

IEA Wirbelschicht- technologie (FBC): Wirbelschichttechnik von Brennstoffen für eine saubere Energieerzeugung

Arbeitsperiode 2013 - 2016 F. Winter

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

49/2017

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

IEA Wirbelschichttechnologie (FBC): Wirbelschichttechnik von Brennstoffen für eine saubere Energieerzeugung

Arbeitsperiode 2013 - 2016

ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Franz Winter
Dipl.-Ing. Markus Bösenhofer, Dipl.-Ing. Clemens Huber,
Hildegard Reiterer, Jakob Weber BSc.
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und
Techn. Biowissenschaften der Technischen Universität Wien

Wien, Mai 2017

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	5
1.1. Abstract – Deutsch	5
1.2. Abstract - Englisch	6
2. Einleitung	7
2.1. Wirbelschichtanlagen in Österreich	9
2.2. Erklärung.....	11
3. Hintergrundinformation zum Projektinhalt.....	14
4. Aktuelle Forschungsergebnisse im Kontext zu FBC	15
4.1. Energy efficient CO2 capture and carbon neutral CO2 supply chain for greenhouse fertilization at Wien Simmering.....	15
4.2. bioCH4.0 – Effiziente Aufbereitung von Biogas zu Biomethan mittels kontinuierlicher Temperaturwechseladsorption.....	19
4.3. Fluid dynamic evaluation of fluidized bed systems for innovative energy conversion processes	21
4.4. Thermal gasification of low-grade residues for the production of reusable materials and energy (VergRestWert)	22
4.5. ERBA II: Optimierung von "Sorption Enhanced Reforming" zur Verbesserung der CO2-Bilanz in der Roheisenerzeugung mittels Biomasse	24
4.6. Bio Fuels from Fluid Catalytic Cracking by co processing and processing pure bio oils in circulating fluidized bed.....	26
4.7. Measurement device for heat transfer rates between fluidized bed and immersed tube bundles	28
4.8. Dry Blast Furnace Slag Granulation with Waste Heat Recovery.....	30
5. Vernetzung und Ergebnistransfer	32
6. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	33
7. Verzeichnisse	34
7.1. Literaturverzeichnis	34
7.2. Abbildungsverzeichnis.....	35
7.3. Tabellenverzeichnis.....	35
8. Liste der Ergebnisse	36

1. Kurzfassung

1.1. Abstract – Deutsch

Das IEA Technologie – Kooperationsprogramm (engl. TCP) Wirbelschichttechnologie (FBC) hat das Ziel, die Wirbelschichttechnologie in den Bereichen der sicheren und sauberen Energieerzeugung (Strom und Wärme) zu fördern. Österreich ist seit 1999 Mitglied des Implementing Agreements und hatte bereits zweimal den Vorsitz inne. Aktuell sind 18 Länder im Implementing Agreement vertreten, aus Europa (Österreich, Ungarn, Italien, Tschechische Republik, Polen, Finnland, Frankreich, Schweden, Griechenland, UK, Spanien und Portugal), aus Asien (China, Russland, Korea, Japan) und auch die USA und Kanada.

Das IEA FBC Technologie – Kooperationsprogramm ist ein „Task Shared Agreement“. Jeder der Teilnehmer bringt Wissen und Know-How ein, stellt seinen Möglichkeiten entsprechend aktuelle Wirbelschichtprojekte und -forschung vor, und sorgt so für einen allgemeinen Informationsaustausch zwischen den Mitgliedern. Zweimal im Jahr treffen sich die Mitglieder zu den Technical Sessions. Ebenfalls zweimal im Jahr werden die Executive Committee (EXCO) Meetings abgehalten, in denen Strategisches und Organisatorisches besprochen, und Forschungsschwerpunkte für die Weiterentwicklung des Technologie – Kooperationsprogramm besprochen werden.

Innerhalb des Technologie – Kooperationsprogramm gibt es verschiedene Forschungsschwerpunkte. Ein wichtiges Thema, vor allem von Russland, China und Korea vorangetrieben, ist die Weiterentwicklung zu größeren Wirbelschichtanlage in Bereiche von bis zu 1000 MW_e . Ein zweiter großer Schwerpunkt sind Wirbelschichtanlagen im Leistungsbereich von ca. 100 MW_{th} . Hier sind vor allem Österreich, aber auch Finnland, Schweden und Ungarn sehr interessiert, da diese Größenordnung der Wirbelschichtanlagenstruktur in diesen Ländern entspricht. Neben diesen Schwerpunkten werden auch neue und innovative Verfahren und Technologie beforscht. Es werden vor allem die Anwendungen der Wirbelschicht in den Bereichen der Chemical Looping Combustion (CLC), der Oxyfuel Verbrennung, der Erzeugung von Synthesegas (CO , H_2), und auch der CO_2 Abscheidung (Zero Emission, Calcium Looping) erforscht.

Das IEA FBC Technologie – Kooperationsprogramm trägt maßgeblich dazu bei, dass die österreichische Wirbelschichttechnologie international und über Europa weit hinausgehend vertreten ist und wahrgenommen wird. Es sorgt für eine ausgezeichnete Vernetzung aller Stakeholder der Wirbelschichttechnologie und ist von großem Nutzen für eine sichere und saubere Energieerzeugung (Strom und Wärme).

1.2. Abstract - Englisch

The main aim of the IEA Technology Cooperation Programme (TCP) Fluidized Bed Conversion (FBC) is to support fluidized bed technology in the field of reliable and clean energy generation (electricity and heat). Austria is a member of the Technology Cooperation Programme since 1999, and had chaired it twice. Currently, 18 countries are part of the Agreement, including Europe (Austria, Hungary, Czech Republic, Poland, Finland, France, Sweden, Greece, UK, Spain and Portugal), Asia (Russia, China, Korea, Japan) and the USA and Canada.

The IEA FBC Technology Cooperation Programme is a "Task Shared Agreement". Each participant contributes knowledge and know-how, presents actual fluidized bed research and projects, and therefore, and general information exchange between the member states takes place. Twice a year, Technical Sessions are held. Also twice, the Executive Committee (EXCO) Meetings take place, where strategic and organisational decisions are made and the research focus for the development of the TCP is discussed.

Within the Technology Cooperation Programme there are different research topics. An important topic, mostly followed by Russia, China and Korea, is the development of fluidized bed boilers with performance ranges up to 1000 MW_e. Another focus is on fluidized bed plants with performance ranges of approximately 100 MW_{th}. Here, Austria, Finland, Sweden and Hungary are especially active. Among these topics, new and innovative processes and technologies like Chemical Looping Combustion (CLC), Oxyfuel Combustion, generation of synthesis gas, CO₂ removal are of significant importance.

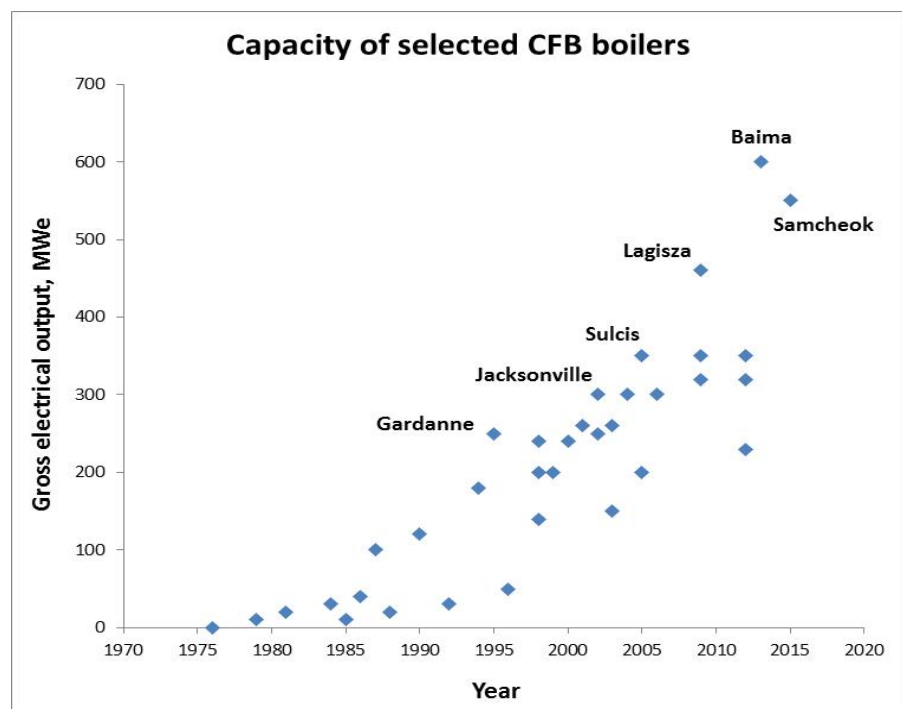
The IEA FBC Technology Cooperation Programme has an essential effect for Austria's international presence in the fluidized bed technology community. Furthermore, it provides excellent networking and know-how exchange of all stakeholders and contributes significantly to a reliable and clean energy generation (electricity and heat).

2. Einleitung

In Österreich wird Wirbelschichttechnologie (FBC) größten Teils zum Zwecke der Energie- und Wärmeerzeugung genutzt. Mit 2016 produzieren 22 Anlagen unter Einsatz der Wirbelschichttechnologie eine gesamte Wärmeleistung von über 1000 MW. Die Gründe für den Einsatz der Wirbelschichttechnologie sind vielfältig, herauszuheben sind aber im Speziellen die herausragende Eignung für Gas- Feststoffreaktionen sowie die Homogenität bei Reaktionstemperatur und Reaktionsbedingungen.

Aufgrund ihrer Vorteile bietet diese Technologie eine ausgezeichnete Möglichkeit zur Steuerung der Emissionen. Ein weiterer Vorteil der Wirbelschichttechnologie ist die Flexibilität in der Nutzung einer breiten Brennstoffpalette. Durch die Nutzung biogener Stoffe sowie auf Abfall basierender Brennstoffe leistet sie einen signifikanten Beitrag zu Reduktion von Emissionen und fossiler Brennstoffe.

Das IEA FBC Technologie – Kooperationsprogramm hat das Ziel, die Wirbelschichttechnik im Bereich der sauberen und sicheren Energieerzeugung in den verschiedenen Leistungsklassen weiter zu entwickeln. So geht der Trend in einigen Ländern zu immer größeren



Wirbelschichtanlagen bis zu 1000 MWe (siehe Abbildung 1). Ziel ist hier,

Abbildung 1 Ausgewählte zirkulierende Wirbelschichtanlagen weltweit, die die Weiterentwicklung der Wirbelschichttechnologie hinsichtlich Scale-up zeigen

Brennstoff verschiedener Qualitäten effizient, emissionsarm und wirtschaftlich konkurrenzfähig zu verwerten.

Neben dem Einsatz als Feuerungstechnologie wird die Wirbelschicht hinsichtlich ihrer Entwicklung als Synthese-Gaserzeuger, Oxyfuel – Reaktor, Chemical Looping Reaktor und

weiteren Anwendungsmöglichkeiten wie die CO₂ Abscheidung (siehe Abbildung 2 und 3) erforscht und unterstützt.

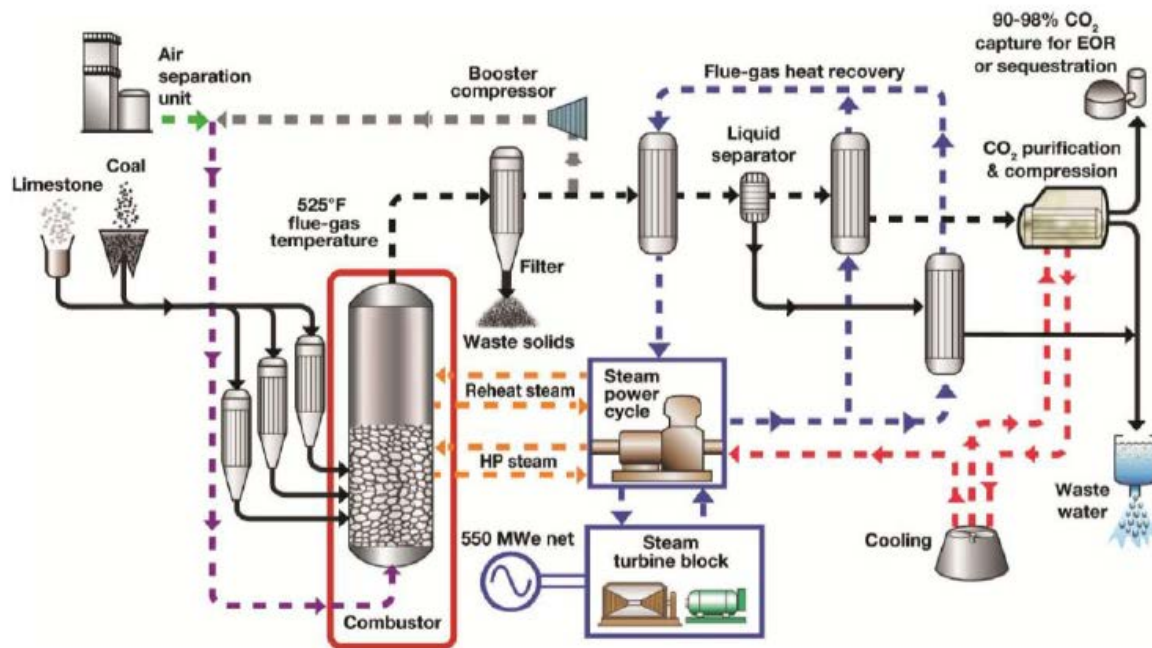


Abbildung 2 CANMET Konzept zur CO₂ Abscheidung mit Hilfe einer druckaufgeladenen Wirbelschicht (aus R. Hughes, 72. IEA-FBC Technical Session 2016).

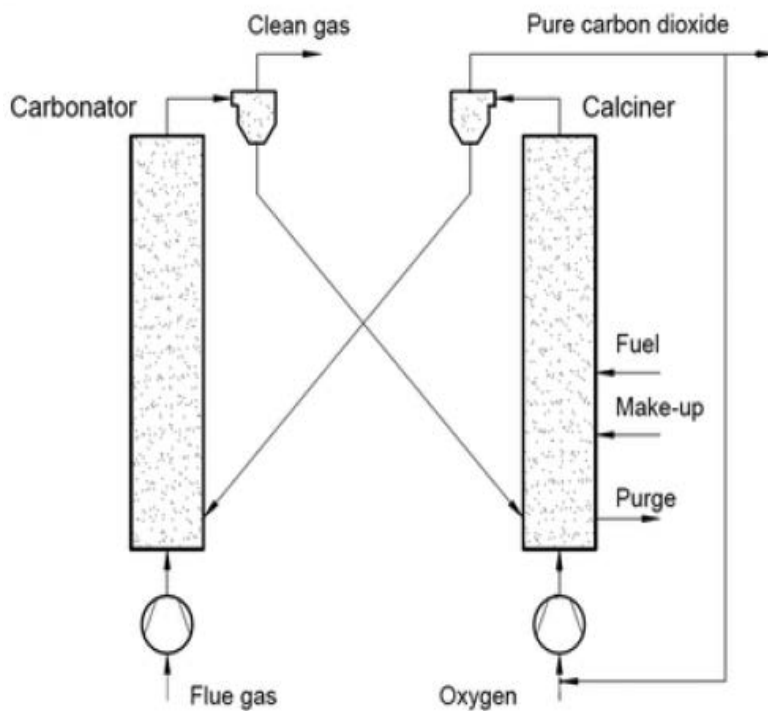


Abbildung 3 Konzept des Calcium Loopings (Ca-L) zur CO₂ Abscheidung aus dem Rauchgas, aus E.J. Anthony, 72. IEA-FBC Technical Session 2016

Die Forschung auf dem Gebiet der Wirbelschichttechnologie ist in Österreich ein wichtiges Thema. Die Wirbelschicht wird oft aufgrund ihrer sehr positiven Eigenschaften für verschiedene Energieverfahrenstechnische Prozesse eingesetzt, wie die Vergasung von Biomasse, „chemical looping“, die Abscheidung und Nutzung von CO₂, katalytisches Cracken (FCC), die Nutzung von Bioölen oder die Verbesserung des Wärmetransportes.

2.1. Wirbelschichtanlagen in Österreich

Tabelle 1 Betriebsanlagen

Nr	Jahr	Ort	Typ	Leistung	Brennstoffe
1	1981	Gratkorn	BFBC	25 MW	Rinde, Klärschlamm, Biogas, Erdgas
2	1986	Gratkorn	CFBC	133 MW	Kohle, Klärschlamm, Schweröl, Biogas, Erdgas
3	1984	Bruck an der Mur	BFBC	15 MW	Rinde, Kohle, Klärschlamm, Biogas, Erdgas
4	2004	Niklasdorf	BFBC	40 MW	MSW, Industrieabfälle, Holzabfälle, Klärschlamm
5	1987	Lenzing	CFBC	108 MW	Rinde, Kohle, Klärschlamm, Holzabfälle, Öl
6	1998	Lenzing	CFBC	110 MW	Plastik, Müll, Klärschlamm, Holzabfall
7	2011	Linz	BFBC	66 MW	Kommunaler Abfall, Klärschlamm, Rechengut
8	1994	Steyrermuehl	CFBC	48 MW	Rinde, Holz, Holzabfälle, Klärschlamm
9	2006	Timelkam	BFBC	49 MW	Wood, Holzabfälle, Rinde, Sägemehl
10	2006	Hallein	BFBC	30 MW	Hackschnitzel
11	1984	Frantschach – St. Gertraud im Lavantal	CFBC	61 MW	Rinde, Kohle, Klärschlamm, Schweröl

Nr	Jahr	Ort	Typ	Leistung	Brennstoffe
12	2007	St.Veit an der Glan	BFBC	45 MW	Rinde, Holz, Klärschlamm, Sägemehl, Holzabfälle, Klärschlamm
13	2000	Arnoldstein	BFBC	5 MW	Öl, Emulsionen, Holzabfälle, Klärschlamm, Plastik
14	1984	Pitten	BFBC	60 MW	Kohle, Biogas, Klärschlamm
15	2003	Bad Vöslau	BFBC	1 MW	Klärschlamm
16	2009	Fürnitz	BFBC	3 MW	Prozessabfälle, Klärschlamm
17	1992	Vienna	BFBC	3 x 20 MW	Klärschlamm
18	2003	Vienna	RFBC	40 MW	Kommunaler Abfall, Klärschlamm
19	2006	Vienna	CFBC	66 MW	Forstabfälle
20	2006	Heiligenkreuz	BFBC	43 MW	Forstabfälle
21	2008	Oberwart	DFBG	10 MW	Hackschnitzel
22	2001	Güssing	DFBG	8 MW	Hackschnitzel, Holzabfälle

Tabelle 1 Abkürzungen

BFBC	Blasenbildende Wirbelschichtanlage (bubbling fluidized bed combustor)
CFBC	Zirkulierende Wirbelschichtanlage (circulating fluidized bed combustor)
DFBG	Doppel-Wirbelschichtvergaser (dual fluidized bed gasifier)
RFBC	Rotations-Wirbelschichtvergaser (rotating fluidized bed combustor)

2.2. Erklärung

Tabelle 1 enthält die Wirbelschichtanlagen in Österreich, sowie deren wichtigste Parameter. Die jüngste Anlage ist Anlage Nummer sieben und steht in Linz. Diese Anlage wurde 2011 in Betrieb genommen und weist eine Wärmeleistung von 65 MW auf. Die Energie dieser Anlage dient der allgemeinen Energieversorgung.

Das Verhältnis der gesamt produzierten Wärmeleistungen von Anlagen mit blasenbildender Wirbelschicht zu Anlagen mit zirkulierender Wirbelschicht ist nahezu gleich eins (Abbildung 4). Bei den Anlagen mit blasenbildender Wirbelschicht, beträgt der Anteil der Anlagen mit einer Wärmeleistung zwischen 10 und 50 MW mehr als 50% (Abbildung 5). Bei den Anlagen mit zirkulierender Wirbelschicht ist diesbezüglich kein eindeutiger Trend erkennbar.

Der Hauptteil der Anlagenbetreiber entstammt der Zellstoff und Papier Industrie, gefolgt von der thermischen Abfallverwertungsindustrie. Diese beiden machen mehr als 75% vom Gesamtbetrieb aus (Abbildung 6). Werden Anlagen zur Erzeugung von Prozessenergie separiert von Anlagen zur allgemeinen Energieversorgung betrachtet, so wird ersichtlich, dass die Zellstoff- und Papierindustrie als Betreiber dominiert. (Abbildung 7)

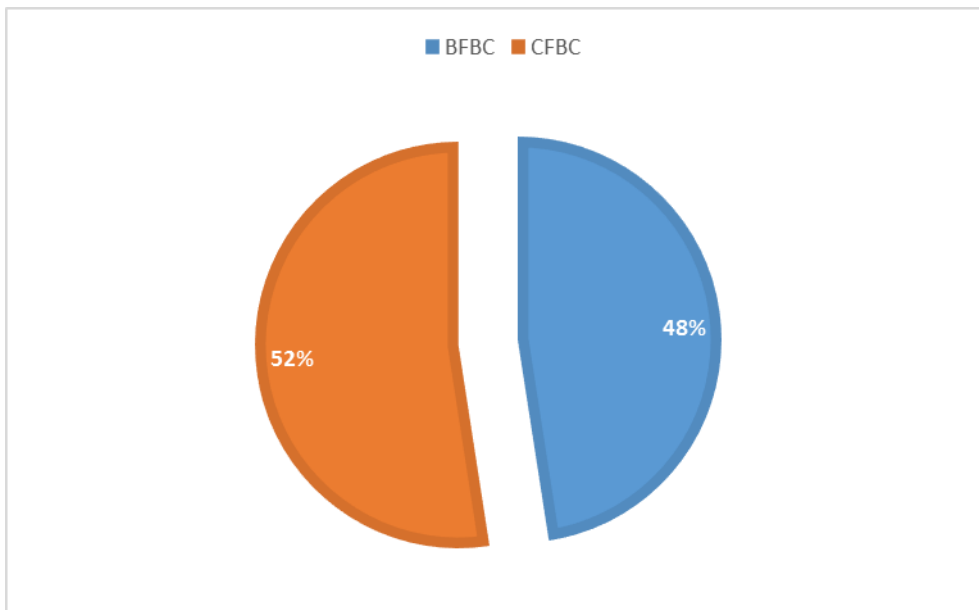


Abbildung 4 BFBC and CFBC Anlagen in Österreich (basierend auf der Wärmeleistung)

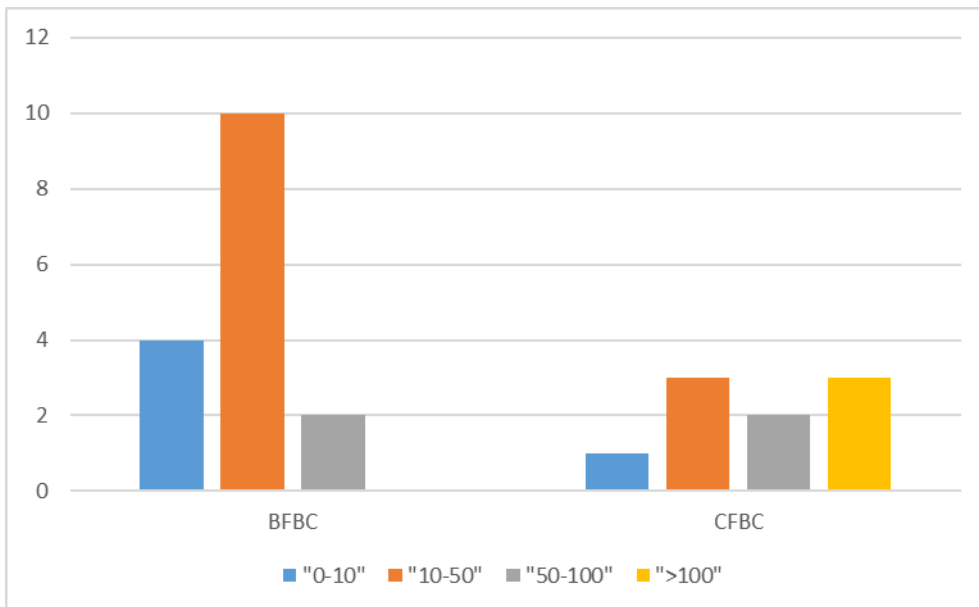


Abbildung 5 Anzahl der Anlagen gruppiert nach Anlagenleistung [MW]

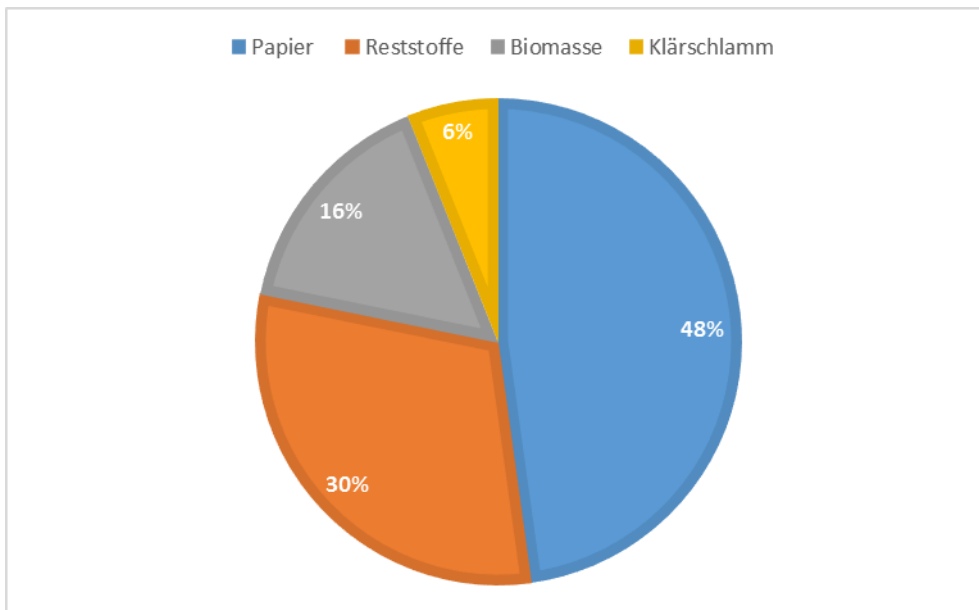


Abbildung 6 Anwendung von Wirbelschichtanlagen nach Einsatzbereichen (basierend auf der Wärmeleistung)

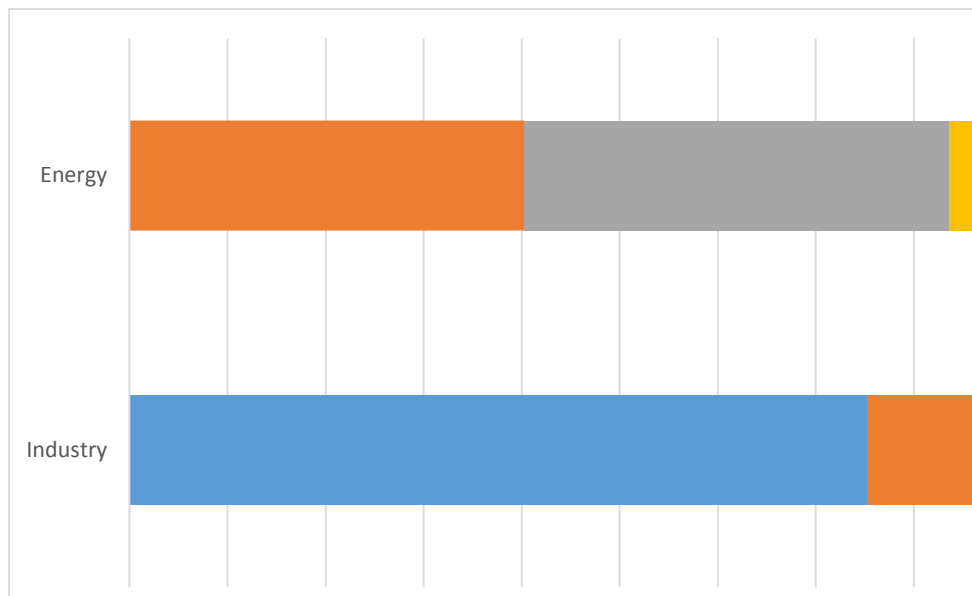


Abbildung 7 Verhältnis der Anlagenbetreiber getrennt nach allgemeiner Energieversorgung und Gewinnung von Prozessenergie

3. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

Das IEA FBC Technologie – Kooperationsprogramm mit seinen 18 Mitglieder aus Europa (Frankreich, Finnland, Griechenland, Italien, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, UK), Asien (China, Korea, Japan, Russland), sowie Kanada und den USA ist durch die umfangreiche Kommunikation ein dynamisches und sehr aktives Agreement. Unter anderem deshalb hat die IEA das Technologie – Kooperationsprogramm für eine weitere Periode von 2014 – 2019 verlängert, mit dem Ziel, das Informationsnetzwerk stetig zu verbessern und weiterzuentwickeln. Für die Periode von 2015 -17 ist Korea mit dem Vorsitz beauftragt worden. Mehr Informationen und einen guten Überblick erhält man auf den Websites des Agreements (international: www.iea-fbc.org , national: www.nachhaltigwirtschaften.at).

Die Bedeutung der Wirbelschichttechnologie in der thermischen und chemischen Industrie steigt weltweit laufend an. In Österreich ist sie mit einer thermischen Leistung von mehr als 1000 MW ein grundlegender Bestandteil der Papier- und Zellstoffindustrie. Für die Abfallwirtschaft stellt sie eine attraktive Alternative zu den klassischen Rostfeuerungen dar. Im Bereich der erneuerbaren Energieträger wie Biomasse oder Klärschlamm ist die thermische Verwertung in Wirbelschichten exzellente Technologie, die mit niedrigen Emissions- und Schadstoffwerten auftrumpft (siehe Purgar 2012).

In Österreich werden vor allem in der Papier- und Zellstoffindustrie, aber auch in der Abfallverwertung und der Biomasseverbrennung insgesamt 22 Wirbelschichtanlagen betrieben. Im Bereich der Forschung bietet Österreich ein beachtliches Portfolio an Publikationen und Forschungsgruppen auf. Neben den Betreibern und der Forschung sind auch die österreichischen Anlagenbauer hervorzuheben, die weltweit Wirbelschichttechnologie anbieten. Diese Stakeholder treffen sich jährlich bei dem von der IEA und der TU Wien veranstaltetem Österreichischen Wirbelschichttreffen, um auch national eine optimale Vernetzung zu gewährleisten.

Da die Wirbelschichttechnologie eine in Einsatzbereichen außerordentlich vielfältige Technologie ist, wurden durch das IEA FBC Technologie – Kooperationsprogramm mehrere Schwerpunkte ausgewählt. Grundsätzlich ist eine Weiterentwicklung der Wirbelschichttechnologie in Hinblick auf aktuelle Herausforderungen wie die Minimierung von Schadstoffemissionen und Treibhausgasen (v.a. CO₂), dem Scale-Up der Anlagenkapazität in Bereiche bis 1000 MW_e und die optimale Nutzung und Verfügbarkeit von Anlagen der Größenordnung 100 MW_{th} das Ziel. Zusätzlich wird die Wirbelschicht hinsichtlich Oxyfuel – Verbrennung (Zero Emission), Chemical Looping Combustion (CLC) und Synthesegaserzeugung eingesetzt und erforscht.

4. Aktuelle Forschungsergebnisse im Kontext zu FBC

Die folgenden Beiträge zeigen beispielhaft die Forschung in Österreich, wo Wirbelschichttechnologie zum Einsatz kommt. Es sind nicht direkte Ergebnisse des IEA Technologie – Kooperationsprogramm. Dieses stimuliert den Austausch und den Know-how Transfer auf den genannten Themen.

Die Ergebnisse des IEA Technologie – Kooperationsprogramm im engsten Sinn sind die Durchführung der Workshops, Meetings, Publikationen und des Informationsaustausches. Siehe dazu im Anhang die Liste der Workshops und Publikationen (Kapitel 8).

4.1. Energy efficient CO₂ capture and carbon neutral CO₂ supply chain for greenhouse fertilization at Wien Simmering

Gerhard Schöny

TU Wien, Institute of Chemical Engineering,
Getreidemarkt 9/166, 1060 Vienna, Austria

CO₂-Abscheidung bei Kraftwerken oder in der Industrie zur anschließenden permanenten Lagerung oder für industrielle Verwendung ist durch einen hohen Energieaufwand des Abscheidvorgangs gekennzeichnet, was die Energieeffizienz des Kraftwerkes oder Industrieprozesses empfindlich beeinträchtigt. Die technologische Haupt-Herausforderung im Zusammenhang mit CO₂ Abscheidung und Speicherung (CCS) ist es, energie-effiziente Abscheidverfahren zu identifizieren und zu entwickeln. Derzeit gelten Gaswäscher auf Monoethanolaminbasis (MEA) als bestgeeignete Technologie zur Abtrennung von CO₂ aus Abgasströmen. Der Energieaufwand beträgt bei einer Abscheideeffizienz von 90% rund 3.7 GJ/Tonne CO₂. Das grundsätzliche Ziel des vorgeschlagenen Leitprojektes ist zu zeigen, dass der Energiebedarf zur CO₂ Abscheidung durch Verwendung einer neuartigen, kontinuierlichen Temperaturwechseladsorptionstechnologie (TSA) mit aminfunktionalisierten Adsorbentien um rund 40% gesenkt werden kann, was eine signifikante Steigerung der Gesamteffizienz ermöglicht.

Der vorgeschlagene Prozess wurde kürzlich von Partnern des Konsortiums bis in den Labormaßstab entwickelt. Die innovative Idee dabei ist, dass neuartige Reaktorsystem bei dem gestufte Wirbelschicht-Kontaktapparate zur Anwendung kommen. Daraus ergeben sich im Vergleich zu bisher bekannten einstufigen Gas-Feststoff-Verfahren verbesserte thermodynamische Triebkräfte für die CO₂ Abscheidung ergeben sowie verbesserte Bedingungen für die Wärmeintegration des Prozesses. Laborversuche haben gezeigt, dass

in der voll-kontinuierlichen Betriebsweise mit je fünf praktischen Stufen mühelos Abscheidegrade von > 90% erreicht werden. Auch die mechanisch-chemische Beständigkeit der verfügbaren Adsorbentien hat sich im Laborversuch bestätigt, was die Technologie zu einer vielversprechenden Lösung für CCS-Anwendungen macht.

ViennaGreenCO₂ ist Wegbereiter für eine mögliche Demonstration der Technologie. Eine Pilotanlage wird mit Bedacht auf eine möglichst einfache Weiterskalierbarkeit dimensioniert und am Standort des Biomasskraftwerkes Wien-Simmering errichtet. Langzeitversuche mit echtem Verbrennungsabgas liefern belastbare Ergebnisse als Basis für eine aussagekräftige techno-ökonomische Technologiebewertung. Die Auslegung, der Bau und der Betrieb der Pilotanlage werden von fokussierten Forschungsaktivitäten begleitet. Der Basisprozess wird in der Laboranlage weiter untersucht, die Fluidynamik in einem Kaltmodell der Pilotanlage, Wärmeübergang und Wärmeübertragerdesign werden in einem Versuchsaufbau optimiert, mathematische Modelle des kontinuierlichen TSA-Prozesses werden entwickelt und dienen als Basis für eine Gesamtprozessoptimierung inklusive Wärmeintegration.

Ein weiterer Fokus von ViennaGreenCO₂ ist die Untersuchung der Möglichkeit, abgeschiedenes biogenes CO₂ zur Gewächshausdüngung der Gartenbetriebe Simmering einzusetzen. Dadurch könnten Transportaufwand und Kosten im Vergleich zur gegenwärtigen Situation reduziert werden, wo CO₂ aus entfernten fossilen Quellen zugekauft werden muss. Bestätigt sich die technische Machbarkeit einer lokalen CO₂-Versorgung der Gartenbetriebe, könnten sich daraus günstige Rahmenbedingungen für die zukünftige Errichtung einer Demonstrationsanlage in Wien-Simmering ergeben.

Es wird erwartet, dass die Errichtung und der Betrieb der Pilotanlage ein sichtbarer und beachteter Beitrag zur international diskutierten Thematik der Energieeffizienzsteigerung von CO₂ Abscheideprozessen ist. Das Konsortium wird aktiv versuchen, die Aufmerksamkeit der europäischen und internationalen Wissenschaft sowie von Entscheidungsträgern und der breiten Öffentlichkeit zu erreichen und die Diskussion um die Notwendigkeit energieeffizienter CO₂-Emissionsreduktionstechnologien anzuregen.

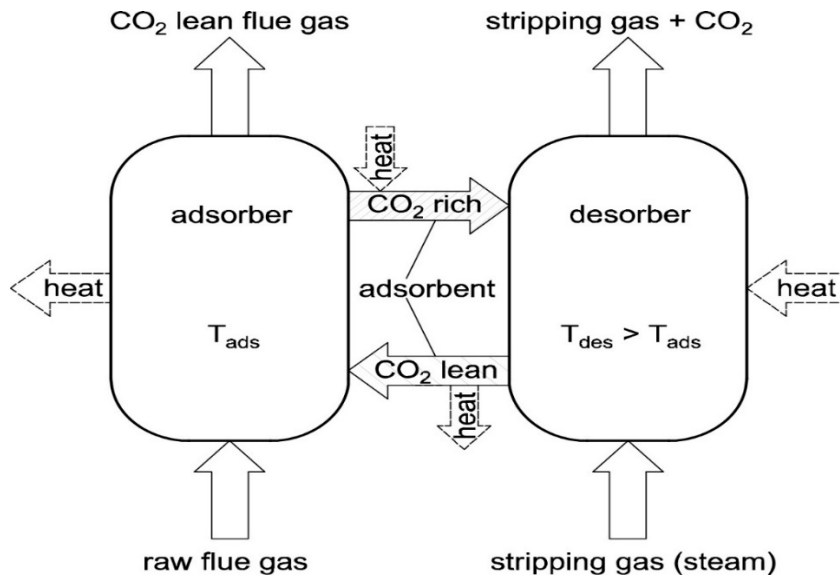
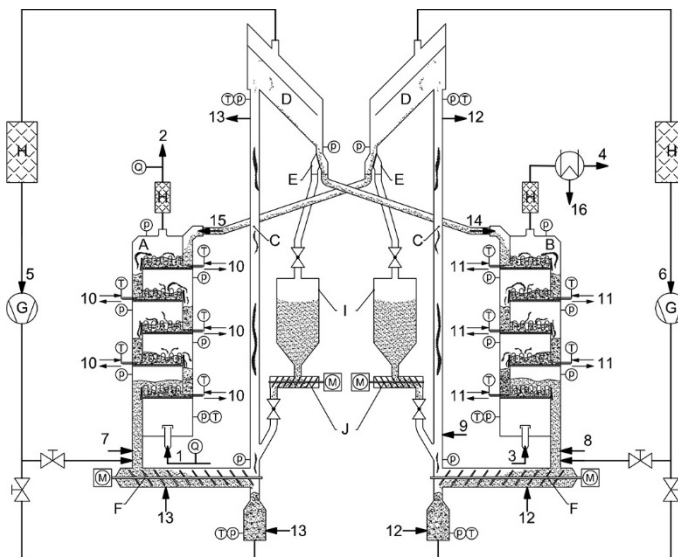


Abbildung 8 Prinzip TSA



- | | | |
|-------------------------------|---|--|
| A ... adsorber | 1 ... syn. flue gas (N ₂ , CO ₂ , air, steam) | 11... desorber stage heating |
| B ... desorber | 2 ... clean flue gas | 12... transport line cooling |
| C ... riser | 3 ... stripping gas (N ₂ , steam) | 13... transport line heating |
| D ... gas-solids separator | 4 ... CO ₂ product (+ N ₂) | 14... CO ₂ loaded adsorbent |
| E ... solids directing flap | 5 ... recirculation gas | 15... regenerated adsorbent |
| F ... bottom screw conveyor | 6 ... recirculation gas | 16... strip. steam condensate |
| G ... recycle-gas blower | 7 ... purge gas (N ₂ , CO ₂) | ⊕ ... pressure sensor |
| H ... particle filter | 8 ... purge gas (N ₂ , steam) | ⊖ ... temperature sensor |
| I ... adsorbent storage | 9 ... dilution stream (N ₂) | Ⓜ ... driving motor |
| J ... adsorbent feeding screw | 10... adsorber stage cooling | Ⓢ ... gas analytics |

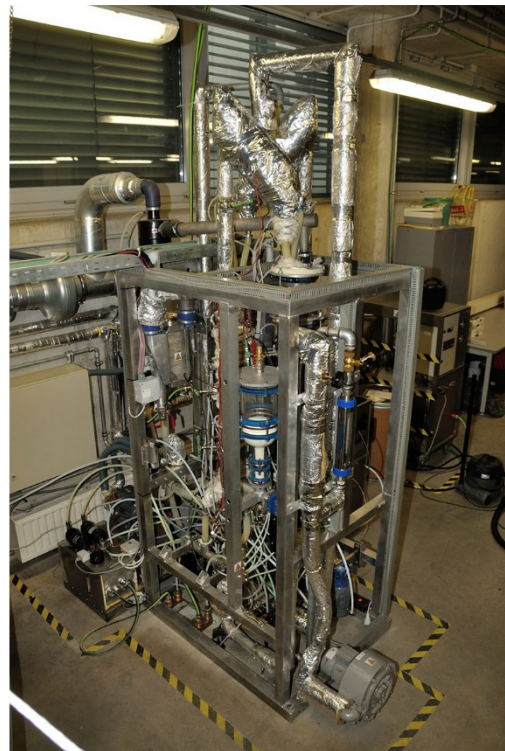


Abbildung 9 Experimentieller Aufbau

Partner:

- University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna
Department of Material Sciences and Process Engineering
- M-TEC Energie.Innovativ GmbH
- WIEN ENERGIE GmbH

- Josef Bertsch Gesellschaft m.b.H. & Co.KG
- Ik-projekt niederösterreich | wien GmbH
- Shell Global Solutions International B.V.
- LGV-Frischgemüse Wien reg.Gen.m.b.H.

Contact: Gerhard Schöny, gerhard.schoeny@tuwien.ac.at

4.2. bioCH4.0 – Effiziente Aufbereitung von Biogas zu Biomethan mittels kontinuierlicher Temperaturwechseladsorption

Gerhard Schöny

TU Wien, Institute of Chemical Engineering,
Getreidemarkt 9/166, 1060 Vienna, Austria

Das Biogas, der meisten in der Vergangenheit errichteten Biogasanlagen, wird primär zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt. Aufgrund der zunehmenden erneuerbaren Erzeugungskapazitäten am Strommarkt ist eine alternative Nutzung des Biogases in Form einer Aufbereitung zu Biomethan wünschenswert, wenn eine ökonomische Zukunft für Biogasanlagen möglich sein sollte. Bei der Aufbereitung von Biogas zu Biomethan hat der Schritt der CO₂-Abtrennung meist maßgeblichen Einfluss auf die Gesamteffizienz bzw. die Gesamtkosten. Als derzeitiger Stand der Technik für die CO₂-Abtrennung von Biogas im Zuge der Aufbereitung zu Biomethan können die folgenden Verfahren angesehen werden: Druckwasserwäsche (DWW), Aminwäsche (AW), Druckwechseladsorption (PSA) und Membrantrennverfahren (MTV). Diese sind aber allesamt derzeit nicht wirtschaftlich, sodass ein kostengünstigeres Verfahren dringend erforderlich ist.

Von den oben angeführten Verfahren erscheint vom technischen Standpunkt aus die AW am interessantesten, sodass im Rahmen des vorliegenden Projektes versucht wird, die Vorteile des AW-Verfahrens möglichst beizubehalten und gleichzeitig die wesentlichen Nachteile weitgehend zu beseitigen.

Im Rahmen des gegenständlichen Projektes wird daher auf Basis von vielversprechenden Vorversuchen ein Temperaturwechseladsorptionsprozess (TSA) mit mehrstufigem Wirbelschichtdesign auf Basis eines festen Aminadsorbens entwickelt. Der neuartige Prozess benutzt weiters eine innovative Wärmevershaltung unter Nutzung von einem innovativem Wärmetauscherdesign und einer Wärmepumpe, was zu einer deutlichen Energieeinsparung führt. Übergeordnetes Ziel ist es, am Ende des Projektes ein effizienteres und deutlich kostengünstigeres Verfahren als die bisher eingesetzten Verfahren zur Erzeugung von Biomethan zur Verfügung zu haben, was durch einen techno-ökonomischen Vergleich mit anderen Verfahren gezeigt werden soll.

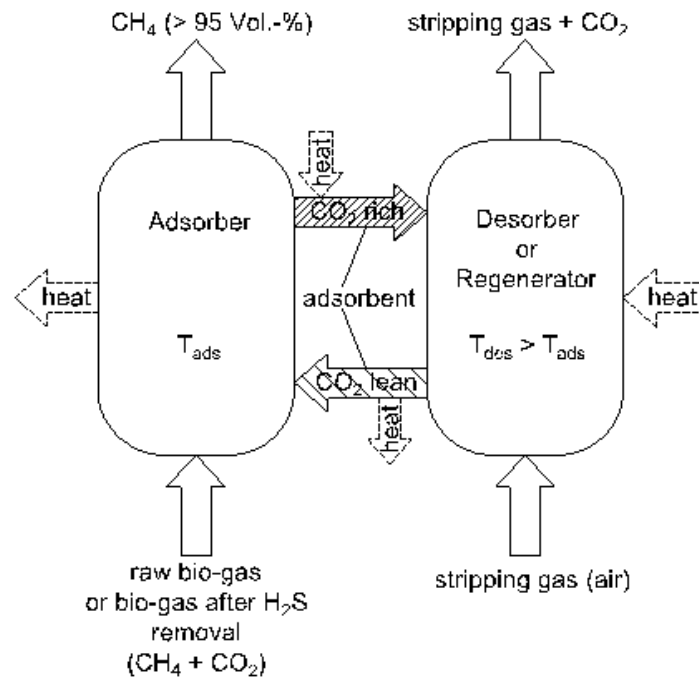


Abbildung 10 Biogas Upgrade Prinzip

Partner:

- TU Wien Institute of Energy Systems and Thermodynamics (TU-IET)
- Austrian Institute of Technology (AIT)
- Josef Bertsch GesmbH & Co KG (Bertsch)
- AAT Abwasser- und Abfalltechnik GmbH (AAT)
- FRIGOPOL Kälteanlagen GmbH (FRIGOPOL)
- Biogas Strem Errichtungs- und Betriebs GmbH & Co KG (BG-Strem)

Contact: Gerhard Schöny, gerhard.schoeny@tuwien.ac.at

4.3. Fluid dynamic evaluation of fluidized bed systems for innovative energy conversion processes

Stefan Penthor, Michael Stollhof, Karl Mayer and Hermann Hofbauer

TU Wien, Institute of Chemical Engineering,
Getreidemarkt 9/166, 1060 Vienna, Austria

Fluidized bed systems, consisting of two, or more, interconnected fluidized beds are widely used in innovative energy conversion processes, like e.g. chemical looping combustion (CLC), biomass steam gasification or carbonate looping. The bed material is used to transport heat and/or chemical species from one reactor to the other while it is ensured that there is no gas leakage between them. Further, scaled physical flow models, so-called cold flow models, are a powerful tool to investigate the fluid dynamic characteristics of a fluidized bed design. They are smaller than the original design and operated at ambient conditions.

A cold flow model (scale 1:11), made of acrylic glass, has been used to investigate the fluid dynamic feasibility of different reactor geometries of a next scale (10 MWth fuel input) CLC reactor design. The cold flow model is scaled according to the scaling criteria of Glicksman and consists of two circulating fluidized beds connected at the top and bottom-
Several parameters like e.g. the amount of fluidization gas for both reactors, the influence of total inventory, and the influence of fuel conversion, were investigated. Pressure profiles were used to get a comprehensive overview of the fluid dynamic behaviour of the proposed reactor design.

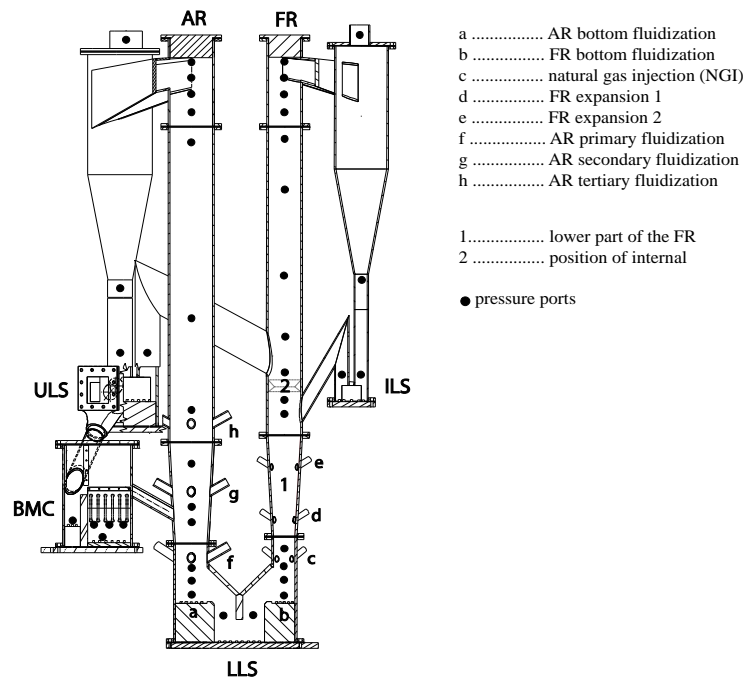


Abbildung 11 Scaled cold flow model of a CLC reactor design

Acknowledgements: This work has received funding from the European Union Seventh Framework Program (2007-2013) under grant agreement no 608571 (<http://www.clc-success.eu>). **Contact:** Stefan Penthor, stefan.penthor@tuwien.ac.at

4.4. Thermal gasification of low-grade residues for the production of reusable materials and energy (VergRestWert)

Johannes Schmid, Matthias Kuba and Hermann Hofbauer
TU Wien, Institute of Chemical Engineering,
Getreidemarkt 9/166, 1060 Vienna, Austria

Die thermische Vergasung von Biomasse in der Zweibettwirbelschicht ist ein effizientes Verfahren zur CO₂-neutralen Produktion von Strom und Wärme aus Biomasse. Das Produktgas kann auch als Rohstoff für Synthesen z.B. von BioSNG, Fischer-Tropsch Diesel und anderen Kohlenwasserstoffen verwendet werden und ist aufgrund des Ursprungs in der Biomasse CO₂ neutral. Die derzeit kommerziell betriebenen Anlagen produzieren in der Regel Strom und Wärme und leiden unter steigenden Brennstoffkosten und geringen Strompreisen. Hohe Betriebskosten, durch den Einsatz von Olivin als Bettmaterial und bedingt durch den Schwermetallanteil im Olivin durch hohe Entsorgungskosten der Asche erschweren einen wirtschaftlichen Betrieb.

Ziel dieses Projekts ist es, das Bettmaterial durch ein alternatives, schwermetallfreies und preiswertes Bettmaterial zu ersetzen, das aber trotzdem eine katalytische Eigenschaft besitzt bzw. durch die Interaktion mit der Biomasseasche und gegebenenfalls Additiven entwickeln kann.

Die Umstellung auf ein schwermetallfreies Bettmaterial ermöglicht es, die anorganischen Bestandteile des Brennstoffs möglichst früh im Prozess in Form eines kohlenstoffhaltigen Staubes zu entnehmen und als nährstoffreichen „BioChar“ in den Nährstoffkreislauf der Natur zurückzubringen. Dadurch kommen die Aschebestandteile des Brennstoffs nicht in den bei Temperaturen über 900°C betriebenen Verbrennungsreaktor und es können Brennstoffe mit schlechterem Ascheschmelzverhalten eingesetzt werden. Jedenfalls kann auch die zurückbleibende Asche als Dünger genützt werden.



Abbildung 12 100 kW Pilotanlage der TU Wien mit der die Vergasung von Hühnermist durchgeführt wird

Im Rahmen dieses Projekts soll ein geeignetes Bettmaterial gefunden werden und dessen Einsatz in verschiedenen Pilotanlagen getestet werden. Ein besseres Verständnis der anorganischen Vorgänge in der Vergasungsanlage soll erarbeitet werden. Der Einsatz von niederqualitativem Brennstoff soll durch die Beimischung von Hühnermist zum Brennstoff dargestellt werden.

Der kohlenstoffhaltige Staub, der nach dem Vergasungsreaktor anfällt, und die Asche aus dem Verbrennungsteil sollen auf die Eignung als BioChar untersucht werden und Wege zu dessen Nutzung aufgezeichnet werden. Eine Wirtschaftlichkeitsstudie soll das Potential für Anlagenbetreiber aufzeichnen.

Partner:

- Bioenergy 2020+ GmbH (Consortium Leader)
- TU Wien, Institute of Chemical Engineering
- Repotec GmbH & Co KG

Contact: Johannes Schmid, johannes.schmid@tuwien.ac.at

4.5. ERBA II: Optimierung von "Sorption Enhanced Reforming" zur Verbesserung der CO₂-Bilanz in der Roheisenerzeugung mittels Biomasse

Johannes Schmid, Stefan Müller and Hermann Hofbauer
TU Wien, Institute of Chemical Engineering,
Getreidemarkt 9/166, 1060 Vienna, Austria

Im Zuge des Forschungsprojektes „ERBA II“ wird ein Verfahren untersucht, das die Reduktion fossiler CO₂-Emissionen in der Roheisenerzeugung ermöglicht. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass „Sorption Enhanced Reforming (SER)“ die CO₂-Bilanz eines integrierten Hüttenwerks verbessern kann. Im Rahmen des vorliegenden Projektes sollen bisher verborgene Potentiale des Prozesses hinsichtlich Wirkungsgrad, Wasserstoffproduktionsrate und selektivem CO₂-Transport im Labormaßstab untersucht und erschlossen werden. Die Untersuchungen sollen dabei entscheidende Verbesserungen der Prozessparameter ermöglichen, um die technischen Voraussetzungen für eine deutliche Verbesserung der CO₂-Bilanz in der Roheisenerzeugung zu schaffen. Die zuvor angeführten Verbesserungen sollen durch ein neuartiges Zweibett-Wirbelschicht-Reaktorsystem erreicht werden. Eine Kombination dieses neuen Systems mit einer integrierten O₂-Verbrennung soll zudem das Potential einer innovativen „Below Zero Emission Technology“ betrachten.

Die geforderte Steigerung des Anteils an erneuerbare Energie am Energiemix, erfordert die Entwicklung neuer Verfahren, die die Einbindung erneuerbarer Energie ermöglicht. Das Know-How der voestalpine Stahl GmbH und der voestalpine Stahl Donawitz GmbH in der Roheisenerzeugung kann durch einen Vergleich von Hochofenkennzahlen z.B. EBFC (European Blast Furnace Committee) dargestellt und international verglichen werden. Die Hochofen der voestalpine zählen dabei seit vielen Jahren zum Benchmark in Europa.

Im Rahmen des Vorprojekts ERBA konnte gezeigt werden, das „Sorption Enhanced Reforming (SER)“ ein geeignetes Verfahren ist um den Anteil erneuerbarer Energie im Hochofen zu steigern, ohne die Qualität der Endprodukte zu beeinträchtigen. Die Forschungsgruppe „Vergasung und Gasreinigung“ an der TU Wien ist eine der beiden weltweit führenden Gruppen im Bereich „Sorption Enhanced Reforming“. Im Rahmen des vorliegenden Projektes ERBA II sollen die umfassenden Kompetenzen des Konsortiums dazu eingesetzt werden, das untersuchte Verfahren gezielt für die vorgeschlagene Anwendung zu optimieren, um die Effizienz des Verfahrens zu steigern. Im Rahmen des Projektes werden:

- Experimentelle Untersuchungen im Labormaßstab durchgeführt,
- Erzielte Messdaten hinsichtlich der großtechnischen Anwendung interpretiert,
- und die Weiterentwicklung als „Below Zero Emission-Verfahren“ vorbereitet.

Durch die angestrebten Untersuchungen werden grundlegende Mechanismen des Verfahrens im Labormaßstab optimiert, um der langfristige Zielsetzung „Sorption Enhanced Reforming (SER)“ als „Below Zero Emission-Verfahren“ für eine klimaschonendere Roheisenerzeugung einzusetzen, näher zu kommen.

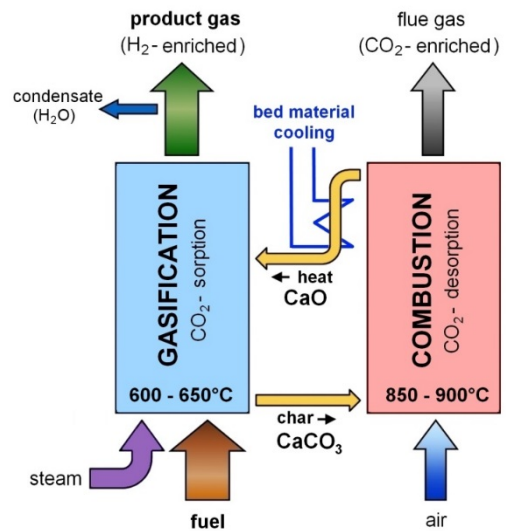


Abbildung 13 Verfahrensprinzip des „Sorption Enhanced Reforming“ Prozesses

Partner:

- voestalpine Stahl GmbH, Linz (Consortium Leader)
- TU Wien, Institute of Chemical Engineering
- Voestalpine Stahl Donawitz GmbH

Contact: Johannes Schmid, johannes.schmid@tuwien.ac.at

4.6. Bio Fuels from Fluid Catalytic Cracking by co processing and processing pure bio oils in circulating fluidized bed

Alexander Reichhold

TU Wien, Institute of Chemical Engineering,
Getreidemarkt 9/166, 1060 Vienna, Austria

Oils from renewable biological sources are gaining in importance in response to decreasing crude oil reserves and subsequently increasing oil prices. Therefore an investigation was carried out into the possibility of adding oils from biological sources to the feedstock of FCC (Fluid Catalytic Cracking) processes. The purpose was to produce fuels in the gasoline and diesel boiling range and light olefinic hydrocarbons for the petrochemical industry (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

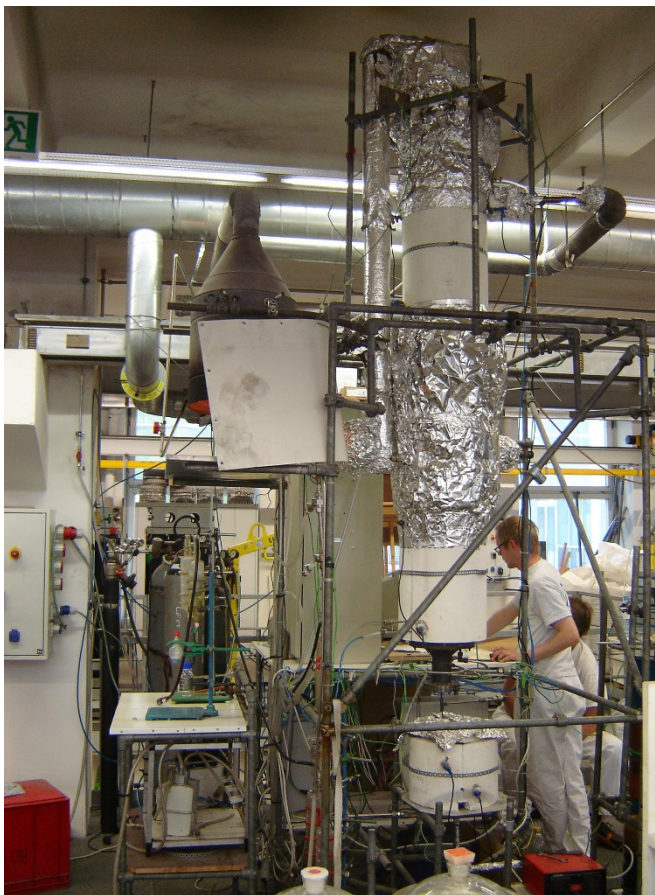


Abbildung 14 pilot plant

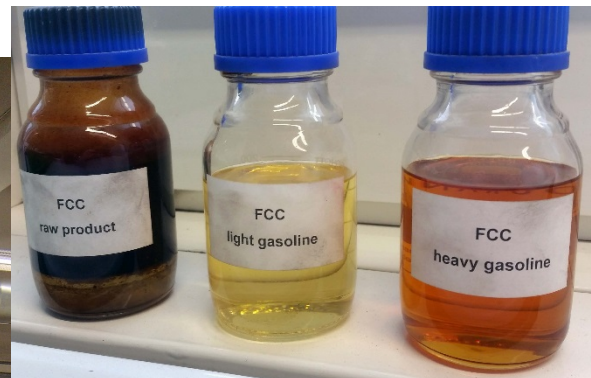


Abbildung 15 from base to final product

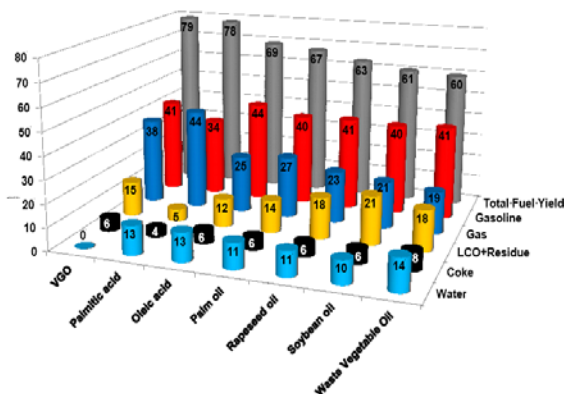


Abbildung 16 experimental results

The experiments were conducted in a continuously operated pilot-scale FCC-unit with internal CFB-design and focused on a thorough analysis of the basic applicability of these oils in a FCC-unit in terms of cracking reactions and subsequent effects on catalyst circulation and obtained product distribution. **(Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.)** Special consideration was given to the effect of the bio oils on the octane numbers of the obtained products in the gasoline boiling range. The applied bio oils, rapeseed oil, soy oil, palm oil and sunflower oil, were added to hydrated vacuum gas oil (standard FCC-feed) in different concentrations ranging up to 100 mass percent. The different experiments were conducted as continuous test runs and results were compared with the base case operation, using 100% vacuum gas oil.

Based on a lot of experimental Data a model for simulating the FCC and OCP (Olefin Cracking Process) was developed. The methods used for the modelling comprise the Multiple Linear Regression (MLR), the Principle Component Analysis (PCA), and the Principle Component Regression (PCR). A new and fully continuously operated FCC – pilot plant with high flexibility was designed and constructed. The motivation for this project is given by the different challenges when not feeding the system with standard FCC feed (VGO) but using several vegetable oils, animal fats, pyrolysis oils, fatty acids, used frying oils, tall oil and others. In particular the different coking behaviour leads to different capacity ratios between riser reactor and regenerator. With a special focus on the performance of thermal cracking reactions in the system at lower temperature levels it is necessary to provide thermal decoupling between riser and regenerator which is achieved by the installation of a special heat exchanger system.

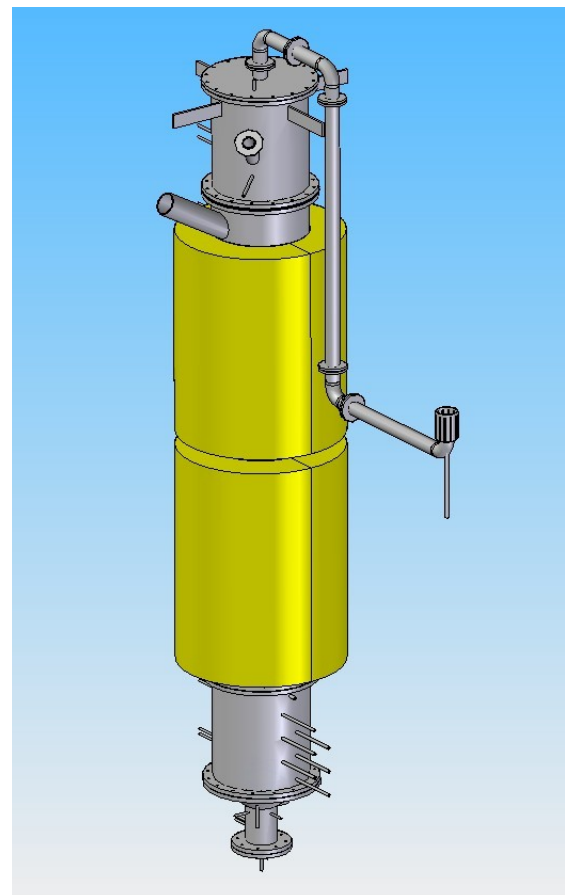


Abbildung 17 scheme of pilot plant

Contact: Alexander Reichhold,
alexander.reichhold@tuwien.ac.at

4.7. Measurement device for heat transfer rates between fluidized bed and immersed tube bundles

Gerhard Hofer and Tobias Pröll

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Dept. of Material Sciences and Process Engineering, Peter-Jordan-Str. 82, 1190 Vienna, Austria

Particle-convective heat transfer is essential to a number of fluidized bed processes and proper estimation of expectable heat exchange rates can help to optimize the design of such systems. A specific field of application is low-temperature continuous gas separation, e.g. continuous adsorption units, where phase change enthalpies have to be provided or removed from the beds.

A bubbling fluidized bed heat exchange testing device for optimization of the heat exchanger geometry with respect to heat transfer rates has been built and used for determination of effective heat transfer rates and for validation of fluidized bed heat transfer models.

Abbildung 19 Probe for the measurement of heat transfer rates including a 200W heating cartridge and two platinum resistance thermometers shows the test device built from acrylic glass for operating conditions up to 50°C. An electrically heated probe with internal temperature sensors is used in combination with distributed temperature sensors to determine the heat transfer rate, which can be easily calculated from the electric heating power and the temperature difference. Both horizontal and vertical tube alignment is possible.

Dummy tubes of varying dimension and packing density can be placed in the bed to assess the bundle effect compared to the heat transfer rate of a single tube configuration.

First results show reproducible trends and compare reasonably with certain models from the literature.



Abbildung 18
Bubbling fluidized bed
heat exchange testing
device in horizontal
tube modification.

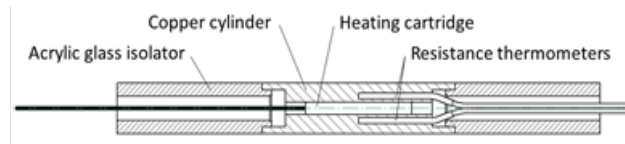


Abbildung 19 Probe for the measurement of heat transfer rates including a 200W heating cartridge and two platinum resistance thermometers

Contact: Gerhard Hofer, gerhard.hofer@boku.ac.at; Tobias Pröll, tobias.proell@boku.ac.at

4.8. Dry Blast Furnace Slag Granulation with Waste Heat Recovery

K. Doschek, H. Raupenstrauch

Montanuniversitaet Leoben, Chair of Thermal Processing Technology,

Franz-Josef-Str. 18, A-8700 Leoben, Austria

Molten blast furnace slag represents one of the largest untapped energy sources in the iron and steel industry. The state-of-the-art practice is to solidify molten blast furnace slag by rapidly cooling it in granulation plants, using large volumes of water. The product is used as a substitute for cement clinker or as an aggregate material in road construction. With this commonly used production method it is not possible to utilise the remnant heat energy of the molten slag. Furthermore, the granulate needs to be dried in an additional energy intensive process step.

Aim of the R&D project "FORWÄRTS 2.0" is to develop a reliable dry quenching technology for molten blast furnace slag to recover the high-temperature waste heat while reaching the process conditions required for the production of a glassy slag suitable for the cement industry.

The dry slag granulation concept is based on the centrifugal atomisation of liquids. The rotation of a cup forces the slag outward to the lip where it is atomised. The resulting slag droplets cool in their flight and in the slag bed by cooling air. The slag bed is kept in motion by the design of the cooling air distributor (fluidized bed). The cooling air can pass the discharging modules in order to create a direct bottom up flow in the granulate bed (counter flow principal). The air distribution ensures a high heat exchange rate between the granules and the cooling air. (Werner et al. 2016)

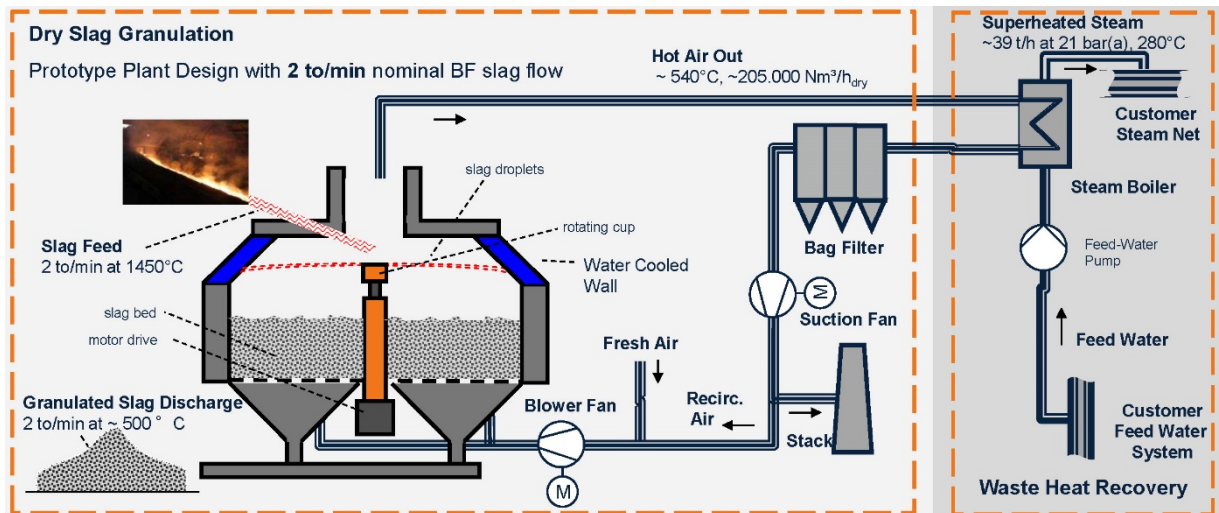


Abbildung 20 Industrial Plant Concept – Schematic Process (Fenzl 2016)

“FORWÄRTS 2.0“ is currently underway by Primetals Technologies Austria GmbH and comprising voestalpine Stahl GmbH, FEhS - Building Materials Institute and the Chair of Thermal Processing Technology. This project is funded by the Climate and Energy Fund within the research programme “Energieforschung”.

Publication bibliography

Fenzl, Thomas (2016): Dry Blast Furnace Slag Granulation with Waste Heat Recovery - presentation. In ECIC (Ed.): European Coke and Ironmaking Congress. 7th European Coke and Ironmaking Congress. Linz, 12.-14.09.2016.

Werner, Andrea; McDonald, Ian; Fleischanderl, Alexander (2016): Dry Blast Furnace Slag Granulation with Waste Heat Recovery. In ECIC (Ed.): European Coke and Ironmaking Congress. 7th European Coke and Ironmaking Congress. Linz, 12.-14.09.2016.

Contact:

K. Doschek, klaus.doschek@unileoben.ac.at, H. Raupenstrauch, harald.raupenstrauch@unileoben.ac.at

5. Vernetzung und Ergebnistransfer

Die Stakeholder der Wirbelschichttechnologie in Österreich bilden sich aus den Betreibern, der Industrie und der Forschung. Eben diese sind Zielgruppe des IEA Technologie – Kooperationsprogramm. Die Zielgruppe in Österreich ist durch die verschiedenen Anforderungen der einzelnen Gruppen geprägt.

Neben den Betreibern aus Branchen wie der Papier- und Zellstoffindustrie, der Abfallverwertung und der Biomassenutzung ist der Anlagenbau in Österreich signifikant vertreten. Österreichische Anlagenbauer realisieren weltweit Wirbelschichtprojekte und sorgen so für ein stetig wachsendes Ansehen der österreichischen Wirbelschichttechnologie. Weiters wird in Österreich viel an und mit Wirbelschichten geforscht. Kapitel 4 liefert einen Einblick in aktuelle Forschungen der TU Wien, Boku Wien und der Montanuniversität Leoben. Eine Abbildung der Wirbelschicht in Forschung und Lehre, sowie eine Vernetzung aktueller Forschung mit Industrie und Technik sind ebenfalls ein weiteres Ziel.

Darüber hinaus dient das IEA Wirbelschichttechnologie Technologie – Kooperationsprogramm als Veranstalter des jährlich stattfindenden Österreichischen Wirbelschichttreffens der Vernetzung der einzelnen Zielgruppen.

6. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Das IEA Wirbelschichttechnik (FBC) Technologie – Kooperationsprogramm ist ein sehr aktives Agreement. Die Attraktivität der Wirbelschichttechnologie zeigt sich durch die große Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten in der Energieverfahrenstechnik, sowie dem vielfältigen Spektrum an Herausforderungen, wie zum Beispiel die optimale Ausnutzung der breiten Brennstoff-Palette (Reststoffe der Papier- und Zellstoffindustrie, Abfall, Biomasse, Klärschlamm, etc.) bei gleichzeitiger Reduktion der Schadstoff- und CO₂ - Emission unter wirtschaftlich konkurrenzfähigen Bedingungen. Die Wirbelschicht kann auch wichtige Beiträge zur Abscheidung von CO₂ durch Oxyfuel Verbrennung leisten, was erfolgreich in einer Anlage von 30 MW_{th} demonstriert wurde. Auch bei Chemical Looping Combustion (CLC), wo die Verbrennung separat in einem Fuel - Reaktor abläuft, dient die Wirbelschicht zur Erzeugung eines CO₂ -reichen und damit leichter separierbaren Abgasstroms.

In Österreich ist die gesamte Breite an Akteuren auf dem Gebiet der Wirbelschicht vertreten, von Forschung und Lehre, Anlagenbetreibern und Anlagenbauern, sowie Ministerien und Behörden.

Das IEA Technologie – Kooperationsprogramm spielt eine zentrale Rolle um aktuelle und zukünftige Herausforderungen und Aufgaben, sowie den Einsatz der Wirbelschichttechnologie gut begegnen zu können. Außerdem sorgt es für eine wertvolle Vernetzung, national sowie international und weit über Europa hinaus, die als Basis zukünftiger Erfolge in diesem Bereich gesehen werden kann. Aus den genannten Gründen wird eine weitere Teilnahme empfohlen.

7. Verzeichnisse

7.1. Literaturverzeichnis

Hämäläinen, J. et al. 2010: *Utility scale CFB for competitive coal power - CFB 800, brochure*, EU Project, RFCR-CT-2005-0009. http://www.vtt.fi/files/sites/flexiburncfb/cfb800_brochure.pdf

Hofbauer H, Rauch R, Loeffler G, Kaiser S, Fercher E, Tremmel H 2002: *Six years experience with the FICFB-gasification process*, in 12th European Biomass Conference, pp 982–985. ETA: Florence, Italy.

Leckner, B. (Editor) 2011: *Developments in Fluidized Bed Conversion 2005- 2010*, A summary from the member countries of the IEA-FBC Implementing Agreement, 2011, siehe unter www.iea-fbc.org Past Events.

Pröll, T., Kolbitsch, P., Bolhàr-Nordenkampf, J., Hofbauer H., 2010, *Chemical looping pilot plant results using a nickel-based oxygen carrier*, Oil & Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles, 66(2), 173-180.

Purgar, A. 2012: *Technologien Österreichischer Wirbelschicht- Verbrennungsanlagen*, Diplomarbeit 2012, Techn. Universität Wien. Siehe unter www.nachhaltigwirtschaften.at

Schwaiger, K.; Haider, M.; Hämmerle, M.; Radler, D. 2013: *Fluidization Challenges and Research Results for Active Fluidization Thermal Energy Storage Systems*, 66. IEA FBC Meeting, 2013, Brünn, Tschechische Republik. Siehe unter www.iea-fbc.org

Tondl, G., Penthor, S., Wöß, D., Pröll, T., Hörtl, W., Rohovec, J., Hofbauer, H., 2011, *Oxyfuel combustion of alternative fuels in a circulating fluidized bed pilot rig*, 2nd Oxyfuel Combustion Conference (OCC2), Yeppoon, Queensland, Australia, 12-16 September, 2011.

Tourunen, A. 2013: *Development of High Efficiency CFB Technology to Provide Flexible Air/Oxy Operation for Power Plant with CCS*, Poster, Flexi Burn CFB – EU FP7, 2013. Siehe unter <http://www.vtt.fi/sites/flexiburncfb/index.htm>

Yang, H. et. al. 2012: *The influence of the new emission standard on the CFB boiler in China and the solutions*, 64. IEA FBC Meeting, 2012, Neapel, Italien. Siehe unter www.iea-fbc.org

Yang, H. et. al. 2013: *Design and operation of 600MW CFB boiler in China*, 67. IEA FBC Meeting, 2013, Daejeon, Korea. Siehe unter www.iea-fbc.org

Wachter, R.: *RHKW Reststoff-Heizkraftwerk Linz*, Präsentation Puchberger Wirbelschichttreffen, 10.- 11. Oktober 2013.

Winter, F.; Szentannai, P. 2010: *IEA Fluidized Bed Conversion Programme - Status Report 2010*, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 30/2010, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien. Siehe unter www.nachhaltigwirtschaften.at

7.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ausgewählte zirkulierende Wirbelschichtanlagen weltweit, die die Weiterentwicklung der Wirbelschichttechnologie hinsichtlich Scale-up zeigen	7
Abbildung 2	CANMET Konzept zur CO ₂ Abscheidung mit Hilfe einer druckaufgeladenen Wirbelschicht (aus R. Hughes, 72. IEA-FBC Technical Session 2016).....	8
Abbildung 3	Konzept des Calcium Loopings (Ca-L) zur CO ₂ Abscheidung aus dem Rauchgas, aus E.J. Anthony, 72. IEA-FBC Technical Session 2016	8
Abbildung 4	BFBC and CFBC Anlagen in Österreich (basierend auf der Wärmeleistung).....	12
Abbildung 5	Anzahl der Anlagen gruppiert nach Anlagenleistung [MW]	12
Abbildung 6	Anwendung von FBC Anlagen nach Sektoren (basierend auf der Wärmeleistung)	13
Abbildung 7	Verhältnis der Anlagenbetreiber getrennt nach allgemeiner Energieversorgung und Gewinnung von Prozessenergie	13
Abbildung 8	Prinzip TSA	17
Abbildung 9	Experimentieller Aufbau	17
Abbildung 10	Biogas Upgrade Prinzip	20
Abbildung 11	Scaled cold flow model of a CLC reactor design	21
Abbildung 12	100 kW Pilotanlage der TU Wien mit der die Vergasung von Hühnermist durchgeführt wird	22
Abbildung 13	Verfahrensprinzip des "Sorption Enhanced Reforming" Prozesses	25
Abbildung 14	pilot plant	26
Abbildung 15	from base to final product	26
Abbildung 16	experimental results.....	26
Abbildung 17	scheme of pilot plant.....	27
Abbildung 18	Bubbling fluidized bed heat exchange testing device in horizontal tube modification. ...	28
Abbildung 19	Probe for the measurement of heat transfer rates including a 200W heating cartridge and two platinum resistance thermometers.....	29
Abbildung 20	Industrial Plant Concept – Schematic Process (Fenzl 2016)	31

7.3. Tabellenverzeichnis

Table 1	operating facilities	9
---------	----------------------------	---

8. Liste der Ergebnisse

- Website: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/fbc/iea-fbc-arbeitsperiode-2013-2016.php>
- Zum Nachlesen der einzelnen Technischen Sessions siehe: www.iea-fbc.org unter Past Events
- Zahlreiche Informationsverteilungen per Email Aussendung
- Teilnahme an der IEA Vernetzung in Österreich, Erstellung eines Videos (siehe Website: www.nachhaltigwirtschaften.at)
- Überblick über die weltweite Wirbelschichttechnologie (IEA-FBC TCP, Juni 2017, in press)

IEA-FBC Technische Sessions mit EXCO Meeting und Schwerpunkten:

- 73rd IEA-FBC Meeting Tokyo, Japan December 6-7, 2016
Status of Fluidized Bed Technology of each Country
- 72nd IEA-FBC Meeting Budapest, Hungary April 28-29, 2016
Utilization of Biomass and Waste (Coal) in FBC
- 71st IEA-FBC Meeting Seoul, Korea November 4-6, 2015
Flexible operation FBC power plant
- 70th IEA-FBC Meeting Turku, Finland June 14, 2015
- 69th IEA-FBC Meeting Aix-en-Provence, France September 25-26, 2014
Size aspects of FBC design
- 68th IEA-FBC Meeting Beijing, China May 12-13, 2014
Emission Control

Workshops in Österreich:

- Workshop vom 10. - 11. Oktober 2013 in Puchberg/Schneeberg
- Workshop vom 16. – 17. April 2015 in Puchberg/Schneeberg
- Workshop vom 14. - 15. April 2016 in Linz mit Anlagenbesuch

Publikationen:

- Bösenhofer, M.; Winter, F.: *Properties of Biomass and Biomass Waste Fuels for Fluidized Bed Conversion*, Proc. of 9th Int. Conf. ERIN (Education, Research, Innovation, Eds.: F. Winter, J. Hrdlicka), ISBN 978-80-01-05736-0, May 4-6, 2015, Moninec, Czech Republic.
- Bösenhofer, M.; Winter, F.: *Fluidized Bed Conversion of Biomass and Biomass Waste in Austria*, Visual Presentation at 23rd European Biomass Conference (EUBCE 2015), June 1 - 4, 2015, Vienna, Austria.
- Bösenhofer, M.; Purgar, A.; Winter, F.: *The Role of Fluidized Bed Technology for Waste to Energy, Its Current Status and Potential – An Austrian Perspective*, Proc. of 22nd Int. Conf. on Fluidized Bed Conversion, (22nd FBC, Eds. Patrik Yrjas et al., Abo Akademi), ISBN 978-952-12-3223-7, June 14 – 17, 2015, Turku, Finland, pp. 617 - 623.
- Winter, F.; Bösenhofer, M.; Purgar, A.: *Fluidized Bed Conversion of Biomass and Waste in the Context of Urban Mining*, Invited Presentation at Int. Conf. Energy and Environment 2015 (Ed. Prof. D. Juchelkova), September 9 - 10, 2015, Roznov pod Radhostem, Czech Republic.
- Winter, F.; Bösenhofer, M.; Purgar, A.: *Waste Combustion in Fluidized Beds – Some Thoughts and Practice*, Proc. of 71st Int. Energy Agency – Fluidized Bed Conversion (IEA-FBC) Meeting (Ed. Dr. JongMin Lee, KEPCO), www.iea-fbc.org , November 4 - 6, 2015, Seoul, Korea.
- Winter, F.; Weber, J.; Blasenbauer, D.; Purgar, A.; Huber, F.; Fellner, J.: *Characteristic Behavior of Heavy Metals in the Vienna's Waste Incineration Cluster*, Plenary Presentation at Impacts of Fuel Quality on Power Production (F. Hrdlicka et al.), September 19 – 23, 2016 Prague, Czech Republic.
- Huber, F., Blasenbauer, D., Mallow, O., Winter, F., Fellner, J.: *Alternatives Konzept zum Flugaschenmanagement der Stadt Wien*, Proc. of Berliner Konferenz Mineralische Nebenprodukte und Abfälle (Eds. Prof. K.J. Thomé-Kozmiensky, Dr. S. Thiel), ISBN: 978-3-944310-28-2, June 20 - 21, 2016, Berlin, Germany, pp. 173 - 183.
- Winter, F.; Weber, J.; Blasenbauer, D.; Huber, F.; Fellner, J.: *Beiträge der Abfallverbrennung zu Urban Mining*, Presented at Int. Kongress e-nova 2016 (E. Blümel et al.), November 24 – 25, 2016, Pinkafeld, Austria.
- Winter, F.; Weber, J.; Huber, C.: *Current Status and Challenges of the Fluidized Bed Technology in Austria*, Presented at 73rd Int. Energy Agency – Fluidized Bed Conversion Meeting (Chairman: Dr. JongMin Lee), www.iea-fbc.org , December 6-7, 2016, Tokyo, Japan.