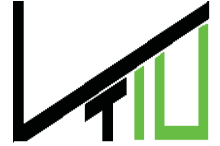




Montanuniversität Leoben

**Institut für Verfahrenstechnik
des industriellen Umweltschutzes**

Vorstand: O.Univ.-Prof. Dr. mont. W. L. Kepplinger



Diplomarbeit

Optimierte Konzeption einer Biomassevergasungsanlage Messungen

erstellt am

Institut für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes

Montanuniversität Leoben

Vorgelegt von:

Günther Amann, 9435141

Waldmüllerweg 4

6845 Hohenems

Graz, März 2002

Betreuer:

Ao. Univ.-Prof. Dr. tech. J. Draxler

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. M. Kleinhappl,

Institut für Wärmetechnik

Technische Universität Graz

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als angegebene Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Günther Amann

Vorwort

An dieser Stelle bedanke ich mich bei all jenen, die mir in meinem bisherigen Leben zur Seite gestanden sind. Ihre Unterstützung, ihre Freundschaft, aber auch ihre Kritik halfen mir in meinem Leben weiter, und machten mich zu dem Menschen, der ich bin.

Am meisten Dank gilt meinen Eltern, meinen Brüdern, sowie meiner Gota und meinen beiden Omas, die mich alle auf ihre eigene, ganz besondere, Weise unterstützten.

Optimierte Konzeption einer Biomassevergasungsanlage

Die Diplomarbeit beschäftigt sich mit einer Holzhackschnitzel betriebenen Biomassevergasungsanlage. Das im Vergaser entstehende Rohgas wird in mehreren Verfahrensstufen gereinigt, so dass ein Einsatz des Gases in einem Gasmotor ermöglicht wird. Die Gasreinigung besteht aus einer Kombination von Trocken- und Nassreinigungsstufen. Bei der Nassreinigung des Gases kommt es zu einer Verlagerung der Verschmutzungen in das Waschwasser. Da eine Einleitung des Waschwassers in die Kanalisation angestrebt wird, muss auch dieses in mehreren Verfahrensstufen aufbereitet werden.

Im Zuge der Arbeiten zur Diplomarbeit wird eine Bewertung und Verbesserung sowohl der Gasreinigung als auch der Waschwasseraufbereitung angestrebt. Zur Bewertung der Effizienz der Reinigungsstufen werden bei Betrieb des Biomassevergasers bei variierenden Betriebsparameter bei unterschiedlichsten Schnittstellen der Anlage Gas- und Waschwasserproben entnommen und im Labor auf deren Verschmutzungsgrad analysiert.

Durch Umbau der Anlage und Änderungen der Betriebsparameter wird eine ständige Verbesserung der Reinigungsaggregate angestrebt. So wird im Zuge der Umbaumaßnahmen die Trockenreinigung mit einem Heißgasfilter erweitert, die Strippkolonnen mit einem neuen Desorptionsmittel beaufschlagt und der Venturiwäscher wird durch die Einbringung von Rapsmethylester in den Waschzyklus optimiert.

In einer abschließenden Betrachtung werden die Messwerte miteinander verglichen und so eine Bewertung der einzelnen Reinigungsaggregate vorgenommen.

Optimised conception of a biomass gasification unit

This thesis deals with a wood chip operated biomass gasification unit. The raw gas from the gasifier is cleaned in several operation steps, so that an application of the gas in a gas engine is enabled. The gas- cleaning system consists of a combination of dry and wet cleaning steps. During the wet cleaning the contaminations of the gas are transferred into the washing water. Therefore the washing water has to be cleaned in several operation steps prior to the discharge into the sewerage. The goal of this thesis is an evaluation and an improvement of the gas cleaning and the washing water treatment steps.

Several gas and water samples are taken during the operation of the gasifier with varying process parameters at different sites of the unit. They are analysed in the laboratory for their degree of pollution in order to do an evaluation of the efficiency of cleaning steps.

The aim is to improve the efficiency of the cleaning units. This is worked out by changing some parts of the unit and modifying the operations parameters. In the course of the structural alteration measures the dry cleaning is extended with a hot gas filter, the stripping column is operated with a new desorption medium, and an oil seed ester is used in the wash cycle of the Venturiscrubber.

Finally the measured values are compared with one another and for this reason it was possible to do an evaluation of the efficiency of the cleaning units.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 8 |
| 1.1 | Ökologischer Hintergrund [1] | 8 |
| 1.2 | Problemstellung | 8 |
| 1.3 | Zielsetzung und Vorgehensweise | 9 |
| 2 | DAS BIOMASSE BLOCKHEIZKRAFTWERK (BHKW) | 10 |
| 2.1 | Das Gesamtkonzept | 10 |
| 2.2 | Der Vergasungsreaktor/ Entstehung der Schadstoffe | 12 |
| 2.3 | Die Gas- und Wasserreinigung | 15 |
| 2.3.1 | Grenzwerte und Belastungswerte des Gases und des Abwassers | 16 |
| 2.3.2 | Verfahren zur Gas- und Abwasserreinigung | 20 |
| 3 | DIE BEWERTUNG DER REINIGUNGSEFFIZIENZ | 28 |
| 3.1 | Allgemeine Definitionen der Schadstoffgruppen | 28 |
| 3.1.1 | Partikel..... | 28 |
| 3.1.2 | Lösliche organische Stoffe (Teere)..... | 28 |
| 3.1.3 | Unlösliche organische Stoffe (Ruß)..... | 29 |
| 3.1.4 | Unlösliche anorganische Stoffe (Salze)..... | 29 |
| 3.2 | Definitionen innerhalb der Diplomarbeit | 30 |
| 3.2.1 | Gasseitige Verunreinigungen [4] | 30 |
| 3.2.2 | Wasserseitige Verunreinigungen [3], [4]..... | 31 |
| 3.3 | Der Messvorgang..... | 32 |
| 3.3.1 | Beschreibung der verwendeten Lösungsmittel..... | 32 |
| 3.3.2 | Die Gasprobennahme | 37 |
| 3.3.3 | Die Waschmedienprobennahme | 42 |
| 3.4 | Die analytische Bestimmung der Parameter | 42 |
| 3.4.1 | Die gasseitigen Parameter [4] | 43 |
| 3.4.2 | Die waschmediumseitigen Parameter | 48 |
| 4 | VERBESSERUNGEN AN DER ANLAGE | 58 |
| 4.1 | Der Umbau der Anlage | 58 |
| 4.2 | Vorversuche im Labor | 61 |
| 4.2.1 | Beurteilung des Stoffübergangs zwischen Gasstrom und Waschmedium | 61 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.2.2 | Bestimmung des Verteilungskoeffizienten der Schadstoffe zwischen der organischen und der wässrigen Phase des Waschmedium | 64 |
| 4.3 | Versuche an der Anlage | 69 |
| 4.3.1 | Die Desorptionskolonne (Stripper) | 69 |
| 4.3.2 | Die Biomassevergasungsanlage | 82 |
| 5 | ZUSAMMENFASSUNG | 94 |
| 6 | ANHANG | 95 |
| 6.1 | Verzeichnisse..... | 95 |
| 6.1.1 | Literaturverzeichnis | 95 |
| 6.1.2 | Abbildungsverzeichnis..... | 96 |
| 6.1.3 | Tabellenverzeichnis..... | 98 |
| 6.2 | Messprotokolle..... | 99 |
| 6.2.1 | Protokolle der Gasmessungen | 99 |
| 6.2.2 | Protokolle der Waschwassermessungen | 126 |

1 Einleitung

1.1 Ökologischer Hintergrund [1]

Mit dem stetig ansteigenden Wohlstand und der fortschreitenden Industrialisierung wird auch der weltweite Energieverbrauch immer größer. Der damit verbundene Ausstoß von Treibhausgasen insbesondere von CO₂ ist höchstwahrscheinlich für den Treibhauseffekt verantwortlich. Besonderer Bedeutung zur Reduktion des CO₂ Ausstoßes kommt der Nutzung von Biomasse zu, da diese als einziger Energieträger CO₂ direkt aus der Atmosphäre aufnehmen und im Zuge der Photosynthese umwandeln kann.

Ein anderer positiver Effekt der Biomassenutzung stellt das neue Betätigungsfeld für die Land- und Forstwirtschaft dar. Die Nutzung von brachliegendem Ackerland zum Anbau von Brennstoffen bietet vor allem den Bauern eine neue Einkommensquelle. Aufgrund der im Vergleich zu fossilen Energieträgern geringen Energiedichte der Biomasse, steht die regionale Verwertung im Vordergrund, dadurch kommt es zu einer Stärkung sonst meist wirtschaftlich schwacher Regionen.

Besondere Bedeutung kommt dabei dem Prinzip der Nachhaltigkeit zu, dies inkludiert neben der weitgehenden Schließung des CO₂ Kreislaufes und einer emissionsarmen Verwertung durch den Einsatz moderner Anlagentechnik auch die Rückführung der bei der Verwertung entstehenden Rückstände (Asche) auf Forst- und Agrarflächen. Diese hohe Umweltverträglichkeit der thermischen Biomassenutzung setzt natürlich den Einsatz chemisch unbehandelter Biomasse voraus.

Derzeit liegt der Anteil von Biomasse am Primärenergieeinsatz in Österreich bei 9,2%, damit liegt Österreich hinter den skandinavischen Ländern Finnland (19,6%) und Schweden an dritter Stelle. Der Gesamtdurchschnitt des Anteiles der Biomasse an der Primärenergiebereitstellung der 15 EU-Staaten liegt derzeit bei knapp über 3,0%, wobei in diesem Anteil auch die thermische Müllverwertung inkludiert ist. Erklärtes Ziel der Europäischen Union ist es diesen Anteil bis zum Jahr 2010 auf 5,5% und bis zum Jahr 2025 auf rund 8% zu steigern. Der Anteil von Biomasse an der Stromproduktion liegt in der Europäischen Union bei rund 1,1%, in Finnland bei 16%, in Schweden bei 1,7% und in Österreich bei 2,3%. Beim Vergleich dieser Zahlenwerte sind natürlich immer die unterschiedlichen geographischen und strukturellen Unterschiede zu bedenken.

1.2 Problemstellung

Bei Biomassevergasungsanlagen bereitet vor allem die Reinigung des Gases Probleme. Durch die großen Schadstofffrachten bedarf es zur Erreichung der Einsatzgrenzwerte des Gases in einem Gasmotor einer effizienten und deshalb aufwändigen Gasreinigung. Die Gasreinigung erfolgt in Waschkolonnen mit einem flüssigen Waschmedium als Absorptionsmittel, dadurch ergibt sich eine Verlagerung der Schadstoffe in die wässrige Phase. Die Belastung der wässrigen Phase ist so hoch, dass diese unter erheblichen Kosten

als Sondermüll entsorgt werden muss, oder einer weiteren Behandlung bedarf. Die Zahl der Verfahrensschritte und die damit verbundene Komplexität der Gesamtanlage steigt dadurch maßgeblich. Zur Erreichung einer ausreichenden Anlagensicherheit und einem finanziell akzeptablen Investitionsrahmen sollte die Anzahl der notwendigen Anlageneinheiten möglichst gering sein.

1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise

Trotz Vereinfachung des Anlagenschemas sollen die zulässigen Grenzwerte für den Einsatz des gereinigten Gases in einem Gasmotor und die Indirekteinleitung des Abwassers in die Kanalisation erreicht werden. Die aufgrund von Recherchen denkbaren Alternativen werden nach Möglichkeit zuerst im Labor auf ihre Sinnhaftigkeit getestet und bei guten Ergebnissen an der Versuchsanlage anlagentechnisch umgesetzt. Die Reinigungseffizienz der neuen Anlagenteile wird durch Messungen bei Betrieb der Anlage dokumentiert und bewertet.

2 Das Biomasse Blockheizkraftwerk (BHKW)

2.1 Das Gesamtkonzept

Das BHKW besteht aus den Hauptkomponenten Vergasungsreaktor, Gasreinigung, Wasseraufbereitung und Gasmotor. Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Einsatzstoffe und Produkte des BHKW. Die Holzhackschnitzel werden im Reaktor mit einem Oxidationsmittel vergast. Die dabei entstehende Asche wird ausgeschleust und das Rohgas wird in den Gasreinigungsaggregaten für den Einsatz in einem Gasmotor aufbereitet. Das in den Reinigungsaggregaten eingesetzte Waschmedium wird einer Wasserreinigung unterzogen. Das Reingas wird zur Stromerzeugung in einem Gasmotor verwendet.

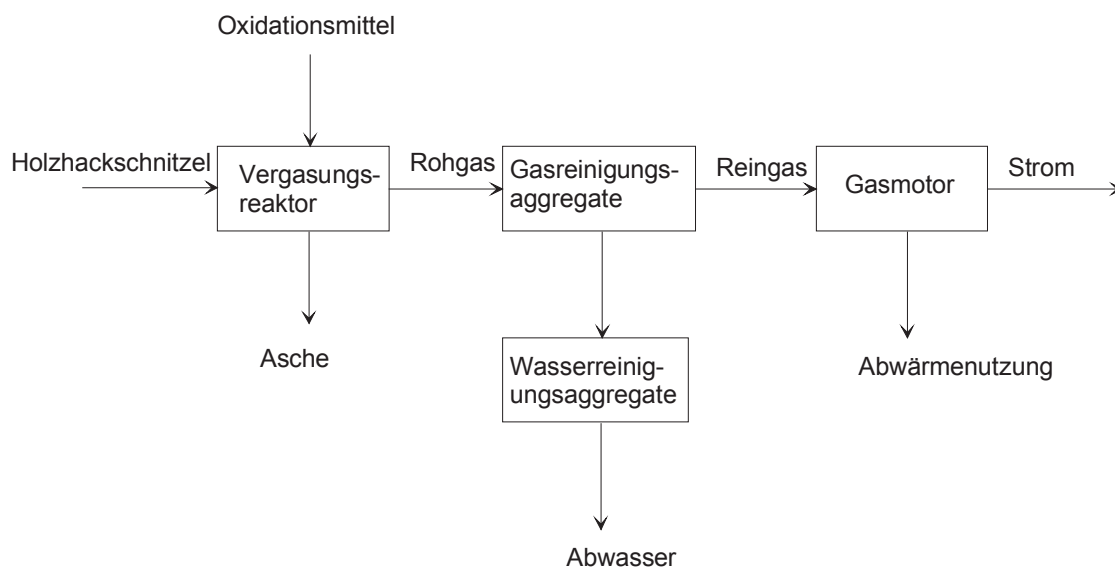


Abbildung 1: Grundverfahrensfließbild des BHKW

Die einzelnen Verfahrensschritte stellen sich im Detail folgendermaßen dar (siehe: Abbildung 2): Nach dem Vergaser wird das Rohgas (600-700°C) über eine Brennkammer geführt. Die Brennkammer dient während des Hochfahrens zur Vorwärmung der nachgeschalteten Anlagenteile, bei stationärem Betrieb kann eine Teilverbrennung der Vergasungsprodukte erfolgen. Einerseits erzielt man durch die Teilverbrennung eine weitere Aufspaltung (Cracken) der Vergasungsprodukte und erhält somit ein weniger belastetes Rohgas, andererseits sinkt der Heizwert des Rohgases erheblich. Beim Hochfahren wird das Rohgas nach der Brennkammer zur Fackel geführt und verbrannt. Im stationären Betrieb strömt das Gas in einen Zyklon zur Grobentstaubung. Im nachfolgenden Abhitzedampferzeuger wird das Gas von ca. 600°C auf ca. 250°C abgekühlt. Der dabei entstehende Dampf wird teilweise in den Vergasungsprozess zugeführt. In der ersten Waschstufe wird das Gas in einem Strahlwäscher durch Wassereinspritzung auf die Kühlgrenztemperatur von ca. 60°C abgekühlt. Das Waschwasser wird über ein Absetzbecken umgewälzt. Im nachfolgenden Venturiwäscher (Wäscher 2) erfolgt eine weitere Reinigung des Gases, auch dieses

Waschwasser wird über ein Absetzbecken umgewälzt. Als nächstes folgt ein Tropfenabscheider, das hier abgetrennte Wasser fließt in den Wäscher 2 zurück. Die nachfolgende Eindampfvorrichtung und die Strippeinheit werden noch nicht kontinuierlich betrieben. Das bei der Eindampfung anfallende Konzentrat muss als Sondermüll entsorgt werden. Das Kondensat wird, bevor es wieder in den Waschzyklus rückgeführt wird, in der Strippkolonne mit einem Luft/ Dampfgemisch gereinigt. Das Gas strömt weiter in eine Siebbodenkühlkolonne, die mit Wasser betrieben wird, dadurch erreicht man eine Gastemperatur von 25°C. Vor dem Eintritt in den Gasmotor strömt das Gas noch über einen Sicherheitsfilter und ein Gebläse.

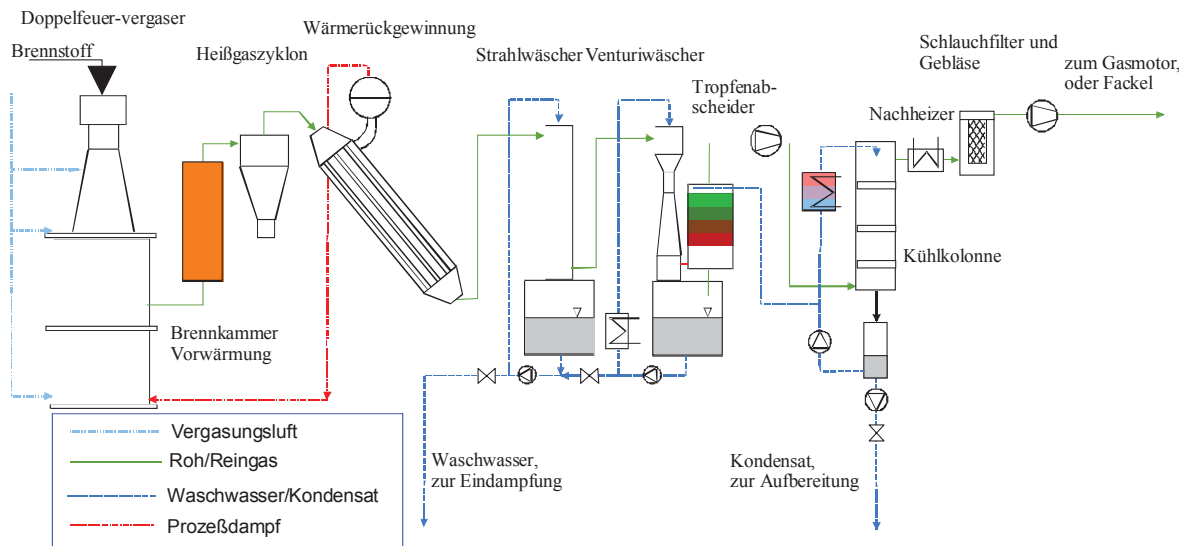


Abbildung 2: Verfahrensfließbild des BHKW

Technische Daten:

In der Tabelle 1 sind die wichtigsten technischen Daten des BHKW aufgelistet

Tabelle 1: Technische Daten des BHKW

| | |
|---|----------------------------------|
| Brennstoffmassenstrom: | $\dot{m} = 65 \text{ kg / h}$ |
| Thermische Leistung des Vergasers: | $Q_{\text{th}} = 250 \text{ kW}$ |
| Elektrische Nennleistung des Generators: | $P_{\text{el}} = 50 \text{ kW}$ |
| Heizleistung des BHKW: | $Q_{\text{H}} = 110 \text{ kW}$ |
| Thermischer Wirkungsgrad der gesamten Anlage: | $\eta_{\text{th}} = 0,52$ |
| Elektrischer Wirkungsgrad der gesamten Anlage: | $\eta_{\text{el}} = 0,23$ |
| Stromkennzahl: (Verhältnis erzeugter Strom/ausgekoppelte Wärme) | $\sigma = 0,45$ |

2.2 Der Vergasungsreaktor/ Entstehung der Schadstoffe

Der am Institut für Wärmetechnik an der Technischen Universität Graz installierte Biomassevergaser ist ein im Gegenstrom betriebener Zweizonenvergaser. Als Brennstoff werden Holzhackschnitzel mit einem Heizwert von ca. 4 kWh/kg eingesetzt, als Oxidationsmittel kommt ein Luft/ Wasserdampfgemisch zur Anwendung. Bei der Vergasung entsteht eine breite Palette von Reaktionsprodukten, einige davon sind erwünscht, eine große Anzahl von den Produkten bereiten jedoch als Schadstoffe große Probleme (siehe: Kapitel 2.3.1). Eine Zusammenfassung einzelner Schadstoffe in Schadstoffgruppen, welche für diese Diplomarbeit unerlässlich ist, und die Definitionen der einzelnen Gruppen erfolgt in Kapitel 3.1. In diesem Kapitel werden die Vergasungstechnologie und der Entstehungsweg der Vergasungsprodukte beschrieben.

Prinzip der Vergasung:

Die Verbrennung bezeichnet die Reaktion eines oxidierbaren Stoffes bei erhöhter Temperatur mit Sauerstoff. Die Pyrolyse (Entgasung) bezeichnet die thermische Zersetzung unter Ausschluss von Sauerstoff. Bei der Vergasung liegt das Oxidationsmittel

unterstöchiometrisch vor. Somit lässt sich mit Hilfe der Luftüberschusszahl λ , dem Verhältnis der effektiv vorhandenen Menge Oxidationsmittel zu der stöchiometrischen Menge, die Vergasung von der Verbrennung und der Pyrolyse unterscheiden [6]:

$\lambda=0$ Pyrolyse

$0<\lambda<1$ Vergasung

$\lambda>1$ Verbrennung

Bei der thermischen Spaltung eines organischen Ausgangsstoffes, in unserem Fall Holzhackschnitzel, werden die höhermolekularen Verbindungen (Zellulose, Lignin) in kleinere, vorwiegend gasförmige Bruchstücke aufgespaltet. Die wichtigsten Produkte sind Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H₂), Methan (CH₄) und Ethan (C₂H₆). Ebenfalls bilden sich störende Nebenprodukte wie Teere und Oxidationsprodukte (Essigsäure, Aceton, Wasser, Kohlendioxid (CO₂)).

Man unterteilt die Vergasung in vier Zonen (siehe: Abbildung 4):

- Trocknungszone

In der Trocknungszone wird die in den Holzhackschnitzeln enthaltene Feuchtigkeit ausgetrieben. Je nach Feuchtegehalt der Biomasse muss mehr oder weniger Wärme zugeführt werden. In der Trocknungszone finden keine chemischen Reaktionen statt, die Temperatur erreicht hier in etwa 100°C.

- Pyrolysezone

Die thermische Zersetzung der Holzhackschnitzel findet in der Pyrolysezone statt. Die Temperaturen liegen in dieser Zone bei 300°C bis 700°C. Die makromolekularen Bestandteile der Holzhackschnitzel werden unter Zufuhr von Wärme in niedermolekulare Verbindungen gespalten. Dabei entstehen Gase, flüchtige organische Stoffe, die ein breites Massenspektrum aufweisen, und Holzkohle als Pyrolyserückstand.

In Abbildung 3 sind die wichtigsten Reaktionsabläufe dargestellt. Evans und Milne unterteilten die Reaktionen in Primär, Sekundär und Tertiärprozesse. Die Entstehung der unterschiedlichen Reaktionsprodukte ist eine Funktion der Temperatur, der Zeit, des Druckes und der Menge des Vergasungsmittels. Im sogenannten Primärprozess entstehen aus der Biomasse Primärflüssigkeiten, Primärdämpfe sowie Wasser, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid. Aromate, Phenole, Olefine, leichte Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff sowie Koks und Russ entstehen beim Sekundärprozess. Im Tertiärprozess bilden sich schließlich noch PAH und Methan. [7]

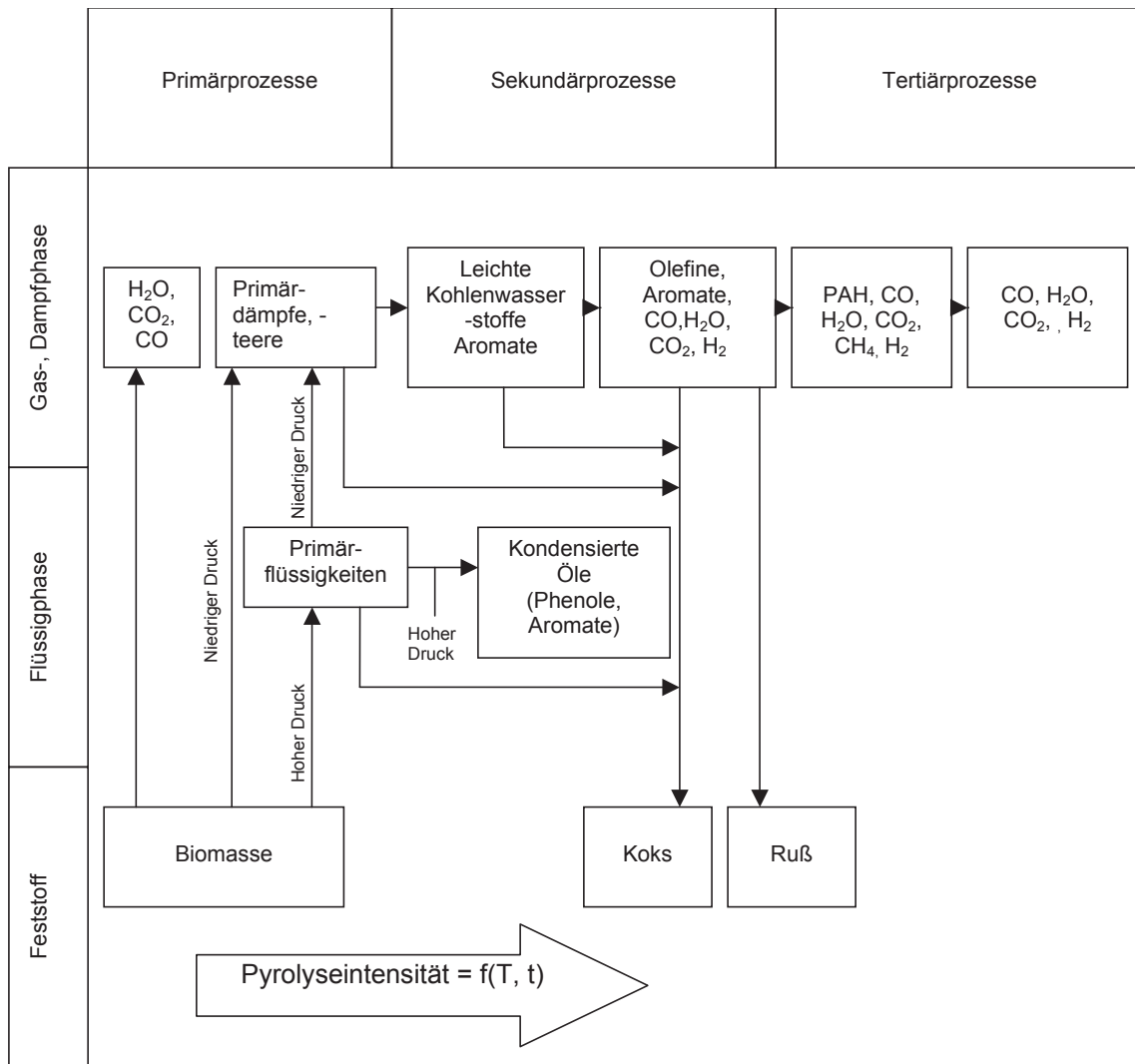


Abbildung 3: Reaktionsprodukte bei der Vergasung

- Oxidationszone

Die Oxidationszonen bilden sich an den Stellen des Vergasungsmiteleintritts, dabei kommt es zur partiellen Oxidation der Pyrolyseprodukte. Kohlenstoff (z.B.: Holzkohle) reagiert mit Luftsauerstoff zu Kohlenmonoxid, weiters verbrennt der Kohlenstoff zu Kohlendioxid, der Wasserstoff reagiert zu Wasser und Methan und höhere Kohlenwasserstoffe reagieren zu Kohlendioxid und Wasser.

- Reduktionszone

In der Reduktionszone werden die Oxidationsprodukte teilweise wieder reduziert. So wird Kohlendioxid mit Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid reduziert und Wasserdampf wird mit glühender Holzkohle unter Entstehung von Kohlendioxid und Kohlenmonoxid zu Wasserstoff

reduziert. Das eigentliche Produktgas der Vergasung geht aus dieser Zone hervor. Die Reaktionen in dieser Zone finden bei Temperaturen von 600°C bis 800°C statt.

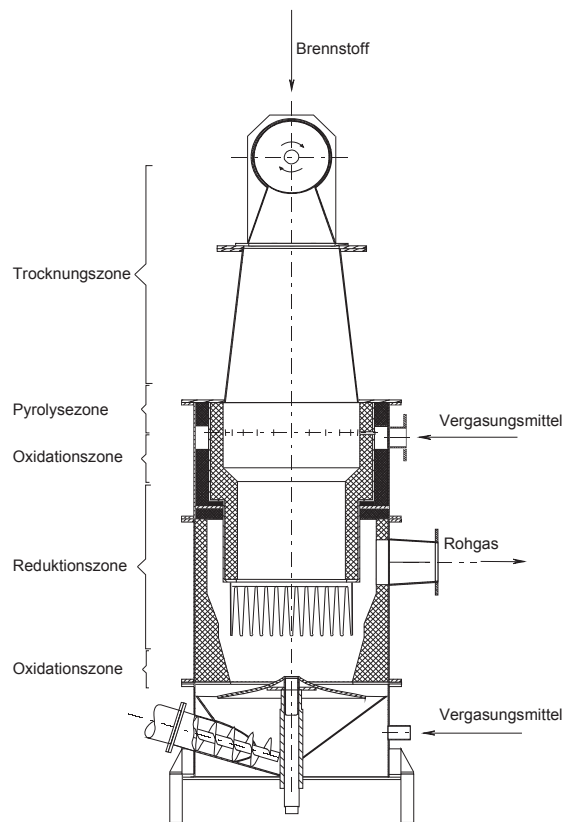


Abbildung 4: Zonen bei der Vergasung

Anmerkung: Eine scharfe Trennung der Trocknungs- und Pyrolysezone ist aufgrund der fluktuierenden Strömungsverhältnisse nicht möglich

2.3 Die Gas- und Wasserreinigung

Bei der Biomassevergasungsanlage gibt es mit dem Reingas und dem Abwasser zwei Stoffströme, an die hohe Anforderungen hinsichtlich ihrer Reinheit gestellt werden. Im Reingasstrom sind die Grenzwerte der Motorenhersteller für die Nutzung in Gasotomotoren mit Oxidations-Abgaskatalysatoren einzuhalten. Bei der Entsorgung des Abwassers sind die gesetzlichen vorgeschriebenen Grenzwerte einzuhalten.

2.3.1 Grenzwerte und Belastungswerte des Gases und des Abwassers

2.3.1.1 Die Belastungs- und Grenzwerte des Gases

In der Tabelle 2.1 sind durchschnittliche Belastungen des Rohgases eines Festbettreaktors in Gleichstrom- bzw. Doppelfeuerbauweise zusammengefasst. Dem gegenübergestellt sind Messwerte im Rohgas verschiedener Anlagen, sowie Grenzwerte für die Nutzung des Gases in Gasotomotoren mit Oxidations-Abgaskatalysatoren.

Tabelle 2: Zusammenstellung der möglichen Rohgasbelastung und der Grenzwerte eines Ottogasmotors [5]

| Verunreinigung | Einheit | Rohgas | Grenzwert für Motoren |
|--------------------------------------|--------------------|----------|-----------------------|
| Partikel<50 | mg/Nm ³ | 100-2000 | <50 |
| Teere (wasserlöslich) | mg/Nm ³ | 200-500 | <50 |
| Phenole | mg/Nm ³ | 50-250 | <? |
| Teere | mg/Nm ³ | 100-1000 | <50 |
| PAH | mg/Nm ³ | 200-600 | <? |
| Temperatur | °C | 500-800 | 20-50 |
| Wassergehalt | g/kg tr Gas | 70-150 | 20-50 |
| Wasserdampftaupunkt | °C | 45-70 | 25-40 |
| Ammoniak NH ₃ | mg/Nm ³ | 200-400 | <55 |
| Salzsäure HCl | mg/Nm ³ | | <100 |
| Blausäure HCN | mg/Nm ³ | 12-36 | <? |
| Schwefelwasserstoff H ₂ S | mg/Nm ³ | 5-25 | <1150 |
| Silikate | mg/Nm ³ | | <20 |
| Alkali-u. Erdalkalimetalle | mg/Nm ³ | | |
| Schwermetalle | mg/Nm ³ | 30-200 | 0,5 |

Mögliche Einwirkungen der Schadstoffe:

Als Wirkungsbereiche kommen in Betracht:

- Apparate der Gasreinigung und Dampfgewinnung
- Gasmischungseinrichtungen von Gasmotoren
- Arbeitsräume der Gasmotoren

- nachgeschaltete Abgas-Oxidationskatalysatoren
- nachgeschaltete Wärmeübertrager eines BHKW

Partikel verursachen in Kombination mit kondensierenden Teeren und Wasserdampf Verblockungserscheinungen in Rohrleitungen, Apparaten und Gasmischeinrichtungen von Verbrennungsmotoren.

Phenole verursachen bei höheren Temperaturen Korrosionserscheinungen auf blanken Metalloberflächen. In das Wasser der Gaskühlung oder einer nassen Gasreinigungseinrichtung eingetragen, bilden sie eine wesentliche Belastung des zu entsorgenden Abwassers.

PAH als polyaromatische Kohlenwasserstoffe können zwar in einem Gasmotor verbrannt werden und es kann ähnlich wie bei den Teeren eine Kondensation erfolgen. Durch den stabilen Aufbau können diese Verbindungen oftmals nur unvollkommen verbrannt werden und sie treten daher auch als Kohlenwasserstoffemission im Abgas wieder auf.

Das Rohgas, welches eine Austrittstemperatur von bis zu 800°C aufweist, muss für eine motorische Nutzung mit vernünftigen Hubraumleistungen eine Temperatur von 20 bis 50°C erreichen, wobei dann mit der Kühlung auch eine Wasserabscheidung durch Kondensation einhergeht.

Durch den Ammoniak- und Blausäuregehalt werden Stickoxidemissionen im Abgas bewirkt, wobei Ammoniak zusätzlich eine Verseifung des Maschinenöls bewirkt.

Die Halogene Chlor und Fluor (Cl und F) verursachen Hochtemperatur-korrosion von Zündkerzen, Auslassventilen und Hochtemperaturabgaswärmeübertragern. Weiters wird der Washcoat von monolithischen Abgaskatalysatoren angegriffen bzw. chemisch verändert.

Schwefelwasserstoff verursacht Hochtemperaturkorrosion sowie erhöhte Schwefeldioxidemissionen.

Silikate als mineralische Kieselsäure und flüchtige Silane verursachen letztendlich mechanischen Verschleiß an bewegten Metalloberflächen (Kolbenringe, Zylinderflächen, Ventilsitze) bzw. eine Ablagerung auf der Katalysatoroberfläche.

Alkali- und Erdalkalimetalle begünstigen Hochtemperaturkorrosion, aber auch eine mögliche Aktivitätsveränderung des Washcoats an Oxidationskatalysatoren.

Schwermetalle (Zn, Cu, Cr, Cd und Pb, welche auch in unbehandeltem Waldhackgut vorkommen) verursachen einen raschen Aktivitätsverlust der katalytischen Washcoatsubstanzen.

Extreme Belastungen an Chloriden, Alkali- und Erdalkalimetallen treten normalerweise nur bei strohartigen Brennstoffen bzw. Ganzpflanzen auf, erhöhte Werte von Ammoniak,

Blausäure bzw. Sulfiden werden von frischen und vor allem bei rindenhaltigen Brennstoffen verursacht.

Als Aufgabe der Gasreinigung gilt es, eine Abreinigung der Begleitstoffe bis zu geringstmöglichen Restkonzentrationen, oder zumindest die Einhaltung der Grenzwerte zu gewährleisten.

2.3.1.2 Die Belastungs- und Grenzwerte des Abwassers

Für die Funktionsfähigkeit der betriebenen Abwasseraufbereitung ist die Einhaltung der unterschiedlichsten Grenz- und Frachtwerte bedeutend. Zur Realisierung von Vergasungsanlagen im kleinen Leistungsbereich (<10 MW thermisch) ist die Abgabe des vorbehandelten Abwassers in das Leitungsnetz einer öffentlichen Kanalisation anzustreben. Hierzu sind jedoch die branchenspezifischen Grenzwerte aus Tabelle 3 in Bezug auf die Konzentrationen aber auch die Frachtwerte einzuhalten. In welchen Branchenbereich eine Biomassevergasungsanlage als Abwasseremittent einzuordnen ist, ist zur Zeit noch nicht restlos geklärt, eine Einordnung gemäß Tabelle 3 in den Bereich Verbrennungsgas (3) (nicht müllartiger Stoffe) ist am wahrscheinlichsten. Aufgrund des gewerbemäßigen Betriebs ist eine wasserrechtliche Genehmigung bzw. Bewilligung der Anlage ohnehin unumgänglich. Einige abwasserrelevante Begleitstoffe können aufgrund ihrer leichten biologischen Abbaubarkeit über Sondervereinbarungen auch in höheren Konzentrationen eingeleitet werden (insb. Phenole), wobei dann ein entsprechender Zivilrechtsvertrag zur Bewilligung nötig ist.

Tabelle 3: Gegenüberstellung Belastung des Waschwassers und der Grenzwerte

| Verunreinigung/ Größe | Einheit | Wasch wasser | Grenzwerte unterschiedlicher Branchen | | | Indirekteinleiter Verordnung Frachtwerte |
|---------------------------------------|---------|-----------------|--|--------|-------------------|--|
| | | | 1 | 2 | 3 | |
| pH- Wert | - | 4-5 | 6,5-9,5 | 6,5-10 | 6,5-9,5 | - |
| Partikel,filtrier-, sedimentierbar | mg/l | 500-2000 | 200 | 150 | 30 | - |
| Temperatur | °C | 30-75 | 35 | 40 | 35 | |
| TOC | mg/l | 2000-5000 | -(100) | - | -(50 bzw. 30) | |
| CSB | mg/l | 1000-3000 | -(300) | -(75) | -(90 bzw. 150) | - |
| Gesamt- Phenol | mg/l | 100-500 | 0,5 | 20 | 0,3 | 20 g/d |
| BTXE | mg/l | | 0,1 | 0,5 | - | 0,2 g/d |
| HC | mg/l | | | | | 20 g/d |
| PAH | mg/l | | 0,1 | | | |
| Ammoniak als N | mg/l | | | | | 40 g/d |
| Ammonium als N | mg/l | 200-400 | 100 | -(5) | 10 | 400 g/d |
| Gesamtcyanid | mg/l | 0,5-1,5 | | | | 1 g/d |

Erläuterungen: Das angeführte Waschwasser entsteht an Festbettvergasungsanlagen, wenn eine gemeinsame Gaswäsche und Kühlung erfolgt; insb. dieser pH-Wert stellt sich ein, wenn keine besonderen Zusätze erfolgen. Die eingetragenen Branchen spezifischen Grenzwerte gelten für Waschwasser aus der Kohleverarbeitung (1), aus der Erdölverarbeitung (2) und Verbrennungsanlagen (3). Die Frachtwerte der Indirekteinleiterverordnung sind auf eine Kläranlagengröße von 1000 EWG bezogen, bis zu Anlagen von 500.000 EWG dürfen die Frachten höchstens auf den 50-fachen Wert erhöht werden. Werte in () stehen für Direkteinleiter, wenn solche für Indirekteinleiter nicht vorhanden sind.

2.3.2 Verfahren zur Gas- und Abwasserreinigung

2.3.2.1 Die Gasreinigung

2.3.2.1.1 Anforderungen an die Gasreinigung

Ein für die betrachtete Vergasungsanlage geeignetes Gasreinigungsverfahren muss sich dadurch auszeichnen, dass

- ein gleichmäßiger stabiler Betrieb möglich ist,
- Partikel, Teer aber auch wasserlösliche Begleitstoffe abgeschieden werden können,
- der entstehende Trägerstrom mit den Verunreinigungen manipuliert werden kann,
- die Nachbehandlung, Aufbereitung und Entsorgung des Trägerstromes im Rahmen des Gesamtbetriebes erfolgen kann,
- eine einhergehende Kühlung und Entfeuchtung des Gases erfolgt und
- eine ausreichende Reinheit des Gases erreicht werden kann.

2.3.2.1.2 Reinigungsverfahren

Die für den Einsatz bei der Vergasung von Biomasse möglichen Gasreinigungsverfahren können wie folgend eingeteilt werden:

- Trockene Abtrennung partikelartiger Stoffe
- Nasse Gasreinigung
- Trockene Gasreinigung

Aufgrund der schwierigen Verunreinigung des Gases, sowie der gestellten Anforderungen ist eine ausreichend verlässliche Gasreinigung meist nur durch eine sinnvolle Kombination der o.a. Verfahren der Entstaubung, nassen Gasreinigung und der trockenen Verfahren zu bewerkstelligen.

Während der Phase der Inbetriebsetzung, bei Lastwechseln und beim Niederfahren der Anlage treten meist außerordentliche Belastungen im Rohgas auf, welche von der Gasreinigungsanlage ohne Schlupf oder Fouling ertragen werden müssen.

Abtrennung partikelartiger Stoffe zur Entstaubung

Zur Entstaubung des Rohgases einer Biomassevergasungsanlage stehen prinzipiell folgende Verfahren zur Verfügung:

- Massenkraftabscheider
- Filtration
- Wäscherverfahren

In den Massenkraftabscheidern können Partikel aufgrund der stark von der Gasphase abweichenden Feststoffdichte im natürlichen Schwerfeld (Sedimentation) oder durch äußerlich verursachter Erhöhung der Massenbeschleunigung (Zyklon, rotierender Partikelabscheider, Elektrofilter) abgetrennt werden.

Die Verfahren der Filtration können nach dem Ablauf der Bindung in:

- Oberflächenfiltration
- Tiefenfiltration und
- Kuchenfiltration

unterschieden werden.

Im Rahmen der Oberflächenfiltration werden die Partikel durch einen Siebeffekt (Vergleich des Partikelabmaßes mit den Durchlassöffnungen des Filtermediums) an der Oberfläche des Filtrationsmediums zurückgehalten. Nach bestimmten Zeitabständen ist eine Abreinigung der Oberfläche erforderlich damit kein übermäßiger Anstieg des Druckverlustes erfolgt.

Bei der Tiefenfiltration erfolgt eine Einbindung in das meist faser- oder pulverartige Filtrationsmedium aufgrund von Trägheitskräften und der folgenden Bindung an die innere Oberfläche. Nach einer bestimmten Aufnahme ist das Filtermedium erschöpft und muss als ganzes ausgewechselt werden, da sonst eine extreme Erhöhung des Schlupfes eintritt.

Die Kuchenfiltration ist eine betriebstechnische Kombination von Oberflächen- und Tiefenfiltration, bei der auf einem Filtermedium durch Oberflächenfiltration eine Kuchenschicht aus abgeschiedenen Partikeln angereichert wird, welche durch den porösen Aufbau einen mit der Dicke zunehmenden Tiefenfiltrationseffekt entwickelt. Hier ist ebenso eine periodische Abreinigung zur Begrenzung des Druckverlustes nötig.

Bei diesen "Entstaubungsverfahren" ist eine Abtrennung von Kohlenwasserstoffen, insbesondere von Teeren nur bei Ankondensation und Adsorption, eventuell auch Chemisorption auf den gleichzeitig abgeschiedenen Partikeln möglich. Diese Abscheidung ist damit zwar willkommen, jedoch nur bedingt steuer- bzw. planbar. Der große Bereich der Wäscherverfahren (unter dem Gesichtspunkt der Entstaubung) wird bei den Verfahren der nassen Gasreinigung beschrieben.

Nasse Gasreinigung zur Gaswäsche

Bei der nassen Gasreinigung wird durch eine Kontaktierung des Gases mit einem Waschmedium eine Übertragung der Verunreinigungen aus dem Prozessgas in das Waschmedium, sowie eine Kühlung des Gases erreicht. Dabei erfolgt die Reinigung durch:

- Trägheitseffekte
- Kondensation
- Absorption
- Adsorption und
- chemische Reaktionen

Es ist daher je nach Führung der Medien sowohl eine Abscheidung von Partikeln, Teeren und eingeschränkt auch permanenten Gasen möglich (daher erfolgt also eine Entstaubung und Wäsche).

Der Bereich der nassen Gasreinigung kann aufgrund der Kontaktierung in folgende Verfahrensmöglichkeiten eingeteilt werden:

- Dispergierung durch Düsen
- Dispergierung durch mechanische Einrichtungen (diskontinuierlicher Kontakt)
- Dispergierung durch strömendes Gas
- Vermittlung einer flüssigkeitsbenetzten Oberfläche (kontinuierlicher Kontakt)

In Strahl-, Venturi- und Turmwäschern erfolgt eine Dispergierung der Waschflüssigkeit durch Düsen, welche die Flüssigkeit fein verteilt in das strömende Gas einbringen.

In mechanischen Wäschern (Rotationswäschern, Desintegratoren) erfolgt die Dispergierung des Waschmediums durch die mechanische Einwirkung rotierender Maschinenteile auf einen in das Gas grob dispers eingebrachten Flüssigkeitsanteil. Weiters kann die mechanische Dispergierungsarbeit durch das strömende Gas selbst vorgenommen werden (Tauchwäscher, Hochdruck-Venturiwäscher, Nasszyklone).

Bei Füllkörperwäschern wird durch eine große benetzte Füllkörperoberfläche eine Stoffaustauschfläche zur Verfügung gestellt, welche mittels Trägheitseffekten und Stoffaustausch mit Absorption eine Entfernung von Gasverunreinigungen gestattet.

Betriebstechnisch wird möglichst immer eine Gegenstromführung der Phasen angewandt (bei Desintegratoren, Strahl- und Venturiwäschern natürlich nur in stufenweiser Führung möglich).

Im Umlauf befindliches Reinigungsmedium kann durch eingebaute oder externe Wärmeübertragungsflächen laufend rückgekühlt werden. Dadurch erfolgt in Verbindung auch eine gleichzeitige Kühlung des Prozessgases, wodurch verstärkt Kondensationsvorgänge während der Wäsche aktiviert werden.

Durch die Partikelabscheidung ist es erforderlich, dass eine störungsfreie Ableitung der partikelbeladenen Flüssigkeit möglich ist, was besonders bei Füllkörperwäschern nur bei niedrigsten Feststoffgehalten bzw. mit Spezialfüllkörper, die eine Anhaftung weitgehendst verhindern, möglich ist.

Die nasse Gasreinigung erfordert eine zufriedenstellende Qualität des eingesetzten Waschmediums, weshalb eine Kreislaufführung nur bedingt möglich ist. Durch eine kontinuierliche Aufbereitung ist zu gewährleisten, dass lösliche Stoffe aus dem Prozess mit dem Kreislaufmedium und unlösliche Stoffe im Prozess abgeführt werden. Die Kreislaufführung durch den erzielbaren Reinigungseffekt auf der Gasseite (Rückwirkung der Wasserseite auf die Gasseite), ist technologisch begrenzt. Bei hochgradigen Anreicherungen im Waschmedium verschlechtert sich der Abscheideeffekt.

Trockene Gasreinigung über die Entstaubung hinausgehend

Eine trockene Gasreinigung kann durch folgende Verfahren erreicht werden:

- katalytischer und nicht katalytischer thermischer Abbau von Kohlenwasserstoffverbindungen
- katalytische und nicht katalytische Reformierung der Kohlenwasserstoffverbindungen mit Wasserdampf
- Adsorption an Aktivkohle oder Koks bzw. anderen Adsorbentien
- Adsorption und gleichzeitige Kondensation an Adsorbentien

Der thermische Abbau von Kohlenwasserstoffverbindungen kann bereits im Vergasungsreaktor erfolgen, wenn eine entsprechende Verweilzeit in einem glühenden Holzkohlebett, bzw. zumindest in einem entsprechend adiabaten Gasraum gegeben ist. Die erforderlichen Reaktionstemperaturen von 900 bis 1100 °C können im Reaktor durch entsprechende Betriebsführung oder aber in externen adiabaten Reaktionsräumen meist nur durch eine Teilverbrennung erreicht werden. Dabei erfolgt eine bevorzugte Oxidation des Wasserstoffes (Verlust an chemischer Energie für die Erhöhung des sensiblen Wärmeanteils). Weiters erfolgt ein Abbau bzw. Reformierung der höheren Kohlenwasserstoffe (einschl. Methan).

Allgemein kann bei entsprechend guter Vermischung und einem Verweilraum mit guter Wärmedämmung mit einer positiven Nachreaktion der homogenen Gasphase gerechnet werden, auch wenn die Temperatur durch Nachverbrennung nicht angehoben wird.

Bei den katalytisch aktiven Materialien sind Dolomit, Aktivkohle und Koks, Olivin und die unterschiedlichsten industriellen Reformierungskatalysatoren bereits erprobt worden. Während der Reformierung erfolgt eine Ablagerung von elementarem Kohlenstoff auf dem aktiven Material, was nur durch Zugabe von Wasserdampf teilweise unterbunden werden kann. Durch die Wasserdampfzugabe wird der schleichende Aktivitätsverlust der Materialien etwas verlangsamt. Mit den Begleitstoffen (flüchtige Alkali- und Erdalkali, sowie Schwermetalle) konnten in Versuchen [5] nur sehr unbefriedigende Standzeiten bzw. Abbauraten erreicht werden, welche derzeitig alleine noch immer nicht ausreichend hoch sind.

Die Reformierung ist ein zukünftiges Hoffungsgebiet zum Abbau hoher Teerkonzentrationen, jedoch sind die derzeit erreichbaren Reingaswerte für eine motorische Nutzung noch unzureichend.

Die Adsorptionsbehandlung ist nur bei gleichzeitiger Kühlung effektiv einsetzbar. Als Adsorbentien können Aktivkohle oder Koks eingesetzt werden, welche durch zwei wechselweise betriebene Apparate oder durch einen Querstromfilter durchgesetzt werden. Eine effektive Beladung erfolgt hier durch Adsorption und Ankondensation. Nach entsprechendem Ansteigen der Konzentration der Verunreinigungen an der Austrittseite (Durchbruch) oder bei unzulässiger Erhöhung des Druckverlustes ist eine Auswechslung der Masse erforderlich. Eine Regenerierung im eigentlichen Sinn ist nicht möglich, meist erfolgt die thermische Entsorgung über den Vergasungsprozess bzw. über eine zusätzliche Verbrennungseinrichtung.

Die Sand- und Sägespänefilter sind historisch bekannt, sie arbeiten mit einem kombinierten Kühl-Kondensations-Adsorptions- und Tiefenfiltrationseffekt. Solche Einrichtungen können jedoch nur im Verbund mit einer Vergasungseinrichtung angewandt werden, welche im Stande ist pulverförmige Produkte zu vergasen (i.a. Wirbelschichtanlagen, in denen die beladenen Filtermaterialien entsorgt werden können). Außerdem ist keine sichere Handhabung der beladenen Trägerstoffe gewährleistet.

Die Adsorptions- bzw. gekühlten Kondensations-Adsorptionsfilter erreichen bei bestimmten Verunreinigungsträgern (Kohlenwasserstoffe und Partikel) die geforderten Werte, jedoch können wasserlösliche Verunreinigungen nur sehr unbefriedigend abgeschieden werden.

Die Additivierung in Verbindung mit einem Tuchfilter mit kombinierter Oberflächen- und Kuchenfiltration kann als Sonderverfahren eingestuft werden, ebenso das gekühlte Röhren-Elektrofilter.

2.3.2.2 Die Abwasserreinigung

2.3.2.2.1 Anforderungen an die Abwasserreinigung

Bei größeren Anlagenleistungen und stark verunreinigten Rohgasen ist nur durch eine nasse Gasreinigung eine den Forderungen der Motorenhersteller entsprechende Gasqualität zu erreichen[5]. Für die Schritte der nassen Gasreinigung ist eine Abwasseraufbereitung eine notwendige Einrichtung, wofür prinzipiell die folgenden Überlegungen gelten:

- Verringerung des Schadstoff- und Schmutzfrachtstromes
- Aufkonzentration in der Anlage
- Wiederverwertung und Entsorgung durch Verbrennung oder Vergasung in der Anlage

Durch Optimierung des Vergasungsprozesses kann eine wesentliche Verringerung des Schadstoffanfalles erwartet werden. Die spezifischen Schadstoffemissionen zeigen ein ausgeprägtes Zeitverhalten. Gegenüber dem instationären Betriebsverhalten des Vergasungsprozesses (Wärme- und Stoffhaushalt) bei jedem Anfahr- und Abfahrvorgang ist im stationären Prozess des Dauerbetriebes mit einem zeitlichen Rückgang der Bildung von Teeren, PAH und Phenolen zu rechnen [5].

Durch entsprechende anlagentechnische Verschaltungen in der Gaskühlung und Gasreinigung kann die Menge des zu entsorgenden Abfalls reduziert werden, wenn die Abfallfrachten in entsprechend geringeren Wasser- oder Rückstandsmengen aufkonzentriert werden. In diesem Fall ist eine signifikante Reduktion der anfallenden Entsorgungskosten zu erwarten bzw. auch eine Einbindung der Rückstände technisch möglich [5].

Vorrangig sind in der Anlage die Möglichkeiten der Aufkonzentration und der thermisch/chemischen Zerstörung zu nutzen. Eine anlagentechnische, stoffliche und energetische Integration in den Vergasungs- und Gasreinigungsprozess soll als Ziel gesetzt werden.

2.3.2.2.2 Die Wasserreinigungsverfahren

Grundlegende chemisch/physikalische Bedingungen zur effizienten Entfernung der Schadstoffe:

- Phenole und PAH können einigermaßen effizient durch eine Aktivkohlebehandlung oder durch Oxidation entfernt werden.
- CSB bringende Substanzen sind neben o.a. Phenolen auch Alkohole, Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren, welche aliphatischer und aromatischer Natur sind. Leichtflüchtige Anteile dieses Parameters können durch Strippung aus dem Wasser

entfernt werden. Insgesamt ist auch eine teilweise Adsorption an Aktivkohle möglich [5].

- Ammonium (als gebundenes Ion, als auch als freies Ammoniak) kann durch eine Strippung aus dem Wasser entfernt werden.
- Cyanide und Sulfide können durch Oxidation aus dem Abwasser entfernt werden.

Speziell für die Aufbereitung des anfallenden Abwassers bzw. im Prozess zirkulierenden Gasreinigungswassers können die Aufbereitungsmöglichkeiten systematisch nach der Art der Verunreinigung eingeteilt werden:

- partikelartige, nicht gelöste Stoffe
- flüssige (ölige), nicht gelöste Stoffe
- gelöste anorganische Stoffe
- gelöste organische Stoffe, nicht flüchtig
- gelöste organische Stoffe, flüchtig

Zur Abtrennung partikelartiger Feststoffe können Siebe und Filter verwendet werden. Bei öligen Stoffen können aufschwimmende Begleitstoffe durch entsprechende Strömungsführung und Stau- und/oder Leitbleche vom Prozesswasser abgetrennt werden, sofern keine Emulsionen gebildet werden. Auch eine Kombination von Tiefenfiltration und Adsorption ist möglich. Für die große Gruppe der gelösten anorganischen und organischen flüchtigen bzw. nicht flüchtigen Stoffe [5] werden die folgenden Prozessvarianten am Markt angeboten:

- Eindampfung
(Durch die hohe Flüchtigkeit eines Teils der Begleitstoffe, wie Alkohole, Aldehyde und Säuren ist ein stark belastetes Kondensat der Eindampfstufe zu erwarten, welches wiederum einer speziellen Behandlung zu unterziehen ist. Weiters ist der spezifische Energiebedarf bei der Eindampfung sehr hoch.),
- Desorptionsbehandlung
(Durch die Austreibung von Begleitstoffen aus dem Wasser durch physikalisch-thermisch-chemische Mittel kann eine Abtrennung flüchtiger Stoffe, wie Phenole, Teile der PAH und Ammoniak erfolgen),
- Adsorptionsbehandlung
Durch Aktivkohle- oder AktivkoksfILTER kann eine Entfernung der organischen Inhaltstoffe erfolgen, wenn abwassertechnisch einige Randbedingungen erfüllt werden. Die Beladung der Adsorbentien ist nur bei niedrigen Flüssigkeitstemperaturen und Schwebstofffreiheit technisch sinnvoll. Der Verbrauch

an Aktivkohle ist sehr hoch und die damit verbundenen Betriebskosten stellen eine erhebliche Belastung für die Gesamtanlage dar.

Ein entsprechend aufbereitetes Abwasser ist jedoch nur durch eine sinnvolle Kombination der einzelnen Verfahrensmöglichkeiten zu erreichen, wobei die besonderen technischen Anforderungen kleiner und dezentraler Anlagen zu berücksichtigen sind.

3 Die Bewertung der Reinigungseffizienz

3.1 Allgemeine Definitionen der Schadstoffgruppen

Um die Reinigungseffizienz ausreichend bewerten zu können, ist es notwendig die auftretenden Verschmutzungen in Schadstoffgruppen zusammenzufassen und jede Gruppe zu definieren. Diese Klassifizierung der Schadstoffe ist immer noch Inhalt intensiver internationaler Diskussionen, einheitliche Definitionen sind deshalb noch nicht vorhanden.

Allgemein werden die bei der Vergasung entstehenden Reaktionsprodukte in jene Bereiche unterschieden, die sich aus der Anwendung der verschiedenen Bestimmungsverfahren ergeben. Es sind dies nach [4]:

- Partikel
- lösliche organische Stoffe (Teere)
- unlösliche organische Stoffe (Ruß)
- anorganischen Stoffe (Salze)

3.1.1 Partikel

Partikel kennzeichnen sich durch eine klare räumliche Abgrenzung. Partikel werden als Feststoffe definiert, die aus einem Gasstrom oder einer Flüssigkeit herausgefiltert werden können. Damit können sowohl die Teere, der Ruß als auch die Salze als Partikel gelten, ihre Summe ergibt die totale Partikelmenge (TPM). Wasser ist von dieser Definition ausgeschlossen [4].

3.1.2 Lösliche organische Stoffe (Teere)

Das Wort Teer ist ein Sammelbegriff für Kohlenwasserstoffe, deren atmosphärische Siedetemperatur zwischen 80°C und 300°C liegt. Die im Teer enthaltenen Kohlenwasserstoffe (KW) lassen sich in Aliphate (offene, organische KW-Ketten), Aromate (homogene Benzol-Ringverbindungen) und Heterozyklen (heterogene KW-Ringverbindungen) sowie diverse Polymerisationsprodukte unterteilen. Teilweise sind diese Stoffe krebserregend.

Aufgrund des großen Siedebereichs erfolgt eine weitere Unterteilung in:

Schwere Teere:

Die Schweren Teere umfassen von den oben genannten Kohlenwasserstoffe die langkettigen Aliphate und Aromate mit einer Siedetemperatur zwischen 120°C bis 150°C.

Nach [4] liegt der Siedepunkt bei über 150°C. Die chemische Zusammensetzung ist nicht genau definiert.

PAH (Polyaromatic Hydrocarbons; Polyaromatische Kohlenwasserstoffe)

Diese Kohlenwasserstoffe werden eindeutig als Aromate mit mehr als zwei Ringsystemen deklariert. Eine Identifikation ist nur teilweise möglich, da die Bestimmung meist an eine zersetzungsfreie Verdampfung im Gaschromatographen gebunden ist. Strukturen mit einem einzigen Ringsystem (Benzol, Toluol, Xylol, Ethylbenzol) werden oft auch als BTXE weiter von den PAH unterteilt und den Leichten Teeren zugeordnet.

Leichte Teere:

Aromate und Aliphate mit einer Siedetemperatur zwischen 80°C bis 150°C. In diese Klasse fallen die Aromaten BTXE, welche nur ein Ringsystem besitzen.

Leichte Kohlenwasserstoffe:

Sie sind Kohlenwasserstoffe, die bis zu 8 Kohlenstoffatome besitzen, wie die homologen Aliphate bis Oktan. Ihr Siedepunkt liegt unter 80°C und deshalb sind sie leichtflüchtig.

Phenole:

Phenole sind Aromate mit mindestens einer Hydroxy-Gruppe. Darunter werden meist das Phenol (Hydroxybenzol) und die Kresole (Methyl-Hydroxy-Benzol) zusammengefasst.

Sonstige Oxidationsprodukte:

Im Laufe des Vergasungsprozesses werden chemisch nah verwandte Oxidationsprodukte wie Alkohole, Aldehyde, Ketone und Karbonsäuren gebildet. Ihr Siedepunkt liegt meist unter 120°C.

3.1.3 Unlösliche organische Stoffe (Ruß)

Es erfolgt eine Unterteilung in Ruß und Schwarze Kohlenstoffe (Carbon Blacks). Ruß besteht aus langkettigen Kohlenwasserstoffen, deren Größe kleiner als 0,5 µm ist. Die Schwarzen Kohlenstoffe besitzen eine dem Graphit ähnliche, ebene, hexagonale Gitterstruktur. Die Distanz zwischen den Ebenen ist mit 0,35 bis 0,36 nm bis zu 7% größer als bei Graphit. Sie werden größtenteils durch die Gasphasenpyrolyse sekundärer Produkte gebildet (siehe: Abbildung 3).

3.1.4 Unlösliche anorganische Stoffe (Salze)

Hierbei handelt es sich um Salze, die nicht in die Asche übergehen. Sie können als Chlorverbindungen im Produktgas nachgewiesen werden.

3.2 Definitionen innerhalb der Diplomarbeit

Wie schon unter Kapitel 3.1 erwähnt erfolgt die Unterteilung der Schadstoffe in Anlehnung an die angewendeten Bestimmungsverfahren. Darunter versteht man sowohl die Vorgangsweise bei der Probenahme, als auch die nachfolgenden Aufschlüsse und Analytikmethoden. Deshalb ist es notwendig im Rahmen dieser Diplomarbeit eigene Definitionen zu treffen.

3.2.1 Gasseitige Verunreinigungen [4]

Die Definition der gasseitigen Verunreinigungen erfolgt in Anlehnung an die angewendete Probenahme (Filtration, Kondensationsvorrichtung; (siehe: Kapitel 3.3.2)) und die weiteren Bestimmungsverfahren im Labor (siehe: Kapitel 3.4.1).

Staub

Staub ist die gesamte aus dem Produktgas **filtrierbare** Stoffmenge. Sie besteht aus Partikeln, ankondensierten Teeren und Salzen. Staubpartikeln sind die einzelnen Bestandteile des Staubes, unabhängig von ihrer Zusammensetzung.

Partikel

Sind Bestandteile des Staubes, wie Asche, Holzkohle, Kohlenstoff und Ruß. Sie sind aus dem Produktgas filtrierbar und können weder mit Aceton noch mit Toluol (charakteristische Eigenschaften siehe: Tabelle 4) aus dem Staub gelöst werden.

Teere

Bilden die aus dem Staub mit Toluol (charakteristische Eigenschaften siehe: Tabelle 4) löslichen Substanzen (Aromate, Aliphate, Heterozyklen). Weiters sind es alle Substanzen, die bei einer Temperatur von -5°C kondensieren. Eine weitere Unterscheidung ist im Rahmen des zur Anwendung kommenden Bestimmungs- und Messverfahrens nicht möglich. Es erfolgt somit keine Unterscheidung in Leichte und Schwere Teere, und Salze werden teilweise auch mit erfasst.

Salze

Bilden die aus dem Staub mit Aceton (charakteristische Eigenschaften siehe: Tabelle 4) löslichen Substanzen (Chloride, Karbonate, Natrium-, Kalium-, Calciumsalze).

3.2.2 Wasserseitige Verunreinigungen [3], [4]

Für einen wirtschaftlichen Betrieb der Biomassevergasungsanlage wird die Einleitung des verunreinigten Waschwassers in eine bewilligte Kanalisation angestrebt. Dazu ist es notwendig die gesetzlich erlaubten Grenzwerte einzuhalten.

Im Falle der Biomassevergasung haben sich folgende vier Parameter als maßgeblich für die Indirekteinleitung ergeben:

Ammonium (NH₄[±])

Ammonium entsteht unter anderem, wenn in Wasser gelöster Ammoniak ein Wasserstoffion aufnimmt. Diese Reaktion findet im sauren Bereich statt, in einem basischen Milieu liegt das Reaktionsgleichgewicht auf der Seite des Ammoniaks. Das Ammoniak entsteht bei der Vergasung aus den Aminosäuren des Brennstoffes bzw. aus dem im Brennstoff vorhandenen Stickstoff. Aufgrund der eutrophierenden Wirkung und der Fischtoxizität des Ammoniums ist die Verfolgung seiner Konzentration im Abwasser unerlässlich.

Phenole

Als Phenole wird jene Stoffgruppe aromatischer Hydroxy-Verbindungen bezeichnet, bei denen die Hydroxy-Gruppe direkt an den Benzol-Kern gebunden ist. Die Namen werden entweder durch Anhängen der Endung „ol“ an den Stammnamen oder bei Vorliegen höherer Prioritäten durch Voranstellen von „Hydroxy“ gebildet. Phenole sind kristalline, in Wasser mit saurer Reaktion lösliche Stoffe, deren Siedepunkt mit jedem ins Benzolmolekül eintretenden Hydroxy-Rest um ca. 100°C ansteigt. Sie sind schwache Säuren, da die phenolischen OH-Gruppen wegen der beträchtlichen Elektroaffinität des aromatischen Kerns polarisiert und dissoziationsfähig sind. Die Phenole entstehen bei der Vergasung bereits in der Pyrolysezone (siehe: Abbildung 3).

CSB

Der Chemische Sauerstoffbedarf ist ein nach einem genormten Verfahren ermittelter Summenparameter zur Erfassung der nasschemisch oxidierbaren Inhaltsstoffe eines Wassers. Der CSB Wert wird durch den Verbrauch des Sauerstoffes eines zugegebenen Oxidationsmittels (meist Kaliumdichromat) bestimmt. Dadurch ist ein Vergleich mit dem BSB (biologischer Sauerstoffbedarf) möglich. Der Quotient aus BSB5/CSB einer Wasserprobe gibt Aufschluss über die biologische Abbaufähigkeit der Inhaltsstoffe. CSB bringende Substanzen sind alle oxidierbaren Stoffe wie Phenole, Alkohole, Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren und Ammoniak.

Cyanide

Cyanide sind Salze der Cyanwasserstoffsäure (Blausäure, HCN), diese enthalten das farblose, giftige Anion CN^- . Sie sind wasserlöslich, sehr giftig (MAK $5\text{mg}/\text{m}^3$, als CN berechnet), reagieren infolge Hydrolyse stark alkalisch und riechen nach Blausäure. Durch Oxidation können die giftigen Cyanide in Cyanate überführt werden. Die Cyanide werden aus dem Brennstoffstickstoff beim Pyrolysezerfall von Aminosäuren bei Sauerstoffmangel gebildet.

Partikel

Partikel sind alle Substanzen, die nach der Vakuumfiltration des Waschwassers auf dem Filter mit einer Porengröße von $0,45\mu\text{m}$ zurückbleiben. Der Begriff Partikel umfasst somit sowohl Holzkohle und Aschepartikel sowie adsorbierte und ankondensierte Teere.

Teere und Salze

Sind alle die im Waschwasser enthaltenen Stoffe, die diesen Filter passieren können. Die Teere können aus dem filtrierten Wasser mittels flüssig/flüssig Extraktion gelöst werden. Diese werde natürlich im Rahmen der CSB-Bestimmung des Abwassers mitgemessen.

3.3 Der Messvorgang

3.3.1 Beschreibung der verwendeten Lösungsmittel

Sowohl beim Betrieb der Anlage als auch bei der Probenahme und bei der Analytik im Labor kommt eine Reihe von Lösungsmittel zum Einsatz. In den Wäschern werden Wasser und Rapsmethylester, bei der Gasprobenahme und Analytik werden Toluol, Aceton und Isopropanol eingesetzt. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Wahl der Lösungsmittel zu. Die Lösungsmittel müssen für die jeweilige Anwendung geeignet sein. Das Waschmedium in den zwei Wäschern muss eine hohe Löslichkeit gegenüber den Schadstoffen, die aus der Gasphase entfernt werden sollen, besitzen. Nur so kann ein ausreichender Stoffübergang der Schadstoffe in das Waschmedium gewährleistet werden. Diese hohen Löslichkeiten gegenüber den Schadstoffen in der Gasphase müssen, damit eine vollständige Erfassung der noch im Reingas vorhandenen Schadstoffe gesichert ist, auch die in der Gasprobenahme verwendeten Lösungsmittel aufweisen. Außerdem dürfen die Lösungsmittel der Probenahme in der folgenden Analytik keine Störungen hervorrufen. Das Gleichgewicht zwischen zwei Phasen wird wie folgt bestimmt.

Das Gleichgewicht zwischen zwei oder mehreren Phasen stellt das Fundament der thermischen Trennverfahren (darunter fällt auch die Absorption) dar. Zwei Phasen befinden sich im Gleichgewicht, wenn sie dasselbe chemische Potential (μ) haben.

$$\mu_1 = \mu_2$$

wobei

- μ_1 chemisches Potential Phase 1
- μ_2 chemisches Potential Phase 2

Das chemische Potential wird durch die Gibbsche Fundamentalgleichung beschrieben:

$$\mu_i = v \cdot dP - s \cdot dT$$

wobei

- μ_i chemisches Potential einer beliebigen Phase
- v spez. Volumen [m^3/kmol]
- dP Änderung des Gesamtdrucks
- s spez. Entropie
- dT Temperaturänderung

bei konstanter Temperatur ($dT=0$) und idealem Gas ($v=RT/P$) ergibt sich nach Integration

$$\mu_i = \mu_i^0 + R \cdot T \cdot \ln \frac{p}{p^0}$$

mit dieser Gleichung lassen sich nur ideale Gase beschreiben, will man auch reale Gase beschreiben, benötigt man die Fugazität (f). Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen das ideale bzw. reale Verhalten einer binären Mischung. Das ideale Verhalten wird durch das Gesetz von Raoult beschrieben: Das Verhältnis des Partialdruckes p_A einer Komponente A in einer Mischung zum Dampfdruck p_A^* der reinen Substanz A ist etwa gleich dem Molenbruch von A in der Mischung. [12]

$$p_i = x_i \cdot p_i^*$$

wobei

- p_i Partialdruck einer Komponente einer Mischung
- x_i Molenbruch einer Komponente
- p_i^* Dampfdruck der reinen Komponente

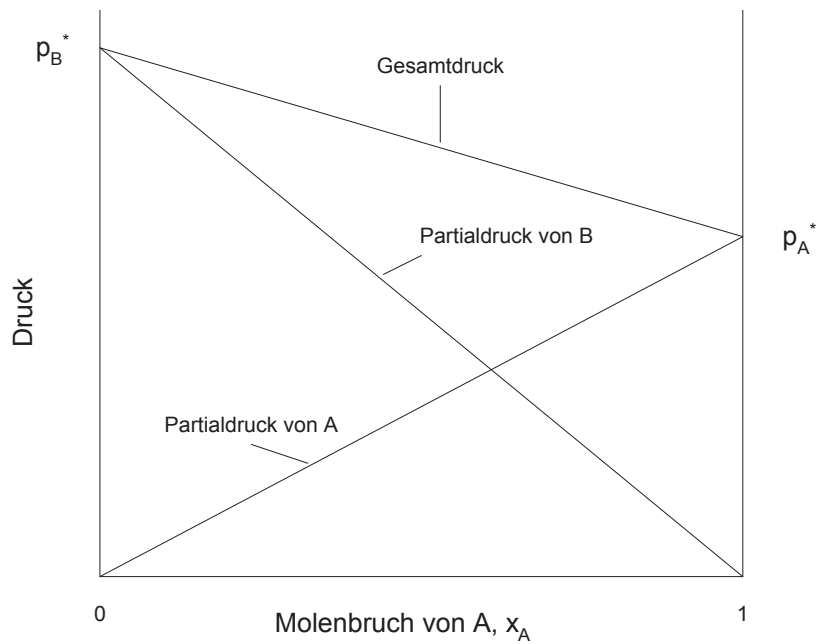


Abbildung 5: Dampfdrücke einer idealen binären Mischung

Bei realen Mischungen gibt es zum Teil erhebliche Abweichungen vom idealen, dieses reale Verhalten ist in Abbildung 6 dargestellt.

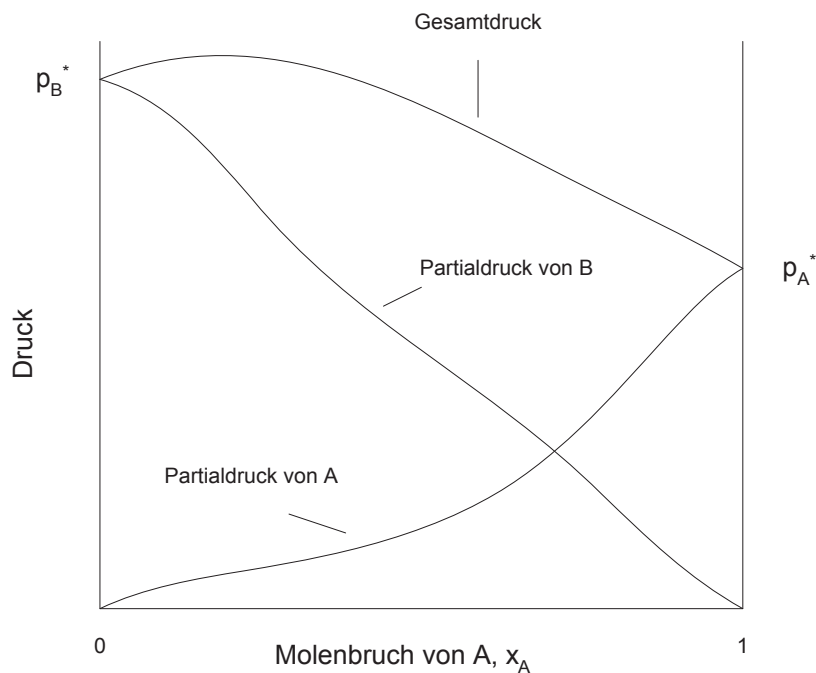


Abbildung 6: Dampfdrücke einer realen binären Mischung

Führt man den Begriff der Fugazität ein, erhält man folgende Gleichung:

$$\mu_i = \mu_i^0 + R \cdot T \cdot \ln \frac{f}{f^0}$$

Um mit Fugazitäten arbeiten zu können, d.h. um die Fugazität mit den messbaren Größen T, P, Zusammensetzung ξ (beliebiges Konzentrationsmaß) darstellen zu können, werden zwei Hilfsgrößen eingeführt, der Fugazitätskoeffizient Φ und der Aktivitätskoeffizient γ .

$$\Phi_i = \frac{f_i}{\xi_i \cdot p}$$

$$\gamma_i = \frac{f_i}{\xi_i \cdot f_i^0}$$

wobei

- $a_i = \frac{f_i}{f_i^0}$

Mit diesen zwei Hilfsgrößen erhält man nun zwei Beziehungen für die Fugazität und damit auch für das Phasengleichgewicht:

$$f_i = \xi_i \cdot \Phi_i \cdot p$$

$$f_i = \xi_i \cdot \gamma_i \cdot f_i^0$$

Die zwei Gleichungen gelten für alle Aggregatzustände, aber die erste ist für die Beschreibung der Gasphase, die zweite für die Beschreibung der Flüssig- und Festphase leichter zu handhaben. Durch Berechnung des Fugazitätskoeffizienten mit Hilfe von Zustandsgleichungen kann die Fugazität berechnet werden. Ebenso kann die Fugazität mit Hilfe des Aktivitätskoeffizienten und der Standardfugazität berechnet werden [13].

In der Tabelle 4 und Abbildung 7 sind charakteristische Größen, die bei der Auswahl eines passenden Lösungsmittels wichtig sind, dargestellt.

Tabelle 4: Charakteristische Größen der Lösungsmittel [14]

| Lösungsmittel | Dipolmoment $\mu [\cdot 10^{-30} \text{Cm}]$ | Siedetemperatur [°C] | Löslichkeit in Wasser bei 20°C [Mass.- %] | Löslichkeit von Wasser bei 20°C [Mass.- %] |
|---------------|---|-------------------------|---|--|
| Aceton | 2,69 | 56 | mischbar | mischbar |
| Toluol | 0,31 | 110 | 0,0515 | 0,0334 |
| Isopropanol | 1,64 | 82 | mischbar | mischbar |
| Wasser | 1,84 | 100 | - | - |

In Abbildung 7 sind die Dampfdruckkurven von Aceton, Toluol und Wasser dargestellt. Abbildung 7 zeigt, dass der Dampfdruck von Aceton größer als der von Wasser und Toluol ist. Wasser ist aber immer noch leichter flüchtig (d.h. größerer Dampfdruck) als Toluol. Der Dampfdruck ist eine wesentliche Einflussgröße auf das Gleichgewicht zwischen zwei Phasen (siehe: Seite 32).

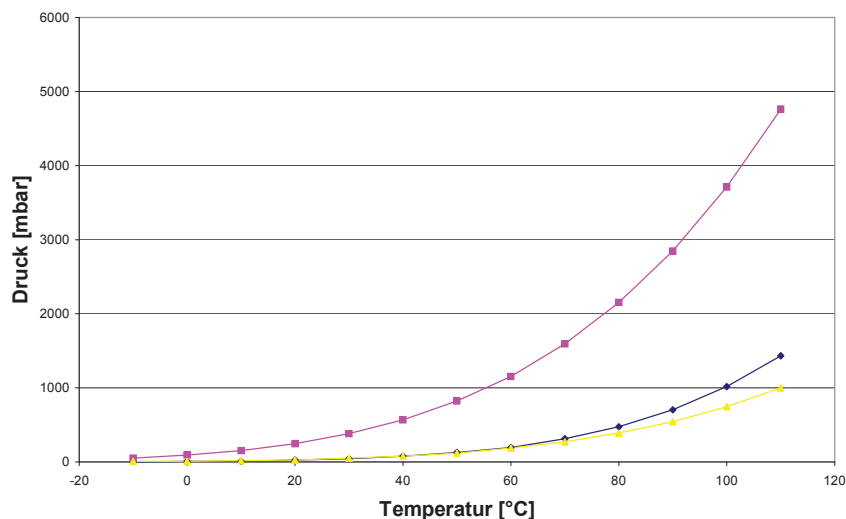


Abbildung 7: Dampfdruckkurven der Lösungsmittel

3.3.2 Die Gasprobennahme

3.3.2.1 Der Ort der Probenahme

Infolge der Anlagenoptimierung und den damit verbundenen Umbauten ist auch die Entnahme des Reingasteilstromes an unterschiedlichen Schnittstellen der Anlage erfolgt. Bei den bereits vorliegenden Daten, die als Basis für die Optimierung dienen, lag die Entnahmestelle des Reingases nach der Kühlkolonne (Entnahmestelle 4), in diesem Fall wurde sicher auch dort ein nicht zu vernachlässigender Reinigungseffekt erzielt. Bei den Messungen 1 bis 13 erfolgte die Probenahme des Reingases nach dem Venturiwäscher (Entnahmestelle 3). Nach dem Einbau der Filteranlage erfolgte die Entnahme des Reingases (Messungen 14 bis 16) weiterhin nach dem Venturiwäscher (Entnahmestelle 3). Die Entnahme des Rohgases erfolgte immer vor der ersten Stufe der Nassreinigung (Strahlwäscher), vor dem Einbau des Heißgasfilters erfolgte somit die Rohgasprobennahme bei der Entnahmestelle 1 und nach dem Einbau bei der Entnahmestelle 2. Dadurch soll eine Bewertung der einzelnen Reinigungsaggregate ermöglicht werden, um so dem Ziel einer vereinfachten, mit weniger Anlagenkomponenten ausgestatteten Anlage näher zu kommen. Die Positionen der Gasprobenentnahmestellen sind in Abbildung 30, Kapitel 4.1 dargestellt.

3.3.2.2 Die Probenentnahmeapparatur

Wie in Abbildung 8 ersichtlich besteht die Apparatur aus einer Sonde, die in die Heißgasleitung eingeführt, einem beheizten Filter, einer Kondensationsvorrichtung, die in einem gekühlten Bad steht, einer Membranpumpe, einer Trocknungseinheit und einem Balgengaszähler. Der auf 150°C beheizte Filter befreit den Gasstrom vom Staub, durch die Beheizung soll eine Kondensation von schweren Kohlenwasserstoffen vermieden werden. Ebenso ist die Leitung, die zur Kondensationseinrichtung führt, auf 150°C beheizt. In der Kondensationseinrichtung werden Wasser bzw. Toluol lösliche Gaskomponenten kondensiert und absorbiert.

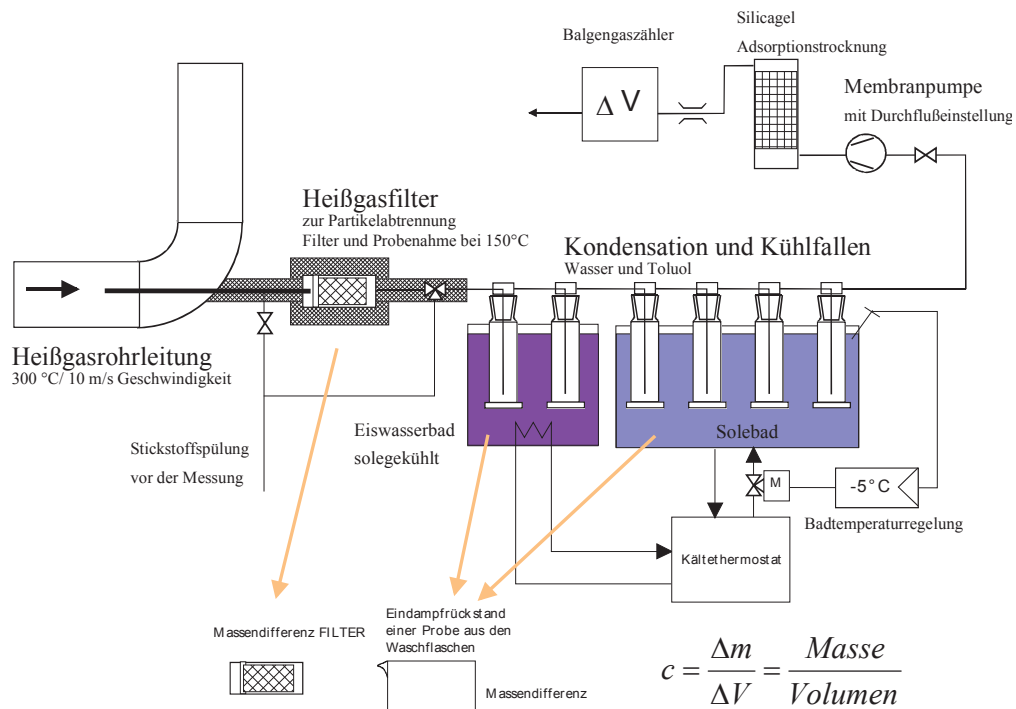


Abbildung 8: Apparatur zur Gasprobenahme [5]

Die Sonde

Sie wird über einen Messstutzen, der an Umlenkstellen der Gasleitung angebracht ist, in den Gasstrom (Roh- bzw. Reingas) eingeführt (siehe: Abbildung 9). Dazu muss der am Stutzen angebrachte Kugelhahn geöffnet werden, etwaige Verschmutzungen werden mit einer Bürste oder durch Ansaugen bzw. Ausblasen von Luft bzw. Gas (in der Reingasleitung herrscht Überdruck, in der Rohgasleitung Unterdruck) von der Messöffnung entfernt.

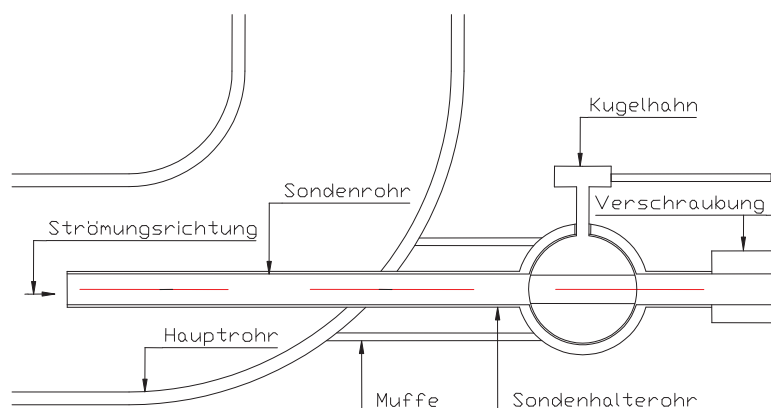
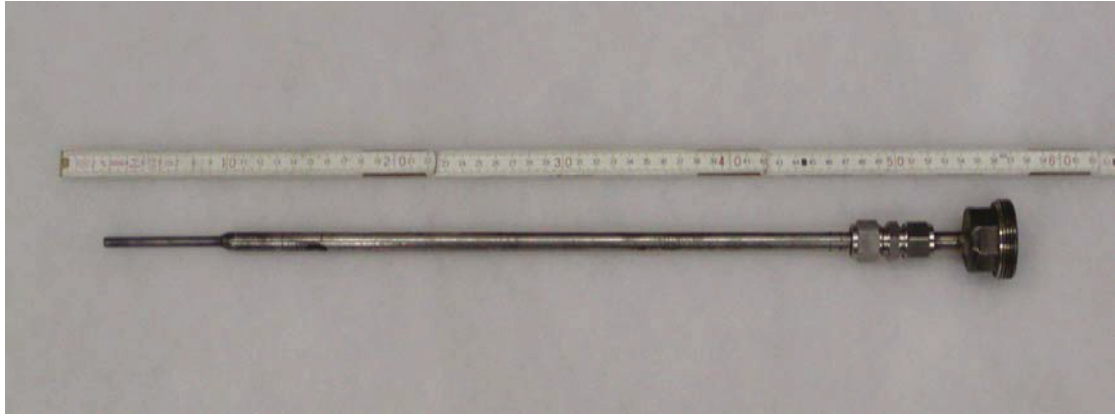


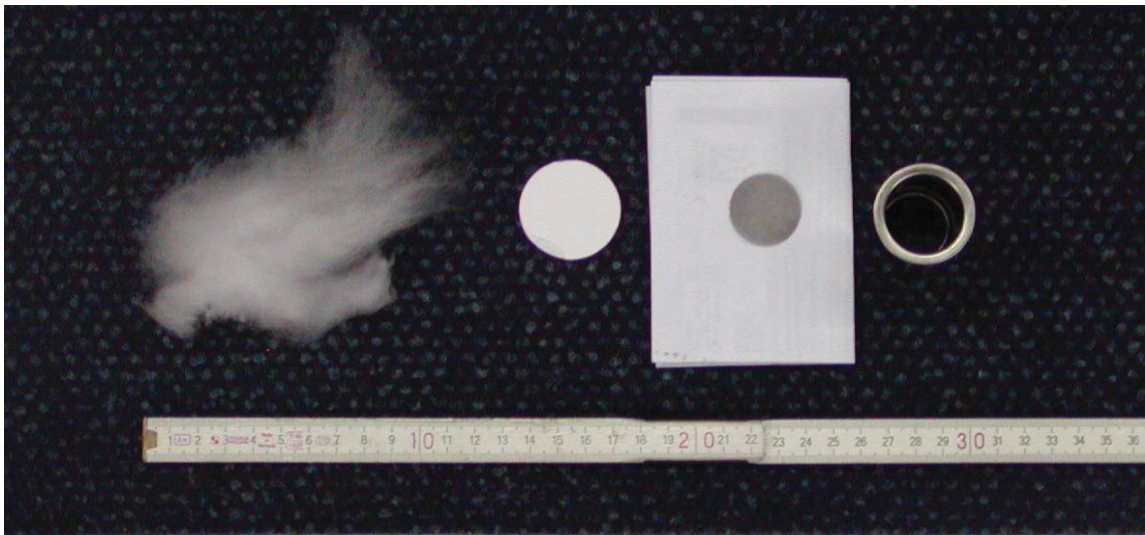
Abbildung 9: Messstutzen an der Gasleitung [4]



**Abbildung 10: Die Sonde
(Durchmesser des Hauptstückes: 1,2cm Länge: 53cm)**

Der Filter

Er besteht aus einer zylindrischen Metallhülse, die mit einem Bodengitter, einem Glasfaserfilterpapier und mit Glaswolle bestückt wird. (siehe: Abbildung 11)



**Abbildung 11: Einzelteile des Filters
(Glaswolle, Glasfaserfilterpapier, Bodengitter,
Filterhülse (von links nach rechts))**

Die Leitung

Mit der Verlegung der Messstellen wurde auch eine Verlängerung der Leitung notwendig. Zur Beheizung wurde ein Heizband um den Teflonschlauch gewickelt und eine Isolierung angebracht. Zur Temperaturregelung werden sowohl am Filtergehäuse, sowie an 3 Stellen der Leitung Thermoelemente angebracht. Die Messwerte dienen der Temperaturregelung. (siehe: Abbildung 13, Abbildung 12)

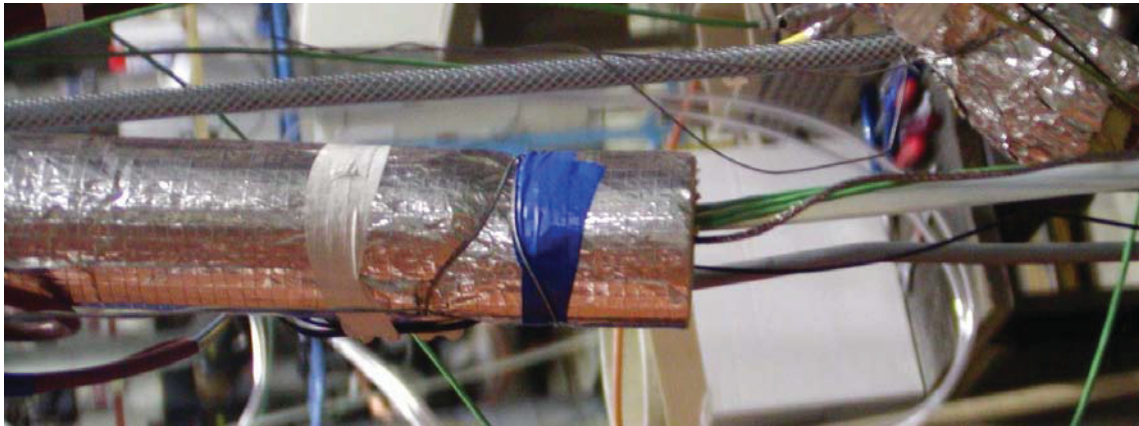


Abbildung 12: Die Gasprobeentnahmeleitung

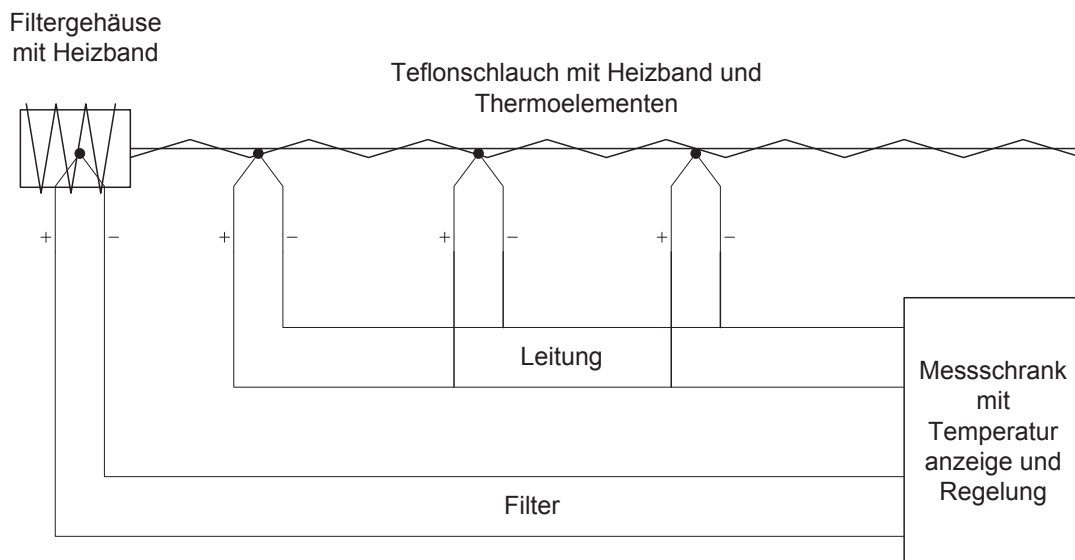


Abbildung 13: Temperaturkontrolle der Gasprobeentnahmeleitung

Die Kondensationsvorrichtung

Die Kondensationsvorrichtung besteht aus insgesamt 6 Waschflaschen, wobei die erste und die zweite in einem Wasserbad, die anderen vier in einem Solebad stehen (siehe:Abbildung 8). Die erste dient zum Auffangen von eventuell in der Leitung kondensierten Anteilen. In der zweiten Waschflasche dient Wasser als Absorptionsmedium der wasserlöslichen Komponenten. Flasche 3 ist mit einer 1:1 (Mass. %) Mischung aus Isopropanol und Toluol befüllt, der Zusatz von Isopropanol soll ein Gefrieren von eventuell aus der Flasche 2 mitgerissenem Wasser verhindern. Das Toluol dient zur Absorption der organischen Komponenten. Flasche 4 und 5 sind nur mit Toluol befüllt. Flasche 6 dient als Auffangflasche für mitgerissene Flüssigkeiten.

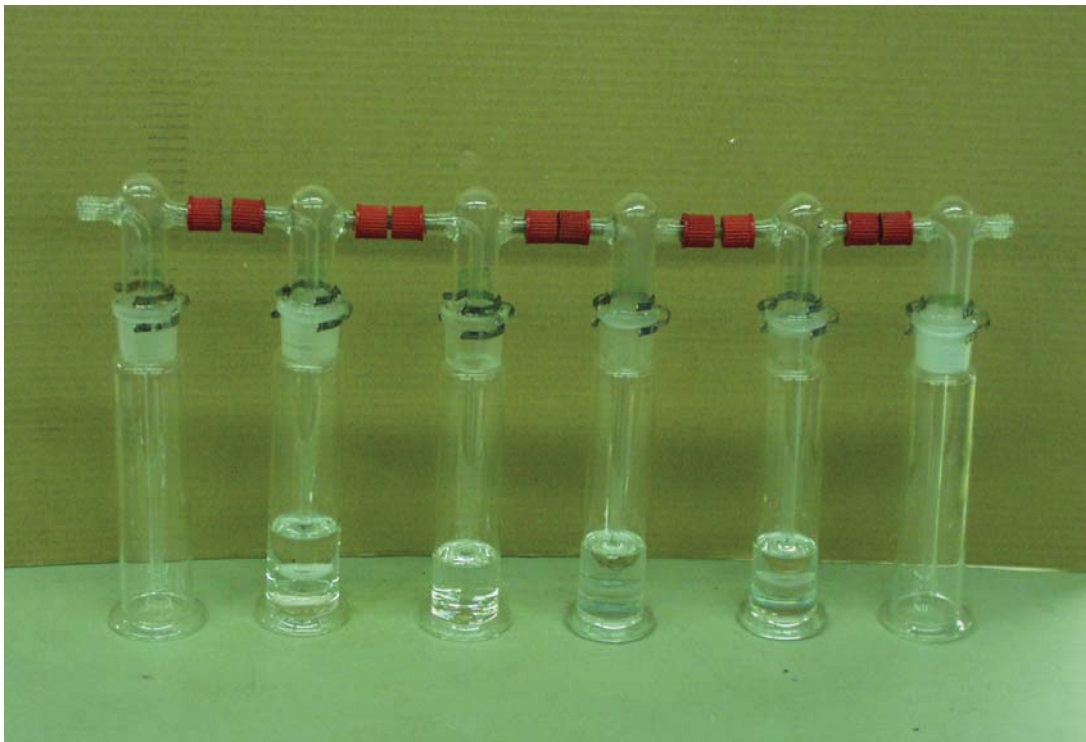


Abbildung 14: Die Kondensationsvorrichtung

Die Trocknungseinheit

Mit Hilfe von Silikagel wird der Gasstrom vor der Volumenmessung getrocknet.



**Abbildung 15: Trocknung des Gasstromes mit Silikagel
(Rein- und Rohgas)**

3.3.3 Die Waschmedienprobennahme

Nach jeder Messung wird je eine Probe aus den zwei Wäschertanks gezogen, dabei muss darauf geachtet werden, dass nicht der an der Oberfläche entstehende Schaum mit in die Probe gelangt. Nur so ist eine repräsentative Probenahme möglich. Damit eine misslungene Analyse wiederholt werden kann, ist ein Volumen von mindestens 0,7 Liter notwendig.

3.4 Die analytische Bestimmung der Parameter

Nach der Probenahme erfolgt die Analytik im Labor. Die in den Normen angeführten Analysenmethoden wurden den Bedingungen angepasst. In dieser Diplomarbeit wird nur auf das Prinzip und die Grundlagen der Bestimmungsverfahren eingegangen. Für weitergehende Beschreibungen sei auf die Diplomarbeit von Stefan Hofer „Aufbereitung von Abwässern aus Biomassevergasungsanlagen“ [3], sowie von Jens Auff'm Ordt „Partikel- und Teermessung an einer Biomassevergasungsanlage“ [4] und auf die Normen (siehe: [8], [9], [10], [11]) verwiesen.

3.4.1 Die gaseitigen Parameter [4]

Durch Analyse der Probenahmeapparatur kann die Verschmutzung der Gasphase festgestellt werden. Die eingesetzten Filter (Rein- und Rohgas) werden vor der Probenahme zusammengesetzt, getrocknet und gewogen (Taramasse). Ebenso werden Glasfaserhülsen, die bei der Extraktion benötigt werden, getrocknet und ausgewogen. Abbildung 16 zeigt die Analytik der gaseitigen Parameter in ihren wesentlichen Zügen, detailliertere Ausführungen folgen in den Unterkapiteln. Sowohl im Filter als auch in der Kondensationsvorrichtung werden Verschmutzungen aus der Gasphase herausgefiltert. Der Filter wird 2 Extraktionen, einmal mit Toluol einmal mit Aceton unterzogen, dadurch ist eine Unterscheidung in Staub, Teere und Salze möglich. Die Lösungsmittel der Kondensationsvorrichtung werden eingedampft und der Rückstand durch Auswiegen bestimmt.

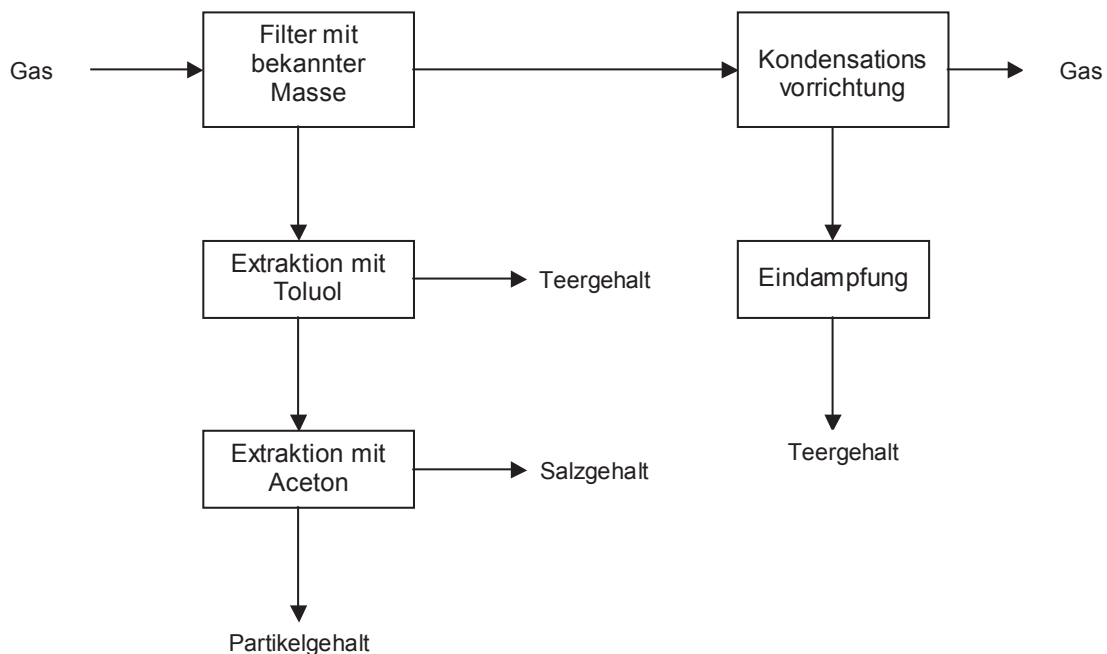


Abbildung 16: Verfahrensfließbild der Gasanalytik

3.4.1.1 Staub

Die Staubkonzentration ergibt sich durch Division der Summe der Filterstaubmasse und der Sondenstaubmasse mit dem gezogen Gasprobenvolumen.

Filterstaub:

Zur Bestimmung der Staubmasse im Roh- bzw. Reingas werden die Filter nach der Probenahme bei 110°C im Trockenschrank getrocknet, im Exikator gekühlt und abgewogen. Die Differenz zwischen der Auswaage nach der Trocknung (AW_{tr}) und der Taramasse (Tara) ergibt die Filterstaubmasse (siehe: Abbildung 20).

Sondenstaub:

Die Sonde wird nach Entnahme der Probe mit Aceton ausgespült, Ablagerungen bestehen größtenteils aus Partikeln, die sich aufgrund von Trägheitskräften an den Rohrwandungen abgelagert haben. Das verunreinigte Aceton wird eingedampft und der Rückstand (=Sondenstaubmasse) ermittelt.

3.4.1.2 Teere

Die Teerkonzentration ergibt sich durch Division der Summe der Filterteere, Teere in der Kondensationseinrichtung und Teere in der Leitung mit dem gezogen Gasprobenvolumen.

Filterteere

Zur Bestimmung der Teere wird der Filter in einem Soxlethextraktor mit Toluol extrahiert (siehe: Abbildung 17). Die im Filter vorhandenen Teere werden im Toluol gelöst und werden somit aus dem Filter ausgetragen. Bei der ca. einstündigen Extraktion wird der Filter in eine Glasfaserhülle gesteckt, um ausgeschwemmte Partikel aufzufangen. Nach Beendigung der Extraktion werden der Filter und die Glasfaserhülle erneut getrocknet und abgewogen ($AW_{TOL.}$) Aus der Differenz AW_{tr} und $AW_{TOL.}$ abzüglich der in der Glasfaserhülle aufgefangener Masse ergibt sich die Teermasse im Filter (siehe: Abbildung 20).

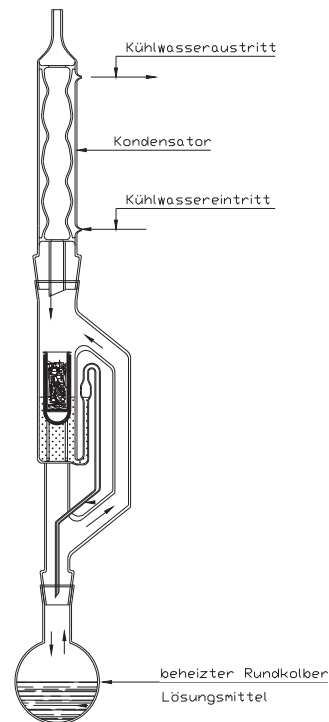


Abbildung 17: Soxlethextraktor

Teere in der Kondensationsvorrichtung

Weitere Teerrückstände fallen in der Kondensationsvorrichtung an (siehe: Abbildung 18, Abbildung 19). Der Kondensatfänger und die Wasserflasche werden getrennt in zwei Waagschalen überführt und bei 50°C im Trockenschrank eingedampft. Aus der Differenz der Taramasse und der Auswage ergibt sich auch hier die Teermasse. Die 3 Toluolflaschen und der Tropfenfänger werden bei den ersten Messungen getrennt, später als Mischung analysiert. Die Eindampfung erfolgt bei 50°C und bei 50mbar.

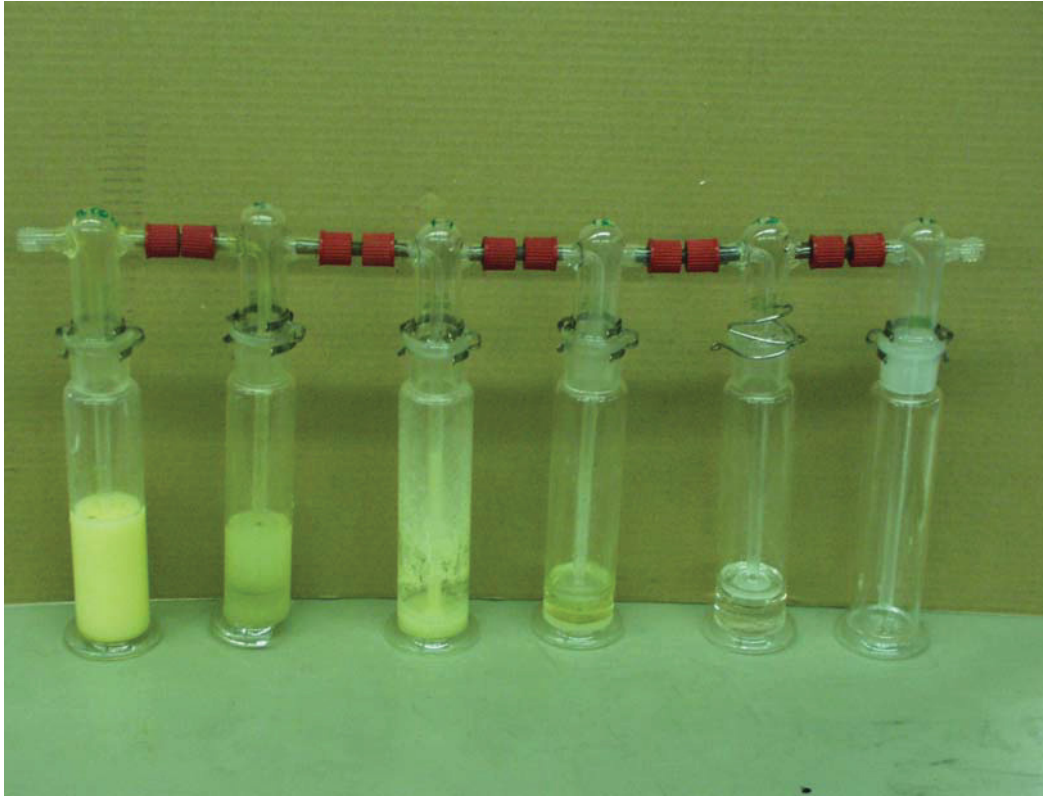


Abbildung 18: Kondensationsvorrichtung nach der Rohgasprobenahme



Abbildung 19: Kondensationsvorrichtung nach der Reingasproubenahme

Teere in der Leitung

Ein geringer Anteil von Teer kondensiert, trotz der Beheizung bereits in der Probeleitung, deshalb wird nach Beendigung der Probenahme das Ende der Probeleitung mit Aceton ausgespült. Durch die vorgeschaltete Filtration ist dieser Kondensatanteil stets frei von Partikeln. Da sich das Ende der Leitung am tiefsten Punkt befindet kann eine vollständige Erfassung der kondensierten Teere gewährleistet werden. Das verunreinigte Aceton wird im Trockenschrank bei 50°C eingedampft und der Rückstand (=Teere in der Leitung) ermittelt.

3.4.1.3 Salze

Der bereits mit Toluol extrahierte Filter wird mit Aceton extrahiert, ebenfalls wird der Filter wieder in eine Glasfaserhülle gesteckt, um ausgeschwemmte Partikel aufzufangen. Der Filter und die Glasfaserhülle werden wiederum bei 110°C getrocknet und ausgewogen (AW_{AC}). Aus der Differenz AW_{TOL} und AW_{AC} abzüglich der in der Glasfaserhülle aufgefangener Masse ergibt sich die Salzmasse im Filter (siehe: Abbildung 20). Die Salzkonzentration ergibt sich aus dem Quotienten aus der Salzmasse im Filter und dem gezogenen Gasprobenvolumen.

3.4.1.4 Partikel

Aus der Differenz zwischen AW_{AC} und der Taramasse erhält man die Partikelmasse (siehe: Abbildung 20). Die Partikelkonzentration ergibt sich aus dem Quotienten aus der Partikelmasse und dem gezogenen Gasvolumen.

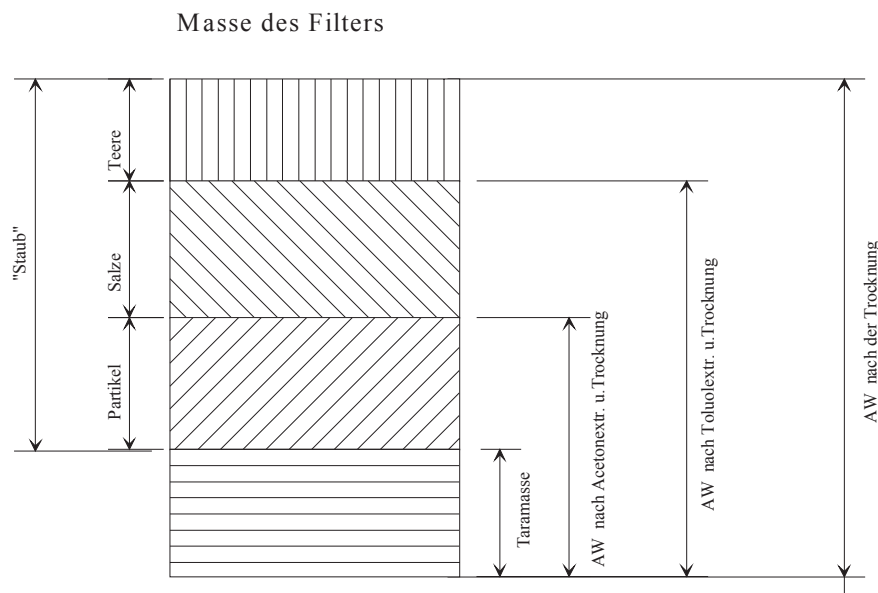


Abbildung 20: Aufteilung der filterbaren Stoffe im Filter

3.4.2 Die waschmediumseitigen Parameter

Das Waschmittel wird sowohl einer gravimetrischen als auch einer nasschemischen Analyse unterzogen. Für die nasschemische Analyse bedarf es nach der Probenahme, damit eine photometrische Bestimmung der einzelnen Parameter möglich ist, eines Aufschlusses. Zuerst erfolgt eine Vakuumfiltration mit einem Papierfilter, anschließend mit einem 0,45 µm Membranfilter. Mit der Einbringung des Rapsmethylester (RME) in den 2. Wäscher (Venturiwäscher) (siehe: Kapitel 4.1) änderte sich auch der Aufschluss der Proben. Als erster Schritt ist bei der Wasser- RME Mischung eine Phasentrennung in einem Scheidetrichter notwendig, die Analysen erfolgen dann mit der abgetrennten wässrigen Phase. Durch die Verschmutzung der wässrigen Phase mit RME ergeben sich Probleme bei der Membranfiltration. Die Bildung eines dünnen Ölfilms auf dem Membranfilter führen zu untragbaren Filtrationszeiten. Mit Beginn des Einsatzes von RME im Waschzyklus wird nur noch eine Papierfiltration durchgeführt, jedoch zeigte sich diese aufgrund der Partikelagglomeration als ausreichend.

3.4.2.1 Die gravimetrische Analyse

Zur Bestimmung der Verschmutzung des Waschwassers werden drei gravimetrische Analysen durchgeführt. Als Analysenergebnisse erhält man den gesamten Eindampfrückstand (GER), den Eindampfrückstand (ER) und den Toluol extrahierten Rückstand. Bei jeder der drei Analysen wird die Probe (Einwaage; EW) in eine Waagschale mit bekannter Taramasse gegeben und bei 50°C im Trockenschrank eingedampft. Durch Auswaage der Waagschale und Differenzbildung mit der Taramasse erhält man die Rückstandsmasse. Die Konzentration ergibt sich aus dem Quotienten aus Rückstand und verwendeter Einwaage an Wasser bzw. an Wasserphase seit dem Einbringen des RME. Bei der ersten Analyse wird die unbehandelte Probe eingedampft, dadurch erhält man den GER, in ihm sind Partikel, Teere und Salze enthalten. Bei der zweiten Analyse erfolgt vor der Eindampfung eine Vakuumfiltration, zuerst mit einem Papierfilter dann mit einem 0,45 µm Membranfilter, dadurch erhält man den ER, in ihm sind noch Teere und Salze enthalten. Bei der dritten Analyse wird die bereits filtrierte Probe einer flüssig/flüssig Extraktion unterzogen. Als Extraktionsmittel wird Toluol in einem Verhältnis von ca. 1:1 (Mass.%) zugegeben und mit einem Magnetrührer eine Stunde gerührt. Danach erfolgt eine Phasentrennung und die Toluolphase wird eingedampft. Dadurch erhält man den Toluol extrahierten Rückstand (siehe: Abbildung 21). Seit dem Einbringen des RME in den Venturiwäscher wird aufgrund der langen Filtrationszeit beim Waschmedium des Venturiwäscher nur noch der GER bestimmt. Die Analyse erfolgt mit der wässrigen Phase, die in einem Scheidetrichter von der RME Phase getrennt wird.

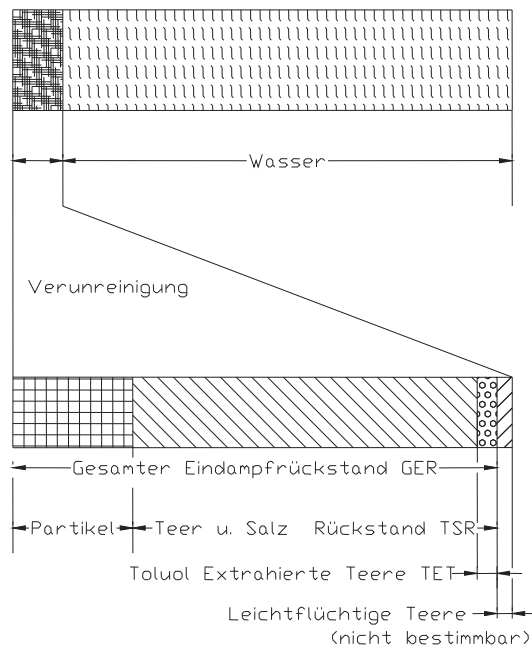


Abbildung 21: Zusammensetzung des Abwassers [4]

3.4.2.2 Die nasschemische Analyse

3.4.2.2.1 Ammonium- Stickstoff [11], [3]

Grundlagen:

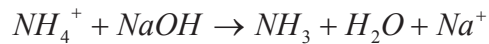
Diese Methode wurde ursprünglich von Kjeldahl zur Stickstoffbestimmung in tierischen und pflanzlichen Proben entwickelt. Der Stickstoff der Proben wird durch Aufschluss mit siedender konzentrierter Schwefelsäure unter Zugabe geeigneter Katalysatoren in Ammoniumsulfat umgewandelt. Durch konzentrierte Natronlauge wird der Stickstoff anschließend als Ammoniak (NH_3) freigesetzt und durch Wasserdampfdestillation in eine mit Schwefelsäure beschickte Vorlage abdestilliert. Die nicht verbrauchte Schwefelsäure wird mittels Titration mit einer Natronlauge bekannter Konzentration bestimmt. Über die Reaktionsgleichungen kann man so auf den in der Probe enthaltenen Ammonium- Stickstoff rückrechnen.

Bei den Abwässern der Biomassevergasungsanlage kann auf den Säureaufschluss verzichtet werden, da das Ammonium bereits als NH_4OH , NH_4^+ oder NH_3 , je nach pH- Wert vorliegt.

Berechnung:

Reaktionsgleichungen:

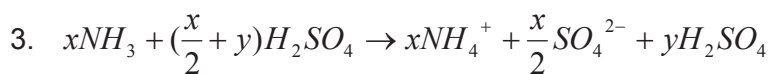
1. Überführen des Ammoniums in Ammoniak:



$$c_{NaOH}=2\text{molar}=2\text{normal}$$

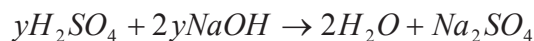
2. Reaktion des Ammoniaks mit vorliegender Schwefelsäure:

Die Schwefelsäure liegt im Überschuss vor.



$$c_{H_2SO_4}=0,05\text{molar}=0,1\text{normal}$$

4. Titration der nicht verbrauchten Schwefelsäurevorlage mit Natronlauge



$$c_{NaOH}=0,1\text{molar}=0,1\text{normal}$$

Aus der bekannten Menge an titrierter Natronlauge (2y) kann mit Hilfe der Reaktionsstöchiometrie auf die in der Probe vorhandene Ammoniumstickstoffmenge rückgerechnet werden:

Die Auswertung erfolgt nach folgender Formel:

$$c_{N[mg/l]} = \frac{(V_{\text{blind}} - V_{\text{probe}}) * c * 14,0067 * f_s}{V_p}$$

Wobei

- V_{blind} Verbrauch an 0,1 molarer NaOH bei der Titration der Blindprobe (DI-Wasser anstelle der Probe) [ml]
- V_{Probe} Verbrauch an 0,1 molarer NaOH bei der Titration der Probe [ml]
- f_s Titerfaktor der Schwefelsäure
- C Molarität der Schwefelsäure (0,05 molar=0,1 normal)
- 14,0067 Molgewicht von Stickstoff



**Abbildung 22: Apparatur zur Ammonium- Stickstoffbestimmung
(Waschflasche mit Schwefelsäurevorlage und Destillationskolben)**

3.4.2.2.2 Phenol [9], [3]

Grundlagen:

Der Phenolindex ist eine summarische Wirkungs- und Stoffkenngröße der neben dem Phenol alle in der Probe vorhandenen Substanzen mit ähnlichen Eigenschaften erfasst. Die Phenole und andere oxidativ kupplungsfähigen Verbindungen, wie aromatische Amine bilden in alkalischer Lösung mit 4-Aminoantipyrin in Anwesenheit von Kaliumhexacyanoferrat(III) Antipyrinfarbstoffe, die direkt aus der wässrigen Lösung photometrisch bestimmt werden können.

Berechnung:

Die Auswertung erfolgt mittels der Kalibriergerade, die mit einer Stammlösung erstellt wird.

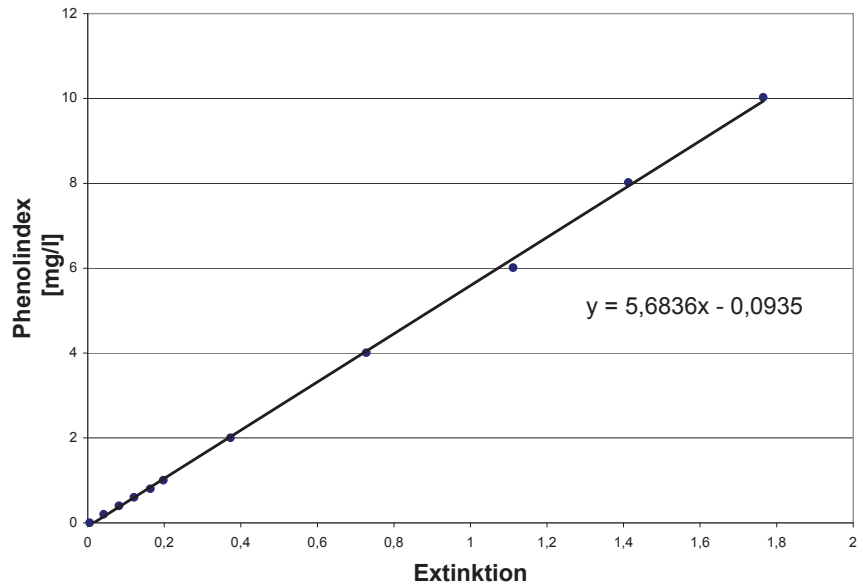


Abbildung 23: Kalibrierkurve Phenolindex

$$\beta = \frac{(E_s - E_0) * b}{V}$$

wobei

- β Phenolindex der Probe [mg/l]
- E_s Extinktion der Probe
- E_0 Extinktion der Blindprobe
- b Steigung der Kalibriergeraden
- V Verdünnungsfaktor

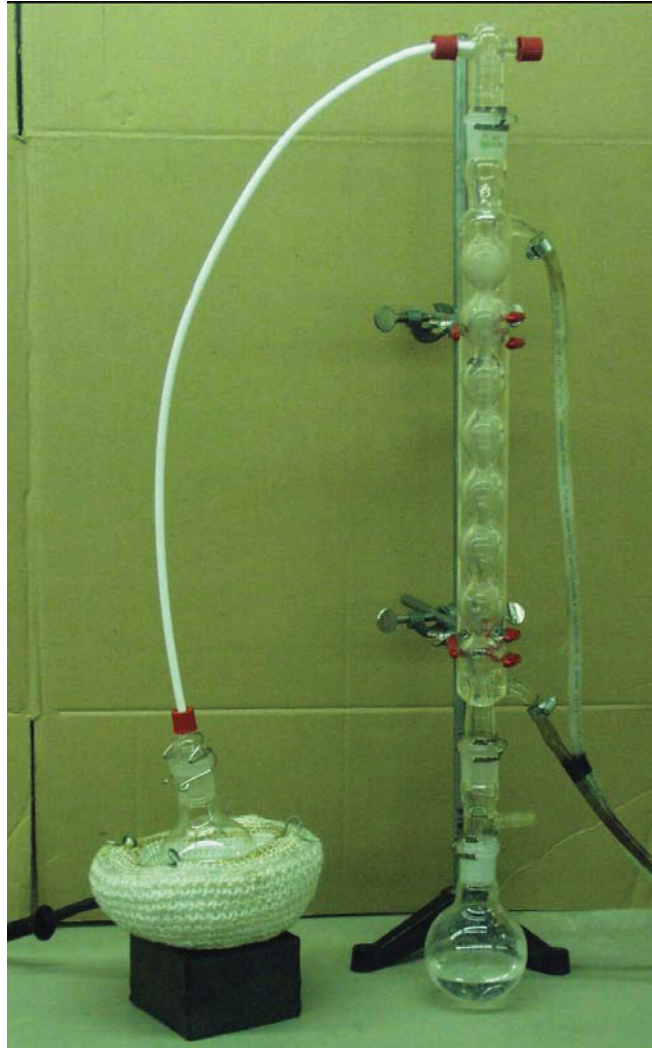


Abbildung 24: Destillationseinrichtung für die Bestimmung der wasserdampfflüchtigen Phenole

3.4.2.2.3 Chemischer Sauerstoffbedarf [8], [3]

Grundlagen:

Die Menge von oxidationsfähigen Substanzen in der Probe wird über den Verbrauch des im Überschuss vorhandenen Oxidationsmittels Kaliumdichromat bestimmt.



bei 148°C 2h in einem Thermoreaktor (siehe: Abbildung 26) unter Anwesenheit von Silbersulfat als Katalysator und Hg-Ionen zur Maskierung von Chlorid-Ionen. Diese würden ansonsten unter Kaliumdichromatverbrauch zu elementarem Chlor oxidiert.

Berechnung:

Die Auswertung erfolgt mittels der Kalibriergerade, die mit einer Stammlösung erstellt wird.

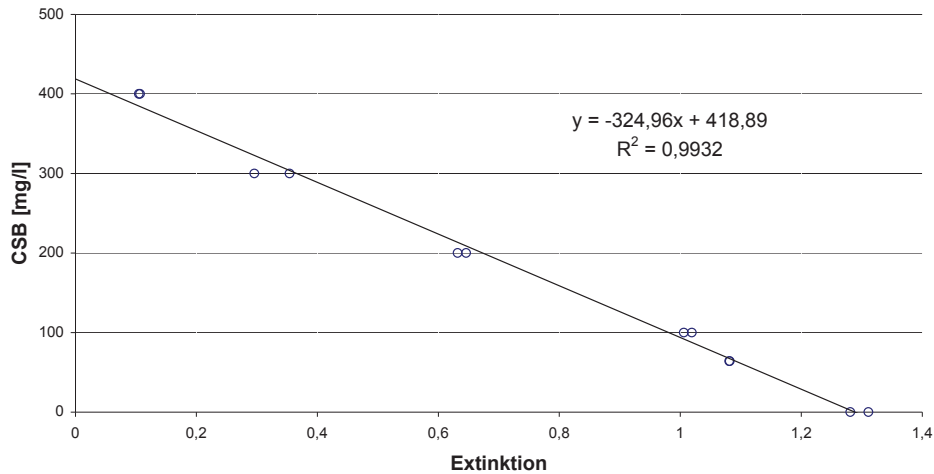


Abbildung 25: Kalibrierkurve CSB

$$\beta = \frac{(E_s - E_0) * b}{V}$$

wobei

- β CSB der Probe [mg/l]
- E_s Extinktion der Probe
- E_0 Extinktion der Blindprobe
- b Steigung der Kalibriergeraden
- V Verdünnungsfaktor

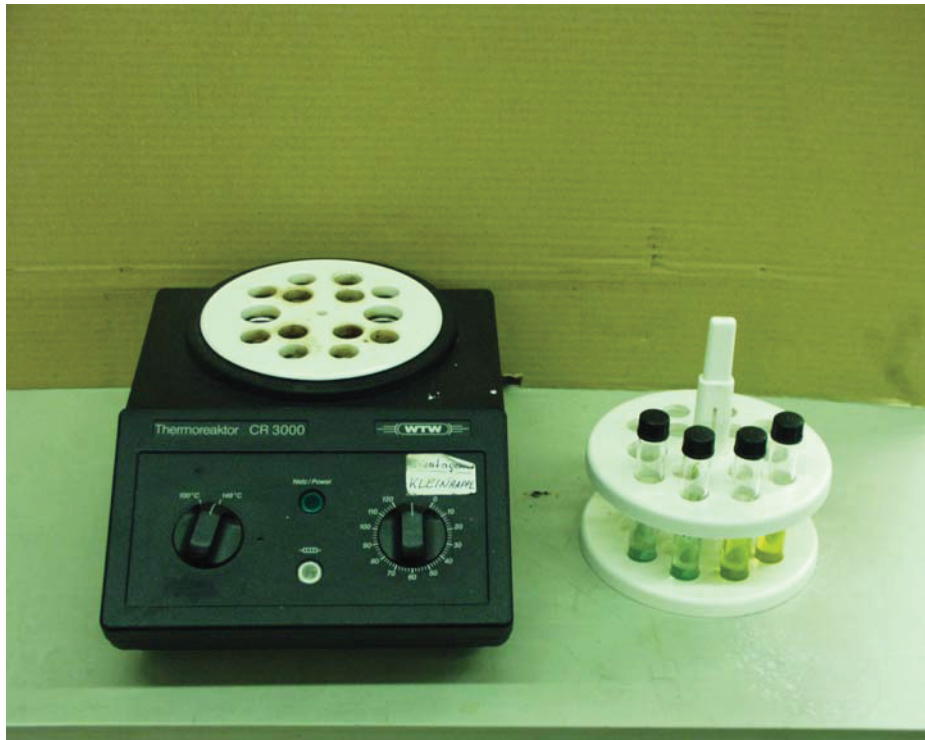


Abbildung 26: Thermoreaktor für die CSB Bestimmung und 4 Proben mit unterschiedlichem CSB

3.4.2.2.4 Gesamtcyanid [10], [3]

Grundlagen:

Unter Gesamtcyanid versteht man die Summe der einfachen und komplex gebundenen Cyanide, die unter den Bedingungen des Verfahrens Cyanwasserstoff abspalten (z.B. Cyanhydrine). Dagegen werden einfache Nitrile (R-CN), wie Acetonitril, Benzonnitril, sowie Cyanat (OCN)⁻, Thiocyanat-Ionen (SCN)⁻ und Chlorcyan (ClCN) nicht unter den Begriff Gesamtcyanid verstanden und bei dem beschriebenen Verfahren auch nicht erfasst. Bei der photometrischen Cyanidbestimmung wird der in neutraler bis schwach saurer Lösung vorliegende Cyanwasserstoff durch das aktive Chlor des Chloramin-T zu Chlorcyan umgesetzt. Dieses reagiert mit Barbitursäure zu einem rot-violetten Polymethinfarbstoff, dessen Konzentration ein Maß für die Menge von Cyanid-Ionen in der Probe ist (siehe: Abbildung 28).

Berechnung:

Die Auswertung erfolgt mittels der Kalibriergerade, die mit einer Stammlösung erstellt wird.

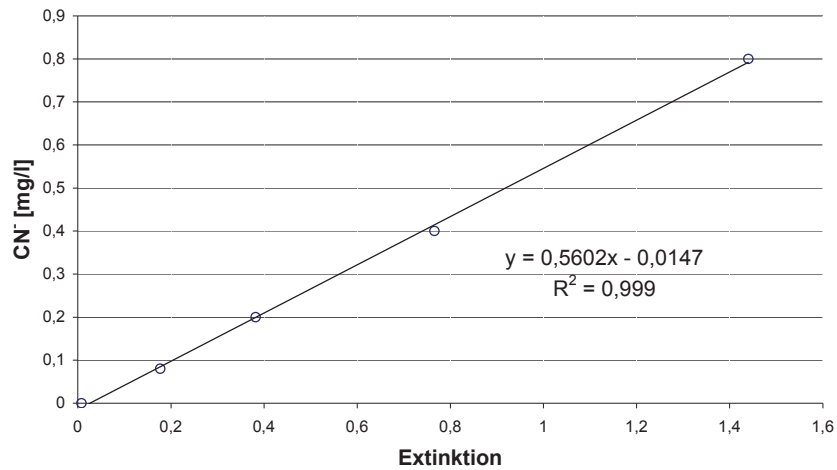


Abbildung 27: Cyanid Kalibrierkurve

$$\beta = \frac{(E_s - E_0) * b}{V}$$

wobei

- β Massenkonzentration der Cyanid-Ionen [mg/l]
- E_s Extinktion der Probe
- E_0 Extinktion der Blindprobe
- b Steigung der Kalibriergeraden
- V Verdünnungsfaktor



Abbildung 28: Unterschiedliche Verfärbung der Proben nach Zugabe der Chemikalien je nach Cyanidgehalt

4 Verbesserungen an der Anlage

4.1 Der Umbau der Anlage

Im Zuge der Anlagenoptimierung wird ein Betrieb des 2. Wäschers (Venturiwäscher) mit einem Gemisch aus Wasser und Öl angestrebt. Es werden Untersuchungen für Heizöl leicht und Rapsmethylester (RME) durchgeführt. Durch Anwendung eines organischen Waschmedium ist ein besserer Stoffübergang der organischen Verschmutzungen von der Gasphase in die flüssige Phase zu erwarten, andererseits wird sicher auch Teil des Öles in die Gasphase übergehen. Ebenfalls wird das Stoffübergangsverhalten der absorbierten Verschmutzungen zwischen der wässrigen und der organischen Phase des Waschmediums untersucht. In der Abschätzung dieser beiden Vorgänge liegt eine wesentliche Aufgabe der Laboruntersuchungen und den anschließenden Versuchsläufen mit der Anlage.

In weiterer Folge wird ein Heißgasfilter eingebaut. Wie in Abbildung 29 ersichtlich ist, besteht der Heißgasfilter aus zwei Kammern, die getrennt voneinander oder auch einzeln betrieben, aber auch über den Bypass umlaufen werden können. Beide Kammer sind in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht und können gemeinsam beheizt werden. Die Betriebstemperatur des Filters liegt bei 180°C, zur Erreichung dieser Betriebstemperatur ist der Filterkammer ein Wärmetauscher für die Gaskühlung vorgeschaltet. In jeder Kammer sind je 5 Filterschläuche (Durchmesser: 125mm; Länge 1500mm) angebracht, insgesamt steht somit eine Filterfläche von 5,9m² zur Verfügung. Die Abreinigung der Filter wird mittels eines von einem Gebläse erzeugten Differenzdrucks (1000 bis 1200 Pa) gesteuert. Zum Erreichen einer besseren Abreinigungsleistung wird ein Precoatiermittel zudosiert. Durch Einbau des Heißgasfilters soll vor allem die Staubbelastung des Gases erheblich gesenkt werden.

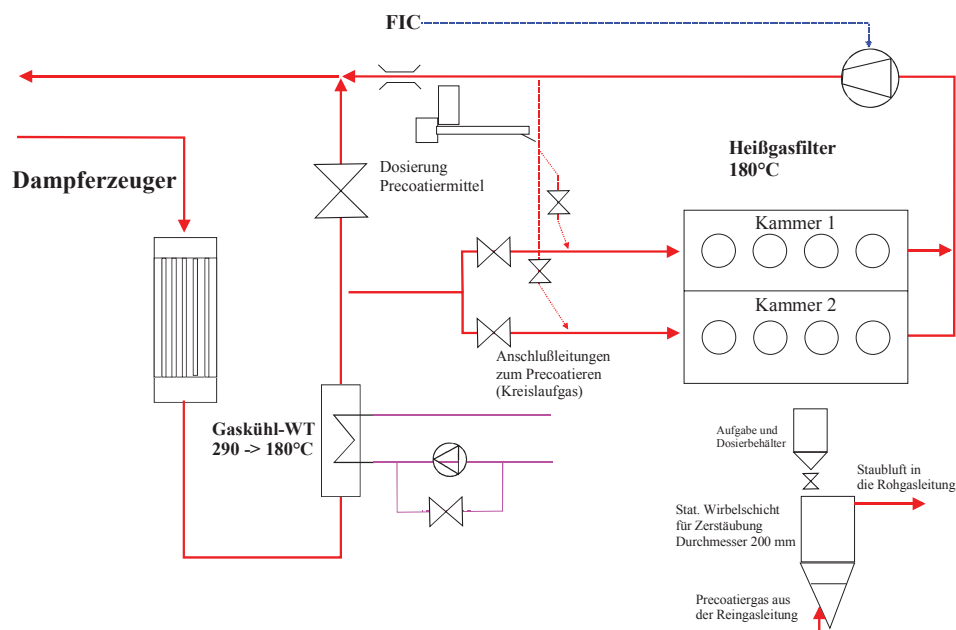


Abbildung 29: Aufbau des Heißgasfilters

Durch den Einbau des Heißgasfilters ergibt sich ein neues Gesamtanlagenkonzept, welches in Abbildung 30 ersichtlich ist. Der bisher bestehenden Nassreinigung wurde mit dem Heißgasfilter, neben dem Zyklon eine weitere Einheit der Trockenreinigung vorgeschaltet. Wie schon unter Kapitel 3.3.2.1 erwähnt, werden zur besseren Bewertung der Effizienz der einzelnen Anlagenkomponenten die Reingas und die Rohgasproben an unterschiedlichen Schnittstellen der Anlage vorgenommen. In der Abbildung 30 sind die Entnahmestellen eingezeichnet, es ist jedoch immer zu bedenken, dass bei allen Messungen, die vor dem Einbau des Heißgasfilters (siehe: Tabelle 14) erfolgten, dieser aus dem Verfahrensfießbild wegzudenken ist.

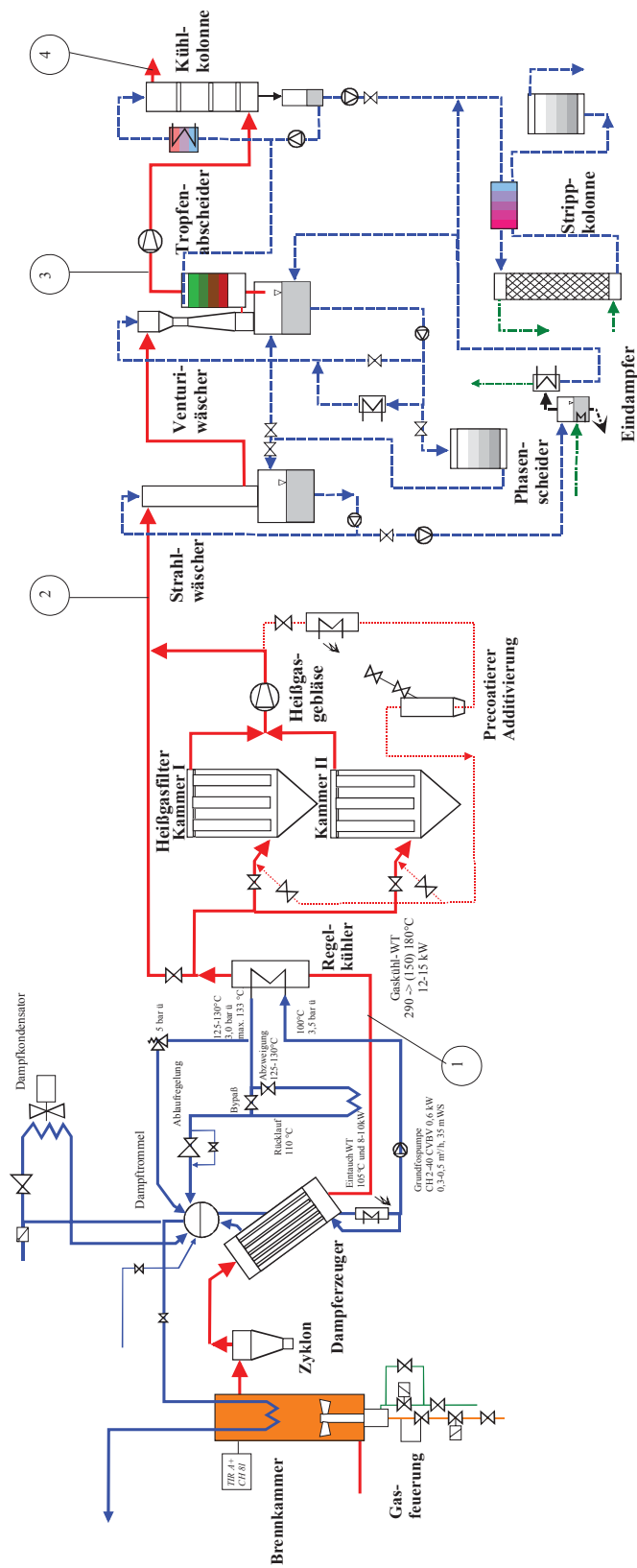


Abbildung 30: Verfahrensfliessbild der Biomassevergasungsanlage nach den Umbaumaßnahmen

4.2 Vorversuche im Labor

4.2.1 Beurteilung des Stoffübergangs zwischen Gasstrom und Waschmedium

Mit Hilfe der Versuche in diesem Kapitel soll der Stoffübergang vom organischen Waschmedium in den Gasstrom bewertet werden. Dadurch soll eine Beurteilung, ob ein Einsatz eines organischen Waschmediums überhaupt sinnvoll ist, möglich werden.

4.2.1.1 Versuch 1 – gravimetrische Auswertung:

Aufbau:

Zur Anwendung kommt dieselbe Kondensationsvorrichtung wie bei der Gasprobenahme bei einem Versuchslauf mit dem Vergaser. Der Waschkolonne vorgeschaltet ist eine Waschflasche mit einem Heizöl/Wassergemisch, welches in einem Wasserbad auf 60°C erwärmt wird. Das Heizöl ist ein 1 Jahr lange gelagertes Heizöl extraleicht. Beim Einsatz im Venturiwäscher wird das Waschmedium nur auf eine mittlere Temperatur von 40°C erwärmt, dadurch ist sichergestellt, dass die Versuchsergebnisse, aufgrund der höheren Dampfdrücke bei höheren Temperaturen und dem daraus resultierendem besseren Stoffübergang schlechtere Werte ergeben, als es bei einem Einsatz in der Anlage zu erwarten ist. Anstelle des Gases aus der Anlage wird Raumluft angesaugt (siehe: Abbildung 31).

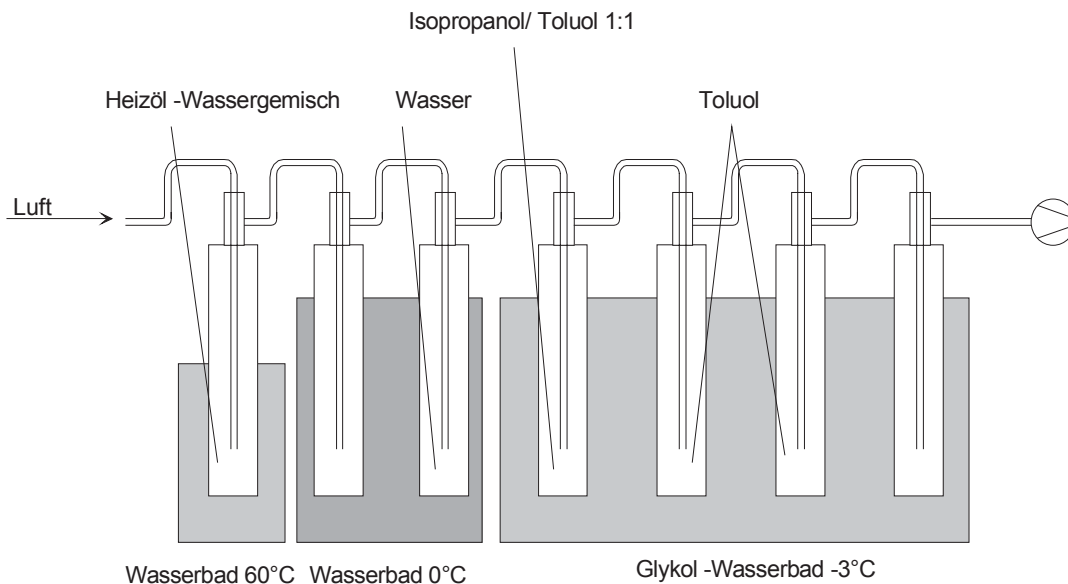


Abbildung 31: Versuchsaufbau Heizöl/ Wassergemisch als Waschmedium

Auswertung und Ergebnisse:

Die Auswertung erfolgt auf die gleiche Weise, wie bei einer Messung an der Versuchsanlage, die Waschflascheninhalte werden in Waagschalen überführt, eingedampft und der Rückstand ermittelt (siehe: Kapitel 3.4.1.2).

Tabelle 5: Rückstände von Heizöl im Gasstrom

| Waschflasche | „scheinbarer“ Teer- rückstand [mg] | Teerkonzentration [mg/Nm ³] |
|-----------------|---------------------------------------|---|
| Kondensatfänger | 35,2 | 74,6 |
| Wasserflasche | 4,0 | 8,5 |
| Toluol 1 | 0,5 | 1,1 |
| Toluol 2 | 0,1 | 0,2 |
| Toluol 3 | 0,7 | 1,5 |
| Toluol 4 | 2,4 | 5,1 |
| | | Σ 91 |

Interpretation:

Durch den Eintrag von Heizöl in den Gasstrom entsteht ein scheinbarer Teerwert von 91 mg Teer /Nm³. Dieser Wert liegt weit über dem Grenzwert von <50mg/ Nm³ (siehe: Tabelle 2), deshalb ist der Einsatz von Heizöl nicht zu empfehlen. Einerseits werden Aerosole der heterogenen Mischung mit dem Luftstrom mitgerissen, andererseits kommt es zu einem Stoffaustausch zwischen der Gasphase und der heterogenen Flüssigphase. Die Menge des ausgetauschten Stoffes hängt im wesentlichen vom Dampfdruck der einzelnen Komponenten (siehe: Kapitel 3.3.1) der Flüssigphase ab. Die Menge der mitgerissenen Aerosole hängt von der Geschwindigkeit und dem Massenstrom der Gasphase ab, der Anteil ist umso größer, je näher man der Flutgrenze der einzelnen Kolonnen (jede Waschflasche stellt eine Kolonne dar) kommt (siehe: 4.3.1.1). Der Einsatz von Heizöl ist deshalb nicht zu empfehlen.

4.2.1.2 Versuch 2 – Online Messung mit FID (Flammenionisationsdetektor)

Aufbau:

Anstelle der Waschkolonne wird in diesem Versuch ein FID zur Detektion der Belastung des Trägergases der Waschflasche mit dem Öl/Wassergemisch nachgeschaltet. Dadurch erhält man als Messgröße der Verschmutzung den TOC (Total Organic Carbon). Um das Eindringen von Flüssigkeit in den FID zu verhindern, wird die Absaugleitung mit einem Heißluftgebläse erwärmt (siehe: Abbildung 32).

Es erfolgt eine Messung mit einer Mischung aus RME und Wasser und eine Messung mit einer Mischung aus Heizöl/Wasser in einem Temperaturbereich von 20°C bis 70°C (siehe: Abbildung 33).

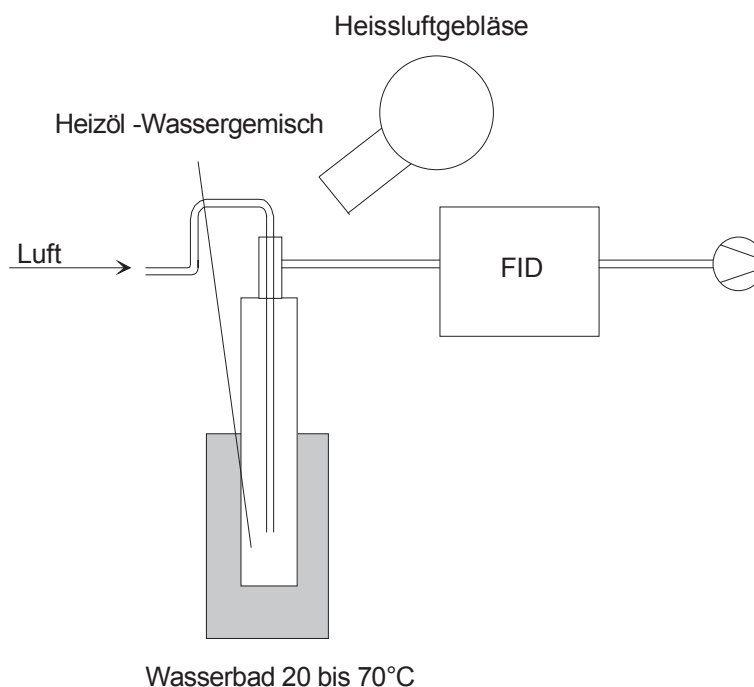


Abbildung 32: Versuchsaufbau Heizöl/ Wassergemisch als Waschmedium mit FID

Auswertung und Ergebnisse:

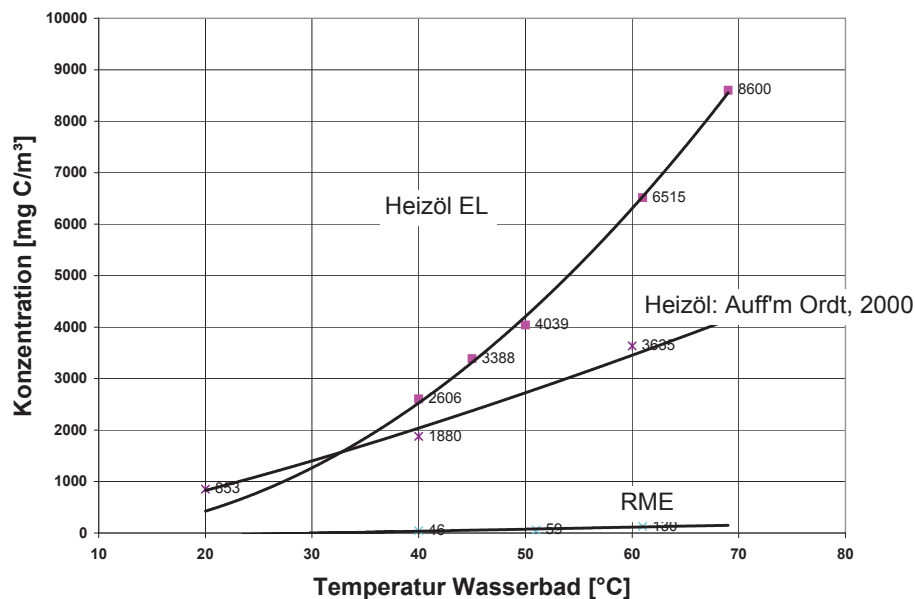


Abbildung 33: Vergleich eines Heizöl bzw. RME Wassergemisch als Waschmedium

Interpretation:

Zusätzlich zu den 2 erfolgten Messungen wird auch noch ein Vergleichswert aus der Diplomarbeit von Jens Auf'm Ordt [4] zur Interpretation herangezogen, der mit derselben Versuchsanordnung, jedoch ohne Beheizung, ermittelt wurde. Wie in Abbildung 33 ersichtlich ist die Konzentration von organischen Bestandteilen in der mit der Heizöl/ Wasser Mischung in Kontakt gebrachten Luft wesentlich höher als bei der Mischung aus RME/ Wasser. Somit ist die RME Mischung hinsichtlich der Rückverschmutzung des Gases durch das Waschmedium gegenüber der Heizöl Mischung zu bevorzugen.

4.2.2 Bestimmung des Verteilungskoeffizienten der Schadstoffe zwischen der organischen und der wässrigen Phase des Waschmedium

Mit Hilfe der Versuche in diesem Kapitel soll der Stoffübergang zwischen der organischen und der wässrigen Phase des Waschmedium bewertet werden. In einem Messzylinder werden Mischungen mit unterschiedlichen Verhältnissen von RME zu Waschwasser angesetzt. Ebenfalls wird eine Mischung aus RME und deionisiertem Wasser untersucht. Um das Durchwälzen im Waschzyklus zu imitieren werden die Mischungen ca. 1 Stunde mit einem Magnetrührer gerührt. Anschließend folgt eine Trennung der Phasen in einem

Scheidetrichter. Die wässrige Phase, sowie das Waschwasser, das zur Herstellung der Mischung verwendet wurde, werden auf ihren CSB und ihren Phenolindex untersucht. Mit Hilfe dieser Werte werden die Gleichgewichtskurven für CSB und Phenol zwischen der wässrigen und der RME Phase für Raumtemperatur berechnet. Dazu wird eine Massenbilanz über den mit dem Waschwasser eingebrachten CSB bzw. Phenolindex erstellt.

Auswertung:

Annahme: $V_{WW} = V_{W\ddot{A}}$ (Wasseraufnahme im RME zu vernachlässigen)

$$c_{RME} * V_{RME} = c_{\alpha} * V_{WW} - c_{\omega} * V_{WW}$$

wobei

- c_{α} Konzentration im Waschwasser vor Kontakt (aus Analytik) [mg/l]
- c_{ω} Konzentration in der wässrigen Phase nach Kontakt (aus Analytik) [mg/l]
- c_{RME} Berechneter Konzentrationswert in der RME Phase
- V_{RME} Volumen von RME [ml]
- V_{WW} Volumen vom Waschwasser [ml]
- $V_{W\ddot{A}}$ Volumen der wässrigen Phase der Mischung [ml]

Betrachtung des Phenolgehaltes:

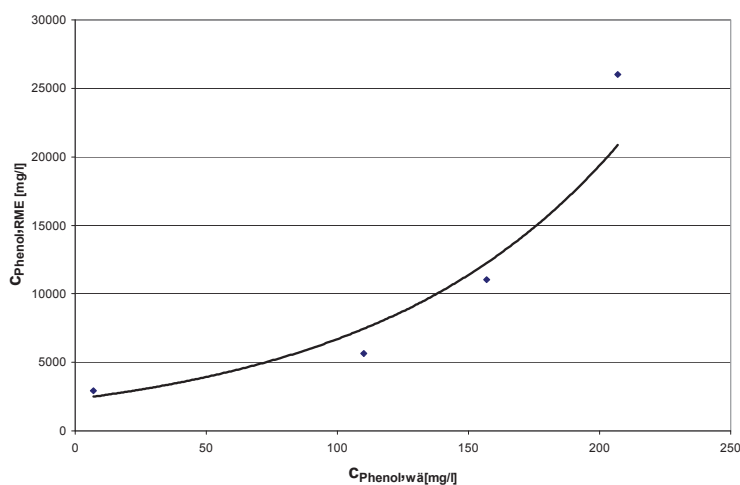


Abbildung 34: Gleichgewichtskurve von Phenol (Wasser/RME)

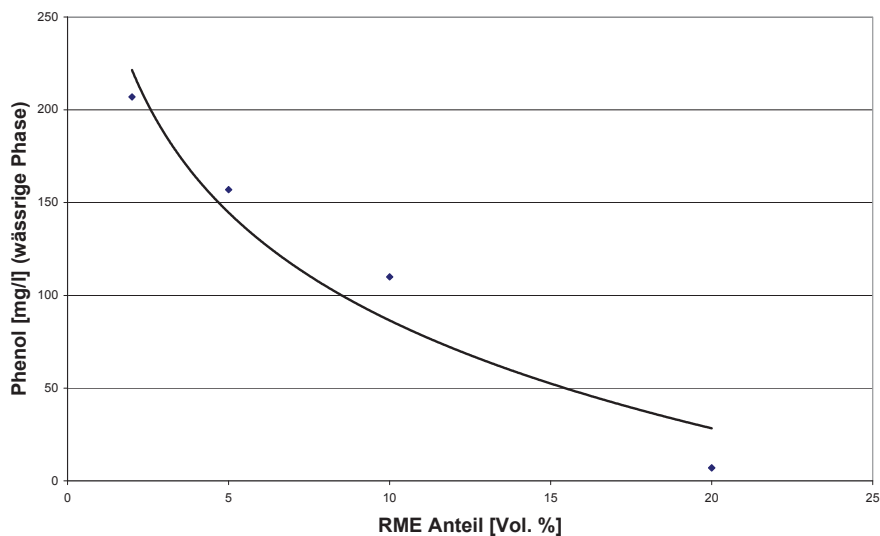


Abbildung 35: Konzentration von Phenol in der wässrigen Phase des Waschmedium als Funktion des RME Anteils

Anmerkung zu beiden Diagrammen: Der Phenolindex des Waschwassers betrug vor Kontakt 740mg/l. Der Versuch wurde bei Raumtemperatur von ca. 20°C durchgeführt.

Bei den Mischungen aus RME (12 bzw. 52 Vol.%) und deionisiertem Wasser ergab sich ein Phenolindex von 0,2 bzw. 0,5 mg/l in der wässrigen Phase.

Interpretation:

Die geringe Belastung des deionisierten Wassers durch den RME zeigt, dass keine Verschmutzung der wässrigen Phase durch den RME zu erwarten ist. In der Abbildung 34 und der Abbildung 35 ist zu erkennen, dass sich die Phenole in der organischen Phase aufkonzentrieren und die wässrige Phase nur mehr geringe Phenolkonzentration aufweist. Der RME scheint sich besser als Wasser für die Gaswäsche zu eignen.

Betrachtung des CSB:

Bei der Mischung aus RME (12 Vol.%) und deionisierten Wasser ergab sich ein CSB Gehalt von 860 mg/l. Bei den Versuchen konnte jedoch keine signifikante Abhängigkeit des CSB vom RME Anteil festgestellt werden. Bei der Mischung aus RME (12 Vol.%) und deionisierten Wasser ergab sich ein CSB Gehalt von 860 mg/l. In der Tabelle 6 und der Tabelle 7 sind die Messergebnisse der Mischungen aus RME und Waschwasser angeführt.

Bei den Werten aus den Tabellen 6 und 7 ist darauf zu achten, dass die Ausgangskonzentration des Waschwasser einmal bei 1360mg/l und einmal bei 390mg/l lag.

Tabelle 6: CSB Gehalt in der wässrigen Phase des Waschmediums als Funktion des RME Anteils

| RME Anteil [Vol.%] | CSB in der wässrigen Phase [mg/l] |
|--------------------|-----------------------------------|
| 12 | 750 |
| 52 | 1120 |

Bemerkungen: Die Konzentration im Waschwasser vor Kontakt betrug 1360mg/l, der Versuch wurde bei Raumtemperatur durchgeführt

Tabelle 7: CSB Gehalt in der wässrigen Phase des Waschmediums als Funktion des RME Anteils

| RME Anteil [Vol.%] | CSB in der wässrigen Phase [mg/l] |
|--------------------|-----------------------------------|
| 2 | 820 |
| 5 | 690 |
| 10 | 540 |
| 20 | 480 |
| 50 | 850 |

Bemerkungen: Die Konzentration im Waschwasser vor Kontakt betrug 390mg/l, der Versuch wurde bei Raumtemperatur durchgeführt

Interpretation:

Die Belastung des deionisierten Wassers durch den RME lässt schon erkennen, dass das Gleichgewicht der für den CSB maßgeblichen Stoffe nicht vollständig auf der Seite des RME liegt. Bei Kontaktierung des RME mit Waschwasser mit einer Konzentration von 1360 mg/l zeigte sich ein Reinigungseffekt (siehe: Tabelle 6), im Gegensatz dazu bei der Kontaktierung mit einem Waschwasser mit der Konzentration von 390 mg/l nicht (siehe: Tabelle 7). Der Gleichgewichtswert der für den CSB maßgeblichen Stoffe liegt im Bereich von 600 bis 900mg/l. Bei üblichen CSB Werten von bis zu 3000 mg/l kann auch hier eine Verbesserung der Reinigungsleistung durch das Einbringen des RME in den Waschzyklus erwartet werden.

4.3 Versuche an der Anlage

4.3.1 Die Desorptionskolonne (Stripper)

4.3.1.1 Die theoretischen Grundlagen der Strippung

Bei der Strippung werden die flüchtigen Schadstoffe eines belasteten Wassers durch einen unbelasteten Gasstrom ausgetrieben. Diesen Vorgang nennt man Desorption, er stellt den gegenläufigen Prozess zur Absorption dar. Die treibenden Kräfte für die Desorption sind wie auch bei der Absorption die unterschiedlichen Konzentrationswerte der Schadstoffe in der Flüssig- bzw. Gasphase und die zugehörigen Gleichgewichtswerte an der Phasengrenzfläche. Begünstigt wird die Desorption durch hohe Temperaturen und niedrige Drücke, dabei fällt nämlich die Löslichkeit der Gase in der flüssigen Phase. Ein Stoffaustausch findet bis zum Erreichen des Gleichgewichtes statt. Das Gleichgewicht wird bei geringen Konzentrationen durch das Henry'sche Gesetz beschrieben.

$$y = \frac{H}{p} * x$$

wobei

- y Molanteil des Schadstoffes in der Gasphase [mol/mol]
- x Molanteil des Schadstoffes in der Flüssigphase [mol/mol]
- p Gesamtdruck [bar]
- H Henrykonstante des Schadstoffes [bar]

Die Henrykonstante ist eine Funktion der Temperatur. Die folgenden Abbildungen (siehe: Abbildung 36, Abbildung 37) zeigen die Temperatur- bzw. Druckabhängigkeit des Ammoniakgleichgewichts zwischen der Gas- und Flüssigphase. Sowohl eine Druck-, als auch eine Temperaturänderung üben einen großen Einfluss auf das Gleichgewicht aus. Technisch lässt sich eine Temperaturerhöhung jedoch leichter als eine Druckerhöhung durchführen.

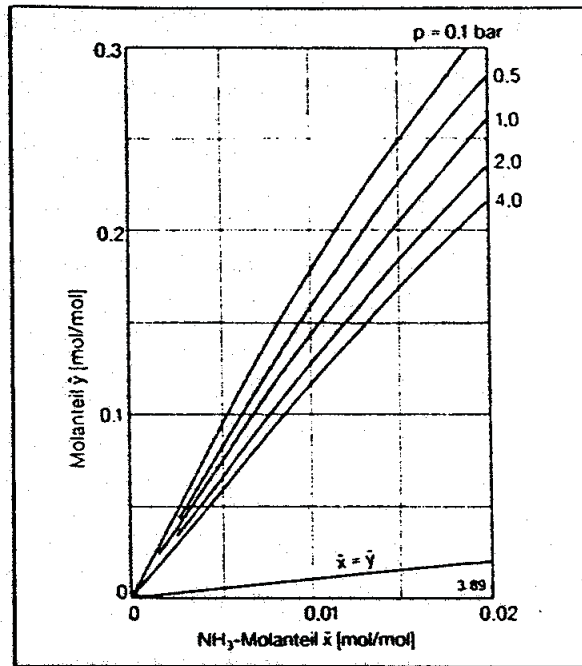


Abbildung 36: Gleichgewicht von Ammoniak zwischen der Dampf- und Flüssigphase bei unterschiedlichen Drücken [3]

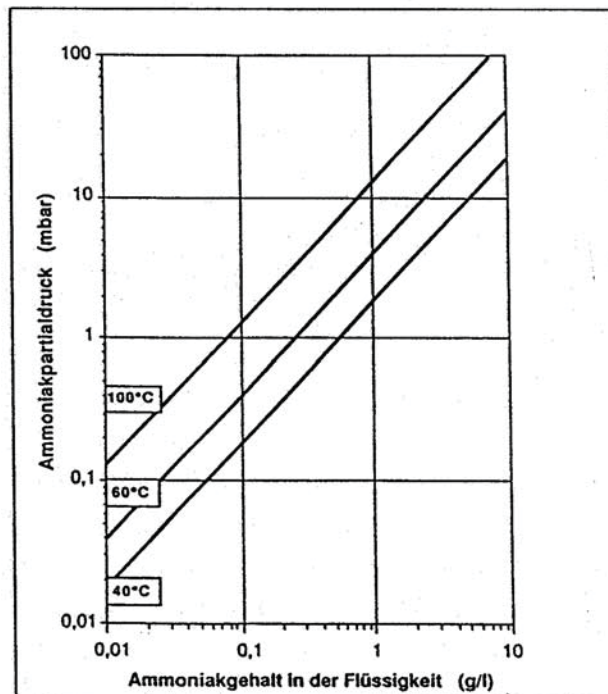
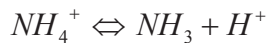


Abbildung 37: Gleichgewicht von Ammoniak zwischen der Dampf- und Flüssigphase bei unterschiedlichen Temperaturen [3]

Ein weiterer für die Effizienz der Strippung wichtiger Parameter ist der pH- Wert. Er beeinflusst die Dissoziation des Ammoniumions sehr stark.



Eine hohe Konzentration von Wasserstoffionen (geringer pH-Wert) verschiebt das Gleichgewicht auf die Seite der Ammoniumionen. Ein hoher pH-Wert hingegen führt zu höheren Konzentrationen an freiem Ammoniak und dadurch zu einer effizienteren Strippung (siehe: Abbildung 38). Die Verläufe in der Abbildung 38 wurden mit Werten aus den Guggenheim Tabellen berechnet und zeigen folglich das Gleichgewicht, wie es sich bei idealen Lösungen darstellen würde. Bei realen Lösungen weicht das Gleichgewicht von diesen Verläufen ab.

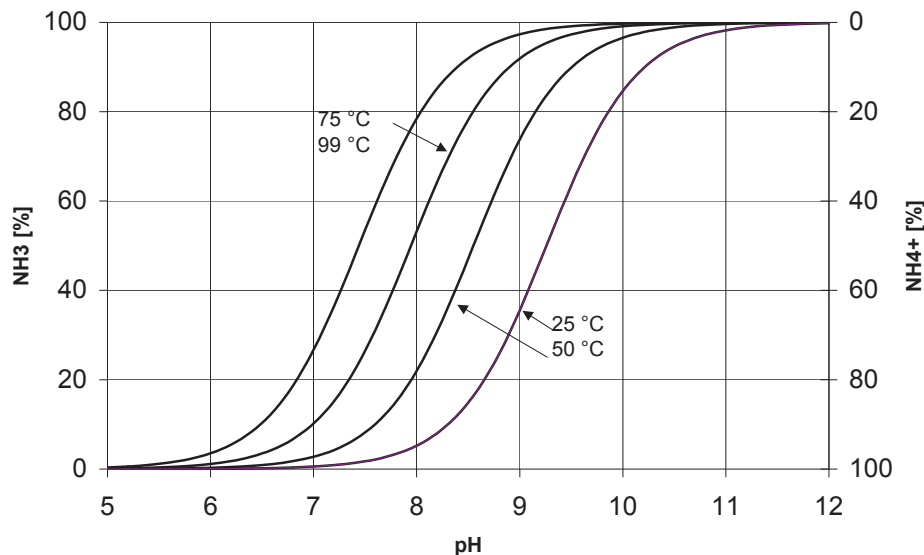


Abbildung 38: Dissoziationsgleichgewicht für das Ammoniumion [3]

4.3.1.2 Aufbau der Strippeinheit

Der Stripper ist noch nicht in die Gesamtanlage integriert, er wird bei Bedarf diskontinuierlich betrieben. Er besteht aus einem Dampferzeuger, einer Druckluftzufuhr mit Regelung, einem Ansatzbehälter, zwei Wärmetauschern, einem Ausgleichsbehälter und einer Füllkörper-Strippkolonne. Für die Umwälzung des Feeds sorgen 2 Pumpen. Der Dampferzeuger liefert 6.67 kg Dampf/h, die Luftmenge kann von 0,4 bis 4,8 Nm³/h geregelt werden. Der im Ansatzbehälter vorliegende Feed wird mit einer Pumpe in den Ausgleichsbehälter befördert und der überschüssige Feed wird über den Überlauf wieder in den Vorratsbehälter geleitet. Dadurch ist eine Homogenisierung des Feeds gewährleistet. Eine Schlauchpumpe fördert den Feed vor dem Eintritt in die mit Raschigringe (8mm Durchmesser) befüllte Strippkolonne (Höhe=1200mm, Durchmesser 120mm) durch 2 Wärmetauschern. Der Feed wird dabei auf

4.3.1.3 Die Versuchsläufe

4.3.1.3.1 Allgemein:

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Strippers werden mehrere Versuche mit unterschiedlichen Prozessparameter gefahren. Sowohl der Massenstrom des Feeds (Kondensat aus der Eindampfvorrichtung (siehe: Abbildung 2)) als auch die Menge des Dampf/Luftgemisches werden variiert. Der Versuch wird erst beim Erreichen von konstanten Temperaturen bei den 3 Messstellen TIR 2, TIR 3 TIR 4 (siehe: Abbildung 39) gestartet. Zur Beurteilung der Reinigungsleistung werden vom Feed und vom Sumpf der CSB und der Ammoniumgehalt analysiert, sowie der pH-Wert und die Leitfähigkeit gemessen. Vom Brüdenstrom wurde beim Versuch am 06.07.2001 mit einem Flammenionisationsdetektor der TOC bestimmt. Der Massenstrom des Feeds wird bei der Messstelle (FI 1) abgelesen und notiert, die Messung der Größe des Luftstromes erfolgt bei der Messstelle (FI 2). Um eine vollständige Massenbilanz zu erhalten werden die Massenströme des Sumpfes und des Vorwärmdampf-Kondensates durch Abwaage des jeweiligen Auffangbehälters (Taramasse) und durch eine nochmalige Abwaage nach einer bestimmten Betriebsdauer ermittelt (siehe: Abbildung 39). Dadurch erhält man eine vollständige Massenbilanz. Die Eingangsströme der Strippeinheit ergeben sich aus der Summe aus dem Luftstrom, dem gesamten Dampfstrom und dem Feedstrom. Die Ausgangsströme ergeben sich aus der Summe vom Sumpfstrom, dem Vorwärmdampf-Kondensatstrom und dem Brüdenstrom, wobei der Brüdenstrom als einzige Unbekannte über die Massenbilanz berechnet wird (siehe: Abbildung 40).

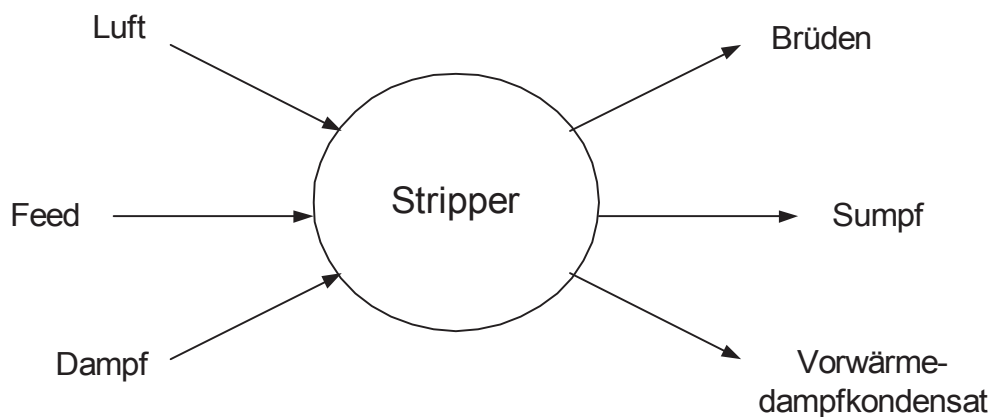


Abbildung 40: Massenbilanz der Strippeinheit

4.3.1.3.2 Versuchsdaten, Auswertung und Interpretation

Es werden mehrere Versuchsreihen mit unterschiedlichen Parametern durchgeführt und ausgewertet. Zur besseren Gesamtbetrachtung werden die Versuche durchnummeriert und der Bezug zu den Messprotokollen angegeben (siehe: Tabelle 8).

Tabelle 8: Nummerierung der Strippversuche

| Nummerierung | Versuchsdatum | Messung Nr. |
|---------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | 06.07.2001 | 1 |
| 2 | 06.07.2001 | 2 |
| 3 | 06.07.2001 | 3 |
| 4 | 03.08.2001 | 1 |
| 5 | 03.08.2001 | 2 |
| 6 | 03.08.2001 | 3 |
| 7 | 03.08.2001 | 4 |
| 8 | 20.08.2001 | 1 |
| 9 | 20.08.2001 | 2 |
| 10 | 20.08.2001 | 3 |
| 11 | 20.08.2001 | 4 |
| 12 | 31.10.2001 | 1 |
| 13 | 31.10.2001 | 2 |

Insgesamt wurden im Rahmen der Diplomarbeit 13 Versuche mit unterschiedlichsten Prozessparameter durchgeführt, analysiert und ausgewertet.

Prozessparameter und Massenbilanz:

Tabelle 9 zeigt die Massenbilanzen aller durchgeführten Versuche mit dem Stripper. Die Dampfmenge war über alle Versuche konstant, variiert wurde die Luftmenge und der Feedmassenstrom. Ziel war es dadurch den optimalen Betriebspunkt der Kolonne zu ermitteln.

Tabelle 9: Massenbilanzen der Strippversuche

| Nummer | Dampf, _{gesamt} | | Vorwärme | | Feed | Sumpf | Brüden |
|--------|--------------------------|-------------|--------------------|---------------------------|------|-------|--------|
| | [kg/h] | Luft [kg/h] | dampfbedarf [kg/h] | Luft/Dampf Gemisch [kg/h] | | | |
| 1 | 6,67 | 4,67 | 1,82 | 9,52 | 24 | 17,71 | 15,81 |
| 2 | 6,67 | 2,34 | 1,47 | 7,54 | 24 | 15,87 | 15,67 |
| 3 | 6,67 | 4,67 | 1,55 | 9,79 | 24 | 15,47 | 18,32 |
| 4 | 6,67 | 4,67 | 1,49 | 9,85 | 14 | 12,14 | 11,71 |
| 5 | 6,67 | 2,34 | 1,28 | 7,73 | 14 | 11,47 | 10,26 |
| 6 | 6,67 | 2,34 | 0,98 | 8,03 | 10 | 8,01 | 10,02 |
| 7 | 6,67 | 4,67 | 1,11 | 10,23 | 10 | 7,89 | 12,34 |
| 8 | 6,67 | 4,67 | 1,08 | 10,26 | 14 | 7,78 | 16,48 |
| 9 | 6,67 | 2,34 | 1,03 | 7,98 | 14 | 8,44 | 13,54 |
| 10 | 6,67 | 2,34 | 0,76 | 8,25 | 10 | 5,49 | 12,76 |
| 11 | 6,67 | 4,67 | 0,82 | 10,52 | 10 | 5,41 | 15,11 |
| 12 | 6,67 | 4,67 | 1,52 | 9,82 | 24 | 10,95 | 22,87 |
| 13 | 6,67 | 2,34 | 0,71 | 8,30 | 24 | 12,96 | 19,34 |

Belastung der Kolonne:

Beim Betrieb einer Kolonne muss darauf geachtet werden, dass die Kolonne in einem bestimmten Betriebsbereich betrieben wird. Maßgeblich hierfür ist die Belastung, darunter versteht man die Größe der Massenströme der in die Kolonne eintretenden Medien (Feed und Dampf/Luftgemisch) im Verhältnis zum Querschnitt der Kolonne. Sind diese Ströme zu groß, wird die Flutgrenze der Kolonne überschritten, bei Überschreitung dieser Grenze wird von der Gasphase die Flüssigphase mitgerissen.

Eine Berechnung ermöglicht das Modell nach Grasser-Widmer:

wobei:

- M_G^*, M_L^* : Gas-, Flüssigkeitsstrom [kg/s]
- a : Oberfläche der Packung pro Raumeinheit [m^2/m^3]
- ε : Porosität der trockenen Packung []
- f : Leerrohrquerschnitt [m^2]
- ψ : $\rho_{H_2O} / \rho_{Flüssigkeit}$ []

- η' : dyn. Viskosität der Flüssigkeit [cP]
- η_{H_2O} : dyn. Viskosität von Wasser [cP]
- ρ', ρ'' : Dichten von Flüssigkeit und Gas [kg/ m³]
- g Beschleunigung durch Erdanziehung [m²/s]

Die Berechnung erfolgt für die größten Eingangsmassenströme, die bei den einzelnen Versuchen gewählt wurden, dies war bei Versuchen 1, 3, und 12 der Fall (siehe: Tabelle 9). Die Stoffwerte für diese Betriebsbedingungen:

| | | |
|---------------|-----------|---|
| M_G^* | 9,52 kg/h | 2,64*10 ⁻³ kg/s |
| M_L^* | 24 kg/h | 6,67*10 ⁻³ kg/s |
| a | | 400 m ² /m ³ |
| ε | | 0,65 |
| f | | 1,131*10 ⁻³ m ² |
| ψ | | 1 |
| η' | | 0,282 cP (Wasser bei 100°C) |
| η_{H_2O} | | 1,138 cP |
| ρ' | | 968,6 kg/m ³ |
| ρ'' | | 0,7116 kg/m ³ (für Luft/ Dampfverhältnis wie bei den Versuchen 1,3,12) |
| g | | 9,81 m ² /s |

$$\left(\frac{M_G^*}{f} \right)^2 \frac{a}{\varepsilon^3} \frac{\rho''}{\rho'} \frac{\psi^2}{g} \left(\frac{\eta'}{\eta_{H_2O}} \right)^{0,2} = 0,4496$$

$$\frac{M_L^*}{M_G^*} \sqrt{\frac{\rho''}{\rho'}} = 0,0623$$

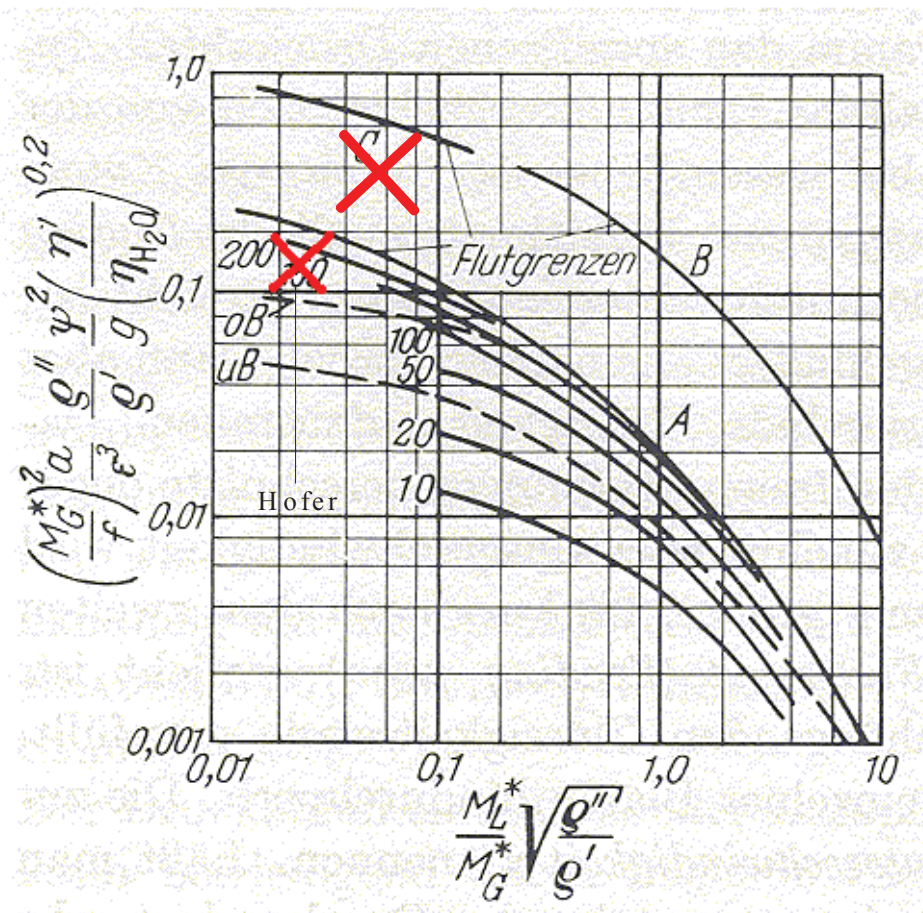


Abbildung 41: Belastung der Kolonne; Leva Diagramm [3]

- oB: obere Belastungsgrenze
- uB: untere Belastungsgrenze
- A Flutgrenzen regellose Schüttung
- B Flutgrenzen geschichtete Raschig-Ringe
- C Flutgrenzen Hordenfüllung

In Abbildung 41 sind der Betriebspunkt von den Versuchen 1, 3, und 12 und ein Betriebspunkt von Stephan Hofer [3] eingetragen. Der Betriebspunkt des Versuches 1 liegt näher bei den Flutgrenzen, weil sowohl der Feedmassenstrom als auch der Gasmassenstrom erhöht wurden. Beim Gasphasenstrom kommt diese Erhöhung durch den Zusatz von Luft zustande, beim Feedmassenstrom wurde der Durchsatz im Sinne einer höhern Anlagenkapazität erhöht. Wie in Abbildung 41 ersichtlich ist liegt der neue Betriebspunkt über der Flutgrenze für regellose Schüttungen, aber noch unter jener für geschichtete Raschigringe und Hordenfüllung. Die verwendete Stripkolonne ist zwischen

der regellosen und geschichteten Schüttung einzuordnen. Somit liegt die Kolonne laut dem Berechnungsmodell von Grasser–Widmer im oberen Belastungsbereich. Beim Betrieb der Kolonne mit einem Feedmassenstrom von 24kg/h und 4,67kg Luft pro Stunde, wie es bei den Versuchen 1, 3, und 12 der Fall war, kann es nach der Berechnung nach dem Modell von Grasser-Widmer zu einem Überschreiten der Flutgrenzen kommen. Bei Betrachtung der Massenbilanzen dieser drei Versuch (siehe: Tabelle 9) ist ersichtlich, dass die Größe des Brüdenstroms der einzelnen Versuchsläufe stark schwankt. So ergibt sich bei Versuch 1 ein Brüdenstrom von 15,81kg/h, bei Versuch 3 von 18,32kg/h und bei Versuch 12 sogar von 22,87kg/h, diese großen Unterschiede deuten auf ein zeitweiliges Überschreiten der Flutgrenzen hin. Um festzustellen, ob es bei diesen Belastungen tatsächlich zum Überschreiten der Flutgrenze kommt, müsste die Kolonne über einen längeren Zeitraum betrieben werden.

Analysenergebnisse:

Der Phenolindex wurde nur bei den Messungen 4 bis 7 bestimmt. Feed 1 und Feed 2 haben einen Phenolindex von 410mg/l, Feed 3 und Feed 4 von 370mg/l. Der bei den Versuchen 1, 2 und 3 gemessene TOC (FID Messung) der Brüden beträgt bei Versuch 1 zwischen 74 und 87 ppm, bei Versuch 2 zwischen 150 und 190 ppm und bei Versuch 3 zwischen 400 und 540 ppm.

Bei den Versuchen 8 bis 13 wurde der pH-Wert durch Zugabe von Natronlauge angehoben.

Tabelle 10: Analysenergebnisse der Strippversuche

| Feed/Sumpf Nr. | NH ₄ ⁺ [mg/l] | | CSB [mg/l] | | Leifähigkeit [mS/cm] | | pH Wert | |
|----------------|-------------------------------------|-------|------------|-------|----------------------|-------|---------|-------|
| | Feed | Sumpf | Feed | Sumpf | Feed | Sumpf | Feed | Sumpf |
| 1 | 134 | 50 | 1660 | 1640 | 1,68 | 0,69 | 8,65 | 8,62 |
| 2 | 144 | 39 | 1970 | 1890 | 1,46 | 0,51 | 8,79 | 8,56 |
| 3 | 199 | 68 | 2590 | 1952 | 2,06 | 0,85 | 8,90 | 8,58 |
| 4 | 173 | 30 | 3440 | 1575 | 1,66 | 0,48 | 8,90 | 8,46 |
| 5 | 190 | 15 | 3380 | 1425 | 1,52 | 0,34 | 8,95 | 8,41 |
| 6 | 178 | 4,6 | 3250 | 1125 | 1,62 | 0,17 | 9,02 | 8,06 |
| 7 | 189 | 11 | 3490 | 1300 | 1,67 | 0,27 | 8,96 | 8,16 |
| 8 | 290 | 0 | 1810 | 900 | 4,17 | 2,22 | 9,60 | 9,24 |
| 9 | 301 | 0,2 | 1380 | 646 | 3,99 | 2,08 | 9,65 | 9,54 |
| 10 | 297 | 0,1 | 1470 | 631 | 3,82 | 1,95 | 9,60 | 9,57 |
| 11 | 249 | 0,2 | 1430 | 498 | 3,56 | 2,05 | 9,63 | 9,87 |
| 12 | 125 | 0,3 | 3320 | 2370 | 1,26 | 0,62 | 9,56 | 9,14 |
| 13 | 147 | 0 | 3380 | 1670 | 1,36 | 0,67 | 9,50 | 9,29 |

Bei der Strippung kommt es in Abhängigkeit von den Prozessbedingungen zu einer deutlichen Reduktion der Schadstoffkonzentrationen in der wässrigen Phase. Die Ammonium- Stickstoffkonzentration kann um 60 bis 100% Punkte gesenkt werden. Eine Senkung des CSB ist ebenfalls ersichtlich, die Reduktionsraten liegen bei diesem Parameter

im Bereich von 50 bis 60% Punkten. Als weitere Parameter zu Beurteilung der Reinigungseffizienz werden die Leitfähigkeit und der pH-Wert dokumentiert. Der pH-Wert ändert sich nur geringfügig, betrachtet man hingegen die Änderung der Leitfähigkeit lässt sich der Reinigungseffekt gut verfolgen. Ein großer Teil der Ionen, die meist Schadstoffe darstellen, kann ausgetrieben werden. Die Leitfähigkeit der wässrigen Phase kann um bis zu 89% Punkte reduziert werden (siehe: Tabelle 11).

Tabelle 11: Reduktion vom CSB, des Ammonium-Stickstoffgehaltes, des pH-Werts und der Leitfähigkeit bei der Strippung

| Nummer | Reduktion des Ammonium Stickstoffs [% Pkt.] | Reduktion des CSB [% Pkt.] | Reduktion der Leitfähigkeit [% Pkt.] | Änderung des pH-Wertes [-] |
|--------|---|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 1 | 62,7 | 1,2 | 59,1 | -0,05 |
| 2 | 72,9 | 4,1 | 65,2 | -0,24 |
| 3 | 65,8 | 24,7 | 58,6 | -0,33 |
| 4 | 82,7 | 54,1 | 71,4 | -0,46 |
| 5 | 92,1 | 57,7 | 77,9 | -0,54 |
| 6 | 97,4 | 65,2 | 89,3 | -0,97 |
| 7 | 94,2 | 62,8 | 83,7 | -0,80 |
| 8 | 100 | 50,3 | 46,8 | -0,36 |
| 9 | 99,9 | 53,2 | 47,9 | -0,11 |
| 10 | 100 | 57,1 | 48,9 | -0,03 |
| 11 | 99,9 | 65,2 | 42,4 | 0,24 |
| 12 | 99,8 | 28,6 | 50,8 | -0,42 |
| 13 | 100 | 50,6 | 50,7 | -0,21 |

Bei Betrachtung der Analysenergebnisse ist eine Abhängigkeit der Reinigungseffizienz von den Prozessparameter leicht ersichtlich. Mit einer Sensitivitätsanalyse, die in den folgenden Abbildungen illustriert wird, wird die Bedeutung der Prozessbedingungen dargestellt.

Abbildung 42 zeigt die Abhängigkeit des CSB des Sumpfes als Funktion des Feedmassenstroms und des Luftvolumenstroms. Deutlich zu erkennen ist die bessere Reinigungsleistung bei einem geringeren Feedmassenstrom und einem geringeren Luftvolumenstrom. Die erniedrigte Reinigungsleistung bei einem höheren Luftdurchsatz widerspricht den Erwartungen mit einer größeren Desorptionsmittelmenge eine bessere Desorption zu erreichen. Die Ursache hierfür ist in der Senkung der Temperaturprofile im Stripper durch die eingeblasene Luft mit Raumtemperatur zu suchen. Eine Vorwärmung der Luft müsste zu besseren Reinigungsraten führen.

Derselbe Trend ist auch in der Abbildung 43 zu erkennen. Sowohl der Einfluss des Feedmassenstroms als auch des Luftvolumenstroms ist deutlich zu erkennen.

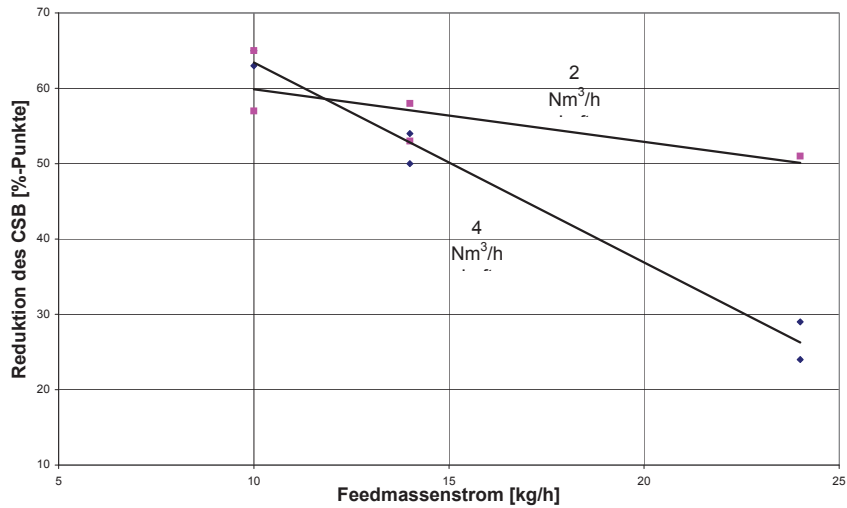


Abbildung 42: Reduktion des CSB als Funktion des Feedmassenstroms und des Luftmassenstroms

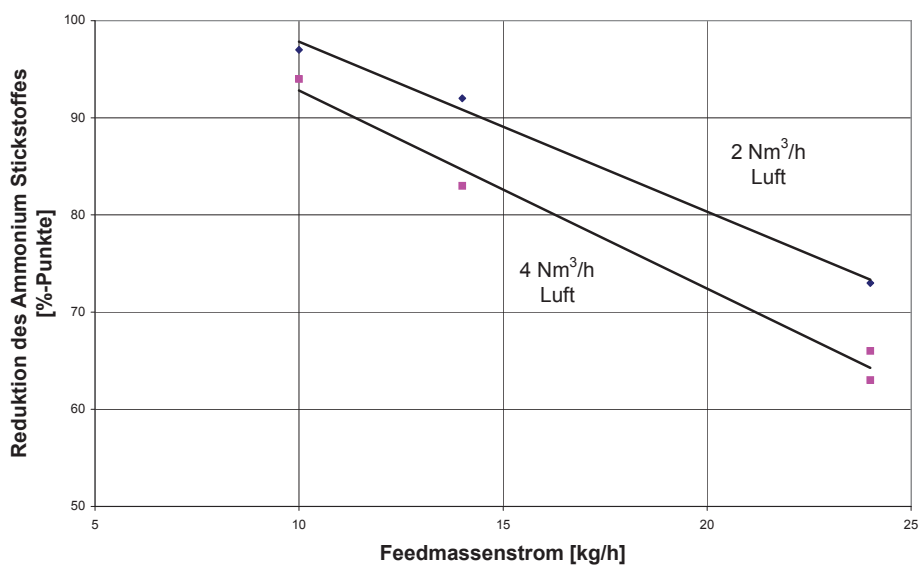


Abbildung 43: Reduktion des Ammonium- Stickstoffgehalts als Funktion des Feedmassenstroms und des Luftmassenstroms

In der Diplomarbeit von Stefan Hofer [3] erfolgt die Strippung nur mit Dampf als Desorptionsmittel. Es konnte dabei eine Reduktion der Schadstoffe um folgende Prozentpunkte erzielt werden:

- CSB 85 %
- Ammonium 99 %

Bei den Versuchsläufen dieser Diplomarbeit konnte bei Ammonium auch eine Reduktion von annähernd 100% erreicht werden, beim CSB hingegen konnte lediglich eine maximale Reduktion um 65 Prozentpunkte erreicht werden (siehe: Tabelle 11).

Prozesstemperaturen:

Die Messung der Feedtemperatur erfolgt mit einem Handmessgerät und liegt zwischen 22 und 24°C. Nach dem ersten Wärmetauscher steigt die Temperatur des Feeds bereits auf 40 bis 65°C an. Mit dem Wärmetauscher 1 ist es möglich eine Wärmerückgewinnungsquote (Verhältnis praktischer/theoretischer Energieaustausch) aus dem erhitzten Sumpf von bis zu 75 % zu erzielen (siehe: Tabelle 12). Nach dem Wärmetauscher 2 erreicht der Feed bis zu 100°C. Bei den einzelnen Versuchen stellten sich schnell gleichbleibende Temperaturen bei den Messstellen ein.

Tabelle 12: Prozesstemperaturen der Strippversuche

| Nummer | Temperatur nach WT1 [°C] | Temperatur nach WT2 [°C] | Temperatur vom Sumpf [°C] | WRG % |
|--------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------|
| 1 | 41-49 | 95-96 | 50-52 | 61 |
| 2 | 47-54 | 95-96 | 48-51 | 63 |
| 3 | 42-49 | 97-98 | 60-63 | 48 |
| 4 | 45-54 | 98 | 47-48 | 67 |
| 5 | 53-59 | 99 | 48-50 | 66 |
| 6 | 63-66 | 100 | 44-45 | 72 |
| 7 | 55-59 | 100 | 43-44 | 73 |
| 8 | 54-56 | 100 | 42-43 | 75 |
| 9 | 61-64 | 100 | 44-48 | 70 |
| 10 | 67-71 | 100 | 41-44 | 75 |
| 11 | 61-63 | 100 | 40-43 | 76 |
| 12 | 44-49 | 97-99 | 49-51 | 70 |
| 13 | 46-52 | 98-99 | 50-53 | 72 |

Wie bei den Analyseergebnissen ergibt sich auch bei den Temperaturen eine Abhängigkeit von den Prozessparameter. Tabelle 12 zeigt die Abhängigkeit der Feedtemperatur nach dem ersten Wärmetauscher als Funktion des Feedmassenstroms und des Luftvolumenstroms. Bei der Temperatur nach dem 2. Wärmetauscher muss festgehalten werden, dass bei einem Feedmassenstrom von 24kg/h (Versuche 1,2,3,12 und 13) die Endtemperatur von 100°C nicht erreicht werden konnte (siehe: Tabelle 12).

4.3.2 Die Biomassevergasungsanlage

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Gas- und Wasserreinigung werden mehrere Versuchsläufe mit der Versuchsanlage bei unterschiedlichen Prozessparameter und bei den unterschiedlichen Umbauphasen durchgeführt (siehe: Tabelle 14). Die Proben werden während des Betriebes gezogen (siehe Kapitel: 3.3.2, 3.3.3) und im Labor analysiert. (siehe: Kapitel: 3.4) Anschließend erfolgt die Bewertung und Interpretation der Ergebnisse, bei der Interpretation müssen auch die aufgetretenen Störungen beachtet werden. Zur leichteren Dokumentation wird eine durchlaufende Nummerierung der an verschiedenen Tagen erfolgten Versuche vorgenommen. (siehe: Tabelle 13)

Tabelle 13: Nummerierung der Versuche an der Versuchsanlage

| Nummerierung | Datum | Messung Nr. |
|---------------------|--------------|--------------------|
| 1 | 07.06.2001 | 1 |
| 2 | 07.06.2001 | 2 |
| 3 | 07.06.2001 | 3 |
| 4 | 02.07.2001 | 1 |
| 5 | 02.07.2001 | 2 |
| 6 | 02.07.2001 | 3 |
| 7 | 11.07.2001 | 1 |
| 8 | 11.07.2001 | 2 |
| 9 | 08.08.2001 | 1 |
| 10 | 08.08.2001 | 2 |
| 11 | 08.08.2001 | 3 |
| 12 | 24.08.2001 | 1 |
| 13 | 24.08.2001 | 2 |
| 14 | 07.11.2001 | 1 |
| 15 | 07.11.2001 | 2 |
| 16 | 07.11.2001 | 3 |

Tabelle 14: Prozessparameter an der Vergasungsanlage

| Versuchsnummer | Anlagentechnische Änderungen | | | Prozessparameter | |
|----------------|------------------------------|--------------------|---|------------------|------------------------|
| | Messstelle Rohgas | Messstelle Reingas | Anlagen umbauphase | Teilverbrennung | gesiebte Hackschnitzel |
| 1 | 1 | 3 | original | nein | ja |
| 2 | 1 | 3 | original | nein | ja |
| 3 | 1 | 3 | original | ja | ja |
| 4 | 1 | 3 | original | ja | ja |
| 5 | 1 | 3 | original | nein | ja |
| 6 | 1 | 3 | original | nein | nein |
| 7 | 1 | 3 | original | ja | ja |
| 8 | 1 | 3 | original | nein | ja |
| 9 | 1 | 3 | mit RME | ja | ja |
| 10 | 1 | 3 | mit RME | nein | ja |
| 11 | 1 | 3 | mit RME | nein | ja |
| 12 | 1 | 3 | mit RME | nein | ja |
| 13 | 1 | 3 | mit RME | nein | ja |
| 14 | 2 | 3 | mit Filteranlage über Bypass (nur Gaskühlwärmetauscher) | nein | ja |
| 15 | 2 | 3 | mit Filteranlage | ja | ja |
| 16 | 2 | 3 | mit Filteranlage | nein | ja |

Anmerkungen: Die anlagentechnischen Änderungen sind in Kapitel 4.1 in Abbildung 29 und Abbildung 30 dargestellt.

4.3.2.1 Störungen:

Bei einigen Versuchen kam es zu Störungen. Bei Betrachtung und bei der Interpretation der Messergebnisse muss ein eventueller Einfluss dieser Störungen auf die Messergebnisse berücksichtigt werden.

Bei den *Versuchen 1 bis 6* wurden alle Toluolfaschen mit einem Gemisch aus Isopropanol und Toluol (1:1 Mass. %) befüllt. Laut Kapitel 3.3.2.2 sollte nur die erste Toluolfasche mit einem Gemisch befüllt werden.

Bei *Versuch 4* kam es aufgrund eines Leckes in der Probenahmeapparatur zu keiner Reingasprobenahme.

Bei *Versuch 7* wurde der Reingasentnahmestutzen vor Einführung der Sonde nicht genügend gereinigt, dadurch kam es zu einer Verschmutzung des Filters durch Ablagerungen aus dem Stutzen.

Bei den *Versuchen 9 bis 11* wurden sowohl die Filter der Rohgas als auch der Reingasprobenahme nach der Toluolextraktion mit Aschenstaub verschmutzt. Dadurch ergibt sich eine zu große Auswaage nach der Toluolextraktion.

Beim *Versuch 12* hatte der Tropfenfänger der Kondensationsvorrichtung der Rohgasprobenahme eine geringe Leckage.

Beim *Versuch 12* wurde bei der Reingasprobenahme der Filter nicht beheizt. Es erfolgte keine Extraktion des Filters, weil er beim Handling im Labor stark verschmutzt wurde.

Beim *Versuch 15* fiel die Temperatur der Rohgasprobenahmeleitung zeitweise auf 80°C und die der Reingasprobenahmeleitung zeitweise auf 75°C.

Probleme traten auch mit der Einbringung des RME in den Waschzyklus auf. Bei den Versuchen 9 und 10 sank der Anteil des RME, aufgrund der Kondensation von Wasser aus dem Gas, mit Fortlauf des Versuches. Zusätzlich kam es bei der Betriebstemperatur von 40 bis 45°C des Venturiwäschers zu einer Entmischung und es wurde fast nur mehr Wasser in den Wäscher eingespritzt. Ab Versuch 11 wurde eine Mischvorrichtung eingebaut, wodurch das Problem der Entmischung gelöst werden sollte. Bei den Versuchen 13 und 14 wurde in regelmäßigen Abständen eine Umlaufprobe des Waschmediums (Mischung RME/Wasser) des Venturiwäscher entnommen, um eine Bewertung der Güte der Mischvorrichtung zu ermöglichen. In Tabelle 15 sind die Mischverhältnisse der Umlaufproben mit fortlaufender Betriebszeit zu sehen. Blieb das Verhältnis über die ersten 3 Stunden nahezu konstant, senkte sich der RME Anteil bis zum Ende der Messung nach 7 Stunde auf 60 Vol. %. Der Anteil des RME sank somit über den gesamten Versuchszeitraum um 13 % Punkte. Für einen dauerhaften Betrieb muss noch eine bessere Mischvorrichtung eingebaut werden, obwohl auch diese schon zu einer erheblichen Verbesserung betrug.

Tabelle 15: Entmischung des RME/ Wassergemisches im Venturiwäscher bei den Versuchen 13+14

| Zeitpunkt der Entnahme | RME Anteil [Vol. %] |
|------------------------|---------------------|
| Vor Messung | 73 |
| Nach 1 Stunde | 71 |
| Nach 3 Stunden | 72 |
| Nach 5 Stunden | 67 |
| Nach 7 Stunden | 60 |

4.3.2.2 Ergebnisse der Gasanalyse

Die Analyse der Gasproben erfolgt nach Kapitel 3.4.1. Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der gravimetrischen Analysen der einzelnen Versuchsläufe, die gesamten Messprotokolle sind im Kapitel Anhang 6.2 zu finden. Bei Betrachtung der Messergebnisse sei auf die für die Diplomarbeit unter Kapitel 3.2 getroffenen Definitionen verwiesen.

Tabelle 16: Staub, Teer, Salz, Partikelgesamtwerte der Gasanalyse

| Versuchsnummer | Reingas | | | | Rohgas | | | |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| | Staub [mg/Nm ³] | Teere [mg/Nm ³] | Salze [mg/Nm ³] | Partikel [mg/Nm ³] | Staub [mg/Nm ³] | Teere [mg/Nm ³] | Salze [mg/Nm ³] | Partikel [mg/Nm ³] |
| 1* | | | | | 638 | 408 | 44 | 318 |
| 2* | | | | | 327 | 41 | 19 | 255 |
| 3* | | | | | 243 | 97 | 2 | 208 |
| 4* | | | | | 170 | 169 | 9 | 70 |
| 5* | 92 | 47 | 1 | 60 | 253 | 100 | 11 | 198 |
| 6* | 85 | 44 | 0 | 39 | 275 | 87 | 9 | 182 |
| 7* | 183 | | | | 122 | | | |
| 8 | 158 | | | | 307 | | | |
| 9* | 71 | 30 | 1 | 55 | 111 | 41 | 2 | 92 |
| 10 | 120 | 39 | 2 | 77 | 252 | 101 | 4 | 216 |
| 11* | 177 | 73 | 2 | 103 | 468 | 230 | 2 | 92 |
| 12* | 1996 | | | | 186 | 184 | 1 | 124 |
| 13 | 187 | 89 | 2 | 105 | 464 | 258 | 4 | 377 |
| 14 | 136 | 71 | 1 | 65 | 146 | 46 | 1 | 115 |
| 15* | 31 | 27 | 0 | 12 | 73 | 47 | 2 | 38 |
| 16 | | | | | 40 | 29 | 1 | 20 |

Anmerkungen: Wie schon in Kapitel 3.4.1 erwähnt ergibt sich der Gesamtstaubwert, wie er in der Tabelle 16 angeführt ist aus der Summe des Staubgehaltes im Filter und dem Rückstand in der Sonde. Der Gesamtteerwert ergibt sich aus der Summe der Teere im Filter, den Teeren in der Kondensationsvorrichtung und den Teeren in der Leitung. Bei allen mit * gekennzeichneten Versuchen traten Störungen auf (siehe: 4.3.2.1)

Zum Vergleich der erzielten Reinigungsleistung sind in Tabelle 17 einige Werte aus der Diplomarbeit von Jens Auff'm Ordt [4] angeführt. Bei der Durchführung der Messungen seiner Diplomarbeit wurde der Reingasstrom an der Stelle 4 und die Entnahme des Rohgasstromes an der Stelle 1 (siehe: Abbildung 30) vorgenommen.

Tabelle 17: Gasbelastungswerte von Auff'm Ordt

| | Rohgas | Reingas |
|----------------------------|---------------|----------------|
| Staubkonzentration | | |
| | 200 bis 500 | 8 bis 13 |
| [mg /Nm ³] | | |
| Teerkonzentrationen | | |
| | 100 bis 500 | 5 bis 30 |
| [mg /Nm ³] | | |

In den folgenden Tabelle 18, 17 und 18 ist eine Aufspaltung der Gesamtwerte zu sehen.

Die Auswertungsergebnisse der Filter:

Betrachtet man die Gesamtwerte der Tabelle 16 und die Werte der Tabelle 18 sieht man das ein Großteil der Verschmutzungen des Gases bereits im Filter aufgefangen werden. Bei Versuch 12 ist ein stark überhöhter Wert aufgrund der fehlenden Filterbeheizung zu sehen, dies führte zu Kondensation von Gaskomponenten im Filter, welche bei einer vorliegenden Beheizung erst in der Kondensationsvorrichtung erfolgt.

Tabelle 18: Ergebnisse der Filter

| Versuchsnummer | Reingas | | | | Rohgas | | | |
|----------------|---|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| | Staub [mg/Nm ³] | Teere [mg/Nm ³] | Salze [mg/Nm ³] | Partikel [mg/Nm ³] | Staub [mg/Nm ³] | Teere [mg/Nm ³] | Salze [mg/Nm ³] | Partikel [mg/Nm ³] |
| 1 | | | | | 543 | 182 | 44 | 318 |
| 2 | Es wurde keine Reingasprobe gezogen | | | | 284 | 11 | 19 | 255 |
| 3 | | | | | 196 | 78 | 2 | 168 |
| 4 | Durch Leck erfolgte keine Reingasprobenahme | | | | 142 | 63 | 9 | 70 |
| 5 | 88 | 27 | 1 | 60 | 241 | 32 | 11 | 198 |
| 6 | 76 | 37 | 0 | 39 | 257 | 67 | 9 | 182 |
| 7 | 162 | Filter wurden für mikroskopische | | | 118 | Filter wurden für mikroskopische | | |
| 8 | 148 | Analyse aufbewahrt | | | 286 | Analyse aufbewahrt | | |
| 9 | 70 | 14 | 1 | 55 | 105 | 11 | 2 | 92 |
| 10 | 112 | 33 | 2 | 77 | 249 | 28 | 4 | 216 |
| 11 | 163 | 58 | 2 | 103 | 425 | 38 | 2 | 385 |
| 12 | 1991 | Filterextraktion wegen | | | 177 | 52 | 1 | 124 |
| | | Verschmutzung nicht möglich | | | | | | |
| 13 | 182 | 75 | 2 | 105 | 435 | 54 | 4 | 377 |
| 14 | 131 | 65 | 1 | 65 | 141 | 25 | 1 | 115 |
| 15 | 32 | 19 | 0 | 12 | 69 | 28 | 2 | 38 |
| 16 | Es wurde keine Reingasprobe gezogen | | | | 40 | 18 | 1 | 20 |

Die Auswertungsergebnisse der Kondensationsvorrichtung:

In der Kondensationsvorrichtung wird ein weiterer bedeutender Teil der Verschmutzung des Rohgases absorbiert. Fallen in den Wasserflaschen recht geringe Mengen, mit Ausnahme des Versuches 12, bei dem die Filter und die Leitungsbeizung ausgeschaltet war, an, so werden in den Toluolflaschen noch beträchtliche Mengen an organischen Verschmutzungen absorbiert.

Tabelle 19: Ergebnisse der Bestimmung der Kondensationsvorrichtung

| Versuchs nummer | Reingas Kondensationsvorrichtung | | Rohgas Kondensationsvorrichtung | |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | Wasserflaschen | Toluolflaschen | Wasserflaschen | Toluolflaschen |
| | Teere [mg/Nm ³] | Teere [mg/Nm ³] | Teere [mg/Nm ³] | Teere [mg/Nm ³] |
| 1 | | | 161 | 30 |
| 2 | | | 19 | 0 |
| 3 | | | 78 | 3 |
| 4 | | | 57 | 36 |
| 5 | 1 | 19 | 29 | 38 |
| 6 | 4 | 4 | 8 | 12 |
| 7 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| 8 | 4 | 8 | 59 | 10 |
| 9 | 1 | 15 | 13 | 13 |
| 10 | 1 | 5 | 67 | 6 |
| 11 | 1 | 14 | 155 | 24 |
| 12 | 104 | 16 | 113 | 11 |
| 13 | 4 | 10 | 165 | 14 |
| 14 | 1 | 5 | 11 | 9 |
| 15 | 5 | 3 | 14 | 5 |
| 16 | | | 6 | 5 |

Die Auswertungsergebnisse der Sonde und der Leitung:

Wie in der Tabelle 20 ersichtlich ist, konnte mit Hilfe der Leitungsbeheizung eine Kondensation der Verschmutzungen in der Leitung weitgehendst verhindert werden. Bei den Rohgasprobenahmen traten zwar noch Konzentrationen bis zu 35mg Teer/Nm³ auf so waren in der Reingasleitung keine Teere mehr nachzuweisen. In der Sonde konnten zum Teil noch größere Mengen an Verschmutzungen nachgewiesen werden. Ein Teil des Staubes wurde somit bereits in der Sonde abgeschieden.

Tabelle 20: Ergebnisse der Analyse der Sonde und der Leitung

| Versuchsnummer | Reingas | | Rohgas | |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Sonde | Leitung | Sonde | Leitung |
| | Staub [mg/Nm ³] | Teere [mg/Nm ³] | Staub [mg/Nm ³] | Teere [mg/Nm ³] |
| 1 | | | 95 | 35 |
| 2 | | | 42 | 11 |
| 3 | | | 23 | 9 |
| 4 | | | 28 | 13 |
| 5 | 4 | 0 | 11 | 1 |
| 6 | 9 | 0 | 18 | 0 |
| 7 | 23 | 0 | 5 | 1 |
| 8 | 10 | 0 | 21 | 28 |
| 9 | 2 | 0 | 6 | 4 |
| 10 | 8 | 0 | 3 | 0 |
| 11 | 14 | 0 | 43 | 13 |
| 12 | 5 | 0 | 9 | 8 |
| 13 | 5 | 0 | 29 | 25 |
| 14 | 5 | 0 | 5 | 1 |
| 15 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| 16 | | | 1 | 0 |

Die Auswertungsergebnisse der Filterstäube bei Betrieb des Heißgasfilters:

Bei den Versuchen 14 und 15 mit der Heißgasfilteranlage wurde jeweils nach der Messung Filterstaub aus dem Heißgasfilter der Kammer 1 entnommen, getrocknet, gewogen und mit Toluol extrahiert. Nach der Extraktion erfolgte wiederum eine Trocknung und Auswage. Dieselbe Vorgehensweise wurde beim Zyklon angewendet. Dadurch konnte festgestellt werden, wie hoch der Anteil an teerartigen Stoffen in den jeweiligen Stäuben ist. Ein zu hoher Wert könnte zu Verstopfungen des Filtermediums führen und dies muss unter allen Umständen vermieden werden. Tabelle 21 zeigt die Ergebnisse der Extraktion. Der Anteil der teerartigen Stoffe liegt beim Filterstaub bei lediglich 10 und beim Zyklonstaub bei 4,8 Mass.-%. Dieser geringe Anteil sollte auch im Dauerbetrieb zu keinerlei Komplikationen führen.

Tabelle 21: Extrahierbarer Anteil im Heißgasfilterstaub und im Zyklonstaub

| Probenbezeichnung | Extrahierter Anteil [Mass.-%] |
|--------------------|-------------------------------|
| Filter, Versuch 14 | 9,5% |
| Filter, Versuch 15 | 9,5% |
| Zyklon, Versuch 16 | 4,8% |

4.3.2.3 Bewertung und Interpretation der Messwerte der Gasanalyse

Durch die Umstellung des Betriebes des Venturiwäschers auf ein Gemisch aus RME und Wasser als Waschmedium wurde eine verbesserte Reinigung des Gases erwartet. Bei Betrachtung der Messwerte konnte eine solche Verbesserung leider nicht nachgewiesen werden. So lag die Staubkonzentration des Reingases vor Einbringung des RME im Bereich von 85 bis 185 mg/Nm³ und nach der Einbringung immer noch im Bereich von 70 bis 190 mg/Nm³. Auch bei den anderen Parameter der Gasanalyse konnten keine Verbesserungen erzielt werden. Die nicht erzielte Verbesserung lässt sich durch die Probleme beim Betrieb des Wäschers mit der Mischung erklären. Wie unter Kapitel 4.3.2.1 angeführt kam es immer wieder zur Entmischung des Gemisches, sobald dieses Problem beherrscht wird, sollte sich auch eine bessere Reingasqualität einstellen. Betrachtet man die Ergebnisse der Filterauswertung so ist bei den Versuchen 9 bis 14 ersichtlich, dass der Filterteergehalt im Reingas größer als der im Rohgas ist. Die Ursache ist in der Einbringung des RME in den Waschzyklus zu vermuteten, ein Teil des RME wurde mit der Gasphase mitgerissen und wurde dann im Filter der Reingasprobenahme aufgefangen und in der Analyse mitbestimmt.

Bei einigen Versuchsläufen wurde das bei der Vergasung entstandene Gas in der Brennkammer teilweise verbrannt (siehe: Tabelle 14). Durch diese Teilverbrennung senkt sich zwar einerseits der Heizwert des Gases, auf der anderen Seite werden aber auch

organische Verschmutzungen gecrackt, wodurch eine niedrigere Belastung des Gases zu erwarten ist. Durch die Teilverbrennung konnte vor allem beim Staubgehalt eine wesentlich bessere Gasqualität nachgewiesen werden. Lagen die Staubkonzentration im Rohgas ohne Nachverbrennung im Bereich von 250 bis 640 mg/Nm³, so lagen bei erfolgter Nachverbrennung nur noch Konzentrationen im Bereich von 110 bis 240 mg /Nm³ vor (siehe Tabelle 16).

Mit der Inbetriebnahme des Heißgasfilters konnten wesentlich Verbesserungen erzielt werden. Die Staubbelastung des Rohgases konnte auf 40 bis 75 mg /Nm³ gesenkt werden. Bei den Versuchen ohne den Heißfilter lagen die Werte noch im Bereich von 110 bis 640 mgStaub /Nm³. Ebenfalls kam es zu einer Senkung der Teerbelastung des Rohgases von einem Bereich von 40 bis 410 mg /Nm³ ohne den Heißgasfilter zu einem Bereich von 30 bis 50mg /Nm³ nach der Installation des Heißgasfilters (siehe: Tabelle 16). Im Reingas konnte ein Staubwert von 31 mg/Nm³ und ein Teerwert von 27 mg /Nm³ erzielt werden. Diese Werte genügen zwar den Anforderungen des Einsatzes des Gases in einem Gasmotor (siehe: Tabelle 2) schon, es konnte aber noch nicht die gleiche Reinheit des Gases wie bei den Versuchen von Jens Auff`m Ordt erzielt werden (siehe: Tabelle 17). Dabei ist jedoch auf die unterschiedlichen Entnahmestellen der Gasproben Bedacht zu nehmen. Mit dem Einbau des Heißgasfilters konnten die Grenzwerte bereits nach dem Venturiwäscher unterschritten werden, bei den Versuchen von Jens Auff`m Ordt handelt es sich um Reingaswert die erste nach dem Durchlaufen der Kühlkolonne erreicht werden konnten.

4.3.2.4 Ergebnisse und Interpretation der Waschmediumanalyse

Die Analyse des Waschwassers, bzw. der wässrigen Phase des Waschmediums nach dem Einbringen des RME in den Waschzyklus erfolgt nach Kapitel 3.4.2. Die folgenden Tabellen zeigen sowohl die Ergebnisse der gravimetrischen Analysen, als auch der nasschemischen Analyse der einzelnen Versuchsläufe, die gesamten Messprotokolle sind im Kapitel Anhang 6.2 zu finden.

Wie aus Tabelle 22 ersichtlich ist, liegen die Schadstoffkonzentrationen im Waschwasser des Strahl- und Venturiwäschers noch weit über den erlaubten Grenzwerten für die Indirekteinleitung (siehe: Tabelle 3). Deshalb ist auch eine weitere Behandlung des Waschwassers in einer Strippkolonne, wie sie bereits in Kapitel 4.3.1 ausführlich beschrieben und dokumentiert wurde, unumgänglich.

Tabelle 22: Gesamtbetrachtung der Belastung des Waschwassers

| | | Wäscher 1 | Wäscher 2 |
|------------------------------|--------|------------------|------------------|
| CSB | [mg/l] | 1200 bis 3150 | 800 bis 1750 |
| Cyanide | [mg/l] | 0,2 bis 1,3 | 0,1 bis 0,6 |
| wasserdampfflüchtige Phenole | [mg/l] | 220 bis 450 | 70 bis 460 |
| ges. Phenole | [mg/l] | 240 bis 550 | 85 bis 470 |
| NH ₄ ⁺ | [mg/l] | 120 bis 200 | 120 bis 350 |
| GER | [mg/g] | 5 bis 10 | 3 bis 6 |

In Kapitel 4.2.2 konnte bereits in Laborversuchen gezeigt werden, dass das Gleichgewicht der Phenole bei einer Mischung aus RME und Wasser auf der Seite des RME liegt. Dieser Trend konnte auch bei der Analyse des Waschwassers nach dem Einbringen des RME in den Waschzyklus des Venturiwäschers verfolgt werden. Tabelle 23 zeigt die positive Wirkung des RME deutlich auf. So konnte die Phenolkonzentration auf Werte im Bereich von 85 bis 200 mg/l gesenkt werden. Bei den anderen Parameter konnte keine signifikante Verbesserung nachgewiesen werden.

Tabelle 23: Betrachtung der Phenolkonzentration im Venturiwäscher

| | | ohne RME | mit RME |
|-------------------------------------|--------|-----------------|----------------|
| ges. Phenole in der wässrigen Phase | [mg/l] | 300 bis 450 | 85 bis 200 |

Wie Tabelle 24 zeigt, konnte durch Einbau des Heißgasfilters die Belastung des Waschwassers des Strahlwäscher mit Feststoffen von einem Bereich von 5 bis 10 mg/g auf einen Bereich von 1 bis 1,5 mg/g gesenkt werden. Eine deutliche Verbesserung konnte auch bei der Belastung des Waschwassers mit Cyaniden erzielt werden. Lagen die Konzentration vor Installation des Heißgasfilters noch im Bereich von 0,1 bis 1,2 mg/l, konnten nach dem Einbau keine Cyanide mehr nachgewiesen werden.

Tabelle 24: Betrachtung des GER und der Cyanidkonzentration

| | | ohne Filter | mit Filter |
|----------------------------|--------|-------------|----------------------|
| GER (Wäscher 1) | [mg/g] | 5 bis 10 | 1 bis 1,5 |
| Cyanide (beide Wäscher) | [mg/l] | 0,1 bis 1,2 | nicht nachweisbar |

5 Zusammenfassung

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde eine möglichst abgeschlossene Betrachtung der Probleme und der Nutzen von Biomassevergasungsanlagen im allgemeinen, und der am Institut für Wärmetechnik an der Technischen Universität installierten im speziellen, angestrebt.

Kapitel 1 zeigt die ökologischen und ökonomischen Vorteile von der Nutzung von Biomasse zur Gewinnung von Wärme und elektrischer Energie und das Bestreben der Europäischen Union dieses Potenzial in den nächsten Jahrzehnten effizienter zu nützen auf. Es wird jedoch auch auf den hohen verfahrenstechnischen Aufwand, der zur Erreichung einer ausreichenden Gasqualität notwendig ist hingewiesen. Die Nassreinigung des Gases führt zu einer Verlagerung der Schadstoffe in das Washwasser, welches aufgrund von ökologischen und auch ökonomischen Gründen in die Kanalisation eingeleitet werden sollte. Zur Erreichung der Grenzwerte, die bei einer Einleitung in die Kanalisation eingehalten werden müssen, ist jedoch eine aufwändige Wasseraufbereitung notwendig.

In Kapitel 2 wird die Biomassevergasungsanlage und der Entstehungsweg der Schadstoffe im Detail beschrieben. Die verfahrenstechnischen Möglichkeiten zur Gas- und Wasserreinigung werden aufgezeigt und hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für die Anwendung bei einer Biomassevergasungsanlage bewertet.

In Kapitel 3 werden eigene Definitionen der Schadstoffgruppen in Anlehnung an die ebenfalls in diesem Kapitel beschriebenen Bestimmungsverfahren getroffen. Sie bilden die Grundlage für die Bewertung der durch die durchgeführten Messungen an der Anlage erhaltener Messwerte. Bei Vergleich mit Messwerten von anderen Forschungsprojekten ist immer auf diese Definitionen und die speziellen Bestimmungsmethoden Bedacht zu nehmen.

Kapitel 4 umfasst die praktischen Versuchsläufe von den Vorversuchen im Labor bis hin zu den Versuchen an der Biomassevergasungsanlage, sowie die durchgeführten anlagentechnischen Änderungen im Zuge der Arbeiten zur Diplomarbeit. Die neuen Anlagenteile und die Änderungen der Betriebsparameter werden im Detail beschrieben und mit den ermittelten Messwerten bewertet. Dabei erwies sich vor allem der Einbau des Heißgasfilters, als sehr effektiver Reinigungsschritt. Das Einbringen des RME in den Waschzyklus war mit einigen Problemen verbunden, so kam es während dem Betrieb zu einer Entmischung des RME und des Wassers und so konnte nicht die erhoffte Verbesserung der Reinigungsleistung erzielt werden, bei einer stabilen Betriebsführung sollte sich aber auch das Einbringen des RME als durchaus sinnvolle Maßnahme herausstellen. Der Betrieb der Strippkolonne mit einem Gemisch aus Wasserdampf und Luft brachte ebenfalls nicht die erwünschten Verbesserungen, durch eine Vorwärmung der Luft sollte aber auch in der Strippkolonne eine verbesserte Reinigungsleistung erzielt werden können.

6 Anhang

6.1 Verzeichnisse

6.1.1 Literaturverzeichnis

- [1] Ingwald Obernberger, Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen, 1997
- [2] Ingwald Obernberger, Alfred Hammerschmid, Dezentrale Biomasse-Kraft-Wärme-kopplung, 1 Auflage, März 1999
- [3] Stephan Hofer, Aufbereitung von Abwässern aus Biomassevergasungsanlagen, Dezember 2000
- [4] Jens Auff'm Ordt, Partikel- und Teermessung an einer Biomassevergasungsanlage, Juli 2000
- [5] Markus Kleinhapfl, Martin Pogoreutz, Gasreinigung bei thermischen Vergasungsprozessen von Biomasse, Dezember 1999
- [6] Thomas Nussbaumer, Grundlagen der Holzvergasung, Separatdruck aus „HeizungKlima“ Nr. 7/ 1990
- [7] T.A. Milne, NREL, N. Abatzoglou, Kemetrie, Inc. , R.J. Evans, NREL, Biomass Gasifier « Tars» : Their Nature, Formation and Conversion, Nov. 1998
- [8] DIN 38 409 Teil 41, Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfes, 2 Auflage, Juli 1990
- [9] DIN 38 409 Teil 16, Bestimmung des Phenolindex, 2 Auflage, Juli 1990
- [10] DIN 38 405 Teil 13, Bestimmung von Cyaniden, 2 Auflage, Juli 1990
- [11] DIN 38 406 Teil 5, Bestimmung von Ammonium-Stickstoff, 2 Auflage, Juli 1990
- [12] Peter W. Atkins, Physikalische Chemie, 2 Auflage 1996
- [13] Josef Draxler, Vorlesungsskriptum Thermische Verfahrenstechnik 2, 2001
- [14] Chem. –Ing. –Tech. 57 (1985) Nr. 8

6.1.2 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| ABBILDUNG 1: GRUNDVERFAHRENSFLIEBBILD DES BHKW | 10 |
| ABBILDUNG 2: VERFAHRENSFLIEBBILD DES BHKW..... | 11 |
| ABBILDUNG 3: REAKTIONSPRODUKTE BEI DER VERGASUNG | 14 |
| ABBILDUNG 4: ZONEN BEI DER VERGASUNG | 15 |
| ABBILDUNG 5: DAMPFDRÜCKE EINER IDEALEN BINÄREN MISCHUNG | 34 |
| ABBILDUNG 6: DAMPFDRÜCKE EINER REALEN BINÄREN MISCHUNG | 34 |
| ABBILDUNG 7: DAMPFDRUCKKURVEN DER LÖSUNGSMITTEL | 36 |
| ABBILDUNG 8: APPARATUR ZUR GASPROBENAHME [5]..... | 38 |
| ABBILDUNG 9: MESSSTUTZEN AN DER GASLEITUNG [4]..... | 38 |
| ABBILDUNG 10: DIE SONDE (DURCHMESSER DES HAUPTSTÜCKES: LÄNGE: 53CM)..... | 39 |
| ABBILDUNG 11: EINZELTEILE DES FILTERS (GLASWOLLE, GLASFASERFILTERPAPIER, BODENGITTER, FILTERHÜLSE (VON LINKS NACH RECHTS))..... | 39 |
| ABBILDUNG 12: DIE GASPROBEENTNAHMELEITUNG | 40 |
| ABBILDUNG 13: TEMPERATURKONTROLLE DER GASPROBEENTNAHMELEITUNG | 40 |
| ABBILDUNG 14: DIE KONDENSATIONSEINRICHTUNG..... | 41 |
| ABBILDUNG 15: TROCKNUNG DES GASSTROMES MIT SILIKAGEL (REIN- UND ROHGAS)..... | 42 |
| ABBILDUNG 16: SOXLETHEXTRAKTOR | 45 |
| ABBILDUNG 17: KONDENSATIONSEINRICHTUNG NACH DER ROHGASPROBENAHME | 46 |
| ABBILDUNG 18: KONDENSATIONSEINRICHTUNG NACH DER REINGASPROBENAHME..... | 46 |
| ABBILDUNG 19: AUFTEILUNG DER FILTRIERBAREN STOFFE IM FILTER..... | 47 |
| ABBILDUNG 20: ZUSAMMENSETZUNG DES ABWASSERS [4]..... | 49 |
| ABBILDUNG 21: APPARATUR ZUR AMMONIUM- STICKSTOFFBESTIMMUNG (WASCHFLASCHE MIT SCHWEFELSÄUREVORLAGE UND DESTILLATIONSKOLBEN) | 51 |
| ABBILDUNG 22: KALIBRIERKURVE PHENOLINDEX | 52 |
| ABBILDUNG 23: DESTILLATIONSEINRICHTUNG FÜR DIE BESTIMMUNG DER WASSERDAMPFFLÜCHTIGEN PHENOLE53 | |
| ABBILDUNG 24: KALIBRIERKURVE CSB..... | 54 |

| | |
|--|----|
| ABBILDUNG 25: THERMOREAKTOR FÜR DIE CSB BESTIMMUNG UND 4 PROBEN MIT UNTERSCHIEDLICHEM CSB . | 55 |
| ABBILDUNG 26: CYANID KALIBRIERKURVE | 56 |
| ABBILDUNG 27: UNTERSCHIEDLICHE VERFÄRBUNG DER PROBEN NACH ZUGABE DER CHEMIKALIEN JE NACH CYANIDGEHALT | 57 |
| ABBILDUNG 28: AUFBAU DES HEIßGASFILTERS | 58 |
| ABBILDUNG 29: VERFAHRENFLIEßBILD DER BIOMASSEVERGASUNGSANLAGE NACH DEN UMBBAUMABNAHMEN ... | 60 |
| ABBILDUNG 30: VERSUCHSAUFBAU HEIZÖL/WASSERGEMISCH ALS WASCHMEDIUM | 61 |
| ABBILDUNG 31: VERSUCHSAUFBAU HEIZÖL/WASSERGEMISCH ALS WASCHMEDIUM MIT FID..... | 63 |
| ABBILDUNG 32: VERGLEICH EINES HEIZÖL BZW. RME WASSERGEMISCH ALS WASCHMEDIUM | 64 |
| ABBILDUNG 33:GLEICHGEWICHTSKURVE VON PHENOL (WASSER/RME)..... | 66 |
| ABBILDUNG 34: KONZENTRATION VON PHENOL IN DER WÄSSRIGEN PHASE DES WASCHMEDIUM ALS FUNKTION DES RME ANTEILS..... | 66 |
| ABBILDUNG 35: GLEICHGEWICHT VON AMMONIAK ZWISCHEN DER DAMPF- UND FLÜSSIGPHASE BEI UNTERSCHIEDLICHEN DRÜCKEN [3]..... | 70 |
| ABBILDUNG 36: GLEICHGEWICHT VON AMMONIAK ZWISCHEN DER DAMPF- UND FLÜSSIGPHASE BEI UNTERSCHIEDLICHEN TEMPERATUREN [3]..... | 70 |
| ABBILDUNG 37: DISSOZIATIONSGLEICHWICHT FÜR DAS AMMONIUMION | 71 |
| ABBILDUNG 38: VERFAHRENSSCHEMA STRIPPEINHEIT..... | 72 |
| ABBILDUNG 39: MASSENILANZ DER STRIPPEINHEIT | 73 |
| ABBILDUNG 40: BELASTUNG DER KOLONNE; LEVA DIAGRAMM..... | 77 |
| ABBILDUNG 41: REDUKTION DES CSB ALS FUNKTION DES FEEDMASSENSTROMS UND DES LUFTMASSENSTROMS | 80 |
| ABBILDUNG 42: REDUKTION DES AMMONIUM- STICKSTOFFGEHALTS ALS FUNKTION DES FEEDMASSENSTROMS UND DES LUFTMASSENSTROMS | 80 |

6.1.3 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| TABELLE 1: TECHNISCHE DATEN DES BHKW | 12 |
| TABELLE 2: ZUSAMMENSTELLUNG DER MÖGLICHEN ROHGASBELASTUNG UND DER GRENZWERTE EINES OTTOGASMOTORS [5]..... | 16 |
| TABELLE 3: GEGENÜBERSTELLUNG BELASTUNG DES WASCHWASSERS UND DER GRENZWERTE..... | 19 |
| TABELLE 4: CHARAKTERISTISCHE GRÖßEN DER LÖSUNGSMITTEL [14] | 36 |
| TABELLE 5: RÜCKSTÄNDE VON HEIZÖL IM GASSTROM | 62 |
| TABELLE 6: CSB GEHALT IN DER WÄSSRIGEN PHASE DES WASCHMEDIUMS ALS FUNKTION DES RME ANTEILS.. | 68 |
| TABELLE 7: CSB GEHALT IN DER WÄSSRIGEN PHASE DES WASCHMEDIUMS ALS FUNKTION DES RME ANTEILS.. | 68 |
| TABELLE 8: NUMMERIERUNG DER STRIPPVERSUCHE..... | 74 |
| TABELLE 9: MASSENBIANZEN DER STRIPPVERSUCHE | 75 |
| TABELLE 10: ANALYSENERGEBNISSE DER STRIPPVERSUCHE..... | 78 |
| TABELLE 11: REDUKTION VOM CSB, DES AMMONIUM-STICKSTOFFGEHALTES, DES PH-WERTS UND DER LEITFÄHIGKEIT BEI DER STRIPPUNG..... | 79 |
| TABELLE 12: PROZESSTEMPERATUREN DER STRIPPVERSUCHE | 81 |
| TABELLE 13: NUMMERIERUNG DER VERSUCHE MIT DER VERSUCHSANLAGE | 82 |
| TABELLE 14: PROZESSPARAMETER AN DER VERGASUNGSANLAGE..... | 83 |
| TABELLE 15: STAUB, TEER, SALZ, PARTIKELGESAMTWERTE DER GASANALYSE..... | 85 |
| TABELLE 16: ERGEBNISSE DER FILTERANALYSE | 87 |
| TABELLE 17: ERGEBNISSE DER ANALYSE DER KONDENSATIONSEINRICHTUNG | 88 |
| TABELLE 18: ERGEBNISSE DER ANALYSE DER SONDE UND DER LEITUNG | 89 |
| TABELLE 19: DURCHSCHNITTLICHE BELASTUNG DES WASCHWASSERS | 92 |

6.2 Messprotokolle

6.2.1 Protokolle der Gasmessungen

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 07.06.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 1 0,613

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>111,3</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>181,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>26,9</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>43,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>194,6</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>317,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>332,9</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>543,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>33,4</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>98,5</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | <u>2,4</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | <u>1,5</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | <u>11,2</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>98,5</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>3,4</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | <u>18,4</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>160,7</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | <u>30,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|-------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>21,7</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>58,1</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>35,3</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>94,8</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:Rückstandmassen:Konzentrationen:

| | | | |
|---------------|--------------------------|---------------|---|
| Teerwert: | <u>250,0</u> [mg] | Teerwert: | <u>407,7</u> [mg/Nm ³ tr] |
| | | | |
| Partikelwert: | <u>194,6</u> [mg] | Partikelwert: | <u>317,5</u> [mg/Nm ³ tr] |
| | | | |
| Staubwert: | <u>391,0</u> [mg] | Staubwert: | <u>637,7</u> [mg/Nm ³ tr] |
| | | | |
| Salzwert: | <u>12,0</u> [mg] | Salzwert: | <u>43,9</u> [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 07.06.2001
 MessungNr.: 2

Gasprobenvolumen [Nm³]
 0,634

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | 6,7 | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | 10,5 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | 12,0 | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | 18,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | 161,5 | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | 254,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 180,2 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 284,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | 3,7 | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|--------------------------------------|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | 8,3 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 3,8 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 12,1 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | 0,0 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 19,1 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|-------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | 6,8 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 26,8 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 10,7 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 42,3 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:Rückstandmassen:Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | 25,6 | [mg] | Teerwert: | 40,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | 161,5 | [mg] | Partikelwert: | 254,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 207,0 | [mg] | Staubwert: | 326,7 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | 12,0 | [mg] | Salzwert: | 18,9 | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs:
MessungsNr.:02.07.2001
1Gasprobenvolumen [Nm³]
0,869

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>54,7</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>62,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>8,0</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>9,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>60,6</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>69,8</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>123,3</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>141,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>44,3</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>41,7</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>7,4</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>49,2</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>31,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | <u>31,0</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>56,6</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | <u>35,7</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|-------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>11,5</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>24,4</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>13,2</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>28,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:Rückstandmassen:Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>146,4</u> | [mg] | Teerwert: | <u>168,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>60,6</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>69,8</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>147,7</u> | [mg] | Staubwert: | <u>170,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>8,0</u> | [mg] | Salzwert: | <u>9,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 02.07.2001
 Messungsnr.: 2

Gasprobenvolumen [Nm³]
 1,008

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>31,8</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>31,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>11,5</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>11,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>200,1</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>198,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>243,4</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>241,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>13,1</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|--|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>27,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>2,2</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>29,2</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>38,6</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | <u>38,6</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>28,9</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | <u>38,3</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>1,1</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>11,3</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>1,1</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>11,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>100,7</u> | [mg] | Teerwert: | <u>99,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>200,1</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>198,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>254,7</u> | [mg] | Staubwert: | <u>252,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>11,5</u> | [mg] | Salzwert: | <u>11,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 02.07.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 2 2,039

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|-------------|-------------------------|
| Teermasse | 54,8 | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | 26,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | 1,9 | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | 0,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | 122,1 | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | 59,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 178,8 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 87,7 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | 30,6 | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------------|--|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensafänger | 0,9 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 0,8 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 1,6 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 38,6 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | 38,6 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 0,8 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | 18,9 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | 0,0 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 8,9 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 4,4 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|-------------|-------------------------|
| Teerwert: | 95,0 | [mg] | Teerwert: | 46,6 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | 122,1 | [mg] | Partikelwert: | 59,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 187,7 | [mg] | Staubwert: | 92,1 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | 1,9 | [mg] | Salzwert: | 0,9 | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 02.07.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 3 0,489

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|---------------------|------|--|---------------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>32,6</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>66,8</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>4,2</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>8,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>88,8</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>181,7</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>125,7</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>257,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>26,0</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensafänger | <u>2,1</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>1,9</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>4,0</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>5,6</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | <u>5,6</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>8,2</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | <u>11,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|--|-------------------|-------------------------|---|--------------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe(Teere) | <u>0,0</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>8,9</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>0,0</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>18,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|---------------------|------|---------------|---------------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>42,3</u> | [mg] | Teerwert: | <u>86,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>88,8</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>181,7</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>134,6</u> | [mg] | Staubwert: | <u>275,3</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>4,2</u> | [mg] | Salzwert: | <u>8,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 02.07.2001
 MessungNr.: 3

Gasprobenvolumen [Nm³]
 1,498

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|-------------|-------------------------|
| Teermasse | 55,4 | [mg] | Leerkonzentration (Filterteere) | 37,0 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | 0,2 | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | 0,1 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | 58,3 | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | 38,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 113,8 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 76,0 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | 48,7 | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------------|---------------------------------------|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | 2,9 | [mg] | Rückstand in Toluofflasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 2,3 | [mg] | Rückstand in Toluofflasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluofflasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 5,2 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 5,6 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluofflaschen | 5,6 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 3,5 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluofflaschen | 3,8 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | 0,0 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 13,1 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 8,8 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:Rückstandmassen:Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|-------------|-------------------------|
| Teerwert: | 66,2 | [mg] | Teerwert: | 44,2 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | 58,3 | [mg] | Partikelwert: | 38,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 127,0 | [mg] | Staubwert: | 84,8 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | 0,2 | [mg] | Salzwert: | 0,1 | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 11.07.2001
 MessungNr.: 1

Gasprobenvolumen [Nm³]
 1,082

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---|--------------|-------------------------|
| Teermasse | | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 127,5 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 117,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|--|------------|-------------------------|---|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensalfänger | 3,7 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 0,9 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 4,6 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 4,5 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | 4,5 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 4,3 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | 4,2 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|--|------------|-------------------------|--|------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe(Teere) | 1,5 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 4,9 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 1,4 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 4,5 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | | [mg] | Teerwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | | [mg] | Partikelwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 132,4 | [mg] | Staubwert: | 122,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | | [mg] | Salzwert: | | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 11.07.2001
 MessungNr.: 1

Gasprobenvolumen [Nm³]
 0,971

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 157,6 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 162,3 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------------|---------------------------------------|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensafänger | 1,6 | [mg] | Rückstand in Toluolflasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 2,2 | [mg] | Rückstand in Toluolflasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolflasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 3,8 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 4,5 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolflaschen | 4,5 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 3,9 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolflaschen | 4,7 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | 0,0 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 20,0 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 20,6 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandsmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | | [mg] | Teerwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | | [mg] | Partikelwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 177,6 | [mg] | Staubwert: | 182,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | | [mg] | Salzwert: | | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 11.07.2001
MessungNr.: 2

Gasprobenvolumen [Nm³]
0,790

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|---------------------|------|---|---------------------|-------------------------|
| Teermasse | | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>225,8</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>286,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|--|--------------------|-------------------------|---|-------------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensalfänger | <u>37,4</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>8,9</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>46,4</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>7,7</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | <u>7,7</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>58,7</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | <u>9,7</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|--|--------------------|-------------------------|--|--------------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe(Teere) | <u>22,0</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>16,8</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>27,8</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>21,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:Rückstandmassen:Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|---------------------|------|---------------|---------------------|-------------------------|
| Teerwert: | | [mg] | Teerwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | | [mg] | Partikelwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>242,5</u> | [mg] | Staubwert: | <u>307,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | | [mg] | Salzwert: | | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 11.07.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 2 0,974

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 143,8 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 147,6 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------------|--|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | 2,7 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 0,7 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 3,4 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 7,7 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | 7,7 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 3,5 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | 7,9 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | 0,0 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 9,8 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 10,1 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | | [mg] | Teerwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | | [mg] | Partikelwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 153,7 | [mg] | Staubwert: | 157,7 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | | [mg] | Salzwert: | | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 08.08.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 1 0,964

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---|--------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>10,7</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>11,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>1,8</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>1,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>88,7</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>92,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>101,2</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>105,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>10,6</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|--|-------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>9,3</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>3,6</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>12,9</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>12,6</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | <u>12,6</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>13,4</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | <u>13,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|--|------------|-------------------------|--|------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe(Teere) | <u>3,4</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>5,9</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>3,5</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>6,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:Rückstandmassen:Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>39,7</u> | [mg] | Teerwert: | <u>41,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | | | |
| Partikelwert: | <u>88,7</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>92,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | | | |
| Staubwert: | <u>107,1</u> | [mg] | Staubwert: | <u>111,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | | | |
| Salzwert: | <u>1,8</u> | [mg] | Salzwert: | <u>1,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 08.08.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 Messungsnr.: 1 0,851

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------------|------|--|--------------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>11,8</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>13,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>0,9</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>1,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>46,8</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>55,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>59,5</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>69,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>19,8</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparat:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>0,6</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>0,5</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>1,1</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>12,6</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | <u>12,6</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>1,3</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | <u>14,8</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|-------------------|-------------------------|---|-------------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>0,2</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>1,3</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>0,2</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>1,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandsmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------------|------|---------------|--------------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>25,7</u> | [mg] | Teerwert: | <u>30,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>46,8</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>55,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>60,8</u> | [mg] | Staubwert: | <u>71,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>0,9</u> | [mg] | Salzwert: | <u>1,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs:
MessungNr.:08.08.2001
2Gasprobenvolumen [Nm³]
1,094

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>30,7</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>28,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>4,8</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>4,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>236,5</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>216,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>272,0</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>248,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>11,3</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|--------------------------------------|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>63,9</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>9,5</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>73,4</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>6,3</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | <u>6,3</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>67,1</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | <u>5,8</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>0,1</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>3,7</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>0,1</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>3,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>110,6</u> | [mg] | Teerwert: | <u>101,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>236,5</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>216,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>275,7</u> | [mg] | Staubwert: | <u>252,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>4,8</u> | [mg] | Salzwert: | <u>4,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 08.08.2001
 MessungNr.: 2

Gasprobenvolumen [Nm³]
 1,261

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | 41,4 | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | 32,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | 2,0 | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | 1,6 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | 97,6 | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | 77,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 141,1 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 111,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | 29,4 | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------------|--------------------------------------|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | 1,1 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 1,1 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 6,3 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | 6,3 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 0,9 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | 5,0 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | 0,0 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 10,5 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 8,3 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | 48,9 | [mg] | Teerwert: | 38,8 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | 97,6 | [mg] | Partikelwert: | 77,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 151,6 | [mg] | Staubwert: | 120,2 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | 2,0 | [mg] | Salzwert: | 1,6 | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 08.08.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungsNr.: 3 0,588

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>22,0</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>37,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>1,4</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>2,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>226,3</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>384,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>249,7</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>424,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>8,8</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------------------|--|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>79,3</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>11,8</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>91,1</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>13,9</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | <u>13,9</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>154,8</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | <u>23,7</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|-------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>7,7</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>25,5</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>13,0</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>43,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandsmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>134,7</u> | [mg] | Teerwert: | <u>229,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>226,3</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>92,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>275,2</u> | [mg] | Staubwert: | <u>467,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>1,4</u> | [mg] | Salzwert: | <u>2,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 08.08.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 3 0,988

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | 57,5 | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | 58,2 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | 2,2 | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | 2,2 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | 101,4 | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | 102,6 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 161,1 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 163,0 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | 35,7 | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------------|--|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | 0,2 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 0,5 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 0,7 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 13,9 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | 13,9 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 0,7 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | 14,1 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | 0,0 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 13,6 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 13,8 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | 72,1 | [mg] | Teerwert: | 73,0 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | 101,4 | [mg] | Partikelwert: | 102,6 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 174,7 | [mg] | Staubwert: | 176,8 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | 2,2 | [mg] | Salzwert: | 2,2 | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 24.08.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 1 0,810

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|---------------------|------|--|---------------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>42,3</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>52,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>1,1</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>1,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>100,2</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>123,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>143,6</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>177,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>29,5</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------------|--|--------------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>52,4</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>38,8</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>91,2</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>8,8</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | <u>8,8</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>112,5</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | <u>10,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|-------------------|-------------------------|---|-------------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>6,3</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>7,2</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>7,8</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>8,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|---------------------|------|---------------|---------------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>148,6</u> | [mg] | Teerwert: | <u>183,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>100,2</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>123,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>150,8</u> | [mg] | Staubwert: | <u>186,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>1,1</u> | [mg] | Salzwert: | <u>1,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 24.08.2001
 MessungNr.: 1

Gasprobenvolumen [Nm³]
 0,553

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|---------------|------|--|---------------|-------------------------|
| Teermasse | | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 1101,8 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 1991,1 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------------------|--|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | 24,8 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 32,7 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 57,5 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 8,8 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | 8,8 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 103,9 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | 15,9 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|--|-------------------------|---|------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 2,6 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 4,7 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:Rückstandmassen:Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|---------------|------|---------------|---------------|-------------------------|
| Teerwert: | | [mg] | Teerwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | | [mg] | Partikelwert: | | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 1104,4 | [mg] | Staubwert: | 1995,8 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | | [mg] | Salzwert: | | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 24.08.2001 robenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 2 1,046

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>56,7</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>54,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>4,3</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>4,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>394,0</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>376,8</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>455,0</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>435,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>12,5</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>156,9</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | <u>14,2</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>15,1</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>172,0</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>14,2</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | <u>14,2</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>164,5</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | <u>13,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|-------------|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>26,4</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>30,5</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>25,2</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>29,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:Rückstandmassen:Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>269,3</u> | [mg] | Teerwert: | <u>257,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>394,0</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>376,8</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>485,5</u> | [mg] | Staubwert: | <u>464,3</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>4,3</u> | [mg] | Salzwert: | <u>4,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 24.08.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 Messungsnr.: 2 1,386

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | 103,2 | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | 74,5 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | 2,8 | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | 2,0 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | 146,0 | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | 105,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 252,0 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 181,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | 41,0 | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | 2,6 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 2,7 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 5,3 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 14,2 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfaschen | 14,2 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 3,8 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfaschen | 10,2 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | 0,0 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 6,7 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 4,8 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | 122,7 | [mg] | Teerwert: | 88,6 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | 146,0 | [mg] | Partikelwert: | 105,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 258,7 | [mg] | Staubwert: | 186,7 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | 2,8 | [mg] | Salzwert: | 2,0 | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 07.11.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungsNr.: 1 0,711

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|-------------|------|--|--------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>17,5</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>24,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>0,4</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>0,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>82,0</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>115,3</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>99,9</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>140,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>17,5</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparat:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|--|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>7,6</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>0,5</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>8,1</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>6,1</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | <u>6,1</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>11,4</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | <u>8,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>0,6</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>3,6</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>0,8</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>5,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------|------|---------------|--------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>32,3</u> | [mg] | Teerwert: | <u>45,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>82,0</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>115,3</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>103,5</u> | [mg] | Staubwert: | <u>145,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>0,4</u> | [mg] | Salzwert: | <u>0,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 07.11.2001
MessungNr.: 1

Gasprobenvolumen [Nm³]
1,195

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|---------------------|------|--|---------------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>77,3</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>64,7</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>1,7</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>1,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>77,2</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>64,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>156,2</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>130,7</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------|--|-------------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>0,7</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>0,6</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>1,3</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>6,1</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | <u>6,1</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>1,1</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | <u>5,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|--|-------------------------|---|-------------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>6,3</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>5,2</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|---------------------|------|---------------|---------------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>84,8</u> | [mg] | Teerwert: | <u>70,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>77,2</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>64,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>162,5</u> | [mg] | Staubwert: | <u>136,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>1,7</u> | [mg] | Salzwert: | <u>1,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 07.11.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 2 0,944

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|-------------|------|--|-------------|-------------------------|
| Teermasse | 26,3 | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | 27,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | 1,9 | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | 2,0 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | 35,8 | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | 37,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 64,0 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 67,8 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | 41,1 | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|--|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | 12,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 1,5 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 13,5 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 4,4 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | 4,4 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 14,3 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | 4,7 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|------------|-------------------------|---|------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | 0,0 | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | 4,8 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 5,0 | [mg/Nm ³ tr] |

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|-------------|------|---------------|-------------|-------------------------|
| Teerwert: | 44,2 | [mg] | Teerwert: | 46,8 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | 35,8 | [mg] | Partikelwert: | 37,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 68,8 | [mg] | Staubwert: | 72,9 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | 1,9 | [mg] | Salzwert: | 2,0 | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Reingas

Datum des Versuchs: 07.11.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 Messungsnr.: 2 1,402

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|-------------|------|--|-------------|-------------------------|
| Teermasse | 26,4 | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | 18,8 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | 0,3 | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | 0,2 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | 17,4 | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | 12,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | 44,1 | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | 31,5 | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------------|--|------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensalfänger | 4,7 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | 1,6 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | 0,0 | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | 0,0 | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | 6,3 | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | 0,0 | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | 4,4 | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | 4,4 | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | 4,5 | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | 3,1 | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|--|-------------------------|---|-------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | -0,1 | [mg] |
| Konzentration in Leitung | | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | 0,0 | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:

Rückstandmassen:

Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|-------------|------|---------------|-------------|-------------------------|
| Teerwert: | 37,1 | [mg] | Teerwert: | 26,5 | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | 17,4 | [mg] | Partikelwert: | 12,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | 44,0 | [mg] | Staubwert: | 31,4 | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | 0,3 | [mg] | Salzwert: | 0,2 | [mg/Nm ³ tr] |

Messergebnisse

Rohgas

Datum des Versuchs: 07.11.2001 Gasprobenvolumen [Nm³]
 MessungNr.: 3 0,970

Analyseergebnisse des Filters:

| | | | | | |
|---------------|--------------------|------|--|--------------------|-------------------------|
| Teermasse | <u>17,4</u> | [mg] | Teerkonzentration (Filterteere) | <u>17,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzmasse | <u>1,4</u> | [mg] | Salzkonzentration (Filtersalze) | <u>1,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelmasse | <u>19,5</u> | [mg] | Partikelkonzentration (Filterpartikel) | <u>20,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubmasse | <u>38,3</u> | [mg] | Staubkonzentration (Filterstaub) | <u>39,5</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| | | | Teer/Staub | <u>45,4</u> | [%] |

Analyseergebnisse der Waschflaschen und Probenahmeapparatur:

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------|--|-------------------|-------------------------|
| Rückstand im Kondensatfänger | <u>4,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 1 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Wasserflasche | <u>1,5</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 2 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in der Mischung | <u>0,0</u> | [mg] | Rückstand in Toluolfflasche 3 | <u>0,0</u> | [mg] |
| Rückstand in den 2 Wasserflaschen | <u>5,4</u> | [mg] | Rückstand im Tropfenfänger | <u>0,0</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in der Mischung | <u>4,8</u> | [mg] |
| | | | Rückstand in den 4 Toluolfflaschen | <u>4,8</u> | [mg] |
| Konzentration in den 2 Wasserflaschen | <u>5,6</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in den 4 Toluolfflaschen | <u>5,0</u> | [mg/Nm ³ tr] |

| | | | | | |
|---|-------------------|-------------------------|---|-------------------|-------------------------|
| Masse der in der Leitung kondensierten Stoffe (Teere) | <u>0,1</u> | [mg] | Masse der in der Sonde vorh. Stoffe (Staub) | <u>0,9</u> | [mg] |
| Konzentration in Leitung | <u>0,1</u> | [mg/Nm ³ tr] | Konzentration in Sonde | <u>0,9</u> | [mg/Nm ³ tr] |

Gesamtwerte:Rückstandmassen:Konzentrationen:

| | | | | | |
|---------------|--------------------|------|---------------|--------------------|-------------------------|
| Teerwert: | <u>27,7</u> | [mg] | Teerwert: | <u>28,6</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Partikelwert: | <u>19,5</u> | [mg] | Partikelwert: | <u>20,1</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Staubwert: | <u>39,2</u> | [mg] | Staubwert: | <u>40,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |
| Salzwert: | <u>1,4</u> | [mg] | Salzwert: | <u>1,4</u> | [mg/Nm ³ tr] |

6.2.2 Protokolle der Waschwassermessungen

6.2.2.1 Protokolle der Ammoniumbestimmung

| Datum des Versuches | Probenbeschreibung | | fs | Probe Vol. [ml] | NaOH(titr.) [ml] | Blindwert [ml] | NH4 [mg/l] |
|---------------------|--------------------|-------------|--------|-----------------|------------------|----------------|------------|
| | Wäscher Nr. | Messung Nr. | | | | | |
| 07.06.2001 | 1 | 3 | 1,0064 | 100 | 12,2 | 21,95 | 139 |
| 07.06.2001 | 2 | 3 | 1,0064 | 25 | 18,55 | 23,75 | 297 |
| 07.06.2001 | 1 | 1 | 1,0064 | 100 | 11,9 | 21,95 | 144 |
| 07.06.2001 | 2 | 1 | 1,0064 | 25 | 19,85 | 23,75 | 223 |
| 07.06.2001 | 2 | 2 | 1,0064 | 25 | 18,9 | 23,75 | 277 |
| 07.06.2001 | 1 | 2 | 1,0064 | 100 | 11,55 | 23,75 | 174 |
| 02.07.2001 | 1 | 1 | 1,06 | 50 | 20,2 | 24,2 | 114 |
| 02.07.2001 | 2 | 1 | 1,06 | 25 | 18,25 | 24,2 | 340 |
| 02.07.2001 | 1 | 2 | 1,06 | 50 | 20 | 24,2 | 120 |
| 02.07.2001 | 2 | 2 | 1,06 | 50 | 12,8 | 24,2 | 326 |
| 02.07.2001 | 1 | 3 | 1,06 | 50 | 19,7 | 24,2 | 129 |
| 02.07.2001 | 2 | 3 | 1,06 | 50 | 12,45 | 24,2 | 336 |
| 11.07.2001 | 1 | 1 | 1,06 | 50 | 19,78 | 24,2 | 127 |
| 11.07.2001 | 2 | 1 | 1,06 | 50 | 12,55 | 24,2 | 333 |
| 11.07.2001 | 1 | 2 | 1,06 | 50 | 17,8 | 24,2 | 183 |
| 11.07.2001 | 2 | 2 | 1,06 | 50 | 12,15 | 24,2 | 344 |
| 08.08.2001 | 1 | 1 | 1,06 | 50 | 19,85 | 23,8 | 113 |
| 08.08.2001 | 2 | 1 | 1,06 | 50 | 19,45 | 23,8 | 124 |
| 08.08.2001 | 1 | 2 | 1,06 | 50 | 17,95 | 23,8 | 167 |
| 08.08.2001 | 2 | 2 | 1,06 | 50 | 17,8 | 23,8 | 171 |
| 08.08.2001 | 1 | 3 | 1,06 | 50 | 18,4 | 23,8 | 154 |
| 08.08.2001 | 2 | 3 | 1,06 | 50 | 17,7 | 23,8 | 174 |
| 24.08.2001 | 1 | 1 | 1,06 | 100 | 10,05 | 24,1 | 201 |
| 24.08.2001 | 2 | 1 | 1,06 | 50 | 12 | 24,1 | 346 |
| 24.08.2001 | 1 | 2 | 1,06 | 100 | 10 | 24,1 | 201 |
| 24.08.2001 | 2 | 2 | 1,06 | 50 | 12,75 | 24,1 | 324 |

6.2.2.2 Protokolle der Phenolbestimmung

Datum des Versuchs: 07.06.2001 Datum der Analyse: 13.07.2001

Empfindlichkeit: 5,6836

Gesamtphenol

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|-------|-------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | |
| 3 | 2 | 1 | 0,86 | 485,9 |
| 2 | 1 | 2 | 0,511 | 287,6 |
| 5 | 3 | 1 | 0,793 | 447,9 |
| 6 | 3 | 2 | 0,69 | 389,3 |
| 4 | 2 | 2 | 0,644 | 363,2 |
| 1 | 1 | 1 | 0,971 | 549,0 |
| Blind | | | 0,004 | |
| Blind | | | 0,006 | |

Wasserdampfvlüchtige Phenole:

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|-------|----------------------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Phenolkonzentration [mg/l] |
| 3 | 2 | 1 | 0,744 | 420,0 |
| 2 | 1 | 2 | 0,476 | 267,7 |
| 6 | 3 | 2 | 0,563 | 317,1 |
| 5 | 3 | 1 | 0,615 | 346,7 |
| 4 | 2 | 2 | 0,548 | 308,6 |
| 1 | 1 | 1 | 0,796 | 449,6 |
| Blind | | | 0,004 | |
| Blind | | | 0,006 | |
| Mittelblind | | | 0,005 | |

Datum des Versuchs: 02.07.2001 Datum der Analyse: 16.07.2001

Empfindlichkeit: 5,6836

Gesamtphenol

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|-------|-------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | |
| 1 | 1 | 1 | 0,937 | 529,7 |
| 2 | 1 | 2 | 0,835 | 471,7 |
| 3 | 2 | 1 | 0,79 | 446,2 |
| 4 | 3 | 1 | 0,754 | 425,7 |
| 5 | 2 | 2 | 0,791 | 446,7 |
| 6 | 3 | 2 | 0,806 | 455,3 |
| Blind | | | 0,004 | |
| Blind | | | 0,006 | |

Wasserdampfflüchtige Phenole:

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|-------|----------------------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Phenolkonzentration [mg/l] |
| 1 | 1 | 1 | 0,65 | 366,6 |
| 2 | 1 | 2 | 0,815 | 460,4 |
| 3 | 2 | 1 | 0,676 | 381,4 |
| 4 | 3 | 1 | 0,587 | 330,8 |
| 5 | 2 | 2 | 0,735 | 414,9 |
| 6 | 3 | 2 | 0,711 | 401,3 |
| Blind | | | 0,004 | |
| Blind | | | 0,006 | |
| Mittelblind | | | 0,005 | |

Datum des Versuchs: 11.07.2001 Datum der Analyse: 17.07.2001

Empfindlichkeit: 5,6836

Gesamtphenol

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | Abs | |
|--------------------|------------|------------|-------|-------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | |
| 1 | 1 | 1 | 0,602 | 339,3 |
| 2 | 1 | 2 | 0,751 | 424,0 |
| 3 | 2 | 1 | 0,67 | 378,0 |
| 4 | 2 | 2 | 0,733 | 413,8 |
| | | | | |
| | | | | |
| Blind | | | 0,004 | |
| Blind | | | 0,006 | |

Wasserdampfflüchtige Phenole:

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | Abs | Phenolkonzentration [mg/l] |
|--------------------|------------|------------|-------|----------------------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Phenolkonzentration [mg/l] |
| 1 | 1 | 1 | 0,529 | 297,8 |
| 2 | 1 | 2 | 0,678 | 382,5 |
| 3 | 2 | 1 | 0,629 | 354,7 |
| 4 | 2 | 2 | 0,72 | 406,4 |
| | | | | |
| | | | | |
| Blind | | | 0,004 | |
| Blind | | | 0,006 | |
| Mittelblind | | | 0,005 | |

Datum des Versuchs: 08.08.2001 Datum der Analyse: 17.08.2001

Empfindlichkeit: 5,6836

Gesamtphenol

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|--------|-------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | |
| 1 | 1 | 1 | 0,431 | 242,1 |
| 2 | 2 | 1 | 0,486 | 273,4 |
| 3 | 3 | 1 | 0,532 | 299,5 |
| 4 | 1 | 2 | 0,257 | 143,2 |
| 5 | 2 | 2 | 0,3015 | 168,5 |
| 6 | 3 | 2 | 0,3515 | 196,9 |
| Blind | | | 0,004 | |
| Blind | | | 0,006 | |

Wasserdampfflüchtige Phenole:

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|--------|----------------------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Phenolkonzentration [mg/l] |
| 1 | 1 | 1 | 0,398 | 223,4 |
| 2 | 2 | 1 | 0,417 | 234,2 |
| 3 | 3 | 1 | 0,477 | 268,3 |
| 4 | 1 | 2 | 0,201 | 111,4 |
| 5 | 2 | 2 | 0,24 | 133,6 |
| 6 | 3 | 2 | 0,2645 | 147,5 |
| Blind | | | 0,004 | |
| Blind | | | 0,006 | |
| Mittelblind | | | 0,005 | |

Datum des Versuchs: 24.08.2001 Datum der Analyse: 30.08.2001

Empfindlichkeit: 5,6836

Gesamtphenol

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | Abs | |
|--------------------|------------|------------|-------|-------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | |
| 1 | 1 | 2 | 0,151 | 84,7 |
| 2 | 2 | 2 | 0,199 | 112,0 |
| 3 | 1 | 1 | 0,563 | 318,8 |
| 4 | 2 | 1 | 0,473 | 267,7 |
| | | | | |
| | | | | |
| Blind | | | | |
| Blind | | | | |

Wasserdampfflüchtige Phenole:

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | Abs | Phenolkonzentration [mg/l] |
|--------------------|------------|------------|-------|----------------------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Phenolkonzentration [mg/l] |
| 1 | 1 | 2 | 0,125 | 69,9 |
| 2 | 2 | 2 | 0,167 | 93,8 |
| 3 | 2 | 1 | 0,486 | 275,1 |
| 4 | 1 | 1 | 0,423 | 239,3 |
| | | | | |
| | | | | |
| Blind | | | 0,002 | |
| Blind | | | | |
| Mittelblind | | | 0,002 | |

Datum des Versuchs: 07.11.2001 Datum der Analyse: 14.11.2001

Empfindlichkeit: 5,6836

Gesamtphenol

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|-------|-------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | |
| 1 | 3 | 1 | 0,204 | 115,1 |
| 2 | 1 | 1 | 0,217 | 122,5 |
| 3 | 3 | 2 | 0,2 | 112,8 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Blind | | | | |
| Blind | | | | |

Wasserdampfflüchtige Phenole:

Verdünnung: 0,01

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|--------|----------------------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Phenolkonzentration [mg/l] |
| 1 | 3 | 1 | 0,175 | 98,6 |
| 2 | 1 | 1 | 0,188 | 106,0 |
| 3 | 3 | 2 | 0,182 | 102,6 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Blind | | | 0,001 | |
| Blind | | | 0,002 | |
| Mittelblind | | | 0,0015 | |

6.2.2.3 Protokolle der CSB- Bestimmung

Datum des Versuches: 07.06.2001 Datum der Bestimmung: 31.07.2001

Empfindlichkeit: 385,85

Bezeichnung der Probe:

| WäscherNr.: | MessungNr.: | Nummerierung für CSB | ABS | Verdünnung: | CSB[mg/l] |
|-------------|-------------|-------------------------|--------|-------------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 0,291 | 0,1 | 3147 |
| 2 | 1 | 2 | 0,755 | 0,1 | 1356 |
| 1 | 2 | 3 | 0,3625 | 0,1 | 2871 |
| 2 | 2 | 4 | 0,6485 | 0,1 | 1767 |
| 1 | 3 | 5 | 0,4925 | 0,1 | 2369 |
| 2 | 3 | 6 | 0,651 | 0,1 | 1758 |
| | | | | | |
| Nullwert | | | 1,117 | | |
| Nullwert | | | 1,096 | | |
| Mittel | | | 1,1065 | | |

Datum des Versuches: 02.07.2001 Datum der Bestimmung: 01.08.2001

Empfindlichkeit: 385,85

Bezeichnung der Probe:

| WäscherNr.: | MessungNr.: | Nummerierung für CSB: | ABS | Mittelwert CSB | Verdünnung: | CSB[mg/l] |
|-------------|-------------|--------------------------|-------|-------------------|-------------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 0,464 | | 0,1 | |
| 1 | 1 | 1 | 0,484 | 0,474 | 0,1 | 2441 |
| 2 | 1 | 2 | 0,676 | | 0,1 | |
| 2 | 1 | 2 | 0,637 | 0,6565 | 0,1 | 1736 |
| 1 | 2 | 3 | 0,491 | | 0,1 | |
| 1 | 2 | 3 | 0,504 | 0,4975 | 0,1 | 2350 |
| 1 | 3 | 4 | 0,501 | | 0,1 | |
| 1 | 3 | 4 | 0,553 | 0,527 | 0,1 | 2236 |
| 2 | 2 | 5 | 0,712 | | 0,1 | |
| 2 | 2 | 5 | 0,718 | 0,715 | 0,1 | 1511 |
| 2 | 3 | 6 | 0,849 | | 0,1 | |
| 2 | 3 | 6 | 0,902 | 0,8755 | 0,1 | 891 |
| | | | | | | |
| Nullwert | | | | 1,117 | | |
| Nullwert | | | | 1,096 | | |
| Mittel | | | | 1,1065 | | |

Datum des Versuches: 11.07.2001

Datum der Bestimmung: 01.08.2001

Empfindlichkeit: 385,85

Bezeichnung der Probe:

| WäscherNr.: | MessungNr.: | Nummerierung für CSB: | ABS | Mittelwert CSB | Verdünnung: | CSB[mg/l] |
|-------------|-------------|--------------------------|-------|-------------------|-------------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 0,808 | | 0,1 | |
| 1 | 1 | 1 | 0,779 | 0,7935 | 0,1 | 1275,23 |
| 2 | 1 | 2 | 0,746 | | 0,1 | |
| 2 | 1 | 2 | 0,811 | 0,7785 | 0,1 | 1333,11 |
| 1 | 2 | 3 | 0,819 | | 0,1 | |
| 1 | 2 | 3 | 0,788 | 0,8035 | 0,1 | 1236,65 |
| 2 | 2 | 4 | 0,706 | | 0,1 | |
| 2 | 2 | 4 | 0,666 | 0,686 | 0,1 | 1690,02 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Nullwert | | | | 1,117 | | |
| Nullwert | | | | 1,131 | | |
| Mittel | | | | 1,124 | | |

Datum des Versuches: 08.08.2001

Datum der Bestimmung: 16.08.2001

Empfindlichkeit: 324,96

Bezeichnung der Probe:

| WäscherNr.: | MessungNr.: | Nummerierung für CSB: | ABS | Mittelwert CSB | Verdünnung: | CSB[mg/l] |
|-------------|-------------|--------------------------|-------|-------------------|-------------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 0,722 | | 0,1 | |
| 1 | 1 | 1 | 0,718 | 0,72 | 0,1 | 1695 |
| 1 | 2 | 2 | 0,619 | | 0,1 | |
| 1 | 2 | 2 | 0,649 | 0,634 | 0,1 | 1974 |
| 1 | 3 | 3 | 0,658 | | 0,1 | |
| 1 | 3 | 3 | 0,635 | 0,6465 | 0,1 | 1934 |
| 2 | 1 | 4 | 0,963 | | 0,1 | |
| 2 | 1 | 4 | 1,021 | 0,992 | 0,1 | 811 |
| 2 | 2 | 5 | 0,98 | | 0,1 | |
| 2 | 2 | 5 | 1,011 | 0,9955 | 0,1 | 799 |
| 2 | 3 | 6 | 0,812 | | 0,1 | |
| 2 | 3 | 6 | 0,834 | 0,823 | 0,1 | 1360 |
| | | | | | | |
| Nullwert | | | | 1,249 | | |
| Nullwert | | | | 1,234 | | |
| Mittel | | | | 1,2415 | | |

Datum des Versuches: 24.08.2001

Datum der Bestimmung: 31.08.2001

Empfindlichkeit: 385,85

Bezeichnung der Probe:

| WäscherNr.: | MessungNr.: | Nummerierung für CSB: | ABS | Mittelwert CSB | Verdünnung: | CSB[mg/l] |
|-------------|-------------|--------------------------|--------|-------------------|-------------|-----------|
| 2 | 1 | 1 | 0,962 | | | |
| 2 | 1 | 1 | 0,939 | 0,9505 | 0,1 | 1400,64 |
| 2 | 2 | 2 | 0,999 | | | |
| 2 | 2 | 2 | 0,95 | 0,9745 | 0,1 | 1308,03 |
| 1 | 2 | 3 | 0,677 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 0,673 | 0,675 | 0,1 | 2463,65 |
| 1 | 1 | 4 | 0,813 | | | |
| 1 | 1 | 4 | 0,796 | 0,8045 | 0,1 | 1963,98 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Nullwert | | | 1,301 | | | |
| Nullwert | | | 1,326 | | | |
| Mittel | | | 1,3135 | | | |

Datum des Versuches: 07.11.2001

Datum der Bestimmung: 09.11.2001

Empfindlichkeit: 385,85

Bezeichnung der Probe:

| WäscherNr.: | MessungNr.: | Nummerierung für CSB: | ABS | Mittelwert CSB | Verdünnung: | CSB[mg/l] |
|-------------|-------------|--------------------------|-------|-------------------|-------------|-----------|
| 1 | 3 | 1 | 0,831 | | | |
| 1 | 3 | 1 | 0,844 | 0,8375 | 0,1 | 1630,22 |
| 1 | 1 | 2 | 0,735 | | | |
| 1 | 1 | 2 | 0,73 | 0,7325 | 0,1 | 2035,36 |
| 2 | 3 | 3 | 0,879 | | | |
| 2 | 3 | 3 | 0,835 | 0,857 | 0,1 | 1554,98 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Nullwert | | | 1,27 | | | |
| Nullwert | | | 1,25 | | | |
| Mittel | | | 1,26 | | | |

6.2.2.4 Protokolle der Cyanidbestimmung

Datum des Versuchs: 08.06.2001 Datum der Analyse: 10.08.2001

Empfindlichkeit: 0,5602

Verdünnung: 1

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|--------|---------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Cyanid [mg/l] |
| 1 | 1 | 1 | 0,287 | 0,2 |
| 2 | 1 | 2 | 0,469 | 0,3 |
| 3 | 2 | 1 | 0,358 | 0,2 |
| 4 | 2 | 2 | 1,114 | 0,6 |
| 5 | 3 | 1 | 0,601 | 0,3 |
| 6 | 3 | 2 | 0,607 | 0,3 |
| Blind | | | 0,008 | |
| Blind | | | 0,007 | |
| Mittelblind | | | 0,0075 | |

Datum des Versuchs: 02.07.2001 Datum der Analyse: 10.08.2001

Empfindlichkeit: 0,5602

Verdünnung: 1

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|--------|---------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Cyanid [mg/l] |
| 1 | 1 | 1 | 2,157 | 1,2 |
| 2 | 1 | 2 | 0,694 | 0,4 |
| 3 | 2 | 1 | 2,347 | 1,3 |
| 4 | 3 | 1 | 2,326 | 1,3 |
| 5 | 2 | 2 | 0,321 | 0,2 |
| 6 | 3 | 2 | 0,352 | 0,2 |
| Blind | | | 0,008 | |
| Blind | | | 0,007 | |
| Mittelblind | | | 0,0075 | |

Datum des Versuchs: 11.07.2001 Datum der Analyse: 10.08.2001

Empfindlichkeit: 0,5602

Verdünnung: 1

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|--------|---------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Cyanid [mg/l] |
| 1 | 1 | 1 | 0,367 | 0,2 |
| 2 | 1 | 2 | 0,106 | 0,1 |
| 3 | 2 | 1 | 0,297 | 0,2 |
| 4 | 2 | 2 | 0,113 | 0,1 |
| | | | | 0,0 |
| | | | | 0,0 |
| Blind | | | 0,008 | |
| Blind | | | 0,007 | |
| Mittelblind | | | 0,0075 | |

Datum des Versuchs: 08.08.2001 Datum der Analyse: 10.08.2001

Empfindlichkeit: 0,5602

Verdünnung: 1

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|--------|---------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Cyanid [mg/l] |
| 1 | 1 | 1 | 0,468 | 0,3 |
| 2 | 2 | 1 | 0,341 | 0,2 |
| 3 | 3 | 1 | 0,432 | 0,2 |
| 4 | 1 | 2 | 0,27 | 0,1 |
| 5 | 2 | 2 | 0,252 | 0,1 |
| 6 | 3 | 2 | 0,287 | 0,2 |
| Blind | | | 0,008 | |
| Blind | | | 0,007 | |
| Mittelblind | | | 0,0075 | |

Datum des Versuchs: 24.08.2001 Datum der Analyse: 31.08.2001

Empfindlichkeit: 0,5602

Verdünnung: 1 (PR1 u. PR2) 0,5 (PR 3+4)

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|-------|---------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Cyanid [mg/l] |
| 1 | 1 | 2 | 0,72 | 0,4 |
| 2 | 2 | 2 | 0,524 | 0,3 |
| 3 | 2 | 1 | 0,223 | 0,2 |
| 4 | 1 | 1 | 0,267 | 0,3 |
| | | | | |
| | | | | |
| Blind | | | 0,001 | |
| Blind | | | | |
| Mittelblind | | | 0,001 | |

Datum des Versuchs: 07.11.2001 Datum der Analyse: 12.11.2001

Empfindlichkeit: 0,5602

Verdünnung: 0,5

| Probenbeschreibung | | | | |
|--------------------|------------|------------|-------|---------------|
| ProbeNr. | MessungNr. | WäscherNr. | Abs | Cyanid [mg/l] |
| 1 | 3 | 1 | 0,026 | 0,0 |
| 2 | 1 | 1 | 0,011 | 0,0 |
| 3 | 3 | 2 | 0,031 | 0,0 |
| | | | | |
| | | | | |
| Blind | | | 0,001 | |
| Blind | | | | |
| Mittelblind | | | 0,001 | |