

Böhning, Dorith; Klemm, Marco; TU Dresden; Institut für Energietechnik; Professur für Kraftwerkstechnik

AUFBEREITUNG TEERHALTIGER BRENNGASE AUS DER BIOMASSEVERGASUNG

1 Problemstellung

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.

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

Weiterer Anlass ist durch finanzielle Anreize gegeben, so z.B. das Erneuerbare Energie Gesetz oder Prämien für die Nutzung von landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen für den Anbau schnellwachsender Energiehölzer bzw. -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 mittels der 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). Seit vielen Jahren wird auf dem Gebiet der Biomassevergasung mit motorischer Nutzung des Brenngases geforscht.

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.

2 Gaserzeugung

An der Technischen Universität Dresden im Institut für Energietechnik, Professur Kraftwerkstechnik wird seit dem Jahr 2000 ein Versuchsvergaser „IGEL 2000“ betrieben. Bei dem Vergaser handelt es sich um einen Festbettvergaser, welcher als absteigender Gleichstromvergaser ausgeführt ist. Die Feuerungswärmeleistung der Anlage beträgt 75 kW, das entspricht einem Brennstoffeinsatz bei Holzhackschnitzeln von ca. 20 kg/h. Als Vergasungsmittel wird Umgebungsluft eingesetzt. Bei entsprechend 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, speziell im Prozess der Pyrolyse, auf Grund des chemischen Aufbaus der Biomasse Kohlenwasserstoffe gebildet. Die höhersiedenden Kohlenwasserstoffe werden bei der Behandlung der Thematik als Teere bezeichnet. Neben der von diesen Stoffen ausgehenden hochgradig gesundheitsschädigenden Wirkung werden durch die Teere bei Nichtentfernung Einschränkungen des Betriebes eintreten.

Um aber o.g. Anwendungsfall für das Gas zu gewährleisten, muss die Problematik der Entteerung des Brenngases gelöst werden.

In Bild 1 ist das Gesamtverfahren einschließlich Gasaufbereitung, BHKW und Brennkammer als Fließbild dargestellt.

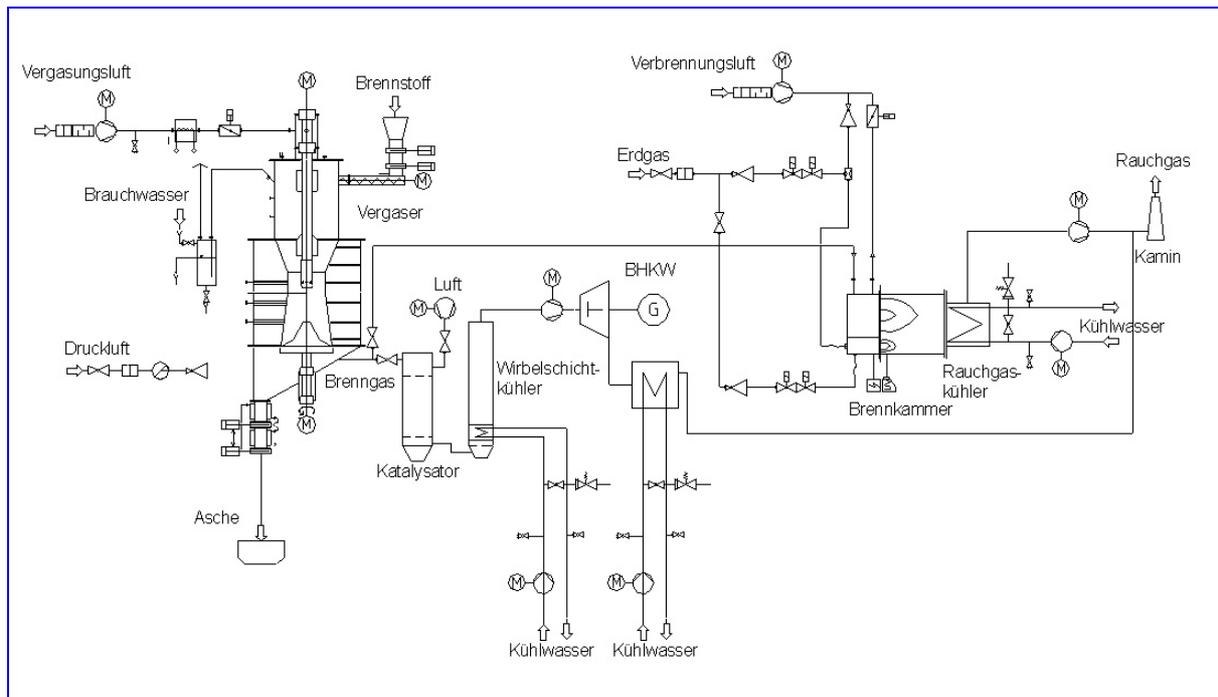


Bild 1: Fließbild Gesamtverfahren

3 Gasaufbereitung

3.1 Einführung

Ziel ist es, für die Technik der Biomassevergasung zur Energieerzeugung mittels eines Verbrennungsmotors 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 Gaserzeugung aufbereitet werden. Insbesondere handelt es sich um die Behandlung des Gases hinsichtlich des Gehalts an höhersiedenden Kohlenwasserstoffen (PAK's). Die Teere werden bei der Abkühlung charakteristisch nach den entsprechenden Siedepunkten kondensieren. Somit wird der Betrieb der Anlage durch Ablagerungen und schließlich Verstopfung und der Betrieb des Motors beträchtlich eingeschränkt bzw. es kann dieser 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.

Um das Ziel der Bereitstellung eines einfachen und effizient arbeitenden Reinigungssystems zu erreichen, wird ein katalytisches Verfahren entwickelt und erprobt, die katalytisch partielle

Oxidation. Bei diesem Verfahren bzw. Reaktionen 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.

Partiell bedeutet, dass die Sauerstoffzugabe in Form des Luftsauerstoffs unterstöchiometrisch erfolgt, damit die CH- bzw. 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 bzw. keine Verluste im Heizwert und Energiegehalt des Brenngases eintreten.

3.2 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 der übrigen Gasbestandteile im Teer betrachtet.

Im Ergebnis der Stoff- und Energiebilanzierung werden Aussagen über den Verbrauch und die Bildung der einzelnen Reaktanten, den Bedarf an 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 wird man in die Lage versetzt, die optimalen Betriebsbedingungen für 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. 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. 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.

Mit den reaktionskinetischen Betrachtungen ist man in der Lage, die Einflüsse des Katalysators mit zu integrieren. So werden im Ergebnis dieser Betrachtungen vergleichsweise z.B. der zeitliche Ablauf der Reaktion der Oxidation von Phenanthren ohne und mit Anwesenheit von einem katalytisch wirkenden Stoff ermittelt.

3.3 Experimentelle Untersuchungen

3.3.1 Kleintechnische Versuchsanlage

Aufbauend auf den theoretischen Betrachtungen und den Untersuchungen in [2] wurde der Reaktor für die katalytisch partielle Oxidation ausgelegt. Ausgeführt ist der Reaktor als Schüttgutreaktor. 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 bzw. Reaktionsgeschwindigkeit und deren Wechselwirkungen auf die Reaktion untersucht werden.

Ausschlaggebend für die Auslegung des Reaktors bezüglich Innenraumvolumen sind der Volumenstrom des Gases und die Beladung des Gases mit Kohlenwasserstoffen. Der Volumenstrom, welcher in der Anlage behandelt wird, beträgt 10 Nm³/h.

Die Versuchsanlage wird in die bei der TU Dresden betriebenen Biomassevergasungsanlage integriert. In Bild 2 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 bzw. 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 bzw. 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 BHKW's anfällt, an.



Bild 2: Kleintechnischer Versuchsreaktor zur katalytisch partiellen Oxidation der Brenngase

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 z.B. Öl und Fett, gereinigt werden. Die Beladung mit Palladium bzw. Nickel beträgt 0,05 bis 0,1 Gew.-%. Das Abscheiden des Katalysatormetalls auf dem vorbehandelten Trägermaterial erfolgt elektrochemisch.

3.3.2 Probenahme, Probenaufbereitung und Analysen

CO, CO₂ und CH₄ werden mittels Infrarotspektroskopie und H₂ über Wärmeleitfähigkeitsdetektoren bestimmt. Diese Komponenten werden online mittels Gasanalysator aufgenommen. Die Teermengenbestimmung erfolgt nach der Methode, welche in [2] beschrieben ist. Bei dieser Probenahme wird ebenfalls der im Gasstrom befindliche Staub mit abgeschieden und in den folgenden Untersuchungen quantitativ bestimmt.

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

Durch die parallele Messung der Teerbeladung im Roh- und Reingas kann der Abbau der Teere mittels der katalytisch partiellen Oxidation bei den entsprechenden Betriebsbedingungen nachgewiesen werden. In Bild 3 sind die Extraktionshülsen im Anschluss an die Probenahme auf der Roh- und Reingasseite dargestellt.

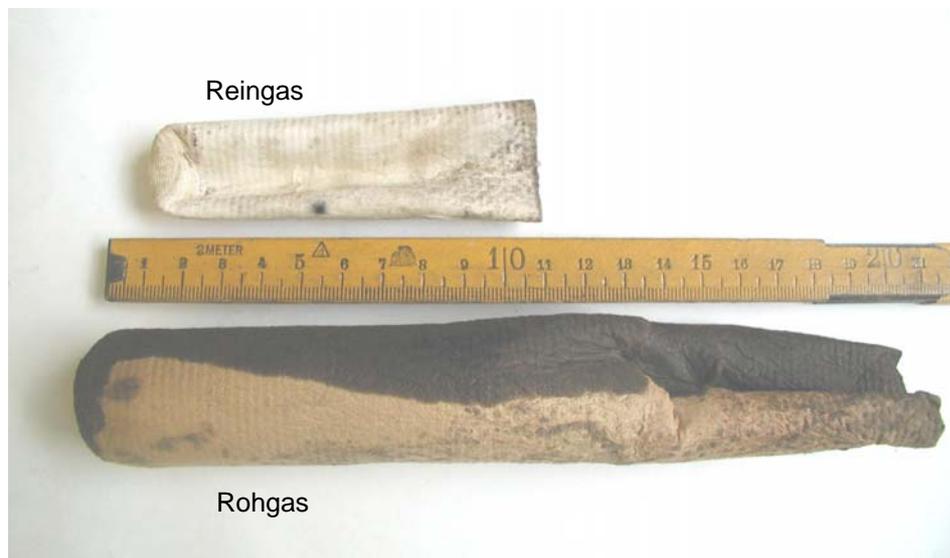


Bild 3: Extraktionshülsen nach der Probenahme auf der Roh- und Reingasseite

Die Bestimmung der Summe der Teer- und Staubmenge erfolgt gravimetrisch über Auswiegen der Probenahmehülsen.

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 bzw. der im Reaktor abgeschiedenen 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 bzw. durch bestimmte Reaktionen in für den Motorenbetrieb unproblematische Verbindungen umgewandelt werden müssen.

3.3.3 Versuchsbetrieb

Bei Erreichen von stabilen Verhältnissen im Vergaser und im vorgeheizten Reaktor wird der Gasweg zum Reaktor geöffnet und ein Volumenstrom von 10 m³/h mittels der installierten Schieber eingestellt.

Über die Einstellung des zugeführten Luftstromes wird auf Grund der Menge an dem an den Reaktionen beteiligten Sauerstoff die Temperatur im Reaktor verändert. Da der Luftbedarf für die partielle Oxidation vom Teergehalt im Rohgas abhängt, aber der Teergehalt erst bei zeitversetzten Analysen bestimmt werden kann, muss 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 der folgenden Tabelle sind die einzelnen Versuchspunkte mit ihren Voreinstellungen bzw. den sich ergebenden Betriebsparametern (Brenngasvolumenstrom) zusammengefasst.

Tabelle 1: Betriebsparameter

Parameter	Versuch 1									
Katalysatormaterial	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 [m ³ /h]	9,2					9,1	7,3			
Luftzugabe [m ³ /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									
Katalysatormaterial	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 [m ³ /h]	9,2		8,6		7,0	6,1		6,6	5,6	6,2
Luftzugabe [m ³ /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

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.

3.3.4 Ergebnisse

Aus den Ergebnissen der analysierten Daten wird deutlich, dass es mittels 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 erfolgt mittels Gaschromatographie. 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 4 und 5 ist der Teerabbau in Summe von der Roh- zur Reingasseite als Ergebnis der katalytisch partiellen Behandlung aufgetragen.

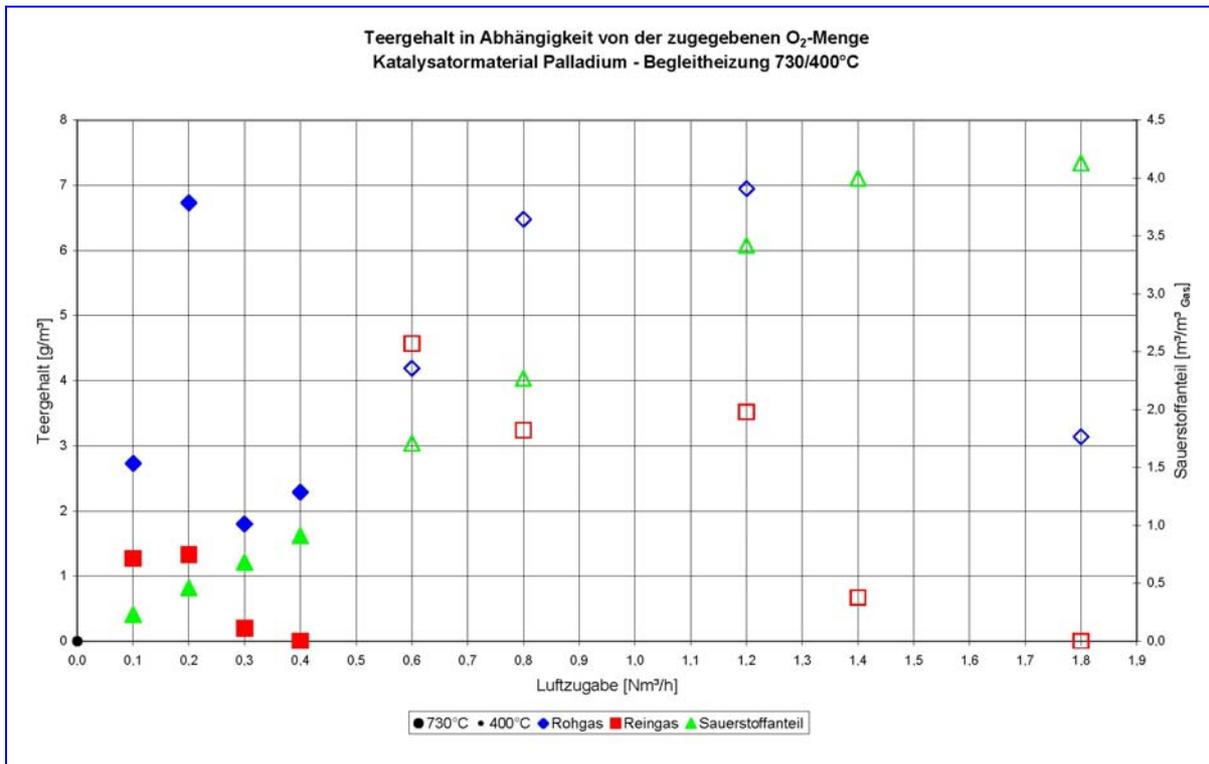


Bild 4: Teergehalt im Roh- und Reingas unter Einsatz des Palladium-Katalysators

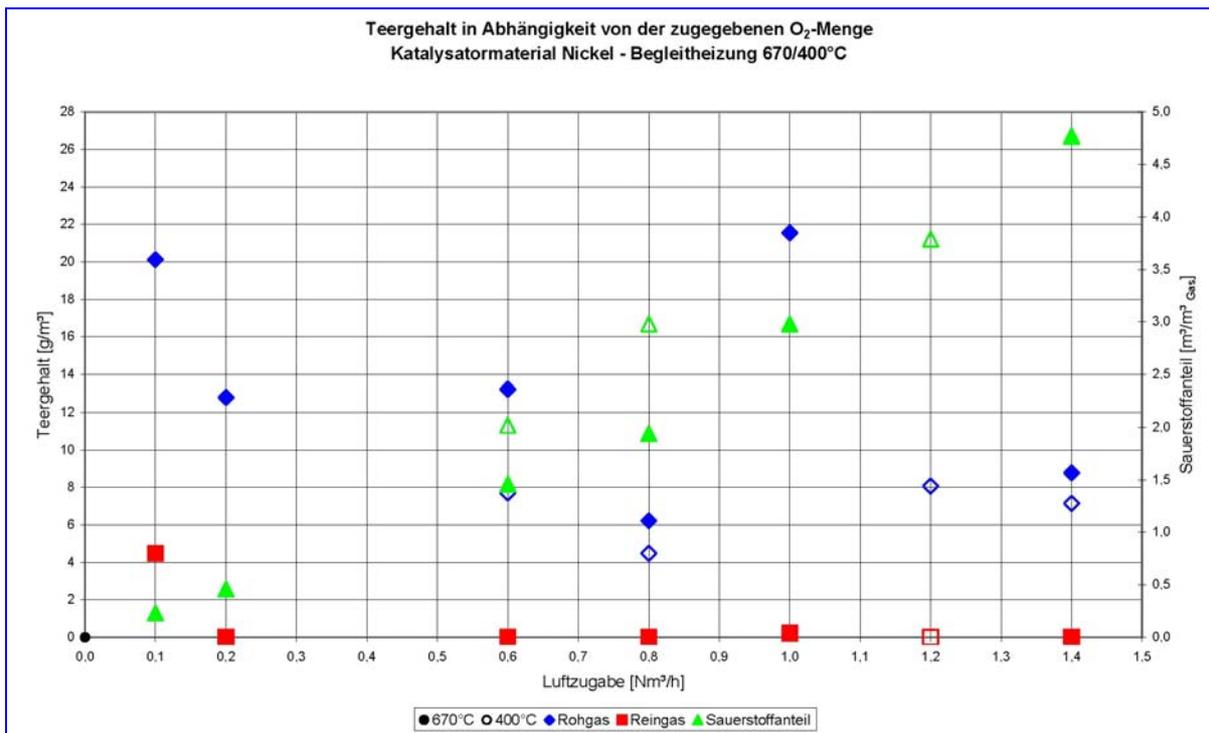


Bild 5: Teergehalt im Roh- und Reingas unter Einsatz des Nickel-Katalysators

Im Hinblick auf die „Entstaubung“ ist keine Abhängigkeit zwischen der zugeführten Luftmenge in den Prozess und der Umsetzung des Staubes zu erkennen, doch generell wird über den Reaktor die Staubmenge im Gas vermindert. Es wird aber festgestellt, dass die Anforderungen der Motorenhersteller an den maximalen Staubgehalt von $50 \text{ mg/m}^3_{\text{Gas}}$ 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.

Bei der Auswertung der Entwicklung des Teergehaltes 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 100%-ige 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 anderer 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.

Für die Bewertung der Gasqualität hinsichtlich „Teergehalt“ 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.

Bei der Auswertung wird deutlich, dass die Qualität des Gases, welches aus dem Vergaser austritt, sehr großen Schwankungen unterlegen ist, trotz der Tatsache, dass eine möglichst konstante und stabile Betriebsführung angestrebt wurde. Durch die Interpretation der Ergebnisse wird es sehr gut möglich, die Verbindungen herauszufiltern, welche fast immer im Rohgas bei der Vergasung von naturbelassenen Holzhackschnitzeln gegenwärtig 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, Diphenylethyn 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 6 bis 8 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- bzw. auch Bildungsreaktionen hinsichtlich der Kohlenwasserstoffe gegeben werden.

Es wird deutlich dass in allen Fällen, bis auf eine Ausnahme, die Verbindungen, welche im Rohgas identifiziert wurden im Reingas einen kleineren Wert annehmen bzw. nicht mehr nachgewiesen werden konnten. Die angesprochene Ausnahme bildet bei den Versuchen am 18./19.07.2006 das 2,6-Bis(1,1-dimethylethyl)-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 ca. 110%.

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 bzw. können in den Reingasproben nicht mehr nachgewiesen werden.

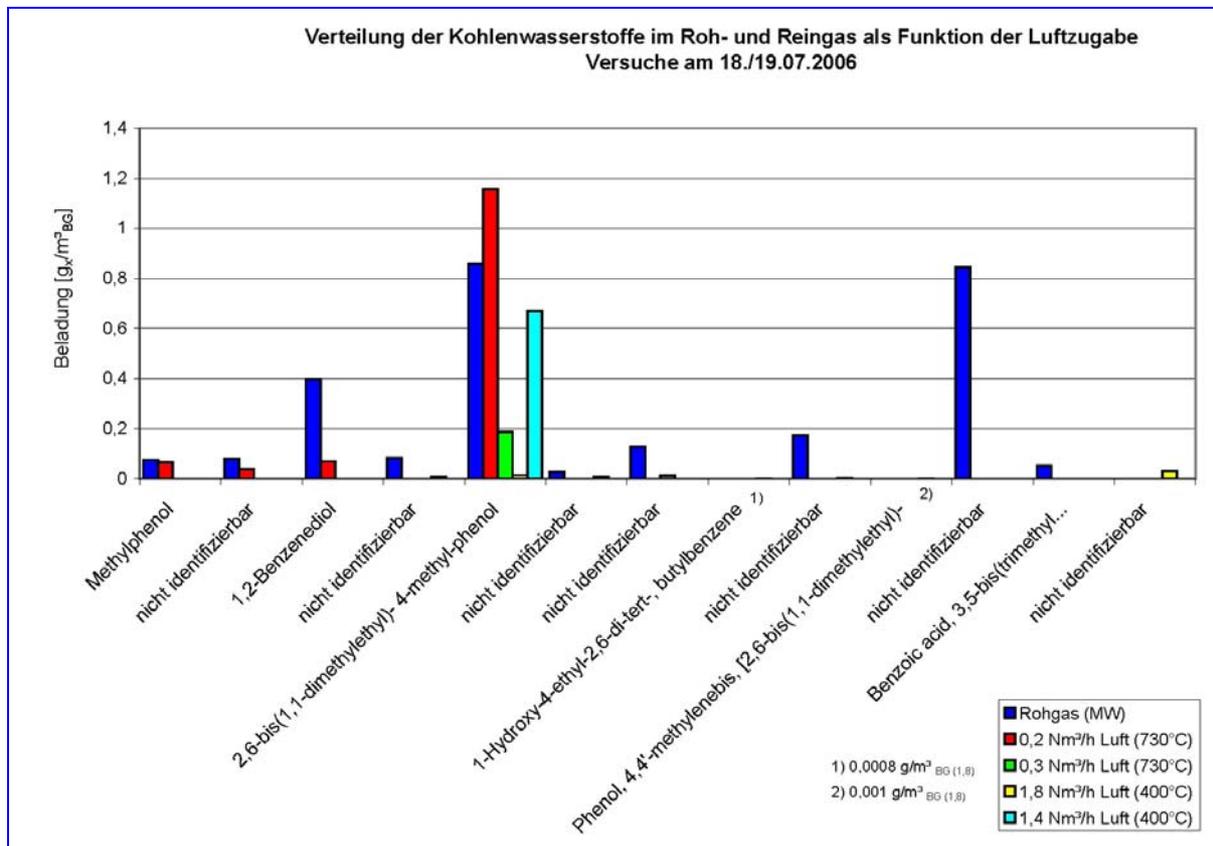


Bild 6: Kohlenwasserstoffe im Roh- und Reingas unter Einsatz des Palladium-Katalysators

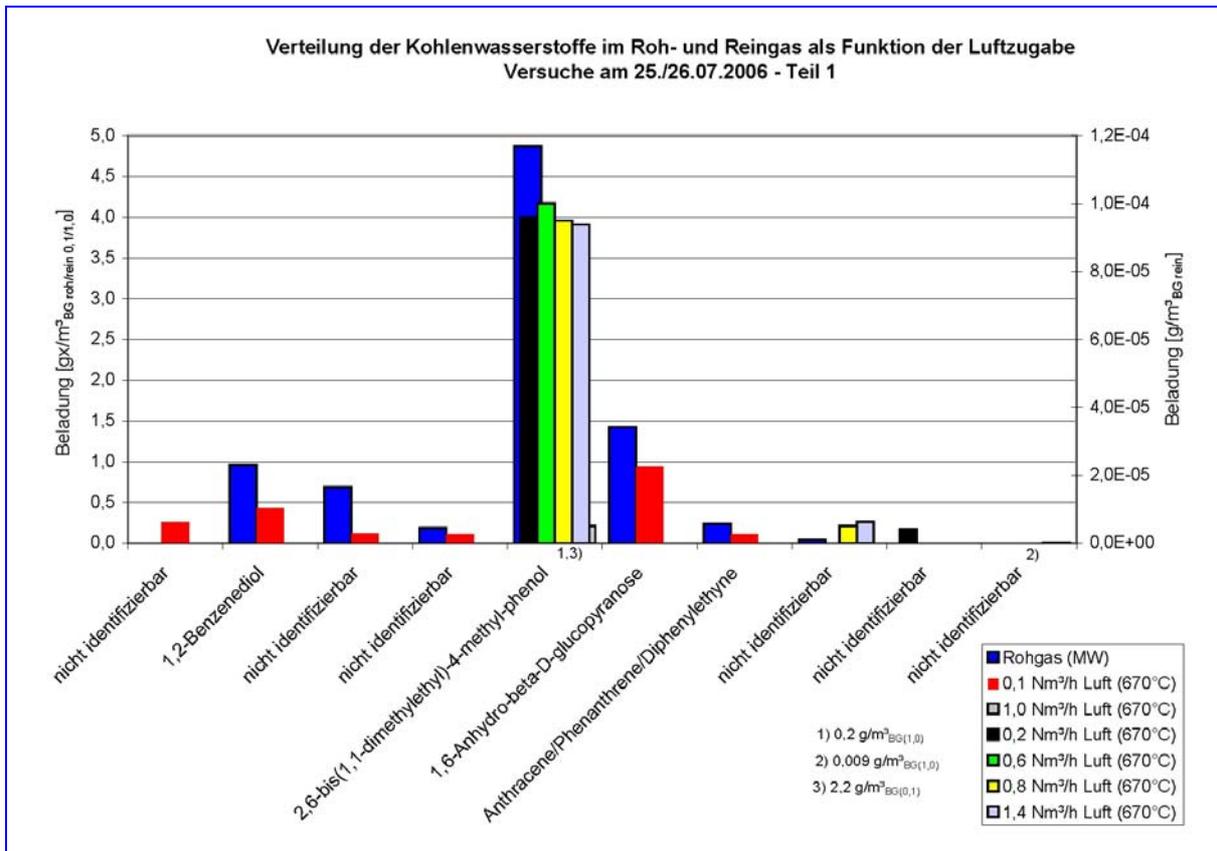


Bild 7: Kohlenwasserstoffe im Roh- und Reingas unter Einsatz des Nickel-Katalysators

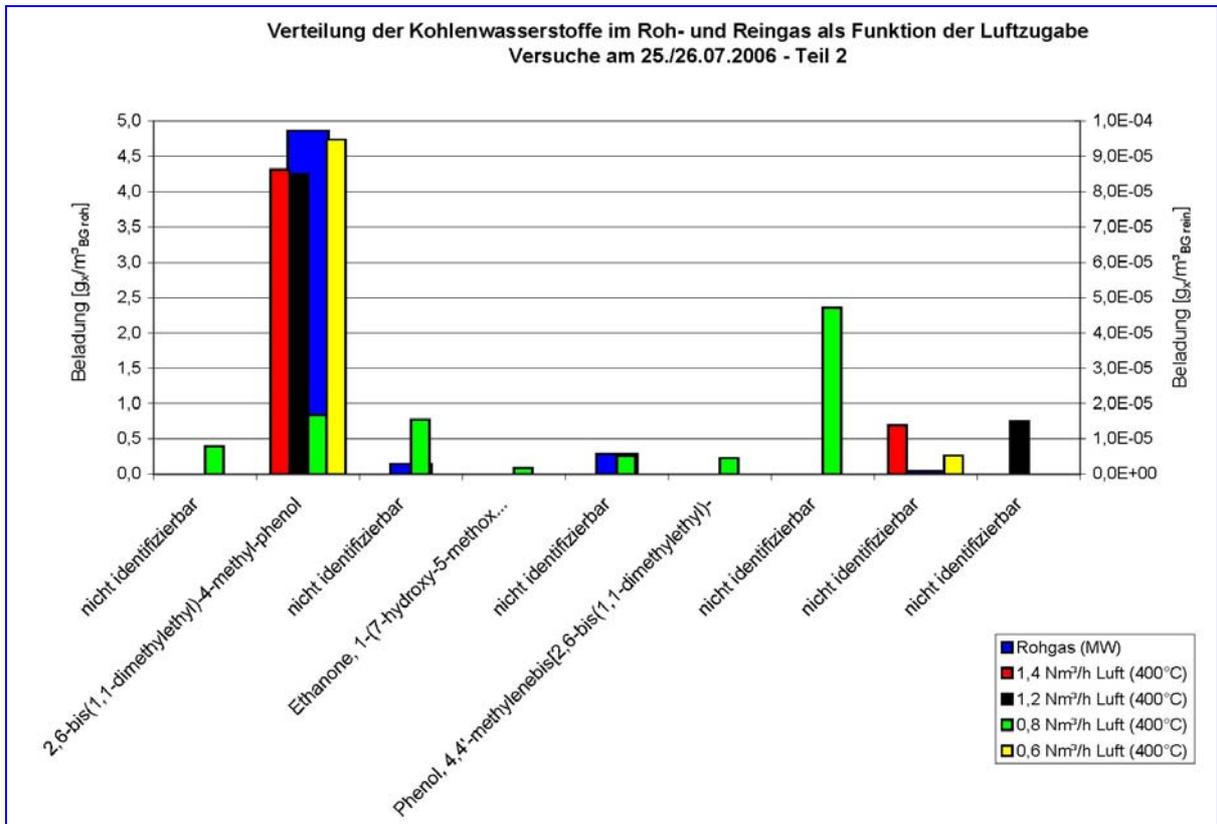


Bild 8: Kohlenwasserstoffe im Roh- und Reingas unter Einsatz des Nickel-Katalysators

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 2 sind die wichtigsten Ergebnisse der kleintechnischen Versuche zusammengefasst.

Tabelle 2: Versuchsergebnisse

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

Ziel des Vorhabens ist der Betrieb einer Demonstrationsanlage, welche den gesamten Gasstrom, der im Vergaser der TU Dresden erzeugt wird (35 Nm³/h), aufbereitet. Hier steht 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 wird zeitnah in Betrieb genommen. In Bild 9 ist der Reaktor zur katalytisch partiellen Oxidation dargestellt.

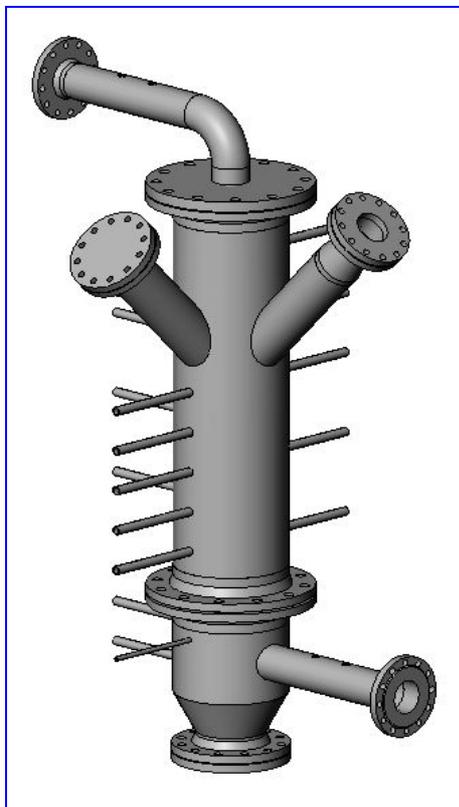


Bild 9: Modell des Reaktors zur katalytisch partiellen Oxidation für den Einsatz in der Demonstrationsanlage

4 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 von Holzhackschnitzeln, erzeugten Brenngas mittels eines Verbrennungsmotors.

Mittels der Stoff- und Energiebilanzierung, der Gleichgewichtsberechnungen und der Betrachtungen zur Reaktionskinetik kann ein Überblick gegeben werden, unter welchen Betriebsbedingungen die Reaktionen mit den entsprechenden 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 mittels der katalytisch partiellen Oxidation stellen eine Basis dar, welche erfolversprechende 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, welche für einen dauerhaften Motorenbetrieb zufriedenstellend sind. Der Heizwert des Brenngases erreicht ebenfalls Werte, welche 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 in Richtung Gaskühlung und evtl. einer „Feinreinigung“ und einer Entstaubung des Gases angestrebt. Im Rahmen der Optimierung dieser Anlagenkonzeption und mit dem Ergebnis der Bereitstellung eines motortauglichen Gases wird ein BHKW mit Gas-Otto-Motor in Betrieb genommen und die Betriebsfähigkeit nachgewiesen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Arbeitsbericht der Projektgemeinschaft Biomassevergasung; Hersteller und Marktbetrachtung der thermo-chemischen Umwandlung von Biomasse; gefördert durch die FNR
- [2] Klemm, M.: Heißentteerung von Brenngas aus der Vergasung von Biomasse durch katalytische partielle Oxidation; Fortschritt-Berichte VDI; Reihe 6; Nr. 525; VDI Verlag 2005