



watt²

leistungsstarke und energieeffiziente Industrie

**Die Heuschrecke [ORTHOPTERA] gehört zur Ordnung der Insekten (INSECTA). Sie umfasst mehr als 26.000 Arten und kommt weltweit in allen terrestrischen Lebensräumen, mit wenigen Arten auch im Süßwasser, vor. Einige pflanzenfressende (phytophage) Arten neigen zu Massenvermehrungen und sind, vom Altertum bis heute, von hoher ökonomischer Bedeutung.*

VORWORT

Seite 03

Produktgas aus Biomasse

Seite 05

Im Rahmen des Projektes wird die Erzeugung von Produktgas aus Biomasse mittels „Sorption Enhanced Reforming“-Prozess untersucht. Zukünftig soll das untersuchte Verfahren die Substitution von Erdgas durch Biomasse ermöglichen und so zur Verbesserung klimarelevanter Emissionen beitragen.

SolarBrew - Solar Brewing the Future

Seite 11

Prozessintegration von Solarthermie an drei Standorten in Europa: bei Trocknungsprozess einer Mälzerei in Portugal, in den Maisch-Prozess der Brauerei Gösser in Österreich und in den Pasteurisations-Prozess einer Brauerei in Spanien.

Wärmepumpen für den industriellen Einsatz

Seite 21

Der Einsatz von Hochtemperatur-Wärmepumpen zur industriellen Wärmerückgewinnung ermöglicht die Einsparung fossiler Brennstoffe und CO₂-Emissionen. Ziel ist die Entwicklung einer Hybrid-Wärmepumpen-Technologie für den dezentralen industriellen Einsatz mit Nutz-Temperaturen über 100°C.

Energieeffiziente Kraftpapierproduktion

Seite 29

Durch intelligente Sensoren und neue Systemkonzepte wird ein Verfahren zur Papierherstellung entwickelt, welches die Ressourceneffizienz auf der Energieseite als auch auf der Rohstoffseite signifikant hebt. Ziel ist die Einsparung von Energie bei der Produktion Hochleistungsverpackungspapieren.

FORWÄRTS - Forschungsvorhaben zur Wärmerückgewinnung mittels Trockenschlackegranulation

Seite 35

Ziel ist die Weiterentwicklung eines Verfahrens, in dem heiße Schlacke einerseits trocken zu granulieren um ein Produkt mit gleichen oder besseren Eigenschaften gegenüber dem herkömmlichen Hüttensand zu erzeugen, und andererseits gleichzeitig die thermische Energie der Schlacke für Wärmerückgewinnung zu nutzen.

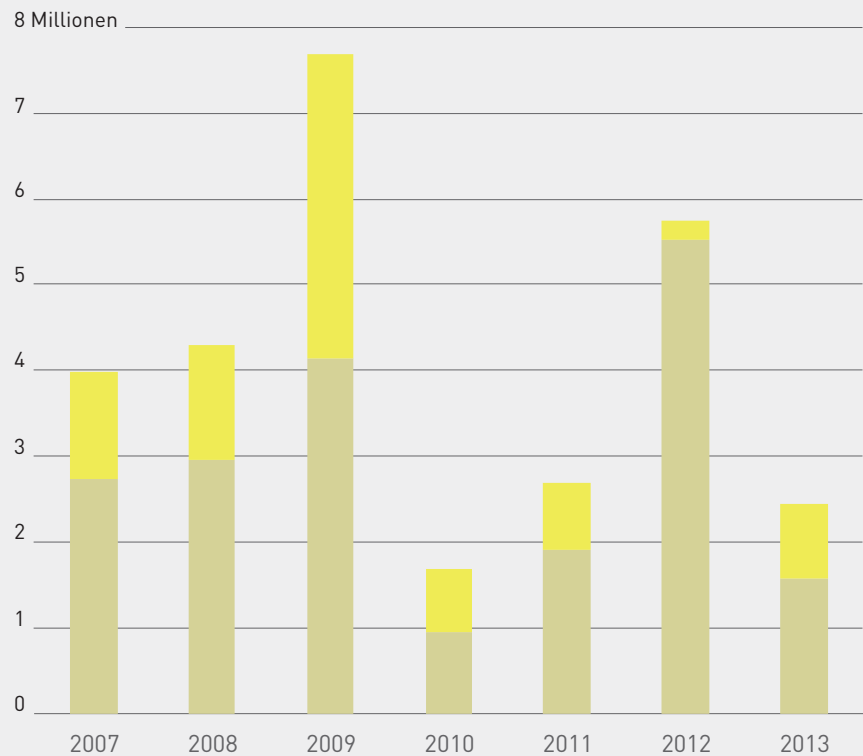
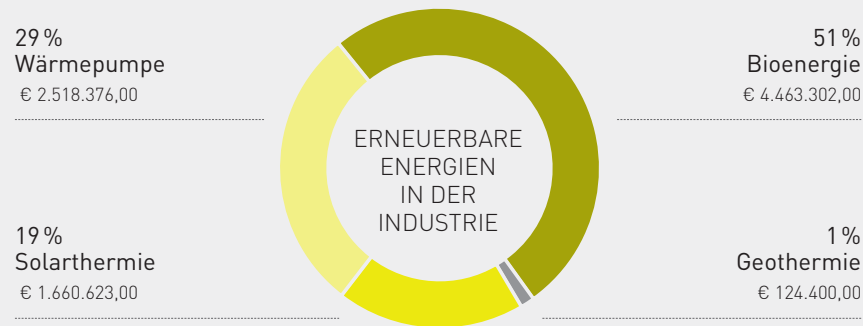
RED - Reduzierende Kalzinierung

Seite 41

Bei der reduzierend durchgeführten Kalzinierung werden nicht nur Kohlendioxidemissionen erheblich verringert, sondern auch ein kohlenwasserstoffhaltiges Prozessgas erzeugt. Dadurch wird im Prozess zusätzlich Wertschöpfung generiert.

Alle geförderten Projekte im Überblick

Seite 46



Klima- und Industriepolitik sind miteinander vereinbar. Dank Energieforschung!

Die Optimierung des Energieeinsatzes ist eine Daueraufgabe für die Industrie. Das heißt insbesondere die **Energiekosten zu senken, den Wirtschaftsstandort Österreich zu stärken, Arbeitsplätze zu schaffen und das Klima global zu schützen.**

Die österreichische Industrie gehört zu den energieeffizientesten weltweit und hat in der Vergangenheit bereits in eine Vielzahl von emissionsmindernden Maßnahmen investiert. Weitere Maßnahmen stellen eine große Herausforderung für die Unternehmen dar, erfordern hohe Investitionen und sind durch thermodynamische Naturgesetze nur begrenzt möglich.

Seit 2007 hat der Klima- und Energiefonds die österreichische Industrie mit rund 29 Millionen Euro Förderung dabei unterstützt neue Verfahren zu entwickeln und in die betriebliche Praxis überzuführen. Forschungsbedarf ergibt sich bei der effizienten Gestaltung von Produktionsprozessen durch die Entwicklung und den Einsatz neuer Verfahren und Materialien, sowie bei der Entwicklung der dazu notwendigen Prozess- und Anlagentechnik. Betrachtet werden Prozesse basierend auf chemischer, thermischer, mechanischer und elektrischer Energie entlang der gesamten Prozesskette.

Eine aufschlussreiche Lektüre wünscht Ihnen

Ihr Klima- und Energiefonds

„Die Energiewende stellt energieintensive Unternehmen vor gewaltige Herausforderungen. Um die notwendigen Veränderungen rechtzeitig einzuleiten, geben wir die entscheidenden Impulse. Davon profitieren das Klima global und der österreichische Industriestandort!“

THERESIA VOGEL, GESCHÄFTSFÜHRERIN DES KLIMA- UND ENERGIEFONDS



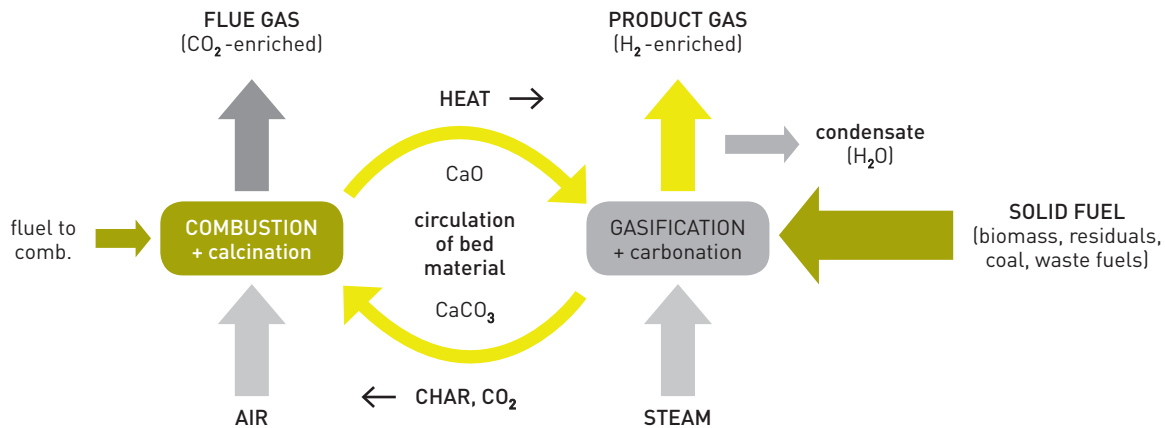


Projektleitung: NINA KIEBERGER

voestalpine Stahl GmbH, Linz - Unternehmensbereich Roheisen

Vereinfachtes Prozessschema „Sorption Enhanced Reforming“¹

ABBILDUNG 1



„Die anwendungsorientierte Forschung mit renommierten Partnern ermöglicht es uns gemeinsam anhand aktueller Fragestellungen exzellente Forschungsergebnisse zu erzielen. Die erzielten Ergebnisse werden dazu genutzt, zukünftige Industrieprozesse energieeffizient und klimafreundlich zu gestalten. Wir verfolgen als Projektkonsortium dabei das Ziel, die klimaneutrale Roheisenerzeugung zu ermöglichen.“

PROJEKTLITERIN NINA KIEBERGER, THOMAS BÜRGLE (FORSCHUNGSLEITER ROHEISEN)

Produktgas aus Biomasse

ERBA: Erzeugung eines Produktgases aus Biomassereformierung mit selektiver CO₂-Abtrennung

Ausgangslage & Projektziele

Im Rahmen des Forschungsprojektes ERBA wurde über die Prozessgrenzen des Hochofens hinausgeblickt und die Nutzung von Biomasse in einem integrierten Hüttenwerk untersucht. Dabei wurde die Einsatzmöglichkeit eines Produktgases aus holzartiger Biomasse mittels „Sorption Enhanced Reforming – Prozess“ geprüft. Um Produktgas als alternatives Reduktionsmittel im Hochofen nutzen zu können, ist ein hohes Reduktionspotenzial des Gases Voraussetzung. Hohes Reduktionspotenzial bedeutete an dieser Stelle einen hohen Wasserstoff-, Kohlenmonoxid- und Methangehalt im aus Biomasse erzeugten Gas zu erreichen.

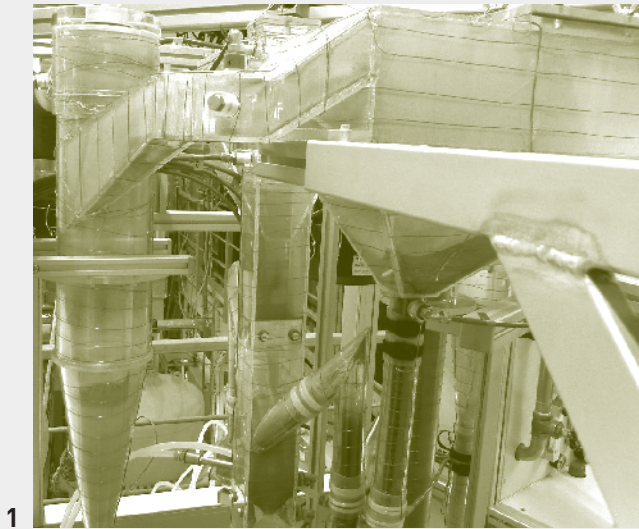
Das notwendige Produktgas kann über die Dampfergasung von fester Biomasse in einer Zweibettwirbelschicht erzeugt werden. Die Technologie zur Gasbereitstellung wurde bereits in der Vergangenheit von der TU Wien am Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften entwickelt und ist grundsätzlich bereits im industriellen Maßstab erprobt (Güssing 8 MW, Oberwart 9 MW, Villach 15 MW, Senden/Neu-Ulm 14 MW). Die sogenannte „Zweibettwirbelschichtdampfergasung“ bedient sich dabei der Kombination von zwei Wirbelschichten. Durch den Transport von heißem Bettmaterial aus dem Verbrennungsteil in den Vergasungsteil wird die Energie für die endothermen Vergasungsreaktionen bereitgestellt. Für die Erreichung eines hohen Reduktionspotenzials wurde im Rahmen

von ERBA Kalkstein als Bettmaterial in der Wirbelschicht eingesetzt, um gleichzeitig selektiv Kohlendioxid (CO₂) aus dem Vergaser abtrennen zu können. Der eingesetzte Prozess wird gemeinhin als „Sorption Enhanced Reforming“ bezeichnet.

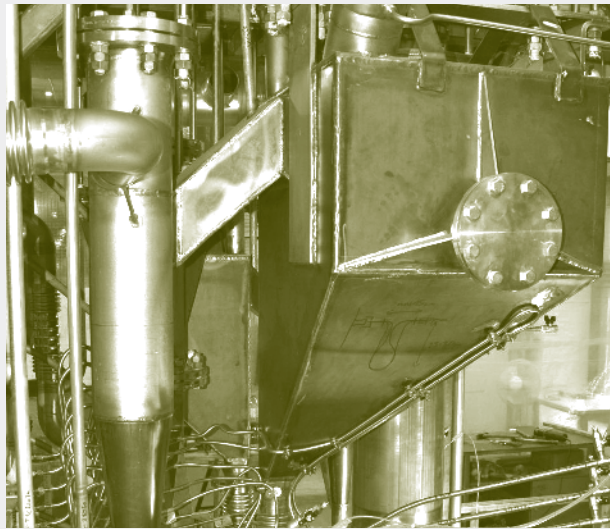
Während des Betriebes des Wirbelschichtsystems zur Vergasung von Biomasse findet eine stetige Umwandlung des Bettmaterials statt. Das Bettmaterial gelangt als Kalziumoxid (CaO) in den Vergasungsreaktor, nimmt im Temperaturfenster zwischen 600 und 700°C Kohlendioxid (CO₂) auf, und bildet Kalziumcarbonat (CaCO₃). Das zwischen den beiden Wirbelschichten zirkulierende Bettmaterial gibt das gebundene Kohlendioxid (CO₂) im Verbrennungsreaktor bei Temperaturen über 800°C wieder ab und wird als Kalziumoxid (CaO) wieder zurück in den Vergasungsreaktor geführt. Der beschriebene Prozess ermöglicht auf diesem Weg die Erzeugung eines Produktgases mit hohem Reduktionpotenzial, mit einer ähnlichen Gaszusammensetzung wie das derzeit eingesetzte Kokereigas und ermöglicht gleichzeitig die selektive Abtrennung von Kohlendioxid (CO₂) aus dem erzeugten Reduktionsgas.

Durch die Verwendung von Kalkstein als Bettmaterial sind jedoch besondere Anforderungen an das Design der Versuchsanlage zu berücksichtigen. Aufgrund der geringen mechanischen Belastbarkeit des Kalksteins ist mit einem erhöhten Bettmaterialabrieb zu rechnen. Im Einzelnen wurden bei diesem Projekt folgende

ABBILDUNG 2



1



2

- 1 Abscheidersystem Kaltmodell
 2 Abscheidersystem Versuchsanlage
-



Literatur

- ¹ Kolbitsch, M., Schmid, J.C., Diem, R., Müller, S., Hofbauer, H., 2014, „Influence of Fuel Feeding Position on Sorption Enhanced Reforming in a Dual Fluid Gasifier“, Poster contribution at: 11th International Conference on Circulating Fluidized Bed Technology (CFB11), 14-17 May 2014, Beijing, China
- ² Schmid, J.C., Müller, S., Hofbauer, H., 2014, „A Novel Dual Fluid Gasifier at Vienna University of Technology“, in: Proceedings of the 1st International Conference on Renewable Energy Gas Technology (REGATEC), 22-23 May 2014, Malmö, Sweden

Ziele angestrebt:

- Substitution von Primärrohstoffen wie Erdgas durch Biomasse im großtechnischen Maßstab
- Produktion eines Produktgases aus Biomasse mit hohem Reduktionspotenzial im experimentellen Maßstab unter Einsatz von Kalkstein als Bettmaterial
- Charakterisierung von verfügbaren Kalksteinsorten hinsichtlich mechanischer und CO₂-Transporteigenschaften und der Abriebeigenschaften
- Entwicklung einer bettmaterialschonenden, 2-stufige Partikelabscheidung mit Hilfe von Kaltmodelluntersuchungen
- Optimierung des Reaktordesigns im experimentellen Maßstab für die Anwendung von „Sorption Enhanced Reforming“
- Erstellung & Bewertung eines Konzeptes für den großtechnischen Einsatz

Ergebnisse und Erkenntnisse

Das Forschungsprojekt ERBA ermöglichte wesentliche Erkenntnisse für eine mögliche Anwendung von „Sorption Enhanced Reforming“ zur Produktion eines Reduktionsgases für die Roheisenproduktion. Im Rahmen des Projektes konnten Lösungsstrategien zur Verbesserung der prozesstechnischen Voraussetzungen entwickelt und angewandt werden.

Die Analysen verschiedener Kalksorten zeigten, dass sich gängige Kalksteinsorten in der Roheisenerzeugung ebenso für die Erzeugung eines alternativen Reduktionsgases aus Biomasse eignen. Durch zahlreiche Untersuchungen in verschiedenen Labors konnte die bestgeeignete Kalksteinsorte für den eingesetzten Prozess ermittelt werden. Dazu wurden in erster Linie Verfügbarkeit, mechanische Abriebsbeständigkeit und mögliche CO₂-Beladung als Kriterien herangezogen.

Das im experimentellen Maßstab eingesetzte Reaktorsystem (vgl. Abbildung 3+4) konnte prozesstechnisch entscheidend verbessert werden und um ein bettmaterialschonendes Abscheidersystem erweitert werden. Die Abscheidegrade des kombinierten Systems konnten

im Rahmen von Kaltmodellexperimenten vorab bestimmt werden. Anschließend waren die Fertigung und die Montage neuer Bauteile für eine bestehende Versuchsanlage möglich (vgl. Abbildung 2). Die eingesetzte Versuchsanlage konnte mit zusätzlichen Messstellen erweitert werden. Die Regelungsmöglichkeit der Prozesstemperaturen wurde verbessert. Erweiterte Möglichkeiten zur Feststoffprobennahme, ermöglichen ein umfassendes Prozessverständnis. Eine erste Versuchsserie zeigte, dass die Produktion eines Reduktionsgases aus Biomasse möglich ist und den Anforderungen von Prozessgasen in der Roheisenerzeugung genügt. Im Rahmen der Versuche konnte des Weiteren gezeigt werden, dass die ausgewählte Kalksteinsorte Kohlendioxid (CO₂) im Vergasungsreaktor aufnehmen und in der Brennkammer abgeben konnte. Die durch das Projekt nun verbesserten Voraussetzungen sollen in Zukunft dazu genutzt werden die Prozessparameter weiter zu optimieren, um bestmögliche Voraussetzungen für eine etwaige großtechnische Anwendung zu schaffen.

Im Rahmen einer technoökonomischen Untersuchung des Gesamtkonzeptes konnte gezeigt werden, dass die großtechnische Umsetzung derzeit durch ungünstige Rahmenbedingungen erschwert wird. Dazu zählen hohe Biomassepreise, fehlende Planbarkeit für die Industrie durch die aktuelle Klima- und Energiepolitik sowie dadurch bedingte Wettbewerbsnachteile im internationalen Handel. Nichtsdestotrotz arbeitet das Projektkonsortium von ERBA mit Erfolg daran, die geforderten technischen Lösungen zu erarbeiten. Der nachgewiesene CO₂-Transport eröffnet innovative Anwendungspfade für die Reduktion klimaschädlicher Treibhausgase durch die Abtrennung von Kohlendioxid (CO₂) aus dem Prozess. Die im Rahmen von ERBA gewonnenen Daten und Erkenntnisse haben uns dabei dem gemeinsamen Ziel einer klimaneutralen Roheisenerzeugung einen wesentlichen Schritt näher gebracht und die technischen Voraussetzungen für den Einsatz von „Sorption Enhanced Reforming“ entscheidend verbessert.

Schemenhafte Darstellung des Reaktorsystems der Versuchsanlage²

ABBILDUNG 3

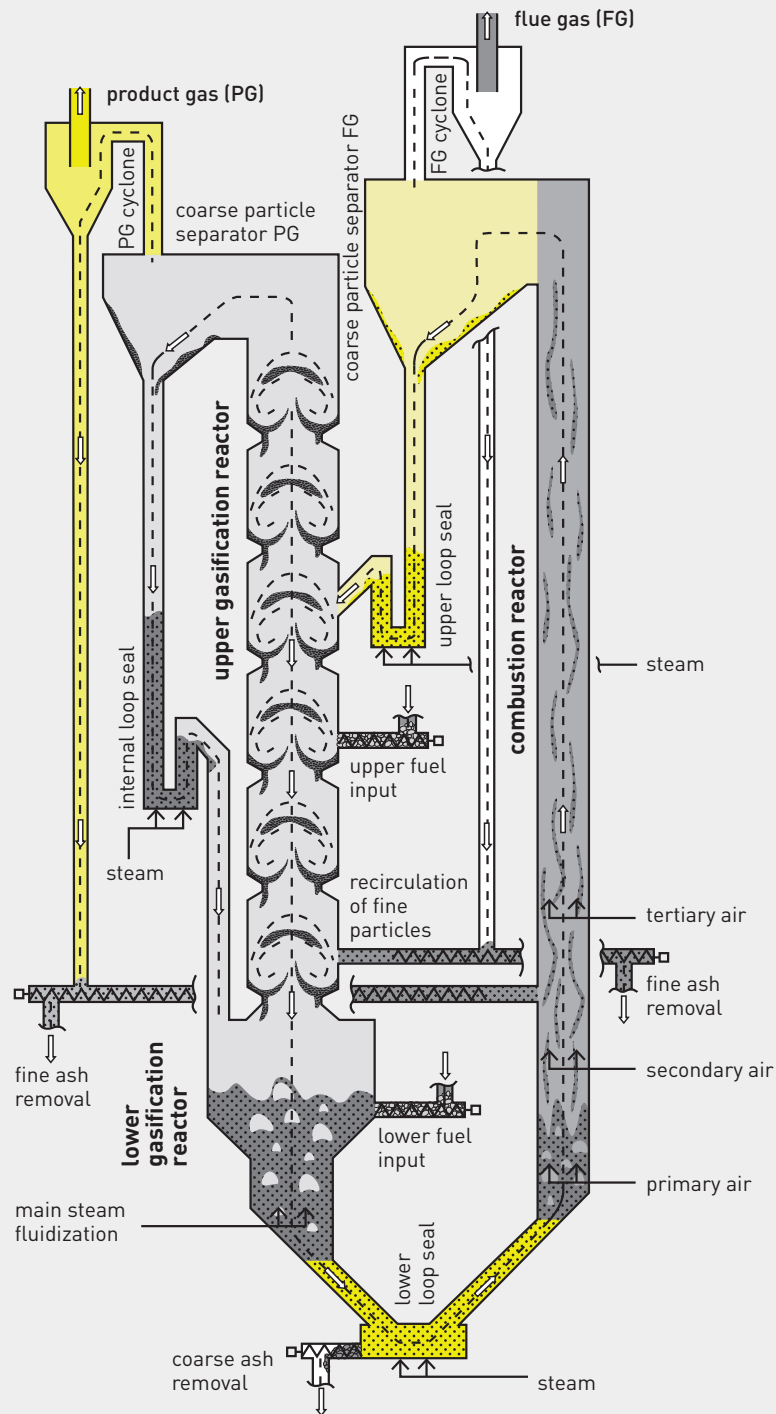
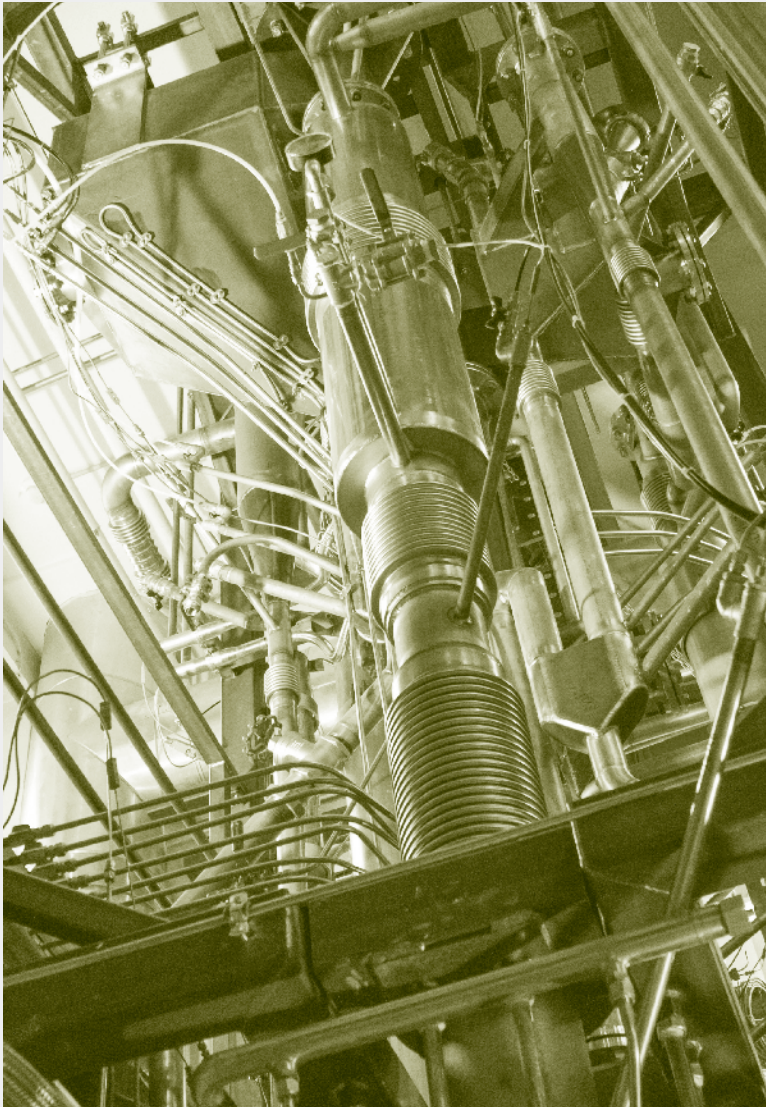


Foto der Versuchsanlage nach dem Umbau im Labor

ABBILDUNG 4



DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Neue Erkenntnisse in der Gaserzeugungstechnologie aus Biomasse lassen eine Anwendbarkeit in einem integrierten Hüttenwerk mit bereits im Einsatz befindlichen verfügbaren Betriebsmitteln (Kalkstein) erwarten.
- Das untersuchte Verfahren trägt zur Verbesserung klimarelevanter Emissionen und zur Substitution von fossilen Primärenergieträgern durch erneuerbare Energieträger bei.
- Durch den Einsatz von erneuerbarer Energie kann die CO₂-Bilanz des Hüttenwerkes entscheidend verbessert werden.





Projektleitung: EWALD SELVICKA
Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie,
Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)



Seit Juni 2013 liefern in der steirischen Brauerei Goess insgesamt 1.500 m² Flachkollektoren gekoppelt an einen 200 m³ Heißwasser-Pufferspeicher Energie für den Maischprozess. Bildquelle: AEE INTEC

SolarBrew

Solar Brewing the Future

26 Millionen Krügel Bier mit der Kraft der Sonne

Im Rahmen des EU-geförderten Projektes SolarBrew werden zur Demonstration der Machbarkeit drei solare Großanlagen im Leistungsbereich ≥ 1 MWth zur Versorgung unterschiedlicher industrieller Prozesse in Brauereien und Mälzereien (Maischen von geschrotetem Malz, Pasteurisieren von Bier, Trocknen von Grünmalz) errichtet. Mit der erfolgreichen Umsetzung dieses großangelegten Demonstrationsvorhabens an Standorten in Österreich (Goess), Spanien (Valencia) und Portugal (Vialonga) wird ein öffentlichkeitswirksamer Schritt gesetzt, der zu einer stärkeren Marktdurchdringung von Solarthermie in diesem Segment beiträgt.

Solarthermie in der Brauindustrie?

Eine Frage der Temperatur ...

Für die Herstellung von Bier werden große Mengen an thermischer und elektrischer Energie benötigt, die gegenwärtig überwiegend aus fossilen Energieträgern generiert wird. Ein Benchmark Vergleich zeigt, dass der thermische Endenergieverbrauch pro hl gebrautem Bier zwischen 16,7 und 33,3 kWh liegt und dass darüber hinaus noch 7,5 bis 11,5 kWh an elektrischer Energie benötigt werden. Zur Veranschaulichung: Der Bierausstoß der Brauerei Goess liegt bei etwa einer Million hl pro Jahr.

Von besonderem Interesse für die Solarthermiebranche ist hierbei, dass für sämtliche thermisch versorgten

Prozesse in Brauereien und Mälzereien Wärme bei Temperaturen zwischen 25 und 105°C benötigt wird (vgl. Abbildung 1) und dass dieser Temperaturbereich effizient mittels konventioneller Flach- und Vakuumröhrenkollektoren bedient werden kann. Die höchsten solaren Erträge werden hierbei dann erreicht, wenn solar generierte Wärme auf minimal erforderlichem Temperaturniveau und auf direktem Weg einem geeigneten Prozess zugeführt wird. Erfolgt nun die Nachrüstung einer thermischen Solaranlage in einen bestehenden Industrieprozess besteht die Herausforderung darin, die neue, intermittierende Wärmequelle hydraulisch und regelungstechnisch so zu integrieren, dass diese den hohen technischen wie auch ökonomischen Anforderungen eines Industriestandortes genügt.

Projektabriss SolarBrew

Unter der Leitung von AEE INTEC sowie in Zusammenarbeit mit HEINEKEN Supply Chain B.V., GEA Brewery Systems GmbH (Anlagenbau) und Sunmark A/S (Solarthermie) werden bis Sommer 2014 an drei Standorten (Goess, AT/Valencia, ES und Vialonga, PT) insgesamt 7.845 m² (brutto) thermische Solarkollektoren mit einer thermischen Spitzenleistung von rund 5 MW zur Versorgung von Niedertemperaturprozessen (Prozesstemperaturen $< 80^{\circ}\text{C}$) errichtet. In Tabelle 1 sind die Eckdaten der drei Demonstrationsanlagen angeführt (Stand: Oktober 2013).

Prozesstemperaturniveaus in Brauereien und Mälzereien (i.A. an Brunner et al 2013)

ABBILDUNG 1

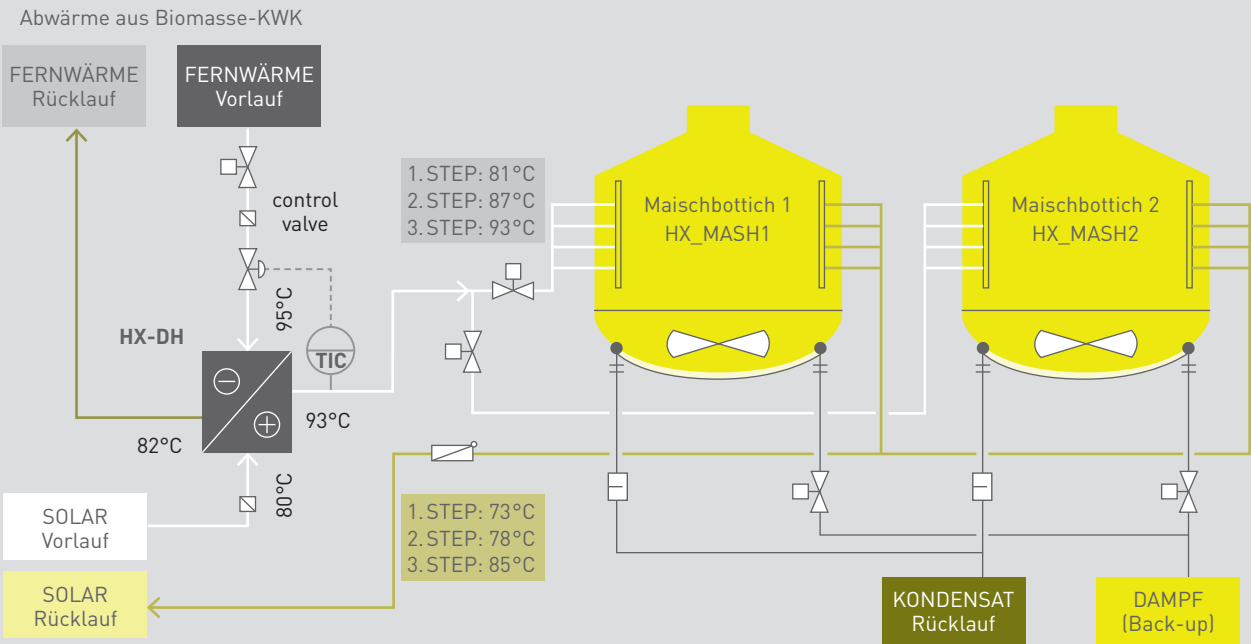


Eckdaten zu den Demoprojekten im Rahmen von SolarBrew (Stand: Oktober 2013)

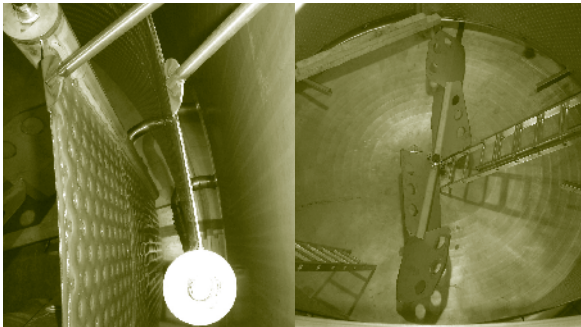
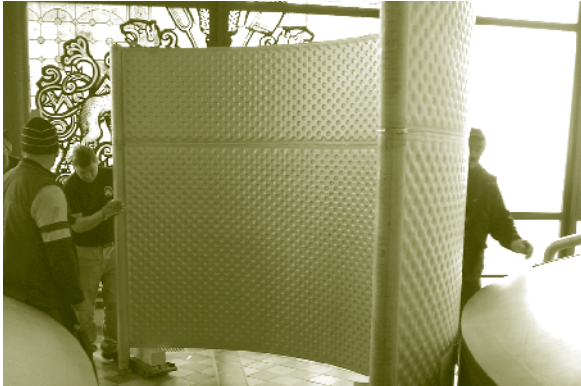
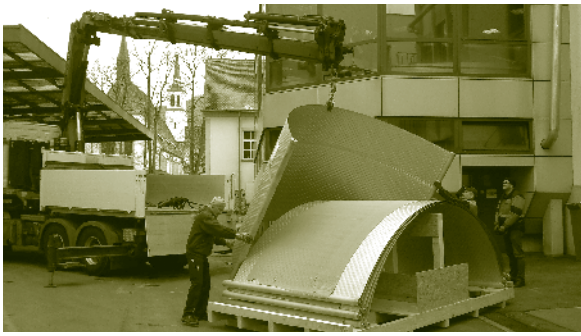
TABELLE 1

Standort (Land)	Kollektor- fläche Brutto/ Apertur	Spitzen- leistung	Speicher	Solare Prozess- integration (Prozess- temperatur)	Erwarteter Solarertrag ¹	Solare Deckung ²	solare Einstrahlung horizontal
	[m²]	[MWp,th]	[m³]	[°C]	[kWh/(m²·a)]	[%]	[kWh/(m²·a)]
Brauerei Goess (AT)	1.500 1.375	1,0	200	Maischen	280 (350) ³	etwa 30%	1.070
				(58-78°C)			
Brauerei Valencia (ES)	1.620 1.485	1,0	350	Pasteurisieren von Bier	630	etwa 45%	1.610
				(65°C)			
Mälzerei Vialonga (PT)	4.725 4.331	3,0	400	Trocknen von Grünmalz	720	etwa 20%	1.690
				(35-55°C)			
Total	7.845 7.191	5,0					

1 Simulationsergebnisse basierend auf gemessenen Lastprofilen
2 solare Deckungsanteile bezogen auf den jeweils betrachteten Prozess
3 höherer Solarertrag in der Brauerei Goess vorbehaltlich der hydraulischen Integration einer weiteren Wärmesenke am Wochenende



→ Schematische Darstellung der neuen
Prozessenergieversorgung der Maische-
bottiche in der Brauerei Goess (AEE INTEC)



Brauerei Goess, Österreich

Bereits im Juni 2013 wurde in der steirischen Brauerei Goess eine 1.500 m² große thermische Solaranlage gekoppelt an einen druckbehafteten 200 m³ Energiespeicher erfolgreich in Betrieb genommen.

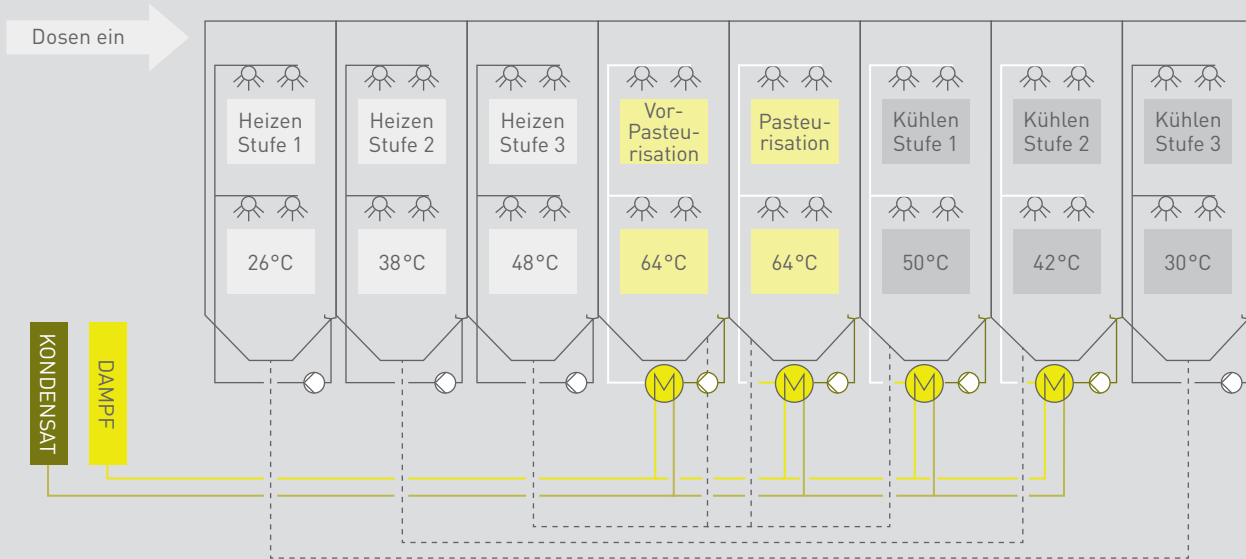
Die Solaranlage in der Brauerei Goess liefert thermische Energie für den Maischprozess, bei dem geschrotetes Malz und Wasser vermengt und anschließend stufenweise unter ständigem Umrühren und unter definierten Heizraten auf eine Temperatur von 78°C erhitzt wird.

Der besondere Innovationsgehalt dieses Projektes besteht darin, dass die Beheizung der sogenannten Maischbottiche bisher mittels Dampf erfolgte und für die Integration von thermischer Solarenergie sowie Abwärme aus dem anliegenden Holzverarbeitungsbetrieb Mayr-Melnhof Holz Leoben GmbH die Prozessenergieversorgung auf Heißwasser umgestellt wurde. Diese Umstellung ermöglicht es in Zukunft die Energieversorgung für den Maischprozess in Goess zu 100 % mit erneuerbaren Energieträgern zu decken. Die hydraulische Einbindung der Solaranlage in der Brauerei Goess erfolgt über einen Plattenwärmeübertrager am Einkopplungspunkt der Fernwärme in das System (HX-DH). Über diesen Wärmetauscher wird zu jeder Zeit die Versorgungstemperatur zu den Maischgefäßen sichergestellt. Die bestehende Dampfheizung bleibt als zusätzliches Back-up erhalten (Abbildung 2). Bilder von den durchgeführten Umbauarbeiten an den beiden Maischbottichen in der Brauerei Goess (Nachrüstung von je sechs innenliegenden Wärmetauscherplatten und eines neuen Rührwerkes je Maischbottich) sind in der Bilddokumentation dargestellt.

Bilddokumentation der Umbauarbeiten

Bildquelle: GEA Brewery Systems GmbH

Brauerei Valencia



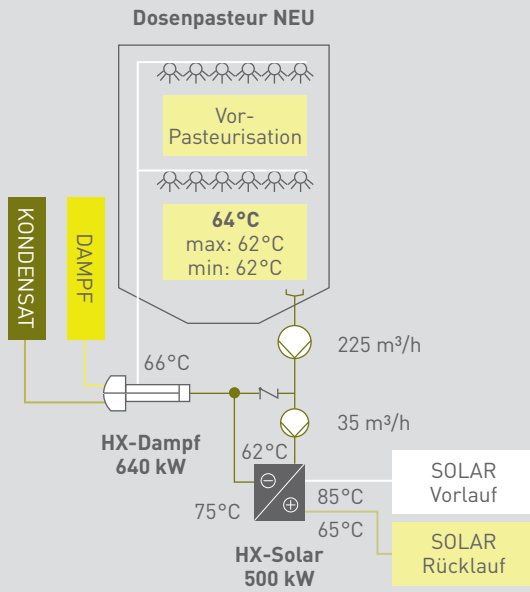
Brauerei Valencia, Spanien

Für eine Brauerei im spanischen Valencia befindet sich das Konzept für einen solarunterstützten Pasteurisationsprozess in der finalen Planungsphase und soll im Frühling 2014 zur Umsetzung gelangen. **Insgesamt ist eine Gesamtkollektorfläche von 1.620 m² Flachkollektoren (Bodenmontage) gekoppelt an einen atmosphärischen 350 m³ Energiespeicher vorgesehen.** Am Standort Valencia wird Bier, bereits abgefüllt in Dosen, Einweg- oder Mehrwegflaschen, in sogenannten Tunnelpasteuren pasteurisiert. Während der Dauer eines Durchlaufes in einem Tunnelpasteur wird das befüllte Gebinde in unterschiedlichen Behandlungszonen (drei Aufheizzonen, Vor-Pasteurisation, Pasteurisation, drei Kühlzonen) von Abfülltemperatur bis auf Pasteurisationstemperatur erwärmt und anschließend wieder abgekühlt. Die Energieübertragung

erfolgt über Wasser, das temperiert für die jeweilige Zone über die Gebinde versprüht wird. Die Prozessenergieversorgung erfolgt derzeit ausschließlich mittels Sattdampf über außenliegende Dampf-Rohrbündelwärmeübertrager (je 4 Wärmeübertrager pro Pasteur) (Abbildung 3, links).

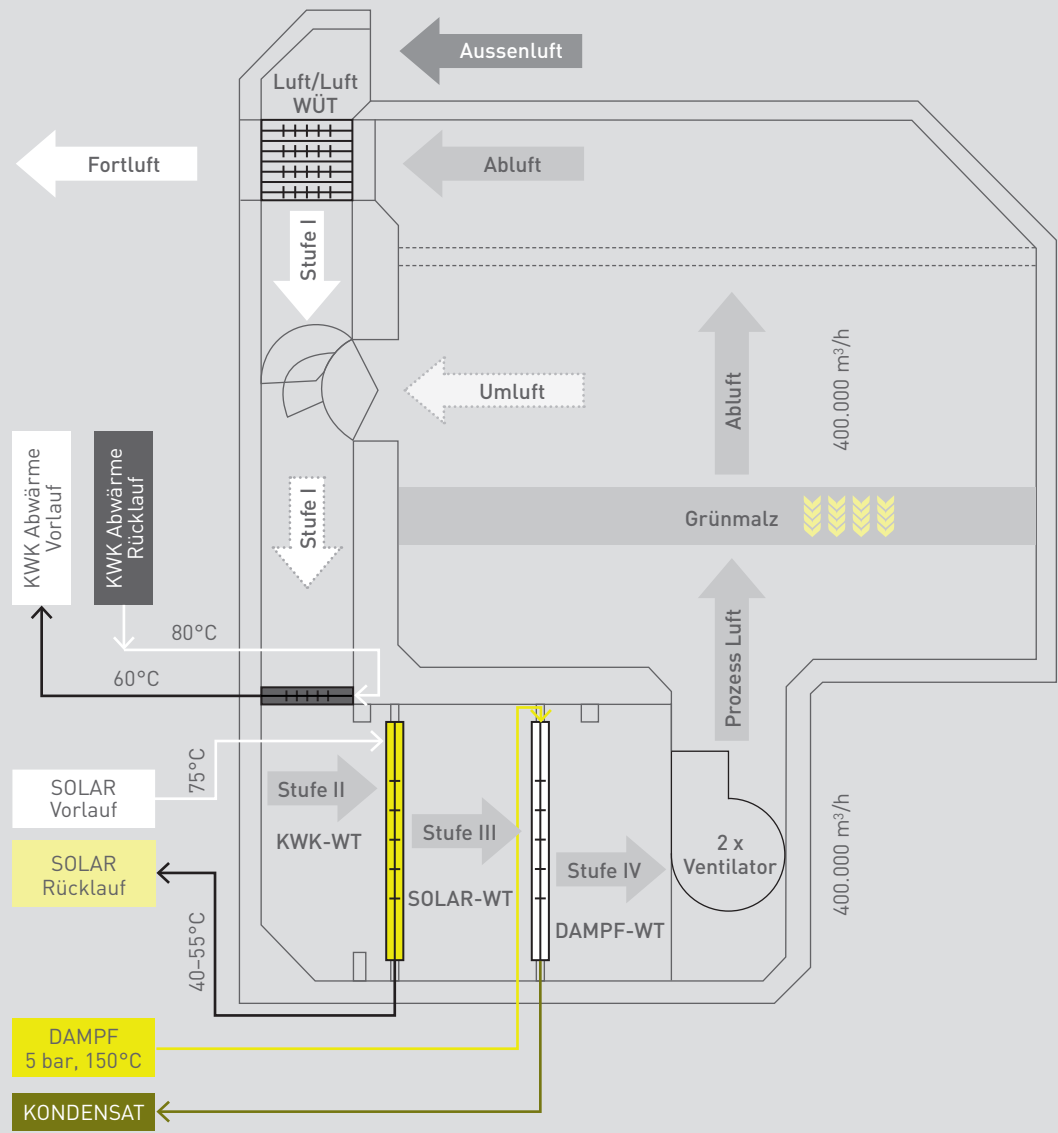
Im Zuge des Projektes wird der dampfbeheizter Tunnelpasteur für die Integration von thermischer Solarenergie um einen Wasser/Wasser Wärmeübertrager erweitert (Abbildung 3, rechts). Der neue Solar-Wärmeübertrager wird hierfür im Bypass zum Sprühkreislauf im Vorpasteurisationsbecken installiert und dient der Erwärmung eines Teilmassenstroms innerhalb des Sprühkreislaufes sobald Energie im richtigen Temperaturniveau im Solarspeicher vorhanden ist. Die Prozessversorgungstemperaturen solarseitig liegen bei konstanten 85°C bei einer Spreizung von etwa 20 K.

ABBILDUNG 3



→ Energieversorgung Vorpasteurisationsbecken
nach Solarintegration

Schematische Darstellung der derzeitigen Energieversorgung
des Dosenpasteurs in der Brauerei Valencia mittels Dampf



Schematische Darstellung von Darre 1
in Vialonga **inklusive** solarer Vorwärmstufe

Mälzerei Vialonga, Portugal

In Vialonga, Portugal gelangt das Konzept einer solaren Trocknungsluftvorwärmung zur Trocknung von Grünmalz in einer Darre zur Umsetzung. Anfang 2014 werden am Standort insgesamt 7.845 m² Flachkollektoren gekoppelt an einen atmosphärischen 400 m³ Energiespeicher realisiert (Planungsstand: Oktober 2013).

Der Trocknungsvorgang von Grünmalz in einer Darre ist ein typischer Batch-Prozess, bei dem es vorerst zu einer schonenden Vorwärmung des feuchten Gutes auf niedrigerer Temperatur kommt. Diese erste Trocknungsstufe wird Schwelken genannt und findet bei Trocknungslufttemperaturen zwischen 35 und 65°C statt. Erst ab einem Wassergehalt von < 12 % wird die Trocknungslufttemperatur schrittweise auf über 80°C gesteigert (Darren und Abdarren).

Die Dauer eines Batchvorganges in Vialonga beträgt 18 - 20 Stunden, wovon das Schwelken etwa 12 Stunden andauert. Am Standort Vialonga werden täglich zwischen 120 und 150 Tonnen an Grünmalz in zwei Darren verarbeitet. Die Energieversorgung für beide Darren erfolgt kaskadisch wie in nachfolgender Abbildung 4 schematisch für eine Darre dargestellt. In einem ersten Schritt wird Außenluft über einen

Luft / Luft Wärmeübertrager durch die Prozessabluft aus der Darre vorgewärmt. Eine weitere Vorwärmstufe (Wasser / Luft Wärmeübertrager) nutzt die Abwärme einer anliegenden Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, um die vorgewärmte Trocknungsluft aus dem Luft / Luft Wärmetauscher kommend weiter auf 35-40°C anzuheben (in Abhängigkeit der Jahreszeit bzw. Außentemperatur). Der für das Schwelken bzw. in weiterer Folge für das Darren und Abdarren erforderliche Restenergiebedarf wird schließlich über einen Dampf / Luft Wärmeübertrager eingebracht.

Für die Darre 1 in Vialonga ist es nun geplant, vor dem Dampfwärmeübertrager eine weitere, solarversorgte Vorwärmstufe zu realisieren (Abbildung 4).

Danksagung

Das Projekt SolarBrew wird im Rahmen des siebten Forschungsrahmenprogrammes der Europäischen Kommission gefördert und durch den österreichischen Klima- und Energiefonds ko-finanziert. Besonderer Dank gilt an dieser Stelle allen Projektpartner (Heineken Supply Chain BV, GEA Brewery Systems GmbH und Sunmark A/S) für die gute Zusammenarbeit.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

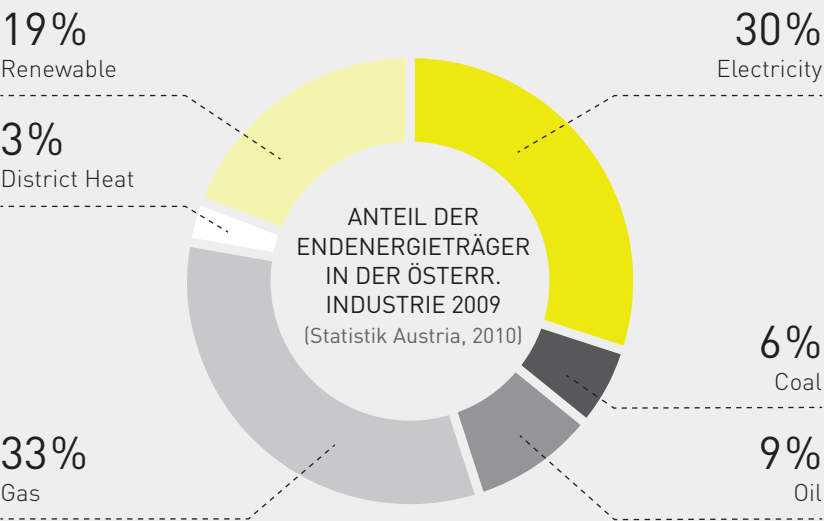
- Mit diesem großangelegten Demonstrationsvorhaben an Standorten in Österreich (Goess), Spanien (Valencia) und Portugal (Vialonga) wird ein öffentlichkeitswirksamer Schritt gesetzt, der zu einer stärkeren Marktdurchdringung von Solarthermie beiträgt.
- Demonstration der Machbarkeit von drei solaren Großanlagen im Leistungsbereich ≥ 1 MWth zur Versorgung unterschiedlicher industrieller Prozesse in Brauereien und Mälzereien.
- Erster Schritt zur Realisierung einer Grünen Brauerei mit dem Ziel der hundertprozentigen Abdeckung der Energieversorgung durch erneuerbare Energien.





Projektleitung: RENÉ RIEBERER
Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik

ABBILDUNG 1



Wärmepumpen für den industriellen Einsatz

Hocheffiziente Hybrid-Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung in der Industrie

Einleitung

Österreichs Industrie ist lt. Statistik Austria (2010) für etwa ein Drittel des gesamten heimischen Endenergiebedarfs verantwortlich, wobei rund die Hälfte mit Erdgas, Erdöl und Kohle gedeckt wird (vgl. Abbildung 1). Daher ist eine Reduktion von fossilen Brennstoffen in diesem Sektor zur Erreichung von Österreichs Klimazielen unerlässlich.

Energetisch sind industrielle und gewerbliche Betriebe dadurch charakterisiert, dass neben elektrische Energie auch ein großer Bedarf an Prozesswärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus für z.B. Trocknungsprozesse, Bäder zum Waschen oder Galvanisieren, Destillationsprozesse usw. besteht. Auf der anderen Seite fallen i.d.R. auch große Abwärmemengen aus unterschiedlichen Prozessen an, welche meist mit zusätzlichem Aufwand „entsorgt“ werden müssen. Abwärme, die aufgrund ihres Temperaturniveaus nicht direkt genutzt werden kann, könnte mittels Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau für Heizzwecke angehoben bzw. in einer thermisch angetriebenen Kältemaschine für Kühlzwecke genutzt werden. Dadurch kann ein großes, bisher brachliegendes Potenzial zur Energieversorgung erschlossen und ein signifikanter Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauches (vgl. Abbildung 2) bzw. des damit verbundenen CO₂-Ausstosses in einem ökologisch sehr relevanten Sektor erreicht werden.

(Zotter & Rieberer, 2014)

In der Industrie fällt Abwärme z.B. bei Kaltwassersätzen, Back- und Glühöfen, Druckluftkompressoren, Waschprozessen, Motoren etc. an. Meist liegt dabei das Temperaturniveau mit ca. 30 bis 60°C deutlich über

dem von typischerweise genutzten Wärmequellen von Heizungswärmepumpen (Außenluft, Erdreich oder Grundwasser). Somit stellt industrielle Abwärme aus exergetischer Sicht eine besonders wertvolle Wärmequelle dar. Die Erschließung dieser ist zwar meist mit Investitionen verbunden, allerdings steht sie im Betrieb meist „kostenlos“ zur Verfügung. Vielmehr entfallen i.d.R. Betriebskosten für die „Abwärmeentsorgung“, wie z.B. für den Betrieb von Ventilatoren einer Rückkühlanlage. (Zotter & Rieberer, 2013a)

Ökologisches Potenzial

Lt. Lambauer et al. (2008) könnten in Deutschlands Industrie durch den Einsatz von Wärmepumpen – im Vergleich zu konventionellen Wärmeerzeugern – Emissionseinsparungen von durchschnittlich 49 % erzielt werden. Da der österreichische Emissionsfaktor für den elektr. Strom niedriger ist als jener in Deutschland, kann davon ausgegangen werden, dass das Einsparpotenzial in Österreich noch höher ist. Neben dem Emissionsfaktor spielt vor allem die Effizienz der Wärmepumpe (Seasonal Performance Faktor, kurz „SPF“) eine entscheidende Rolle beim CO₂-Einsparpotenzial.

Abbildung 3 verdeutlicht das immense Potenzial einer – in diesem Fall – elektrisch angetriebenen Wärmepumpe in Abhängigkeit vom SPF im Vergleich zu einem gasbefeuerten Kessel. (Zotter & Rieberer, 2014)

Lt. einer Abschätzung könnten theoretisch ca. 30 % des gesamten Nutzwärmebedarfs der österreichischen Industrie durch Wärmepumpen mit Nutzwärmetemperaturen bis ca. 100°C abgedeckt werden.

(vgl. Rieberer et al., 2011)

-----> Schematische Darstellung des Prinzips der innerbetrieblichen Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen (Zotter & Rieberer, 2010)

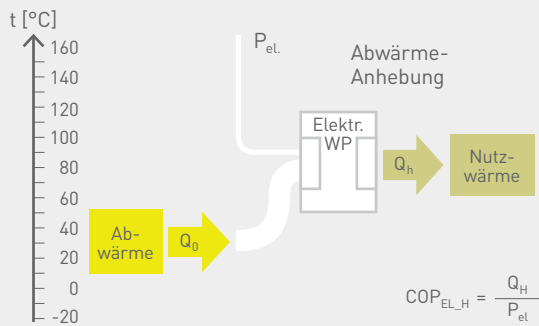


CO₂-Einsparpotenzial bei der Wärmeversorgung mit elektrisch angetriebener Wärmepumpe vs. konventionellem Gaskessel in Abhängigkeit des SPF. Annahmen: 320 g_{CO₂}/kWh_{el} lt. KPC (2011)
 $\eta_{\text{Kessel}} = 85\%$ und 229 g_{CO₂}/kWh_{Hu} für Erdgas
 lt. Biberacher (2010) (vgl. Zotter & Rieberer, 2013a)

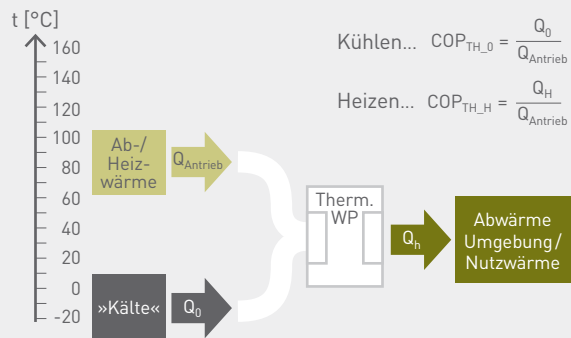
Industrielle Wärmepumpen

ABBILDUNG 4

ELEKTRISCH ANGETRIEBENE WÄRMEPUMPKREISLÄUFE



THERMISCH ANGETRIEBENE WÄRMEPUMPKREISLÄUFE



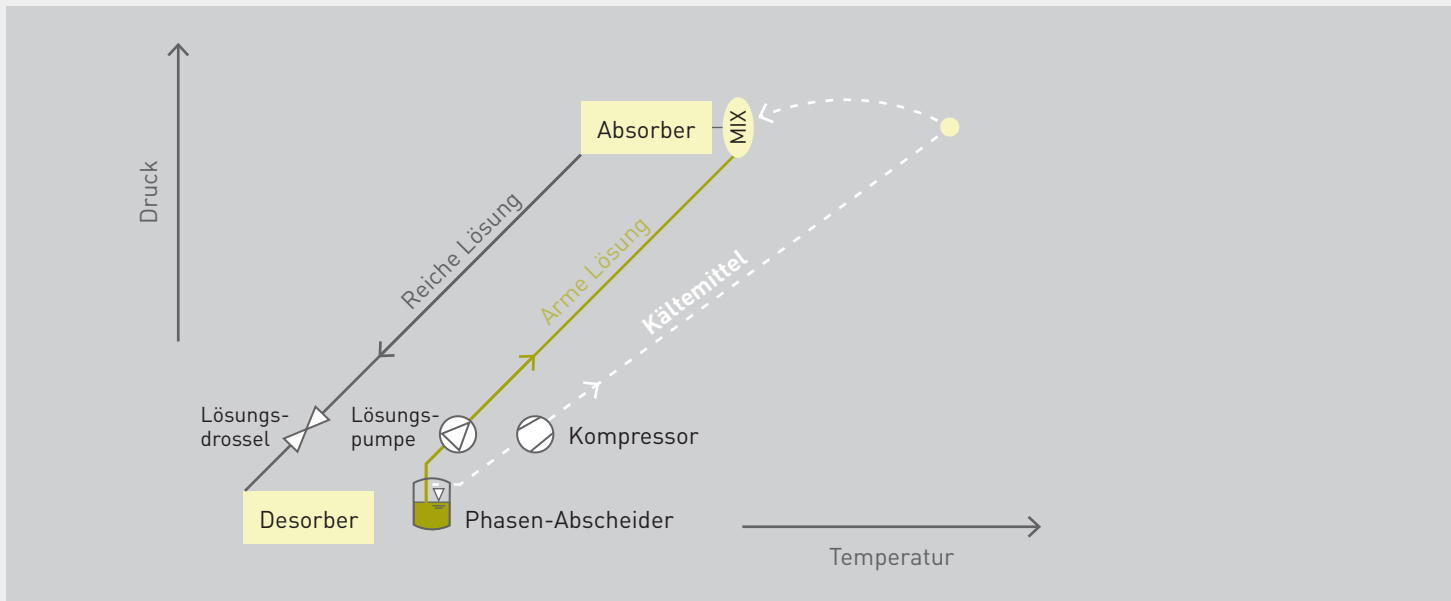
- ein- und mehrstufige Kaltdampfkreisläufe
- Add On-Kompressions-Wärmepumpenkreisläufe
- Joule/Brayton-Prozesse (Kaltgaskreisläufe)
- »Hybrid-Wärmepumpe«
(Kompressions/Absorptionskreislauf)
- mechanische Brüdenverdichter

- Ab- und Adsorptionskreisläufe
- Resorptionsanlagen
- Wärmetransformationen
- thermische Brüdenverdichter

→ Elektrisch und thermisch angetriebene Wärmepumpenkreisläufe für die industrielle Anwendung (Zotter & Rieberer, 2013b)

Schematische Darstellung des Absorptions/Kompressions-Wärmepumpenkreislaufs

ABBILDUNG 5



Verbreitung der Erkenntnisse von „Best Practise“-Beispielen aus anderen Ländern die Skepsis und fehlendes Wissen wettmachen und damit den nötigen Anstoß für eine größere Verbreitung von industriellen Wärmepumpen in Österreich geben. Zu den erhobenen „Best Practise“-Beispielen zählen unter anderem Kompressions-Wärmepumpen in der Lebensmittelindustrie (zur Schokoladeproduktion in UK, in einer Brauerei in NL, bei der Milchpulverherstellung in DK) oder Absorptionswärmepumpenanwendungen (Rauchgaskondensation in einem Fernwärme-kraftwerk in AUT, Luftkonditionierung in Lackierhallen in JP) u.v.m.

F&E-Projekt „HyPump“

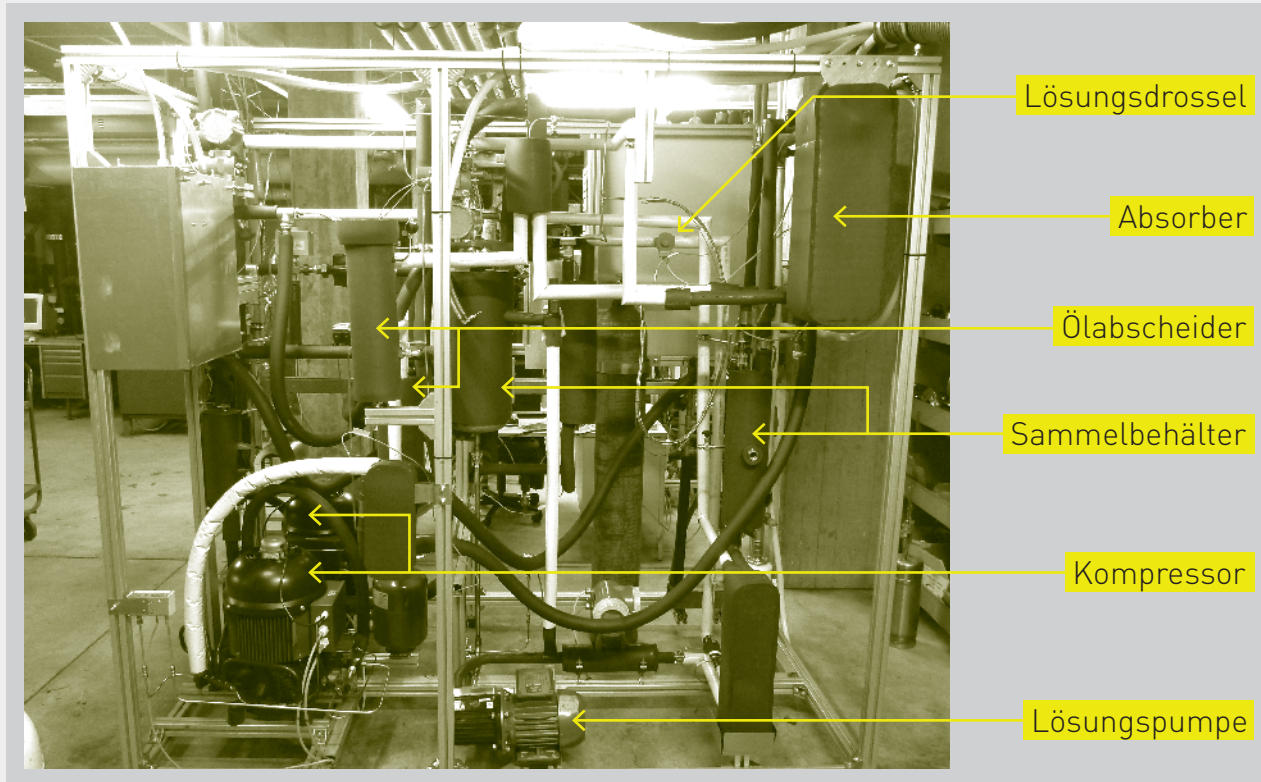
Im Rahmen des derzeit laufenden nationalen Forschungsprojekts „HyPump“ wird vom IWT gemeinsam mit dem AIT und der Frigopol Kälteanlagen GmbH eine Absorptions/Kompressions-Wärmepumpe für die industrielle Hochtemperaturanwendungen simula-

tionstechnisch und experimentell untersucht. Das Konzept einer Absorptions/Kompressions-Wärmepumpe (auf Grund der Prozessführung auch „hybride“ Wärmepumpe genannt) ist seit dem späten 19.ten Jahrhundert bekannt. Wegen einiger technischer Schwierigkeiten und wegen ökonomischer Rahmenbedingungen konnte das Konzept lange nicht kommerziell angewendet werden.

Ein vereinfachtes Kreislaufschema einer Hybrid-Wärmepumpe ist in Abbildung 5 dargestellt. Der gezeigte Kreislauf kann bei geeigneter Wahl des verwendeten Arbeitsstoffgemisches, als Kältemittel/Lösungsmittel wurde im Projekt „HyPump“ $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ gewählt, für Hochtemperatur-Anwendung genutzt werden. Da anstelle des reinen Kältemittels ein Stoffgemisch verwendet wird, kann das Druckniveau bei der Absorption und Desorption mittels Variation der Lösungskonzentration in Abhängigkeit vom Wärmesenken- und Wärmequellen-temperaturniveau eingestellt werden.

Bild des Funktionsmusters der Absorptions/Kompressions-Wärmepumpe am IWT

ABBILDUNG 6



Folgende **Vorteile** ergeben sich für den gezeigten Absorptions/Kompressions-Kreislauf im Vergleich zum konventionellen Kompressionskreislauf:

- Hohe Wärmesenken-Austrittstemperaturen können bei moderaten Druckniveaus erreicht werden. Beispielsweise ist es mit dem Arbeitsstoffgemisch $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ möglich, Austrittstemperaturen über 100°C – bei gleichzeitiger Begrenzung des Hochdruckniveaus auf max. 20 bar – zu erreichen.
- Die Heizleistung kann bei gleichbleibenden Temperaturniveaus mit Hilfe der Druckniveaus im Absorber und Desorber bzw. mit Hilfe der Konzentrationen von armer und reicher Lösung verändert werden.
- Eine Annäherung an den sogenannten „Lorenz“-Prozess kann erreicht werden, da die gleitende Sättigungstemperaturen bei der Ab- bzw. Desorption, d.h. der Temperaturleit der Lösung, bei der Aufwärmung der Wärmesenke bzw. Abkühlung der Wärmequelle ausgenutzt werden kann. Dadurch ergeben sich Vorteile hinsichtlich des exergetischen Wirkungsgrades der Wärmeübertragung.

Nach eingehender Untersuchung unterschiedlicher Kreislaufvarianten im Rahmen von Simulationsstudien am IWT wurde ein passender Kreislauf für das Stoffgemisch $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ gewählt. Am AIT erfolgten Voruntersuchungen zur optimalen Konstruktion der Einströmgeometrie und Ammoniakverteilung am Eintritt in den Absorber. Bei Frigopol wurde ein existierender NH_3 -Trennhauhenkompressor für das Funktionsmuster adaptiert. Nach umfangreichen Vorarbeiten erfolgte der Aufbau des Funktionsmusters am IWT, welches in Abbildung 6 dargestellt ist. Derzeit erfolgt die detaillierte experimentelle Analyse des Funktionsmusters. Die bisher gewonnenen Messergebnisse zeigen noch Optimierungsbedarf: z.B. beim Absorberdesign, bei der elektrischen Leistungsaufnahme und bei der Verschleppung des Lösungsmittels in den Kältekreislauf.

Mit dem Funktionsmuster sollen noch weitere Messungen durchgeführt und die Ergebnisse tiefergehend analysiert werden. In weiterer Folge wird das entwickelte Simulationsmodell mit Hilfe der Erkenntnisse aus den Messungen „verfeinert“ und abschließend für Simulationsstudien zur wirtschaftlichen Umsetzung des Konzepts herangezogen.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Energieeffizienz in der Industrie steigern
- Energieimportabhängigkeit reduzieren
- Umweltfreundliche Wärmebereitstellung

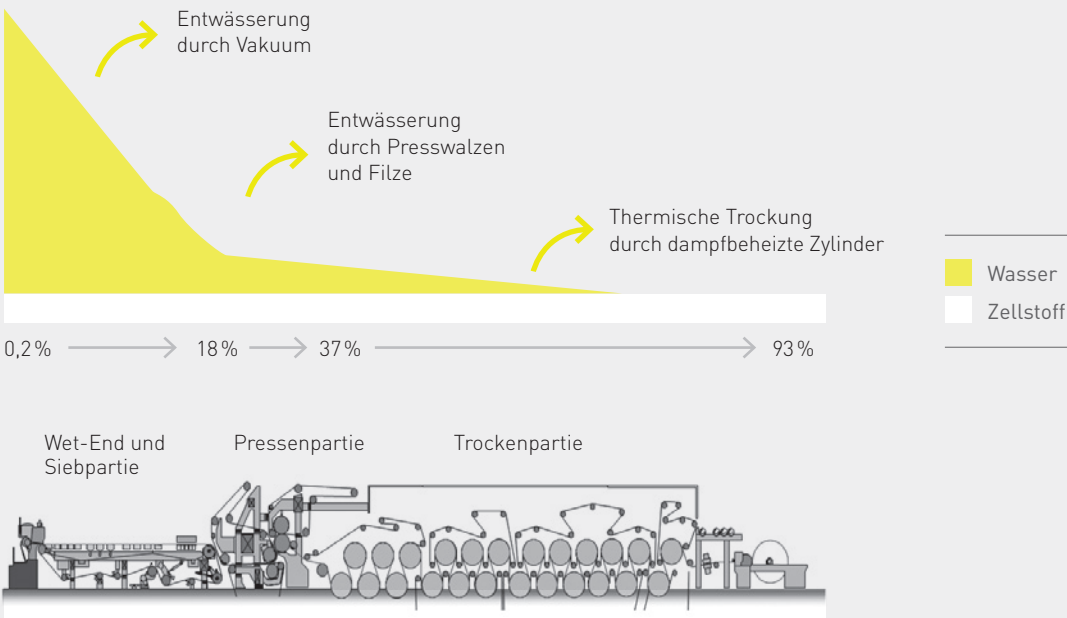




Projektleitung: JOHANNES LEITNER
Mondi Frantschach GmbH: Research, Development and Innovation Center

Schematische Darstellung der drei Hauptabschnitte der Papierherstellung und die damit in Verbindung stehende sukzessive Entwässerung

ABBILDUNG 1



Energieeffiziente Kraftpapierproduktion

Fragmentierte Ansätze für einen reduzierten Energieverbrauch in der Papierherstellung

Die Mondi Frantschach GmbH stellt Kraftpapier für unterschiedlichste Anwendungen wie beispielsweise zur Verpackung von partikulären Füllgütern wie Zement oder Mehl her. In seiner Vergangenheit hat das Unternehmen immer großen Wert auf Prozess- und Energieeffizienz gelegt und dafür internationale Preise erhalten, wie zum Beispiel den **Constantinus Award** und den **European Motor Challenge Award**. Wegen der steigenden ökologischen und ökonomischen Bedeutung hat sich Mondi Frantschach vorgenommen, seinen Energieverbrauch mit Hilfe des Projektes „Energieeffiziente Kraftpapierproduktion“ weiter deutlich zu reduzieren. Aufbauend auf intelligenten Sensoren und neuen Systemkonzepten wird die Ressourceneffizienz der Herstellung von Kraftpapieren speziell auf der Energieseite als auch auf der Rohstoffseite signifikant über den Stand der Technik gehoben. In Zusammenarbeit mit den Experten des Institutes für Papier-, Zellstoff und Fasertechnik der Technischen Universität Graz und des Kompetenzzentrum Holz GmbH arbeitete Mondi Frantschach Arbeitspakete für jene Teilbereiche der Papierherstellung aus, die trotz bereits erfolgter Optimierungen noch ein weiteres Potenzial zur Einsparung aufwiesen. Hierzu zählen die drei Hauptabschnitte einer Papiermaschine - die Siebpartie, die Pressenpartie und schließlich die Trockenpartie. **Innerhalb der 3-jährigen Projektlaufzeit (2012 bis 2014) sollen insgesamt mehr als 1600 MWh/a elektrische sowie über 4000 MWh/a thermische Energie eingespart werden.** Die Projekt-

partner haben dazu einen branchenübergreifenden Ansatz gewählt, der auch Potenziale außerhalb der eigentlichen Papierproduktion beinhaltet. Das heißt, es werden nicht nur Energie- und Ressourceneinsparungspotenziale betrachtet, die direkt in der Papierfabrik realisiert werden können, sondern auch solche, die sich weiter vorne in der Produktionskette ergeben; beispielsweise durch die Verwendung von Additiven, die in ihrer Herstellung ressourcenschonender sind.

Allgemeines zur Papierherstellung

Neben der Stoffaufbereitung von einzelnen Zellstofffasern sind das Wet-End mit der Siebpartie, die Pressenpartie und die Trocknung die wesentlichen Prozessschritte in der Papierherstellung. Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung dieser Hauptabschnitte und die Menge an Wasser in den jeweiligen Bereichen, die entfernt werden müssen, wodurch der Trockengehalt von 0,2% auf rund 93% ansteigt.

Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen der spezifischen Menge an dem zu entwässernden Wasser und den Energiebedarf je Hauptabschnitt. Die Trocknung dient zur Entfernung des Wassers an- und vor allem in den Fasern und verbraucht den Großteil der Energie. Wie in den folgenden Punkten kurz beschrieben wird, kann durch eine effiziente Neugestaltung der Trocknung vorhergehender Schritte im Bereich des Wet-Ends und der Sieb- aber auch der Pressenpartie die Menge an Wasser zwischen und an den Fasern drastisch reduziert werden. Dadurch verringert sich

auch der Energieverbrauch in der Trockenpartie. Im folgenden Teil werden kurz die verschiedenen Ansätze zur Energieeinsparung erläutert. Im weiterführenden Teil wird am Beispiel der Optimierung der Filze in der Pressenpartie die Arbeitsweise in dem Projekt beschrieben.

Arbeitspaket Wet-End/Siebpartie

Im Rahmen des Arbeitspaketes Wet-End wird an der Entwicklung eines neuen Wet-End Chemikalien- und Kreislaufsystems gearbeitet, womit eine erhöhte Entwässerung in der Nasspartie und damit **erhebliche Energieeinsparungen bei den Vakuumpumpen sowie in den nachgeschalteten Aggregaten der Papiermaschine erzielt werden können**. Im Teilbereich Entwässerungshilfsmittel soll durch den Einsatz von Mikropartikelsystemen die Retention und Entwässerung maßgeblich verbessert werden, ohne dabei die Papiereigenschaften zu beeinträchtigen. Ein weiterer Teilbereich beinhaltet beispielsweise die Reduktion der eingesetzten Aluminiumsulfatmenge, das in seiner Herstellung sehr energieaufwendig ist. Die Leimung mit synthetischen Leimungsmitteln stellt in diesem Punkt einen kritischen Parameter dar. Ein weiteres Potenzial zur Energieeinsparung wurde bei einseitig glatten Papieren gesehen. Durch einen partiellen Ersatz von klassischen Leimungsmitteln durch synthetische Leimungsmittel soll bei der Herstellung einseitig glatter Papiere der gesamte Leimungsmittelverbrauch und somit der Ressourcen- und Energieeinsatz verringert werden. Der letzte Teil des Arbeitspaketes Wet-End beinhaltet Untersuchungen zu unterschiedlichen Trockenfestmitteln. Die Aufnahmefähigkeit der Zellulosefasern für kationisierte Trockenfestmittel ist aufgrund der Ladungschemie begrenzt. Um Festigkeitssteigerungen im Papier zu erzielen, wird daher nach Alternativen gesucht, welche die Stärke als Trockenfestmittel ersetzen. Höhere Festigkeiten erlauben die Reduktion des Flächengewichtes, wodurch weniger Energie zur Trocknung benötigt wird.

Arbeitspaket Pressenpartie

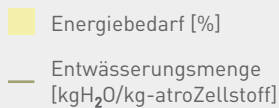
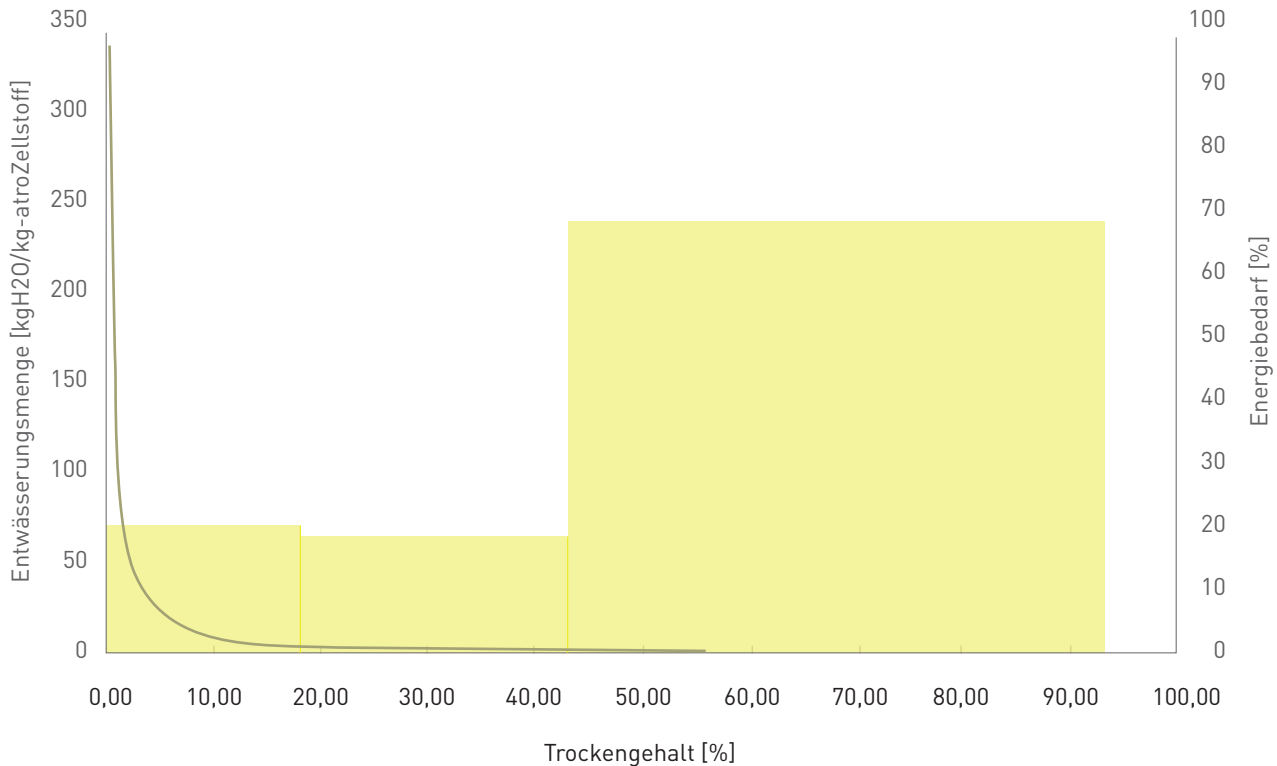
Der Energiebedarf, der für die Entwässerung der Papierbahn aufgewendet werden muss, steigt vom Stoffauflauf bis zum Poperoller progressiv an. Eine **Steigerung des Ausgangstrockengehalts der Pressenpartie um 1 % kann den Energiebedarf um rund 4 % senken**. Das Hauptaugenmerk im Arbeitspaket Pressenpartie liegt daher auf der Steigerung der mechanischen Entwässerungsleistung. Realisiert werden soll die Erhöhung durch modifizierte Pressfilze, die den individuellen Ansprüchen der jeweiligen Einsatzposition optimal angepasst werden. Die Auswahl des Pressfilzdesigns erfolgt durch einen mehrstufigen Auswahlprozess, der von dreidimensionalen Bildanalyseverfahren bis hin zu dynamischen Entwässerungsversuchen reicht. Elektrische Energie kann in der Pressenpartie u.a. durch eine partielle Reduktion des Vakuumbedarfs im Bereich der Rohrsauger eingespart werden. Die Voraussetzungen dafür müssen wiederum durch Einsatz geeigneter Filzdesigns geschaffen werden.

Arbeitspaket Trockenpartie

In der Trockenpartie einer Papiermaschine werden lediglich rund 2 % des ursprünglichen Wassergehalts des ungetrockneten Zellstoffes thermisch getrocknet. Dafür müssen jedoch zirka 95 % des Gesamtenergiebedarfs einer Papiermaschine aufgewendet werden. Somit ist die Trockenpartie der größte Energieverbraucher. Ein Großteil des Wassers wird mittels Kontakt-trocknung am Trockenzylinder und mittels Konvektion in den Hochleistungshauben aus dem Papier entfernt. Im Rahmen des Projektes werden integrale Luft-, Wasser- und Energiebilanzen über den gesamten Trocknungsprozess erstellt. Einerseits werden die dabei gewonnenen Informationen zu den verschiedenen Trocknungsarten für eine energieoptimierte Fahrweise genutzt. Mögliche Szenarien beinhalten die Minimierung der Leckluft durch Optimierung der Volumenströme von Zu- und Abluftventilatoren. Ein weiteres Sparpotenzial liegt in der Optimierung der Temperatur bzw. in der Verschiebung von Feuchtezeiten innerhalb

Energiebedarf in den einzelnen Hauptabschnitten der Papierherstellung

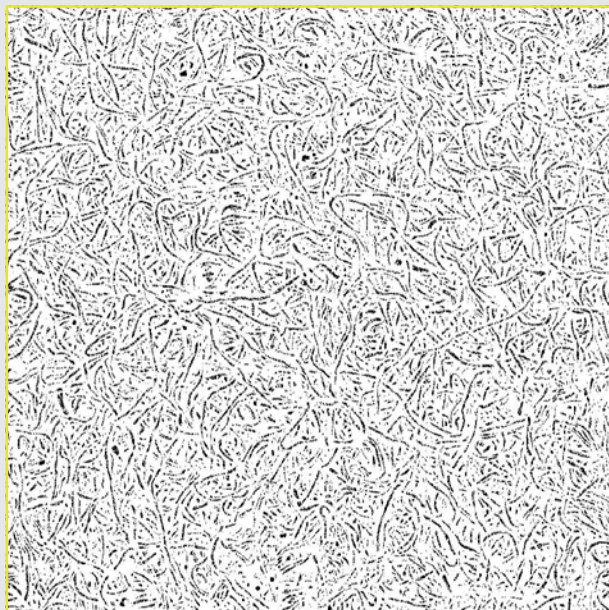
ABBILDUNG 2



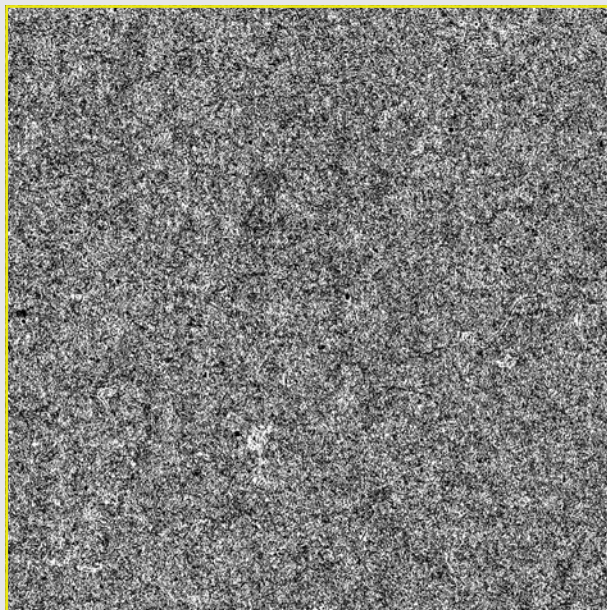
„Durch die enge Zusammenarbeit mit unseren Projektpartnern der Technischen Universität Graz und dem Kompetenzzentrum Holz konnte im Rahmen des Projektes „Energieeffiziente Kraftpapierproduktion“ das Wissen zur Grundlagen- und angewandten Forschung der beiden wissenschaftlichen Partner mit dem Prozess Know-how am Standort in Frantschach ideal gebündelt und die Synergieeffekte gezielt eingesetzt werden. Ein derartiges Modell der Zusammenarbeit kann für unsere Industrie zukunftsweisend sein.“ PROJEKTLLEITER JOHANNES LEITNER



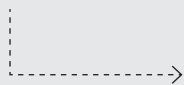
ABBILDUNG 3

**coarse felt**

contact area = 12,4 %

**fine felt**

contact area = 43,5 %



Darstellung der Oberfläche eines Filzes mit groben Fasern (links) und mit feinen Fasern (rechts). Feinere Fasern führen zu einer höheren Kontaktfläche zwischen dem Filz und Papier (Leuk et al. 2014). Dieses neu entwickelte Werkzeug führte zu einem signifikant kürzeren und nachhaltigeren Optimierungsprozess von Filzdesigns.

**Quellenangabe**

Leuk P, Dauer M, Schneeberger M, Hirn U und Bauer W (2014) The contact area of press felts under load and its effect on dewatering efficiency. ZELLCHEMING-Expo, 109th Annual Meeting and Exhibition.

der Trockenhaube. Andererseits werden die gewonnenen Daten für die Erstellung eines intelligenten Regelkonzeptes herangezogen. In diesem Zusammenhang werden Einsparungen im Anfahrprozess nach Bahnabrissen und betriebsbedingten Abstellungen erwartet.

Beispiel der Optimierung der Pressenfilze zur Steigerung des Trockengehaltes

Wie bereits vorhergehend beschrieben wurde wird in der Pressenpartie das restliche Wasser zwischen und an den Fasern durch einen Pressimpuls in den mitlaufenden Filz entwässert. Eine Erhöhung des Trockengehalts um 1 % reduziert den Energieverbrauch in der nachfolgenden Trockenpartie um 4%. Eine traditionelle Optimierung der Pressenfilze erfolgt nach dem Prinzip von Trial & Error. Dieser empirische Ansatz ist kostenintensiv, langwierig, risikobehaftet und hat oftmals einen geringen Informationsgehalt für weiterführende Verbesserungen. Im Rahmen des Projektes haben wir einen Ansatz bestehend aus grundlegender Analytik, Versuchen im Pilotmaßstab und eine

Verifizierung im industriellen Maßstab verfolgt. In einer engen Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Graz, dem schwedischen Forschungsinstitut Innventia und dem Filzlieferranten wurde ein analytischer Ansatz zur Abschätzung der Performance von Pressenfilzen entwickelt (Leuk et al. 2014). Ein Pressenfilz besteht aus mehreren Schichten mit Fasern unterschiedlichster Faserbreite und lokal unterschiedlicher Faserdichte. Mit Hilfe einer dynamisch belastbaren Laborpresse wurde ein Abguss der Filzoberfläche hergestellt, welche in weiterer Folge mittels eines Rastermikroskops flächig digitalisiert wurde. Mit Hilfe eines speziellen Algorithmus wurde die Kontaktfläche zwischen dem Papier und der Filzoberfläche ermittelt. Abbildung 3 zeigt die Oberfläche und die Kontaktfläche eines Filzes mit groben und feinen Fasern in der Deckschicht. Die ForscherInnen der Technischen Universität Graz fanden heraus, dass feinere und homogen verteilte Fasern in der oberen Deckschicht eines Pressenfilzes für eine gleichmäßigere Entwässerung und somit höheren Trockengehalt maßgeblich sind.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Durch das Netzwerk bestehend aus der Forschung am Standort und den Konzepten der beiden Forschungspartner wurden im Projektverlauf Schwerpunkte gesetzt, die einerseits zum Teil während der Projektlaufzeit umgesetzt wurden. Andererseits wurden auch weitere langfristige Erkenntnisse erhalten, deren Potenziale noch weit über das Ende des Projektes hinaus zur Umsetzung gebracht werden können.
- Durch einen systematischen Ansatz aus Laborversuchen, die die Basis für einen Versuchsblock im zum Teil Pilotanlagen und industriellen Maßstab lieferten, konnten langwierige Optimierungsschleifen verkürzt werden und ein Werkzeug für Optimierungen nach der Projektlaufzeit geschaffen werden.
- Beim natürlichen Rohstoff Holz ist eine optimale Prozesssteuerung oft schwieriger als in anderen Industrien mit technischen Produkten. Durch den Einsatz von neuartigen Regelungskonzepten konnte bereits während der Projektlaufzeit ein Prototyp für ein Optimum aus Produktqualität und Energieeffizienz entwickelt werden.





Projektleitung: ANDREA WERNER
Siemens VAI Metals Technologies GmbH

ABBILDUNG 1

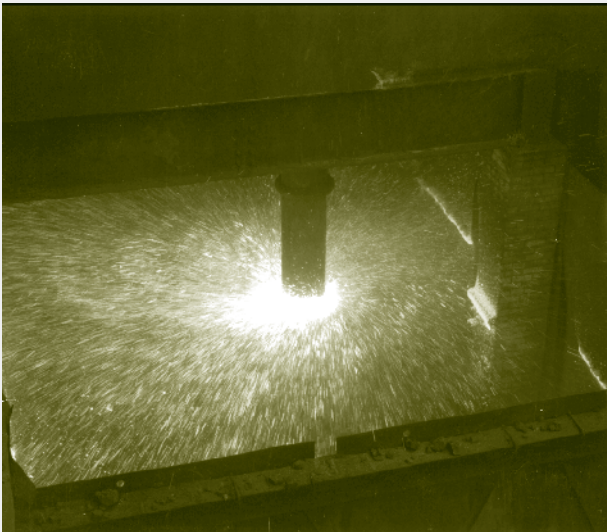
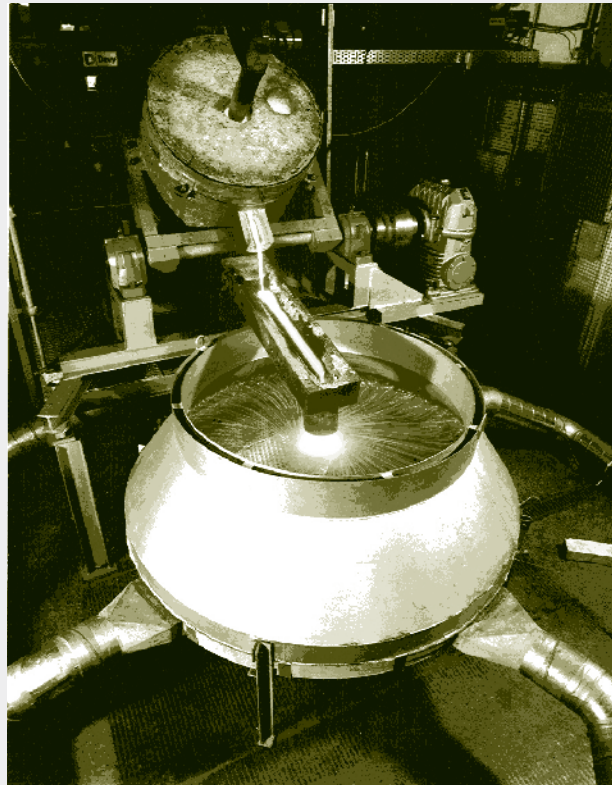


ABBILDUNG 2



„Demonstrationsanlage“ zur trockenen
Granulation von Hochofenschlacke in Redcar (UK)

Versuchsstand in Vitkovice (CZ) zur trockenen
Granulation der Schlacke aus dem ZEWA-Prozess

FORWÄRTS

Forschungsvorhaben zur Wärmerückgewinnung mittels Trockenschlackegranulation

Flüssige Hochofenschlacken stellen eine der größten, noch ungenutzten Hochtemperaturpotenziale der Eisen- und Stahlindustrie dar. Bei der konventionellen Nassgranulationstechnik, bleibt das hohe energetische Potenzial der Schlacke (rd. 1,8 GJ/t) ungenutzt, da es lediglich zur Wasser-Erwärmung/-Verdampfung auf niedrigem Temperaturniveau führt.

Ziel von FORWÄRTS ist die Weiterentwicklung eines Verfahrens, um die beim Hochofenprozess erzeugte und beim Abstich ca. 1500°C heiße Schlacke einerseits trocken zu granulieren um ein Produkt mit gleichen oder besseren Eigenschaften gegenüber dem herkömmlich (bei der Nassgranulation erzeugten) Hüttensand zu erzeugen, und andererseits gleichzeitig die erhebliche thermische Energie der Schlacke für Wärmerückgewinnung zu nutzen. Dies soll durch experimentelle Untersuchungen mit schmelzflüssigen Hochofenschlacken am Gelände eines Hüttenwerkes erreicht werden.

Bei offenen Nassgranulationsanlagen kommt es zur Freisetzung von schwefelhaltigem Wasserdampf, wodurch die Umwelt belastet wird und laufend Frischwasser in das System nachgespeist werden muss. Geschlossene Nassgranulationsanlagen führen das Wasser im Kreislauf und vermindern die Emission von schwefelhaltigem Wasserdampf, jedoch weisen sowohl offene als auch geschlossene Nassgranulationsanlagen einen hohen Energiebedarf für die Förderung und Rückkühlung der großen Wassermengen auf. Durch den Energieeintrag in das Kreislaufwasser muss dieses in Kühltürmen, die z.T. mit elektrisch betriebenen Ventilatoren ausgerüstet sind, oder durch die thermische

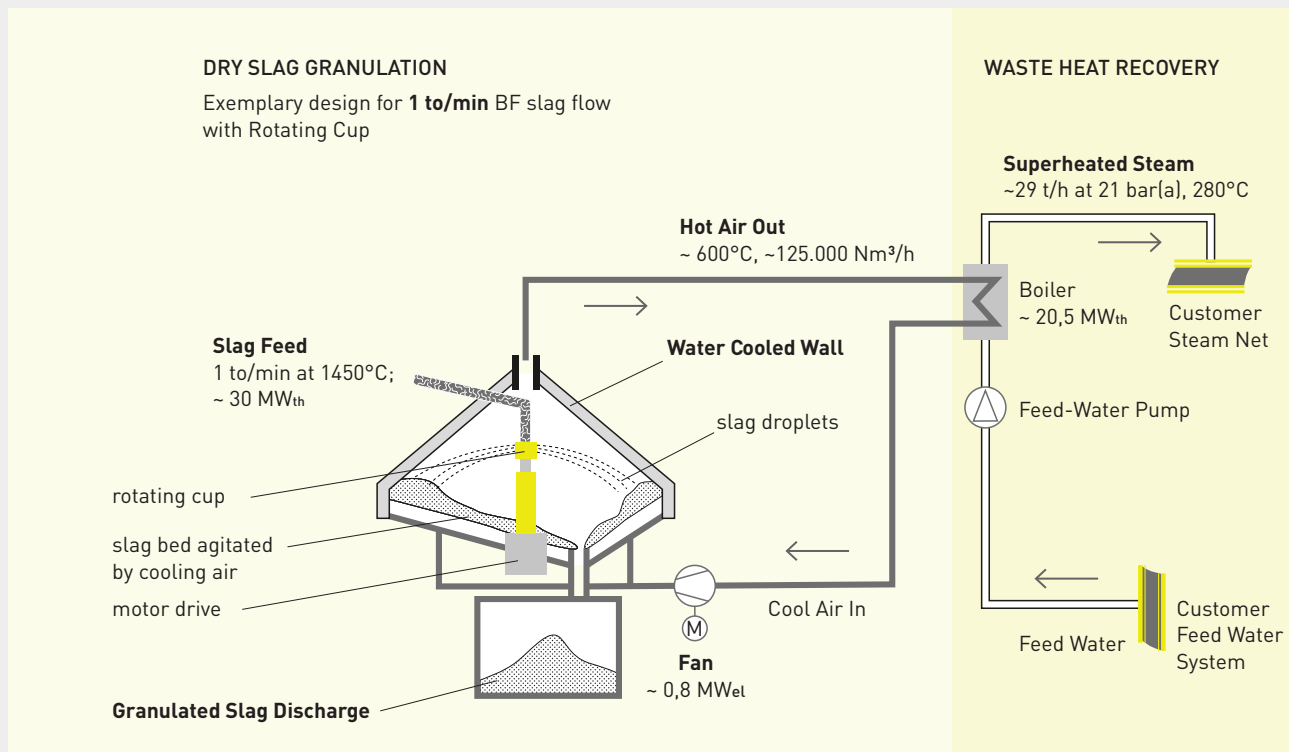
Belastung naheliegender Gewässer abgekühlt werden. In der Regel wird die auf einem niedrigen Temperaturniveau liegende Wärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben.

Der durch Nassgranulation erzeugte Hüttensand enthält trotz mechanischer Entwässerung in Trommeln, Silos und Halden eine Restfeuchte von 5-20%. Für die Zementherstellung muss das Produkt daher zuvor mit hohem Energieaufwand getrocknet werden. Der Energiebedarf für die Hüttensandtrocknung beträgt bei 10 M.-% Restfeuchte rd. 132 kWh/t.

Eine Möglichkeit, den hohen Wassereinsatz sowie den Energieeinsatz zur Trocknung des feuchten Hüttensandes zu vermeiden, besteht in der trockenen Zerteilung und schnellstmöglichen Abkühlung („Abschreckung“) der flüssigen Schlacke. Die zwingende Voraussetzung für die Einführung eines solchen alternativen Verfahrens ist, dass ein trockenes Produkt mit gleichen oder besseren Eigenschaften gegenüber dem herkömmlich bei der Nassgranulation erzeugten Hüttensand entsteht. Dies gilt im Besonderen für den Glasgehalt (Anteil an amorphen Strukturen, Ziel > 95%), der eine wesentliche Einflussgröße auf die Reaktivität und damit die Qualität des Hüttensandes darstellt. Diese Faktoren wirken sich unmittelbar auf die Festigkeit der damit hergestellten Zemente und Betone aus. Der geforderte Glasgehalt kann aber nur durch eine schlagartige Abkühlung unter die Transformationstemperatur von ca. 900°C realisiert werden. Dies ist beim wasserfreien Abschrecken der flüssigen Hochofenschlacke um ein vielfaches schwieriger als bei der konventionellen Wassergranulation, da hier

Dry BF Slag Granulation & Waste Heat Recovery

ABBILDUNG 3



→ Konzept des „Rotating Cup“-Verfahrens. Energetische und Potenzialabschätzung der trockenen Granulation von Hochofenschlacke durch das „Rotating Cup“-Verfahren.

mit großem Wasserüberschuss die Transformations-temperatur schnell erreicht und unterschritten wird. Im Gegensatz ist bei einer wasserfreien Trockengranulation die Trocknung des entstehenden Produkts überflüssig. Allein hierdurch kann überschlägig im Vergleich zu einer Tonne nassgranulierten Hüttensands eine CO₂-Verringerung von ca. 30 kg/t angesetzt werden. Bei einer für FORWÄRTS nutzbaren Weltproduktion von ca. 210 Mio. t Hüttensand pro Jahr entspricht dies einer möglichen CO₂-Minderung von über 6,3 Mio. t pro Jahr.

Der entscheidende Vorteil der Trockengranulation ist aber, dass durch eine nachgeschaltete Wärmerückgewinnung zusätzlich die Abwärme aus dem Abkühlprozess genutzt werden kann. Je nach Nutzungsmöglichkeit ist der direkte Einsatz für Vorwärm- oder Heizzwecke, aber auch die Produktion von Prozessdampf und/oder Strom möglich. Dadurch können natürliche Brennstoffressourcen eingespart und die damit verbundenen CO₂-Emissionen in erheblichem Maße vermieden werden.

In der Vergangenheit sind unzählige Verfahren zur Trockengranulation von Eisenhüttenschlacken und auch zur Wärmerückgewinnung aus den schmelzflüssigen Schlacken in der Literatur vorgestellt und auch patentiert worden. Betrieblich wird bis heute weltweit keines dieser Verfahren für die Abschreckung zur Erzeugung einer glasigen Hochofenschlacke genutzt. Die Entwicklung eines Verfahrens zur trockenen Granulation von Hochofenschlacke unter dem Aspekt der Wärmerückgewinnung wird durch die Tatsache begünstigt, dass SVAI bzw. die darin aufgegangenen Unternehmensteile von British Steel (heute Corus) / Davy bereits zwei Forschungsprojekte für die Trockengranulation von Schlacke, jedoch OHNE den Aspekt der Wärmerückgewinnung, verfolgt hatte. Diese basierten beide auf dem Zerteilen der flüssigen Hochofenschlacke durch eine rotierende Scheibe („Rotating Cup“ oder Davy-Verfahren) und Abkühlung durch große Luftmengen unter Umgebungsbedingungen. D.h. durch die großen Luftmengen wurden während

der trockenen Granulation keine erhöhten Ablufttemperaturen erreicht. Die Granulation fand unter Umgebungsbedingungen statt, wodurch das Potenzial für eine Wärmerückgewinnung nicht untersucht werden konnte.

In den 1990er Jahren wurde eine „Demonstrationsanlage“ zur trockenen Granulation von Hochofenschlacke im Schlackenstrom des 8.500 t/d-Hochofens von British Steel in Redcar (UK) betrieben (siehe Abbildung 1). Bei diesen Versuchen in England wurde jedoch die Kompatibilität mit einer Wärmerückgewinnung nicht berücksichtigt. Dementsprechend wurde damals auch kein Augenmerk auf den Bau eines geschlossenen Systems gelegt. Das offene System führte dazu, dass eine solche Anlage einen Platzbedarf von ca. 20m im Durchmesser benötigt hätte. Die Eigenschaften des trocken produzierten Schlackengranulats wurden den Anforderungen an ein Portlandzement-Substitut gerecht. Jedoch war der wirtschaftliche und politische Druck auf die Stahlindustrie Maßnahmen zur CO₂-Reduzierung einzuführen damals noch nicht so hoch wie heute, weshalb dieses Forschungsprojekt nach rund fünf Jahren erfolgreich abgeschlossen, jedoch nie großtechnisch umgesetzt wurde.

Die zweite Versuchsanlage zur trockenen Granulation von Hochofenschlacke wurde Anfang dieses Jahrhunderts in der Tschechischen Republik betrieben (siehe Abbildung 2). Basis war das Zero-Waste-Verfahren (ZEWA-Verfahren), welches in einem Hochtemperatur-Schmelzreduktionsprozess Mischungen von Reststoffen aus der Stahlherstellung in Roheisen und Schlacken umwandelte. Durch die „Versuchsanlage“ in Vitkovice konnte nachgewiesen werden, dass das durch den ZEWA Prozess erzeugte Roheisen als auch die Schlacke als Produkt geeignet waren, wobei die konditionierte und trocken granuliert Schlacke die Eigenschaften von nass granuliertem Hüttensand aufwies.

Auch bei der ZEWA Trockengranulation-Versuchsanlage wurde die Kompatibilität mit einer Wärmerückgewinnung nicht berücksichtigt. Das ZEWA

Forschungsprojekt inkl. trockener Granulation von Schlacke wurde nach rund fünf Jahren erfolgreich abgeschlossen. Der Abschluss des ZEWA-Forschungsprojektes fiel jedoch mit dem Beginn der Finanz- und Wirtschaftskrise zusammen, wodurch die damaligen potentiellen Kunden nicht in eine großtechnische Anlage investieren wollten. Das ZEWA-Verfahren wurde bis heute nicht großtechnisch umgesetzt.

Diese zwei Forschungsprojekte zeigten, dass Schlacke trocken zu einem absatzfähigen Portlandzement-Substitut granuliert werden kann, wenn die blitzartige Abkühlung der Schlacke unter die Transformations-temperatur von $\sim 900^{\circ}\text{C}$ erfolgt.

Die zentrale Fragestellung von FORWÄRTS wird daher sein, wie sich die Produktqualität der Schlacke unter realen Bedingungen (in einem Hüttenwerk) verhält, wenn die Luftmenge in einem geschlossenen System so weit gedrosselt wird, dass es zu einer erheblichen Lufterwärmung durch den Wärmeübergang von Schlacke an Luft kommt bzw. welche Auswirkungen die erhöhte Lufttemperatur auf den gesamten Granulationsprozess hat.

Methode

Das „Rotating Cup“-Verfahren basiert auf der Zerteilung der flüssigen Hochofenschlacke durch einen Drehteller (siehe Abbildung 3). Die so gebildeten flüssigen Schlacketröpfchen müssen schnellstmöglich unter die Transformationstemperatur abgekühlt werden um ein hüttensandähnliches Schlackegranulat zu erzeugen, das als Zement-Substitut eingesetzt werden kann. Die Abkühlung der Schlacketröpfchen erfolgt durch Luft, die sich durch den Wärmeübergang von Schlacke an Luft erwärmt.

Eine erste Potenzialabschätzung des „Rotating Cup“-Verfahrens unter dem Aspekt der Wärmerückgewinnung zeigt, dass sich aus einem $\sim 1500^{\circ}\text{C}$ heißen Schlackenmassenstrom von ca. 1 t/min als energetisch gut verwertbares „Produkt“ ein Heißluftstrom von $\sim 125.000\text{Nm}^3/\text{h}$ mit einer Temperatur von $\sim 600^{\circ}\text{C}$ ergeben würde. Die heiße Abluft kann dabei im

geschlossenen Kreislauf über einen Wärmetauscher bzw. Abhitzekeessel geführt werden. Die gewinnbare thermische Energie durch Dampferzeugung entspräche einer Leistung von $\sim 21,5\text{ MW}$ thermisch bzw. $\sim 29\text{ t/h}$ überhitzen Dampf, welcher direkt in das Dampfnetz des Hüttenwerks eingespeist werden kann (siehe Abbildung 3).

Durch den unbekannten Einfluss der erhöhten Lufttemperatur auf den gesamten Granulationsprozess konnte jedoch nicht auf die bisherigen Forschungen von SVAI zum „Rotating Cup“-Verfahrens ohne Wärmerückgewinnung, die um 1990 durchgeführt wurden, aufgebaut werden. Für die Entwicklung eines Verfahrens zur trockenen Granulation von Hochofenschlacke mit Wärmerückgewinnung musste als erstes neues Grundlagenwissen durch experimentelle und theoretische Arbeiten im Zuge einer Forschungskooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft erworben werden.

Daher wurde im Jahr 2011 eine Kooperation zwischen MUL, FEhS, Siemens Deutschland und SVAI gebildet, um Grundlagen zur trockenen Granulation von Hochofenschlacke unter dem Aspekt der Wärmerückgewinnung zu erarbeiten. Hierzu errichtete die MUL unter anderem einen Versuchstand, um in ersten experimentellen Untersuchungen die Funktionalität des Verfahrens nachzuweisen. Weiters wurden erste Simulationsmodelle zur Abbildung des Granulationsprozesses erstellt.

Sowohl die Simulationsergebnisse als auch die ersten experimentellen Versuchsergebnisse aus der Grundlagenforschung der MUL sind vielversprechend, jedoch stehen für einen Versuch an der MUL maximale 300 kg flüssige Schlacke zur Verfügung wodurch die Versuchszeit auf einige Minuten beschränkt ist. Die bisherigen Ergebnisse zeigen schon sehr erfolgreich auf, dass das Prinzip des „Rotating-Cup“ unter dem Aspekt der Wärmerückgewinnung kurzzeitig funktioniert, aber die in weiterer Folge wichtigen und essenziellen Langzeitversuche können auf der MUL, aufgrund der begrenzten Hochofenschlackemenge,

nicht durchgeführt werden. Die logische Konsequenz aufgrund der erfolgreichen Grundlagenforschung im Technikumsmaßstab ist die Einbindung der VAS als Stahlwerksbetreiber, um die Nutzbarkeit der Forschungsergebnisse für die Wirtschaft voranzutreiben und einen Prototypen im industriellen Maßstab zu erreichen.

Für die Markteinführung von industriellen Anlagen zur trockenen Granulation von Hochofenschlacke mit Wärmerückgewinnung wird ein Zeitrahmen von 1 bis 2 Jahren nach dem Abschluss dieses Forschungsprojektes angestrebt. **Durch FORWÄRTS kann eine weltweite CO₂-Reduktion von insgesamt 17 Mio. Tonnen pro Jahr erreicht werden.**

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Moderne organische lichtemittierende Bauteile sind von großem wissenschaftlichem und wirtschaftlichem Interesse, weil Sie eine Vielzahl von effizienten neuartigen Beleuchtungs- und Displayanwendungen ermöglichen.
- Das vorliegende Projekt beschäftigt sich mit der Erforschung von plasmonischen Strukturen und deren positive Auswirkungen auf das Auskoppelverhalten von Weißlicht emittierende organische Licht-emittierenden Dioden (WOLEDs).
- Angestrebtes Ergebnis des Forschungsvorhabens ist die Realisierung einer breitbandig emittierenden, plasmonisch verstärkten OLED mit einer Erhöhung der Lichtausbeute von mehr als 30%.

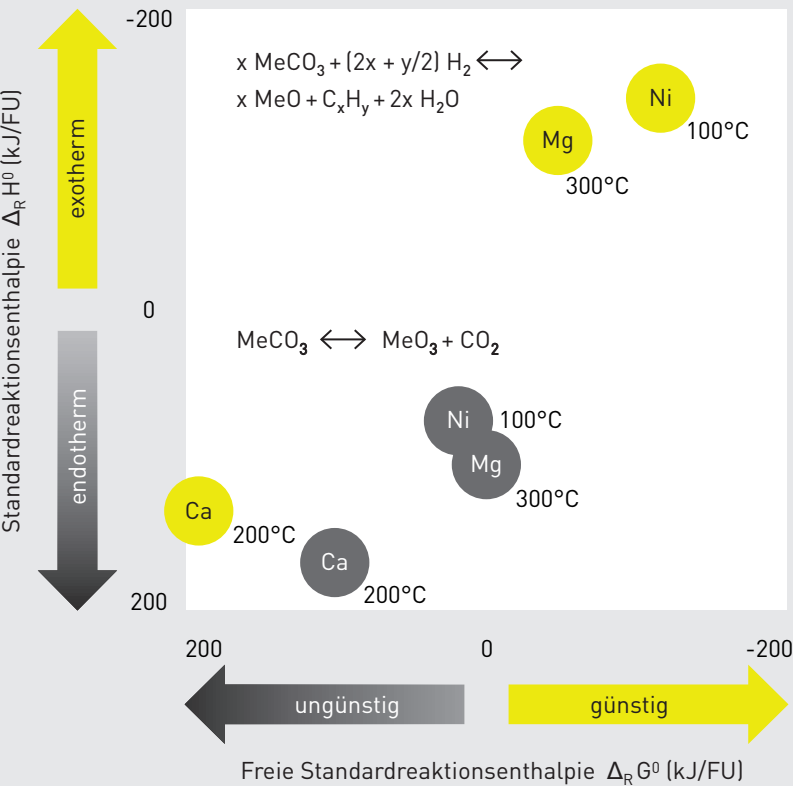




Projektleitung: SUSANNE LUX
Technische Universität Graz,
Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik

Reduzierende Kalzinierung

ABBILDUNG 1



Änderung der Prozessbedingungen beim
Kalzinieren von anorganischen Karbonaten

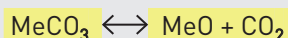
RED - Reduzierende Kalzinierung

Hintergrund

In der Grundstoffindustrie werden für vielfältige Anwendungen anorganische Karbonate ($\text{Men}(\text{CO}_3)_m$, meist MeCO_3) als Rohstoffe eingesetzt. Magnesiumkarbonat (MgCO_3 , Magnesit) ist beispielsweise der wichtigste Rohstoff für die Herstellung von basischen Feuerfestmaterialien. Der wohl wichtigste Baustoff Kalk wird aus dem Rohstoff Kalziumkarbonat (CaCO_3 , Kalkstein) erzeugt. In Österreich basiert die Herstellung von Eisen und Stahl nach wie vor zu einem wesentlichen Teil auf der Verarbeitung des Erzes Spateisenstein (Siderit), also Eisenkarbonat (FeCO_3). In zahlreichen weiteren Industriesparten werden zur Herstellung von Katalysatoren, Keramiken, Halbleitern, Supraleitern und vielem mehr karbonatische Erze in ihre oxidische und/oder elementare Form überführt.

Kalzinierung – der konventionelle Prozess

Nach der mechanischen Aufbereitung beruht der erste Schritt zur Veredelung dieser Rohstoffe auf dem thermischen Abstreifen von Kohlendioxid (CO_2), dem sogenannten „Entsäuerungsschritt“. Dies erfolgt durch Einstellen geeigneter thermodynamischer Bedingungen (Druck, Temperatur, in oxidierender Atmosphäre), die einen vollständigen Zerfall des Karbonats in das feste Oxid und das gasförmige Kohlendioxid ermöglichen. Dieser Abstreifvorgang kann allgemein für Metallkarbonate vom Typ MeCO_3 mit folgender Reaktionsgleichung beschrieben werden:



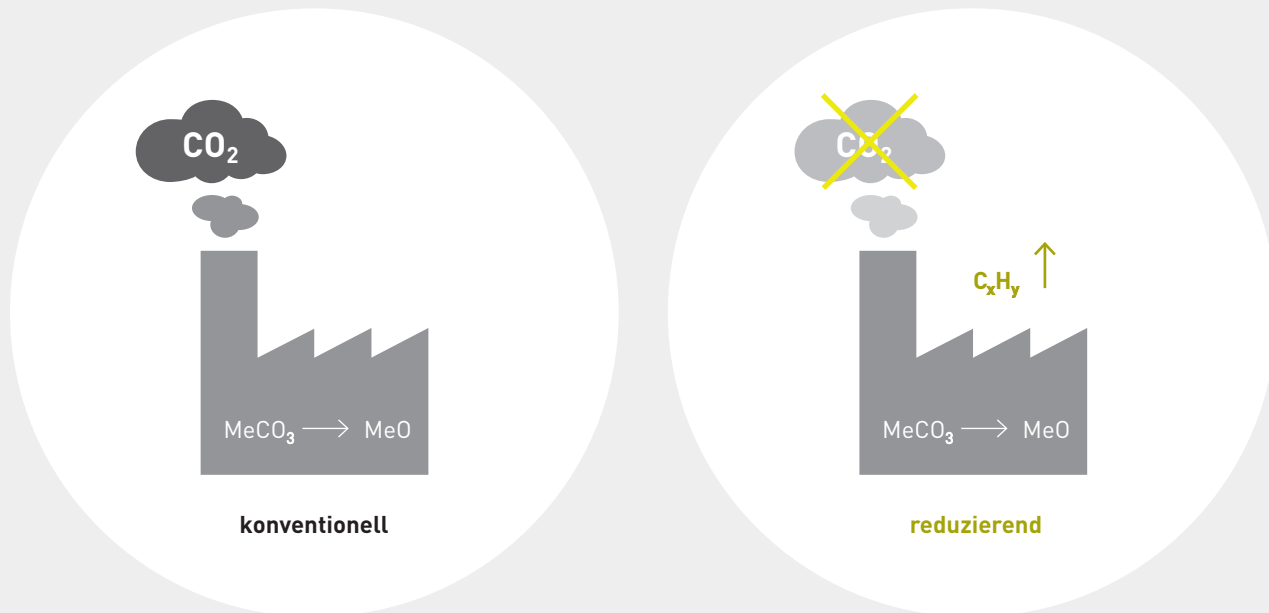
Wie aus der Reaktionsgleichung ersichtlich ist, werden bei diesem Vorgang direkt und indirekt über den Energiebedarf erhebliche Mengen an Kohlendioxid freigesetzt und an die Atmosphäre abgegeben.

Je nach Art und Verarbeitung des Rohstoffes, also dem Metallkarbonat, wird dieser Vorgang bei der Veredelung von Kalkstein und Magnesiumkarbonat „Kalzinieren“ und bei der Verarbeitung von Erzen „Rösten“ genannt. Diese Fachbegriffe lehnen sich an die Reaktion der so erzeugten Oxide mit Wasser an. Allen Prozessen ist gemeinsam, dass sie reversibel, sprich umkehrbar, und endotherm sind. Das bedeutet, dass für das Abstreifen von Kohlendioxid sehr viel Energie über kohlenstoffhaltige Energieträger zugeführt werden muss.

Auskunft darüber, ob eine chemische Reaktion unter Aufnahme von Wärme aus der Umgebung abläuft, also endotherm ist, oder ob während einer chemischen Umsetzung Wärme freigesetzt wird – die Reaktion exotherm verläuft – gibt die Standardreaktionsenthalpie $\Delta_R H^0$. Die Reversibilität einer chemischen Reaktion wird durch die Freie Standardreaktionsenthalpie $\Delta_R G^0$ bei einer bestimmten Temperatur beschrieben. Diese thermodynamische Größe gibt Aufschluss darüber, ob eine chemische Reaktion bei einer bestimmten Temperatur überhaupt ablaufen kann. Positive $\Delta_R G^0$ -Werte haben zur Folge, dass der Gleichgewichtsumsatz weit auf der Seite der Ausgangsstoffe (Edukte) liegt und diese im Extremfall ($\Delta_R G^0 > 60 \text{ kJ/mol}$) gar nicht oder nur durch erhebliche Arbeit umgesetzt werden können. Ausgeprägt negative $\Delta_R G^0$ -Werte sind für die erfolgreiche Durchführung einer chemischen

Konventionelle und reduzierende Kalzinierung im Vergleich

ABBILDUNG 2



Reaktion unerlässlich – legen sie doch fest, dass das Gleichgewicht weit auf der Produktseite liegt und die Ausgangsstoffe (nahezu) vollständig ($\Delta_R G^0 < -60 \text{ kJ/mol}$) zu den Produkten reagieren.

Für das Abspalten von Kohlendioxid aus dem Rohstoff muss das Energieniveau die Einstellung einer Mindesttemperatur gewährleisten. Temperatur und Energiebedarf dieses endothermen Vorgangs hängen vom Rohstoff, also vom eingesetzten Karbonat, ab und variieren auch für Karbonate innerhalb einer Gruppe des Periodensystems. Vergleicht man die beiden Erdalkalikarbonate CaCO_3 und MgCO_3 wird dieser Unterschied in den Stoffeigenschaften innerhalb einer Gruppe klar ersichtlich. Während die thermische Spaltung von CaCO_3 erst bei Temperaturen um 900°C merkbar abläuft ($\Delta_R G_{900^\circ\text{C}} = -1,99 \text{ kJ/mol}$), setzt die

Spaltung von MgCO_3 schon bei bedeutend niedrigeren Temperaturen (z.B. $\Delta_R G_{400^\circ\text{C}} = -16,32 \text{ kJ/mol}$ bei 400°C) signifikant ein. Dieser Unterschied ist zum Beispiel bei der Veredelung von Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) zu beachten.

Unabhängig davon, ob ein Röst- oder ein Kalzinierungsprozess betrachtet wird, in allen Fällen wird die Energie, die für die Spaltung des Karbonats erforderlich ist, durch direkte Befuerung der Einsatzstoffe in den Reaktoren zugeführt. Dies erfolgt vorwiegend in Schachtföfen oder Drehrohrföfen. Neben den oxidischen Produkten werden Abgase mit hohem Kohlendioxidgehalt und mit einer Mindesttemperatur, die von Matrixverbindungen wie Schwefel oder auch Halogeniden abhängt, emittiert. Diese Mindesttemperatur hängt vorwiegend von den Säuretaupunkten, die

**Thermodynamischer Vergleich konventioneller Entsäuerungsprozesse
mit der innovativen reduzierenden Kalzinierung (HSC Chemistry 7.1)**

ABBILDUNG 3

konventionell			
T (°C)	$\Delta_R H^0$ (kJ/FU)	$\Delta_R S^0$ (J/(K·FU))	$\Delta_R G^0$ (kJ/FU)
$\text{NiCO}_3 \longleftrightarrow \text{NiO} + \text{CO}_2(\text{g})$			
0	80,34	167,23	34,66
100	79,58	164,84	18,07
200	79,32	164,18	1,64
300	79,30	164,19	-14,80
400	78,43	162,79	-31,15
$\text{CaCO}_3 \longleftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2(\text{g})$			
0	178,25	160,44	134,43
200	176,81	156,66	102,69
400	174,39	152,43	71,78
800	167,62	144,65	12,38
900	165,50	142,77	-1,99
$\text{MgCO}_3 \longleftrightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2(\text{g})$			
0	101,92	175,73	52,92
100	100,65	174,91	35,38
200	100,00	173,39	17,96
300	99,98	171,45	0,72
400	97,58	169,20	-16,32

neu: reduzierend			
T (°C)	$\Delta_R H^0$ (kJ/FU)	$\Delta_R S^0$ (J/(K·FU))	$\Delta_R G^0$ (kJ/FU)
$3 \text{ NiCO}_3 + 10 \text{ H}_2(\text{g}) \longleftrightarrow 3 \text{ NiO} + \text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 6 \text{ H}_2\text{O}(\text{g})$			
0	-131,02	-32,27	-122,21
100	-145,48	-77,53	-116,55
200	-157,15	-105,39	-107,28
300	-166,68	-123,61	-95,84
400	-177,56	-141,10	-82,58
$3 \text{ CaCO}_3 + 10 \text{ H}_2(\text{g}) \longleftrightarrow 3 \text{ CaO} + \text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 6 \text{ H}_2\text{O}(\text{g})$			
0	162,73	-52,65	177,11
200	135,32	-127,97	195,87
400	110,33	-172,18	226,23
800	67,16	-222,86	306,32
900	57,44	-231,52	329,05
$3 \text{ MgCO}_3 + 10 \text{ H}_2(\text{g}) \longleftrightarrow 3 \text{ MgO} + \text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 6 \text{ H}_2\text{O}(\text{g})$			
0	-69,27	-6,77	-67,42
100	-82,27	-47,32	-64,62
200	-95,09	-77,77	-58,30
300	-107,64	-101,82	-49,28
400	-120,11	-121,88	-38,06

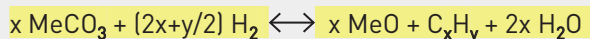
nicht unterschritten werden dürfen, ab. Die Abgase weisen einen Mindestsauerstoffgehalt auf, das heißt, dass diese Prozesse unter oxidierenden Bedingungen durchgeführt werden.

Kennzeichnende Merkmale für Röst- und Kalzinierungsprozesse sind demnach der hohe Energiebedarf für den Spaltvorgang und die Freisetzung von Kohlendioxid durch die Befeuerung und durch den Spaltvorgang selbst. Um Einsparungen und damit eine signifikante Verringerung der CO₂-Emissionen zu erreichen, bedarf es neuer, innovativer Denkansätze – speziell in emissionsreichen Industriesparten mit hohen Produktionsmengen, wie den erwähnten Bereichen der Grundstoffindustrie.

Unser innovativer Ansatz:

Reduzierende Kalzinierung

Losgelöst von der konventionellen Technologie ermöglicht ein innovativer Ansatz, basierend auf dem Konzept der cross over reactions, die Betriebsbedingungen in Kalzinier-/Röstprozessen grundlegend zu verändern. Verändert man den Abstreifprozess dahingehend, dass das Abstreifen von Kohlendioxid nicht unter oxidierenden sondern unter reduzierenden Bedingungen mit Wasserstoff (H₂) erfolgt, so wird das Kohlendioxid zu Kohlenwasserstoffen (C_xH_y) reduziert.



Der ursprünglich endotherm ablaufende Vorgang wird in einen exothermen Vorgang überführt. Dieser Prozessschritt kann auch als Speicherung des erneuerbaren Energieträgers Wasserstoff in Form von C_xH_y betrachtet werden.

Der Vergleich der Standardreaktionsenthalpien Δ_RH⁰ und der Freien Standardreaktionsenthalpien Δ_RG⁰ – exemplarisch angeführt für verschiedene Metallkarbonate vom Typ MeCO₃ (Abbildung 3) – zeigt noch stärker ausgeprägte Unterschiede der thermodynamischen

Eigenschaften der Elemente und ihrer Verbindungen auf. So werden beispielsweise bei MgCO₃ stark negative Δ_RG⁰-Werte unter reduzierenden Bedingungen erhalten. Im Vergleich dazu sind diese unter konventionellen, oxidierenden Bedingungen positiv. Demzufolge lässt sich aus den Stoffeigenschaften die Schlussfolgerung ableiten, dass es thermodynamisch möglich ist und durchaus vorteilhaft sein kann, bei Kalziniervorgängen die Kohlendioxidabstraktion durch Einstellung einer reduzierenden Atmosphäre unter Transfer des Kohlenstoffes zu Kohlenwasserstoffen durchzuführen.

Ein Vergleich:

Energiebedarf und spezifische Abgasbelastung

Bei der reduzierend durchgeführten Kalzinierung werden nicht nur Kohlendioxidemissionen erheblich verringert, sondern auch ein kohlenwasserstoffhaltiges Prozessgas erzeugt. Dadurch wird im Prozess zusätzlich Wertschöpfung generiert. Das kohlenwasserstoffhaltige Gas kann in weiterer Folge als Prozessgas bzw. Wasserstoffspeicher für weiterführende Prozesse eingesetzt werden. Neben der, aufgrund der Stöchiometrie, offensichtlichen CO₂-Emissionsminderung erweist sich diese Vorgehensweise außerdem in Hinblick auf den Energiebedarf als vorteilhaft. Einerseits wird durch die Änderung der oxidierenden Betriebsbedingungen auf reduzierende Bedingungen ein sehr energieintensiver endothermer Vorgang in einen exothermen Vorgang überführt. Andererseits konnte gezeigt werden, dass unter reduzierenden Bedingungen die Kohlendioxidabstraktion bereits bei deutlich niedrigeren Temperaturen stattfindet als im herkömmlichen Prozess. Damit kann die Betriebstemperatur gesenkt werden. Dieses Absenken des Temperaturniveaus resultiert in einer weiteren Verringerung des Energiebedarfs.

Ziel

Die thermodynamische Betrachtung zeigt das enorme Potenzial des hier skizzierten Prozesses für verschiedene Industriesparten, in denen derzeit mit energieintensiven Verfahren Kohlendioxid aus anorganischen Karbonaten abgestreift wird.

Die technische Machbarkeit ist auf Basis der thermodynamischen Daten alleine jedoch nicht bewertbar. Diese wird im Zuge des Projektes evaluiert, wobei der Fokus auf der Erarbeitung der reaktionstechnischen Grundlagen der „reduzierenden Kalzinierung“ liegt.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Durch innovative Betriebsbedingungen beim Kalzinieren kann eine erhebliche Verringerung von Kohlendioxid als Abgas erzielt werden.
- Cross over reactions fixieren karbonatischen Kohlenstoff in einem Energieniveau, welches die Verwendung als Prozessgas für weiterführende Prozesse zulässt.
- Die Überführung eines energieintensiven, konventionell endothermen Vorgangs in einen insgesamt exothermen Prozess und die damit verbundene Änderung des Temperaturniveaus ermöglichen neben signifikanten Energieeinsparungen und besseren Ausbeuten eine höhere Produktqualität.





Produktgas aus Biomasse

Projektnummer	829904
Koordinator	Voestalpine Stahl GmbH, Linz – Unternehmensbereich Roheisen
Projektleitung	Nina Kieberger: nina.kieberger@voestalpine.com
Partner	Voestalpine Stahl Donawitz GmbH & Co KG; Technische Universität Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften
Förderprogramm	Neue Energien 2020
Dauer	01.04.2011 – 31.03.2015
Budget	991.884 €



SolarBrew - Solar Brewing the Future

Projektnummer	839253
Koordinator	AEE INTEC, Arbeitsgem. Erneuerbare Energie, Institut für Nachhaltige Technologien
Projektleitung	Ewald Selvicka: e.selcicka@aee.at
Partner	Heineken Supply Chain B.V., Brau Union AG, GEA Brewing Systems GmbH, Sunmark A/S
Förderprogramm	Neue Energien 2020
Dauer	01.02.2012 - 31.01.2016
Budget	4.758.693 €



Wärmepumpen für den industriellen Einsatz

Projektnummer	834614
Koordinator	Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik
Projektleitung	René Rieberer: rene.rieberer@tugraz.at
Partner	AIT Austrian Institut of Technology, Frigopol Kälteanlagen GmbH
Förderprogramm	Neue Energien 2020
Dauer	01.03.2012 - 28.02.2015
Budget	682.008 €



Energieeffiziente Kraftpapierproduktion

Projektnummer	834498
Koordinator	Mondi Frantschach GmbH
Projektleitung	Johannes Leitner: johannes.leitner@mondigroup.com
Partner	Technische Universität Graz; Kompetenzzentrum Holz
Förderprogramm	Neue Energien 2020
Dauer	01.01.2012 - 31.12.2014
Budget	796.908 €



FORWÄRTS - Forschungsvorhaben zur Wärmerückgewinnung mittels Trockenschlackegranulation

Projektnummer	838725
Koordinator	Siemens VAI Metals Technologies GmbH
Projektleitung	Andrea Werner: andrea.werner@siemens.com
Partner	Montanuniversität Leoben / Lehrstuhl Thermoprozesstechnik, Voestalpine Stahl GmbH, FEhS - Institut für Baustoff-Forschung e.V.
Förderprogramm	e!Mission+.at - Energy Mission Austria
Dauer	01.03.2013 - 28.02.2015
Budget	4.834.331 €



RED - Reduzierende Kalzinierung

Projektnummer	843918
Koordinator	Technische Universität Graz Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik; VA Erzberg GmbH; voestalpine Stahl GmbH
Projektleitung	Susanne Lux: susanne.lux@tugraz.at
Partner	VA Erzberg GmbH, Voestalpine Stahl GmbH
Förderprogramm	e!Mission+.at - Energy Mission Austria
Dauer	01.02.2014 - 31.01.2017
Budget	718.004 €

Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90, Fax: (+43 1) 585 03 90-11

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Broschüre. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) oder die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiter-nutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angieneering.net

Druck

Druckerei Janetschek GmbH. Bei der mit Ökostrom durchgeführten Produktion wurden die Anforderungen des Österreichischen Umweltzeichens erfüllt. Sämtliche während des Herstellungsprozesses anfallenden Emissionen wurden im Sinne einer klimaneutralen Druckproduktion neutralisiert.

Verlags- und Herstellungsort: Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft. Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at



In Kooperation mit:

