

Katalytische Gasaufbereitung von Brenngas aus der Biomassevergasung

Dorith Böhning und Marco Klemm

1.	Gaserzeugung
2.	Gasaufbereitung.....
2.1.	Grundlagen
2.1.1.	Heterogene Katalyse und Katalysatoren
2.1.2.	Katalytisch hydrierende Spaltung.....
2.1.3.	Katalytisch partielle Oxidation
2.2.	Theoretische Untersuchungen
2.3.	Experimentelle Untersuchungen
2.3.1.	Kleintechnische Versuchsanlage
2.3.2.	Probenahme, Probenaufbereitung und Analysen
2.3.3.	Versuchsbetrieb
2.3.4.	Ergebnisse
3.	Zusammenfassung und Ausblick
4.	Quellen

Die Beschäftigung mit der Problematik des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen in zahlreichen Anwendungsgebieten hat aus vielen verschiedenen Gründen aktuell einen sehr hohen Stellenwert.

Im Vordergrund steht die Schonung der Umwelt durch den Einsatz von Biomassen zur Energieerzeugung, um somit einen Beitrag zur Reduzierung der CO₂-Emissionen zu leisten. Gerade in jüngster Zeit ist das Thema des Klimawandels sehr oft in der Diskussion. Eine wesentliche Rolle als Emittent von Treibhausgasen nimmt der Straßenverkehr durch den Ausstoß der Abgase der Kraftfahrzeuge ein. Auch in diesem Bereich gewinnt der Einsatz von nachwachsenden biogenen Rohstoffen immer mehr an Bedeutung.

Ein weiterer Grund ist das seit Juni 2005 in der TA Siedlungsabfall festgeschriebene gültige Verbot der Verbringung von Materialien mit einem Organikanteil von mehr als 5 Gew.-% auf die Deponie.

Weiterer Anlass ist durch finanzielle Anreize gegeben, so z.B. das Erneuerbare-Energien-Gesetz oder Prämien für die Nutzung von landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen für den Anbau schnellwachsender Energiehölzer und -pflanzen.

Für die energetische Verwertung von biogenen Brennstoffen stehen u.a. die Verbrennungs- und die Vergasungstechnologie zur Verfügung.

Die Verwendung von Biomasse zur Erzeugung von Wärme durch Verbrennung mit den verschiedensten Techniken ist in vielen Bereichen zu einem festen Bestandteil geworden. Eine Methode der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung ist die Vergasung von fester Biomasse und der anschließende Einsatz des erzeugten Brenngases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW). Für die Stromerzeugung aus fester Biomasse besitzt die Vergasungstechnologie gegenüber der Verbrennung eine Reihe von Vorteilen. Bei Anlagen kleinerer Leistung ergibt die Kopplung von Vergasung und Gasmotor die Möglichkeit, wesentlich höhere Wirkungsgrade als mit dem Dampfkraftprozess zu realisieren. Der Gesamtwirkungsgrad von Strom- und Wärmeerzeugung liegt bei über achtzig Prozent. Viele neue Anwendungsfelder werden darüber hinaus für die Biomasse erschlossen, so die Synthesegaschemie, die Wasserstofferzeugung und die Brennstoffzelle.

Seit vielen Jahren wird auf dem Gebiet der Biomassevergasung mit motorischer Nutzung des Brenngases geforscht.

Zur Erzeugung des Brenngases gibt es verschiedene Techniken, mit der Hauptunterscheidung in Festbett-, Wirbelschicht- und Flugstromvergasung. Welche Technik eingesetzt wird, hängt in erster Linie von der Art des Brennstoffes – Konsistenz, Korngröße usw. – ab. Die Art der Nutzung des zu erzeugenden Gases ist ebenfalls ein wesentlicher Entscheidungspunkt für die Technik, die zur Anwendung kommt.

Ein wichtiger Aspekt ist die Erhöhung der Marktfähigkeit für Vergasungsanlagen kleiner und mittlerer Leistung. Interessant ist ein Leistungsbereich, der es gestattet, dezentrale Anlagen zu betreiben. Die meisten der in die Praxis umgesetzten Projekte sind an der Qualität des Brenngases gescheitert. Die Anforderungen für die Motortauglichkeit werden nicht erreicht oder nur mit einem so hohen apparate- und betriebstechnischen Aufwand, dass ein wirtschaftlicher Betrieb nicht mehr gewährleistet werden kann.

Für die Aufbereitung des Gases muss ein Verfahren eingesetzt werden, welches technisch einfach und mit wenig finanziellen Mitteln zu realisieren ist und einen Motorenbetrieb mit vertretbaren Standzeiten ermöglicht.

1. Gaserzeugung

An der Technischen Universität Dresden im Institut für Energietechnik, Professur Kraftwerkstechnik wird seit dem Jahr 2000 ein Versuchsvergaser *IGEL 2000* betrieben. In Bild 1 ist dieser dargestellt. Bei dem Vergaser handelt es sich um einen Festbettvergaser, welcher als absteigender Gleichstromvergaser ausgeführt ist. In dieser Anlage können sehr unterschiedliche Arten von Brennstoffen zum Einsatz kommen. Die Feuerungswärmeleistung der Anlage beträgt 75 kW, das entspricht einem Brennstoffeinsatz bei Holzhackschnitzeln von etwa 20 kg/h. Als Vergasungsmittel wird Umgebungsluft eingesetzt. Bei ausreichend hohen Temperaturen im Vergaser reagiert der Luftsauerstoff mit den organischen Komponenten des Brennstoffs, so dass ein Gas entsteht, welches hauptsächlich aus Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasserstoff, Methan und Stickstoff besteht. Neben den genannten Gasbestandteilen werden während des Vergasungsprozesses, insbesondere im Prozess der Pyrolyse, auf Grund des chemischen Aufbaus der

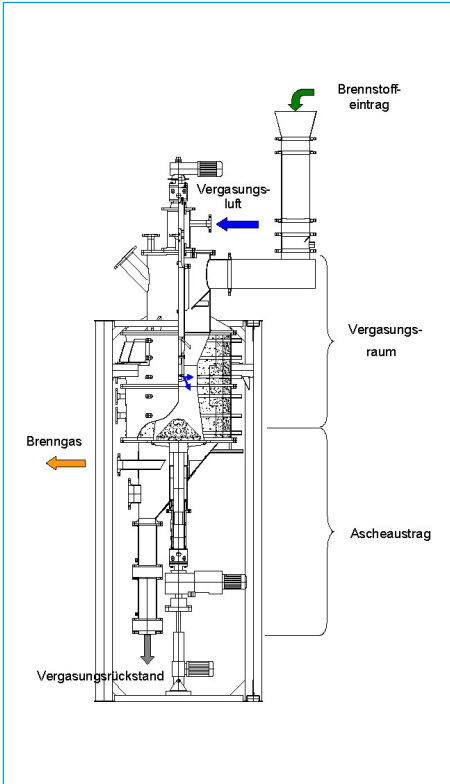


Bild 1: Versuchsvergaser IGEL 2000

Biomasse Kohlenwasserstoffe gebildet. Die höhersiedenden Kohlenwasserstoffe werden dabei als *Teere* bezeichnet. Neben der von diesen Stoffen ausgehenden hochgradig gesundheitsschädigenden Wirkung würden durch die Teere bei Nichtentfernung Einschränkungen des Betriebes eintreten.

In der an der TU Dresden betriebenen Anlage wirken sich die Teere zurzeit nur geringfügig negativ aus, da das Gas direkt in einer Brennkammer verbrannt wird und die Teere mit der zugeführten Verbrennungsluft zu Kohlendioxid umgesetzt werden.

Für den oben genannten Anwendungsfall für das Gas muss jedoch die Problematik der Entteerung des Brenngases gelöst werden.

In Bild 2 ist das Gesamtverfahren einschließlich Gasaufbereitung, Blockheizkraftwerk und Brennkammer als Fließbild dargestellt.

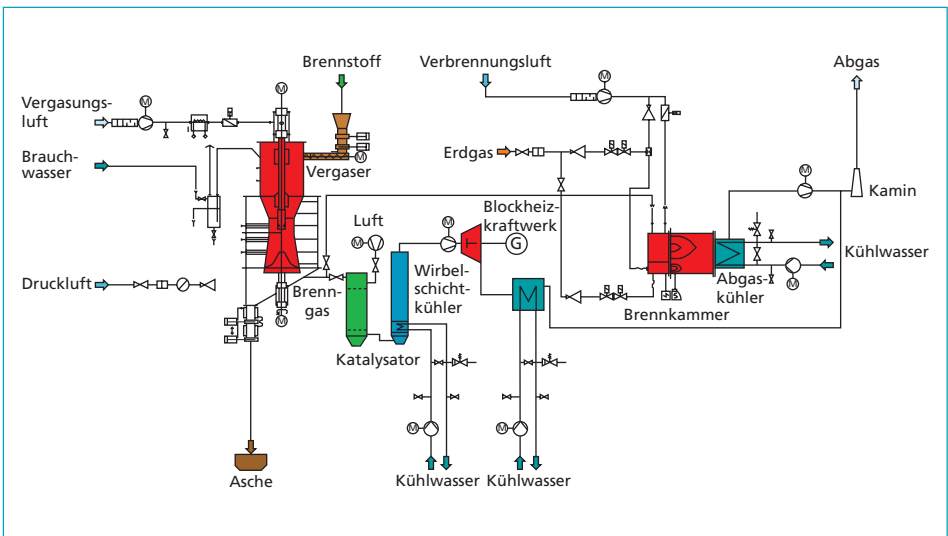


Bild 2: Fließbild des Gesamtverfahrens aus Vergasung, Gasaufbereitung, Blockheizkraftwerk und Brennkammer

2. Gasaufbereitung

Ziel ist es, für die Technik der Biomassevergasung zur Energieerzeugung mit einem Verbrennungsmotor ein einfaches und effizientes System bzw. Verfahren für die Aufbereitung der Brenngase zur Verfügung zu stellen.

Da die Gase für die folgenden Verfahrensstufen, z.B. Staubabscheidung, abgekühlt werden müssen und auch der Einsatz des Gases im Motor eine bestimmte Temperatur voraussetzt, muss dieses möglichst direkt hinter der Stufe der Gas-erzeugung aufbereitet werden. Insbesondere handelt es sich um die Behandlung des Gases hinsichtlich des Gehalts an höhersiedenden Kohlenwasserstoffen (PAK's). Die Teere kondensieren bei der Abkühlung charakteristisch entsprechend ihren Siedepunkten. Somit wird der Betrieb der Anlage durch Ablagerungen und schließlich Verstopfung und der Betrieb des Motors beträchtlich eingeschränkt, oder dieser kann nicht mehr gewährleistet werden. Aber nicht nur der Teergehalt im Gas ist eine ausschlaggebende Größe. Ausschlaggebend für einen störungsfreien Betrieb ist u.a. ein möglichst geringer Staubgehalt im Gas. Neben den Anforderungen des Verbrennungsmotors an die Reinheit des Gases, nimmt der Heizwert eine wesentliche Rolle ein.

In Tabelle 1 sind die relevanten Kriterien der Gaseigenschaften für den Betrieb eines Gasmotors und deren Auswirkungen auf den Betrieb zusammengestellt.

Tabelle 1: Kriterien und Auswirkungen für den Betrieb von Gasmotoren

Kriterium	Auswirkungen auf Gasmotoren
Heizwert	bestimmt den Brennstoffmassestrom und entscheidet über das Brennkammer-volumen
Heizertschwankungen	Leistungsschwankungen; durch auch meist geänderte Klopfestigkeit werden überproportionale Leistungsreduzierungen nötig; bei Auftreten von Klopfen eventuell Motorschädigung
Flammgeschwindigkeit	bestimmt bei Auslegung über Brennraumgröße, Ventilzeiten usw.; hohe Flammgeschwindigkeit von H ₂ birgt Gefahr einer Rückzündung in die Brenngasleitung
kondensierbare Bestandteile	Verstopfungen in Leitungen und Schäden an Einlassventilen; nach Eintritt in den Brennraum meist geringere Probleme; unter Umständen Verkürzung der Betriebszeiten
Methanzahl <i>Klopfestigkeit</i>	entscheidend für mögliches Kompressionsverhältnis im Brennraum und damit für den maximalen Wirkungsgrad sowie den zulässigen Lastbereich
Gehalt an Wasser bei unverändertem Heizwert	nahe der Sättigungsgrenze kann es durch die Kompression zu Problemen führen (Unterschreiten des Dampfdruckes → Kondensation mit Wasserschlägen → Motorschaden)
Gehalt an CO bei unverändertem Heizwert	erhöhter Anteil an CO erhöht durch Schlupf bei der Spülung des Brennraumes mit Frischgas in der Regel die CO-Emissionen
Gehalt an H ₂ bei unverändertem Heizwert	Beeinflussung der Klopfestigkeit und Flammgeschwindigkeit; bei ungünstiger Fahrweise mit niedriger Luftzahl Verringerung der Betriebszeit des Motorenöls durch Hydrierung; Leistungsanpassung und Zündpunktverstellung werden notwendig; höhere Verbrennungstemperatur → Erhöhung der NO _x -Emission ohne entsprechende Gegenmaßnahme

Quelle: Arbeitsbericht der Projektgemeinschaft Biomassevergasung; Hersteller und Marktbetrachtung der thermo-chemischen Umwandlung von Biomasse. Gefördert durch die FNR

Um das Ziel der Bereitstellung eines einfachen und effizient arbeitenden Reinigungssystems zu erreichen, werden zwei katalytische Verfahren entwickelt und erprobt: die durch das Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. Duisburg (IUTA) entwickelte katalytisch spaltende Hydrierung und die an der Professur Kraftwerkstechnik der TU Dresden entwickelte katalytisch partielle Oxidation. Bei diesen Verfahren werden hochsiedende Kohlenwasserstoffe in niedrigsiedende Kohlenwasserstoffe gespalten oder reagieren zu bestimmten Gaskomponenten, abhängig von der Art der an der Reaktion beteiligten Reaktionspartner und den Betriebsbedingungen.

Für den bei der TU Dresden betriebenen Gleichstromvergaser wird das Verfahren der katalytisch partiellen Oxidation für die Aufbereitung der Brenngase theoretisch und praktisch untersucht und für das Gas, welches im Gegenstromvergaser bei IUTA erzeugt wird, wird das Prinzip der katalytisch hydrierenden Spaltung an der TU Dresden theoretisch betrachtet.

2.1. Grundlagen

Zunächst werden wesentliche Grundlagen der heterogenen Katalyse allgemein sowie der katalytisch hydrierenden Spaltung und der katalytisch partiellen Oxidation im Besonderen dargestellt.

2.1.1. Heterogene Katalyse und Katalysatoren

Die heterogene Katalyse ist eine Reaktion von gasförmigen oder flüssigen Stoffen an der Oberfläche eines festen Partners, des Katalysators. Durch die Anwesenheit eines Katalysators wird die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht bzw. die Aktivierungsenergie herabgesetzt. Die nach außen messbare Reaktionsgeschwindigkeit r_{eff} ist von mehreren Einflussgrößen abhängig, z.B. von der Phasengrenzfläche, der Schüttdichte des Katalysators und der Porenstruktur. Die Auswahl des Katalysators richtet sich nach den angestrebten Reaktionen, die zu katalysieren sind.

Die bei Gasreinigungsprozessen eingesetzten Katalysatoren sind in der Regel Metalle oder Metallverbindungen, sowie ihre Oxide. Diese Metalle sind auf einem sonst inaktiven Trägermaterial mit einer großen äußeren und inneren Oberfläche aufgebracht. Ein Katalysator sollte eine hohe Aktivität und Selektivität hinsichtlich der zu erzielenden Reaktionen aufweisen. Eine zweite Anforderung ist eine hohe Stabilität, d.h. hohe Temperaturbeständigkeit, Beständigkeit gegenüber mechanischen Einflüssen, wie Abrieb, und chemische Beständigkeit.

Von Kripylo et al. [4] werden unter anderem der Einsatz und die Wirkmechanismen von Palladium-Katalysatoren für den chemischen Prozess der Hydrierung an verschiedenen Beispielen dargestellt. So ergibt sich z.B. für die Hydrierung von 1,3-Butadien in Richtung abnehmender Selektivität folgende Reihe:



Die Hydrierung in Gegenwart von Palladium-Katalysatoren verläuft nach verschiedenen Mechanismen, welche an dieser Stelle nicht weiter erörtert werden sollen.

Auch von Zymalkowski [6] werden die Eigenschaften des Palladiums für die Katalyse von Hydrierreaktionen beschrieben. Die große Aktivität dieses Materials macht höhere Drücke und höhere Temperaturen überflüssig.

Für die partielle Oxidation haben Kripylo et al. [4] ebenfalls ausführliche Aufzeichnungen über den Einsatz von Katalysatoren veröffentlicht. Das Edelmetall Palladium wird im Zusammenhang mit der katalytischen Reinigung von Autoabgasen erwähnt. Platin weist zwar eine höhere Aktivität als Palladium auf, doch im Vergleich zu anderen Materialien sind beim Einsatz von Palladium die gewünschten Ziele unter wirtschaftlichen Bedingungen zu erfüllen.

2.1.2. Katalytisch hydrierende Spaltung

Ziel dieses Verfahrens ist es, die im Rohgas nach dem Gegenstromvergaser befindlichen Teere unter Anwesenheit von Wasserstoff zu spalten. Bei der katalytisch hydrierenden Spaltung, auch Hydrocracken genannt, handelt es sich um Reduktionsvorgänge der organischen Bestandteile im Brenngas mit molekularem Wasserstoff in Verbindung mit dem Katalysator.

Bei der Hydrierung kommt es zur Anlagerung von elementarem Wasserstoff an die Kohlenstoffbindungen ungesättigter Kohlenwasserstoffe. Langkettige Kohlenwasserstoffe – Teere – werden gespalten, so dass Verbindungen entstehen, die kürzere Ketten aufweisen. Es entstehen gesättigte Alkane mit niedrigen Siedepunkten.

Im ersten Reaktionsschritt wird der Wasserstoff von der Oberfläche des Katalysators aufgenommen. Die Bindung des H_2 -Moleküls bricht. Dabei kommt es zur Bindung mit dem Metall (MH-Bindung). Anschließend findet dann eine Reduktion von Mehrfachbindungen statt und das hydrierte Molekül wird zum Abschluss der katalytischen Reaktion von der Metalloberfläche desorbiert.

Großtechnisch eingesetzt wird der Prozess des Hydrocrackens zum Beispiel zur Kraftstoffherstellung, der Spaltung von Erdölrückständen und Teeren.

Die Reaktionen zwischen den Teeren und dem Wasserstoff verlaufen exotherm, d.h. unter Wärmebildung. Ein weiterer Effekt des Hydrocrackens ist die Bildung von festem Kohlenstoff, welcher sich auf der Katalysatoroberfläche absetzt. Aromatische Kohlenwasserstoffe werden bei Temperaturen größer 200 °C zu Kohlenstoff dehydriert. Eine Regenerierung des Katalysators ist nach einer gewissen Einsatzzeit unvermeidbar. Der Katalysator wird durch Überleiten von Sauerstoff regeneriert, so dass der Kohlenstoff abbrennt.

2.1.3. Katalytisch partielle Oxidation

Ziel der Erprobung der katalytisch partiellen Oxidation ist der Abbau höher-siedender Kohlenwasserstoffe im Rohgas, so dass der Betrieb eines Motors mit diesem Brenngas unter verträglichen Standzeiten durchführbar ist.

Bei der katalytisch partiellen Oxidation handelt es sich um Oxidationsprozesse der organischen Bestandteile im Gas mit Luftsauerstoff in Verbindung mit dem Katalysator. *Partiell* bedeutet, dass der Sauerstoff in Form des Luftsauerstoffs unterstöchiometrisch zugegeben wird, damit die CH- und CHO-Verbindungen zu

CO und H₂ reagieren und nicht vollständig zu CO₂ und H₂O oxidiert werden. Weiterhin sollen die brennbaren Komponenten CO, CH₄ und H₂ nur teilweise reagieren, damit nicht so große oder keine Verluste im Heizwert und Energiegehalt des Brenngases eintreten.

Als Katalysatoren kommen Metalle, wie Nickel oder Palladium, aber auch Dolomit und Kaliumcarbonat zur Anwendung. Durch den Einsatz des Katalysators wird die bei der reinen partiellen Oxidation benötigte Reaktionstemperatur von etwa 1.000 °C bei gleichen Umsätzen reduziert. Die gewünschten Reaktionen beginnen durch die Herabsetzung der Aktivierungsenergie schon bei niedrigeren Temperaturen, so dass eventuell eintretende unerwünschte Zersetzungen der Reaktionspartner ausgeschlossen werden können.

Die Reaktionen der partiellen Oxidation verlaufen exotherm.

2.2. Theoretische Untersuchungen

Die theoretischen Betrachtungen dienen der schnellen Abschätzung des Teerumsatzes und der Auslegung der Gasreinigungsstufe. Im Speziellen werden die Schwerpunkte Stoff- und Energiebilanzierung, thermodynamische Gleichgewichte und Reaktionskinetik für die hochmolekularen Verbindungen und die übrigen Gasbestandteile im Teer betrachtet.

Um Eingangsdaten für die theoretischen Untersuchungen zur Verfügung zu stellen, wurden an den Versuchsvergasern der TU Dresden und der IUTA e.V. in praktischen Testläufen Messungen zu den jeweils erzeugten Brenngasen durchgeführt. Die wichtigsten Parameter hinsichtlich der Analyse des Gases sind die Komponenten CO, CO₂, H₂ und CH₄, die Staubbelastung und die Konzentration an Teer.

Im Ergebnis der Stoff- und Energiebilanzierung werden Aussagen über den Verbrauch und die Bildung der einzelnen Reaktanten, den Bedarf an Wasserstoff bzw. Sauerstoff für die gewünschten Spaltreaktionen der Teere und die Entwicklung der Temperaturen bei den jeweiligen Verfahren getroffen. Bei den Kohlenwasserstoffen, welche beispielhaft für die Berechnungen ausgewählt wurden, handelt es sich um Phenanthren, 1,2-Benzendiol, Pyren und Vanillin.

Mit Hilfe der thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen ist es möglich, die optimalen Betriebsbedingungen für die hydrierende Spaltung und die partielle Oxidation für den Abbau der Teere ohne zu hohe Verluste in der Qualität des Brenngases hinsichtlich Heizwert und Energiegehalt theoretisch im Voraus zu bestimmen. Die für die Berechnungen benötigten Stoffwerte können z.B. [2] bzw. [5] entnommen werden. Von Klemm [3] wird eine Software zur Berechnung von chemischen Gleichgewichten beschrieben, diese wurde auch bei den hier beschriebenen Untersuchungen angewandt. Bei dem Programm handelt es sich um *gasequ 0.71*. Variiert werden als Eingangsparameter in die Berechnungen die Bedingungen, unter denen die Reaktionen ablaufen, d.h. es werden Temperaturen und Drücke definiert. Weiterhin werden die Konzentrationen von Kohlenwasserstoffen, Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser in bestimmten Bereichen festgelegt.

Als Vertreter für die Kohlenwasserstoffe werden Benzol und Phenol herangezogen, da diese mit den für die Berechnung notwendigen definierten Daten in der Software integriert sind. Im Ergebnis stehen Aussagen über die Rußbildung während der Reaktionen, den Abbau der Teere, die Entwicklung der Konzentrationen der einzelnen Gaskomponenten und somit über den noch zur Verfügung stehenden Heizwert des Brenngases zur Verfügung.

Der Teergehalt im Rohgas wurde bedingt durch die eingesetzte Vergasungstechnik und die experimentellen Voruntersuchungen bei den Betrachtungen zur hydrierenden Spaltung zwischen 25 und 60 $\text{g/m}^3_{\text{Brenngas}}$ und bei denen zur partiellen Oxidation zwischen 5 und 10 $\text{g/m}^3_{\text{Brenngas}}$ variiert.

Mit den reaktionskinetischen Betrachtungen ist es möglich, die Einflüsse des Katalysators mit zu integrieren. So können im Ergebnis dieser Betrachtungen zum Beispiel der zeitliche Ablauf der Reaktion der Oxidation von Phenanthren *ohne* und *mit* Anwesenheit von einem katalytisch wirkenden Stoff im Vergleich ermittelt werden.

Da Reaktionen z.B. durch das zusätzliche Einbringen von Wärme beschleunigt werden können, ist die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten k von der Temperatur näher zu betrachten. Mit Hilfe der Arrhenius-Gleichung und der oben genannten Abhängigkeit wird eine Aussage zur notwendigen Aktivierungsenergie für den Ablauf der Reaktionen getroffen.

Die Reaktionen wurden für die Ermittlung der oben genannten Parameter durch ein Geschwindigkeitsgesetz erster Ordnung beschrieben.

2.3. Experimentelle Untersuchungen

Aufbauend auf den theoretischen Betrachtungen und den Untersuchungen von Klemm [3] wurde der Versuchsreaktor für die katalytisch partielle Oxidation ausgelegt. Die Versuchsanlage und die dort durchgeführten experimentellen Untersuchungen werden im Folgenden vorgestellt.

2.3.1. Kleintechnische Versuchsanlage

Der Versuchsreaktor ist als Schüttgutreaktor ausgeführt. Die Versuchsanlage mit ihrer Peripherie ist so gestaltet, dass eine Veränderung und im Ergebnis eine Optimierung hinsichtlich der Reaktionsbedingungen möglich ist. So können z.B. die Auswirkungen der Parameter Temperatur, Verweilzeit und Reaktionsgeschwindigkeit und deren Wechselwirkungen auf die Reaktion untersucht werden.

Ausschlaggebend für die Auslegung des Reaktors bezüglich des Innenraumvolumens sind der Volumenstrom des Gases und die Beladung des Gases mit Kohlenwasserstoffen. Der Volumenstrom, welcher in der Anlage behandelt wird, beträgt 10 Nm^3/h .

Mit den in [3] dargestellten Parametern hinsichtlich Gasvolumenstrom und Katalysatorbeladung wurde eine Raumgeschwindigkeit von 1.250 h^{-1} erreicht. Dieser Wert ist Grundlage für die Auslegung des Versuchsreaktors, da unter diesen Voraussetzungen gute Teerabbauraten nachgewiesen wurden.



Bild 3: Kleintechnischer Versuchsreaktor zur katalytisch partiellen Oxidation der Brenngase

Die Versuchsanlage wird in die bei der TU Dresden betriebene Biomassevergasungsanlage integriert. In Bild 3 ist die vor Ort montierte Apparatur dargestellt.

Der Reaktor ist mit einer elektrischen Begleitheizung ausgestattet, um so das System einschließlich der Katalysatorschüttung vor Überleiten des Brenngases vorzuheizen und somit Kondensationserscheinungen auszuschließen oder zu minimieren. Ein weiterer Effekt ist die Möglichkeit mit der Zusatzbeheizung auf die Reaktionstemperatur Einfluss zu nehmen, um so die für den Abbau der Teere optimale Temperatur in Abhängigkeit anderer Parameter bestimmen zu können. Das ist dann der Fall, wenn die Exothermie des Prozesses nicht ausreichend ist, um die gewünschte oder erforderliche Temperatur einzustellen.

Die theoretischen Untersuchungen haben gezeigt, dass unter der Annahme von adiabaten Verhältnissen und in Abhängigkeit von der Eintrittstemperatur des Gases und der Luft die Temperatur von 700 °C bezogen auf die im Versuchsbetrieb erreichte Gaseintrittstemperatur nicht zu erreichen ist. Zusätzlich treten bei einem solchen Verfahren Wärmeverluste auf, die die Verhältnisse noch verschlechtern. Durch eine Teilverbrennung der gasförmigen brennbaren Komponenten H_2 , CO und CH_4 kann die Temperatur angehoben werden, wobei immer berücksichtigt werden muss, dass ein gewisser Mindestheizwert vom Brenngas nach der oxidativen Behandlung zur Verfügung stehen muss. Für den Einsatz dieser Gasaufbereitungstechnik im großtechnischen Maßstab ist zumindest für die externe Wärmezufuhr während der Prozessabläufe im Reaktor eine andere, weniger kostenintensive Quelle zu suchen. Hier bietet sich die Abwärme aus dem Verbrennungsprozess gekoppelt mit der Wärme, welche durch die Kühlung des Blockheizkraftwerks anfällt, an.

Für die kleintechnischen Untersuchungen werden Katalysatoren eingesetzt, bei denen es sich in Bezug auf die aktiven Komponenten zum einen um Palladium und zum anderen um Nickel handelt. Als Trägermaterialien für die Katalysatoren kommen Metallabfallspäne aus dem Material 1.4751 zum Einsatz, die vor der Beschichtung aufwendig von allen anhaftenden Fremdstoffen, wie Öl und Fett, gereinigt werden. Die Beladung mit Palladium bzw. Nickel beträgt 0,05 bis 0,1 Gew.-%. In Bild 4 ist das Katalysatormaterial, welches für die Erprobung der katalytisch partiellen Oxidation eingesetzt wird, hinsichtlich seiner Form und

Größe dargestellt. Das Katalysatormetall wird in beiden Fällen elektrochemisch in einer Drehtrommelanlage auf dem vorbehandelten Trägermaterial abgeschieden. Diese Methode wird aktuell angewandt, da bei dem bisher eingesetzten Verfahren der Fällung und Kalzinierung keine so hohe mechanische Standfestigkeit der Beschichtung erreicht werden kann.



Bild 4: Katalysatormaterial

2.3.2. Probenahme, Probenaufbereitung und Analysen

CO, CO₂ und CH₄ werden mit Infrarotspektroskopie und H₂ mit Wärmeleitfähigkeitsdetektoren bestimmt. Diese Komponenten werden online mit einem Gasanalysator aufgenommen.

Die Teermengen werden nach der von Klemm beschriebenen Methode [3] bestimmt. Bei dieser Probenahme wird ebenfalls der im Gasstrom befindliche Staub mit abgeschieden und in den folgenden Untersuchungen quantitativ bestimmt.

Die Probenahmestellen befinden sich jeweils in den waagerechten Leitungen vor bzw. hinter dem Reaktor.

Während der Probenahme befindet sich die Messapparatur zur Teerbestimmung in einem Eisbad. Beim Durchströmen der Extraktionshülse wird das Teerkondensat durch die Abkühlung des Gases an der Innenseite der Hülse abgeschieden. Die Probenahmezeit beträgt je Probe drei bis fünf Minuten.

Je Versuchspunkt – Betriebsbedingungen – werden zeitgleich auf der Roh- und Reingasseite drei Proben – Teer – genommen, wobei jeweils eine Doppelbestimmung vorgenommen wird. Die Aufnahme der Gaszusammensetzung wird über die Zeit der Teermessungen von der Roh- zur Reingasseite umgeschaltet. Die Probenahme für die Gaszusammensetzung und die Teermenge findet somit zeitweise für das Roh- und Reingas parallel statt, so dass mit jedem Versuchspunkt die Teerkonzentration in Verbindung mit der Gaszusammensetzung für die Auswertung zur Verfügung steht.

Durch die parallele Messung der Teerbelastung im Roh- und Reingas kann der Abbau der Teere mit der katalytisch partiellen Oxidation bei den jeweiligen Betriebsbedingungen nachgewiesen werden. In Bild 5 sind die Extraktionshülsen im Anschluss an die Probenahme auf der Roh- und Reingasseite dargestellt.



Bild 5: Extraktionshülsen nach der Probenahme auf der Roh- und Reingasseite

Die Summe der Teer- und Staubmenge wird gravimetrisch durch Auswiegen der Probenahmehülsen bestimmt.

Um eine qualitative Aussage zu den Teerinhaltstoffen zu treffen werden die Probenahmehülsen mit Tetrahydrofuran (THF) extrahiert. Über diese Behandlung wird auch eine Trennung zwischen den Teeren und dem Staub erreicht, so dass eine Ermittlung der aus dem Vergaser ausgetragenen Staubmenge und der im Reaktor abgeschiedenen Staubmenge möglich wird.

Zur Identifizierung der einzelnen Teerinhaltstoffe werden die extrahierten Proben mit Hilfe der Gaschromatographie ausgewertet. Erfasst werden dafür Kohlenwasserstoffe mit einem Siedepunkt ab 40 °C und bis zu 340 °C. In diesem Bereich befinden sich hauptsächlich polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), welche für einen störungsfreien Motorenbetrieb aus dem Gas abgeschieden oder durch bestimmte Reaktionen in für den Motorenbetrieb unproblematische Verbindungen umgewandelt werden müssen.

Die Beschaffenheit des Katalysators nach dem Einsatz bei der partiellen Oxidation und dem anschließenden Regenerieren – Abbrennen des Kohlenstoffs – im Rahmen der zweiten Versuchsreihe wurde mit Hilfe der rasterelektronenmikroskopischen Analyse (REM) untersucht. Ausschlaggebend für die Entscheidung, diese Untersuchungen durchzuführen, war eine durch das Öffnen des Reaktors nach der Regenerierung des Katalysator deutlich erkennbare Veränderung des Materials. Während der Regeneration wurden im Reaktor zeitweise sehr hohe Temperaturen erreicht, so dass der Verdacht bestand, dass es zu einer Oxidation des Palladiums gekommen ist und somit die Wirksamkeit des Katalysators nicht

mehr besteht. Der Verdacht wurde durch die Bildung eines sehr feinen rotbraunen Staubes auf der Katalysatoroberfläche und an den Wandungen des Reaktors erhärtet.

Durch die doppelte Analyse hinsichtlich des Katalysatorzustands nach der Regeneration durch Abbrennen des Kokes mit Luftsauerstoff kann deutlich untermauert werden, bis zu welchen Betriebstemperaturen die katalytische Palladium-Beschichtung auf dem Trägermaterial beständig ist.

2.3.3. Versuchsbetrieb

Es wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt, wobei die erste Kampagne dem Test der verschiedenen Komponenten diente, um so eventuell nötige Optimierungsmaßnahmen in der Anlagentechnik und der Peripherie abzuleiten. Die festgestellten Defizite für den Betrieb und bei der Probenahme wurden beseitigt und durch optimierte Verfahrensänderungen ersetzt. Bei den folgenden Versuchen wurden unterschiedliche Betriebsparameter eingestellt, wobei im Wesentlichen durch die Variation der Menge der zugeführten Luft und der Einstellung der Solltemperatur der elektrischen Begleitheizung Einfluss auf die Reaktionstemperatur genommen wird. Als Katalysatormaterial wurde zunächst Palladium eingesetzt. Bei den verschiedenen definierten Versuchspunkten wurden Proben zur Bestimmung der Gasqualität vor und nach der Behandlung mit der katalytisch partiellen Oxidation gezogen. In Auswertung der Ergebnisse dieser Proben ist eine Aussage über den Einfluss des Prozesses auf die Entwicklung der Gaszusammensetzung und somit den Heizwert und die Reinheit des Gases in Form des Abbaus an Teer zu treffen. Das Fahrregime wurde unter Anwendung von Nickel als aktive Komponente wiederholt.

Bei Erreichen von stabilen Verhältnissen im Vergaser und im vorgeheizten Reaktor wird der Gasweg zum Reaktor geöffnet und ein Volumenstrom von 10 m³/h mit den installierten Schiebern eingestellt. Der Volumenstrom bzw. der Druckverlust über der Blende wird mit einem U-Rohr-Manometer auf der Ein- und Austrittsseite angezeigt.

Durch das Überleiten von Brenngas (BG) über die Katalysatorschüttung kommt es zur Verschiebung des Temperaturprofils im Reaktor. Diese Verläufe sind in Bild 6 aufgetragen (Bezeichnung *mit Brenngas*).

Die Abkühlung des Systems im unteren Bereich wird durch den Eintrag eines kälteren Gasstroms in den Reaktor verursacht. Durch Wärmeübertragung vom vorgeheizten Katalysatormaterial an das Gas und die Fließrichtung des Gases von unten nach oben wird der Bereich mit der höchsten Ausgangstemperatur nach oben verschoben (Wärmetransport). Bei den Untersuchungen mit Palladium wird der Höchstwert von etwa 660 °C wieder erreicht. Bei Einsatz von Nickel beharrt das System auf einem niedrigeren Temperaturniveau als im Ausgangszustand.

Über die Einstellung des zugeführten Luftstromes wird auf Grund der Menge an dem an den Reaktionen beteiligten Sauerstoff die Temperatur verändert. Da der Luftbedarf für die partielle Oxidation vom Teergehalt im Rohgas abhängt, aber der Teergehalt erst bei zeitversetzten Analysen bestimmt werden kann, muss

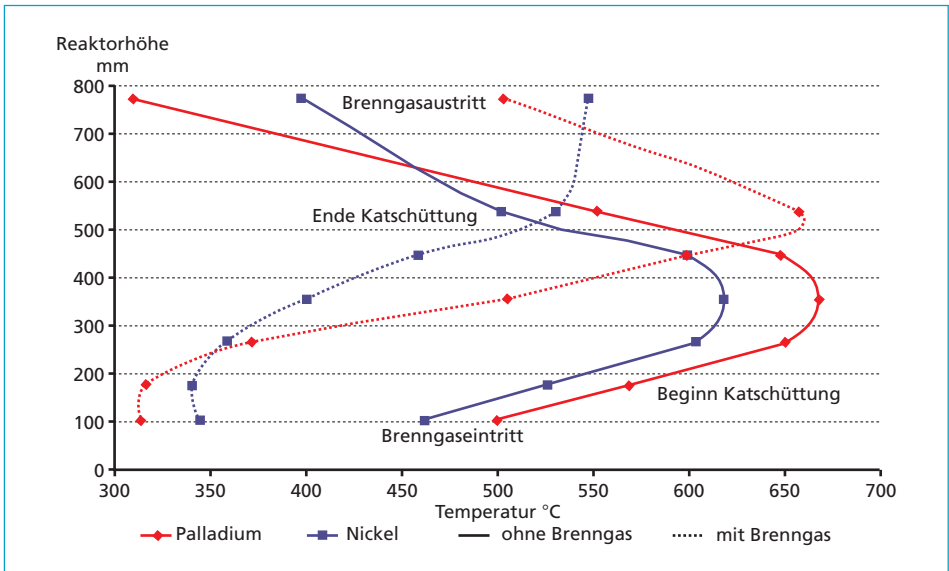


Bild 6: Temperaturprofil im Versuchsreaktor

die Einstellung für den Volumenstrom Luft in mehreren Stufen variiert werden. Über die Probenahmen an den verschiedenen Versuchspunkten ist im Nachhinein, und zwar nach der Bestimmung des Teer- und Staubgehaltes, das Optimum zu finden.

In Tabelle 2 sind die einzelnen Versuchspunkte mit ihren Voreinstellungen und den sich ergebenden Betriebsparametern (Brenngasvolumenstrom) zusammengefasst.

Tabelle 2: Betriebsparameter während der Versuche

Parameter	Einheit	Versuch 1										
		Palladium										
Versuchspunkt		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9		
Temperatur Begleitheizung	°C	730				400						
Volumenstrom Brenngas	m³/h	9,2				9,1	7,3					
Luftzugabe	m³/h	0,1	0,2	0,3	0,4	1,8	1,4	1,2	0,8	0,6		
Sauerstoffzugabe	Mol.-%	0,23	0,46	0,68	0,91	4,13	4,00	3,42	2,27	1,71		
		Versuch 2										
		Nickel										
Versuchspunkt		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	
Temperatur Begleitheizung	°C	670						400				
Volumenstrom Brenngas	m³/h	9,2		8,6		7,0	6,1		6,6	5,6	6,2	
Luftzugabe	m³/h	0,1	0,2	0,6	0,8	1,0	1,4	1,4	1,2	0,8	0,6	
Sauerstoffzugabe	Mol.-%	0,23	0,46	1,46	1,94	2,98	4,77		3,79	2,98	2,02	

Der Brenngasvolumenstrom, welcher als Teilstrom über den Reaktor gezogen wird, konnte trotz Nachregelung in Abhängigkeit von der Gastemperatur nicht über den gesamten Versuchszeitraum konstant gehalten werden. Gründe hierfür sind zum einen Druckschwankungen im Gesamtsystem und zum anderen das teilweise Verstopfen der Blende auf der Brenngaseintrittsseite. Diese Schwankungen müssen bei der Auswertung der Versuchsergebnisse berücksichtigt werden.

Die Erhöhung der Luftzugabe wurde abhängig von der Entwicklung der Temperaturen im Reaktor gefahren. Der Grenzwert für die Temperatur im Reaktor wurde bei 700 °C festgelegt.

Die Untersuchungen an der kleintechnischen Versuchsanlage sind abgeschlossen und die gewonnenen Messdaten werden derzeit dokumentiert und ausgewertet.

2.3.4. Ergebnisse

Aus den Ergebnissen der bisher analysierten Daten wird deutlich, dass es mit der katalytisch partiellen Oxidation gelingt, den Teergehalt im Gas in Summe bei optimalen Betriebsbedingungen soweit zu senken, dass ein Einsatz des Gases im Verbrennungsmotor möglich ist. Diese Aussage basiert auf einer rein gravimetrischen Bestimmungsmethode. Eine genaue Analyse zur Entwicklung der Inhaltsstoffe im Gas wird mittels Gaschromatographie durchgeführt. Die Zusammensetzung des Gases hinsichtlich der heizwertbestimmenden Komponenten wird mit Hilfe eines Gasanalysators online erfasst. Es ist festzustellen, dass die Qualität auf einem Niveau gehalten werden kann, um so den durch die Motorenhersteller vorgegebenen Mindestwert einzuhalten.

In den Bildern 7 und 8 ist der Teerabbau in Summe von der Roh- zur Reingasseite als Ergebnis der katalytisch partiellen Behandlung aufgetragen.

Es resultiert unter allen Betriebsbedingungen eine Verringerung des Teergehaltes. Auch bei den gravimetrischen Untersuchungen hinsichtlich des Staubes werden diese Erkenntnisse getroffen. Eine Ausnahme bildet in Bezug auf Teer der Versuchspunkt 1.9 unter Einsatz des Palladiumkatalysators und einer Luftzugabe von 0,6 Nm³/h. Der Grund hierfür ist nicht in dem Prozess selbst zu suchen. Verantwortlich für dieses Ergebnis ist die Probenahme. Ursache kann z.B. ein verminderter Durchfluss durch die Probenahmehülsen auf der Rohgasseite sein. Es werden zwar Parallelbestimmungen durchgeführt, um solche Missstände zu kompensieren, aber die Auswahl der Proben zur Extraktion wird nur auf Basis der ermittelten Gewichts Differenz von der Rohgas- zur Reingasseite getroffen. Eine spätere Korrektur ist nicht möglich bzw. zu zeitintensiv.

Im Hinblick auf die *Entstaubung* ist keine Abhängigkeit zwischen der zugeführten Luftmenge in den Prozess und der Umsetzung des Staubes zu erkennen. Hinsichtlich der Gasqualität wird aber festgestellt, dass die Anforderungen der Motorenhersteller an den maximalen Staubgehalt von 50 mg/m³_{Gas} bei weitem nicht erreicht werden. Für die Umsetzung der Anlagentechnik im industriellen Einsatzbereich ist eine Nachentstaubung des Gases unbedingt erforderlich. Da das Gas für den Einsatz im Verbrennungsmotor gekühlt werden muss, ist eine Anlagentechnik zu konzipieren, welche die Aufgabe der Kühlung und der Entstaubung parallel umsetzen kann.

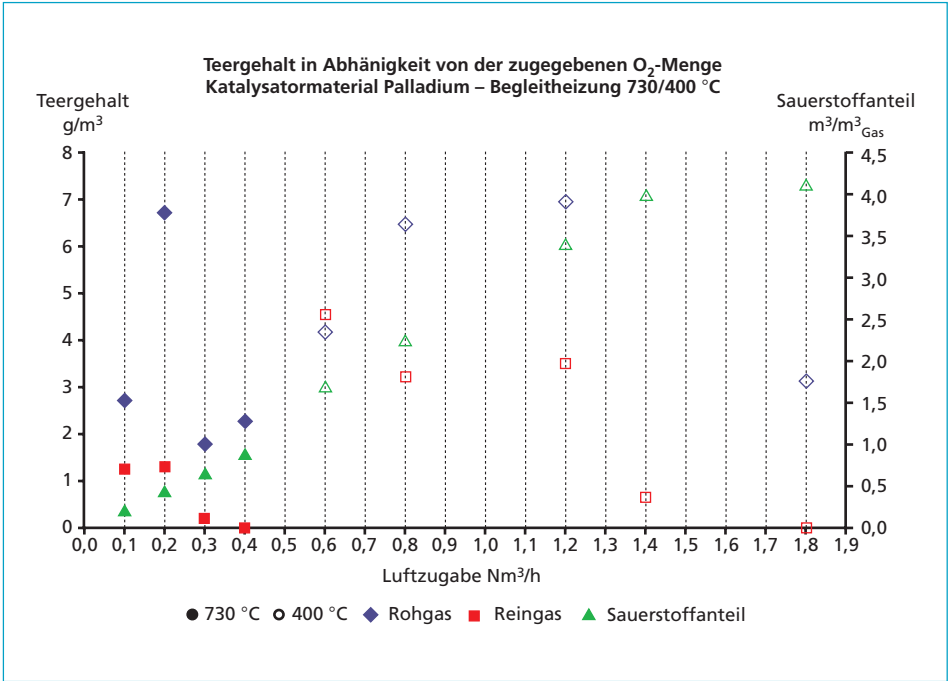


Bild 7: Teergehalt im Roh- und Reingas unter Einsatz des Palladium-Katalysators

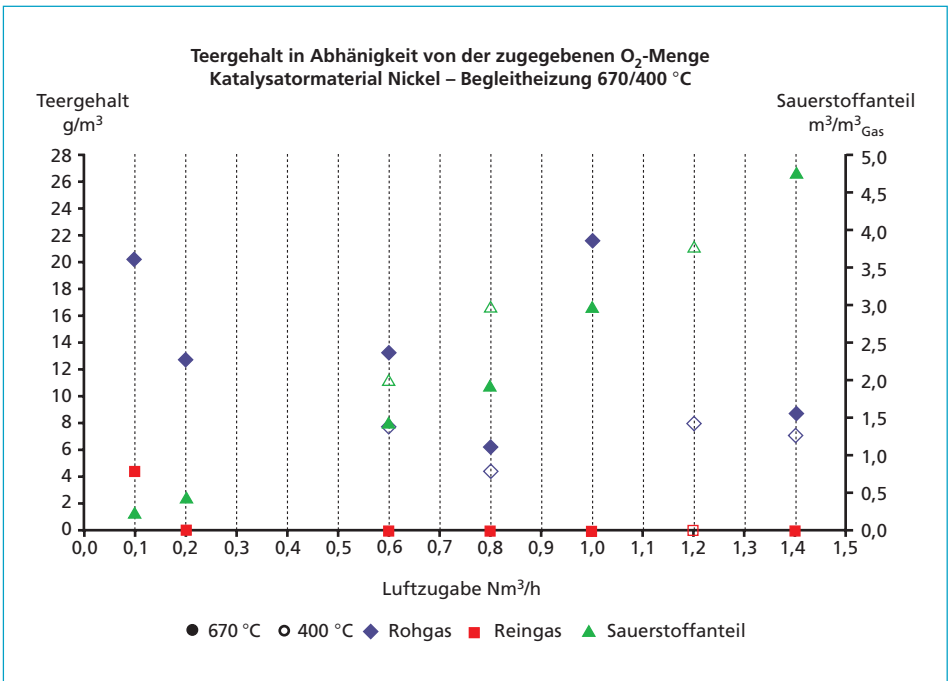


Bild 8: Teergehalt im Roh- und Reingas unter Einsatz des Nickel-Katalysators

Bei der Auswertung der Entwicklung des Teergehalts von der Roh- zur Reingasseite können folgende Aussagen getroffen werden:

Der Abbau von Teer wird in jedem Fall durch eine Erhöhung der zugeführten Luftmenge verstärkt. Besonders beim Einsatz von Palladium ist diese Abhängigkeit sehr gut zu erkennen. Unter Einsatz von Nickel sind die Unterschiede in den Abbauraten nicht mehr sehr groß. Es wird in nahezu jedem Punkt die hundertprozentige Umsatzrate erreicht.

Diese Entwicklung mit Steigerung der Luftzufuhr war in jedem Fall zu erwarten. Rein theoretisch führen die Betriebsbedingungen zu Reaktionen der Oxidation, so dass die CH- und CHO-Verbindungen zu CO_2 und H_2O verbrannt werden. An den Verbrennungsreaktionen können genauso gut die brennbaren gasförmigen Komponenten CO , CH_4 und H_2 beteiligt sein. Aber diese Art der Reaktionen sind für den hier angestrebten Anwendungsbereich der Strom- und Wärmeerzeugung durch Verbrennung des Gases in einem Motor unter Einhaltung eines Mindestheizwertes soweit wie möglich zu unterdrücken.

Weiterhin wird deutlich, dass die Temperaturbedingungen im Reaktor einen großen Einfluss auf die Umsatzrate der Teere haben. Diese Aussage betrifft nicht die Temperaturänderung mit der Menge an zugeführtem Sauerstoff, sondern die Solltemperatur der Begleitheizung. Bei einer niedrigen Temperatur der Begleitheizung muss die erforderliche Wärme für die Umsetzung der Teere durch die Erhöhung der Sauerstoffzugabe und somit durch die Förderung der Oxidationsprozesse in den Prozess eingebracht werden.

Zwischen den Variablen Luftzuführung und Temperatur der Fremdbeheizung muss ein Optimum gefunden werden, welches aber in erster Linie durch die zur Verfügung stehende Abwärme oder andere Quellen im Prozess oder Nebenprozessen bestimmt wird. Eine Vorwärmung des Rohgases mit der fühlbaren Wärme des heißeren Reingases wird angestrebt.

Bezogen auf den absoluten Teergehalt im Reingas hinsichtlich der Nutzung des Gases als Brenngas in einem Verbrennungsmotor wird der Wert von $10 \text{ mg/m}^3_{\text{Gas}}$, welcher als Zielstellung formuliert wurde, bei Einsatz des mit Palladium beschichteten Katalysators nicht erreicht. Unter Anwendung von Nickel als aktive Komponente kann der Zielwert erreicht werden. Dieses Ergebnis kann an dieser Stelle aber noch keine Basis für die Wahl des Katalysatormaterials für die folgenden praktischen Untersuchungen sein. Auch hier muss erst die Auswertung zu den Gaskomponenten vorliegen, um so Rückschlüsse auf die im Reaktor abgelaufenen Reaktionen zu ziehen.

Für die Bewertung der Gasqualität hinsichtlich des *Teergehalts* als Maßstab für die Eignung als Brenngas für einen Verbrennungsmotor ist es wesentlich, die Teere nach Menge und Art zu analysieren. Für den Betrieb des Motors ist es nicht zwingend erforderlich jede der gefundenen Komponenten aus dem Gas zu entfernen. Die Konzentration der einzelnen Bestandteile spielt eine wesentliche Rolle. Um zu diesem Sachverhalt genaue Aussagen treffen zu können, werden die Resultate der gaschromatographischen Untersuchungen ausgewertet.

Im Ergebnis der Auswertung können in guter Übereinstimmung die Verbindungen analysiert werden, welche schon im Rahmen der experimentellen Voruntersuchungen erfasst wurden.

Im Bild 9 sind die Verbindungen, welche in den Proben der Rohgasseite, d.h. vor der katalytisch partiellen Oxidation, detektiert wurden, als Mittelwerte jeweils für die Untersuchungen mit Palladium und Nickel als aktive Komponenten zusammengefasst. Die Höhe des Balkens gibt die Beladung des Rohgases mit der jeweiligen Verbindung an.

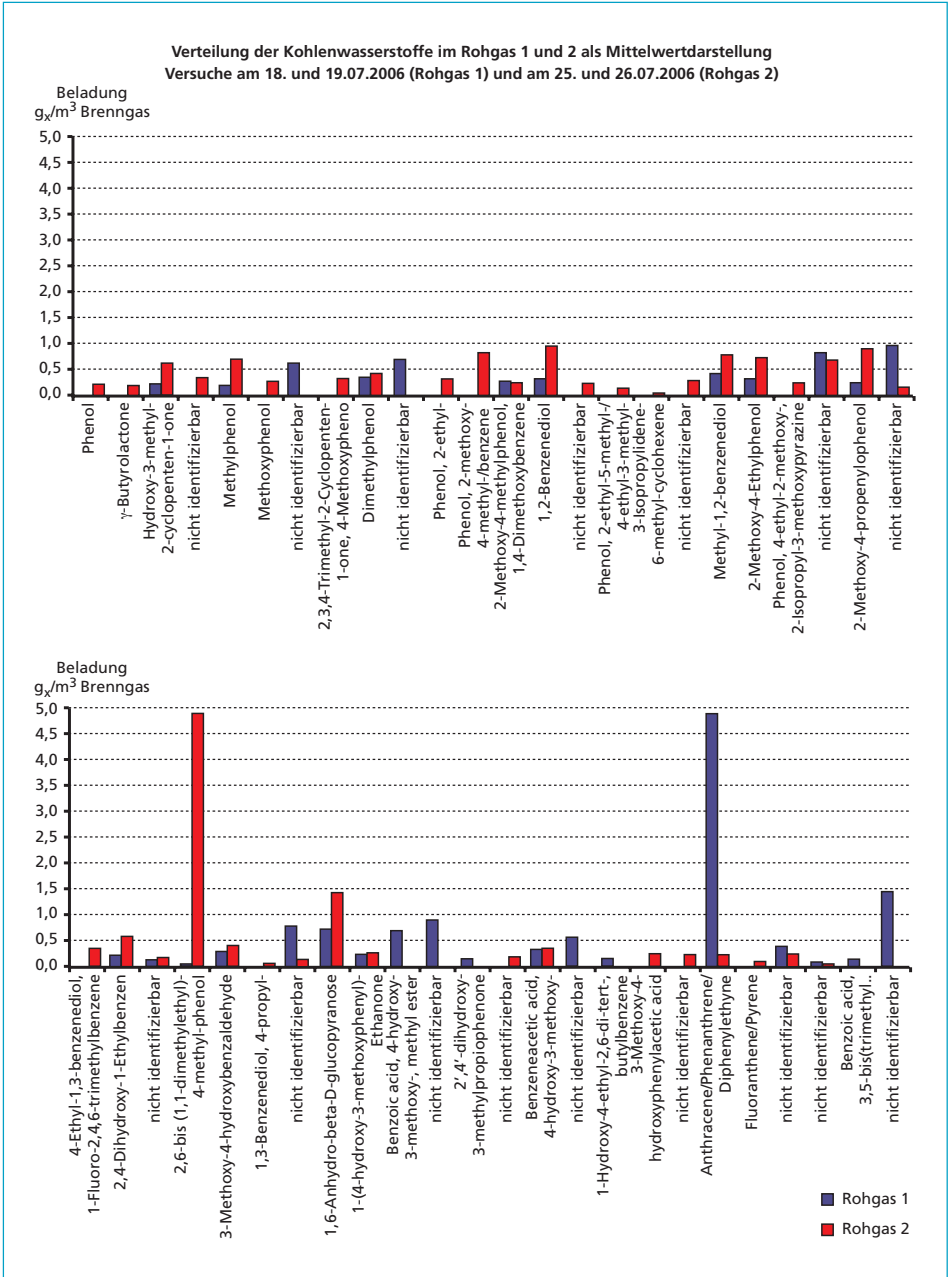


Bild 9: Kohlenwasserstoffverbindungen im Rohgas

Es wird deutlich, dass die Qualität des Gases, welches aus dem Vergaser austritt, sehr großen Schwankungen unterliegt, trotz der Tatsache, dass eine möglichst konstante und stabile Betriebsführung angestrebt wurde. Durch die Interpretation der aufgestellten Diagramme wird es sehr gut möglich, die Verbindungen herauszufiltern, die fast immer im Rohgas bei der Vergasung von naturbelassenen Holzhackschnitzeln enthalten sind. Den größten Anteil im Holzgas nimmt die Gruppe der Phenole ein. So sind als Vertreter Methylphenol, 2-Methoxy-4-ethylphenol und 2,6-Bis(1,1-dimethylethyl)-4-methylphenol zu nennen. Weitere typische Verbindungen sind 1,2-Benzendiol, 1,6-Anhydro-beta-D-glucopyranose, Anthracen, Diphenylethylen und Phenanthren.

Analysiert werden die Kohlenwasserstoffe, welche sich noch im Reingas, d.h. nach der katalytisch partiell oxidativen Gasbehandlung, befinden. Wichtig ist hier, die Abhängigkeit von den in der Aufbereitungsstufe herrschenden Betriebsbedingungen herauszufiltern. In den Bildern 10 und 11 werden die Entwicklungen der Reingasqualität unter Variation der zugegebenen Luftmenge und somit als Funktion der im Reaktor vorherrschenden Betriebstemperatur und dem eingesetzten Katalysatormaterial im Vergleich zum Mittelwert der jeweiligen Komponente im Rohgas untersucht. Mit diesen Darstellungen soll ein Überblick über die Abbau- und auch Bildungsreaktionen hinsichtlich der Kohlenwasserstoffe gegeben werden.

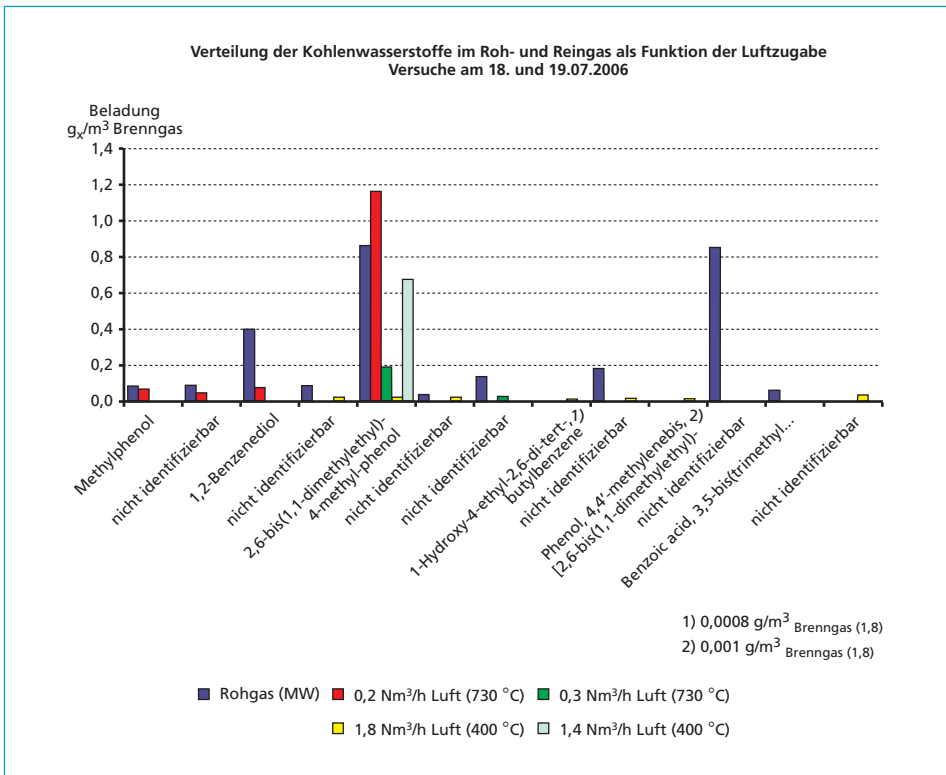


Bild 10: Kohlenwasserstoffe im Roh- und Reingas unter Einsatz des Palladium-Katalysators

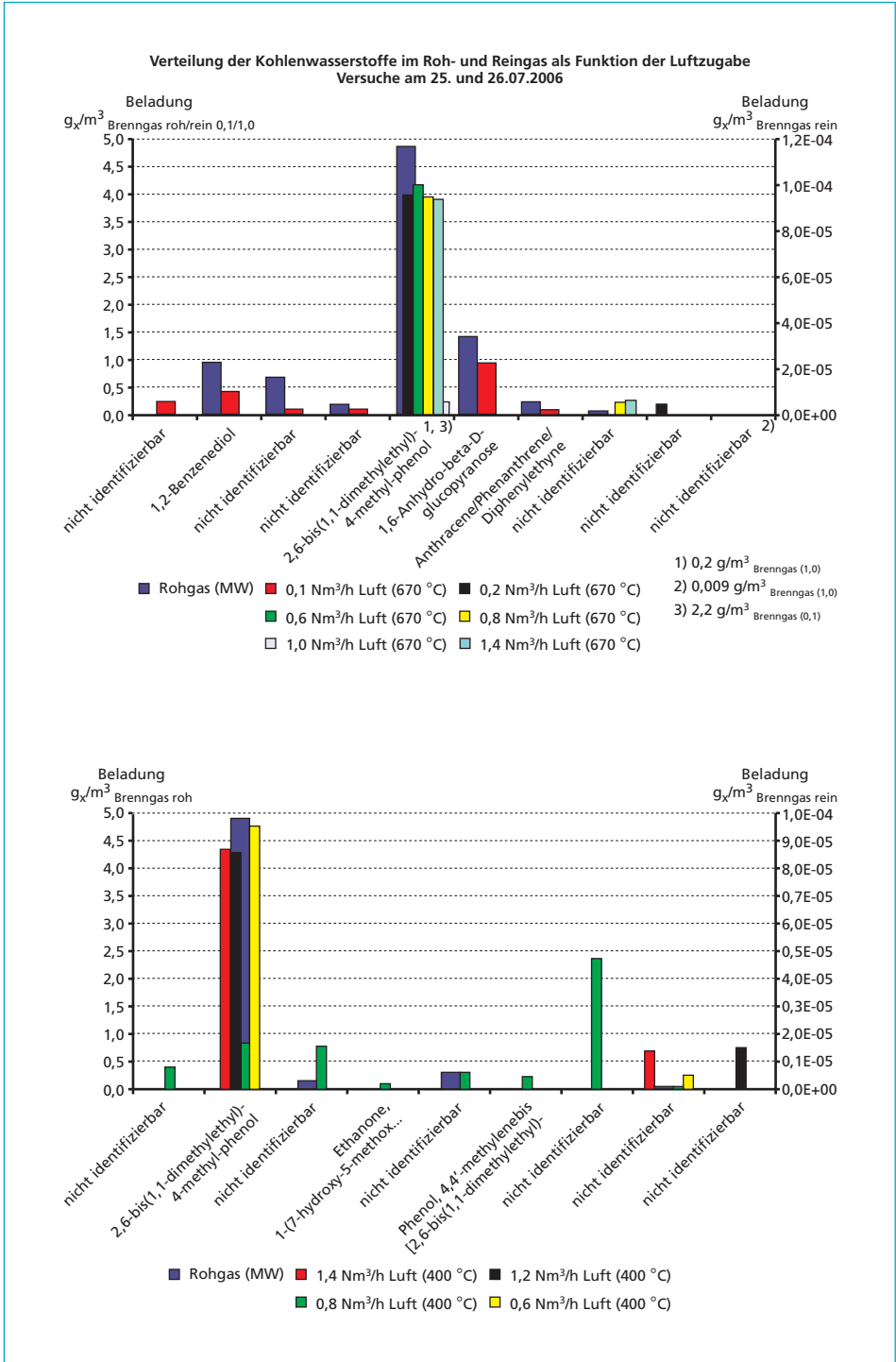


Bild 11: Kohlenwasserstoffe im Roh- und Reingas unter Einsatz des Nickel-Katalysators

Es wird deutlich dass in allen Fällen, bis auf eine Ausnahme, die Verbindungen, welche im Rohgas identifiziert wurden im Reingas einen kleineren Wert annehmen oder nicht mehr nachgewiesen werden konnten. Die angesprochene Ausnahme bildet bei den Versuchen am 18./19.07.2006 das 2,6-Bis(1,1-dimethyl-ethyl)-4-methylphenol bei einer Luftzugabe von 0,2 Nm³/h. Es wird eine 35 %ige Erhöhung gegenüber dem Mittelwert der Rohgasbeladung erreicht. Im direkten Vergleich ergibt sich sogar eine Erhöhung um etwa 110 Prozent.

Weiterhin wird deutlich, dass bei dem untersten Wert hinsichtlich der Luftzugabe von 0,2 Nm³/h bzw. 0,1 Nm³/h die Beladung zwar in jeder Verbindung gegenüber dem Rohgas abnimmt, aber die Komponente als solche noch vorhanden ist. Unter Zunahme der Luftmenge werden die Beladungen unter gleichen Betriebsbedingungen, d.h. gleicher Temperatur der Begleitheizung, geringer oder können in den Reingasproben nicht mehr nachgewiesen werden.

Wie schon erläutert sind auch die gasförmigen Komponenten CO, H₂ und CH₄ im Rohgas an den Reaktionen mit dem durch die Luft eingetragenen Sauerstoff beteiligt. Für die Zielstellung des motorischen Einsatzes des Brenngases nach der Gasbehandlung ist ein Mindestheizwert im Gas zur Verfügung zu stellen. Es ist ein Optimum zwischen dem Abbau der Teerkomponenten und dem Erhalt einer für den Motorenbetrieb vertretbaren Gasqualität zu finden.

In Auswertung der Gasanalysen bestätigen sich die Aussagen der Gleichgewichtsberechnungen, d.h. die brennbaren Komponenten nehmen vornehmlich in ihrer Konzentration von der Roh- zur Reingasseite hin ab. Durch diese Entwicklung ist eine Verringerung des Heizwertes zu verzeichnen. Der Mindestheizwert für einen effizienten Einsatz im Verbrennungsmotor kann in den meisten Fällen eingehalten werden.

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Ergebnisse der kleintechnischen Versuche zusammengefasst.

Tabelle 3: Versuchsergebnisse zur katalytisch partiellen Oxidation

Parameter	Einheit										
Katalysatormaterial		Palladium									
Versuchspunkt		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	
Teerabbau	%	53,66	80,20	88,89	100,00	100,00	92,05	49,32	48,72	–	
Rohgasheizwert	MJ/Nm ³	4,21	4,70	4,39	4,70	4,97	5,10	3,77	4,19	4,62	
Reingasheizwert	MJ/Nm ³	3,77	4,30	4,13	4,42	2,93	2,99	1,73	3,79	4,05	
Katalysatormaterial		Nickel									
Versuchspunkt		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Teerabbau	%	77,77	100	100	100	98,97	100	100	100	100	100
Rohgasheizwert	MJ/Nm ³	5,13	4,64	4,39	4,53	5,45	4,23	4,19	4,38	3,80	3,93
Reingasheizwert	MJ/Nm ³	4,59	3,82	3,77	3,48	4,02	3,35	2,99	3,66	2,73	3,27

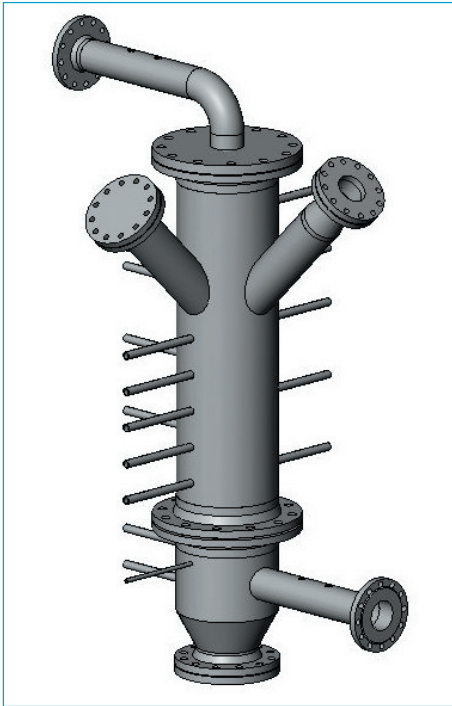


Bild 12: Modell des Reaktors zur katalytisch partiellen Oxidation für den Einsatz in der Demonstrationsanlage

Ziel des derzeit laufenden Forschungsvorhabens ist der Betrieb einer Demonstrationsanlage, welche den gesamten Gasstrom, der im Vergaser der TU Dresden erzeugt wird, aufbereitet. Hier stehen die Optimierung der Betriebsweise und der Qualität des Brenngases für Motortauglichkeit und die Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Anlage im Vordergrund.

Die Demonstrationsanlage zur Behandlung des gesamten Gasstromes befindet sich derzeit in Fertigung und wird im zweiten Quartal 2007 in Betrieb genommen. In Bild 12 ist der Reaktor zur katalytisch partiellen Oxidation für den Einsatz in der Demonstrationsanlage dargestellt.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Die Resultate der theoretischen Betrachtungen und die bisher in den kleintechnischen Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse geben Aufschluss über die technische Machbarkeit der Verstromung von aus Biomasse – im vorliegenden Fall aus Holzhackschnitzeln – erzeugtem Brenngas in einem Verbrennungsmotor.

Mit der Stoff- und Energiebilanzierung, den Gleichgewichtsberechnungen und den Betrachtungen zur Reaktionskinetik kann ein Überblick gegeben werden, unter welchen Betriebsbedingungen die Reaktionen mit bestimmten Resultaten ablaufen. Im Detail werden hier die Einflüsse der Temperaturen und der Wirkung des Katalysators betrachtet. Die Entwicklungen hinsichtlich der Trends bei den Gaskomponenten und bei den Abbaureaktionen der Teere mit der katalytisch partiellen Oxidation stellen eine Basis dar, welche erfolgversprechende Ergebnisse für die praktischen Untersuchungen erwarten lassen.

Mit den Versuchen konnten die positiven Aussagen, welche durch die theoretischen Betrachtungen aufgestellt wurden, bestätigt werden. Es konnten im Reingas unter definierten Betriebsbedingungen Teergehalte erreicht werden, die für einen dauerhaften Motorenbetrieb zufriedenstellend sind. Der Heizwert des

Brenngases erreicht ebenfalls Werte, die im oder über dem vom Motorenhersteller empfohlenen Bereich liegen. Eine offene Frage, die in diesem Anwendungsfall noch zu behandeln ist, ist die Staubproblematik.

In näherer Zukunft ist eine Erweiterung der Anlagentechnik um eine Gaskühlung und eventuell eine *Feinreinigung* und eine Entstaubung des Gases angestrebt. Im Rahmen der Optimierung dieser Anlagenkonzeption und mit dem Ergebnis der Bereitstellung eines motortauglichen Gases wird ein Blockheizkraftwerk mit Gas-Otto-Motor in Betrieb genommen und die Betriebsfähigkeit nachgewiesen.

4. Quellen

- [1] Arbeitsbericht der Projektgemeinschaft Biomassevergasung: Hersteller und Marktbetrachtung der thermo-chemischen Umwandlung von Biomasse. Gefördert durch die FNR
- [2] D'Ans-Lax: Taschenbuch für Chemiker und Physiker – Organische Verbindungen. Springer-Verlag, 1983
- [3] Klemm, M.: Heißentteerung von Brenngas aus der Vergasung von Biomasse durch katalytische partielle Oxidation. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 6, Nr. 525, VDI Verlag, 2005
- [4] Kripylo; Wendlandt; Vogt: Heterogene Katalyse in der chemischen Technik. Leipzig-Stuttgart: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1993
- [5] NIST Chemistry WebBook: Homepage unter <http://webbook.nist.gov/chemistry/>
- [6] Zymalkowski, F.: Katalytische Hydrierungen. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1965