

**FRAUNHOFER-LEITPROJEKT
STROM ALS ROHSTOFF**

**STROM
ALS ROHSTOFF**





GRÜNE ENERGIE FÜR NACHHALTIGE CHEMIE

1 Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner (Institutsleiter und Gesamtprojektleiter).

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits und Energietechnik UMSICHT.

2017 wurde mehr als ein Drittel des bundesdeutschen Stroms aus erneuerbaren Energien gewonnen – Tendenz steigend. Die Energiewende schreitet voran, macht den Strom CO₂-ärmer und eröffnet neue Wege für eine stromgeführte Produktion. Neun Fraunhofer- Institute bündeln dazu ihre Kompetenzen und entwickeln und optimieren unter dem Motto »Strom als Rohstoff« neue elektrochemische Verfahren, um wichtige Basischemikalien herzustellen.

RENAISSANCE DER ELEKTROCHEMIE

Klimaneutrale Versorgung mit Energie und kohlenstoffhaltigen Rohstoffen ist möglich, wenn sich ein grundlegender Wandel des Energie- und Rohstoffsystems vollzieht, der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedarf berücksichtigt. Die neuen »Rohstoffe« sind nachhaltig bereitgestellter Kohlenstoff und erneuerbare, meist fluktuierende Energien. Elektrochemische Verfahren erschließen diese Rohstoffe für die chemische Industrie und überführen sie in Produkte mit »grünem Fußabdruck«. Elektrochemische Verfahren sind Schlüsseltechnologien für die Systemkopplung zwischen Energiesystem und Chemieproduktion.

Die Elektrochemie kann katalytische thermochemische Verfahren ergänzen oder ersetzen – wenn ihr Einsatz mit Effizienz- oder Nachhaltigkeitsvorteilen verbunden ist. Bisher gab es kaum systematische Forschung zu neuen strombasierten Synthesewegen, um grünen Strom nachhaltig für die Produktion von Basischemikalien einzusetzen. Neue, integrierte Verfahrenskonzepte standen ebenso wenig zur Verfügung wie Anlagentechnik, Prozessmittel – z. B. Katalysatoren – und qualifizierende Analytik.

Im Fraunhofer-Leitprojekt »Strom als Rohstoff« wurden die erforderlichen Kompetenzen, Produkte, Prozesse und Dienstleistungen für Prozessindustrie und Energiewirtschaft nun entwickelt: Sie werden unter der Marke eSource® als technologische Forschungs-, Entwicklungs- und Bildungsplattform bereitgestellt.



ERGEBNISSE IM ÜBERBLICK

Im Leitprojekt **Strom als Rohstoff** wurden neue elektrochemische Verfahren entwickelt, technisch demonstriert und ihre Kopplung mit dem deutschen Energiesystem analysiert. Als Ergebnisse liegen vor:

Elektrochemische Prozesse

- Herstellung von Wasserstoffperoxid (H_2O_2)
- Konversion von Kohlenstoffdioxid (CO_2) zu Ethen (C_2H_4)
- Konversion von Kohlenstoffdioxid (CO_2) zu kurzkettigen Alkoholen und Säuren (Hochdruckelektrolyse)
- Konversion von Kohlenstoffdioxid (CO_2) zu langkettigen Alkoholen (Hochtemperatur-Co-Elektrolyse und optimiertes Fischer-Tropsch-Verfahren)

Komponenten

- Optimierte Katalysatoren
- Neue Elektrodensysteme
- Neue ionenleitfähige Polymermembranen

Systembewertung

- Modellierungs- und Optimierungswerkzeuge
- Marktanalysen und Geschäftsmodelle
- Neue Methoden zur Nachhaltigkeitsbewertung

Fraunhofer bietet folgendes Kompetenzspektrum für Innovationen bei elektrochemischen

Synthesen:

- Prozessentwicklung sowie Bau und Betrieb von Pilotanlagen (Batch und Durchflussbetrieb)
- Entwicklung und Test von (Elektro-)Katalysatoren, Zellen und Stacks
- Verfahren zur Herstellung und zum Test von Elektroden für elektrochemische Prozesse
- Entwicklung von ionenleitfähigen Polymermembranen
- Analytik und Charakterisierung von Katalysatoren, Elektroden, Zellen und Membranen
- Modellierung, Simulation und Optimierung
- Systemanalyse und Nachhaltigkeitsbewertung
- Innovationsmanagement
- Projekt- und Geschäftsmodellentwicklung

KONTAKT

Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner | Telefon 0208 8598-1102 | eckhard.weidner@umsicht.fraunhofer.de



H₂O₂ ON DEMAND

1 Stack zur elektrochemischen H₂O₂-Herstellung.

2 Elektrochemische Prozessentwicklung im Labor.

Wasserstoffperoxid (H₂O₂) gilt als umweltfreundliche Chemikalie, die z. B. als Bleichmittel für Zellstoff oder als grünes und selektives Oxidationsmittel bei einer Vielzahl chemischer Reaktionsprozesse eingesetzt wird und dabei ausschließlich Wasser als Nebenprodukt bildet. Heute produziert die Industrie hochkonzentriertes H₂O₂ in großtechnischen Anlagen an weltweit zentralen Standorten über das Anthrachinon-Verfahren – ein energie- und kostenintensiver Prozess.

PROZESS 1: MIT STROM ZU H₂O₂

Viele Anwender möchten auf aufwändige Lagerung und Sicherheitslogistik verzichten und H₂O₂ lieber nach Bedarf (on demand) dezentral herstellen und unmittelbar einsetzen. Hierfür wurde ein Prozess für die elektrochemische Herstellung von H₂O₂ im wässrigen Reaktionssystem (kathodisch und anodisch) einschließlich Kopplung an chemische Folgeprozesse entwickelt. Die H₂O₂-Herstellung erfolgt kontinuierlich und erlaubt die unmittelbare Vorwärtsintegration in Form aufbereiteter wässriger Lösungen. Der Prozess kann kleinskalig und dezentral sowie im Idealfall mit 100 Prozent erneuerbarem Strom betrieben werden. Er umfasst die Upstream-Prozessierung (Bereitstellung von Reaktanden, Strom und Hilfsmittel), die elektrochemische Zelle mit Katalysator und Gasdiffusionselektrode als zentrale Reaktoreinheit für die H₂O₂-Synthese, die Downstream-Prozessierung (H₂O₂ in geforderter Produktreinheit und -konzentration) sowie die Anbindung an die chemischen Folgeprozesse (Selektivoxidationen; hier demonstriert am Beispiel der Treibstoffentschwefelung).

Aus dem Prozess »Strom und Wasser zu H₂O₂« sind folgende innovative Lösungen für industrielle Anwendungen verfügbar:

- Katalysatorsysteme für die kathodische H₂O₂-Synthese
- Diamantelektroden für die anodische H₂O₂-Synthese
- Elektroden-, Zell- und Stackdesigns
- Neuartige ionenleitfähige Membranen mit geringem Fluorgehalt und hohen ionischen Leitfähigkeiten
- Echtzeitfähige Prozessanalytik
- Kontinuierliche Trenn- und Aufkonzentrationsverfahren
- Applikationsbeispiele in chemischer Synthese, Stoffaufbereitung oder Hygiene/Reinigung

KONTAKT

Dr. Stefan Löbbecke | Telefon 0721 4640-230 | stefan.loebbecke@ict.fraunhofer.de
 Dr. Silvia Janietz | Telefon 0331 568-1208 | silvia.janietz@iap.fraunhofer.de
 Dr. Michael Thomas | Telefon 0531 2155-525 | michael.thomas@ist.fraunhofer.de
 Dr. Lothar Schäfer | Telefon 0531 2155-520 | lothar.schaefer@ist.fraunhofer.de



DIE CO₂-RAFFINERIE I

Kohlenstoffdioxid (CO₂) wird in Industrieprozessen weltweit erzeugt. Es ist eine sinnvolle Kohlenstoffquelle für Chemikalien und Treibstoffe, wenn erneuerbare Energie zu seiner Aktivierung genutzt wird. Gelingt dies, werden Strom, CO₂ und Wasser zu Rohstoffen einer neuartigen CO₂-Raffinerie.

3 Versuchsanlage zur Demonstration der elektrochemischen Ethen-Herstellung.

PROZESS 2: MIT STROM ZU ETHEN

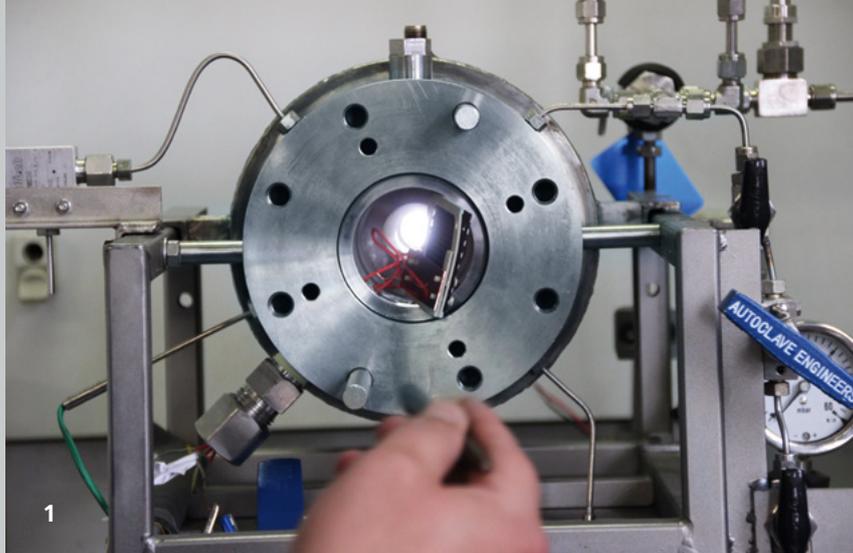
Ethen ist die mit Abstand wichtigste Basischemikalie der petrochemischen Industrie und wird zu 60 Prozent als Ausgangsstoff für den Massenkunststoff Polyethylen (PE) verwendet. Wie alle Alkene wird Ethen heute aus Erdöl erzeugt. Im Leitprojekt ist es gelungen, einen elektrochemischen Prozess zur Herstellung von Ethen aus CO₂ und Wasser in einem kontinuierlichen Prozess zu demonstrieren. Um dies zu erreichen, wurden mit verschiedenen Verfahren kupferbasierte Katalysatoren hergestellt, validiert und auf Gasdiffusionselektroden (GDE) aufgebracht. GDE sind Elektroden, in denen die drei Aggregatzustände fest (Katalysator), flüssig (H₂O) und gasförmig (CO₂) miteinander in Kontakt stehen, sodass die elektrochemische Reaktion zwischen der flüssigen und der gasförmigen Phase am Katalysator erfolgen kann. Um hohe Ausbeuten zu erzielen, wurden nicht nur die Katalysatoren und die GDE optimiert, sondern ein Demonstrator aufgebaut, in dem Elektroden bis zu einer Größe von 130 cm² in einem kontinuierlichen Betrieb getestet und Prozessparameter optimiert werden können. Damit steht erstmals ein Demonstrator zur Verfügung, mit dem ein industrienaher Prozess gezeigt und Skalierungseffekte untersucht werden können.

Aus dem Prozess »Strom und CO₂ zu Ethen« sind folgende innovative Lösungen für industrielle Anwendungen verfügbar:

- Herstellung kupferbasierter und metallfreier Katalysatoren für die Synthese von Ethen (Deep-Eutectic-Solvent, Kopräzipitation, elektrochemische Abscheidung)
- Herstellung von metallischen Kapillarelektroden und elektrochemischen Reaktormodulen
- Automatisierter Demonstrator zum Test elektrochemischer Syntheseprozesse und Katalysatoren im Durchflussbetrieb (Elektrodengröße von 130 cm²)

KONTAKT

Dr. Uwe Vohrer | Telefon 0711 970-4134 | uwe.vohrer@igb.fraunhofer.de



DIE CO₂-RAFFINERIE II

1 Reaktor für die Hochdruck-
elektrolyse von CO₂.

Alkohole sind eine wichtige Stoffgruppe, da sie für viele chemische Produkte als Ausgangsstoff dienen. Deshalb wurden zwei unterschiedliche elektrochemische Prozesse zur Herstellung von Alkoholen (C₁-C₄-Alkohole, C₄-C₂₀-Alkohole¹) aus CO₂ entwickelt. Bei der einstufigen Hochdruckelektrolyse liegt CO₂ als kontinuierliche Phase vor, zu der weitere Edukte dosiert werden. Beim zweistufigen Prozess wird zuerst bei hohen Temperaturen durch Co-Elektrolyse Synthesegas erzeugt, das in der zweiten Stufe zu langkettigen Molekülen weiterreagiert.

PROZESS 3: EINSTUFIG MIT STROM ZU ALKOHOLEN UND SÄUREN

Kurzkettige C₁-C₄-Alkohole sind Basischemikalien der chemischen Industrie. So wird der C₁-Alkohol Methanol z. B. zu Formaldehyd, Essigsäure, Methyl-tertiär-butylether (MTBE), Methylmethacrylat, Methylchlorid und Methylaminen weiterverarbeitet. Zurzeit gibt es weltweit mehr als 100 kommerziell genutzte Methanolanlagen mit einer Gesamtkapazität von 80 Millionen Tonnen pro Jahr. Daher wurde ein neues einstufiges Hochdruckelektrolyseverfahren entwickelt, mit dem Methanol und C₂-C₄-Alkohole aus CO₂ und Wasser hergestellt werden. Dabei wird nicht CO₂ in Wasser gelöst, sondern Wasser unter Druck in überkritischem CO₂. Die Innovation besteht darin, dass die Alkohole in nur einem Verfahrensschritt durch direkte Reduktion von CO₂ hergestellt werden. Die elektrochemische Reduktion von überkritischem CO₂ hat gegenüber der Umsetzung von CO₂ in Wasser entscheidende Vorteile wie z. B. die Verschiebung des Phasengleichgewichts und Erzielung höherer Umsätze.

Aus dem Prozess »Einstufig mit hohem Druck« sind folgende innovative Lösungen für industrielle Anwendungen verfügbar:

- Katalysatorpräparation bis zum kg-Maßstab
- Kontinuierliche Elektrodenherstellung bis 50 cm Breite
- Oberflächenbeschichtung von Elektroden mit katalytisch aktivem Material mittels Sprühverfahren
- Hochdruckreaktoren für Elektrosynthese (40 ml bis 2 l; 150 bar) inklusive Online-Gaschromatographie
- Prozess mit hohen CO₂-Konversionsraten unter Vermeidung von Wasserstoffbildung

¹ Die Zahl im Index bezeichnet die Anzahl der im Alkohol vorhandenen Kohlenstoffatome (Zeichen: »C«)

KONTAKT

Dr. Thomas Marzi | Telefon 0208 8598-1230 | thomas.marzi@umsicht.fraunhofer.de

Dr. Manfred Renner | Telefon 0208 8598-1411 | manfred.renner@umsicht.fraunhofer.de



2 Reaktor zur Herstellung langkettiger Alkohole nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren.

PROZESS 4: ZWEISTUFIG MIT STROM ZU LANGKETTIGEN ALKOHOLEN

Langkettige Alkohole werden u. a. in der Kunststoff-, Kosmetik- und Waschmittelproduktion sowie als Kraftstoffadditive eingesetzt. Höhere Alkohole sind aufgrund ihrer vorteilhaften Eigenschaften hochpreisige Grundstoffe. Daher wurde ein gekoppelter Prozess aus Hochtemperaturelektrolyse (Solid Oxide Electrolysis Cell – SOEC) und Fischer-Tropsch-Synthese entwickelt, mit dem langkettige Alkohole (C₄-C₂₀) aus CO₂ und Wasser hergestellt werden. Die Innovation besteht darin, dass eine solche Synthese erstmalig über einen zweistufigen elektrolysebasierten Prozess technisch realisiert wird. Hierbei wird die CO₂-Aktivierung bereits in der SOEC durchgeführt. Für die Alkoholsynthese wurden neue kostengünstige eisenbasierte Katalysatoren und ein neuer Reaktor entwickelt, um das Produktspektrum in Richtung langkettiger Alkohole zu verschieben.

Aus dem Prozess »Zweistufig mit SOEC und Fischer-Tropsch-Synthese« sind folgende innovative Lösungen für industrielle Anwendungen verfügbar:

- Langzeitstabile, für Co-Elektrolyse optimierte SOEC-Module zur Herstellung von Synthesegas
- Eisenbasierte Katalysatoren, Trägerkonzepte und Reaktoren für die Fischer-Tropsch-Synthese zu langkettigen Alkoholen
- Prozessentwicklung nachhaltiger Syntheseprozesse
- Scale-up in den Demonstrationsmaßstab

KONTAKT

Dr. Matthias Jahn | Telefon 0351 2553-7535 | matthias.jahn@ikts.fraunhofer.de



INNOVATIVE HELFER

1 *Neuartige Membran für geteilte elektrochemische Zellen: leistungsstark, kostengünstig und umweltverträglich.*

2 *Diamantelektrode zur anodischen H₂O₂-Herstellung.*

3 *Experimente zur Qualitätssicherung.*

Membranen und Elektroden sind Basiskomponenten elektrochemischer Zellen; eine ausgefeilte Analytik wesentliches Werkzeug für zuverlässige, effiziente und nachhaltige Prozesse. Eine Reihe von Charakterisierungsverfahren steht nun speziell für die elektrochemisch geführte Produktion bereit.

CHARAKTERISIERUNG ELEKTROCHEMISCHER KOMPONENTEN

Membranentwicklung für geteilte elektrochemische Zellen

Bei den Membranen wurde die Klasse der Polyphenylchinoxaline als Basis für die Entwicklung ausgewählt. Diese besitzen exzellente thermo-oxidative und chemische Stabilität. Polykondensationsreaktionen zum Aufbau der Polyphenylchinoxaline sowie deren Sulfonierung und auch Quaternisierung wurden erfolgreich durchgeführt und fluorreduzierte, kostengünstige Membranen hergestellt.

Elektrodenentwicklung (z. B. Diamantelektrode zur anodischen H₂O₂-Herstellung)

Diamantelektroden wurden mittels Heißdraht-CVD (Chemical Vapour Deposition) hergestellt und ein Reaktoraufbau errichtet, mit dem die direkte anodische Erzeugung von H₂O₂ gelungen ist.

Elektrochemische Analytik und Qualitätssicherung

Im Rahmen des Projekts wurden systematische Analyseverfahren für die Untersuchung und Bewertung elektrochemischer Komponenten entwickelt. Dazu gehören Alterungstest, Methoden der Materialcharakterisierung sowie Benchmark-Analysen.

Im Bereich »Charakterisierung elektrochemischer Komponenten« sind folgende innovative Lösungen für industrielle Anwendungen verfügbar:

- Charakterisierung neuartiger ionenleitfähiger Membranen mit geringem Fluorgehalt
- Elektrochemische Testzellen zur Qualitätssicherung von Elektroden und Membranen
- Alterungstest zur Bewertung der Langzeitstabilität elektrochemischer Komponenten
- Schadensanalytik an elektrochemischen Komponenten

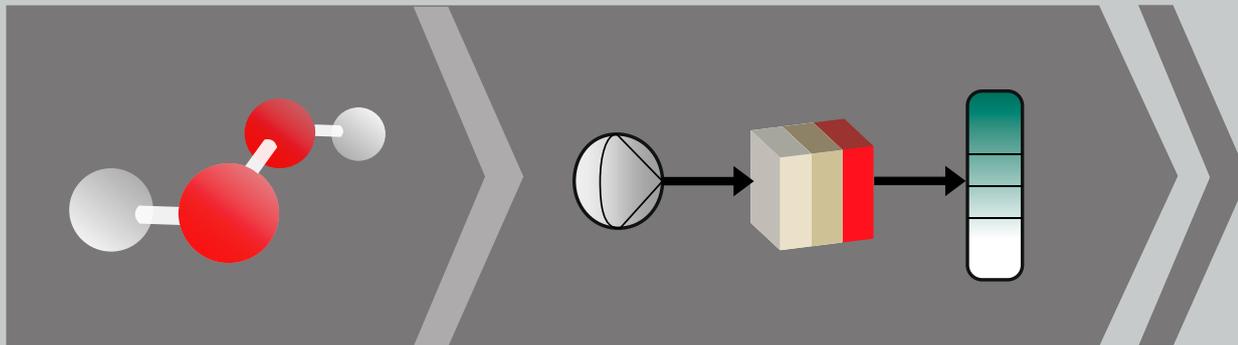
KONTAKT

Dr. Silvia Janietz | Telefon 0331 568-1208 | silvia.janietz@iap.fraunhofer.de

Dr. Michael Thomas | Telefon 0531 2155-525 | michael.thomas@ist.fraunhofer.de

Dr. Lothar Schäfer | Telefon 0531 2155-520 | lothar.schaefer@ist.fraunhofer.de

Dr. Alexander Reinholdt | Telefon 0931 4100-260 | alexander.reinholdt@isc.fraunhofer.de



4

VOM MOLEKÜL ZUM PROZESS

Mathematische Gleichungen beschreiben Mechanismen und Zusammenhänge von der Ebene »Molekül« bis zur Ebene »Prozess«. Im Leitprojekt wird aus diesen Gleichungen ein Softwaretool zur modellbasierten Entscheidungsunterstützung entwickelt, um kostengünstigere, effizientere und nachhaltigere Designs und Betriebsführungen von elektrochemischen Prozessen zu erreichen.

4 Modellierung, Simulation und Optimierung auf unterschiedlichen Skalen.

PROZESSMODELLIERUNG, -SIMULATION UND -OPTIMIERUNG

Modellierung, Simulation und Optimierung erfolgen auf drei Ebenen:

- Modellierung der katalysierten elektrochemischen Reaktion mit Anpassung der Reaktionsparameter
- Modellierung elektrochemischer Zellen
- Modellierung von Gesamtprozessen

Für den Prozess muss eine hohe Produktausbeute bei möglichst geringer Gesamtleistung erzielt werden. Beide Größen hängen vom Design des Fließbilds und vom eingestellten Betriebspunkt ab. Weil einzelne Zielfunktionen miteinander konkurrieren, ergibt sich ein mehrkriterielles Optimierungsproblem. Ein interaktives Entscheidungsunterstützungstool für multidimensionale Datensätze dient zur Visualisierung der Ergebnisse und zum Steuern der elektrochemischen Prozesse in Abhängigkeit des Energiemarktes.

Im Bereich »Prozessmodellierung, -simulation und -optimierung« sind folgende innovative Lösungen für industrielle Anwendungen verfügbar:

- Erweiterte Methodik zur Auswertung von RRDE¹-Experimenten
- Eigenständiges Aspen-Modul zur Abbildung elektrochemischer Zellen
- Kopplung der Aspen-Simulation mit mehrkriterieller Optimierung und Nachhaltigkeitsbewertung
- Software inkl. grafischer Oberfläche zur Entscheidungsunterstützung bei der Elektrosynthese

¹ RRDE: *Rotating ring disc electrode*; dt.: *Rotierende Ring-Scheiben-Elektrode*

KONTAKT

Dr. Michael Bortz | Telefon 0631 31600-4532 | michael.bortz@itwm.fraunhofer.de

VOM PROZESS ZUM SYSTEM

1 Dr. Markus Hiebel im Dialog mit Stakeholdern.

Erst wenn aus Prozessen und Komponenten ein funktionierendes System wird, das Vorteile für die Produktion bietet, geht das Konzept von Strom als Rohstoff auf. Energieszenarien, die Kopplung von Energie- und Produktionssystem, Nachhaltigkeitsbewertungen und Stakeholderbeteiligung sind wichtige Elemente.

SYSTEMANALYSE UND NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG

Aus Trends und Entwicklungen des Energiesystems wurden Szenarien für den zukünftigen Strommix und -preis abgeleitet. Sie dienen gemeinsam mit Szenarien für das Wirtschaftssystem Deutschland als Basis für eine vergleichende Nachhaltigkeitsbewertung, die eine ökonomische Prozessbewertung umfasst. Ein integratives Nachhaltigkeitskonzept bietet strategische Entscheidungshilfe in der Prozessentwicklung. Zur Interpretation der Ergebnisse wurden Beteiligungskonzepte entwickelt und Stakeholderdialoge durchgeführt. Die Ergebnisse zur Kopplung der elektrochemischen Produktionsprozesse mit dem Energiesystem zeigen Chancen und Grenzen dieses neuen Ansatzes.

Im Bereich »Systemanalyse und Nachhaltigkeitsbewertung« sind folgende innovative Lösungen für industrielle Anwendungen verfügbar:

- Beratungsdienstleistungen zur Kopplung von Energie- und Produktionssystemen
- Erstellung von maßgeschneiderten Karten für CO₂-Logistik
- Entscheidungsunterstützung bei Standortplanung
- Ökobilanzierung und Nachhaltigkeitsbewertung für Prozesstechnologien mit frühem Reifegrad
- Neue Formate zur Integration von Stakeholdern bei Prozessinnovationen

KONTAKT

Dr. Markus Hiebel | Telefon 0208 8598-1181 | markus.hiebel@umsicht.fraunhofer.de



NUTZEN DURCH VERNETZUNG

BUSINESS AND INNOVATION CENTER BIC

Wenn die Potenziale der Elektrochemie sowie von Strom und CO₂ als Rohstoff erschlossen werden sollen, muss Grundlagenwissen mit Anwendungswissen sowie den zugehörigen Märkten und nachhaltigen Verwertungsketten gekoppelt werden. Aus diesem Grund hat Fraunhofer ein neues Plattformkonzept für die Anwendung »Strom als Rohstoff« etabliert: das »Business and Innovation Center (BIC)«. Auf dieser Plattform arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Marketingexperten und Business Development Managern verschiedener Branchen zusammen und konzipieren industrierelevante Leistungen.

Das Business and Innovation Center stellt FuE-Leistungen für Industrie und Gesellschaft bereit und fungiert als Keimzelle und Technologiezentrum für Ausgründungen/Spin-offs. Damit entsteht die Fraunhofer-Markenwelt »eSource®«, die alle Kompetenzen, Produkte, Prozesse und Dienstleistungen rund um die Elektrochemie bündelt.

Gern entwickeln wir mit Ihnen zusammen Ihr Projekt. Zählen Sie dabei auf unsere Kompetenzen:

- Prozessentwicklung sowie Bau und Betrieb von Pilotanlagen (Batch und Durchflussbetrieb)
- Entwicklung und Test von (Elektro-)Katalysatoren, Zellen und Stacks
- Verfahren zur Herstellung und zum Test von Elektroden für elektrochemische Prozesse
- Entwicklung von ionenleitfähigen Polymermembranen
- Analytik und Charakterisierung von Katalysatoren, Elektroden, Zellen und Membranen
- Modellierung, Simulation und Optimierung
- Systemanalyse und Nachhaltigkeitsbewertung
- Innovationsmanagement
- Projekt- und Geschäftsmodellentwicklung

Besuchen Sie die Plattform im Internet unter: www.strom-als-rohstoff.de

Wir freuen uns auf Ihre Fragen, Wünsche und Ideen für gemeinsame Innovationen.

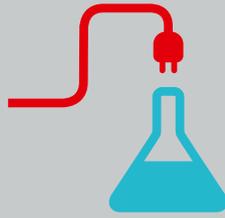


KONTAKT

Dr. Hartmut Pflaum | Telefon 0208 8598-1171 | hartmut.pflaum@umsicht.fraunhofer.de

2 »Strom als Rohstoff« ist
Teamarbeit und intensive
Vernetzung.

STROM ALS ROHSTOFF



DAS LEITPROJEKT STROM ALS ROHSTOFF

Das Leitprojekt »Strom als Rohstoff« wurde durch Mittel der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert. Das Ziel der Fraunhofer-Leitprojekte ist das Ausschöpfen des Fraunhofer-Synergiepotenzials durch Zusammenführung von Kompetenzen mehrerer Fraunhofer-Institute, um Lösungen für Herausforderungen der deutschen Industrie zu liefern. Die beteiligten Institute bedanken sich für die freundliche Unterstützung.

Projektlaufzeit

August 2015 – Juli 2018

Gesamtkoordination

Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner (Leitung)
Dr.-Ing. Hartmut Pflaum (Stellvertretung)
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-
und Energietechnik UMSICHT

Kontakt – Ansprechpartner Projektleitung

Dr.-Ing. Hartmut Pflaum
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-
und Energietechnik UMSICHT
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen

Tel.: 0208 8598-1171
hartmut.pflaum@umsicht.fraunhofer.de

Projektbeirat

Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft (Vorsitz)

Prof. Dr. Maximilian Fleischer
Siemens AG

Dipl.-Ing. Helmut Katzenberger
Technischer Berater

Prof. Dr. Martin Muhler
Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr.-Ing. Kai Sundmacher
Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme



Für »Strom als Rohstoff« arbeiten folgende Fraunhofer-Institute
im Business and Innovation Center eSource® zusammen:

Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP
Geiselbergstraße 69 | 14476 Golm
Kordinatorin: Dr. Silvia Janietz

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7 | 76327 Pfinztal
Kordinator: Dr. Stefan Löbbecke

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart
Kordinator: Dr. Uwe Vohrer

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS
Winterbergstraße 28 | 01277 Dresden
Kordinator: Dr. Matthias Jahn

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST
Bienroder Weg 54 E | 38108 Braunschweig
Kordinator: Dr. Lothar Schäfer

Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung ISC
Neunerplatz 2 | 97082 Würzburg
Kordinator: Dr. Alexander Reinholdt

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
Fraunhofer-Platz 1 | 67663 Kaiserslautern
Kordinator: Dr. Michael Bortz

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT
Osterfelder Straße 3 | 46047 Oberhausen
Kordinatoren: Dr. Markus Hiebel | Dr. Thomas Marzi | Dr. Manfred Renner

Fraunhofer-Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Bienroder Weg 54 E | 38108 Braunschweig
Kordinator: Dr. Burkhard Plinke

IMPRESSUM

SELBSTVERLAG UND HERAUSGEBER

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

Telefon 0208 8598-0
Fax 0208 8598-1290

Internet www.umsicht.fraunhofer.de
E-Mail info@umsicht.fraunhofer.de

Fraunhofer UMSICHT ist eine rechtlich nicht selbstständige
Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e. V.
Hansastraße 27 c
80686 München

VORSTAND

Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer, Präsident,
Unternehmenspolitik und Forschung
Prof. Dr. Georg Rosenfeld, Technologiemarketing und Geschäftsmodelle
Prof. Dr. Alexander Kurz, Personal, Recht und Verwertung
Dipl.-Kfm. Andreas Meuer, Controlling und Digitale Geschäftsprozesse

Registergericht Amtsgericht München
Register-Nr. VR 4461
USt-IdNr. DE 129515865

REDAKTION

Dr.-Ing. Hartmut Pflaum
hartmut.pflaum@umsicht.fraunhofer.de

RECHTLICHER HINWEIS

Alle Rechte an Texten, Bildern und Darstellungen liegen beim Verlag, soweit
nicht anders angegeben. In dieser Broschüre wiedergegebene Bezeichnungen
können Marken sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die
Rechte der Inhaber verletzen kann.

LEKTORAT

Sandra Naumann

LAYOUT, SATZ

Silvia Lorenz

DRUCK

Basis-Druck GmbH, Duisburg



BILDQUELLEN

Seite 2: © Fraunhofer UMSICHT/PR-Fotografie Köhring

Seite 3: © shutterstock.de/Collage: Fraunhofer UMSICHT

Seite 4: © Fraunhofer ICT

Seite 5: © Fraunhofer IGB

Seite 6: © Fraunhofer UMSICHT

Seite 7: © Fraunhofer IKTS

Seite 8: © Fraunhofer IAP (1), Fraunhofer ISC/Falko Oldenburg (2),
Fraunhofer ISC/Knud Dobberke (3)

Seite 9: © Fraunhofer ITWM

Seite 10: © Fraunhofer UMSICHT

Seite 11: © Fraunhofer UMSICHT

Seite 13: © Fraunhofer UMSICHT

Seite 15: © shutterstock.de/Collage: Fraunhofer UMSICHT

Bei Abdruck ist die Einwilligung der
Fraunhofer-Gesellschaft erforderlich.

© Fraunhofer-Gesellschaft, München, April 2018

