

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

Arbeitsperiode 2017 - 2020

F. Winter, H. Reiterer, C. Huber,
J. Weber, C. Hofbauer, G. Stöger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

26/2023

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter nachhaltigwirtschaften.at

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist.

Nutzungsbestimmungen: nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/

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

Arbeitsperiode 2017 - 2020

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Franz Winter
Technische Universität Wien, Institut für Verfahrenstechnik,
Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften

Dipl. Ing. Clemens Huber, Hildegard Reiterer, Jakob Weber, BSc,
Dipl. Ing. Cornelia Hofbauer, Gregor Stöger, BSc
Technische Universität Wien, Institut für Verfahrenstechnik,
Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften

Wien, Mai 2022

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) 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.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract.....	8
3	Einleitung	9
4	Projekthalt.....	13
5	Ergebnisse	14
	5.1. Bericht vom Lehrstuhl für Eisen- und Stahlmetallurgie an das Bundesministerium (BMK) zum Stand der Technik sowie der Forschungsaktivitäten in der Wirbelschichttechnik in Österreich ..	14
	5.2. FORWÄRTS 2.0 – Trockene Granulation von Hochofenschlacke mit Wärmerückgewinnung	16
	5.3. Nachhaltige Gaserzeugung: Die Syngas Plattform Wien – Aktueller Status und Ausblick	18
	5.4. Simulationsstudie einer Power-to-Liquid-Anlage zur Herstellung von grünem Methanol aus biogenem CO ₂ einer oxyfuel-Wirbelschichtverbrennung und H ₂	22
	5.5. Projekt Akronym: FT/SNG-Reallabor	24
	5.6. Projekt Akronym: CEMPhos	26
	5.7. Projekt Akronym: Beds4FluidGas.....	28
	5.8. Projekt Akronym: Bark2Gas	30
	5.9. Projekt Akronym: FT4Industry	31
	5.10. Projekt Akronym: Waste2Value.....	33
	5.11. Projekt Akronym: VergRestWert	35
	5.12. Projekt Akronym: ReGas4Industry.....	37
	5.13. Projekt Akronym: OxyCar-FBC	39
	5.14. Projekt Akronym: Heat-To-Fuel	41
	5.2. Literaturverzeichnis	43
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	44
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	46
8	Verzeichnisse.....	47
	8.1. Literaturverzeichnis	47
	8.2. Abbildungsverzeichnis	49
	8.3. Tabellenverzeichnis.....	50
	8.4. Abkürzungsverzeichnis.....	50
9	Liste der Ergebnisse	51

1 Kurzfassung

Das IEA Technologie Kooperationsprogramm (TCP) Wirbelschichttechnologie (FBC) ist eine internationale Plattform, auf der Länder Forschungsergebnisse und Informationen miteinander teilen können. Das Ziel ist es die Wirbelschichttechnologie hinsichtlich sichere und saubere Energieerzeugung (Strom und Energie) weiterzuentwickeln. Österreich ist seit 1999 Mitglied des IEA TCP, in dieser Zeit hatte es bereits zweimal den Vorsitz inne und war schon fünfmal Gastgeber für das IEA-FBC-Treffen. Aktuell sind 19 Länder Mitglied des IEA-FBC, aus (Österreich, Kanada, China, Tschechien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Ungarn, Italien, Japan, Korea, Polen, Portugal, Russland, Spanien, Schweden, UK, USA)

Das IEA Technologie Kooperationsprogramm ist ein „Task Shared Agreement“, bei dem jedes Mitglied sein Wissen und Know-How teilt. Zweimal im Jahr finden Technical Sessions statt, wo Mitglieder ihre Wirbelschichtprojekte und -forschung präsentieren. Die Executive Committee Meetings (EXCO Meetings), in denen die organisatorischen und strategischen Maßnahmen wie auch die Forschungsschwerpunkte für die Weiterentwicklung des TCP festgelegt werden, finden ebenfalls zweimal im Jahr statt. In der Arbeitsperiode wurde an 6 Technical Sessions und 6 EXCO Meetings teilgenommen. Informationen und einen guten Überblick erhält man auf den Websites des Agreements (international: <http://www.ieafbc.org/>, national: www.nachhaltigwirtschaften.at).

Die Minimierung der Schadstoffe, Nutzung von erneuerbaren und fossilen Brennstoffen, die Maßstabsvergrößerung (Scale-Up) von Wirbelschichtanlagen im Leistungsbereich 100MWth, die Brennstoff-Flexibilität, Agglomeration und Fouling, Aschennutzung, Verfügbarkeit und Lebensdauer, zählen alle zu den Forschungsschwerpunkten des TCP. Weiters wird die Anwendung der Wirbelschicht hinsichtlich Oxyfuel – Verbrennung, Chemical Looping Combustion, die Gaserzeugung, als auch die CO₂ Abscheidung (Zero Emission) und als aktiver Wärmespeicher 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/-innen der Wirbelschichttechnologie und ist von großem Nutzen für eine sichere und saubere Energieerzeugung (Strom und Wärme).

Im Laufe dieses Projektes wurden 3 Wirbelschichttreffen für Stakeholder/-innen aus Österreich organisiert. Bis zu 40 Teilnehmern/innen haben diese Seminare besucht, in denen Vorträge aus der Forschung und Industrie gehalten wurden. Jedes dieser Seminare war mit dem Besuch einer Wirbelschichtanlage verbunden. Anlagen wurden auch separat von den Seminaren besucht, es wurden insgesamt 10 Anlagen besucht.

2 Abstract

The IEA Technology Cooperation Program (TCP) Fluidized Bed Technology (FBC) is an international platform where countries can share research results and information. The aim is to further develop fluidized bed technology regarding safe and clean energy production (electricity and energy). Austria has been a member of the IEA TCP since 1999, during which time it has held the chair twice and hosted the IEA FBC meeting five times. Currently 19 countries are members of the IEA-FBC, from (Austria, Canada, China, Czech Republic, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Italy, Japan, Korea, Poland, Portugal, Russia, Spain, Sweden, UK, USA).

The IEA Technology Cooperation Program is a "Task Shared Agreement" where each participant shares their knowledge and know-how. Technical Sessions are held twice a year where members present their fluidized bed projects and research. Executive Committee Meetings, where organizational and strategic actions as well as research priorities for the further development of the TCP are defined, are also held twice a year. During the work period, 6 Technical Sessions and 6 EXCO meetings were attended. More information and a good overview can be obtained from the Agreement websites (international: www.ieafbc.org , national: www.nachhaltigwirtschaften.at).

The minimization of pollutants, use of renewable and fossil fuels, scale-up of fluidized bed plants in the power range of 100MWth, fuel flexibility, agglomeration and fouling, ash utilization, availability and lifetime, are all among the main research topics of the TCP. Furthermore, the application of the fluidized bed with respect to oxyfuel combustion and chemical looping combustion, gas generation, as well as CO₂ capture (zero emission) and as active heat storage is being researched.

The IEA FBC Technology Cooperation Program plays a major role in ensuring that Austrian fluidized bed technology is represented and recognized internationally and beyond Europe. It provides excellent networking between all stakeholders of fluidized bed technology and is of great benefit for safe and clean energy production (electricity and heat).

During this project, 3 fluid bed meetings were organized for stakeholders from Austria. Up to 40 participants attended these seminars, where presentations from research and industry were given. Each of these seminars was combined with a visit to a fluid bed plant. Plants were also visited separately from the seminars, a total of 10 plants were visited.

3 Einleitung

Eine Suche bei Elsevier nach wissenschaftlichen Berichten bis zum Jahr 2019 mit dem Begriff „fluidized bed“ erzielt 38 795 Ergebnisse. In Abbildung 1 ist die gesamte Anzahl an Berichten, aufgeteilt nach dem Erscheinungsjahr als Säule zu sehen. Am Ende der Säule steht die Anzahl der gesamten Artikel und anschließend die Anzahl von österreichischen Artikeln (ges. Art. | ö. Art.). Aus der stetig wachsenden Anzahl an veröffentlichten Berichten, lässt sich das zunehmende globale Interesse an der Wirbelschichttechnologie erkennen. Abbildung 2 zeigt den Verlauf von Artikeln aus Österreich.

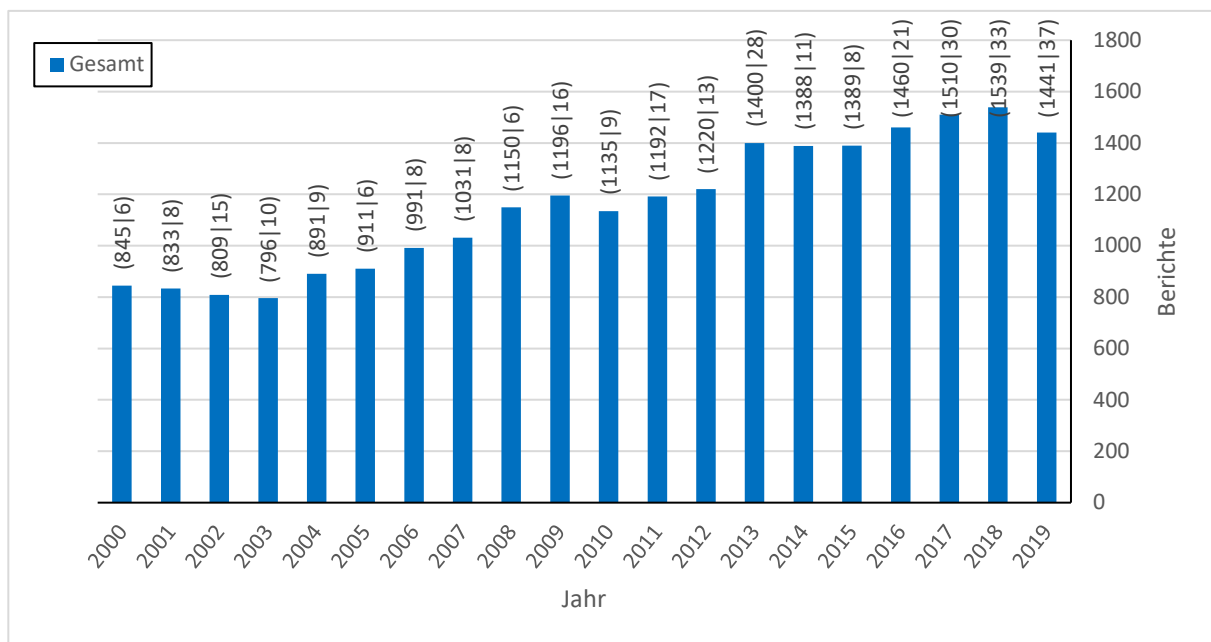


Abbildung 1: Anzahl von wissenschaftlichen Artikeln mit dem Begriff "fluidized bed", nach Jahren aufgeteilt. (gesamte Artikel | österreichische Artikel)

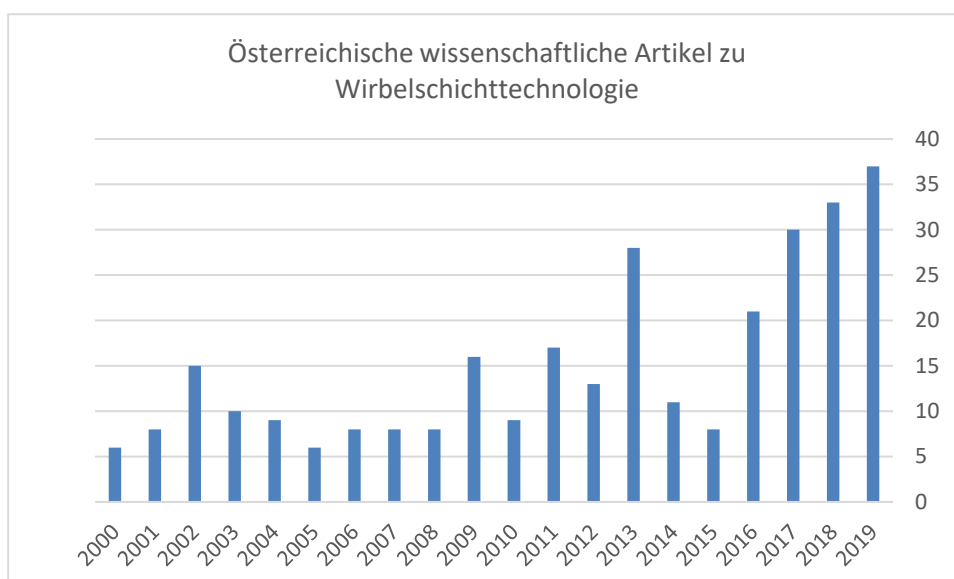


Abbildung 2: Wissenschaftliche Artikel über Wirbelschichttechnologie aus Österreich

Insgesamt konnten auf Elsevier 332 wissenschaftliche Artikel aus Österreich gefunden werden, damit liegt es weltweit auf Rang 23, was die Anzahl an wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema

Wirbelschichttechnologie betrifft. In Abbildung 3 wurde für jedes Land die Anzahl veröffentlichten Beiträgen pro hunderttausendsten Einwohner/-innen berechnet, wodurch der Beitrag unabhängig von der Bevölkerungsgröße der einzelnen Länder besser ersichtlich ist. In dieser Auswertung steht Österreich auf Platz 7. Es wurden hier nur alle Artikel inkl. 2019 verwendet.

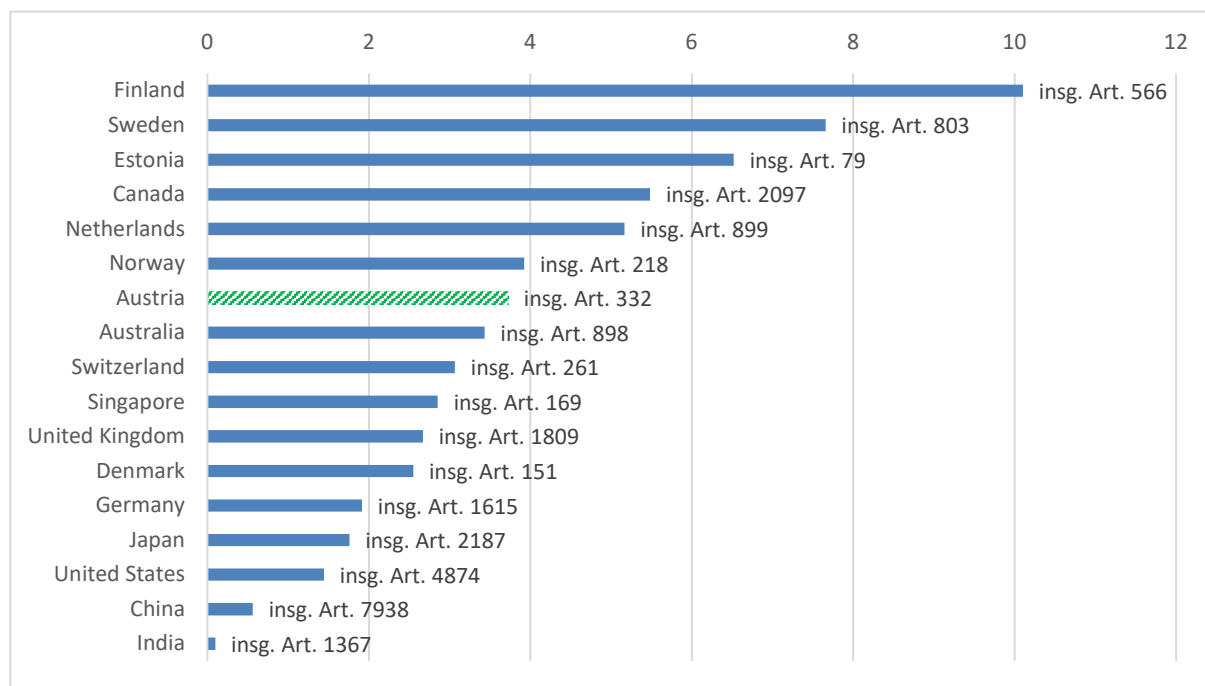


Abbildung 3: Aufreihung der beitragenden Länder nach der Anzahl von wissenschaftlichen Artikeln bis 2019 dividiert durch den hunderttausendsten Einwohner/-innen des Landes.

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von Wirbelschichtanlagen in Österreich. Sie werden in der Abfallverwertung, Papier- und Zellstoffindustrie verwendet, um biologische Stoffe oder Abfall basierende Brennstoffe zur Energieproduktion zu verbrennen. Durch die Verwendung dieser alternativen Brennstoffe tragen Wirbelschichtanlagen einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung von Emissionen und fossilen Brennstoffen bei. In der Tabelle 1 befinden sich 21 Anlagen, die insgesamt 1020 MW pro Jahr produzieren. Die neuste Anlage wurde 2020 in Arnoldstein in Betrieb genommen.

Nr.	Jahr	Ort	Typ	Leistung	Brennstoffe
1	2010	Arnoldstein	BFBC	10 MW	Abfall (fest, flüssig)
2	2020	Arnoldstein	BFBC	7 MW	Abfall (fest, flüssig)
3	1984	Bruck an der Mur	BFBC	15 MW	Rinde, Kohle, Klärschlamm, Biogas, Erdgas
4	1984	Frantschach – St. Gertraud im Lavantal	CFBC	91MW	Biomasse, Biologieschlamm
5	1981	Gratkorn	CFBC	25 MW	Rinde, Klärschlamm, Biogas, Erdgas
6	1986	Gratkorn	CFBC	133 MW	Kohle, Klärschlamm, Schweröl, Biogas, Erdgas
7	2006	Hallein	BFBC	30 MW	Hackschnitzel

Nr.	Jahr	Ort	Typ	Leistung	Brennstoffe
8	2006	Heiligenkreuz	BFBC	43 MW	Forstabfälle
9	1987	Lenzing	CFBC	108 MW	Rinde, Kohle, Klärschlamm, Holzabfälle, Öl
10	1998	Lenzing	CFBC	110 MW	Plastik, Müll, Klärschlamm, Holzabfall
11	2012	Linz	BFBC	40 MW	Kommunaler Abfall, Klärschlamm, Rechengut
12	2004	Niklasdorf	BFBC	40 MW	MSW, Industrieabfälle, Holzabfälle, Klärschlamm
13	1983	Pitten	BFBC	60 MW	Kohle, Biogas, Klärschlamm, Erdgas
14	2007	St.Veit an der Glan	BFBC	45 MW	Rinde, Holz, Klärschlamm, Sägemehl, Holzabfälle, Klärschlamm
15	1994	Steyrermuehl	CFBC	48 MW	Rinde, Holz, Holzabfälle, Klärschlamm
16	2006	Timelkam	BFBC	49 MW	Holz, Holzabfälle, Rinde, Sägemehl
17	1992	Wien	BFBC	3 x 20 MW	Klärschlamm
18	2003	Wien	RFBC	40 MW	Kommunaler Abfall, Klärschlamm
19	2006	Wien	CFBC	66 MW	Forstabfälle

Tabelle 1: Auflistung einer Auswahl von Wirbelschichtanlagen in Österreich (BFBC ... blasenbildende Wirbelschicht, CFBC ... zirkulierende Wirbelschicht, RFBC ... rotierende Wirbelschicht)

Ein Großteil der Anlagen in der Auswahl hat entweder eine blasenbildende oder zirkulierende Wirbelschicht. Das Verhältnis der gesamt produzierten Wärmeleistungen von Anlagen mit blasenbildender Wirbelschicht zu Anlagen mit zirkulierender Wirbelschicht ist 43 zu 57 (Abbildung 4).

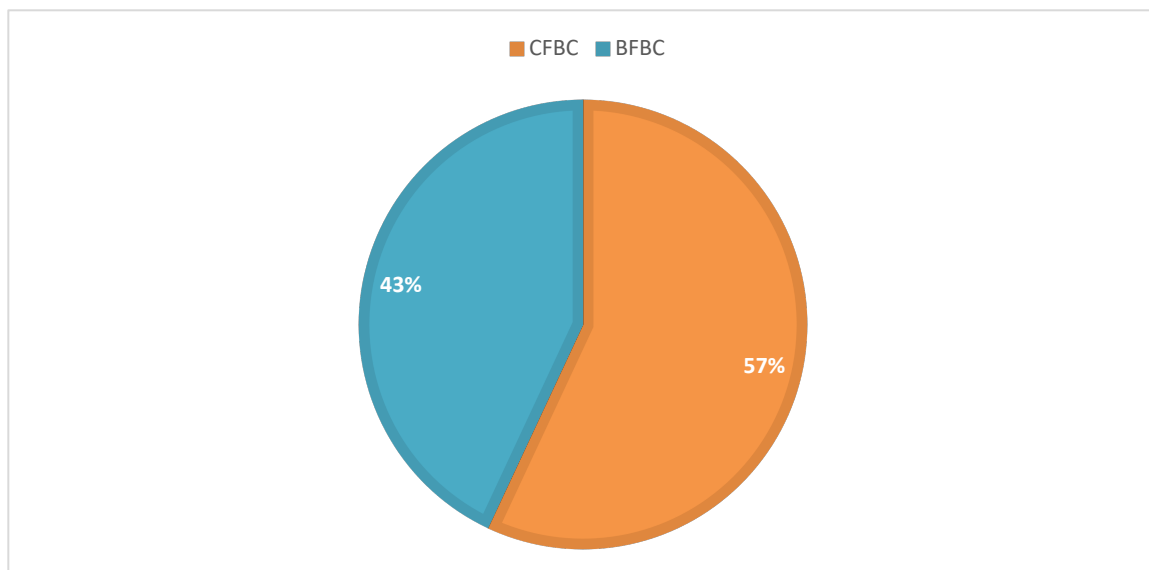


Abbildung 4: Wärmeleistung von BFBC- und CFBC-Anlagen aus einer Auswahl österreichischer Anlagen

Die Anzahl der Anlagen mit blasenbildender Wirbelschicht bildet die Mehrheit aus der Tabelle 1 und befinden sich überwiegend in einem Wärmeleistungsbereich von 10-50 Megawatt, während Anlagen mit zirkulierender Wirbelschicht eher am oberen Ende vom Leistungsbereich zu finden sind (Abbildung 5).

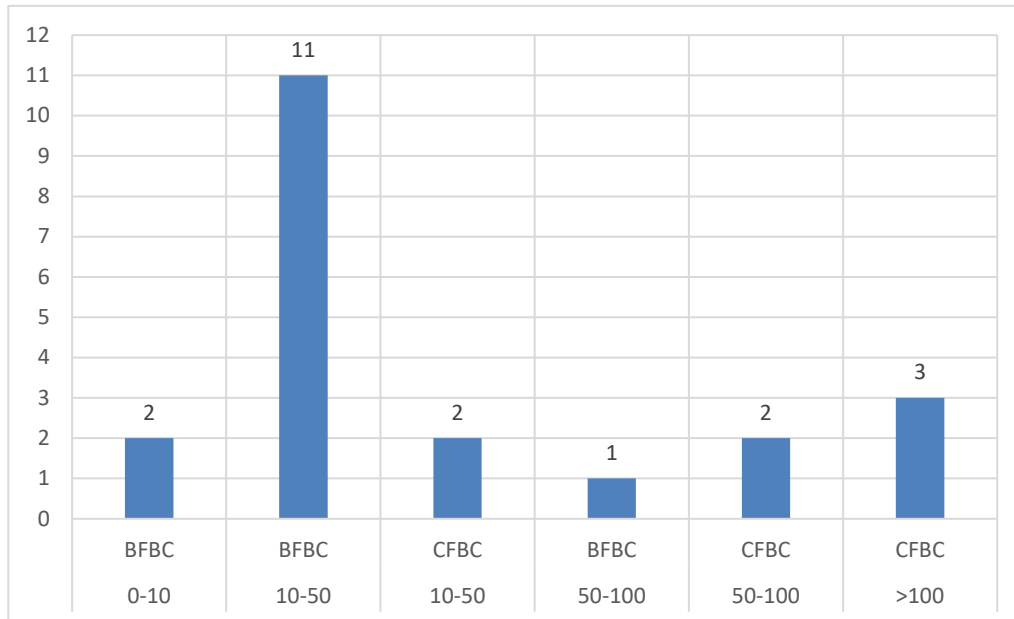


Abbildung 5: Anzahl von BFBC und CFBC Anlagen gruppiert nach der Wärmeleistung

Das IEA-FBC Technologie Kooperationsprogramm hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Entwicklung der Wirbelschichttechnologie zur Erzeugung sicherer und sauberer Energie (Strom und Wärme) zu fördern. Aufgrund der teilnehmenden Länder gibt es innerhalb des IEA mehrere Schwerpunkte. Die Forschung zur Vergrößerung von Wirbelschichtanlagen ist zweifellos ein wichtiges Thema, das vor allem China, Korea und Russland vorantreiben.

Aufgrund des guten Gas-Feststoff Kontaktes und der Gleichmäßigkeit der Reaktionstemperatur innerhalb der Wirbelschichtanlagen, werden sie auch für die Herstellung von Synthesegas (CO, H₂), der Oxyfuel Verbrennung, der Chemical Looping Combustion (CLC) als auch der CO₂ Abscheidung (Zero Emission, Calcium Looping, Ca-L) und als aktiver Wärmespeicher und thermochemischer Wärmespeicher untersucht. Dabei befinden sich die verschiedenen Forschungsbereiche in unterschiedlichen Stadien der Umsetzung.

Die Forschungsprojekte zu Oxyfuel – Verbrennung sind bereits sehr nahe am großtechnischen Maßstab (allerdings nicht bei erhöhtem Druck), während man in anderen Bereichen noch im Pilotmaßstab bzw. im Technikums-/Labor-Maßstab arbeitet. Diese Forschungsthemen werden auch in Österreich erforscht, insbesondere am Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften im Forschungsbereich Chemische Verfahrenstechnik und Energietechnik, der von Prof. Franz Winter geleitet wird, wodurch auch ein exzellenter Informationsaustausch gewährleistet ist.

Es ist ausgesprochen wichtig, an den aktuellen Entwicklungen in der Wirbelschichttechnologie teilzuhaben, um kein Informationsdefizit gegenüber anderen Ländern, Betreiber/-innen, Anlagenbauunternehmen und Forschungsorganisationen zu haben.

4 Projektinhalt

Das IEA FBC Technologie Kooperationsprogramm bildet mit seinen insgesamt 19 Mitgliedern aus Europa (Österreich, Tschechische Republik, Ungarn, Italien, Polen, Frankreich, Finnland, Schweden, Griechenland, UK, Spanien, Portugal, Estland), Asien (China, Russland, Korea, Japan) und Nord-Amerika (USA, Kanada) ein umfangreiches Netzwerk. Es hat sich als Ziel gesetzt die Weiterentwicklung der Wirbelschichttechnologie hinsichtlich einer sicheren und sauberen Energieerzeugung (Strom und Wärme) zu fördern. Aktuell werden außerdem Gespräche mit Deutschland und Kasachstan geführt, welche beide großes Interesse haben Mitglied des Kooperationsprogramms zu werden. Für die Mitgliedschaft beim IEA TCP Wirbelschichttechnologie werden keine Beiträge erhoben, es ist ein Task Shared Agreement, bei dem jeder Teilnehmer/-innen seine eigenen Kosten trägt, und Wissen einbringt, indem er seine Forschung und Know-How teilt. Das Teilen von Informationen und Präsentieren von aktuellen Wirbelschichtprojekten passiert hauptsächlich in den Technical Sessions, die zweimal im Jahr stattfinden. In den Executive Committee Meetings, die ebenfalls zweimal im Jahr in enger Verbindung mit den Technical Sessions stattfinden, werden die organisatorischen und strategischen Maßnahmen wie auch die Forschungsschwerpunkte für die Weiterentwicklung des TCP festgelegt. Mehr Informationen und einen guten Überblick erhält man auf den Websites des Agreements (international: www.ieafbc.org, national: www.nachhaltigwirtschaften.at).

Die Bedeutung von Wirbelschichttechnologie in der thermischen und chemischen Industrie nimmt weltweit zu. In Österreich hat sie eine Wärmeleistung von mehr als 1020 MW und ist ein wichtiger Bestandteil der Papier- und Zellstoffindustrie. Für die Abfallwirtschaft stellt sie eine attraktive Alternative zur klassischen Rostfeuerung dar. Im Bereich erneuerbarer Energieträger wie Biomasse oder Klärschlamm ist die Wärmenutzung in Wirbelschichten eine hervorragende Technologie mit niedrigen Emissions- und Schadstoffwerten (vgl. Country Report 2017).

Das Ziel dieses Forschungsprojekts ist, die Konzepte des IEA-FBC auf nationaler Ebene umzusetzen. Derzeit werden jährliche Meetings mit Exkursionen zu Anlagen organisiert und Newsletter mit Informationen zu FBC-Events ausgesendet. Unser Ziel ist es dieses Informationsnetzwerk stetig zu verbessern und weiterzuentwickeln. Und die Einbindung zwischen Forschung und Industrie zu stärken.

5 Ergebnisse

Im Rahmen des IEA Technologie-Kooperationsprogramm werden Workshops und Meetings veranstaltet, bei denen es zum Austausch von Know-How und Informationen zu den genannten Themen kommt. Daraus resultieren keine direkten Forschungsergebnisse, jedoch zeigt es die Wichtigkeit auf Forschungsergebnisse miteinander zu teilen.

Folgende Beiträge sind keine direkten Ergebnisse aus dem IEA Technologie – Kooperationsprogramm sollen aber ein Beispiel von Forschung zu Wirbelschichttechnologie in Österreich sein.

5.1. Bericht vom Lehrstuhl für Eisen- und Stahlmetallurgie an das Bundesministerium (BMK) zum Stand der Technik sowie der Forschungsaktivitäten in der Wirbelschichttechnologie in Österreich

DI Thomas Wolfinger, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Schenk

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik, Franz-Josef-Str. 18, A-8700 Leoben, Austria

Der Lehrstuhl für Eisen- und Stahlmetallurgie an der Montanuniversität arbeitet gemeinsam mit dem Forschungspartner K1-MET GmbH und den Industriepartnern Primetals Technologies Austria GmbH und voestalpine Stahl Donawitz GmbH an einer neuen Wirbelschichttechnologie zur Erzeugung von CO₂ freien Eisen. Dabei steht neben der Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlindustrie eine erhöhte Energie- und Rohstoffeffizienz im Fokus. Diese Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten starteten 2017 mit dem ersten von der FFG geförderten Projekt unter dem Namen „E³-Step – Enhanced Energy Efficient Iron- and Steel Production“ bis 2020 und laufen seit Mitte 2019 unter dem von der FFG geförderten Projekt „FluidRed“ bis Mitte 2023 weiter. Innerhalb dieser Projekte ist das Know-How über die Wirbelschichttechnologie weiter in Richtung der Verwendung von Eisenerzkonzentraten und Wasserstoff als Reduktionsgas ausgebaut worden. Dabei konnte auf eine große Wissensbasis in der Wirbelschichttechnologie aufgrund der Entwicklung von Finored®/Finmet® und Finex® durch die damalige Siemens VAI (heute Primetals Technologies Austria GmbH) zurückgegriffen werden.

Am Lehrstuhl für Eisen- und Stahlmetallurgie wurde (und wird) im Labormaßstab das Verhalten unterschiedlicher Eisenerzkonzentrate in Bezug auf Fluidisierungs- und Reduktionseigenschaften mit Wasserstoff in der Wirbelschicht untersucht. Auf Basis dieser Versuchskampagnen erfolgte die Auslegung der HYFOR® (Hydrogen-based Fine-Ore Reduction) Pilotanlage durch Primetals Technologies Austria GmbH, die Mitte 2020 am Standort der voestalpine Stahl Donawitz GmbH gebaut und Anfang 2021 in Betrieb genommen wurde. Dabei wurde der Bau der Pilotanlage im Rahmen vom Klima- und Energiefonds gefördert. Seit April 2021 wurden innerhalb eines Jahres 25 Tests durchgeführt, mit dem Ziel die Laborversuche zu bestätigen, den Wirbelschichtreaktor und weitere Bauteile sowie Eisenerzkonzentrate zu testen und die Technologie weiterzuentwickeln.

ZIELE UND MOTIVATION DER NEUEN WIRBELSCHICHTTECHNOLOGIE

- Verwendung von Wasserstoff als Reduktionsgas – auf Basis von erneuerbaren Energien (CO₂ freie Eisenerzeugung) oder Erdgas
- Direkter Einsatz jeglicher Erze in Form von Eisenerzkonzentrat – Agglomerationsschritt entfällt (ermöglicht niedrige Betriebskosten)
- Hohe Oxidausnützung aufgrund von Trockenentstaubung und Rezyklieren des Oxidstaubes
- Hohe Reduktionsrate bei niedrigen Temperaturen und Drücken aufgrund der großen spezifischen Partikeloberfläche



Abbildung 6: HYFOR® Pilotanlage am Standort der voestalpine Stahl Donawitz GmbH.

Erstellt von DI Thomas Wolfinger und Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Schenk.

Link zur Projektwebsite: <https://www.primetals.com/de/presse-medien/news/hyfor-pilot-plant-under-operation-the-next-step-for-carbon-free-hydrogen-based-direct-reduction-is-done>

5.2. FORWÄRTS 2.0 – Trockene Granulation von Hochofenschlacke mit Wärmerückgewinnung

Klaus Doschek-Held¹, Harald Raupenstrauch¹

¹Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik, Franz-Josef-Str. 18, A-8700 Leoben, Austria

Einleitung und Motivation

Um die weitreichenden Folgen des Klimawandels abzuwenden, steht in Übereinstimmung mit den Analysen und Empfehlungen zu nachhaltigen Energietechnologien der Internationalen Energieagentur die Energie- und Materialeffizienz der Eisen- und Stahlindustrie im Fokus. Dementsprechend wurde im Rahmen des Forschungsprojektes FORWÄRTS 2.0 der Ansatz verfolgt, die bis dato ungenutzte Energiequelle, flüssige Hochofenschlacke, nutzbar zu machen. Diese stellt das größte noch ungenutzte Energiepotenzial zur Wärmerückgewinnung in der Eisen- und Stahlindustrie dar.

Material und Methode

Hochofenschlacke entsteht als Nebenprodukt bei der Roheisengewinnung und wird nach dem Stand der Technik zum größten Teil mit Wasser zu Hüttensand granuliert. Der anschließende Einsatz in der Zementindustrie erfolgt als Sekundärzumahlstoff. Basierend auf der Roheisenjahresproduktion von 2019 und einer angenommenen Schlackenrate von circa 275 kg pro Tonne ergibt sich eine weltweite Hochofenschlackenmenge von ca. 353 Mio. t. Zur Abkühlung der flüssigen Hochofenschlacke kommt im gegenständlichen Forschungsprojekt die Rotationszerstäubung mit Luft zum Einsatz. Dabei erfolgt die Desintegration des auf dem Rotationskörper aufgetragenen Flüssigkeitsfilmes durch die wirkenden Zentrifugal- und Reibungskräfte in Abhängigkeit von den Stoffeigenschaften und Prozessparametern. Die entstehenden Partikel werden im Flug und in einem Wirbelbett mit Luft gekühlt. Die heiße Prozessluft wird anschließend für die Bereitstellung von Prozessdampf und/oder Strom herangezogen werden, auch der Einsatz für verschiedene andere Vorwärm- oder Heizzwecke wären möglich. Basierend auf dem oben errechneten Mengenpotenzial ergibt sich bei einer angenommenen Schlackenenthalpie von 1,5 GJ/t ein thermisches Energiepotenzial von ca. 147 TWh/a. (Doschek and Raupenstrauch, 2016; Doschek-Held and Raupenstrauch, 2020)

Durchführung

In der Pilotanlage wurde der Prozess unter realen Bedingungen im integrierten Hüttenwerk evaluiert und optimiert. Im Fokus standen dabei unter anderem die Desintegration am Rotationskörper, die Prozessabluft, die Wirbelschicht und die Produktqualität.

Ergebnisse und Diskussion

Die erzielten Versuchsergebnisse mit der Pilotanlage lieferten wesentliche Erkenntnisse und bildeten die Basis für die Konzeptionierung einer industriellen Gesamtanlage. Basierend auf der Annahme einer Anlagenkapazität von zwei Tonnen pro Minuten flüssige Hochofenschlacke, wurde folgendes Gesamtkonzept zur Trockenschlackengranulation mit Energierückgewinnung mittels Dampferzeuger in Abbildung 7 entwickelt. (Doschek and Raupenstrauch, 2016)

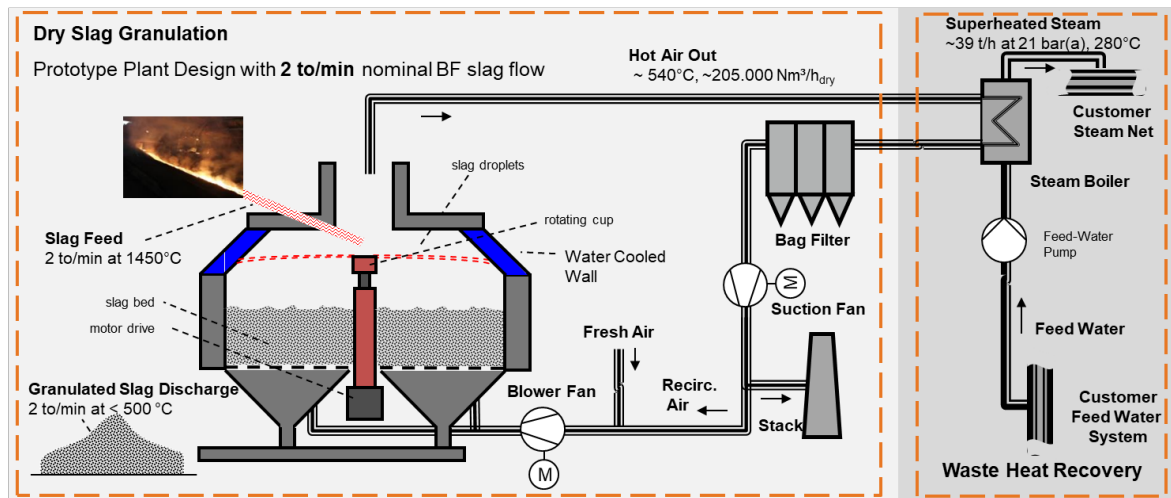


Abbildung 7: Industrielles Anlagenkonzept der Trockenschlackengranulation mit Wärmerückgewinnung (Döschek and Raupenstrauch, 2016)

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend konnte durch das Forschungsvorhaben zur Wärmerückgewinnung mittels Trockenschlackengranulation (FORWÄRTS 2.0) Hochofenschlacke im semi-industriellen Maßstab auf trockenem Weg granuliert werden, um einerseits hochqualitativen Hüttensand zu erzeugen und andererseits die in der heißen schmelzflüssigen Schlacke gespeicherte thermische Energie zu nutzen. Aktuell wird an der Umsetzung eines Gesamtkonzepts inklusive Wärmerückgewinnung im industriellen Maßstab gearbeitet. (Döschek and Raupenstrauch, 2016)

Danksagung

Das Forschungsvorhaben FORWÄRTS 2.0 wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Energieforschung“ durchgeführt. Die Projektpartner waren die Primetals Technologies Austria GmbH, voestalpine Stahl GmbH, FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V. und Montanuniversität Leoben/ Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik).

Kontakt

K. Döschek-Held, Klaus.Döschek-Held@unileoben.ac.at

5.3. Nachhaltige Gaserzeugung: Die **Syngas Plattform Wien** – Aktueller Status und Ausblick

Ansprechpartner: Matthias Kuba, matthias.kuba@best-research.eu, +43 664 5139549

Abstract

Die Erzeugung von Synthesegas, auch als Syngas bezeichnet, durch Gaserzeugung wurde als Schlüsseltechnologie für die Entwicklung nachhaltiger Bioraffinerien identifiziert. Die Dampf-Gaserzeugung im DFB Verfahren (dual fluidized bed, Zweibettwirbelschicht) wurde für holzartige Biomasse im Energiesektor bereits vom Labor- bis zum kommerziellen Maßstab entwickelt. Der Trend zur Nutzung von Reststoffen geringerer Qualität, wie minderwertige Biomasse, biogene Reststoffe oder Abfälle, treibt die Entwicklung der Technologie in Bezug auf Reaktordesign, Gasreinigung und Optimierung der Betriebsparameter. Gleichzeitig führt der Bedarf an der Erzeugung nachhaltiger Endprodukte, die wertvoller sind als Strom und Wärme, zur Einbettung des DFB Verfahrens in vollständige Prozessketten.

In Wien wird derzeit eine solche umfassende Bioraffinerie zur Umwandlung von biogenen Rest- und Abfallstoffen im Demonstrationsmaßstab in Betrieb genommen. Es wurde ein fortschrittliches Reaktordesign für das DFB Verfahren mit einer Kapazität von 1 MW thermischer Brennstoffzufuhr umgesetzt. Das Reaktordesign basiert auf einer 100-kW-Pilotanlage an der TU Wien, in der experimentelle Untersuchungen eine erhöhte Brennstoffumwandlung, geringere Teermengen im Synthesegas und in der Folge eine insgesamt bessere Leistung insbesondere bei der Umwandlung von biogenen Rest- und Abfallstoffen gezeigt haben.

Die 1 MW-Gaserzeugungsanlage wird Teil der **Syngas Plattform Wien** sein, die aus einer vollständigen Prozesskette besteht, die die Gaserzeugung aus Abfällen mit einer nachgeschalteten Fischer-Tropsch-Synthese-Pilotanlage kombiniert. Darüber hinaus wird ein Teilstrom des Synthesegases in einem angeschlossenen Labor für die Forschung in den Bereichen fortschrittliche Gasreinigung, biologische Gasveredelung und nachhaltige Wasserstoffproduktion verwendet.

Ziel und Herangehensweise

Die Erzeugung von Synthesegas aus erneuerbaren Quellen gilt zwar als eine der Schlüsseltechnologien für einen nachhaltigeren Energie- und Materialkreislauf, wurde aber bisher von der Industrie noch nicht in großem Umfang realisiert. Zwar haben sich zahlreiche wünschenswerte Einsatzstoffe wie minderwertige Biomasse, biogene Reststoffe oder Abfälle in Versuchen im Labor- und Pilotmaßstab als geeignet erwiesen, doch wurde dies noch nicht in einer integrierten Prozesskette umgesetzt. Mit unserer **Syngas Plattform Wien** wollen wir daher eine solche integrierte Prozesskette von biogenen Rest- und Abfallstoffen zu einem wertvollen Endprodukt demonstrieren. Abbildung 8 zeigt das Gesamtkonzept der Plattform und verdeutlicht die Verlagerung des Forschungsschwerpunkts hin zu minderwertigen Rohstoffen und hochwertigen Endprodukten.

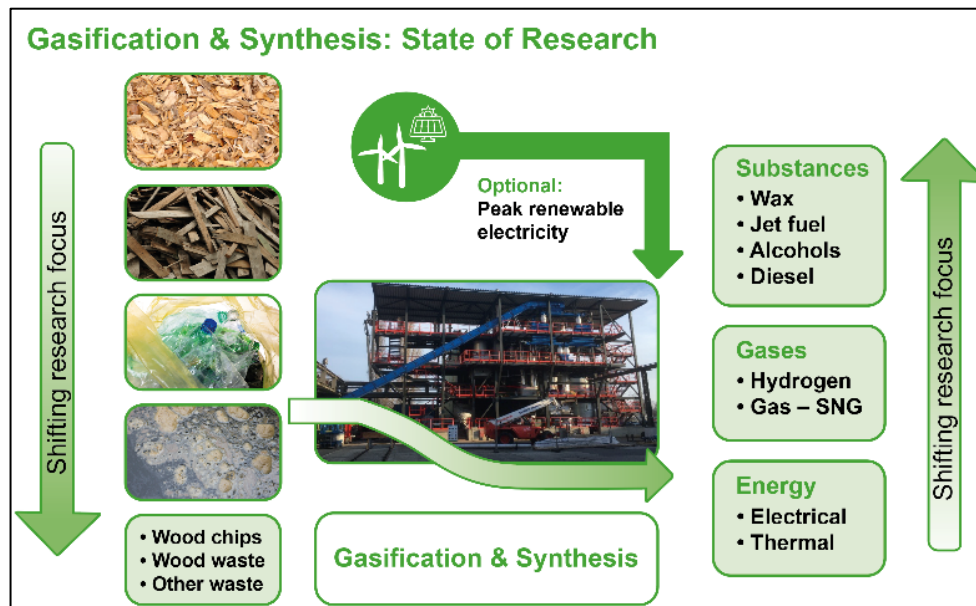


Abbildung 8: Konzept der Syngas Plattform Wien

Die industrielle Einführung der Gaserzeugung mittels DFB Verfahren wurde durch die schwierige wirtschaftliche Lage behindert, die durch steigende Rohstoffkosten (z. B. für Holz) und sinkende Produktpreise (z. B. Senkung der Einspeisetarife für Ökostrom) gekennzeichnet ist. Um die Technologie wirtschaftlich rentabel und gleichermaßen umweltverträglicher zu machen, müssen daher beide Seiten verbessert werden: das Spektrum der möglichen Einsatzstoffe und die Produktpalette, die daraus hergestellt werden kann.

An der TU Wien wurden bereits verschiedene minderwertige Reststoffe in einem 100 kW-Gaserzeuger getestet. Diese laborgestützte Pilotanlage basiert auf einem neuartigen Reaktordesign, siehe Abbildung 9. Über der blasenbildenden Wirbelschicht im Gaserzeuger führt eine Gegenstromkolonne zu einem erhöhten Kontakt zwischen dem Bettmaterial und dem Synthesegas. In der Folge werden die Gasphasenreaktionen gefördert. Dies ist besonders wichtig für die Umsetzung von biogenen Reststoffen und Abfällen mit höherem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen als Holz. Jüngste Veröffentlichungen der TU Wien konnten eine erhöhte Brennstoffumsetzung und eine verstärkte Reduktion von Teeren im Synthesegas zeigen (Benedikt *et al.*, 2018; Mauerhofer *et al.*, 2019)

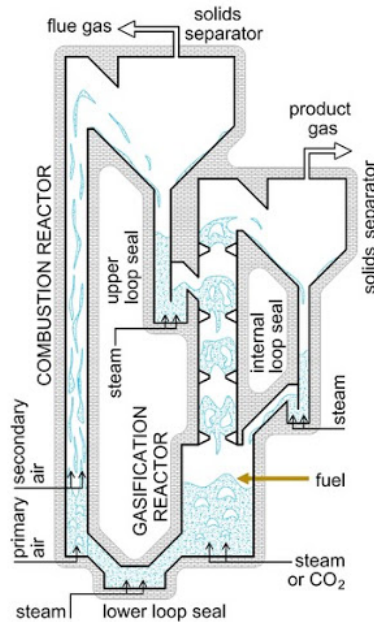


Abbildung 9: Reactor design of 100 kW DFB pilot plant at TU Wien

Solche laborgestützten Prüfstände haben im Vergleich zu Demonstrationsanlagen im MW-Maßstab bestimmte Einschränkungen, wie z. B.:

- Brennstoffaufbereitung: in vielen Fällen kann nur pelletierter Brennstoff verwendet werden, und manchmal müssen Additive hinzugefügt werden, um ausreichende Schüttguteigenschaften für die Versuche zu gewährleisten
- Betriebszeit / Asche-Handling: Der Labor-Gaserzeuger verfügt nicht über die Möglichkeit, Asche zu entfernen. Vor allem bei Einsatzstoffen mit hohem Aschegehalt (z. B. Klärschlamm ~50 %) ist es unmöglich, stabile Strömungsbedingungen im System zu schaffen, da sich Asche ansammelt, die das System schließlich ganz außer Betrieb setzt und so die Betriebszeit begrenzt.
- Gasreinigung: Der Labor-Gaserzeuger kann nur eine grobe Synthesegasreinigung durchführen, und es findet keine Rezirkulation von Wärme- oder Massenströmen statt. Dies könnten jedoch entscheidende Faktoren für die wirtschaftliche Leistung sein und sollten daher vor einem großtechnischen Einsatz vollständig nachgewiesen werden.

Der 100-kW-Gaserzeuger ermöglichte es uns jedoch, auf den experimentellen Versuchen mit anspruchsvolleren Brennstoffen aufzubauen und so unsere Forschung am 1-MW-Gaserzeuger der **Syngas Plattform Wien** mit einem breiten Spektrum an Einsatzstoffen zu gestalten. Der 1 MW-Gaserzeuger wurde auf dem Gelände der größten Wiener Sondermüllverbrennungsanlage errichtet und durchlief ein vollständiges Genehmigungsverfahren für die Abfallverwertung, da er in die bestehende Anlage zur Rauchgasreinigung integriert ist. Dadurch ist es möglich, ein breites Spektrum an Abfallarten über lange Betriebszeiten (mehrere Wochen und Monate) zu nutzen.

Die Erfahrungen aus der 1-MW-Anlage der **Syngas Plattform Wien** werden somit auf den Ergebnissen der 100-kW-Pilotanlage aufbauen und zielen darauf ab, Forschungslücken zu schließen, die sich aus den Einschränkungen der laborgestützten Pilotanlage ergeben.

Neben dem neuen Reaktordesign ist die 1 MW-Anlage auch mit einem neuartigen Gasreinigungskonzept ausgestattet. Die Produktgasreinigung erfolgt über einen Produktgaszyklon, eine Heißgasfiltrationseinheit (Keramikfilter, betrieben bei 400 – 450 °C) und einen zweistufigen Wäscher. Diese Gasreinigungsanlage wurde auch für die Behandlung von biogenen Rückständen und Abfällen mit höherem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen oder höherem Aschegehalt konzipiert.

Abbildung 10 zeigt ein Bild der 1-MW-DFB-Vergasungsanlage auf der Wiener Syngas-Plattform.



Abbildung 10: Der 1 MW DFB Gaserzeuger der Syngas Plattform Wien

Erste Ergebnisse

Zum aktuellen Zeitpunkt dieser Zusammenfassung (April 2022) wurde der 1 MW Gaserzeuger basierend auf dem DFB Verfahren in Wien erfolgreich in Betrieb genommen. Somit konnte zum ersten Mal mit grünes Syngas auf Basis des neuen Reaktordesigns im Demonstrationsmaßstab produziert werden. Der Weg von der wissenschaftlichen Konzeption zur industriellen Anwendung ist eine Herausforderung. Derartige Demonstrationen sind jedoch unerlässlich, um die Robustheit dieser Technologie zu beweisen und damit eine breitere Akzeptanz in der Industrie zu fördern. Zukünftige wissenschaftliche Untersuchungen werden sich auf die Umwandlung unterschiedlicher Abfallsortimente in wertvolles Syngas konzentrieren.

5.4. Simulationsstudie einer Power-to-Liquid-Anlage zur Herstellung von grünem Methanol aus biogenem CO₂ einer oxyfuel-Wirbelschichtverbrennung und H₂

Simon Pratschner, Franz Winter

TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften
Getreidemarkt 9/166, 1060 Wien, Österreich

Die Herstellung von Methanol im Rahmen von ‚Carbon Capture and Utilization‘-Prozessen stellt einen möglichen Schritt zu einem kohlenstoffneutralen Wirtschaftssystem dar. Die Herkunft des CO₂ hat hierbei einen signifikanten Einfluss auf die Nachhaltigkeit des Prozesses. So ist zum Beispiel die Nutzung von biogenem CO₂ einer fossilen Quelle vorzuziehen. Im Rahmen der vorgestellten Simulationsstudie wurde ein dezentrales Konzept einer Anlage zur Bereitstellung von Wärme an ein Fernwärmenetzwerk sowie zur katalytischen Produktion von Methanol entworfen und anhand definierter Kennziffern bewertet. Eine schematische Darstellung der Anlage erfolgt in Abbildung 11.

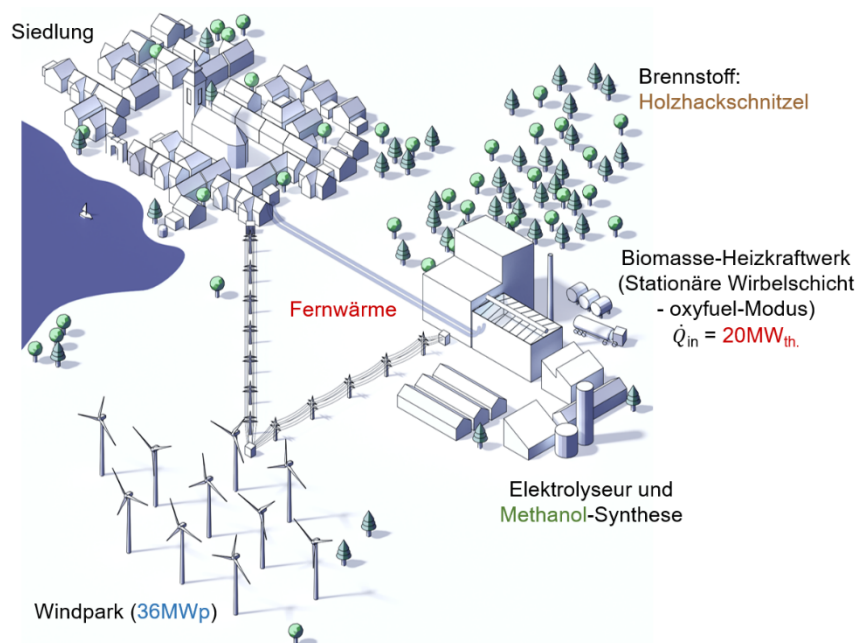


Abbildung 11: Schema einer Power-to-Liquid-Anlage zur Herstellung von grünem Methanol.

Die Verbrennung der Holzackschnitzel erfolgte in einer stationären Wirbelschicht mit einem Brennstoffinput von 20 MW_{th}. Im Rahmen der vorgestellten Konzeptstudie wurden Verfahrensvarianten mit konventioneller Luftverbrennung und oxyfuel-Verbrennung untersucht und bewertet. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren, bei welchem die Verbrennungsreaktion in einem Gemisch aus Sauerstoff und rezirkuliertem Rauchgas erfolgt. Die Versorgung des Elektrolyseurs mit Strom wurde durch einen nahegelegenen Windpark mit einer Nennleistung von 36 MW_{p,el} simuliert. Der vom Elektrolyseur bereitgestellte Wasserstoff und das CO₂ der Verbrennungsreaktion reagieren katalytisch zu Methanol und Wasser, welche in einem finalen Prozessschritt voneinander getrennt werden.

Mithilfe des vorgestellten Konzepts können 17.000 Tonnen/Jahr Methanol bei einem Brennstoffinput von 50.000 Tonnen/Jahr Holzackschnitzel hergestellt werden. Zusätzlich kann die Anlage die

Versorgung von 7.200 Haushalten mit Wärme über ein Fernwärmenetz sicherstellen. Bei fehlendem Raumwärmebedarf während der Sommermonate kann alternativ die Bereitstellung von Prozessdampf für nahegelegene Industriebetriebe forciert werden. Im Rahmen der Prozesssimulation wurde ein Power-to-Liquid Wirkungsgrad von 51 % ermittelt. Dieser beschreibt das Verhältnis aus der chemisch gespeicherten Energie des Methanols zur Summe des elektrischen Verbrauchs der Anlage. Bei Miteinbeziehung der Wärmeenergie, welche an das Fernwärmenetzwerk abgegeben wird, kann ein Anlagenwirkungsgrad von bis zu 57 % erzielt werden.

Aufbauende Forschungsarbeit soll ein verbessertes Verständnis der katalytischen Herstellung von Methanol mittels CO_2 und Wasserstoff ermöglichen. Abbildung 12 zeigt die Hochdruck-Kinetikapparatur zur Untersuchung der Druck- und Temperaturabhängigkeit von katalytischen Reaktionen am Institut für Verfahrenstechnik, TU Wien.

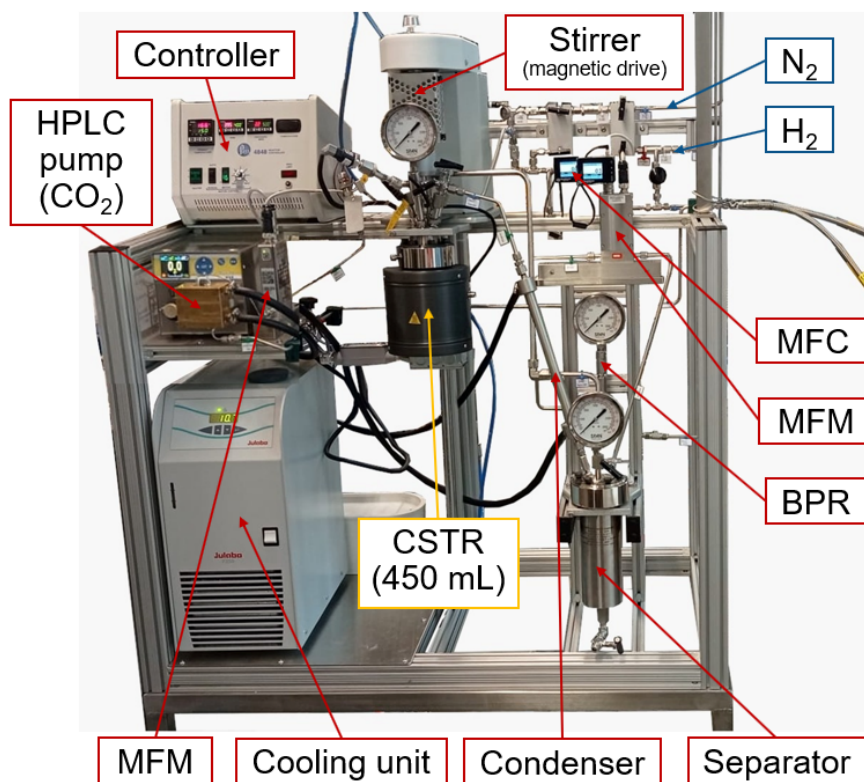


Abbildung 12: Hochdruck-Kinetikapparatur zur Untersuchung von Katalysatoren am Institut für Verfahrenstechnik, TU Wien.

Kontakt:

Simon Pratschner, simon.pratschner@tuwien.ac.at;

Franz Winter, franz.winter@tuwien.ac.at;

5.5. Projekt Akronym: FT/SNG-Reallabor

Projekttitle: Reallabor zur Herstellung von FT-Treibstoffen und SNG aus Biomasse und biogenen Reststoffen für die Land- und Forstwirtschaft

Förderprogramm: DaFNE 2.0 (Programm für Forschung und Entwicklung im BMLRT)

Projektdauer: 2019-2020

Einleitung:

Die vorliegende Machbarkeitsstudie wurde im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus durchgeführt. Ziel dieser Studie ist es, zu untersuchen, inwieweit die für den Land- und Forstwirtschaftssektor benötigte Energie aus biogenen Rohstoffen, Reststoffen und Abfällen hergestellt werden kann, um damit einen Ausstieg des Sektors aus fossilen Kraftstoffen zu ermöglichen. Hintergrund für diese Studie sind einerseits dringend notwendig gewordene Maßnahmen für den Klimaschutz in allen Bereichen unserer Gesellschaft, so auch in der Land- und Forstwirtschaft, und andererseits die Konkretisierung von Vorschlägen für die Politik. Die Machbarkeitsstudie soll letztendlich ein Defossilisierungsszenario für die Land- und Forstwirtschaft aufzeigen, welches in den kommenden 15 Jahren realisiert werden könnte.

Ziele:

Das Projekt strebt folgende Ziele an:

- Darstellung der in Österreich vorhandenen Potentiale an forst- und landwirtschaftlichen Roh- und Reststoffen;
- Darstellung der in Österreich eingesetzten Energiemengen in der Land- und Forstwirtschaft;
- Darstellung und Diskussion der möglichen Produktionsrouten von Biotreibstoffen und synthetischem Erdgas auf Basis biogener Roh- und Reststoffe;
- Erarbeitung von notwendigen technischen, finanziellen und standortspezifischen Rahmenbedingungen für die Errichtung eines Reallabors zur Demonstration der ausgewählten Verfahrenskette;
- Darstellung eines Forschungs- & Entwicklungsprogramms für die optimale Begleitung der Technologieentwicklung im Rahmen des Reallaborbetriebs;
- Erarbeitung eines Konzeptes für die Ausrollung der Technologie mit der Ermittlung von Produktkosten, des ökonomischen Fußabdrucks, von Scale-Up Betrachtungen und optimaler Standorte;
- Überblick über mögliche Förderinstrumente für die Beschleunigung der Ausrollung der Technologie in der Land- und Forstwirtschaft in Österreich.

Ergebnisse:

Wie im Kreislaufwirtschaftsbild gezeigt (vgl. Abbildung 13), können land- und forstwirtschaftliche Roh- und Reststoffe in einer Zweibettwirbelschicht-Gaserzeugungsanlage mit anschließender

Gasreinigung und Synthese in einen synthetischen Fischer-Tropsch Diesel (Holzdiesel) und synthetisches Erdgas (Holzgas) überführt werden.

Die Syntheseprodukte stellen „Drop-in Fuels“ dar, welche direkt in vorhandenen Dieselmotoren in der Traktion bzw. Gasheizungen in der Raumheizung eingesetzt werden können. Durch die Bewirtschaftung der Agrarflächen mittels land- und forstwirtschaftlicher Roh- und Reststoffe kann der Kreislauf in der Land- und Forstwirtschaft geschlossen werden. Die Energieanalyse des Sektors Land- und Forstwirtschaft in Österreich zeigt, dass fossiler Diesel mit 9,2 PJ, und fossiles Erdgas mit 0,9 PJ zusammen zu rund 44 % des Endenergieaufkommens der Land- und Forstwirtschaft beitragen. Es sind etwa 24 PJ

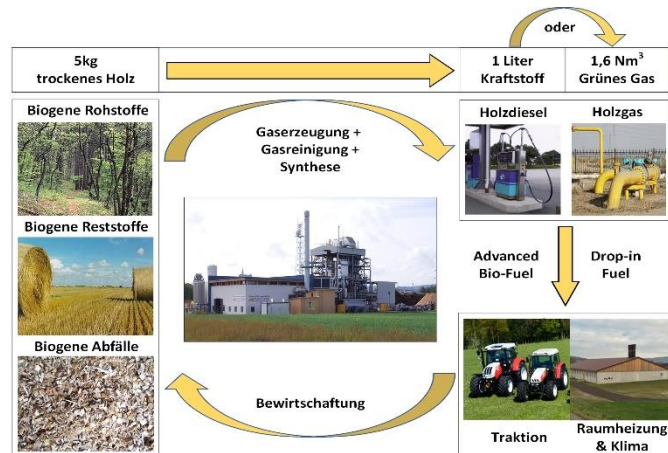


Abbildung 13: Kreislaufwirtschaft in der Land- und Forstwirtschaft durch die Produktion von Holzgas und Holzdiesel.

(3,34 Mio. Efm Holz) erforderlich, um die fossilen Energieträger Diesel und Erdgas in der Land- und Forstwirtschaft durch Holzdiesel und Holzgas zu ersetzen. In Österreich stehen genügend derzeit ungenutzte biogene Ressourcen an Holz bzw. biogenen Reststoffen (ca. 50 PJ) zur Herstellung von Holzdiesel und einspeisefähigem Holzgas und damit zur Abdeckung des gesamten Bedarfs der Land- und Forstwirtschaft verfügbar. Dadurch können rund 1% der gesamten österreichischen Treibhausgas-Emissionen eingespart werden.

Die Implementierung eines Reallabors mit 5 MW Brennstoffwärmeleistung ermöglicht die Demonstration der vorgeschlagenen Technologie, um die technischen Risiken zu minimieren und das Vertrauen in die Technologie zu stärken. Die Investitionskosten für die Errichtung eines Reallabors im 5 MW Maßstab wurden mit 18,5 Mio. bis 31,5 Mio. Euro je nach Ausbaustufe (Holzdiesel, Holzgas oder beide) abgeschätzt.

Für die Ausrollung der Technologie werden Anlagen mit einer Brennstoffwärmeleistung größer 50 MW aufgrund von Economy of Scale empfohlen. Für die Defossilisierung des Energieeinsatzes in der Land- und Forstwirtschaft ist bei Annahme einer Anlagengröße von 100 MW, die Installation und der Betrieb von 1 Holzgasanlage bzw. 9 Holzdieselanlagen notwendig. Der erforderliche Investitionsrahmen beträgt ca. 150 Mio. Euro für die Holzgasanlage und ca. 200 Mio. Euro pro Holzdieselanlage. Die wirtschaftliche Bewertung für die Ausrollung der Technologie im 100 MW Maßstab ergibt Holzdiesel-Produktionskosten von 1,15-1,40 €/L bzw. Holzgas-Produktionskosten von 65-80 €/MWh abhängig von der Qualitätsklasse des eingesetzten Holzes bzw. der eingesetzten Biomasse.

Conclusio und Ausblick:

Durch die vorliegende Machbarkeitsstudie kann die Land- und Forstwirtschaft in Österreich der erste fossilfreie Sektor werden. Durch das im Projekt erworbene Wissen wurden bereits 30 Mio. € für die Errichtung eines Reallabors in Österreich im Forstpaket 2020 der Regierung budgetiert. Bei derzeitigen Marktpreisen von fossilem Erdgas und Diesel (April 2022) kann eine wirtschaftliche Produktion von Holzdiesel und Holzgas ohne Zuschuss von zusätzlichen Förderungen sichergestellt werden.

Kontakt:

hermann.hofbauer@tuwien.ac.at

<https://dafne.at/projekte/ftsng-reallabor>

Partner: Technische Universität Wien (TU Wien)

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften

Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe

5.6. Projekt Akronym: CEMPhos

Projekttitel: Integration der Phosphorrückgewinnung in den Zementherstellungsprozess zur reststofffreien Verwertung von Klärschlämmen

Förderprogramm: FFG, Produktion der Zukunft, 24. Ausschreibung

Projektdauer: 2018-2019

Einleitung:

Phosphor gilt als ein lebenswichtiger Makronährstoff, der von allen Lebewesen benötigt wird. Aus diesem Grund werden u.a. in der Landwirtschaft große Mengen an Phosphordüngemitteln benötigt. Im Moment wird der Großteil des dafür benötigten Phosphors durch natürliche Phosphor mineral-Vorkommen, v.a. in Form von Apatiten, aufgebracht. Diese Vorkommen sind rar und geographisch konzentriert, weswegen die Rückgewinnung aus Sekundärquellen in Zukunft eine größere Rolle spielen wird. In verschiedenen europäischen Ländern, z.B. Österreich und Deutschland, sieht der Gesetzgeber eine Rückgewinnung des im Klärschlamm in hohen Konzentrationen vorkommenden Phosphors vor. Dazu wurde verschiedene Rückgewinnungsverfahren entwickelt.

Für die thermische Verwertung des Klärschlammes bieten sich Verfahren in Wirbelschichtreaktoren an, da sie die Aufkonzentrierung des Phosphors in bestimmten Aschefraktionen ermöglicht und die Vorteile der Wirbelschichttechnologie (u.a. guter Wärme- und Stoffübergang) zum Tragen kommen. Durch den gezielten Einsatz von Brennstoffadditiven können gleichzeitig schädliche Schwermetalle aus diesen Aschefraktionen entfernt werden. Durch gezielte Abstimmung der strömungsmechanischen Kenngrößen kann somit eine in-situ Abtrennung der Schwermetalle von der phosphorreichen Asche gewährleistet werden.

Aus den thermisch behandelten Klärschlammaschen kann der Phosphor mithilfe weiterer Verfahren (z.B. RecoPhos Verfahren) in elementarer Form zurückgewonnen werden, wobei die verschlackte Klärschlammasche in der Zementherstellung eingesetzt werden kann, oder die Klärschlammasche direkt als Düngemittel zum Einsatz kommen, falls die Grenzwerte (z.B. für bestimmte Schwermetalle) laut den entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen eingehalten werden (siehe z.B. österreichische Düngemittelverordnung). In Österreich wird vor allem auf die Schwermetalle Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber und Vanadium das Augenmerk gelegt.

Im Zuge des Projekts wurde die Veraschung verschiedener Klärschlämme in einer stationären Wirbelschichtanlage im Labormaßstab unter verschiedenen Veraschungsbedingungen untersucht. Anschließende Ascheanalyse sollten die Eignung des Verfahrens in Abhängigkeit von

- Veraschungstemperatur,
- Bettmaterial,
- Brennstoffadditiv bzw. -menge, und
- Atmosphäre (oxidierend oder reduzierend)

klären. Weiterführende Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors in den erzeugten Klärschlammaschen waren nicht Ziel des Projekts.

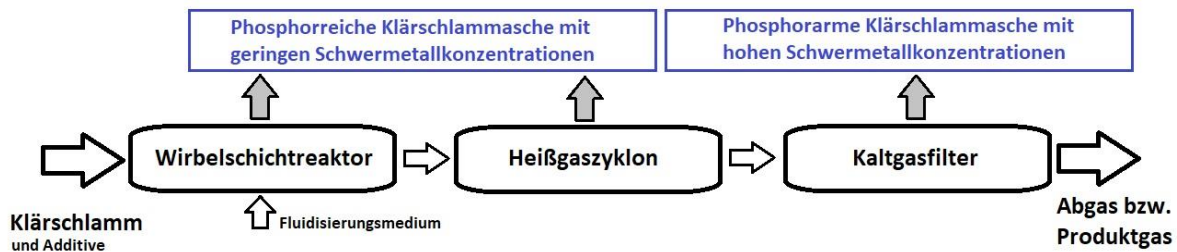


Abbildung 14: Fließbild des Prozesses vom Rohprodukt Klärschlamm bis zum Produktgas

Ergebnisse

Die chemischen Ascheanalysen haben vielversprechende Ergebnisse geliefert:

- Kaum Einfluss des Brennstoffadditivs auf die Phosphor-Entfrachtung aus der Wirbelschichtaschefraktion
- Stark positiver Einfluss des Brennstoffadditivs auf die Entfrachtung einiger Schwermetalle aus der Wirbelschichtaschefraktion → Anreicherung leichtflüchtiger Schwermetalle in der Filteraschefraktion

Die Durchführung von Veraschungsversuchen bei reduzierenden Bedingungen und hohen Temperaturen kann vor allem bei hohen Additivbeimengungen zu verfahrenstechnischen Problemen führen (z.B. zur Bildung von Agglomerationen in der Wirbelschicht). Das Ascheschmelzverhalten kann für die Wirbelschichttechnologie eine wesentliche Einschränkung darstellen. In weiterer Folge sind auch die Auswirkungen auf Materialbeständigkeit beim Einsatz von Additiven wie Chloriden in Langzeitversuchen zu prüfen.

Eine Publikation in einem wissenschaftlichen Journal befindet sich im Moment in der Einreichung.

Partner:

Technische Universität Wien (A)
Montanuniversität Leoben (A)
Schwenk Zement KG (D)
Scheuch GmbH (A)

Kontakt:

florian.benedikt@tuwien.ac.at

5.7. Projekt Akronym: Beds4FluidGas

Projekttitel: Alternative Bed Materials for Fluidized Bed Gasification/Combustion of Different Biogenic Fuels and Residues

Förderprogramm: COMET – Competence Centers for Excellent Technologies

Projektdauer: 2017-2019

Einleitung:

Im Zuge dieses Projektes wurden verschiedene alternative Bettmaterialien und Brennstoffe auf ihre Eignung für die Nutzung in Wirbelschichten untersucht. Neben der Eignung für die Verbrennung wurde ebenso die Eignung für die DFB-Gaserzeugung untersucht. Ebenso wurde im Zuge dieses Projektes eine neue Methode zur Bestimmung der Agglomerationstemperatur während der Wirbelschichtverbrennung entwickelt.

Projektergebnisse:

Versuche mit Strohlignin haben gezeigt, dass die Brennstoffvorbereitung einen deutlichen Einfluss auf das weitere Verhalten der Brennstoffasche besitzt. Während Pellets von Weichholz vollständig verbrennen und staubförmige Asche zurücklassen, wird während der Verbrennung (und Gaserzeugung) mit Strohligninpellets ein stabiles Ascheskelett gebildet. Diese kohärenten Aschepartikel führen zu Problemen bei der Fluidisierung. Die fortschreitende Anhäufung dieser Ascherückstände an der Oberfläche des Bettes hat zu Temperaturschwankungen im Bett und zu

Wheat straw lignin pellets:



Non-pelletized wheat straw lignin:



Abbildung 15: Schema der Umwandlung von pelletiertem und nicht pelletiertem Weizenstroh-Lignin in Wirbelschichten.

Veränderungen in der Fluidisierungsdynamik geführt.

Die Kohärenz der Ascherückstände ist höchstwahrscheinlich auf eine gleichmäßig verteilte kieselensäurereiche Schmelzphase zurückzuführen, die hauptsächlich aus K- und Na-Silikaten besteht. Diese Aussage wird durch die Ergebnisse der EDS- und XRD-Analyse sowie durch die in FactSage 7.3 durchgeführten thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen gestützt. Darüber hinaus sagen die thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen nur ein teilweises Aufschmelzen (5-10 Gew.-%) der Ascherückstände voraus, was sich in ihrer geringen Klebrigkeit niederschlägt. Folglich kommt es bei der Vergasung und Verbrennung von Weizenstroh-Lignin im Wirbelschichtreaktor zu keiner Agglomeration. Wird das Stroh-Lignin allerdings in der direkt anfallenden Form (als Platten) verwendet, kommt es ähnlich wie bei Weichholzpellets zur Bildung feiner Asche.

Kontakt:

katharina.fuersatz@best-research.eu

Publikation:

<https://doi.org/10.3390/en13153935>

Partner: BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH (BEST), TU Wien, Bertsch Energy GmbH & Co KG, Blue Energy Group, Quarzwerke GmbH

5.8. Projekt Akronym: Bark2Gas

Komplementäre Projekte: Fuel_Flex_DFB, GreenGasIntegration

Förderprogramme: COMET – Competence Centers for Excellent Technologies, 7. AS
Forschungspartnerschaften

Projektdauer: 2015-2023

Einleitung:

Die Zellstoff- und Papierindustrie ist ein Industriezweig, der sich bereits durch ein hohes Maß an Nachhaltigkeit auszeichnet. Biomasse ist ein nachwachsender Rohstoff, und die in der Regel hoch entwickelten Rückgewinnungszyklen minimieren den Verlust von Chemikalien, die im Zellstoffprozess verwendet werden. Bestimmte Teile des Verwertungszyklus werden jedoch immer noch mit fossilen Brennstoffen, vor allem Erdgas betrieben. Das beschriebene Projekt befasst sich mit der Substitution des Erdgases durch Produktgas aus der Biomassegaserzeugung mittels Zweibett-Wirbelschicht – engl. Dual fluidized bed (DFB) – Technologie.

Bisherige Ergebnisse:

Gaserzeugungsexperimente im 100 kW Pilotmaßstab haben gezeigt, dass Rinde, die in Zellstoff- und Papierfabriken verfügbar ist, geeignet ist, ein Produktgas mittels DFB-Gaserzeugung als vielversprechenden Ersatz für Erdgas zu erzeugen. Basierend auf dem Vergleich von Prozesslayouts hinsichtlich der Abtrennung von prozessfremden (non-process elements, NPE) Bestandteilen wird die Abscheideleistung für verschiedene Setups abgeleitet. Liegt die energetische Optimierung im Vordergrund, ist eine Abtrennung von NPEs über Zyclone zu bevorzugen, da hier das Produktgas nicht abgekühlt wird. Als Kompromiss zwischen energetischer Optimierung und Abtrennung der NPEs wurde eine teilweise Abkühlung des Gases und ein nachfolgender Filter identifiziert. Aufgrund der Komplexität der Zellstoff- und Papierindustrie wurde schlussendlich aber die Variante mit vollständiger Abtrennung der NPEs über einen Filter und eine nachfolgende Gaswäsche in einem Biodiesel-Wäscher gewählt und genauer untersucht.

Vergleiche zum Brennverhalten von Erdgas und Produktgas wurden ebenfalls durchgeführt. Aufgrund des niedrigeren Heizwerts von Produktgas waren höhere Gasströme nötig um den gleichen Energieoutput zu erhalten. Der hohe H₂-Gehalt im Produktgas führte dazu, dass das Gas früher zündet. Diese beiden Unterschiede bedingen eine Adaptierung der Brennergeometrie um die Flammenform zu optimieren.

Publikation:

<https://doi.org/10.1007/s13399-021-02160-y>

Kontakt:

matthias.kuba@best-research.eu

florian.benedikt@tuwien.ac.at

5.9. Projekt Akronym: FT4Industry

Projekttitel: FT bio refinery for industrial applications

Förderprogramm: COMET – Competence Centers for Excellent Technologies

Projektdauer: 2019-2023

Einleitung:

In den letzten 10 Jahren lag der Fokus der Forschung und Entwicklung im Bereich der Fischer-Tropsch Synthese auf der Herstellung fortschrittlicher Biokraftstoffe. Fischer-Tropsch Diesel und Kerosin sind hochwertige Biokraftstoffe mit ausgezeichnetem Verbrennungsverhalten, nahezu keiner Rußbildung während des Verbrennungsprozesses, und durch Verwendung von Standardraffinerieverfahren (z.B. Isomerisierung) können die Kraftstoffeigenschaften noch weiter verbessert werden (z.B. Kälteverhalten). Problematisch und hinderlich für den Markteintritt von Fischer-Tropsch-basierten Kraftstoffen sind die hohen Produktionskosten (~ mehr als 1 EUR pro Liter), der niedrige Rohölpreis und damit verbunden die maximal erreichbaren Preise für die fortschrittlichen Biokraftstoffe. Ein weiterer Anwendungsbereich der Fischer-Tropsch Produkte liegt im Bereich der chemischen Industrie. Alpha-Olefine sind für Polymerisationsreaktionen verwendbar, die Fischer-Tropsch-Flüssigkeitsfraktion (~C6-C19) ist als Paraffinum liquidum / Perliquidum in der Pharma-/Kosmetikindustrie verwendbar und Fischer-Tropsch-Wachse (>C20) können in Abhängigkeit von der C-Kettenlänge sowie Molekülstruktur (n/Isoparaffin) in den Bereichen Pharma-, Kosmetik-, Gummi- oder Klebstoffindustrie eingesetzt werden.

Die Verwendung von biobasierten Fischer-Tropsch-Produkten in der Industrie (insbesondere im Bereich der pharmazeutische sowie Kosmetikindustrie) ist mit strengen Qualitätsanforderungen verbunden (insbesondere Verhältnis von n/Isoparaffinen, Olefin- und Oxygenatgehalt, feste Rückstände, Schwermetalle,...).



Abbildung 16: Kerze aus Fischer-Tropsch Biowachs
(Beispielhaft für industrielle Anwendung)

Hauptziele des Forschungsprojekts:

- Weitere Verbesserung der Produkttrennung und Fraktionierung
- Erprobtes Trennsystem für Katalysatorfeinpartikel
- Valorisierung und Steigerung der Fischer-Tropsch Produkte, durch Verschiebung des Produktspektrums
- Wirtschaftliche Bewertung der Raffinerie für erneuerbaren Kohlenstoff für die chemische Industrie
- Pre-Basic Engineering einer Fischer-Tropsch-Anlage im Demo-Maßstab

Kontakt:

gerald.weber@best-research.eu

stefan.arlt@best-research.eu

Partner: BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH (BEST), TU Wien, Bilfinger Bohr- und Rohrtechnik GmbH, Aichernig Engineering GmbH, Hansen & Rosenthal Ölwerke Schindler GmbH, RWE Power AG <https://best-research.eu/de/kompetenzbereiche/biomassevergasung/projekte/view/596>

5.10. Projekt Akronym: Waste2Value

Projekttitel: Dual fluidized bed steam pilot gasifier for difficult feedstocks

Förderprogramm: COMET – Competence Centers for Excellent Technologies

Projektdauer: 2019-2023

Einleitung:

BEST arbeitet zusammen mit dem Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften der TU Wien seit Jahren an der Weiterentwicklung der Zweibett-Wirbelschicht - engl. Dual fluidized bed (DFB) – Technologie zur Gaserzeugung, die bislang nur mit holzartiger Biomasse als Einsatzstoff großtechnisch umgesetzt wurde. Am Standort Wien-Simmeringer Haide wurde nun eine 1 MW Demonstrationsanlage verwirklicht, an der auch der Einsatz von Reststoffen in industrienahe Maßstab beforscht und demonstriert werden soll. Die Anlage ist die zentrale Schlüsseltechnologie für eine Reihe nachfolgender Verwertungsmöglichkeiten für das mit der Anlage hergestellte Synthesegas. Die verschiedenen Verwertungspfade zu erneuerbarem CO₂-neutralem Diesel (Fischer-Tropsch (FT) Kraftstoff) und Kerosin; gemischten Alkoholen; synthetischem, grünem Erdgas und grünem Wasserstoff bilden allesamt Elemente der Dekarbonisierungsstrategie der Stadt Wien ab. Für den Anlagenbauer SMS Group, einem der Weltmarktführer im Anlagenbau für die Stahlindustrie, ist es der Einstieg in eine neue Technologie, um in seinen Kernmärkten eine Ergänzung zur strombasierten Bereitstellung von Wasserstoff als Energieträger und Reduktionsmittel für die Stahlproduktion anbieten zu können.

Die Technologie ermöglicht es, über einen thermochemischen Umwandlungsprozess aus Reststoffen ein sogenanntes Synthesegas zu erzeugen, welches wiederum in nachfolgenden Syntheseprozessen in verschiedene Energieträger umgesetzt werden kann. Sind die eingesetzten Ausgangsstoffe erneuerbaren Ursprunges (Holz, Restholz, Klärschlamm, biogene Abfälle, ...) so sind auch die Endprodukte erneuerbar. Es ist aber auch denkbar, nicht erneuerbare Reststoffe (z.B. Plastikreste, die nicht recyclebar sind) einzusetzen und damit fossile Energieträger zu ersetzen.

Die Kampagnen, welche nun an der Anlage durchgeführt werden, sollen vor allem über zwei Dinge Aufschluss geben: Erstens wird das Verfahren der Zweibett-Wirbelschicht-Gaserzeugung auf seine Flexibilität im Hinblick auf diverse Einsatzstoffe, unterschiedliche Betriebsparameter und die Umsetzbarkeit im 1 MW-Maßstab geprüft. Zweitens soll die Eignung mehrerer, in ihrer Zusammensetzung teils sehr unterschiedliche Einsatzstoffe zur Erzeugung von FT- und weiteren Syntheseprodukten evaluiert werden.

Bisherige Ergebnisse:

Nachdem die Demonstrationsanlage auf dem Gelände der Wien Energie GmbH in den Jahren 2019-2021 errichtet wurde, wurde 2022 die Inbetriebnahme der Anlage abgeschlossen. Hierbei wurde erstmals über mehrere Tage Produktgas mittels Dampfgaserzeugung produziert. Als Brennstoffe dienten Holzfraktionen variierender Qualität.

Erwartete Ergebnisse:

Neben der Demonstration der flexiblen Gaserzeugung aus verschiedensten Reststoffen ist ein weiteres Ziel dieses Projekts die Demonstration der gesamten Prozesskette im Demonstrationsmaßstab, von schwierigen Rohstoffen bis zum Synthesegas, über die Synthesegasreinigung und schließlich die Herstellung von biobasierten FT-Qualitätsprodukten.



Abbildung 17: Bau der 1 MW-DFB-Gaserzeugungsanlage in Wien Simmering

Kontakt:

matthias.kuba@best-research.eu

david.kadlez@tuwien.ac.at

katharina.fuersatz@tuwien.ac.at

Partner: BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH (BEST), TU Wien, LTU Luleå, Wien Energie GmbH, Laakirchen Papier AG, SMS group, Wiener Linien GmbH, Wiener Netze GmbH, OMV Downstream GmbH, Österreichische Bundesforste GmbH

<https://www.best-research.eu/de/kompetenzbereiche/biomassevergasung/projekte/view/611>

5.11. Projekt Akronym: VergRestWert

Projekttitle: Thermal Gasification of low-grade residuals for the production of valuable products and energy

Förderprogramm: Energieforschungsprogramm – 2. Ausschreibung, FFG Projektnummer: 853676

Projektdauer: 2016-2019

Einleitung:

Die thermische Vergasung in DFB-Anlagen ist eine effiziente Technologie zur Erzeugung von Strom und Wärme aus Biomasse und zur Verringerung der Treibhausgasemissionen. Heutzutage produzieren kommerziell betriebene Anlagen meist Strom und Wärme und leiden unter hohen Brennstoffkosten und niedrigen Strompreisen. Vergleichsweise hohe Betriebskosten durch den Einsatz des katalytisch aktiven Bettmaterials Olivin und hohe Entsorgungskosten für die Asche aufgrund der Tatsache, dass Olivin Schwermetalle enthält, wirken sich negativ auf den wirtschaftlichen Betrieb dieser Kraftwerke aus.

Der Wechsel des Bettmaterials zu einem schwermetallfreien Material bietet die Möglichkeit, nährstoffreiche Biomasseasche frühzeitig im Prozess als BioChar zu entfernen und den natürlichen Nährstoffkreislauf zu schließen, indem dieser BioChar als Düngemittel verwendet wird. Aufgrund dieser Prozessänderung kommen bestimmte niedrig schmelzende Aschearten nicht mehr wie bisher im Verbrennungsreaktor in intensiven Kontakt mit Temperaturen von bis zu 900°C, was die Gefahr von Fouling und Agglomeration verringert. Infolgedessen können Brennstoffe mit schlechteren Ascheschmelzeigenschaften als Holz verwendet werden. Die Asche nach dem Verbrennungsreaktor kann als Düngemittel verwendet werden.

Projektziele:

- Identifizieren eines alternativen Bettmaterials
 - Schwermetallfrei
 - Katalytisch aktiv nach Wechselwirkung mit Biomasse-Asche
- Verwendung von BioChar als Düngemittel
 - Niedrigere Temperaturen im Vergleich zu etablierten Betriebsbedingungen, so dass anspruchsvollere Brennstoffe verwendet werden können
- Evaluierung der Eignung von Asche als Düngemittel
- Verwertung von Hühnerstreu als Beispiel für aschereichen Brennstoff geringerer Qualität
- Wirtschaftliche Bewertung des angepassten Verfahrens

Projektergebnisse:

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein K-Feldspat als alternatives Bettmaterial identifiziert und in verschiedenen Reaktorgrößen getestet. Die Nutzung minderwertiger Brennstoffe mit kritischen Aschegehalten sowie Ascheschmelzeigenschaften für den Einsatz in der Wirbelschichtvergasung wurde durch die Verwendung von Hühnermist und Stroh demonstriert. Während der Versuche wurde der Einfluss der Brennstoffasche auf das Bettmaterial, den Betrieb, sowie die katalytische Aktivität während der DFG-Gaserzeugung untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass längere Interaktionen mit Brennstoffasche zur Bildung von

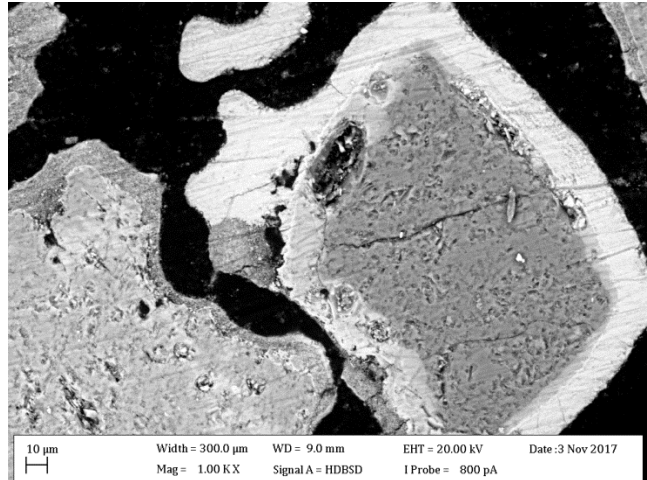


Abbildung 18: Nach innen wachsende Schicht auf Quarz (rechtes Teilchen) mit einer dicken Außenschicht im Vergleich zu einem K-Feldspat-Teilchen (links) mit einer dünneren Außenschicht und keiner erkennbaren nach innen wachsenden Schicht.

Ascheschichten auf dem Bettmaterial führen, welche in weiterer Folge die katalytische Aktivität des Bettmaterials erhöhen. Ebenso konnte gezeigt werden, dass der hohe Phosphorgehalt in Hühnermist die Mechanismen der Schichtbildung beeinflusst und zu anderen Kristallstrukturen in den Ascheschichten führt. Diese P-reichen Ascheschichten sind aber ebenfalls katalytisch aktiv, weshalb P-reiche Brennstoffe ebenfalls für eine Nutzung in der DFB-Gaserzeugung geeignet sind.

Holzkohle- und nährstoffreiche Biomasse-Aschen wurden zusätzlich auf die Verwertung als BioChar als Düngemittel untersucht werden. Die Verwendbarkeit von BioChar wird durch verschiedene Parameter bestimmt. Die Eignung als Düngemittel wird durch den Gehalt an Stickstoff, Phosphor und Kalium quantifiziert. Die Flugkohle wird auf verschiedene Schadstoffgehalte und die Einhaltung zulässiger Grenzwerte geprüft. Untersucht werden Schwermetalle sowie organische Schadstoffe (POP, PAH, PCDD, ...). Die untersuchten Proben hatten einen zu niedrigen Kohlenstoffgehalt, sowie zu hohe Gehalte an einigen Schwermetallen und anderen bedenklichen Stoffen. Die Nutzung als BioChar ist also aus aktueller Sicht derzeit nicht möglich.

Kontakt:

katharina.fuersatz@best-research.eu

josef.fuchs@tuwien.ac.at

Partner: BE-T - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH (BEST), TU Wien, Energy & Chemical Engineering GmbH (2018-2019), Aichernig Engineering GmbH (2016-2018)

<https://www.best-research.eu/de/kompetenzbereiche/biomassevergasung/projekte/view/480>

5.12. Projekt Akronym: ReGas4Industry

Projekttitle: Gase aus regenerativen Reststoffquellen für die Industrie

Förderprogramm: Energieforschung (e!MISSION) 5. Ausschreibung

Projektdauer: 2019-2021

Einleitung:

Im Zuge des Forschungsprojekts ReGas4Industry wird ein Verfahren zur Erzeugung von hochwertigen, synthetischen Sekundärenergieträgern auf Basis von biogenen Festbrennstoffen zum Ersatz von fossilen Energieträgern in der Industrie untersucht. Ziel ist es, ein innovatives Verfahren zu entwickeln, welches eine möglichst effiziente Bereitstellung von Sekundärenergieträgern bei gleichzeitig hohem CO₂-Einsparungspotential unter wirtschaftlich attraktiven Bedingungen ermöglicht. In Kontrast zum Stand der Technik, der die Verwertung hochwertiger und hochpreisiger Holzhackschnitzel vorsieht, wird in diesem Projekt auf die Verwertung von biogenen Rest- und Abfallstoffen gesetzt. Dadurch wird nicht nur der Kreislaufwirtschaftsgedanke gestärkt, sondern aufgrund der niedrigpreisigen Rohstoffe auch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens gesteigert. Als Sekundärenergieträger werden dabei vor allem die Produktion von erneuerbarem Erdgas (SNG, engl.: synthetic natural gas) und Hythan (CH₄+H₂), aber auch flüssige Fischer-Tropsch Produkte (FT-Produkte) betrachtet. Für die effiziente Darstellung dieser Prozesskette, wird auf die Zweibettwirbelschicht-Gaserzeugung (DFB, engl.: dual fluidized bed) mit anschließender Gasreinigung und katalytischer Methan-Synthese im Wirbelschichtverfahren bzw. FT-Synthese gesetzt (siehe Abbildung 19). Zur experimentellen Untersuchung, wird die gesamte Prozesskette im Technikum der TU Wien im Pilotmaßstab aufgebaut und betrieben. Dadurch können aussagekräftige Daten generiert werden, welche eine Bewertung hinsichtlich technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte ermöglicht. Die Erstellung eines

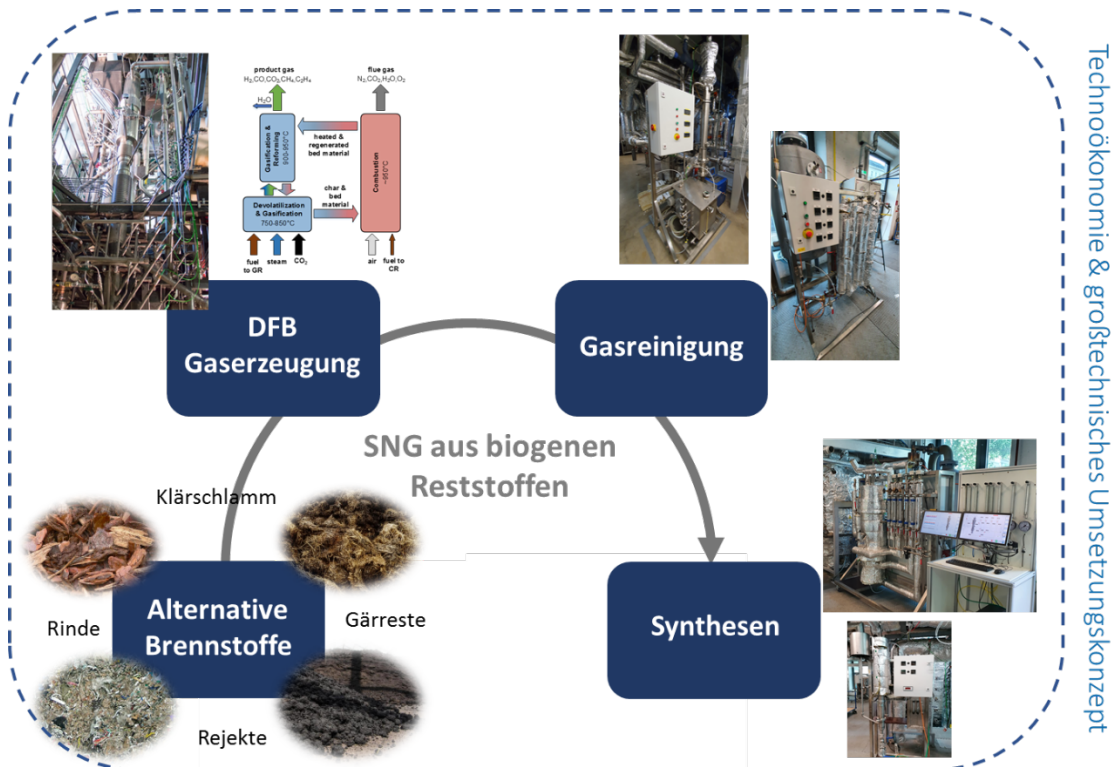


Abbildung 19: Konzept des Projekts ReGas4Industry

größtechnischen Umsetzungskonzepts erlaubt es folglich Aussagen über die industrielle Anwendbarkeit dieses Konzepts zu treffen.

Ergebnisse:

Untersuchungen verschiedener Reststofffraktionen an der 100 kW DFB-Pilotanlage an der TU Wien zeigen, dass die Gaserzeugung aus Brennstoffen wie Rinde, Lignin, Klärschlamm und Gärresten technisch möglich ist. Rinde weist dabei aus technisch-operativer Sicht die besten Eigenschaften auf und bietet gleichzeitig durch das große Aufkommen das größte Substitutionspotential für die Produktion von erneuerbarem Erdgas. Klärschlamm ist trotz des hohen Aschegehalts und des hohen Anteils an Verunreinigungen ebenfalls für die Gaserzeugung und SNG Produktion geeignet. Durch den negativen Preis von Klärschlamm ergibt sich ein ökonomischer Vorteil, nicht nur gegenüber der SNG-Produktion aus hochwertiger Biomasse, sondern auch gegenüber fossilem Erdgas. Das vorhandene Klärschlammpotential in Österreich ist allerdings stark begrenzt, und eine großtechnische Verwertung ist daher nur in Ballungszentren sinnvoll. Aus ökologischer Sicht ergibt sich ein großes CO₂ Einsparungspotential gegenüber fossilem Erdgas, wobei sich Rest-CO₂-Emissionen vor allem aus dem teilweise fossilen österreichischen Strommix und dem Brennstofftransport zur Anlage ergeben.

Die Methan-Synthese wurde in einer neuartigen, einstufigen Wirbelschichtapparatur mit einem eigens dafür entwickelten Katalysator durchgeführt. Es zeigt sich eine hohe mechanische und chemische Beständigkeit des Katalysators bei gleichzeitig guter Aktivität. Neben der Wirbelschicht-Methanierung wurden auch Gasreinigungsapparate, wie ein Biodieselmischer und ein dreistufiger Festbettadsorber im Zuge des Projekts konzipiert und gebaut. Dies ermöglicht den Betrieb der gesamten Prozesskette vom Reststoff bis zum Roh-SNG im Technikum der TU Wien. Zwei umfangreiche Versuchskampagnen demonstrierten erfolgreich die Roh-SNG Produktion von Live-Gas aus der direkt davor geschalteten 100 kW DFB Gaserzeugungsanlage. Neben dem DFB-Betrieb, konnte im Zuge dieser Versuche die gesamte Prozesskette auch in Kombination mit dem SER-Prozess (engl.: sorption enhanced reforming) betrieben werden. Durch diese einzigartige Kombination, konnte der CH₄-Gehalt im Roh-SNG wesentlich erhöht und der Rest-CO₂-Gehalt deutlich gesenkt werden, bei gleichzeitig erhöhtem Kaltgaswirkungsgrad und ähnlichem Kohlenstoffnutzungsgrad im Vergleich zum klassischen DFB-Betrieb.

Ausblick

Aus den Ergebnissen des Projekts ergeben sich Empfehlungen für weitere Handlungsschritte. Aus technischer Sicht, sollte dabei ein Fokus auf die Demonstration eines Langzeitbetriebs gesetzt werden. Dies betrifft sowohl die DFB-Gaserzeugung mit Reststoffen, den SER-Prozess bzw. die Gasreinigungsapparate und die Methan-Synthese. Aus ökologischer und regulativer Sicht ist eine einheitliche Bewertung der Nachhaltigkeit des erzeugten SNG auf internationaler Ebene erstrebenswert. Zusätzlich muss bei der Etablierung von Technologien auf Basis von biogenen Energieträgern auf die regionale Verfügbarkeit der Rohstoffe geachtet werden. Aus ökonomischer Sicht stellen Preisschwankungen sowohl bei den Rohstoffen als auch bei den Produkten ein unkalkulierbares Risiko dar. Langfristige Verträge würden helfen, das wirtschaftliche Risiko zu senken und erneuerbaren Technologien einen Vorsprung zu geben.

Partner:

Technische Universität Wien,
SMS group Process Technologies GmbH,
Energy & Chemical Engineering GmbH

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Energieforschung (e!MISSION)“ durchgeführt. Projektnummer: 881135

<https://energieforschung.at/projekt/gase-aus-regenerativen-reststoffquellen-fuer-die-industrie/>

Kontakt:

florian.benedikt@tuwien.ac.at
alexander.bartik@tuwien.ac.at

5.13. Projekt Akronym: OxyCar-FBC

Projekttitlel: Oxygen Carriers in Fluidized Bed Combustion of Biomass for Higher Efficiency, Reduced Emissions and (or) Negative CO₂

Förderprogramm: 10th Joint Call for Research and Development Proposals of the ERA-NET Bioenergy

Projektdauer: 2017-2020

Einleitung:

In diesem Projekt wurden zwei neue Verfahren zur effizienten und klimafreundlichen Energiegewinnung aus Biomasse untersucht, welche beide auf dem Wirbelschichtverfahren basieren. Eine robuste, flexible und emissionsarme Verbrennungstechnologie, die häufig für die Verbrennung und Vergasung von Biomasse eingesetzt wird. Als Einsatzstoff in der Wirbelschicht dient ein Bettmaterial, in der Regel Quarzsand. Der Hauptansatz in OxyCar-FBC besteht darin, das typische Material teilweise oder ganz durch Metalloxide zu ersetzen, die für den Sauerstofftransport geeignet sind. Diese werden in zwei Verfahren eingesetzt“:

1. "Oxygen Carrier Aided Combustion" (OCAC) un,,
2. "Chemical-Looping Combustion" (CLC).

Bei der OCAC Technologie fungiert dieser Sauerstoffträger als Puffer, der Schwankungen im Brennstofffluss oder in der Brennstoffqualität ausgleichen kann, und zusätzlich transportieren die Metalloxide Sauerstoff zu brennstoffarmen Zonen in der Brennkammer. CLC (siehe Abbildung 20) ist hingegen ein Prozess mit ungemischter Verbrennung, d. h. die Verbrennungsluft hat nie direkten Kontakt zum

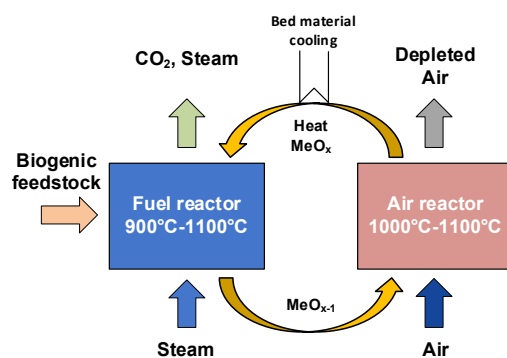


Abbildung 20: Grundprozessschema von Chemical Looping Combustion.

Brennstoff. Die Funktionsweise ist über zwei verbundenen Wirbelschichten gegeben, dem Luftreaktor und dem Brennstoffreaktor, in denen getrennt voneinander Luft- und Brennstoffzufuhr stattfindet. Die Metalloxide haben hierbei die Aufgabe, den Sauerstoff vom Luftreaktor zum Brennstoffreaktor zu transportieren und für die Verbrennung bereitzustellen. Bei CLC verlassen die Verbrennungsprodukte, CO₂ und H₂O, den Prozess in einem separaten Gasstrom. Im Idealfall kann nach der Kondensation von Wasser dadurch reines CO₂ gewonnen werden. Somit ermöglicht das Verfahren eine effiziente Abscheidung von CO₂ aus der Verbrennung. Weiter mögliche Vorteile von CLC sind, Vermeidung von Verschmutzung und Korrosion der Kesselrohre. Durch eine Konzentration der Verunreinigungen wie K, Na, Cl und NO_x im geringeren Abgas des Brennstoffreaktor, kann der überwiegende Teil der Wärmeauskopplung im Luftreaktor stattfinden.

Ergebnisse:

Im Rahmen des Projekts wurden mehrere Metalloxide im tatsächlichen Betrieb in verschiedenen Anlagen untersucht. Dies umfasste sowohl für die Chemical Looping Combustion zusätzlicher mit Sauerstoffauskopplung (CLOU) als auch OCAC. Bei den Anlagen handelt es sich um eine 300 W Laboranlage für gasförmige Brennstoffe, die für das Screening der Materialien verwendet wurde, drei

CLC-Anlagen für feste Brennstoffe mit einer thermischen Leistung von 10 kW, 80 kW (siehe Abbildung 21) und 100 kW, einen Kessel mit 10 MW mit zirkulierender Wirbelschicht und einen 100 MW-Kessel mit blasenbildender Wirbelschicht. Bei den untersuchten Materialien wurde der Fokus auf kostengünstigen Metalloxiden gelegt. Zum Einsatz kamen Erze, wie Ilmenit, verschiedene Manganerze und Reststoffe wie LD-Schlacke, ein Abfallprodukt der Stahlindustrie.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Manganerze das Potenzial haben, eine bessere Umwandlung zu erzielen als der Standardsauerstoffträger Ilmenit, wobei die Stabilität der Manganerze im Betrieb geringer ausfiel. Für LD-Schlacke wurde ebenfalls eine gute Leistung festgestellt. Diese wurde für OCAC in einer zweiwöchigen Kampagne in der 10 MW Anlage verwendet, wobei sich das Material gut als Bettmaterial eignete und zu keinem Zeitpunkt Probleme mit Materialhandhabung, Agglomeration oder Sinterung auftraten. Die Schlacke wurde durch die Biomasse-Asche nicht deaktiviert und behielt ihre Reaktivität weitgehend bei.

Conclusio und Ausblick:

Zusammenfassend wurden in dem Projekt wichtige Erfahrungen und ein besseres Verständnis des CLC und OCAC Betriebs mit biogenen Brennstoffen unter Verwendung neuartiger Sauerstoffträger erlangt. Die erzielten Ergebnisse zeigen deutlich die Möglichkeit für negative CO₂-Emissionen durch den CLC Prozess. Im Rahmen des Projekts wurde ebenfalls ein neuartiges Reaktordesign untersucht, wodurch die Umwandlung von Brennstoff, durch eine Verbesserung des Kontakts zwischen Gas und Sauerstoffträgern, verbessert wird. Darüber hinaus wurde eine technoökonomische Studie durchgeführt, die den Entwurf eines 100 MW CLC Kessels umfasste. Die Studie bestätigt die potenziell sehr niedrigen Kosten der CO₂-Abscheidung. Ein Vergleich mit Referenzanlagen ergibt die geringen Mehrkosten von 5 €/Tonne CO₂. Die zusätzlichen Kosten für die Aufbereitung des CO₂, um es einer Speicherung zu zuführen, z. B. Oxy-Polishing und Kompression, würden in etwa weitere 15 €/Tonne CO₂ ausmachen. Die berechneten Kosten sind bei CLC um die Hälfte geringer als für konkurrierenden Technologien.

Das Versäumnis, Treibhausgasemissionen angemessen zu reduzieren, hat dazu geführt, dass das CO₂-Budget für wichtige Klimaziele bald aufgebraucht ist. Um das Erreichen der Klimaziele zu gewährleisten, müssen große Mengen an negativem biogenen CO₂ unter Verwendung von Kohlenstoffabscheidung und Speicherung aus Bioenergie (BECCS) erzielt werden. Da BECCS mit herkömmlichen CO₂-Abscheidungstechnologien mit hohen Kosten und Energieverlusten verbunden ist, bietet sich die CLC als effiziente Technologie an.

Partner:

Technische Universität Wien (A), Bertsch Energy (A)

Chalmers University of Technology (S), Göteborg Energi (S)

Das Projekt wurde im Kern des ERA-NET Bioenergieprogramms "10th Joint Call for Research and Development Proposals 40th ERA-NET Bioenergy" mit finanzieller Unterstützung von: dem österreichischen Klima- und Energiefonds und der Schwedischen Energieagentur „Research and Innovation Department“ durchgeführt.

<https://energieforschung.at>

Kontakt:

Benjamin.Fleiss@tuwien.ac.at

Anders.Lyngfelt@chalmers.se



Abbildung 21: 80 kW Pilot Anlage an der TU Wien für Chemical Looping Combustion.

5.14. Projekt Akronym: Heat-To-Fuel



Projekttitel: Biorefinery combining HTL and FT to convert wet and solid organic, industrial wastes into 2nd generation biofuels with highest efficiency — Heat-To-Fuel

Förderprogramm: European Union Horizon 2020, H2020-LCE-2017-RES-CCS-RIA, Development of next generation biofuel technologies

Projektdauer: 2017-2022

Einleitung:

Kraftstoffe für den Transportsektor entsprachen 2013 31,6 % des gesamten Energieverbrauchs in Europa. Die Energiebereitstellung dieser hängt zu einem großen Teil vom Import fossiler Brennstoffe ab, wobei Diesel und Kerosin den größten Anteil der Kraftstoffe für schwere Lastkraftwagen bzw. den Luftverkehr ausmachen. Eine dekarbonisierte Produktion von Diesel und Kerosin als Alternative zu fossilen Kraftstoffen ist wichtig, um CO₂-Emissionen dieser Verkehrssektoren zu reduzieren. Heat-To-Fuel (HtF) ist ein wichtiges Projekt im EU-Forschungsprogramm, um effiziente Technologien und Prozesse zu entwickeln, um künftig eine dekarbonisierte Kraftstoffherzeugung für den Verkehrssektor bereitzustellen.

Fischer-Tropsch (FT) und Aqueous Phase Reforming (APR) sind vielversprechende Technologien für die effiziente Produktion der 2. Generation an Biokraftstoffen. Eine aktuell zu geringe Wirtschaftlichkeit bremst eine breitflächige Implementierung. Die innovative Kombination eines APR mit einem FT-Reaktor ist die Grundlage, um diese Barriere zu überwinden.

Ziele:

Das Projekt strebt folgende Zielstellungen an:

- Bereitstellung von wettbewerbsfähigen Technologien, um Biokraftstoffpreise unter 1 Euro/Liter zu erzielen. Erreichung einer Kostenreduktion von 20 % der Biokraftstoff-Produktionsprozesse;
- Verbesserung der Qualität des Biokraftstoffs in Form einer Reduktion der Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus von 5 %;
- Beitrag zur Erreichung der EU-Energiesicherheitsziele durch Erhöhung des Anteils lokaler Ressourcen zur Energieerzeugung und damit Verringerung der Abhängigkeit der EU-Energieimporte;
- Unterstützung der lokalen Wirtschaft in Form der Schaffung von –0 - 100 direkte und 250 indirekte Arbeitsplätze für jede gebaute Heat-To-Fuel Bioraffinerie;
- Nachweis der technologischen Machbarkeit und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit, welche als Katalysator für zukünftige Industrieeinheiten fungiert.



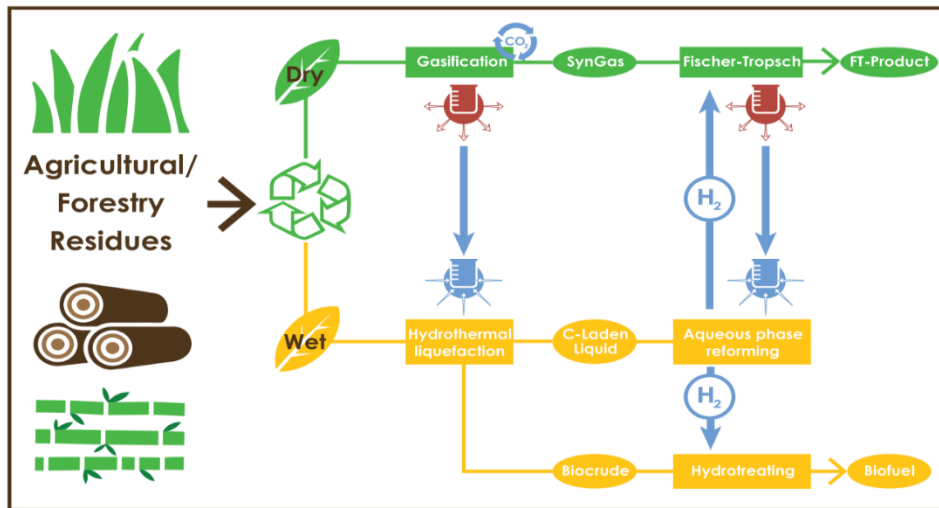


Abbildung 22: Heat-To-Fuel-Prozessschema, Darstellung der trockenen und nassen Prozessroute.

Ergebnisse:

Wie im HtF-Prozessschema gezeigt (vgl. Abbildung 22) werden land- und forstwirtschaftliche Reststoffe in eine „trockene“ und eine „nasse“ Prozess-Route aufgegeben. Das Verfahren kann jegliche Biomasse als Rohstoffe nutzen, mit kleinen Einschränkungen bezüglich der physikalisch-chemischen Eigenschaften der entstehenden Asche bei der Gaserzeugung in der trockenen Route.

Im Allgemeinen braucht die thermische Umwandlung von organischen Abfallstoffen große Mengen an Wasserstoff, deshalb besteht in der Produktion von Wasserstoff aus Kohlenstoff-beladener Flüssigkeit großer Nutzen. Diese fällt in der nassen Prozessroute durch Hydrothermal Liquefaction an und kann bequem mittels Aqueous Phase Reforming zur Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff verwendet werden. Durch Wärmeintegration kann, die in der nassen Route benötigte Enthalpie durch die exotherm bilanzierenden Prozesse der trockenen Route bereitgestellt werden.

Die übergreifenden Zielstellungen des Projekts werden dank der Integration neuartiger Technologien zusammen mit innovativen Ansätzen in Design, Modellierung, Entwicklung von Hardware und Prozessen, Tests und Lebenszyklusanalysen in Form eines vollständig integrierten Systems erreicht.

Conclusio und Ausblick:

Das im Projekt erworbene Know-how wird eine Skalierbarkeit des Prozessschemas auf Demonstrationsebene vor der Kommerzialisierung ermöglichen, welche für die nächsten Generationen nachhaltiger Biokraftstofftechnologien repräsentativ ist. Die Marktreife der Heat-To-Fuel Bioraffinerie wird in etwa 7 Jahren nach Projektende erwartet.

Kontakt:

stefan.mueller@tuwien.ac.at
martin.hammerschmid@tuwien.ac.at

<https://www.heattofuel.eu/>

Partner:

Güssing Energy Technologies GmbH (AT), Fundacio Institut de Recerca de l'Energia de Catalunya (ES), Consorzio per la Ricerca e la Dimostrazione Sulle Energie Rinnovabili (IT), Commissariat a l'Energie Atomique et Aux Energies Alternatives (FR), Johnson Matthey PLC (UK), Skupina Fabrika Raziskave in Razvoj doo (SI), Politecnico di Torino (IT), Technische Universität Wien (AT), BEST GmbH (AT), Instytut Chemicznej Przerobki Węgla (PL), Beta Renewables SPA (IT), KHIMOD (RU), CENISO Ricerca Fiat SCPA (IT), R2M Solution SPAIN SL (ES)



5.2. Literaturverzeichnis

Azam, M. *et al.* (2019) 'Comparison of the characteristics of fly ash generated from bio and municipal waste: Fluidized bed incinerators', *Materials*, 12(7). Available at: <https://doi.org/10.3390/ma12172664>.

Benedikt, F. *et al.* (2018) 'Fuel flexible gasification with an advanced 100 kW dual fluidized bed steam gasification pilot plant', *Energy*, 164, pp. 329–343. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.146>.

Doschek, K. and Raupenstrauch, H. (2016) 'Forschungsvorhaben zur Wärmerückgewinnung mittels Trockenschlackengranulation 2.0 - Umsetzung', pp. 767–768. Available at: [https://pure.unileoben.ac.at/portal/en/publications/forschungsvorhaben-zur-warmeruckgewinnung-mittels-trockenschlackengranulation-20-umsetzung\(9cc26d0d-14b4-4f2c-8d8a-be240de2edd4\).html](https://pure.unileoben.ac.at/portal/en/publications/forschungsvorhaben-zur-warmeruckgewinnung-mittels-trockenschlackengranulation-20-umsetzung(9cc26d0d-14b4-4f2c-8d8a-be240de2edd4).html).

Doschek-Held, K. and Raupenstrauch, H. (2020) 'Hochtemperaturprozesstechnik', *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 165(7), pp. 289–296. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00501-020-00993-0>.

Flegkas, S. *et al.* (2018) 'Fluidized bed reactors for solid-gas thermochemical energy storage concepts - Modelling and process limitations', *Energy*, 143, pp. 615–623. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.065>.

Flegkas, Stylianos *et al.* (2018) 'Simulation Study of the Bubble Behavior in Fluidized Bed Reactors with Internal Horizontal Tubes and their effect on Thermochemical Heat Storage Systems'.

Jahromy, S.S. *et al.* (2019) 'Comparing fly ash samples from different types of incinerators for their potential as storage materials for thermochemical energy and CO₂', *Materials*, 12(20). Available at: <https://doi.org/10.3390/ma12203358>.

Mauerhofer, A.M. *et al.* (2019) 'Dual fluidized bed steam gasification: Change of product gas quality along the reactor height', *Energy*, 173, pp. 1256–1272. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.025>.

Naydenova, I. *et al.* (2020) 'Pollutants formation during single particle combustion of biomass under fluidized bed conditions: An experimental study', *Fuel*, 278. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117958>.

Winter, F. *et al.* (2017) *Efficient Utilization of Resources: Fluidized bed technology as a key technology*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/324594352>.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Die Stakeholder/-innen der Wirbelschichttechnologie in Österreich setzen sich aus den Anlagenbetreibern/-innen, Firmen im Anlagenbau und Forschungsinstitute zusammen.

Die Betreiber/-innen von den Wirbelschichtanlagen kommen aus Branchen wie die Papier- und Zellstoffindustrie, der Abfallverwertung und der Biomassenutzung und sind meistens international tätig. Ihr Ziel ist es ihre Anlagen möglichst effizient und ökonomisch zu betreiben.

Österreichische Anlagenbauunternehmen helfen mit ihrem Know-How weltweit bei der Planung, Entwicklung und dem Bau von Wirbelschichtanlagen.

In Österreich wird ebenfalls viel an oder mit Wirbelschichttechnologie geforscht. In Kapitel 5 sind Berichte zu Forschungsprojekten von der TU Wien, Montanuniversität und Forschungsorganisationen zu finden, welche einen Einblick in die aktuelle Forschung geben sollen.

Diese Gruppen bilden die Stakeholder/-innen in Österreich und die Zielgruppe des IEA Technologie – Kooperationsprogramm.

Das IEA Wirbelschichttechnologie Technologie – Kooperationsprogramm dient als Veranstalter des jährlich stattfindenden österreichischen Wirbelschichttreffens, hierbei nehmen Vertreter/-innen aus allen Gruppen teil. Durch das Wirbelschichttreffen werden Informationen ausgetauscht und Zielgruppen miteinander vernetzt.

Insgesamt gab es 3 Wirbelschichttreffen, wobei eine Teilnehmeranzahl von bis zu 40 Personen erreicht wurde. Jedes Treffen wurde in Zusammenarbeit mit einem Anlagenbetreiber/-innen veranstaltet, welcher neben Vorträgen auch eine Exkursion ihrer Anlage beigetragen hat. Hier wollen wir nochmals den Firmen Energie Burgenland, Energie AG, Norske Skog, und Enages danken.

Im Laufe des Projektes wurde an den folgenden Technical Sessions und 6 EXCO Meetings teilgenommen.

- 74th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting, Ort: Cracow/Polen, 21.-22.05. 2017
Schwerpunkt: CO2 Reduction using Fluidized bed Technologies
- 75th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting, Ort: Skive/Dänemark, 23.-25.10. 2017
Schwerpunkt: Fluidized Bed Conversion of Solid Fuels in conjunction with IEA Bioenergy Task 33
- 76th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting, Ort: Seoul/Korea, 13.-15.05. 2018
Schwerpunkt: Fluidized bed conversion of low-quality coal and waste fuels
- 77th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting, Ort: Bari/Italien, 18.–19.10. 2018
Schwerpunkt: Long-term FBC operational experience
- 78th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting, Ort: Guilin/China, 25.-26.05. 2019
Schwerpunkt: Biomass and Waste Utilization in Fluidized Bed
- 79th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting, Ort: Wien/Österreich, 16-18.10. 2019
Schwerpunkt: Waste utilization in FB in a circular economy

Eine Auflistung der Veranstaltungen kann in Kapitel 9 oder auf [ieafbc.org/Past Events](http://ieafbc.org/Past%20Events) gefunden werden.

Zum Schluss noch ein kurzer Überblick von Publikationen, welche einen großen Beitrag für die Wirbelschichttechnologie in Österreich geleistet haben.

Der Vortrag „Efficient Utilization of Resources: Fluidized Bed Technology as a Key Technology" wurde bei der 17 Industrial Fluidization South Africa (IFSA) gehalten und befasst sich der effizienten Ressourcennutzung durch die Fluidbett-Technologie. Der Vortrag unterstreicht die Bedeutung einer nachhaltigen Ressourcenverwaltung.(Winter *et al.*, 2017)

In dem Artikel „Fluidized bed reactors for solid-gas thermochemical energy storage concepts - Modelling and process limitations" wird ein Model, zur Simulation und Analyse der thermochemischen Energiespeicherung mit Wirbelschichtreaktoren, erklärt. (S. Flegkas *et al.*, 2018)

Die Studie „Comparing Fly Ash Samples from Different Types of Incinerators for Their Potential as Storage Materials for Thermochemical Energy and CO₂, Materials“ untersucht die Eignung von Flugasche aus Verbrennungsanlagen, als Speichermaterialien für thermochemische Energie und CO₂. (Jahromy *et al.*, 2019)

In „Pollutants formation during single particle combustion of biomass under fluidized bed conditions: An experimental study“ werden die Schadstoffemissionen untersucht, die bei der Verbrennung von Biomasse in einem Wirbelbett entstehen. (Naydenova *et al.*, 2020)

„Comparison of the Characteristics of Fly Ash Generated from Bio and MunicipalWaste: Fluidized Bed Incinerators" vergleicht die Eigenschaften von Flugasche aus Biomasse- und kommunalen Abfallverbrennungsanlagen hinsichtlich ihrer Eignung als Rohstoff für die Energiespeicherung.(Azam *et al.*, 2019)

Die Arbeit „Simulation Study of the Bubble Behavior in Fluidized Bed Reactors with Internal Horizontal Tubes and their effect on Thermochemical Heat Storage Systems" wurde 2018 bei der 23rd International Conference on FBC in Seoul Korea vorgetragen und untersucht die Auswirkungen der Anordnung der horizontalen Wärmetauscherrohre auf den Reaktionsumsatz. (Stylianios Flegkas *et al.*, 2018)

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Das IEA Wirbelschichttechnik (FBC) Technologie – Kooperationsprogramm ist ein aktives Agreement, mit einem kontinuierlich wachsenden Netzwerk und wird eine zentrale Rolle in der Entwicklung der Wirbelschichttechnologie spielen. Die Attraktivität der Wirbelschichttechnologie spiegelt sich in den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten in der Energieverfahrenstechnik. Sie ermöglicht die Bewältigung von vielfältigen Herausforderungen, wie der optimalen Verwertung verschiedener Brennstoffe (Reststoffe aus der Papier- und Zellstoffindustrie, Abfall, Biomasse, Klärschlamm, etc.), während im Rahmen des wirtschaftlichen Wettbewerbs Schadstoff- und Kohlendioxidemissionen reduziert werden. Die Wirbelschicht können auch einen wichtigen Beitrag zur Abscheidung von Kohlendioxid durch Oxyfuel-Verbrennung leisten. Bei der Chemical Looping Combustion (CLC) findet die Verbrennung separat im Fuel-Reaktor statt und es wird eine Wirbelschicht verwendet, um einen kohlendioxidreichen Abgasstrom zu erzeugen, der leichter zu trennen ist.

In Österreich sind alle Akteure/-innen aus dem Gebiet der Wirbelschicht gut vertreten, darunter Forschung und Lehre, Anlagenbetreiber/-innen und Anlagenhersteller/-innen sowie Ministerien und Behörden. Mehrere Großkonzerne haben einen Standort in Österreich, wo Wirbelschichtanlagen betrieben werden und österreichische Anlagenhersteller/-innen sind weltweit aktiv bei der Verwirklichung von Wirbelschichtanlagen involviert. Anhand der steigenden Anzahl von wissenschaftlichen Artikeln aus Österreich ist ebenfalls ein steigendes Interesse von Forschungseinrichtungen an der Wirbelschichttechnologie und ihren Einsatzmöglichkeiten erkennen. Eine gute Vernetzung aller Bereiche ist die beste Möglichkeit von der Wirbelschichttechnologie zu profitieren.

Das IEA Technical Kooperationsprogramm bietet ein wertvolles Netzwerk, national und international, das als Basis für den zukünftigen Erfolg in der Branche angesehen werden kann. Aus den oben genannten Gründen wird eine weitere Teilnahme empfohlen.

8 Verzeichnisse

8.1. Literaturverzeichnis

JongMin Lee et al. 2017: *DEVELOPMENTS IN FLUIDIZED BED CONVERSION DURING 2011-2016 A summary from the member countries of the IEA-FBC technology collaboration programme*, [Country Report 2011-2016 \(ieafbc.org\)](http://www.ieafbc.org/Country-Report-2011-2016)

NEUHOLD, Robert ; FENZL, Thomas ; RUMMER, Bernhard ; ALGERMISSEN, David ; DOSCHEK-HELD, Klaus: *Forschungsvorhaben zur Wärmerückgewinnung mittels Trockenschlackengranulation - FORWÄRTS 2.0*, Publizierbarer Endbericht. URL <https://energieforschung.at/wp-content/uploads/sites/11/2020/12/853550-FORWAeRTS-2-0-Publizierbarer-Endbericht.pdf>. –

Aktualisierungsdatum: 2019 – Überprüfungsdatum 2022-04-25

DOSCHEK-HELD, Klaus ; RAUPENSTRAUCH, Harald: *Hochtemperaturprozesstechnik*. In: *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* 165 (2020), Nr. 7, S. 289–296. URL <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00501-020-00993-0.pdf> – Überprüfungsdatum 2021-10-05

Benedikt, F., J. C. Schmid, J. Fuchs, A. M. Mauerhofer, S. Müller, and H. Hofbauer. "Fuel flexible gasification with an advanced 100 kW dual fluidized bed steam gasification pilot plant." *Energy* 164 (2018): 329-343.

Mauerhofer, A. M., J. C. Schmid, F. Benedikt, J. Fuchs, S. Müller, and H. Hofbauer. "Dual fluidized bed steam gasification: change of product gas quality along the reactor height." *Energy* 173 (2019): 1256-1272

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 [http://www.ieafbc.org/Past Events](http://www.ieafbc.org/Past-Events).

Pröll, T., Kolbitsch, P., Bolhàr-Nordenkamp, 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, Brunn, Tschechische Republik. Siehe unter <http://www.ieafbc.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 <http://www.ieafbc.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.ieafbc.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

Azam, M. et al. (2019) 'Comparison of the characteristics of fly ash generated from bio and municipal waste: Fluidized bed incinerators', *Materials*, 12(7). Available at: <https://doi.org/10.3390/ma12172664>.

Benedikt, F. et al. (2018) 'Fuel flexible gasification with an advanced 100 kW dual fluidized bed steam gasification pilot plant', *Energy*, 164, pp. 329–343. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.146>.

Doschek, K. and Raupenstrauch, H. (2016) 'Forschungsvorhaben zur Wärmerückgewinnung mittels Trockenschlackengranulation 2.0 - Umsetzung', pp. 767–768. Available at: [https://pure.unileoben.ac.at/portal/en/publications/forschungsvorhaben-zur-warmeruckgewinnung-mittels-trockenschlackengranulation-20-umsetzung\(9cc26d0d-14b4-4f2c-8d8a-be240de2edd4\).html](https://pure.unileoben.ac.at/portal/en/publications/forschungsvorhaben-zur-warmeruckgewinnung-mittels-trockenschlackengranulation-20-umsetzung(9cc26d0d-14b4-4f2c-8d8a-be240de2edd4).html).

Doschek-Held, K. and Raupenstrauch, H. (2020) 'Hochtemperaturprozesstechnik', *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 165(7), pp. 289–296. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00501-020-00993-0>.

Flegkas, S. et al. (2018) 'Fluidized bed reactors for solid-gas thermochemical energy storage concepts - Modelling and process limitations', *Energy*, 143, pp. 615–623. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.065>.

Flegkas, Stylianos *et al.* (2018) 'Simulation Study of the Bubble Behavior in Fluidized Bed Reactors with Internal Horizontal Tubes and their effect on Thermochemical Heat Storage Systems'.

Jahromy, S.S. *et al.* (2019) 'Comparing fly ash samples from different types of incinerators for their potential as storage materials for thermochemical energy and CO₂', *Materials*, 12(20). Available at: <https://doi.org/10.3390/ma12203358>.

Mauerhofer, A.M. *et al.* (2019) 'Dual fluidized bed steam gasification: Change of product gas quality along the reactor height', *Energy*, 173, pp. 1256–1272. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.025>.

Naydenova, I. *et al.* (2020) 'Pollutants formation during single particle combustion of biomass under fluidized bed conditions: An experimental study', *Fuel*, 278. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117958>.

Winter, F. *et al.* (2017) *Efficient Utilization of Resources: Fluidized bed technology as a key technology*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/324594352>.

8.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl von wissenschaftlichen Artikeln mit dem Begriff "fluidized bed", nach Jahren aufgeteilt. Österreichischer Beitrag entspricht der Höhe der schwarzen Säulen.....	9
Abbildung 2: Aufreihung der beitragenden Länder nach der Anzahl von wissenschaftlichen Artikeln dividiert durch den hunderttausendsten Einwohner.....	10
Abbildung 3: Wärmeleistung von BFBC- und CFBC-Anlagen aus einer Auswahl österreichischer Anlagen	11
Abbildung 4: Anzahl von BFBC und CFBC Anlagen gruppiert nach der Wärmeleistung	12
Abbildung 5: HYFOR® Pilotanlage am Standort der voestalpine Stahl Donawitz GmbH.....	15
Abbildung 6: Industrielles Anlagenkonzept der Trockenschlackengranulation mit Wärmerückgewinnung [1].....	17
Abbildung 7: Konzept der Syngas Plattform Wien	19
Abbildung 8: Reactor design of 100 kW DFB pilot plant at TU Wien	20
Abbildung 9: Der 1 MW DFB Gaserzeuger der Syngas Plattform Wien	21
Abbildung 10: Schema einer Power-to-Liquid-Anlage zur Herstellung von grünem Methanol.....	22
Abbildung 11: Hochdruck-Kinetikapparatur zur Untersuchung von Katalysatoren am Institut für Verfahrenstechnik, TU Wien.	23
Abbildung 12: Kreislaufwirtschaft in der Land- und Forstwirtschaft durch die Produktion von Holzgas und Holzdiesel	25
Abbildung 13: Fließbild des Prozesses vom Rohprodukt Klärschlamm bis zum Produktgas	27
Abbildung 14: Schema der Umwandlung von pelletiertem und nicht pelletiertem Weizenstroh-Lignin in Wirbelschichten.....	28
Abbildung 15: Kerze aus Fischer-Tropsch Biowachs (Beispielhaft für industrielle Anwendung)	31

Abbildung 16: Bau der 1 MW-DFB-Gaserzeugungsanlage in Wien Simmering	34
Abbildung 17: Nach innen wachsende Schicht auf Quarz (rechtes Teilchen) mit einer dicken Außenschicht im Vergleich zu einem K-Feldspat-Teilchen (links) mit einer dünneren Außenschicht und keiner erkennbaren nach innen wachsenden Schicht.	36
Abbildung 18: Konzept des Projekts ReGas4Industry	37
Abbildung 19: Grundprozessschema von Chemical Looping Combustion.....	39
Abbildung 20: 80 kW Pilot Anlage an der TU Wien für Chemical Looping Combustion.	40
Abbildung 21: Heat-To-Fuel-Prozessschema, Darstellung der trockenen und nassen Prozessroute. ...	42

8.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung einer Auswahl von Wirbelschichtanlagen in Österreich (BFBC ... blasenbildende Wirbelschicht, CFBC ... zirkulierende Wirbelschicht, RFBC ... rotierende Wirbelschicht).....	11
--	----

8.4. Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
Art.	Artikel
usw.	und so weiter
ges.	Gesamt
ö.	österreichische
IEA	Implementing Agreement
TCP	Technologie Kooperationsprogramm
MW	Megawatt
FB	Fluidized bed conversion
BFBC	blasenbildende Wirbelschicht
CFBC	zirkulierende Wirbelschicht
RFBC	rotierende Wirbelschicht

Keine Indexeinträge gefunden.

9 Liste der Ergebnisse

- Website: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/fbc/iea-fbc-arbeitsperiode-2013-2016.php>
- Zum Nachlesen der einzelnen Technischen Sessions siehe: <http://www.ieafbc.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)

IEA-FBC Technische Sessions mit EXCO Meeting und Schwerpunkten:

- 74th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting Cracow, Poland 21.-22.05. 2017
CO2 Reduction using Fluidized bed Technologies
- 75th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting Skive, Denmark 23.-25.10. 2017
Fluidized Bed Conversion of Solid Fuels in conjunction with IEA Bioenergy Task 33
- 76th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting Seoul, Korea 13.-15.05. 2018
Fluidized bed conversion of low-quality coal and waste fuels
- 77th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting Bari, Italy 18.-19.10. 2018
Long-term FBC operational experience
- 78th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting Guilin, China 25.-26.05. 2019
Biomass and Waste Utilization in Fluidized Bed
- 79th IEA-FBC Technische Session und EXCO Meeting Vienna Austria 16-18.10. 2019
Waste utilization in FB in a circular economy

Workshops in Österreich:

- Workshop mit Anlagenbesuch vom 26. - 28. April 2017 in Bad Blumau
- Workshop mit Anlagenbesuch vom 11. – 13. April 2018 in Timelkam
- Workshop mit Anlagenbesuch vom 03. - 05. April 2019 in Bruck an der Mur

Publikationen

- F. Winter, J. Schmid, S. Penthor, G. Schöny, R. Rauch, M. Swoboda, A. Reichhold, H. Hofbauer:
"Efficient Utilization of Resources: Fluidized Bed Technology as a Key Technology";

Hauptvortrag: IFSA 2017 Industrial Fluidization South Africa, Johannesburg, Südafrika; 04.10.2017 - 05.10.2017; in: "Proceedings", (2017), ISBN: 978-1-920410-98-8

- S. Flegkas, F. Birkelbach, F. Winter, N. Freiburger, A. Werner: "Fluidized bed reactors for solid-gas thermochemical energy storage concepts - Modelling and process limitations"; Energy, 143 (2018)
- Setoodeh Jahromy, S.; Azam, M.; Huber, F.; Jordan, C.; Wesenauer, F.; Huber, C.; Naghdi, S.; Karolina Schwendtner, K.; Neuwirth, E.; Laminger, T.; Eder, D.; Werner, A.; Harasek, M.; Winter, F.: Comparing Fly Ash Samples from Different Types of Incinerators for Their Potential as Storage Materials for Thermochemical Energy and CO₂, Materials, 2019, Vol. 12, 3358, DOI:10.3390/ma12203358
- Naydenova, I.; Sandov, O.; Wesenauer, F.; Laminger, T.; Winter, F.: Pollutants formation during single particle combustion of biomass under fluidized bed conditions: An experimental study, Fuel, 2020, Vol 278. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117958>
- M. Azam, S. Setoodeh Jahromy, W. Raza, F. Wesenauer, K. Schwendtner, F. Winter: "Comparison of the Characteristics of Fly Ash Generated from Bio and Municipal Waste: Fluidized Bed Incinerators"; Materials, 12 (2019)

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

bmk.gv.at