

Carbon2Chem®

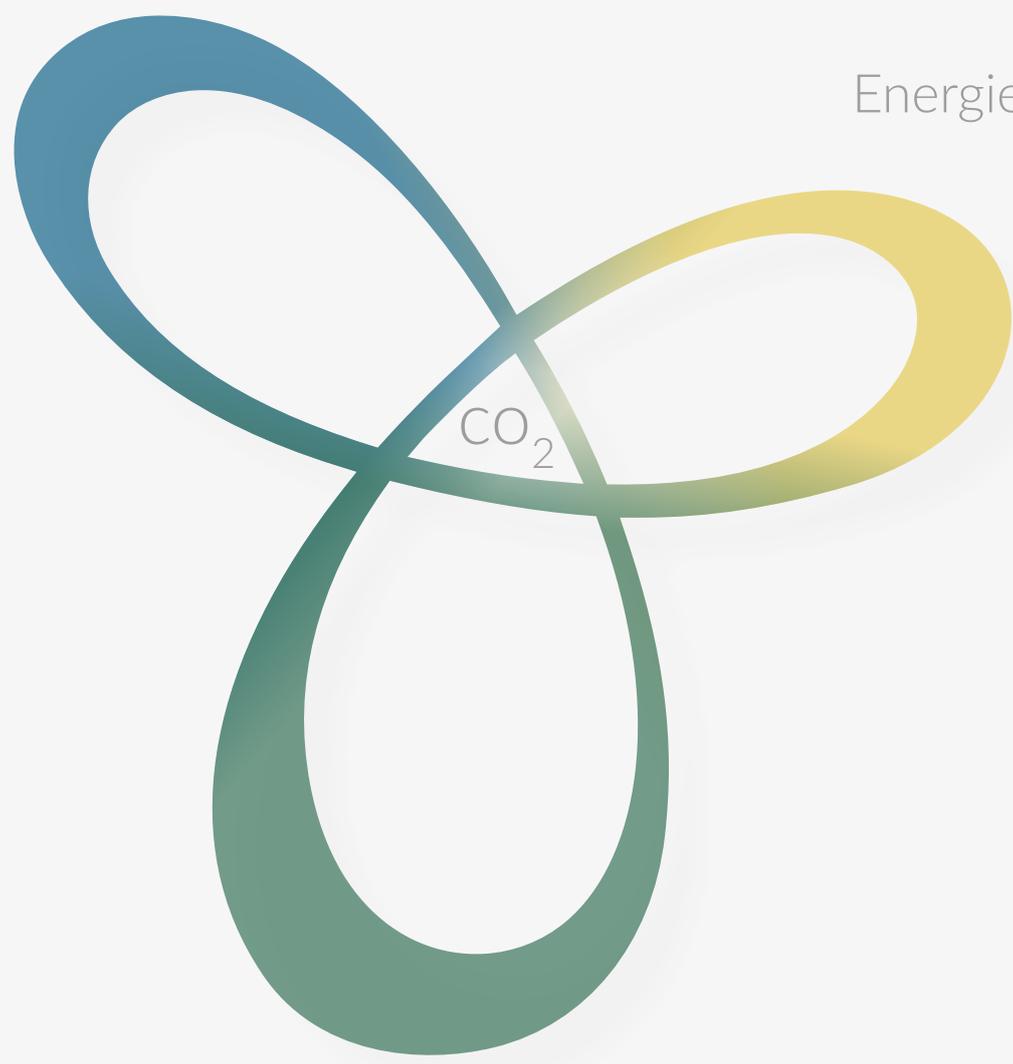
CO₂ - REDUZIERUNG

durch cross-industrielle Kooperation der
Stahl-, Chemie- und Energiebranche

**WIR FÜHREN DEN
KOHLENSTOFF IM KREISLAUF**

Stahl

Energie



Chemie



KRAFTSTOFFE



BASISCHEMIKALIEN



POLYMERE



Mit Forschung Wettbewerbsfähigkeit und Klimaschutz erfolgreich verbinden

Wir haben uns viel vorgenommen: Bis 2030 wollen wir in Deutschland im Vergleich zu 1990 den Ausstoß an Treibhausgasen mehr als halbieren. Dieses Ziel stellt den Produktionsstandort Deutschland vor Herausforderungen, vor allem energieintensive Schlüsselbranchen wie die Stahl- und Chemieindustrie. Mit Hilfe von Forschung und Entwicklung werden wir diese Herausforderungen meistern. Wir sehen darin sogar eine Chance für unsere Wirtschaft, denn der Klimawandel ist ein weltweites Problem. Wenn wir Vorreiter sind bei Innovationen, mit denen das Klima geschützt werden kann, sichern wir Arbeitsplätze und Wohlstand in unserem Land und erschließen neue Märkte.

Ein solcher Vorreiter ist Carbon2Chem. Carbon2Chem vereint wirtschaftlichen Erfolg mit effektivem Klimaschutz. Der branchenübergreifende Ansatz macht aus schädlichen Treibhausgasen wertvolle synthetische Kraftstoffe, Kunststoffe oder

Basischemikalien – und das nachhaltig. 20 Millionen Tonnen des jährlichen CO₂-Ausstoßes der deutschen Stahlbranche sollen so wirtschaftlich nutzbar gemacht werden. Das entspricht 10 Prozent der jährlichen CO₂-Emissionen der deutschen Industrie und des verarbeitenden Gewerbes. Dies ist ein klimarelevanter Einspareffekt. Um solche Größenordnungen beim Klimaschutz zu erreichen, müssen Staat und Wirtschaft eng kooperieren. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung steht für eine solche Kooperationskultur. Deshalb fördern wir Carbon2Chem bis 2020 mit über 60 Millionen Euro. Ich bin überzeugt: Carbon2Chem ist ein richtungsweisendes Projekt, das forschungsstarke Weltmarktführer verschiedener Branchen und exzellente Forschungseinrichtungen vereinigt – so funktioniert Forschung und Entwicklung für den Klimaschutz.



Anja Karliczek MdB
Bundesministerin für Bildung und Forschung

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Die Projektstruktur

L0

Systemintegration | Technikum | Labor

thyssenkrupp AG, Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Siemens AG



L1

Wasserelektrolyse im nicht-stationären Betrieb

thyssenkrupp AG, Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT GmbH



L2

Nachhaltige Methanolproduktion

Akzo Nobel Industrial Chemicals B.V., Ruhr-Universität Bochum, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, thyssenkrupp AG



L3

Gasreinigung

Linde AG, Ruhr-Universität Bochum, Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion, thyssenkrupp AG



L4

Höhere Alkohole

EVONIK Resource Efficiency GmbH, Ruhr-Universität Bochum, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, RWTH Aachen Institut für Technische und Makromolekulare Chemie, thyssenkrupp AG



L5

Carbon2Polymers

Covestro Deutschland AG, Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion, RWTH Aachen Catalytic Center, Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, RWTH Aachen Lehrstuhl für Fluidverfahrenstechnik, RWTH Aachen Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, RWTH Aachen Institut für Technische und Makromolekulare Chemie



L6

Oxymethylenether

BASF SE, Volkswagen AG, Linde AG, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Karlsruher Institut für Technologie | Institut für Katalysatorforschung und -technologie, thyssenkrupp AG



Carbon2Chem® - CO₂-Reduktion durch cross-industrielle Kooperationen

Europas integrierte Hüttenwerke wandeln heute zum größten Teil ihre Prozessgase in elektrische Energie um. Bei Carbon2Chem® werden diese Hüttengase nicht nur zur Stromerzeugung genutzt, sondern sie sollen auch zur Produktion chemischer Wertstoffe verwendet werden. Am Beispiel des thyssenkrupp Stahlwerks in Duisburg soll der unvermeidbare CO₂-Ausstoß in der Industrie künftig wirtschaftlich nutzbar gemacht werden.

Einzigartig in diesem Projekt ist nicht nur die breit angelegte, branchenübergreifende Zusammenarbeit von insgesamt 18 Projektpartnern aus Wirtschaft und Wissenschaft,

die ein neues Netzwerk aus Stahlherstellung, Stromerzeugung und Chemieproduktion entstehen lassen wollen. Hierbei dient der Industriezweig Stahlherstellung als Beispiel, denn es sollen Baukästen, aus denen sich Module zur Umsetzung der

Energiewende generieren lassen, entwickelt werden. In Carbon2Chem® wird nach einer großen Lösung gesucht, bei der am Ende alle Technologiemodule verknüpfbar sind. Entsprechend des zu entwickelnden Baukastens setzt sich Carbon2Chem® aus sieben Teilprojekten zusammen.

Die Teilprojekte L1 – L6 beschäftigen sich mit den Modulen Wasserstoff, Methanol, Höhere Alkohole, Polymere und Oxymethylenether sowie der Gasreinigung. Ausgehend von der Grundlagenforschung führt die angewandte Forschung in enger Zusammenarbeit mit der Industrie die Ergebnisse in die Marktreife.

Das Teilprojekt L0, die Systemintegration, verknüpft die Ergebnisse aus den anderen sechs Teilprojekten so miteinander, dass sie entweder im Ganzen oder auch nur als

einzelne Module an einem Industriestandort genutzt werden können je nach Bedarf des Unternehmens. Dieses Prinzip macht eine weitere Einzigartigkeit von Carbon2Chem® aus.

Um den ersten Meilenstein für dieses ehrgeizige Ziel – die Umsetzung im Labor- und Technikumsmaßstab – zu erreichen, stellt das Ministerium für Bildung und Forschung bis Ende 2020 Fördermittel in Höhe von 60 Millionen Euro bereit. Am Standort Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen wurden Bestandsgebäude durch ein neues Labor mit Büroflächen und Besprechungsräumen erweitert, wo Wissenschaftler von Fraunhofer UMSICHT und dem Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in direkter Nähe die Grundlagenforschung mit der angewandten Forschung verbinden. thyssenkrupp hat ein Technikum am Rande des Stahlstandorts Duisburg gebaut, um seit Frühling 2018 mit realen Hüttengasen arbeiten zu können. An diesen Standorten treffen sich die Teams aus allen Teilprojekten, um von ein paar Wochen bis hin zu mehreren Monaten im Verbund zu forschen. Mit Carbon2Chem® setzen die Partner auf nachhaltige Technologien und unterstützen die Energiewende indem Wissenschaft und Industrie Werkzeuge entwickeln und anwenden, die den globalen Kohlenstoffeinsatz verringern. Kurz gesagt: mit Carbon2Chem® und seinen Modulen wird der Kohlenstoff im Produktionsnetzwerk im Kreislauf geführt.

In Carbon2Chem® wird nach einer großen Lösung gesucht, bei der am Ende alle Technologiemodule verknüpfbar sind. Entsprechend des zu entwickelnden Baukastens setzt sich Carbon2Chem® aus sieben Teilprojekten zusammen.

Der Koordinationskreis von Carbon2Chem®

Professor Robert Schlögl, Direktor des Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr, Dr. Markus Oles, Leiter der Abteilung strategische Innovationen und Projekte bei der thyssenkrupp AG und Professor Görge Deerberg, stellvertretender Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen teilen sich die Gesamtleitung des Projektes und sind dafür verantwortlich die Grundlagenforschung in Verbindung mit der angewandten Forschung in einen industriellen Maßstab umzusetzen und daraus resultierend in die Marktreife zu führen.



PROF. ROBERT SCHLÖGL | Grundlagenforschung

Am Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion finden wir Wege, Energie effizient in speicherbare und nutzbare Formen umzuwandeln. Hier suchen wir dabei vor allem nach geeigneten Katalysatoren für die dazu notwendigen chemischen Reaktionen. In aller Regel versucht die Industrie CO₂ durch Vermeidung einzusparen und hierzulande arbeitet die Industrie bereits mit dem minimalsten Einsatz von Kohlenstoff. Eine komplette Vermeidung ist jedoch nicht möglich. Mit Carbon2Chem® entwickeln wir für diese Industrien ein Baukastenprinzip aus dem sich Module zur Umsetzung der Energiewende generieren lassen.



PROF. GÖRGE DEERBERG | Angewandte Forschung

Als Institut, dessen Leitsatz „Produzieren ohne Rohstoffe“ ist, passen wir hervorragend in dieses Projekt. Fraunhofer UMSICHT forscht bereits seit einigen Jahren in Projekten, die sich zum Ziel gesetzt haben, sowohl den CO₂-Ausstoß als auch den Abbau fossiler Rohstoffe weiter zu reduzieren und stattdessen „Abfallprodukte“ wie zum Beispiel die Hüttengase, die bei der Stahlproduktion zwangsläufig entstehen, zu nutzen, um sie für die Produktion von Chemikalien, wie zum Beispiel Methanol, zu verwenden. Deshalb wollen wir mit Carbon2Chem® den Kohlenstoff im Kreislauf führen, sodass er nicht freigesetzt, sondern nach der Entstehung in der Stahlproduktion vor Ort nachhaltig weiter verwertet wird.



DR. MARKUS OLES | Industrie

thyssenkrupp leistet hier als erstes Industrieunternehmen, zusammen mit der Wissenschaft und anderen Partnern aus der Industrie, Pionierarbeit. Es geht uns hierbei nicht um eine einzelne Lösung, sondern um einen Baukasten von Lösungen, die auch von andere Hütten und Branchen genutzt werden können. Am Ende sollen alle Technologiemodule miteinander verknüpfbar sein. Die erste Anwendung im industriellen Maßstab nehmen wir im Stahlbereich – einem sehr CO₂-intensiven Industriezweig – vor. Damit leisten wir im industriellen Umfeld eine Vorarbeit, um die Module auch auf andere Industriezweige ausweiten zu können. Was uns als diversifiziertem Konzern wieder zu Gute kommt.

Die Geschäftsstelle von Carbon2Chem®

Die Geschäftsstelle von Carbon2Chem® ist eine unabhängige Einrichtung, die in beratender Funktion direkt dem Koordinationskreis unterstellt ist. Sie ist Teil der projektübergreifenden Projektstruktur. Bei ihr laufen alle Informationen aus den Teilprojekten und den beratenden Gremien außerhalb des Projekts zusammen. Die Geschäftsstelle wird durch Mitarbeitende des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, des Max-Planck-Instituts für Chemische Energiekonversion und der thyssenkrupp AG gebildet. Die Leitung der Geschäftsstelle hat ihre Büros am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.

Aufgaben der Geschäftsstelle

projektintern

- Austausch und Weiterleitung von Informationen innerhalb des Projektes über den jeweiligen Stand in den Teilprojekten inklusive Labor und Technikum
- Erstellung und Pflege des Projektzeitplans
- Vertretung des Projekts nach außen
- Teilnahme an Projekttreffen als Vertretung des Koordinatorenkreises
- Organisation bzw. Unterstützung von übergeordneten Projekttreffen
- Zentrale Anlaufstelle für das Konsortium
- Pflege des internen Dataspace und Informationsbereitstellung für die Teilprojekte und das Gesamtkonsortium

Öffentlichkeitsarbeit

- Organisation der Abstimmung und Freigabe von Dokumenten für die öffentliche Darstellung des Projekts und von Projektergebnissen
- Koordination von projektübergreifenden Veröffentlichungen
- Organisation der Projektkonferenzreihe

Lenkungsausschuss, Beirat & Projektträger

Die Geschäftsstelle übernimmt die Betreuung und Information sowohl des Lenkungsausschusses als auch des Projektbeirats und des Projektträgers.

Konferenzreihe zur nachhaltigen chemischen Konversion in der Industrie

Zur Darstellung des Projekts sowie zur Diskussion von Projektergebnissen mit Fachleuten aus dem Außenraum lädt das Konsortium während der Projektlaufzeit jedes Jahr zur Konferenz zur nachhaltigen chemischen Konversion in der Industrie ein. Diese betrachtet ergänzend die zentralen Aspekte der Energiewende und des Klimaschutzes und schafft eine Verbindung zu parallelen Projekten.

Geschäftsstelle Carbon2Chem®
Dr.-Ing. Torsten Müller
c/o Fraunhofer UMSICHT

Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen

T | +49 208 8598 1284
torsten.mueller@umsicht.fraunhofer.de
geschaeftsstelle@c2c-cluster.de

LO | Systemintegration

Ziel des Projekts Carbon2Chem® ist es, Hüttengase aus der Stahlproduktion als Ausgangsstoff für chemische Produkte zu nutzen – einschließlich des darin enthaltenen CO₂. Dabei soll Strom aus Erneuerbaren Energien genutzt werden. So soll ein essentieller Beitrag zum Klimaschutz und zum Gelingen der Energiewende geleistet werden.

AUFGABEN

Im Teilprojekt LO erfolgt die Prozess- und Anlagensimulation. Sie ermöglicht die Beschreibung des Zusammenwirkens von verschiedenen industriellen Anlagen in einem Anlagenverbund als „cross-industrielles Netzwerk“ sowie

die Analyse ihres dynamischen Systemverhaltens. Dazu werden der Stand der Wissenschaft sowie die verfügbaren Informationen

und Modelle der relevanten Teilprozesse ermittelt und weiterentwickelt.

Für die Simulation des Gesamtmodells werden einheitliche Schnittstellen und Übergabepunkte der Teilmodelle definiert. Dies erlaubt Modelle auf unabhängigen Simulationsplattformen zu importieren und zu analysieren.

Dies erlaubt, Modelle auf unabhängigen Simulationsplattformen zu importieren und zu analysieren.

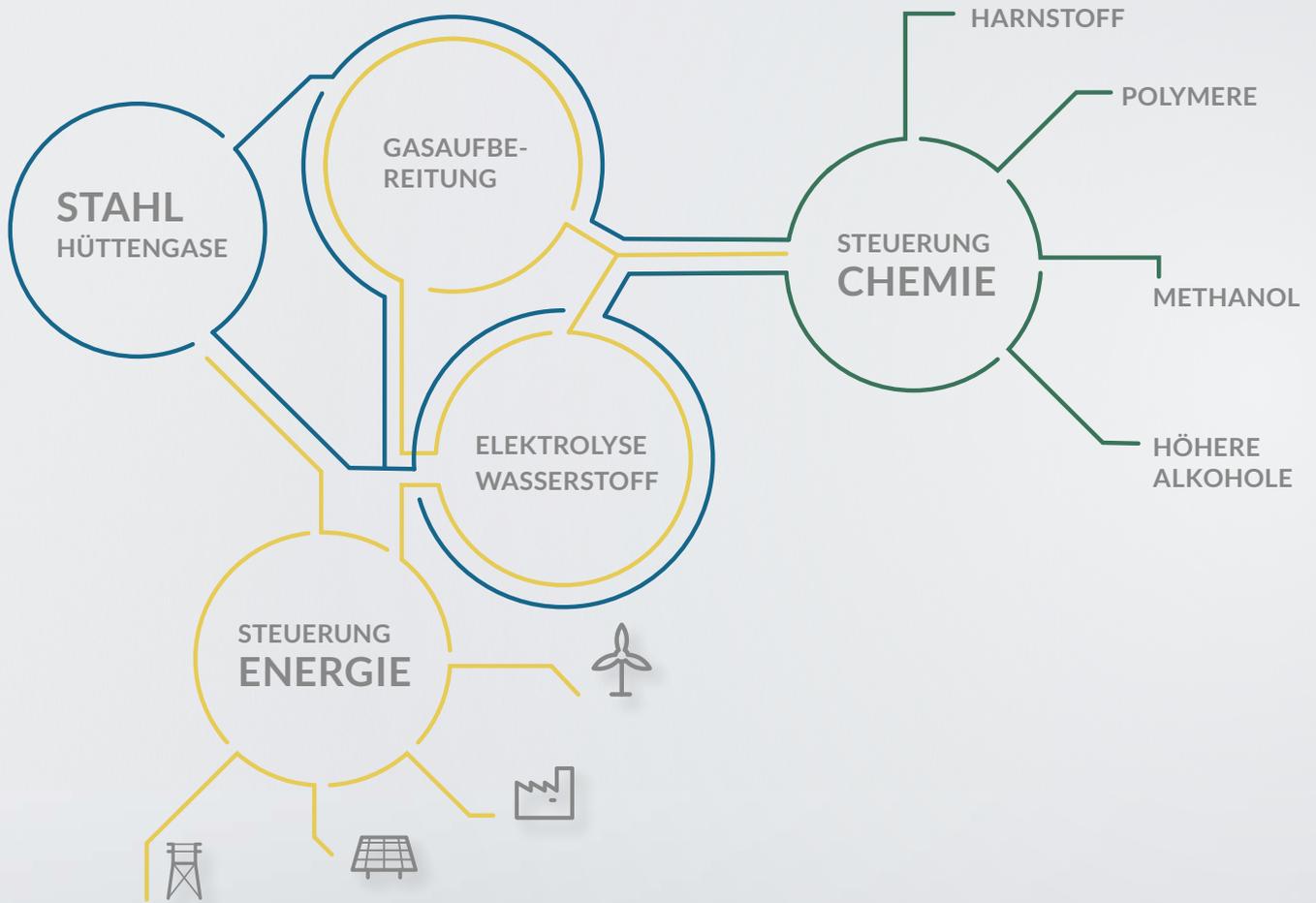
ZIELE

Ziel des Teilprojektes LO - Systemintegration ist es, Voraussetzungen dafür zu schaffen, parallel Technologien bzw. Teilprozesse in den Teilprojekten L1 bis L6 zu entwickeln und später im integrierten Hüttenwerksverbund optimal einzusetzen.

Die Voruntersuchungen und Simulationen zur Systemintegration in den Hüttenverbund dienen neben der Bewertung und Auswahl der Teilprozesse auch dazu, Entscheidungshilfen für die technische und wirtschaftliche Optimierung der laufenden Prozesse unter veränderlichen inneren und äußeren Einflussgrößen zu liefern.

Dazu erfolgt eine Systemanalyse, in der herausgearbeitet wird, welche systemischen Vorteile flexibel betriebene Anlagen bieten. Darüber hinaus wird das regionale Potenzial zur Nutzung fluktuierender Erneuerbarer Energien ermittelt, unter Einbeziehung der Faktoren Erzeugung, Verbrauch und Netzauslastung. Es wird dabei nicht nur der Status quo der Einspeisedaten Erneuerbarer Energien als Datenbasis verwendet, sondern ebenso der zunehmende Anteil an Erneuerbaren Energien unter sich veränderndem Erzeugungsportfolio sowie der zukünftige Mehrwert für die Gesellschaft mit berücksichtigt.

thyssenkrupp AG
Dr. Wiebke Lücke
thyssenkrupp Allee 1
45143 Essen







L1 | Wasserelektrolyse im nicht-stationären Betrieb

Wasserstoff nimmt bei der Kopplung der Sektoren Energie, Stahl und Chemie sowohl unter energetischen als auch stofflichen Aspekten eine Sonderrolle ein. Die Erforschung einer dynamischen Wasserelektrolyse unter Berücksichtigung des variierenden Angebots an Hüttengasen sowie fluktuierendem, erneuerbarem Strom stellt damit den Kern dieses Teilprojekts dar.

AUFGABEN

In Zusammenarbeit mit dem Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) forscht thyssenkrupp an den Auswirkungen fluktuierender Lastprofile auf verschiedene Elektrolysesysteme. Dazu werden die Systeme am ZBT dynamisch betrieben und untersucht. Basierend auf diesen experimentellen Ergebnissen wird dann das Langzeitverhalten mithilfe eines Simulationsmodells prognostiziert. Die Errichtung eines Wasserelektrolyseurs im Technikum (MW-Leistungsaufnahme) sowie mehrerer Teststände im Labormaßstab (kW-Leistungsaufnahme) ist ebenfalls fester Bestandteil des Teilprojektes. Durch die Kombination der Forschungsergebnisse aus den Anlagen wird die Performance für eine industriell relevante Anlagengröße prognostiziert. Bedingt durch die komplexen, dynamischen Anforderungen des gesamten Carbon2Chem®-Produktionsnetzwerks wird ein Modell für die Wasserelektrolyse erstellt und in die Gesamtsimulation von Carbon2Chem® eingebracht.

ZIELE

Ziel des Gesamtprojektes Carbon2Chem® ist ein Zusammenführen der Branchen Energie, Stahl und Chemie zu einem cross-industriellen Produktionsnetzwerk. Dabei

nimmt der Prozess der Wasserelektrolyse eine Schlüsselrolle ein, da für nahezu alle nachfolgenden Syntheserouten Wasserstoff erforderlich ist. Die Verfügbarkeit dieses Gases ist trotz des Einsatzes von fluktuierenden Erneuerbaren Energien sowie dem schwankenden Wasserstoffanteil in den Hüttengasen zu gewährleisten. Diese Anforderungen führen unweigerlich zum Umdenken der bisher bekannten Betriebsweise von Elektrolyseuren. Stofflich bedingt fallen in der Hütte große Mengen an kohlenstoffhaltigen Prozessgasen an, welche teilweise auch heute schon im integrierten Hüttenwerk intern genutzt werden. Um die weiteren zur Verfügung stehenden Gase, insbesondere das klimarelevante CO₂, nutzbar zu machen, muss neben der Reinheit des erzeugten Wasserstoffs die Verfügbarkeit passend zum Hüttengasangebot gewährleistet werden. Ziel dieses Teilprojektes ist zum einen die simulationsunterstützte Evaluierung unterschiedlicher Elektrolysetechniken bezüglich der Anforderungen im nicht stationären Betrieb und zum anderen die Errichtung eines kommerziellen Elektrolyseurs, welcher sowohl die bei Carbon2Chem® geforderte Flexibilität als auch die benötigte Anlagenkapazität aufweist.

thyssenkrupp Industrial Solutions AG
Dr. Karsten Bükler
Friedrich-Uhde-Straße 15
44141 Dortmund

T | +49 231 547 3227

karsten.bueker@thyssenkrupp.com

L2 | Nachhaltige Methanolproduktion

Methanol ist eine der meisthergestellten organischen Chemikalien. Um es wirtschaftlich aus Hüttengas herstellen zu können, muss der konventionelle Katalysator auf den Prüfstand. Auch das gängige Verfahren bedarf einer Anpassung. Nach erfolgreichen Tests in Labor und Technikum steht neben der wirtschaftlichen auch die ökologische Bewertung an.

AUFGABEN

Methanol wird aus Synthesegas hergestellt, das sich aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO₂) zusammensetzt und momentan aus fossilen Rohstoffen wie Kohle, Erdöl oder Erdgas gewonnen wird.

Hüttengas enthält neben den vorgeannten Komponenten Stickstoff und Methan. Gelingt es, Hüttengas als Synthesegasquelle zu erschließen, wird Methanol zugänglich, das einen deutlich geringeren Carbon Footprint aufweist als die

fossil basierte Herstellungsvariante. Um Hüttengas als Synthesegas bereitstellen zu können, das für die Herstellung chemischer Produkte geeignet ist, müssen im Rahmen von Carbon2Chem[®] neue Anforderungen an dessen Zusammensetzung, Reinheit und zeitliche Verfügbarkeit definiert werden. Weiterhin ist zu prüfen, ob verfügbare Katalysatoren unter den gegebenen Bedingungen eine ausreichende Wirkungsweise bzw. unter Berücksichtigung einer akzeptablen Investition in die vorgeschaltete Gasreinigung wirtschaftliche Standzeiten aufweisen.

Gelingt es, Hüttengas als Synthesegasquelle zu erschließen, wird Methanol zugänglich, das einen deutlich geringeren Carbon Footprint aufweist als die fossil basierte Herstellungsvariante.

ZIELE

Die Entwicklung wirtschaftlich nutzbarer Technologien sowie deren ökologische Bewertung stehen im Fokus des Teilprojektes. Auf Basis der Ergebnisse zur Umsetzung von Synthesegasen mit hohen CO₂-Gehalten unter Einbeziehung von regenerativem Wasserstoff, auch im intermittierenden Betriebsmodus, wird bewertet, inwieweit sich die CO₂-basierte Methanolsynthese prinzipiell für die Energiespeicherung eignet. In der Verfahrensentwicklung werden der Gesamtprozess der Methanolherstellung betrachtet und der Energiebedarf sowie die Betriebs- und Investitionskosten ermittelt. Weiterhin wird die Zusammensetzung des Synthesegases optimiert, die Einbindung erneuerbarer Energien geprüft und ein wirtschaftlicher Vergleich mit der konventionellen Methanolherstellung vorgenommen. Die Nachhaltigkeitsbewertung erfolgt in Form eines Life-Cycle-Assessments. Final wird ein wirtschaftliches Optimum für die gesamte Verfahrenskette identifiziert sein. Die Produktion von Methanol mit Synthesegas aus Hüttengasen ersetzt die fossilen Rohstoffe und reduziert deutlich den Carbon Footprint.

Akzo Nobel Industrial Chemicals B.V.
Christian Neefestraat 2
NL-1077WW Amsterdam

Christian Wiesner
Team Leader RDI & Technology
Industriepark Höchst, Gebäude B598
D-65926 Frankfurt am Main





L3 | Gasreinigung

Jede Synthese setzt eine entsprechende Gasqualität voraus: Die unterschiedlichen Gasnutzungsoptionen von Carbon2Chem® erfordern eine angepasste Reinigungsprozesskette für die Rohgase. Die Verfahrensschritte werden im Technikum im Pilotmaßstab mit Realgaseinsatz adaptiert, erprobt und optimiert. Innovative Verfahrensansätze werden im Labormaßstab hinsichtlich ihrer Machbarkeit untersucht.

AUFGABEN

Im Teilprojekt L3 wird die Aufbereitung von Konverter-, Hochofen- und Koksofengas erforscht. Im Fokus steht die Bereitstellung eines Synthesegases in einer möglichst hohen Qualität für die chemische Produktion. Zur Reinstwasserstoffgewinnung aus Koksofengas sind die katalytische

Vorreinigung und eine anschließende Feinreinigung durch Druckwechseladsorption die Schlüsselschritte. Zur Gewinnung von hochreinem CO und CO₂ aus Konvertergas kommen eine kataly-

tische Vorbehandlung und eine Aminwäsche zum Einsatz. Die Gasaufbereitung wird in einem Technikum, das an das Pipeline-Netz des Verbundstandortes Duisburg-Schwelgern angeschlossen ist, im Maßstab von 100 Nm³/h dargestellt und weiterentwickelt.

Flankiert durch Laborversuche im Maßstab 1 Nm³/h werden neuartige Prozessschritte

erprobt, wie z.B. die (plasma-)katalytische Sauerstoffentfernung oder die elektrothermische Regeneration von Adsorbentien.

ZIELE

Das wesentliche Ziel des Vorhabens L3 ist es, den wirtschaftlich und technologisch optimalen Aufreinigungsprozess für Hüttengase zu entwickeln, um Synthesegase in den benötigten Reinheiten darzustellen.

Die Arbeiten im Technikum dienen der Verifizierung eines kommerziell umsetzbaren Basiskonzepts.

Die Laborarbeiten ermöglichen darüber hinaus sowohl die Prozessintensivierung als auch eine höhere Flexibilität bei der Gaszusammensetzung, wie sie an anderen Hüttenstandorten erwartet werden.

Eine Modellierung dieser Prozessschritte und ein Datenexport an das Teilprojekt LO sind zwingend erforderlich, um das Gesamtkonzept inklusive weiterer Syntheseschritte zu entwickeln und detailliert zu evaluieren.

Neben der Gasreinigung befasst sich L3 auch mit der labortechnischen Validierung einer Ammoniaksynthese auf Basis von Hüttengasen.

LINDE AG

Dr. Andreas Frey

Adsorption and Membrane Technology,

R&D and Process Design

Dr. Carl von Linde Str. 6-14, 82049 Pullach

T | +49 9897445-1842

andreas.frey@linde.com

LINDE AG

Dr. Volker Goeke

Technology & Innovation - Scouting & Venturing

Seitnerstr. 70, 82049 Pullach

T | +49 897446-2567

volker.goeke@linde.com

L4 | Höhere Alkohole

Das Projekt dient der Entwicklung eines Prozesses zur Nutzung von Kuppelgasen aus einem Stahlwerk für die Herstellung von C₂+ -Alkoholen, die als Treibstoffe und chemische Zwischenprodukte eingesetzt werden. Es werden heterogen- und homogen-katalytische Verfahrenskonzepte entwickelt und deren Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit analysiert.

AUFGABEN

Im Zentrum des Vorhabens steht die Entwicklung von Katalysatoren und Verfahren zur selektiven Umsetzung von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid mit Wasserstoff zu C₂+ -Alkoholen. Diese Untersuchungen

erfolgen im Kontext eines Gesamtprozesses zur stoffwirtschaftlichen und ökonomischen Nutzung von Kuppelgasen eines Stahlwerkes mit gleichzeitiger Reduzierung des Primärrohstoffverbrauchs und

Senkung der spezifischen CO₂-Emissionen. Die Projektaufgaben umfassen die Identifizierung geeigneter homogener und heterogener Katalysatoren, deren Optimierung, Charakterisierung und die Übertragung der Katalysatorherstellung in den technischen Maßstab. Die katalytische Testung, die kinetische Modellierung, die Reaktor- und Prozesssimulation sind Grundlage der Verfahrensentwicklung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. In einer Life-Cycle-Analyse wird die Nachhaltigkeit des Gesamtprozesses bewertet.

ZIELE

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines wirtschaftlichen Gesamtprozesses zur katalytischen Nutzung von zu

Synthesegas aufbereiteten Kuppelgasen aus einem Stahlwerk zur anschließenden, direkten Umsetzung zu C₂+ -Alkoholen. Die Verwendung der Alkohole als Treibstoffe sowie als Ausgangspunkt für andere Chemiebausteine reduziert den Primärrohstoffverbrauch. Zum einen werden konventionelle Rohstoffquellen wie Erdgas zur Bereitstellung von Synthesegas durch Kuppelgase ersetzt. Zum anderen wird durch die Fixierung von Kohlenstoff in den verwertbaren Produkten der spezifische CO₂ Ausstoß des Stahlwerks reduziert. Der Einsatz der so hergestellten Alkohole als Treibstoffe führt zu einer Substitution der entsprechenden Menge konventionellen Treibstoffs und damit auch der entsprechenden Menge Rohöl. Die bei der Entwicklung angestrebte Produktpalette liefert neben Ethanol (C₂), das aktuell schon als „E10“ konventionellen Kraftstoffen beigemischt wird, auch Butanol (C₄), das aufgrund der höheren Energiedichte und besseren Mischbarkeit mit herkömmlichen Kraftstoffkomponenten als Kraftstoffersatz diskutiert wird. Eine weitere Verwertungsoption bietet die bereits etablierte Veredelung der Alkohole zu chemischen Folgeprodukten (z.B. Polyethylen, Polypropylen und Vinylacetat).

... Nutzung von Kuppelgasen eines Stahlwerkes mit gleichzeitiger Reduzierung des Primärrohstoffverbrauchs und Senkung der spezifischen CO₂-Emissionen.

Dr. Dorit Wolf
EVONIK Resource Efficiency GmbH
RE-KA-RD
Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau

T | +49 6181 59-8746
dorit.wolf@evonik.com



L5 | Carbon2Polymers

Kunststoffe in jeglicher Form, Farbe und Größe sind Teil des alltäglichen Lebens. Noch werden sie zumeist auf Basis fossiler Rohstoffe wie Erdöl hergestellt. Diese liefern das hierfür essenzielle Element Kohlenstoff. Doch es gibt Alternativen. Ein Konsortium unter Führung von Covestro zeigt sie auf.

... wird eine Brücke zwischen Stahlproduktion und chemischem Produktionsverbund geschlagen.

AUFGABEN

Im Teilprojekt L5 untersucht der Werkstoffhersteller Covestro gemeinsam mit weiteren Partnern, wie bei der Kunststoffproduktion Erdöl als Kohlenstoffquelle

eingespart werden

kann. Im Fokus:

CO und CO₂ aus

Hüttengasen von Stahlwerken.

Zunächst werden

passende Katalysatoren für die

komplexen chemi-

schen Verfahren definiert und weiterentwickelt. Da Katalysatoren sehr empfindlich auf kleinste Verunreinigungen reagieren können, muss die Zusammensetzung der Hüttengase genauestens betrachtet werden. In einem weiteren Schritt sind die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der neuen Routen zur Kunststoffherstellung zu prüfen.

ZIELE

Carbon2Polymers soll zeigen, dass sich CO und CO₂ aus Hüttengasen der Stahlindustrie als Rohstoff für die Herstellung von Kunststoffen eignen und nachhaltig nutzen lassen.

CO kann als Baustein für Polycarbonat

dienen, das beispielsweise in Brillengläsern

oder Autoscheinwerfern eingesetzt wird.

CO₂ nutzt Covestro bereits im industriellen

Maßstab. Daraus lässt sich u. a. Polyurethan-

Schaumstoff für Matratzen oder Polster-

möbel herstellen. Im Rahmen des Teilprojekts

L5 soll ein neuer Fertigungsprozess für einen

Polyurethan-Polymerbaustein entwickelt

werden. Ist die chemische Nutzbarkeit

der Hüttengase geprüft und ökonomisch

sowie ökologisch sinnvoll, wird eine Brücke

zwischen Stahlproduktion und chemischem

Produktionsverbund geschlagen.

Die effiziente und nachhaltige Schließung des

Kohlenstoffkreislaufes kann einen Verbund

zwischen zwei Großindustrien ermöglichen,

in dem die anfallenden Begleitstoffe der

einen Industrie als Rohstoff für Prozesse

der anderen dienen.





L6 | Oxymethylenether

Oxymethylenether (OME) sind eine neue Klasse sauerstoffhaltiger Verbindungen, die in Diesel- und Otto-Kraftstoffen eingesetzt werden könnten, um die derzeit noch verwendeten, fossilen Kohlenwasserstoffe in diesen Kraftstoffen abzulösen. OME verbrennen sauber und lassen sich umweltfreundlich aus Kohlendioxid (CO₂) herstellen.

AUFGABEN

Im Teilprojekt L6 bearbeiten die Partner gemeinsam die wesentlichen Aufgaben zur Herstellung von OME und deren Verwendung in Kraftstoffen. Dazu gliedert sich L6 in die fünf Untervorhaben U1 bis U5.

Die Untervorhaben U1 bis U3 beschäftigen sich mit den drei Schritten der OME-

Synthese. OME sollen aus Synthesegas über die Vorstufen Dimethylether und Formaldehyd hergestellt werden. Alternative Herstellrouten

sollen ebenfalls zunächst konzeptionell entworfen und im Erfolgsfall in einem Folgeprojekt experimentell ausgearbeitet und zur großtechnischen Reife entwickelt werden.

Das Untervorhaben U4 dient der Anbindung des OME-Syntheseverbundes an die Stahlerzeugung in der Hütte.

Im Untervorhaben U5 werden schließlich konzeptionelle Fragen zu OME-haltigen Kraftstoffen wie z. B. deren Werkstoffverträglichkeit bearbeitet.

ZIELE

Ziel des Teilprojektes L6 ist es, Verfahren für die OME-Synthese aus Hüttengasen sowie für die Verwendung von OME als Komponente in Dieselmotoren zu konzipieren. Ausgehend von Massen- und Energiebilanzen wird für die Menge verfügbaren Hüttengases in der thyssenkrupp-Hütte in Duisburg ein Aufarbeitungskonzept erstellt. Die einzelnen Syntheseschritte zu Dimethylether und zu Formaldehyd sowie deren abschließende Synthese zu OME 3 bis 5 (3 bis 5 Einheiten Formaldehyd pro OME-Molekül) werden in der Theorie erarbeitet. Dazu gehören Vorschläge für Synthesekatalysatoren und geeignete Verfahrensbedingungen sowie eine Schätzung der zu erwartenden Ausbeuten. Auf Basis dieser technischen Daten wird abschließend die Wirtschaftlichkeit dieses OME-Verfahrens überschlägig betrachtet. Bei der Verwendungsprüfung von OME steht zunächst die Verträglichkeit OME-haltiger Kraftstoffe mit im Automobilbau eingesetzten Werkstoffen im Vordergrund.

OME verbrennen sauber und lassen sich umweltfreundlich aus Kohlendioxid (CO₂) herstellen.

BASF SE
GCC/PG - Geb. M301
67056 Ludwigshafen am Rhein

Dr. Michael Bender
Senior Catalyst Expert
T | +49 621 60 56235
michael.bender@basf.com

Oxymethylenether



Diesel





Das Carbon2Chem®-Labor

Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT und das Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion betreiben am Standort des Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen das projekteigene Labor. Das Gebäude bietet allen Partnern des Konsortiums Labor- und Büroräume, um gemeinschaftlich experimentelle Daten gewinnen zu können.

In dem zweigeschossigen Gebäude stehen insgesamt ca. 500 m² Laborfläche und ca. 30 Büroarbeitsplätze inklusive Besprechungsräumen zur Verfügung. Das Laborgebäude gliedert sich hierbei nahtlos in die am Standort verfügbare Infrastruktur ein. Am Ende des Jahres 2017 bezogen die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des Max-Planck-Instituts für Chemische Energiekonversion und von Fraunhofer UMSICHT die Flächen, um gemeinsam an

den Zielen von Carbon2Chem® zu arbeiten. Das Labor dient der Grundlagenforschung im Bereich der katalytischen Herstellung von Methanol und höheren Alkoholen aus Hüttengasen sowie der Gasreinigung. Der Fokus der Arbeiten liegt dabei auf dem Verhalten verschiedener Katalysatoren bei der Verwendung von Hüttengasen sowie einer dynamischen Fahrweise der Prozesse. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Arbeiten im Technikum des Projekts.

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen



Das Carbon2Chem®-Technikum

Um das übergeordnete Ziel von Carbon2Chem®, den Transfer in industrielle Anwendungen sicherzustellen, sind Versuche möglichst zeitnah unter industriellen Rahmenbedingungen durchzuführen. Aus diesem Grund wurde angrenzend an das Gelände von thyssenkrupp Steel Europe in Duisburg auf einer Fläche von 3.700 m² ein Technikum mit Zugang zu realen Hüttengasen errichtet.

Das Technikum dient als erste Demonstration eines cross-industriellen Verbundes. Als zentraler Ort des Projektes wird hier die sektorale Kopplung zwischen Stahl und Chemie erstmals realisiert.

Eine Notwendigkeit zur Demonstration im Technikumsmaßstab besteht für die Reinigung und Konditionierung der realen Hüttengase und für die Wasserelektrolyse, um zusätzlichen Wasserstoff für die

chemischen Synthesen bereit zu stellen.

Die hüttengasbasierten Synthesegase werden in ersten Pilotanlagen zu Methanol, Ammoniak sowie höheren Alkoholen umgesetzt.

Die Grundlagen der notwendigen technischen Verfahren sind bereits heute bekannt. Für das Technikum wurde eine Verknüpfung dieser Verfahren nun erstmals festgelegt und realisiert.

thyssenkrupp AG
Dr. Markus Oles
thyssenkrupp Allee 1, 45143 Essen

T | +49 201 844 553444
markus.oles@thyssenkrupp.com

Das Konsortium

Im Projekt arbeiten Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft zusammen an der Erreichung der gesetzten Ziele. Das Konsortium vereint hierzu die verschiedenen Kompetenzen der Partner. Gemeinsam leistet das Konsortium einen Beitrag zur Änderung des Standes von Wissenschaft und Technik.

AkzoNobel
SPECIALTY CHEMICALS

Nachhaltige Methanolproduktion

BASF
We create chemistry

Oxymethylenether



Polymere



Katalysatorentwicklung



Gasreinigung | Katalyse



THE LINDE GROUP

Gasreinigung | Oxymethylenether



Polymere | Katalyse

RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM **RUB**

Gasreinigung | Katalyse



Polymere | Katalyse



thyssenkrupp

Systemintegration |
Wasserelektrolyse | Technikum



Polymere | Katalyse



Nachhaltige Methanolproduktion |
Gasreinigung



Nachhaltige
Methanolproduktion



Systemintegration | Katalyse |
Labor



Polymere | Katalyse



Nachhaltige Methanolproduktion |
Gasreinigung



Polymere



Systemintegration



Wasserelektrolyse

Carbon2Chem®

Wir führen den Kohlenstoff im Kreislauf – ein kurzer Satz, der aber das Projekt Carbon2Chem® klar umschreibt. Eine Verbesserung beim Klimaschutz erfordert neben der Reduzierung der CO₂-Emissionen auch eine Verringerung beim Einsatz fossiler Rohstoffe. Cross-industrielle Netzwerke bieten an dieser Stelle für die energie- und emissionsintensiven Industriebranchen die Möglichkeit einen nachhaltigen Beitrag zu leisten.

Im Projekt Carbon2Chem® arbeitet ein großes Konsortium aus Wirtschaft und Wissenschaft an der Umsetzung eines flexiblen Carbon Capture and Utilization (CCU) Konzepts für die kohlenstoffbasierte Industrie. Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Ein besonderes Merkmal des Projekts ist die Größe der umzusetzenden Lösung. Der modulare Ansatz zur CO₂-Nutzung innerhalb cross-industrieller Netzwerke ermöglicht die Verbindung von Klimaschutz und Wettbewerbsfähigkeit für große Industriestandorte in Deutschland und anderen Teilen der Welt.

Als Beispiel dient ein cross-industrielles Netzwerk aus Stahlindustrie, chemischer Industrie und Energiewirtschaft. Bisher energetisch genutzte Prozessgase der Hütte dienen als Ausgangsstoff für die Produktion von synthetischen Kraftstoffen, Kunststoffen und weiteren Basischemikalien.

IMPRESSUM | HERAUSGEBER

Prof. Dr.-Ing. Gørgje Deerberg
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Dr. rer.nat. Markus Oles
thyssenkrupp AG

Prof. Dr. rer.nat. Robert Schlögl
Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion

DESIGN

Mindpeppers GmbH | Redesign Studio | www.mindpeppers.de