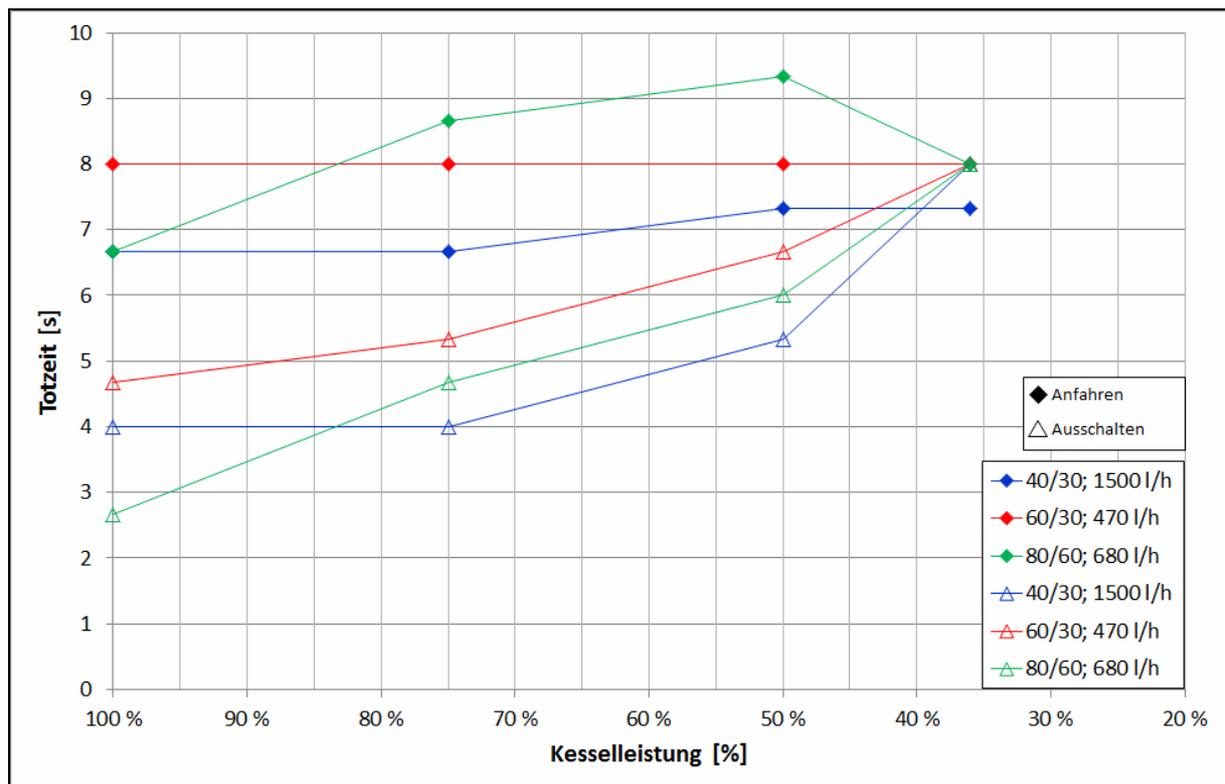
Abbildung 62: Übersicht Bereitschaftsverlust – Kessel G2

Die vier Messungen schwanken gering im Bereich von 0,55 % und 0,61 % und sind daher als konstant anzusehen. Der Mittelwert von 0,58 % aus den vier Messungen liegt bei diesem Kessel deutlich unter dem Herstellerwert von 1,16 %.

### 5.4.9 Zeitkonstanten Kesselwasser

Die Zeitkonstanten für das Kesselwasser, Totzeit  $T_t$  und Verzögerungszeit  $T_1$ , wurden bei zwei unterschiedlichen Rücklaufftemperaturen (30°C und 60°C), drei verschiedenen Volumenströmen (ca. 1500 l/h, 680 l/h und 470 l/h) und vier Kesselleistungen (100 %, 75 %, 50 % und 36 %) ermittelt. Es wurden Messungen beim Anfahren auf Volllast und auf Teillast und beim Ausschalten aus Volllast und Teillast durchgeführt.

Zunächst wird die Totzeit des Kessels G2 beim Anfahren und Ausschalten betrachtet. Die nachfolgende Abbildung 63 gibt die Mittelwerte der Messungen an. Es wurden bei jedem Messpunkt insgesamt drei Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Einzelmessungen befinden sich im Anhang.

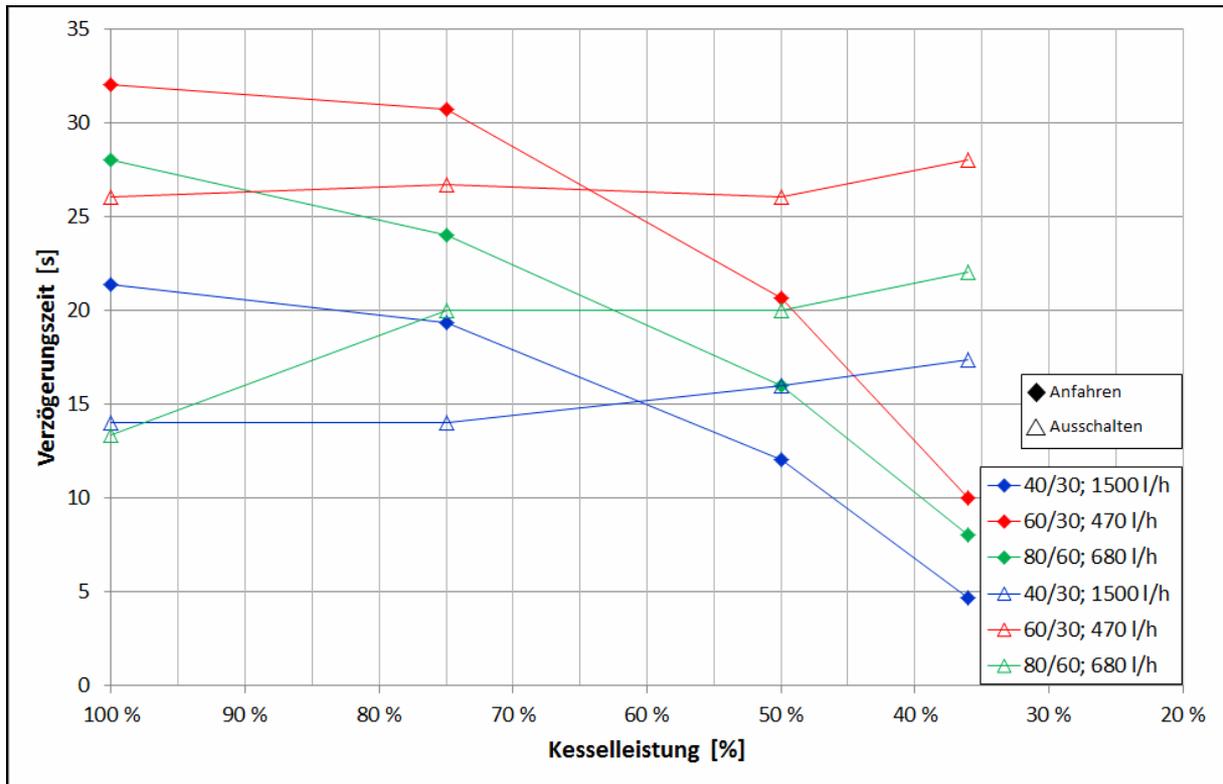


**Abbildung 63: Mittelwerte Totzeit beim Anfahren (Quadrat) und beim Ausschalten (Dreieck) – Kessel G2**

Die ausgefüllten Quadrate zeigen die Totzeit beim Anfahren und die offenen Dreiecke die Totzeit beim Ausschalten in Abhängigkeit der Kesselleistung. Beim Anfahren ist zu sehen, dass die Totzeit bei 40/30°C und 60/30°C nur wenig bzw. gar nicht von der Kesselleistung abhängt. Der Messpunkt 80/60°C zeigt ein ganz anderes Verhalten. Hier nimmt die Totzeit bis zu einer Leistung von nur noch 50 % zu und sinkt dann bei 36 % wieder ab.

Anders verhält sich die Totzeit beim Ausschalten. Mit abnehmender Kesselleistung steigt die Totzeit an.

Die nachfolgende Abbildung 64 zeigt die Mittelwerte der Verzögerungszeit. Auch hier wurden drei Messungen je Messpunkt durchgeführt.

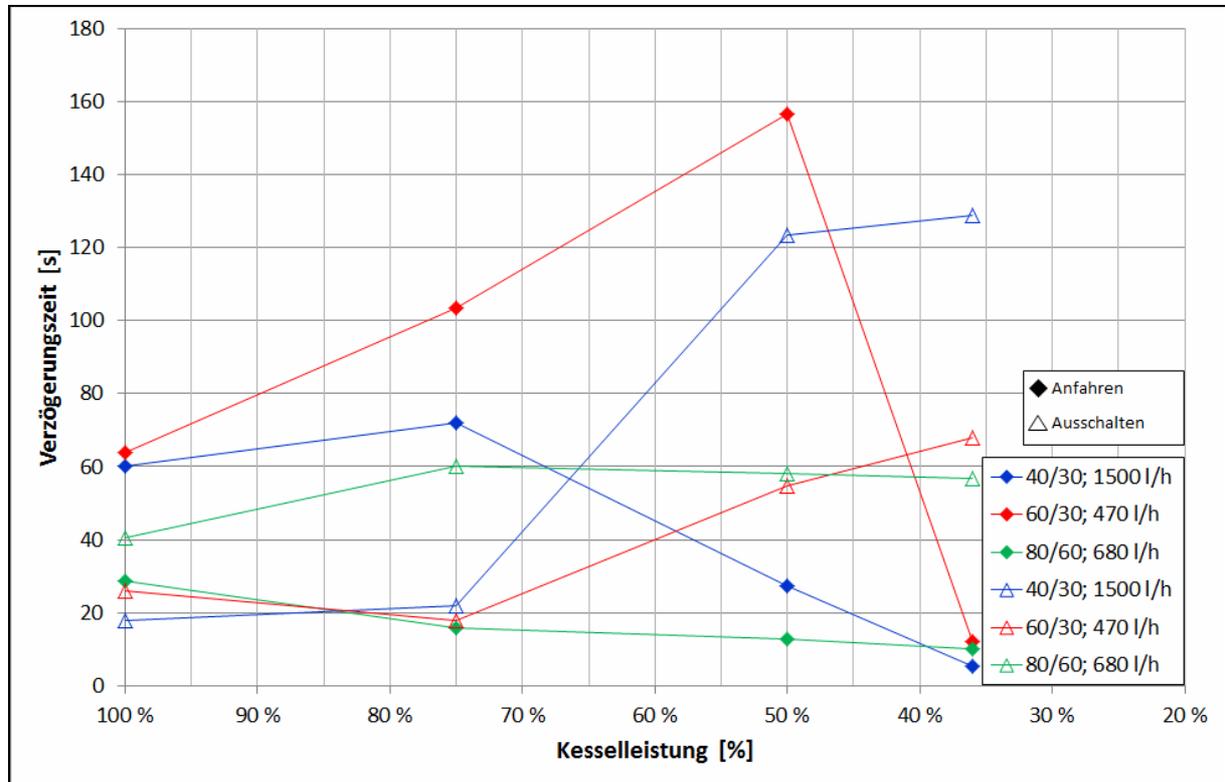


**Abbildung 64: Mittelwert Verzögerungszeit beim Anfahren (Quadrat) und beim Ausschalten (Dreieck) – Kessel G2**

Die ausgefüllten Quadrate zeigen die Verzögerungszeit beim Anfahren und die offenen Dreiecke die Verzögerungszeit beim Ausschalten in Abhängigkeit der Kesselleistung. Beim Anfahren ist deutlich zu sehen, dass sich die Verzögerungszeit mit abnehmender Kesselleistung verringert. Hingegen bleibt die Verzögerungszeit beim Ausschalten nahezu konstant.

### 5.4.10 Zeitkonstanten Abgas

Bei der Abgastemperatur wurde nur die Verzögerungszeit ermittelt. Eine Totzeit wurde nicht berücksichtigt. Die Messung der einzelnen Zeiten erfolgte mit den gleichen Einstellungen, wie bei der Aufnahme der Zeitkonstanten das Kesselwassers. Ebenfalls wurden hier je drei Messungen pro Messpunkt durchgeführt. Alle Ergebnisse befinden sich im Anhang.

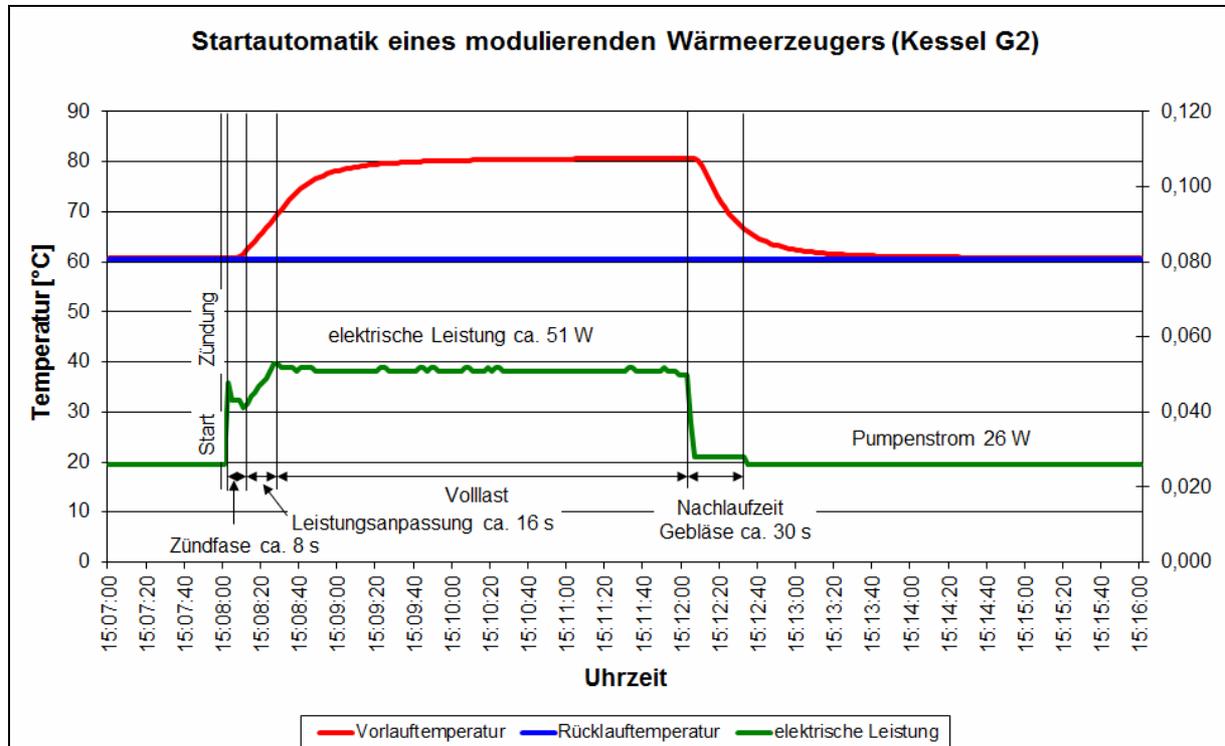


**Abbildung 65: Mittelwert Verzögerungszeit Abgas beim Anfahren (Quadrat) und beim Ausschalten (Dreieck) – Kessel G2**

Die ausgefüllten Quadrate zeigen die Verzögerungszeit Abgas beim Anfahren und die offenen Dreiecke die Verzögerungszeit beim Ausschalten in Abhängigkeit der Kesselleistung. Bei der Verzögerungszeit Abgas ist keine klare Tendenz zu sehen, weder beim Anfahren noch beim Ausschalten.

### 5.4.11 Startautomatik

Es gibt zwei Arten von Starts bei diesem Kessel. Den Kalt- und den Warmstart. Der Kaltstart wurde bei dieser Therme nicht aufgenommen, da er nicht in das TRNSYS-Modell übernommen wird. Daher beschränken sich alle Untersuchungen zur Startautomatik auf den Warmstart. Die nachfolgende Abbildung 66 zeigt das Verhalten der Therme bei einem Warmstart.



**Abbildung 66: Startautomatik eines modulierenden Wärmeerzeugers – Kessel G2**

Die elektrische Leistung des Kessels im Standby-Modus beträgt 26 W und beinhaltet die elektrische Leistung für die Pumpe. Ca. 2 Sekunden nach Erhalt des Anforderungssignals öffnet das Magnetventil für die Brennstoffzufuhr und die Zündung beginnt das Gas zu entzünden. Dieser Vorgang dauert etwa 8 Sekunden und die elektrische Leistung beträgt im Mittel ca. 43 W.

Entsteht während der Zündzeit eine Flamme, läuft der Kessel weiter. Der Kessel startet nicht in der Volllaststufe. Wenn die Wärmeleistung nicht ausreicht, wird die Kesselleistung sofort auf Volllast erhöht. Dieser Vorgang dauert etwa 16 Sekunden und die elektrische Leistungsaufnahme beträgt im Mittel ca. 48 W. In der Volllaststufe beträgt die elektrische Leistungsaufnahme ca. 51 W.

Nähert sich die Ist-Temperatur der Therme der Soll-Temperatur, so wird die abgegebene Leistung reduziert und auch die elektrische Leistungsaufnahme sinkt (in Abbildung 66 nicht dargestellt). Beim Ausschalten des Kessels läuft das Gebläse für etwa 30 Sekunden nach. Die elektrische Leistung beträgt dann ca. 28 W. Der Kessel geht wieder in den Standby-Modus und die elektrische Leistungsaufnahme beträgt inkl. der Pumpe 26 W. In der nachfolgenden Tabelle, sind die mittleren Zeiten und Leistungen noch einmal zusammengefasst aufgeführt. Die Aufnahme dieser Parameter erfolgte zusammen mit den Zeitkonstanten.

	Start	Zündung	Leistungsanpassung	Volllast	Nachspülen
Zeit [s]	0	8	16	-	30
elektrische Leistung [W]	26	43	48	51	28

**Tabelle 13: Übersicht Startautomatik – Kessel G2**

## 5.5 Validierung

### 5.5.1 Herstellerdaten

Unter stationären Betriebsbedingungen wurden am Prüfstand der feuerungstechnische und der Kesselwirkungsgrad gemessen und mit den Angaben des Herstellers verglichen. Hierzu werden die Bedingungen nach den Vorgaben der EN 304 (Ölkessel) bzw. EN 303-3 (Gaskessel) eingestellt. Ebenso wurde bei der Messung des Betriebsbereitschaftsverlustes nach der EN 304 verfahren.

Die Tabelle 14 zeigt die gemessenen Wirkungsgrade bei Nennleistung und den Betriebsbereitschaftsverlust sowie die Nenn- und Minimalleistung des Kessels und vergleicht diese mit den Herstellerangaben. Alle Wirkungsgrad- und Leistungsmessungen wurden bei 80°C Austritts- und 60°C Eintrittstemperatur vorgenommen.

Kessel	Kessel O1	Kessel O2	Kessel G1	Kessel G2
Nennleistung bei 80/60°C (Herstellerangabe)	19.2 kW	18.6 kW	14.8 kW	14.4 kW
Nennleistung bei 80/60°C (Messung)	17.8 kW	18.0 kW	14.3 kW	15.2 kW
Minimalleistung bei 80/60°C (Herstellerangabe)	11.1 kW <sup>1</sup>	-	2.7 kW <sup>2</sup>	3.2 kW <sup>2</sup>
Minimalleistung bei 80/60°C (Messung)	11.3 kW <sup>1</sup>	-	3.1 kW <sup>2</sup>	3.7 kW <sup>2</sup>
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung und 80/60°C (Hersteller)	91.4%	89.9%	87.5%	88.4%
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung und 80/60°C (Messung)	89.2%	90.0%	86.2%	86.5%
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung und 80/60°C (Hersteller)	92.0%	91.9%	88.1%	-
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung und 80/60°C (Messung)	91.8%	92.6%	88.3%	88.7%
Betriebsbereitschaftsverlust (Hersteller)	0.9%	1.5%	0.9%	1.2%
Betriebsbereitschaftsverlust (Messung)	1.2%	1.2%	1.2%	-

<sup>1</sup> Minimalleistung entspricht der Grundstufenleistung.  
<sup>2</sup> Minimalleistung entspricht der Leistung bei minimalen Modulationsgrad

**Tabelle 14: Übersicht der Nachmessung der Herstellerdaten**

### Ergebnis

- Die gemessene Nennleistung entspricht bei drei der vier getesteten Kessel nicht der Herstellerangabe (Kessel O1, O2 und G2).
- Die Abweichungen in den Minimalleistungen sind absolut geringer, relativ liegen diese aber z. T. höher (Kessel G1 und G2).
- Die Kesselwirkungsgrade bei Nennleistung weichen z. T. erheblich von der Herstellerangabe ab (Kessel O1 >2%, G1 >1%, G2 >1.5%). Die Abweichung im feuerungstechnischen Wirkungsgrad ist dagegen deutlich geringer (maximal beim Kessel O2: +0.65%). Allerdings fehlt bei den Herstellerangaben die genaue Beschreibung, wie der feuerungstechnische Wirkungsgrad ermittelt wurde, eine Bewertung dieser Größe ist daher nur eingeschränkt möglich.
- Die Messung des Betriebsbereitschaftsverlusts ergab bei den drei getesteten Kesseln nahezu den gleichen Wert. Die Hersteller geben allerdings bei zwei Kesseln einen zu geringen (Kessel O1, G1) und bei Kessel O2 einen zu hohen Wert an.

## **Bewertung**

Die Angaben der Hersteller und die Messungen am Prüfstand zeigen z. T. deutliche Unterschiede in den untersuchten Parametern. Zu den Abweichungen kann es aus unterschiedlichen Gründen kommen. Neben den Messunsicherheiten an den Prüfständen der Ostfalia und des jeweiligen Herstellers können einige der Randbedingungen der Messungen unterschiedlich sein. Dies betrifft vor allem die Eingangsgrößen, die in den Prüfnormen nicht festgelegt werden wie beispielsweise Temperatur und Feuchtigkeit der Verbrennungsluft. Auch können Unterschiede zwischen den geprüften Geräten im Rahmen der Produktstreuung auftreten. Außerdem ist es denkbar, dass die Einstellung der Geräte beim Hersteller und auf dem Prüfstand der Ostfalia (hier Werkeinstellung) unterschiedlich war.

Werden die Herstellerangaben als Parameter verwendet, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass allein durch die ungenaue Parametrierung deutliche Unterschiede zwischen Messung und Simulation auftreten können. Dies betrifft vor allem den Wirkungsgrad bei Nennleistung. Aus diesem Grund sollte – wenn möglich – eine eigene Messung des Nennleistungspunktes durchgeführt werden, um eine gute Parametrierung des Modells sicherzustellen.

### **5.5.2 Kesselmodell**

Die Ergebnisse der Validierung des TRNSYS-Kesselmodells mit Hilfe der Kesselprüfstandsmessungen sind im Berichtsteil 2 nachzulesen.

### **5.6 Hinweise für Kesselmessungen**

Die notwendigen Messungen zur Parametrierung des TRNSYS-Kesselmodells sind im Berichtsteil 2 nachzulesen.

## 6 Fazit zum Teilprojekt

Der letzte Abschnitt des Berichtes fasst die Ergebnisse der Kesselprüfungen zusammen.

### **Prüfstand und Testkessel**

Zur Überprüfung der Herstellerdaten wurde am Institut für energieoptimierte Systeme der Ostfalia ein neuer Kesselprüfstand entwickelt und aufgebaut. Die bereits am Institut vorhandenen Prüfstände erfüllten nicht die von den Projektmitgliedern geforderten Anforderungen. In Anlehnung an die DIN EN 304 (ölbefeuerte Wärmeerzeuger) und DIN EN 303-3 (gasbefeuerte Wärmeerzeuger) wurde der Prüfstand aufgebaut.

Insgesamt wurden vier Kessel von unterschiedlichen Herstellern vermessen. Dabei handelte es sich um folgende Bauarten:

- zweistufiger Ölbrennwertkessel
- einstufiger Niedertemperaturkessel mit Abgaswärmeübertrager
- zwei Gas-Brennwertthermen

Nach anfänglichen Problemen mit der Messtechnik, lieferte der neue Teststand sehr gute und auswertbare Ergebnisse. Auch die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist gegeben.

### **Messumfang**

An den vier Kesseln wurden umfangreiche Messungen durchgeführt, um die für das Modell erforderlichen Parameter zu ermitteln. Neben umfassenden stationären Messungen, wie Wirkungsgrad und Bereitschaftsverlust, wurden auch zahlreiche Messungen zur Dynamik, wie Zeitkonstanten beim Anfahren, Lastwechsel und Ausschalten, aufgenommen.

### **Erkenntnisse zum Wirkungsgrad - Kesselprüfung vs. Herstellerangaben**

Die Untersuchungen am Kesselprüfstand zeigten, dass im Besonderen der vom Hersteller angegebene Nennleistungswirkungsgrad nur ungenau reproduziert werden konnte. Bei den vier getesteten Kesseln stimmten nur bei einem Hersteller Angabe und Messwert überein. Bei den anderen Kesseln wurden Werte gemessen, die 1.3%-Punkte bis 2.2%-Punkte unter der Herstellerangabe liegen.

Auch bei den Angaben zu Nenn- und Minimalleistung zeigen sich z. T. relative Abweichungen bis zu 6%. Gründe für die Abweichungen können in Messungenauigkeiten und in der Produktstreuung liegen. Eine wesentliche Beeinflussung der Ergebnisse wird aber auch durch anders eingestellte Betriebs- und Umgebungsbedingungen hervorgerufen, die in den Normen nicht genau genug festgelegt werden.

### **Erkenntnisse zum Bereitschaftsverlust - Kesselprüfung vs. Herstellerangaben**

Ebenfalls lassen sich die von den Herstellern angegebenen Bereitschaftsverluste nur bedingt reproduzieren. Bei keinem der vier getesteten Kessel stimmen die Herstellerangaben mit den Messwerten überein. Bei zwei Messungen wurde ein höherer Betriebsbereitschaftsverlust als vom Hersteller angegeben und bei zwei Kesseln ein niedriger gemessen. Die Abweichungen lagen im Bereich von 0,3 %-Punkten bis 0,6 %-Punkten.

### **Typische Zeitkonstanten**

Aus der Fülle der Messwerte der vier Kessel, lassen sich keine typischen Zeitkonstanten ableiten. Darum ist es notwendig für genaue Simulationen die verwendeten Kessel vorher im Feld oder auf einem Prüfstand zu testen.

## Empfehlungen zur Kesselprüfungen als Grunddaten einer Simulation

Für eine "gute" Parametrierung wird die Durchführung von folgenden Messungen am Kessel empfohlen:

- Eigene Messung des feuerungstechnischen Wirkungsgrads und des Kesselwirkungsgrads bei Nennleistung, dabei auch Messung der Nennleistung selbst sowie der Randbedingungen (z. B. Zulufttemperatur und Feuchte von Zuluft und Abgas).
- Temperaturmessung von Abgas- und Wasseraustrittstemperatur eines Brennerzyklus (d.h. Einschalten – Erreichen nahezu stationärer Bedingungen im Betrieb – Ausschalten – Erreichen nahezu stationärer Bedingungen im Standby) zur Bestimmung des Faktoren für die Zeitkonstanten
- Zusätzlich bei Brennwertkesseln: Messung der Abgasfeuchte bei Nenn- und Minimalleistung bei niedrigen Wassereintrittstemperaturen, bei denen Kondensation auftritt (z. B. bei 35°C und 45°C), sowie Bestimmung der Kondensatmenge.

Für diese Versuche sind folgende Größen zu messen:

- Wassereintrittstemperatur und Wassermassenstrom (müssen während der Versuche konstant gehalten werden)
- Wasseraustrittstemperatur (Bestimmung der Kesselleistung und der Aufheizkurve)
- Abgasaustrittstemperatur (Bestimmung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades und der Aufheizkurve)
- Brennwert und Masse des verfeuerten Brennstoffes (Bestimmung der durch den Brennstoff zugeführten Energie)
- Zulufttemperatur und –feuchte (Bestimmung der mit der Verbrennungsluft zugeführten Energie)
- Abgasfeuchte und Kondensatmenge (Bestimmung Kondensationsverhalten)

Die Sensoren im Abgasstrom müssen örtlich so nah wie möglich am Wärmeübertrageraustritt platziert werden. Die häufig in realen Anlagen genutzte Öffnung im Abgasrohr ist ungünstig, da es hier bereits (je nach Verlauf der Abgasleitung im Kessel) zu einer Abkühlung und damit auch zu einer höheren Sättigung des Abgases mit Wasserdampf gekommen sein kann.

Außerdem muss für die Abgastemperaturmessung ein Sensor bzw. eine Anzahl von Sensoren verwendet werden, der eine genaue Ermittlung der mittleren Temperatur in einem Gasstrom erlaubt (z. B. Strahlungsschutz). Bei der Feuchtemessung von Zuluft und Abgas ist darauf zu achten, dass beide Werte an der gleichen Stelle wie die jeweilige Temperatur zu messen sind, um die absolute Wasserdampfmenge zu bestimmen.

# 7 Anhang

## 7.1 Quellen

- [EN303-3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsgb.): DIN EN 303-3: Heizkessel – Teil 3: Zentralheizkessel für gasförmige Brennstoffe – Zusammenbau aus Kessel und Gebläsebrenner, Beuth Verlag, Berlin, 2004
- [EN304] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsgb.): DIN EN 304: Heizkessel – Prüfregeln für Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern, Beuth Verlag, Berlin, 2003
- [Gn02] Gnielinski, V. u. a. (Hrsgb.): VDI-Wärmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, 9. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2002
- [Ro10] Roth-van Eijk, C. (Hrsgb.): Institut für Verfahrensoptimierung und Entsorgungstechnik, Bereich Analytik, Prüfbericht Nr. 63371, Wolfenbüttel, 2010
- [ENV] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsgb.): DIN V ENV 13005: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, Beuth Verlag, Berlin, 1999
- [AP02] Arbeitskreis der Professoren für Regelungstechnik in der Versorgungstechnik (Hrsg.): Regelungstechnik in der Versorgungstechnik; 5. Auflage; C. F. Müller Verlag; Heidelberg; 2002

## 7.2 Berechnungsverfahren

Das nachfolgende Polynom 8. Grades wird für die Berechnung der Dichte des Fluides in Abhängigkeit von der Fluidtemperatur verwendet (eigener Fit mit Stoffdaten aus [Gn02]):

$$\rho_{\text{Wasser}} = \frac{\left( 999.84 + 6.533 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 8.985 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 + 1.162 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^3 - 2.182 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta^4 \right. \\ \left. + 3.202 \cdot 10^{-8} \cdot \vartheta^5 - 2.835 \cdot 10^{-10} \cdot \vartheta^6 + 1.320 \cdot 10^{-12} \cdot \vartheta^7 - 2.482 \cdot 10^{-15} \cdot \vartheta^8 \right)}{1000}$$

Die nachfolgende Exponentialfunktion wird für die Berechnung der spezifischen Wärmekapazität des Fluids benötigt. Als Fluidtemperatur wird der arithmetische Mittelwert aus Ein- und Austrittstemperatur verwendet (eigener Fit mit Stoffdaten aus [Gn02]):

$$c_{p,\text{Wasser}} = \frac{4.147 + 0.0565 \cdot e^{-0.0531 \cdot \vartheta} + 0.00411 \cdot e^{-0.1499 \cdot \vartheta} + 0.012 \cdot e^{0.01738 \cdot \vartheta}}{3.6}$$

## 7.3 Übersicht Messprogramm

### 7.3.1 Kessel O1

Statische Messungen

Grundlage DIN EN 304 [EN304], Abschnitte 5.3/5.4 (S.9)

Versuch	Leistung	Rücklauftemperatur, in °C	Vorlauftemperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100%	30	40	1650 kg/h	12
2	60%	30	<40	1650 kg/h	11
3	100%	30	50	800 kg/h	9
4	60%	30	<50	800 kg/h	9
5	100%	30	60	540 kg/h	4
6	60%	30	<60	540 kg/h	3
7	100%	45	55	1570 kg/h	6
8	60%	45	<55	1570 kg/h	5
9	100%	45	65	780 kg/h	6
10	60%	45	<65	780 kg/h	7
11	100%	45	75	510 kg/h	6
12	60%	45	<75	510 kg/h	7
13	100%	60	70	1500 kg/h	6
14	60%	60	<70	1500 kg/h	6
15	100%	60	80	750 kg/h	3
16	60%	60	<80	750 kg/h	3
17	100%	60	75	1000 kg/h	3
18	60%	60	<75	1000 kg/h	3
19	100%	72	87	1000 kg/h	6
20	60%	72	<87	1000 kg/h	6
21	100%	25	45	840 kg/h	6
22	60%	25	<45	840 kg/h	6
23	100%	35	55	820 kg/h	6
24	60%	35	<55	820 kg/h	6
25	100%	40	60	790 kg/h	6
26	60%	40	<60	790 kg/h	6
27	100%	50	70	790 kg/h	6
28	60%	50	<70	790 kg/h	7
29	100%	55	75	780 kg/h	7
30	60%	55	<75	780 kg/h	6
31	100%	60	85	620 kg/h	12
32	60%	60	<85	620 kg/h	15

**Tabelle 15: Übersicht Wirkungsgradmessungen Kessel O1**

Zwei Messungen zum Bereitschaftsverlust nach DIN EN 304 [EN304], Abschnitt 5.7 und Anhang A11

Zwei Messungen zum Teillastwirkungsgrad bei 30% nach DIN EN 304 [EN304], Abschnitte 5.8.1.1 (S. 12); direkte Methode, Betriebsart 1

Dynamische Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Start, Lastwechsel und Ausschalten

Versuch	Leistung	Rücklauftemperatur, in °C	Vorlauftemperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	0% - 100%	30	40	1650 kg/h	3
2	0% - 100%	30	50	800 kg/h	3
3	0% - 100%	30	60	540 kg/h	3
4	0% - 100%	45	55	1570 kg/h	3
5	0% - 100%	45	65	780 kg/h	3
6	0% - 100%	45	75	510 kg/h	3
7	0% - 100%	60	70	1500 kg/h	3
8	0% - 100%	60	80	750 kg/h	3
9	0% - 100%	60	85	620 kg/h	3

**Tabelle 16: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Start**

Versuch	Leistung	Rücklauftemperatur, in °C	Vorlauftemperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100% - 60% - 100%	30	40	1650 kg/h	2
2	100% - 60% - 100%	30	50	800 kg/h	2
3	100% - 60% - 100%	30	60	540 kg/h	2
4	100% - 60% - 100%	45	55	1570 kg/h	2
5	100% - 60% - 100%	45	65	780 kg/h	2
6	100% - 60% - 100%	45	75	510 kg/h	2
7	100% - 60% - 100%	60	70	1500 kg/h	2
8	100% - 60% - 100%	60	80	750 kg/h	2
9	100% - 60% - 100%	60	85	620 kg/h	2

**Tabelle 17: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Lastwechsel**

Versuch	Leistung	Rücklauftemperatur, in °C	Vorlauftemperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100% - 0% / 60% - 0%	30	40	1650 kg/h	2 bzw. 1
2	100% - 0% / 60% - 0%	30	50	800 kg/h	2 bzw. 1
3	100% - 0% / 60% - 0%	30	60	540 kg/h	2 bzw. 1
4	100% - 0% / 60% - 0%	45	55	1570 kg/h	2 bzw. 1
5	100% - 0% / 60% - 0%	45	65	780 kg/h	2 bzw. 1
6	100% - 0% / 60% - 0%	45	75	510 kg/h	2 bzw. 1
7	100% - 0% / 60% - 0%	60	70	1500 kg/h	2 bzw. 1
8	100% - 0% / 60% - 0%	60	80	750 kg/h	2 bzw. 1
9	100% - 0% / 60% - 0%	60	85	620 kg/h	2 bzw. 1

**Tabelle 18: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Ausschalten**

Dynamische Messungen mit eingeschalteter Regelung

Versuch	Leistung	Rücklauftemperatur, in °C	Solltemperatur, in °C	Massenstrom
1	keine Vorgabe	30	41	800 kg/h
2	keine Vorgabe	30	41	560 kg/h
3	keine Vorgabe	35	45	560 kg/h
4	keine Vorgabe	35	45	1200 kg/h
5	keine Vorgabe	35	39	1200 kg/h
6	keine Vorgabe	45	55	510 kg/h
7	keine Vorgabe	45	51	780 kg/h
8	keine Vorgabe	45	51	510 kg/h
9	keine Vorgabe	60	70	630 kg/h
10	keine Vorgabe	60	64	630 kg/h

**Tabelle 19: Messungen mit eingeschalteter Regelung**

### 7.3.2 Kessel O2

Statische Messungen

Grundlage DIN EN 304 [EN304], Abschnitte 5.3/5.4 (S.9)

Versuch	Leistung	Rücklauf­temperatur, in °C	Vorlauf­temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100%	30	40	1720 kg/h	3
2	100%	30	50	840 kg/h	7
3	100%	30	60	570 kg/h	4
4	100%	45	55	1720 kg/h	7
5	100%	45	65	810 kg/h	3
6	100%	45	75	530 kg/h	3
7	100%	60	70	1720 kg/h	3
8	100%	60	75	1000 kg/h	3
9	100%	60	80	860 kg/h	3
10	100%	60	85	620 kg/h	9
11	100%	25	45	860 kg/h	3
12	100%	35	55	820 kg/h	4
13	100%	40	60	800 kg/h	4
14	100%	50	70	785 kg/h	3
15	100%	55	75	860 kg/h	3

**Tabelle 20: Übersicht Wirkungsgradmessungen Kessel O2**

Zwei Messungen zum Bereitschaftsverlust nach DIN EN 304 [EN304], Abschnitt 5.7 und Anhang A11

Zwei Messungen zum Teillastwirkungsgrad bei 30% nach DIN EN 304 [EN304], Abschnitte 5.8.1.1 (S. 12); direkte Methode, Betriebsart 1

Dynamische Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Start und Ausschalten

Versuch	Leistung	Rücklauf­temperatur, in °C	Vorlauf­temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	0% - 100%	30	40	1720 kg/h	3
2	0% - 100%	30	45	1140 kg/h	2
3	0% - 100%	30	50	840 kg/h	4
4	0% - 100%	30	60	570 kg/h	3
5	0% - 100%	45	55	1720 kg/h	4
6	0% - 100%	45	60	1100 kg/h	1
7	0% - 100%	45	65	810 kg/h	2
8	0% - 100%	45	75	530 kg/h	3
9	0% - 100%	60	70	1720 kg/h	2
10	0% - 100%	60	80	860 kg/h	2
11	0% - 100%	60	85	620 kg/h	2

**Tabelle 21: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Start**

Versuch	Leistung	Rücklauf­temperatur, in °C	Vorlauf­temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100% - 0%	30	40	1720 kg/h	2
2	100% - 0%	30	40	1140 kg/h	1
3	100% - 0%	30	50	840 kg/h	2
4	100% - 0%	30	60	570 kg/h	1
5	100% - 0%	45	55	1720 kg/h	3
6	100% - 0%	30	40	1100 kg/h	1
7	100% - 0%	45	65	810 kg/h	2
8	100% - 0%	45	75	530 kg/h	1
9	100% - 0%	60	70	1720 kg/h	2
10	100% - 0%	60	80	860 kg/h	2

**Tabelle 22: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Ausschalten**

## Dynamische Messungen mit eingeschalteter Regelung

Versuch	Leistung	Rücklauf­temperatur, in °C	Solltemperatur, in °C	Massenstrom
1	keine Vorgabe	24,5	30	850 kg/h
2	keine Vorgabe	31	40	590 kg/h
3	keine Vorgabe	44	50	840 kg/h
4	keine Vorgabe	46	60	720 kg/h
5	keine Vorgabe	45	60	500 kg/h
6	keine Vorgabe	59,5	70	810 kg/h
7	keine Vorgabe	59	70	500 kg/h
8	keine Vorgabe	60	79	500 kg/h

**Tabelle 23: Messungen mit eingeschalteter Regelung**

### 7.3.3 Kessel G1

Statische Messungen

Grundlage DIN EN 304 [EN304], Abschnitte 5.3/5.4 (S.9)

Versuch	Leistung	Rücklauf­temperatur, in °C	Vorlauf­temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100%	30	40	1390 kg/h	6
2	75%	30	<40	1390 kg/h	3
3	50%	30	<40	1390 kg/h	3
4	22%	30	<40	1390 kg/h	6
5	100%	30	50	680 kg/h	3
6	22%	30	<50	680 kg/h	3
7	100%	30	60	440 kg/h	3
8	75%	30	<60	440 kg/h	3
9	50%	30	<60	440 kg/h	3
10	22%	30	<60	460 kg/h	3
11	100%	45	55	1260 kg/h	3
12	22%	45	<55	1315 kg/h	3
13	100%	45	65	635 kg/h	3
14	75%	45	<65	635 kg/h	3
15	50%	45	<65	635 kg/h	3
16	22%	45	<65	635 kg/h	3
17	100%	45	75	415 kg/h	3
18	75%	45	<75	415 kg/h	3
19	50%	45	<75	415 kg/h	3
20	22%	45	<75	415 kg/h	3
21	100%	60	70	1245 kg/h	4
22	75%	60	<70	1245 kg/h	3
23	50%	60	<70	1245 kg/h	3
24	22%	60	<70	1245 kg/h	3
25	100%	60	80	600 kg/h	9
26	75%	60	<80	600 kg/h	3
27	50%	60	<80	600 kg/h	3
28	22%	60	<80	600 kg/h	9
29	100%	60	85	500 kg/h	3
30	22%	60	<85	500 kg/h	4
31	100%	25	45	705 kg/h	3
32	22%	25	<45	705 kg/h	3
33	100%	35	55	680 kg/h	3
34	22%	35	<55	680 kg/h	3
35	100%	40	60	660 kg/h	3
36	22%	40	<60	660 kg/h	4
37	100%	50	70	625 kg/h	3
38	22%	50	<70	625 kg/h	3
39	100%	55	75	620 kg/h	3
40	22%	55	<75	620 kg/h	3

**Tabelle 24: Übersicht Wirkungsgradmessungen Kessel G1**

Eine Messung zum Bereitschaftsverlust nach DIN EN 304 [EN304], Abschnitt 5.7 und Anhang A11

Dynamische Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Start, Lastwechsel und Ausschalten

Versuch	Leistung	Rücklauf-temperatur, in °C	Vorlauf-temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	0%-22%; -35%; -52%; -71%; -85%; -100%	30	40	1320 kg/h	je 3
2	0%-22%; -35%; -52%; -71%; -85%; -100%	30	50	650 kg/h	je 3
3	0%-22%; -35%; -52%; -71%; -85%; -100%	30	60	420 kg/h	je 3
4	0%-22%; -35%; -52%; -71%; -85%; -100%	45	55	1250 kg/h	je 3
5	0%-22%; -35%; -52%; -71%; -85%; -100%	45	65	620 kg/h	je 3
6	0%-22%; -35%; -52%; -71%; -85%; -100%	45	75	400 kg/h	je 3
7	0%-22%; -35%; -52%; -71%; -85%; -100%	60	70	1210 kg/h	je 3
8	0%-22%; -35%; -52%; -71%; -85%; -100%	60	80	600 kg/h	je 3
9	0%-22%; -35%; -52%; -71%; -85%; -100%	60	85	480 kg/h	je 3

Tabelle 25: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Start

Versuch	Leistung	Rücklauf-temperatur, in °C	Vorlauf-temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100%- ; 85%-; 71%-; 52%-; 35%-; 22%-0%	30	40	1320 kg/h	je 3
2	100%- ; 85%-; 71%-; 52%-; 35%-; 22%-0%	30	50	650 kg/h	je 3
3	100%- ; 85%-; 71%-; 52%-; 35%-; 22%-0%	30	60	420 kg/h	je 3
4	100%- ; 85%-; 71%-; 52%-; 35%-; 22%-0%	45	55	1250 kg/h	je 3
5	100%- ; 85%-; 71%-; 52%-; 35%-; 22%-0%	45	65	620 kg/h	je 3
6	100%- ; 85%-; 71%-; 52%-; 35%-; 22%-0%	45	75	400 kg/h	je 3
7	100%- ; 85%-; 71%-; 52%-; 35%-; 22%-0%	60	70	1210 kg/h	je 3
8	100%- ; 85%-; 71%-; 52%-; 35%-; 22%-0%	60	80	600 kg/h	je 3
9	100%- ; 85%-; 71%-; 52%-; 35%-; 22%-0%	60	85	480 kg/h	je 3

Tabelle 26: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Ausschalten

Versuch	Leistung	Rücklauf-temperatur, in °C	Vorlauf-temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100%-85%-71%-52%-35%-22%-35%-52%-71%-85%-100%	30	40	1330 kg/h	3
2	100%-71%-22%-71%-100%	30	40	1330 kg/h	3
3	100%-52%-22%-52%-100%	30	40	1330 kg/h	3
4	100%-22%-100%	30	40	1330 kg/h	3
5	100%-85%-71%-52%-35%-22%-35%-52%-71%-85%-100%	45	65	620 kg/h	3
6	100%-71%-22%-71%-100%	45	65	620 kg/h	3
7	100%-52%-22%-52%-100%	45	65	620 kg/h	3
8	100%-22%-100%	45	65	620 kg/h	3
9	100%-85%-71%-52%-35%-22%-35%-52%-71%-85%-100%	60	85	470 kg/h	3
10	100%-71%-22%-71%-100%	60	85	470 kg/h	3
11	100%-52%-22%-52%-100%	60	85	470 kg/h	3
12	100%-22%-100%	60	85	470 kg/h	3

Tabelle 27: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Lastwechsel

Dynamische Messungen mit eingeschalteter Regelung

Versuch	Leistung	Rücklauf-temperatur, in °C	Solltemperatur, in °C	Massenstrom
1	keine Vorgabe	59	65	610 kg/h

Tabelle 28: Messungen mit eingeschalteter Regelung

### 7.3.4 Kessel G2

Statische Messungen

Grundlage DIN EN 304 [EN304], Abschnitte 5.3/5.4 (S.9)

Versuch	Leistung	Rücklauf­temperatur, in °C	Vorlauf­temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100%	30	40	1480 kg/h	3
2	100%	30	50	730 kg/h	3
3	100%	60	80	630 kg/h	3
4	75%	60	<80	630 kg/h	3
5	50%	60	<80	630 kg/h	3
6	36%	60	<80	630 kg/h	3
7	100%	25	45	730 kg/h	3
8	100%	35	55	700 kg/h	3
9	75%	35	<55	700 kg/h	3
10	50%	35	<55	700 kg/h	3
11	36%	35	<55	700 kg/h	3
12	100%	40	60	630 kg/h	3

**Tabelle 29: Übersicht Wirkungsgradmessungen Kessel G2**

Eine Messung zum Bereitschaftsverlust nach DIN EN 304 [EN304], Abschnitt 5.7 und Anhang A11

Dynamische Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Start und Ausschalten

Versuch	Leistung	Rücklauf­temperatur, in °C	Vorlauf­temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	0%-36%; -50%; -75%; -100%	30	40	1500 kg/h	je 3
2	0%-36%; -50%; -75%; -100%	30	60	470 kg/h	je 3
3	0%-36%; -50%; -75%; -100%	60	80	680 kg/h	je 3

**Tabelle 30: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Start**

Versuch	Leistung	Rücklauf­temperatur, in °C	Vorlauf­temperatur, in °C	Massenstrom	Anzahl
1	100%-; 75%-; 50%-; 36%-0%	30	40	1500 kg/h	je 3
2	100%-; 75%-; 50%-; 36%-0%	30	60	470 kg/h	je 3
3	100%-; 75%-; 50%-; 36%-0%	60	80	680 kg/h	je 3

**Tabelle 31: Messungen zur Aufnahme der Zeitkonstanten beim Ausschalten**

# 7.4 Übersicht Ergebnisse Kesselprüfung

Zeitkonstanten Totzeit, Verzögerungszeit Austrittstemperatur und Verzögerungszeit Abgas

## 7.4.1 Kessel O1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufstemperaturen																											
Wasserantriebs-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlaufstemperatur					Abgastemperatur					Abgastemperatur WUT					Zeitkonstanten						
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklaufstemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlaufstemperatur	Schwerigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	Verzögerungszeit Abgastemperatur WUT			
40	30	1	18.10.2010	15:02:00	1680 l/h	30,51 °C	31,04 °C	36,75 °C	40,11 °C	30,19 °C	34,68 °C	39,90 °C	42,96 °C	-	-	-	28 s	56 s	0,50	86 s	-						
40	30	2	18.10.2010	15:22:00	1680 l/h	30,51 °C	31,13 °C	36,83 °C	40,18 °C	30,24 °C	32,27 °C	38,66 °C	42,42 °C	-	-	-	28 s	58 s	0,48	86 s	-						
40	30	3	18.10.2010	15:47:00	1680 l/h	30,35 °C	31,04 °C	36,71 °C	40,04 °C	30,11 °C	33,33 °C	39,07 °C	42,45 °C	-	-	-	28 s	56 s	0,50	88 s	-						
40	30	Mittelwert	18.10.2010		1680 l/h	30,46 °C	31,07 °C	36,76 °C	40,11 °C	30,18 °C	33,43 °C	39,21 °C	42,61 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	28,0 s	56,7 s	0,49	86,7 s	-						
40	30	4	10.02.2011	10:57:00	1650 l/h	30,26 °C	30,62 °C	36,77 °C	40,38 °C	30,33 °C	29,87 °C	37,31 °C	41,68 °C	30,51 °C	42,74 °C	49,92 °C	26 s	66 s	0,39	98 s	72 s						
40	30	5	10.02.2011	11:15:00	1650 l/h	30,46 °C	30,81 °C	36,84 °C	40,37 °C	30,35 °C	32,32 °C	38,49 °C	42,11 °C	32,04 °C	43,39 °C	50,06 °C	26 s	64 s	0,41	96 s	74 s						
40	30	6	10.02.2011	11:34:00	1650 l/h	30,19 °C	30,76 °C	36,72 °C	40,22 °C	30,16 °C	32,16 °C	38,39 °C	42,04 °C	31,38 °C	42,86 °C	49,59 °C	28 s	64 s	0,44	96 s	72 s						
40	30	Mittelwert	10.02.2011		1650 l/h	30,30 °C	30,73 °C	36,78 °C	40,32 °C	30,28 °C	31,45 °C	38,06 °C	41,94 °C	31,31 °C	43,00 °C	49,86 °C	26,7 s	64,7 s	0,41	96,7 s	72,7 s						
50	30	7	18.10.2010	13:10:00	830 l/h	30,53 °C	30,92 °C	42,94 °C	50,00 °C	30,16 °C	33,26 °C	40,10 °C	44,12 °C	-	-	-	30 s	106 s	0,28	100 s	-						
50	30	8	18.10.2010	13:29:00	830 l/h	30,42 °C	31,04 °C	43,06 °C	50,12 °C	30,21 °C	31,52 °C	39,51 °C	44,20 °C	-	-	-	32 s	106 s	0,30	100 s	-						
50	30	9	18.10.2010	14:11:00	830 l/h	30,74 °C	31,20 °C	43,22 °C	50,28 °C	30,42 °C	32,27 °C	39,68 °C	44,03 °C	-	-	-	30 s	106 s	0,28	102 s	-						
50	30	Mittelwert	18.10.2010		830 l/h	30,56 °C	31,05 °C	43,07 °C	50,13 °C	30,26 °C	32,35 °C	39,76 °C	44,12 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	30,7 s	106,0 s	0,29	101,0 s	-						
50	30	10	10.02.2011	16:29:00	830 l/h	30,37 °C	30,88 °C	42,88 °C	49,92 °C	30,12 °C	30,30 °C	38,61 °C	43,50 °C	30,14 °C	43,54 °C	51,41 °C	32 s	114 s	0,28	100 s	78 s						
50	30	11	10.02.2011	16:55:00	830 l/h	30,42 °C	30,92 °C	42,86 °C	49,88 °C	30,14 °C	32,55 °C	39,80 °C	44,06 °C	31,04 °C	44,10 °C	51,77 °C	32 s	112 s	0,29	116 s	78 s						
50	30	12	10.02.2011	17:22:00	830 l/h	30,37 °C	30,74 °C	42,90 °C	50,04 °C	30,11 °C	32,39 °C	39,65 °C	43,91 °C	31,01 °C	43,94 °C	51,54 °C	30 s	114 s	0,26	110 s	76 s						
50	30	Mittelwert	10.02.2011		830 l/h	30,39 °C	30,85 °C	42,88 °C	49,95 °C	30,12 °C	31,75 °C	39,35 °C	43,82 °C	30,73 °C	43,86 °C	51,57 °C	31,3 s	113,3 s	0,28	113,0 s	77,3 s						
60	30	13	18.10.2010	10:33:00	550 l/h	30,53 °C	31,13 °C	49,53 °C	60,33 °C	30,25 °C	32,64 °C	40,77 °C	45,54 °C	-	-	-	34 s	164 s	0,21	114 s	-						
60	30	14	18.10.2010	11:09:00	550 l/h	30,76 °C	31,20 °C	49,76 °C	60,66 °C	30,53 °C	31,52 °C	40,43 °C	45,66 °C	-	-	-	34 s	164 s	0,21	110 s	-						
60	30	15	18.10.2010	11:57:00	550 l/h	30,81 °C	31,43 °C	49,81 °C	60,61 °C	30,50 °C	33,03 °C	41,28 °C	46,12 °C	-	-	-	34 s	164 s	0,21	118 s	-						
60	30	Mittelwert	18.10.2010		550 l/h	30,70 °C	31,25 °C	49,70 °C	60,53 °C	30,43 °C	32,40 °C	40,83 °C	45,71 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	34,0 s	164,0 s	0,21	117,3 s	-						
55	45	16	15.10.2010	07:58:00	1590 l/h	44,91 °C	45,41 °C	51,06 °C	54,39 °C	44,38 °C	42,53 °C	48,29 °C	51,68 °C	-	-	-	28 s	62 s	0,45	44 s	-						
55	45	17	15.10.2010	08:15:00	1590 l/h	44,70 °C	45,04 °C	51,02 °C	54,53 °C	44,47 °C	43,37 °C	50,66 °C	54,94 °C	-	-	-	28 s	60 s	0,43	74 s	-						
55	45	18	15.10.2010	08:50:00	1590 l/h	44,31 °C	44,86 °C	50,82 °C	54,33 °C	44,23 °C	40,97 °C	49,72 °C	54,86 °C	-	-	-	28 s	64 s	0,44	82 s	-						
55	45	Mittelwert	15.10.2010		1590 l/h	44,64 °C	45,10 °C	50,97 °C	54,42 °C	44,36 °C	42,29 °C	49,56 °C	53,83 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	27,3 s	62,0 s	0,44	66,7 s	-						
65	45	19	15.10.2010	09:44:00	800 l/h	44,59 °C	45,04 °C	57,07 °C	64,14 °C	44,23 °C	41,47 °C	50,47 °C	55,76 °C	-	-	-	30 s	110 s	0,27	78 s	-						
65	45	20	15.10.2010	10:17:00	800 l/h	44,13 °C	44,52 °C	56,81 °C	64,03 °C	43,99 °C	40,51 °C	50,09 °C	55,71 °C	-	-	-	30 s	114 s	0,26	80 s	-						
65	45	21	15.10.2010	10:58:00	800 l/h	44,40 °C	44,98 °C	56,90 °C	63,90 °C	43,98 °C	41,98 °C	50,61 °C	55,67 °C	-	-	-	30 s	110 s	0,27	84 s	-						
65	45	Mittelwert	15.10.2010		830 l/h	44,37 °C	44,85 °C	56,93 °C	64,02 °C	44,07 °C	41,32 °C	50,39 °C	55,71 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	30,0 s	111,3 s	0,27	84,0 s	-						
65	45	22	04.02.2011	10:15:00	810 l/h	45,71 °C	46,07 °C	58,00 °C	65,01 °C	45,36 °C	42,30 °C	52,06 °C	57,79 °C	54,04 °C	59,51 °C	68,01 °C	30 s	114 s	0,26	88 s	78 s						
65	45	23	04.02.2011	10:40:00	810 l/h	45,32 °C	45,87 °C	57,66 °C	64,58 °C	44,94 °C	41,41 °C	51,48 °C	57,40 °C	44,54 °C	59,08 °C	67,61 °C	32 s	114 s	0,28	88 s	78 s						
65	45	24	04.02.2011	11:05:00	810 l/h	44,98 °C	45,37 °C	57,40 °C	64,46 °C	44,76 °C	41,29 °C	51,27 °C	57,48 °C	44,31 °C	58,83 °C	67,35 °C	30 s	114 s	0,25	90 s	78 s						
65	45	Mittelwert	04.02.2011		830 l/h	45,34 °C	45,77 °C	57,69 °C	64,68 °C	45,02 °C	41,67 °C	51,60 °C	55,56 °C	47,63 °C	59,14 °C	67,66 °C	30,7 s	114,0 s	0,27	88,7 s	78,0 s						
75	45	25	15.10.2010	11:46:00	520 l/h	44,54 °C	45,09 °C	63,62 °C	74,51 °C	44,15 °C	41,95 °C	51,49 °C	57,09 °C	-	-	-	34 s	174 s	0,20	92 s	-						
75	45	26	15.10.2010	12:47:00	520 l/h	44,93 °C	45,43 °C	64,07 °C	75,02 °C	44,61 °C	41,18 °C	51,28 °C	57,21 °C	-	-	-	34 s	174 s	0,20	98 s	-						
75	45	27	15.10.2010	13:29:00	520 l/h	45,15 °C	45,71 °C	64,32 °C	75,24 °C	44,89 °C	37,35 °C	50,01 °C	57,45 °C	-	-	-	34 s	174 s	0,20	112 s	-						
75	45	Mittelwert	15.10.2010		520 l/h	44,87 °C	45,41 °C	64,00 °C	74,92 °C	44,55 °C	40,16 °C	50,93 °C	57,25 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	34,0 s	174,0 s	0,20	101,3 s	-						
75	45	28	14.02.2011	11:30:00	520 l/h	45,09 °C	45,53 °C	64,16 °C	75,10 °C	44,98 °C	40,58 °C	51,56 °C	58,01 °C	43,63 °C	59,09 °C	68,17 °C	34 s	178 s	0,19	106 s	82 s						
75	45	29	14.02.2011	12:10:00	520 l/h	45,18 °C	45,57 °C	64,04 °C	74,89 °C	44,95 °C	40,35 °C	51,26 °C	57,67 °C	44,01 °C	59,16 °C	68,05 °C	32 s	178 s	0,18	100 s	80 s						
75	45	30	14.02.2011	12:49:00	520 l/h	45,18 °C	45,57 °C	63,95 °C	74,75 °C	44,88 °C	40,51 °C	51,31 °C	57,66 °C	43,92 °C	59,00 °C	67,86 °C	32 s	176 s	0,18	100 s	80 s						
75	45	Mittelwert	14.02.2011		520 l/h	45,15 °C	45,56 °C	64,05 °C	74,91 °C	44,94 °C	40,48 °C	51,38 °C	57,78 °C	43,85 °C	59,08 °C	68,03 °C	32,7 s	177,3 s	0,18	102,0 s	80,7 s						
70	60	31	19.10.2010	16:27:00	1550 l/h	59,95 °C	60,49 °C	66,44 °C	69,93 °C	59,77 °C	52,53 °C	61,10 °C	66,13 °C	-	-	-	26 s	64 s	0,41	62 s	-						
70	60	32	19.10.2010	16:42:00	1550 l/h	60,17 °C	60,54 °C	66,51 °C	70,01 °C	59,93 °C	51,43 °C	60,27 °C	65,46 °C	-	-	-	26 s	64 s	0,38	60 s	-						
70	60	33	19.10.2010	17:05:00	1550 l/h	60,17 °C	60,70 °C	66,54 °C	69,97 °C	59,93 °C	50,65 °C	59,90 °C	65,33 °C	-	-	-	26 s	62 s	0,42	62 s	-						
70	60	Mittelwert	19.10.2010		1550 l/h	60,10 °C	60,58 °C	66,50 °C	69,97 °C	59,88 °C	51,54 °C	60,42 °C	65,64 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	25,3 s	63,3 s	0,40	63,3 s	-						
70	60	34	08.02.2011	10:29:00	1560 l/h	60,04 °C	60,45 °C	66,41 °C	69,91 °C	59,91 °C	45,75 °C	58,59 °C	66,13 °C	57,24 °C	72,19 °C	80,98 °C	26 s	66 s	0,39	94 s	76 s						
70	60	35	08.02.2011	10:50:00	1560 l/h	60,11 °C	60,65 °C	66,52 °C	69,97 °C	59,94 °C	51,29 °C	61,14 °C	66,93 °C	60,72 °C	73,51 °C	81,03 °C	26 s	64 s	0,41	82 s	78 s						
70	60	36	08.02.2011	11:10:00	1560 l/h	60,43 °C	60,88 °C	66,69 °C	70,10 °C	60,15 °C	62,30 °C	61,83 °C	67,43 °C	61,04 °C	73,79 °C	81,27 °C	26 s	64 s	0,41	82 s	80 s						
70	60	Mittelwert	08.02.2011		1560 l/h	60,19 °C	60,66 °C	66,54 °C	69,99 °C	60,00 °C	49,78 °C	60,52 °C	66,83 °C	59,67 °C	73,16 °C	81,09 °C	26,0 s	64,7 s	0,40	86,0 s	78,0 s						
80	60	37	19.10.2010	14:52:00	780 l/h	59,88 °C	60,49 °C	72,52 °C	79,58 °C	59,65 °C	60,31 °C	60,36 °C	66,26 °C	-	-	-	30 s	116 s	0,26	78 s	-						
80	60	38	19.10.2010	15:14:00	780 l/h	60,06 °C	60,54 °C	72,64 °C	79,75 °C	59,79 °C	49,42 °C	59,83 °C	65,95 °C	-	-	-	28 s	116 s	0,24	82 s	-						
80	60	39	19.10.2010	15:46:00	780 l/h	60,06 °C	60,65 °C	72,69 °C	79,77 °C	59,88 °C	49,60 °C	60,34 °C	66,66 °C	-	-	-	30 s	116 s	0,26	84 s	-						
80	60	Mittelwert	19.10.2010		780 l/h	60,00 °C	60,56 °C	72,62 °C	79,70 °C	59,77 °C	49,78 °C	60,18 °C															

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																						
	Wasserausritts-temperatur	Wasseranritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Abgastemperatur WÜT			Zeitkonstanten				
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwingkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	Verzögerungszeit Abgastemperatur WÜT
40/30 Oktober	40	30	46	18.10.2010	15:36:00	1680 l/h	36,58 °C	37,01 °C	38,93 °C	40,06 °C	30,12 °C	35,96 °C	40,00 °C	42,37 °C	-	-	-	18 s	54 s	0,33	68 s	-
	40	30	47	18.10.2010	16:01:00	1680 l/h	36,51 °C	36,96 °C	38,89 °C	40,03 °C	30,10 °C	35,00 °C	40,05 °C	43,01 °C	-	-	-	18 s	54 s	0,33	118 s	-
	40	30	-	-	-	1680 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	30	Mittelwert	18.10.2010	-	1680 l/h	36,55 °C	36,99 °C	38,91 °C	40,05 °C	30,11 °C	35,48 °C	40,03 °C	42,69 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	18,0 s	54,0 s	0,33	93,0 s	-
50/30 Oktober	50	30	48	18.10.2010	13:46:00	830 l/h	43,31 °C	43,81 °C	47,88 °C	50,28 °C	30,39 °C	36,58 °C	41,54 °C	44,46 °C	-	-	-	22 s	106 s	0,21	82 s	-
	50	30	49	18.10.2010	14:30:00	830 l/h	43,47 °C	43,97 °C	47,98 °C	50,33 °C	30,46 °C	36,21 °C	41,31 °C	44,31 °C	-	-	-	24 s	104 s	0,23	82 s	-
	50	30	-	-	-	830 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	30	Mittelwert	18.10.2010	-	830 l/h	43,39 °C	43,89 °C	47,93 °C	50,31 °C	30,43 °C	36,40 °C	41,43 °C	44,39 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	23,0 s	105,0 s	0,22	82,0 s	-
60/30 Oktober	60	30	50	18.10.2010	11:34:00	550 l/h	50,19 °C	50,65 °C	56,90 °C	60,58 °C	30,43 °C	37,01 °C	42,65 °C	45,96 °C	-	-	-	30 s	160 s	0,19	94 s	-
	60	30	51	18.10.2010	12:22:00	550 l/h	50,13 °C	50,63 °C	56,85 °C	60,50 °C	30,40 °C	37,33 °C	42,60 °C	45,77 °C	-	-	-	30 s	160 s	0,19	94 s	-
	60	30	-	-	-	550 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	30	Mittelwert	18.10.2010	-	550 l/h	50,16 °C	50,64 °C	56,88 °C	60,54 °C	30,42 °C	37,17 °C	42,63 °C	45,87 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	30,0 s	160,0 s	0,19	94,0 s	-
55/45 Oktober	55	45	52	15.10.2010	08:29:00	1590 l/h	51,16 °C	51,68 °C	53,60 °C	54,72 °C	44,57 °C	47,31 °C	52,01 °C	54,78 °C	-	-	-	18 s	62 s	0,29	112 s	-
	55	45	53	15.10.2010	09:06:00	1590 l/h	50,93 °C	51,52 °C	53,20 °C	54,31 °C	44,28 °C	47,75 °C	52,05 °C	54,58 °C	-	-	-	20 s	52 s	0,38	62 s	-
	55	45	-	-	-	1590 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	45	Mittelwert	15.10.2010	-	1590 l/h	51,05 °C	51,60 °C	53,44 °C	54,52 °C	44,43 °C	47,53 °C	52,03 °C	54,68 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	19,0 s	57,0 s	0,34	87,0 s	-
65/45 Oktober	65	45	54	15.10.2010	10:42:00	880 l/h	57,45 °C	57,95 °C	62,09 °C	64,53 °C	44,53 °C	47,04 °C	52,55 °C	55,78 °C	-	-	-	22 s	106 s	0,21	312 s	-
	65	45	55	15.10.2010	11:14:00	880 l/h	57,98 °C	57,63 °C	61,71 °C	64,11 °C	44,06 °C	48,41 °C	53,30 °C	56,17 °C	-	-	-	24 s	110 s	0,22	78 s	-
	65	45	-	-	-	880 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	65	45	Mittelwert	15.10.2010	-	880 l/h	57,72 °C	57,79 °C	61,90 °C	64,32 °C	44,30 °C	47,73 °C	52,93 °C	55,98 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	23,0 s	108,0 s	0,21	195,0 s	-
75/45 Oktober	75	45	56	15.10.2010	13:09:00	520 l/h	64,48 °C	65,00 °C	71,27 °C	74,95 °C	44,64 °C	49,26 °C	53,65 °C	56,22 °C	-	-	-	28 s	164 s	0,17	60 s	-
	75	45	57	15.10.2010	13:50:00	520 l/h	64,59 °C	65,12 °C	71,45 °C	75,17 °C	44,87 °C	49,46 °C	54,49 °C	57,44 °C	-	-	-	26 s	164 s	0,16	80 s	-
	75	45	-	-	-	520 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	75	45	Mittelwert	15.10.2010	-	520 l/h	64,54 °C	65,06 °C	71,36 °C	75,06 °C	44,76 °C	49,36 °C	54,07 °C	56,83 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	27,0 s	164,0 s	0,16	70,0 s	-
70/60 Oktober	70	60	58	19.10.2010	16:54:00	1550 l/h	66,40 °C	66,90 °C	68,92 °C	70,11 °C	60,00 °C	58,30 °C	63,20 °C	66,07 °C	-	-	-	18 s	56 s	0,32	72 s	-
	70	60	59	19.10.2010	17:17:00	1550 l/h	66,40 °C	66,90 °C	68,80 °C	69,92 °C	59,82 °C	58,18 °C	63,00 °C	65,84 °C	-	-	-	16 s	58 s	0,28	78 s	-
	70	60	-	-	-	1550 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	70	60	Mittelwert	19.10.2010	-	1550 l/h	66,40 °C	66,90 °C	68,86 °C	70,02 °C	59,91 °C	58,24 °C	63,10 °C	65,96 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	17,0 s	57,0 s	0,30	71,0 s	-
80/60 Oktober	80	60	60	19.10.2010	15:30:00	780 l/h	72,67 °C	73,15 °C	77,35 °C	79,82 °C	59,87 °C	58,18 °C	63,60 °C	66,79 °C	-	-	-	22 s	112 s	0,20	82 s	-
	80	60	61	19.10.2010	16:03:00	780 l/h	72,74 °C	73,29 °C	77,42 °C	79,95 °C	59,88 °C	58,89 °C	64,28 °C	67,45 °C	-	-	-	24 s	110 s	0,22	84 s	-
	80	60	-	-	-	780 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	60	Mittelwert	19.10.2010	-	780 l/h	72,71 °C	73,22 °C	77,39 °C	79,84 °C	59,88 °C	58,54 °C	63,94 °C	67,12 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	23,0 s	111,0 s	0,21	83,0 s	-
85/60 Oktober	85	60	62	19.10.2010	12:44:00	630 l/h	75,81 °C	76,36 °C	81,65 °C	84,76 °C	59,97 °C	56,47 °C	62,99 °C	66,81 °C	-	-	-	34 s	134 s	0,25	108 s	-
	85	60	63	19.10.2010	14:03:00	630 l/h	75,42 °C	75,92 °C	81,21 °C	84,32 °C	59,90 °C	58,00 °C	63,71 °C	67,06 °C	-	-	-	32 s	130 s	0,25	92 s	-
	85	60	-	-	-	630 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	85	60	Mittelwert	19.10.2010	-	630 l/h	75,62 °C	76,14 °C	81,43 °C	84,54 °C	59,94 °C	57,24 °C	63,35 °C	66,94 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	33,0 s	132,0 s	0,25	100,0 s	-

Tabelle 33: Zeitkonstanten beim Aufheizen 60% auf 100%; Kessel O1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																						
	Wasserausritts-temperatur	Wasseranritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Abgastemperatur WÜT			Zeitkonstanten				
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwingkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	Verzögerungszeit Abgastemperatur WÜT
40/30 Oktober	40	30	131	18.10.2010	15:17:00	1680 l/h	36,67 °C	36,21 °C	32,64 °C	30,54 °C	30,26 °C	35,34 °C	33,51 °C	32,43 °C	-	-	-	16 s	52 s	0,31	118 s	-
	40	30	-	-	-	1680 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	30	-	-	-	1680 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	30	Mittelwert	18.10.2010	-	1680 l/h	36,67 °C	36,21 °C	32,64 °C	30,54 °C	30,26 °C	35,34 °C	33,51 °C	32,43 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	16,0 s	52,0 s	0,31	118,0 s	-
50/30 Oktober	50	30	132	18.10.2010	14:03:00	830 l/h	43,31 °C	42,80 °C	35,22 °C	30,76 °C	30,41 °C	36,39 °C	34,09 °C	32,73 °C	-	-	-	28 s	86 s	0,33	132 s	-
	50	30	-	-	-	830 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	30	-	-	-	830 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	30	Mittelwert	18.10.2010	-	830 l/h	43,31 °C	42,80 °C	35,22 °C	30,76 °C	30,41 °C	36,39 °C	34,09 °C	32,73 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	28,0 s	86,0 s	0,33	132,0 s	-
60/30 Oktober	60	30	133	18.10.2010	10:58:00	550 l/h	49,81 °C	49,30 °C	37,63 °C	30,78 °C	30,39 °C	36,55 °C	33,73 °C	32,07 °C	-	-	-	30 s	136 s	0,22	174 s	-
	60	30	-	-	-	550 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	30	-	-	-	550 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	30	Mittelwert	18.10.2010	-	550 l/h	49,81 °C	49,30 °C	37,63 °C	30,78 °C	30,39 °C	36,55 °C	33,73 °C	32,07 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	30,0 s	136,0 s	0,22	174,0 s	-
55/45 Oktober	55	45	134	15.10.2010	08:11:00	1590 l/h	50,97 °C	50,54 °C	46,86 °C	44,70 °C	44,42 °C	48,20 °C	44,97 °C	43,08 °C	-	-	-	16 s	54 s	0,30	104 s	-
	55	45	-	-	-	1590 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	45	-	-	-	1590 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	45	Mittelwert	15.10.2010	-	1590 l/h	50,97 °C	50,54 °C	46,86 °C	44,70 °C	44,42 °C	48,20 °C	44,97 °C	43,08 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	16,0 s	54,0 s	0,30	104,0 s	-
65/45 Oktober	65	45	135	15.10.2010	10:06:00	800 l/h	57,18 °C	56,67 °C	48,78 °C	44,15 °C	44,07 °C	47,86 °C	43,20 °C	40,46								

		Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																				
	Wasseraustrifftemperatur	Wassereintrifftemperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur					Abgastemperatur			Abgastemperatur WÜT			Zeitkonstanten				
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwerfmetallgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	Verzögerungszeit Abgastemperatur WÜT
40/30 Oktober	40	30	64	18.10.2010	14:56:00	1680 l/h	40,42 °C	39,89 °C	33,99 °C	30,52 °C	30,30 °C	44,20 °C	38,61 °C	35,33 °C	-	-	-	14 s	54 s	0,26	84 s	-
	40	30	65	18.10.2010	15:41:00	1680 l/h	40,12 °C	39,69 °C	33,82 °C	30,37 °C	30,12 °C	42,48 °C	37,02 °C	33,82 °C	-	-	-	12 s	54 s	0,22	78 s	-
	40	30	66	18.10.2010	16:10:00	1680 l/h	40,08 °C	39,53 °C	33,70 °C	30,27 °C	30,07 °C	42,98 °C	37,36 °C	34,07 °C	-	-	-	12 s	54 s	0,22	86 s	-
	40	30	Mittelwert	18.10.2010	-	1680 l/h	40,21 °C	39,70 °C	33,84 °C	30,39 °C	30,16 °C	43,22 °C	37,66 °C	34,41 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	12,7 s	54,0 s	0,23	82,7 s	-
40/30 Februar	40	30	67	10.02.2011	11:08:00	1650 l/h	40,42 °C	39,85 °C	33,96 °C	30,50 °C	30,32 °C	41,70 °C	36,10 °C	32,81 °C	49,85 °C	38,84 °C	32,28 °C	14 s	56 s	0,25	86 s	78 s
	40	30	68	10.02.2011	11:25:00	1650 l/h	40,35 °C	39,78 °C	33,77 °C	30,24 °C	30,21 °C	42,07 °C	36,17 °C	32,71 °C	49,81 °C	38,46 °C	31,79 °C	14 s	56 s	0,25	94 s	84 s
	40	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	30	Mittelwert	10.02.2011	-	1650 l/h	40,39 °C	39,82 °C	33,87 °C	30,37 °C	30,27 °C	41,89 °C	36,14 °C	32,76 °C	49,83 °C	38,65 °C	32,04 °C	14,0 s	56,0 s	0,25	90,0 s	81,0 s
50/30 Oktober	50	30	69	18.10.2010	13:00:00	830 l/h	50,26 °C	49,76 °C	37,66 °C	30,55 °C	30,26 °C	44,59 °C	37,95 °C	34,05 °C	-	-	-	20 s	94 s	0,21	100 s	-
	50	30	70	18.10.2010	13:20:00	830 l/h	49,97 °C	49,46 °C	37,47 °C	30,43 °C	30,11 °C	44,01 °C	36,94 °C	32,79 °C	-	-	-	20 s	94 s	0,21	58 s	-
	50	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	30	Mittelwert	18.10.2010	-	830 l/h	50,12 °C	49,61 °C	37,57 °C	30,49 °C	30,19 °C	44,30 °C	37,45 °C	33,42 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	20,0 s	94,0 s	0,21	79,0 s	-
50/30 Februar	50	30	71	10.02.2011	16:45:00	830 l/h	49,85 °C	49,35 °C	37,44 °C	30,44 °C	30,14 °C	43,53 °C	37,13 °C	33,37 °C	51,41 °C	39,06 °C	31,80 °C	22 s	98 s	0,22	94 s	86 s
	50	30	72	10.02.2011	17:11:00	830 l/h	49,67 °C	49,35 °C	37,39 °C	30,37 °C	30,14 °C	44,01 °C	37,17 °C	33,16 °C	51,57 °C	38,74 °C	31,20 °C	18 s	100 s	0,18	112 s	92 s
	50	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	30	Mittelwert	10.02.2011	-	830 l/h	49,86 °C	49,35 °C	37,42 °C	30,41 °C	30,14 °C	43,77 °C	37,15 °C	33,27 °C	51,49 °C	38,90 °C	31,50 °C	20,0 s	99,0 s	0,20	103,0 s	89,0 s
60/30 Oktober	60	30	73	18.10.2010	10:20:00	550 l/h	59,99 °C	59,51 °C	41,28 °C	30,57 °C	30,15 °C	45,71 °C	37,92 °C	33,34 °C	-	-	-	20 s	146 s	0,14	130 s	-
	60	30	74	18.10.2010	11:45:00	550 l/h	60,54 °C	59,99 °C	41,62 °C	30,83 °C	30,43 °C	46,03 °C	38,36 °C	33,86 °C	-	-	-	22 s	148 s	0,15	112 s	-
	60	30	75	18.10.2010	12:32:00	550 l/h	60,49 °C	59,99 °C	41,55 °C	30,72 °C	30,36 °C	45,71 °C	38,02 °C	33,51 °C	-	-	-	22 s	150 s	0,15	122 s	-
	60	30	Mittelwert	18.10.2010	-	550 l/h	60,34 °C	59,83 °C	41,48 °C	30,71 °C	30,31 °C	45,82 °C	38,10 °C	33,57 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	21,3 s	148,0 s	0,14	121,3 s	-
55/45 Oktober	55	45	76	15.10.2010	07:51:00	1590 l/h	54,86 °C	54,36 °C	48,44 °C	44,96 °C	44,78 °C	56,28 °C	47,64 °C	42,56 °C	-	-	-	14 s	54 s	0,26	100 s	-
	55	45	77	15.10.2010	08:39:00	1590 l/h	54,73 °C	54,18 °C	48,00 °C	44,37 °C	44,49 °C	54,73 °C	46,00 °C	40,87 °C	-	-	-	14 s	58 s	0,24	106 s	-
	55	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	45	Mittelwert	15.10.2010	-	1590 l/h	54,80 °C	54,27 °C	48,22 °C	44,67 °C	44,64 °C	55,51 °C	46,82 °C	41,72 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	14,0 s	56,0 s	0,25	103,0 s	-
65/45 Oktober	65	45	78	15.10.2010	09:33:00	800 l/h	64,36 °C	63,81 °C	51,72 °C	44,61 °C	44,42 °C	56,95 °C	46,49 °C	40,35 °C	-	-	-	22 s	98 s	0,22	118 s	-
	65	45	79	15.10.2010	10:50:00	800 l/h	64,59 °C	64,04 °C	51,71 °C	44,46 °C	44,15 °C	56,69 °C	46,82 °C	41,64 °C	-	-	-	20 s	100 s	0,20	100 s	-
	65	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	65	45	Mittelwert	15.10.2010	-	800 l/h	64,48 °C	63,93 °C	51,72 °C	44,54 °C	44,29 °C	56,32 °C	46,66 °C	41,00 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	21,0 s	99,0 s	0,21	109,0 s	-
65/45 Februar	65	45	80	04.02.2011	10:04:00	810 l/h	65,23 °C	64,71 °C	52,76 °C	45,75 °C	45,51 °C	58,34 °C	47,36 °C	40,91 °C	68,09 °C	53,32 °C	44,65 °C	20 s	100 s	0,20	122 s	116 s
	65	45	81	04.02.2011	10:30:00	810 l/h	65,00 °C	64,52 °C	52,45 °C	45,36 °C	45,16 °C	57,77 °C	46,77 °C	40,31 °C	67,84 °C	52,99 °C	44,27 °C	20 s	100 s	0,20	116 s	116 s
	65	45	82	04.02.2011	10:55:00	810 l/h	64,52 °C	64,04 °C	52,06 °C	45,02 °C	44,80 °C	57,40 °C	46,44 °C	40,00 °C	67,54 °C	52,64 °C	43,88 °C	20 s	102 s	0,20	120 s	110 s
	65	45	Mittelwert	04.02.2011	-	810 l/h	64,92 °C	64,42 °C	52,42 °C	45,38 °C	45,16 °C	57,84 °C	46,86 °C	40,41 °C	67,82 °C	52,98 °C	44,27 °C	20,0 s	100,7 s	0,20	119,3 s	114,0 s
75/45 Oktober	75	45	83	15.10.2010	11:36:00	520 l/h	74,53 °C	73,98 °C	55,46 °C	44,59 °C	44,10 °C	57,40 °C	47,19 °C	41,19 °C	-	-	-	24 s	156 s	0,15	112 s	-
	75	45	84	15.10.2010	13:18:00	520 l/h	75,03 °C	74,55 °C	56,05 °C	45,19 °C	44,79 °C	57,11 °C	46,25 °C	39,88 °C	-	-	-	22 s	158 s	0,14	100 s	-
	75	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	75	45	Mittelwert	15.10.2010	-	520 l/h	74,78 °C	74,27 °C	55,76 °C	44,89 °C	44,45 °C	57,26 °C	46,72 °C	40,54 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	23,0 s	157,0 s	0,15	106,0 s	-
75/45 Februar	75	45	85	14.02.2011	11:16:00	520 l/h	75,14 °C	74,66 °C	56,04 °C	45,10 °C	44,86 °C	57,95 °C	46,28 °C	39,42 °C	67,82 °C	52,19 °C	43,02 °C	22 s	162 s	0,14	142 s	122 s
	75	45	86	14.02.2011	11:56:00	520 l/h	75,10 °C	74,59 °C	56,07 °C	45,20 °C	45,02 °C	57,84 °C	45,82 °C	38,77 °C	67,89 °C	52,21 °C	43,00 °C	22 s	158 s	0,14	164 s	118 s
	75	45	87	14.02.2011	12:35:00	520 l/h	74,87 °C	74,32 °C	55,97 °C	45,20 °C	44,97 °C	57,52 °C	45,79 °C	38,90 °C	67,73 °C	52,17 °C	43,03 °C	24 s	158 s	0,15	154 s	118 s
	75	45	Mittelwert	14.02.2011	-	520 l/h	75,04 °C	74,52 °C	56,03 °C	45,17 °C	44,95 °C	57,77 °C	45,96 °C	39,03 °C	67,81 °C	52,19 °C	43,02 °C	22,7 s	159,3 s	0,14	153,3 s	119,3 s
70/60 Oktober	70	60	88	19.10.2010	16:21:00	1550 l/h	69,81 °C	69,19 °C	63,41 °C	60,02 °C	59,76 °C	67,98 °C	55,03 °C	47,42 °C	-	-	-	14 s	54 s	0,26	112 s	-
	70	60	89	19.10.2010	16:59:00	1550 l/h	70,13 °C	69,58 °C	63,69 °C	60,23 °C	60,02 °C	66,12 °C	53,19 °C	45,60 °C	-	-	-	14 s	56 s	0,25	110 s	-
	70	60	90	19.10.2010	17:22:00	1550 l/h	70,04 °C	69,54 °C	63,49 °C	59,93 °C	59,82 °C	66,01 °C	51,99 °C	43,75 °C	-	-	-	14 s	56 s	0,25	118 s	-
	70	60	Mittelwert	19.10.2010	-	1550 l/h	69,99 °C	69,44 °C	63,53 °C	60,06 °C	59,87 °C	66,70 °C	53,40 °C	45,59 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	14,0 s	55,3 s	0,25	113,3 s	-
70/60 Februar	70	60	91	08.02.2011	10:45:00	1560 l/h	69,88 °C	69,38 °C	63,59 °C	60,19 °C	59,92 °C	65,96 °C	53,31 °C	45,87 °C	80,64 °C	68,95 °C	60,66 °C	14 s	54 s	0,26	108 s	100 s
	70	60	92	08.02.2011	11:05:00	1560 l/h	70,02 °C	69,49 °C	63,79 °C	60,44 °C	60,08 °C	66,90 °C	54,90 °C	47,86 °C	80,89 °C	68,44 °C	61,12 °C	14 s	54 s	0,26	108 s	96 s
	70	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	70	60	Mittelwert	08.02.2011	-	1560 l/h	69,95 °C	69,44 °C	63,69 °C	60,32 °C	60,00 °C	66,43 °C	54,11 °C	46,87 °C	80,77 °C	68,25 °C	60,89 °C	14,0 s	54,0 s	0,26	108,0 s	98,0 s
80/60 Oktober	80	60	93	19.10.2010	14:43:00	780 l/h	79,81 °C	79,26 °C	67,08 °C	59,93 °C	59,67 °C	67,73 °C	53,92 °C	45,81 °C	-	-	-	20 s	102 s	0,20	118 s	-
	80	60	94	19.10.2010	15:37:00	780 l/h	79,81 °C	79,26 °C	67,26 °C	60,13 °C	59,88 °C	66,72 °C	52,92 °C	44,82 °C	-	-	-	2				

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																						
	Wasseraustrifftemperatur	Wassereintrifftemperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Abgastemperatur WÜT			Zeitkonstanten				
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schweigenheitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	Verzögerungszeit Abgastemperatur WÜT
40/30 Oktober	40	30	99	18.10.2010	15:10:00	1680 l/h	40,19 °C	39,69 °C	37,78 °C	36,65 °C	30,20 °C	42,98 °C	38,22 °C	35,42 °C	-	-	-	16 s	50 s	0,32	98 s	-
	40	30	100	18.10.2010	15:31:00	1680 l/h	40,19 °C	39,73 °C	37,79 °C	36,65 °C	30,16 °C	42,53 °C	38,48 °C	36,10 °C	-	-	-	18 s	52 s	0,36	66 s	-
	40	30	101	18.10.2010	15:55:00	1680 l/h	40,03 °C	39,53 °C	37,65 °C	36,55 °C	30,08 °C	42,57 °C	37,85 °C	35,07 °C	-	-	-	18 s	52 s	0,35	92 s	-
	40	30	Mittelwert	18.10.2010	-	1680 l/h	40,14 °C	39,65 °C	37,74 °C	36,62 °C	30,15 °C	42,69 °C	38,18 °C	35,53 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	17,3 s	51,3 s	0,34	85,3 s	-
40/30 Februar	40	30	101	10.02.2011	08:25:00	1640 l/h	40,19 °C	39,73 °C	37,74 °C	36,58 °C	30,25 °C	43,74 °C	38,76 °C	35,84 °C	49,92 °C	41,78 °C	36,99 °C	18 s	54 s	0,33	118 s	74 s
	40	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	30	Mittelwert	10.02.2011	-	1640 l/h	40,19 °C	39,73 °C	37,74 °C	36,58 °C	30,25 °C	43,74 °C	38,76 °C	35,84 °C	49,92 °C	41,78 °C	36,99 °C	18,0 s	54,0 s	0,33	118,0 s	74,0 s
50/30 Oktober	50	30	102	18.10.2010	13:39:00	830 l/h	50,15 °C	49,65 °C	45,69 °C	43,37 °C	30,33 °C	44,13 °C	39,43 °C	36,66 °C	-	-	-	30 s	94 s	0,32	82 s	-
	50	30	103	18.10.2010	13:54:00	830 l/h	50,26 °C	49,76 °C	45,71 °C	43,33 °C	30,36 °C	44,43 °C	39,44 °C	36,51 °C	-	-	-	30 s	92 s	0,33	92 s	-
	50	30	104	18.10.2010	14:21:00	830 l/h	50,24 °C	49,71 °C	45,73 °C	43,40 °C	30,43 °C	44,04 °C	39,14 °C	36,26 °C	-	-	-	34 s	88 s	0,39	62 s	-
	50	30	Mittelwert	18.10.2010	-	830 l/h	50,22 °C	49,71 °C	45,71 °C	43,37 °C	30,37 °C	44,20 °C	39,34 °C	36,48 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	31,3 s	91,3 s	0,34	78,7 s	-
50/30 Februar	50	30	105	10.02.2011	13:49:00	820 l/h	49,97 °C	49,46 °C	45,27 °C	42,81 °C	30,15 °C	44,93 °C	39,67 °C	36,85 °C	51,36 °C	42,70 °C	37,61 °C	32 s	96 s	0,33	124 s	70 s
	50	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	50	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	50	30	Mittelwert	10.02.2011	-	820 l/h	49,97 °C	49,46 °C	45,27 °C	42,81 °C	30,15 °C	44,93 °C	39,67 °C	36,85 °C	51,36 °C	42,70 °C	37,61 °C	32,0 s	96,0 s	0,33	124,0 s	70,0 s
60/30 Oktober	60	30	106	18.10.2010	10:46:00	550 l/h	60,43 °C	59,90 °C	53,55 °C	49,82 °C	30,24 °C	45,57 °C	39,94 °C	36,64 °C	-	-	-	28 s	158 s	0,18	106 s	-
	60	30	107	18.10.2010	11:24:00	550 l/h	60,65 °C	60,15 °C	53,85 °C	50,15 °C	30,47 °C	45,59 °C	40,25 °C	37,11 °C	-	-	-	28 s	156 s	0,18	98 s	-
	60	30	108	18.10.2010	12:12:00	550 l/h	60,61 °C	60,11 °C	53,82 °C	50,12 °C	30,43 °C	46,07 °C	40,54 °C	37,39 °C	-	-	-	26 s	158 s	0,16	108 s	-
	60	30	Mittelwert	18.10.2010	-	550 l/h	60,56 °C	60,05 °C	53,74 °C	50,03 °C	30,38 °C	45,74 °C	40,24 °C	37,05 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	27,3 s	157,3 s	0,17	104,0 s	-
55/45 Oktober	55	45	109	15.10.2010	08:05:00	1590 l/h	54,41 °C	53,86 °C	52,03 °C	50,95 °C	44,38 °C	51,80 °C	49,61 °C	48,32 °C	-	-	-	18 s	50 s	0,36	106 s	-
	55	45	110	15.10.2010	08:22:00	1590 l/h	54,57 °C	54,06 °C	52,22 °C	51,15 °C	44,68 °C	54,96 °C	50,18 °C	47,38 °C	-	-	-	18 s	52 s	0,35	88 s	-
	55	45	111	15.10.2010	08:58:00	1590 l/h	54,31 °C	53,79 °C	51,98 °C	50,92 °C	44,37 °C	54,84 °C	50,41 °C	47,81 °C	-	-	-	20 s	50 s	0,40	72 s	-
	55	45	Mittelwert	15.10.2010	-	1590 l/h	54,43 °C	53,90 °C	52,08 °C	51,01 °C	44,44 °C	53,87 °C	50,07 °C	47,84 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	18,7 s	50,7 s	0,37	88,7 s	-
65/45 Oktober	65	45	112	15.10.2010	09:55:00	800 l/h	64,13 °C	63,63 °C	59,56 °C	57,16 °C	44,19 °C	54,91 °C	50,49 °C	47,90 °C	-	-	-	36 s	84 s	0,43	86 s	-
	65	45	113	15.10.2010	10:28:00	800 l/h	64,02 °C	63,52 °C	59,71 °C	57,48 °C	44,36 °C	55,64 °C	50,21 °C	47,02 °C	-	-	-	32 s	84 s	0,38	116 s	-
	65	45	114	15.10.2010	11:07:00	800 l/h	63,97 °C	63,52 °C	59,49 °C	57,12 °C	44,04 °C	55,57 °C	51,09 °C	48,46 °C	-	-	-	32 s	88 s	0,36	72 s	-
	65	45	Mittelwert	15.10.2010	-	800 l/h	64,04 °C	63,56 °C	59,59 °C	57,25 °C	44,20 °C	55,37 °C	50,60 °C	47,79 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	33,3 s	85,3 s	0,39	91,3 s	-
65/45 Februar	65	45	115	04.02.2011	11:20:00	810 l/h	64,52 °C	64,04 °C	59,88 °C	57,43 °C	44,85 °C	57,11 °C	52,06 °C	49,09 °C	67,15 °C	58,25 °C	53,03 °C	30 s	94 s	0,32	92 s	78 s
	65	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	65	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	65	45	Mittelwert	04.02.2011	-	810 l/h	64,52 °C	64,04 °C	59,88 °C	57,43 °C	44,85 °C	57,11 °C	52,06 °C	49,09 °C	67,15 °C	58,25 °C	53,03 °C	30,0 s	94,0 s	0,32	92,0 s	78,0 s
75/45 Oktober	75	45	116	15.10.2010	11:58:00	520 l/h	74,55 °C	74,09 °C	67,83 °C	64,15 °C	44,13 °C	57,06 °C	52,04 °C	49,10 °C	-	-	-	32 s	152 s	0,21	86 s	-
	75	45	117	15.10.2010	13:00:00	520 l/h	74,94 °C	74,43 °C	68,18 °C	64,51 °C	44,62 °C	57,06 °C	52,19 °C	49,33 °C	-	-	-	30 s	154 s	0,19	86 s	-
	75	45	118	15.10.2010	13:41:00	520 l/h	75,30 °C	74,82 °C	68,45 °C	64,71 °C	44,86 °C	57,45 °C	52,46 °C	49,52 °C	-	-	-	30 s	156 s	0,19	86 s	-
	75	45	119	15.10.2010	13:59:00	520 l/h	75,19 °C	74,66 °C	68,36 °C	64,61 °C	44,82 °C	57,45 °C	52,35 °C	49,36 °C	-	-	-	32 s	158 s	0,20	94 s	-
75/45 Februar	75	45	120	11.02.2011	13:05:00	520 l/h	75,26 °C	74,71 °C	68,04 °C	64,13 °C	45,14 °C	58,18 °C	52,51 °C	49,18 °C	67,66 °C	58,59 °C	53,27 °C	30 s	168 s	0,18	130 s	84 s
	75	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	75	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	75	45	Mittelwert	11.02.2011	-	520 l/h	75,26 °C	74,71 °C	68,04 °C	64,13 °C	45,14 °C	58,18 °C	52,51 °C	49,18 °C	67,66 °C	58,59 °C	53,27 °C	30,0 s	168,0 s	0,18	130,0 s	84,0 s
70/60 Oktober	70	60	121	19.10.2010	16:33:00	1550 l/h	69,97 °C	69,54 °C	67,58 °C	66,42 °C	59,83 °C	66,12 °C	61,76 °C	59,20 °C	-	-	-	16 s	54 s	0,30	66 s	-
	70	60	122	19.10.2010	16:48:00	1550 l/h	70,04 °C	69,54 °C	67,60 °C	66,46 °C	59,97 °C	65,53 °C	61,04 °C	58,40 °C	-	-	-	18 s	56 s	0,32	62 s	-
	70	60	123	19.10.2010	17:11:00	1550 l/h	69,97 °C	69,49 °C	67,54 °C	66,40 °C	59,90 °C	65,46 °C	60,89 °C	58,21 °C	-	-	-	18 s	56 s	0,32	60 s	-
	70	60	Mittelwert	19.10.2010	-	1550 l/h	69,99 °C	69,52 °C	67,57 °C	66,43 °C	59,90 °C	65,70 °C	61,23 °C	58,60 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	17,3 s	55,3 s	0,31	62,7 s	-
70/60 Februar	70	60	124	08.02.2011	08:31:00	1550 l/h	70,54 °C	70,04 °C	67,89 °C	66,63 °C	60,35 °C	68,67 °C	62,88 °C	59,47 °C	81,35 °C	72,55 °C	67,39 °C	18 s	58 s	0,31	114 s	88 s
	70	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	70	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	70	60	Mittelwert	08.02.2011	-	1550 l/h	70,54 °C	70,04 °C	67,89 °C	66,63 °C	60,35 °C	68,67 °C	62,88 °C	59,47 °C	81,35 °C	72,55 °C	67,39 °C	18,0 s	58,0 s	0,31	114,0 s	88,0 s
80/60 Oktober	80	60	125	19.10.2010	15:01:00	780 l/h	79,58 °C	79,08 °C	75,10 °C	72,76 °C	59,72 °C	66,29 °C	61,48 °C	58,65 °C	-	-	-	34 s	88 s	0,39	70 s	-
	80	60	126	19.10.2010	15:23:00	780 l/h	79,74 °C	79,26 °C	75,17 °C	72,77 °C	59,86 °C	65,96 °C	61,13 °C	58,30 °C	-	-	-	30 s	92 s	0,33	74 s	-
	80	60	127	19.10.2010	15:55:00	780 l/h	79,86 °C	79,35 °C	75,23 °C	72,81 °C	59,89 °C	66,83 °C	61,86 °C	58,95 °C	-	-	-	30 s	94 s	0,32	90 s	-
	80	60	Mittelwert	19.10.2010	-	780 l/h	79,73 °C	79,23 °C	75,17 °C	72,78 °C	59,82 °C	66,36 °C	61,49 °C	58,63 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	31,3 s	91,3 s	0,34	78,0 s	-</

## 7.4.2 Kessel O2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufftemperaturen																		
	Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	1	04.11.2010	14:03:00	1720 l/h	30,51 °C	31,01 °C	36,90 °C	40,36 °C	30,42 °C	29,34 °C	31,30 °C	32,46 °C	90 s	266 s	0,34	192 s
	40	30	2	04.11.2010	16:21:00	1720 l/h	30,58 °C	31,08 °C	36,83 °C	40,21 °C	30,48 °C	28,45 °C	31,18 °C	32,78 °C	96 s	260 s	0,37	162 s
	40	30	3	02.11.2010	07:07:00	1720 l/h	30,69 °C	31,20 °C	36,97 °C	40,36 °C	30,37 °C	29,85 °C	31,57 °C	32,58 °C	90 s	262 s	0,34	406 s
	40	30	Mittelwert	04.11.2010		1720 l/h	30,59 °C	31,10 °C	36,90 °C	40,31 °C	30,42 °C	29,21 °C	31,35 °C	32,61 °C	92,0 s	262,7 s	0,35	253,3 s
45/30	45	30	4	11.11.2010	14:09:00	1140 l/h	30,35 °C	30,85 °C	39,78 °C	45,02 °C	30,15 °C	29,34 °C	31,41 °C	32,62 °C	100 s	320 s	0,31	256 s
	45	30	5	11.11.2010	16:18:00	1140 l/h	30,19 °C	30,65 °C	39,83 °C	45,22 °C	30,23 °C	29,30 °C	31,47 °C	32,74 °C	100 s	326 s	0,31	362 s
	45	30	-	-	-	1140 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45	30	Mittelwert	11.11.2010		1140 l/h	30,27 °C	30,75 °C	39,81 °C	45,12 °C	30,19 °C	29,32 °C	31,44 °C	32,68 °C	100,0 s	323,0 s	0,31	309,0 s
50/30	50	30	6	08.11.2010	13:42:00	860 l/h	30,85 °C	31,36 °C	43,10 °C	49,99 °C	30,31 °C	29,69 °C	32,02 °C	33,39 °C	106 s	324 s	0,33	302 s
	50	30	7	08.11.2010	14:50:00	860 l/h	30,35 °C	30,85 °C	42,96 °C	50,07 °C	30,29 °C	29,07 °C	32,09 °C	33,87 °C	112 s	330 s	0,34	446 s
	50	30	8	18.11.2010	13:53:00	860 l/h	30,30 °C	30,81 °C	42,77 °C	49,79 °C	30,08 °C	28,75 °C	31,67 °C	33,39 °C	110 s	336 s	0,33	322 s
	50	30	9	18.11.2010	16:18:00	860 l/h	30,51 °C	31,04 °C	42,98 °C	50,00 °C	30,29 °C	28,75 °C	32,01 °C	33,92 °C	114 s	326 s	0,35	332 s
	50	30	Mittelwert	08.11.2010		860 l/h	30,50 °C	31,02 °C	42,95 °C	49,96 °C	30,24 °C	29,07 °C	31,95 °C	33,64 °C	110,5 s	329,0 s	0,34	350,5 s
60/30	60	30	10	09.11.2010	14:33:00	580 l/h	31,01 °C	31,54 °C	49,20 °C	59,57 °C	30,39 °C	29,41 °C	32,66 °C	34,56 °C	108 s	442 s	0,24	356 s
	60	30	11	17.12.2010	08:43:00	580 l/h	30,88 °C	31,36 °C	49,76 °C	60,57 °C	30,30 °C	28,56 °C	32,30 °C	34,50 °C	106 s	466 s	0,23	292 s
	60	30	12	17.12.2010	10:30:00	580 l/h	30,30 °C	30,74 °C	49,32 °C	60,23 °C	30,28 °C	28,52 °C	32,48 °C	34,80 °C	106 s	458 s	0,23	432 s
	60	30	Mittelwert	09.11.2010		580 l/h	30,73 °C	31,21 °C	49,43 °C	60,12 °C	30,32 °C	28,83 °C	32,48 °C	34,62 °C	106,7 s	455,3 s	0,23	360,0 s
55/45	55	45	13	10.11.2010	13:30:00	1670 l/h	45,48 °C	45,98 °C	51,77 °C	55,18 °C	45,30 °C	42,37 °C	45,53 °C	47,39 °C	98 s	264 s	0,37	160 s
	55	45	14	10.11.2010	14:15:00	1670 l/h	45,57 °C	46,07 °C	51,75 °C	55,08 °C	45,25 °C	42,64 °C	45,61 °C	47,35 °C	96 s	266 s	0,36	164 s
	55	45	15	25.11.2010	14:06:00	1670 l/h	45,43 °C	45,91 °C	51,70 °C	55,09 °C	45,34 °C	41,98 °C	44,79 °C	46,44 °C	96 s	270 s	0,36	58 s
	55	45	16	25.11.2010	16:12:00	1670 l/h	45,37 °C	45,87 °C	51,53 °C	54,86 °C	45,08 °C	41,59 °C	44,59 °C	46,36 °C	100 s	266 s	0,38	64 s
	55	45	Mittelwert	10.11.2010		1670 l/h	45,46 °C	45,96 °C	51,69 °C	55,05 °C	45,24 °C	42,15 °C	45,13 °C	46,89 °C	97,5 s	266,5 s	0,37	111,5 s
60/45	60	45	17	14.12.2010	14:14:00	1100 l/h	45,04 °C	45,53 °C	54,65 °C	60,00 °C	44,87 °C	41,25 °C	45,14 °C	47,43 °C	110 s	314 s	0,35	210 s
	60	45	-	-	-	1100 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	45	-	-	-	1100 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	45	Mittelwert	14.12.2010		1100 l/h	45,04 °C	45,53 °C	54,65 °C	60,00 °C	44,87 °C	41,25 °C	45,14 °C	47,43 °C	110,0 s	314,0 s	0,35	210,0 s
65/45	65	45	18	17.11.2010	11:20:00	830 l/h	45,09 °C	45,59 °C	57,39 °C	64,31 °C	44,70 °C	41,47 °C	45,20 °C	47,39 °C	118 s	328 s	0,36	168 s
	65	45	-	-	12:30:00	830 l/h	44,93 °C	45,43 °C	57,22 °C	64,15 °C	44,59 °C	40,74 °C	44,98 °C	47,47 °C	120 s	332 s	0,36	158 s
	65	45	-	-	-	830 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	65	45	Mittelwert	17.11.2010		830 l/h	45,01 °C	45,51 °C	57,31 °C	64,23 °C	44,65 °C	41,11 °C	45,09 °C	47,43 °C	119,0 s	330,0 s	0,36	163,0 s
75/45	75	45	19	22.11.2010	13:00:00	560 l/h	44,79 °C	45,30 °C	63,74 °C	74,56 °C	44,51 °C	40,42 °C	45,41 °C	48,34 °C	100 s	524 s	0,19	346 s
	75	45	20	06.01.2011	11:45:00	560 l/h	45,91 °C	46,46 °C	65,13 °C	76,10 °C	45,38 °C	41,45 °C	45,78 °C	48,32 °C	100 s	518 s	0,19	112 s
	75	45	21	06.01.2011	13:10:00	560 l/h	45,32 °C	45,80 °C	64,31 °C	75,18 °C	45,05 °C	41,59 °C	45,64 °C	48,02 °C	96 s	486 s	0,20	122 s
	75	45	Mittelwert	22.11.2010		560 l/h	45,34 °C	45,85 °C	64,39 °C	75,28 °C	44,98 °C	41,15 °C	45,61 °C	48,23 °C	98,7 s	509,3 s	0,19	193,3 s
70/60	70	60	22	23.11.2010	11:55:00	1670 l/h	60,29 °C	60,77 °C	66,26 °C	69,49 °C	59,98 °C	55,39 °C	58,10 °C	59,68 °C	100 s	248 s	0,40	20 s
	70	60	23	23.11.2010	13:06:00	1670 l/h	60,11 °C	60,61 °C	66,27 °C	69,60 °C	59,89 °C	55,62 °C	58,14 °C	59,61 °C	100 s	272 s	0,37	138 s
	70	60	-	-	-	1670 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	70	60	Mittelwert	23.11.2010		1670 l/h	60,20 °C	60,69 °C	66,27 °C	69,55 °C	59,94 °C	55,51 °C	58,12 °C	59,65 °C	100,0 s	260,0 s	0,39	79,0 s
80/60	80	60	24	29.11.2010	10:20:00	790 l/h	60,06 °C	60,54 °C	72,48 °C	79,49 °C	59,53 °C	54,29 °C	57,44 °C	59,29 °C	108 s	348 s	0,31	90 s
	80	60	25	29.11.2010	11:15:00	790 l/h	60,45 °C	60,88 °C	72,90 °C	79,95 °C	60,05 °C	54,80 °C	58,00 °C	59,89 °C	108 s	352 s	0,31	156 s
	80	60	-	-	-	790 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	60	Mittelwert	29.11.2010		790 l/h	60,26 °C	60,71 °C	72,69 °C	79,72 °C	59,79 °C	54,55 °C	57,72 °C	59,59 °C	108,0 s	350,0 s	0,31	123,0 s
85/60	85	60	26	21.12.2010	11:15:00	620 l/h	60,93 °C	61,43 °C	76,87 °C	85,93 °C	60,09 °C	55,12 °C	58,30 °C	60,17 °C	102 s	446 s	0,23	192 s
	85	60	27	21.12.2010	14:32:00	620 l/h	60,70 °C	61,27 °C	76,81 °C	85,94 °C	60,23 °C	54,96 °C	58,35 °C	60,34 °C	102 s	450 s	0,23	236 s
	85	60	-	-	-	620 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	85	60	Mittelwert	21.12.2010		620 l/h	60,82 °C	61,35 °C	76,84 °C	85,94 °C	60,16 °C	55,04 °C	58,33 °C	60,26 °C	102,0 s	448,0 s	0,23	214,0 s

Tabelle 37: Zeitkonstanten beim Anfahren 0% auf 100%; Kessel O2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklafterperaturen																		
	Wasserausritts- temperatur	Wassereintritts- temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauf- temperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwerigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	28	04.11.2010	13:37:00	1720 l/h	40,28 °C	39,78 °C	33,95 °C	30,53 °C	30,17 °C	33,03 °C	30,99 °C	29,80 °C	62 s	252 s	0,25	410 s
	40	30	29	02.11.2010	06:46:00	1720 l/h	40,17 °C	39,69 °C	34,02 °C	30,69 °C	30,27 °C	32,78 °C	31,00 °C	29,96 °C	64 s	242 s	0,26	600 s
	40	30	-	-	-	1720 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	30	Mittelwert	04.11.2010	-	1720 l/h	40,23 °C	39,74 °C	33,99 °C	30,61 °C	30,22 °C	32,91 °C	31,00 °C	29,88 °C	63,0 s	247,0 s	0,26	505,0 s
45/30	45	30	30	11.11.2010	13:31:00	1140 l/h	45,25 °C	44,75 °C	35,69 °C	30,37 °C	30,02 °C	33,42 °C	30,87 °C	29,36 °C	44 s	290 s	0,15	774 s
	45	30	-	-	-	1140 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45	30	-	-	-	1140 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45	30	Mittelwert	11.11.2010	-	1140 l/h	45,25 °C	44,75 °C	35,69 °C	30,37 °C	30,02 °C	33,42 °C	30,87 °C	29,36 °C	44,0 s	290,0 s	0,15	774,0 s
50/30	50	30	31	08.11.2010	13:07:00	860 l/h	50,51 °C	50,03 °C	37,96 °C	30,88 °C	30,36 °C	34,06 °C	30,97 °C	29,15 °C	56 s	390 s	0,14	840 s
	50	30	32	08.11.2010	14:12:00	860 l/h	50,35 °C	49,87 °C	37,56 °C	30,33 °C	30,16 °C	33,44 °C	30,41 °C	28,63 °C	44 s	410 s	0,11	866 s
	50	30	-	-	-	860 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	30	Mittelwert	08.11.2010	-	860 l/h	50,43 °C	49,95 °C	37,76 °C	30,61 °C	30,26 °C	33,75 °C	30,69 °C	28,89 °C	50,0 s	400,0 s	0,13	853,0 s
60/30	60	30	33	09.11.2010	13:47:00	580 l/h	60,45 °C	-	-	31,01 °C	30,50 °C	34,77 °C	31,17 °C	29,05 °C	-	-	-	952 s
	60	30	-	-	-	580 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	30	-	-	-	580 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	30	Mittelwert	09.11.2010	-	580 l/h	60,45 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	31,01 °C	30,50 °C	34,77 °C	31,17 °C	29,05 °C	-	-	-	952,0 s
55/45	55	45	34	10.11.2010	13:06:00	1670 l/h	55,41 °C	54,91 °C	48,97 °C	45,48 °C	45,25 °C	47,20 °C	42,93 °C	40,42 °C	62 s	256 s	0,24	786 s
	55	45	35	10.11.2010	13:55:00	1670 l/h	55,23 °C	54,73 °C	48,97 °C	45,58 °C	45,26 °C	47,36 °C	43,44 °C	41,14 °C	64 s	254 s	0,25	706 s
	55	45	36	25.11.2010	13:30:00	1670 l/h	55,07 °C	54,59 °C	48,83 °C	45,45 °C	45,36 °C	46,97 °C	41,67 °C	38,55 °C	66 s	250 s	0,26	1082 s
	55	45	Mittelwert	10.11.2010	-	1670 l/h	55,24 °C	54,74 °C	48,92 °C	45,50 °C	45,29 °C	47,18 °C	42,68 °C	40,04 °C	64,0 s	253,3 s	0,25	858,0 s
60/45	60	45	37	14.12.2010	13:28:00	1100 l/h	60,06 °C	59,56 °C	50,41 °C	45,04 °C	44,98 °C	48,04 °C	41,24 °C	37,25 °C	46 s	360 s	0,13	954 s
	60	45	-	-	-	1100 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	45	-	-	-	1100 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60	45	Mittelwert	14.12.2010	-	1100 l/h	60,06 °C	59,56 °C	50,41 °C	45,04 °C	44,98 °C	48,04 °C	41,24 °C	37,25 °C	46,0 s	360,0 s	0,13	954,0 s
65/45	65	45	38	17.11.2010	10:46:00	820 l/h	64,75 °C	64,25 °C	52,20 °C	45,12 °C	44,78 °C	47,97 °C	42,38 °C	39,10 °C	68 s	376 s	0,18	474 s
	65	45	39	17.11.2010	11:50:00	820 l/h	64,52 °C	63,97 °C	51,97 °C	44,93 °C	44,71 °C	47,38 °C	41,00 °C	37,26 °C	56 s	390 s	0,14	1230 s
	65	45	-	-	-	820 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	65	45	Mittelwert	17.11.2010	-	820 l/h	64,64 °C	64,11 °C	52,09 °C	45,03 °C	44,75 °C	47,68 °C	41,69 °C	38,18 °C	62,0 s	383,0 s	0,16	852,0 s
75/45	75	45	40	22.11.2010	13:45:00	550 l/h	74,82 °C	-	-	44,85 °C	44,56 °C	48,32 °C	41,22 °C	37,05 °C	-	-	-	1226 s
	75	45	-	-	-	550 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	75	45	-	-	-	550 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	75	45	Mittelwert	22.11.2010	-	550 l/h	74,82 °C	#DIV/0!	#DIV/0!	44,85 °C	44,56 °C	48,32 °C	41,22 °C	37,05 °C	-	-	-	1226,0 s
70/60	70	60	41	23.11.2010	11:35:00	1650 l/h	70,20 °C	69,70 °C	63,78 °C	60,30 °C	60,14 °C	60,33 °C	54,69 °C	51,37 °C	62 s	270 s	0,23	156 s
	70	60	42	23.11.2010	12:42:00	1650 l/h	69,60 °C	69,10 °C	63,45 °C	60,13 °C	59,92 °C	59,95 °C	54,94 °C	52,00 °C	70 s	254 s	0,28	142 s
	70	60	-	-	-	1650 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	70	60	Mittelwert	23.11.2010	-	1650 l/h	69,90 °C	69,40 °C	63,62 °C	60,22 °C	60,03 °C	60,14 °C	54,82 °C	51,69 °C	66,0 s	262,0 s	0,25	149,0 s
80/60	80	60	43	29.11.2010	09:49:00	790 l/h	80,29 °C	79,81 °C	67,40 °C	60,12 °C	59,94 °C	60,22 °C	53,12 °C	48,95 °C	74 s	388 s	0,19	204 s
	80	60	44	29.11.2010	10:45:00	790 l/h	79,42 °C	79,10 °C	67,35 °C	60,45 °C	59,97 °C	59,21 °C	53,16 °C	49,61 °C	42 s	396 s	0,11	146 s
	80	60	-	-	-	790 l/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	60	Mittelwert	29.11.2010	-	790 l/h	79,86 °C	79,46 °C	67,38 °C	60,29 °C	59,96 °C	59,72 °C	53,14 °C	49,28 °C	58,0 s	392,0 s	0,15	175,0 s

Tabelle 38: Zeitkonstanten beim Ausschalten 100% auf 0%; Kessel O2

### 7.4.3 Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
	Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	1	16.06.2011	08:14:00	1320 l/h	30,42 °C	31,15 °C	36,85 °C	40,19 °C	30,24 °C	32,36 °C	39,74 °C	44,07 °C	26 s	28 s	0,93	52 s
	40	30	2	16.06.2011	08:23:00	1320 l/h	30,37 °C	31,13 °C	36,87 °C	40,23 °C	30,25 °C	31,52 °C	39,09 °C	43,54 °C	26 s	28 s	0,93	48 s
	40	30	3	16.06.2011	08:32:00	1322 l/h	30,37 °C	31,08 °C	36,83 °C	40,20 °C	30,22 °C	31,65 °C	39,32 °C	43,82 °C	26 s	28 s	0,93	48 s
	40	30	Mittelwert			1321 l/h	30,39 °C	31,12 °C	36,85 °C	40,21 °C	30,24 °C	31,84 °C	39,38 °C	43,81 °C	26,0 s	28,0 s	0,93	49,3 s
50/30	50	30	4	16.06.2011	11:39:00	648 l/h	30,97 °C	31,52 °C	43,45 °C	50,45 °C	30,60 °C	32,82 °C	42,57 °C	48,30 °C	26 s	36 s	0,72	52 s
	50	30	5	16.06.2011	11:49:00	648 l/h	30,65 °C	30,97 °C	43,11 °C	50,23 °C	30,38 °C	32,16 °C	42,24 °C	48,15 °C	26 s	36 s	0,72	52 s
	50	30	6	16.06.2011	11:59:00	649 l/h	30,46 °C	30,74 °C	42,94 °C	50,11 °C	30,19 °C	31,98 °C	42,12 °C	48,07 °C	26 s	36 s	0,72	52 s
	50	30	Mittelwert			648 l/h	30,69 °C	31,08 °C	43,17 °C	50,26 °C	30,39 °C	32,32 °C	42,31 °C	48,18 °C	26,0 s	36,0 s	0,72	52,0 s
60/30	60	30	7	16.06.2011	15:02:00	421 l/h	30,65 °C	31,31 °C	49,53 °C	60,23 °C	30,30 °C	32,09 °C	43,86 °C	50,77 °C	30 s	44 s	0,68	54 s
	60	30	8	16.06.2011	15:14:00	422 l/h	30,74 °C	31,24 °C	49,60 °C	60,38 °C	30,49 °C	31,65 °C	43,77 °C	50,88 °C	28 s	44 s	0,64	52 s
	60	30	9	16.06.2011	15:26:00	422 l/h	30,76 °C	31,36 °C	49,62 °C	60,34 °C	30,46 °C	31,86 °C	43,83 °C	50,86 °C	28 s	44 s	0,64	54 s
	60	30	Mittelwert			421 l/h	30,72 °C	31,30 °C	49,58 °C	60,32 °C	30,42 °C	31,87 °C	43,82 °C	50,84 °C	28,7 s	44,0 s	0,65	53,3 s
55/45	55	45	10	22.06.2011	07:50:00	1251 l/h	45,04 °C	45,41 °C	51,36 °C	54,85 °C	44,93 °C	43,26 °C	54,37 °C	62,47 °C	24 s	28 s	0,86	42 s
	55	45	11	22.06.2011	07:59:00	1251 l/h	45,02 °C	45,37 °C	51,35 °C	54,87 °C	44,93 °C	43,08 °C	50,20 °C	54,38 °C	24 s	28 s	0,86	42 s
	55	45	12	22.06.2011	08:08:00	1253 l/h	45,04 °C	45,32 °C	51,36 °C	54,91 °C	44,93 °C	43,14 °C	50,28 °C	54,47 °C	24 s	28 s	0,86	44 s
	55	45	Mittelwert			1251 l/h	45,03 °C	45,37 °C	51,36 °C	54,88 °C	44,93 °C	43,16 °C	50,25 °C	54,41 °C	24,0 s	28,0 s	0,86	42,7 s
65/45	65	45	13	22.06.2011	10:55:00	616 l/h	45,04 °C	45,32 °C	57,56 °C	64,74 °C	44,88 °C	42,96 °C	51,33 °C	56,24 °C	26 s	36 s	0,72	46 s
	65	45	14	22.06.2011	11:05:00	616 l/h	45,04 °C	45,32 °C	57,59 °C	64,79 °C	44,92 °C	43,03 °C	51,43 °C	56,37 °C	26 s	36 s	0,72	48 s
	65	45	15	22.06.2011	11:15:00	616 l/h	45,14 °C	45,87 °C	57,81 °C	64,83 °C	44,96 °C	42,98 °C	51,43 °C	56,40 °C	28 s	36 s	0,78	46 s
	65	45	Mittelwert			616 l/h	45,07 °C	45,50 °C	57,65 °C	64,79 °C	44,92 °C	42,99 °C	51,40 °C	56,34 °C	26,7 s	36,0 s	0,74	46,7 s
75/45	75	45	16	22.06.2011	15:45:00	403 l/h	45,32 °C	45,87 °C	64,25 °C	75,04 °C	45,08 °C	43,14 °C	52,68 °C	58,29 °C	30 s	44 s	0,68	54 s
	75	45	17	22.06.2011	15:57:00	403 l/h	45,41 °C	45,96 °C	64,37 °C	75,19 °C	45,18 °C	42,98 °C	52,68 °C	58,37 °C	30 s	44 s	0,68	54 s
	75	45	18	22.06.2011	16:09:00	403 l/h	45,37 °C	45,91 °C	64,38 °C	75,23 °C	45,16 °C	42,92 °C	52,70 °C	58,44 °C	30 s	44 s	0,68	54 s
	75	45	Mittelwert			403 l/h	45,37 °C	45,91 °C	64,33 °C	75,15 °C	45,14 °C	43,01 °C	52,69 °C	58,37 °C	30,0 s	44,0 s	0,68	54,0 s
70/60	70	60	19	23.06.2011	10:30:00	1215 l/h	59,78 °C	60,49 °C	66,27 °C	69,66 °C	59,69 °C	54,98 °C	60,70 °C	64,06 °C	24 s	28 s	0,86	42 s
	70	60	20	23.06.2011	10:39:00	1215 l/h	59,62 °C	60,27 °C	66,10 °C	69,52 °C	59,53 °C	54,80 °C	60,61 °C	64,03 °C	24 s	28 s	0,86	42 s
	70	60	21	23.06.2011	10:48:00	1215 l/h	59,67 °C	60,33 °C	66,17 °C	69,61 °C	59,60 °C	54,63 °C	60,57 °C	64,07 °C	24 s	28 s	0,86	42 s
	70	60	Mittelwert			1215 l/h	59,69 °C	60,36 °C	66,18 °C	69,59 °C	59,61 °C	54,80 °C	60,63 °C	64,05 °C	24,0 s	28,0 s	0,86	42,0 s
80/60	80	60	22	23.06.2011	13:40:00	603 l/h	59,90 °C	60,49 °C	72,46 °C	79,47 °C	59,68 °C	55,02 °C	61,98 °C	66,06 °C	26 s	36 s	0,72	50 s
	80	60	23	23.06.2011	13:50:00	601 l/h	59,83 °C	60,45 °C	72,59 °C	79,71 °C	59,73 °C	53,97 °C	61,63 °C	66,14 °C	26 s	36 s	0,72	48 s
	80	60	24	23.06.2011	14:00:00	601 l/h	59,95 °C	60,56 °C	72,68 °C	79,79 °C	59,85 °C	55,23 °C	62,19 °C	66,27 °C	26 s	36 s	0,72	52 s
	80	60	Mittelwert			602 l/h	59,89 °C	60,50 °C	72,57 °C	79,66 °C	59,76 °C	54,74 °C	61,93 °C	66,16 °C	26,0 s	36,0 s	0,72	50,0 s
85/60	85	60	25	24.06.2011	07:44:00	480 l/h	59,99 °C	60,38 °C	75,75 °C	84,78 °C	59,90 °C	55,41 °C	62,93 °C	67,34 °C	28 s	40 s	0,70	56 s
	85	60	26	24.06.2011	07:55:00	479 l/h	59,90 °C	60,22 °C	75,64 °C	84,70 °C	59,83 °C	55,14 °C	62,74 °C	67,20 °C	26 s	40 s	0,65	54 s
	85	60	27	24.06.2011	08:06:00	478 l/h	59,95 °C	60,33 °C	75,67 °C	84,68 °C	59,89 °C	54,68 °C	62,45 °C	67,02 °C	28 s	40 s	0,70	52 s
	85	60	Mittelwert			479 l/h	59,95 °C	60,31 °C	75,69 °C	84,72 °C	59,87 °C	55,08 °C	62,71 °C	67,19 °C	27,3 s	40,0 s	0,68	54,0 s

Tabelle 39: Zeitkonstanten beim Anfahren 0% auf 100%; Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufemperaturen																		
	Wasserausritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	28	16.06.2011	08:41:00	1323 l/h	30,35 °C	31,15 °C	35,83 °C	38,58 °C	30,15 °C	31,65 °C	37,13 °C	40,36 °C	26 s	26 s	1,00	52 s
	40	30	29	16.06.2011	08:50:00	1322 l/h	30,35 °C	31,08 °C	35,93 °C	38,77 °C	30,21 °C	31,69 °C	37,16 °C	40,43 °C	26 s	26 s	1,00	54 s
	40	30	30	16.06.2011	08:59:00	1322 l/h	30,37 °C	31,08 °C	35,96 °C	38,83 °C	30,24 °C	31,64 °C	37,18 °C	40,50 °C	24 s	26 s	0,92	54 s
	40	30	Mittelwert			1322 l/h	30,36 °C	31,10 °C	35,91 °C	38,73 °C	30,20 °C	31,59 °C	37,16 °C	40,43 °C	25,3 s	26,0 s	0,97	53,3 s
50/30	50	30	31	16.06.2011	12:09:00	649 l/h	30,35 °C	31,13 °C	41,25 °C	47,19 °C	30,12 °C	31,77 °C	39,55 °C	44,11 °C	28 s	34 s	0,82	56 s
	50	30	32	16.06.2011	12:19:00	650 l/h	30,37 °C	30,81 °C	41,18 °C	47,27 °C	30,15 °C	31,43 °C	39,46 °C	44,18 °C	26 s	34 s	0,76	54 s
	50	30	33	16.06.2011	12:29:00	649 l/h	30,42 °C	31,08 °C	41,30 °C	47,31 °C	30,19 °C	31,69 °C	39,54 °C	44,21 °C	26 s	34 s	0,76	56 s
	50	30	Mittelwert			649 l/h	30,38 °C	31,01 °C	41,24 °C	47,25 °C	30,15 °C	31,60 °C	39,52 °C	44,17 °C	26,7 s	34,0 s	0,78	55,3 s
60/30	60	30	34	16.06.2011	15:38:00	422 l/h	30,92 °C	31,52 °C	47,07 °C	56,20 °C	30,60 °C	31,82 °C	41,38 °C	46,99 °C	28 s	42 s	0,67	58 s
	60	30	35	16.06.2011	15:50:00	422 l/h	30,85 °C	31,52 °C	47,09 °C	56,23 °C	30,58 °C	31,63 °C	41,31 °C	47,00 °C	30 s	42 s	0,71	58 s
	60	30	36	16.06.2011	16:02:00	423 l/h	30,81 °C	31,27 °C	47,01 °C	56,26 °C	30,53 °C	31,36 °C	41,25 °C	47,07 °C	28 s	42 s	0,67	56 s
	60	30	Mittelwert			422 l/h	30,86 °C	31,44 °C	47,06 °C	56,23 °C	30,57 °C	31,60 °C	41,31 °C	47,02 °C	28,7 s	42,0 s	0,68	57,3 s
55/45	55	45	37	22.06.2011	08:17:00	1253 l/h	44,98 °C	45,32 °C	50,34 °C	53,29 °C	44,86 °C	43,12 °C	48,75 °C	52,06 °C	24 s	26 s	0,92	42 s
	55	45	38	22.06.2011	08:26:00	1253 l/h	44,86 °C	45,18 °C	50,23 °C	53,20 °C	44,76 °C	42,71 °C	48,55 °C	51,98 °C	24 s	26 s	0,92	40 s
	55	45	39	22.06.2011	08:35:00	1252 l/h	44,98 °C	45,71 °C	50,52 °C	53,35 °C	44,89 °C	42,76 °C	48,62 °C	52,06 °C	26 s	26 s	1,00	40 s
	55	45	Mittelwert			1253 l/h	44,94 °C	45,40 °C	50,37 °C	53,28 °C	44,83 °C	42,86 °C	48,64 °C	52,03 °C	24,7 s	26,0 s	0,95	40,7 s
65/45	65	45	40	22.06.2011	11:25:00	615 l/h	45,09 °C	45,37 °C	55,77 °C	61,88 °C	44,97 °C	42,96 °C	49,80 °C	53,81 °C	26 s	34 s	0,76	46 s
	65	45	41	22.06.2011	11:35:00	615 l/h	45,09 °C	45,82 °C	55,93 °C	61,87 °C	44,96 °C	42,80 °C	49,71 °C	53,76 °C	28 s	34 s	0,82	46 s
	65	45	42	22.06.2011	11:45:00	615 l/h	45,20 °C	45,82 °C	55,99 °C	61,97 °C	45,05 °C	43,12 °C	49,89 °C	53,86 °C	26 s	34 s	0,76	44 s
	65	45	Mittelwert			615 l/h	45,13 °C	45,67 °C	55,90 °C	61,91 °C	44,99 °C	42,96 °C	49,80 °C	53,81 °C	26,7 s	34,0 s	0,78	45,3 s
75/45	75	45	43	22.06.2011	16:21:00	404 l/h	45,30 °C	45,87 °C	61,52 °C	70,70 °C	45,05 °C	42,76 °C	50,79 °C	55,51 °C	30 s	42 s	0,71	50 s
	75	45	44	22.06.2011	16:33:00	403 l/h	45,18 °C	45,71 °C	61,36 °C	70,56 °C	44,94 °C	42,48 °C	50,64 °C	55,44 °C	30 s	42 s	0,71	50 s
	75	45	45	22.06.2011	16:45:00	403 l/h	44,93 °C	45,57 °C	61,19 °C	70,37 °C	44,72 °C	42,33 °C	50,55 °C	55,35 °C	30 s	42 s	0,71	24 s
	75	45	Mittelwert			403 l/h	45,14 °C	45,72 °C	61,36 °C	70,54 °C	44,91 °C	42,93 °C	50,79 °C	55,43 °C	30,0 s	42,0 s	0,71	41,3 s
70/60	70	60	46	23.06.2011	10:57:00	1215 l/h	59,83 °C	60,56 °C	65,38 °C	68,21 °C	59,76 °C	54,63 °C	59,15 °C	61,81 °C	26 s	26 s	1,00	40 s
	70	60	47	23.06.2011	11:06:00	1213 l/h	59,95 °C	60,61 °C	65,46 °C	68,31 °C	59,88 °C	54,63 °C	59,19 °C	61,87 °C	24 s	26 s	0,92	40 s
	70	60	48	23.06.2011	11:15:00	1213 l/h	60,06 °C	60,72 °C	65,58 °C	68,43 °C	59,99 °C	54,36 °C	59,18 °C	62,01 °C	24 s	26 s	0,92	40 s
	70	60	Mittelwert			1214 l/h	59,95 °C	60,63 °C	65,47 °C	68,32 °C	59,88 °C	54,54 °C	59,17 °C	61,90 °C	24,7 s	26,0 s	0,95	40,0 s
80/60	80	60	49	23.06.2011	14:10:00	602 l/h	59,90 °C	60,45 °C	70,60 °C	76,56 °C	59,77 °C	55,02 °C	60,23 °C	63,28 °C	28 s	34 s	0,82	48 s
	80	60	50	23.06.2011	14:20:00	602 l/h	59,83 °C	60,38 °C	70,54 °C	76,51 °C	59,70 °C	54,59 °C	60,00 °C	63,17 °C	28 s	34 s	0,82	48 s
	80	60	51	23.06.2011	14:30:00	602 l/h	59,76 °C	60,38 °C	70,48 °C	76,41 °C	59,65 °C	54,73 °C	60,01 °C	63,12 °C	28 s	34 s	0,82	50 s
	80	60	Mittelwert			602 l/h	59,83 °C	60,40 °C	70,54 °C	76,49 °C	59,71 °C	54,78 °C	60,08 °C	63,19 °C	28,0 s	34,0 s	0,82	48,7 s
85/60	85	60	52	24.06.2011	08:17:00	478 l/h	59,90 °C	60,56 °C	73,36 °C	80,87 °C	59,87 °C	54,68 °C	60,55 °C	63,99 °C	28 s	38 s	0,74	52 s
	85	60	53	24.06.2011	08:28:00	477 l/h	59,88 °C	60,27 °C	73,19 °C	80,78 °C	59,80 °C	54,06 °C	60,18 °C	63,78 °C	28 s	40 s	0,70	52 s
	85	60	54	24.06.2011	08:39:00	479 l/h	59,78 °C	60,06 °C	73,14 °C	80,83 °C	59,70 °C	54,41 °C	60,39 °C	63,91 °C	28 s	40 s	0,70	54 s
	85	60	Mittelwert			478 l/h	59,85 °C	60,30 °C	73,23 °C	80,83 °C	59,79 °C	54,38 °C	60,37 °C	63,89 °C	28,0 s	39,3 s	0,71	52,7 s

Tabelle 40: Zeitkonstanten beim Aufheizen 0% auf 84,7%; Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufemperaturen																		
	Wasserausritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	55	16.06.2011	09:08:00	1322 l/h	30,37 °C	31,13 °C	35,06 °C	37,37 °C	30,24 °C	31,69 °C	35,02 °C	37,03 °C	26 s	24 s	1,08	54 s
	40	30	56	16.06.2011	09:33:00	1321 l/h	30,65 °C	31,43 °C	35,34 °C	37,63 °C	30,52 °C	31,77 °C	35,21 °C	37,24 °C	26 s	24 s	1,08	56 s
	40	30	57	16.06.2011	09:42:00	1320 l/h	30,62 °C	31,38 °C	35,31 °C	37,62 °C	30,48 °C	31,47 °C	35,09 °C	37,22 °C	26 s	24 s	1,08	56 s
	40	30	Mittelwert			1321 l/h	30,55 °C	31,31 °C	35,24 °C	37,54 °C	30,41 °C	31,61 °C	35,11 °C	37,16 °C	26,0 s	24,0 s	1,08	55,3 s
50/30	50	30	58	16.06.2011	12:39:00	650 l/h	30,37 °C	31,15 °C	39,60 °C	44,56 °C	30,19 °C	31,38 °C	36,99 °C	40,29 °C	28 s	32 s	0,88	60 s
	50	30	59	16.06.2011	12:49:00	649 l/h	30,42 °C	31,13 °C	39,60 °C	44,57 °C	30,24 °C	31,27 °C	36,91 °C	40,23 °C	26 s	32 s	0,81	60 s
	50	30	60	16.06.2011	12:59:00	649 l/h	30,46 °C	31,20 °C	39,64 °C	44,60 °C	30,25 °C	31,38 °C	36,98 °C	40,27 °C	26 s	32 s	0,81	60 s
	50	30	Mittelwert			649 l/h	30,42 °C	31,16 °C	39,61 °C	44,58 °C	30,23 °C	31,34 °C	36,96 °C	40,26 °C	26,7 s	32,0 s	0,83	60,0 s
60/30	60	30	61	16.06.2011	16:14:00	422 l/h	30,81 °C	31,43 °C	44,67 °C	52,28 °C	30,54 °C	31,64 °C	38,84 °C	43,12 °C	28 s	40 s	0,70	64 s
	60	30	62	16.06.2011	16:26:00	423 l/h	30,92 °C	31,54 °C	44,64 °C	52,34 °C	30,65 °C	31,47 °C	38,84 °C	43,16 °C	28 s	40 s	0,70	62 s
	60	30	63	16.06.2011	16:38:00	423 l/h	30,92 °C	31,52 °C	44,63 °C	52,33 °C	30,64 °C	31,38 °C	38,80 °C	43,16 °C	28 s	40 s	0,70	62 s
	60	30	Mittelwert			423 l/h	30,88 °C	31,50 °C	44,61 °C	52,32 °C	30,61 °C	31,46 °C	38,82 °C	43,15 °C	28,0 s	40,0 s	0,70	62,7 s
55/45	55	45	64	22.06.2011	08:44:00	1252 l/h	45,09 °C	45,41 °C	49,63 °C	52,10 °C	45,00 °C	42,92 °C	47,38 °C	50,00 °C	24 s	24 s	1,00	40 s
	55	45	65	22.06.2011	08:53:00	1252 l/h	45,14 °C	45,91 °C	49,84 °C	52,14 °C	45,05 °C	42,87 °C	47,40 °C	50,06 °C	26 s	24 s	1,08	38 s
	55	45	66	22.06.2011	09:02:00	1252 l/h	45,02 °C	45,37 °C	49,58 °C	52,06 °C	44,94 °C	42,76 °C	47,30 °C	49,96 °C	24 s	24 s	1,00	38 s
	55	45	Mittelwert			1252 l/h	45,08 °C	45,56 °C	49,68 °C	52,10 °C	45,00 °C	42,85 °C	47,36 °C	50,01 °C	24,7 s	24,0 s	1,03	38,7 s
65/45	65	45	67	22.06.2011	11:55:00	616 l/h	45,25 °C	45,98 °C	54,34 °C	59,25 °C	45,11 °C	43,08 °C	48,45 °C	51,61 °C	28 s	32 s	0,88	46 s
	65	45	68	22.06.2011	12:05:00	617 l/h	45,20 °C	45,48 °C	54,12 °C	59,19 °C	45,05 °C	42,96 °C	48,38 °C	51,57 °C	26 s	32 s	0,81	44 s

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufemperaturen																		
Wasserausritts-temperatur	Wassereintrits-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	82	16.06.2011	09:51:00	1321 l/h	30,62 °C	31,38 °C	34,11 °C	35,71 °C	30,47 °C	31,47 °C	32,73 °C	33,47 °C	26 s	16 s	1,63	56 s
	40	30	83	16.06.2011	10:00:00	1320 l/h	30,53 °C	31,38 °C	34,06 °C	35,63 °C	30,42 °C	30,97 °C	32,44 °C	33,30 °C	26 s	14 s	1,86	56 s
	40	30	84	16.06.2011	10:09:00	1320 l/h	30,58 °C	31,36 °C	34,06 °C	35,65 °C	30,43 °C	30,88 °C	32,39 °C	33,28 °C	26 s	14 s	1,86	56 s
	40	30	Mittelwert			1320 l/h	30,58 °C	31,37 °C	34,08 °C	35,66 °C	30,44 °C	31,11 °C	32,52 °C	33,35 °C	26,0 s	14,7 s	1,78	56,0 s
50/30	50	30	85	16.06.2011	13:09:00	649 l/h	30,51 °C	31,24 °C	37,24 °C	40,77 °C	30,30 °C	31,38 °C	33,85 °C	35,30 °C	26 s	26 s	1,00	66 s
	50	30	86	16.06.2011	13:19:00	649 l/h	30,69 °C	31,38 °C	37,39 °C	40,92 °C	30,47 °C	31,20 °C	33,81 °C	35,34 °C	26 s	26 s	1,00	68 s
	50	30	87	16.06.2011	13:29:00	650 l/h	30,81 °C	31,52 °C	37,52 °C	41,07 °C	30,62 °C	31,20 °C	33,89 °C	35,48 °C	26 s	26 s	1,00	66 s
	50	30	Mittelwert			649 l/h	30,67 °C	31,38 °C	37,39 °C	40,92 °C	30,46 °C	31,26 °C	33,85 °C	35,37 °C	26,0 s	26,0 s	1,00	66,7 s
60/30	60	30	88	16.06.2011	16:50:00	423 l/h	30,88 °C	31,38 °C	40,91 °C	46,51 °C	30,60 °C	30,97 °C	35,10 °C	37,52 °C	28 s	36 s	0,78	70 s
	60	30	89	16.06.2011	17:04:00	422 l/h	30,65 °C	31,24 °C	40,62 °C	46,13 °C	30,32 °C	30,69 °C	34,72 °C	37,08 °C	30 s	36 s	0,83	74 s
	60	30	90	16.06.2011	17:16:00	422 l/h	30,30 °C	30,88 °C	40,34 °C	45,90 °C	30,03 °C	30,62 °C	34,54 °C	36,84 °C	28 s	36 s	0,78	76 s
	60	30	Mittelwert			422 l/h	30,61 °C	31,17 °C	40,63 °C	46,18 °C	30,32 °C	30,76 °C	34,78 °C	37,15 °C	28,7 s	36,0 s	0,80	73,3 s
55/45	55	45	91	22.06.2011	09:11:30	1251 l/h	45,04 °C	45,37 °C	48,36 °C	50,11 °C	44,95 °C	42,64 °C	45,54 °C	47,24 °C	24 s	16 s	1,50	30 s
	55	45	92	22.06.2011	09:20:30	1251 l/h	44,91 °C	45,59 °C	48,32 °C	49,92 °C	44,78 °C	41,52 °C	45,00 °C	47,05 °C	26 s	14 s	1,86	24 s
	55	45	93	22.06.2011	09:29:30	1252 l/h	44,75 °C	45,20 °C	48,13 °C	49,85 °C	44,65 °C	41,25 °C	44,84 °C	46,96 °C	24 s	16 s	1,50	26 s
	55	45	Mittelwert			1251 l/h	44,90 °C	45,39 °C	48,27 °C	49,96 °C	44,79 °C	41,80 °C	45,13 °C	47,08 °C	24,7 s	15,3 s	1,62	26,7 s
65/45	65	45	94	22.06.2011	12:26:00	617 l/h	45,14 °C	45,41 °C	51,65 °C	55,31 °C	44,98 °C	42,80 °C	46,38 °C	48,48 °C	26 s	28 s	0,93	46 s
	65	45	95	22.06.2011	12:36:00	618 l/h	45,14 °C	45,87 °C	51,83 °C	55,32 °C	45,00 °C	42,30 °C	46,23 °C	48,53 °C	28 s	28 s	1,00	40 s
	65	45	96	22.06.2011	12:46:00	617 l/h	45,14 °C	45,43 °C	51,65 °C	55,31 °C	45,01 °C	42,02 °C	46,11 °C	48,52 °C	26 s	28 s	0,93	38 s
	65	45	Mittelwert			617 l/h	45,14 °C	45,57 °C	51,71 °C	55,31 °C	45,00 °C	42,37 °C	46,24 °C	48,51 °C	26,7 s	28,0 s	0,95	41,3 s
75/45	75	45	97	22.06.2011	17:33:00	403 l/h	45,04 °C	45,64 °C	54,92 °C	60,37 °C	44,86 °C	34,84 °C	44,01 °C	49,39 °C	30 s	36 s	0,83	14 s
	75	45	98	22.06.2011	17:45:00	403 l/h	44,98 °C	45,53 °C	54,85 °C	60,32 °C	44,77 °C	37,01 °C	44,83 °C	49,42 °C	30 s	36 s	0,83	20 s
	75	45	99	22.06.2011	17:57:00	403 l/h	44,82 °C	45,41 °C	54,70 °C	60,15 °C	44,60 °C	41,59 °C	46,47 °C	49,34 °C	30 s	36 s	0,83	48 s
	75	45	Mittelwert			403 l/h	44,95 °C	45,53 °C	54,82 °C	60,28 °C	44,74 °C	37,81 °C	45,10 °C	49,38 °C	30,0 s	36,0 s	0,83	27,3 s
70/60	70	60	100	23.06.2011	11:51:00	1213 l/h	59,88 °C	60,54 °C	63,24 °C	64,82 °C	59,78 °C	54,13 °C	56,62 °C	58,08 °C	24 s	14 s	1,71	42 s
	70	60	101	23.06.2011	12:00:00	1216 l/h	59,90 °C	60,65 °C	63,29 °C	64,84 °C	59,85 °C	53,97 °C	56,57 °C	58,10 °C	26 s	14 s	1,86	42 s
	70	60	102	23.06.2011	12:09:00	1216 l/h	59,88 °C	60,56 °C	63,21 °C	64,77 °C	59,80 °C	54,02 °C	56,55 °C	58,04 °C	24 s	14 s	1,71	42 s
	70	60	Mittelwert			1215 l/h	59,89 °C	60,58 °C	63,25 °C	64,81 °C	59,81 °C	54,04 °C	56,58 °C	58,07 °C	24,7 s	14,0 s	1,76	42,0 s
80/60	80	60	103	23.06.2011	15:20:00	602 l/h	60,27 °C	60,93 °C	66,74 °C	70,15 °C	60,18 °C	54,47 °C	57,20 °C	58,80 °C	28 s	28 s	1,00	44 s
	80	60	104	23.06.2011	15:30:00	603 l/h	60,27 °C	60,84 °C	66,70 °C	70,13 °C	60,17 °C	54,73 °C	57,31 °C	58,83 °C	28 s	28 s	1,00	48 s
	80	60	105	23.06.2011	15:40:00	603 l/h	60,22 °C	60,84 °C	66,64 °C	70,05 °C	60,12 °C	54,68 °C	57,26 °C	58,77 °C	28 s	26 s	1,08	50 s
	80	60	Mittelwert			603 l/h	60,25 °C	60,87 °C	66,69 °C	70,11 °C	60,16 °C	54,63 °C	57,25 °C	58,80 °C	28,0 s	27,3 s	1,03	47,3 s
85/60	85	60	106	24.06.2011	12:08:00	483 l/h	59,95 °C	60,38 °C	67,91 °C	72,33 °C	59,88 °C	54,18 °C	57,13 °C	58,86 °C	28 s	32 s	0,88	52 s
	85	60	107	24.06.2011	12:19:00	483 l/h	60,04 °C	60,38 °C	68,00 °C	72,47 °C	60,00 °C	54,09 °C	57,13 °C	58,91 °C	26 s	34 s	0,76	54 s
	85	60	108	24.06.2011	12:30:00	483 l/h	60,27 °C	60,61 °C	68,26 °C	72,75 °C	60,17 °C	54,25 °C	57,28 °C	59,06 °C	28 s	34 s	0,82	56 s
	85	60	Mittelwert			483 l/h	60,09 °C	60,46 °C	68,05 °C	72,52 °C	60,01 °C	54,17 °C	57,18 °C	58,94 °C	27,3 s	33,3 s	0,82	54,0 s

Tabelle 42: Zeitkonstanten beim Aufheizen 0% auf 52,0%; Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufemperaturen																		
Wasserausritts-temperatur	Wassereintrits-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	109	16.06.2011	10:18:00	1320 l/h	30,58 °C	30,92 °C	32,80 °C	33,91 °C	30,44 °C	30,88 °C	31,13 °C	31,27 °C	24 s	8 s	3,00	12 s
	40	30	110	16.06.2011	10:27:00	1321 l/h	30,58 °C	30,92 °C	32,79 °C	33,88 °C	30,45 °C	30,65 °C	31,00 °C	31,20 °C	24 s	8 s	3,00	12 s
	40	30	111	16.06.2011	10:36:00	1320 l/h	30,51 °C	30,88 °C	32,74 °C	33,83 °C	30,39 °C	30,68 °C	30,93 °C	31,13 °C	24 s	8 s	3,00	12 s
	40	30	Mittelwert			1320 l/h	30,56 °C	30,91 °C	32,78 °C	33,87 °C	30,43 °C	30,70 °C	31,02 °C	31,20 °C	24,0 s	8,0 s	3,00	12,0 s
50/30	50	30	112	16.06.2011	13:42:00	649 l/h	30,74 °C	31,43 °C	35,22 °C	37,45 °C	30,57 °C	30,81 °C	31,66 °C	32,17 °C	28 s	12 s	2,33	34 s
	50	30	113	16.06.2011	13:52:00	649 l/h	30,74 °C	31,38 °C	35,17 °C	37,40 °C	30,52 °C	30,76 °C	31,59 °C	32,07 °C	28 s	12 s	2,33	26 s
	50	30	114	16.06.2011	14:02:00	650 l/h	30,74 °C	31,47 °C	35,20 °C	37,39 °C	30,50 °C	30,74 °C	31,56 °C	32,03 °C	28 s	12 s	2,33	34 s
	50	30	Mittelwert			649 l/h	30,74 °C	31,43 °C	35,20 °C	37,41 °C	30,53 °C	30,77 °C	31,60 °C	32,09 °C	28,0 s	12,0 s	2,33	31,3 s
60/30	60	30	115	16.06.2011	17:28:00	424 l/h	30,35 °C	30,97 °C	36,99 °C	40,53 °C	30,12 °C	30,42 °C	31,82 °C	32,65 °C	28 s	16 s	1,75	48 s
	60	30	116	16.06.2011	17:40:00	424 l/h	30,42 °C	31,04 °C	37,06 °C	40,59 °C	30,13 °C	30,30 °C	31,74 °C	32,58 °C	30 s	16 s	1,88	54 s
	60	30	117	16.06.2011	17:52:00	424 l/h	40,68 °C	30,97 °C	37,09 °C	40,68 °C	30,18 °C	30,14 °C	31,72 °C	32,65 °C	28 s	16 s	1,75	46 s
	60	30	Mittelwert			424 l/h	33,82 °C	30,99 °C	37,05 °C	40,60 °C	30,14 °C	30,29 °C	31,76 °C	32,63 °C	28,7 s	16,0 s	1,79	49,3 s
55/45	55	45	118	22.06.2011	09:39:00	1253 l/h	44,75 °C	45,53 °C	47,10 °C	48,02 °C	44,67 °C	41,18 °C	43,61 °C	45,03 °C	26 s	8 s	3,25	10 s
	55	45	119	22.06.2011	09:48:00	1252 l/h	44,82 °C	45,48 °C	47,14 °C	48,11 °C	44,74 °C	41,75 °C	43,86 °C	45,09 °C	26 s	8 s	3,25	14 s
	55	45	120	22.06.2011	09:57:00	1251 l/h	44,79 °C	45,43 °C	47,10 °C	48,08 °C	44,70 °C	41,47 °C	43,72 °C	45,04 °C	24 s	8 s	3,00	12 s
	55	45	Mittelwert			1252 l/h	44,79 °C	45,48 °C	47,11 °C	48,07 °C	44,70 °C	41,47 °C	43,73 °C	45,06 °C	25,3 s	8,0 s	3,17	12,0 s
65/45	65	45	121	22.06.2011	12:56:00	618 l/h	45,09 °C	45,37 °C	49,36 °C	51,70 °C	44,98 °C	42,07 °C	44,57 °C	46,03 °C	26 s	12 s	2,17	14 s
	65	45	122	22.06.2011	13:06:00	617 l/h	45,02 °C	45,71 °C	49,41 °C	51,58 °C	44,91 °C	40,40 °C	43,88 °C	45,93 °C	28 s	12 s	2,33	14 s
	6																	

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
	Wasserausritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	136	16.06.2011	10:45:00	1320 l/h	30,53 °C	30,85 °C	31,96 °C	32,61 °C	30,43 °C	30,58 °C	30,61 °C	30,62 °C	24 s	4 s	6,00	4 s
	40	30	137	16.06.2011	10:54:00	1320 l/h	30,65 °C	31,01 °C	32,06 °C	32,67 °C	30,52 °C	30,62 °C	30,64 °C	30,66 °C	24 s	4 s	6,00	4 s
	40	30	138	16.06.2011	11:03:00	1320 l/h	30,65 °C	31,01 °C	32,07 °C	32,69 °C	30,53 °C	30,65 °C	30,67 °C	30,68 °C	24 s	4 s	6,00	4 s
	Mittelwert					1320 l/h	30,61 °C	30,96 °C	32,03 °C	32,66 °C	30,49 °C	30,62 °C	30,64 °C	30,65 °C	24,0 s	4,0 s	6,00	4,0 s
50/30	50	30	139	16.06.2011	14:12:00	649 l/h	30,58 °C	31,31 °C	33,43 °C	34,68 °C	30,33 °C	30,65 °C	30,81 °C	30,90 °C	26 s	6 s	4,33	10 s
	50	30	140	16.06.2011	14:22:00	649 l/h	30,53 °C	31,24 °C	33,42 °C	34,70 °C	30,27 °C	30,62 °C	30,75 °C	30,83 °C	26 s	6 s	4,33	8 s
	50	30	141	16.06.2011	14:32:00	649 l/h	30,62 °C	31,27 °C	33,50 °C	34,81 °C	30,37 °C	30,63 °C	30,74 °C	30,83 °C	26 s	6 s	4,33	8 s
	Mittelwert					649 l/h	30,58 °C	31,27 °C	33,45 °C	34,73 °C	30,33 °C	30,60 °C	30,76 °C	30,83 °C	26,0 s	6,0 s	4,33	8,7 s
60/30	60	30	142	16.06.2011	18:04:00	424 l/h	30,51 °C	31,27 °C	34,99 °C	37,18 °C	30,23 °C	30,19 °C	30,79 °C	31,14 °C	30 s	10 s	3,00	16 s
	60	30	143	16.06.2011	18:16:00	424 l/h	30,53 °C	31,08 °C	34,86 °C	37,08 °C	30,28 °C	30,30 °C	30,81 °C	31,12 °C	28 s	10 s	2,80	14 s
	60	30	144	16.06.2011	18:28:00	425 l/h	30,62 °C	31,27 °C	35,03 °C	37,32 °C	30,36 °C	30,37 °C	30,90 °C	30,86 °C	28 s	10 s	2,80	14 s
	Mittelwert					424 l/h	30,55 °C	31,17 °C	34,96 °C	37,19 °C	30,29 °C	30,29 °C	30,83 °C	31,70 °C	28,7 s	10,0 s	2,87	14,7 s
55/45	55	45	145	22.06.2011	10:06:00	1251 l/h	44,79 °C	45,53 °C	46,36 °C	46,85 °C	44,68 °C	41,86 °C	43,35 °C	44,23 °C	26 s	4 s	6,50	10 s
	55	45	146	22.06.2011	10:15:00	1251 l/h	44,82 °C	45,48 °C	46,34 °C	46,85 °C	44,70 °C	43,35 °C	43,92 °C	44,25 °C	26 s	4 s	6,50	12 s
	55	45	147	22.06.2011	10:24:00	1251 l/h	44,82 °C	45,53 °C	46,42 °C	46,94 °C	44,74 °C	42,92 °C	43,79 °C	44,47 °C	26 s	4 s	6,50	10 s
	Mittelwert					1251 l/h	44,81 °C	45,51 °C	46,37 °C	46,88 °C	44,71 °C	42,71 °C	43,69 °C	44,75 °C	26,0 s	4,0 s	6,50	10,7 s
65/45	65	45	148	22.06.2011	14:00:00	617 l/h	45,09 °C	45,80 °C	48,00 °C	49,29 °C	44,97 °C	40,92 °C	43,43 °C	44,91 °C	28 s	6 s	4,67	10 s
	65	45	149	22.06.2011	14:10:00	617 l/h	45,09 °C	45,69 °C	47,93 °C	49,25 °C	44,93 °C	42,92 °C	44,14 °C	44,85 °C	28 s	6 s	4,67	16 s
	65	45	150	22.06.2011	14:20:00	617 l/h	45,09 °C	45,69 °C	47,87 °C	49,15 °C	44,91 °C	42,76 °C	44,03 °C	44,77 °C	28 s	6 s	4,67	16 s
	Mittelwert					617 l/h	45,09 °C	45,73 °C	47,93 °C	49,23 °C	44,94 °C	42,20 °C	43,87 °C	44,85 °C	28,0 s	6,0 s	4,67	14,0 s
75/45	75	45	151	23.06.2011	09:00:00	414 l/h	44,75 °C	45,32 °C	48,94 °C	51,07 °C	44,59 °C	40,12 °C	42,94 °C	44,60 °C	28 s	10 s	2,80	10 s
	75	45	152	23.06.2011	09:12:00	414 l/h	44,66 °C	45,14 °C	48,84 °C	51,01 °C	44,58 °C	40,81 °C	43,23 °C	44,65 °C	28 s	10 s	2,80	14 s
	75	45	153	23.06.2011	09:24:00	415 l/h	44,75 °C	45,25 °C	48,90 °C	51,04 °C	44,59 °C	40,67 °C	43,21 °C	44,64 °C	28 s	10 s	2,80	14 s
	Mittelwert					414 l/h	44,72 °C	45,24 °C	48,89 °C	51,04 °C	44,59 °C	40,53 °C	43,13 °C	44,63 °C	28,0 s	10,0 s	2,80	12,7 s
70/60	70	60	154	23.06.2011	12:45:00	1217 l/h	59,72 °C	60,45 °C	61,25 °C	61,72 °C	59,61 °C	53,68 °C	55,25 °C	56,23 °C	26 s	4 s	6,50	10 s
	70	60	155	23.06.2011	12:54:00	1216 l/h	59,78 °C	60,49 °C	61,30 °C	61,77 °C	59,69 °C	53,79 °C	55,35 °C	56,26 °C	24 s	4 s	6,00	12 s
	70	60	156	23.06.2011	13:03:00	1217 l/h	59,83 °C	60,56 °C	61,35 °C	61,82 °C	59,73 °C	53,64 °C	55,28 °C	56,07 °C	24 s	4 s	6,00	10 s
	Mittelwert					1217 l/h	59,78 °C	60,50 °C	61,30 °C	61,77 °C	59,68 °C	53,64 °C	55,29 °C	56,25 °C	24,7 s	4,0 s	6,17	10,7 s
80/60	80	60	157	23.06.2011	16:20:00	602 l/h	60,11 °C	60,61 °C	62,83 °C	64,13 °C	60,03 °C	54,59 °C	55,84 °C	56,58 °C	26 s	6 s	4,33	12 s
	80	60	158	23.06.2011	16:30:00	601 l/h	60,17 °C	60,81 °C	62,94 °C	64,19 °C	60,08 °C	54,31 °C	55,76 °C	56,61 °C	28 s	6 s	4,67	10 s
	80	60	159	23.06.2011	16:40:00	601 l/h	60,22 °C	60,84 °C	62,98 °C	64,24 °C	60,09 °C	54,41 °C	55,79 °C	56,67 °C	28 s	6 s	4,67	10 s
	Mittelwert					602 l/h	60,17 °C	60,75 °C	62,92 °C	64,13 °C	60,06 °C	54,44 °C	55,80 °C	56,62 °C	27,3 s	6,0 s	4,56	10,7 s
85/60	85	60	160	24.06.2011	13:14:00	484 l/h	59,88 °C	60,27 °C	63,26 °C	65,01 °C	59,78 °C	53,70 °C	55,44 °C	56,45 °C	28 s	8 s	3,50	12 s
	85	60	161	24.06.2011	13:25:00	484 l/h	59,78 °C	60,17 °C	63,18 °C	64,94 °C	59,72 °C	53,79 °C	55,44 °C	56,41 °C	28 s	8 s	3,50	12 s
	85	60	162	24.06.2011	13:36:00	484 l/h	59,76 °C	60,15 °C	63,09 °C	64,82 °C	59,63 °C	53,24 °C	55,21 °C	56,02 °C	28 s	8 s	3,50	12 s
	Mittelwert					484 l/h	59,81 °C	60,20 °C	63,17 °C	64,92 °C	59,71 °C	53,58 °C	55,36 °C	56,42 °C	28,0 s	8,0 s	3,50	12,0 s

Tabelle 44: Zeitkonstanten beim Aufheizen 0% auf 19,3%; Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
	Wasserausritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	1	16.06.2011	08:18:30	1319 l/h	40,24 °C	39,96 °C	33,95 °C	30,42 °C	30,28 °C	44,13 °C	37,44 °C	33,52 °C	4 s	22 s	0,18	46 s
	40	30	2	16.06.2011	08:27:30	1319 l/h	40,24 °C	39,19 °C	33,64 °C	30,38 °C	30,27 °C	43,58 °C	37,58 °C	34,06 °C	4 s	22 s	0,18	24 s
	40	30	3	16.06.2011	08:36:30	1322 l/h	40,24 °C	39,28 °C	33,66 °C	30,36 °C	30,24 °C	43,97 °C	37,61 °C	33,88 °C	4 s	22 s	0,18	26 s
	Mittelwert					1320 l/h	40,24 °C	39,48 °C	33,75 °C	30,39 °C	30,26 °C	43,89 °C	37,55 °C	33,82 °C	4,0 s	22,0 s	0,18	32,0 s
50/30	50	30	4	16.06.2011	11:43:30	648 l/h	50,51 °C	50,15 °C	37,89 °C	30,69 °C	30,48 °C	48,32 °C	39,57 °C	34,42 °C	6 s	30 s	0,20	58 s
	50	30	5	16.06.2011	11:53:30	648 l/h	50,24 °C	49,69 °C	37,59 °C	30,48 °C	30,25 °C	48,25 °C	39,50 °C	34,36 °C	8 s	30 s	0,27	52 s
	50	30	6	16.06.2011	12:03:30	648 l/h	50,15 °C	49,49 °C	37,44 °C	30,36 °C	30,15 °C	48,20 °C	39,40 °C	34,24 °C	8 s	30 s	0,27	50 s
	Mittelwert					648 l/h	50,30 °C	49,78 °C	37,64 °C	30,51 °C	30,29 °C	48,26 °C	39,49 °C	34,34 °C	7,3 s	30,0 s	0,24	53,3 s
60/30	60	30	7	16.06.2011	15:06:30	422 l/h	60,33 °C	60,04 °C	41,59 °C	30,75 °C	30,40 °C	50,86 °C	39,58 °C	32,95 °C	8 s	38 s	0,21	84 s
	60	30	8	16.06.2011	15:18:30	421 l/h	60,46 °C	60,15 °C	41,64 °C	30,77 °C	30,49 °C	50,97 °C	39,96 °C	33,50 °C	8 s	38 s	0,21	72 s
	60	30	9	16.06.2011	15:30:30	421 l/h	60,45 °C	60,17 °C	41,72 °C	30,89 °C	30,50 °C	50,93 °C	40,07 °C	33,70 °C	8 s	38 s	0,21	74 s
	Mittelwert					421 l/h	60,41 °C	60,12 °C	41,65 °C	30,80 °C	30,46 °C	50,92 °C	39,87 °C	33,38 °C	8,0 s	38,0 s	0,21	76,7 s
55/45	55	45	10	22.06.2011	07:54:30	1251 l/h	54,86 °C	54,57 °C	48,57 °C	45,04 °C	44,90 °C	54,36 °C	47,45 °C	43,39 °C	4 s	20 s	0,20	24 s
	55	45	11	22.06.2011	08:03:30	1251 l/h	54,86 °C	54,57 °C	48,57 °C	45,05 °C	44,94 °C	54,36 °C	47,48 °C	43,43 °C	4 s	20 s	0,20	22 s
	55	45	12	22.06.2011	08:12:30	1253 l/h	54,96 °C	54,57 °C	48,55 °C	45,02 °C	44,92 °C	54,45 °C	47,54 °C	43,49 °C	4 s	20 s	0,20	22 s
	Mittelwert					1252 l/h	54,89 °C	54,57 °C	48,57 °C	45,04 °C	44,92 °C	54,39 °C	47,49 °C	43,44 °C	4,0 s	20,0 s	0,20	22,7 s
65/45	65	45	13	22.06.2011	10:59:30	615 l/h	64,80 °C	64,20 °C	52,16 °C	45,09 °C	44,89 °C	56,28 °C	47,97 °C	43,09 °C	8 s	28 s	0,29	32 s
	65	45	14	22.06.2011	11:09:30	616 l/h	64,84 °C	64,13 °C	52,16 °C	45,12 °C	44,92 °C	56,44 °C	48,05 °C	43,12 °C	8 s	30 s	0,27	36 s
	65	45	15	22.06.2011	11:19:30	616 l/h	64,84 °C	64,59 °C	52,34 °C	45,14 °C	44,95 °C	56,44 °C	47,99 °C	43,03 °C	6 s	30 s	0,2	

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufstemperaturen																		
Wasserstritts-temperatur	Wasserstritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	28	16.06.2011	08:45:30	1321 l/h	38,61 °C	38,38 °C	33,32 °C	30,35 °C	30,13 °C	40,40 °C	35,72 °C	32,98 °C	4 s	22 s	0,18	56 s
	40	30	29	16.06.2011	08:54:30	1322 l/h	38,80 °C	38,57 °C	33,42 °C	30,40 °C	30,26 °C	40,47 °C	35,77 °C	33,01 °C	4 s	22 s	0,18	56 s
	40	30	30	16.06.2011	09:03:30	1322 l/h	38,84 °C	38,57 °C	33,42 °C	30,39 °C	30,27 °C	40,58 °C	35,84 °C	33,06 °C	4 s	22 s	0,18	56 s
	40	30	Mittelwert			1322 l/h	38,75 °C	38,51 °C	33,39 °C	30,38 °C	30,22 °C	40,48 °C	35,78 °C	33,02 °C	4,0 s	22,0 s	0,18	56,0 s
50/30	50	30	31	16.06.2011	12:13:30	649 l/h	47,24 °C	46,92 °C	36,51 °C	30,40 °C	30,14 °C	44,20 °C	37,42 °C	33,43 °C	6 s	30 s	0,20	76 s
	50	30	32	16.06.2011	12:23:30	649 l/h	47,36 °C	46,69 °C	36,45 °C	30,43 °C	30,17 °C	44,31 °C	37,54 °C	33,56 °C	8 s	30 s	0,27	70 s
	50	30	33	16.06.2011	12:33:30	650 l/h	47,36 °C	47,04 °C	36,56 °C	30,41 °C	30,19 °C	44,31 °C	37,40 °C	33,34 °C	6 s	30 s	0,20	74 s
	50	30	Mittelwert			649 l/h	47,32 °C	46,88 °C	36,51 °C	30,41 °C	30,17 °C	44,27 °C	37,45 °C	33,44 °C	6,7 s	30,0 s	0,22	73,3 s
60/30	60	30	34	16.06.2011	15:42:30	421 l/h	56,31 °C	55,57 °C	40,02 °C	30,88 °C	30,58 °C	47,15 °C	38,66 °C	33,68 °C	10 s	38 s	0,26	90 s
	60	30	35	16.06.2011	15:54:30	422 l/h	56,28 °C	55,69 °C	40,04 °C	30,84 °C	30,56 °C	47,20 °C	38,60 °C	33,54 °C	10 s	38 s	0,26	94 s
	60	30	36	16.06.2011	16:06:30	422 l/h	56,35 °C	56,01 °C	40,15 °C	30,84 °C	30,52 °C	47,31 °C	38,76 °C	33,73 °C	12 s	38 s	0,32	102 s
	60	30	Mittelwert			422 l/h	56,31 °C	55,76 °C	40,07 °C	30,85 °C	30,55 °C	47,22 °C	38,67 °C	33,65 °C	10,7 s	38,0 s	0,28	95,3 s
55/45	55	45	37	22.06.2011	08:21:30	1253 l/h	53,31 °C	52,76 °C	47,80 °C	44,89 °C	44,79 °C	52,09 °C	46,86 °C	43,79 °C	6 s	20 s	0,30	38 s
	55	45	38	22.06.2011	08:30:30	1252 l/h	53,19 °C	52,92 °C	47,94 °C	45,01 °C	44,78 °C	51,96 °C	46,85 °C	43,86 °C	4 s	20 s	0,20	30 s
	55	45	39	22.06.2011	08:39:30	1252 l/h	53,40 °C	53,12 °C	48,08 °C	45,11 °C	44,94 °C	52,09 °C	47,29 °C	44,47 °C	4 s	20 s	0,20	22 s
	55	45	Mittelwert			1253 l/h	53,30 °C	52,93 °C	47,94 °C	45,00 °C	44,84 °C	52,05 °C	47,00 °C	44,04 °C	4,7 s	20,0 s	0,23	30,0 s
65/45	65	45	40	22.06.2011	11:29:30	615 l/h	61,94 °C	61,20 °C	51,06 °C	45,11 °C	44,94 °C	53,86 °C	46,95 °C	42,89 °C	8 s	28 s	0,29	42 s
	65	45	41	22.06.2011	11:39:30	615 l/h	61,89 °C	61,04 °C	51,06 °C	45,20 °C	44,97 °C	53,74 °C	47,13 °C	43,25 °C	8 s	28 s	0,29	38 s
	65	45	42	22.06.2011	11:49:30	616 l/h	62,03 °C	61,23 °C	51,18 °C	45,28 °C	45,07 °C	53,90 °C	47,18 °C	43,24 °C	8 s	30 s	0,27	42 s
	65	45	Mittelwert			615 l/h	61,95 °C	61,16 °C	51,10 °C	45,20 °C	44,99 °C	53,83 °C	47,09 °C	43,13 °C	8,0 s	28,7 s	0,28	40,7 s
75/45	75	45	43	22.06.2011	16:25:30	404 l/h	70,79 °C	70,13 °C	54,42 °C	45,19 °C	45,02 °C	55,62 °C	47,12 °C	42,12 °C	10 s	38 s	0,26	64 s
	75	45	44	22.06.2011	16:37:30	404 l/h	70,68 °C	70,36 °C	54,35 °C	44,94 °C	44,83 °C	55,46 °C	44,17 °C	37,54 °C	8 s	40 s	0,20	208 s
	75	45	45	22.06.2011	16:49:30	404 l/h	70,43 °C	70,15 °C	54,33 °C	45,04 °C	44,75 °C	53,63 °C	44,29 °C	38,80 °C	10 s	38 s	0,26	124 s
	75	45	Mittelwert			404 l/h	70,63 °C	70,21 °C	54,36 °C	45,06 °C	44,87 °C	54,90 °C	45,19 °C	39,49 °C	9,3 s	38,7 s	0,24	132,0 s
70/60	70	60	46	23.06.2011	11:01:30	1214 l/h	68,21 °C	67,98 °C	62,92 °C	59,96 °C	59,81 °C	61,82 °C	56,28 °C	53,02 °C	4 s	22 s	0,18	46 s
	70	60	47	23.06.2011	11:10:30	1214 l/h	68,32 °C	67,61 °C	62,87 °C	60,08 °C	59,97 °C	61,89 °C	55,78 °C	52,20 °C	6 s	20 s	0,30	54 s
	70	60	48	23.06.2011	11:19:30	1214 l/h	68,44 °C	67,73 °C	62,94 °C	60,13 °C	60,01 °C	62,03 °C	56,45 °C	53,17 °C	6 s	22 s	0,27	46 s
	70	60	Mittelwert			1214 l/h	68,32 °C	67,77 °C	62,91 °C	60,06 °C	59,93 °C	61,91 °C	56,17 °C	52,80 °C	5,3 s	21,3 s	0,25	48,7 s
80/60	80	60	49	23.06.2011	14:14:30	602 l/h	76,59 °C	75,92 °C	65,79 °C	59,84 °C	59,77 °C	63,31 °C	56,54 °C	52,56 °C	8 s	30 s	0,27	72 s
	80	60	50	23.06.2011	14:24:30	602 l/h	76,56 °C	75,92 °C	65,74 °C	59,76 °C	59,63 °C	63,26 °C	56,87 °C	53,11 °C	8 s	30 s	0,27	54 s
	80	60	51	23.06.2011	14:34:30	602 l/h	76,40 °C	75,90 °C	65,74 °C	59,77 °C	59,66 °C	63,20 °C	56,75 °C	52,96 °C	8 s	30 s	0,27	56 s
	80	60	Mittelwert			602 l/h	76,52 °C	75,91 °C	65,76 °C	59,79 °C	59,69 °C	63,26 °C	56,72 °C	52,88 °C	8,0 s	30,0 s	0,27	60,7 s
85/60	85	60	52	24.06.2011	08:21:30	479 l/h	80,91 °C	80,52 °C	67,52 °C	59,89 °C	59,83 °C	64,02 °C	56,37 °C	51,87 °C	8 s	34 s	0,24	72 s
	85	60	53	24.06.2011	08:32:30	479 l/h	80,89 °C	80,52 °C	67,47 °C	59,81 °C	59,75 °C	63,93 °C	56,74 °C	52,51 °C	14 s	34 s	0,41	66 s
	85	60	54	24.06.2011	08:43:30	479 l/h	80,91 °C	80,52 °C	67,44 °C	59,76 °C	59,68 °C	63,93 °C	56,43 °C	52,02 °C	8 s	34 s	0,24	68 s
	85	60	Mittelwert			479 l/h	80,90 °C	80,52 °C	67,48 °C	59,82 °C	59,75 °C	63,96 °C	56,51 °C	52,14 °C	10,0 s	34,0 s	0,29	68,7 s

Tabelle 46: Zeitkonstanten beim Abkühlen 84,7% auf 0%; Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufstemperaturen																		
Wasserstritts-temperatur	Wasserstritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	55	16.06.2011	09:29:00	1321 l/h	37,72 °C	37,51 °C	33,22 °C	30,70 °C	30,55 °C	37,51 °C	34,68 °C	33,02 °C	4 s	22 s	0,18	60 s
	40	30	56	16.06.2011	09:37:30	1320 l/h	37,63 °C	37,45 °C	33,16 °C	30,64 °C	30,51 °C	37,29 °C	34,44 °C	32,77 °C	4 s	22 s	0,18	60 s
	40	30	57	16.06.2011	09:46:30	1320 l/h	37,63 °C	37,56 °C	33,19 °C	30,62 °C	30,49 °C	37,29 °C	34,33 °C	32,59 °C	4 s	22 s	0,18	62 s
	40	30	Mittelwert			1320 l/h	37,66 °C	37,51 °C	33,19 °C	30,65 °C	30,52 °C	37,36 °C	34,48 °C	32,79 °C	4,0 s	22,0 s	0,18	60,7 s
50/30	50	30	58	16.06.2011	12:43:30	649 l/h	44,63 °C	43,92 °C	35,44 °C	30,46 °C	30,21 °C	40,40 °C	35,59 °C	32,76 °C	8 s	30 s	0,27	88 s
	50	30	59	16.06.2011	12:53:30	649 l/h	44,63 °C	44,04 °C	35,48 °C	30,46 °C	30,21 °C	40,35 °C	35,67 °C	32,92 °C	8 s	30 s	0,27	78 s
	50	30	60	16.06.2011	13:03:30	649 l/h	44,63 °C	44,04 °C	35,52 °C	30,51 °C	30,26 °C	40,35 °C	35,65 °C	32,88 °C	8 s	30 s	0,27	92 s
	50	30	Mittelwert			649 l/h	44,63 °C	44,00 °C	35,48 °C	30,48 °C	30,23 °C	40,37 °C	35,63 °C	32,85 °C	8,0 s	30,0 s	0,27	86,0 s
60/30	60	30	61	16.06.2011	16:18:30	423 l/h	52,37 °C	51,98 °C	38,74 °C	30,97 °C	30,63 °C	43,37 °C	37,10 °C	33,42 °C	10 s	38 s	0,26	96 s
	60	30	62	16.06.2011	16:30:30	423 l/h	52,46 °C	51,91 °C	38,69 °C	30,93 °C	30,65 °C	43,37 °C	37,08 °C	33,38 °C	10 s	38 s	0,26	92 s
	60	30	63	16.06.2011	16:42:30	423 l/h	52,46 °C	52,09 °C	38,74 °C	30,90 °C	30,62 °C	43,42 °C	37,00 °C	33,23 °C	10 s	40 s	0,25	94 s
	60	30	Mittelwert			423 l/h	52,43 °C	51,99 °C	38,72 °C	30,93 °C	30,64 °C	43,39 °C	37,06 °C	33,34 °C	10,0 s	38,7 s	0,26	94,0 s
55/45	55	45	64	22.06.2011	08:48:30	1252 l/h	52,14 °C	51,52 °C	47,53 °C	45,19 °C	45,06 °C	50,13 °C	46,36 °C	44,14 °C	6 s	20 s	0,30	62 s
	55	45	65	22.06.2011	08:57:30	1252 l/h	52,14 °C	51,59 °C	47,47 °C	45,04 °C	44,99 °C	50,13 °C	46,26 °C	43,98 °C	6 s	20 s	0,30	60 s
	55	45	66															
	55	45	Mittelwert			1252 l/h	52,14 °C	51,56 °C	47,50 °C	45,12 °C	45,02 °C	50,13 °C	46,31 °C	44,06 °C	6,0 s	20,0 s	0,30	61,0 s
65/45	65	45	67	22.06.2011	11:59:30	617 l/h	59,33 °C	58,73 °C	50,23 °C	45,24 °C	45,09 °C	51,71 °C	46,47 °C	43,39 °C	8 s	30 s	0,27	72 s
	65	45	68	22.06.2011	12:09:30	617 l/h	59,24 °C	58,57 °C	50,14 °C	45,19 °C	45,03 °C	51,64 °C	46,40 °C	43,32 °C	8 s	30 s	0,27	84 s
	65	45	69	22.06.2011	12:20:30	617 l/h	59,17 °C	58,57 °C	50,11 °C	45,14 °C	44,99 °C	51,64 °C	46,22 °C	43,				

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufftemperaturen																		
Wasserausritts-temperatur	Wassereintrits-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	82	16.06.2011	09:55:30	1320 l/h	35,73 °C	35,23 °C	32,30 °C	30,57 °C	30,48 °C	33,49 °C	32,35 °C	31,67 °C	6 s	22 s	0,27	72 s
	40	30	83	16.06.2011	10:04:30	1321 l/h	35,66 °C	35,16 °C	32,27 °C	30,58 °C	30,45 °C	33,33 °C	32,19 °C	31,52 °C	6 s	22 s	0,27	68 s
	40	30	84	16.06.2011	10:13:30	1320 l/h	35,66 °C	35,23 °C	32,30 °C	30,58 °C	30,46 °C	33,33 °C	32,17 °C	31,49 °C	6 s	22 s	0,27	66 s
	40	30	Mittelwert			1320 l/h	35,68 °C	35,21 °C	32,29 °C	30,58 °C	30,46 °C	33,38 °C	32,23 °C	31,56 °C	6,0 s	22,0 s	0,27	68,7 s
50/30	50	30	85	16.06.2011	13:13:30	649 l/h	40,81 °C	40,24 °C	34,22 °C	30,69 °C	30,37 °C	35,34 °C	33,36 °C	32,19 °C	8 s	30 s	0,27	78 s
	50	30	86	16.06.2011	13:23:30	650 l/h	40,97 °C	40,40 °C	34,38 °C	30,84 °C	30,57 °C	35,39 °C	33,32 °C	32,11 °C	8 s	30 s	0,27	84 s
	50	30	87	16.06.2011	13:33:30	649 l/h	41,08 °C	40,70 °C	34,48 °C	30,83 °C	30,62 °C	35,55 °C	33,35 °C	32,05 °C	8 s	30 s	0,27	112 s
	50	30	Mittelwert			649 l/h	40,95 °C	40,45 °C	34,36 °C	30,79 °C	30,52 °C	35,43 °C	33,34 °C	32,12 °C	8,0 s	30,0 s	0,27	91,3 s
60/30	60	30	88	16.06.2011														
	60	30	89	16.06.2011	17:08:30	422 l/h	46,19 °C	45,87 °C	36,08 °C	30,33 °C	30,14 °C	37,17 °C	33,82 °C	31,85 °C	10 s	40 s	0,25	104 s
	60	30	90	16.06.2011	17:20:30	424 l/h	45,98 °C	45,64 °C	36,01 °C	30,35 °C	30,03 °C	36,94 °C	33,63 °C	31,69 °C	10 s	40 s	0,25	104 s
	60	30	Mittelwert			423 l/h	46,09 °C	45,76 °C	36,04 °C	30,34 °C	30,08 °C	37,06 °C	33,73 °C	31,77 °C	10,0 s	40,0 s	0,25	104,0 s
55/45	55	45	91	22.06.2011	09:16:00	1252 l/h	50,08 °C	49,53 °C	46,63 °C	44,93 °C	44,87 °C	47,26 °C	45,54 °C	44,53 °C	6 s	22 s	0,27	86 s
	55	45	92	22.06.2011	09:25:00	1251 l/h	49,97 °C	49,42 °C	46,49 °C	44,77 °C	44,71 °C	47,08 °C	45,40 °C	44,41 °C	6 s	22 s	0,27	58 s
	55	45	93	22.06.2011	09:34:00	1251 l/h	49,92 °C	49,42 °C	46,50 °C	44,79 °C	44,67 °C	47,04 °C	45,32 °C	44,30 °C	6 s	22 s	0,27	48 s
	55	45	Mittelwert			1252 l/h	49,99 °C	49,46 °C	46,54 °C	44,83 °C	44,75 °C	47,13 °C	45,42 °C	44,41 °C	6,0 s	22,0 s	0,27	64,0 s
65/45	65	45	94	22.06.2011	12:30:30	617 l/h	55,34 °C	54,86 °C	48,73 °C	45,14 °C	44,98 °C	48,55 °C	45,55 °C	43,79 °C	8 s	30 s	0,27	144 s
	65	45	95	22.06.2011	12:40:30	617 l/h	55,34 °C	54,96 °C	48,77 °C	45,14 °C	44,99 °C	48,59 °C	45,72 °C	44,03 °C	8 s	30 s	0,27	148 s
	65	45	96	22.06.2011	12:50:30	617 l/h	55,39 °C	54,80 °C	48,71 °C	45,14 °C	44,99 °C	48,59 °C	45,77 °C	44,11 °C	8 s	30 s	0,27	130 s
	65	45	Mittelwert			617 l/h	55,36 °C	54,87 °C	48,74 °C	45,14 °C	44,99 °C	48,58 °C	45,68 °C	43,98 °C	8,0 s	30,0 s	0,27	140,7 s
75/45	75	45	97	22.06.2011	17:37:30	404 l/h	60,49 °C	60,06 °C	50,57 °C	45,00 °C	44,83 °C	49,46 °C	43,79 °C	40,46 °C	10 s	38 s	0,26	274 s
	75	45	98	22.06.2011	17:49:30	404 l/h	60,38 °C	60,04 °C	50,46 °C	44,84 °C	44,68 °C	49,46 °C	44,72 °C	41,94 °C	10 s	40 s	0,25	240 s
	75	45	99	22.06.2011	18:01:30	404 l/h	60,22 °C	59,78 °C	50,42 °C	44,92 °C	44,66 °C	49,37 °C	44,78 °C	42,08 °C	10 s	38 s	0,26	204 s
	75	45	Mittelwert			404 l/h	60,36 °C	59,96 °C	50,48 °C	44,92 °C	44,73 °C	49,43 °C	44,43 °C	41,49 °C	10,0 s	38,7 s	0,26	239,3 s
70/60	70	60	100	23.06.2011	11:55:30	1214 l/h	64,84 °C	64,41 °C	61,60 °C	59,95 °C	59,82 °C	58,16 °C	54,34 °C	52,09 °C	6 s	22 s	0,27	48 s
	70	60	101	23.06.2011	12:04:30	1216 l/h	64,87 °C	64,48 °C	61,59 °C	59,90 °C	59,83 °C	58,11 °C	54,13 °C	51,80 °C	6 s	24 s	0,25	50 s
	70	60	102	23.06.2011	12:13:30	1216 l/h	64,80 °C	64,52 °C	61,61 °C	59,90 °C	59,78 °C	58,11 °C	54,38 °C	52,19 °C	6 s	22 s	0,27	60 s
	70	60	Mittelwert			1215 l/h	64,84 °C	64,47 °C	61,60 °C	59,91 °C	59,81 °C	58,13 °C	54,28 °C	52,03 °C	6,0 s	22,7 s	0,27	52,7 s
80/60	80	60	103	23.06.2011	15:24:30	603 l/h	70,20 °C	69,76 °C	63,79 °C	60,29 °C	60,18 °C	58,85 °C	54,53 °C	51,99 °C	8 s	32 s	0,25	58 s
	80	60	104	23.06.2011	15:34:30	603 l/h	70,15 °C	69,81 °C	63,79 °C	60,26 °C	60,16 °C	58,85 °C	54,67 °C	52,21 °C	8 s	32 s	0,25	54 s
	80	60	105	23.06.2011	15:44:30	604 l/h	70,13 °C	69,72 °C	63,52 °C	59,88 °C	59,90 °C	58,82 °C	54,39 °C	51,78 °C	8 s	34 s	0,24	58 s
	80	60	Mittelwert			603 l/h	70,16 °C	69,76 °C	63,70 °C	60,14 °C	60,08 °C	58,84 °C	54,53 °C	52,00 °C	8,0 s	32,7 s	0,25	56,7 s
85/60	85	60	106	24.06.2011	12:12:30	482 l/h	72,40 °C	71,85 °C	64,41 °C	60,04 °C	59,88 °C	58,94 °C	54,23 °C	51,46 °C	10 s	34 s	0,29	62 s
	85	60	107	24.06.2011	12:23:30	483 l/h	72,56 °C	71,96 °C	64,60 °C	60,28 °C	60,08 °C	58,96 °C	54,48 °C	51,86 °C	10 s	34 s	0,29	60 s
	85	60	108	24.06.2011	12:34:30	483 l/h	72,83 °C	72,24 °C	64,68 °C	60,24 °C	60,17 °C	59,17 °C	54,39 °C	51,58 °C	10 s	36 s	0,28	64 s
	85	60	Mittelwert			483 l/h	72,60 °C	72,02 °C	64,56 °C	60,19 °C	60,04 °C	59,02 °C	54,37 °C	51,63 °C	10,0 s	34,7 s	0,29	62,0 s

Tabelle 48: Zeitkonstanten beim Abkühlen 52,0% auf 0%; Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufftemperaturen																		
Wasserausritts-temperatur	Wassereintrits-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Abgastemperatur				Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	109	16.06.2011	10:22:30	1320 l/h	33,92 °C	33,37 °C	31,63 °C	30,60 °C	30,49 °C	31,27 °C	31,05 °C	30,91 °C	8 s	24 s	0,33	96 s
	40	30	110	16.06.2011	10:31:30	1321 l/h	33,92 °C	33,49 °C	31,63 °C	30,53 °C	30,43 °C	31,20 °C	30,94 °C	30,79 °C	8 s	24 s	0,33	84 s
	40	30	111	16.06.2011	10:40:30	1320 l/h	33,83 °C	33,33 °C	31,59 °C	30,56 °C	30,42 °C	31,15 °C	30,90 °C	30,75 °C	8 s	24 s	0,33	74 s
	40	30	Mittelwert			1320 l/h	33,89 °C	33,40 °C	31,61 °C	30,57 °C	30,45 °C	31,21 °C	30,96 °C	30,82 °C	8,0 s	24,0 s	0,33	84,7 s
50/30	50	30	112	16.06.2011	13:46:30	649 l/h	37,51 °C	36,94 °C	33,04 °C	30,76 °C	30,54 °C	32,16 °C	31,57 °C	31,23 °C	10 s	32 s	0,31	90 s
	50	30	113	16.06.2011	13:56:30	650 l/h	37,40 °C	36,94 °C	33,04 °C	30,74 °C	30,51 °C	32,09 °C	31,48 °C	31,13 °C	10 s	32 s	0,31	98 s
	50	30	114	16.06.2011	14:06:30	649 l/h	37,45 °C	36,94 °C	32,96 °C	30,62 °C	30,43 °C	32,04 °C	31,41 °C	31,04 °C	10 s	32 s	0,31	86 s
	50	30	Mittelwert			650 l/h	37,45 °C	36,94 °C	33,01 °C	30,71 °C	30,49 °C	32,10 °C	31,49 °C	31,13 °C	10,0 s	32,0 s	0,31	91,3 s
60/30	60	30	115	16.06.2011	17:32:30	424 l/h	40,63 °C	40,17 °C	34,03 °C	30,43 °C	30,12 °C	32,66 °C	31,58 °C	30,94 °C	12 s	40 s	0,30	118 s
	60	30	116	16.06.2011	17:44:30	424 l/h	40,70 °C	40,19 °C	34,07 °C	30,47 °C	30,16 °C	32,64 °C	31,45 °C	30,75 °C	12 s	40 s	0,30	100 s
	60	30	117	16.06.2011	17:56:30	424 l/h	40,81 °C	40,24 °C	34,11 °C	30,51 °C	30,21 °C	32,66 °C	31,45 °C	30,75 °C	12 s	42 s	0,29	106 s
	60	30	Mittelwert			424 l/h	40,71 °C	40,20 °C	34,07 °C	30,47 °C	30,16 °C	32,65 °C	31,49 °C	30,81 °C	12,0 s	40,7 s	0,30	108,0 s
55/45	55	45	118	22.06.2011	09:43:30	1253 l/h	48,04 °C	47,54 °C	45,84 °C	44,84 °C	44,71 °C	45,04 °C	44,29 °C	43,86 °C	8 s	22 s	0,36	68 s
	55	45	119	22.06.2011	09:52:30	1252 l/h	48,18 °C	47,65 °C	45,86 °C	44,82 °C	44,73 °C	45,14 °C	44,31 °C	43,82 °C	8 s	24 s	0,33	76 s
	55	45	120	22.06.2011	10:01:30	1252 l/h	48,13 °C	47,63 °C	45,86 °C	44,82 °C	44,74 °C	45,09 °C	44,31 °C	43,84 °C	8 s	24 s	0,33	76 s
	55	45	Mittelwert			1252 l/h	48,12 °C	47,61 °C	45,85 °C	44,82 °C	44,73 °C	45,09 °C	44,30 °C	43,84 °C	8,0 s	23,3 s	0,34	73,3 s
65/45	65	45	121	22.06.2011	13:00:30	617 l/h	51,75 °C	51,20 °C	47,33 °C	45,05 °C	44,94 °C	46,07 °C	44,89 °C	44,20 °C	10 s	32 s	0,31	104 s
	65	45	122	22.06.2011	13:10:30	617 l/h	51,64 °C	51,04 °C	47,25 °C	45,03 °C	44,89 °C	45,98 °C	44,85 °C	44,19 °C	10 s	32 s	0,31	96 s
	65	45	123	22.06.2011	13:54:30	618 l/h	51,96 °C	51,43 °C	47,47 °C									

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufemperaturen																		
Wassereintritts-temperatur	Wasseraustritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	136	16.06.2011	10:49:30	1319 l/h	32,66 °C	32,14 °C	31,20 °C	30,65 °C	30,51 °C	30,62 °C	30,66 °C	30,68 °C	12 s	26 s	0,46	0 s
	40	30	137	16.06.2011	10:58:30	1320 l/h	32,66 °C	32,16 °C	31,21 °C	30,66 °C	30,53 °C	30,65 °C	30,73 °C	30,77 °C	12 s	26 s	0,46	0 s
	40	30	138	16.06.2011	11:07:30	1320 l/h	32,71 °C	32,16 °C	31,21 °C	30,65 °C	30,52 °C	30,65 °C	30,78 °C	30,85 °C	12 s	26 s	0,46	0 s
	40	30	Mittelwert			1320 l/h	32,68 °C	32,15 °C	31,21 °C	30,65 °C	30,52 °C	30,64 °C	30,72 °C	30,77 °C	12,0 s	26,0 s	0,46	0,0 s
50/30	50	30	139	16.06.2011	14:16:30	649 l/h	34,68 °C	34,22 °C	31,91 °C	30,55 °C	30,28 °C	30,88 °C	30,84 °C	30,81 °C	12 s	32 s	0,38	0 s
	50	30	140	16.06.2011	14:26:30	650 l/h	34,77 °C	34,17 °C	31,94 °C	30,63 °C	30,35 °C	30,81 °C	30,72 °C	30,66 °C	12 s	34 s	0,35	0 s
	50	30	141	16.06.2011	14:36:30	649 l/h	34,88 °C	34,26 °C	31,91 °C	30,53 °C	30,33 °C	30,85 °C	30,75 °C	30,70 °C	12 s	34 s	0,35	0 s
	50	30	Mittelwert			649 l/h	34,78 °C	34,22 °C	31,92 °C	30,57 °C	30,32 °C	30,85 °C	30,77 °C	30,72 °C	12,0 s	33,3 s	0,36	0,0 s
60/30	60	30	142	16.06.2011	18:08:30	424 l/h	37,22 °C	36,67 °C	32,82 °C	30,55 °C	30,24 °C	31,13 °C	30,82 °C	30,64 °C	14 s	42 s	0,33	0 s
	60	30	143	16.06.2011	18:20:30	424 l/h	37,13 °C	36,67 °C	32,89 °C	30,66 °C	30,33 °C	31,08 °C	30,80 °C	30,64 °C	12 s	42 s	0,29	0 s
	60	30	144	16.06.2011	18:32:30	424 l/h	37,35 °C	36,78 °C	32,92 °C	30,66 °C	30,36 °C	31,20 °C	30,90 °C	30,72 °C	14 s	42 s	0,33	0 s
	60	30	Mittelwert			424 l/h	37,23 °C	36,71 °C	32,88 °C	30,62 °C	30,31 °C	31,14 °C	30,84 °C	30,67 °C	13,3 s	42,0 s	0,32	0,0 s
55/45	55	45	145	22.06.2011	10:10:30	1251 l/h	46,92 °C	46,37 °C	45,40 °C	44,84 °C	44,75 °C	44,27 °C	43,85 °C	43,60 °C	12 s	28 s	0,43	92 s
	55	45	146	22.06.2011	10:19:30	1250 l/h	46,88 °C	46,35 °C	45,41 °C	44,86 °C	44,74 °C	44,27 °C	43,87 °C	43,63 °C	12 s	26 s	0,46	58 s
	55	45	147	22.06.2011	10:28:30	1250 l/h	46,99 °C	46,46 °C	45,47 °C	44,89 °C	44,80 °C	44,36 °C	43,92 °C	43,66 °C	12 s	26 s	0,46	48 s
	55	45	Mittelwert			1251 l/h	46,93 °C	46,39 °C	45,43 °C	44,86 °C	44,76 °C	44,30 °C	43,88 °C	43,63 °C	12,0 s	26,7 s	0,45	66,0 s
65/45	65	45	148	22.06.2011	14:04:30	617 l/h	49,35 °C	48,80 °C	46,51 °C	45,16 °C	44,95 °C	44,93 °C	44,38 °C	44,05 °C	12 s	34 s	0,35	114 s
	65	45	149	22.06.2011	14:14:30	617 l/h	49,30 °C	48,75 °C	46,44 °C	45,09 °C	44,92 °C	44,86 °C	44,31 °C	43,98 °C	12 s	34 s	0,35	94 s
	65	45	150	22.06.2011	14:24:30	617 l/h	49,19 °C	48,71 °C	46,39 °C	45,03 °C	44,87 °C	44,75 °C	44,19 °C	43,86 °C	12 s	34 s	0,35	102 s
	65	45	Mittelwert			617 l/h	49,28 °C	48,75 °C	46,45 °C	45,09 °C	44,91 °C	44,85 °C	44,29 °C	43,96 °C	12,0 s	34,0 s	0,35	103,3 s
75/45	75	45	151	23.06.2011	09:04:30	414 l/h	51,13 °C	50,65 °C	46,90 °C	44,70 °C	44,58 °C	44,66 °C	43,85 °C	43,38 °C	14 s	44 s	0,32	116 s
	75	45	152	23.06.2011	09:16:30	414 l/h	51,13 °C	50,63 °C	46,95 °C	44,79 °C	44,58 °C	44,66 °C	43,88 °C	43,42 °C	14 s	42 s	0,33	120 s
	75	45	153	23.06.2011	09:28:30	415 l/h	51,09 °C	50,58 °C	46,94 °C	44,80 °C	44,61 °C	44,70 °C	43,84 °C	43,33 °C	14 s	42 s	0,33	144 s
	75	45	Mittelwert			414 l/h	51,12 °C	50,62 °C	46,93 °C	44,76 °C	44,59 °C	44,67 °C	43,86 °C	43,38 °C	14,0 s	42,7 s	0,33	126,7 s
70/60	70	60	154	23.06.2011	12:49:30	1216 l/h	61,75 °C	61,23 °C	60,33 °C	59,80 °C	59,66 °C	56,35 °C	52,90 °C	50,88 °C	12 s	24 s	0,50	92 s
	70	60	155	23.06.2011	12:58:30	1217 l/h	61,82 °C	61,36 °C	60,42 °C	59,87 °C	59,73 °C	56,35 °C	52,81 °C	50,74 °C	12 s	24 s	0,50	106 s
	70	60	156	23.06.2011	13:07:30	1217 l/h	61,87 °C	61,39 °C	60,49 °C	59,96 °C	59,82 °C	56,44 °C	53,54 °C	51,84 °C	12 s	24 s	0,50	54 s
	70	60	Mittelwert			1217 l/h	61,81 °C	61,30 °C	60,41 °C	59,88 °C	59,74 °C	56,38 °C	53,09 °C	51,15 °C	12,0 s	24,0 s	0,50	84,0 s
80/60	80	60	157	23.06.2011	16:24:30	601 l/h	64,18 °C	63,74 °C	61,52 °C	60,22 °C	60,02 °C	56,67 °C	53,30 °C	51,32 °C	12 s	34 s	0,35	108 s
	80	60	158	23.06.2011	16:34:30	601 l/h	64,20 °C	63,63 °C	61,48 °C	60,22 °C	60,07 °C	56,69 °C	53,22 °C	51,18 °C	14 s	34 s	0,41	112 s
	80	60	159	23.06.2011	16:44:30	601 l/h	64,29 °C	63,86 °C	61,57 °C	60,22 °C	60,07 °C	56,69 °C	53,34 °C	51,38 °C	12 s	34 s	0,35	104 s
	80	60	Mittelwert			601 l/h	64,22 °C	63,74 °C	61,52 °C	60,22 °C	60,05 °C	56,68 °C	53,29 °C	51,30 °C	12,7 s	34,0 s	0,37	108,0 s
85/60	85	60	160	24.06.2011	13:18:30	484 l/h	65,00 °C	64,45 °C	61,55 °C	59,84 °C	59,75 °C	56,56 °C	52,75 °C	50,50 °C	14 s	38 s	0,37	104 s
	85	60	161	24.06.2011	13:30:00	484 l/h	65,00 °C	64,41 °C	61,50 °C	59,78 °C	59,69 °C	56,56 °C	52,48 °C	50,08 °C	14 s	40 s	0,35	120 s
	85	60	162	24.06.2011	13:41:00	484 l/h	64,87 °C	64,36 °C	61,45 °C	59,75 °C	59,62 °C	56,47 °C	50,57 °C	47,10 °C	14 s	40 s	0,35	244 s
	85	60	Mittelwert			484 l/h	64,96 °C	64,41 °C	61,50 °C	59,79 °C	59,69 °C	56,53 °C	51,93 °C	49,23 °C	14,0 s	39,3 s	0,36	156,0 s

Tabelle 50: Zeitkonstanten beim Abkühlen 19,3% auf 0%; Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufemperaturen																		
Wassereintritts-temperatur	Wasseraustritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	1	28.06.2011	11:15:00	1332 l/h	39,23 °C	39,69 °C	40,33 °C	40,71 °C	30,66 °C	41,13 °C	43,52 °C	44,92 °C	32 s	20 s	1,60	52 s
	40	30	2	28.06.2011	12:05:00	1332 l/h	38,91 °C	39,39 °C	39,96 °C	40,29 °C	30,28 °C	40,86 °C	43,24 °C	44,64 °C	32 s	18 s	1,78	52 s
	40	30	3	08.07.2011	14:55:00	1337 l/h	38,75 °C	39,30 °C	39,83 °C	40,14 °C	30,16 °C	40,86 °C	43,16 °C	44,50 °C	24 s	20 s	1,20	42 s
	40	30	Mittelwert			1334 l/h	38,96 °C	39,46 °C	40,04 °C	40,38 °C	30,37 °C	40,95 °C	43,30 °C	44,69 °C	29,3 s	19,3 s	1,53	48,7 s
65/45	65	45	4	05.07.2011	09:29:00	617 l/h	61,94 °C	62,49 °C	63,98 °C	64,85 °C	44,96 °C	53,97 °C	55,55 °C	56,48 °C	36 s	26 s	1,38	54 s
	65	45	5	05.07.2011	10:29:00	618 l/h	62,05 °C	62,65 °C	64,16 °C	65,05 °C	45,09 °C	54,02 °C	55,66 °C	56,62 °C	20 s	30 s	0,67	40 s
	65	45	6	05.07.2011	11:29:00	621 l/h	62,10 °C	62,60 °C	64,19 °C	65,12 °C	45,11 °C	54,13 °C	55,75 °C	56,70 °C	20 s	28 s	0,71	38 s
	65	45	Mittelwert			619 l/h	62,03 °C	62,58 °C	64,11 °C	65,01 °C	45,05 °C	54,04 °C	55,65 °C	56,60 °C	25,3 s	28,0 s	0,92	44,0 s
85/60	85	60	7	12.07.2011	09:33:00	472 l/h	80,91 °C	81,46 °C	83,57 °C	84,81 °C	59,69 °C	64,13 °C	66,10 °C	67,26 °C	24 s	32 s	0,75	46 s
	85	60	8	12.07.2011	10:44:00	473 l/h	81,16 °C	81,62 °C	83,89 °C	85,22 °C	60,12 °C	56,97 °C	63,66 °C	67,58 °C	22 s	32 s	0,69	
	85	60	9	12.07.2011	11:57:00	473 l/h	81,00 °C	81,44 °C	83,60 °C	84,87 °C	59,84 °C	64,41 °C	66,45 °C	67,64 °C	22 s	32 s	0,69	50 s
	85	60	Mittelwert			473 l/h	81,02 °C	81,51 °C	83,69 °C	84,97 °C	59,88 °C	61,84 °C	65,40 °C	67,50 °C	22,7 s	32,0 s	0,71	48,0 s

Tabelle 51: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 84,7% auf 100% (Aufheizen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufemperaturen																		
Wassereintritts-temperatur	Wasseraustritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	10	28.06.2011	11:10:00	1332 l/h	37,63 °C	38,13 °C	38,83 °C	39,23 °C	30,58 °C	37,35 °C	39,71 °C	41,10 °C	30 s	26 s	1,15	56 s
	40	30	11	28.06.2011	12:00:00	1332 l/h	37,40 °C	37,90 °C	38,53 °C	38,89 °C	30,25 °C	37,24 °C	39,49 °C	40,81 °C	30 s	24 s	1,25	56 s
	40	30	12	08.07.2011	14:50:00	1336 l/h	37,51 °C	38,02 °C	38,52 °C	38,81 °C	30,28 °C	37,40 °C	39,57 °C	40,85 °C	34 s	18 s	1,89	58 s
	40	30	Mittelwert			1333 l/h	37,51 °C	38,02 °C	38,62 °C	38,98 °C	30,37 °C	37,33 °C	39,59 °C	40,92 °C	31,3 s	22,		

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	19	28.06.2011	11:05:00	1331 l/h	35,34 °C	35,89 °C	36,94 °C	37,56 °C	30,18 °C	33,05 °C	35,71 °C	37,28 °C	20 s	26 s	0,77	54 s
	40	30	20	28.06.2011	11:55:00	1330 l/h	35,55 °C	36,00 °C	36,88 °C	37,40 °C	30,23 °C	33,26 °C	35,74 °C	37,20 °C	18 s	20 s	0,90	50 s
	40	30	21	08.07.2011	14:45:00	1336 l/h	35,55 °C	36,05 °C	36,96 °C	37,49 °C	30,28 °C	33,28 °C	35,84 °C	37,34 °C	20 s	20 s	1,00	52 s
	40	30	Mittelwert			1333 l/h	35,48 °C	35,98 °C	36,93 °C	37,48 °C	30,23 °C	33,20 °C	35,76 °C	37,27 °C	19,3 s	22,0 s	0,89	52,0 s
65/45	65	45	22	05.07.2011	09:17:00	618 l/h	55,39 °C	55,92 °C	57,97 °C	59,18 °C	45,02 °C	48,64 °C	50,26 °C	51,21 °C	16 s	28 s	0,57	44 s
	65	45	23	05.07.2011	10:17:00	616 l/h	55,46 °C	55,92 °C	58,03 °C	59,26 °C	45,13 °C	48,68 °C	50,62 °C	51,76 °C	20 s	30 s	0,67	62 s
	65	45	24	05.07.2011	11:17:00	620 l/h	55,50 °C	55,96 °C	58,10 °C	59,35 °C	45,16 °C	48,80 °C	50,76 °C	51,91 °C	18 s	28 s	0,64	54 s
	65	45	Mittelwert			618 l/h	55,45 °C	55,93 °C	58,03 °C	59,26 °C	45,10 °C	48,71 °C	50,55 °C	51,63 °C	18,0 s	28,7 s	0,63	53,3 s
85/60	85	60	25	12.07.2011	09:19:00	471 l/h	72,33 °C	72,79 °C	75,56 °C	77,18 °C	59,46 °C	58,94 °C	60,58 °C	61,54 °C	20 s	32 s	0,63	56 s
	85	60	26	12.07.2011	10:30:00	471 l/h	72,51 °C	72,95 °C	75,77 °C	77,42 °C	59,79 °C	59,17 °C	60,83 °C	61,81 °C	18 s	32 s	0,56	56 s
	85	60	27	12.07.2011	11:43:00	471 l/h	72,35 °C	72,79 °C	75,71 °C	77,33 °C	59,81 °C	59,05 °C	60,51 °C	61,37 °C	20 s	34 s	0,59	46 s
	85	60	Mittelwert			471 l/h	72,40 °C	72,84 °C	75,68 °C	77,35 °C	59,69 °C	59,05 °C	60,64 °C	61,58 °C	19,3 s	32,7 s	0,59	52,7 s

Tabelle 53: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 52,0% auf 71,3% (Aufheizen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	28	28.06.2011	11:00:00	1330 l/h	33,65 °C	34,15 °C	34,90 °C	35,34 °C	30,16 °C	31,04 °C	32,30 °C	33,03 °C	20 s	18 s	1,11	56 s
	40	30	29	28.06.2011	11:50:00	1330 l/h	33,65 °C	34,22 °C	35,02 °C	35,49 °C	30,21 °C	31,04 °C	32,37 °C	33,16 °C	20 s	20 s	1,00	56 s
	40	30	30	08.07.2011	14:40:00	1336 l/h	33,65 °C	34,15 °C	35,03 °C	35,55 °C	30,25 °C	30,97 °C	32,40 °C	33,24 °C	18 s	20 s	0,90	56 s
	40	30	Mittelwert			1332 l/h	33,65 °C	34,17 °C	34,99 °C	35,46 °C	30,21 °C	31,02 °C	32,36 °C	33,14 °C	19,3 s	19,3 s	1,00	56,0 s
65/45	65	45	31	05.07.2011	09:11:00	618 l/h	51,80 °C	52,37 °C	54,28 °C	55,40 °C	45,01 °C	46,10 °C	47,64 °C	48,55 °C	20 s	26 s	0,77	54 s
	65	45	32	05.07.2011	10:11:00	616 l/h	51,82 °C	52,37 °C	54,30 °C	55,44 °C	45,04 °C	46,19 °C	47,75 °C	48,67 °C	18 s	28 s	0,64	52 s
	65	45	33	05.07.2011	11:11:00	620 l/h	51,96 °C	52,53 °C	54,41 °C	55,51 °C	45,19 °C	46,35 °C	47,88 °C	48,78 °C	20 s	26 s	0,77	52 s
	65	45	Mittelwert			618 l/h	51,86 °C	52,42 °C	54,33 °C	55,45 °C	45,08 °C	46,21 °C	47,76 °C	48,67 °C	19,3 s	26,7 s	0,73	52,7 s
85/60	85	60	34	12.07.2011	09:12:00	470 l/h	67,82 °C	68,28 °C	70,83 °C	72,33 °C	59,59 °C	57,22 °C	58,29 °C	58,92 °C	18 s	30 s	0,60	70 s
	85	60	35	12.07.2011	10:23:00	471 l/h	68,09 °C	68,71 °C	71,12 °C	72,53 °C	59,86 °C	57,61 °C	58,56 °C	59,12 °C	16 s	30 s	0,53	56 s
	85	60	36	12.07.2011	11:36:00	470 l/h	67,89 °C	68,39 °C	70,88 °C	72,35 °C	59,67 °C	57,50 °C	58,48 °C	59,06 °C	18 s	30 s	0,60	60 s
	85	60	Mittelwert			470 l/h	67,93 °C	68,46 °C	70,94 °C	72,40 °C	59,70 °C	57,44 °C	58,45 °C	59,03 °C	17,3 s	30,0 s	0,58	62,0 s

Tabelle 54: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 34,6% auf 52,0% (Aufheizen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	37	28.06.2011	10:55:00	1329 l/h	32,39 °C	32,91 °C	33,38 °C	33,66 °C	30,19 °C	30,65 °C	30,89 °C	31,03 °C	20 s	24 s	0,83	68 s
	40	30	38	28.06.2011	11:45:00	1330 l/h	32,32 °C	32,82 °C	33,34 °C	33,65 °C	30,17 °C	30,65 °C	30,90 °C	31,04 °C	18 s	22 s	0,82	72 s
	40	30	39	08.07.2011	14:35:00	1335 l/h	32,32 °C	32,78 °C	33,31 °C	33,63 °C	30,13 °C	30,51 °C	30,78 °C	30,94 °C	20 s	30 s	0,67	92 s
	40	30	Mittelwert			1331 l/h	32,34 °C	32,84 °C	33,35 °C	33,63 °C	30,16 °C	30,60 °C	30,86 °C	31,01 °C	19,3 s	25,3 s	0,77	77,3 s
65/45	65	45	40	05.07.2011	09:05:00	618 l/h	49,49 °C	49,97 °C	51,12 °C	51,80 °C	45,00 °C	45,04 °C	45,71 °C	46,10 °C	20 s	28 s	0,71	66 s
	65	45	41	05.07.2011	10:05:00	616 l/h	49,49 °C	49,97 °C	51,14 °C	51,81 °C	45,02 °C	45,18 °C	45,80 °C	46,16 °C	22 s	26 s	0,85	68 s
	65	45	42	05.07.2011	15:43:00	620 l/h	49,49 °C	49,97 °C	51,03 °C	51,65 °C	44,93 °C	45,18 °C	45,77 °C	46,12 °C	18 s	26 s	0,69	64 s
	65	45	Mittelwert			618 l/h	49,49 °C	49,98 °C	51,10 °C	51,75 °C	44,98 °C	45,13 °C	45,76 °C	46,13 °C	20,0 s	26,7 s	0,75	66,0 s
85/60	85	60	43	12.07.2011	09:05:00	470 l/h	65,07 °C	65,53 °C	66,98 °C	67,84 °C	59,63 °C	56,74 °C	57,04 °C	57,22 °C	18 s	30 s	0,60	50 s
	85	60	44	12.07.2011	10:16:00	470 l/h	65,42 °C	65,94 °C	67,30 °C	68,11 °C	59,96 °C	57,06 °C	57,41 °C	57,61 °C	20 s	30 s	0,67	62 s
	85	60	45	12.07.2011	11:29:00	469 l/h	65,14 °C	65,62 °C	67,02 °C	67,84 °C	59,69 °C	56,97 °C	57,30 °C	57,49 °C	20 s	28 s	0,71	50 s
	85	60	Mittelwert			469 l/h	65,21 °C	65,70 °C	67,10 °C	67,93 °C	59,76 °C	56,92 °C	57,25 °C	57,44 °C	19,3 s	29,3 s	0,66	54,0 s

Tabelle 55: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 19,3% auf 34,6% (Aufheizen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	46	28.06.2011	13:50:00	1333 l/h	37,74 °C	38,22 °C	39,67 °C	40,51 °C	30,51 °C	37,13 °C	41,43 °C	43,96 °C	34 s	28 s	1,21	64 s
	40	30	47	28.06.2011	15:03:00	1335 l/h	37,61 °C	38,22 °C	39,60 °C	40,40 °C	30,36 °C	37,10 °C	40,91 °C	43,15 °C	10 s	20 s	0,50	28 s
	40	30	48	08.07.2011	15:46:00	1336 l/h	37,33 °C	37,90 °C	39,30 °C	40,13 °C	30,13 °C	37,33 °C	41,86 °C	44,50 °C	24 s	26 s	0,92	54 s
	40	30	Mittelwert			1335 l/h	37,56 °C	38,11 °C	39,52 °C	40,35 °C	30,33 °C	37,19 °C	41,40 °C	43,87 °C	22,7 s	24,7 s	0,88	48,7 s
65/45	65	45	49	05.07.2011	12:29:00	620 l/h	59,51 °C	59,99 °C	63,40 °C	65,40 °C	45,37 °C	52,03 °C	55,12 °C	56,94 °C	20 s	38 s	0,53	52 s
	65	45	50	05.07.2011	13:47:00	621 l/h	59,35 °C	59,78 °C	63,00 °C	64,01 °C	45,08 °C	51,98 °C	54,93 °C	56,67 °C	22 s	34 s	0,65	52 s
	65	45	51	05.07.2011	15:04:00	620 l/h	59,24 °C	59,72 °C	63,05 °C	65,09 °C	45,13 °C	51,82 °C	54,84 °C	56,62 °C	22 s	36 s	0,61	54 s
	65	45	Mittelwert			620 l/h	59,37 °C	59,83 °C	63,15 °C	65,10 °C	45,19 °C	51,94 °C	54,97 °C	56,74 °C	21,3 s	36,0 s	0,59	52,7 s
85/60	85	60	52	12.07.2011	13:55:00	473 l/h	77,02 °C	77,55 °C	81,77 °C	84,25 °C	59,51 °C	61,75 °C	65,20 °C	67,23 °C	22 s	38 s	0,58	58 s
	85	60	53	12.07.2011	15:23:00	473 l/h	77,62 °C	78,21 °C	82,47 °C	84,98 °C	60,18 °C	62,10 °C	65,72 °C	67,84 °C	18 s	40 s	0,45	58 s
	85	60	54	12.07.2011	16:51:00	474 l/h	77,00 °C	77,55 °C	81,96 °C	84,54 °C	59,72 °C	61,64 °C	65,33 °C	67,64 °C	20 s	42 s	0,48	62 s
	85	60	Mittelwert			473 l/h	77,21 °C	77,77 °C	82,07 °C	84,59 °C	59,81 °C	61,83 °C	65,42 °C	67,57 °C	20,0 s	40,0 s	0,50	59,3 s

Tabelle 56: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 71,3% auf 100% (Aufheizen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	55	28.06.2011	13:26:00	1333 l/h	35,55 °C	39,80 °C	37,14 °C	35,57 °C	30,26 °C	42,98 °C	36,98 °C	33,46 °C	8 s	18 s	0,44	28 s
	40	30	56	28.06.2011	14:26:00	1334 l/h	35,57 °C	39,73 °C	37,20 °C	35,71 °C	30,30 °C	43,08 °C	37,11 °C	33,61 °C	6 s	18 s	0,33	26 s
	40	30	57	08.07.2011	15:19:00	1336 l/h	35,45 °C	39,69 °C	36,97 °C	35,37 °C	30,21 °C	44,59 °C	37,73 °C	44,58 °C	8 s	20 s	0,40	34 s
	40	30	Mittelwert			1335 l/h	35,52 °C	39,74 °C	37,10 °C	35,55 °C	30,26 °C	43,55 °C	37,28 °C	37,22 °C	7,3 s	18,7 s	0,39	29,3 s
65/45	65	45	58	05.07.2011	01:58:00	622 l/h	55,53 °C	64,84 °C	59,00 °C	55,57 °C	45,21 °C	56,83 °C	51,96 °C	49,10 °C	10 s	28 s	0,36	40 s
	65	45	59	05.07.2011	13:14:00	621 l/h	55,62 °C	64,96 °C	59,26 °C	55,92 °C	45,57 °C	57,02 °C	52,22 °C	49,40 °C	8 s	28 s	0,29	40 s
	65	45	60	05.07.2011	14:33:00	619 l/h	55,25 °C	64,48 °C	58,77 °C	55,42 °C	45,14 °C	56,58 °C	51,81 °C	56,58 °C	10 s	28 s	0,36	42 s
	65	45	Mittelwert			621 l/h	55,47 °C	64,76 °C	59,01 °C	55,64 °C	45,31 °C	56,81 °C	52,00 °C	51,69 °C	9,3 s	28,0 s	0,33	40,7 s
85/60	85	60	61	12.07.2011	13:20:00	472 l/h	72,63 °C	84,50 °C	76,82 °C	72,32 °C	59,90 °C	67,98 °C	62,55 °C	59,36 °C	12 s	30 s	0,40	50 s
	85	60	62	12.07.2011	00:48:00	473 l/h	72,08 °C	83,84 °C	76,55 °C	72,26 °C	59,66 °C	67,34 °C	62,22 °C	59,22 °C	12 s	30 s	0,40	46 s
	85	60	63	12.07.2011	16:16:00	472 l/h	73,01 °C	84,62 °C	77,06 °C	72,62 °C	60,21 °C	67,89 °C	62,61 °C	67,89 °C	12 s	30 s	0,40	44 s
	85	60	Mittelwert			472 l/h	72,57 °C	84,32 °C	76,81 °C	72,40 °C	59,92 °C	67,74 °C	62,46 °C	62,16 °C	12,0 s	30,0 s	0,40	46,7 s

Tabelle 57: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 52,7% auf 100% (Aufheizen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	64	28.06.2011	14:03:00	1333 l/h	32,55 °C	33,28 °C	37,78 °C	40,42 °C	30,35 °C	31,27 °C	38,75 °C	43,14 °C	8 s	22 s	0,36	36 s
	40	30	65	28.06.2011	14:45:00	1335 l/h	32,75 °C	33,14 °C	37,73 °C	40,43 °C	31,01 °C	38,73 °C	43,27 °C	43,27 °C	6 s	22 s	0,27	34 s
	40	30	66	08.07.2011	16:00:00	1338 l/h	32,59 °C	32,87 °C	37,73 °C	40,59 °C	30,47 °C	31,31 °C	39,89 °C	44,93 °C	6 s	24 s	0,25	42 s
	40	30	Mittelwert			1335 l/h	32,63 °C	33,10 °C	37,75 °C	40,48 °C	30,42 °C	31,20 °C	39,12 °C	43,78 °C	6,7 s	22,7 s	0,30	37,3 s
65/45	65	45	67	05.07.2011	12:44:00	620 l/h	49,92 °C	50,63 °C	59,81 °C	65,20 °C	45,25 °C	45,82 °C	52,75 °C	56,82 °C	10 s	30 s	0,33	36 s
	65	45	68	05.07.2011	14:03:00	620 l/h	49,60 °C	50,31 °C	59,65 °C	65,13 °C	45,12 °C	45,43 °C	52,51 °C	56,67 °C	10 s	30 s	0,33	36 s
	65	45	69	05.07.2011	15:19:00	620 l/h	49,60 °C	50,15 °C	59,48 °C	64,97 °C	45,12 °C	45,64 °C	52,59 °C	56,68 °C	8 s	30 s	0,27	34 s
	65	45	Mittelwert			620 l/h	49,71 °C	50,36 °C	59,65 °C	65,10 °C	45,17 °C	45,63 °C	52,62 °C	56,72 °C	9,3 s	30,0 s	0,31	35,3 s
85/60	85	60	70	12.07.2011	14:13:00	472 l/h	65,00 °C	65,30 °C	77,29 °C	84,33 °C	59,51 °C	56,97 °C	63,56 °C	67,43 °C	10 s	36 s	0,28	56 s
	85	60	71	12.07.2011	15:41:00	473 l/h	65,80 °C	66,17 °C	78,21 °C	85,28 °C	60,38 °C	57,45 °C	64,13 °C	68,05 °C	10 s	36 s	0,28	
	85	60	72	12.07.2011	17:09:00	473 l/h	65,19 °C	65,53 °C	77,48 °C	84,50 °C	59,76 °C	57,18 °C	63,74 °C	67,59 °C	10 s	34 s	0,29	56 s
	85	60	Mittelwert			473 l/h	65,33 °C	65,67 °C	77,66 °C	84,70 °C	59,89 °C	57,20 °C	63,81 °C	67,69 °C	10,0 s	35,3 s	0,28	56,0 s

Tabelle 58: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 19,3% auf 100% (Aufheizen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	73	28.06.2011	13:45:00	1334 l/h	32,75 °C	33,28 °C	36,09 °C	37,74 °C	30,48 °C	31,01 °C	34,86 °C	37,12 °C	8 s	22 s	0,36	38 s
	40	30	74	28.06.2011	14:58:00	1334 l/h	32,64 °C	33,14 °C	35,95 °C	37,60 °C	30,34 °C	32,02 °C	35,19 °C	37,06 °C	8 s	30 s	0,27	54 s
	40	30	75	08.07.2011	15:39:00	1336 l/h	31,98 °C	32,43 °C	35,50 °C	37,31 °C	29,86 °C	30,62 °C	34,81 °C	37,27 °C	8 s	26 s	0,31	54 s
	40	30	Mittelwert			1334 l/h	32,46 °C	32,95 °C	35,85 °C	37,55 °C	30,23 °C	31,22 °C	34,95 °C	37,15 °C	8,0 s	26,0 s	0,31	48,7 s
65/45	65	45	76	05.07.2011	12:21:00	620 l/h	49,69 °C	50,13 °C	56,03 °C	59,50 °C	45,19 °C	45,48 °C	49,59 °C	52,00 °C	10 s	30 s	0,33	44 s
	65	45	77	05.07.2011	13:37:00	621 l/h	49,97 °C	50,42 °C	56,10 °C	59,43 °C	45,41 °C	45,82 °C	49,74 °C	52,05 °C	10 s	30 s	0,33	42 s
	65	45	78	05.07.2011	14:56:00	620 l/h	49,53 °C	50,15 °C	55,79 °C	59,21 °C	44,97 °C	45,41 °C	49,45 °C	51,82 °C	10 s	30 s	0,33	42 s
	65	45	Mittelwert			620 l/h	49,73 °C	50,17 °C	55,97 °C	59,38 °C	45,19 °C	45,57 °C	49,59 °C	51,96 °C	10,0 s	30,0 s	0,33	42,7 s
85/60	85	60	79	12.07.2011	13:46:00	471 l/h	65,12 °C	65,62 °C	72,80 °C	77,02 °C	59,63 °C	57,02 °C	59,98 °C	61,71 °C	12 s	32 s	0,38	60 s
	85	60	80	12.07.2011	15:14:00	471 l/h	65,39 °C	65,96 °C	73,26 °C	77,56 °C	59,89 °C	57,13 °C	60,21 °C	62,02 °C	12 s	38 s	0,32	68 s
	85	60	81	12.07.2011	16:42:00	471 l/h	65,07 °C	65,69 °C	72,82 °C	77,01 °C	59,68 °C	57,06 °C	59,95 °C	61,65 °C	12 s	32 s	0,38	58 s
	85	60	Mittelwert			471 l/h	65,19 °C	65,76 °C	72,96 °C	77,20 °C	59,73 °C	57,07 °C	60,05 °C	61,79 °C	12,0 s	34,0 s	0,36	62,0 s

Tabelle 59: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 19,3% auf 71,3% (Aufheizen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	82	28.06.2011	13:21:00	1332 l/h	32,48 °C	33,03 °C	34,63 °C	35,56 °C	30,22 °C	31,31 °C	32,53 °C	33,25 °C	12 s	22 s	0,55	56 s
	40	30	83	28.06.2011	14:21:00	1332 l/h	32,52 °C	32,94 °C	34,61 °C	35,60 °C	30,28 °C	31,24 °C	32,52 °C	33,27 °C	8 s	20 s	0,40	52 s
	40	30	84	08.07.2011	15:13:00	1336 l/h	32,32 °C	32,82 °C	34,51 °C	35,50 °C	30,09 °C	31,01 °C	32,47 °C	33,33 °C	14 s	24 s	0,58	66 s
	40	30	Mittelwert			1333 l/h	32,44 °C	32,93 °C	34,58 °C	35,55 °C	30,20 °C	31,19 °C	32,51 °C	33,28 °C	11,3 s	22,5 s	0,51	58,0 s
65/45	65	45	85	05.07.2011	11:50:00	621 l/h	49,87 °C	50,42 °C	53,63 °C	55,51 °C	45,27 °C	45,64 °C	47,70 °C	48,91 °C	14 s	26 s	0,54	50 s
	65	45	86	05.07.2011	13:07:00	620 l/h	49,87 °C	50,31 °C	53,64 °C	55,60 °C	45,32 °C	45,69 °C	47,74 °C	48,95 °C	12 s	28 s	0,43	50 s
	65	45	87	05.07.2011	14:26:00	620 l/h	49,53 °C	50,15 °C	53,36 °C	55,24 °C	44,99 °C	45,43 °C	47,48 °C	48,69 °C	14 s	28 s	0,50	52 s
	65	45	Mittelwert			620 l/h	49,76 °C	50,29 °C	53,54 °C	55,45 °C	45,19 °C	45,59 °C	47,64 °C	48,85 °C	13,3 s	27,3 s	0,49	50,7 s
85/60	85	60	88	12.07.2011	13:12:00	470 l/h	65,58 °C	66,17 °C	70,25 °C	72,65 °C	60,14 °C	57,40 °C	58,46 °C	59,08 °C	14 s	32 s	0,44	48 s
	85	60	89	12.07.2011	14:40:00	471 l/h	64,91 °C	65,42 °C	69,62 °C	72,08 °C	59,47 °C	56,95 °C	58,20 °C	58,94 °C	14 s	32 s	0,44	64 s
	85	60	90	12.07.2011	16:08:00	470 l/h	65,96 °C	66,51 °C	70,57 °C	72,95 °C	60,47 °C	60,54 °C	59,96 °C	59,61 °C	14 s	30 s	0,47	
	85	60	Mittelwert			470 l/h	65,48 °C	66,03 °C	70,15 °C	72,56 °C	60,03 °C	58,30 °C	58,87 °C	59,21 °C	14,0 s	31,3 s	0,45	56,0 s

Tabelle 60: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 19,3% auf 52,7% (Aufheizen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	91	28.06.2011	10:30:00	1332 l/h	40,35 °C	39,80 °C	39,20 °C	38,84 °C	30,23 °C	44,75 °C	42,40 °C	41,03 °C	14 s	16 s	0,88	38 s
	40	30	92	28.06.2011	11:20:00	1331 l/h	40,70 °C	40,17 °C	39,58 °C	39,23 °C	30,68 °C	44,93 °C	42,63 °C	41,28 °C	16 s	20 s	0,80	38 s
	40	30	93	08.07.2011	14:10:00	1337 l/h	40,17 °C	39,69 °C	39,05 °C	38,67 °C	30,12 °C	44,63 °C	42,26 °C	40,87 °C	14 s	20 s	0,70	38 s
	40	30	Mittelwert			1333 l/h	40,41 °C	39,89 °C	39,27 °C	38,92 °C	30,34 °C	44,77 °C	42,43 °C	41,06 °C	14,7 s	18,7 s	0,79	38,0 s
65/45	65	45	94	05.07.2011	08:35:00	619 l/h	65,35 °C	64,80 °C	63,17 °C	62,21 °C	45,29 °C	56,74 °C	54,84 °C	53,73 °C	16 s	30 s	0,53	48 s
	65	45	95	05.07.2011	09:35:00	617 l/h	64,87 °C	64,45 °C	62,89 °C	61,97 °C	44,94 °C	56,51 °C	54,92 °C	53,99 °C	14 s	24 s	0,58	34 s
	65	45	96	05.07.2011	10:35:00	618 l/h	65,03 °C	64,52 °C	63,02 °C	62,15 °C	45,11 °C	56,68 °C	55,04 °C	54,13 °C	14 s	26 s	0,54	34 s
	65	45	Mittelwert			618 l/h	65,08 °C	64,59 °C	63,03 °C	62,11 °C	45,11 °C	56,61 °C	54,93 °C	53,95 °C	14,7 s	26,7 s	0,55	38,7 s
85/60	85	60	97	12.07.2011	08:30:00	473 l/h	84,89 °C	84,34 °C	82,16 °C	80,88 °C	59,71 °C	67,50 °C	65,41 °C	64,18 °C	16 s	32 s	0,50	24 s
	85	60	98	12.07.2011	09:40:00	472 l/h	84,80 °C	84,30 °C	82,34 °C	81,19 °C	59,82 °C	67,27 °C	65,44 °C	64,36 °C	16 s	28 s	0,57	34 s
	85	60	99	12.07.2011	10:51:00	473 l/h	85,21 °C	84,73 °C	82,60 °C	81,35 °C	60,15 °C	67,61 °C	65,74 °C	64,64 °C	16 s	28 s	0,57	36 s
	85	60	Mittelwert			473 l/h	84,97 °C	84,46 °C	82,37 °C	81,14 °C	59,89 °C	67,46 °C	65,53 °C	64,39 °C	16,0 s	29,3 s	0,55	31,3 s

Tabelle 61: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 100% auf 84,7% (Abkühlen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	100	28.06.2011	10:35:00	1331 l/h	38,84 °C	38,38 °C	37,73 °C	37,35 °C	30,18 °C	40,97 °C	38,79 °C	37,50 °C	14 s	22 s	0,64	46 s
	40	30	101	28.06.2011	11:25:00	1331 l/h	39,23 °C	38,73 °C	38,04 °C	37,64 °C	31,42 °C	41,25 °C	39,07 °C	37,78 °C	14 s	30 s	0,47	44 s
	40	30	102	08.07.2011	14:15:00	1335 l/h	38,64 °C	38,18 °C	37,62 °C	37,29 °C	30,08 °C	40,81 °C	38,70 °C	37,46 °C	14 s	20 s	0,70	44 s
	40	30	Mittelwert			1332 l/h	38,90 °C	38,43 °C	37,80 °C	37,43 °C	30,26 °C	41,01 °C	38,85 °C	37,58 °C	14,0 s	24,0 s	0,60	44,7 s
65/45	65	45	103	05.07.2011	08:41:00	619 l/h	62,21 °C	61,78 °C	60,29 °C	59,42 °C	45,13 °C	53,15 °C	52,07 °C	51,44 °C	14 s	26 s	0,54	38 s
	65	45	104	05.07.2011	09:41:00	617 l/h	61,98 °C	61,55 °C	60,09 °C	59,23 °C	44,99 °C	54,02 °C	52,63 °C	51,82 °C	14 s	26 s	0,54	40 s
	65	45	105	05.07.2011	10:41:00	618 l/h	62,14 °C	61,71 °C	60,26 °C	59,41 °C	45,12 °C	54,13 °C	52,78 °C	51,98 °C	14 s	26 s	0,54	40 s
	65	45	Mittelwert			618 l/h	62,11 °C	61,68 °C	60,22 °C	59,35 °C	45,08 °C	53,77 °C	52,49 °C	51,75 °C	14,0 s	26,0 s	0,54	39,3 s
85/60	85	60	106	12.07.2011	08:37:00	473 l/h	80,84 °C	80,36 °C	78,42 °C	77,28 °C	59,58 °C	64,13 °C	62,57 °C	61,65 °C	16 s	30 s	0,53	46 s
	85	60	107	12.07.2011	09:47:00	472 l/h	81,19 °C	80,64 °C	78,74 °C	77,62 °C	59,84 °C	64,32 °C	62,82 °C	61,95 °C	16 s	30 s	0,53	42 s
	85	60	108	12.07.2011	10:59:00	472 l/h	81,30 °C	80,75 °C	78,87 °C	77,77 °C	60,15 °C	64,57 °C	63,06 °C	62,17 °C	16 s	30 s	0,53	44 s
	85	60	Mittelwert			472 l/h	81,11 °C	80,58 °C	78,68 °C	77,56 °C	59,86 °C	64,34 °C	62,82 °C	61,92 °C	16,0 s	30,0 s	0,53	44,0 s

Tabelle 62: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 84,7% auf 71,3% (Abkühlen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	109	28.06.2011	10:40:00	1330 l/h	37,35 °C	36,78 °C	35,90 °C	35,39 °C	30,13 °C	37,47 °C	35,04 °C	33,61 °C	14 s	20 s	0,70	54 s
	40	30	110	28.06.2011	11:30:00	1330 l/h	37,61 °C	37,17 °C	36,12 °C	35,50 °C	30,29 °C	37,72 °C	35,18 °C	33,69 °C	12 s	20 s	0,60	54 s
	40	30	111	08.07.2011	14:20:00	1335 l/h	37,29 °C	36,85 °C	35,90 °C	35,34 °C	30,10 °C	37,45 °C	35,01 °C	33,58 °C	12 s	20 s	0,60	52 s
	40	30	Mittelwert			1332 l/h	37,42 °C	36,93 °C	35,97 °C	35,41 °C	30,17 °C	37,55 °C	35,08 °C	33,63 °C	12,7 s	20,0 s	0,63	53,3 s
65/45	65	45	112	05.07.2011	08:47:00	618 l/h	59,44 °C	58,96 °C	56,80 °C	55,54 °C	45,09 °C	51,43 °C	49,81 °C	48,85 °C	14 s	26 s	0,54	52 s
	65	45	113	05.07.2011	09:47:00	617 l/h	59,24 °C	58,82 °C	56,70 °C	55,46 °C	45,02 °C	51,82 °C	50,01 °C	48,94 °C	14 s	26 s	0,54	54 s
	65	45	114	05.07.2011	10:47:00	618 l/h	59,40 °C	58,98 °C	56,89 °C	55,64 °C	45,18 °C	51,98 °C	50,18 °C	49,12 °C	14 s	26 s	0,54	54 s
	65	45	Mittelwert			618 l/h	59,36 °C	58,93 °C	56,80 °C	55,54 °C	45,10 °C	51,74 °C	50,00 °C	48,97 °C	14,0 s	26,0 s	0,54	53,3 s
85/60	85	60	115	12.07.2011	08:44:00	471 l/h	77,27 °C	76,79 °C	74,14 °C	72,59 °C	59,63 °C	61,64 °C	60,03 °C	59,09 °C	16 s	28 s	0,57	44 s
	85	60	116	12.07.2011	09:54:00	470 l/h	77,57 °C	77,02 °C	74,36 °C	72,79 °C	59,86 °C	61,89 °C	60,28 °C	59,33 °C	16 s	28 s	0,57	48 s
	85	60	117	12.07.2011	11:06:00	471 l/h	77,73 °C	77,27 °C	74,47 °C	72,83 °C	60,13 °C	62,17 °C	60,45 °C	59,43 °C	16 s	30 s	0,53	50 s
	85	60	Mittelwert			471 l/h	77,52 °C	77,03 °C	74,32 °C	72,74 °C	59,87 °C	61,90 °C	60,25 °C	59,28 °C	16,0 s	28,7 s	0,56	47,3 s

Tabelle 63: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 71,3% auf 52,0% (Abkühlen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	118	28.06.2011	10:45:00	1329 l/h	35,39 °C	34,93 °C	34,14 °C	33,67 °C	30,19 °C	33,55 °C	32,25 °C	31,48 °C	14 s	16 s	0,88	62 s
	40	30	119	28.06.2011	11:35:00	1329 l/h	35,45 °C	34,93 °C	34,06 °C	33,55 °C	30,16 °C	33,65 °C	32,23 °C	31,40 °C	14 s	20 s	0,70	66 s
	40	30	120	08.07.2011	14:25:00	1335 l/h	35,34 °C	34,88 °C	34,03 °C	33,53 °C	30,10 °C	33,53 °C	32,13 °C	31,30 °C	14 s	18 s	0,78	64 s
	40	30	Mittelwert			1331 l/h	35,39 °C	34,91 °C	34,08 °C	33,59 °C	30,15 °C	33,58 °C	32,20 °C	31,39 °C	14,0 s	18,0 s	0,78	64,0 s
65/45	65	45	121	05.07.2011	08:53:00	618 l/h	55,53 °C	55,02 °C	53,02 °C	51,85 °C	45,02 °C	48,82 °C	47,27 °C	46,36 °C	16 s	28 s	0,57	66 s
	65	45	122	05.07.2011	09:53:00	616 l/h	55,46 °C	54,96 °C	53,04 °C	51,91 °C	45,04 °C	48,91 °C	47,38 °C	46,48 °C	16 s	26 s	0,62	70 s
	65	45	123	05.07.2011	10:53:00	617 l/h	55,64 °C	55,14 °C	53,18 °C	52,03 °C	45,22 °C	49,10 °C	47,55 °C	46,64 °C	16 s	26 s	0,62	72 s
	65	45	Mittelwert			617 l/h	55,54 °C	55,04 °C	53,08 °C	51,93 °C	45,09 °C	48,94 °C	47,40 °C	46,49 °C	16,0 s	26,7 s	0,60	69,3 s
85/60	85	60	124	12.07.2011	08:51:00	470 l/h	72,56 °C	72,08 °C	69,48 °C	67,96 °C	59,70 °C	59,10 °C	57,96 °C	57,29 °C	18 s	30 s	0,60	48 s
	85	60	125	12.07.2011	10:01:00	470 l/h	72,79 °C	72,33 °C	69,74 °C	68,21 °C	59,99 °C	59,33 °C	58,29 °C	57,67 °C	16 s	30 s	0,53	54 s
	85	60	126	12.07.2011	11:15:00	470 l/h	72,79 °C	72,19 °C	69,69 °C	68,23 °C	60,06 °C	59,35 °C	58,34 °C	57,75 °C	18 s	32 s	0,56	56 s
	85	60	Mittelwert			470 l/h	72,71 °C	72,20 °C	69,64 °C	68,13 °C	59,92 °C	59,26 °C	58,20 °C	57,57 °C	17,3 s	30,7 s	0,57	52,7 s

Tabelle 64: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 52,0% auf 34,6% (Abkühlen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wassereintritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	127	28.06.2011	10:50:00	1329 l/h	33,71 °C	33,21 °C	32,69 °C	32,39 °C	30,19 °C	31,38 °C	30,95 °C	30,70 °C	22 s	34 s	0,65	100 s
	40	30	128	28.06.2011	11:40:00	1329 l/h	33,55 °C	33,03 °C	32,61 °C	32,36 °C	30,11 °C	31,36 °C	30,93 °C	30,67 °C	24 s	32 s	0,75	86 s
	40	30	129	08.07.2011	14:30:00	1335 l/h	33,53 °C	33,05 °C	32,59 °C	32,33 °C	30,10 °C	31,24 °C	30,80 °C	30,55 °C	28 s	38 s	0,74	94 s
	40	30	Mittelwert			1331 l/h	33,60 °C	33,10 °C	32,63 °C	32,36 °C	30,14 °C	31,33 °C	30,89 °C	30,64 °C	24,7 s	34,7 s	0,71	93,3 s
65/45	65	45	130	05.07.2011	08:59:00	618 l/h	51,87 °C	51,41 °C	50,20 °C	49,50 °C	45,02 °C	46,35 °C	45,56 °C	45,09 °C	24 s	44 s	0,55	96 s
	65	45	131	05.07.2011	09:59:00	616 l/h	51,91 °C	51,41 °C	50,20 °C	49,50 °C	45,04 °C	46,46 °C	45,66 °C	45,18 °C	24 s	46 s	0,52	98 s
	65	45	132	05.07.2011	15:37:00	619 l/h	51,71 °C	51,20 °C	50,11 °C	49,47 °C	44,92 °C	46,37 °C	45,62 °C	45,19 °C	22 s	44 s	0,50	94 s
	65	45	Mittelwert			618 l/h	51,83 °C	51,34 °C	50,17 °C	49,49 °C	44,99 °C	46,39 °C	45,61 °C	45,15 °C	23,3 s	44,7 s	0,52	96,0 s
85/60	85	60	133	12.07.2011	08:58:00	469 l/h	67,98 °C	67,54 °C	65,99 °C	65,07 °C	59,67 °C	57,29 °C	56,95 °C	56,74 °C	22 s	50 s	0,44	72 s
	85	60	134	12.07.2011	10:09:00	470 l/h	68,21 °C	67,68 °C	66,26 °C	65,42 °C	59,99 °C	57,63 °C	57,27 °C	57,07 °C	22 s	50 s	0,44	78 s
	85	60	135	12.07.2011	11:22:00	469 l/h	68,23 °C	67,77 °C	66,14 °C	65,18 °C	59,90 °C	57,72 °C	57,28 °C	57,02 °C	22 s	58 s	0,38	90 s
	85	60	Mittelwert			469 l/h	68,14 °C	67,66 °C	66,13 °C	65,22 °C	59,85 °C	57,55 °C	57,17 °C	56,94 °C	22,0 s	52,7 s	0,42	80,0 s

Tabelle 65: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 34,6% auf 19,3% (Abkühlen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wassereintritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	136	28.06.2011	13:10:00	1332 l/h	40,51 °C	39,92 °C	38,48 °C	37,63 °C	30,40 °C	44,93 °C	40,55 °C	37,98 °C	12 s	20 s	0,60	42 s
	40	30	137	28.06.2011	14:10:00	1332 l/h	40,42 °C	39,80 °C	38,42 °C	37,61 °C	30,37 °C	43,12 °C	39,45 °C	37,29 °C	12 s	20 s	0,60	36 s
	40	30	138	08.07.2011	15:00:00	1337 l/h	40,17 °C	39,69 °C	38,21 °C	37,35 °C	30,12 °C	44,62 °C	40,17 °C	37,61 °C	12 s	18 s	0,67	44 s
	40	30	Mittelwert			1334 l/h	40,37 °C	39,80 °C	38,37 °C	37,53 °C	30,30 °C	44,19 °C	40,06 °C	37,63 °C	12,0 s	19,3 s	0,62	40,7 s
65/45	65	45	139	05.07.2011	11:35:00	621 l/h	65,12 °C	64,57 °C	61,27 °C	59,32 °C	45,10 °C	56,69 °C	53,71 °C	51,96 °C	14 s	28 s	0,50	40 s
	65	45	140	05.07.2011	12:52:00	621 l/h	65,19 °C	64,64 °C	61,38 °C	59,47 °C	45,20 °C	56,86 °C	53,85 °C	52,08 °C	14 s	26 s	0,54	38 s
	65	45	141	05.07.2011	14:11:00	619 l/h	65,12 °C	64,59 °C	61,35 °C	59,44 °C	45,20 °C	56,67 °C	53,77 °C	52,07 °C	14 s	26 s	0,54	40 s
	65	45	Mittelwert			620 l/h	65,14 °C	64,60 °C	61,33 °C	59,41 °C	45,17 °C	56,74 °C	53,78 °C	52,04 °C	14,0 s	26,7 s	0,53	39,3 s
85/60	85	60	142	12.07.2011	12:55:00	472 l/h	84,89 °C	84,39 °C	80,05 °C	77,49 °C	59,86 °C	68,09 °C	64,42 °C	62,27 °C	14 s	30 s	0,47	48 s
	85	60	143	12.07.2011	14:23:00	473 l/h	84,30 °C	83,91 °C	79,58 °C	77,03 °C	59,50 °C	67,45 °C	63,94 °C	61,87 °C	14 s	30 s	0,47	48 s
	85	60	144	12.07.2011	15:51:00	474 l/h	85,24 °C	84,66 °C	80,42 °C	77,92 °C	60,55 °C	68,05 °C	64,57 °C	62,52 °C	16 s	32 s	0,50	46 s
	85	60	Mittelwert			473 l/h	84,81 °C	84,32 °C	80,01 °C	77,48 °C	59,97 °C	67,86 °C	64,31 °C	62,22 °C	14,7 s	30,7 s	0,48	47,3 s

Tabelle 66: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 100% auf 71,3% (Abkühlen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wassereintritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	145	28.06.2011	13:31:00	1332 l/h	40,24 °C	39,80 °C	37,14 °C	35,57 °C	30,26 °C	42,98 °C	36,98 °C	33,46 °C	10 s	20 s	0,50	46 s
	40	30	146	28.06.2011	14:31:00	1333 l/h	40,28 °C	39,73 °C	37,20 °C	35,71 °C	30,30 °C	43,08 °C	37,11 °C	33,61 °C	12 s	18 s	0,67	44 s
	40	30	147	08.07.2011	15:26:00	1335 l/h	40,24 °C	39,69 °C	36,97 °C	35,37 °C	30,21 °C	44,59 °C	37,73 °C	33,70 °C	12 s	18 s	0,67	52 s
	40	30	Mittelwert			1333 l/h	40,25 °C	39,74 °C	37,10 °C	35,55 °C	30,26 °C	43,55 °C	37,28 °C	33,59 °C	11,3 s	18,7 s	0,61	47,3 s
65/45	65	45	148	05.07.2011	12:06:00	620 l/h	65,23 °C	64,84 °C	59,00 °C	55,57 °C	45,21 °C	56,83 °C	51,96 °C	49,10 °C	12 s	26 s	0,46	48 s
	65	45	149	05.07.2011	13:22:00	621 l/h	65,53 °C	64,96 °C	59,26 °C	55,92 °C	45,57 °C	57,02 °C	52,22 °C	49,40 °C	14 s	26 s	0,54	48 s
	65	45	150	05.07.2011	14:41:00	620 l/h	65,03 °C	64,48 °C	58,77 °C	55,42 °C	45,14 °C	56,58 °C	51,81 °C	49,01 °C	14 s	26 s	0,54	50 s
	65	45	Mittelwert			620 l/h	65,26 °C	64,76 °C	59,01 °C	55,64 °C	45,31 °C	56,81 °C	52,00 °C	49,17 °C	13,3 s	26,0 s	0,51	48,7 s
85/60	85	60	151	12.07.2011	13:29:00	472 l/h	85,01 °C	84,50 °C	76,82 °C	72,32 °C	59,90 °C	67,98 °C	62,55 °C	59,36 °C	14 s	32 s	0,44	54 s
	85	60	152	12.07.2011	14:57:00	473 l/h	84,34 °C	83,84 °C	76,55 °C	72,26 °C	59,66 °C	67,34 °C	62,22 °C	59,22 °C	14 s	30 s	0,47	50 s
	85	60	153	12.07.2011	16:25:00	472 l/h	85,01 °C	84,62 °C	77,06 °C	72,62 °C	60,21 °C	67,89 °C	62,61 °C	59,51 °C	14 s	30 s	0,47	52 s
	85	60	Mittelwert			472 l/h	84,79 °C	84,32 °C	76,81 °C	72,40 °C	59,92 °C	67,74 °C	62,46 °C	59,36 °C	14,0 s	30,7 s	0,46	52,0 s

Tabelle 67: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 100% auf 52,7% (Abkühlen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wassereintritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	154	28.06.2011	13:55:00	1332 l/h	40,51 °C	39,96 °C	35,30 °C	32,56 °C	30,43 °C	44,59 °C	36,25 °C	31,35 °C	12 s	28 s	0,43	70 s
	40	30	155	28.06.2011	14:53:00	1334 l/h	40,42 °C	39,92 °C	35,34 °C	32,65 °C	30,37 °C	43,26 °C	36,35 °C	32,29 °C	12 s	26 s	0,46	54 s
	40	30	156	08.07.2011	15:52:00	1336 l/h	40,12 °C	39,53 °C	35,13 °C	32,54 °C	30,14 °C	44,47 °C	36,23 °C	31,39 °C	10 s	26 s	0,38	68 s
	40	30	Mittelwert			1334 l/h	40,35 °C	39,80 °C	35,26 °C	32,59 °C	30,31 °C	44,11 °C	36,28 °C	31,68 °C	11,3 s	26,7 s	0,42	64,0 s
65/45	65	45	157	05.07.2011	12:36:00	620 l/h	65,42 °C	64,80 °C	55,43 °C	49,93 °C	45,37 °C	56,97 °C	50,00 °C	45,91 °C	14 s	34 s	0,41	76 s
	65	45	158	05.07.2011	13:54:00	621 l/h	64,87 °C	64,36 °C	55,06 °C	49,60 °C	45,01 °C	56,67 °C	49,64 °C	45,51 °C	14 s	34 s	0,41	78 s
	65	45	159	05.07.2011	15:11:00	619 l/h	64,96 °C	64,52 °C	55,16 °C	49,66 °C	45,14 °C	56,58 °C	49,73 °C	45,71 °C	14 s	36 s	0,39	76 s
	65	45	Mittelwert			620 l/h	65,08 °C	64,56 °C	55,22 °C	49,73 °C	45,17 °C	56,74 °C	49,79 °C	45,71 °C	14,0 s	34,7 s	0,40	76,7 s
85/60	85	60	160	12.07.2011	14:03:00	471 l/h	84,23 °C	83,79 °C	71,94 °C	64,99 °C	59,44 °C	67,22 °C	60,80 °C	57,03 °C	14 s	38 s	0,37	56 s
	85	60	161	12.07.2011	15:31:00	472 l/h	85,01 °C	84,53 °C	72,74 °C	65,81 °C	60,29 °C	67,89 °C	61,35 °C	57,50 °C	14 s	38 s	0,37	60 s
	85	60	162	12.07.2011	16:59:00	472 l/h	84,57 °C	84,12 °C	72,21 °C	65,21 °C	59,79 °C	67,54 °C	61,03 °C	57,21 °C	14 s	40 s	0,35	56 s
	85	60	Mittelwert			472 l/h	84,60 °C	84,15 °C	72,30 °C	65,34 °C	59,84 °C	67,55 °C	61,06 °C	57,25 °C	14,0 s	38,7 s	0,36	57,3 s

Tabelle 68: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 100% auf 19,3% (Abkühlen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufemperaturen																		
	Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauf-temperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauf-temperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	163	28.06.2011	13:15:00	1331 l/h	37,67 °C	37,13 °C	34,21 °C	32,49 °C	30,28 °C	37,90 °C	33,91 °C	31,56 °C	12 s	24 s	0,50	78 s
	40	30	164	28.06.2011	14:15:00	1332 l/h	37,56 °C	36,96 °C	34,15 °C	32,50 °C	30,32 °C	37,24 °C	33,52 °C	31,33 °C	12 s	26 s	0,46	60 s
	40	30	165	08.07.2011	15:06:00	1335 l/h	37,33 °C	36,78 °C	33,98 °C	32,33 °C	30,11 °C	37,56 °C	33,50 °C	31,11 °C	12 s	26 s	0,46	76 s
	40	30	Mittelwert			1333 l/h	37,52 °C	36,96 °C	34,11 °C	32,44 °C	30,24 °C	37,57 °C	33,64 °C	31,33 °C	12,0 s	25,3 s	0,47	71,3 s
65/45	65	45	166	05.07.2011	11:42:00	621 l/h	59,35 °C	58,82 °C	53,18 °C	49,87 °C	45,24 °C	51,96 °C	48,02 °C	45,71 °C	14 s	32 s	0,44	84 s
	65	45	167	05.07.2011	12:59:00	620 l/h	59,49 °C	58,96 °C	53,23 °C	49,87 °C	45,28 °C	52,07 °C	48,08 °C	45,74 °C	14 s	34 s	0,41	88 s
	65	45	168	05.07.2011	14:18:00	620 l/h	59,44 °C	58,89 °C	53,01 °C	49,56 °C	45,15 °C	52,03 °C	47,93 °C	45,53 °C	14 s	34 s	0,41	92 s
	65	45	Mittelwert			620 l/h	59,43 °C	58,89 °C	53,14 °C	49,77 °C	45,22 °C	52,02 °C	48,01 °C	45,66 °C	14,0 s	33,3 s	0,42	88,0 s
85/60	85	60	169	12.07.2011	13:03:00	470 l/h	77,45 °C	77,07 °C	69,84 °C	65,59 °C	60,08 °C	62,21 °C	59,18 °C	57,40 °C	14 s	36 s	0,39	64 s
	85	60	170	12.07.2011	14:31:00	471 l/h	77,00 °C	76,36 °C	69,14 °C	64,91 °C	59,44 °C	61,82 °C	58,76 °C	56,96 °C	16 s	36 s	0,44	64 s
	85	60	171	12.07.2011	15:59:00	470 l/h	77,94 °C	77,55 °C	70,28 °C	66,02 °C	60,53 °C	62,53 °C	59,45 °C	57,64 °C	14 s	38 s	0,37	64 s
	85	60	Mittelwert			470 l/h	77,46 °C	76,99 °C	69,75 °C	65,50 °C	60,02 °C	62,19 °C	59,13 °C	57,33 °C	14,7 s	36,7 s	0,40	64,0 s

Tabelle 69: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 71,3% auf 19,3% (Abkühlen); Kessel G1

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklaufemperaturen																		
	Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauf-temperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauf-temperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	172	28.06.2011	13:39:00	1332 l/h	35,57 °C	35,07 °C	33,60 °C	32,74 °C	30,40 °C	33,42 °C	31,93 °C	31,05 °C	12 s	24 s	0,50	60 s
	40	30	173	28.06.2011	14:39:00	1333 l/h	35,71 °C	35,11 °C	33,62 °C	32,74 °C	30,44 °C	33,60 °C	31,99 °C	31,05 °C	12 s	24 s	0,50	64 s
	40	30	174	08.07.2011	15:33:00	1334 l/h	35,34 °C	34,77 °C	33,03 °C	32,01 °C	29,91 °C	33,60 °C	31,79 °C	30,73 °C	14 s	32 s	0,44	88 s
	40	30	Mittelwert			1333 l/h	35,54 °C	34,98 °C	33,42 °C	32,49 °C	30,25 °C	33,54 °C	31,90 °C	30,94 °C	12,7 s	26,7 s	0,48	70,7 s
65/45	65	45	175	05.07.2011	12:14:00	621 l/h	55,57 °C	54,98 °C	51,65 °C	49,70 °C	45,19 °C	49,07 °C	46,85 °C	45,54 °C	14 s	36 s	0,39	90 s
	65	45	176	05.07.2011	13:30:00	621 l/h	55,89 °C	55,30 °C	51,94 °C	49,97 °C	45,54 °C	49,37 °C	47,16 °C	45,86 °C	16 s	36 s	0,44	92 s
	65	45	177	05.07.2011	14:49:00	619 l/h	55,46 °C	54,91 °C	51,53 °C	49,55 °C	45,10 °C	48,98 °C	46,76 °C	45,45 °C	16 s	36 s	0,44	92 s
	65	45	Mittelwert			620 l/h	55,64 °C	55,06 °C	51,71 °C	49,74 °C	45,28 °C	49,14 °C	46,92 °C	45,62 °C	15,3 s	36,0 s	0,43	91,3 s
85/60	85	60	178	12.07.2011	13:38:00	470 l/h	72,33 °C	71,92 °C	67,64 °C	65,12 °C	59,67 °C	59,33 °C	57,88 °C	57,03 °C	16 s	40 s	0,40	76 s
	85	60	179	12.07.2011	15:06:00	471 l/h	72,28 °C	71,80 °C	67,74 °C	65,36 °C	59,73 °C	59,17 °C	57,88 °C	57,12 °C	16 s	36 s	0,44	62 s
	85	60	180	12.07.2011	16:34:00	470 l/h	72,56 °C	72,17 °C	67,70 °C	65,07 °C	59,79 °C	59,44 °C	57,94 °C	57,06 °C	16 s	40 s	0,40	74 s
	85	60	Mittelwert			470 l/h	72,39 °C	71,96 °C	67,69 °C	65,19 °C	59,73 °C	59,31 °C	57,90 °C	57,07 °C	16,0 s	38,7 s	0,41	70,7 s

Tabelle 70: Zeitkonstanten beim Lastwechsel 52,7% auf 19,3% (Abkühlen); Kessel G1

## 7.4.4 Kessel G2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
	Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwerigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	1	19.10.2011	08:14:00	1501 l/h	30,14 °C	30,85 °C	36,50 °C	39,82 °C	29,93 °C	35,39 °C	38,45 °C	40,25 °C	8 s	20 s	0,40	60 s
	40	30	2	19.10.2011	08:23:00	1503 l/h	30,14 °C	30,46 °C	36,37 °C	39,84 °C	29,94 °C	35,66 °C	38,56 °C	40,26 °C	6 s	22 s	0,27	60 s
	40	30	3	19.10.2011	08:32:00	1502 l/h	30,24 °C	30,53 °C	36,41 °C	39,86 °C	29,98 °C	35,73 °C	38,58 °C	40,25 °C	6 s	22 s	0,27	60 s
	40	30	Mittelwert			1502 l/h	30,17 °C	30,61 °C	36,43 °C	39,84 °C	29,95 °C	35,59 °C	38,53 °C	40,25 °C	6,7 s	21,3 s	0,32	60,0 s
60/30	60	30	4	02.11.2011	13:30:00	469 l/h	30,37 °C	30,69 °C	49,36 °C	60,31 °C	30,26 °C	33,55 °C	40,80 °C	45,05 °C	8 s	32 s	0,25	56 s
	60	30	5	02.11.2011	13:40:00	470 l/h	30,46 °C	30,85 °C	49,43 °C	60,34 °C	30,21 °C	38,34 °C	42,80 °C	45,43 °C	8 s	32 s	0,25	70 s
	60	30	6	02.11.2011	14:08:00	468 l/h	30,42 °C	30,81 °C	49,42 °C	60,35 °C	30,24 °C	37,06 °C	42,31 °C	45,39 °C	8 s	32 s	0,25	66 s
	60	30	Mittelwert			469 l/h	30,42 °C	30,78 °C	49,40 °C	60,33 °C	30,24 °C	36,32 °C	41,97 °C	45,29 °C	8,0 s	32,0 s	0,25	64,0 s
80/60	80	60	7	14.10.2011	13:40:00	678 l/h	60,72 °C	61,00 °C	73,35 °C	80,60 °C	60,55 °C	46,49 °C	56,49 °C	62,37 °C	6 s	28 s	0,21	28 s
	80	60	8	14.10.2011	13:50:00	678 l/h	60,77 °C	61,55 °C	73,52 °C	80,55 °C	60,53 °C	48,18 °C	57,14 °C	62,40 °C	8 s	28 s	0,29	30 s
	80	60	9	14.10.2011	14:00:00	678 l/h	60,65 °C	60,93 °C	73,12 °C	80,28 °C	60,34 °C	48,25 °C	57,10 °C	62,29 °C	6 s	28 s	0,21	28 s
	80	60	Mittelwert			678 l/h	60,71 °C	61,16 °C	73,33 °C	80,48 °C	60,47 °C	47,64 °C	56,91 °C	62,35 °C	6,7 s	28,0 s	0,24	28,7 s

Tabelle 71: Zeitkonstanten beim Aufheizen 0% auf 100%; Kessel G2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
	Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwerigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	10	19.10.2011	08:41:00	1502 l/h	30,03 °C	30,35 °C	34,61 °C	37,11 °C	29,88 °C	32,59 °C	33,80 °C	34,51 °C	6 s	18 s	0,33	78 s
	40	30	11	19.10.2011	08:50:00	1503 l/h	30,19 °C	30,92 °C	34,89 °C	37,22 °C	30,00 °C	32,14 °C	33,71 °C	34,63 °C	8 s	20 s	0,40	70 s
	40	30	12	19.10.2011	08:59:00	1503 l/h	30,26 °C	30,53 °C	34,76 °C	37,24 °C	30,04 °C	32,14 °C	33,73 °C	34,67 °C	6 s	20 s	0,30	68 s
	40	30	Mittelwert			1503 l/h	30,16 °C	30,60 °C	34,75 °C	37,19 °C	29,97 °C	32,29 °C	33,75 °C	34,60 °C	6,7 s	19,3 s	0,34	72,0 s
60/30	60	30	13	02.11.2011	14:25:00	467 l/h	30,26 °C	30,51 °C	44,11 °C	52,10 °C	30,15 °C	34,95 °C	37,06 °C	38,29 °C	8 s	32 s	0,25	104 s
	60	30	14	02.11.2011	14:35:00	468 l/h	30,24 °C	30,65 °C	44,03 °C	51,89 °C	29,92 °C	35,43 °C	37,12 °C	38,12 °C	8 s	30 s	0,27	104 s
	60	30	15	02.11.2011	14:45:00	468 l/h	30,08 °C	30,46 °C	43,94 °C	51,86 °C	29,86 °C	35,23 °C	37,03 °C	38,09 °C	8 s	30 s	0,27	102 s
	60	30	Mittelwert			468 l/h	30,19 °C	30,54 °C	44,03 °C	51,95 °C	29,98 °C	35,20 °C	37,07 °C	38,17 °C	8,0 s	30,7 s	0,26	103,3 s
80/60	80	60	16	14.10.2011	14:10:00	678 l/h	59,83 °C	60,54 °C	69,00 °C	73,97 °C	59,65 °C	45,20 °C	53,80 °C	58,85 °C	8 s	24 s	0,32	14 s
	80	60	17	14.10.2011	14:20:00	678 l/h	59,83 °C	60,56 °C	68,93 °C	73,84 °C	59,55 °C	47,86 °C	54,76 °C	58,81 °C	10 s	24 s	0,42	18 s
	80	60	18	14.10.2011	14:30:00	678 l/h	59,78 °C	60,33 °C	68,88 °C	73,91 °C	59,56 °C	47,63 °C	54,69 °C	58,84 °C	8 s	24 s	0,33	16 s
	80	60	Mittelwert			678 l/h	59,81 °C	60,48 °C	68,94 °C	73,91 °C	59,59 °C	46,90 °C	54,42 °C	58,83 °C	8,7 s	24,0 s	0,36	16,0 s

Tabelle 72: Zeitkonstanten beim Aufheizen 0% auf 75%; Kessel G2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
	Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwerigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	19	19.10.2011	09:08:00	1502 l/h	30,26 °C	30,53 °C	32,95 °C	34,37 °C	30,08 °C	30,76 °C	30,84 °C	30,88 °C	6 s	12 s	0,50	34 s
	40	30	20	19.10.2011	09:33:00	1503 l/h	30,37 °C	31,04 °C	33,19 °C	34,45 °C	30,16 °C	29,69 °C	30,45 °C	30,90 °C	8 s	12 s	0,67	14 s
	40	30	21	19.10.2011	09:42:00	1502 l/h	30,26 °C	30,97 °C	33,10 °C	34,35 °C	30,05 °C	30,01 °C	30,52 °C	30,81 °C	8 s	12 s	0,67	34 s
	40	30	Mittelwert			1502 l/h	30,30 °C	30,85 °C	33,08 °C	34,39 °C	30,10 °C	30,15 °C	30,60 °C	30,86 °C	7,3 s	12,0 s	0,61	27,3 s
60/30	60	30	22	02.11.2011	15:20:00	475 l/h	30,12 °C	30,53 °C	38,30 °C	42,86 °C	30,01 °C	31,52 °C	31,75 °C	31,88 °C	8 s	22 s	0,36	190 s
	60	30	23	02.11.2011	15:30:00	475 l/h	30,26 °C	30,76 °C	38,51 °C	43,06 °C	30,19 °C	32,25 °C	32,19 °C	32,16 °C	8 s	20 s	0,40	280 s
	60	30	24	02.11.2011	15:40:00	476 l/h	30,37 °C	30,85 °C	38,56 °C	43,08 °C	30,24 °C	32,55 °C	32,35 °C	32,24 °C	8 s	20 s	0,40	0 s
	60	30	Mittelwert			475 l/h	30,25 °C	30,71 °C	38,46 °C	43,00 °C	30,15 °C	32,11 °C	32,10 °C	32,09 °C	8,0 s	20,7 s	0,39	156,7 s
80/60	80	60	25	14.10.2011	14:50:00	677 l/h	59,72 °C	60,29 °C	65,14 °C	68,00 °C	59,55 °C	45,41 °C	52,66 °C	56,93 °C	8 s	16 s	0,50	10 s
	80	60	26	14.10.2011	15:00:00	677 l/h	59,76 °C	60,38 °C	65,16 °C	67,96 °C	59,50 °C	47,63 °C	53,52 °C	56,98 °C	8 s	16 s	0,50	12 s
	80	60	27	14.10.2011	15:10:00	677 l/h	59,67 °C	60,45 °C	65,14 °C	67,89 °C	59,48 °C	47,86 °C	53,57 °C	56,93 °C	12 s	16 s	0,75	16 s
	80	60	Mittelwert			677 l/h	59,72 °C	60,37 °C	65,15 °C	67,95 °C	59,51 °C	46,97 °C	53,25 °C	56,94 °C	9,3 s	16,0 s	0,58	12,7 s

Tabelle 73: Zeitkonstanten beim Aufheizen 0% auf 50%; Kessel G2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
	Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten			
							Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwerigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur
40/30	40	30	28	19.10.2011	09:51:00	1502 l/h	30,26 °C	30,85 °C	31,95 °C	32,60 °C	30,08 °C	29,60 °C	29,95 °C	30,22 °C	8 s	4 s	2,00	6 s
	40	30	29	19.10.2011	10:00:00	1503 l/h	30,37 °C	30,69 °C	31,98 °C	32,74 °C	30,22 °C	29,25 °C	29,92 °C	30,32 °C	6 s	6 s	1,00	4 s
	40	30	30	19.10.2011	10:09:00	1502 l/h	30,42 °C	31,13 °C	32,13 °C	32,71 °C	30,20 °C	29,73 °C	30,10 °C	30,32 °C	8 s	4 s	2,00	6 s
	40	30	Mittelwert			1502 l/h	30,35 °C	30,89 °C	32,02 °C	32,68 °C	30,17 °C	29,49 °C	29,99 °C	30,29 °C	7,3 s	4,7 s	1,67	5,3 s
60/30	60	30	31	02.11.2011	15:55:00	474 l/h	30,37 °C	30,85 °C	35,12 °C	37,63 °C	30,30 °C	32,09 °C	31,41 °C	31,01 °C	8 s	10 s	0,80	14 s
	60	30	32	02.11.2011	16:05:00	474 l/h	30,42 °C	31,08 °C	35,17 °C	37,58 °C	30,27 °C	31,86 °C	31,32 °C	31,00 °C	8 s	10 s	0,80	12 s
	60	30	33	02.11.2011	16:15:00	474 l/h	30,35 °C	30,76 °C	35,02 °C	37,63 °C	30,19 °C	31,98 °C	31,35 °C	30,98 °C	8 s	10 s	0,80	10 s
	60	30	Mittelwert			474 l/h	30,38 °C	30,90 °C	35,11 °C	37,58 °C	30,25 °C	31,98 °C	31,36 °C	31,00 °C	8,0 s	10,0 s	0,80	12,0 s
80/60	80	60	34	14.10.2011	15:20:00	677 l/h	59,62 °C	60,15 °C	62,80 °C	64,36 °C	59,48 °C	44,63 °C	51,53 °C	55,58 °C	8 s	8 s	1,00	10 s
	80	60	35	14.10.2011	15:30:00	677 l/h	59,60 °C	60,27 °C	62,75 °C	64,20 °C	59,36 °C	46,85 °C	52,42 °C	55,69 °C	8 s	8 s	1,00	10 s
	80	60	36	14.10.2011	15:40:00	677 l/h	59,56 °C	60,17 °C	62,70 °C	64,19 °C	59,33 °C	47,04 °C	52,49 °C	55,70 °C	8 s	8 s	1,00	10 s
	80	60	Mittelwert			677 l/h	59,59 °C	60,20 °C	62,75 °C	64,25 °C	59,39 °C	46,17 °C	52,15 °C	55,66 °C	8,0 s	8,0 s	1,00	10,0 s

Tabelle 74: Zeitkonstanten beim Aufheizen 0% auf 36%; Kessel G2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	1	19.10.2011	08:18:30	1501 l/h	39,85 °C	39,12 °C	33,50 °C	30,20 °C	29,94 °C	40,31 °C	37,73 °C	36,21 °C	4 s	14 s	0,29	16 s
	40	30	2	19.10.2011	08:27:30	1502 l/h	39,85 °C	38,84 °C	33,43 °C	30,25 °C	29,97 °C	40,36 °C	37,54 °C	35,89 °C	4 s	14 s	0,29	18 s
	40	30	3	19.10.2011	08:36:30	1502 l/h	39,89 °C	39,00 °C	33,44 °C	30,17 °C	29,96 °C	40,35 °C	37,33 °C	35,56 °C	4 s	14 s	0,29	20 s
	40	30	Mittelwert			1502 l/h	39,86 °C	38,99 °C	33,45 °C	30,20 °C	29,95 °C	40,34 °C	37,54 °C	35,89 °C	4,0 s	14,0 s	0,29	18,0 s
60/30	60	30	4	02.11.2011	13:35:00	472 l/h	60,38 °C	60,11 °C	41,45 °C	30,49 °C	30,25 °C	45,18 °C	41,02 °C	38,58 °C	4 s	26 s	0,15	26 s
	60	30	5	02.11.2011	13:45:00	472 l/h	60,38 °C	59,72 °C	41,25 °C	30,41 °C	30,16 °C	45,53 °C	41,58 °C	39,26 °C	6 s	26 s	0,23	26 s
	60	30	6	02.11.2011	14:13:00	471 l/h	60,38 °C	60,11 °C	41,43 °C	30,46 °C	30,21 °C	45,43 °C	41,75 °C	39,59 °C	4 s	26 s	0,15	26 s
	60	30	Mittelwert			472 l/h	60,38 °C	59,98 °C	41,38 °C	30,45 °C	30,21 °C	45,38 °C	41,45 °C	39,14 °C	4,7 s	26,0 s	0,18	26,0 s
80/60	80	60	7	14.10.2011	13:44:30	678 l/h	80,64 °C	80,13 °C	67,95 °C	60,79 °C	60,54 °C	62,42 °C	53,63 °C	48,46 °C	4 s	20 s	0,20	60 s
	80	60	8	14.10.2011	13:54:30	678 l/h	80,57 °C	79,93 °C	67,82 °C	60,79 °C	60,47 °C	62,42 °C	53,70 °C	48,57 °C	4 s	20 s	0,20	62 s
	80	60	9	14.10.2011	14:04:30	0 l/h	0,00 °C	0,00 °C	0,00 °C	0,00 °C	0,00 °C	0,00 °C	0,00 °C	0,00 °C	0 s	0 s	#DIV/0!	0 s
	80	60	Mittelwert			452 l/h	53,74 °C	53,35 °C	45,26 °C	40,50 °C	40,34 °C	41,61 °C	35,77 °C	32,34 °C	2,7 s	13,3 s	#DIV/0!	40,7 s

Tabelle 75: Zeitkonstanten beim Abkühlen 100% auf 0%; Kessel G2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	10	19.10.2011	08:45:30	1503 l/h	37,13 °C	36,71 °C	32,63 °C	30,24 °C	29,96 °C	34,61 °C	33,17 °C	32,32 °C	4 s	14 s	0,29	22 s
	40	30	11	19.10.2011	08:54:30	1503 l/h	37,22 °C	36,51 °C	32,58 °C	30,27 °C	30,04 °C	34,68 °C	33,16 °C	32,26 °C	4 s	14 s	0,29	22 s
	40	30	12	19.10.2011	09:03:30	1502 l/h	37,29 °C	36,67 °C	32,66 °C	30,31 °C	30,06 °C	34,72 °C	33,22 °C	32,34 °C	4 s	14 s	0,29	22 s
	40	30	Mittelwert			1502 l/h	37,21 °C	36,63 °C	32,62 °C	30,27 °C	30,02 °C	34,67 °C	33,18 °C	32,31 °C	4,0 s	14,0 s	0,29	22,0 s
60/30	60	30	13	02.11.2011	14:30:00	470 l/h	52,14 °C	50,15 °C	37,64 °C	30,29 °C	30,11 °C	38,34 °C	36,53 °C	35,46 °C	6 s	28 s	0,21	20 s
	60	30	14	02.11.2011	14:40:00	470 l/h	51,96 °C	51,04 °C	37,85 °C	30,11 °C	29,87 °C	38,18 °C	36,55 °C	35,59 °C	6 s	26 s	0,23	16 s
	60	30	15	02.11.2011	14:50:00	469 l/h	51,91 °C	51,64 °C	38,05 °C	30,07 °C	29,85 °C	38,13 °C	36,47 °C	35,50 °C	4 s	26 s	0,15	18 s
	60	30	Mittelwert			469 l/h	52,00 °C	50,94 °C	37,85 °C	30,16 °C	29,94 °C	38,22 °C	36,52 °C	35,52 °C	5,3 s	26,7 s	0,20	18,0 s
80/60	80	60	16	14.10.2011	14:14:30	678 l/h	74,00 °C	73,45 °C	64,89 °C	59,86 °C	59,62 °C	58,94 °C	52,22 °C	48,27 °C	6 s	20 s	0,30	60 s
	80	60	17	14.10.2011	14:24:30	678 l/h	73,84 °C	73,45 °C	64,82 °C	59,75 °C	59,47 °C	58,85 °C	52,08 °C	48,10 °C	4 s	20 s	0,20	62 s
	80	60	18	14.10.2011	14:34:30	678 l/h	73,93 °C	73,56 °C	64,89 °C	59,81 °C	59,56 °C	59,51 °C	52,39 °C	48,21 °C	4 s	20 s	0,20	58 s
	80	60	Mittelwert			678 l/h	73,92 °C	73,49 °C	64,87 °C	59,81 °C	59,55 °C	59,10 °C	52,23 °C	48,19 °C	4,7 s	20,0 s	0,23	60,0 s

Tabelle 76: Zeitkonstanten beim Abkühlen 75% auf 0%; Kessel G2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	19	19.10.2011	09:29:00	1502 l/h	34,42 °C	33,83 °C	31,65 °C	30,37 °C	30,14 °C	30,88 °C	30,22 °C	29,83 °C	6 s	16 s	0,38	112 s
	40	30	20	19.10.2011	09:37:30	1502 l/h	34,45 °C	34,10 °C	31,70 °C	30,29 °C	30,11 °C	30,92 °C	30,22 °C	29,81 °C	4 s	16 s	0,25	142 s
	40	30	21	19.10.2011	09:46:30	1502 l/h	34,33 °C	33,71 °C	31,55 °C	30,29 °C	30,05 °C	30,85 °C	30,20 °C	29,82 °C	6 s	16 s	0,38	116 s
	40	30	Mittelwert			1502 l/h	34,40 °C	33,88 °C	31,63 °C	30,32 °C	30,10 °C	30,88 °C	30,21 °C	29,82 °C	5,3 s	16,0 s	0,33	123,3 s
60/30	60	30	22	02.11.2011	15:25:00	476 l/h	42,87 °C	42,34 °C	34,72 °C	30,25 °C	30,04 °C	31,93 °C	32,16 °C	32,29 °C	6 s	26 s	0,23	54 s
	60	30	23	02.11.2011	15:35:00	477 l/h	43,03 °C	42,46 °C	34,87 °C	30,42 °C	30,22 °C	32,20 °C	32,46 °C	32,61 °C	8 s	26 s	0,31	50 s
	60	30	24	02.11.2011	15:45:00	477 l/h	43,14 °C	42,76 °C	35,04 °C	30,51 °C	30,29 °C	32,32 °C	32,69 °C	32,91 °C	6 s	26 s	0,23	60 s
	60	30	Mittelwert			477 l/h	43,01 °C	42,52 °C	34,88 °C	30,39 °C	30,18 °C	32,15 °C	32,44 °C	32,60 °C	6,7 s	26,0 s	0,26	54,7 s
80/60	80	60	25	14.10.2011	14:54:30	677 l/h	68,05 °C	67,41 °C	62,58 °C	59,74 °C	59,52 °C	57,06 °C	51,53 °C	48,28 °C	6 s	20 s	0,30	56 s
	80	60	26	14.10.2011	15:04:30	677 l/h	67,98 °C	67,22 °C	62,50 °C	59,72 °C	59,49 °C	57,06 °C	51,52 °C	48,27 °C	6 s	20 s	0,30	58 s
	80	60	27	14.10.2011	15:14:30	677 l/h	67,93 °C	67,38 °C	62,53 °C	59,68 °C	59,46 °C	57,02 °C	51,53 °C	48,31 °C	6 s	20 s	0,30	60 s
	80	60	Mittelwert			677 l/h	67,99 °C	67,34 °C	62,53 °C	59,71 °C	59,49 °C	57,05 °C	51,53 °C	48,29 °C	6,0 s	20,0 s	0,30	58,0 s

Tabelle 77: Zeitkonstanten beim Abkühlen 50% auf 0%; Kessel G2

Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Rücklauftemperaturen																		
Wasseraustritts-temperatur	Wassereintritts-temperatur	Messung	Datum	Uhrzeit	Volumenstrom	Vorlauftemperatur				Rücklauftemperatur (Mittelwert Messzeitraum)	Abgastemperatur			Zeitkonstanten				
						Beginn Totzeit	Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)		Beginn Verzögerungszeit	Ende Verzögerungszeit (63%)	Ende Messung (Mittelwert letzte Minute)	Totzeit	Verzögerungszeit Vorlauftemperatur	Schwierigkeitsgrad	Verzögerungszeit Abgastemperatur	
40/30	40	30	28	19.10.2011	09:55:30	1503 l/h	32,64 °C	32,09 °C	31,04 °C	30,42 °C	30,17 °C	30,24 °C	29,60 °C	29,23 °C	8 s	16 s	0,50	148 s
	40	30	29	19.10.2011	10:04:30	1503 l/h	32,78 °C	32,25 °C	31,10 °C	30,42 °C	30,23 °C	30,35 °C	29,88 °C	29,60 °C	8 s	18 s	0,44	72 s
	40	30	30	19.10.2011	10:13:30	1502 l/h	32,71 °C	32,16 °C	31,03 °C	30,37 °C	30,18 °C	30,30 °C	29,75 °C	29,42 °C	8 s	18 s	0,44	166 s
	40	30	Mittelwert			1502 l/h	32,71 °C	32,17 °C	31,06 °C	30,40 °C	30,19 °C	30,30 °C	29,74 °C	29,42 °C	8,0 s	17,3 s	0,46	128,7 s
60/30	60	30	31	02.11.2011	16:00:00	475 l/h	37,63 °C	37,10 °C	32,91 °C	30,45 °C	30,29 °C	31,01 °C	31,56 °C	31,89 °C	8 s	28 s	0,29	70 s
	60	30	32	02.11.2011	16:10:00	474 l/h	37,61 °C	37,13 °C	32,87 °C	30,36 °C	30,21 °C	31,01 °C	31,64 °C	32,00 °C	8 s	28 s	0,29	64 s
	60	30	33	02.11.2011	16:20:00	474 l/h	37,56 °C	37,01 °C	32,82 °C	30,37 °C	30,20 °C	31,01 °C	31,53 °C	31,84 °C	8 s	28 s	0,29	70 s
	60	30	Mittelwert			474 l/h	37,60 °C	37,08 °C	32,87 °C	30,39 °C	30,23 °C	31,01 °C	31,58 °C	31,91 °C	8,0 s	28,0 s	0,29	68,0 s
80/60	80	60	34	14.10.2011	15:24:30	677 l/h	64,36 °C	63,81 °C	61,18 °C	59,64 °C	59,44 °C	55,78 °C	50,46 °C	47,34 °C	8 s	22 s	0,36	58 s
	80	60	35	14.10.2011	15:34:30	677 l/h	64,20 °C	63,63 °C	61,07 °C	59,56 °C	59,34 °C	55,80 °C	50,71 °C	47,72 °C	8 s	22 s	0,36	56 s
	80	60	36	14.10.2011	15:44:30	677 l/h	64,25 °C	63,70 °C	61,10 °C	59,57 °C	59,33 °C	55,85 °C	50,75 °C	47,75 °C	8 s	22 s	0,36	56 s
	80	60	Mittelwert			677 l/h	64,27 °C	63,71 °C	61,12 °C	59,59 °C	59,37 °C	55,81 °C	50,64 °C	47,60 °C	8,0 s	22,0 s	0,36	56,7 s

Tabelle 78: Zeitkonstanten beim Abkühlen 36% auf 0%; Kessel G2