



Institut für Prozeßtechnik,  
Prozeßautomatisierung  
und Meßtechnik

*Fachgebiet Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik*



Hochschule  
Zittau/Görlitz

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung



# Forschungsbericht: Parametervariation Reformerrost am Holzvergaser-BHKW des TCV

Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik  
Fachgebiet Kraftwerks-, Dampferzeuger- und Feuerungstechnik

Autor(en):

Dipl.-Ing. (FH) Roman Schneider

Dipl.-Ing. (FH) Mareike Weidner

Zittau, 17.08.2017

# Inhalt

1	Zusammenfassung.....	5
2	Motivation und Ziel .....	6
3	Kurzbeschreibung der Anlage .....	7
3.1	Allgemein .....	7
3.2	Erläuterung des Drehrostes im Reformier nach [2] .....	7
4	Kurzbeschreibung der Messtechnik.....	10
5	Vorgehen.....	11
6	Beschreibung der Messfahrten.....	14
6.1	Allgemeines Vorgehen .....	14
6.2	Übersicht Messfahrten.....	14
7	Laboranalysen von Brennstoff und Filterstaub .....	15
7.1	Analysemethoden zur Bestimmung .....	15
7.2	Probenmaterial.....	15
7.3	Ergebnisse der Brennstoffanalyse.....	15
7.4	Ergebnisse der Filterstaubanalyse .....	15
8	Auswertung der Messfahrten.....	18
8.1	Stoffströme .....	18
8.1.1	Brennstoff.....	18
8.1.2	Produktgas / Vergasungsmittel.....	19
8.1.3	Filterstaub.....	21
8.2	Störungen.....	21
8.3	Anlagenfahrweise.....	22
9	Bewertung der Variation der Reformierrostparameter .....	30

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Reformerabbildung und vereinfachtes Schema mit Darstellung des Drehscheibenrostes und der Stoffströme.....	7
Abbildung 3-2: Darstellung der Differenzdruckbereiche über den Reformer lt. [2].....	8
Abbildung 3-3: Darstellung Reformerrostparameter [2].....	8
Abbildung 3-4: Ausschnitt des Differenzdruckverlaufs, MF7 .....	9
Abbildung 4-1: Übersicht der Mess- und Probenahmestellen im Rahmen der MF .....	10
Abbildung 5-1: Differenzdruck über den Reformer während der Testmessfahrt.....	12
Abbildung 7-1: Grafische Darstellung der Kurzanalysenergebnisse des Filterstaubes (in Ma-%), geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase.....	16
Abbildung 7-2: Grafische Darstellung der Kurzanalysenergebnisse des Filterstaubes (in Ma-% TS), geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase.....	17
Abbildung 8-1: Erfasste Brennstoffmassenströme, geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase .....	18
Abbildung 8-2: Vergleich der Differenzdrücke über dem Reformer.....	20
Abbildung 8-4: Erfasste Filterstaubmassenströme geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase .....	21
Abbildung 8-5: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF2 .....	23
Abbildung 8-6: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF3 .....	24
Abbildung 8-7: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF4 .....	25
Abbildung 8-8: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF5 .....	26
Abbildung 8-9: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF7 .....	27
Abbildung 8-10: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF9 .....	28
Abbildung 8-11: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF11 .....	29

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Erfasste Eigenschaften der maßgeblichen Stoffströme .....	10
Tabelle 5-1: Ausgewählter Parametersatz V.....	13
Tabelle 5-2: Parametersatz des Reformerrostes für Versuchsphase Variation .....	13
Tabelle 5-3: Parametersatz des Reformerrostes für Versuchsphase Standard .....	13
Tabelle 6-1: Übersicht der durchgeführten Versuchsfahrten.....	14
<b>Tabelle 7-1: Kurzanalysenergebnisse der Standard-HHS .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabelle 7-2: Elementaranalyse der Standard-HHS .....</b>	<b>15</b>
Tabelle 7-3: Kurzanalysenergebnisse der Filterstäube geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase .....	16
Tabelle 8-1: Brennstoffbedarf geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase .....	18
Tabelle 8-2: Heizwert des Produktgases im Vergleich der Versuchsphasen Variation und Standard .....	19
Tabelle 8-3: Volumenstrom Produktgas und Vergasungsmittel, Produktgasleistung und elektrische BHKW-Leistung in den Auswertungszeiträumen .....	19
Tabelle 8-4: Anfall und Charakterisierung der Filterstaubproben .....	21
Tabelle 8-5: Übersicht der Störungen während der Messfahrten.....	22
Tabelle 9-1: Vergleich der Mess- und Analysedaten aus MF9 und MF11 .....	30

# 1 Zusammenfassung

Die durchgeführten Vergasungsversuche mit dem an der Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG) betriebenen Holzvergaser-BHKW hatten den Vergleich der Auswirkungen verschiedener Betriebsparameter des Drehscheibenrosters im Reformier zum Ziel. Dabei wurde als Ergebnis erster Testmessfahrten ein Parametersatz ausgewählt, der zu einer deutlichen Minimierung des Betriebsintervalls des Drehrosters im Reformier führt. Gleichzeitig wurde durch die Rostparameter sichergestellt, dass die Druckdifferenz über dem Reformier unterhalb eines kritischen Betriebsbereiches verbleibt und somit keine Beeinträchtigung des Anlagenbetriebes auftritt.

Die Variation der Betriebsparameter des Reformierdrehrosters im Vergleich zum Einsatz der Standardparameter hat zu keinen signifikanten Veränderungen der Stoff- und Energieströme geführt.

Diese Aussage wird durch folgende Versuchsergebnisse gestützt:

- Keine Veränderung der Stoffströme Brennstoff und Filterstaub
- Keine Veränderung des Ascheanteils im Filterstaub

Im Vergleich der Versuchsphasen „Standard“ und „Variation“ konnten weitere Erkenntnisse gewonnen werden. Diese sind wie folgt:

- Keine Veränderung der Produktgasqualität
- Keine Veränderung der Stoffströme des Vergasungsmittels und des Produktgases
- Keine Veränderung der elektrischen Leistung des BHKW

Die wesentlichen zu beobachtenden Auswirkungen der Parametervariation waren folgende:

- Steigerung der Druckdifferenz über den Reformier
- Erhöhung des Unterdruckes in der Produktgasleitung vor dem BHKW

Im Rahmen der Messfahrten (MF) konnte somit durch die Parametervariation keine Erhöhung des Brennstoffumsatzgrades erreicht werden. Es konnte jedoch ein Parametersatz definiert werden, bei dem das Betriebsintervall des Drehrosters möglichst maximal ist und gleichzeitig durch diese Parameteränderung keine Beeinträchtigung des Anlagenbetriebes auftritt.

## 2 Motivation und Ziel

Am Versuchsstand der HSZG zur Biomassevergasung (Thermochemisches Versuchsfeld [TCV]) wird eine marktübliche Holzvergasungsanlage der Fa. Spanner Re<sup>2</sup> GmbH für Zwecke der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung betrieben.

Der bei der Produktgasreinigung über einen Gewebefilter anfallende Filterstaub (als fester Rückstand des Vergasungsprozesses) ist in der Regel durch sehr hohe Kohlenstoffgehalte gekennzeichnet. Um den damit zusammenhängenden niedrigen Kohlenstoffumsetzungsgrad des Vergasungsprozesses im Reformier zu erhöhen, wurden im Rahmen der Versuche verschiedene Parameter der Reformierrostbewegung variiert und die resultierende Qualität und Quantität des Filterstaubes erfasst. Zu Grunde liegt hierfür die Annahme, dass mit verringerter Bewegungsintensität des Reformierrosts weniger Material ausgeschleust wird, dieses länger im Reaktionsraum verbleibt und weiter umgesetzt wird. In diesem Zusammenhang müsste eine Reduzierung des Kohlenstoffanteils im Filterstaub und eine Reduzierung des Brennstoffmassenstroms die Folge sein. Dabei sollte der Gesamtprozess (Holzvergaser und BHKW) hinsichtlich seines Betriebsverhaltens nicht negativ beeinflusst werden. Ein weiteres Ziel der Versuche sollte darin bestehen, etwaige Grenzbereiche der Reformierrostparameter zu detektieren, bei denen noch keine negative Beeinträchtigung des Gesamtprozesses auftritt.

Im Rahmen der Messfahrten wurden die auftretenden Prozessänderungen im Reformier mit der vorhandenen Messtechnik erfasst und dargestellt. Die entsprechenden Daten sollten anschließend mit den Referenzfahrten bei Verwendung der Standardparameter verglichen werden. Dabei bezog sich die Auswertung hauptsächlich auf den Vergasungsprozess und die entsprechenden Stoffströme (Brennstoff, Vergasungsmittel, Produktgas, Filterstaub), um anschließend die Wirkung der Parametervariation bewerten zu können.

### 3 Kurzbeschreibung der Anlage

#### 3.1 Allgemein

Bezüglich der Anlagenbeschreibung wird auf die vorhandene umfangreiche Dokumentation verwiesen. [1]

#### 3.2 Erläuterung des Drehrostes im Reformer nach [2]

Der Reformer ist das Bauteil der Holzvergasungsanlage in dem der thermochemische Umsetzungsprozess des festen Brennstoffes stattfindet und kann damit als „Herz“ der Gesamtanlage bezeichnet werden. Alle nachfolgenden Komponenten dienen der Konditionierung und energetischen Nutzung des Produktgases sowie der thermischen Nachbehandlung des anfallenden Filterstaubes.

Der Brennstoff gelangt über eine Füllschnecke in den Reformer. Im Reformer, der als Gleichstrom-Festbettvergaser definiert werden kann, wird der Brennstoff unter Zugabe von vorgewärmter Umgebungsluft durch eine Teiloxidation in ein brennbares Produktgas umgewandelt. Das gebildete Produktgas verlässt zusammen mit dem festen Rückstand im unteren Teil des Reformers dieses Bauteil und wird anschließend abgekühlt und gereinigt. Ein sehr stark vereinfachtes Schema des Reformers und des Drehscheibenrostes ist in Abbildung 3-1 dargestellt.

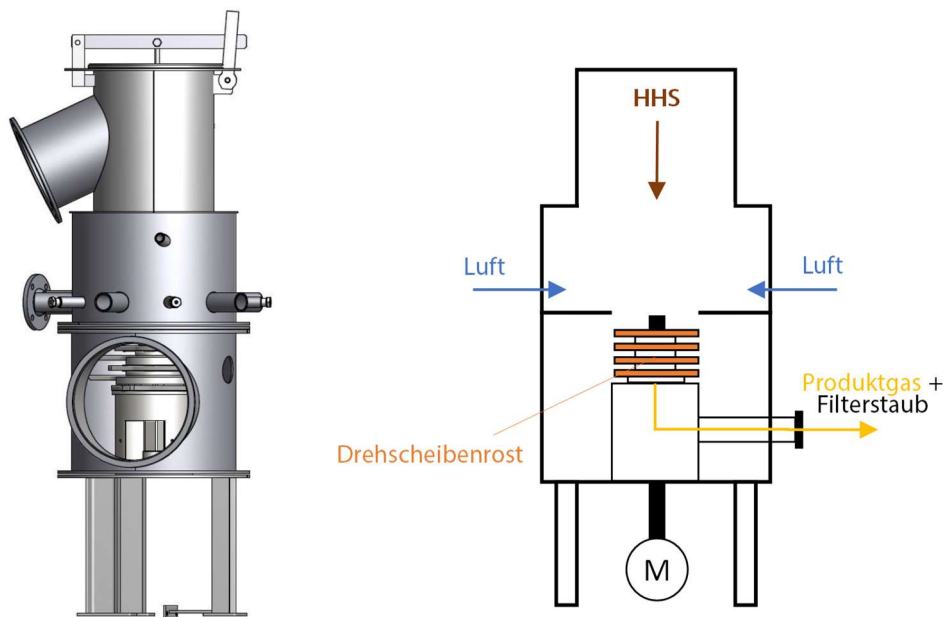


Abbildung 3-1: Reformerabbildung und vereinfachtes Schema mit Darstellung des Drehscheibenrostes und der Stoffströme

Die beim Vergasungsprozess im Reformer zurückbleibenden Feststoffe fallen auf den sich drehenden Rost. Dieser besteht aus verschiedenen sowohl beweglichen als auch starren Rostscheiben. Durch die Drehbewegung der Rostscheiben wird das Material aus den Reaktionszonen des Reformers in den unteren Bereich transportiert. Mit steigendem Anteil des Rückstandes steigt der Differenzdruck im Reformer und die Dauer der Rostscheibenbewegung nimmt zu, um den Feststoff auszutragen. Auch mit steigendem Feinanteil des Brennstoffes erhöht sich der Differenzdruck und die Drehbewegung der Rostscheiben wird intensiviert. Eine grobe Einordnung der Differenzdrücke über den Reformer kann Abbildung 3-2 entnommen werden. Sollte der Differenzdruck für einen längeren Zeitraum über dem defi-

nierten oberen Grenzwert (65 mbar) liegen, wird die Anlage in Störungsmodus gesetzt und eine entsprechende Fehlermeldung angezeigt (vgl. Abbildung 5-1 Bereich III). Die Drehbewegung der Rostscheiben wird über verschiedene Parameter an der Steuerung eingestellt. Die zur Verfügung stehenden Rostparameter aus der Anlagensteuerung sind in Abbildung 3-3 zusammengefasst. Die Rostscheiben sollten so wenig wie möglich drehen. Um die Rostbewegung zu vermindern, kann in definierten Bereichen entweder der Drehanteil verringert oder das Intervall verlängert werden.

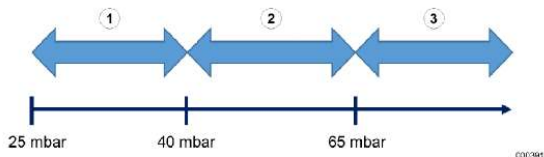


Abb. 14: Differenzdruck Drehrost

- |   |   |
|---|---|
| 1 | Niedriger Differenzdruck im Reformer (< 40 mbar)  |
| 2 | Optimaler Differenzdruck im Reformer (40–65 mbar) |
| 3 | Hoher Differenzdruck im Reformer (> 65 mbar)      |

Abbildung 3-2: Darstellung der Differenzdruckbereiche über den Reformer lt. [2]

Niedriger Differenzdruck im Reformer		
5104	Anteil Rostdrehung Untergrenze	Anteil in % einer gesamten Rostdrehung von 360°
5105	Drehrostzykluszeit Untergrenze	Minimale Zeit einer Rostbewegung in Sekunden
5106	Untergrenze Druckdifferenz Rost	Druckdifferenz, ab der die unteren Parameter berücksichtigt werden
Optimaler Differenzdruck im Reformer		
5107	Anteil Rostdrehung Optimalbereich	Anteil in % einer gesamten Rostdrehung von 360°
5108	Drehrostzykluszeit Optimalbereich	Optimale Zeit einer Rostbewegung in Sekunden
Hoher Differenzdruck im Reformer		
5201	Anteil Rostdrehung Obergrenze	Anteil in % einer gesamten Rostdrehung von 360°
5202	Drehrostzykluszeit Obergrenze	Maximale Zeit einer Rostbewegung in Sekunden
5203	Obergrenze Druckdifferenz Rost	Druckdifferenz, ab der die oberen Parameter berücksichtigt werden
Keine Rostbewegung		
5304	Min. Differenzdruck	Es findet keine Rostbewegung statt (Werkseinstellung 25 mbar).

Abbildung 3-3: Darstellung Reformerrostparameter [2]

Allgemeine Betriebshinweise für den Drehrost gibt der Anlagenhersteller in seiner Betriebsanleitung [2] wie folgt:

- Ein hoher Feinanteil im Brennstoff erhöht den Differenzdruck und mehr Drehbewegungen sind notwendig.
- Bei sehr grobem Brennstoff und einem geringen Feinanteil ist der Differenzdruck niedrig.
- Als allgemeiner Grundsatz gilt: So wenig Drehbewegungen der Rostscheiben wie möglich, so viele wie nötig.

Zur Veranschaulichung wird in Abbildung 3-4 der Verlauf des Differenzdruckes über den Reformer für wenige Intervalle des Drehrostes am Beispiel der MF7 dargestellt. Der Differenzdruck fällt bei jeder Bewegung des Drehrostes im Reformer. Wie stark der Differenzdruckabfall ist, hängt von der Intensität der Drehbewegung und der entsprechenden Austragsmasse an Material aus dem Reformer ab. Während der Ruhephase wird kein Material ausgetragen und die festen Partikel sammeln sich oberhalb des Drehrostes an. Somit steigt langsam der Differenzdruck an, bis sich der Drehrost nach dem vorgegebenen Intervall (hier 120 s) wieder bewegt (hier um 15 % von 360°) und Partikel mit dem Produktgasstrom ausgetragen werden. Aus Abbildung 3-4 wird ebenso ersichtlich, dass sich der Differenzdruck im Reformer über einen bestimmten Zeitraum aufbauen und so zu einem kritischen Betriebszustand der Anlage führen kann. Die Anlagensteuerung ermöglicht es nicht, einen Sollwert für den Differenzdruck nach der Drehrostbewegung zu definieren, sondern – wie oben bereits erläutert – nur das Intervall und die Intensität der Drehrostbewegung festzulegen. So kann es z.B. im Reformer zu Verblockungen am Drehrost kommen, die den Austrag des Feststoffes behindern und den Abfall des Differenzdruckes beim Austragsprozess verringert.



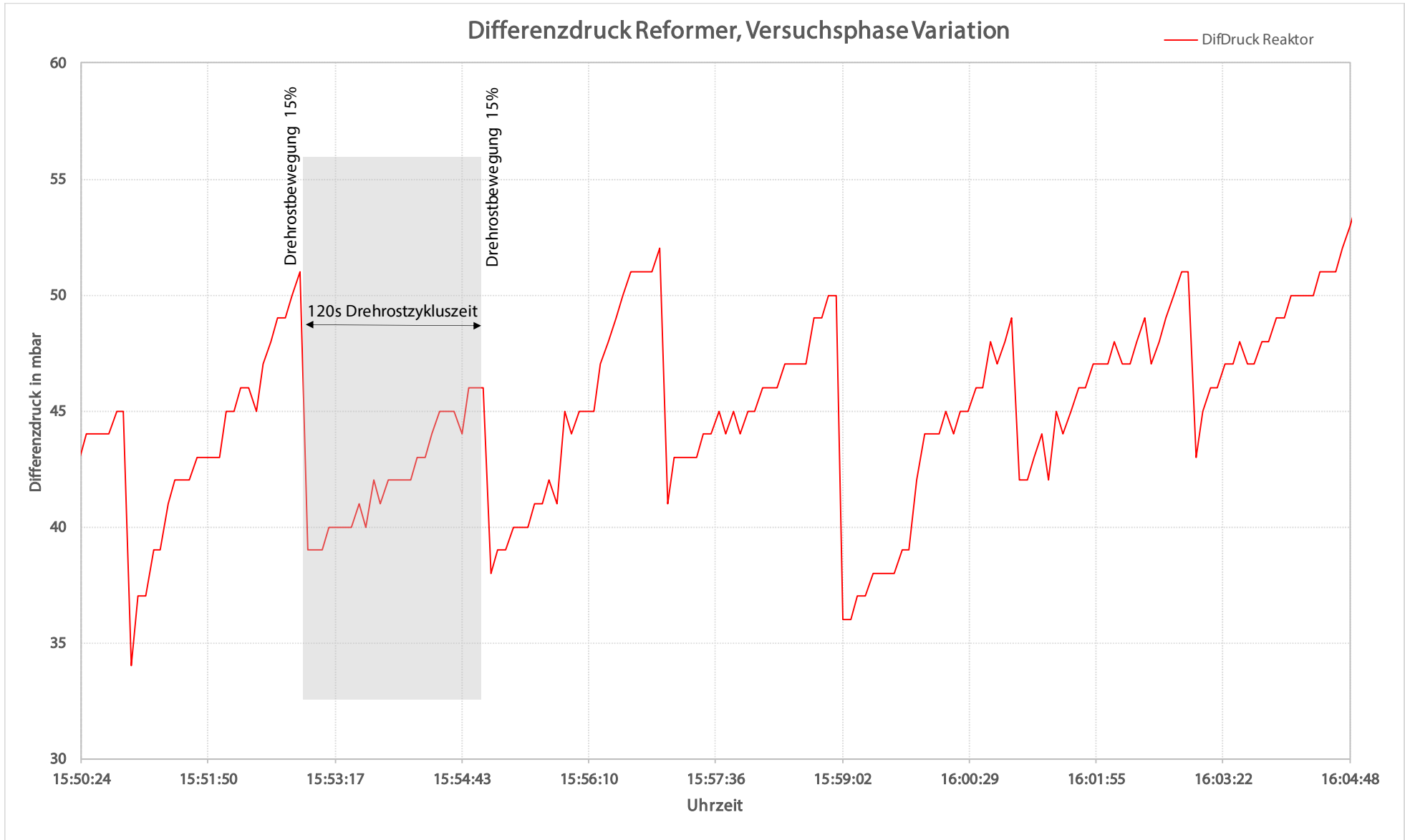


Abbildung 3-4: Ausschnitt des Differenzdruckverlaufs, MF7

## 4 Kurzbeschreibung der Messtechnik

Die im TCV eingesetzte Messtechnik (Brennstoffbedarf, Temperaturen, Produktgasmenge und -zusammensetzung, Anlagenleistung, Datenerfassung etc.) wird in der vorhandenen Dokumentation umfangreich beschrieben. [1]

Einen Überblick der für die Versuche maßgeblichen Stoffströme und deren erfassten Eigenschaften gibt Tabelle 4-1 wieder. Die dazu zur Verfügung stehenden Mess- und Probenahmestellen sind in Abbildung 4-1 ersichtlich.

Tabelle 4-1: Erfasste Eigenschaften der maßgeblichen Stoffströme

Stoffstrom	Eigenschaften
Brennstoff (HHS)	Massenstrom, Zusammensetzung
Produktgas	Volumenstrom, Temperatur, Absolutdruck
Filterstaub	Massenstrom, Zusammensetzung
Vergasungsmittel/Vergaserluft	Volumenstrom, Temperatur

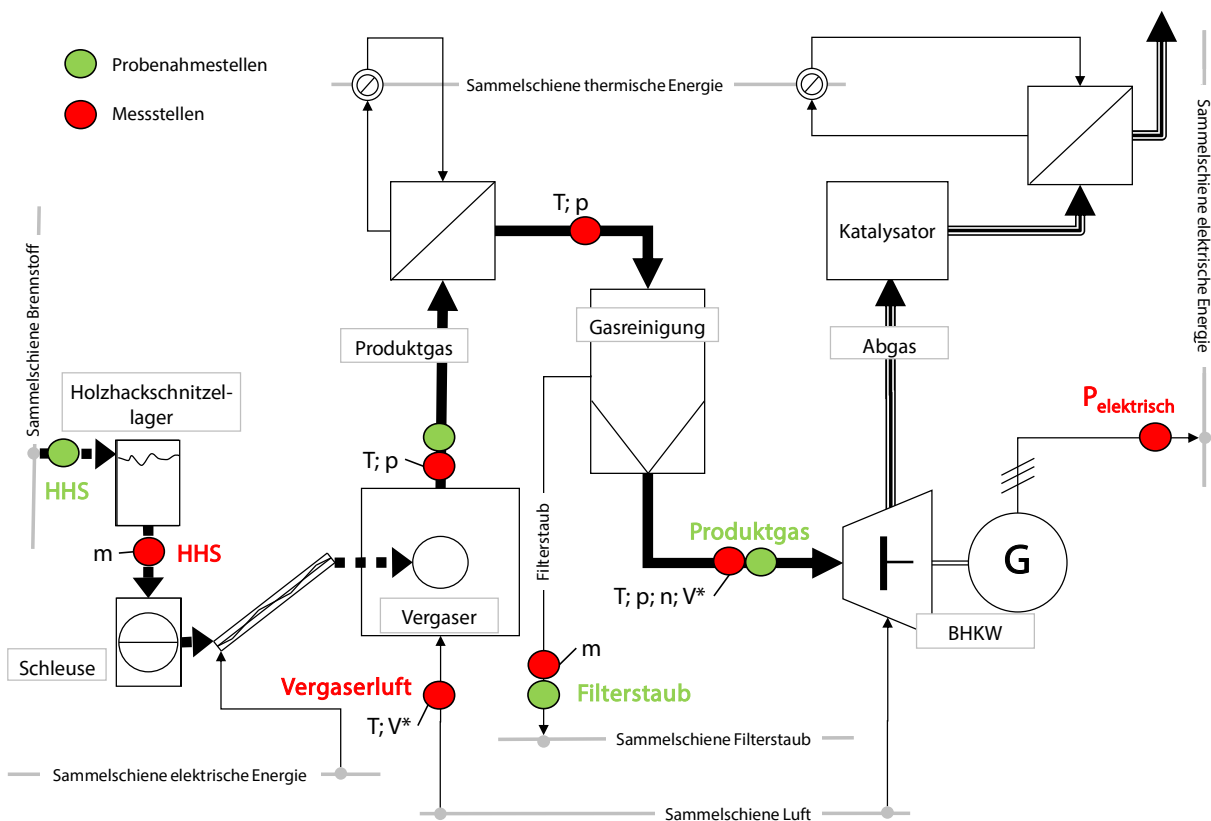


Abbildung 4-1: Übersicht der Mess- und Probenahmestellen im Rahmen der MF

Für die Parametervariationen am Reformerrrost wurden hauptsächlich die Mess- und Probenahmestellen Brennstoff, Produktgas und Filterstaub berücksichtigt. Darüber hinaus wurden die Temperatur- und Druckwerte aus der Anlagensteuerung erfasst und in der Auswertung berücksichtigt.

## 5 Vorgehen

Für die Durchführung der Versuche wurde im Rahmen des TCV folgende Anlage eingesetzt:

- Holz-Kraft-Anlage der Fa. Spanner Re<sup>2</sup> GmbH (30 kW<sub>el</sub> Nennleistung; 70 kW<sub>th</sub> Nennleistung)

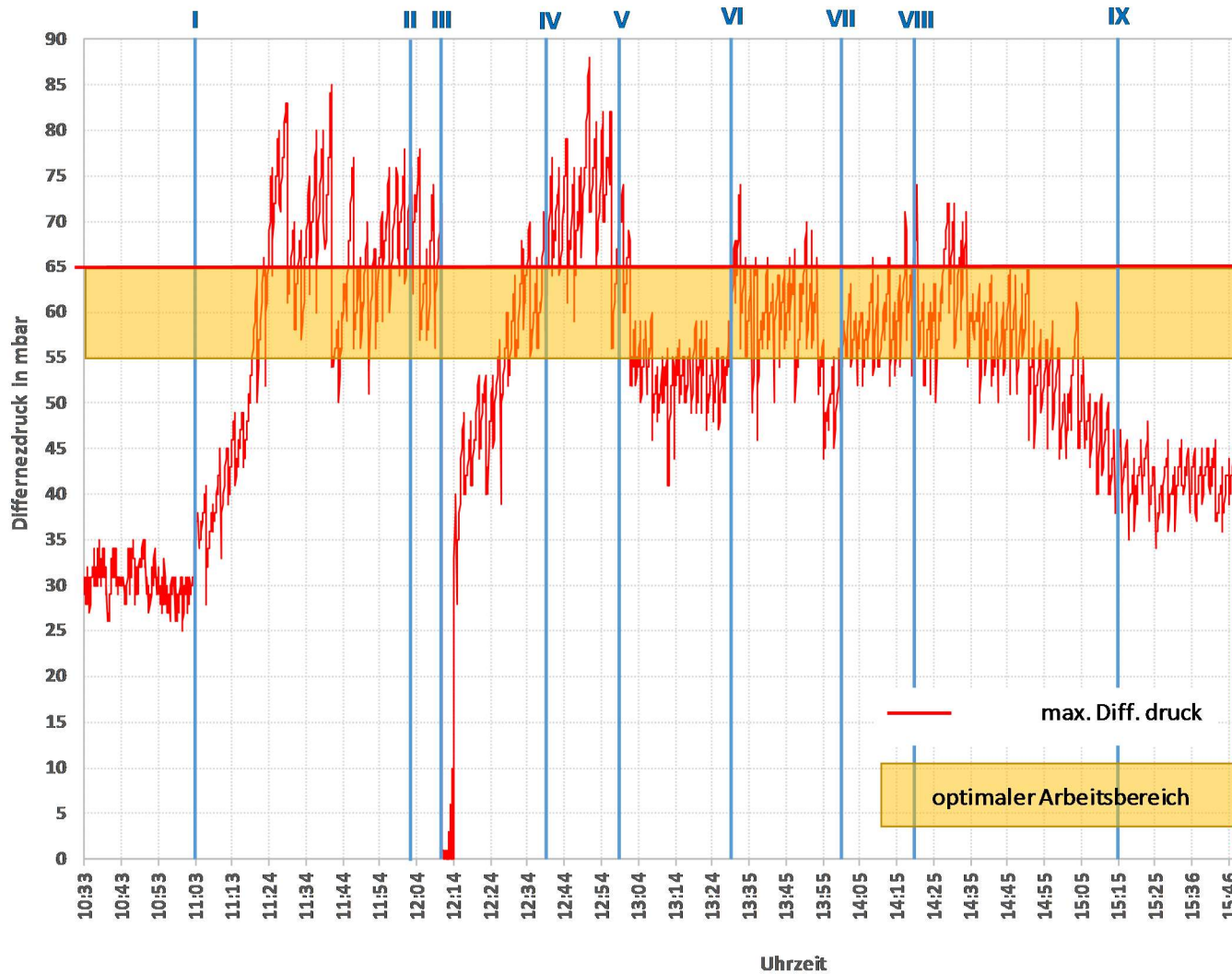
Als Brennstoff wurden bei allen Messfahrten Standard-Holzhackschnitzel (gleiche Charge) eingesetzt. Den Standardbrennstoff bilden üblicherweise Kiefer-Hackschnitzel (HHS) aus Stamm- und Waldrestholz gemäß G30 nach ÖNORM M 7133 (Norm veraltet, neu P31S nach DIN EN ISO 17225-4). Die vorhandene Feinanteilabsiebung in der Hackschnitzelzufuhr wurde ebenfalls bei allen Messfahrten genutzt. Hinsichtlich der Rückstände wurde der Nachreformer deaktiviert und folglich direkt der Filterstaub aus dem Gewebefilter gesammelt.

Der zeitliche Bereich der Versuchsdatenauswertung wurde erst nach dem Erreichen des jeweiligen stationären Zustandes ausgewählt und nahm bei den Messfahrten zwischen zwei und vier Stunden ein. Die Bestimmung des zeitlichen Beginns des stationären Zustandes erfolgte durch die Temperatur des Vergasungsmittels direkt am Eintritt des Reformers. Konnte eine konstante Temperatur der Luft (bei Betrieb ohne Nachreformer ca. 235 °C) nach der Vorwärmung nachgewiesen werden, wurde von einem stationären Betrieb ausgegangen.

Bei der Durchführung der Versuche erfolgte die Erfassung des Betriebsverhaltens der Anlage (Brennstoffbedarf, Filterstaubanfall, Volumenströme, Temperaturen, Absolutdrücke, Anlagenleistung, Störungen) sowie der Produktgaszusammensetzung (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O).

Zuvor wurden während des Betriebes der Anlage diverse Parametersätze des Reformerrosts in relativ kurzen Zeiträumen getestet, um anhand der resultierenden Differenzdrücke über den Reformer, die für die Messfahrten zu favorisierenden Parameter auszuwählen. Diese iterative Ermittlung ist in Abbildung 5-1 veranschaulicht. Der optimale Arbeitsbereich < 65 mbar wurde gewählt, um zu große Unterdrücke in der nachfolgenden Gasleistung und damit starke Leistungsschwankungen des Motorprozesses, aufgrund der durch den Motor aufzubringenden Saugleistung, zu vermeiden. Darüber hinaus war es teilweise notwendig, die Druckverhältnisse in der Gasleitung über die Leistungsvariation des Seitenkanalverdichters für die Ansaugung des Vergasungsmittels Luft anzupassen, um die beschriebenen Unterdrücke zu vermeiden. Als Ergebnis der Testfahrt wurde der Parametersatz V ausgewählt und für die Messfahrten 4/5 zur Variation der Reformerrostparameter verwendet.

## Differenzdruck Reformer



I 11:03 Uhr	5406 Untergrenze Druckdiff. Rost	40 mbar
	5203 Obergrenze Druckdiff. Rost	40 mbar
	5105 Untergrenze Drehrostzykluszeit	120 s
	5202 Obergrenze Drehrostzykluszeit	120 s
	5104 Untergrenze Anteil Rostdrehung	1 %
	5201 Obergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
II 12:03 Uhr	Gebälseleistung (+ 5%)	62,5 %
III Anlagenausfall - Fehler 21: Parameter 5303 (max. Zyklus über opt. Bereich		
IV 12:40 Uhr	5406 Untergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5203 Obergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5105 Untergrenze Drehrostzykluszeit	120 s
	5202 Obergrenze Drehrostzykluszeit	120 s
	5104 Untergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
	5201 Obergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
	Diff. Reformer > 65 mbar	
V 13:00 Uhr	5406 Untergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5203 Obergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5105 Untergrenze Drehrostzykluszeit	90 s
	5202 Obergrenze Drehrostzykluszeit	90 s
	5104 Untergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
	5201 Obergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
	Diff. Reformer < 60 mbar	
VI 13:30 Uhr	5406 Untergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5203 Obergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5105 Untergrenze Drehrostzykluszeit	90 s
	5202 Obergrenze Drehrostzykluszeit	90 s
	5104 Untergrenze Anteil Rostdrehung	5 %
	5201 Obergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
	Diff. Reformer > 65 mbar	
VII 14:00 Uhr	5406 Untergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5203 Obergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5105 Untergrenze Drehrostzykluszeit	90 s
	5202 Obergrenze Drehrostzykluszeit	90 s
	5104 Untergrenze Anteil Rostdrehung	7 %
	5201 Obergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
	Diff. Reformer > 65 mbar	
VIII 14:20 Uhr	5406 Untergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5203 Obergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5105 Untergrenze Drehrostzykluszeit	100 s
	5202 Obergrenze Drehrostzykluszeit	100 s
	5104 Untergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
	5201 Obergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
	Diff. Reformer ≈ 60 mbar	
IX 15:15 Uhr	5406 Untergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5203 Obergrenze Druckdiff. Rost	65 mbar
	5105 Untergrenze Drehrostzykluszeit	110 s
	5202 Obergrenze Drehrostzykluszeit	110 s
	5104 Untergrenze Anteil Rostdrehung	10 %
	5201 Obergrenze Anteil Rostdrehung	10 %

Abbildung 5-1: Differenzdruck über den Reformer während der Testmessfahrt

In der folgenden Tabelle 5-1 ist der für die MF4/5 ausgewählte Parametersatz V aufgeführt.

**Tabelle 5-1: Ausgewählter Parametersatz V**

Parameternr.	Beschreibung	Einheit	Wert
5406	Untergrenze Druckdiff. Rost	mbar	65
5203	Obergrenze Druckdiff. Rost	mbar	65
5105	Untergrenze Drehrostzykluszeit	s	90
5202	Obergrenze Drehrostzykluszeit	s	90
5104	Untergrenze Anteil Rostdrehung	%	10
5201	Obergrenze Anteil Rostdrehung	%	10

Anhand der Ergebnisse der MF4/5 wurde für die anschließenden Messfahrten der in Tabelle 5-2 dargestellte Parametersatz eingesetzt.

**Tabelle 5-2: Parametersatz des Reformerrostes für Versuchsphase Variation**

Parameternr.	Beschreibung	Einheit	Wert
5406	Untergrenze Druckdiff. Rost	mbar	65
5203	Obergrenze Druckdiff. Rost	mbar	65
5105	Untergrenze Drehrostzykluszeit	s	120
5202	Obergrenze Drehrostzykluszeit	s	120
5104	Untergrenze Anteil Rostdrehung	%	15
5201	Obergrenze Anteil Rostdrehung	%	30

Zum Vergleich sind in Tabelle 5-3 die Standardparameter des Reformerrostes aufgeführt, die während der Versuchsphase Standard genutzt wurden.

**Tabelle 5-3: Parametersatz des Reformerrostes für Versuchsphase Standard**

Parameternr.	Beschreibung	Einheit	Wert
5406	Untergrenze Druckdiff. Rost	mbar	30
5203	Obergrenze Druckdiff. Rost	mbar	55
5105	Untergrenze Drehrostzykluszeit	s	8
5202	Obergrenze Drehrostzykluszeit	s	35
5104	Untergrenze Anteil Rostdrehung	%	3
5201	Obergrenze Anteil Rostdrehung	%	20

## 6 Beschreibung der Messfahrten

### 6.1 Allgemeines Vorgehen

Zur Protokollierung des Versuches wurden alle aktuellen Messdaten (Brennstoffmasse, Temperaturen, Produktgasanalyse, Anlagenleistung) im 10 s Messintervall erfasst und in einer Versuchsdatenbank abgelegt. Außerdem wurden evtl. aufgetretene Anlagenstörungen, durchgeführte Probenahmen u.ä. im Logbuch protokolliert. Während der Versuchsfahrten wurden mehrere Brennstoffproben direkt aus der Fördereinrichtung entnommen. Die Filterstaubprobenahmen erfolgten während der jeweiligen Versuchsfahrt im Zuge der Abwägung der aufgefundenen Filterstaubmasse, die zum Versuchsende aufsummiert wurden.

Die Auswertung der jeweiligen Versuche wurde nur im stationären Anlagenzustand vorgenommen, um die Vergleichbarkeit der Messfahrten zu gewährleisten.

### 6.2 Übersicht Messfahrten

Zur Übersicht sind in Tabelle 6-1 die durchgeführten Messfahrten dargestellt. Die Messfahrt am 9.1.17 diente nur zu Testzwecken, um bestimmte Parametereinstellungen des Reformerrostes auszuschließen bzw. zu favorisieren (vgl. Abbildung 5-1). Vom 2.-3.2.17 sollte die Anlage mit den Standardparametern durchgehend betrieben werden. Da zwischendurch eine Anlagenstörung auftrat und die Anlage erst nach Behebung dieser am 3.2.17 wieder in Betrieb genommen werden konnte, wurden die Versuchsdaten in die zwei MF2/3 eingeordnet, wobei bzgl. MF3 kein stationärer Zustand erreicht werden konnte. Am 13.2.17 wurden zu Beginn der MF4 die Standardparameter des Reformerrostes verwendet (vgl. Tabelle 5-3). Nach dem Einfahren der Anlage wurde gegen 13:10 Uhr ein Parametersatz eingestellt und bis zum Ende beibehalten, der als Ergebnis der Testmessfahrt (MF1) favorisiert wurde (vgl. Tabelle 5-1). Dieser wurde auch bei der anschließenden MF5 vom 22.2.17 eingesetzt. Im Rahmen der MF6 vom 29.3.17 konnte eine betriebsgemäße Funktion des Gewebefilters nicht erreicht werden, sodass dieser Versuch abgebrochen wurde und der Filterschlauch des Gewebefilters anschließend ersetzt werden musste. MF7 vom 12.4.17 beinhaltete wiederum die Standardfahrweise, wobei aufgrund einer Anlagenstörung nur ein relativ kurzer Auswertungszeitraum im stationären Anlagenzustand zur Verfügung stand. Als Ergebnis der vorangegangenen Messfahrten wurde für die MF8 (26.4.17) ein veränderter Parametersatz für den Reformerrost eingesetzt, die Daten aufgenommen, jedoch vorerst die Quantität und Qualität des Filterstaubes noch nicht erfasst. Somit diente diese Messfahrt ebenfalls der Auswahl geeigneter Rostparameter. In Folge dessen wurde der am 26.4. getestete Parametersatz (vgl. Tabelle 5-2) während der gesamten folgenden MF9 (2.5.17) eingesetzt und ausgewertet. MF10 vom 3.5.17 diente wiederum nur zu Testzwecken und die abschließende MF11 beinhaltete die Fahrweise mit den Werkseinstellungen bzw. Standardparametern des Reformerrostes.

**Tabelle 6-1: Übersicht der durchgeführten Versuchsfahrten**

Datum	Einheit	Messfahrten										
		9.1.17	2.2.17	3.2.17	13.2.17	22.2.17	29.3.17	12.4.17	26.4.17	2.5.17	3.5.17	10.5.17
Bezeichnung		MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8	MF9	MF10	MF11
Versuchsziel S...Standard   V...Variation		Test	S	S	V	V	-	S	Test	V	Test	S
Startzeit (Start BHKW)	h:min	9:58	10:57	9:02	9:36	10:40	-	8:03	9:02	8:48	10:14	8:37
Endzeit	h:min	15:45	19:29	13:00	16:11	16:46	8:35	16:16	17:17	18:00	15:00	16:30
Versuchsdauer Gesamt	h	5,8	8,5	4,0	6,6	6,1	-	8,2	8,3	9,2	4,8	7,9
Versuchsdauer Variation	h	4,7	-	-	5,0	6,1	-	-	5,5	9,2	-	-
Auswertung Standard	h	-	2,1	2,0	-	-	-	1,5	-	-	-	4,0
Auswertung Variation	h	-	-	-	3,0	4,0	-	-	-	4,0	-	-



## 7 Laboranalysen von Brennstoff und Filterstaub

### 7.1 Analysenmethoden zur Bestimmung

Das Labor für Brennstoffanalytik an der HSZG verfügt über vielfältige Analysemöglichkeiten hinsichtlich der Brennstoffbewertung. Auf das entnommene Probenmaterial wurden folgende Analysemethoden angewendet. Zum einen wurden Kurzanalysen nach DIN 51718-51720 und DIN 51734 durchgeführt. Darüber hinaus wurde der Brennstoff hinsichtlich seiner Elementarzusammensetzung nach DIN 51732/51733 und DIN 51724-3 analysiert.

Alle Analysedaten der jeweiligen Probe wurden hinsichtlich ihrer Abweichung zueinander nach den geltenden Normen bewertet und nur die Daten ausgewertet, die hinsichtlich ihrer Abweichung zueinander die Präzisionsvorgaben erreichten.

### 7.2 Probenmaterial

Als Brennstoff wurden Kiefer-HHS gemäß P31S/P45S<sup>1</sup> verwendet. Diese wurden vor dem Einsatz auf den gewünschten Wassergehalt (< 10 Ma.-%) getrocknet.

Die Filterstaubproben aus dem Gewebefilter wurden im Zuge der Sammelbehälterabwägung während der jeweiligen Messfahrt entnommen und protokolliert.

### 7.3 Ergebnisse der Brennstoffanalyse

Es wurde keine Wassergehaltsbestimmung des eingesetzten Brennstoffes durchgeführt. Durch entsprechend lange Trocknungszeiten des Biomassetrockners wurde sichergestellt, dass die HHS für alle Messfahrten einen Wassergehalt von < 10 Ma.-% aufwiesen.

Die Analysedaten der HHS (Kurzanalyse, Elementaranalyse) entstammen vorherigen Messfahrten, können aber aufgrund der identischen Charge auch für die Auswertung der Rostparametervariation verwendet werden. Die Ergebnisse der Kurzanalyse sind nachfolgend, auf wasserfreien Zustand (TS) umgerechnet, in Tabelle 7-1 zusammengestellt.

Tabelle 7-1: Kurzanalysergebnisse der Standard-HHS

Probennummer	Fixer Kohlenstoff Ma.-% TS	Flüchtige Bestandteile Ma.-% TS	Asche Ma.-% TS
20160030/39/105_MW	16,8	82,7	0,50

Die Elementaranalyse der eingesetzten HHS ergab die in Tabelle 7-2 dargestellten, auf die Trockensubstanz (TS) bezogenen Massenprozent der Elemente N/C/H/S. Der Anteil des Elementes O wurde rechnerisch aus der Summe der analysierten Elemente und der Asche ermittelt.

Tabelle 7-2: Elementaranalyse der Standard-HHS

Probennummer	N Ma.-% TS	C Ma.-% TS	H Ma.-% TS	S Ma.-% TS	O_rechn Ma.-% TS	A Ma.-% TS
20160030/39/105_MW	0,04	51,6	5,65	0,00	42,2	0,50

### 7.4 Ergebnisse der Filterstaubanalyse

Die Ergebnisse der Kurzanalyse bezüglich der jeweiligen Filterstaubproben sind in der Tabelle 7-3 zusammengestellt. Dabei wurde unterschieden zwischen den Filterstaubprobenahmen der jeweiligen Messfahrt. Da sich die Analysergebnisse der stündlichen Probenahme nur

<sup>1</sup> nach DIN EN ISO 17225-4

marginal voneinander unterschieden, wird hier der Mittelwert je Messfahrt nach den geltenden Normen angegeben. Der Entnahmepunkt der Proben ist im Kapitel 7.2 beschrieben.

Tabelle 7-3: Kurzanalysenergebnisse der Filterstäube geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase

Messfahrt	Probenanzahl n	Versuchsphase	Analysenfeuchtigkeit Ma.-%	Flüchtige Bestandteile Ma.-%	Fixer Kohlenstoff Ma.-%	Asche Ma.-%
MF2	3	Standard	1,8	9,9	71,8	16,52
MF3	2	Standard	1,8	10,1	71,6	16,60
MF4	3	Variation	1,7	11,3	67,1	19,94
MF5	3	Variation	2,1	11,3	66,8	19,78
MF7	2	Standard	3,5	11,9	66,0	18,66
MF9	6	Variation	2,2	10,9	69,5	17,39
MF11	3	Standard	1,5	10,7	70,3	17,65

Um die durchgeführten Rostparameterversuche grafisch zusammenfassend darzustellen, sind die entsprechenden Analysenergebnisse der zugehörigen Proben des Filterstaubes in Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2 geordnet nach Messfahrten und der Versuchsphase dargestellt. Darüber hinaus sind die Aschegehalte der jeweiligen Probe als Zahlenwert im Diagramm aufgeführt. Dabei ist ersichtlich, dass sich der Aschegehalt des Filterstaubes bei veränderten Rostparametern nicht nachweisbar erhöht. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Verweilzeit des Materials im Reaktionsprozess sich nicht erhöht und damit der Brennstoffumsatzgrad mit Veränderung der Rostparameter nicht beeinflusst wird.

### Kurzanalyse Filterstaub

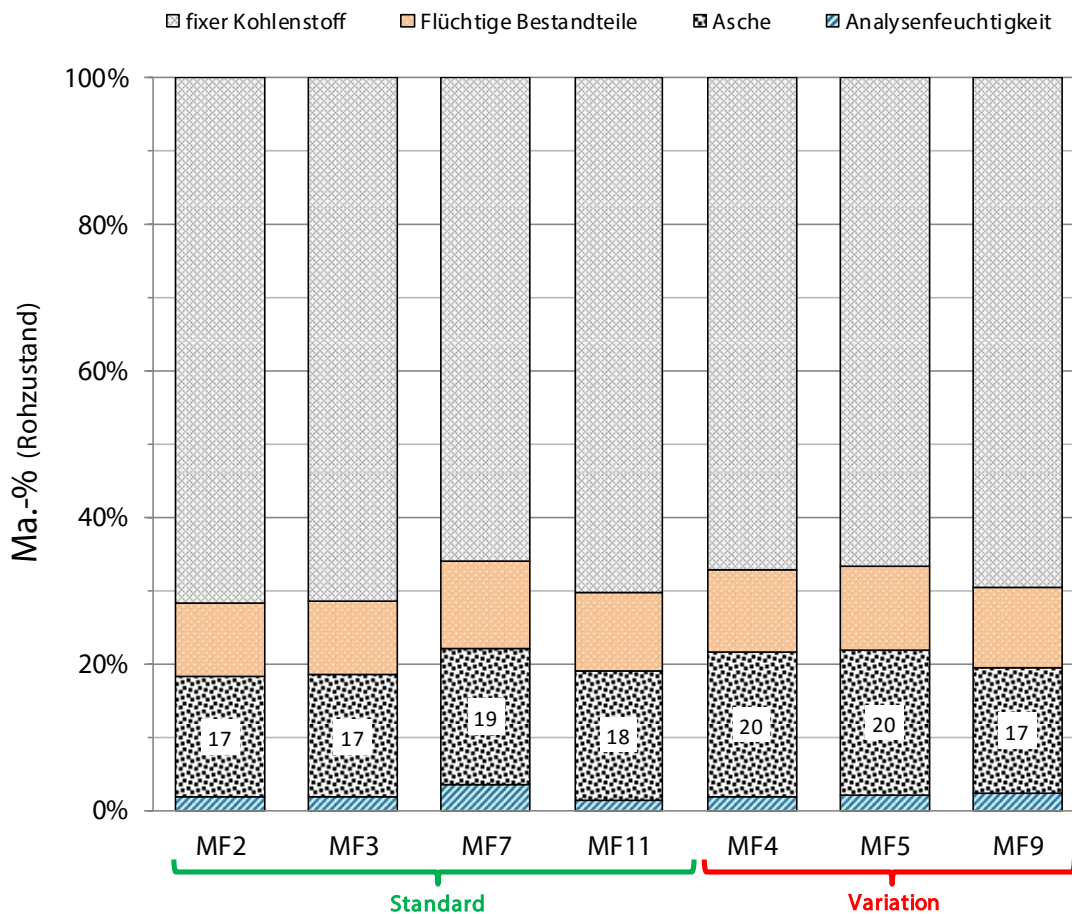


Abbildung 7-1: Grafische Darstellung der Kurzanalysenergebnisse des Filterstaubes (in Ma.-%), geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase



# Kurzanalyse Filterstaub

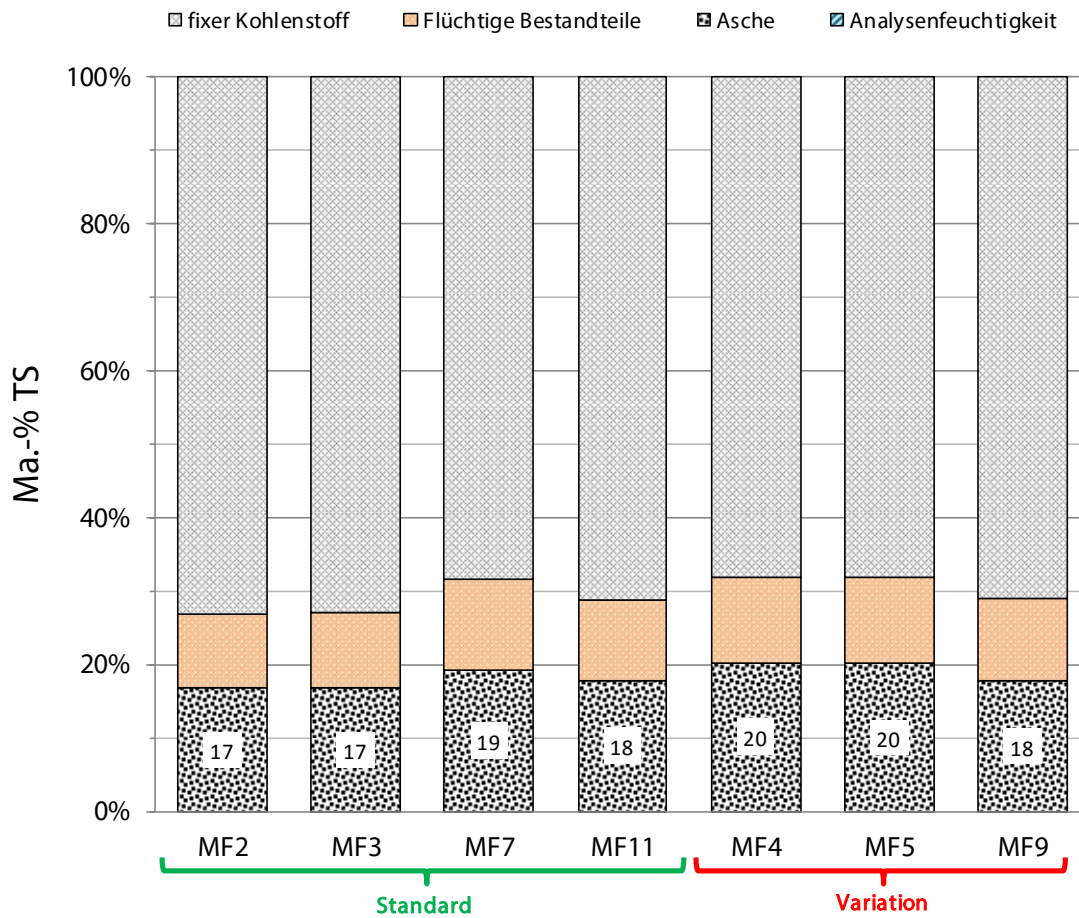


Abbildung 7-2: Grafische Darstellung der Kurzanalyseergebnisse des Filterstaubes (in Ma.-% TS), geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase

## 8 Auswertung der Messfahrten

Zur Bewertung der Rostparameter für die Vergasung wurden die Messfahrten im Nennlastbereich der Anlage durchgeführt. Bei der Auswertung wurde primär auf die mit dem Reformier (Vergasungsreaktor) in Verbindung stehenden Stoffströme Brennstoff, Produktgas und Filterstaub geachtet und abschließend mit der Verwendung der Standardrostparameter bei identischen Anlageneinstellungen verglichen.

### 8.1 Stoffströme

#### 8.1.1 Brennstoff

Wie in Tabelle 8-1 ersichtlich, wurde allg. ein Brennstoffbedarf von ca. 26,4 bis 33,1 kg/h für den jeweiligen Auswertungszeitraum erfasst. Werden die Messfahrten Standard und Variation hinsichtlich des Brennstoffmassenstroms miteinander verglichen, ist erkennbar, dass keine Aussage zu einem ggf. steigenden oder sinkenden Brennstoffbedarf getroffen werden kann.

Tabelle 8-1: Brennstoffbedarf geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase

	Einheit	Messfahrten						
Datum		MF2	MF3	MF4	MF5	MF7	MF9	MF11
Fahrweise		Standard	Standard	Variation	Variation	Standard	Variation	Standard
Auswertungszeitraum	h	2,1	2	3	4	1,5	4	4
Brennstoffbedarf	kg/h	26,4	33,1	30,0	27,8	28,8	28,5	30,3
Wassergehalt	Ma-%	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

Die erfassten Brennstoffmassenströme sind zur weiteren Veranschaulichung grafisch in Abbildung 8-1 abgebildet.

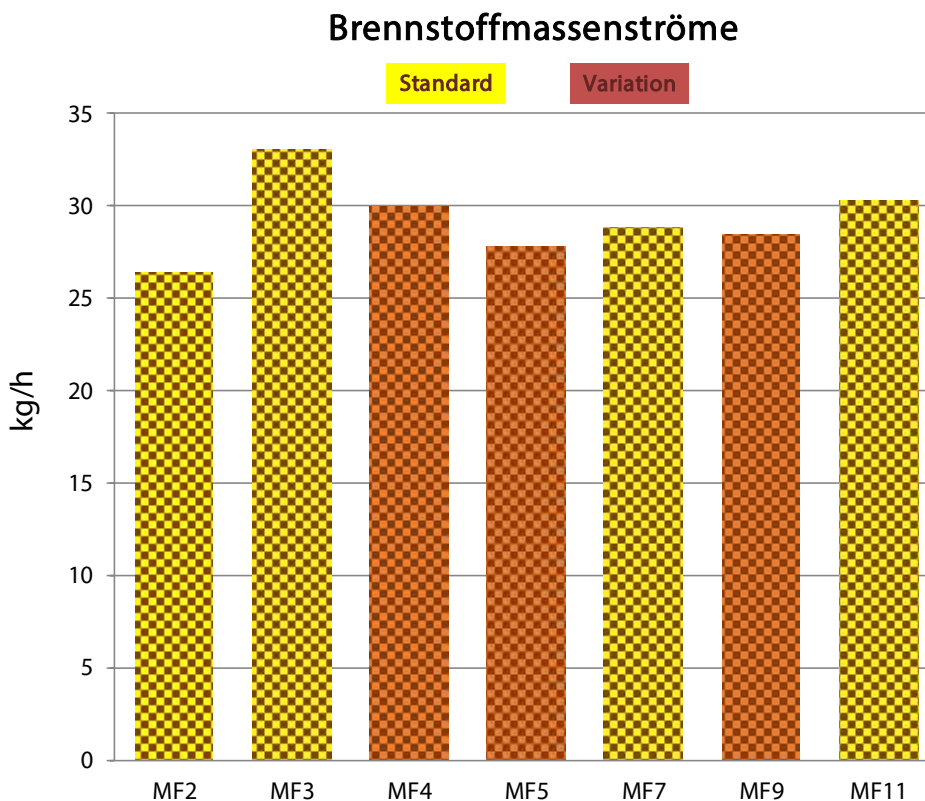


Abbildung 8-1: Erfasste Brennstoffmassenströme, geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase

## 8.1.2 Produktgas / Vergasungsmittel

Mit der zur Verfügung stehenden Gasanalytik (mobiler Messkoffer Visit 03H der Fa. Eheim Messtechnik GmbH) konnten für einige Messfahrten die Produktgasanteile (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) erfasst werden. Mithilfe des angenommenen Wassergehaltes von 10 Vol.-%<sup>2</sup> erfolgte die Umrechnung in eine feuchte Zusammensetzung (in Vol.-%, feucht). Unter Verwendung der spezifischen Gasheizwerte wurde anschließend der Heizwert des feuchten Produktgasgemisches ermittelt. Die entsprechenden Werte sind geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase in Tabelle 8-2 aufgeführt. Hierbei ist erkennbar, dass keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Produktgasqualität im Vergleich der Versuchsphasen Standard und Variation festzustellen sind.

**Tabelle 8-2: Heizwert des Produktgases im Vergleich der Versuchsphasen Variation und Standard**

Bezeichnung	Einheit	Messfahrten				
		MF5	MF7	MF9	MF10	MF11
Fahrweise		Variation	Standard	Variation	Standard	Standard
Auswertungszeitraum	h	4,0	1,2	1,5	1,0	4,0
Heizwert Produktgas	MJ/m <sup>3</sup> (i.N.)	5,5	5,4	5,4	5,3	5,5
	MJ/kg	5,1	5,0	5,0	5,0	5,1

Ausgehend von den in Tabelle 8-2 dargestellten Produktgasheizwerten und unter Berücksichtigung der erfassten Produktgasstoffströme wurde die Produktgasleistung berechnet. Die entsprechenden Produktgasvolumenströme sind ebenso wie der Volumenstrom des Vergasungsmittels und die elektrische BHKW-Leistung in der nachfolgenden Tabelle 8-3 aufgeführt. Auch diesbezüglich waren keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der Versuchsphasen Standard und Variation festzustellen.

**Tabelle 8-3: Volumenstrom Produktgas und Vergasungsmittel, Produktgasleistung und elektrische BHKW-Leistung in den Auswertungszeiträumen**

Bezeichnung	Einheit	Messfahrten				
		MF5	MF7	MF9	MF10	MF11
Fahrweise		Variation	Standard	Variation	Standard	Standard
Auswertungszeitraum	h	4,0	1,2	1,5	1,0	4,0
Volumenstrom Produktgas	m <sup>3</sup> /h (i.N.)	72,0	75,6	70,3	72,5	72,6
Volumenstrom Vergasungsmittel	m <sup>3</sup> /h (i.N.)	33,2	36,2	36,3	36,0	35,7
Luftzahl		0,36	0,39	0,40	0,38	0,35
Produktgasleistung	kW	110,6	112,1	106,5	107,7	111,2
Elektrische BHKW-Leistung	kW	29,1	32,2	31,7	30,9	31,1

In Abbildung 8-2 sind die Differenzdrücke über dem Reformier mit ihrem Maximal-, Minimal- und Mittelwert für die Auswertungszeiträume der jeweiligen Messfahrten grafisch dargestellt. Zu erkennen sind die deutlich höheren Differenzdrücke sowie deren größere Schwankungsbreite bei Versuchsphase Variation ggü. der Versuchsphase Standard.

<sup>2</sup> aufgrund eines Defektes der Analytik, Annahme entspricht dem Erfahrungswert vorheriger umfangreicher Analysen

### Vergleich der Differenzdrücke über dem Reformer bei **Standard** und **Variation**

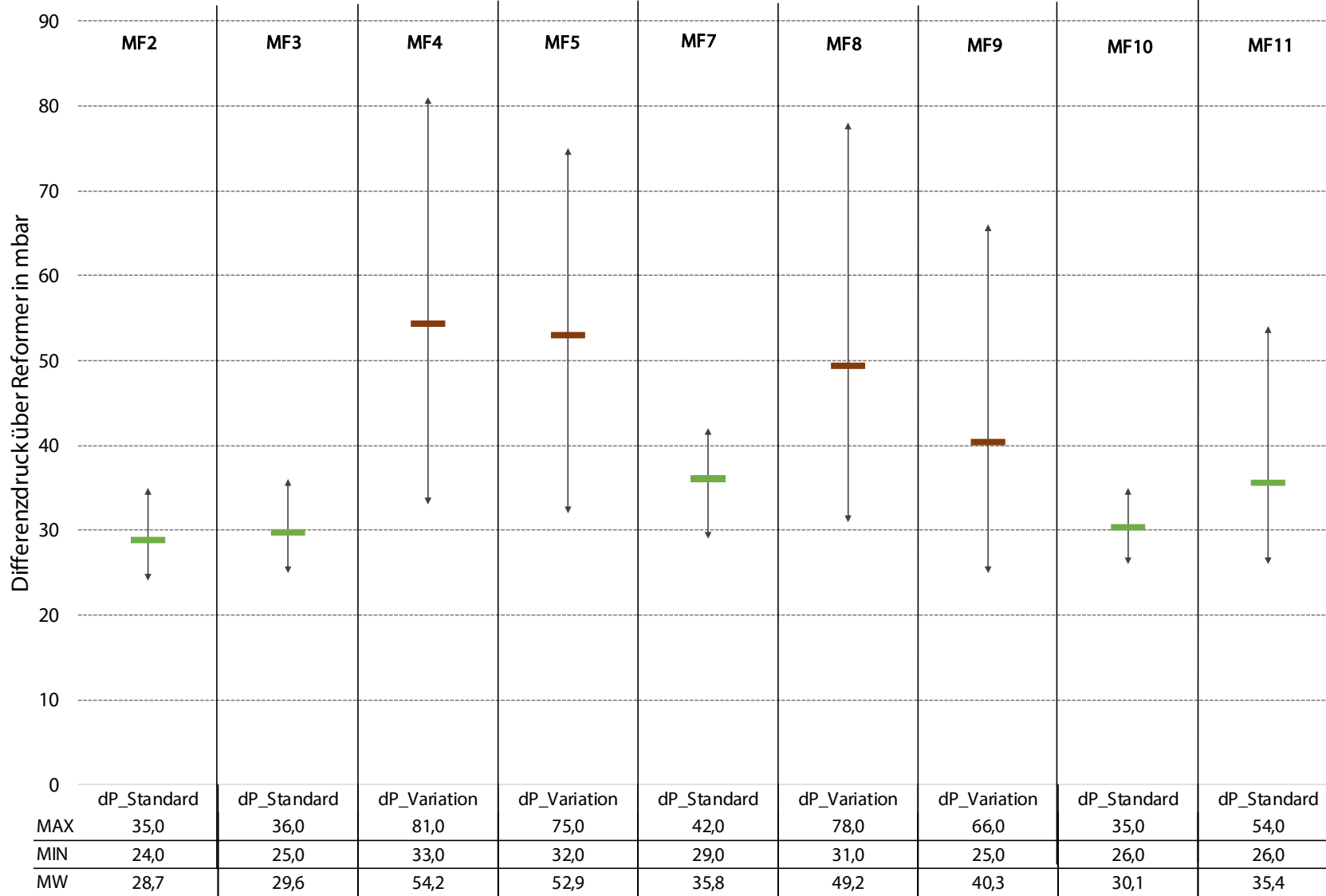


Abbildung 8-2: Vergleich der Differenzdrücke über dem Reformer

### 8.1.3 Filterstaub

In Tabelle 8-4 ist der erfasste Filterstaubanfall und dessen Charakterisierung hinsichtlich Asche- und  $C_{\text{fix}}$ -Anteil geordnet nach den Messfahrten und Versuchsphasen dargestellt. Dabei wurde für die Standardparameter ein Filterstaubanfall von 2,6 bis 3,6 Ma.-% bezogen auf den Brennstoffinput analysiert. Bei Variation der Rostparameter wurde ein Filterstaubanfall von 2,6 bis 2,8 Ma.-% bezogen auf den Brennstoffinput ermittelt. Die grafische Darstellung der Filterstaubzusammensetzung ist geordnet nach den Messfahrten im Kapitel 7.4 aufgeführt.

Tabelle 8-4: Anfall und Charakterisierung der Filterstaubproben

		Einheit	Messfahrten						
Datum			MF2	MF3	MF4	MF5	MF7	MF9	MF11
Fahrweise			Standard	Standard	Variation	Variation	Standard	Variation	Standard
Filterstaubanfall		g/h	779	908	772	785	1035	792	794
		Ma.-%*	3,0	2,7	2,6	2,8	3,6	2,8	2,6
Filterstaub- zusammensetzung	A	Ma.-% TS	16,83	16,90	20,28	20,21	19,32	17,78	17,90
	$C_{\text{fix}}$	Ma.-% TS	73,1	72,9	68,2	68,2	68,4	71,1	71,3

\* die Angabe bezieht sich auf die Brennstoffinputmasse

Die erfassten Filterstaubmassenströme sind zur weiteren Veranschaulichung grafisch in Abbildung 8-3 abgebildet.

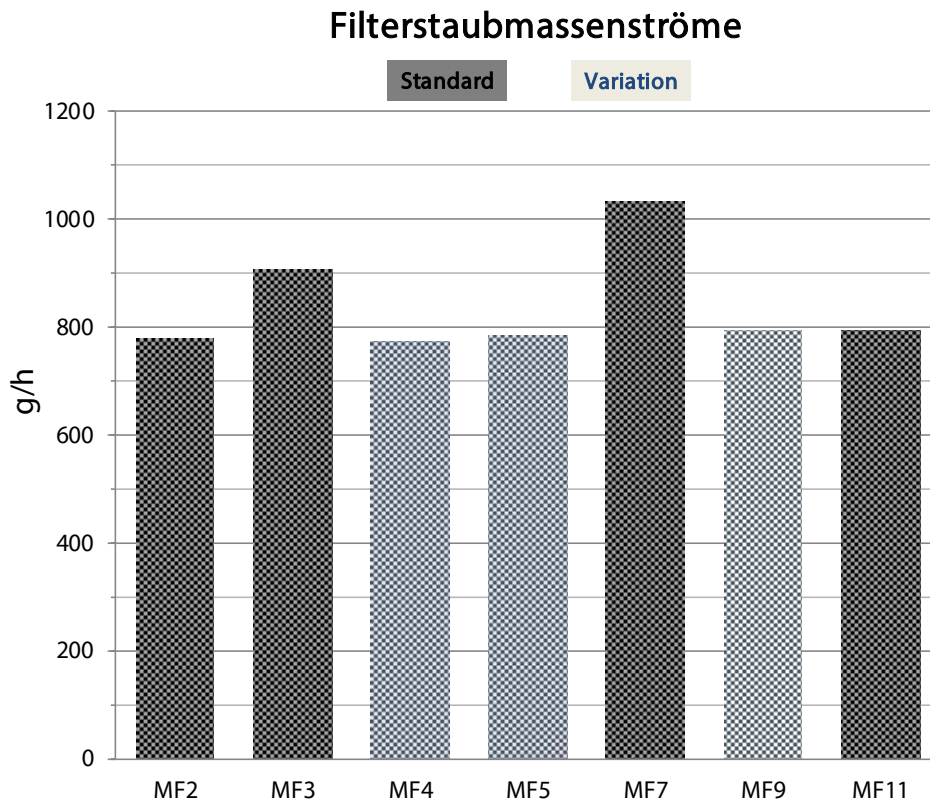


Abbildung 8-3: Erfasste Filterstaubmassenströme geordnet nach Messfahrt und Versuchsphase

## 8.2 Störungen

Während der Messfahrten traten einige Störungen auf, die eine Datenauswertung im stationären Zustand der jeweiligen Versuchsphase beeinträchtigten. Diesbezüglich wurde versucht, die entsprechenden Auswertungszeiträume in Betriebsphasen zu legen, in denen keine Auswirkungen durch Störungen u.ä. auftraten. Die im Rahmen der Messfahrten aufgetre-

tenen Störungen und ihre Auswirkungen sind in folgender Tabelle 8-5 aufgeführt. Ohne Beeinträchtigung konnten nur MF9 und MF11 durchgeführt werden.

Tabelle 8-5: Übersicht der Störungen während der Messfahrten

Messfahrten	Störungen	Auswirkung	Beeinträchtigung Auswertung
MF2	Füllstandsensor Reformer verblockt, Gewebefilter verschlissen	Störungen Reformer (Überfüllungsreduktion etc.), Gewebefilter Intensivreinigungen, kein stationärer Zustand	ja
MF3	Füllstandsensor Reformer verblockt, Gewebefilter verschlissen, Brennstoff zu nass	Störungen Reformer (Überfüllungsreduktion etc.), kein stationärer Zustand, Abfall elektrische BHKW-Leistung	ja
MF4	Brennstoff zu nass, Gewebefilter verschlissen, Störungen stat. Gasanalyse	Abfall elektrische BHKW-Leistung, kurzer Abreinigungsintervall Gewebefilter, Gewebefilter Intensivreinigungen, nur mobile Gasanalyse verfügbar	ja
MF5	Gewebefilter verschlissen, Störungen stat. Gasanalyse	kurzer Abreinigungsintervall Gewebefilter, nur mobile Gasanalyse verfügbar	ja
MF7	Verblockung Hackschnitzelzufuhr, Störung Anlagensteuerung	Kein stationärer Zustand erreicht	ja
MF9	Stationäre Gasanalyse defekt	Nur mobile Gasanalyse verfügbar	nein
MF11	keine	keine	nein

### 8.3 Anlagenfahrweise

Das Holzvergaser-BHKW wurde während der entsprechenden Versuche mit jeweils identischen Anlageneinstellungen betrieben, um die Vergleichbarkeit der Messdaten zu gewährleisten. Hinsichtlich der Konditionierung der HHS wurden diese in der Trocknungsanlage bis auf einen Wassergehalt von < 10 Ma.-% getrocknet (annähernd vergleichbar für alle Messfahrten). Außerdem wurde bei allen Messfahrten die Feinanteilsiebung in der Hackschnitzelschnecke nach dem Tagesbehälter genutzt, sodass alle HHS gesiebt dem Vergasungsprozess zugeführt wurden. Grobanteile wurden nicht entfernt. Die Trocknung der HHS auf einen exakt definierten Wassergehalt ist durch die Vielzahl der Rahmenbedingungen (z.B. variieren der Wassergehalt der zu trocknenden HHS) nicht möglich.

Die Einstellung des mechanischen Füllstandgebers im Reformer wurde für alle Messfahrten mit der vorhandenen Lehre justiert und entspricht ca. 9,5 cm (vertikaler Abstand vom Füllstandgeber in der unteren Lage und Oberkante der Luftdüsen). Die Leistung des Seitenkanalverdichters für die Ansaugung des Vergasungsmittels Luft wurde während der Versuche nicht konstant gehalten, um die Druckverhältnisse in der Gasleitung in einem üblichen Arbeitsbereich zu halten (siehe Kapitel 5). Dabei wurde bei Standardfahrweise der Verdichter mit Einstellwerten von 57,5 bis 62,5 % und bei Variation mit 60 bis 65 % betrieben.

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 8-4 bis Abbildung 8-10) werden die erfassten Differenzdrücke über die Anlagenkomponenten Reformer, Wärmeübertrager, Gewebefilter und Notfilter sowie die elektrische Leistung des BHKW während der Messfahrten dargestellt. Außerdem sind der jeweilige Auswertungszeitraum und die für diesen Abschnitt analysierten Charakterisierungen des Filterstaubes aufgeführt. Es ist erkennbar, dass mit Veränderung der Rostparameter die Druckdifferenz über den Reformer ggü. der Verwendung der Standardparameter deutlich größer ist.

Hinsichtlich der MF2 bis MF5 ist zu bemerken, dass der Gewebefilter verschlissen und damit dessen Reinigungsintervall (erkennbar anhand des Differenzdruckverlaufs über den Gewebefilter (DifDruck\_Filter)) deutlich kürzer war als nach dem Wechsel des Filters (vgl. MF7 bis MF11).



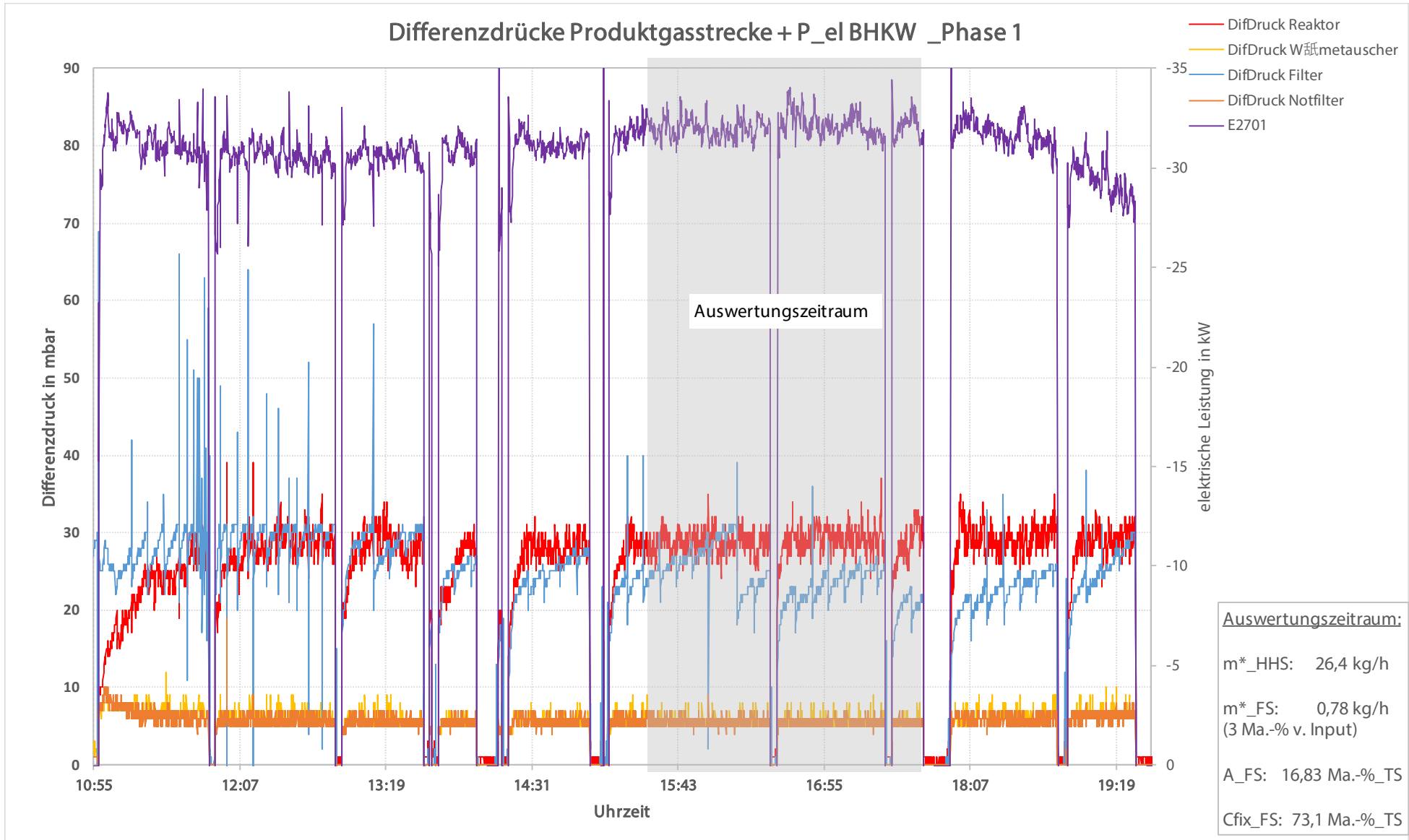


Abbildung 8-4: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF2

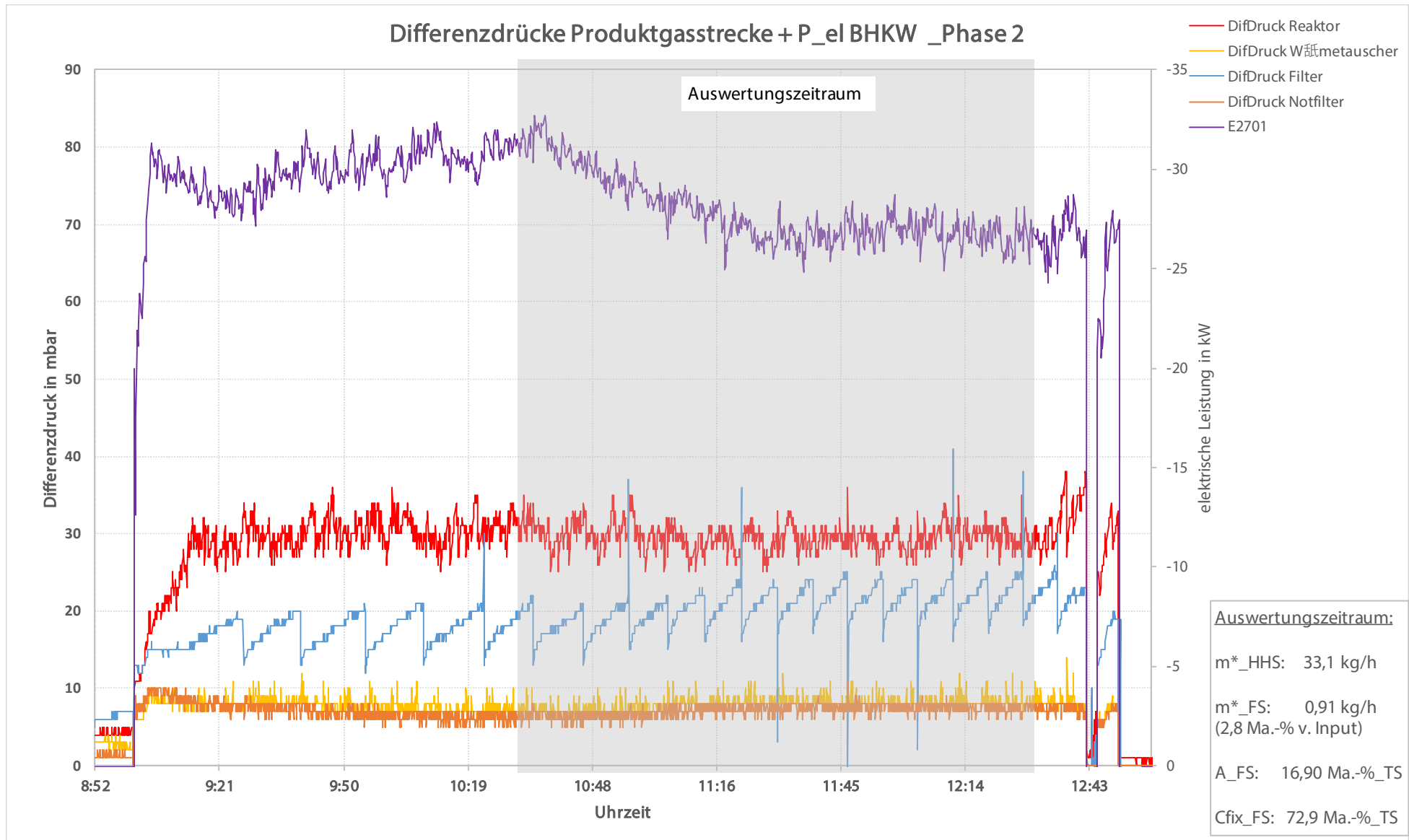


Abbildung 8-5: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF3



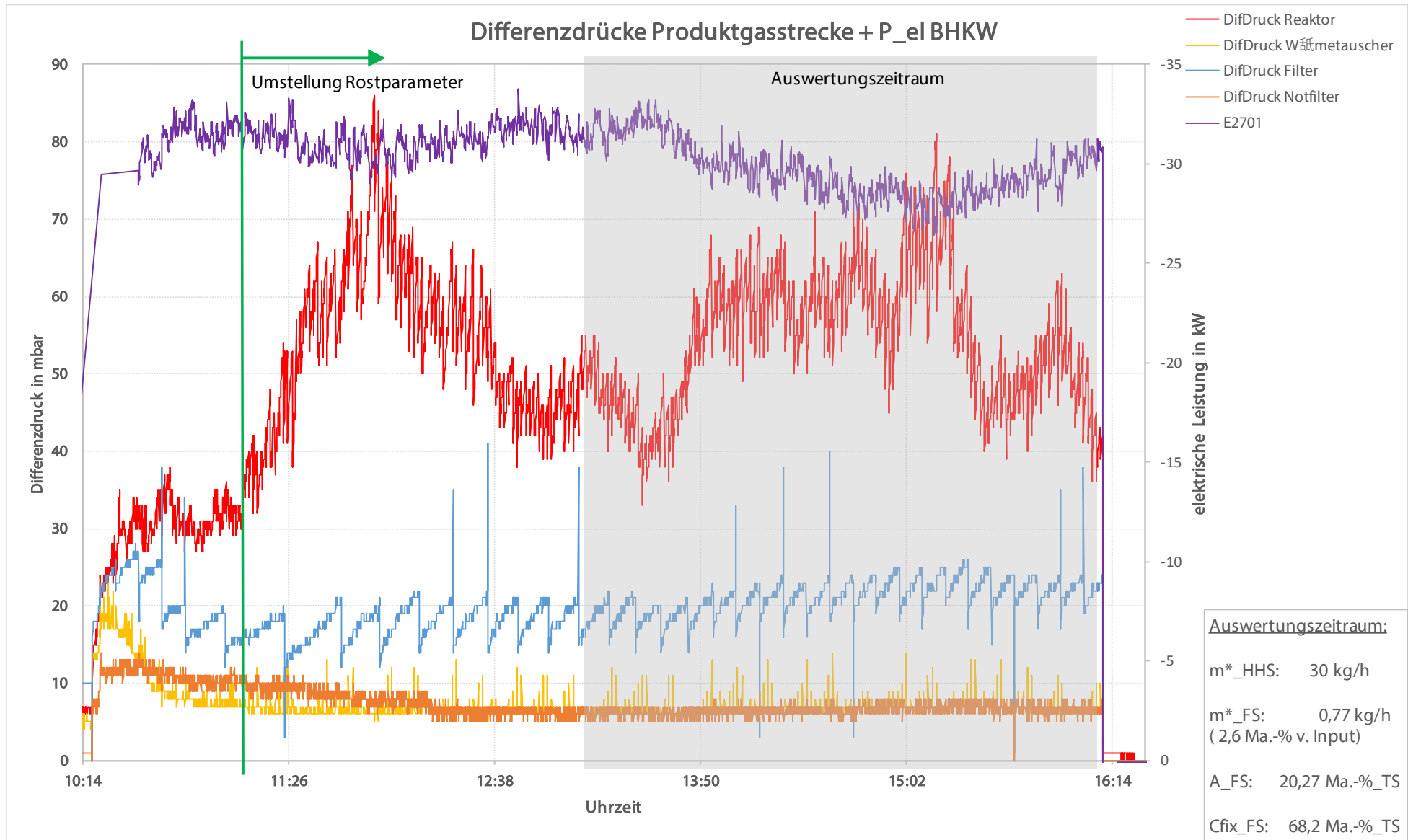


Abbildung 8-6: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF4

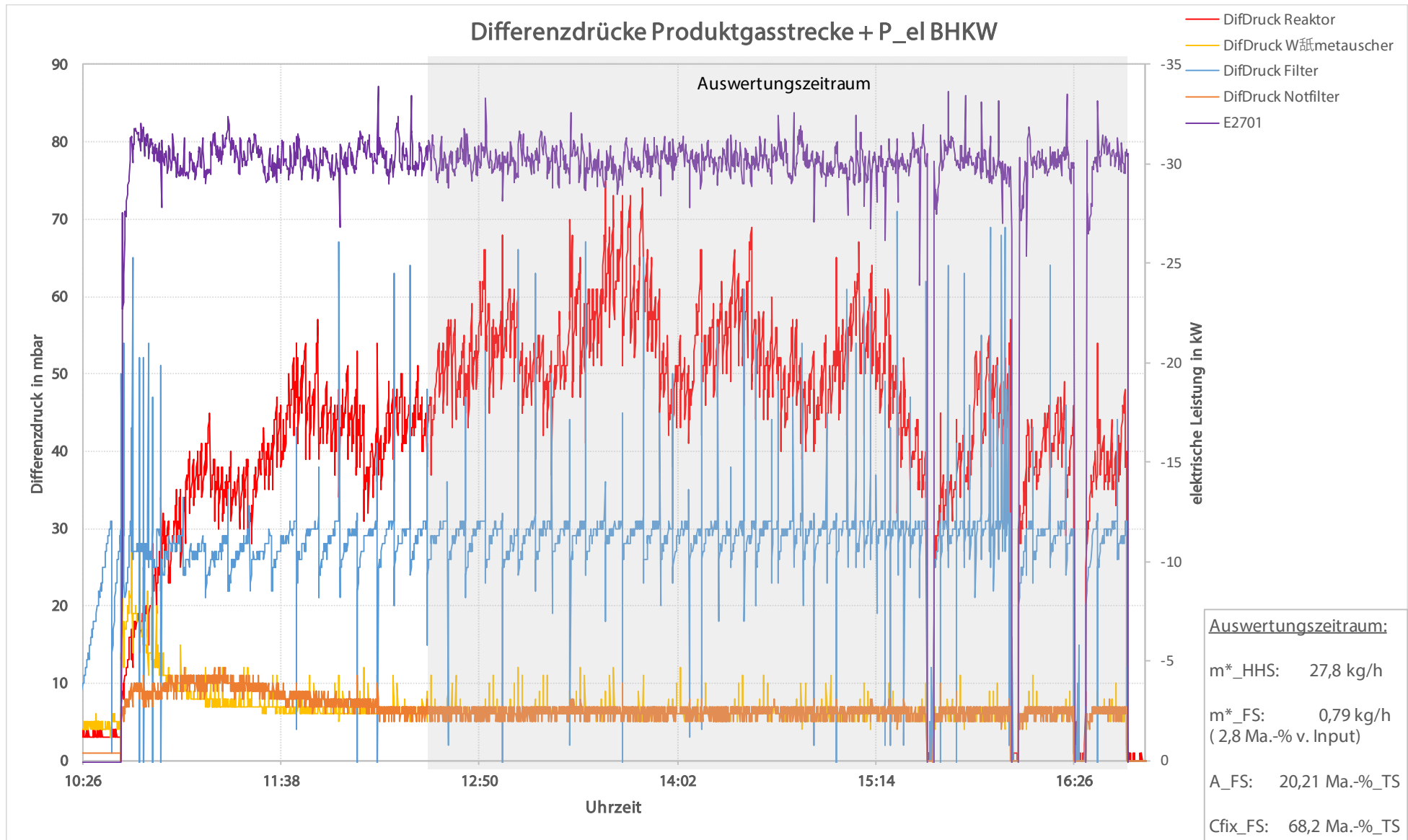


Abbildung 8-7: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF5

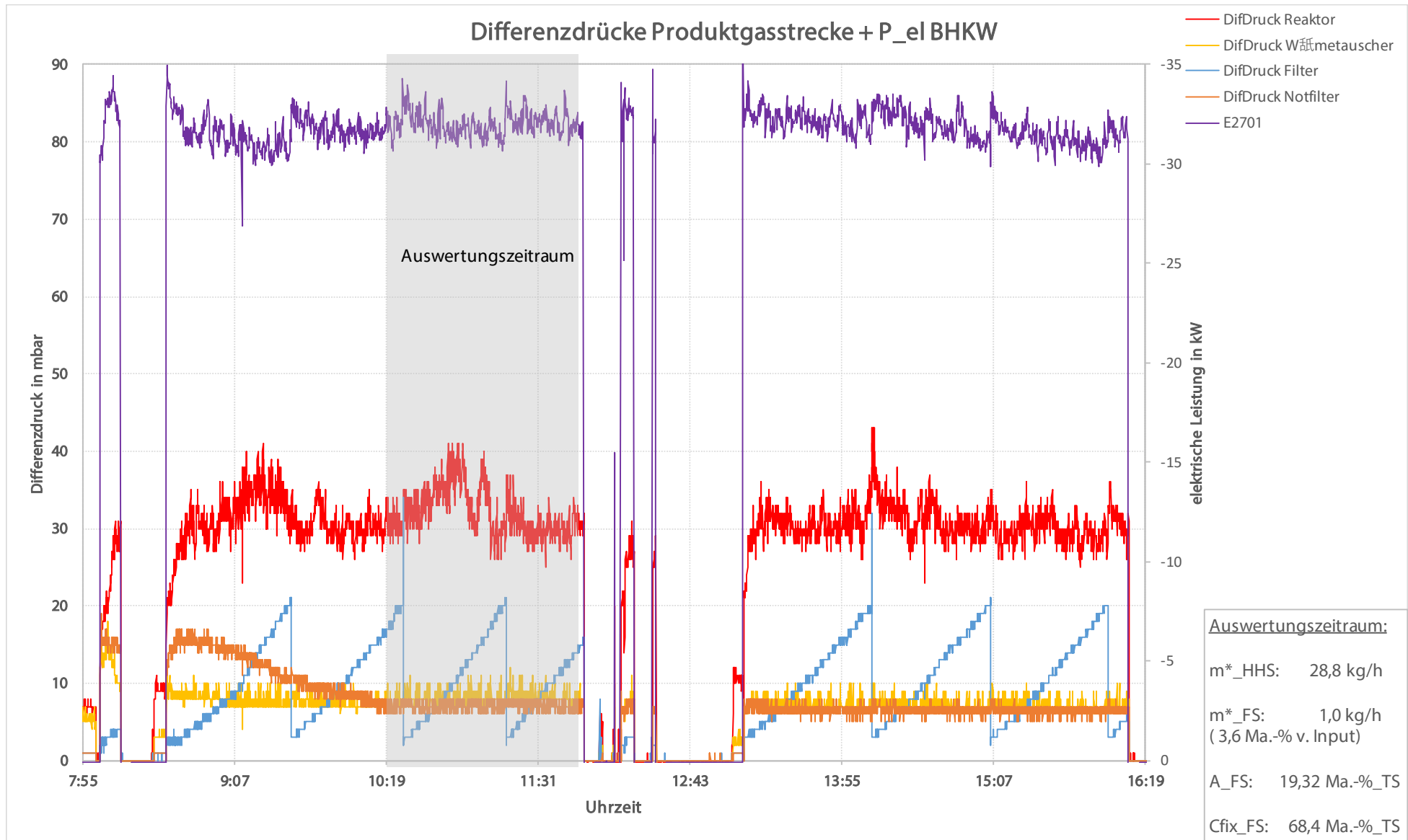


Abbildung 8-8: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF7

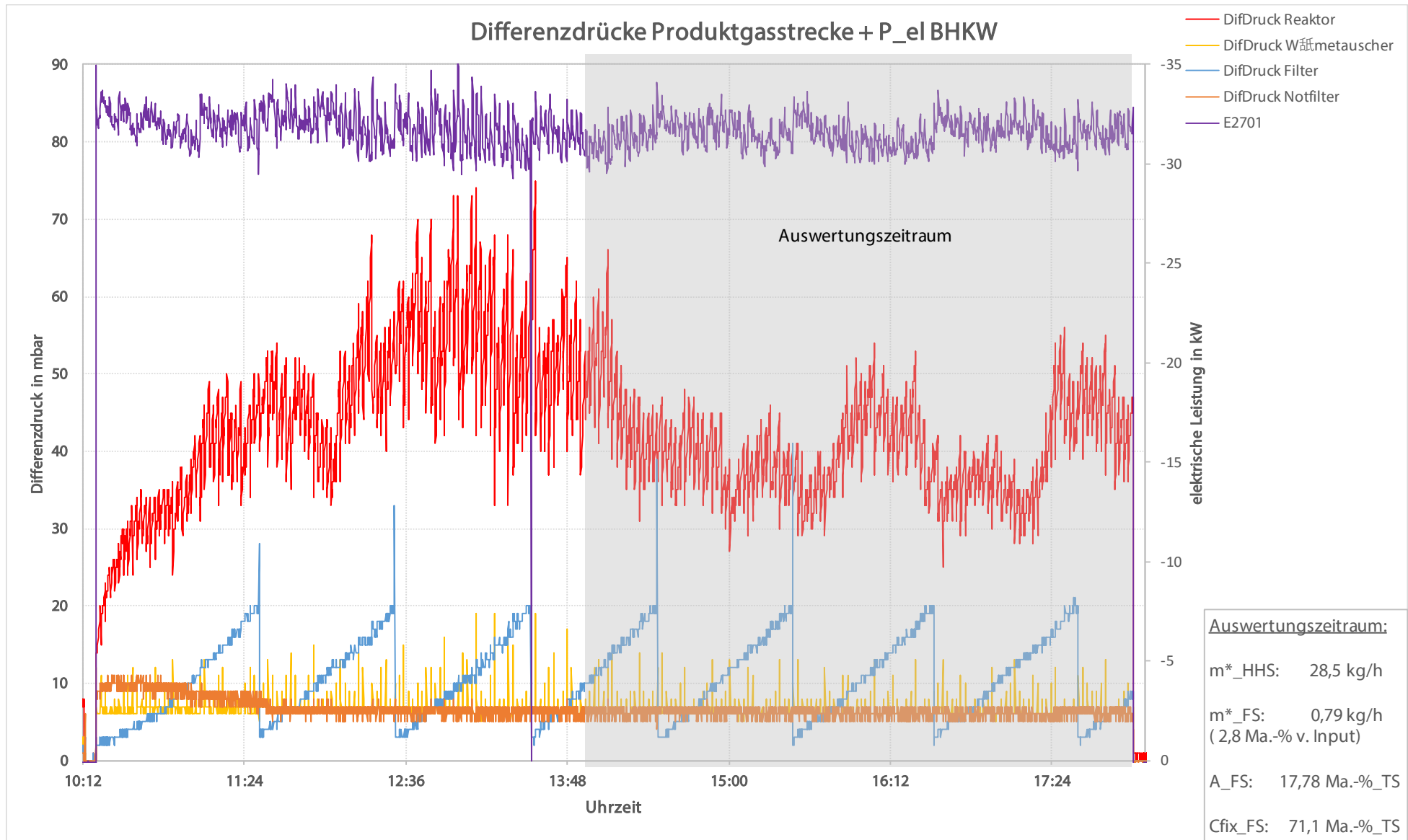


Abbildung 8-9: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF9

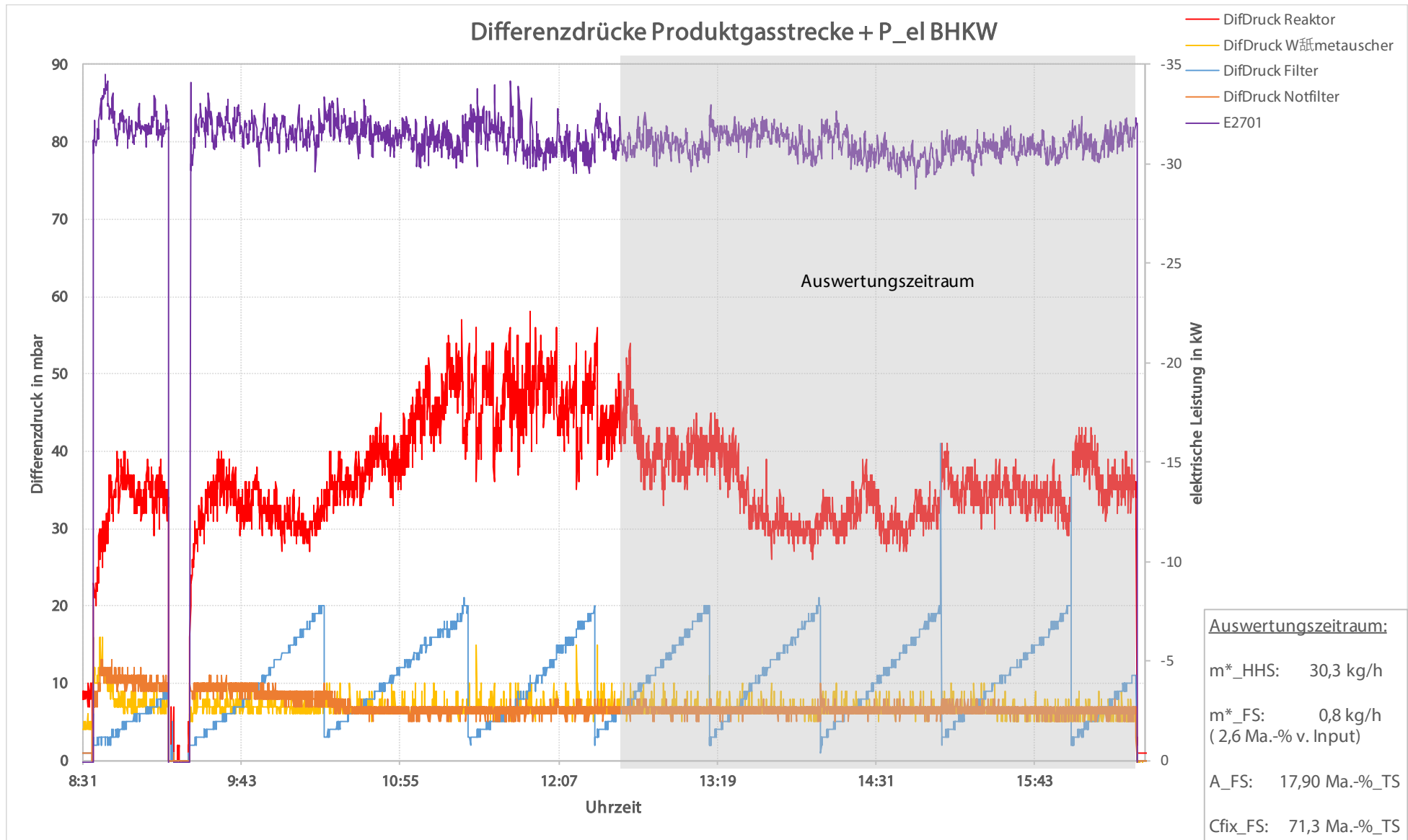


Abbildung 8-10: Darstellung der Differenzdrücke und der elektrischen BHKW-Leistung sowie Kennzeichnung des Auswertungszeitraumes, MF11

## 9 Bewertung der Variation der Reformerrostparameter

Für die Bewertung der Rostparametervariation wurde der direkte Vergleich der Messdaten aus MF9 und MF11 vorgenommen (vgl. Tabelle 9-1), da im Rahmen dieser Messfahrten keine Anlagenstörungen und damit auch keine Beeinträchtigungen der Messfahrten auftraten. Während MF9 wurde der aus der vorhergehenden Variation favorisierte Parametersatz eingesetzt, wohingegen bei MF11 die Standardparameter hinterlegt wurden. Werden die Stoff- und Energieströme der beiden Messfahrten unter Beachtung der Messunsicherheiten miteinander verglichen, ist erkennbar, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsphasen auftraten. Einzig die Druckdifferenz über den Reformer war bei veränderten Rostparametern im Durchschnitt um absolut ca. 5 mbar bzw. relativ ca. 12 % höher.

Tabelle 9-1: Vergleich der Mess- und Analysedaten aus MF9 und MF11

Messfahrt	Einheit	Messfahrten		
		MF9	MF11	
Fahrweise		Variation	Standard	
Auswertungszeitraum	h	4,0	4,0	
Brennstoffbedarf	kg/h	28,5	30,3	
Volumenstrom Vergasungsmittel	m <sup>3</sup> /h (i.N.)	36,3	35,7	
Ø Druckdifferenz Reformer	mbar	40,3	35,4	
Filterstaubanfall	g/h	792	794	
	Ma-%*	2,8	2,6	
Filterstaubzusammensetzung	A	Ma-% TS	17,78	17,90
	C <sub>fix</sub>	Ma-% TS	71,1	71,3
Heizwert Produktgas	MJ/kg	5,0	5,1	
Volumenstrom Produktgas	m <sup>3</sup> /h (i.N.)	70,3	72,6	
Produktgasleistung	kW	106,5	111,2	
Elektrische BHKW-Leistung	kW	31,7	31,1	

Der durch die Test- und Messfahrten bevorzugte Parametersatz (vgl. Tabelle 5-2) eignet sich unter den in Kapitel 5 und Kapitel 8.3 angegebenen Rahmenbedingungen (Brennstoffspezifikation etc.) zum Einsatz an der Holzvergaseranlage, da keine Prozessstörungen auftraten und der sich einstellende Differenzdruck im Reformer innerhalb der vom Hersteller vorgeschriebenen Grenzen blieb. Das Ziel eines besseren Brennstoffumsatzes bei gleichzeitiger Maximierung des Ascheanteiles im ausgetragenen Filterstaub konnte nicht erreicht werden. Als Grund hierfür wird gesehen, dass sich durch die Verlängerung des Austragsintervalls das Rost zwar nicht so oft bewegt, dafür aber intensiver gedreht werden muss, um den für den Dauerbetrieb der Anlage maximalen Differenzdruck von 65 mbar sicherzustellen. Sowohl die Austragsmenge als auch der Ascheanteil des Filterstaubes sind bei beiden Versuchsphasen nahezu identisch, woraus ebenfalls der annähernd unveränderte Brennstoffmassenstrom resultiert. Die Stoffströme wie auch der Umsatzgrad sind somit vergleichbar.

Der ermittelte Parametersatz des Reformerrostes stellt für die festgelegten Rahmenbedingungen den Grenzfall für einen stabilen Dauerbetrieb der Anlage dar.

## Literaturverzeichnis

[1] Abschlussbericht „Zittauer Kraftwerkslabor - Thermochemisches Versuchsfeld, 2015; [http://ipm.hszg.de/fileadmin/Redakteure/Institute/IPM/Publikationen/TCV/IPM\\_Abschlussbericht\\_TCV-GESAMT\\_final.pdf](http://ipm.hszg.de/fileadmin/Redakteure/Institute/IPM/Publikationen/TCV/IPM_Abschlussbericht_TCV-GESAMT_final.pdf)

[2] Spanner Re<sup>2</sup> GmbH: Betriebsanleitung Spanner Holz-Kraft® Holzvergaser HV 19/30/45 V1.1; Neufahrn i. NB; 20.09.2016