



Klima- und Energiefonds

www.klimafonds.gv.at



Österreichische Forschungsfördergesellschaft mbH

www.ffg.at

Neue Energien 2020
publizierbarer Endbericht
30.06.2015

ERBA

Erzeugung eines Produktgases aus Biomassereformierung mit selektiver CO₂-Abtrennung

Projektnummer: 829904

Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan **MÜLLER**¹

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr. tech. Johannes Christian **SCHMID**¹

Dipl.-Ing. Nina **KIEBERGER**²

Dipl.-Ing. Hugo **STOCKER**³

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hermann **HOFBAUER**¹

Dipl.-Ing. Thomas **BÜRGLER**²



¹ Technische Universität Wien

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik

Und Technische Biowissenschaften

www.vt.tuwien.ac.at

voestalpine

EINEN SCHRITT VORAUS.

² voestalpine Stahl GmbH, Linz

³ voestalpine Stahl Donawitz GmbH

www.voestalpine.com

Mit wertschätzendem Dank für die Mitarbeit bei den vorangegangenen Zwischenberichten an Martina POPPENWIMMER, Maximilian KOLBITSCH, Roland DIEM, Reinhard JENTSCH, Martin STIDL, Michael FUCHS, Christoph PFEIFER und Tobias PRÖLL.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Inhaltliche Darstellung	5
2.1	Analyse von geeigneten Bettmaterialien & Brennstoffen	5
2.2	Kaltmodellversuche für schonende Abscheidersysteme	6
2.3	Adaptierung Pilotanlage für weiche & feinkörnige Bettmaterialien	7
2.4	Versuche mit Pilotanlage	9
2.5	Modellierung & Simulation	13
2.6	Potenzialstudie Großanlage	14
2.7	Dissemination der Projektergebnisse	16
3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	16
4	Ausblick und Empfehlungen	18
5	Literaturverzeichnis	19
6	Publikationen	20

Ausschreibung	4. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020
Projektstart	01/04/2011
Projektende	31/03/2015
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	48 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	voestalpine Stahl GmbH, Linz;
AnsprechpartnerIn	Dipl.-Ing. Nina KIEBERGER, Dipl.-Ing. Thomas BÜGLER
Postadresse	voestalpine-Staße 3, 4020 Linz
Telefon	+43 503041577629
Fax	+43 503045577629
E-mail	nina.kieberger@voestalpine.com , thomas.bürgler@voestalpine.com
Website	www.voestalpine.com

1 Einleitung

Das Projekt ERBA wurde vor dem Hintergrund der Programmziele der vierten Ausschreibung des Forschungsprogramms „NEUE Energien 2020“ entwickelt. Die Programmziele umfassten dabei energie-, klima- und technologiepolitische Schwerpunkte. Im Bereich Zweibettwirbelschichttechnik kann Österreich seit vielen Jahren eine Technologieführerschaft vorweisen. In diesem Themenfeld erreichte dabei vor allem die kommerzielle Anwendung der Zweibettwirbelschichtdampfvergasung hohe Aufmerksamkeit. Diese Technologie zur Bereitstellung von Produktgas aus holzartiger Biomasse wurde an der TU Wien am Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften entwickelt und befindet sich bereits an mehreren Standorten in der industriellen Anwendung (Güssing 8 MW, Oberwart 9 MW, Senden/Neu-Ulm 14 MW). Die erfolgreiche Umsetzung der Technologie eröffnete neue Anwendungsmöglichkeiten in unterschiedlichen Industriezweigen. Im vorliegenden Projekt ERBA sollte die Anwendung der Zweibettwirbelschichtvergasung in der Roheisenerzeugung untersucht werden, um eine technologische Möglichkeit zu eröffnen, zukünftig fossile CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Im Rahmen des Projektes sollten dabei die Nutzungsmöglichkeiten der Technologie in einem integrierten Hüttenwerk untersucht werden. An dieser Stelle rückte die Bereitstellung eines Produktgases aus holzartiger Biomasse mittels „Sorption Enhanced Reforming – Prozess“ rasch in den Fokus. Eine vereinfachte Darstellung des Prozesses ist in **Abbildung 1** ersichtlich. Mit der Entwicklung des „Sorption Enhanced Reforming“-Prozess wurde bereits vor vielen Jahren begonnen. Die Weiterentwicklung dieses Verfahrens wurde vom Projektkonsortium aus folgenden Gründen angestrebt:

- Das Verfahren kann die Einbindung erneuerbarer Energie in den Hochofen-Prozess ermöglichen.
- Das Verfahren kann die Reduktion fossiler CO₂-Emissionen ermöglichen.
- Der Einsatz des Verfahrens kann die Importabhängigkeit bei fossilen Energieträgern reduzieren.
- Durch die Erforschung des Verfahrens kann eine bestehende Technologieführerschaft an der TU Wien im Themenfeld einer möglichen Schlüsseltechnologie weiter ausgebaut werden.

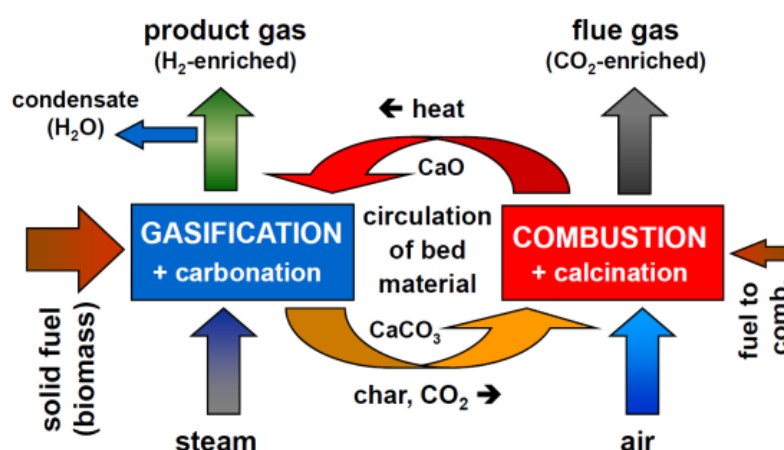


Abbildung 1: Vereinfachtes Prozessschema „Sorption Enhanced Reforming“ (vgl. Kolbitsch M. 2014)

Um das mittels „Sorption Enhanced Reforming“ erzielte Produktgas als alternatives Reduktionsmittel im Hochofen nutzen zu können, ist ein hohes Reduktionspotenzial des Gases Voraussetzung. Hohes Reduktionspotential bedeutete an dieser Stelle hoher Wasserstoff- (H_2), Kohlenmonoxid- (CO) und Methangehalt (CH_4). „Sorption Enhanced Reforming“ bedient sich dazu der Kombination von zwei Wirbelschichten. Durch den Transport von heißem Bettmaterial aus dem Verbrennungsteil in den Vergasungsteil wird die Energie für die endothermen Vergasungsreaktionen bereitgestellt. Während des Betriebes des Wirbelschichtsystems findet eine stetige Umwandlung des Bettmaterials statt. Das Bettmaterial gelangt als Kalziumoxid (CaO) in den Vergasungsreaktor, nimmt im Temperaturfenster zwischen 600 und 700 °C Kohlendioxid (CO_2) auf, und bildet Kalziumcarbonat ($CaCO_3$). Das zwischen den beiden Wirbelschichten zirkulierende Bettmaterial gibt das gebundene Kohlendioxid (CO_2) im Verbrennungsreaktor bei Temperaturen über 800 °C wieder ab und wird als Kalziumoxid (CaO) wieder zurück in den Vergasungsreaktor geführt.

Der beschriebene Prozess ermöglicht auf diesem Weg die Erzeugung eines Produktgases mit hohem Reduktionpotential, mit einer ähnlichen Gaszusammensetzung wie derzeit eingesetzte Prozessgases in einem integrierten Hüttenwerk. Durch die Verwendung von Kalkstein als Bettmaterial sind jedoch besondere Anforderungen an das Design der eingesetzten Anlage zu berücksichtigen. Aufgrund der geringen mechanischen Belastbarkeit des Kalksteins ist mit einem erhöhten Bettmaterialabrieb zu rechnen. Um die prozesstechnischen Voraussetzungen des Verfahrens zu verbessern, wurden im Rahmen des Projektes folgende Ziele angestrebt:

- Charakterisierung von verfügbaren Kalksteinsorten hinsichtlich CO_2 - Aufnahmefähigkeit und Abriebeigenschaften,
- Entwicklung einer bettmaterialschonenden, zweistufige Partikelabscheidung mit Hilfe von Kaltmodelluntersuchungen,
- Produktion eines Produktgas aus Biomasse mit hohem Reduktionspotenzial im experimentellen Maßstab unter Einsatz von Kalkstein als Bettmaterial,
- Optimierung des Reaktordesigns im experimentellen Maßstab,
- Erstellung & Bewertung eines Konzeptes für den großtechnischen Einsatz.

Die folgende Darstellung der Projektergebnisse gibt einen kurzen aber ansehnlichen Überblick über die wesentlichsten Ergebnisse des Projektes. Darüber hinaus konnten umfassende Ergebnisse im Rahmen zahlreicher Publikation veröffentlicht werden. Eine detaillierte Auflistung befindet sich im hinteren Teil des Berichtes im Anschluss an das Literaturverzeichnis.

2 Inhaltliche Darstellung

2.1 Analyse von geeigneten Bettmaterialien & Brennstoffen

Im Rahmen des Projektes ERBA wurden verschiedene Kalksteinsorten auf ihre Eignung als Bettmaterial untersucht. Die wichtigsten Bewertungskriterien waren dabei Verfügbarkeit, Abriebsfestigkeit und CO₂-Aufnahmefähigkeit. Zu Beginn wurden die verfügbaren Kalksteinsorten am Standort Linz sowie in Donawitz erhoben und die Jahresverbrauchsmenge bestimmt. Anschließend wurden chemische Analysen für die in Betracht gezogenen Kalksteinsorten durchgeführt. In einem weiteren Schritt wurde die Abriebsfestigkeitstest mit Hilfe eines standardisierten Abriebtest (Los-Angeles-Test, EN1097-2S/N) ermittelt. Des Weiteren wurde die CO₂-Aufnahmefähigkeit für ausgewählte Kalksteinsorten mit Hilfe einer thermogravimetrischen Analyse (TGA) durch die Montanuniversität Leoben untersucht (Abbildung 2). Die erzielten Ergebnisse wurden in einer Materialdatenbank zusammengefasst. Für die Versuche wurde die bestgeeignete Kalksteinsorte ausgewählt, da sie in großen Mengen zur Verfügung steht und vergleichsweise hohe Abriebsfestigkeit aufweist. Des Weiteren konnte eine vergleichsweise hohe CO₂-Aufnahmefähigkeit festgestellt werden.

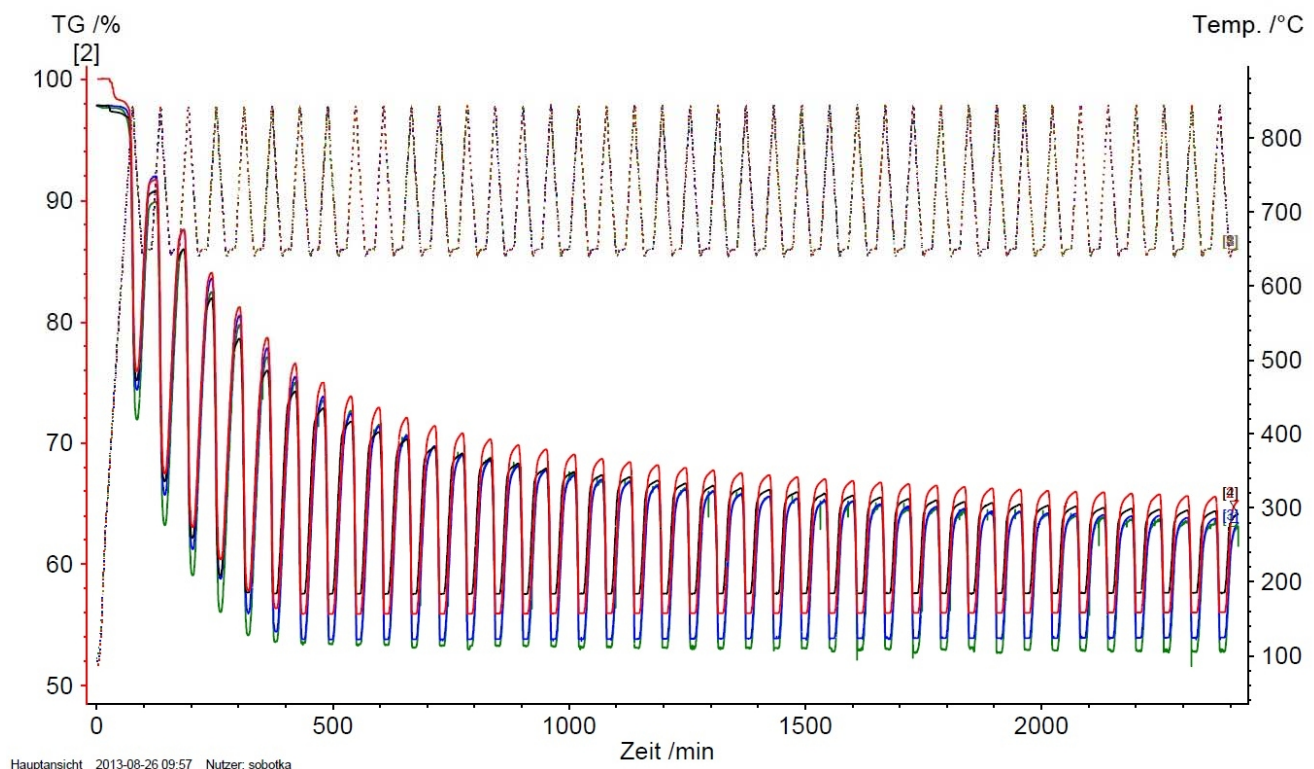


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Massenabnahme TG-Analysen von vier Kalksorten (Sobotka 2013)

Neben dem bestgeeigneten Bettmaterial wurden auch mögliche Brennstoffe für den „Sorption Enhanced Reforming“-Prozess anhand von umfangreichem Datenmaterial diskutiert. Dieses Datenmaterial wurde vom akkreditierten Prüflabor für Feuerungsanlagen der TU Wien, sowie vom akkreditierten Prüflabor der voestalpine Stahl GmbH in Linz zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurden die Betriebserfahrungen

der voestalpine Stahl GmbH in Linz und der voestalpine Stahl Donawitz GmbH in die Diskussion eingebracht. Aufgrund der Neuartigkeit des Verfahrens favorisiert das Projektkonsortium holzartige Biomasse als Brennstoff. Die gesteckte Zielsetzung, ein Verfahren zu entwickeln, welches eine höchstmögliche Reduktion von fossiler CO₂ Emissionen ermöglicht, spielte dabei eine bedeutende Rolle. Die voestalpine hat am Standort Linz bereits Erfahrungen mit dem Sekundärrohstoff Altkunststoffe gesammelt, dieser wurde als weiterer möglicher Brennstoff in Erwägung gezogen. Erste Aufbereitungsversuche für den Einsatz von Altkunststoffen für den „Sorption Enhanced Reforming“ Prozess konnten bereits durchgeführt werden.

2.2 Kaltmodellversuche für schonende Abscheidersysteme

Bereits Untersuchungen in der Vergangenheit (vgl. Pröll 2008, Soukup 2009) hatten gezeigt, dass Kalkstein ein sehr weiches Material darstellt, welches schonender Behandlung bedarf. Um die Voraussetzungen bestehender Anlagentechnik zu verbessern, wurde im Projekt vorgesehen ein Abscheidersystem zu entwickeln, welches eine schonende Behandlung des Bettmaterials ermöglicht. Für die Realisierung des Abscheidersystems als Teil einer bestehenden Heißanlage wurde vorab die Erprobung mit Hilfe eines Kaltmodells vorgesehen. Im Rahmen der Kaltmodelluntersuchungen wurden folgende Arbeitsergebnisse erzielt:

- Es wurden Auslegungsparameter berechnet und festgelegt,
- anschließend wurden die zugehörigen Konstruktionszeichnungen erstellt,
- ein bestehendes Kaltmodell wurde mit dem neuen Abscheidersystem erweitert (vgl. Abbildung 3),
- darauffolgend wurde die Funktion mit Hilfe mehrerer Versuchsläufe überprüft,
- und die Partikelgrößenverteilung der abgeschiedenen Partikel ausgewertet (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 3: Abscheider des Kaltmodells (links) & abgeschiedene Partikelfraktion (rechts)

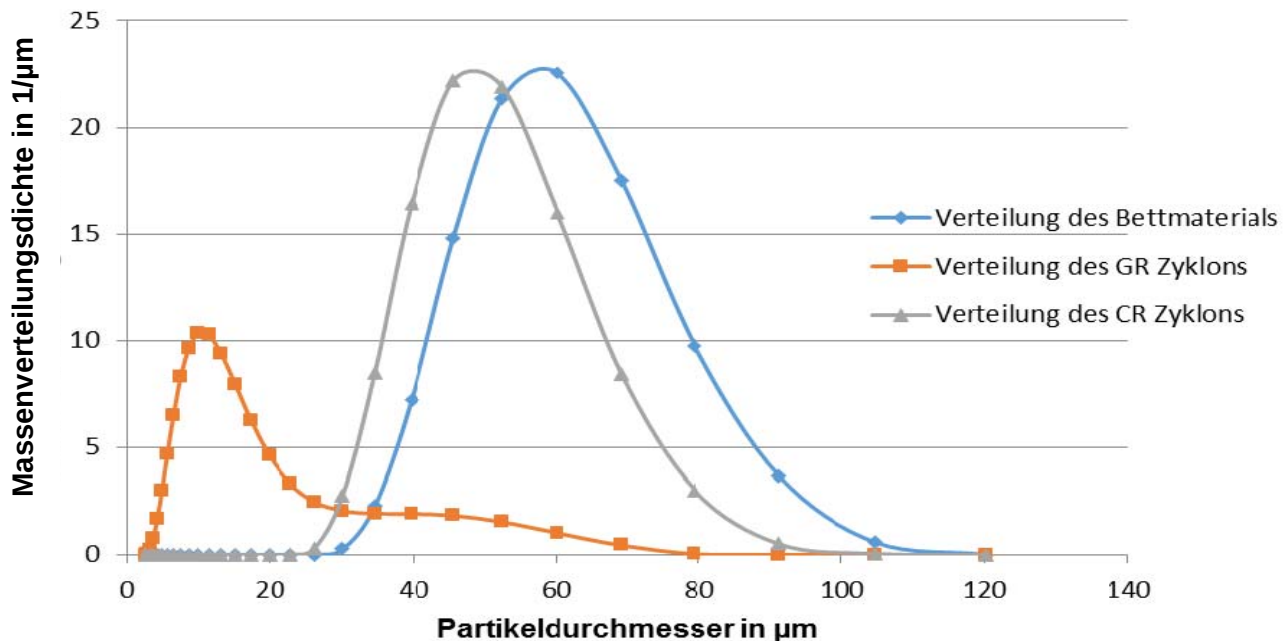


Abbildung 4: Abgeschiedene Partikelgrößen im Kaltmodell (Rosenfeld D. 2014)

Mit Hilfe der durchgeführten Versuche konnte die ordnungsgemäße Funktion des Abscheidersystems nachgewiesen werden. Darüber hinaus konnten umfangreiche Messdaten gewonnen werden, die für die Auslegung des Abscheidersystems für die Heiße Anlage herangezogen wurden.

2.3 Adaptierung Pilotanlage für weiche & feinkörnige Bettmaterialien

Eine ähnliche Vorgehensweise wurde für die Adaptierung der Pilotanlage gewählt. Nachdem die Kaltmodellversuche vielversprechende Ergebnisse liefern konnten, wurde die Auslegung der Abscheider der Heiße Anlage in analoger Vorgehensweise durchgeführt. Die Auslegung der Abscheider wurde dabei von Simulationsergebnissen unterstützt. Die Fertigung des Abscheidersystems aus hitzefestem Edelstahl wurde an die Firma Gallzeiner, Luft-, Staub- und Abgastechnik GmbH vergeben. Nach Übergabe der Bestellunterlagen wurden die Abscheider durch die Firma Gallzeiner gefertigt, geliefert und in die bestehende Heiße Anlage eingebaut. Abbildung 5 zeigt Fotos des Equipments nach dem Einbau. Neben dem Einbau des Abscheidersystems mussten weitere Anpassungen an der bestehenden Versuchsanlage vorgenommen werden, um die prozesstechnischen Voraussetzungen für „Sorption Enhanced Reforming“-Versuche zu schaffen. Die notwendigen Arbeiten umfassten dabei

- Anpassung der Rohrleitungstechnik an die veränderte Anlagenkonfiguration,
- Installation eines Kühlkreislaufes zur Anpassung der geforderten Prozesstemperaturen,
- Montage der notwendigen Messstellen für den Versuchsbetrieb sowie
- Einbindung der zusätzlichen Messstellen in das bestehende Leitsystem.

Nach dem Abschluss der Umbauarbeiten an der Anlage wurden umfassende Inbetriebnahmetests durchgeführt. Im Rahmen der Inbetriebnahme wurden An- und Abfahrvorgänge mit dem adaptierten

Leitsystem durchgeführt. Als Teil der Inbetriebnahme wurden Kaltversuche an der Anlage durchgeführt, um den Nachweis der ordnungsgemäßen Funktion des Abscheidersystems zu liefern.

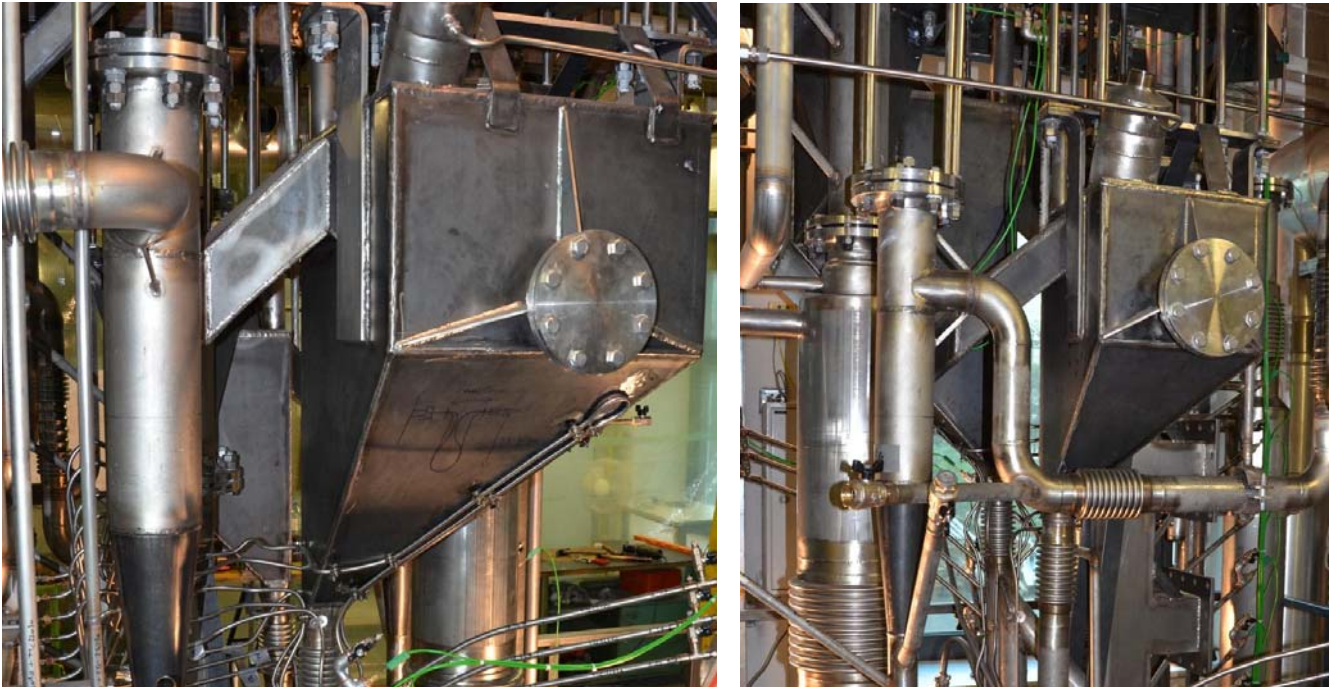


Abbildung 5: Abscheidersystem Verbrennungsreaktor (links) & Abscheidersystem Vergasungsreaktor (rechts) nach dem Einbau in die Versuchsanlage

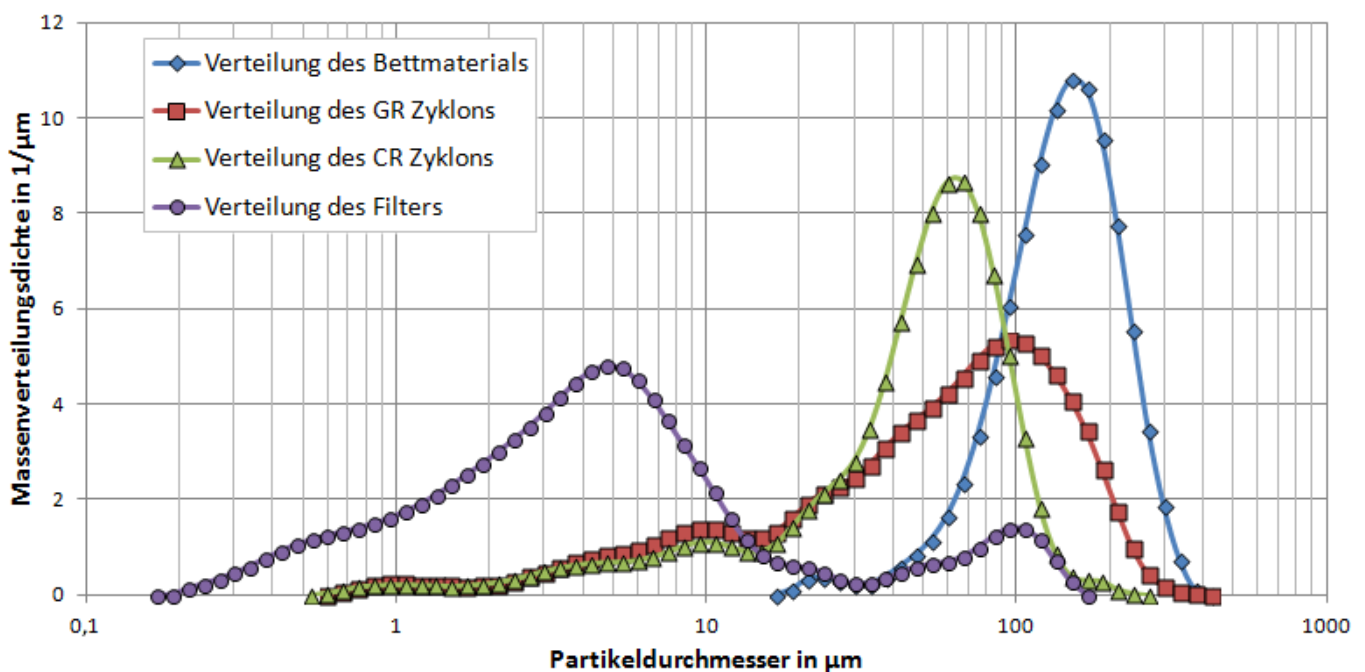


Abbildung 6: Abgeschiedene Partikelgrößen in der neuen Heißenanlage (Pasteiner H. 2015)

Im Zuge der Versuche konnten umfangreiche Messdaten gesammelt werden. Durch die Ausbildung eines definierten Druckprofils wurde der Nachweis erbracht, dass der Betrieb des eingesetzten

Wirbelschichtsystems wie gewünscht funktioniert. Des Weiteren konnten im Zuge der Versuche Feststoffproben nach den einzelnen Abscheiderstufen entnommen werden. Die Partikelgrößenverteilung der einzelnen Proben wurden mit einem „Master Sizer 2000“ von Malvern Instruments Ltd bestimmt. In Abbildung 6 sind die Verteilungsdichtekurven der abgeschiedenen Partikel dargestellt.

2.4 Versuche mit Pilotanlage

Im Rahmen des Projektes wurden „Sorption Enhanced Reforming“-Versuche vorgesehen, die zur Ermittlung optimaler Prozessparameter dienen. Für die Versuche sollte die bestgeeignete Kalksteinsorte als Bettmaterial eingesetzt werden. Die geplante Versuchskampagne mit Kalkstein aus der Roheisenerzeugung wurde im Projektplan vorgezogen. Durch die frühzeitige Durchführung der Versuche, konnten umfangreiche Daten für die Simulation gesammelt werden, die Adaptierungsarbeiten an der Pilotanlage noch rechtzeitig technisch gewinnbringend beeinflusst werden und eine technisch fundierte Ausgangslage für die vorgesehene Potentialstudie einer Großanlage geschaffen werden. Im Rahmen der Versuchskampagne wurden mehrere Versuchsläufe durchgeführt, um die vorgesehenen Parametervariationen durchführen zu können. Die Bettmaterialgröße des eingesetzten Kalksteins wurde mit einem Durchmesser von rund $d_{p(m)} = 0.425$ mm festgelegt. Holzpellets wurden als Brennstoff eingesetzt und während der Versuche wurde das Verhältnis zwischen Dampf und Brennstoff (Steam to fuel ratio) auf den Wert 0.9 eingestellt, um bestmögliche und vor allem vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Tabelle 1 gibt einen kurzen Überblick über weitere wesentliche Versuchsparameter. In Abbildung 7 (links) ist der zeitliche Verlauf der Gaszusammensetzung während eines Versuchslaufs dargestellt.

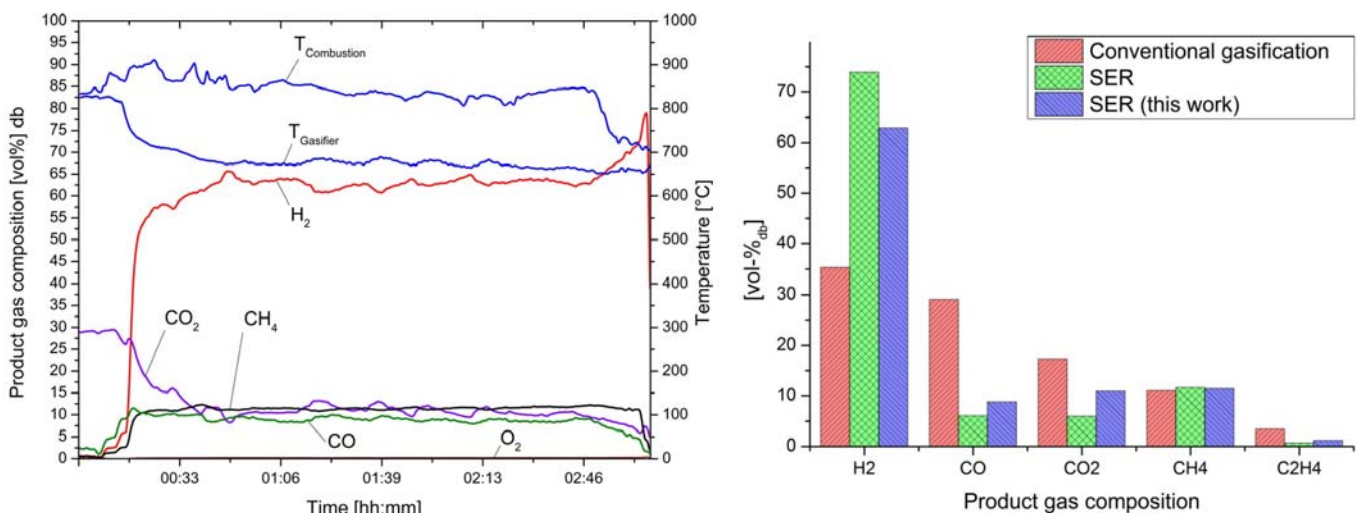


Abbildung 7: Auszug aus einem Versuchsverlauf (links) sowie erzielte Gaszusammensetzung im Vergleich zu früheren Versuchen (rechts) (Diem R. 2015, vgl. Schmid J.C. 2012, vgl. Pfeifer C. 2009)

Operation parameter	Unit	Typical Values	SER – Experiments
Bed material particles	-	Olivine	Limestone
Bed material particle density	kg/m ³	2850	2650 – 1800
Bed material inventory	kg	100	100 (68)*
Gasification reactor			
Typical fluidization regime	-	bubbling bed	bubbling bed
Steam to fuel ratio	kg _{H₂O} /kg _{fuel, waf}	0.8 – 1.1	0.9
Thermal power, feed gasifier (wood pellets)	kW	66 – 97	73
Temperature, gasifier	°C	800 – 810	650 – 720
Cross sectional area, gasifier	m ²	0.073	0.073
Superficial gas velocity, U	m/s	0.41 – 0.56	0.29 – 0.32
Fluidization ratio, U/U _{mf}	-	2.1 – 5.6	2.5 – 4.6
Fluidization ratio, U/U _t	-	0.06 – 0.12	0.06 – 0.1
Estimated gas residence time (bubbling bed)	s	0.27 – 0.37	0.4 – 0.5
Estimated gas residence time (freeboard)	s	3 – 4	5 – 6
Combustion reactor			
Typical fluidization regime	-	fast bed	fast bed
Thermal power, additional fuel to combustion	kW	22 – 31	7
Temperature, combustion zone	°C	840 – 900	820 – 860
Cross sectional area, combustor	m ²	0.0075	0.0075
Superficial gas velocity, U	m/s	8.8 – 10.1	6.9 – 7.7
Fluidization ratio, U/U _{mf}	-	44 – 100	90 – 170
Fluidization ratio, U/U _t	-	1.3 – 2.3	2.1 – 3.5
Estimated mean gas residence time	s	0.73 – 0.85	0.9 – 1.1
* value in brackets weight of inventory according to estimated composition after partial calcination			

Tabelle 1: „Sorption Enhanced Reforming“-Versuchsparmeter im Vergleich zu Versuchen mit Olivin als Bettmaterial (vgl. Schmid J. C. 2012)

Die in der Abbildung variierende Vergasungstemperatur (T_{Gasifier}) steht in einem wesentlichen Zusammenhang mit den Reaktionsraten im Vergaser und somit mit dem Wasserstoffgehalt (H_2 in vol.-%_{db}) im Produktgas. Die erzielten Versuchsergebnisse wurden für unterschiedliche Analysen herangezogen. Beispielsweise zeigt Abbildung 7 (rechts) eine Gegenüberstellung der erzielten Produktgaszusammensetzung im Vergleich zur klassischen Vergasung mit Olivin als Bettmaterial (Conventional gasification) sowie „Sorption Enhanced Reforming (SER)“-Versuchen aus der Vergangenheit. Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass der Betrieb des „Sorption Enhanced Reforming“-Prozesses mit der eingesetzten Kalksteinsorte technisch möglich ist und eine Gasqualität erzielt werden kann, die den Anforderungen der Roheisenerzeugung entspricht. Darüber hinaus konnte die Auswertung der erzielten Versuchsdaten (Tabelle 2) tiefe Einblicke in das Verfahren geben.

Operation parameter	Unit	Typical Values	SER – Experiment Measured	SER – Experiment IPSE Analysis
Gasifier system				
Bed material	-	Olivine	Limestone	Limestone
Fuel type	-	wood pellets	wood pellets	wood pellets
Gasification temperature	°C	800 - 860	674	679
Combustion temperature	°C	840 - 940	836	838
Feedstock / fuel input gasifier (wood chips)	kg/h	15 - 20	15	15
Feedstock / fuel input gasifier (wood chips)	kW	74 - 97	73	73
Additional fuel to combustion reactor	kW	22 - 23	7	7
Overall fuel input	kW	98 - 120	80	80
Product gas yield	Nm³/h	14 - 22	-	12
Lower heating value of product gas	MJ/Nm³	12 - 14	-	13.6
Product gas power	kW	50 - 60	-	46
Steam fluidization gasifier	kg/h	5 - 11	6	8
Steam fluidization upper & lower loop seal	kg/h	3 - 10	8	8
Fluidization secondary air combustor	Nm³/h	30 - 50	35	37
Ratio primary air to secondary air	-	0.08 - 0.1	0.13	0.12
Steam to fuel ratio	kg _{H2O} /kg _{fuel,waf}	0.5 – 1.0	-	0.9
Product gas composition				
Hydrogen (H ₂)	vol.-% _{db}	34 – 43	62.9	63.9
Carbon monoxide (CO)	vol.-% _{db}	22 - 30	8.8	8.9
Carbon dioxide (CO ₂)	vol.-% _{db}	15 – 25	11.0	11.0
Methane (CH ₄)	vol.-% _{db}	8 – 12	11.5	11.8
Ethene (C ₂ H ₄)	vol.-% _{db}	1.5 – 3.5	1.2	1.3
Ethane (C ₂ H ₆)	vol.-% _{db}	0.5 – 1.0	0.9	0.9
Propane (C ₃ H ₈)	vol.-% _{db}	0.2 - 0.5	0.05	0.05
Water (H ₂ O)	vol.-%	32 – 49	51.7	50.3
Tar content (GC-MS/gravimetric)	g/Nm³	3-9 / 2 - 4	5.3 / 2.3	6.4
Dust content	g/Nm³	n.a.	7.7	7.4
Char content	g/Nm³	n.a.	5.4	5.2
Key figures gasifier system				
Relative water conversion rate	kg _{H2O} /kg _{fuel,waf}	0.07 – 0.14	-	0.23
Absolute water conversion rate	kg _{H2O} /kg _{H2O}	0.09 - 0.16	-	0.25
Logarithmic deviation from CO-Shift eq.	-	(-0.3) – (-0.5)	-	(-0.37)
Hydrogen productivity rate	kg _{H2} /kg _H	n.a.	-	0.29
Cold gas efficiency experiment	%	50 – 55	-	58
Char combusted in combustion chamber	kg _{char} /kg _{fuel,waf}	n.a.	-	0.20
Air ratio combustor	-	n.a.	-	1.4

Tabelle 2: „Sorption Enhanced Reforming“ -Versuchsdaten im Vergleich zu Versuchen mit Olivin als Bettmaterial (vgl. Schmid J. C. 2012, Koppatz S. 2012)

In einem weiteren Versuchslauf wurden die Auswirkungen der Kontaktzeit des Produktgases mit dem Bettmaterial Kalkstein untersucht. Dazu wurde der Brennstoff während des Versuches an unterschiedlichen Stellen des Vergasers eingebracht. Wenn der Brennstoff direkt in das „Bubbling bed“ der Wirbelschicht eingebracht wird (in-bed fuel feeding), dann kommt das entstehende Produktgas in sehr engen Kontakt mit dem heißen Bettmaterial.

Während bei der Brennstoffeinbringung auf das „Bubbling bed“ (on-bed fuel feeding) die Kontaktzeit zwischen Produktgas und heißem Bettmaterial reduziert wird. Die unterschiedliche Kontaktzeit des Produktgases mit dem Bettmaterial kann zu einer stark veränderten Produktgaszusammensetzung führen. Eine Variation der Brennstoffeinbringung wurde während der Versuche durchgeführt um dieses Phänomen zu untersuchen. Die Auswertungsergebnisse der diesbezüglich durchgeführten Versuche sind in Abbildung 8 dargestellt. Um eine Bewertung der Ergebnisse vornehmen zu können, wurden die erzielten Ergebnisse Versuchen von Wilk V. 2013 und Kern S. 2013 mit Olivin als Bettmaterial gegenübergestellt. Die genauen Daten können dazu auch in der Tabelle 3 eingesehen werden. Wie aus den Ergebnissen ersichtlich, führt die erhöhte Kontaktzeit durch das „in-bed fuel feeding“ zu einem erhöhtem Wasserstoffgehalt (H_2) sowie zu einem reduzierten Kohlenstoffdioxidgehalt (CO_2) im Produktgas.

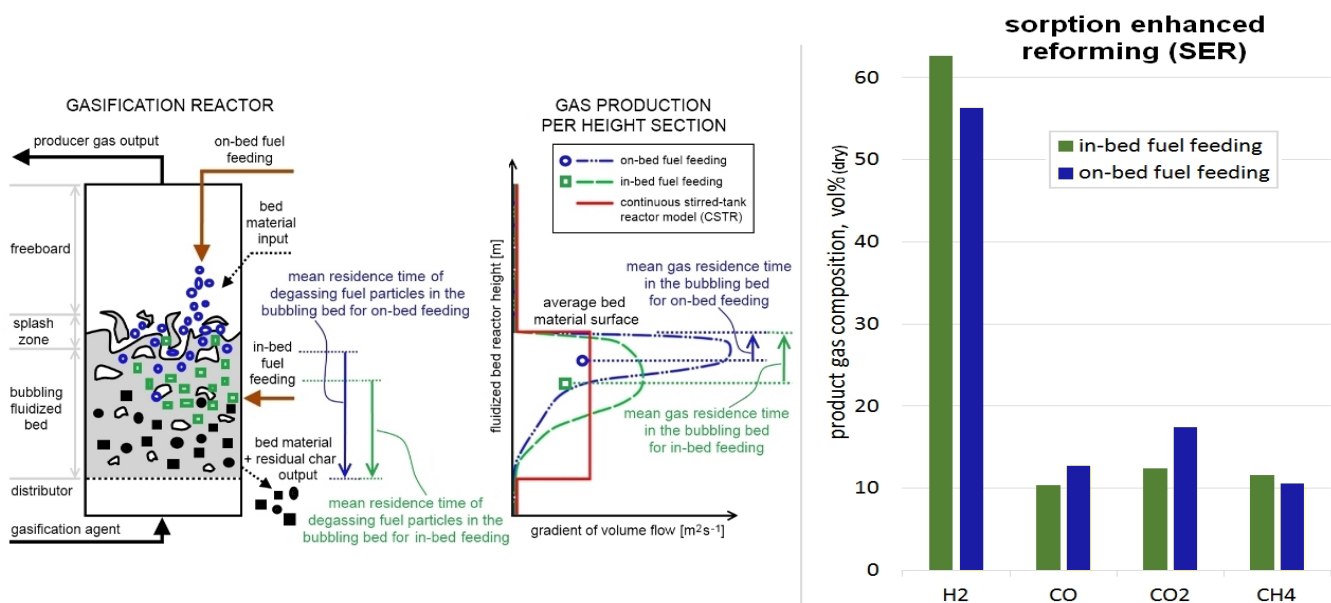


Abbildung 8: Auswirkung der Produktgasverweilzeit im Kalk-Wirbelschichtbett eines "Sorption Enhanced Reforming"- Versuchslaufes (Kolbitsch M. 2013)

Weiterführende Ergebnisse zu den Versuchen wurden in mehreren Publikationen veröffentlicht (vgl. Müller S., 2013; Kolbitsch M., 2014 sowie Diem R., 2015). Die erzielten Versuchsergebnisse wurden von den Projektpartnern voestalpine Stahl GmbH (Linz) und voestalpine Stahl Donawitz GmbH mit hohem Interesse zu Kenntnis genommen. Als wesentlicher Aspekt wurde dabei festgestellt, dass die erzielte Gaszusammensetzung sich für die Einbindung in die Roheisenerzeugung eignet ohne die Qualität der Endprodukte zu beeinträchtigen.

Unit		Wilk 1		Wilk 2		Kern		SER	
		in-bed	on-bed	in-bed	on-bed	in-bed	on-bed	in-bed	on-bed
Bed material	-	coated olivine 510µm		fresh olivine 510µm		fresh olivine 370µm		limestone 425µm	
Temperature GR	°C	850		850		850		685	
H ₂	vol% _{db}	43.5	43.3	44.8	42.0	39.3	32.8	62.7	56.3
CO	vol% _{db}	22.3	23.9	27.3	32.0	30.5	34.7	10.4	12.7
CO ₂	vol% _{db}	22.8	21.5	17.7	15.1	16.2	14.6	12.4	17.4
CH ₄	vol% _{db}	8.1	8.1	8.4	8.6	9.3	10.3	11.6	10.6
C ₂ H ₄	vol% _{db}	1.9	2.0	1.4	1.8	1.9	2.7	1.0	1.0
C ₂ H ₆	vol% _{db}	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.66	0.66
C ₃ H ₈	vol% _{db}	0.3	0.3	0.1	0.2	n.p.	n.p.	0.01	0.01
GC/MS tar	g/Nm ³ _{db}	2.6	3.4	3.5	7.5	7.1	16.8	n.m.*	n.m.
Gravimetric tar	g/Nm ³ _{db}	2.0	1.4	2.4	3.4	1.5	9.7	n.m.*	n.m.
Water content	vol%	36.6	39.0	34.8	34.7	32.6	35.8	51.7	55.0
Fuel power	kW	97	97	97	97	90	90	73	73
Product gas flow	Nm ³ _{db} /h	23.5	22.7	21.9	22.0	18.1	19.9	9.2	8.9
LHV	MJ/Nm ³ _{db}	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	13.6	14.2	13.3	12.5
CO ₂ load	mol/mol _{CaO}	-	-	-	-	-	-	0.05	0.03
CO ₂ load	kg/kg _{CaO}	-	-	-	-	-	-	0.04	0.02

* similar test run with same bed material and GR temp. 670-680°C (Diem R. 2013): GC/MS tar 5.0-5.7 g/Nm³_{db}, grav. tar 2.3-2.4 g/Nm³_{db};

n.p.: not published; n.m.: not measured;

Tabelle 3: Produktgaszusammensetzung eines „Sorption Enhanced Reforming“-Versuches im Vergleich zu Ergebnissen mit Olivin als Bettmaterial (Kern S. 2013, Wilk V. 2013)

2.5 Modellierung & Simulation

Die begleitende Modellierung & Simulation verfolgte das Ziel Messwerte zu validieren, wesentliche Zusammenhänge durch Parametervariation zu ermitteln, sowie die Datenbereitstellung für eine Großanlage zu ermöglichen. Folgende Arbeitsschritte wurden dazu im Rahmen des Projektes durchgeführt:

1. Vor der Versuchsdurchführung wurde ein Simulationsmodell erstellt, um wesentliche Zusammenhänge des Prozesses zu identifizieren und zu berechnen.
2. Anschließend wurden die ermittelten Versuchsdaten mit Hilfe eines Simulationsmodelles validiert.
3. Darauf aufbauend wurden weitere Parametervariationen durchgeführt, um kritische Zusammenhänge im Hinblick auf die großtechnische Anwendung zu identifizieren.
4. In einem weiteren Schritt wurden die gewonnen Erkenntnisse für die Berechnung einer 100 MW Anlage herangezogen.

In Abbildung 9 wurden erste wichtige Erkenntnisse der begleitenden Modellierung festgehalten. Zu Projektbeginn wurden die Auswirkungen der möglichen CO₂-beladung (X_{CaO}) des Kalksteins (CaO, CaCO₃) mit einem Simulationsmodell untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass die erzielbare Produktgaszusammensetzung stark von der realen CO₂-Aufnahme des Bettmaterials abhängt. Darüber

hinaus konnte errechnet werden, dass der erzielbare Wirkungsgrad stark vom Bettmaterialverbrauch und durch die Deaktivierung des Bettmaterials beeinflusst werden kann. Ein hoher Bedarf an frischem, aktivem Bettmaterial kann somit zu einem stark reduzierten Wirkungsgrad für „Sorption Enhanced Reforming“-Prozesses führen (vgl. Abbildung 9 (rechts)). Dieser Aspekt muss beim Langzeitbetrieb in großtechnischen Anlagen berücksichtigt werden und spielt somit auch eine wesentliche Rolle bei der Verfahrensentwicklung mit Hilfe von Versuchsanlagen.

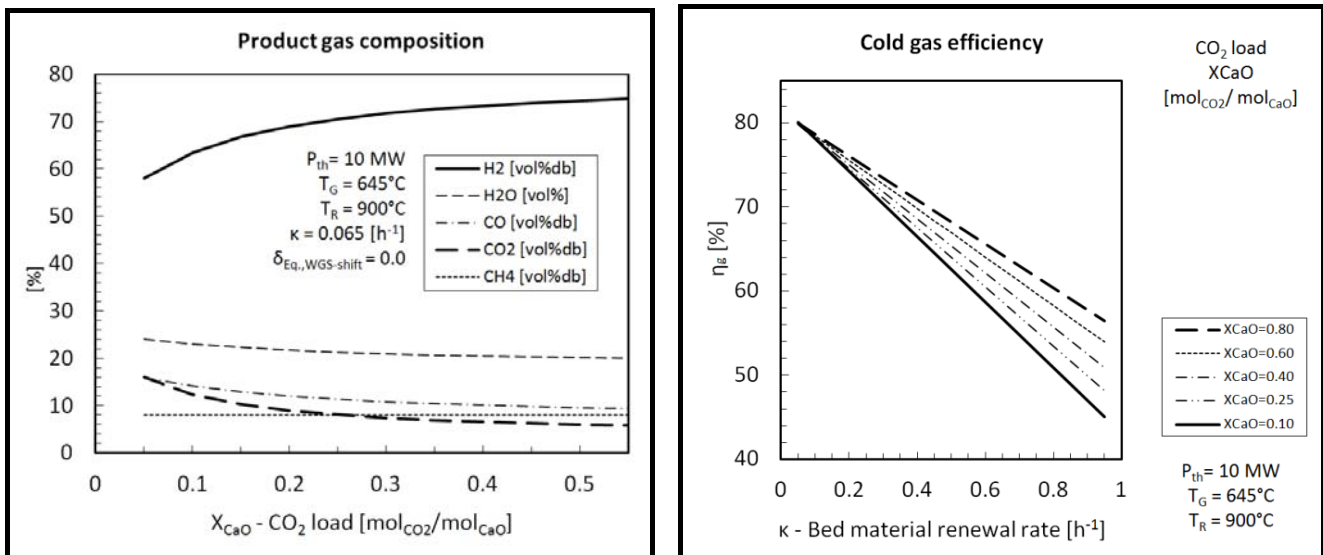


Abbildung 9: Erzielbare Produktgaszusammensetzung (links) und erzielbarer Kaltgaswirkungsgrad in Abhängigkeit von der CO_2 -Beladung des Bettmaterials (rechts)

Neben diesen theoretischen Betrachtungen wurden die Versuchsergebnisse der Pilotanlage mit Hilfe eines Simulationsmodelles analysiert, um Versuchspunkte bilanzieren zu können und die erzielten Messdaten zu validieren. Die während der Versuche gesammelten Messdaten dienten als Grundlage für die Berechnung der Massen- und Energiebilanz für den jeweiligen Versuchspunkt. Darüber hinaus konnten zusätzliche Kenndaten, des Prozesses rasch berechnet und analysiert werden. Die gewonnene Datenbasis ermöglichte eine gute Basis für die Durchführung einer Potentialstudie für eine etwaige Großanlage.

2.6 Potenzialstudie Großanlage

Das Potentialstudie verfolgte die Zielsetzung eine Planungsbasis für eine Großanlage schaffen. Dazu wurde Einbindungsmöglichkeiten in ein integriertes Hüttenwerk untersucht, sowie die Grobkonzeption für eine 100 MW Großanlage durchgeführt. Die hohe Ähnlichkeit der erzielten Gaszusammensetzung des „Sorption Enhanced Reforming“-Versuchs mit bestehenden Prozessgasströmen in der Roheisenerzeugung stellt eine sehr gute Voraussetzung für weitere Umsetzungsschritte dar und lässt darauf schließen, dass die Einbindung einer „Sorption Enhanced Reforming“-Anlage zu keiner Beeinträchtigung der Qualität der Endprodukte führen würde. Abbildung 10 zeigt das entwickelte Anlagenlayout für eine Großanlage anhand dessen ein Simulationsmodell zur Berechnung der Energie- und Massenströme erarbeitet wurde. Und in Tabelle 4 sind wesentliche Berechnungsergebnisse dargestellt.

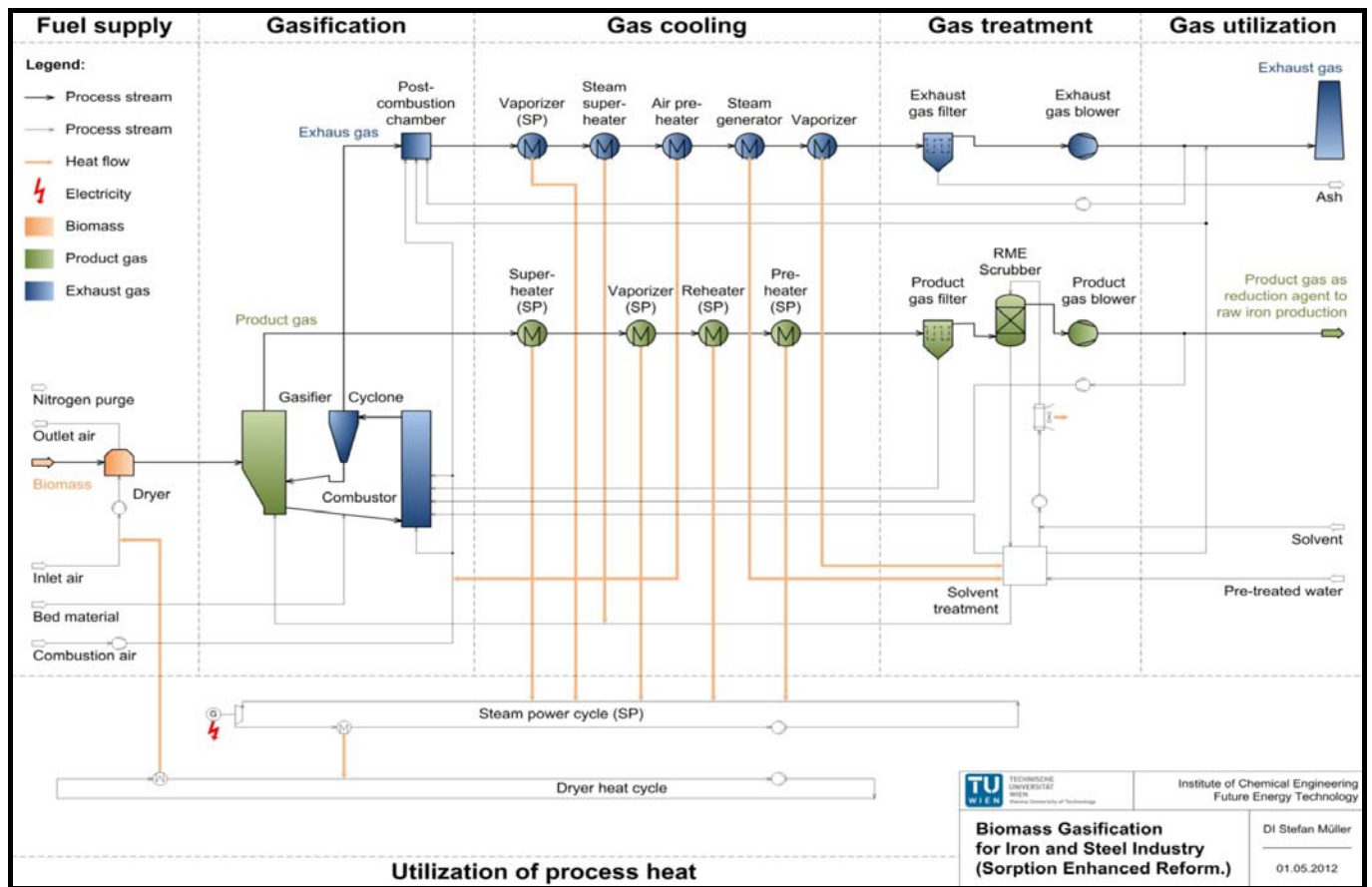


Abbildung 10: Anlagenlayout für eine Großanlage

Plant input			Plant output		
Term	Unit	Value	Term	Unit	Value
Biomass (wood chips)	kg/h	50 341	Product gas (reducing agent)	Nm ³ _{wet} /h	28 396
Biomass water content	wt.-%	40	Product gas (reducing agent - lhv)	MJ/kg _{wet}	22.88
Biomass (lhv)	MJ/kg	9.53	Product gas (reducing agent - lhv)	MJ/Nm ³ _{wet}	12.68
Biomass (chem. energy)	kW	133 230	Product gas (water content)	vol%	7.81
Electricity consumption	kW	2 785	Product gas (red. agent - chem. en.)	kW	100 000
Fresh scrubber solvent (RME)	kg/h	200	Electricity – steam power (gross)	kW	5 544
Bed material inventory	kg	25 000	Electricity – steam power (net)	kW	2 758
Fresh bed material (limestone)	kg/h	5 000	Exhaust gas	kg/h	122 659
Fresh water	kg/h	378	Ash and dust from exhaust gas filter	kg/h	978
Natural gas	Nm ³ /h	0	Old bed material out	kg/h	2500
Nitrogen (N ₂) purge	Nm ³ /h	500	Disposable CO ₂	t/h	0
Oxygen (O ₂)	Nm ³ /h	0			

Tabelle 4: Performancesheet – Energiebilanzen einer 100 MW Großanlage

Die Berechnung der Energie- und Massenbilanzen ermöglichte eine Darstellung des erwarteten Biomasseverbrauchs sowie der bereitgestellten Produktgasmenge. Die Berechnungsergebnisse stellten den Ausgangspunkt für eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse dar. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigten das Biomasse-, Kohle- und Erdgaspreis sowie der Preis für CO₂-Emissionsrechte derzeit den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Großanlage haben. Im Rahmen einer weiterführenden Sensitivitätsanalyse wurde eruiert, ab welchem Preis der Bau einer Großanlage empfohlen werden kann.

2.7 Dissemination der Projektergebnisse

Im Rahmen der Disseminationsaktivitäten konnten zahlreiche Publikationen veröffentlicht werden, die im Rahmen nationaler und internationaler Konferenzen präsentiert wurden. Das Projekt ERBA ermöglichte:

- die zweimalige Vorstellung des Projektes beim Science Brunch des Klima & Energiefonds,
- die Teilnahme an der Ausstellungstagung für chem. Apparatewesen (ACHEMA), 2012, Frankfurt,
- die mehrmalige Vorstellung von Projektergebnissen auf folgenden internationalen Konferenzen:
 - o International Conference on Fluidized Bed Combustion (FBC), 2012, Neapel, Italien,
 - o 3rd Internat. Symposium on Gasification & its Appl. (iSGA-3), 2012, Vancouver, Kanada,
 - o International Conference on Polygeneration Strategies (ICPS13), 2013, Wien, Österreich,
 - o 11th Internat. Confer. on Circulating Fluidized Bed Techn. (CFB11), 2014, Peking, China
 - o 4th Internat. Symposium on Gasification & its Appl. (iSGA-4), 2014, Wien, Österreich
- die Teilnahme am 10. Minisymposium der Verfahrenstechnik, 2014, Wien
- zwei Veröffentlichung im Journal „Biomass Conversion and Biorefinery“ des Springer Verlags,
- sowie 2 Bachelor-, 4 Diplom- und 2 Doktorarbeiten.

Eine detaillierte Aufstellung der veröffentlichten Publikationen befindet sich im Kapitel 6.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Forschungsprojekt ERBA ermöglichte wesentliche Aufschlüsse über die Anwendung von „Sorption Enhanced Reforming“ in der Roheisenerzeugung. Im Rahmen des Projektes konnten Lösungsstrategien zur Verbesserung der prozesstechnischen Voraussetzungen entwickelt und angewandt werden. Die Analysen verschiedener Kalksorten zeigten, dass sich gängige Kalksteinsorten in der Roheisenerzeugung für die Erzeugung eines Reduktionsgases aus Biomasse eignen.

Durch zahlreiche Untersuchungen in verschiedenen Labors konnte die bestgeeignete Kalksteinsorte für den eingesetzten Prozess ermittelt werden. Dabei wurden in erster Linie Verfügbarkeit, mechanische Abriebsbeständigkeit und mögliche CO₂-Beladung als Bewertungskriterien herangezogen. Das im experimentellen Maßstab eingesetzte Reaktorsystem (vgl. Abbildung 11) konnte prozesstechnisch entscheidend verbessert werden und um ein bettmaterialschonendes Abscheidersystem erweitert werden. Die Abscheidegrade des kombinierten Systems konnten im Rahmen von Kaltmodellexperimenten bestätigt werden. Die eingesetzte Versuchsanlage konnte mit zusätzlichen Messstellen erweitert werden. Die Regelungsmöglichkeit der Prozesstemperaturen wurde verbessert. Eine erste Versuchsserie zeigte, dass die Produktion eines Reduktionsgases aus Biomasse möglich ist und den Anforderungen von Prozessgasen in der Roheisenerzeugung genügt. Im Rahmen der Versuche konnte des Weiteren gezeigt werden, dass die ausgewählte Kalksteinsorte Kohlendioxid (CO₂) im Vergasungsreaktor aufnehmen und in der Brennkammer abgeben konnte.

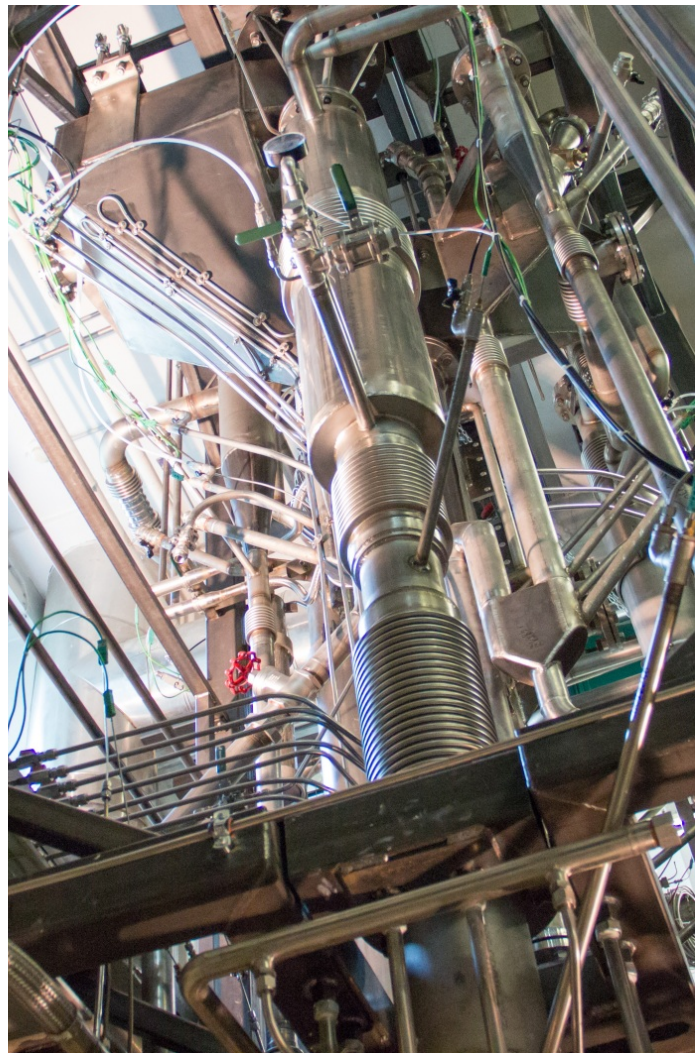
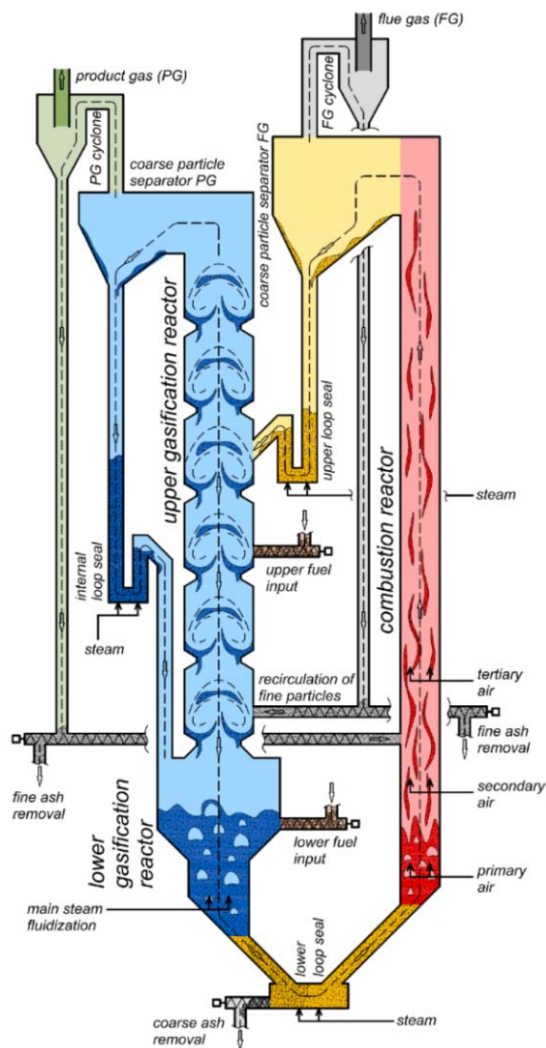


Abbildung 11: Schematische Darstellung des Reaktorsystems der Versuchsanlage (links) (vgl. Schmid J.C. 2014) & Foto der Versuchsanlage nach dem Umbau im Labor (rechts)

Die durch das Projekt nun verbesserten Voraussetzungen sollen in Zukunft dazu genutzt werden die Prozessparameter weiter zu optimieren, um bestmögliche Voraussetzungen für eine etwaige großtechnische Anwendung zu schaffen. Im Rahmen einer technoökonomischen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die großtechnische Umsetzung derzeit durch ungünstige Rahmenbedingungen erschwert wird. Dazu zählen hohe Biomassepreise, fehlende Planbarkeit für die Industrie durch die aktuelle Klima- und Energiepolitik sowie dadurch bedingte Wettbewerbsnachteile im internationalen Handel. Nichtsdestotrotz arbeitet das Projektkonsortium von ERBA mit Erfolg daran, die geforderten technischen Lösungen zu erarbeiten. Der nachgewiesene CO_2 -Transport eröffnet innovative Anwendungspfade für die Reduktion klimaschädlicher Treibhausgase durch die Abtrennung von Kohlendioxid (CO_2) aus dem Prozess. Die im Rahmen von ERBA gewonnenen Daten und Erkenntnisse haben uns dabei dem gemeinsamen Ziel einer klimaneutralen Roheisenerzeugung einen wesentlichen Schritt näher gebracht und die technischen Voraussetzungen für den Einsatz von „Sorption Enhanced Reforming“ entscheidend verbessert.

4 Ausblick und Empfehlungen

Die gesammelten Ergebnisse und Erfahrungen im Projekt ERBA haben das Projektkonsortium bestärkt die Weiterentwicklung des Verfahrens weiter voran zu treiben. Als Grundlage für die weiterführende Zusammenarbeit wurde das Projekt ERBA II entwickelt, welches im Rahmen des Energieforschungsprogrammes des Klima & Energiefonds genehmigt wurde. Im Rahmen des Folgeprojektes ERBA II sollen die bisher gefundenen Erkenntnisse dazu eingesetzt werden, das untersuchte Verfahren gezielt hinsichtlich seines möglichen Treibhausgasminderungspotenzials für die Anwendung in der Roheisenerzeugung zu optimieren. Die strategische Stoßrichtung des Projektes lautet dabei die international einzigartigen Voraussetzungen und die bestehende Technologieführerschaft zu nutzen, um die Weiterentwicklung des Verfahrens als „Below Zero Emission“-Verfahren zu ermöglichen

5 Literaturverzeichnis

Diem, R., Müller, S., Fuchs, M., Schmid, J.C., Hofbauer, H., 2015, "Sorption-enhanced reforming with limestone from iron production", in: Biomass Conversion & Biorefinery, Volume 5, Issue 1, pp 95-102, 2015

Kern, S., 2013, "Gasification and Co-gasification of Coal, Biomass and Plastics in a Dual Fluidized Bed System", PhD thesis, Vienna University of Technology

Kolbitsch, M., Schmid, J.C., Diem, R., Müller, S., Hofbauer, H., 2014, "Influence of Fuel Feeding Position on Sorption Enhanced Reforming in a Dual Fluid Gasifier", Poster contribution at: 11th International Conference on Circulating Fluidized Bed Technology (CFB11), 14-17 May 2014, Beijing, China

Koppatz, S., Schmid, J.C., Pfeifer, C., Hofbauer, H., 2012, "The effect of bed particle inventories with different particle sizes in a dual fluidized bed pilot plant for biomass steam gasification", Industrial & Chemical Engineering 51, 2012

Müller, S., 2014, "Hydrogen from Biomass for Industry - Industrial Application of Hydrogen Production Based on Dual Fluid Gasification", doctoral thesis, Vienna University of Technology, ISBN: 978-3-9502754-5-2, Wien, 2013

Pasteiner, H., 2015, "Cold Flow Investigation on a Novel Dual Fluidised Bed Steam Gasification Test Plant", Diplomarbeit, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, TU Wien, Juni 2015

Pfeifer, C., Puchner, B., Hofbauer, H., 2009, "Comparison of dual fluidized bed steam gasification of biomass with and without selective transport of CO₂", Chemical Engineering Science 64 (23), 2009

Pröll, T., Hofbauer, H., 2008, "H₂ rich syngas by selective CO₂ removal from biomass gasification in a dual fluidized bed system – process modeling approach", in: Fuel Processing Technology, 89, 2008

Rosenfeld D., 2014, "Auswertung der erzielbaren Abscheidegrads beim Ersatz des neugestalteten mehrstufigen Abscheidersystems einer Zweibettwirbelschichtversuchsanlage", Bachelorarbeit, Technische Universität Wien, Dezember 2014

Schmid, J.C., Wolfesberger, U., Koppatz, S., Pfeifer, C., Hofbauer, H., 2012, "Variation of feedstock in a dual fluidized bed steam gasifier – Influence on product gas, tar content and composition", Environmental Progress & Sustainable Energy Vol. 31, 2012

Schmid, J.C., Müller, S., Hofbauer, H., 2014, "A Novel Dual Fluid Gasifier at Vienna University of Technology", in: Proceedings of the 1st International Conference on Renewable Energy Gas Technology (REGATEC), 22-23 May 2014, Malmö, Sweden

Soukup, G., 2009, "Der AER-Prozess – Weiterentwicklung in einer Technikumsanlage und Demonstration an einer Großanlage", Dissertation, Technische Universität Wien, 2009

Wilk, V., Schmid, J.C., Hofbauer, H., 2013, "Influence of fuel feeding positions on gasification in dual fluidized bed gasifiers", Biomass and Bioenergy, Vol. 54, pp. 46-58

6 Publikationen

Diem, R., Müller, S., Fuchs, M., Schmid, J.C., Hofbauer, H., 2013, "Experimental Investigations of Sorption Enhanced Reforming with Limestone from Iron Production", in: Proceedings of the International Conference on Polygeneration Strategies (ICPS13), 3-5 Sept. 2013, Vienna, Austria

Diem, R., Müller, S., Fuchs, M., Schmid, J.C., Hofbauer, H., 2015, "Sorption-enhanced reforming with limestone from iron production", in: Biomass Conversion & Biorefinery, Volume 5, Issue 1, pp 95-102, 2015

Kolbitsch, M., Schmid, J.C., Diem, R., Müller, S., Hofbauer, H., 2014, "Influence of Fuel Feeding Position on Sorption Enhanced Reforming in a Dual Fluid Gasifier" at: 11th International Conference on Circulating Fluidized Bed Technology (CFB11), 14-17 May 2014, Beijing, China

Hofbauer, H., Schmid, J.C., Fuchs, J., 2012, "Cold Flow Model Study of an Advanced Dual Fluid Bed System for Fuel Conversion", at: 3rd International Symposium on Gasification and its Applications (iSGA-3), October 14-17, 2012, Vancouver, British Columbia, Canada

Müller, S., Koppatz, S., Fuchs, M., Pröll, T., Hofbauer, H., 2013, "Hydrogen Production Based on Conventional Dual Fluid Gasification versus Sorption Enhanced Reforming", in: Proceedings of the International Conference on Polygeneration Strategies (ICPS13), 3-5 Sept. 2013, Vienna, Austria

Müller, S., Pröll, T., Hofbauer, H., 2012, "A thermodynamic investigation of dual fluidized bed biomass gasification with sorption enhanced reforming", in: Proceedings of the 21st international conference on fluidized bed combustion (FBC) in: Neapel, Juni, 2012

Müller, S., Schmid, J.C., Poppenwimmer, M., Kieberger, N., 2014, "Erzeugung eines Produktgases aus Biomassereformierung (ERBA)", watt2 leistungsstarke und energieeffiziente Industrie - Science Brunch des klima+ energie fonds, (2014) 10, 4-9.

Müller, S., 2014, "Erzeugung eines Produktgases aus Biomassereformierung (ERBA)", Vortrag beim Science Brunch des Klima- und Energiefonds, 14.10.2014, Graz

Poppenwimmer, M., 2012, "ERBA – Erzeugung eines Produktgases aus Biomassereformierung mit selektiver CO₂-Abtrennung zur Einspeisung in das Koks- oder Hüttengasnetz eines integrierten Hüttenwerkes", Vortrag: Projektvorstellung beim Science Brunch „Bioenergie plus: Wege für Ressourceneffizienz und Klimaschutz“ des Klima und Energiefonds in Zusammenarbeit mit der Forschungsförderungsgesellschaft, 18.1.2012, Wien

Schmalzl, M., Müller, S., Hofbauer, H., 2014, "Start-Up of the Automation Control System of a New Dual Fluid Test Plant for the Gasification of Solid Fuels", in: Proc. of the 4th International Symposium on Gasification and its Applications (iSGA-4), 2-5 Sept. 2014, Vienna, Austria

Schmid, J.C., Pröll, T., Kitzler, H., Pfeifer, C., Hofbauer, H., 2012, "Cold flow model investigations of the countercurrent flow of a dual circulating fluidized bed gasifier", Biomass Conversion and Biorefinery, Vol. 2(3), April 2012, pp 229-244, doi:10.1007/s13399-012-0035-5

Schmid, J.C., Hofbauer, H., 2012, "The Dispersed Hold Up of Solids Caused by Simple Constrictions in a Dual Fluidized Bed System", at: 3rd International Symposium on Gasification and its Applications (iSGA-3),

Schmid, J.C., Pröll, T., Pfeifer, C., Rauch, R., Hofbauer, H., 2012, "Cold flow model investigation on a modified riser with enhanced gas-solid contact - locating the regions of operation in a fluidization regime map", in: Proceedings of the 21st International Conference on Fluidized Bed Combustion (FBC), 3.-6. June 2012, Naples, Italy, pp.80-87, ISBN978-88-89677-83-4

Schmid, J.C., Müller, S., Hofbauer, H., 2014, "Eine neue Generation der DUAL FLUID Dampfvergasung als Versuchsanlage an der TU Wien", in: Tagungsband zum 10. Minisymposium der Verfahrenstechnik, 17.-18. Juni 2014, Wien, Österreich

Sobotka, C., 2013, "Bestimmung der CO₂-Aufnahmekapazität von vier Kalksorten mittels TG-Analyse STA 449 F3 inkl. Wasserverdampfer", interner technischer Bericht im Auftrag der voestalpine Stahl, Nichteisenmetallurgie - Montanuniversität Leoben, 2013

Kieberger, N., 2015, "ERBA – Erzeugung eines Produktgases aus Biomasserformierung mit selektiver CO₂-Abtrennung", energy innovation austria - IEA 2015, Infobroschüre des Klima- und Energiefonds

Bachelorarbeiten

Rosenfeld D., 2014, "Auswertung der erzielbaren Abscheidegrads beim Ersatz des neugestalteten mehrstufigen Abscheidersystems einer Zweibettwirbelschichtversuchsanlage", Bachelorarbeit, Technische Universität Wien, Dezember 2014

Weitzer, M., 2014, "Stahlbau einer Zweibettwirbelschicht-Versuchsanlage", Bachelorarbeit, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, Technische Universität Wien, Jänner 2014

Diplomarbeiten:

Jentsch, R., 2015, "Sorption Enhanced Reforming im Next Generation Dual Fluid Gasifier, Diplomarbeit, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften, Technische Universität Wien, voraussichtliche Veröffentlichung 2015

Martinovic, D., 2013, "Kaltmodellversuche und MSR-Konzept einer Zweibett-Wirbelschicht-Vergasungsanlage", Diplomarbeit, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, Technische Universität Wien, August 2013

Pasteiner, H., 2015, "Cold Flow Investigation on a Novel Dual Fluidised Bed Steam Gasification Test Plant", Diplomarbeit, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, TU Wien, Juni 2015

Schmalzl, M., 2014, "Implementierung der MSR-Technik einer 100 kW DUAL FLUID Versuchsanlage zur Vergasung von Festbrennstoffen", Diplomarbeit, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, TU Wien, August 2014

Dissertationen

Müller, S., 2014, "Hydrogen from Biomass for Industry - Industrial Application of Hydrogen Production Based on Dual Fluid Gasification", doctoral thesis, Vienna University of Technology, ISBN: 978-3-9502754-5-2, Wien, 2013

Schmid, J.C., 2014, "Development of a novel dual fluidized bed gasification system for increased fuel flexibility", doctoral thesis, Institute of Chemical Engineering, Vienna University of Technology, August 2014, ISBN 978-3-9502754-6-9

Projektdaten

ERBA:

Erzeugung eines Produktgases aus Biomassereformierung mit selektiver CO₂-Abtrennung

im Rahmen der 4. Ausschreibung des Förderprogrammes: Neue Energien 2020

Projektdauer: 01.04.2011 – 31.03.2015

Budget in Euro: 991.884,-

Projektnummer: 829904 (FFG); K10NE1F00169 (Klima- & Energiefonds)

Projektkoordinator:

voestalpine Stahl GmbH, Linz

Website: www.voestalpine.com

Projektpartner:

voestalpine Stahl Donawitz GmbH;

Technische Universität Wien,

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften;

Kontakt:

Nina Kieberger, Projektleiterin - voestalpine Stahl GmbH, nina.kieberger@voestalpine.com

Hugo Stocker, Projektleiter - voestalpine Stahl Donawitz GmbH, hugo.stocker@voestalpine.com

Stefan Müller, Projektleiter – Technische Universität Wien, stefan.mueller@tuwien.ac.at

Mitglieder des Projektteams:

Nina Kieberger, Martina Poppenwimmer,

Christoph Feilmayer, Thomas Bürgler (voestalpine Stahl GmbH);

Hugo Stocker, Sonja Zeiler (voestalpine Stahl Donawitz GmbH);

Stefan Müller, Johannes Schmid, Maximilian Kolbitsch, Roland Diem, Dalibor Martinovic,

Herbert Pasteiner, Mario Schmalzl, Michael Weitzer, Veronika Wilk, Martin Stidl,

Christoph Pfeifer, Michael Fuchs, Tobias Pröll Hermann Hofbauer (Technische Universität Wien)