VERSUCHSBERICHT

über die Durchführung des 150-h-Versuches zur Vergasung von SGF in der Luft-Querstrom-Vergasungsanlage

www.ver-gmbh.com

V e r s u c h s b e r i c h t

über die Durchführung des 150-h-Versuches zur Vergasung von SGF (Standard Gasifier Fuel) - Brennstoff in der Luft-Querstrom-Vergasunganlage (LQV) vom 20. bis 26. Januar 1997

Bericht-Nr.: BE 2 L 010297

Bearbeitungsstand: Februar 1997

VER GmbH
Kesselsdorfer Straße 216
01169 Dresden

Diagramm 10 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute (CH_4)

Diagramm 11 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute (O_2)

Diagramm 12 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute (berechneter Heizwert)

Diagramm 13 Heizwert des Brenngases über Vergasungsluftstrom bei der Vergasung von SGF

Diagramm 14 Verhältnis CO/H_2 im Brenngas bei der Vergasung von SGF

Bild 1 LQV-Technikumsanlage VA 130 in Freital

Bild 2 SGF im Anlieferungszustand

Bild 3 SGF in aufbereitetem Zustand

Bild 4 Meßstand der meta Meßtechnische Systeme GmbH

Bild 5 Meßstand der meta - Chromatogramm

Bild 6 Meßstand des ILK Dresden

Bild 7 Meßaufbau der Lausitzer Analytik GmbH

Bild 8 Ausgetragener Reststoff

Bild 9 Blick in die Brennkammer des LQV

Anhang zum Versuchsbericht

Anhang 1 Meßstellenliste Vergasungsanlage VA 130 Anhang Seiten 1 - 3

Anhang 2 Versuchsprotokoll Anhang Seiten 3 - 12

Anhang 3 Protokoll der Brenngasanalytik Anhang Seiten 13 - 14

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Zusammenfassung	5
2.	Aufgabenstellung	10
3.	Brennstoff	11
4.	Beschreibung der LQV-Pilotanlage	13
4.1.	LQV-Vergasereinheit VA 130	13
4.1.1.	Aufbau der Vergasereinheit	13
4.1.2.	Funktion des LQV-Vergasungsapparates	13
4.1.2.1.	Vergasungseinheit	13
4.1.2.2.	Brennkammereinheit	14
4.1.2.3.	Ascheauffangbehälter	14
4.1.3.	Messen und Regeln am Vergasungsapparat	14
4.1.3.1.	Vergasereinheit	15
4.1.3.2.	Brennkammer	15
4.1.3.3.	Ascheauffangbehälter	16
4.2.	Wärmeübertager	16
4.3.	Rauchgasreinigung	16
5.	Vorbetrachtungen zum Vergasungsversuch	18
5.1.	Chemie und Thermodynamik der Vergasung	18
5.2.	Vorversuche zur Vergasung von SGF	20
6.	Durchführung des 150-h-Versuches	26
6.1.	Versuchsbedingungen	26
6.1.1.	Versuchsprogramm	26
6.1.2.	Analysenprogramm	27
6.1.3.	Probenahmestelle	27
6.1.4.	Brennstoffaufbereitung	28
6.2.	Versuchsaufbau	28

6.3. Versuchsdurchführung 28
6.3.1. Brennstoffeinsatz und Reststoffaustrag 28
6.3.2. Bilanzierung der Wasserzugabe 29
6.3.3. Versuchsprotokoll 30
6.3.4. Brenngasanalytik 33

7. Meßergebnisse des 150-h-Vergasungsversuches 34

7.1. Vergasungsparameter 34

7.2. Brenngaszusammensetzung 35

7.3. Einfluß der Vergaserleistung 37

8. Auswertung der Meßergebnisse 39

9. Gesamteinschätzung 41

Verzeichnis der Anlagen

Diagramm 1a Gaszusammensetzung bei einem Wassergehalt des SGF von 25 %

Diagramm 1b Vergasungsparameter bei einem Wassergehalt von 25 %

Diagramm 2a Gaszusammensetzung bei einem Wassergehalt des SGF von 5,5 %

Diagramm 2b Vergasungsparameter bei einem Wassergehalt von 5,5 %

Diagramm 3 Heizwert des Brenngases in Abhängigkeit vom Vergasungsluftstrom

Diagramm 4 150 h-Versuch SGF 20.01.-26.01.1997 - Anlagenverfügbarkeit

Diagramm 5 Wasserzugabe in die Vergasungsluft

Diagramm 6 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergasungsluft-, Rostluft- und Gesamtluftströme

Diagramm 7 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergaser- und Brenngas-temperaturen

Diagramm 8 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute (CO_2)

Diagramm 9 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute (H_2 und CO)

Beilagen

„Abschlußbericht zur durchgeführten Gasmessung“ - Bericht der meta Meßtechnische Systeme GmbH Dresden vom 20.02.1997

„Kontinuierliche Messung der CO_2- und O_2-Konzentration im Brenngas des VER-Vergasers“ - Bericht des Instituts für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Dresden, vom 10.02.1997

„Analysenbericht“ - Bericht der ERGO GmbH zur Analytik der Einzelgasproben vom 03.02.1997

„Richtlinie für die Probenahme und die Analyse von Teeren, Kondensaten und Partikeln bei der Biomassevergasung“ - ETH Zürich / Veremnum Richtlinie vom November 1996

Bericht Lausitzer Analytik fehlt

1. **Zusammenfassung**

Aufgabenstellung

Im Rahmen des EU - Projektes JOR 3 - CT 95 - 0084 war mit dem Luft-Querstrom-Vergaser der VER GmbH ein Vergasungsversuch mit SGF als Einsatzstoff über 150 h durchzuführen, davon 20 h im Teillastbereich. Während der Versuchsdauer war die Brenngaszusammensetzung kontinuierlich und der Staub- und Teergehalt diskontinuierlich durch Einzelmessungen zu ermitteln.

Brennstoff

Der Brennstoff SGF wurde von der BTG Biomass Technology Group B.V., University of Twente, P.O. Box 217, 7500 AE Enschede, Netherlands, zur Verfügung gestellt. Es handelte sich um bindemittelfreie Preßlinge aus nichtkontaminierten Holzspänen mit einem Wassergehalt von 5,5 Ma.-%.

Beschreibung der LQV-Pilotanlage

Der Vergasungsapparat besteht aus der Vergasungskammer, der integrierten Brennkammer und dem Ascheauffangbehälter. Er ist mit einem zweischichtigen Kühl-Isolier-System umgeben, das von der Gesamtluft durchströmt wird. Diese Luft wird dabei auf etwa 300 °C erwärmt und in die Vergasungsluft und Verbrennungsluft aufgeteilt. In der Vergasungskammer fließt der Brennstoff von oben nach unten und wird vom Vergasungsmittel, zumeist Luft oder Luft-Wasserdampf, waagerecht durchströmt. Das heiße Brenngas gelangt auf kürzestem Weg zur Brennkammer und wird dort mit der vorgewärmten Luft verbrannt. Durch ein bewegliches Stufenrost in der Vergasungskammer wird die Vergaserasche über einen Ascheschacht in der Ascheauffangbehälter gefördert.

Die Brennkammer ist entsprechend Vorschrift der 17. BImSchV so ausgelegt, daß die Verweilzeit der Verbrennungsgase 2 s beträgt. Nach der Brennkammer gelangen die heißen Verbrennungsgasen in einem Wärmeübertrager, in dem die Wärme entzogen wird, und danach in die Rauchgasreinigung. Diese besteht aus einem A-Koks-Filter und einem Naßwäscher, in denen einerseits Staub, daran gebundene Schwermetalle und organische Verunreinigungen und andererseits Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid aus dem Rauchgas entfernt werden.

Die Anlage ist mit einer Vielzahl von Meßstellen ausgerüstet und mit einem Meßwerterfassungssystem verbunden. Die wesentlichen Parameter werden über eine SPS geregelt.

Vorbetrachtungen zum Vergasungsversuch

Ausgehend von dem angelieferten SGF mit einem Wassergehalt von 5,5 Ma.-% und dem gleichen Brennstoff mit 25 Ma.-% Wasser wurden unter thermodynamischen Gleichgewichtsbedingungen die Brenngaszusammensetzung (angegeben sind Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan), der Heizwert des Gases, die Vergasungsgleichgewicht-Temperatur und der Kaltgaswirkungsgrad in Abhängigkeit von thermischen Wirkungsgrad (Verhältnis von Heizwert + fühlbarer Wärme des Gases zum Heizwert des Brennstoffs) berechnet. Es ergibt sich eine deutliche Abhängigkeit vom thermischen Wirkungsgrad respektive vom Wärmeverlust des Vergasers.

In Vorversuchen wurde die Eignung des angelieferten SGF und der Einfluß der Vergasungsparameter Vergasungsmittelstrom und Vergasungsmittelzusammensetzung untersucht. Die aus der thermodynamischen Berechnung erkennbaren Zusammenhänge wurden im Trend durch die Ergebnisse bestätigt. Als Ergebnis dieser Vorversuche wurden für die Durchführung des 150 h-Versuches festgelegt:

- Die SGF-Preßlinge müssen auf eine Größe von 20 - 50 mm zerkleinert werden.
- Der Vergasungsluftstrom bei Vollast beträgt zwischen 50 und 60 m³i.N./h.
- In der ersten Versuchsphase wird zur Beherrschung der maximalen Vergasertemperatur mit Wasserzugabe zur Vergasungsluft gearbeitet in einer Menge, die einem Gesamtwassergehalt des SGF von 25 Ma.-% entspricht.
- Im Verlauf der Vollastphase wird die Wasserzugabe reduziert und nach Möglichkeit eingestellt, um die Brenngasqualität unter Beachtung der Vergasertemperatur zu optimieren.

Durchführung des 150 h-Versuches

Als Versuchsbeginn wurde Montag, der 20.02.97 festgelegt.

Mit der Analytik des Rohgases wurden folgende Institutionen beauftragt:

H_2, CO, CO_2 und CH_4	meta Meßtechnische Systeme GmbH, Dresden
O_2 und CO_2	Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Dresden
Staub und Teer	Lausitzer Analytik GmbH, Schwarze Pumpe

Ab dem 2. Versuchstag erfolgte durch Probenahme aller 6 h Einzelmessungen:
H_2, CO, CH_4, CO_2 und O_2 ERGO Umweltinstitut GmbH, Dresden.

Der Brennstoff wurde entsprechend den Ergebnissen der Vorversuche durch Zerkleinern auf eine Größe von 20 - 50 mm aufbereitet. Das dabei anfallende Feinkorn kann zunächst ebenfalls zum Einsatz. Als Folge des Feinkornanteils in Verbindung mit einer hohen Teerbildung trat am 4. Versuchstag eine Einengung des Gasaustritts auf und dadurch ein Druckanstieg im Vergaser. Durch entsprechende Fahrweise des Vergasers wurde die Funktionsfähigkeit wiederhergestellt. Im weiteren Versuchsverlauf erfolgte eine Aushaltung es Feinkornanteils <10 mm. Auf Grund der durch die

Ablagerungen bedingten Abweichung vom Normalbetrieb wurde die Gesamtversuchszeit auf 158 h verlängert ohne weitere derartige Störungen.

Während des gesamten Versuchsbetriebes wurden 2831,9 kg Brennstoff eingesetzt und 109,8 kg Reststoff ausgetragen, das entspricht 3,88 %. Unter Berücksichtigung des Aschegehaltes von 0,56 % entspricht das einer Umsatzrate der brennbaren Substanz von 96,7 % bzw. von 93,4 % des Kohlenstoffs.

Der durchschnittliche spezifische Brennstoffverbrauch während der Vollastphase betrug 18,9 kg/h und während der Teillastfahrweise 12,8 kg/h.

Die Wasserzugabe, die zur Minderung der maximalen Vergasertemperatur erfolgen sollte, wurde ab 5. Versuchstag einschließlich der Teillastfahrweise nicht mehr betrieben.

Die Hauptparameter der Vergasung sind nachfolgend zusammengestellt. Der Einfluß der Wasserzugabe auf die Vergaser- und Brenngastemperaturen ist deutlich.

	Vergasungsluftstrom in m^3i.N./h	max. Vergasertemperatur in °C	Brenngastemperatur in °C
	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
1.Tag ab 12:00	47,2	884,9	529,8
2.Tag	51,3	895,3	547,4
3.Tag	52,2	907,1	564,6
4.Tag	42,9	909,7	564,9
5.Tag	52,7	964,4	622,1
6.Tag	52,8	972,5	662,2
7.Tag bis 4:00	53,7	996,2	653,9
7.Tag ab 4:15	34,1	961,4	603,6

Meßergebnisse des 150-h-Vergasungsversuches

Bei dem Vergleich der Meßergebnisse aus der kontinuierlichen Analyse der Brenngaszusammensetzung mit denen der Einzelprobenmessungen ergaben sich teilweise merkliche Abweichungen. Diese betreffen hauptsächlich die Gehalte an Kohlenmonoxid, Sauerstoff und Kohlendioxid. Es wird eingeschätzt, daß die die brennbaren Komponenten betreffenden Ergebnisse aus der Einzelprobenmessung die größere Zuverlässigkeit besitzen.

Nachfolgend sind aus diesem Grund die nach zeitlichem Ablauf geordneten Meßergebnisse aus der Einzelprobenanalyse sowie der aus dieser Zusammensetzung berechnete Heizwert des Gases und der Vergasungsmittelstrom (Luft und Wasser) zusammengestellt.

Datum	Uhrzeit	Gasprobe Nr.	Vergas.+ Rostl. m³i.N /h	Wasserzug. ml/h	Brenngaszusammensetz. % H2	% CH4	% CO	Heizwert kJ/m³ i.N.
21.01.97	18:01	18	54	6000	13,9	1,7	13,9	3861
22.01.97	00:08	19	54	6000	13,7	1,3	16,7	4051
22.01.97	05:41	20	52	6000	12,3	1,7	16,6	4031
22.01.97	11:50	21	51	6000	*15,7*	*1,0*	*17,9*	*4317*
22.01.97	17:53	22	52	5500	*16,0*	*1,0*	*17,6*	*4311*
23.01.97	00:20	23	54	6000	*15,6*	*1,0*	*17,8*	*4294*
23.01.97	17:35	24	49	4800	*16,6*	*1,2*	*23,1*	*5143*
24.01.97	00:40	25	51	4800	*13,7*	*0,4*	*17,8*	*3949*
24.01.97	06:40	26	51		15	0,4	16,6	3855
24.01.97	12:20	27	53		15,3	0,4	18,7	4153
24.01.97	18:00	28	52		15,2	0,4	19	4180
24.01.97	23:56	29	53		11,5	0,4	19,9	3897
25.01.97	06:15	30	65		11,6	0,5	19,9	3943
25.01.97	11:47	31	61		14,6	0	18,8	3947
25.01.97	19:04	32	62		14,6	0	18,8	3947
25.01.97	23:50	33	57		13,4	0,4	18,5	3924
26.01.97	04:00	34	55		12,9	0,9	17,9	3973
26.01.97	07:52	35	33		12	0,9	17,6	3839
26.01.97	17:38	36	36		*12,5*	*0,6*	*18,4*	*3891*
26.01.97	23:20	37	34		15,5	0,5	19,5	4312

Kursive Werte auf den von ILK gemessenen Restsauerstoffgehalt umgerechnet

Auswertung der Meßergebnisse

Für die Auswertung der Meßergebnisse werden sowohl die Meßergebnisse aus dem 150 h - Versuch als auch die Ergebnisse aus den Vorversuchen mit SGF herangezogen.

Es ist eine deutliche Abhängigkeit der Brenngaszusammensetzung und damit des Heizwertes vom Vergasungsluftstrom ersichtlich in der Art, daß mit steigender Vergaserleistung respektive steigendem Luftstrom der Heizwert des Brenngases steigt. Das trifft sowohl auf die Vergasung mit ausschließlich Luft als auch auf die Mitverwendung von Wasser oder Rauchgas zu, wenn auch jeweils auf unterschiedlichem Niveau. Der Grund dafür ist der mit steigender Leistung fallende spezifische Wärmeverlust. Die Ergebnisse der thermodynamischen Berechnungen werden durch diese Meßergebnisse bestätigt.

Die Zugabe von Wasser in der angegebenen Menge bei Vollastfahrweise bewirkt eine durchschnittliche Absenkung der maximalen Vergasertemperatur um ca. 70 K und der Gasaustrittstemperatur von ca. 80 K. Ohne Wasserzugabe wird ein mittlerer Heizwert von 3950 kJ/m³i.N. und mit Wasserzugabe ein mittlerer Heizwert von 4120 kJ/m³i.N. erreicht. Der Kaltgaswirkungsgrad liegt in beiden Fällen mit 0,58 bis 0,62 ähnlich, wenn die Wasserzugabe als zusätzlicher Brennstoffwassergehalt mit der damit verbundenen Heizwertminderung betrachtet wird.

In der Versuchsetappe mit Teillastfahrweise wurde der durchschnittliche Vergasungsluftstrom auf 34 m³i.N./h reduziert, das entspricht 65 % der Leistung unter Vollast. Die maximale Vergasertemperatur verminderte sich dadurch um etwa 50 K und die

Gasaustrittstemperatur um ca. 100 K. Der Heizwert ging um durchschnittlich 300 kJ/m³
von 3950 auf 3650 kJ/m³i.N. zurück. Der Kaltgaswirkungsgrad verminderte sich auf 0,56. Wie bereits erwähnt, ist dies durch den höheren spezifischen Wärmeverlust bei fallender Leistung bedingt.

Gesamteinschätzung

Unter Beachtung bestimmter Voraussetzungen, wie angepaßte Brennstoffpartikelgröße und Aushaltung eines übermäßig hohen Feinkornanteils, und nach der Realisierung geplanter konstruktiver Detailänderungen steht mit dem Luft-Querstrom-Vergaser ein geeignetes Aggregat für die energetische Verwertung von unterschiedlichen Brennstoffen zur Verfügung.

Der Beurteilung unterlag ausschließlich das den Vergaser verlassende Rohgas, da eine Brenngasaufbereitung derzeit noch nicht vorhanden ist.

Durch Anlagenvergrößerung und damit Minderung der spezifischen Wärmeverluste ist eine Erhöhung des Gasheizwertes und eine Verbesserung des an dieser kleinen Anlage bereits befriedigenden Teillastverhaltens zu erwarten.

Der Bericht der Lausitzer Analytik GmbH über die Messung der Teer- und Staubanteile lag noch nicht vor.

2. Aufgabenstellung

Im Rahmen des EU - Projektes JOR 3 - CT 95 - 0084 werden von mehreren europäischen Teilnehmern Vergasungsversuche durchgeführt. Das Ziel besteht darin, entsprechend den nationalen Bedingungen der am Projekt beteiligten Partner ein flexibles, wirtschaftliches und genehmigungsfähiges Vergasersystem kleiner Leistung für die dezentrale Energieerzeugung als Projektierungsvorschlag zu erarbeiten. Durch die Versuche soll der gegenwärtige Stand der einzelnen nationalen Entwicklungen auf diesem Gebiet ermittelt und gegenübergestellt werden.

Im Rahmen der Vorbereitung für dieses Versuchsprogramm wurde von der Firma BTG Biomass Technology Group B.V. (Netherlands) ein Standardbrennstoff entwickelt, der allen Teilnehmern an diesen Vergasungsversuchen zur Verfügung gestellt wird. Damit wurden für alle Versuchsteilnehmer gleiche Ausgangsbedingung geschaffen.

Die Versuchsbedingungen für die Teilnehmer an dem Versuchsprogramm lauten:

- Der Vergasungsversuch wird ohne Unterbrechung über eine Dauer von 150-Stunden durchgeführt
- Im Verlauf der Versuche werden 130 Stunden mit Vollast und anschließend 20 Stunden mit einer Teillast von 50 % bei gleichem Meßprogramm gefahren.
- Während der gesamten Versuchsdauer von 15o h wird die Brenngaszusammensetzung kontinuierlich gemessen. Die Bestimmung des Staub- und des Teergehaltes im Brenngas erfolgt diskontinuierlich durch Einzelmessungen.

Da die VER GmbH gegenwärtig noch keine Gasaufbereitung und motorische Nutzung des Gases betreibt, entfallen die entsprechenden Messungen.

3. Brennstoff

Der für die Vergasungsversuche einzusetzende Brennstoff wurde von der Firma:

BTG Biomass Technology Group B.V.
University of Twente, P.O. Box 217
7500 AE Enschede
Netherlands

zur Verfügung gestellt.

Dieser Brennstoff, als SGF - Standard Gasifier Fuel - bezeichnet, ist für alle Versuchsteilnehmer verbindlich. Entsprechend den übergebenen Unterlagen bestehen die Preßlinge aus gepreßten bindemittelfreien Holzspänen mit folgenden Kennwerten:

Immediatanalyse

Asche (550°C)	0,56	Masse-% (wf)
Asche (815°C)	0,49	Masse-% (wf)
Wassergehalt	5,5	Masse-%
Tiegelkoks	18	Masse-%
flüchtige Bestandteile	82	Masse-%

Elementarzusammensetzung

Kohlenstoff	50,3	%wf
Wasserstoff	5,3	%wf
Stickstoff	0,16	%wf
Sauerstoff	43,0	%wf
Schwefel	0,4	%wf
Chlor	0,026	%wf

Heizwert

Hu	19360	kJ/kg
Ho	20585	kJ/kg wf

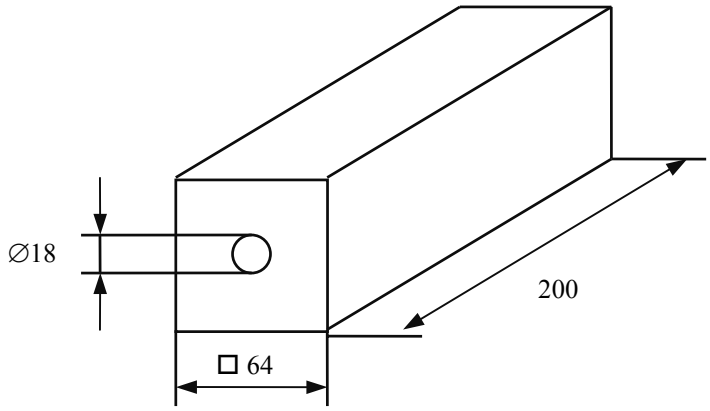
Ascheschmelzverhalten

Erweichungspunkt	1199	°C
Halbkugelpunkt	1203	°C
Fließpunkt	1220	°C

Gehalt an Schwermetallen und Metalloiden

Antimon	0,36	mg/kg wf
Arsen	<2,0	mg/kg wf
Cadmium	<0,20	mg/kg wf
Chrom	<8,0	mg/kg wf
Blei	<8,0	mg/kg wf
Kobalt	<8,0	mg/kg wf
Kupfer	<8,0	mg/kg w
Mangan	33	mg/kg wf
Nickel	<8,0	mg/kg wf
Quecksilber	<0,20	mg/kg wf
Selen	<2,0	mg/kg wf
Vanadium	<10	mg/kg wf
Zinn	12	mg/kg wf
Zink	<9,1	mg/kg wf

Die Hauptabmessungen der Preßlinge sind in nachstehender Skizze dargestellt.



Skizze Abmessung der SGF-Preßlinge

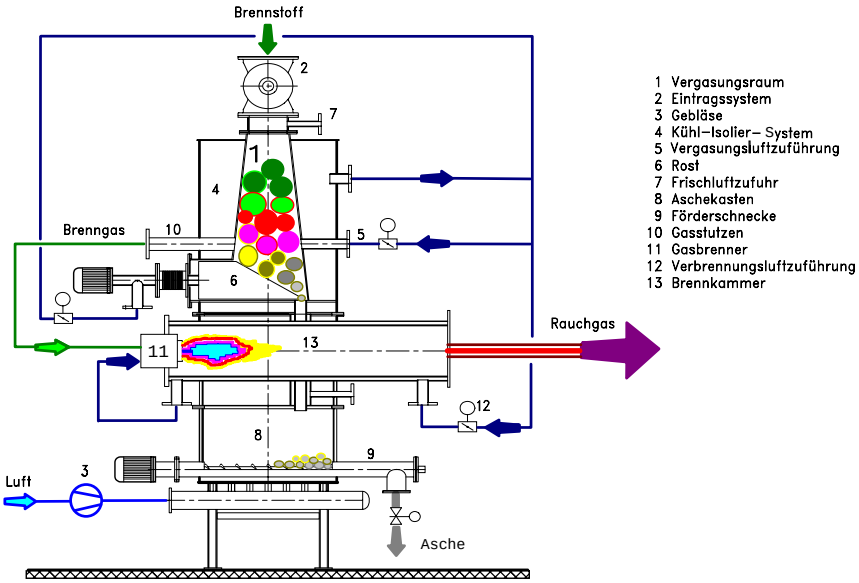
4. Beschreibung der LQV-Pilotanlage

4.1. LQV-Vergasereinheit VA 130

4.1.1. Aufbau der Vergasereinheit

Der Vergasungsapparat ist im nachfolgenden Schema dargestellt und besteht aus den 3 Modulen:
Vergasungskammer / Brennkammer / Ascheauffangbehälter.

Durch den modularen Aufbau ist es möglich, den Vergasungsapparat sowohl mit als auch ohne integrierter Brennkammereinheit aufzustellen und zu betreiben. Dies ist dann von Interesse, wenn z.B. das Brenngas aus mehreren Vergasungseinheiten in einer gemeinsamen Brennkammer verbrannt wird oder wenn das Gas aus einer oder mehreren Vergasungseinheiten anderweitig, z.B. in einem Gasmotor, genutzt werden soll.



Das Bild 1 in der Anlage zeigt die Ansicht der LQV-Anlage.

4.1.2. Funktion des LQV-Vergasungsapparates

4.1.2.1. Vergasungseinheit

Die Vergasungseinheit ist ein sich konisch nach unten erweiternder Schacht mit einem Volumen von 130 l (VA 130). Den oberen Abschluß bildet eine Kammerschleuse, durch die die Beschickung mit dem zu vergasenden Gut erfolgt. Den unteren Abschluß des Vergasers bildet das Rost. Dieses ist als bewegliches Stufenrost ausgebildet und hat zwei Aufgaben: Einerseits wird durch die Schubbewegung die Asche des Brennstoffs zu dem seitlich angebrachten Ascheaustragskanal befördert, andererseits dient das Rost der Zuführung der unteren Vergasungsluft.

Der Vergaser ist mit einem Füllstandssensor ausgestattet. Dieser spricht an, wenn der Füllstand des Brennstoffs im Vergaser ein bestimmtes Niveau unterschreitet.

Die Zuführung der Vergasungsluft bzw. des Vergasungsmittels erfolgt an zwei unterschiedlichen Stellen. Die Hauptmenge wird seitlich eingeblasen, wodurch ein sog. Querstrom realisiert wird.
Der zweite geringere Anteil der Vergasungsluft wird über das Rost zugeführt. Die Aufgabe dieser Rostluft ist es vor allem, für einen weitgehenden bzw. praktisch vollständigen Ausbrand des zu vergasenden Brennstoffs zu sorgen.

Der Austritt des Vergasungsgases befindet sich an der der seitlichen Luftzuführung und dem Ascheaustrag gegenüberliegenden Seite.

Die Kühlung des Vergasers erfolgt durch ein zweischichtiges Kühl-Isolier-System. Durch dieses System wird die Gesamtluft (Vergasungs- und Verbrennungsluft) geleitet, die sich dabei erwärmt. Auf diese Weise werden die Wärmeverluste reduziert.

4.1.2.2. Brennkammereinheit

Die Brennkammereinheit ist unter der Vergasereinheit angeordnet. Das aus dem Vergaser austretende Gas wird dem Brenner zugeleitet. Die Verbrennungsluft dient zunächst zur Kühlung der Brennkammer und wird dabei weiter aufgewärmt, bevor sie ebenfalls dem Brenner zugeführt wird. Die Brennkammer ist so dimensioniert, daß bei einem durchschnittlichen Brennstoffdurchsatz die Verweilzeit des Verbrennungsgases von 2 s eingehalten wird, was beim Einsatz belasteter Brennstoffe nach der 17. BImSchV gefordert ist. Einen Blick in die Brennkammer zeigt Bild 9.

Das Bauteil Brennkammereinheit enthält ebenfalls den Ascheschacht, durch den die Brennstoffasche aus dem Vergaser in den Ascheauffangbehälter fällt. Eine Verbindung
zwischen Ascheschacht und Brennkammer besteht nicht, so daß es zu keinem Ascheaustrag durch die Verbrennungsgase kommen kann.

4.1.2.3. Ascheauffangbehälter

Der unterste dritte Teil des Vergasungsapparates ist der Ascheauffangbehälter. In diesem wird die aus dem Vergaser durch den Ascheschacht der Brennkammereinheit fallende Brennstoffasche gesammelt. Der Ascheauffangbehälter ist konisch nach unten verjüngt und besitzt in der unteren Rinne eine Schnecke zum Ascheaustrag. Durch einen Doppelmantel wird der Ascheauffangbehälter mittels der Gesamtluft gekühlt.

4.1.3. Messen und Regeln am Vergasungsapparat

Die Meßstellenliste ist als Anhang 1 beigefügt.

4.1.3.1. Vergasereinheit

Über die Höhe des Vergaserinnenraumes wird mit Hilfe einer Meßlanze mit 12 Temperaturmeßstellen das Temperaturprofil aufgenommen. Damit kann sowohl die Temperatur in der Reaktionszone als auch die genaue Lage der Reaktionszone ermittelt werden.

Beim Arbeiten mit Rauchgasrückführung zur Vergasungsluft dient die Temperatur der Vergasungszone als Regelgröße für die Rauchgasrückführung. Damit kann auf die in der Vergasungszone herrschende Temperatur Einfluß genommen werden,.

Die Lage des Temperaturmaximums gibt darüber Auskunft, wie weit der Brennstoffumsatz fortgeschritten ist, d.h., wieviel Asche sich im Vergaser befindet. Die Lage des Temperaturmaximums kann als Regelgröße für den Ascheaustrag genutzt werden.

Eine Reduzierung des Vergasungsluftstromes erfolgt, wenn über das Heiznetz die erzeugte Wärme nicht vollständig abgenommen wird und deshalb eine Reduzierung der Anlagenleistung erforderlich ist.

Eine weitere Temperaturmeßstelle befindet sich am Brenngasaustritt.

Der Druck im Vergaser wird am Kopf unterhalb der Eintragsschleuse gemessen. Bei zugeschalteter Rauchgasreinigung wird der Unterdruck am Vergaserkopf über die Drehzahl des Saugzuggebläses geregelt.

Bei der Versuchsdurchführung wird der Brennstoffeinsatz durch Wägen zeitbezogen erfaßt. Der Massestrom des Brennstoffes wird aus der Einsatzgutwägung berechnet.

4.1.3.2. Brennkammer

Die Temperatur der Verbrennungsluft, die zur Kühlung der Brennkammer dient und entsprechend vorgewärmt ist, wird gemessen. Die Gesamtmenge der Verbrennungsluft wird über den Restsauerstoffgehalt im Verbrennungsgas geregelt und die Meßwerte werden registriert. Die Rauchgastemperatur wird gemessen.

Die Temperatur in der Brennkammer wird gemessen, unterliegt in der Versuchsanlage aber gegenwärtig keiner Regelung. Einfluß kann durch eine Rauchgasrückführung zum Vergasungsmittel oder zur Verbrennungsluft bzw. die Festlegung des Restsauerstoffgehaltes im Verbrennungsgas genommen werden, wobei im Fall der Abfallverwertung die unteren Grenzen durch die Festlegungen der 17. BImSchV vorgegeben sind.

Die Ermittlung der Zusammensetzung des Verbrennungsgases und die Emissionsmessungen nach der 17. BImSchV werden je nach Bedarf durch zugelassene Meßinstitute vorgenommen.

4.1.3.3. Ascheauffangbehälter

Die Entleerung des Ascheauffangbehälters erfolgt normalerweise über eine Füllstandregelung bzw. auf ein entsprechendes Signal hin. Die Temperatur der austretenden Asche wird gemessen.

4.2. Wärmeübertrager

Das Verbrennungsgas aus der Brennkammer gelangt in den Wärmeübertrager, wo dem heißen Gas die fühlbare Wärme entzogen wird. Als Kühlmedium in diesem Wärmeübertrager dient der Heizungsrücklauf aus dem Betriebsnetz der Lufttechnik und Metallbau GmbH. Das erwärmte Wasser des Heizkreislaufes wird in das Heiznetz zurückgeführt und dort entsprechend wieder abgekühlt. Die Temperatur des Rücklaufes beträgt etwa 70 °C. Der Massestrom des Kühlmediums wird über die Austrittstemperatur aus dem Wärmeübertrager geregelt. Entsprechend der Temperaturspreizung des Betriebsheiznetzes beträgt der Sollwert am Wärmeübertragerausgang 90 °C. Das Rauchgas verläßt den Wärmeübertrager mit etwa 100 °C. Wenn die erzeugte Wärme nicht vollständig vom Betriebsheiznetz aufgenommen werden kann, erfolgt eine Wärmeabgabe über einen Luft-Wärmeübertrager ins Freie.

Dem Wärmeübertrager nachgeschaltet ist ein Saugzuggebläse, das über den Wärmeübertrager, die Brennkammer und den Vergaser die gesamte Gasströmumg bewirkt und das Rauchgas durch die nachgeschaltete Gasreinigung fördert.

4.3. Rauchgasreinigung

Dem Wärmeübertrager nachgeschaltet ist eine zweistufige Rauchgasreinigung, die bei der energetischen Verwertung kontaminierter Abfälle notwendig ist. Beim Einsatz von unbelasteten Holz ist eine Rauchgasreinigung normalerweise nicht erforderlich.

Die erste Reinigungsstufe ist ein Aktivkoksfilter mit integriertem Staubfilter. In dieser Reinigungsstufe werden sowohl der Staub und die daran gebundenen Schadstoffe, das sind in erster Linie die Schwermetalle, als auch eine Reihe anderer Verunreinigungen aus dem Rauchgas weitgehend entfernt. Das sind zum einen die organischen Rauchgasverunreinigungen wie PAK (polykondensierte aromatische Kohlenwasserstoffe), HKW (Halogen-Kohlenwasserstoffe), PCB (polychlorierte Biphenyle) und PCDD/F (polychlorierte Dibenzodioxine und -furane), zum anderen aber auch flüchtige Schwermetalle, z.B. Quecksilber. Verbrauchter Aktivkoks, der mit den genannten Schadstoffen beladen ist, wird dem Vergasungsapparat als Brennstoff zugeführt, so daß dieser im Normalfall nicht als Abfall entsorgt werden muß. Die adsorbierten organischen Schadstoffe werden durch die Vergasung und anschließende Verbrennung des Gases zerstört und die anorganischen Schadstoffe (Schwermetalle) weitgehend in die Brennstoffasche eingebunden. Nur in den Fällen, in denen der eingesetzte Brennstoff größere Mengen der leichtflüchtigen Schwermetalle Quecksilber und Arsen ent-

hält, die nur in ungenügendem Maß in die Brennstoffasche eingebunden werden, ist eine Entsorgung des beladenen Aktivkokses erforderlich.

Die zweite Rauchgasreinigungsstufe ist der HCl-Wäscher. Bei der Verarbeitung chlorhaltiger Einsatzstoffe, z. B. durch darin enthaltenes PVC, in der Vergasungsanlage kommt es zur Bildung von Chlorwasserstoff. Da der Aktivkoksadsorber nicht in der Lage ist, den Chlorwasserstoffgehalt im Rauchgas auf den in der 17. BImSchV vorgeschriebenen Grenzwert zu reduzieren, ist dem Aktivkoksfilter eine Naßwäsche nachgeschaltet. In dieser Naßwäsche wird mittels einer etwa 5-%igen Natriumhydrogencarbonatlösung der im Rauchgas enthaltene Chlorwasserstoff entfernt. Schwefeldioxid wird durch diese Wäsche ebenfalls entfernt. Dabei entsteht eine Natriumchlorid-/-sulfatlösung, die keinen Schadstoff darstellt.

5. Vorbetrachtungen zum Vergasungsversuch

5.1. Chemie und Thermodynamik der Vergasung

Für die chemischen Vorgänge bei der Vergasung kohlenstoffhaltigen Materials werden im Allgemein nachstehende Reaktionsgleichungen genannt:

$C + O_2 \rightarrow CO_2$	(vollständige Verbrennung)
$2C + O_2 \rightarrow 2\ CO$	(unvollständige Verbrennung)
$C + CO_2 \leftrightarrow 2\ CO$	(Boudouard-Gleichgewichts-Reaktionen)
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$,	(heterogene Wassergasreaktion)
$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	(homogenes Wassergasgleichgewicht)

Diese Gleichungen sind nur eine starke Vereinfachung der tatsächlichen Abläufe, da einerseits nur auf den Ausgangsstoff Kohlenstoff und die Vergasungsmittel Sauerstoff und Wasser Bezug genommen wird. Die Geschwindigkeit dieser Reaktionen bleibt bei dieser Darstellung ebenso unberücksichtigt wie die tatsächliche Möglichkeit für deren Ablauf bzw. der Umsetzungsgrad entsprechend dieser Reaktionsgleichungen. Die mit den chemischen Reaktionen verbundenen Energieumsätze werden ebenfalls nicht berücksichtigt.

Reaktionsgeschwindigkeit und Gleichgewichtskonzentrationen aller gasförmigen Reaktionspartner sind temperaturabhängig. Dabei nimmt die Reaktionsgeschwindigkeit grundsätzlich mit steigender Temperatur zu. Bei Temperaturabfall kann eine thermodynamisch mögliche Reaktion ganz zum Erliegen kommen. Das führt zur sog. Metastabilität. So ist z.B. Kohlenmonoxid bei Normaltemperatur metastabil, d.h. thermodynamisch gar nicht existenzfähig. Die thermodynamischen Bedingungen werden von der Temperatur in unterschiedlicher Weise beeinflußt. Die Bildung von Kohlenmonoxid beispielsweise wird durch höhere Temperaturen gefördert, während die Methanbildung mit fallender Temperatur thermodynamisch begünstigt wird.

Nachfolgend soll auf die Thermodynamik der Vergasung von SGF näher eingegangen werden.

Die Gesamtenergiebilanz einer Vergasung lautet

Hu(Brennstoff) = Hu(Gas) * m³Gas/kg Brennstoff + Q(Gas) + Q(Verlust) in

kJ/kg Br-st. = kJ/m³Gas * m³Gas/kg Br-st. + Δt*cp* m³Gas/kg Br-st. + kJ/kgBr-st

Die im Brennstoff enthaltene Energie, ausgedrückt als dessen Heizwert, geht über in den Heizwert des Gases, in die fühlbare Wärme des aus dem Vergasungsapparat austretenden Gases Q(Gas) und in den Wärmeverlust des Vergasers Q(Verlust) an die Umgebung.

Das Verhältnis von [Hu(Gas) * m³Gas/kg Brennstoff] zu Hu(Brennstoff) wird als Kaltgaswirkungsgrad und das Verhältnis von [Hu(Gas) * m³Gas/kg Brennstoff + Q(Gas)] zu Hu(Brennstoff) thermischer Wirkungsgrad bezeichnet.

Der Heizwert des Gases und die fühlbare Wärme des Gases werden insbesondere vom eingesetzten Brennstoff und von der Notwendigkeit einer zu gewährleistenden Minimaltemperatur bestimmt und sind somit durch die Fahrweise des Vergasers kaum beeinflußbar. Dagegen sind die Wärmeverluste an die Umgebung durch den Vergasungsapparat, insbesondere durch dessen Größe, Isolierung und anderen Merkmalen bestimmt und damit in gewissen Grenzen beeinflußbar.

Nachfolgend wird als Kaltgaswirkungsgrad das Verhältnis von [Hu(Gas) * m³Gas/kg Brennstoff] zu Hu(Brennstoff) und als thermischer Wirkungsgrad das Verhältnis von [Hu(Gas) * m³Gas/kg Brennstoff + Q(Gas)] zu Hu(Brennstoff) bezeichnet.

Die Berechnung des Vergasungsvorgangs erfolgte unter Anwendung sämtlicher relevanter Beziehungen. Das sind die Elementarbilanzen für Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, die Energiebilanz und die thermodynamischen Gleichgewichte (Boudouard, Wassergas, Methanbildung) als Funktion der Temperatur.

Als Basis für die Berechnungen dienten die bereits genannten Parameter des zur Vergasung eingesetzten SGF (Elementarzusammensetzung, Heizwert). Auf Grund der Versuchsdurchführung mit und ohne Wasserzusatz wurden die Berechnungen bezogen auf einen Wassergehalt des Brennstoffes von 25 % (entsprechend der zugesetzten Wassermenge) und von 5,5 % (Originalwassergehalt). SGF mit 25 % Wasser besitzt einen Heizwert von 14680 kJ/kg, mit 5,5 % Wasser einen Heizwert von 19360 kJ/kg.

Zielgrößen waren die Zusammensetzung des Gases und der daraus zu ermittelnde Heizwert, die Gleichgewichtstemperatur und der Kaltgaswirkungsgrad in Abhängigkeit vom thermischen Wirkungsgrad. Die Ergebnisse sind in den Diagrammen 1 a und b für Brennstoff mit 25 % Wasser und in den Diagrammen 2 a und b für den Brennstoff mit dem Originalwassergehalt von 5,5 % dargestellt.

Die Diagramme zeigen bei beiden Brennstoffen den großen Einfluß des thermischen Wirkungsgrades, mit anderen Worten des Wärmeverlustes, auf die Vergasung und die Gasqualität (dargestellt sind brennbaren Bestandteile Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Methan). Der Einfluß des Wassergehaltes im Brennstoff auf den Heizwert, insbesondere bei höherem thermischen Wirkungsgrad, und die Gaszusammensetzung ist deutlich erkennbar. Praktisch kein Einfluß ist dagegen auf den Kaltgaswirkungsgrad festzustellen, d.h. die Heizwertminderung des Gases entspricht der des Brennstoffs.

Die berechnete Gleichgewichtstemperatur stellt das thermodynamische Optimum dar. Diese Temperatur liegt bei dem SGF mit 25 % Wasser etwa 100 K niedriger als bei einem Wassergehalt von 5,5 %. Wie weiter oben bereits dargelegt, ist für den Prozeß jedoch eine genügend hohe Temperatur erforderlich, um den Reaktionsablauf aufrecht zu erhalten. Eine exakte Temperatur kann jedoch nicht angegeben werden, zumal sich

in der Vergasungszone keine einheitliche Temperatur, sondern ein Temperaturgefälle von Lufteintritt zum Gasaustritt einstellt, wobei die durchschnittliche Temperatur (der entsprechenden Meßstellen in der Technikumsanlage der VER GmbH) etwa 700 bis 800 °C beträgt. Eine erforderliche höhere Temperatur, insbesondere Austrittstemperatur aus dem Vergaser, als der thermodynamischen Gleichgewichtstemperatur entspricht, führt entsprechend der dargestellten Gesamtenergiebilanz zwangsläufig zu einer Verminderung des Heizwertes gegenüber dem berechneten thermodynamischen Optimum.

5.2. Vorversuche zur Vergasung von SGF

Zur Vorbereitung des Vergasungsversuches über 150 h wurde eine Reihe von Vorversuchen durchgeführt. Diese Vorversuche hatten das Ziel, Erkenntnisse über die Eignung des Brennstoffs und sein Verhalten im Vergaser zu gewinnen, die optimale Fahrweise insbesondere hinsichtlich der Gasqualität zu ermitteln sowie die Vergasungsbedingungen für den durchzuführenden 150-h-Versuches festzulegen.

1. Vorversuch am 13.09.96

Mit diesem Versuch wurde das Vergasungsverhalten hinsichtlich der sich einstellenden Temperaturen und das Fließverhalten des Brennstoffs im Vergaser während des Vergasungsvorgangs getestet.

Als Ergebnis wurde festgestellt, daß die Abmessungen der Preßlinge im Verhältnis zu den Abmessungen des Vergasungsraumes zu groß sind, um ein ausreichendes Fließverhalten des Brennstoffs im Vergaser von oben nach unten zu gewährleisten. Die einzelnen Preßlinge wurden deshalb in 4 Teilstücke zerschlagen.

Weiterhin wurde festgestellt, daß auf Grund des hohen Heizwertes in Verbindung mit dem geringen Wassergehalt im Brennstoff zu hohe Temperaturen in der Vergasungszone (teilweise über 1000 °C) und der Brennkammer (bis 1400 °C) und zu hohe Gasaustrittstemperaturen (800 °C und mehr) auftreten. Zur Beherrschung der Temperaturen wurde mit Rauchgasrückführung gearbeitet. Brenngasuntersuchungen erfolgten bei diesem Versuch nicht.

2. Vorversuch vom 12. bis 14.11.96

In diesem Vorversuch wurde der Einfluß der Leistung, ausgedrückt in dem Vergasungsluftdurchsatz , und der Rauchgasrückführung auf das Verhalten des Vergasers und die Qualität des erzeugten Gases untersucht. Weiterhin sollte das Gesamtverhalten über einen Zeitraum von etwa 50 h getestet werden.

Im Verlauf dieses Versuches wurde festgestellt, daß trotz der schon beschriebenen Zerkleinerung der Brennstoffpreßlinge Brücken- und Hohlraumbildung im Vergasungsapparat auftrat, die durch Stochern beseitigt werden mußten. Während des Versuches erfolgte deshalb eine Umstellung auf weitergehend zerkleinerten Brennstoff mit einer Kantenlänge von 20 bis 50 mm, das entspricht etwa 8 Teilstücke aus einem Preßling.

Der Vergasungsluft- und Rauchgasdurchsatz, die Brenngaszusammensetzung und der daraus berechnete Heizwert sind nachfolgender Tabelle 1 zusammengestellt.

Probe	1	2	3	4
Luft in m^3/h	28	41	21	27
Rauchgas in m^3/h	25	20	14	23
H_2 in Vol.-%	5,6	6,2	2,6	4,3
CH_4 in Vol.-%	1,3	0,6	0,0	0,0
CO in Vol.-%	6,0	8,3	2,9	4,3
CO_2 in Vol.-%	17,0	13,8	5,0	9,7
O_2 in Vol.-%	0,7	3,3	10,7	9,1
Hu in kJ/m^3	1827	1931	646	1006

Tabelle 1: Brenngaszusammensetzung bei geringem Vergasungsluftstrom und Rauchgasrückführung

Die Gasanalysen wurden diskontinuierlich durchgeführt. Dazu wurden bei konstanten Vergasungsbedingungen Gasproben gezogen und einem unabhängigen Labor - ERGO Umwelttechnik Dresden GmbH - zur Analyse übergeben.

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, daß neben der Vergasungsmittelzusammensetzung der Vergasungsmitteldurchsatz einen großen Einfluß auf den Umsetzungsgrad des Vergasungsmittels besitzt, wie an den Restsauerstoffgehalten zu erkennen ist. Ein niedriger Durchsatz in dem untersuchten Bereich verursacht einen niedrigeren Umsatz mit den dadurch bedingten niedrigen Gasheizwerten. Der Grund dafür liegt möglicherweise in einem ungünstigeren Strömungsprofil des Gases bei niedrigerer Geschwindigkeit.

3. Vorversuch am 25.11.96

Im dritten Vorversuch wurde getestet, ob durch eine Erhöhung des Wassergehaltes und die dadurch verstärkt ablaufende endotherme heterogene Wassergasreaktion eine Senkung der maximalen Vergasertemperatur erreicht werden kann, um auf die Rezirkulierung von Rauchgas mit ihren negativen Auswirkungen auf den Heizwert verzichten zu können. Wegen der genaueren und gleichmäßigeren Dosierung wurde nicht der Brennstoff befeuchtet, sondern das Wasser mittels einer Feindosierpumpe der Vergasungsluft zugesetzt. Die Wassermenge wurde dabei so bemessen, daß sie einem

Gesamtwassergehalt des Brennstoffs von etwa 25 Ma.-% entspricht. Das gilt auch für die nachfolgenden Versuche, soweit mit Wasserzugabe gearbeitet wurde.

Bei diesem Versuch wurde nochmals mit einer extrem niedrigen Vergasungsmittelmenge gearbeitet.

Der Vergasungsluftdurchsatz, die Brenngaszusammensetzung und der daraus berechnete Heizwert sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Es ist ersichtlich, daß trotz des extrem niedrigen Vergasungsmittelstromes kein vollständiger Umsatz zu verzeichnen war, wie aus dem noch vorhandenen Restsauerstoffgehalt ersichtlich ist. Gegenüber den Versuchen mit Rauchgasrezirkulierung ist jedoch erwartungsgemäß ein deutlicher Anstieg des Gehaltes an brennbaren Komponenten im Gas und damit des Heizwertes zu verzeichnen.

Probe	5	6
Luft in m^3/h	10	10
Rauchgas in m^3/h	0	0
H_2 in Vol.-%	9,3	8,8
CH_4 in Vol.-%	1,4	1,4
CO in Vol.-%	9,4	10,0
CO_2 in Vol.-%	14,0	14,8
O_2 in Vol.-%	3,2	2,9
Hu in kJ/m^3	2690	2712

Tabelle 2: Brenngaszusammensetzung bei geringem Vergasungsluftstrom und Wasserzugabe

Die Beprobung und die Gasanalyse erfolgte wie beim 2. Vorversuch.

4. Vorversuch am 11. und 12.12.96

Bei diesem Versuch wurde der Einfluß des Vergasungsmittelstromes auf die Zusammensetzung und den Heizwert des erzeugten Gases bis nahe an die Grenze der Anlage ermittelt. Begrenzend für die Leistung ist einerseits die Leistung der Gebläse und andererseits die Möglichkeiten zur Abführung der Verbrennungswärme des Gases. In dieser Versuchsreihe wurde zur Begrenzung der Vergasertemperatur mit Rauchgasrückführung gearbeitet.

Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengestellt.

Probe	7	8	9	10
Luft in m³/h	33	39	52	58
Rauchgas in m³/h	23	20	15	13
H_2 in Vol.-%	8,4	7,4	9,7	10,7
CH_4 in Vol.-%	1,2	0,8	0,8	0,9
CO in Vol.-%	6,9	8,0	9,1	16,6
CO_2 in Vol.-%	16,3	14,0	23,0	13,2
O_2 in Vol.-%	0,4	1,9	0,8	0,0
Hu in kJ/m³	2205	2094	2480	3572

Tabelle 3: Brenngaszusammensetzung in Abhängigkeit vom Vergasungsluftstrom bei Rauchgasrückführung

Die Probenahme erfolgte unter den bereits beschriebenen Gesichtspunkten und die analytische Bestimmung durch das genannte Meßinstitut.

Der Einfluß des steigenden Vergasungsmitteldurchsatzes auf den resultierenden Heizwert des Gases ist deutlich zu erkennen.

5. Vorversuch am 17.12 96 und 10.01.97

Die Zielstellung diese Versuches war analog dem Vorversuch 4 mit dem Unterschied, daß zur Minderung der maximalen Vergasertemperatur mit Wasserzusatz gearbeitet wurde. Es wurden die in Tabelle 4 zusammengestellten Ergebnisse erhalten.

Probe	13	14	15	16
Luft in m³/h	38	39	55	50
Rauchgas in m³/h	0	0	0	0
H_2 in Vol.-%	13,2	10,8	11,9	12,1
CH_4 in Vol.-%	0,9	1,6	1,7	1,7
CO in Vol.-%	12,2	11,9	15,2	15,0
CO_2 in Vol.-%	14,0	14,8	12,.0	14,8
O_2 in Vol.-%	0,0	0,0	0,9	0,2
Hu in kJ/m³	3284	3239	3811	3807

Tabelle 4: Brenngaszusammensetzung in Abhängigkeit vom Vergasungsluftstrom bei Wasserzusatz

Der in Vorversuch 4 festgestellte Einfluß wurde damit bestätigt. Insgesamt befinden sich die Heizwerte gegenüber der Fahrweise mit Rauchgasrückführung erwartungsgemäß auf einem höherem Niveau.

Ergebnisse und Auswertung der Vorversuche

1. SGF ist mit dem LQV-Verfahren gut verwertbar. Im Verhältnis zu den Vergaserabmessungen sind aber die SGF-Preßlinge bedeutend zu groß, um ein ungehindertes Fließen des Brennstoffs im Vergaser von ober nach unten während des Vergasungsvorgangs zu gewährleisten. Es ist deshalb eine Zerkleinerung auf etwa 20 - 50 mm Kantenlänge erforderlich, das entspricht etwa 6 - 8 Teilstücke pro Preßling.

2. Beim Einsatz von ausschließlich Luft als Vergasungsmittel besteht die Gefahr der Überhitzung des Vergasers, so daß auf Grund der Metallbauweise eine Beschädigung zu befürchten ist. Durch Rückführung von Rauchgas zur Vergasungsluft oder durch Erhöhung des Wassergehaltes im Brennstoffes bzw. Zusatz von Wasser zur Vergasungsluft ist die Überhitzung beherrschbar.

3. Die Rückführung von Rauchgas zur Vergasungsluft führt zu einer stärkeren Minderung des Gasheizwertes gegenüber einem Wasserzusatz. Letzterer ist aber gleichbedeutend einem höheren Wassergehalt und damit niedrigerem Heizwert des Brennstoffs und führt entsprechend den thermodynamischen Berechnungen ebenfalls zu einer Heizwertminderung des Gases gegenüber wasserärmeren Brennstoffen.

4. Bei zu niedriger Leistung entsprechend einem niedrigen Vergasungsluftstrom ist ein ungenügender Sauerstoffumsatz festzustellen. Ursache dafür sind möglicherweise ungünstige Strömungsverhältnisse im Vergaser.

5. Der Heizwert des erzeugten Gases nimmt mit steigender Leistung entsprechend steigendem Vergasungsluftstrom zu. Diese Abhängigkeit ist in Diagramm 3 für die Fahrweise mit Wasserzusatz dargestellt. Diese Abhängigkeit steht in Übereinstimmung mit den in den Diagrammen dargestellten Ergebnissen der thermodynamischen Berechnungen, wonach mit fallendem thermischen Wirkungsgrad, also steigenden Wärmeverlusten, der Kaltgaswirkungsgrad bzw. Heizwert des erzeugten Gases geringer wird. Fallender Durchsatz verursacht aber einen steigenden auf die Brennstoffeinheit bezogenen Wärmeverlust.

Schlußfolgerungen aus den Vorversuchen

Aus den Ergebnissen der Vorversuche werden für die Durchführung des Vergasungsversuches über den Zeitraum von 150 h folgende Schlüsse gezogen.

1. Die SGF-Preßlinge werden wie beschrieben zerkleinert.

2. Der Vergasungsluftstrom wird unter Vollast (100 % Vergaserleistung) auf 50 - 60 m^3/h eingestellt.

3. Zur Beherrschung der maximalen Vergasertemperatur insbesondere hinsichtlich Schonung des Konstruktionsmaterials wird der Vergasungsluft zunächst Wasser zugegeben in einer Menge, die etwa einem Wassergehalt im Brennstoff von insgesamt 25 Ma.-% entspricht.

4. Im Verlauf der Vollastphase wird der Wasserzusatz reduziert und gegebenenfalls vollständig eingestellt, um den Einfluß der Wasserzugabe auf die Vergasungsparameter und die Gasqualität zu ermitteln.

6. Durchführung des 150-h-Versuches

6.1. Versuchsbedingungen

6.1.1. Versuchsprogramm

Als Versuchsbeginn wurde der 20.01.1997 festgelegt. Davon ausgehend wurde das nachstehend Versuchsprogramm aufgestellt.

Versuchszeitraum	Montag den 20.01.1997 Sonntag den 26.01.1997	06:00 Uhr bis 16:00 Uhr
davon 100 % Leistung bis	Montag den 20.01.1997 Samstag den 25.01.1997	Versuchsbeginn 20:00 Uhr
50 % Leistung	Samstag den 25.01.1997 Sonntag den 26.01.1997	20:00 Uhr bis Versuchsende

Meßgeräteaufbau	Montag den 20.01.1997	06:00 - 09:00 Uhr
Versuchsbeginn mit Zündung des Vergasers	Montag den 20.01.1997	10:00 Uhr
Beginn der kontinuierlichen Gasmessung	Montag den 20.01.1997	11:00 Uhr
1. Partikel- und Teermessung	Montag den 20.01.1997	18:00 - 22:00 Uhr
2. Partikel- und Teermessung	Donnerstag den 23.01.1997	08:00 - 18:00 Uhr
3. Partikel- und Teermessung	Samstag den 25.01.1997	00:00 - 15:00 Uhr
Leistungsreduzierung auf 50 %	Samstag den 25.01.1997	20:00 Uhr
4. Partikel- und Teermessung	Sonntag den 26.01.1997	04:00 - 08:00 Uhr
Versuchsende	Sonntag den 26.01.1997	16:00 Uhr

Durch die VER GmbH wurden folgende Basisdaten vorgegeben:

1. 100 % Vergaserleistung 50 - 60 m^3/h Vergasungsluft
2. 50 % Vergaserleistung 25 - 30 m^3/h Vergasungsluft

6.1.2. Analysenprogramm

Durch den Auftraggeber wurden folgende Meßinstitute mit der Messungen der Gaszusammensetzung beauftragt :

Messung	Komponenten	Meßinstitut
kontinuierlich	O_2 CO_2	ILK Luft- und Kältetechnik GmbH Bertolt Brecht Allee 62 01309 Dresden
	H_2 CO_2 CO Methan	*meta* Meßtechnische Systeme GmbH Bismarckstraße 66 01257 Dresden
diskontinuierlich	Teer- und Partikel-bestimmung	Lausitzer Analytik GmbH An der Heide 03139 Schwarze Pumpe

Zusätzlich wurden ab dem 2. Versuchstag 12:00 Uhr im Abstand von 6 Stunden Brenngasproben durch die VER genommen. Mit der Analytik dieser Gasproben wurde folgende Institution beauftragt :

Messung	Komponenten	Meßinstitut
diskontinuierlich	H_2 CO_2 CO Methan O_2	ERGO Umweltinstitut GmbH Lauensteiner Straße 42 01277 Dresden

6.1.3. Probenahmestelle

Die Brenngasproben wurden unmittelbar am Abzug des Brenngases vom Vergasers aus der Brenngasleitung zum Brenner entnommen. Dabei standen den o.g. Meßinstituten entsprechend den Vorabstimmungen jeweils ein absperrbarer Probenahmestutzen zur Verfügung.

Die isokinetische Probenahme zur Messung von Teer- und Partikelbestimmung wurde vorgefertigt an die Brenngasleitung montiert.

Für die Ermittlung sowohl der Gaszusammensetzung als auch der Teer- und Staubbelastung wurde somit direkt aus dem Vergaser austretendes Rohgas eingesetzt.

6.1.4. Brennstoffaufbereitung

Wie bereits ausgeführt, sind die angelieferten SGF-Preßlinge in der LQV-Anlage VA 130 nicht in ihrer Originalgröße einsetzbar. Bild 2 in der Anlage zeigt den Brennstoff im Anlieferungszustand. Die Aufbereitung erfolgt entsprechend den unter 5.2. genannten Gesichtspunkten. Aus Bild 3 ist der Brennstoff in aufbereitetem Zustand ersichtlich.

6.2. Versuchsaufbau

Der Aufbau der LQV-Versuchsanlage entspricht vollständig der unter 4. gegebenen Beschreibung.

Ergänzt wurde die Versuchsanlage durch die Analysentechnik der mit der Analytik beauftragten Partner

- *meta* Meßtechnische Systeme GmbH (Geräte ersichtlich aus den Bildern 4 und 5 in der Anlage),
- ILK Luft- und Kältetechnik GmbH (Darstellung der Geräte in Bild 6 der Anlage) und
- Lausitzer Analytik GmbH (Aufbau der Gerätschaften aus Bild 7 der Anlage zu ersehen).

6.3. Versuchsdurchführung

6.3.1. Brennstoffeinsatz und Reststoffaustrag

In Tabelle 5 sind die Ströme des während der gesamten Versuchszeit in den Vergaser eingetragenen Brennstoffs und des ausgetragenen Reststoffs zusammengestellt.

Datum	SGF in kg/d	SGF in kg/h	Reststoff in kg/d	Reststoff in kg/h
20.01.97	282,4	20,2	12,5	0,9
21.01.97	473,0	19,7	12,7	0,5
22.01.97	478,6	19,9	12,4	0,5
23.01.97	408,7	17,1	21,0	0,9
24.01.97	441,8	18,4	8,3	0,4
25.01.97	438,2	18,3	34,6	1,4
26.01.97	309,2	12,8	8,3	0,4
Gesamtmenge	2831,9 kg		109,8 kg	

Tabelle 5: Brennstoffeinsatz und Reststoffaustrag

Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich für den Vollastbetrieb (100 % Leistung entsprechend Versuchsprogramm) ein durchschnittlicher Brennstoffmassenstrom von 18,9 kg/h. Im Teillastbetrieb beträgt der Brennstoffmassenstrom 12,8 kg/h.

Die über die gesamte Versuchszeit ausgetragene Reststoffmenge beträgt 3,88 Ma.-% des insgesamt eingesetzten Brennstoffs. Dieser Wert erscheint gegenüber dem analytisch bestimmten Aschegehalt von 0,56 Ma.-% relativ hoch, es ist jedoch zu bemerken, daß die vorhandene LQV-Anlage für die Verwertung von Abfällen mit höherem Aschegehalt ausgelegt ist.

Aus den genannten Werten errechnet sich der Umsetzungsgrad der aschefreien Brennstoffsubstanz zu 96,7 % bzw. ein Kohlenstoffumsetzungsgrad von 93,4 %

Den ausgetragenen Reststoff zeigt Bild 8.

6.3.2. Bilanzierung der Wasserzugabe

Die Zugabe von Wasser in die Vergasungsluft des Vergasers dient wie bereits beschrieben zur

- Herabsetzung der Maximaltemperatur im Vergaser
- Materialschonung des Vergaserinnenraumes
- Vermeidung von Schlackebildung
- Abbau von Temperaturspitzen.

In Tabelle 6 sind die über den Versuchszeitraum zugegebenen Wassermengen aufgeführt. Diese Tabelle besitzt Protokollcharakter, d.h., die angegebene Einstellung gilt bis zur folgenden Eintragung. In Diagramm 5 ist die Menge des zugegebenen Wassers über der Versuchszeit aufgetragen.

Da die Wassereindüsung zur Zeit nicht in das regelungstechnische System der Vergasungsanlage eingebunden ist, erfolgt die Einstellung der zudosierenden Wassermenge manuell über die Stellschraube der Pumpe. Die Wassermenge richtete sich nach der einzustellenden Vergasertemperatur, wobei ein Bereich von 900 - 1000 °C angestrebt wird.

Für die im Vergaser ablaufenden Reaktionen und die Energie- und Massebilanz ist es unwesentlich, ob es sich um extern zugeführtes oder ursprünglich als Feuchte im Brennstoff enthaltenes Wasser handelt. Die Menge des zugeführten Wassers in der Versuchsphase der kontinuierlichen Zugabe ergibt bilanzmäßig einen Gesamtwassergehalt des eingesetzten Brennstoffs von etwa 25 Ma.-%.

	Zeit	Wassermenge in l/h
Montag, 20.01.	11:18 12:10 14:24 15:55 16:40 17:05 23:05	3,6 6,0 4,8 6,0 Wasserzugabe gestoppt 6,0 6,2
Dienstag, 21.01.	00:11	6,0
Mittwoch, 22.01.	12:20 16:04 17:03 23:09	5,5 6,0 5,5 6,0
Donnerstag, 23.01.	05:31 05:49 15:17 20:32 23:02	4,8 Wasserzugabe gestoppt 4,8 5,5 6,0
Freitag, 24.01.	00:22 01:39 03:14 4:38 22:38 23:27	4,8 Wasserzugabe gestoppt 4,8 Wasserzugabe gestoppt 4,8 Wasserzugabe gestoppt
Samstag, 25.01.	22:35 23:07	4,8 Wasserzugabe gestoppt
Sonntag, 26.01.		0

Tabelle 6: Zeitliche Folge der Wasserzugabe

6.3.3. Versuchsprotokoll

Die Versuchsdurchführung erfolgte entsprechend des unter 6.1.1. aufgeführten Versuchsprogrammes. Im vollständigen Versuchsprotokoll, das als Anhang 2 beigefügt ist, sind sämtliche während es Versuches durchgeführten Handlungen protokolliert.

Nachfolgend werden die für die Beurteilung der Versuchsdurchführung relevanten Handlungen und Ereignisse kurz kommentiert in tabellarischer Form zusammengestellt.

1. Versuchstag 20.01.97

14:05	Infolge fehlender Wärmeabnahme durch das Betriebsnetz schließt die Überlastregelung zum Schutz vor Überhitzung der dem Vergaser nachgeschalteten Anlagenperipherie (Aktivkohlefilter usw.) die Vergasungsluft. Durch Zuschaltung eines separaten Kühlkreislaufes wurde die Wärmeabfuhr erhöht, so daß die Regelung den eingestellten Sollwert wieder anfährt.
16:40	Infolge eines Kabeldefektes am Eintragssystem kam es zu einer kurzzeitigen Unterbrechung des Eintrages. Um ein Leerfahren oder Überhitzen des Vergasers zu vermeiden wurde die Vergasungsluft bis zur Behebung des Schadens gedrosselt.

2. Versuchstag 21.01.97

08:15 - 09:47	Ausfall des Datenerfassungsprogramm Messtec

3. Versuchstag 22.01.97

13:30/ 14:30	Kurzzeitige Reduzierung der Vergaserluft zwecks Austausch eines Flansches für die Probenahmestutzen.

4. Versuchstag 23.01.97

09:45 - 13:55	Während der Versuchsfahrt kam es zu einem stetigen Anstieg des Vergaserinnendruckes. Da die normale Fahrweise im geringen Unterdruck erfolgt, wurde im bezeichneten Zeitraum eine kurzzeitige Betriebsunterbrechung zur Besichtigung der Brenngasleitung genutzt, um eventuelle Staubablagerungen, die zum Zusetzen der Brenngasleitung führen können, zu lokalisieren. Die Besichtigung ergab keine nennenswerten Ablagerungen. Nach der Wiederinbetriebnahme der Anlage wurde der Feinkornanteil >10 mm im Brennstoff ausgehalten. Durch diese Feinkornaushaltung beim Brennstoffeintrag in den Vergaser war ab dem 4. Versuchstag keine weiteren Druckerhöhung mehr zu verzeichnen. Eine abschließende Befahrung der Anlage nach Versuchende ergab geringfügige Ablagerungen von zum großen Teil festgebackenen Feinkoks im Bereich des Brenngasabzuges. Diese Ablagerung führte zu einer Querschnittsverengung und damit zu einem erhöhten Vergaserdruck. Konstruktive Änderungen zur Verhinderung solcher Ablagerungen wurden bereits nach der Durchführung dieses Versuches realisiert.
17:57	Versehentliches NOT-AUS durch Bedienpersonal

5. Versuchstag 24.01.97

07:07	Reinigung des Meßgasstutzens.
14:47	Reinigung des Meßgasstutzen
17:18	Vergaser gestochert wegen Brennstoffbrücke im Eintrag
18:30	Vergaser gestochert wegen Brennstoffbrücke im Eintrag

6. Versuchstag 25.01.97

02:40	Stromausfall in der Versuchsanlage
17:00	Vergaser gestochert wegen Brennstoffbrücke im Eintrag
23:07	Ausfall der ECONTROL-Computersteuerung. Damit verbunden war der Ausfall der Gesamtanlage infolge Neustart des Programmes

7. Versuchstag 26.01.97

keine Störungen

Die aus den aufgeführten Daten abgeleitete Anlagenverfügbarkeit über die gesamte Versuchsdauer ist im Diagramm 4 dargestellt. Wegen der Unregelmäßigkeit am 4. Versuchstag, verursacht durch den Einsatz eines zu hohen Anteils an Feinkorn im Brennstoff, wurde in Abstimmung mit dem Vertreter des Aufttraggebers die Gesamtversuchszeit um 8 h auf insgesamt 158 h erhöht, um die Betriebsfähigkeit über den geforderten Zeitraum nachzuweisen.

	Vergasungs-luftstrom in m^3/h		max.Vergaser-temperatur in °C		Brenngas-temperatur in °C	
	Mittelwert	Standardabw.	Mittelwert	Standardabw.	Mittelwert	Standardabw.
1.Tag ab 12:00	47,2	12,1	884,9	36,3	529,8	35,7
2.Tag	51,3	3,2	895,3	15,2	547,4	18,9
3.Tag	52,2	3,9	907,1	17,2	564,6	10,2
4.Tag	42,9	16,8	909,7	77,0	564,9	44,0
5.Tag	52,7	0,3	964,4	6,7	622,1	1,1
6.Tag	52,8	18,0	972,5	56,8	662,2	42,8
7.Tag bis 4:00	53,7	1,8	996,2	8,5	653,9	11,2
7.Tag ab 4:15	34,1	1,4	961,4	25,1	603,6	12,6

Tabelle 7: Tägliche Auflistung der Hauptparameter der Vergasung

Zur Verdeutlichung der Betriebsstabilität sind in Tabelle 7 für die einzelnen Versuchstage die Mittelwerte der Hauptparameter

- Vergasungsluftstrom
- Vergasertemperatur und
- Brenngastemperatur

mit den entsprechenden Standardabweichungen zusammenfassend dargestellt.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß der Versuchsbetrieb über die 158 Stunden stabil verlief.

6.3.4 Brenngasanalytik

Die Analytik des erzeugten Gases durch die beauftragten Meßinstitute einschließlich der Probeentnahme für die diskontinuierlichen Brenngasuntersuchungen erfolgte entsprechend des unter 6.1.2. aufgeführten Analysenprogramms. Im Anhang 3 sind die mit der Brenngasanalytik zusammenhängenden Aktivitäten protokollarisch erfaßt.

7. Meßergebnisse des 150-h-Vergasungsversuches

7.1. Vergasungsparameter

Die wesentlichsten Betriebsparameter der Vergasung sind die Vergasungsmittelströme und die sich einstellenden Temperaturen.

Bei dem durchgeführten Versuch waren Luft und zeitweise zusätzlich Wasser die eingesetzten Vergasungsmittel, bezogen auf den Originalwassergehalt des Brennstoffs von 5,5 Ma.-%.

In den Diagrammen 6.1 bis 6.8 sind der Gesamtluftstrom, der Vergasungsluftstrom und der Rostluftstrom über der Versuchszeit aufgetragen. Unter Vergasungsluftstrom ist der eigentliche Querluftstrom zu verstehen, der in Summe mit dem Rostluftstrom den Gesamt-Vergasungsluftstrom ergibt. Der geringe Rostluftstrom hat die Aufgabe, den Ausbrand des Reststoffes zu verbessern. Auf Grund des extrem niedrigen Aschegehaltes war unter den gewählten Bedingungen, wie unter 6.3.1. bereits dargelegt, ein vollständiger Ausbrand aber nicht zu erreichen. Die Differenz zu der dargestellten Gesamtluft stellt die Verbrennungsluft dar. In den Diagramme sind entsprechend dem Versuchsprotokoll alle die Betriebsstabilität beeinflussenden Aktivitäten und Ereignisse angegeben, die zu Abweichungen vom stetigen Vergasungsverlauf führten.

Die zusätzliche Wasserzugabe ist im Diagramm 5 über der Versuchszeit dargestellt. Die Wasserzugabe unterlag keiner Regelung und wurde von Hand eingestellt. Die Wassermenge war entsprechend Versuchsprogramm so gewählt, daß etwa 25 % Gesamtwasseranteil des Brennstoffs resultierten bzw. auf Wasserzusatz verzichtet wurde. Darüber hinaus wurde die Wasserdosierung an den Vergaserzustand angepaßt, d.h., bei Vergasungsluftunterbrechung ebenfalls unterbrochen oder bei Schwankungen der maximalen Vergasertemperatur (als Folge eines veränderten Vergasungsluftstromes) entsprechend variiert.

Aus den Diagrammen 6.1 bis 6.8 geht hervor, daß bei den aufgetretenen Ereignissen als äußere Einwirkungen oder notwendigen Handlungen kurzzeitige Verminderungen oder Unterbrechungen des Vergasungsluftstromes auftraten, die aber für den kontinuierlichen Vergasungsverlauf im Großen und Ganzen unbedeutend waren.

Einen wesentlicheren Einfluß auf die Stabilität des Vergasungsverlaufes hatte die Störung am 4. Versuchstag. Diese Störung war, wie nachträglich durch Befahren des Vergasers bestätigt wurde, durch Ablagerungen teerhaltigen Staubes am Gasaustrag des Vergasers hervorgerufen. Diese Ablagerungen führten zu einer Verengung des freien Abströmquerschnittes und damit zu einem merklichen Druckverlust. Diese Ablagerungen befanden sich im Bereich der Vergaserwand, so daß sie weder über die praktisch teer- und staubfreie Brenngasleitung noch durch Stochern über den Vergaser erreichbar waren (eine konstruktive Änderung ist bereits aus den Versuchsergebnissen abgeleitet worden und wird zur Zeit realisiert). Durch eine Verringerung des Füllstandes im Vergaser (Aussetzen der Beschickung) und damit Erhöhung der Temperatur in dem

genannten Bereich konnten die Ablagerungen vermindert und die Weiterführung des Vergasungsversuches gesichert werden.

Durch die genannten Ablagerungen erhöhte sich der Druck im Vergaserteil von anfänglich -50 Pa ab dem 2. auf über 1200 Pa (Meßbereichsgrenze) am 4 Versuchstag. Durch die eingeleiteten Maßnahmen konnte der Vergasungsversuch bei einem Vergaserdruck zwischen 1000 und 1200 Pa zu Ende geführt werden. Beim Übergang zum Teillastbetrieb sank der Druck im Vergaser durch die verringerte Strömung spontan wieder auf -50 Pa.

Um eine Wiederholung solcher Störungen im weiteren Versuchsablauf auszuschließen, wurde in der Folge das bei der Aufbereitung des Brennstoffs anfallende Feinkorn von ca. <10mm aus dem Vergasereinsatzstoff ausgehalten mit dem Erfolg, daß eine ähnliche Störung (weiterer Druckanstieg im Vergaser) nicht mehr auftrat.

Auf Grund dieser Störung wurde in Abstimmung mit dem Vertreter des Auftraggebers die vorgesehene Versuchszeit um 8 h verlängert.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, das aus der Sicht des Vergasungsluftstromes, durch den Schwankungen im Vergasungsablauf am deutlichsten aufgezeigt werden, bis auf die geschriebene Störung am 4. Versuchstag sowohl im Vollast- als auch im Teillastbetrieb eine stabile Versuchsfahrweise realisiert wurde.

In den Diagrammen 7.1 bis 7.8 sind die maximale Vergasertemperatur und die Temperatur am Vergaseraustritt über der Versuchszeit dargestellt. Auch hier sind alle die Betriebsstabilität beeinflussenden Aktivitäten und Ereignisse, die zu Abweichungen vom stetigen Vergasungsverlauf führten, eingetragen.

Aus den Diagrammen ist zu erkennen, daß sich kurzzeitige Unregelmäßigkeiten im Vergasungsverlauf infolge Änderungen des Vergasungsluftstromes auf die dargestellten Temperaturen in weit geringerem Maß auswirken. Im Verlauf der beschriebenen Störung am 4. Versuchstag ist die bewußt herbeigeführte kurzzeitige Erhöhung der Temperatur am Gasaustritt deutlich erkennbar. Erkennbar ist auch der Einfluß der Wasserzugabe auf die maximale Vergasertemperatur. Diese kann durch die zusätzliche Wasserzugabe um etwa 75 K gesenkt werden, was hinsichtlich des Schmelzverhaltens der Brennstoffasche bedeutend sein kann. Ein ähnlicher Einfluß ist auch auf die Brenngastemperatur am Vergaseraustritt festzustellen.

Beim Übergang zur Teillast ist eine Absenkung sowohl der maximalen Vergasertemperatur (durchschnittlich von 981 auf 962 °C) als auch der Brenngasaustrittstemperatur (durchschnittlich 652 auf 608 °C) zu verzeichnen. Dieser Effekt ist auf die höheren Wärmeverluste des Vergasungsapparates bei geringerer Leistung zurückzuführen.

7.2. Brenngaszusammensetzung

Zur kontinuierlichen bzw. quasikontinuierlichen Durchführung der Gasanalysen wurden vom Auftraggeber die

meta Meßtechnische Systeme GmbH
Bismarckstraße 66
01257 Dresden

mit der Bestimmung des Gehaltes an Kohlenmonoxid, Wasserstoff, Methan und Kohlendioxid

und die

ILK Luft- und Kältetechnik GmbH
Bertolt Brecht Allee 62
01309 Dresden

mit der Bestimmung des Gehaltes an Kohlendioxid und Sauerstoff beauftragt.

Ab 2. Versuchstag wurden von den Mitarbeitern der VER GmbH im Abstand von 6 h Gasproben entnommen und der

ERGO Umweltinstitut GmbH
Lauensteiner Straße 42
01277 Dresden

zur Ermittlung der Gehalte an Wasserstoff, Methan, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Sauerstoff übergeben.

Die Ergebnisberichte der genannten Meßinstitute sind diesem Versuchsbericht als Kopien beigelegt.

Dem Bericht der ERGO GmbH ist ein Zeitplan für die Probenahme beigefügt, da die Proben unter eine Probenummer übergeben wurden. Da das Gasprobegefäß für die Probe 17 nachweislich undicht war, wurden diese Werte ignoriert.

Die Meßergebnisse diese 3 Meßinstitute wurden einer vergleichenden Betrachtung unterzogen.

In Diagramm 8 sind die zeitgleich gemessenen CO_2-Werte der 3 beteiligten Meßinstitute gegenübergestellt. Daraus ist ersichtlich, daß zwischen den Meßwerten der ERGO und des ILK eine recht gute Übereinstimmung besteht. Die Werte der *meta* zeigen in etwa der Hälfte der Meßwerte größere Abweichungen.

Diagramm 9 zeigt eine Gegenüberstellung der von *meta* und ERGO gemessenen Werte von Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Die Meßwerte für Methan der gleichen Meßinstitute sind in Diagramm 10 gegenübergestellt.

Während bei der Bestimmung der Wasserstoffkonzentrationen im Brenngas über den gesamten Versuchszeitraum eine gute Übereinstimmung festzustellen ist, muß bei den Werten für Kohlenmonoxid insbesondere in der zweiten Versuchshälfte bei den von der *meta* gemessenen Werten eine deutlicher Abfall registriert werden. Die Übereinstimmung der ermittelten Methankonzentrationen kann in Anbetracht der geringen Gehalte bis auf wenige Ausnahmen als gut bezeichnet werden.
Die Konzentration des Restsauerstoffgehaltes im Brenngas wurde kontinuierlich durch ILK und im Rahmen der Einzelbeprobung durch ERGO analysiert. Die Werte sind im Diagramm 11 dargestellt. Die bei einigen Ergebnissen der ERGO GmbH ausgewiesenen erhöhten Sauerstoffgehalte (über 1 Vol.-%) sind nicht nachvollziehbar, zumal durch die kontinuierliche Sauerstoffgehaltsmessung durch ILK diese hohen Werte nicht bestätigt werden. Eine Vermischung der Gasproben mit Luft bei der Probenahme oder dem Transport kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, zumal die Konzentration der interessierenden Hauptkomponenten Wasserstoff und Kohlenmonoxid und die daraus errechneten Gasheizwerte dieser Proben einen Verdünnungseffekt erkennen lassen. Die Meßwerte für den Sauerstoff dieser Proben können deshalb ignoriert werden. Der Restsauerstoffgehalt des erzeugten Brenngases liegt somit über den Versuchszeitraum zwischen 0 und 0,2 Vol.-% und der daraus abgeleitete Sauerstoffumsetzungsgrad zwischen etwa 98 und 100 %, was einem praktisch vollständigen Umsatz entspricht.

Aus den Anteilen der Komponenten Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan im Brenngas, basierend auf den von *meta* und ERGO ermittelten Werten, wurden die Gasheizwerte berechnet und in Diagramm 12 zusammengestellt. Dieser Vergleich zeigt, daß die Heizwerte der auf Basis der von ERGO ermittelten Zusammensetzung durchschnittlich 500 bis 800 kJ/m³i.N. höher liegen (mit Ausnahme der oben beschriebenen luftverdünnten Proben). Die ist im wesentlichen auf den von *meta* ermittelten geringeren Kohlenmonoxidanteil zurückzuführen.

Bei der abschließenden Bewertung der Meßergebnisse aller beteiligten Meßinstitute ist erschwerend, daß nicht alle Parameter von allen Beteiligten ermittelt wurden. Auf der Basis des „Dreiervergleiches“ kann jedoch gesagt werden, daß insbesondere hinsichtlich der für den Heizwert des Brenngases wesentlichen Komponenten die Ergebnisse der ERGO GmbH als die sichereren Werte eingeschätzt werden können. Hinsichtlich des Restsauerstoffgehaltes sind die von ILK und ERGO ermittelten Werte als gleichwertig zu betrachten. Bei den Proben 21 bis 25 und 36 erfolgte offensichtlich ein Eindringen von Luft in die Gasprobe während des Transportes. Aus diesem Grund erfolgte bei diesen Proben eine Berechnung der Gaszusammensetzung auf die von ILK ermittelten Gehalte an Sauerstoff.

Die nachfolgende Auswertung der Meßergebnisse erfolgt deshalb auf der von ERGO ermittelten Konzentrationen im Brenngas, wobei die Werte für die Proben 21 bis 25 und 26 auf den von ILK ermittelten Sauerstoffgehalt berechnet wurden.

In Tabelle 8 sind diese Ergebnisse mit den daraus berechneten Heizwerten sowie die dazugehörigen Vergasungsluftströme und Wasserzugabemengen in der zeitlichen Folge zusammengestellt.

7.3. Einfluß der Vergaserleistung

Entsprechend Versuchsplan wurde am 26.01.96 04:15 Uhr die Leistung des Vergasers reduziert auf einen Vergasungsluftstrom von 34 m³/h, das entspricht einer Reduzierung auf etwa 65 %. Die Reduzierung der Leistung erfolgte in der Versuchsphase, in der ausschließlich Luft als Vergasungsmittel eingesetzt wurde.

Datum	Uhrzeit	Gasprobe Nr.	Vergas.+ Rostl. m³i.N./h	Wasserzug. ml/h	Brenngaszusammensetz. % H2	% CH4	% CO	Heizwert kJ/m³ i.N.
21.01.97	18:01	18	54	6000	13,9	1,7	13,9	3861
22.01.97	00:08	19	54	6000	13,7	1,3	16,7	4051
22.01.97	05:41	20	52	6000	12,3	1,7	16,6	4031
22.01.97	11:50	21	51	6000	*15,7*	*1,0*	*17,9*	*4317*
22.01.97	17:53	22	52	5500	*16,0*	*1,0*	*17,6*	*4311*
23.01.97	00:20	23	54	6000	*15,6*	*1,0*	*17,8*	*4294*
23.01.97	17:35	24	49	4800	*16,6*	*1,2*	*23,1*	*5143*
24.01.97	00:40	25	51	4800	*13,7*	*0,4*	*17,8*	*3949*
24.01.97	06:40	26	51		15	0,4	16,6	3855
24.01.97	12:20	27	53		15,3	0,4	18,7	4153
24.01.97	18:00	28	52		15,2	0,4	19	4180
24.01.97	23:56	29	53		11,5	0,4	19,9	3897
25.01.97	06:15	30	65		11,6	0,5	19,9	3943
25.01.97	11:47	31	61		14,6	0	18,8	3947
25.01.97	19:04	32	62		14,6	0	18,8	3947
25.01.97	23:50	33	57		13,4	0,4	18,5	3924
26.01.97	04:00	34	55		12,9	0,9	17,9	3973
26.01.97	07:52	35	33		12	0,9	17,6	3839
26.01.97	17:38	36	36		*12,5*	*0,6*	*18,4*	*3891*
26.01.97	23:20	37	34		15,5	0,5	19,5	4312

Tabelle 8: Von ERGO GmbH ermittelte Brenngaskomponenten, berechneter Gasheizwert und Vergasungsmittelmengen
Kursive Werte auf den von ILK gemessenen Restsauerstoffgehalt umgerechnet

Diese Reduzierung der Leistung hatte einen Abfall der maximalen Vergasertemperatur um etwa 50 K und der Brenngasaustrittstemperatur um etwa 100 K zur Folge (Diagramm 7). Dieser Temperaturabfall ist auf einen höheren spezifischen Wärmeverlust zurückzuführen. Letzterer bewirkt auch eine Verringerung des Heizwertes und der Wirkungsgrade. Hinsichtlich der quantitativen Auswertung sei auf die Auswertung des Diagramms 13, letzter Punkt, in 8. verwiesen.

8. Auswertung der Meßergebnisse

Für die Auswertung der Meßergebnisse werden sowohl die Meßergebnisse aus dem 150 h - Versuch als auch die Ergebnisse aus den Vorversuchen mit SGF herangezogen.

Die Abhängigkeit des Brenngas-Heizwertes von der Leistung des Vergasers, ausgedrückt als Luftbeaufschlagung als Summe von Vergasungs- und Rostluft), ist in Diagramm 13 dargestellt. Dabei wurden die praktizierten Fahrweisen mit den Vergasungsmitteln

- Luft mit Rauchgasrückführung
- Luft mit Wasserzugabe
- ausschließlich Luft

getrennt dargestellt. Die Fahrweise mit Wasserzugabe zur Vergasungsluft entspricht dabei der Vergasung von SGF mit einem Gesamtwassergehalt von ca. 25 Ma.-% mit ausschließlich Luft.

Aus den gesamten Meßdaten lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

- Die Heizwerte der Brenngase, die mit Wasserzugabe zur Vergasungsluft erzeugt wurden, liegen bei dem 150 h-Versuch etwa 100 bis 150 kJ/m³i.N. höher als mit ausschließlich Luft als Vergasungsmittel.
- Die Abhängigkeit des Heizwertes von der Leistung (Luftdurchsatz) mit und ohne Wasserzugabe ist entsprechend Diagramm 13 bei Wasserzugabe stärker ausgeprägt als bei alleinigem Einsatz von Luft.
- Durch die Wasserzugabe wurde die durchschnittliche maximale Vergasertemperatur um etwa 70 K gesenkt, während die durchschnittliche Gasaustrittstemperatur um ca. 80 K niedriger lag.
- Im Vergleich zu den berechneten Größen aus den Diagrammen 1b und 2b entspricht der durchschnittliche Heizwert beim Einsatz von ausschließlich Luft bei einem Luftstrom von 50 - 60 m³/h einem thermischen Wirkungsgrad des Vergasungsapparates von 0,73 und einem Kaltgaswirkungsgrad von 0,59 bei einem durchschnittlichen Heizwert des Gases von 3950 kJ/m³i.N.. Bei der Zugabe von Wasser wird bei gleichem Vorgehen ein thermischer Wirkungsgrad von 0,77 und ein Kaltgaswirkungsgrad von 0,62 bei einem durchschnittlichen Heizwert des Gases von 4120 kJ/m³i.N. ermittelt.
- Die Gasheizwerte, die thermischen Wirkungsgrade und die Kaltgaswirkungsgrade liegen somit bei der Fahrweise mit Wasser geringfügig höher als ohne Wassereinsatz. Die Ursachen dafür können sowohl in der niedrigeren Vergasertemperatur und damit niedrigerem Wärmeverlust als auch in der niedrigerem Gasaustrittstemperatur bei der Fahrweise mit Wasserzusatz zu suchen sein. Darüber hinaus führt die Anwesenheit von Wasser zu einer verstärkten Wasserstoffbildung und möglicherweise zu einer geringfügigen Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeiten während der Vergasung.

- Bei der Rauchgasrückführung in den Vergaser ist infolge der Verdünnung ein deutlich niedrigerer Heizwert des Brenngases und eine stärkere Abhängigkeit des Heizwertes von der Leistung zu verzeichnen. Thermodynamische Berechnungen wurden hierfür nicht durchgeführt, da mit unterschiedlichen Anteilen an Rauchgas gearbeitet wurde.
- Die Reduzierung der Vergaserleistung auf 34 m³/h Vergasungsluft, entsprechend etwa 65 % der vollen Leistung, bedingt eine Reduzierung der Gasheizwertes von durchschnittlich 3950 kJ/m³i.N. auf rund 3650 kJ/m³i.N. (der zu hoch erscheinende Wert von 4300kJ/m³i.N. wurde außer acht gelassen). Das entspricht entsprechend Diagramm 2b einen thermischen Wirkungsgrad von 0,70 und einem Kaltgaswirkungsgrad von 0,56 gegenüber einem thermischen Wirkungsgrad von 0,73 und einem Kaltgaswirkungsgrad von 0,59 bei Vollast.

In Diagramm 14 ist für die gleichen Versuchspunkte wie Diagramm 13 der Kohlenmonoxidgehalt in Abhängigkeit vom Wasserstoffgehalt aufgetragen. Wie zu erwarten, steigen generell mit zunehmenden Wasserstoffgehalt auch die Gehalte an Kohlenmonoxid. Hinsichtlich des Wasseranteils bei der Vergasung ist jedoch festzustellen, daß ein größeres Wasserangebot zu einer Verschiebung des H_2/CO-Verhältnisses zugunsten des Wasserstoffs führt. Dieses Verhalten war auf Grund der thermodynamischen Berechnungen zu erwarten.

Die Berechnung des Brenngasvolumenstroms über die Kohlenstoffbilanz erfolgt über die Proben Nr. 27 bis 33 mit einem durchschnittlichen Gehalt von 19,1 Vol.-%CO, 0,4 Vol.-% CH_4 und 9,2 Vol.-% CO_2 bei der Fahrweise ohne Wasserzusatz. Der durchschnittliche SGF-Einsatz über den gleichen Zeitraum betrug 18,3 kg/h. Bei einem Kohlenstoffgehalt des SGF von 47,5 % (5,5 % Wasser) und einem Kohlenstoffumsatz bei der Vergasung von 94 % resultiert ein Brenngasvolumen mit der angegebenen Zusammensetzung von 2,9 m³i.N./kg SGF, das ist bei dem genannten Einsatz von 18,3 kg SGF/h ein Brenngasvolumenstrom von 53,2 m³i.N./h.

Bei der genannten Gasausbeute von 2,9 m³i.N./kg SGF und einem mittleren Gasheizwert von 3999 kJ/m³i.N. über das betrachtete Zeitintervall resultiert eine Heizleistung das Gases von 11597 kJ, bezogen auf 1 kg SGF. Bei einem Heizwert des SGF von Hu=19360 kJ/kg ergibt das einen Kaltgaswirkungsgrad von 0,60. Dieser Wert stimmt sehr gut mit dem aus dem auf thermodynamischen Berechnungen basierenden Diagramm 2b entnommenen Wert von 0.59 überein.

Eine Bilanzierung des Brenngasvolumenstroms über den Vergasungsluftstroms ist nicht möglich, da die Meßwerte für den Vergasungsluftstrom offensichtlich mit zu großen Meßfehlern behaftet sind.

Die Aufstellung der Energiebilanz erfolgt analog über den Zeitraum der Proben 27 bis 33.

Bei einem durchschnittlichen Bennstoffeintrag von 18,3 kg/h mit einem Heizwert von 19.360 kJ/h ergibt sich ein Energieeintrag von 354.288 kJ/h (100 %).

Es werden je kg Brennstoff 2,9 m³i.N, also 53,1 m³i.N./h Gas mit einem durchschnittlichen Heizwert von 3999 kJ/m³i.N. erzeugt, das sind 212.227 kJ/h. Bezogen auf die eingetragene Brennstoffenergie sind das 59,9 %, entsprechend einem Kaltgaswirkungsgrad von 0,599.

Die Temperatur des austretenden Rohgases beträgt durchschnittlich 640 °C, entsprechend einer Temperaturerhöhung gegenüber den Einsatzstoffen von 620 K. Bei einer mittleren spezifischen Wärmekapazität des Gases von 1,54 kJ/m³i.N. wird durch die fühlbare Wärme des Brenngases ein Wärmestrom von 50.670 kJ/h ausgetragen, das sind 14,3 % der eingetragenen Brennstoffenergie.

Der thermische Wirkungsgrad als Summe dieser beiden Anteile beträgt damit 74,2 %. Damit stimmen die auf den Meßwerten beruhenden Größen sehr gut mit den auf den thermodynamischen Berechnungen basierenden überein.

Im Doppelmantel des Vergasers wird die Gesamtluft, bestehend aus Vergasungs- und Verbrennungsluft, auf etwa 480 °C aufgeheizt. Während die Energie der Vergasungsluft im Bilanzkreis verbleibt, wird mit 50 m³i.N./h dieser aufgeheizten Verbrennungsluft eine Wärmestrom von 26.700 kJ/h aus dem Bilanzkreis „Vergasung“ abgeführt (anschließend aber der Verbrennung des Gases wieder zugeleitet). Das sind 7,5 % der eingetragenen Brennstoffenergie. Bei einem ausschließlichen Einsatz der Vergasungsluft zur Kühlung kommt dieser Anteil praktisch vollständig dem Heizwert des Gases zugute, wodurch der Kaltgaswirkungsgrad auf 67,4 % erhöht wird.

Der Wärmeverlust des Vergasers beträgt somit 18,3 %, bezogen auf die eingetragene Brennstoffenergie. Bei größeren Aggregaten ist mit einer wesentlichen Verminderung des Wärmeverlustes zu rechnen.

9. Gesamteinschätzung

Der angelieferte Brennstoff mußte für den Einsatz in den Luft-Querstrom-Vergaser zerkleinert werden. Das zerkleinerte Produkt wurde zunächst ohne jede Klassierung in den Vergaser eingesetzt. Im Verlauf des 150 h-Versuches kam es durch den im Einsatzstoff enthaltenen Feinkornanteil, möglicherweise in Verbindung mit einer brennstoffspezifischen hohen Teerbildungsrate, zu Ablagerungen am Gasaustritt. Nachfolgend wurde die Hauptmenge des Feinkornanteils im Brennstoff ausgehalten, wodurch weiterhin ein störungsfreier Betrieb gewährleistet werden konnte. Die Versuchszeit wurde zum Ausgleich um 8 h auf 158 h verlängert und damit der Nachweis erbracht, daß die LQV-Anlage der VER GmbH für den Langzeitbetrieb geeignet ist.

Konstruktive Detailveränderungen am Vergasungsapparat, die aus dem Versuchsablauf abgeleitet wurden und derartige Störungen (Querschnittsverengung am Brenngasaustritt) ausschließen sollen, sind bereits nach Abschluß dieses Versuches realisiert worden. Weitere Detaillösungen werden zur Zeit konstruktiv bearbeitet und in den nächsten Monaten realisiert.

Die maximale Vergasertemperatur, die sich beim Einsatz des SGF (5,5 Ma.-% Wassergehalt) einstellt, beträgt etwa 1000 °C. Aus der geringen Größe des Vergasungsapparates und der Tatsache, daß die Gesamtluft (Vergasungs- und Verbrennungsluft) zur Kühlung des Vergasers eingesetzt wird, resultiert ein relativ hoher Wärmeverlust des Vergasers, wenn dieser allein als Bilanzkreis betrachtet wird.

Der thermische Wirkungsgrad beträgt 73 % und der Kaltgaswirkungsgrad 59 % bei einem durchschnittlichen Heizwert des Brenngases von 3950 kJ/m³i.N. Durch eine höheren Wassergehalt von 25 Ma.-% wird die maximale Vergasertemperatur um etwa 70 K abgesenkt bei einem durchschnittlichen Brenngasheizwert von 4120 kJ/m³i.N, einem thermischen Wirkungsrad von 0,77 und einem Kaltgaswirkungsgrad von 0,62 .

Durch den Anteil der Verbrennungsluft an der Vergaserkühlung werden bei einer mittleren Temperatur der aus dem Kühlsystem austretenden Luft von 480 °C und einem Verbrennungsluftstrom von 50 m³/h 26700 kJ/h abgeführt. Der Gesamtenergieeintrag bei einem Brennstoffeintrag von 440 kg/d bei einem Heizwert von 19.360 kJ/kg beträgt somit 355.000 kJ/h. Von dieser Heizleistung werden also rund 8 % durch die vorgewärmte Verbrennungsluft ab- und der Verbrennung direkt zugeführt. In einer technischen Anlage kann allein durch eine andere Luftführung der thermische Wirkungsgrad des Vergasers auf 0,81 erhöht werden, wodurch sich praktisch der Heizwert des Gases um den gleichen Anteil erhöht. Das Resultat wäre ein Kaltgaswirkungsgrad von etwa 67 %. Eine Vergrößerung der Anlage bringt eine weitere Verminderung des Wärmeverlustes.

Bei Verminderung des Wärmeverlustes auf 10 bis 15 % des eingesetzten Brennstoffheizwertes entsprechend einem thermischen Wirkungsgrad von 0,85 bis 0,9, z.B. bei größeren Anlagen, ist entsprechend den thermodynamischen Berechnungen ein Heizwert von 5500 bis 6000 kJ/m³ zu erwarten.

Im Teillastbereich von etwa 65 % der Vollast sinkt auf Grund des höheren spezifischen Wärmeverlustes der thermische Wirkungsgrad auf 70 % und der Kaltgaswirkungsgrad auf 56 %, d.h. auf etwa 95 % des Wirkungsgrades bei Vollast. Dieses an sich gute Teillastverhalten wird bei einer Verringerung der spezifischen Wärmeverluste noch verbessert.

Die Brenngaszusammensetzung, die Umsatzrate des mit der Vergasungsluft eingebrachten Sauerstoff und der aus der Gaszusammensetzung berechnete Heizwert sind in der nachfolgenden zusammengestellt.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, daß der Luft-Querstrom-Vergaser nach den geplanten konstruktiven Detailänderungen für die Gaserzeugung aus unterschiedlichen Brennstoffen als zuverlässig arbeitende Anlage mit gutem Teillastverhalten zur Verfügung steht.

Datum	Uhrzeit	Probe Nr.	Brenngaszusammensetzung % H2	% CH4	% CO	% CO2	% O2	% N2	Sauerstoff-umsatz %	Heizwert kJ/m³i.N.	
21.01.97	18:01	18	13,9	1,7	13,9	14,0	0,2	56,2	98,8	3861	
22.01.97	00:08	19	13,7	1,3	16,7	12,6	0,4	56,2	97,6	4051	
22.01.97	05:41	20	12,3	1,7	16,6	14,0	0,1	56,2	99,3	4031	
22.01.97	11:50	21	15,7	1,0	17,9	17,2	0,3	47,9	98,0	4317	X
22.01.97	17:53	22	16,0	1,0	17,6	17,5	0,2	47,8	98,8	4311	X
23.01.97	00:20	23	15,6	1,0	17,7	17,6	0,2	47,9	99,0	4294	X
23.01.97	17:35	24	16,6	1,2	23,1	17,6	0,3	41,2	98,1	5143	X
24.01.97	00:40	25	14,4	0,4	17,8	14,3	0,2	53	99,0	3949	X
24.01.97	06:40	26	15,0	0,4	16,6	14,0	0,1	62,2	99,4	3855	
24.01.97	12:20	27	15,3	0,4	18,7	9,0	0,1	56,5	99,3	4153	
24.01.97	18:00	28	15,2	0,4	19,0	8,8	0,1	56,5	99,3	4180	
24.01.97	23:56	29	11,5	0,4	19,9	9,2	0,1	58,9	99,4	3897	
25.01.97	06:15	30	11,6	0,5	19,9	9,0	0,2	58,8	98,8	3943	
25.01.97	11:47	31	14,6	0,0	18,8	9,8	0,1	56,7	99,3	3947	
25.01.97	19:04	32	14,6	0,0	18,8	9,5	0,1	57,0	99,3	3947	
25.01.97	23:50	33	13,4	0,4	18,5	9,0	0,1	58,6	99,4	3924	
26.01.97	04:00	34	12,9	0,9	17,9	11,5	0,1	56,7	99,3	3973	
26.01.97	07:52	35	12,0	0,9	17,6	11,4	0,1	58,0	99,4	3839	
26.01.97	17:38	36	12,5	0,6	18,4	9,4	0,2	59,9	99,1	3891	X
26.01.97	23:20	37	15,5	0,5	19,5	10,8	0,1	53,6	99,3	4312	

X Werte auf den von ILK gemessenen Restsauerstoffgehalt umgerechnet

Eine Rohgasreinigung mit dem Ziel, für den motorischen Einsatz geeignetes Gas bereitzustellen, ist geplant.

A n l a g e n

zum

V e r s u c h s b e r i c h t

**über die Durchführung des 150-h-Versuches
zur Vergasung von SGF (Standard Gasifier Fuel) - Brennstoff
in der Luft-Querstrom-Vergasunganlage (LQV)
vom 20. bis 26. Januar 1997**

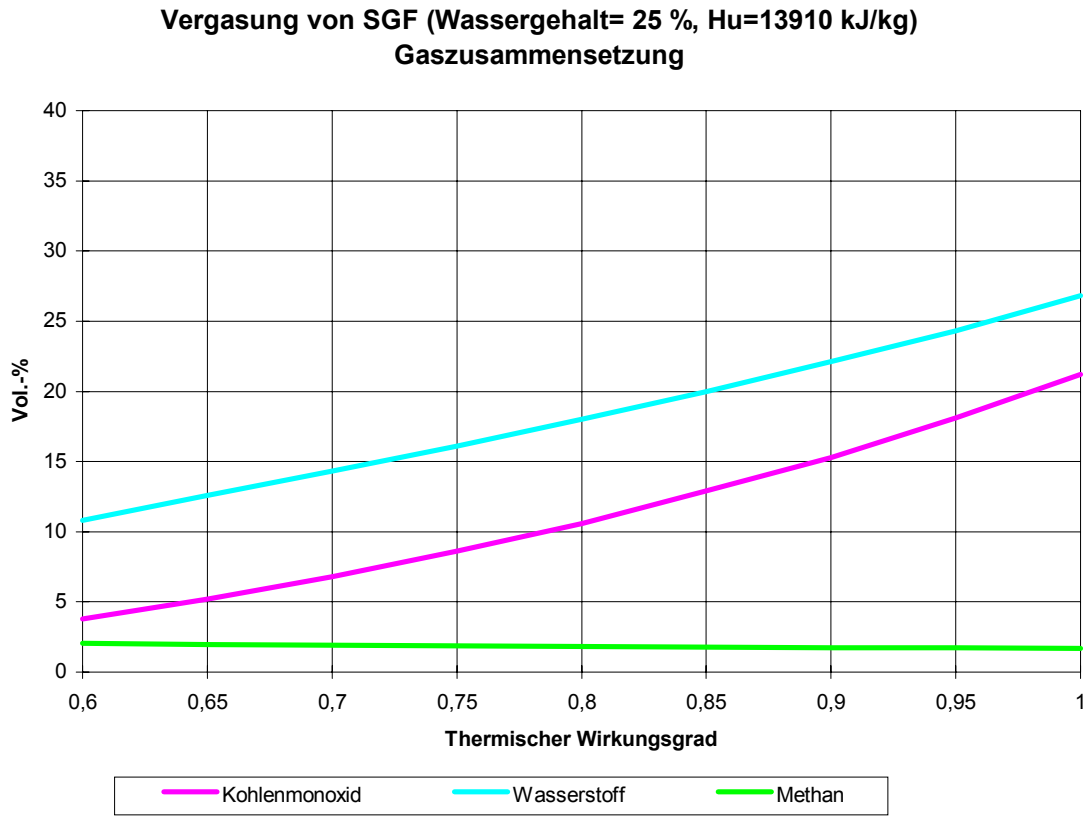


Diagramm 1a: Gaszusammensetzung bei einem Wassergehalt des SGF von 25 %, Hu= 13910 kJ/kg

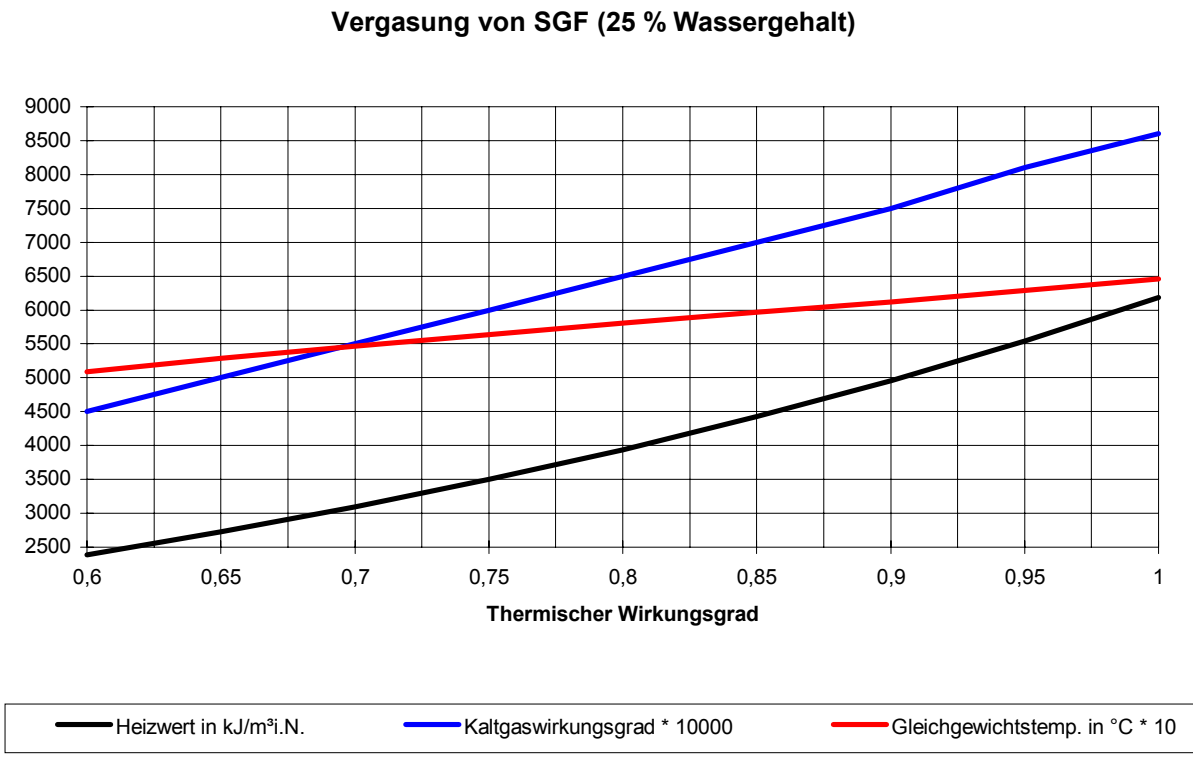


Diagramm 1b: Vergasungsparameter bei einem Wassergehalt des SGF von 25 % Hu=13910 kJ/kg

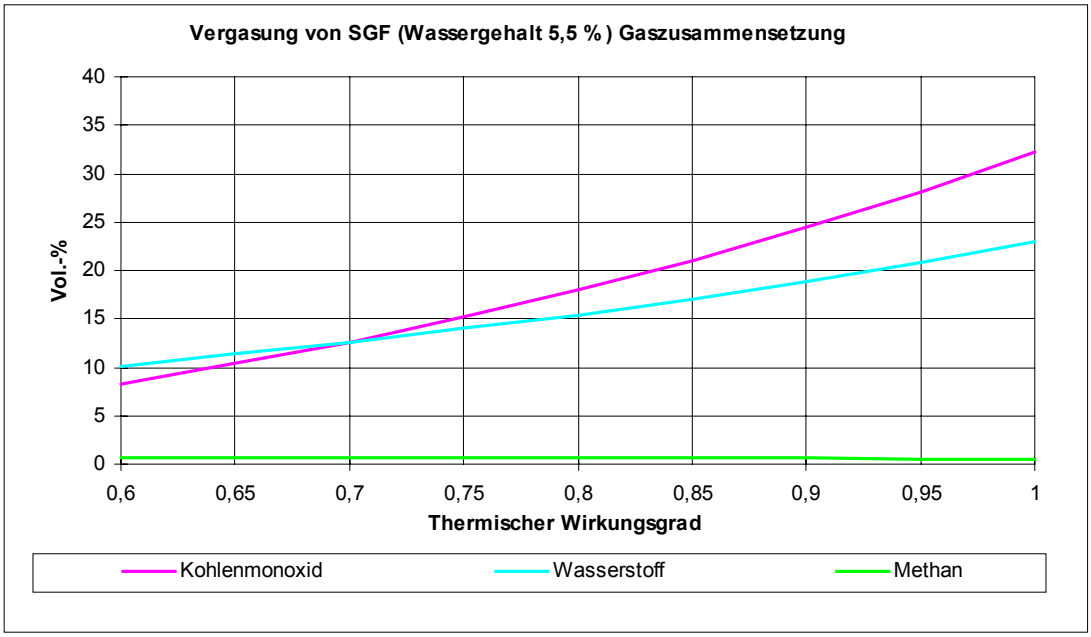


Diagramm 2a: Gaszusammensetzung bei einem Wassergehalt des SGF von 5,5 %

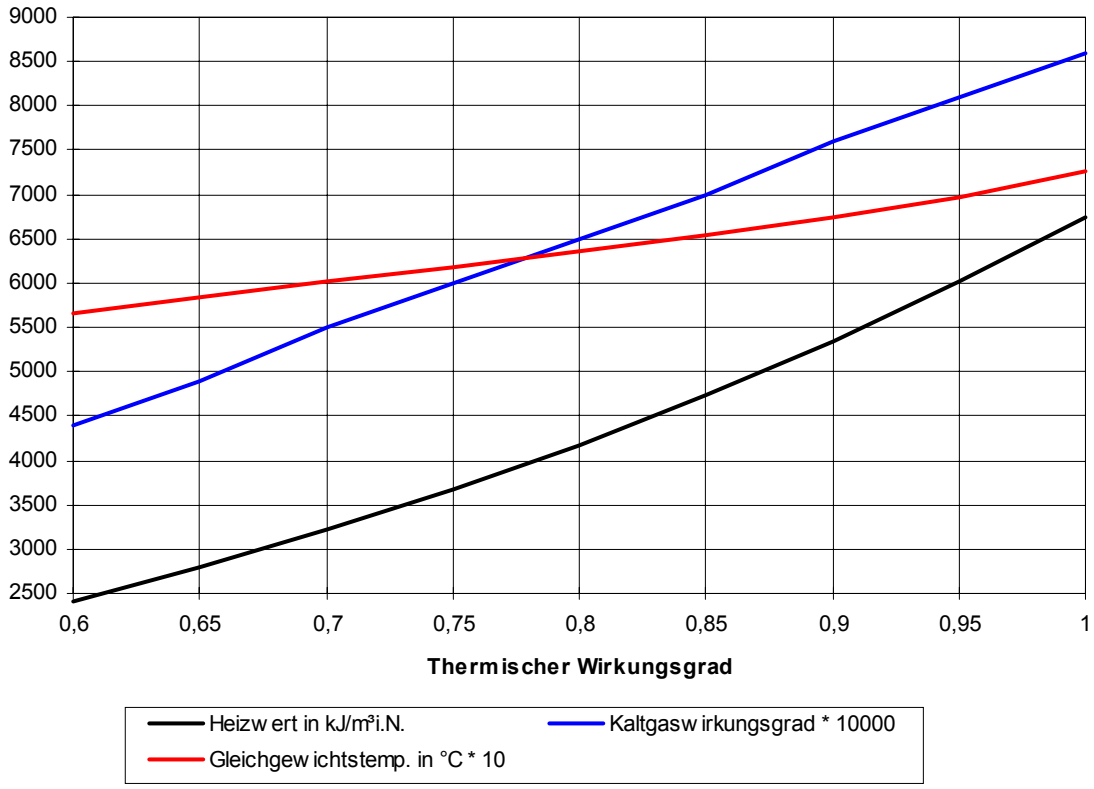


Diagramm 2b: Vergasungsparameter bei einem Wassergehalt des SGF von 5,5 %

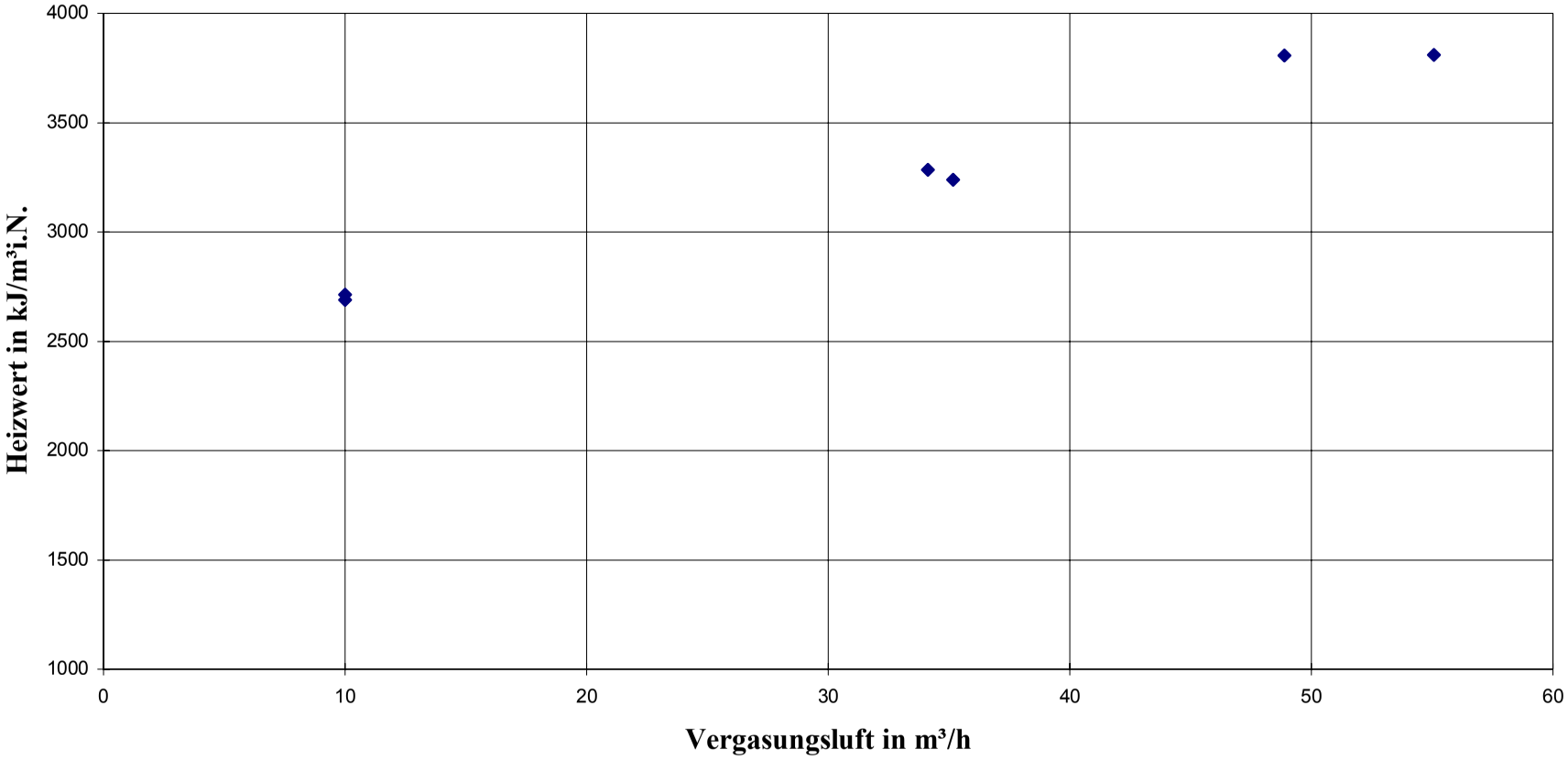


Diagramm 3: Heizwert des Brenngases in Abhängigkeit vom Vergasungsluftstrom

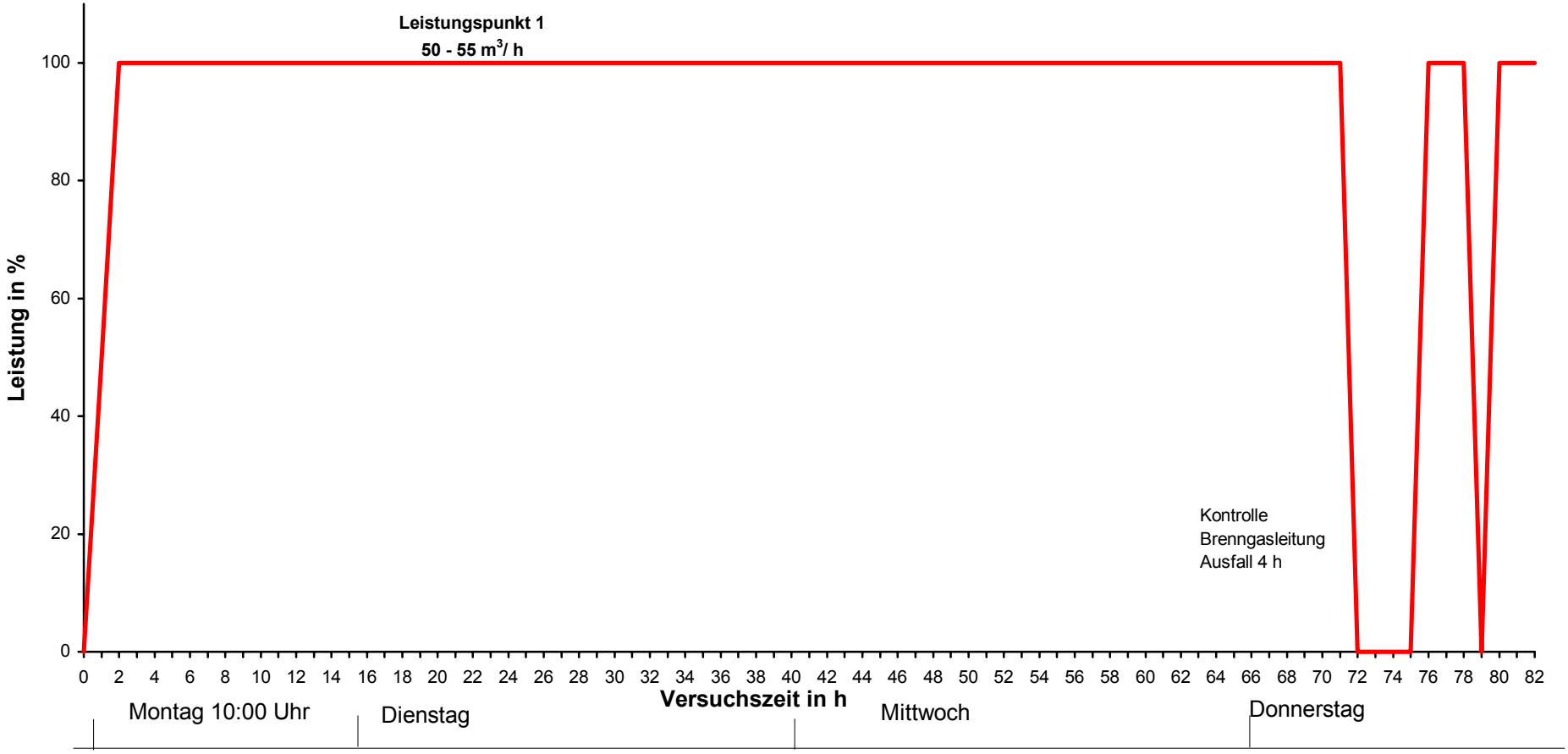


Diagramm 4 Blatt 1/2: 150 h - Versuch SGF 20.01. - 26.01.1997 - Anlagenverfügbarkeit

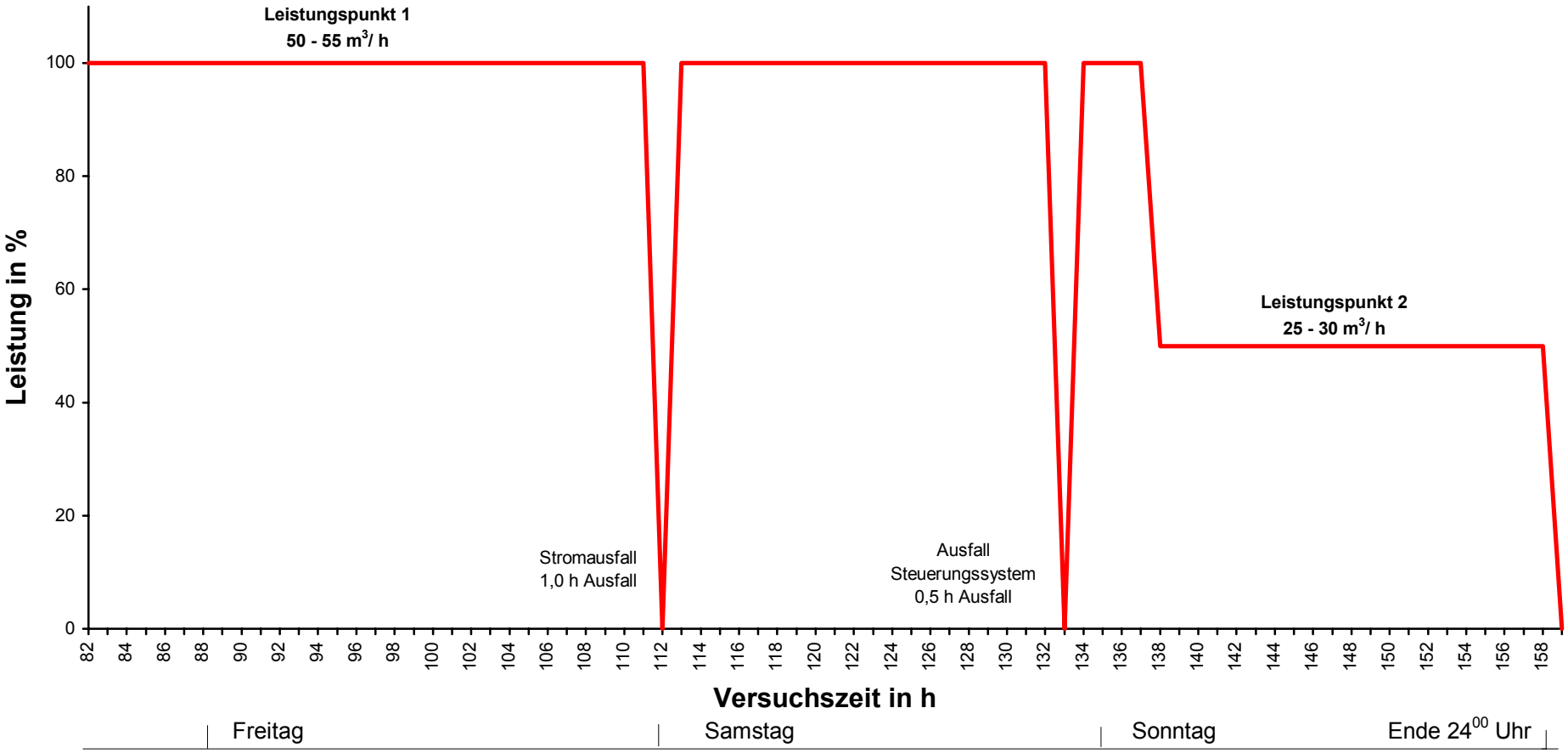


Diagramm 4 Blatt 2 / 2:150 h - Versuch SGF 20.01. - 26.01.1997 - Anlagenverfügbarkeit

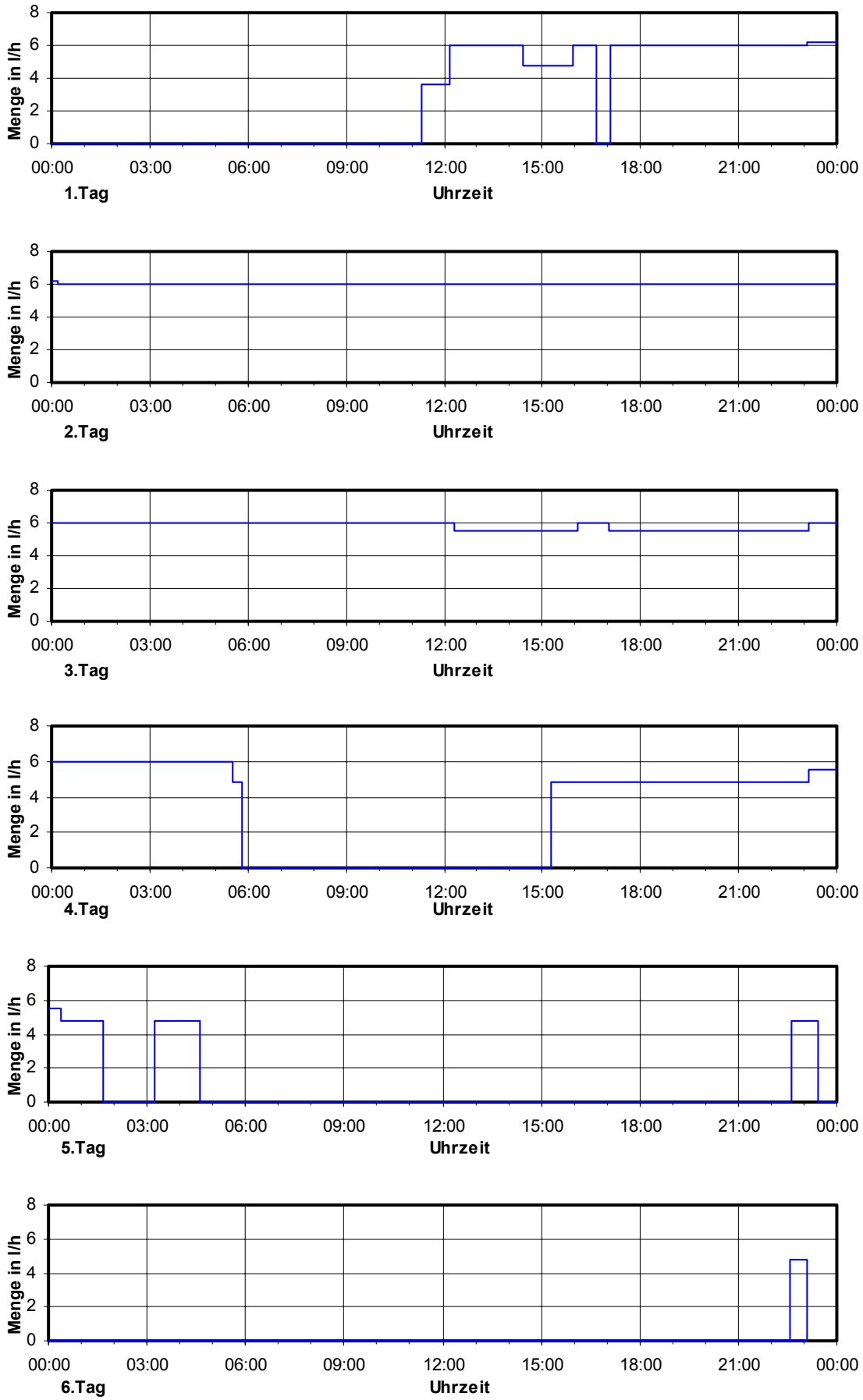


Diagramm 5: Wasserzugabe in die Vergasungsluft

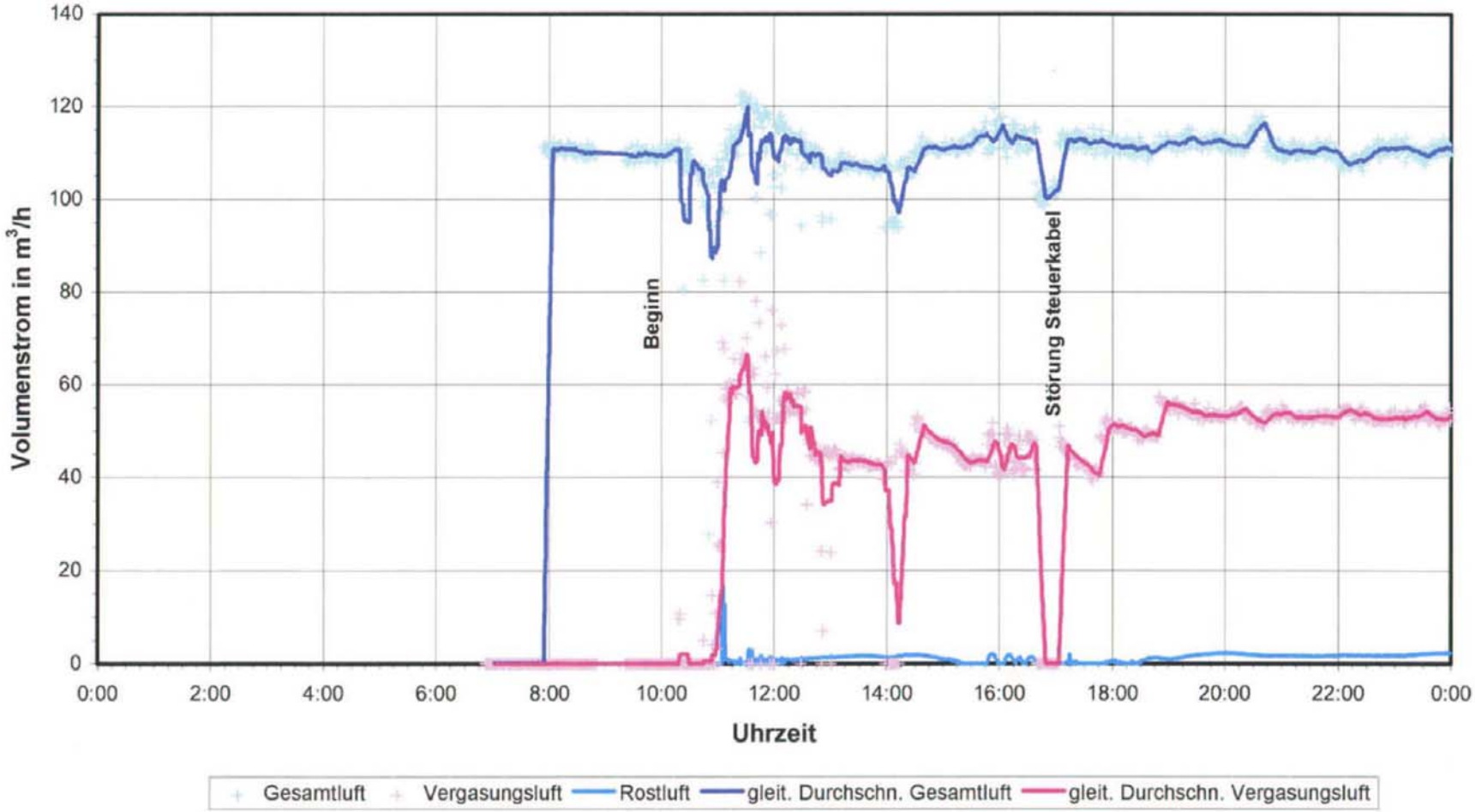


Diagramm 6.1: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 1.Tag, Vergasungsluft-, Rostluft- und Gesamtluftströme

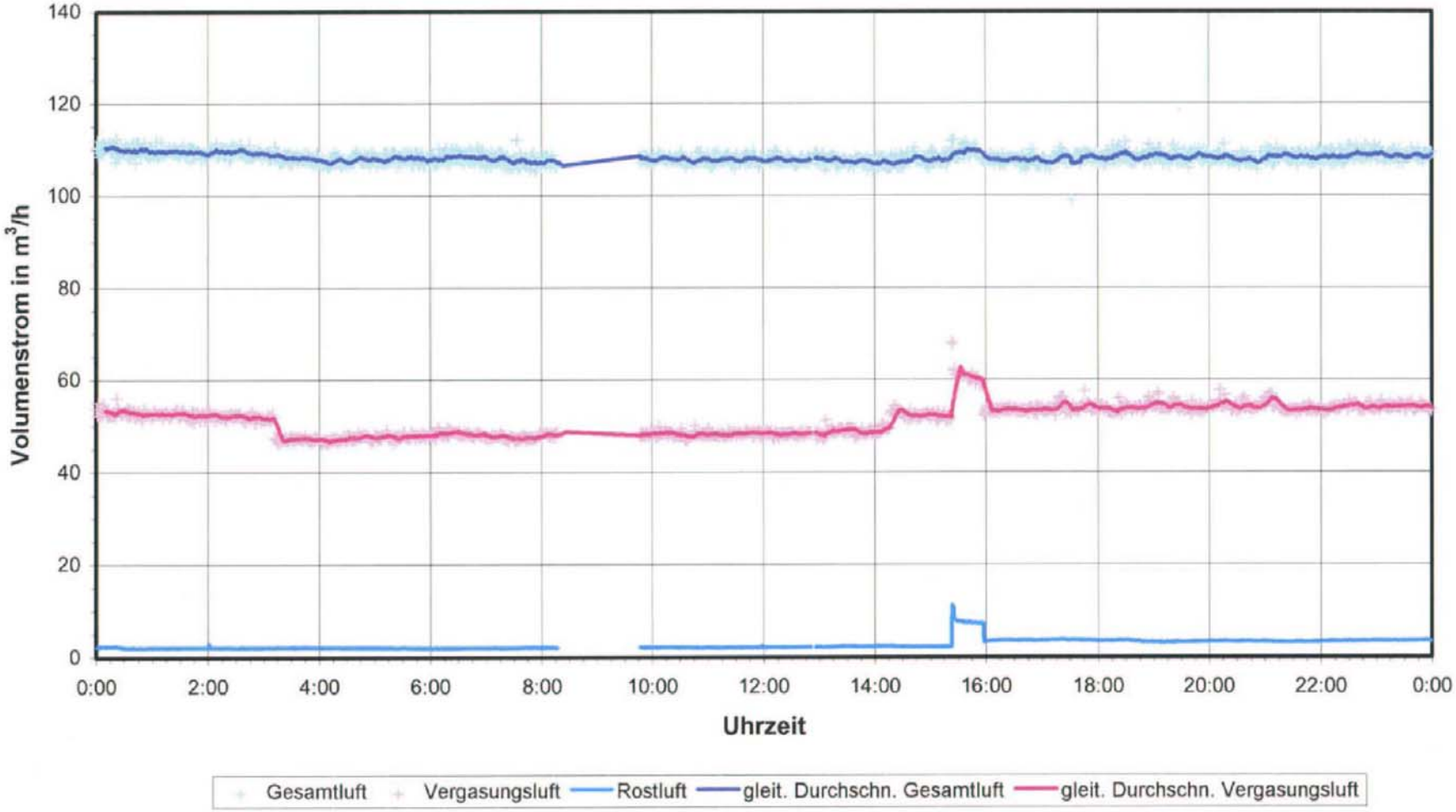


Diagramm 6.2: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 2.Tag, Vergasungsluft-, Rostluft- und Gesamtluftströme

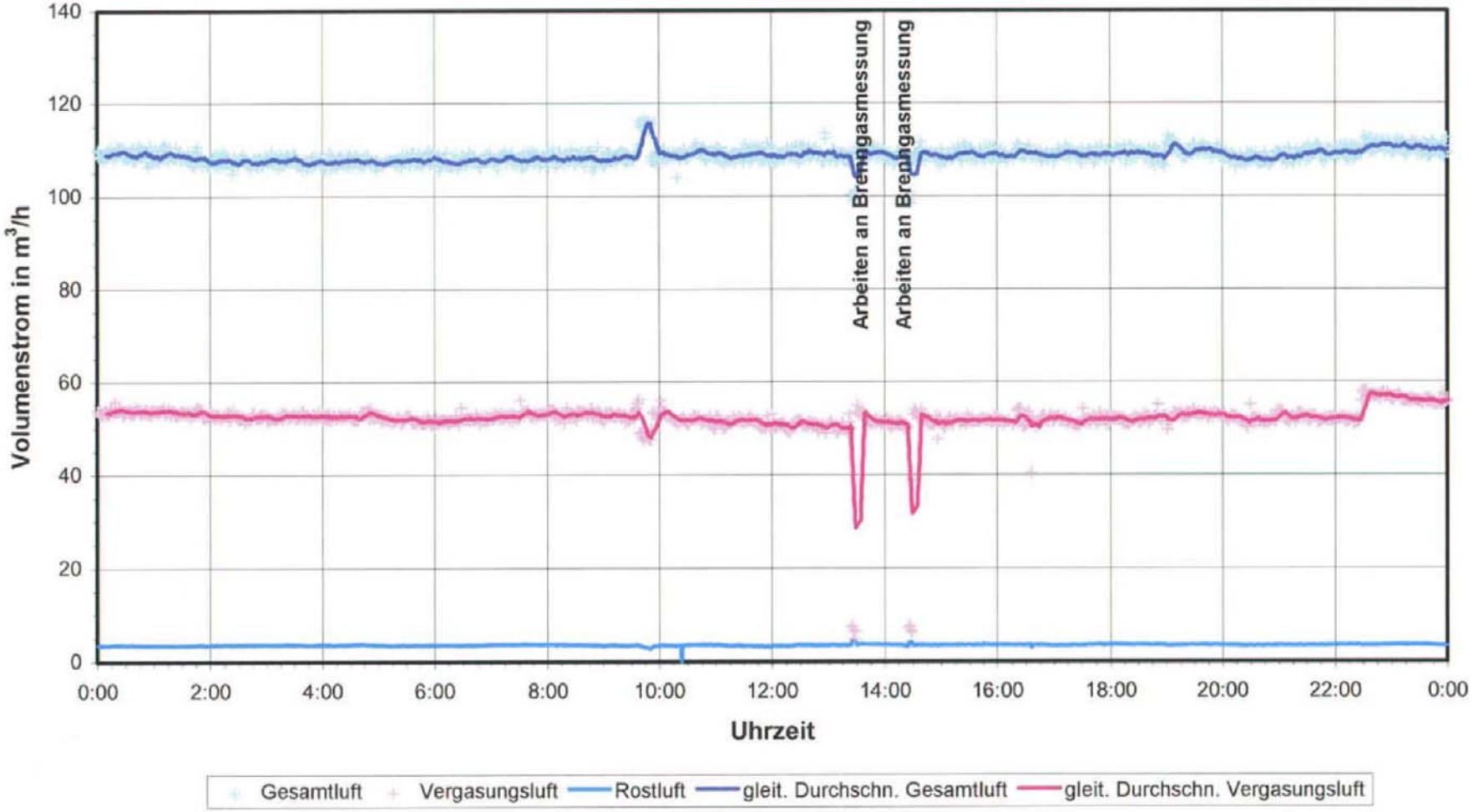


Diagramm 6.3: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 3.Tag, Vergasungsluft-, Rostluft- und Gesamtluftströme

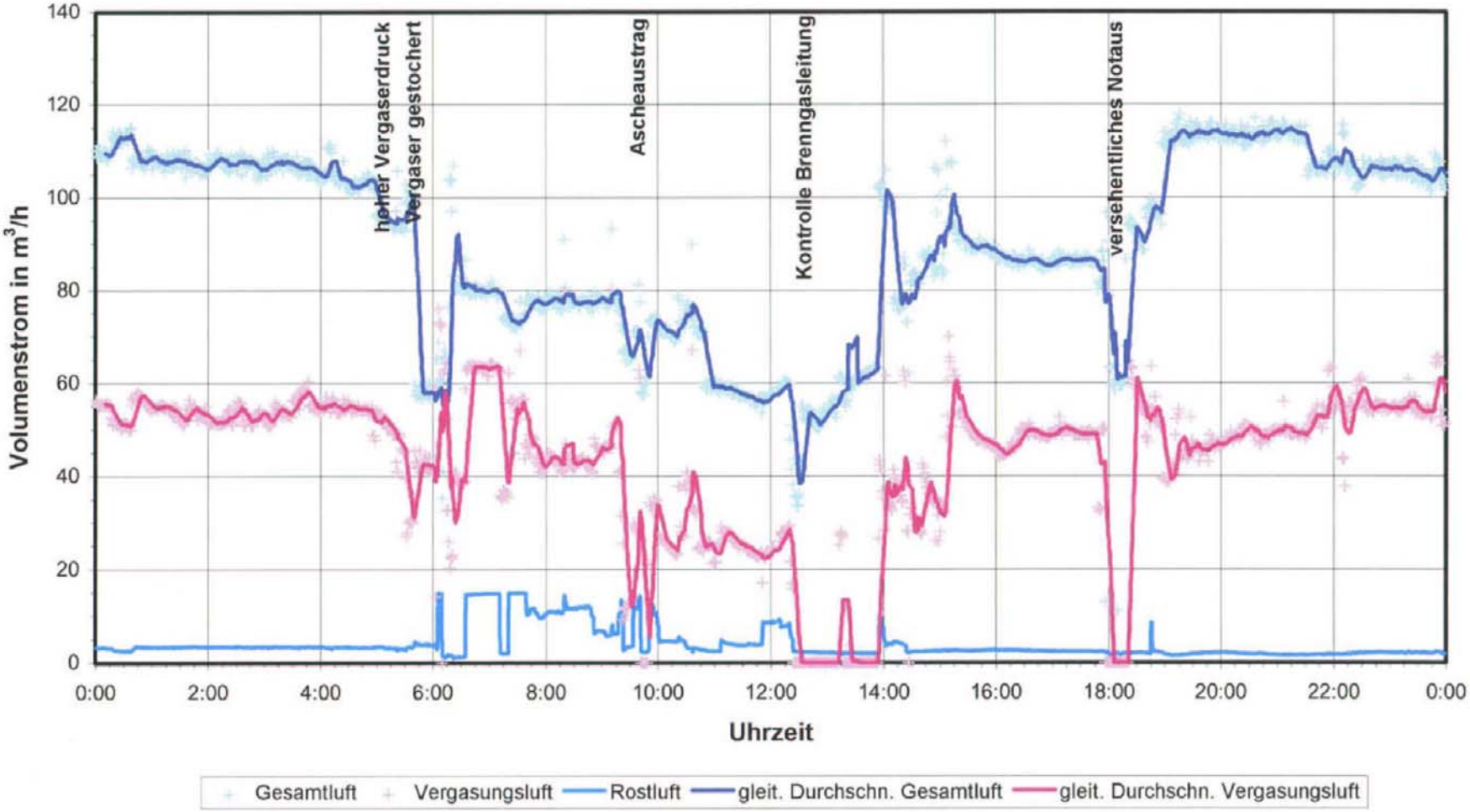


Diagramm 6.4: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 4.Tag, Vergasungsluft-, Rostluft- und Gesamtluftströme

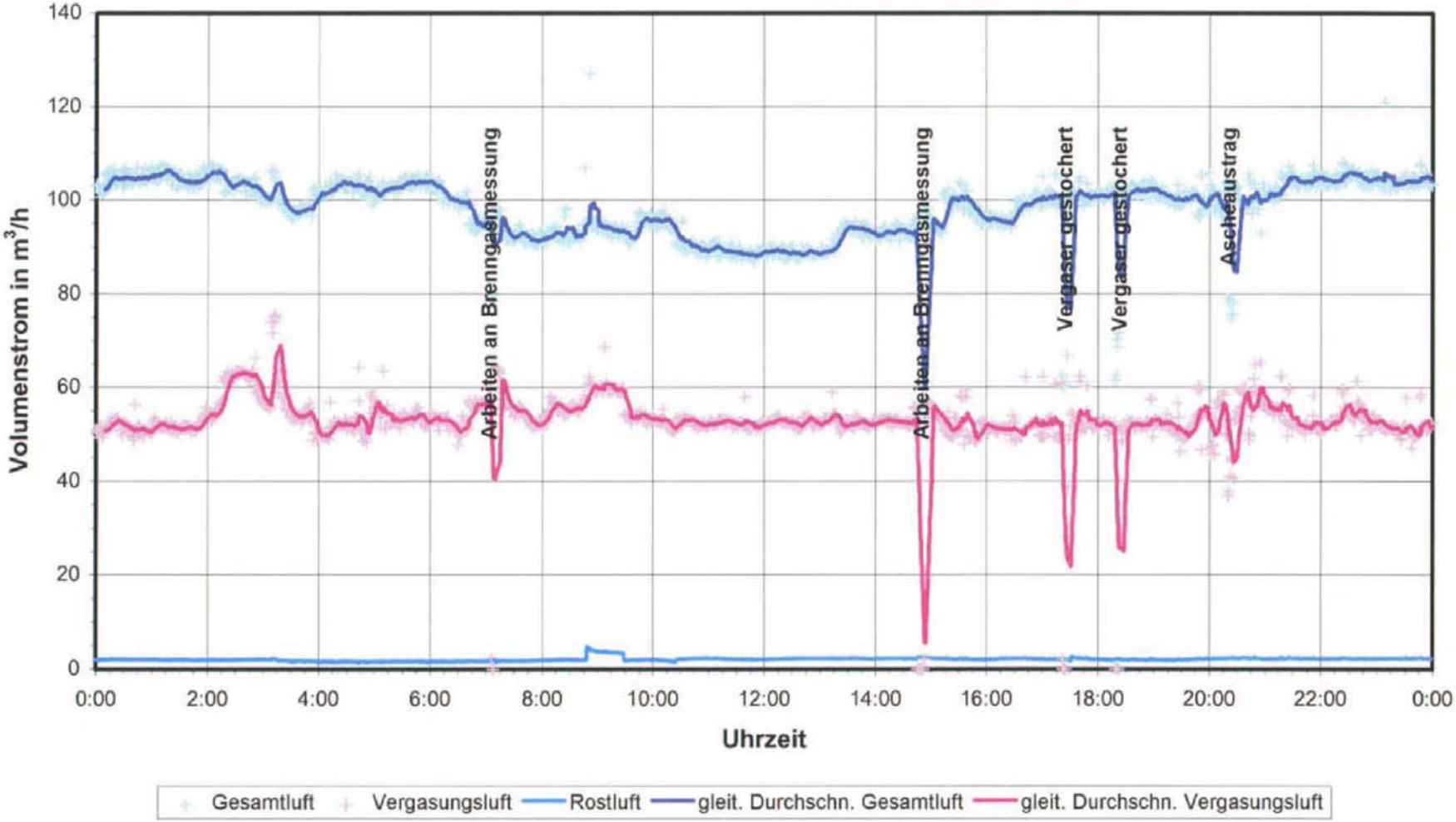


Diagramm 6.5: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 5.Tag, Vergasungsluft-, Rostluft- und Gesamtluftströme

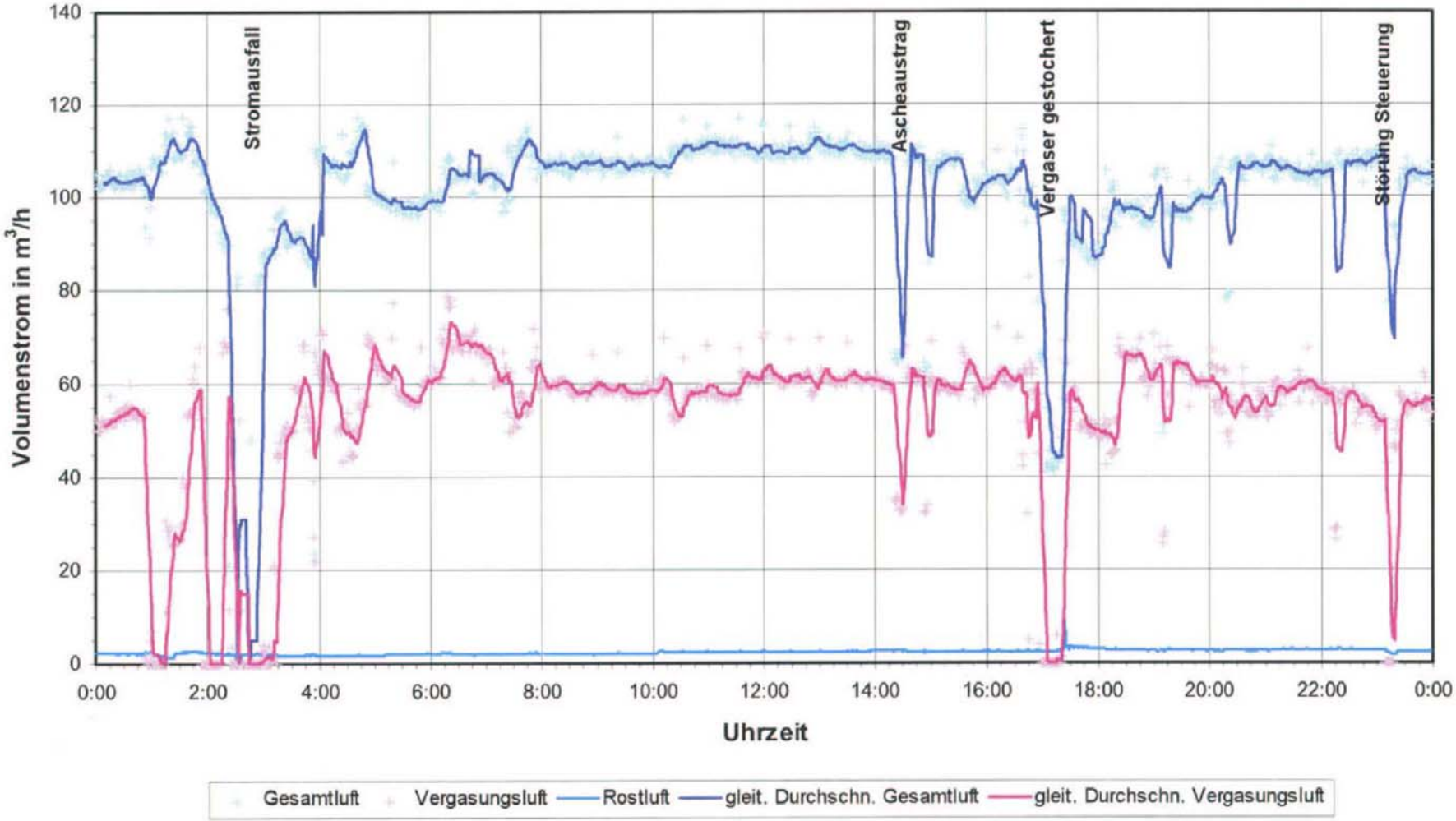


Diagramm 6.6: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 6.Tag, Vergasungsluft-, Rostluft- und Gesamtluftströme

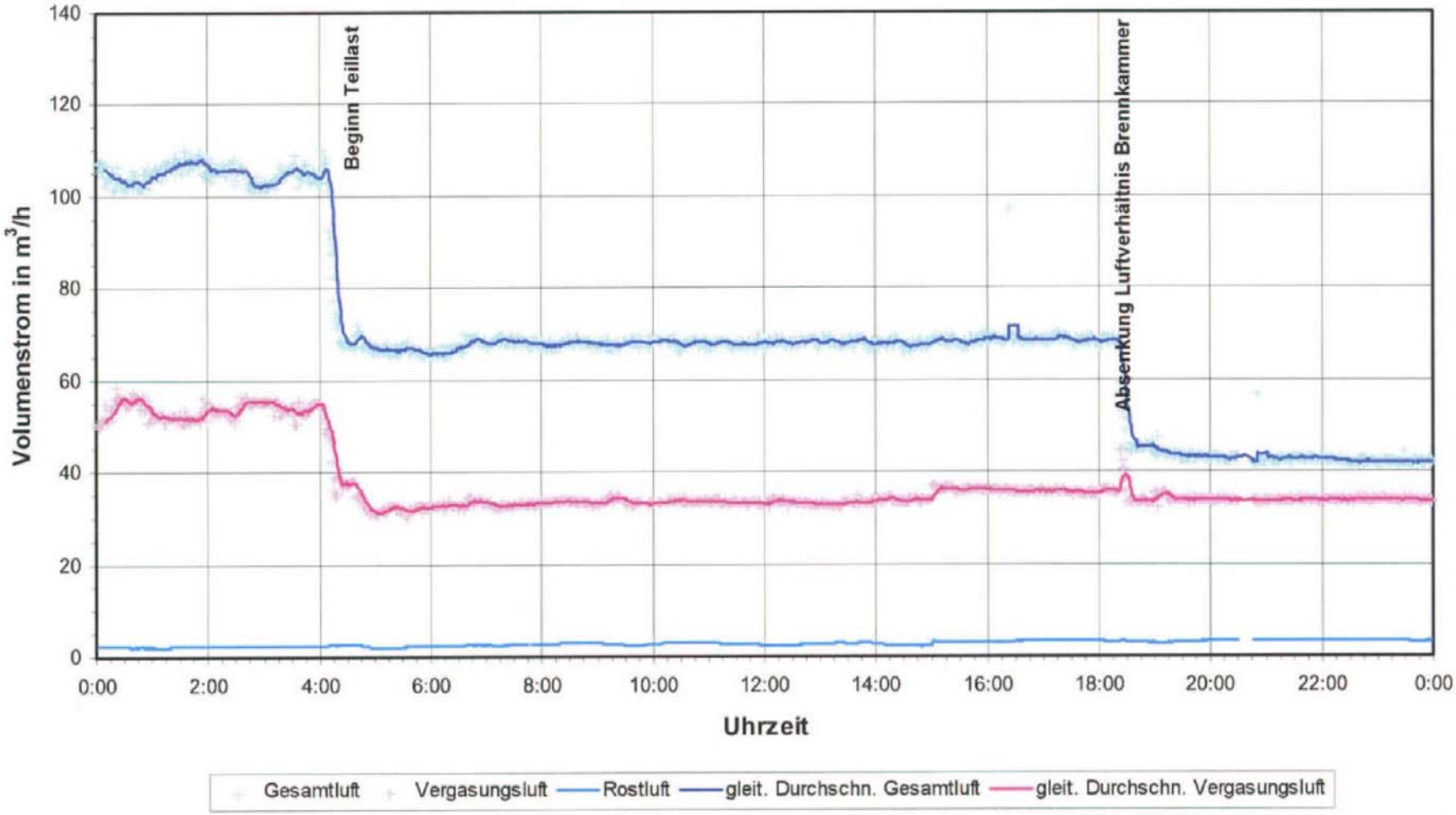


Diagramm 6.7: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 7.Tag, Vergasungsluft-, Rostluft- und Gesamtluftströme

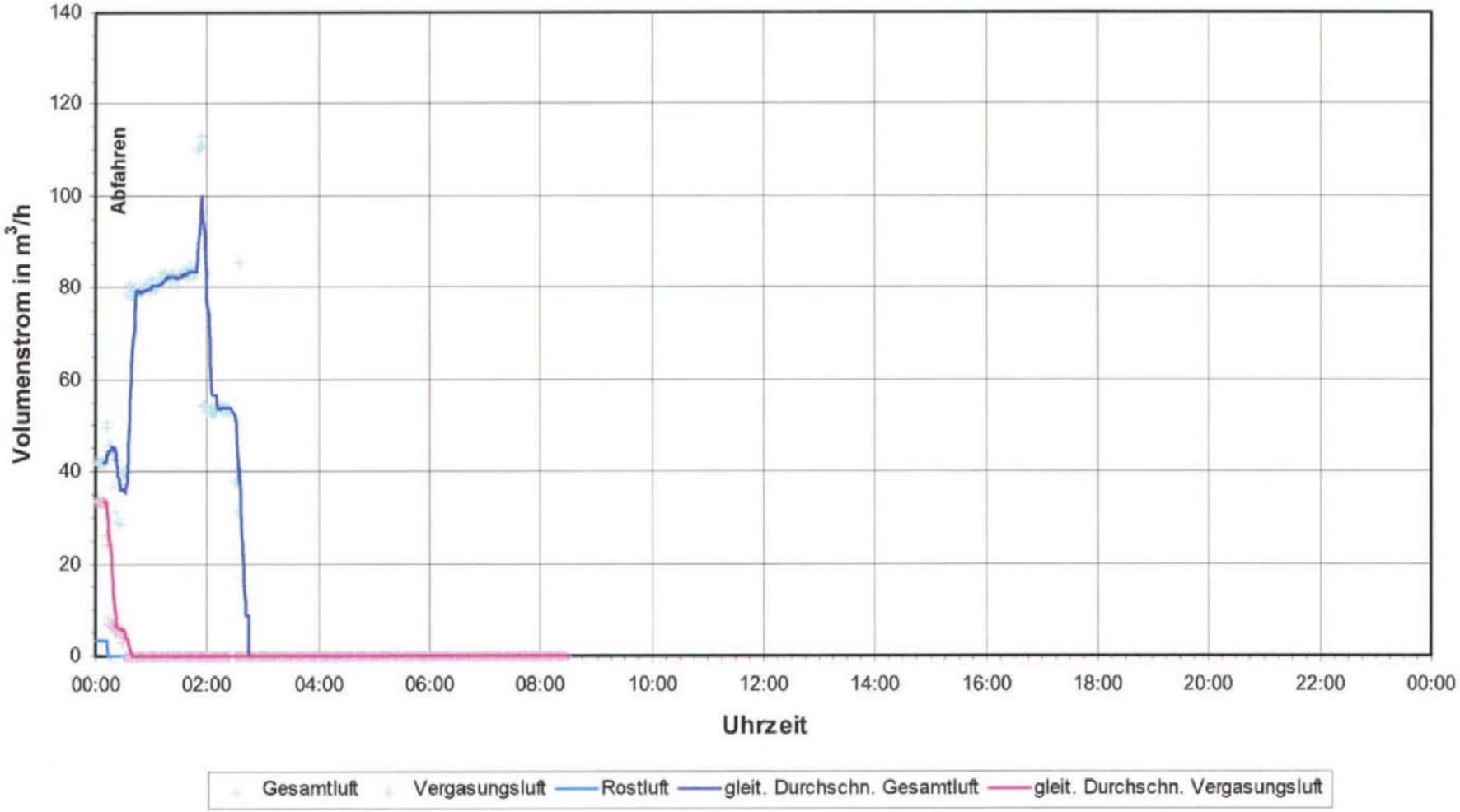


Diagramm 6.8: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 8.Tag, Vergasungsluft-, Rostluft- und Gesamtluftströme

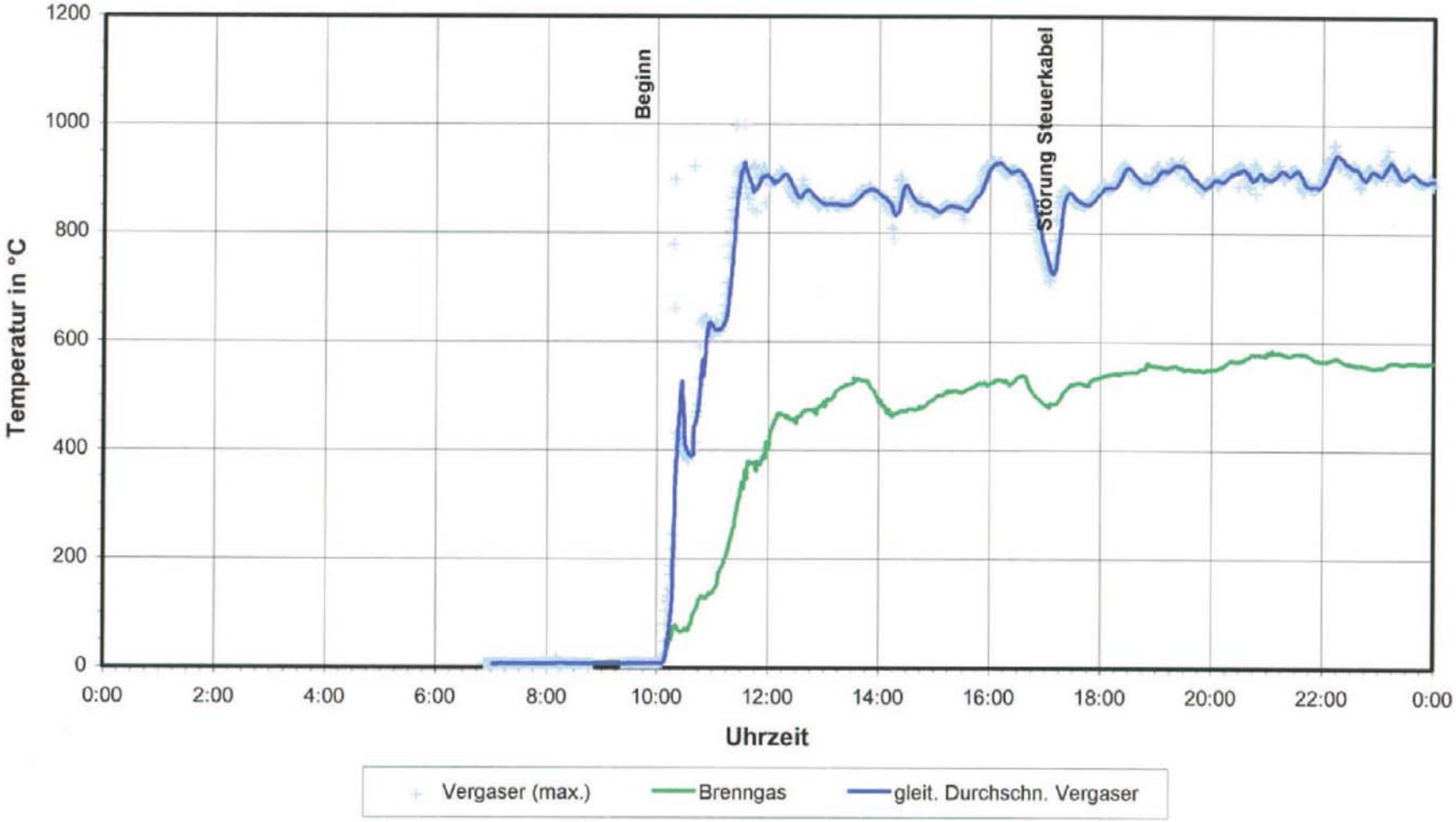


Diagramm 7.1: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 1.Tag, Vergaser- und Brenngastemperatuen

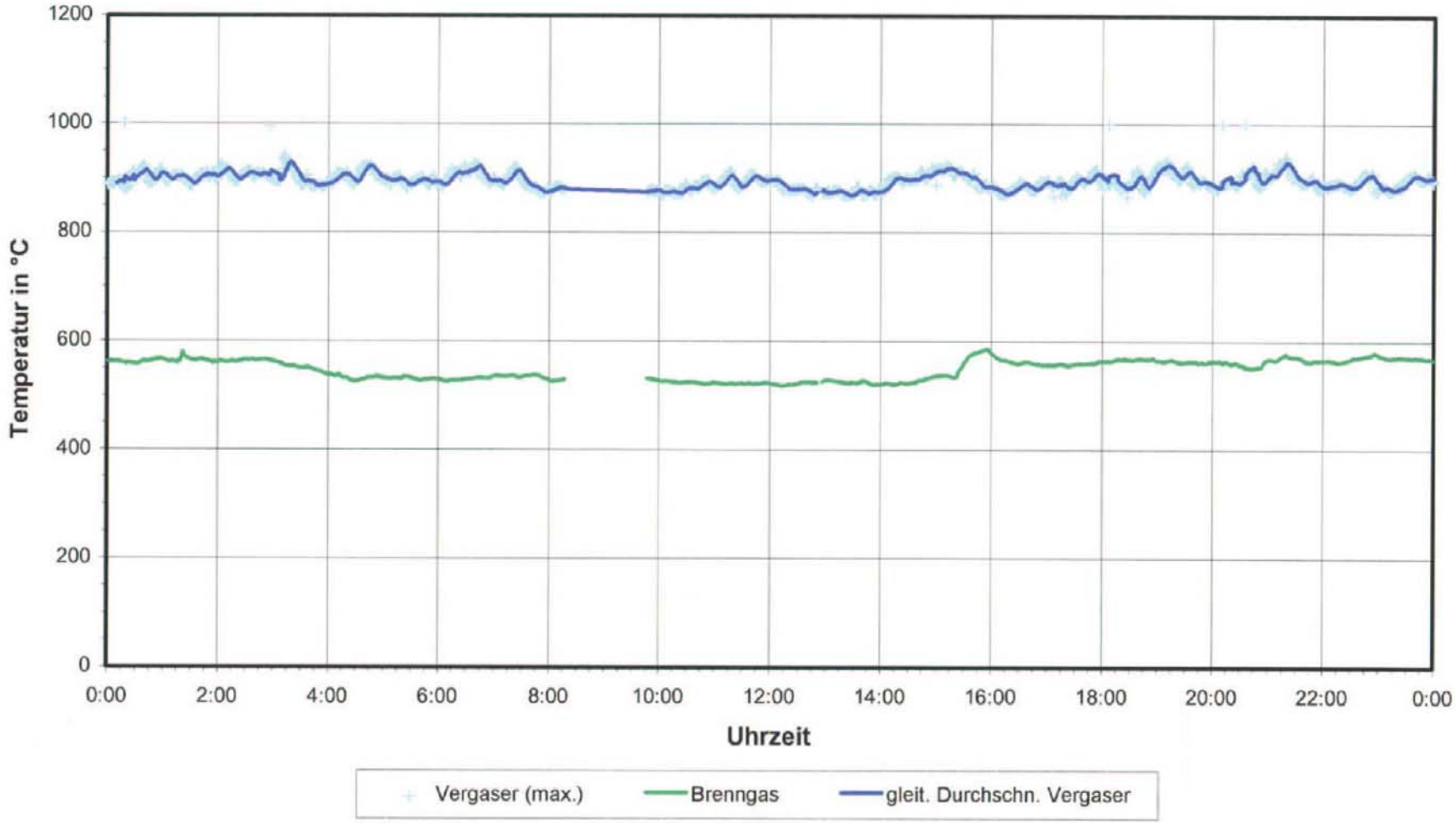


Diagramm 7.2: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 2.Tag, Vergaser- und Brenngastemperatuen

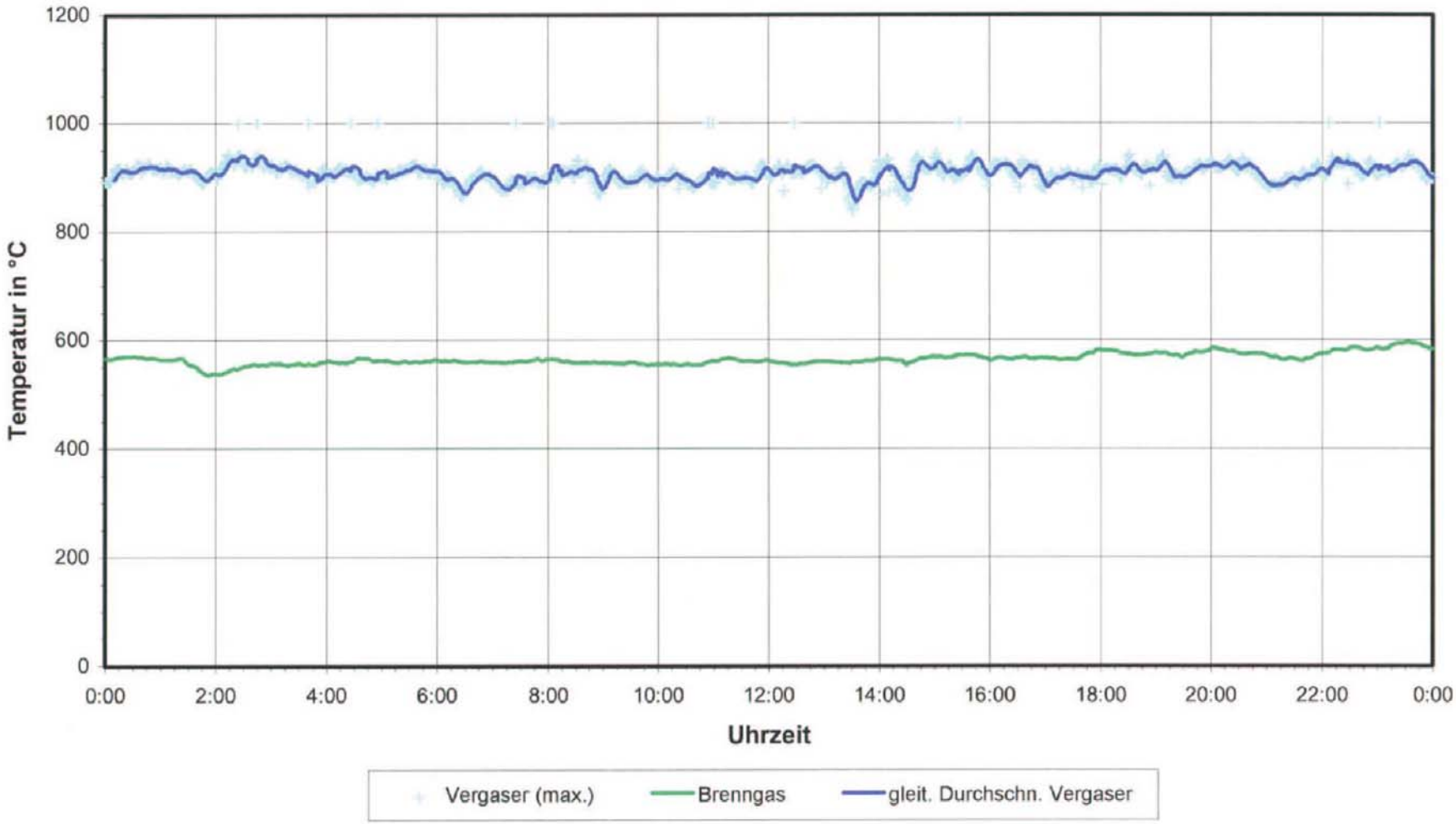


Diagramm 7.3: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 3.Tag, Vergaser- und Brenngastemperatuen

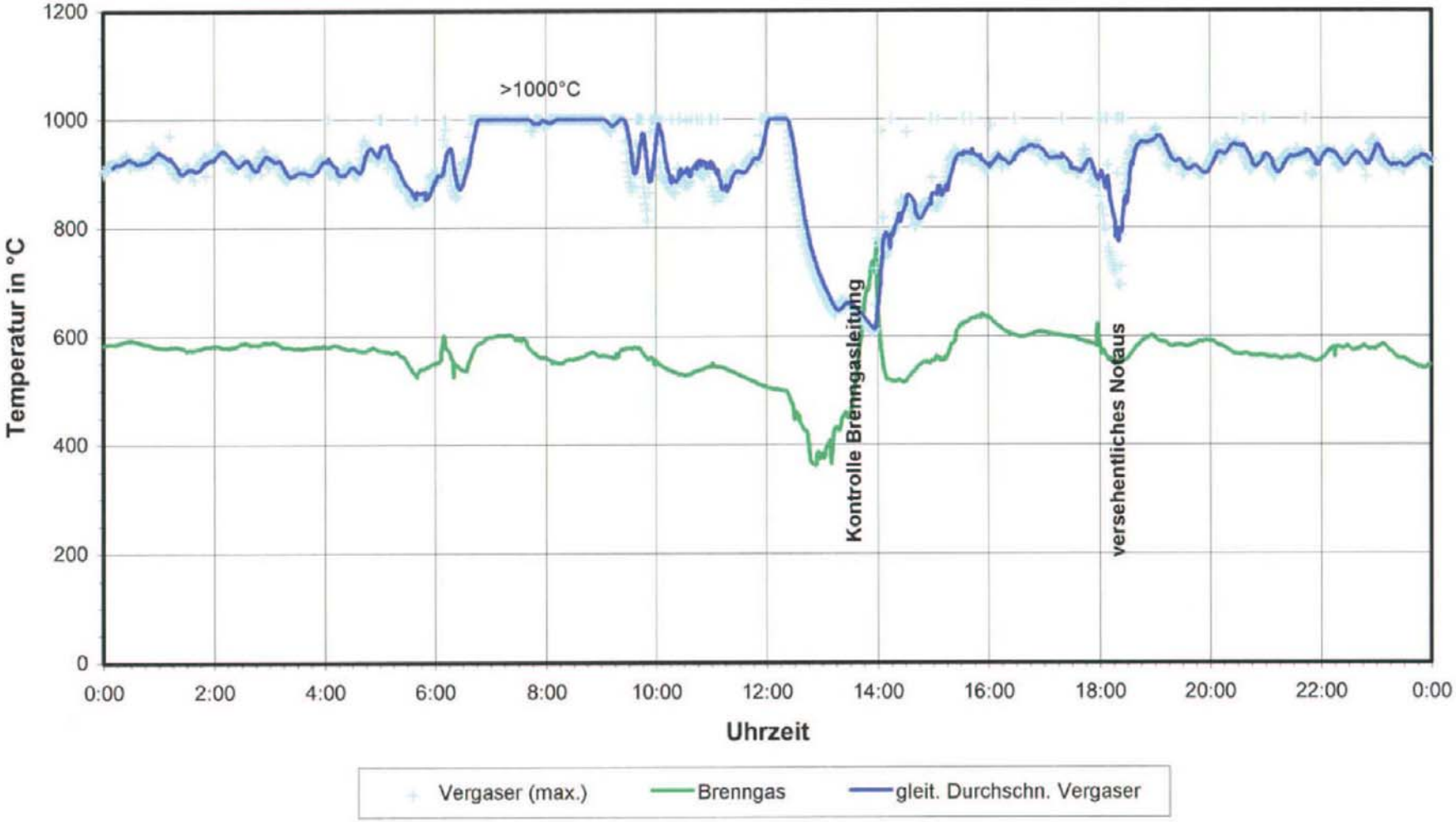


Diagramm 7.4: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 4.Tag, Vergaser- und Brenngastemperatuen

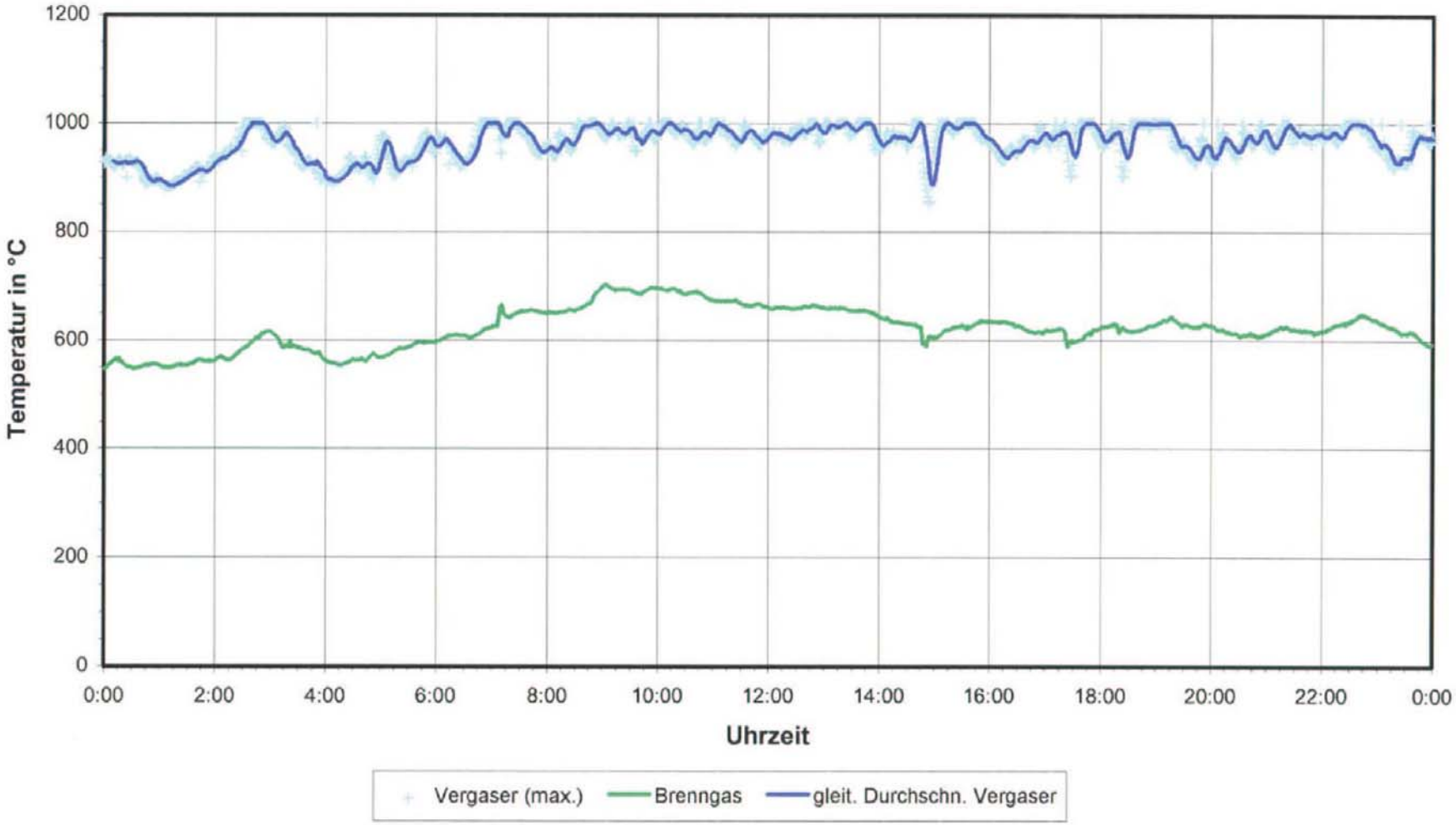


Diagramm 7.5: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 5.Tag, Vergaser- und Brenngastemperatuen

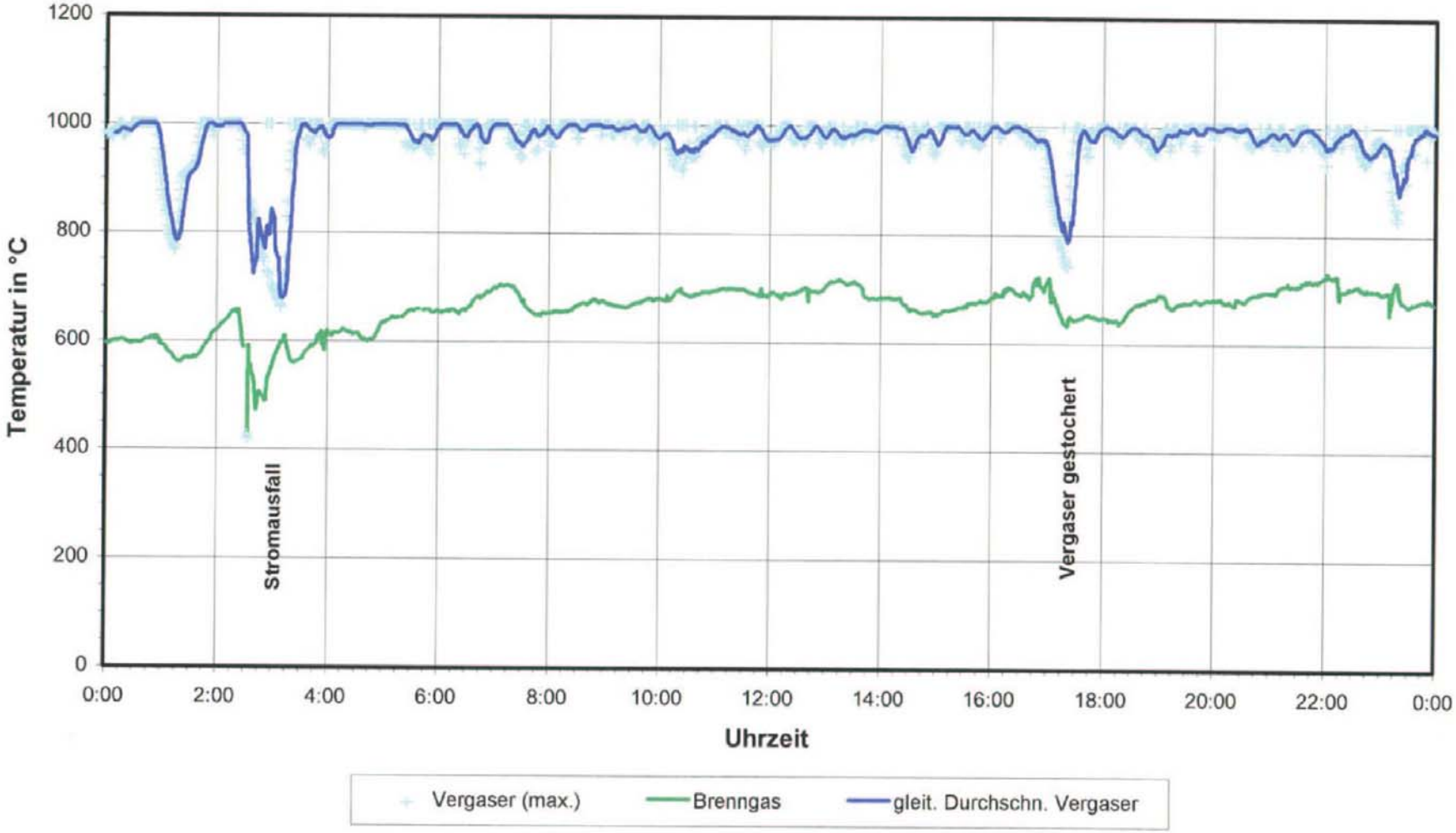


Diagramm 7.6: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 6.Tag, Vergaser- und Brenngastemperatuen

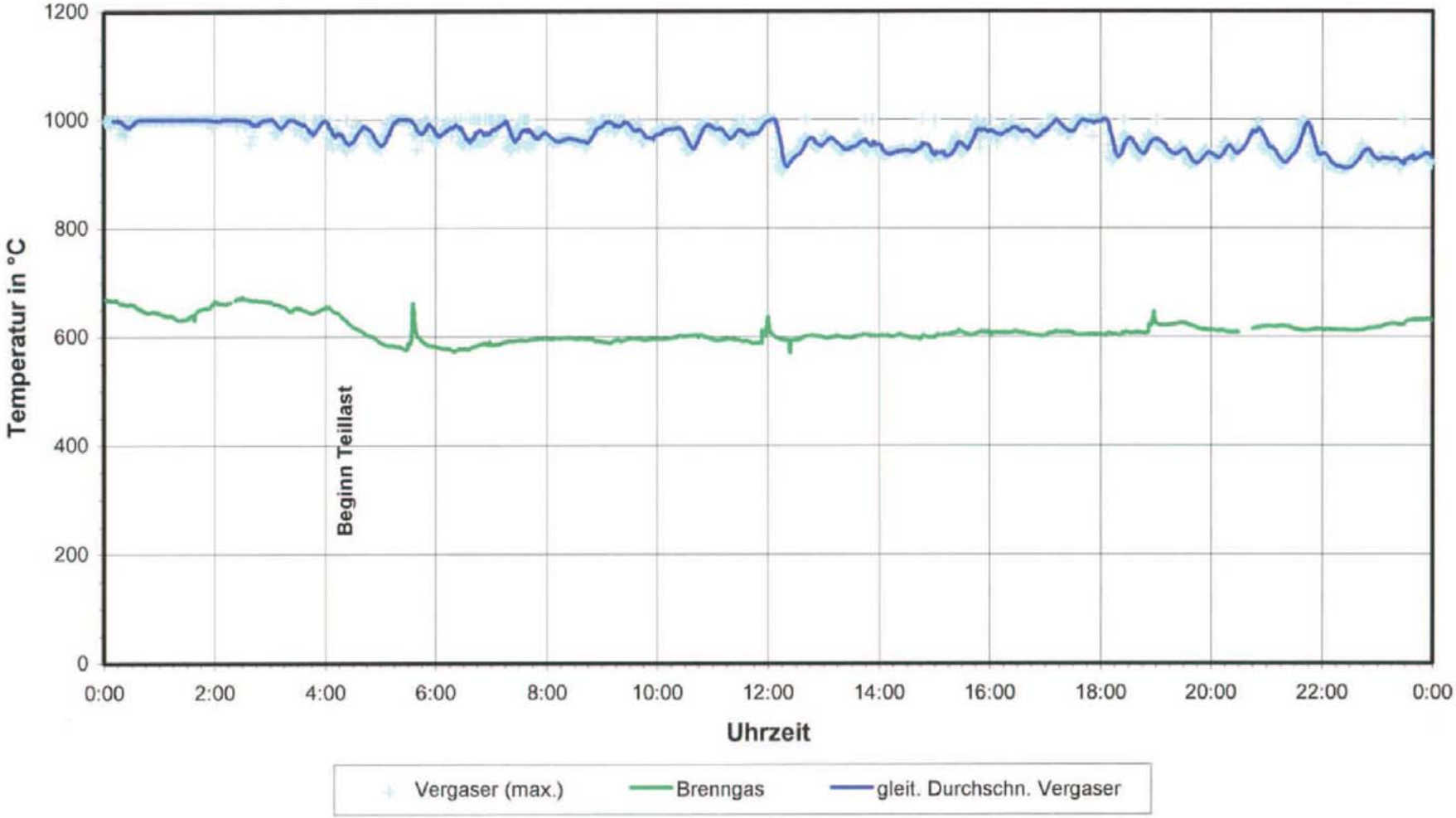


Diagramm 7.7: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 7.Tag, Vergaser- und Brenngastemperatuen

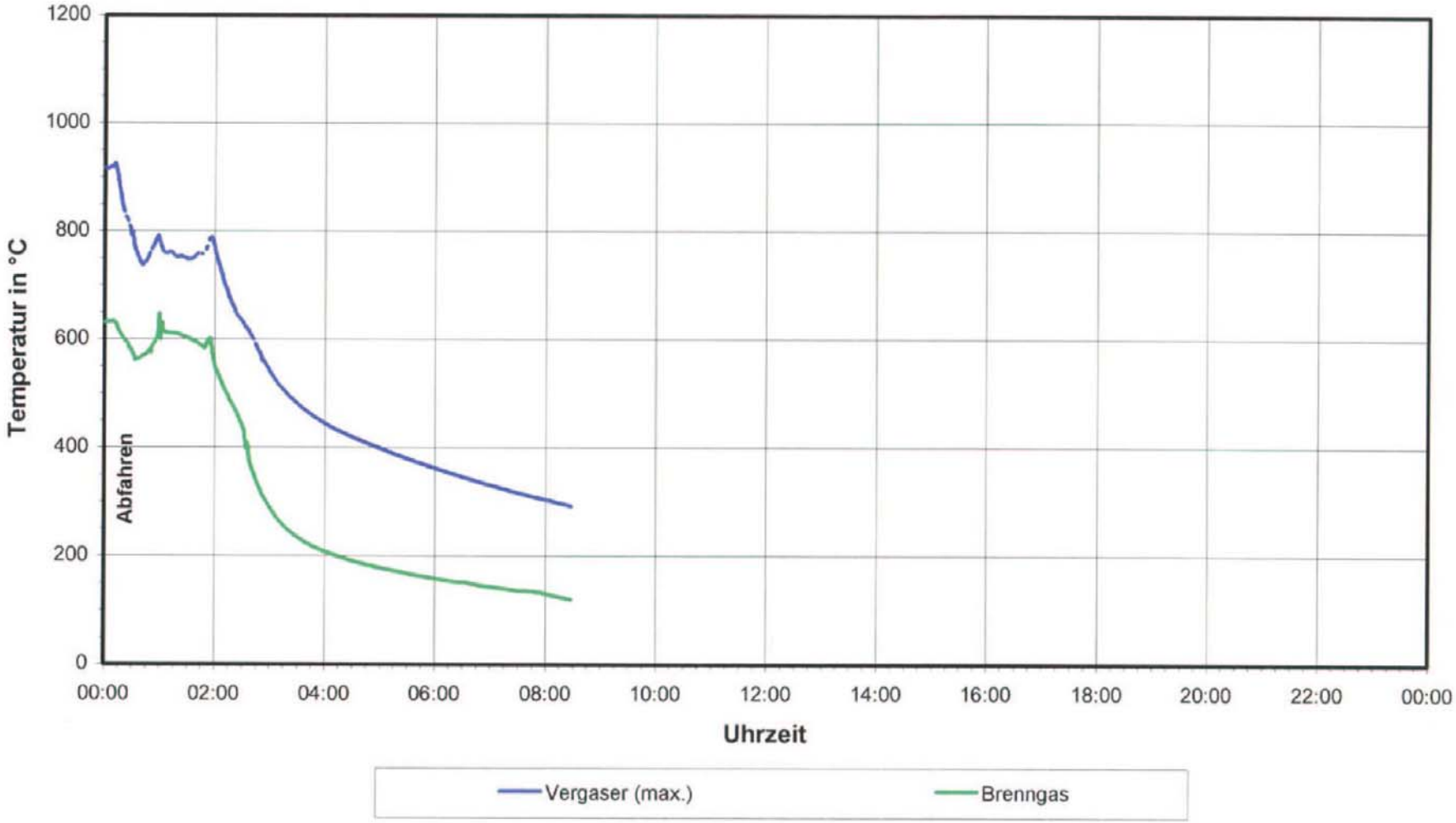


Diagramm 7.8: 150 h-Versuch SGF 20.-27.01.97, 8.Tag, Vergaser- und Brenngastemperatuen

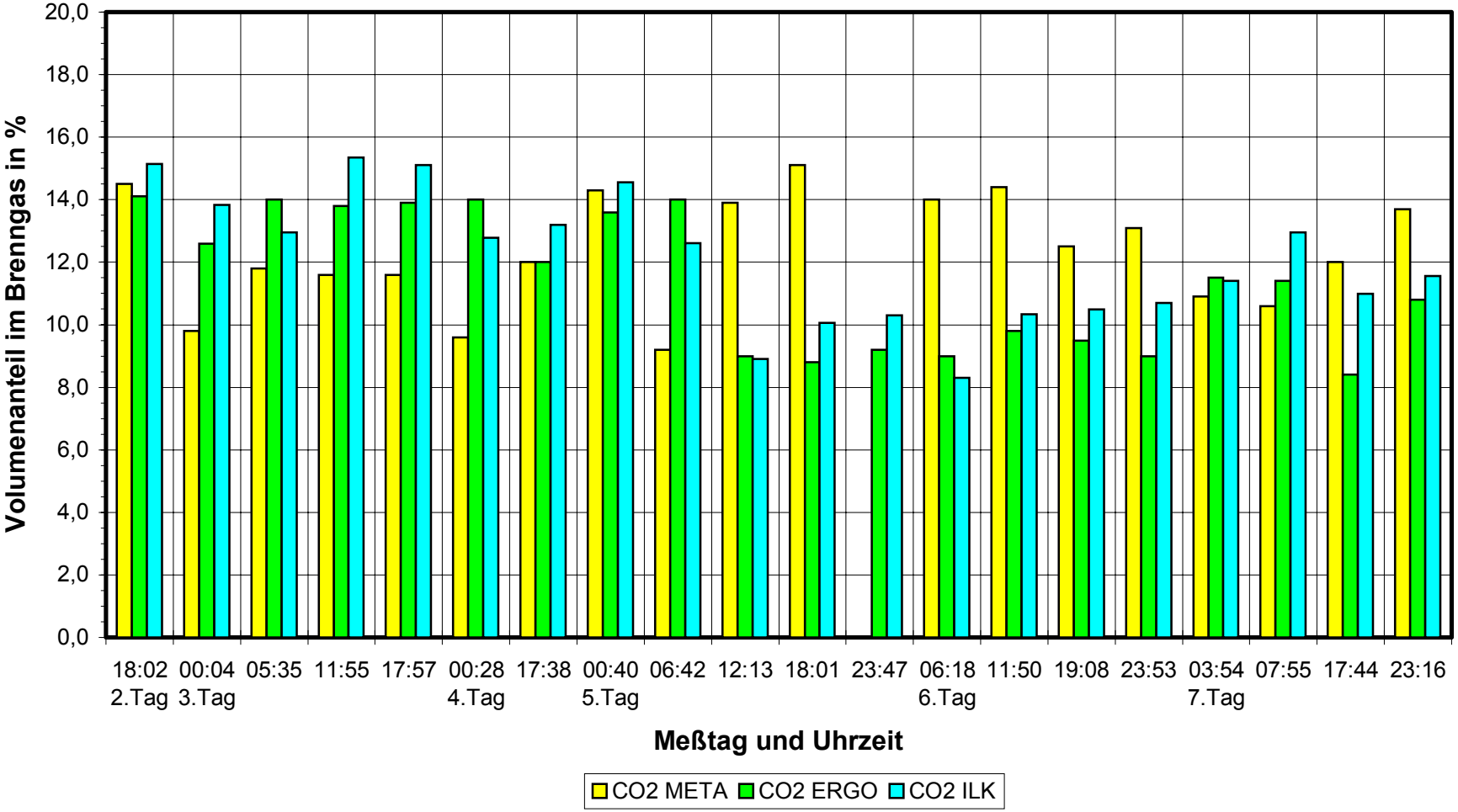


Diagramm 8:
150h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute

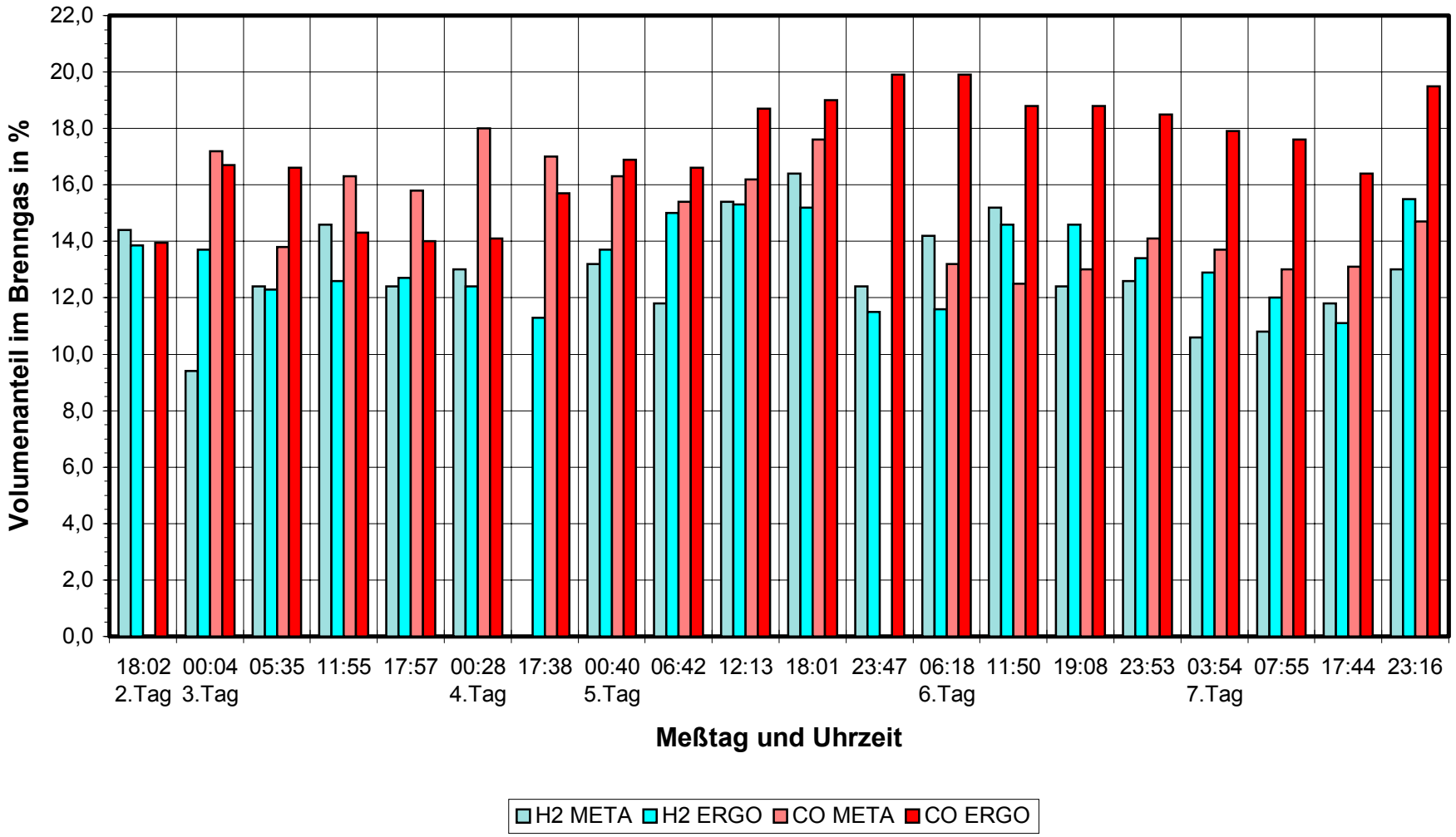


Diagramm 9:
150h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute

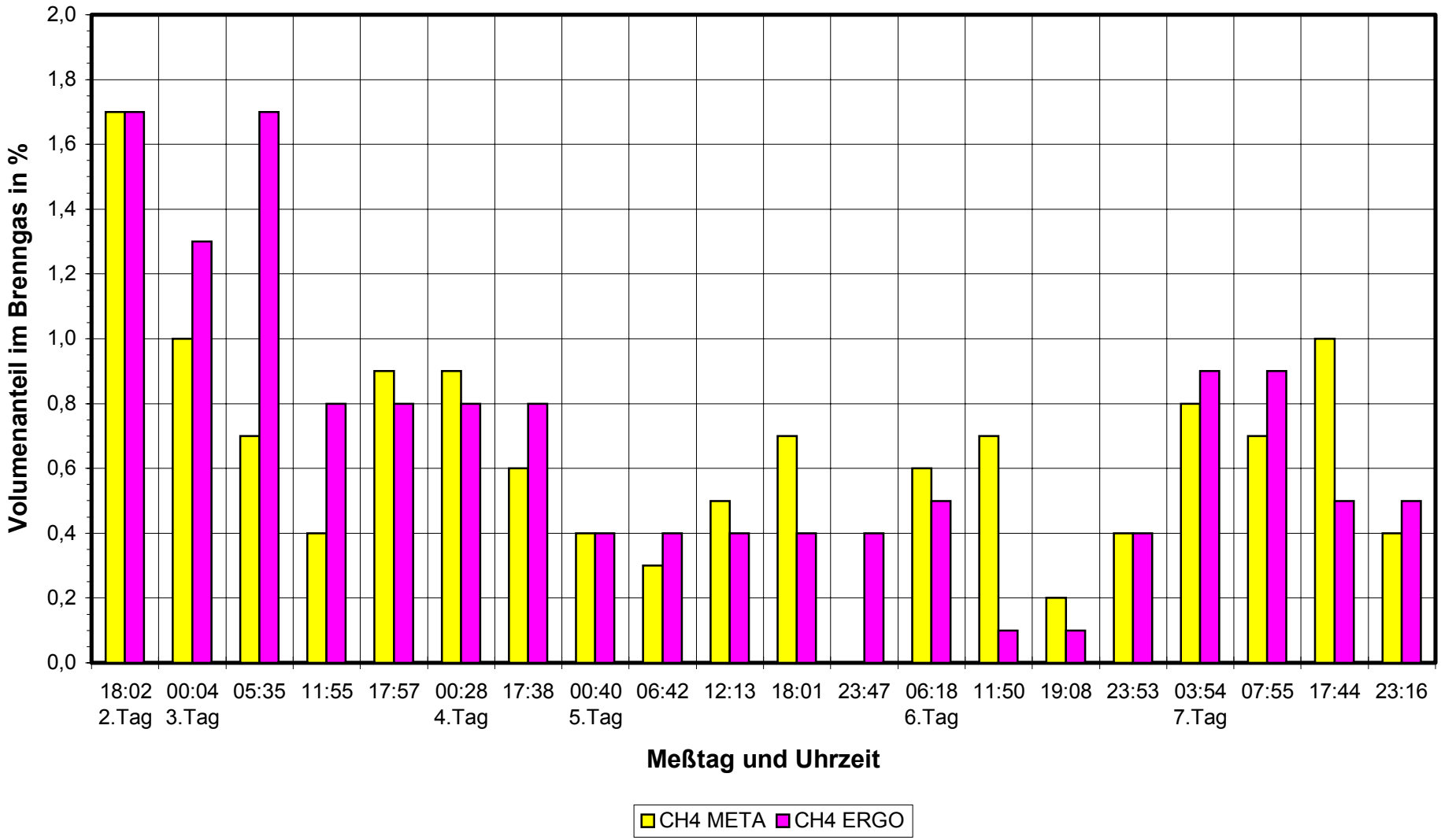


Diagramm 10:
150h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute

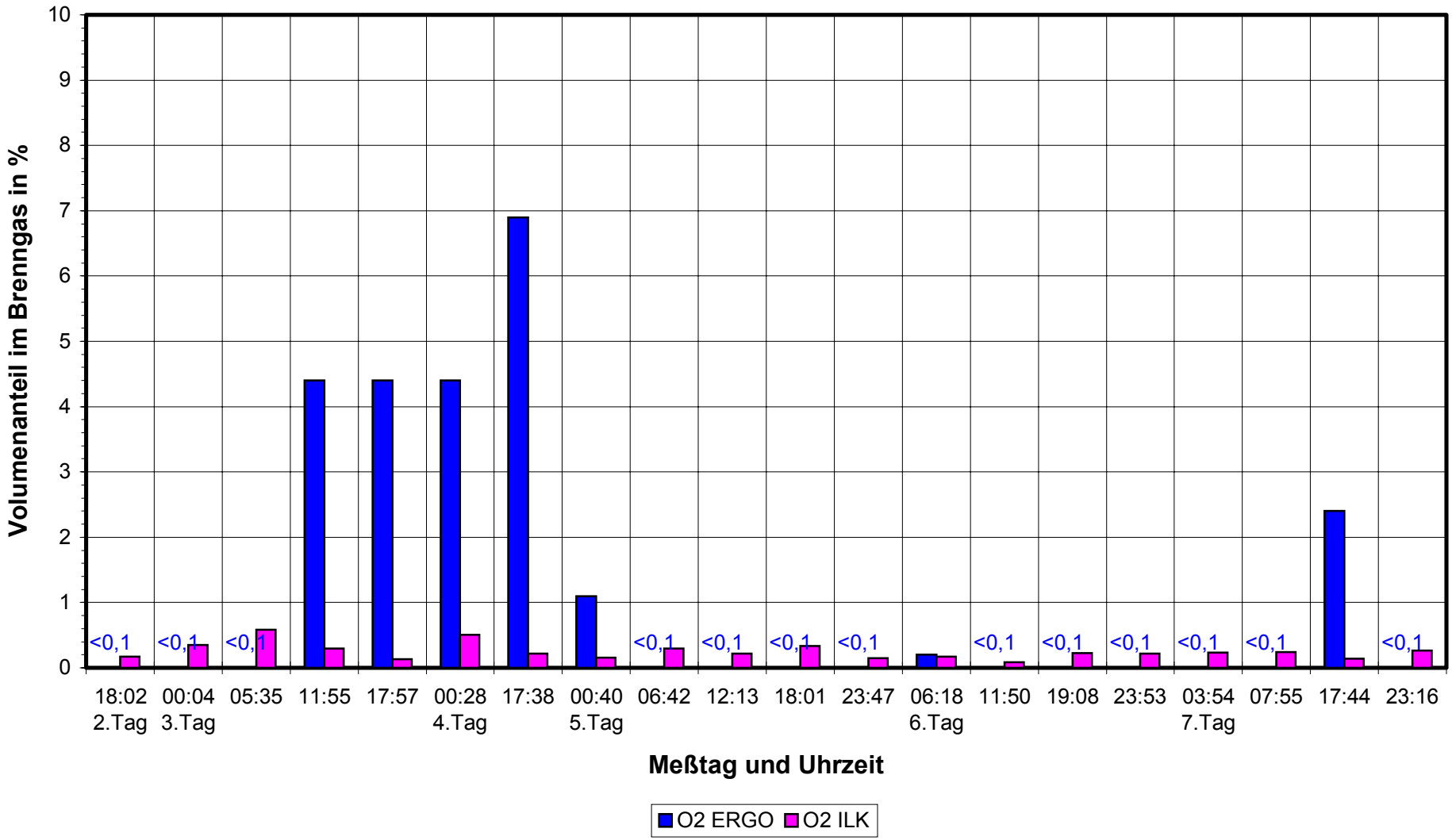


Diagramm 11:
150h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute

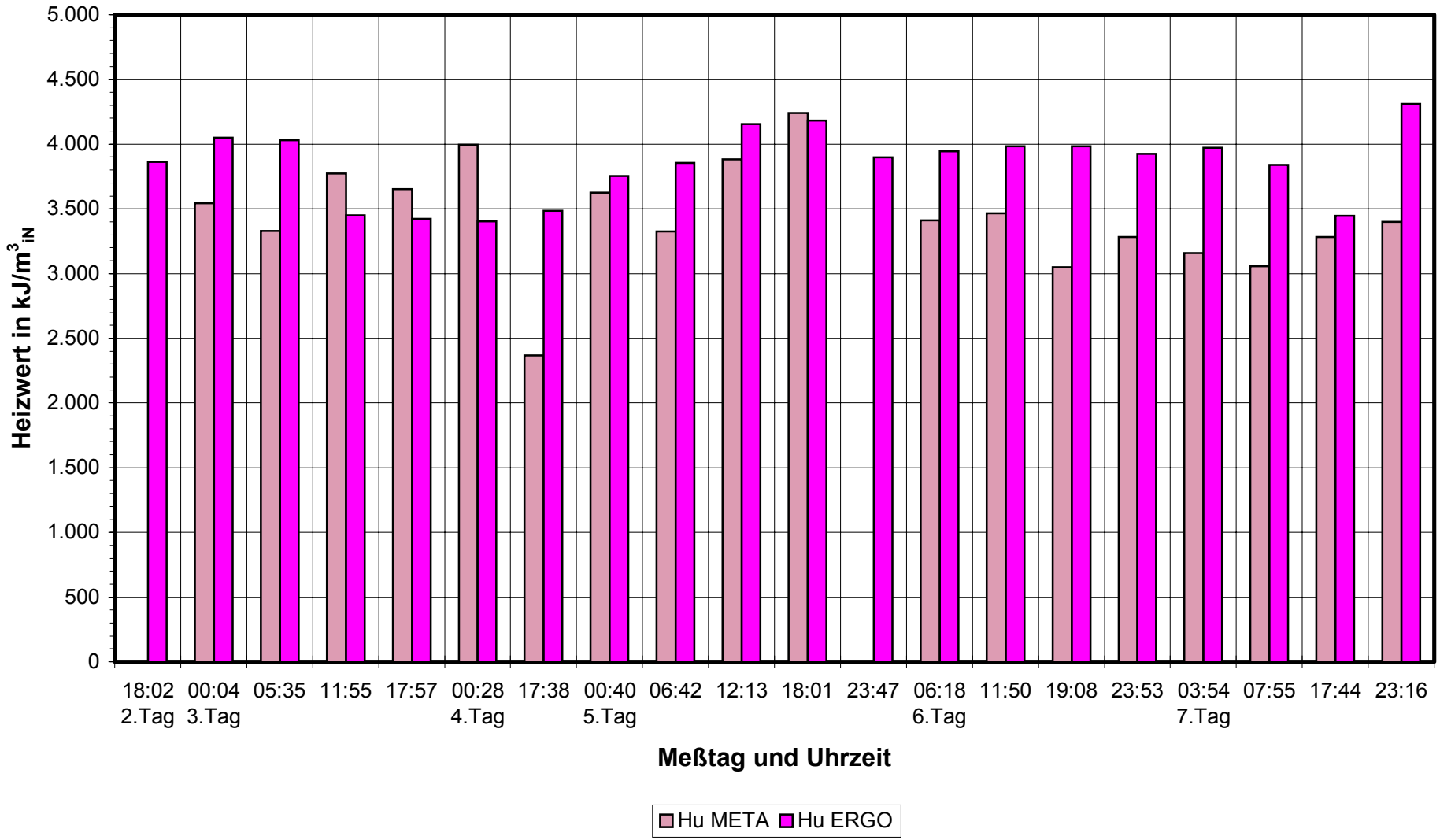


Diagramm 12:
150h-Versuch SGF 20.-27.01.97, Vergleich der Brenngasanalysen verschiedener Meßinstitute

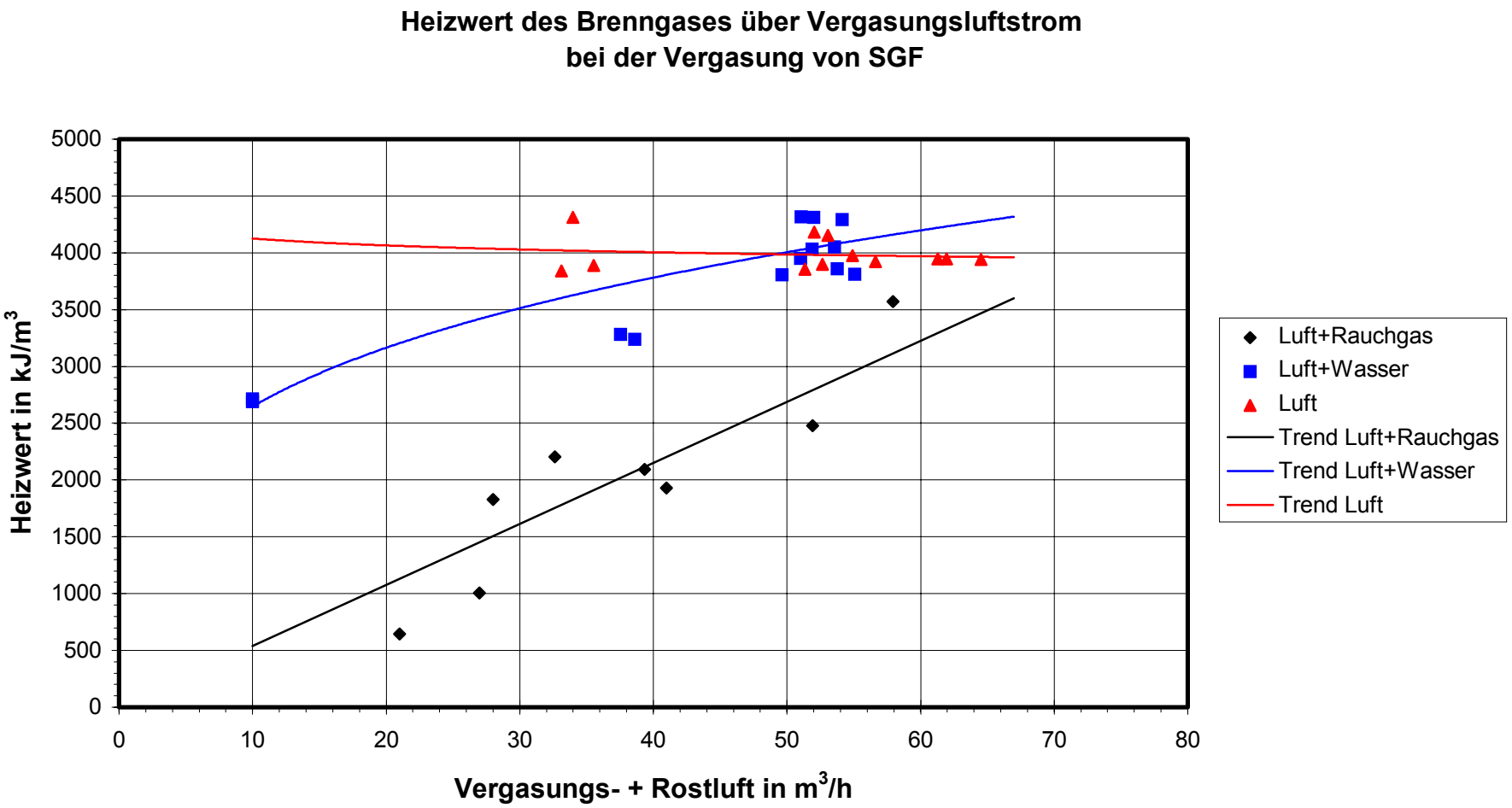


Diagramm 13:
Heizwert des Brenngases über Vergasungsluftstrom bei der Vergasung von SGF

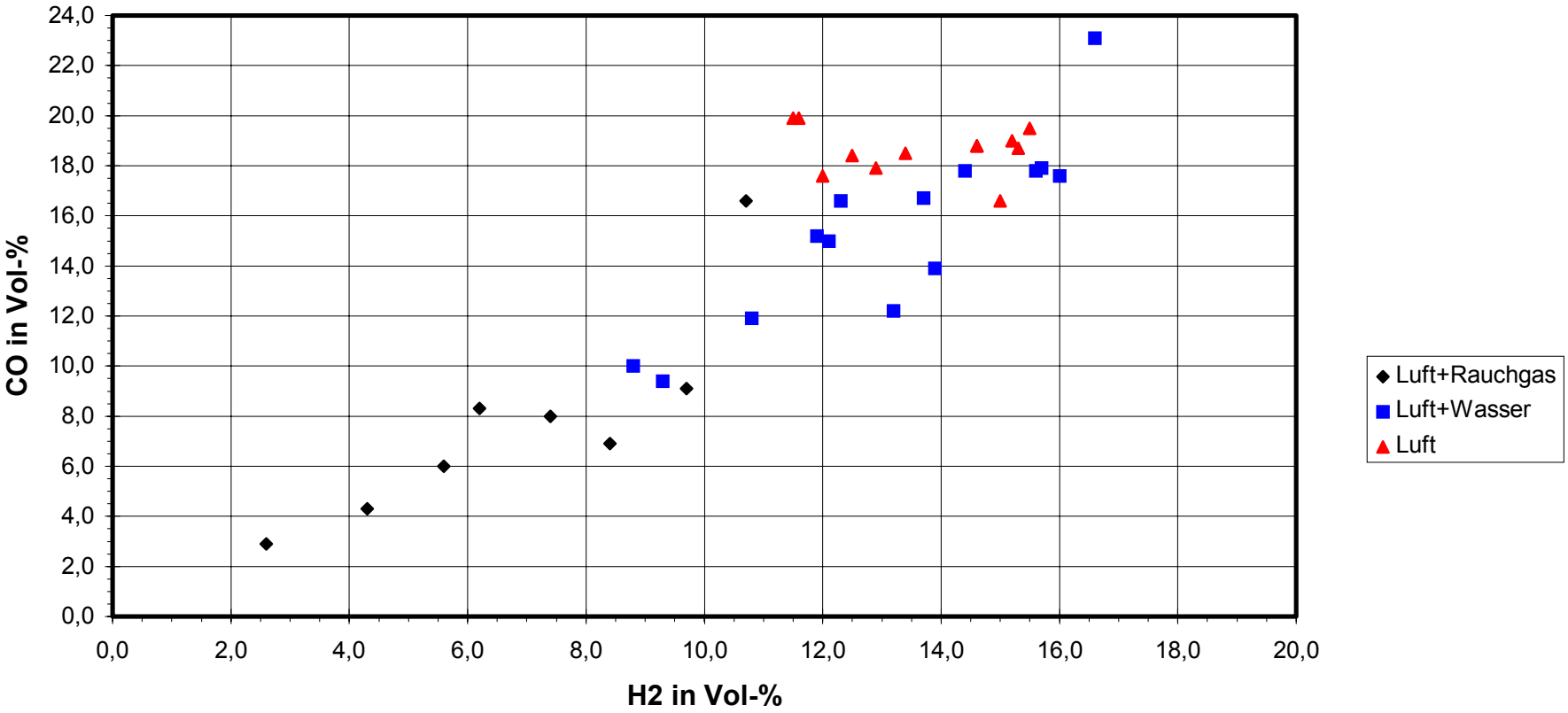


Diagramm 14: Verhältnis CO/H2 im Brenngas bei der Vergasung von SGF

Bild 1: LQV-Technikumsanlage VA 130 in Freital

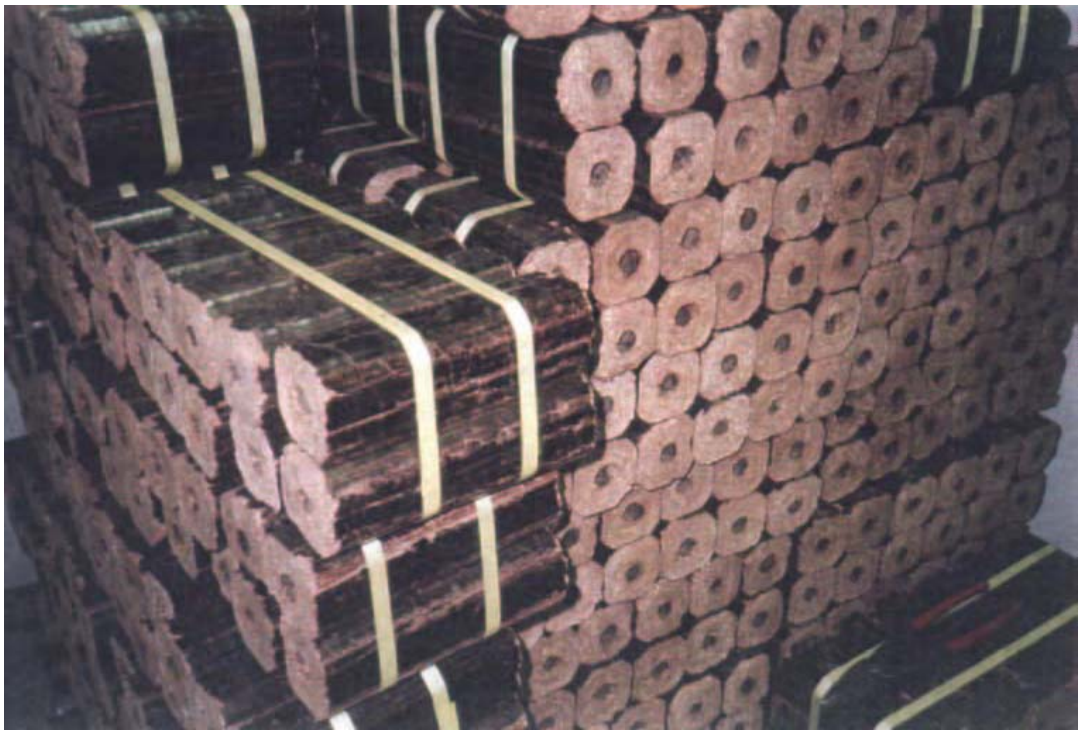


Bild 2: SGF im Anlieferungszustand

Bild 3: SGF in aufbereitetem Zustand

Bild 4: Meßstand der meta Meßtechnische Systeme GmbH

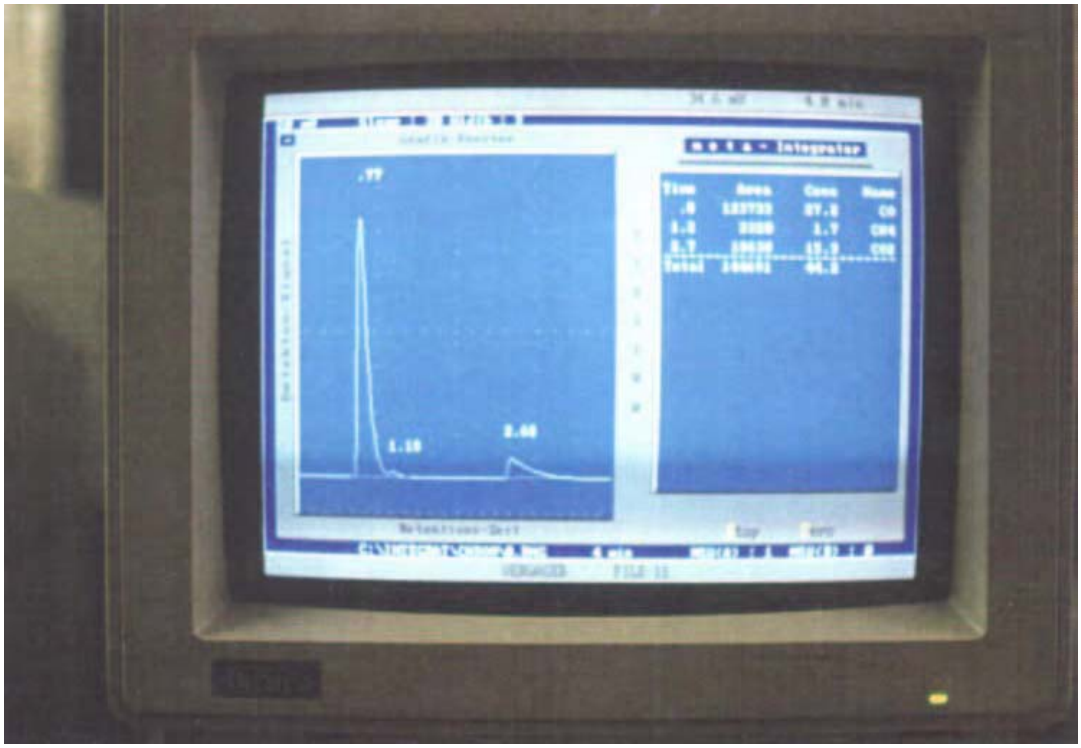


Bild 5: Meßstand der meta - Chromatogramm

Bild 6: Meßstand des ILK Dresden

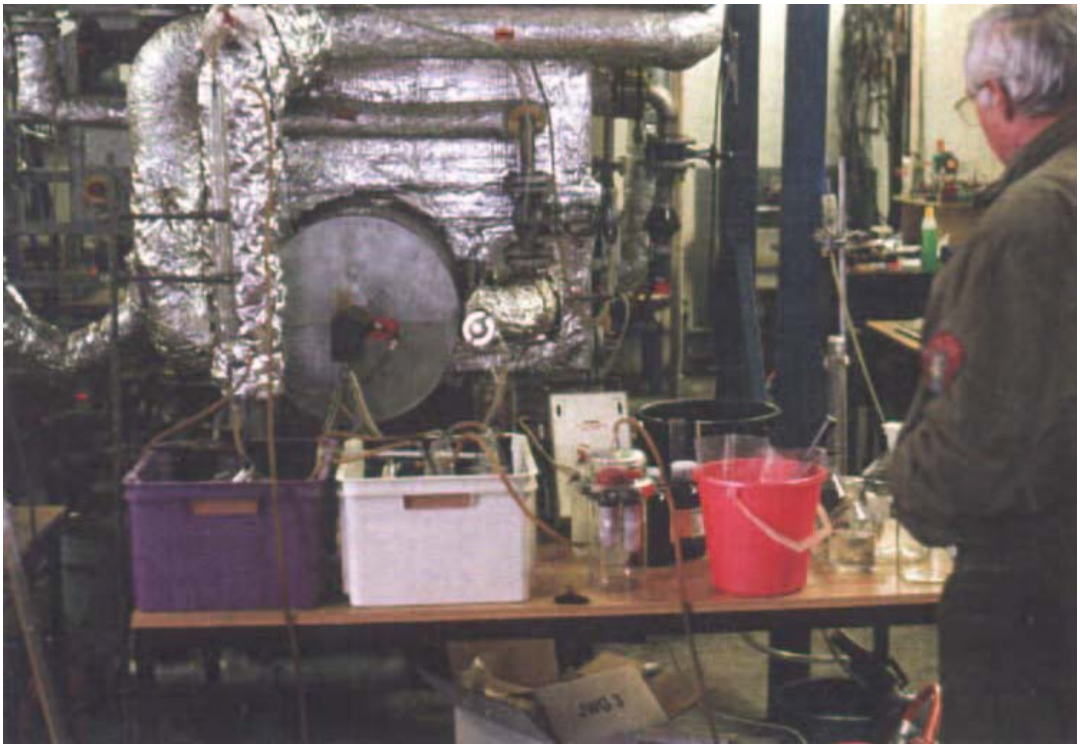


Bild 7: Meßaufbau der Lausitzer Analytik GmbH

Bild 8: Ausgetragener Reststoff

Bild 9: Blick in die Brennkammer des LQV

A n h a n g

zum

V e r s u c h s b e r i c h t

**über die Durchführung des 150-h-Versuches
zur Vergasung von SGF (Standard Gasifier Fuel) - Brennstoff
in der Luft-Querstrom-Vergasunganlage (LQV)
vom 20. bis 26. Januar 1997**

Anhang 1: Meßstellenliste

Meßstellenliste Vergasungsanlage VA 130 (02/97)

Signal	Meßstellen-Nr.	Meßgröße	Maßeinheit	Meßbereich	
Messen	F 101	Gesamtluft	m3/h	0	160
Messen	F 103	Vergasungsluft	m3/h	0	40
Messen	F 105	Rauchgasrückführung	m3/h	0	40
Messen	F 106	Rostluft	m3/h	0	20
Hand	F 108	Sperrluft	m3/h	0	20
Hand	M 110	Brennstoffmenge	kg	0	5
Messen	F 111	Heiznetzwasserstrom	m3/h	0,3	7,2
Messen	P 201	Vergaser	Pa	-1200	1200
Messen	P 202	Gebläse	kPa	-1	20
Messen	T 301	Gesamtluft	°C	0	100
Messen	T 302	Brennkammer	°C	0	1400
Messen	T 303	Verbrennungsluft	°C	0	500
Messen	T 304	Brenngas	°C	0	1000
Messen	T 305	Rauchgas	°C	0	1400
Messen	T 306	Vergasungsluft	°C	0	500
Messen	T 307	Asche	°C	0	500
Messen	T 308	Vergaser 1 u	°C	0	1000
Messen	T 309	Vergaser 2	°C	0	1000
Messen	T 310	Vergaser 3	°C	0	1000
Messen	T 311	Vergaser 4	°C	0	1000
Messen	T 312	Vergaser 5	°C	0	1000
Messen	T 313	Vergaser 6 m	°C	0	1000
Messen	T 314	Vergaser 7	°C	0	1000
Messen	T 315	Vergaser 8	°C	0	1000
Messen	T 316	Vergaser 9	°C	0	1000
Messen	T 317	Vergaser 10	°C	0	1000
Messen	T 318	Vergaser 11	°C	0	1000
Messen	T 319	Vergaser 12 o	°C	0	1000
Messen	T 320	Heizungsrücklauftemp.	°C	0	120
Messen	T 321	Rauchgastemp.n.W	°C	0	1000
Messen	T 322	Heizungsvorlauftemp.	°C	0	120
Messen	T 323	Rauchgas nach Filter	°C	0	150
Messen	T 324	Rauchgas nach Wäscher	°C	0	150
Messen	C 501	Vergasungsluftklappe	%	0	100
Messen	C 502	Rostluftklappe	%	0	100
Messen	C 503	Verbrennungsluftklappe	%	0	100
Messen	C 504	Klappe Rauchgasrückführung	%	0	100
Messen	514	Frequenz FU1	Hz	0	85
Messen	C 515	Frequenz FU2	Hz	0	50
Messen	C 522	Heizungsregelventil	%	0	100
Messen	Q 601	Rauchgassauerstoff	% O2	0	21
Messen	C 501	Sollwert Vrgsrtmp.o.RR	°C	0	1000
Messen	C 501	Sollwert Vrgsrtmp.m.RR	°C	0	1000
Messen	C 503	Sollwert Sauerstoffkonzentration	°C	0	100
Messen	C 522	Sollwert Vorlauftemperatur	°C	0	120
Messen	C 523	Sollwert Überschschuss o.RR	°C	0	120

	09:10 09:40 *12:30 -* *13:55* *17:30* *18:24* 20:14 20:40 *22:45*	Reinigung der Meßgasaufbereitung ILK Fortsetzung der Messsung *weitere Versuche zur Beseitigung des Vergaserdruckes unter Unterbrechung der Vergaserluft* *Reinigung Meßgasstutzen für Probenahme VER* *Tropfenabscheider entwässert* Reinigung der Meßgasaufbereitung ILK Fortsetzung der Messsung *Entwässerung Probenahmestutzen*
24.01.97	*07:07* 14:05 14:30 *14:47* *19:02*	*Reinigung des Meßgasstutzen mit Unterbrechung der Vergasungsluft* Reinigung der Meßgasaufbereitung ILK Fortsetzung der Messsung *Reinigung des Meßgasstutzen mit Unterbrechung der Vergasungsluft* *Entwässerung Probenahmestutzen*
25.01.97	*02:40* *07:13* 10:10 10:50 *13:45* *20:00* *13:45*	*Stromausfall* *Reinigung des Probenahmestutzens* Reinigung der Meßgasaufbereitung ILK Fortsetzung der Messsung *Entwässerung Probenahmestutzen* *Entwässerung Probenahmestutzen* *Entwässerung Probenahmestutzen*
26.01.97	*07:52* 09:35 10:35 *12:40* *17:00*	*Reinigung des Gasanalysemeßstutzen - VER -* Reinigung der Meßgasaufbereitung ILK Fortsetzung der Messsung *Entleerung des Tropfenabscheiders - VER -* *Entleerung des Tropfenabscheiders - VER -*

Signal	Meßstellen-Nr.	Meßgröße	Maßeinheit	Meßbereich	
Messen	C 524	Sollwert Vergaserdruck	Pa	-1200	1200
Messen	C 525	Sollwert Überschuss m. RR	°C	0	120
Messen	C 502	Sollwert Luftverhältnis	%	0	100
Messen	727	Sollwert Rostzyklen		0	99
Messen	728	Sollwert kurzer Rostzyklus		0	99
Messen	729	Sollwert Rostintervallzeit		0	99
Melden	L 401	Brennstoff		normal	min
Melden	L 402	Asche		min	normal
Melden	L 403	Wassermangel		normal	min
Melden	L 404	Gasdruck		min	normal
Melden	540	Heizungsumwälzpumpe		aus	ein
Melden	541	Waschlösungspumpe		aus	ein
Melden	542	Schieber oben fährt auf			ein
Melden	543	Schieber oben fährt zu			ein
Melden	544	Schieber oben Endlage			auf
Melden	545	Schieber oben Endlage			zu
Melden	546	Schieber unten fährt auf			ein
Melden	547	Schieber unten fährt zu			ein
Melden	548	Schieber unten Endlage			auf
Melden	549	Schieber unten Endlage			zu
Melden	550	Rost fährt auf			ein
Melden	551	Rost fährt zu			ein
Melden	552	Rost Endlage			auf
Melden	553	Rost Endlage			zu
Melden	554	Ascheschnecke		aus	ein
Melden	555	Zündgebläse		aus	ein
Melden	556	Zündheizung		aus	ein
Melden	557	Frequenzumrichter G001		aus	ein
Melden	558	Frequenzumrichter G003		aus	ein
Melden	559	Feuerungsautomat		aus	ein
Melden	801	NotAUS		aus	
Melden	803	Freigabe Vergasung		Halt	Betrieb
Format	2				
Arith	F 191	Gesamtvergasungsluft	m3/h		
		103 +106 + 108 10 0,00 402 1			
Arith	602	Rechenwert für Lambda			
		601 -1,0 21,0-1 100 2 2			
Arith	193	Lambda	pu		
		601 /602 1,0 1,0 -1 10 2 1			
Arith	194	Gesamtleistung	kW th		
		305 - 301 * 101 0,00051 1,0 0 2 1			
Arith	T 330	Rechenwert für max	° C		
		308>309>310>311>312>313>314 1,0 0,0 0 1000 0 1			
Arith	T 331	Maximum Sonde	° C		
		330>315>316>317>318>319 1,0 0,0 0 1000 0 1			
Arith	900	Heizleistung	kW th		
		322-320*111 1,1667 0,0 0 100 1 1			
Arith	F 902	Verbrennungsluft	m3/h		
		101-103-106-108 1,0 0,0 0 100			

		2 1		
Signal	Meßstellen-Nr.	Meßgröße	Maßeinheit	Meßbereich
Integ	901	Heizenergie	kWh	
		900 0,0002778 0,0 0 100 2 1		
Alarm	202	15-100		
Alarm	542	Störung Schieber oben		
Alarm	546	Störung Schieber unten		
Alarm	550	Störung Rostantrieb		
Alarm	554	Störung Ascheschnecke		
Alarm	540	Störung Heizungsumwälzumpe P001		
Alarm	541	Störung Waschlösungspumpe P002		
Alarm	557	Störung Frequenzumformer FU1		
Alarm	558	Störung Frequenzumformer FU2		
Alarm	559	Störung Zündbrenner		
Alarm	557	Thermoschutz G01		

Anhang 2: Versuchsprotokoll

In nachstehender Tabelle sind alle während des Versuchszeitraum protokollierten Handlungen aufgeführt.

Montag den	20.01.1997	Anmerkungen
06:00	Installation der isokinetischen Meßsonde durch ILK	
08:00	Aufbau der gaschromatografischen Meßstrecke durch META	
10:05	Anfahren der Anlage durch VER	
10:20	unbeabsichtigtes NOT-AUS, Auslösung durch Bedienpersonal	
11:18	Wassereinspritzung in die Vergasungsluft eingestellt auf 3,6 l/h	
11:23	Frequenzumrichter Hauptluftgebläse von 27 Hz auf 30 Hz erhöht	
11:30	Überlastregler schließt auf Grund mangelnder Wärmeabnahme des Heiznetzes die Vergasungsluftzufuhr	
11:36	wie 11:30	
12.02	Verbrennungsluftregler TC 522 auf Handstellung - Festeinstellung 3,5 % Sauerstoff	
12:10	Verbrennungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 25 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 35 % Klappenstellung Wassereinspritzung : 6 l/h	
12:29	Überlastregler schließt auf Grund mangelnder Wärmeabnahme des Heiznetzes die Vergasungsluftzufuhr	
12:35	Vergasungsluft auf 45 m^3/h gedrosselt, da das Heiznetz die Abwärme nicht abführen kann	
12:49	Verbrennungsluftregler TC 522 - Festeinstellung 2,0 % O_2	
14:05	Überlastregler schließt auf Grund mangelnder Wärmeabnahme des Heiznetzes die Vergasungsluftzufuhr	
14:24	Wassereinspritzung : 4,8 l/h	
14:30	Vergasungsluft auf 50 m^3/h erhöht	
15:14	Verbrennungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 35 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 45 % Klappenstellung	
15:47	Rauchgasrückführung in die Brennkammer - Inbetriebnahme	
15:55	Wassereinspritzung : 6,0 l/h	
16:40	infolge von Wärmestrahlung wurden die Steuerkabel der Eintragsschieber beschädigt - Vergaserluft gedrosselt - Wassereinspritzung gestoppt	
17:05	Vergaser wieder in Normalbetrieb	
20:00	Reinigung des Meßgasstutzen für kontinuierliche Brenngasanalyse	
21:04	Ascheaustrag	
23:05	Wassereinspritzung : 6,2 l/h	

Dienstag den	21.01.1997	Anmerkungen
00:05	Rostparametereinstellung : 3 / 42 / von 10 auf 5	starke Druckschwankungen
00:11	Wassereinspritzung : 6,0 l/h	
00:14	Rostparametereinstellung : 1 / 42 / 1	
00:22	Rostparametereinstellung : 3 / 42 / 5	
00:32	Verbrennungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 55 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 70 % Klappenstellung	
01:17	Ascheaustrag	
01:25	Rostparametereinstellung : 3 / 42 / 8	
02:03	Rostparametereinstellung : 3 / 42 / 10	FU 2 bei 50 Hz
03:11	Stellung Vergasungsluftklappe : von 17 % auf 16 %	Temp. BK zu hoch
03:48		steigender Verg.druck
04:10	Rostparametereinstellung : 1 / 42 / 1	
04:14	Vergasungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 55 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	da O_2-Gehalt im Rauchgas zu niedrig
04:21	Rostparametereinstellung : 3 / 42 / 10	
05:11	Ascheaustrag	
06:55	Verbrennungsluftregler TC 522 - Festeinstellung 2,8 % O_2	Temp. Nach WÜ zu niedrig 59 °C
07:09	Rostparametereinstellung : 4 / 42 / 10	
07:20	Verbrennungsluftregler TC 522 - Festeinstellung 5,0 % O_2	
07:30		Vergaserdruck steigt - (200-400) auf (800-900) Pa, BK-Druck : -50 auf +20 mm WS
08:00	Gasanalyse wird durch meta aktiviert	
09:47	Datenerfassung Messtec von 8:15 bis 9:47 defekt	Ausfall der Datenspeicherung
11:10	Kontrolle Druckmeßstuzen	o.B.
11:45	Druckdifferenz des Saugzuggebläse beträgt nur 150 mm WS	
12:10	VER Gasprobe - 17 -	
14:15	Stellung Vergasungsluftklappe : von 16 % auf 17 %	Vergasungsluftmenge erhöhen
15:25	Stellung der Rostluftklappe von 10 % auf 13 %	
15:57	Stellung der Rostluftklappe von 13 % auf 10 %	
16:10	Rostparametereinstellung : 3 / 42 / 10	
17:24	Ascheaustrag	verbesserter Ausbrand
18:01	VER Gasprobe - 18 -	
18:51	Verbrennungsluftregler TC 522 - Festeinstellung 2,8 % O_2	
19:56	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 10	
20:20	Rostparametereinstellung : 0,3 / 35 / 1	Undichtheit im Meßsystem (O_2 0,2 auf 2,5 %) bis 22:07
20:24	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 1	
20:47	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 5	
21.04	Ascheaustrag	
21.44	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 10	
22:07	Reinigung der Meßleitungen zur Beseitigung des Meßfehlers hinsichtlich O_2-Gehalt im Brenngas	
22:26	Brenngasanalyse- Vorlageflasche entleert	kurzzeitiger Anstieg des O_2-Gehaltes durch Lufteinbruch
22:35	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 5	
23:20	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 10	

Mittwoch den	22.01.1997	Anmerkungen
00:08	VER Gasprobe - 19 -	
01:07	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 5	
01:25	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 1	
01:40	Überprüfung der Meßleitungen da Meßwerte der meta GmbH fraglich erscheinen	
01:48	Ascheaustrag	
01:57	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 5	
02:15 - 03:52	Versuch zur Reinigung der Zuführungsleitungen für die Gasanalyse	keine Änderung der Meßwerte
04:50	Ascheaustrag	
05:41	VER Gasprobe - 20 -	
06:20	Rostparametereinstellung : 3 / 35 / 10	
08:45	Wasser in den Rauchgaswäscher nachgefüllt	
09:40		bei Entaschung Druckabfall im Vergaser
09:50	Ausfall des Rauchgasrezirkulation in die Brennkammer (wegen Überhitzung des Gebläses)	09:55 wieder in Betrieb
11:50	VER Gasprobe - 21 -	
12:20	Wassereinspritzung : von 6,0 auf 5,5 l/h	
13:25 - 14:29	Flanschwechsel an der Brenngasleitung (zur Verbesserung der Probegasentnahme für die Brenngasanalyse)	Vergasungsluft kurzzeitig geschlossen
15:21	Rostparametereinstellung : 3 / 35 / 5 Rostparametereinstellung : 1 / 35 / 5	
16:04	Wassereinspritzung : 6,0 l/h	wegen steigenden Vergasertemperaturen
16:30	Rostparametereinstellung : 3 / 35 / 5	
17:03	Wassereinspritzung : 5,5 l/h	
17:53	VER Gasprobe - 22 -	
17:53	CO - Messung in der Raumluft auf Eintragsebene : 5 ppm CO	
18:10	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 5	
18:26	Verbrennungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 50 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	zu hoher O_2-Gehalt im Rauchgas
18:35	Verbrennungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 45 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
19:03	Klappe 504 - Rauchgasrückführung - von 100 % auf 39 %	Senkung des Anlagendruckes
19:05	Verbrennungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 35 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
19:13	Klappe 504 - Rauchgasrückführung - von 39 % auf 45 %	
20:25	Rostparametereinstellung : 3 / 35 / 5	
20:30	Verbrennungsluftregler TC 522 - Festeinstellung 22,7 %	Rg.-Temp. zu niedrig
20:50	Verbrennungsluftregler TC 522 - Festeinstellung 3 %	
21:03	Ascheaustrag	Asche ist naß
21:40	Entwässerung Tropfenabscheider	
22:30	Stellung Vergasungsluftklappe 501: von 17 % auf 19 %	zur Verbesserung der Brenngasleistung
23:09	Wassereinspritzung : 6,0 l/h	

Donnerstag den	23.01.1997	Anmerkungen
00:20	VER Gasprobe - 23 -	
00:36	Klappe 504 - Rauchgasrückführung - 55 %	Brennkammertemp. zu hoch
00:39	Ausfall des Rauchgasrezirkulationsgebläse festgestellt und wieder i.B. genommen	
00:59	Klappe 504 - Rauchgasrückführung - 60 %	
01:08	Waschwasser im Rauchgaswäscher nachgefüllt	
01:26	Stellung Vergasungsluftklappe 501: von 18 % auf 17 %	
01:40	Stellung Vergasungsluftklappe 501: von 17 % auf 19 %	
01:53	Vorlageflasche vor Brenngasanalyse entleert	
02:04	Klappe 504 - Rauchgasrückführung - 55 %	
02:31	Ascheaustrag	
02:46	Heizungsregler TC 522 - Festeinstellung 2 % O_2	
03:05	Probenahme entwässert	
03:14	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 5	
03:30	Stellung Vergasungsluftklappe 501: 18 %	
03:35	Verbrennungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 30 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
04:06	Stellung Vergasungsluftklappe 501: 19 %	
04:12	Ausfall des Rauchgasrezirkulationsgebläse festgestellt und wieder in Betrieb genommen	
04:14	Stellung Vergasungsluftklappe 501: 17 %	
04:16	Verbrennungsluftregler TC 522 - Festeinstellung 3 % O_2	
04:26	Verbrennungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 25 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
04:40	Klappe 504 - Rauchgasrückführung - 50 %	
04:46	Klappe 504 - Rauchgasrückführung - 45 %	
04:47	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 1	
04:50	Rostparametereinstellung : 1 / 35 / 1	
04:56	Stellung Vergasungsluftklappe 501: 16 %	
04:58	Verbrennungsluftregler-Einstellung - unterer Grenzwert : 20 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 %	
04:59	Heizungsregler TC 522 - Festeinstellung 2 % O_2	
05:11	Rostparametereinstellung : 3 / 35 / 5	
05:11	Rostparametereinstellung : 0,3 / 35 / 1	
05:31	Vergaserdruck ständig ansteigend - Vergaserluft gedrosselt - Wassereinspritzung gedrosselt auf 4,8 l/h	
05:40	Ascheaustrag	
05:46	Vergaser gestochert da Druck größer 2300 Pa	
05:49	Wassereinspritzung unterbrochen	
05:52	Vergaser gestochert	
06:06	- Klappe Rostluft geöffnet - Vergasungsluftklappe geschlossen	
06:10	Ausgangszustand wieder hergestellt - unverändert hoher Druck im Vergaser - Reduzierung Saugzuggebläsedrehzahl - Steigerung der Brenngastemperatur (Ausbrennen des Gasabzuges)	
09:45 - 13:50	weitere Versuche zur Beseitigung des Vergaserdruckes unter Abschaltung des Vergasers	
13:55	Anfahren des Vergasers	
14:58	Brennstoffumstellung auf grobe Stücke	Aushaltung des

		Feinkornanteiles <10 mm
15:17	Wassereinspritzung : 4,8 l/h	
17:35	VER Gasprobe - 24 -	
17:48	Ascheaustrag	während der Entaschung wird die Vergasungsluft gedrosselt
17:57	versehentliches NOT-AUS durch Bedienerpersonal	
18:21	alter Betriebszustand wieder hergestellt	
18:24	Vorlageflasche vor Brenngasanalyse gereinigt	
19:31	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 4	
19:16	Ascheaustrag	
20:32	Wassereinspritzung : 5,5 l/h	
21:47	Neustart des Datenerfassungssystem Messtec	Abspeicherung
21:57	Ascheaustrag	
22.24	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 25 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
22:30	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 35 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
22:45	Entwässerung der Probenahmestutzen	
23:02	Wassereinspritzung : 6,0 l/h	
23:52	Ascheaustrag	

Freitag den	24.01.1997	
00:16	Drucksprung	
00:22	Wassereinspritzung : 4,8 l/h	
00:38	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 1	
00:38	VER Gasprobe - 25 -	
01:19	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 30 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
01:39	Stellung Vergasungsluftklappe 501: 38 % - Holzzufuhr unterbrochen - Wassereinspritzung unterbrochen	Ziel: Druckminderung durch Anhebung der Vergasertemp.
02:16	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 25 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
	Verbrennungsluftregler unterer Grenzwert : 23 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	wegen steigender Brennkammertemp.
03:13	Ascheaustrag	
03:14	Wassereinspritzung : 4,8 l/h	
03:34	Rostparametereinstellung : 10 / 35 / 1	
04:38	Wassereinspritzung unterbrochen, da plötzlicher Drucksprung	
04:42	Wechsel der Vergaserebenen	Ziel: verbesserte Umsetzung in der Reaktionszone
04:53	Rauchgasrezirkulation auf Brenner, da steigende Temperaturen in der Brennkammer	
06:11	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 28 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	O_2-Gehalt > 10 Vol-%
06:40	VER Gasprobe - 26 -	
06.41	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 23 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
07:07	wegen Reinigung des Meßgasstutzen wurde Vergasungsluft kurzzeitig unterbrochen	
07:51	Rostparametereinstellung : 5 / 35 / 2	
09.15	Partikel- und Teerbestimmung	Gas brennt sicher
10:24	Rauchgasrücksaugung kurzzeitig ausgefallen	thermischer Überlastschalter
10:49	meta- Analysengeräte zeigen unreale Werte an	
12:20	VER Gasprobe - 27 -	
14:47	Ascheaustrag	
14:47	kurzzeitige Unterbrechung der Vergasungsluft wegen Reinigung der Gasanalysemeßstutzen	
15:32	Brückenbildung im Eintrag	
15:50	kurzzeitige Unterbrechung der Vergasungsluft wegen Reinigung Gasanalysemeßstutzen	
16:57	Brückenbildung unter unterem Eintragsschieber	
17:18	- Vergaser gestochert - Vergasungsluft kurzzeitig unterbrochen	
18:00	VER Gasprobe - 28 -	
18:24	- Vergaser gestochert - Vergasungsluft kurzzeitig unterbrochen	
18:24	Rostparametereinstellung : 1 / 35 / 5	
18:50	Rostparametereinstellung : 1 / 35 / 1	
19:02	Probenahmestutzen entwässert	

19:44	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 22 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
20:36	Ascheaustrag	
20:36	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 1	
20:42	plötzlicher Drucksprung	
20:55	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 25 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
21:19	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 33 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
22:38	- Wechsel der Vergasungsebenen von ‘ Unten ‘ nach ‘ Oben ‘ - Wassereinspritzung : 4,8 l/h	- Vergasertemp. >1000°C
23:27	Wassereinspritzung wurde unterbrochen, da ein stetiger Druck- und CO_2 -Anstieg festgestellt wurde	

Samstag den	25.01.1997	
00:34	Rostparametereinstellung : 10 / 35 / 1	
00:52	Stellung Vergasungsluftklappe 501: von 25 % → 10 %	Erhöhung der Kopfluft 17 m^3/h
01:14	Stellung Vergasungsluftklappe 501: von 10 % → 15 %	Kopfluft : 17 m^3/h
01:35	Wiederherstellung der alten Vergasereinstellungen (Kopfluft 2 m^3/h, Vergasungsluftklappe 25 %)	
01:43	Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 30 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
02:00	Rostparametereinstellung : 3 / 35 / 1 Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 10 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
02:00	Messung der Vergasungsluft kurzzeitig unterbrochen, da Anschlußschläuche infolge von Temperatureinwirkung defekt sind	Austausch der Anschlußschläuche für Blendenmessung
02:40	Stromausfall in der Gesamtanlage	
02:55	Anlage angefahren	
03:55	Vergaser gestochert	Brückenbildung unterhalb des unteren Eintragsschiebers
04:05	Ascheaustrag	
04:38	Stellung Vergasungsluftklappe 501: von 16 % → 20 % Stellung Vergasungsluftklappe 501: von 20 % → 25 %	
06:15	VER Gasprobe - 30 -	
07:00	Rostparametereinstellung : 2 / 35 / 1	
07:07	Vergasungsluft von 67 auf 60 m^3/h	
07:13	Reinigung des Gasanalysemeßstutzen	
09:00	Partikel- und Teerbestimmung	
10:02	Rostluftregler von ‘ AUTO ‘ auf ‘ HAND ‘	
10:04	Reinigung des Gasanalysemeßstutzen	
10:12	- Wechsel der Vergasungsebenen von ‘ Unten ‘ nach ‘ Oben ‘ wegen steigenden CO_2 - Werten im Brenngas	
11:47	VER Gasprobe - 31 -	
13:45	Gasprobeentnahme entwässert	
14:31	kurzzeitiger Ausfall der Rauchgasrückführung	
17:00	Vergaser gestochert wegen Brückenbildung	
17:24	Rostparametereinstellung : 0,3 / 40 / 2 Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 20 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 80 % Klappenstellung	
19:04	VER Gasprobe - 32 -	
19:10	Vergaser gestochert	
20:00	Probenahmestutzen entwässert	
20:23	Ascheaustrag	
22:00	Probenahmestutzen entwässert	
22:18	Vergaser gestochert	
22:35	Wassereinspritzung -EIN- : 4,8 l/h	steigende Brenngastemp.
22:39	Rostparametereinstellung : 1 / 40 / 1	
22:58	Rostparametereinstellung : 2 / 40 / 1 Verbrennungsluftregler - unterer Grenzwert : 20 % Klappenstellung oberer Grenzwert : 50 % Klappenstellung	
23:07	Ausfall der Computersteuerung - damit verbunden : Ausfall der Gesamtanlage infolge Neustart	
23:23	Anlage ist wieder in Betrieb	ohne Wasserzufuhr
23:50	VER Gasprobe - 33 -	

Sonntag den 26.01.1997

04:00	VER Gasprobe - 34 -	
04:13	Rauchgasrückführung in Brennkammer - AUS -	
04:15	Umstellung auf Leistungspunkt 2 (50 % Leistung)	
04:46	Frequenzumrichter FU 1 (Hauptgebläse) auf 18 Hz	Vergasungsluft : 33 m^3/h
05:30	Ascheaustrag	
06:49	Kühlturmlüfter ausgeschalten	
07:52	Gasanalysemeßstutzen gereinigt	
07:52	VER Gasprobe - 35 -	
09:45	Partikel - und Teerbestimmung	
10:36	Rostparametereinstellung : 1,5 / 40 / 1	
12:07	Wechsel der Vergasungsluftebenen von ‘UNTEN’ nach ‘OBEN’	
12:40	Tropfenabscheider entleert	
14:03	Pumpe P02 abgeschalten	
15:45	Wechsel der Vergasungsluftebenen von ‘OBEN’ nach ‘UNTEN’	
17:00	Tropfenabscheider entleert	
17:38	VER Gasprobe - 36 -	
18:00	Wechsel der Vergasungsluftebenen von ‘UNTEN’ nach ‘OBEN’	
18:54	Ascheaustrag	
20:54	PC - Rechner abgestürzt - Neustart der Datenspeicherung -	
23:20	VER Gasprobe - 37 -	

Montag den 27.01.1997

00:00	Abbau der Meßtechnik
00:15	planmäßiges Abfahren der Anlage und Ende der Versuchsfahrt
00:15 - 08:30	Aufnahme der Abfahr- und Abkühlkurve

Anhang 3: Protokoll der Brenngasanalytik

Nachstehenden sind alle Maßnahmen und Aktivitäten zusammengefaßt, die im Zusammenhang mit der Brenngasanalytik erforderlich waren. Die kursiv eingefügten Aktivitäten sind ergänzende Eintragungen aus dem Versuchsprotokoll.

Datum	Uhrzeit	Bemerkung
20.01.97	06:00	Aufbau der Meßanordnung Gasteilung nach Gasentnahme und Tropfenabscheider meta Tropfenabscheider, Partikelfilter, Meßgasaufbereitung M&S (Gaskühler, Partikelfilter)
	10:00	Beginn der Messungen keine plausiblen Meßergebnisse - Schwierigkeiten Meßgasentnahme meta, Undichtigkeiten
	13:00	Fortsetzung der Messung
	17:30	Meßgasvolumenstrom sehr gering, mit starken Schwankungen Austausch Meßgasaufbereitung GOT 200 WR (Gaskühler, Aerosolfilter, Permeationstrockner, Partikelfeinstfilter)
	20:30	Verstopfung Gasentnahme
21.01.97	10:00	Umstellung Meßgasleitung ILK Tropfenabscheider, Kühlschlange im Eiswasser, Tropfenabscheider, Partikelfilter, Meßgasaufbereitung
	15:00	Umstellung Gasentnahme META 1 m Kupferrohr direkt an Entnahmestutzen, Tropfenabscheider, Gasteilung
	19:00	Verstopfung Gasentnahme
	21:20	Reinigung Gasentnahme -VER-
	22:10	Fortsetzung der Messung
22.01.97	*01:40 - 03:52*	*Reinigung der Meßstutzen, der Geräteanschlußstutzen und der Meßtechnik, da die meta- Werte fraglich erscheinen*
	09:30	Umbau Probenahmestutzen -VER-
	10:00	Reinigung Meßgasaufbereitung ILK
	11:30	Fortsetzung der Messung
	13:25 - 14:29	*Flanschwechsel an der Brenngasleitung*
	21:40	*Entwässerung Probenahmestutzen*
23.01.97	*00:17*	*Reinigung Meßgasstutzen für Probenahme VER*
	01:53	*Tropfenabscheider entwässert*
	03:05	*Entwässerung Probenahmestutzen*
	05:30 - 07:30	*Anstieg des Sauerstoffgehaltes infolge mehrmaligen Stocherns bzw. kurzzeitiger Reduzierung der Vergaserluft zur Ursachenanalyse des erhöhten Vergaserdruckes*