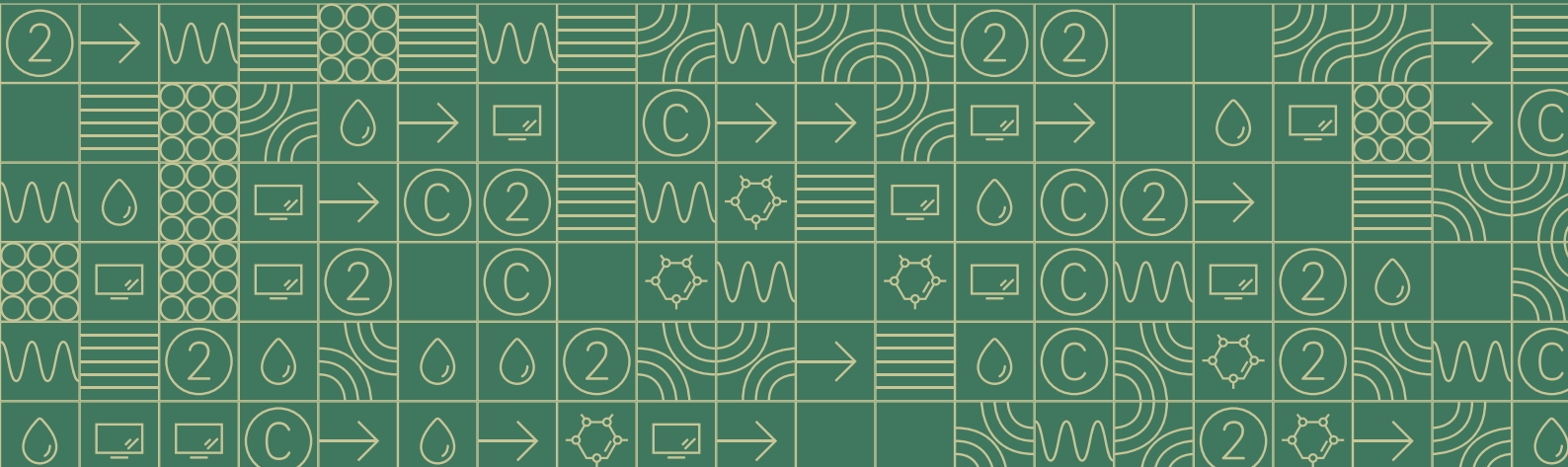
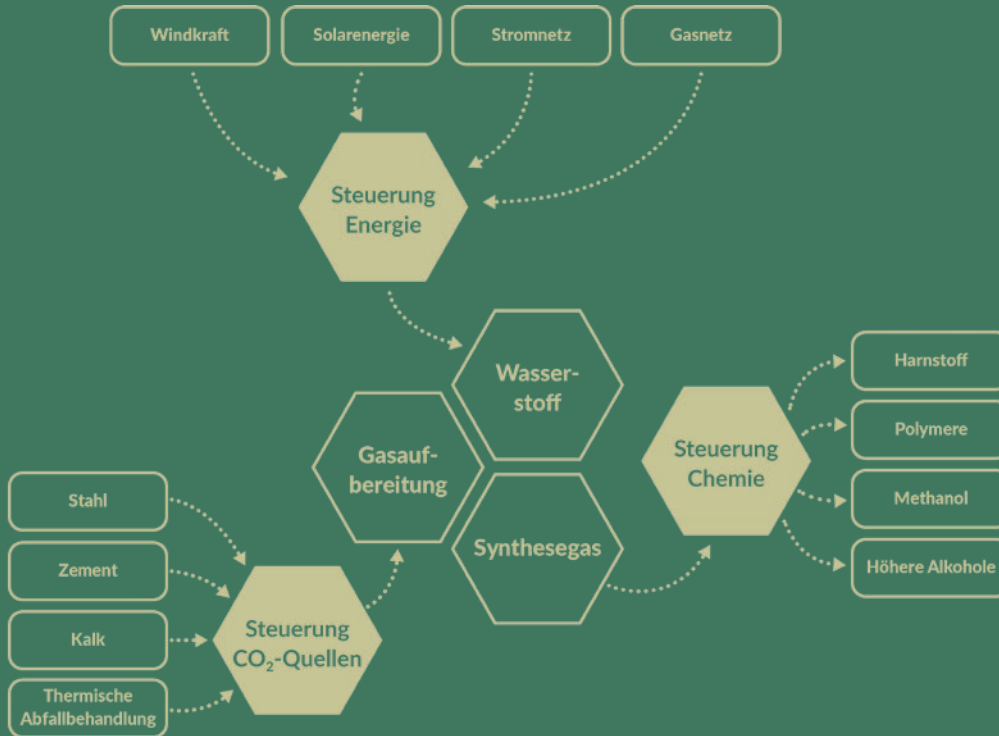


Carbon2Chem®

Baustein für den Klimaschutz





Vorhabensziel

Bereitstellung von technischen Lösungen zur Umsetzung des Transformationsprozesses in der Industrie im Rahmen der Energiewende zur Erreichung der Klimaziele.



Ergebnisse
in unserem Projekt



Details
auf unserer Website



Imagefilm
Carbon2Chem®

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Das Verbundprojekt Carbon2Chem®

Die Erderwärmung auf 1,5 Grad Celsius im Vergleich zur vorindustriellen Zeit zu begrenzen – so lautet die Zielsetzung des Pariser Klimaabkommens. Die Verringerung des Ausstoßes an Treibhausgasen bildet dabei ein zentrales Element. Für die Europäische Union heißt das: eine Reduktion der Emission an Kohlendioxid (CO₂) um 55 Prozent bis 2030 sowie Klimaneutralität bis 2050.

Auf dem Weg zur Klimaneutralität steht allerdings gerade die Grundstoffindustrie vor großen Herausforderungen. Kohlendioxid entsteht nicht nur bei der Bereitstellung der erforderlichen Energie, sondern auch im Zuge der Produktionsprozesse. Eine Dekarbonisierung der Prozesse wird im Zuge der Energiewende daher nicht in allen Bereichen gelingen. Auch in Zukunft werden industrielle Prozesse Kohlendioxid ausstoßen – z. B. bei der Herstellung von Stahl, Zement oder Kalk sowie bei der thermischen Abfallbehandlung.

Daneben besteht ein großer Bedarf an nicht fossilem Kohlenstoff bei der Herstellung chemischer Produkte. Die Frage, wie sich das unvermeidbare CO₂ industrieller Punktquellen auffangen und für die chemische Industrie nutzen lässt, steht im Zentrum von Carbon2Chem®. Die Antwort lautet: über Carbon Dioxide Capture and Utilization (CCU).

Zentrales Element für das Gelingen ist eine Defossilisierung der Prozesse durch die Transformation der industriellen Produktionsprozesse im Zuge der Energiewende. Das Konsortium im Verbundprojekt Carbon2Chem® arbeitet an cross-industriellen Produktionsnetzwerken, deren modularer Aufbau die Abscheidung und Nutzung prozessbedingten Kohlendioxids in verknüpften Strukturen an vorhandenen Industriestandorten ermöglicht. Die Produkte dienen als Ausgangsstoffe bei der Produktion synthetischer Kraftstoffe, Kunststoffe oder weiterer Basischemikalien.

Neben der technischen Entwicklung sind die Verbindung von Klimaschutz und Wettbewerbsfähigkeit sowie der Dialog mit Fachwelt und Gesellschaft fester Bestandteil des Vorhabens. Vor 2030 sollen die Ergebnisse des Vorhabens einen spürbaren Beitrag zur Verringerung des Ausstoßes an Treibhausgasen sowie des Einsatzes fossiler Rohstoffe in der Industrie leisten.

Die Machbarkeit der technischen Lösungen und ihre positive Wirkung konnten in den ersten Projektphasen vom Konsortium gezeigt werden.

Das Konsortium ist überzeugt:

Carbon2Chem® ist ein zentraler Baustein für den Klimaschutz.

Gesamtkoordination

Ein wichtiges Merkmal des Verbundprojekts ist die enge Zusammenarbeit von Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Industrie, deren Abstimmung die Gesamtkoordination sicherstellt. Bisher hat dies das Verbundprojekt auf dem Weg von der Idee bis zur Umsetzung in den drei gesetzten Phasen als Konstante getragen. Zusammen mit der Geschäftsstelle stellt die Gesamtkoordination den Austausch im Konsortium sowie mit dem Außenraum sicher.

Die drei Bereiche werden wie folgt vertreten:

Angewandte Forschung

Prof. Dr. Görgе Deерberg
Projektkoordinator

Industrie

Dr. Markus Oles
Projektkoordinator

Grundlagenforschung

Prof. Dr. Robert Schlögl
Projektkoordinator



Konsortium

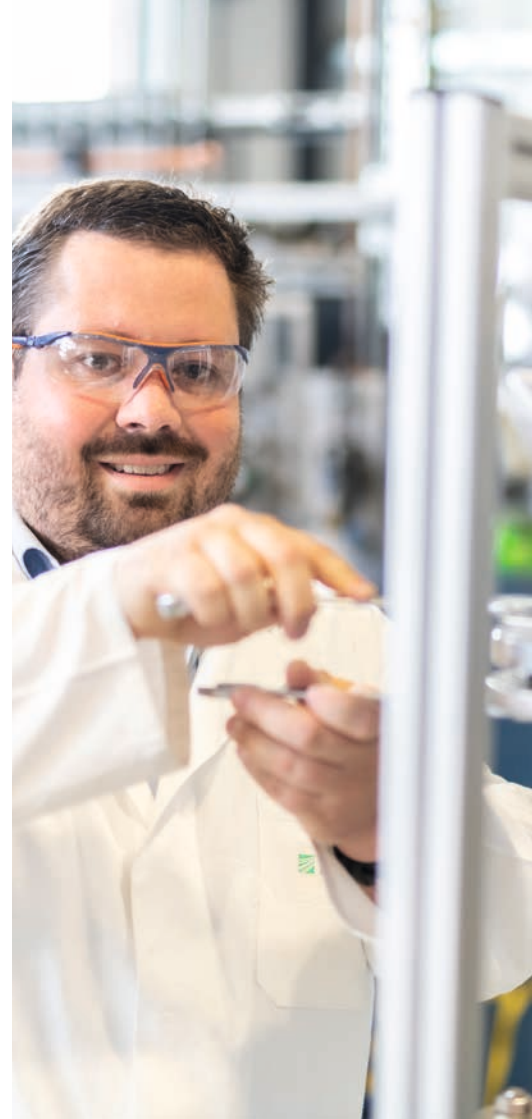
Das Konsortium in Carbon2Chem® ist mit den beteiligten Forschungspartnern und ihren Kompetenzen breit aufgestellt. Die direkte Zusammenarbeit der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung und der Industrie in diesem Umfang ist dabei ein wesentliches Merkmal. Gemeinsam wurden schrittweise im Laufe des Vorhabens Methoden, Werkzeuge und Kompetenzen der Partner miteinander verknüpft.

Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt ist die Aufbereitung der Prozessgase und das systemische Zusammenwirken der gefundenen Lösungen. Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf ergibt sich insbesondere aus den hundert verschiedenen Spurenstoffe, die in den Prozessgasen der Industrie nachweisbar sind. Dynamische Effekte entlang der Prozesskette auf unterschiedlichen Zeitskalen stellen eine weitere Herausforderung bei der Kopplung der technischen Bausteine dar.

Durch den Verzicht auf die fossilen Rohstoffe bei industriellen Prozessen besteht auch ein Bedarf an neuen Prozessen, die eine Verwendung des Kohlendioxids ermöglichen. Insbesondere zum Aufbau einer zirkulären Kohlendioxidwirtschaft ist eine innovative Kombination der Prozesse erforderlich.

Die Partner bündeln hierfür ihre Kompetenzen aus unterschiedlichen Fachbereichen. Über die Grenzen der einzelnen Teilvorhaben hinweg haben sich sogenannte Communities entwickelt. Ergebnisse aus den Bereichen Prozessdesign, Analytik, Simulation sowie der Systembewertung werden so durch die jeweiligen Expertinnen und Experten zusammengeführt.

Nach dem Start 2016 mit Fokus Grundlagenforschung liegt der Schwerpunkt der Arbeiten in Phase III, gestartet im Januar 2025, nun auf der Umsetzung in die industrielle Anwendung.



Carbon2Chem®-Labor

Ein zentrales Element des Verbundprojekts ist das Carbon2Chem®-Labor. Es liegt auf dem Campus von Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen und umfasst ca. 500 m² Fläche sowie ca. 30 Büroarbeitsplätze. Es dient der Grundlagenforschung in den Bereichen katalytische Herstellung von Produkten, Gasreinigung und Entwicklung von Analyseprozessen. Die Fläche steht dem Konsortium zur gemeinsamen Forschung und Entwicklung im Labormaßstab zur Verfügung.

Im Fokus der Forschenden: das Verhalten verschiedener Katalysatoren und die dynamische Fahrweise der Prozesse. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Arbeiten im Carbon2Chem®-Technikum. Konkret werden u. a. das Scale-up von Komponenten und Prozessen realisiert sowie Betriebspunkte, Regelstrategien und Fahrweisen ermittelt.

Die Analytik für die Erfassung der wichtigen Leitkomponenten und identi-

zierter Spurenstoffe musste zu Beginn des Vorhabens erst entwickelt werden. Ergänzend wurde ein Gasgenerator-System aufgebaut, um Gasmischungen (z. B. Hüttengase) zur Abstimmung der Analytik simulieren zu können. Die Analytikfähigkeiten erlauben die Identifizierung potenzieller Verunreinigungen (Katalysatorgifte etc.) auch in komplexen Strukturen im ppb- bis ppt-Bereich sowie die Analyse und Quantifizierung von kritischen Komponenten.

Zudem wird der Langzeiteffekt der in den Realgasen enthaltenen Spurenstoffe auf die Katalysatoren untersucht. Auch die Wirkung der Spurenstoffe auf die Produktqualität ist Teil der Untersuchungen. Dies liefert wichtige Erkenntnisse für die Auslegung der Gasreinigung, die wiederum maßgeblich die Wirtschaftlichkeit der Prozesskonzepte bestimmt.



Informationen zum
Carbon2Chem®-Labor



Carbon2Chem®-Technikum

Das Carbon2Chem®-Technikum umfasst eine Fläche von 3700 m². Durch seine Lage – angrenzend an das thyssenkrupp-Gelände in Duisburg und eingebunden in das Leitungsnetzwerk – ermöglicht es den Zugang zu Hüttengasen und damit die technische Umsetzung bisher entwickelter Konzepte unter realen Bedingungen. Seit der Inbetriebnahme im Herbst 2018 dient das Technikum als Demonstration eines cross-industriellen Verbundes mit der kompletten Prozesskette und zeigt die Sektorenkopplung zwischen Stahl und Chemie.

Schwerpunkte der Forschungsarbeit: Reinigung und Konditionierung der realen Hüttengase sowie die Wasserelektrolyse, um zusätzlichen Wasserstoff für die chemische Synthese bereitzustellen. Die Synthesegase werden in Pilotanlagen zu Methanol, Ammoniak sowie höheren Alkoholen umgesetzt.

Die Untersuchungen im Technikum dienen dem Nachweis der Katalysator-

performance und Stabilität mit Synthesegasen aus realen Hüttengasen. Der Aufbau ermöglicht die Validierung der Gasreinigung zur Synthesegaserzeugung mittels des Vergleichs zwischen den Versuchen mit realen und synthetischen Synthesegasen.

Wie beim Carbon2Chem®-Labor bietet das Technikum den Partnern die Möglichkeit, an einem Ort unter einheitlichen Bedingungen zusammenzuarbeiten.

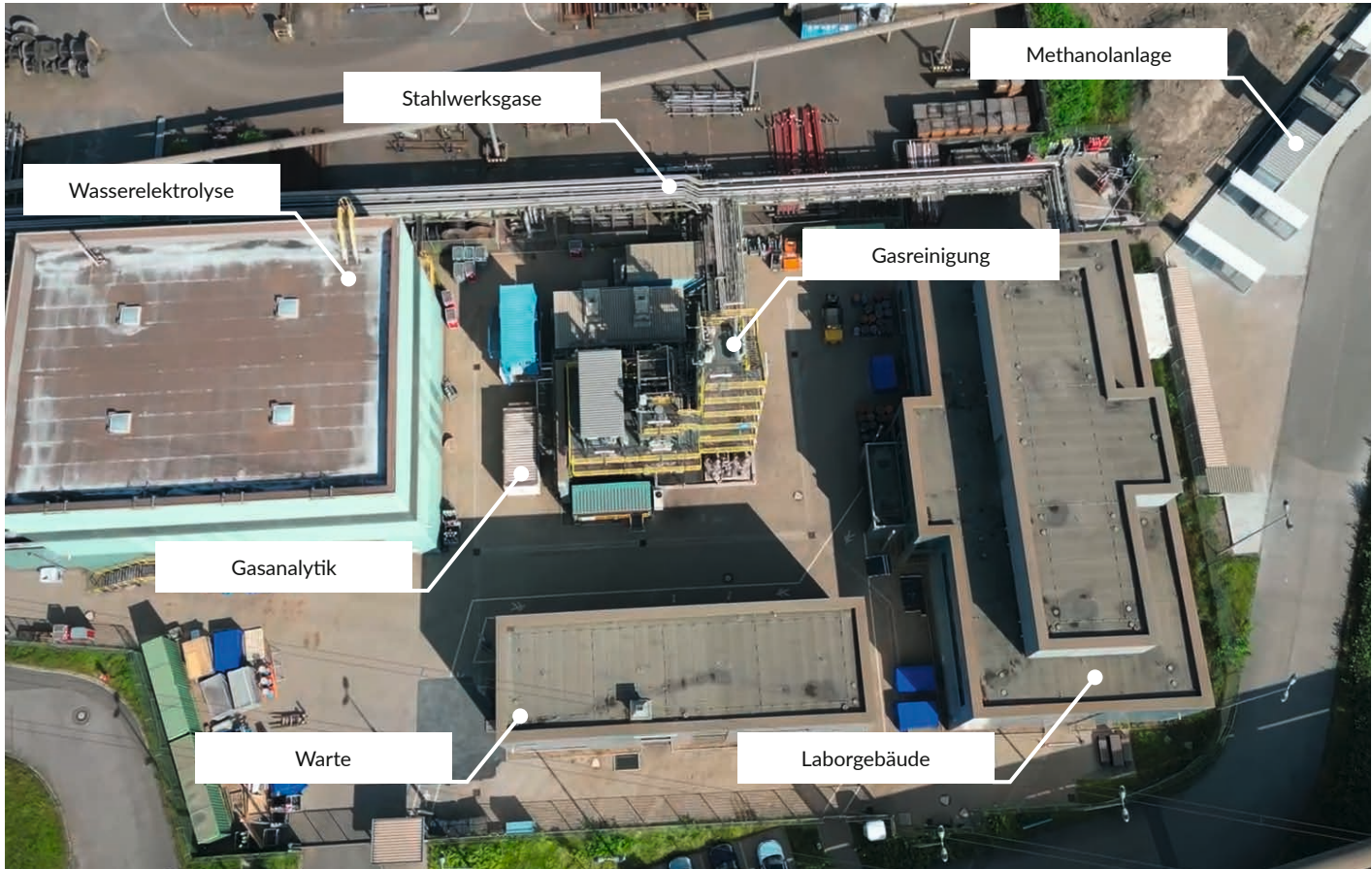
Die Verknüpfung der verschiedenen Disziplinen schafft die Grundlage für die großindustriellen Lösungen. Geplante Erweiterungen sollen zukünftig auch die Demonstration des Methanol-Downstreams ermöglichen.

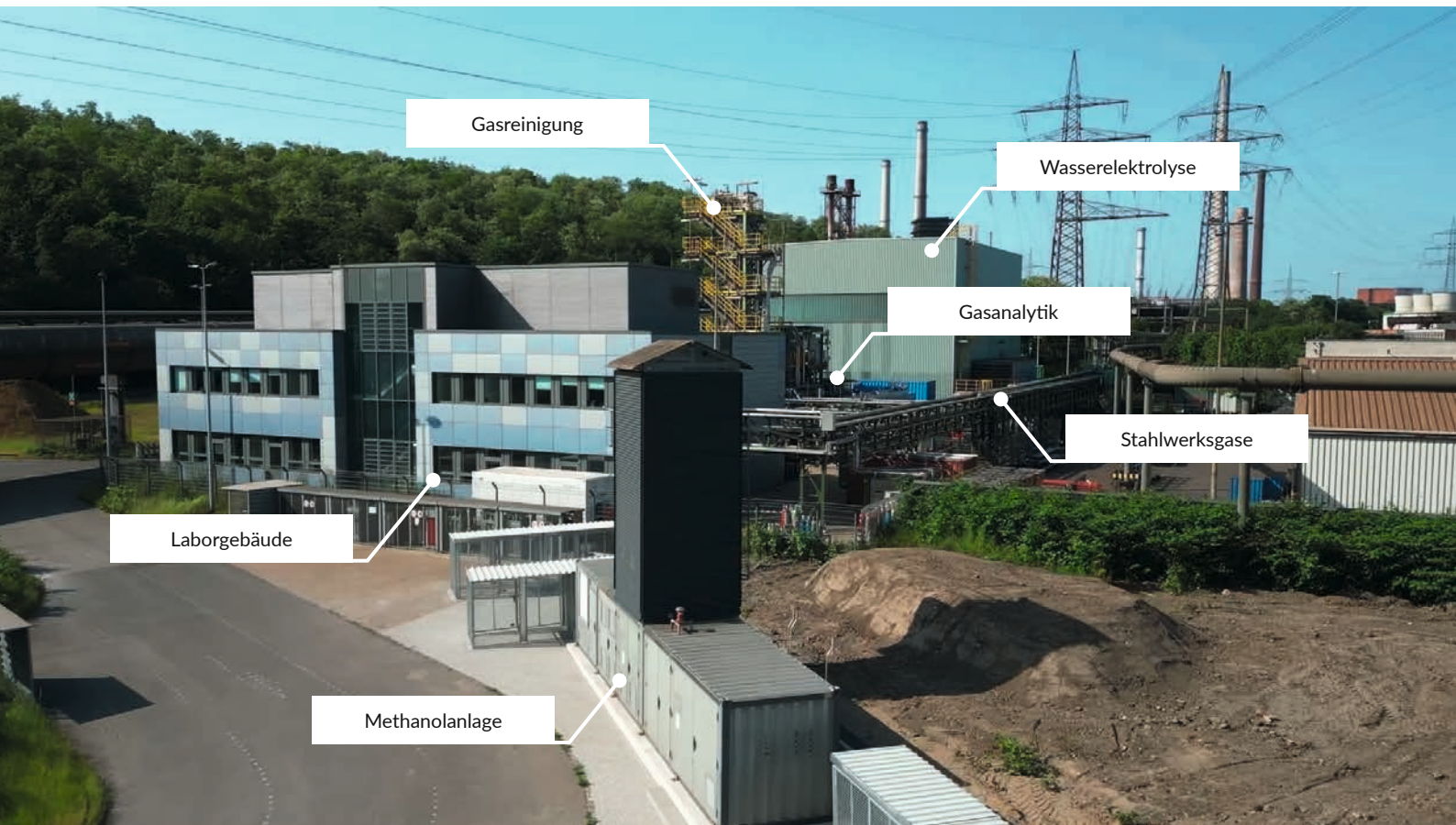


Video
„Virtueller Blick ins
Carbon2Chem®-Technikum“



Blick auf das Carbon2Chem[®]-Technikum in Duisburg





Gasreinigung

Wasserelektrolyse

Gasanalytik

Stahlwerksgase

Laborgebäude

Methanolanlage

Wasserelektrolyse

Die Einbindung erneuerbarer Energien in Form von grünem Wasserstoff für die chemische Synthese ist zentrales Element für die Umsetzung von CCU-Anwendungen.

Die Kerntechnologie ist die Wasserelektrolyse, bei der mithilfe erneuerbarer Energien aus Wasser Wasserstoff hergestellt wird. Im Technikum wurde im Vorhaben eine zwei Megawatt Wasserelektrolyse-Anlage gebaut.

Für die positive Klimabilanz von CCU-Vorhaben ist es entscheidend, dass die Elektrizität für die Wasserelektrolyse nicht aus fossilen, sondern aus erneuerbaren Quellen stammt, die durch ihre Volatilität gekennzeichnet sind.

Entsprechend ist ein Schwerpunkt der Entwicklungsarbeit bei der Wasserelektrolyse, das Verhalten der Anlage bei schwankender Energieversorgung zu untersuchen.

Die Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse für die Planung der Wasserstoffversorgung einer späteren großtechnischen Umsetzung.



Übersichtsfilm zur
Wasserelektrolyse



Gasreinigung

Die Gasreinigung ist eine der Schlüsseltechnologien von CCU-Anwendungen und damit auch der Prozesskette im Technikum. Sie kann ca. 240 Kubikmeter Hüttengas pro Stunde verarbeiten. Dabei muss das Gas von Verunreinigungen befreit werden, sodass es den hohen Reinheitsanforderungen an Synthesegas entspricht. Die Grundlage für die Betriebsführung bilden die Ergebnisse der Analytik zu den Verunreinigungen sowie den Laborergebnissen potenzieller Katalysatortgifte.

Im Laborgebäude werden ergänzende Verfahren zur Entfernung von Spurenstoffen erprobt, u. a. thermokatalytische Verfahren, nicht-thermisches Plasma und Electric-Swing-Adsorption (ESA). Die ausgewählten Verfahren wurden in Phase I des Vorhabens unter Laborbedingungen positiv validiert. Das Technikum bietet die Möglichkeit, die Verfahren zu skalieren und mit realen Gasen zu erproben. Diese Möglichkeit wurde entsprechend in Phase II genutzt.

Mit den im Labor entwickelten Analytikmethoden wird im Carbon2Chem®-Technikum die Funktionsweise der Gasreinigung hinsichtlich der Spurenstoffe kontrolliert und überwacht. Die aufgebaute Infrastruktur zeichnet sich durch eine kontinuierliche Online-Messung der gereinigten Gase und Identifizierung aller Haupt-(%-Bereich), Neben-(‰- bis ppm-Bereich) und Spurenverbindungen (ppb- bis ppt-Bereich) aus. Die Analytik hilft dadurch bei der Durchführung von Langzeitkampagnen und der Optimierung der Prozessparameter (Druck, Temperatur etc.).



Artikel zu Ergebnissen
der Gasreinigung



Video zur Gasreinigung im
Carbon2Chem®-Technikum



Methanolanlage

Im September 2018 wurde erstmals Methanol aus realen Hüttengasen im Carbon2Chem®-Technikum am Stahlwerk Duisburg erzeugt. Im Juli 2019 wurde am Carbon2Chem®-Labor in Oberhausen die Demonstrationsanlage für die Methanolsynthese in Betrieb genommen. Mit der Demonstrationsanlage wurde ein weiterer Skalierungsschritt bei der Entwicklung der Methanolsynthese durchlaufen. Seit Anfang 2022 produziert die Anlage im Carbon2Chem®-Technikum in Duisburg bis zu 75 Liter Rohmethanol (Gemisch aus Methanol und Wasser) am Tag aus Realgasen des Stahlwerks.

Trotz der vergleichsweise geringen Produktionskapazität weist die Anlage alle wesentlichen Konstruktionsmerkmale einer großskaligen Anlage auf. Das Reaktorrohr besitzt einen Durchmesser von 42 Millimetern bei einer Länge von sechs Metern, nicht reagiertes Synthesegas wird nach Abtrennung der flüssigen Produkte in den Reaktor zurückgeführt.

Die verbaute Analytik entlang der Reaktorachse liefert einen genauen Einblick in den Prozess und erlaubt eine detaillierte Auswertung der Katalysatoraktivität über die gesamte Reaktorhöhe.

Die Anlage ermöglicht in Kombination mit der verfahrenstechnischen Simulation die Produktion von Methanol aus Synthesegas mit einem beliebigen Verhältnis zwischen Kohlendioxid und Kohlenmonoxid. Bekannte Schwankungen in der Zusammensetzung bei realen Prozessgasen können so nachgebildet werden. Die Anlage steht stellvertretend für die fortschreitende Skalierung vom Labor bis zur Anwendung.



Ergebnisse zur
Methanolanlage



Übersichtsfil zur
Demonstrationsanlage



Downstream

Gesamtsicht

Für die Entwicklung der notwendigen Prozesse und Technologien ist die spätere Anwendung der Produkte wesentlich. Der Markt für Produkte aus CCU-Prozessen entwickelt sich, und das Konsortium arbeitet mit potenziellen Anwendern der entwickelten Technologien zusammen.

Zentrale Produktrouten im Vorhaben sind Methanol, Harnstoff, höhere Alkohole und Polymere. Sie dienen im Weiteren als Basisprodukte für die chemische Industrie bzw. als Grundstoff für die Bereitstellung synthetischer Kraftstoffe.

Skalierung

Schrittweise nähert sich das Vorhaben wie geplant dem Industriemaßstab. Mit der Demonstrationsanlage vollzog das Konsortium einen wichtigen Skalierungsschritt bei der Herstellung von Methanol. Aus einigen Millilitern im Labor wurden einige Liter am Tag. Ging es am Anfang nur um die Gestaltung des Prozesses

an sich, steht nun auch die Frage der Optimierung und der Steuerung der Prozesse im Fokus. Die Dynamik an der CO₂-Punktquelle muss im Weiteren berücksichtigt werden. Zusammensetzung und Menge der Gase aus der Produktion schwanken je nach Quelle und Produktionszyklus.

Die Bereitstellung der erneuerbaren Energien ist dabei das zentrale Element. Die Versorgung mit grünem Wasserstoff ist bei jedem weiteren Skalierungsschritt Teil der Systembetrachtung. Der Import und die Speicherung des Wasserstoffs in ausreichenden Mengen sind ein fester Bestandteil der Planungen im Vorhaben.

Anwendung Transport

Eine Anwendung ist die direkte Nutzung des erzeugten Methanols für den Transportbereich. Die Obrist GmbH arbeitet an einem seriellen Hybridantrieb, der in Verbindung mit einem Elektroantrieb die erneuerbaren Energien in Form des erzeugten Methanols bereitstellt.

Im Rahmen von Carbon2Chem® entwickelt das Team Konzepte, erarbeitet Vorgaben für das Methanol und erprobt erste Fahrzeuge in der Praxis.

Zirkuläre Wirtschaft

Rohstoff- und Energieeffizienz sind wesentlich für eine positive Gesamtbilanz bei der Umsetzung der geplanten cross-industriellen Netzwerke. Zirkuläres Denken ist in diesem Rahmen integraler Bestandteil für die industrielle Transformation im Zuge der Energiewende. Mit den nächsten Entwicklungsschritten wird das Vorhaben die Umsetzung einer zirkulären Wirtschaft unterstützen.



Übersichtsfilm zur
MtX-Anlage



Film „Vom CO₂ bis zur
Anwendung“

Projektpartner

Partner aus Industrie und Wissenschaft legen gemeinsam den Grundstein für eine zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft.



IMPRESSUM

Geschäftsstelle Carbon2Chem®

geschaeftsstelle@c2c-cluster.de

www.umsicht.fraunhofer.de/kohlenstoffkreislauf

#Carbon2Chem

Bildquellen

U1, U2, U4: Fraunhofer UMSICHT/MANX

Seite 2: Fraunhofer UMSICHT/Paul Hahn

Seite 3, 4, 8, 9: Fraunhofer UMSICHT/Mike Henning

Seite 5, 6, 7: thyssenkrupp Steel Europe

Seite 10: Fraunhofer UMSICHT

