



Aufbereitung von Biogas mit Ionenaustauscherharzen und Latentwärmespeichermaterialien

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht vor, dass die erneuerbaren Energien bis 2020 insgesamt 35 Prozent am Bruttostromverbrauch ausmachen sollen. Ein Teil dieser Energie kann durch die Produktion von Biogas gedeckt werden. Biogas kann außerdem im Erdgasnetz transportiert und gespeichert werden, was Produktion und Verbrauch zeitlich und räumlich trennt. Voraussetzung dafür ist aber die Aufbereitung des Biogases in Erdgasqualität, wozu vor allem das Kohlenstoffdioxid aus dem Rohbiogas abgetrennt werden muss. Eine solche Biogasaufbereitung ist zurzeit aber nur für Großanlagen lohnend. Während Einspeiseanlagen durchschnittlich etwa 650 Kubikmeter Methan pro Stunde aufbereiten, kann eine durchschnittliche Biogasanlage nur etwa ein Fünftel davon produzieren. Wie ein Biogasaufbereitungsverfahren auch bei kleineren Anlagen wirtschaftlich realisierbar ist, will das Verbundprojekt ABiOLa unter Koordination des Instituts für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik der Universität Stuttgart (IFK) untersuchen.

Ziel der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist es, ein innovatives Biogasaufbereitungsverfahren weiter zu verbessern, das an der Universität Stuttgart entwickelt wurde. Das technisch einfach umzusetzende Verfahren arbeitet drucklos bei konstanter Temperatur und benötigt keine Chemikalien. Dabei wird die Fähigkeit sogenannter Ionenaustauscherharze genutzt, Kohlenstoffdioxid selektiv aus der Gasphase zu binden. Zuerst adsorbieren die Harze das CO_2 . Danach leitet das Verfahren das von CO_2 gereinigte Methan als Produktgas ab. Die Verbesserung der Energieeffizienz des Prozesses erfolgt durch den Einsatz von Latentwärmespeichermaterialien. So soll es sich auch für Betreiber kleinerer Biogasanlagen lohnen, den erneuerbaren Energieträger Biomethan ins Erdgasnetz einzuspeisen.

Zuerst optimieren die Forscherinnen und Forscher die Ionenaustauscherharze bezüglich ihrer CO_2 -Aufnahmekapazität und ihrer Standzeit. Dazu untersuchen sie verschiedene Harze, um unter anderem die Funktionsweise der CO_2 -Adsorption und Desorption aufklären zu können. Auch ein möglicher Abbau der Harze und dessen Ursache soll betrachtet werden. Alle Versuchsreihen werden begleitet von materialwissenschaftlichen Untersuchungen, um zum einen auf vorteilhafte Eigenschaften der Ionenaustauscherharze schließen zu können und zum anderen, um mögliche Veränderungen in ihrer Struktur und der Zusammensetzung erkennen zu können.

Danach passen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Aufbereitungsverfahren an und optimieren

es. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Wärmepufferung. Da bei der Aufnahme von Kohlenstoffdioxid Wärme frei wird und bei der Desorption Wärme benötigt wird, ist diese von besonderer Bedeutung für den Prozess. Hierzu soll unter anderem die Integration von Latentwärmespeichern in die Harzschüttung untersucht werden. Diese Harze nehmen während des Schmelzens Wärme aus der Umgebung auf und geben diese beim Unterschreiten der spezifischen Erstarrungstemperatur wieder ab. Durch die Pufferung der Wärme über Latentwärmespeicher könnte die zyklische Arbeitskapazität (aufgenommene CO_2 -Menge pro kg Harz und Zyklus) der Ionenaustauscherharze deutlich angehoben werden.



Ionenaustauscherharze im Größenvergleich mit einer Münze

Da das Biogas und die verwendete Umgebungsluft Wasser enthalten, führen die Forscherinnen und Forscher Versuche zu den Auswirkungen von Feuchtigkeit auf das

Verfahren durch und legen gegebenenfalls Grenzwerte für die weiteren Untersuchungen fest. Des Weiteren analysieren sie, inwieweit es möglich ist, gleichzeitig CO₂ und den ebenfalls im Biogas vorhandenen Schwefelwasserstoff in einem Aufbereitungsschritt abzutrennen. Auch diese Versuche werden von materialwissenschaftlichen Untersuchungen begleitet.



Das Forschungsprojekt untersucht auch, wie sich Latentwärmespeicher in die Harzschüttung integrieren lassen.

Zudem planen, bauen und betreiben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine größere Biogasaufbereitungsanlage im Technikumsmaßstab, die bis zu zwei Kubikmeter Biogas pro Stunde aufbereiten kann. Diese Anlage wird auf einer Biogasanlage installiert, um die Anwendung dieses Verfahrenskonzepts für die Aufbereitung realer Biogasströme nachzuweisen. Abschließend erfassen die Forscherinnen und Forscher alle relevanten Stoffströme sowie deren Energieinhalte und nehmen eine stoffliche und energetische Bilanzierung des Verfahrens sowie eine Sensitivitäts- und Wirtschaftlichkeitsuntersuchung vor.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Aufbereitung von Biogas mit Ionenaustauscherharzen und Latentwärmespeichermaterialien – ABIoLa

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0487

Fördervolumen des Verbundes

ca. 707.000 Euro

Kontakt

Universität Stuttgart
Fakultät 4: Energie-, Verfahrens- und Biotechnik
Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK)
Abteilung Brennstoffe und Rauchgasreinigung
Prof. Dr. techn. Günter Scheffknecht
Pfaffenwaldring 23
70569 Stuttgart
Telefon: +49 (0)711 685 63487
E-Mail: guenter.scheffknecht@ifk.uni-stuttgart.de

Projektpartner

Universität Stuttgart - Fakultät 4:
Energie-, Verfahrens- und Biotechnik -
Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK)
Rubitherm Technologies GmbH, Berlin

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Universität Stuttgart (Ionenaustauscherharze)
Rubitherm Technologies GmbH (Latentwärmespeicher)



Aluminium/Luft- und Silizium/Luft-Batterien für erneuerbare Energie

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung entwickeln Wissenschaft und Wirtschaft innovative Lösungen für eine nachhaltige Energietechnik. Große leistungsfähige und sichere Energiespeicher sind ein essentieller Baustein für die Nutzung regenerativer Energien. Speichertechnologien ermöglichen die Entkopplung von Stromerzeugung und -nutzung, indem Energie, die nicht direkt genutzt werden kann, gespeichert wird und bei hohem Bedarf wieder ins Stromnetz eingespeist wird. Das Verbundprojekt ALSiBat will wieder aufladbare Metall-Luft-Batterien aufbauen, die auf häufig vorkommenden Rohstoffen basieren. Anstatt des seltenen Lithiums, welches zudem Trockenraumbedingungen für die großtechnische Produktion von Energiespeichern erfordert, wählen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Aluminium, Silizium oder Zink. So wollen sie die Einführung von kostengünstigen und sicheren Batterien beschleunigen. Es gilt zudem ihre Effizienz zu steigern, langfristig Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit der Materialien sowie sicherheitsrelevante Fragestellungen zu untersuchen.

Aufgrund ihrer Eigenschaften nehmen insbesondere die Metall/Luft-Systeme eine herausragende Stellung ein. Forscherinnen und Forscher im Verbundforschungsprojekt ALSiBat arbeiten zuerst die vorhandenen Erfahrungen im Umgang mit verbreiteten Metall-Luft-Systemen, wie Zink-Luft- und Lithium-Luft-Systemen, auf. Darüber hinaus prüfen sie die Aluminium-Luft- und Silizium-Luft-Batterien hinsichtlich ihrer Chancen und Realisierungsmöglichkeiten. Hierbei sollen Eigenschaften, wie Wiederaufladbarkeit, Zyklenfestigkeit und Umweltverträglichkeit, systematisch untersucht und im Labormaßstab erprobt werden. Im Zentrum stehen Anlagen, die Energie aus erneuerbaren Energiequellen speichern.

Da für eine spätere Kommerzialisierung von Metall-Luft-Systemen vorzugsweise Umgebungsluft anstelle von reinem Sauerstoff verwendet wird, untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Einfluss von Wasser und Kohlendioxid in der Luft auf die Funktionsweise von Metall-Luft-Zellen. Die Experimente zur elektrochemischen Charakterisierung führen sie in speziellen Klimakammern durch, um quantitative Zusammenhänge erschließen zu können. Insbesondere spielen Reaktionen, die an der Grenzfläche zwischen Aktivmaterialien und Elektrolyt sowie an der Katalysatoroberfläche ablaufen, eine zentrale Rolle, weil sie die elektrochemische Arbeitsleistung von Metall-Luft-Batterien maßgeblich beeinflussen. Die Charakterisierung von Grenzflächenreaktionen ist wichtig im Hinblick auf die Morphologie der zu wählenden Komponenten.

Im nächsten Schritt identifizieren die Forscherinnen und Forscher schädliche Nebenprodukte, erstellen die Reaktionskinetik und Reaktionsthermodynamik und untersuchen den Einfluss dieser Nebenprodukte auf die Funktionsweise von Metall-Luft-Zellen. Basierend auf diesen Ergebnissen bauen sie ein mechanistisches Modell auf, das die Limitierung auf atomarer Ebene beschreibt. Danach überarbeiten sie die bestehenden Konzepte mit dem Ziel, eine neue Generation von Metall-Luft-Zellen zu entwickeln.

Ein weiteres Ziel ist die Herstellung von Modellanoden, sogenannten porösen Aluminium-Anoden. Diese Porosität kann Volumenänderungen beim Laden und Entladen der Batterie kompensieren, was zu einer längeren Lebensdauer führt. Poröses Aluminium wird in einer ionischen Flüssigkeit und in Mischungen mit organischen Lösungsmitteln trockener Luft ausgesetzt. Die so hergestellten Aluminium-Anoden haben eine große Oberfläche und könnten in einer Aluminium-Luftzelle hochstromfähig sein. In Testzellen messen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Anoden in Kombination mit einer Luftkathode und wollen erste Strom- und Spannungskennlinien sowie Kenntnisse zur Reversibilität gewinnen. Ebenfalls kombinieren Forscherinnen und Forscher Silizium-Anoden mit Luftkathoden, woraus sie auch Testzellen entwickeln. Von Interesse sind die Entladekennlinien sowie grundlegende Erkenntnisse zur Reversibilität.

Aufbauend auf der Gehäuse- und Dichtungstechnologie für demontierbare sowie einmalig verwendete Testzellen werden Demonstrator-Vollzellen unter Verwendung vielversprechender Anoden und Gasdiffusionselektroden für Aluminium-, Silizium- und Zink-Luft-Systeme aufgebaut und charakterisiert.



Ultrahochvakuumanlage zur Oberflächenanalyse

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Metall/Luft-Systeme, insbesondere Al- und Si-Luft Batterien – AlSiBat

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0486

Fördervolumen des Verbundes

ca. 2,6 Millionen Euro

Kontakt

Technische Universität Clausthal
Institut für Elektrochemie
Prof. Dr. Frank Endres
Arnold-Sommerfeld-Straße 6
38678 Clausthal-Zellerfeld
Telefon: +49 (0)5323 72 3141
E-Mail: frank.endres@tu-clausthal.de

Projektpartner

DECHEMA Forschungsinstitut, Frankfurt a.M.
Forschungszentrum Jülich GmbH -
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)
Technische Universität Berlin - Fakultät IV -
Elektrotechnik und Informatik - Institut für Hochfrequenz-
und Halbleiter-Systemtechnologien
IoLiTec Ionic Liquids Technologies GmbH, Heilbronn

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Technische Universität Clausthal,
Institut für Elektrochemie



Ein Flammenschutzsystem für den nachhaltigen Biokunststoff Celluloseacetat

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

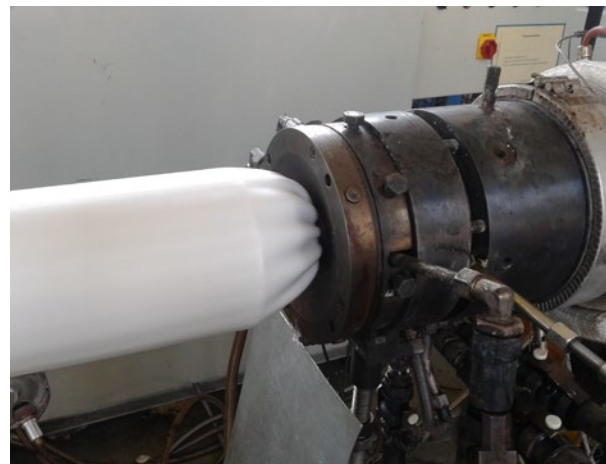
Die Energiewende stellt unsere Gesellschaft vor eine große Herausforderung. Eine zentrale Rolle spielt die nachhaltige Produktion von ressourcenschonenden Materialien, die sowohl bei der Herstellung als auch in der Anwendung Primärenergie sparen. Als Beispiele sind unter anderem hochwirksame Dämmstoffe und neuartige Leichtbaumaterialien zu nennen. Für die Erzeugung solcher Materialien ist die Verschäumung von Kunststoffen eine Schlüsseltechnologie. Auch gilt es erdölbasierte Kunststoffe, durch solche aus nachwachsenden Rohstoffquellen zu ersetzen. Celluloseacetat (CA) ist ein aus nachwachsenden Rohstoffen produzierter, schäumfähiger Biokunststoff, der zudem nicht toxisch sowie antiallergen ist. Ziel des Forschungsprojektes CA-Flammenschutz ist es, ein hochwirksames Flammenschutzsystem für den nachwachsenden Biokunststoff CA zu entwickeln, der im Baubereich als Wärmedämmstoff genutzt werden soll.

Im Sinne eines nachhaltigen und umweltschonenden Wirtschaftens wäre es wünschenswert, auf Erdöl basierende polymere Schaumstoffe durch solche zu ersetzen, die aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden können. Ein möglicher Kandidat hierfür ist das CA. Es ist schäumbar, kommt in geschäumter Form aber bislang nicht zum Einsatz. Grund dafür sind seine Brennbarkeit und das Fehlen eines kompatiblen Flammenschutzmittels.

Nach der REACH-Verordnung darf seit August 2015 das in Wärmedämmstoffen auf Polystyrolbasis (EPS und XPS) eingesetzte Flammenschutzmittel HBCD (Hexabromcyclododecan) nicht weiter verwendet werden. Flammchutzanforderungen sind in Schäumen wegen ihrer Porosität häufig schwieriger umzusetzen als in einem ungeschäumten Kunststoffprodukt. Außerdem beeinflussen Flammschutzmittel während der Produktion das Schaumverhalten oft negativ. Forscherinnen und Forscher im Verbund CA-Flammenschutz entwickeln ein neues Flammschutzsystem, das zusätzlich als Nukleierungsmittel und als Weichmacher dient. Nukleierungsmittel verbessern die mechanischen Eigenschaften des Dämmstoffs und optimieren den Produktionsprozess, indem sie die Erstarrungszeit verkürzen.

Das neue flammgeschützte und schäumfähige CA-Material soll ein Anwendungspotenzial bieten, das über den Bereich der Schaumherstellung hinausgeht. Aufgrund der Eigenschaften des CA ergeben sich zudem viele konkrete Anwendungsbeispiele, die zur Umsetzung der Energiewende beitragen. Die Energieeffizienz von Gebäuden kann beispielsweise durch den Einsatz von Hochleistungs-

Dämmplatten aus CA gesteigert werden, wodurch weniger Primärenergie verbraucht wird. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gehen davon aus, dass mit dem neuen Werkstoff weniger Materialeinsatz benötigt wird. Sie führen dies auf die hervorragenden mechanischen Eigenschaften und der in Voruntersuchungen beobachteten Gleichförmigkeit der Zellstruktur zurück.



Produktion von Schaumfolie aus Celluloseacetat

Neben der Energieeffizienz spielt auch das Raumklima, insbesondere das Feuchtigkeitsmanagement, eine wichtige Rolle, um vor allem Schimmelbildung zu verhindern. Der Werkstoff CA ist hydrophil und bietet somit zum einen eine ausgezeichnete Atmungsaktivität sowie Wasserdampfdurchlässigkeit. Zum anderen hat er das Potenzial, die Diffusionseigenschaften für Wasser durch die Materialzusammensetzung sowie durch die Schaumherstellung gezielt einstellen zu können.

Bislang galt Polystyrol als Kernmaterial für Schäume, stößt aber mit zunehmender Bauteilgröße an sein Leistungslimit. CA besitzt gegenüber Polystyrol (PS) eine höhere Steifigkeit, so dass ein Einsatz in größeren Bauteilen, etwa als Kernmaterial für Rotorblätter von Windkraftanlagen, möglich wird. Außerdem könnte geschäumtes CA wegen seiner hohen gewichtsspezifischen Steifigkeit auch als Sandwichelement im Leichtbau verwendet werden. Schließlich könnte es als Leichtbauelement mit integraler Schaumstruktur auch in der Fahrzeugverkleidung eingesetzt werden. Über die Gewichtsreduzierung würde der Energieverbrauch des Fahrzeuges gesenkt. In diesen Anwendungen ist ein Flammenschutz des Materials unbedingt erforderlich.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT im Rahmen des Forschungsprojektes CA-Flammenschutz neue Flammenschutzrezepturen, die auf dem Biokunststoff Celluloseacetat basieren. Sie kombinieren die Eigenschaften Flammschutz, Weichmacher und Nukleierungsmittel. Forscherinnen und Forscher unterziehen die entwickelten Verbundstoffe einschlägigen Flammtests, um ihre Wirksamkeit zu untersuchen. Von den erfolgversprechenden Rezepturen untersucht anschließend die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH) Schaumeigenschaften in der Schaumextrusion. Fraunhofer UMSICHT und RWTH optimieren die Rezepturen anschließend hinsichtlich Flammschutzeigenschaften, mechanischen Eigenschaften und Schaumverarbeitung unter Berücksichtigung der im Baubereich geltenden Anforderungen. Schließlich wählen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die beste Rezeptur aus. Anschließend arbeitet der Industriepartner FKUR den Kunststoff großtechnisch auf und produziert ihn. JACKON Insulation verarbeitet ihn auf Produktionsanlagen zu Dämmplatten.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Mechanochemie als nachhaltiges Prinzip zur Synthese und Entwicklung eines Flammenschutzsystems für den nachhaltigen Biokunststoff Celluloseacetat zum Einsatz in ressourcenschonenden Schaumwaren – CA-Flammschutz

Laufzeit

01.05.2015 – 30.04.2018

Förderkennzeichen

03SF0485

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,8 Millionen Euro

Kontakt

FKuR Kunststoff GmbH
Dr.-Ing. Frank van Lück
Siemensring 79
47877 Willich
Telefon: +49 (0)2154 9251 19
E-Mail: Frank.van.Lueck@fkur.com

Projektpartner

FKuR Kunststoff GmbH
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und
Energietechnik UMSICHT
JACKON Insulation GmbH
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen,
Fakultät für Maschinenwesen,
Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung (IKV)

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen



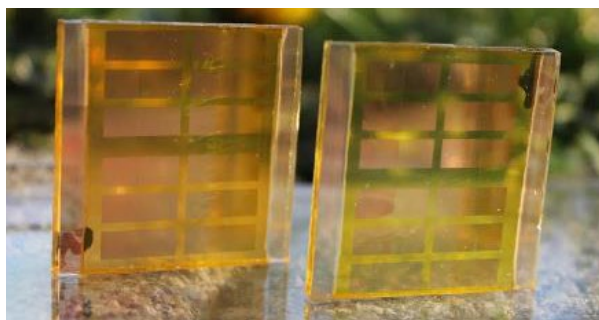
Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verbinden CIGS-Zelle mit neuartiger Perowskit-Solarzelle

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Solarzellen wandeln Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom um. Herzstück jeder Solarzelle ist ein Halbleitermaterial, das bei sogenannten CIGS-Solarzellen aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) zusammengesetzt ist. Die Werkstoffe wandeln das Sonnenlicht besonders gut in elektrische Energie um, so dass der Wirkungsgrad den Spitzenwert von 21,7 Prozent erreicht. Der Wirkungsgrad von Solarzellen lässt sich weiter steigern, indem zwei Solarzellen mit unterschiedlichen spektralen Absorptionsbereichen in einem Tandem miteinander verknüpft werden. Das Projekt CISOVSKIT will dafür die CIGS-Zelle mit der neuartigen Perowskit-Solarzelle verbinden. Es gilt, sowohl jede Teilzelle für sich als auch den Aufbau und die Herstellung des Tandems zu optimieren.

Während CIGS-Solarzellen seit mehr als 30 Jahren erforscht und weiterentwickelt werden und mittlerweile eine weitgehend ausgereifte Technologie darstellen, steht die Forschung bei den Perowskit-Dünnschicht-Solarzellen noch am Anfang. Dennoch entwickelt sich der Solarzellentyp der Perowskite mit einer enormen Geschwindigkeit.

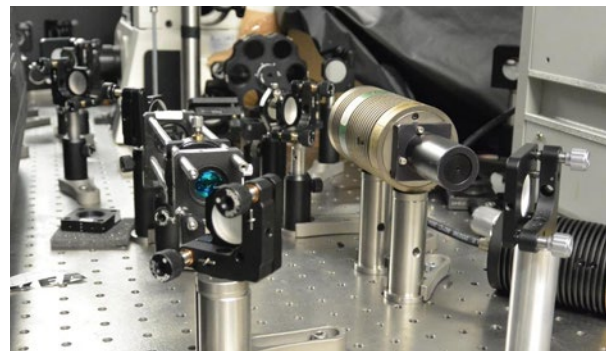
Die Perowskit-Dünnschicht-Solarzelle sollte durch ihre Nähe zu organischen und farbstoff-sensibilisierten Solarzellen hervorragend für eine kostengünstige Tandem-Solarzelle in Kombination mit einer CIGS-Solarzelle geeignet sein. Berechnungen zeigen, dass ein Wirkungsgrad zwischen 25 und 30 Prozent erreicht werden könnte. Die Anwenderin und der Anwender würden damit also höhere Jahreserträge bei gleicher Modulfläche erzielen können.



Perowskit-basierter Solarzellenprototyp zum Effizienzvergleich neu entwickelter Perowskitmaterialien

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsprojekt CISOVSKIT wollen eine effiziente und kostengünstige Tandem-Solarzelle realisieren, die aus den Solarzellentypen Perowskit und CIGS zusammengesetzt ist. Ziel ist es, eine Hocheffizienz-CIGS-Solarzelle zu

entwickeln und schrittweise zu optimieren. Außerdem entwickeln die Forscherinnen und Forscher eine neuartige auf Perowskit basierte Solarzellen-Architektur, die in halbtransparenten Einfachzellen und Tandemstrukturen eingesetzt wird. Das Forscherteam peilt ein tiefgehendes Verständnis des Materials und der Bauelemente an, um eine optimale Ladungsträgergeneration und -sammung in kompletten Tandemzellen zu gewährleisten.



Versuchsaufbau zur Bestimmung der mikroskopischen Diffusions-eigenschaften der neu entwickelten Perowskit- und CIGS-Materialien.

Hierzu passen Forscherinnen und Forscher die bewährten CIGS-Solarzellen an, um sie als Basiszelle in einer Perowskit-CIGS-Tandemzelle einzusetzen. Gleichzeitig arbeiten sie an den neuartigen Perowskit-Absorbermaterialien, um die Absorption und den Ladungstransport für den Einsatz als Oberzelle der CIGS-Perowskit-Tandem-Zelle zu optimieren. Durch begleitende tiefgehende spektroskopische Analysen verschiedener Perowskit-Modifikationen wird hierbei ein detailliertes Verständnis der elektronischen und optischen Eigenschaften angestrebt, auf dessen Grundlage die Auswahl der am besten geeigneten Materialien erfolgen kann.

Zunächst evaluieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Leistungsfähigkeit der Materialien in Einfachzellen. Insbesondere werden hierbei die auftretenden Verlustmechanismen in den Bauelementen mit spektroskopischen Methoden analysiert. Danach setzen die Forscherinnen und Forscher die Ergebnisse ein, um das Herstellungsverfahren zu vereinfachen.

Ein wichtiges Zwischenziel auf dem Weg zu Tandemzellen ist dann die Herstellung von effizienten halbtransparenten Perowskit-Solarzellen. Dieser Materialtyp enthält zwar keine seltenen und teuren Rohstoffe; das in geringen Mengen enthaltene giftige Schwermetall Blei könnte sich aber als problematisch erweisen. Deswegen untersuchen die Forscherinnen und Forscher bleifreie Alternativen, um eine umweltverträgliche Produktion zu evaluieren.

Die neu entwickelten Perowskit-Zellen kommen schließlich in mechanisch gestapelten Tandemzellen zum Einsatz, bei denen die beiden Teilzellen elektrisch getrennt sind. Erst durch eine externe Verschaltung kann die Gesamtleistung des kombinierten Bauelements abgegriffen werden. Dieser Aufbau bietet zwar eine relativ große Flexibilität, aber den Nachteil zusätzlicher Kontakte für jede Teilzelle. Schlussendlich entstehen kompakt verschaltete Tandemzellen, bei denen die halbtransparente Perowskit-Zelle direkt auf der CIGS-Zelle abgeschieden wird. Der gesamte Abscheidungsprozess kann vakuumfrei aus der Lösung realisiert werden. Während dieser Beschichtungstechnik werden Salze aus einer Lösung abgetrennt. Die Methode zeichnet sich durch niedrige Kosten aus, da keine teure Anlagentechnik notwendig ist, beispielsweise entfällt eine Vakuumanlage. Sie gilt auch als einfach übertragbar auf größere Maßstäbe.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Entwicklung hocheffizienter Hybrid-Solarzellen aus CIGS- und Perowskit- Materialien – CISOVSKIT

Laufzeit

01.09.2015 – 31.08.2018

Förderkennzeichen

03SF0516

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,5 Millionen Euro

Kontakt

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)
Photovoltaik: Materialforschung
Dr. Erik Ahlswede
Industriestraße 6
70565 Stuttgart
Telefon: +49 (0)711 7870 247
E-Mail: erik.ahlswede@zsw-bw.de

Projektpartner

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)
Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Chemie und Pharmazie, Department Chemie
Karlsruher Institut für Technologie, Lichttechnisches Institut

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Ludwigs-Maximilians-Universität München



Elektrokatalysatorsystem für stoffliche Energiespeicherung durch gekoppelte Wasserelektrolyse und CO₂-Umwandlung

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Die Energiewende ist eine soziale, wirtschaftliche und technische Aufgabe für Deutschland. Auf der einen Seite sollen zuverlässige und kostengünstige Speicher, Strom aus erneuerbaren Energiequellen speichern und so die Energieproduktion vom Verbrauch entkoppeln. Auf der anderen Seite gilt es, Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Emissionen zu reduzieren. Forscherinnen und Forscher arbeiten daher an neuen Technologien, CO₂ aus Abgasen als chemischen Rohstoff zu nutzen. Dabei könnte CO₂ und regenerative Wind- und Solarelektrizität mit Hilfe von skalierbaren elektrochemischen Prozessen und Anlagen in molekulare, speicherbare Brennstoffe oder Chemikalien umgewandelt werden. Langfristig sollen dadurch die regenerativen Energiequellen grundlastfähig gemacht werden und die Zahl der konventionellen Kraftwerke minimiert werden. An den Grundlagen für diesen Prozess arbeitet das Forschungsprojekt CO₂EKAT unter Koordination der Technischen Universität Berlin.

Eine wichtige CO₂-basierte Technologie stellt die gekoppelte Wasser-CO₂-Elektrolyse an katalytisch aktiven Elektroden dar. Hier soll Strom aus erneuerbaren Quellen über den Prozess der Elektrolyse in Wasserstoff oder auch Methan umgewandelt und in das regionale Ferngasnetz eingespeist werden. So könnte das Gas dann als Energiespeicher genutzt werden und am Ende in der Wärmeversorgung und Industrie, aber auch als Treibstoff für Autos oder auch wieder zur Stromproduktion in Gaskraftwerken verwendet werden.

Eine solche CO₂-Wasser-Elektrolyse ist bisher aber noch nicht lohnend. Um die elektrochemischen Reaktionsprozesse wirtschaftlicher zu machen, muss der Einfluss der physikalisch-chemischen Eigenschaften der Elektroden und Katalysatormaterialien auf deren Leistungsfähigkeit untersucht werden. Auch gilt es, die Stabilität der Elektroden und Katalysatormaterialien sowie die Produktausbeute und Produktverteilung näher zu betrachten. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsprojekt CO₂EKAT wollen die chemisch-materialwissenschaftlichen Grundlagen für eine Effizienzsteigerung legen, und dass bis zur technologischen Verwertbarkeit.

Die Forscherinnen und Forscher untersuchen zunächst den Zusammenhang zwischen Katalysatorstruktur und dessen Reaktivität. Ein Ziel ist, den erforderlichen Energieeintrag für die Reaktionen an Anode und Kathode zu minimieren, indem Reaktionsbeschleuniger, sogenannte Elektrokatalysatoren, eingesetzt werden. Neue nanostrukturierte Katalysatormaterialien sollen - ausgehend von Vergleichsmaterialien - in systematischer Weise entwickelt werden.

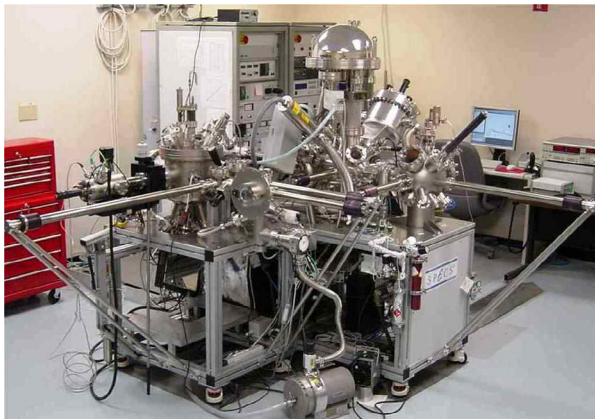
Diese Katalysatoren sollen besonders im Hinblick auf Aktivität und Stabilität verbessert werden, wobei in diesem Zusammenhang verschiedene Modifizierungsstrategien verfolgt werden.

An der Kathode findet die direkte elektrochemische Reduktion von CO₂ zu unterschiedlichen chemischen Produkten statt. Bisher ist die Energieeffizienz niedrig, die Produktverteilung häufig unkontrolliert und die Zahl der bekannten praktisch verwendbaren Katalysatormaterialien begrenzt. Hier ist die Steuerung der durch den Katalysator erzielten Produktzusammensetzung von besonderem Interesse. Während Metalle wie Gold oder Silber die CO₂-Umsetzung eher zu Kohlenstoffmonoxid begünstigen, werden Kohlenwasserstoffe in bedeutenden Mengen nahezu ausschließlich über kupferbasierte Materialien gebildet. Bei letzterem ist je nach Anwendungszweck eine kontrollierte Produktion von Kohlenwasserstoffen von hoher technischer Bedeutung, da sie Ausgangsprodukt für weitere Energieträger sein können. Propan und Butan beispielsweise lassen sich verflüssigen und als Flüssiggas (z.B. Autogas) nutzen. Forscherinnen und Forscher untersuchen wie durch gezielte Veränderung von Struktur und Zusammensetzung der Kupfer-Katalysatoren bestimmte Kohlenwasserstoffe hervorgebracht werden können.

Zunächst charakterisieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die chemische Zusammensetzung der Katalysatoren. Sie legen den Fokus auf ihre Oberfläche, an der die Reaktion stattfindet, und wenden bildgebende und spektroskopische Verfahren an. Dabei ergänzen sich die Forschenden durch verschiedene moderne Analysetech-

niken, welche außerhalb (ex situ) und während (in situ) der katalytischen Reaktion zum Einsatz kommen. Somit wird einerseits feststellbar, welche Syntheseparameter bestimmend sein können. Gleichzeitig führen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch Untersuchungen zu aktiven Zentren, Zwischenprodukten oder Instabilitätsgründen durch.

Forscherinnen und Forscher testen Katalysatoren zunächst in elektrokatalytischen Halbzellen und optimieren die Zellbedingungen so, dass mehr und genau die Kohlenwasserstoffe entstehen, die gefragt sind. Dazu gehört vor allem die Anpassung des Elektrolytsystems, dessen Anionen und Kationen sowohl die Eigenschaften des Katalysators und des Stofftransports, um die katalytische Reaktion maßgeblich zu beeinflussen.



Ultrahoch-Vakuum-Apparatur für die Oberflächencharakterisierung von nanostrukturierten Katalysatoren.

In der Anwendung wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Material- und Zelleigenschaften so optimieren, dass die Energie, die für den gemeinsamen Ablauf von Anoden- und Kathodenreaktion erforderlich ist, minimiert wird. Ist dies erreicht, gilt es schließlich noch die Praxistauglichkeit der entwickelten Systeme nachzuweisen.

Regenerativ erzeugter Strom aus Wind- oder Solarquellen unterliegt stetig hohen Fluktuationen. Um den Überschussstrom unter solchen Bedingungen voll zu verwerten zu können, untersuchen die Forscherinnen und Forscher auch die Stabilität der Materialien im Langzeitexperiment unter wiederholten elektrischen Lastwechseln. Katalysatoren, die diese Tests überstehen, werden zum Schluss in realen kleinskaligen Elektrolysezellendemonstratoren eingebaut.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitle

Elektrokatalysatorsystem für stoffliche Energiespeicherung durch gekoppelte Wasserelektrolyse und CO₂-Umwandlung - CO₂EKAT

Laufzeit

01.10.2015 – 30.09.2018

Förderkennzeichen

03SF0523

Fördervolumen des Verbundes

ca. 3,1 Millionen Euro

Kontakt

Technische Universität Berlin (TUB)
Fachgebiet Elektrochemie und elektrochemische
Energiespeicherung
Institut für Chemie
Prof. Dr. Peter Strasser
Fak. II Sekretariat TC-3
Straße des 17. Juni 124, 10623 Berlin
Telefon: +49 (0)30 314 29542
Fax: +49 (0)30 314 22261
E-Mail: pstrasser@tu-berlin.de

Projektpartner

Technische Universität Berlin, Institut für Chemie
Freie Universität Berlin, Institut für Experimentalphysik
Ruhr-Universität Bochum, Institut für Experimentalphysik
IV – Festkörperphysik

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Ruhr-Universität Bochum



DESIREE entwickelt Kathodenmaterialien für Lithium-Ionen-Hochleistungsbatterien

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms gilt es, Konzepte und Lösungen für eine nachhaltige Energietechnik zu entwickeln. Neuartige Speichertechnologien spielen dabei eine herausragende Rolle. Bei den zurzeit am Markt verfügbaren Lithium-Ionen-Batterien nimmt aber häufig die speicherbare Energie ab, wenn sie mit hohen Stromdichten be- oder entladen werden. Dies steht einem flächendeckenden Einsatz als effektivem stationärem Energiespeicher bisher entgegen. Ein Grund ist die begrenzte ionische Leitfähigkeit der Kathodenmaterialien.

Das vom Forschungszentrum Jülich koordinierte Verbundprojekt DESIREE entwickelt Kathodenmaterialien für Lithium-Ionen-Hochleistungsbatterien der nächsten Generation. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler schneiden dazu Aktivmaterialien mit schnellen Ionen-transportvorgängen für Hochleistungsanwendungen systematisch zu. Das langfristige Ziel ist die Integration regenerativer Energieträger, insbesondere der Wind- und Solarenergie, in eine grundlastfähige und witterungsunabhängige Energieversorgung.

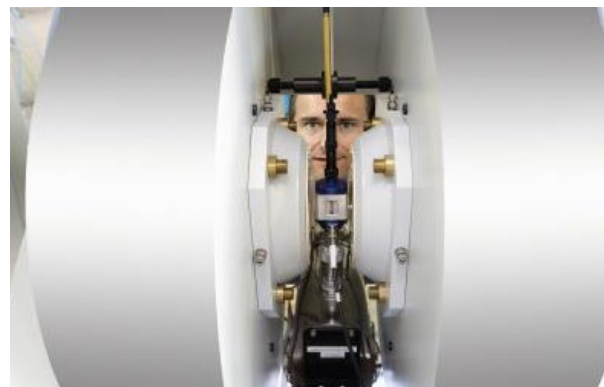


Kernspinresonanz-Spektrometer (NMR)

Die Bereitstellung von effizienten und zugleich wirtschaftlichen Energiespeichern ist ein zentraler Punkt für eine nachhaltige Energieversorgung. Aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades gelten elektrochemische Energiespeicher, wie Batterien, für mobile und stationäre Anwendungen als besonders effektiv. Neben einer hohen Energiedichte ist auch eine hohe Leistungsdichte relevant, um kurzzeitige Schwankungen im Stromnetz auszugleichen. Für zukünftige Generationen von Hochleistungsbatterien müssen daher Aktivmaterialien

entwickelt werden, die beide Eigenschaften besitzen. Eine besonders attraktive Materialklasse sind diesbezüglich die Spinelle. Sie erlauben eine schnellere Einlagerung von Lithium-Ionen in chemische Verbindungen als herkömmliche Kathodenmaterialien. Dieser Prozess muss schnell und zuverlässig ablaufen, damit Energie effizient gespeichert werden kann.

Das Projekt DESIREE erforscht 5 V-Aktivmaterialien mit schnellem Ionentransport für zukünftige Hochleistungsbatterien mit hoher Energiedichte. Die ionische Leitfähigkeit soll durch eine gezielte Dotierung und Nicht-Stöchiometrie systematisch verbessert werden. In einem weiteren Schritt werden dann Strategien für eine Material- und Designverbesserung entwickelt. Ein wissenschaftliches Arbeitsziel des Vorhabens besteht daher auch in der Aufklärung der thermodynamischen und kinetischen Prozesse während der Batterieentladung. Darauf aufbauend sind die Gefüge-Eigenschaft-Beziehungen hinsichtlich der Leitungsmechanismen zu betrachten.



Elektronenspinresonanz-Spektrometer (EPR)

Die Modifikation der Spinell-Defektstruktur von Kathodenmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien auf atomarer Ebene soll den Platzwechsel von Ionen begünstigen und damit die ionische Leitfähigkeit der Materialien erhöhen. Derartige Mechanismen sind für Interkalationsbatterien typisch. Sie werden derzeit auch für andere Batteriekonzepte, wie etwa Magnesium- oder Aluminium-Batterien, als eine massive Limitierung angesehen. Ein weiterer Aspekt für effiziente Hochleistungsbatteriezellen sind nanostrukturierte Materialien. Die Verwendung von Kathodenmaterialien mit besonders kleinen Partikeln kann einen positiven Einfluss auf den Ionentransport durch das Material ausüben.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler charakterisieren die Kathodenmaterialien mittels moderner Beugungs-, Tracer- und spektroskopischer Methoden. Die so erzielten Ergebnisse werden in einem Gesamtansatz zusammengeführt, um zunächst diejenigen Mechanismen zu beschreiben, die bei hohen Stromdichten zu einer Reduktion der Speicherkapazität führen. Diese Ergebnisse fließen dann in ein Multiskalen-Modell ein, aus dem Ansätze zur Verbesserung der Materialien gewonnen werden. Diese Erkenntnisse werden wiederum zur späteren Herstellung eines Gesamtbauteils verwendet. Das Verbundprojekt führt materialwissenschaftliche Grundlagenforschung für die elektrochemische Speicherung regenerativ erzeugter elektrischer Energie durch. Das vertiefte Verständnis der thermodynamischen und kinetischen Elektrodenprozesse wird zu einer gezielten Materialverbesserung von Hochleistungskathodenmaterialien führen.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Defektspinelle als Hochenergie- und Hochleistungsmaterialien zur elektrochemischen Energiespeicherung - DESIREE

Laufzeit

01.09.2014 - 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0477

Fördervolumen des Verbundes

ca. 3,3 Millionen Euro

Kontakt

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung
Prof. Dr. Rüdiger A. Eichel
Grundlagen der Elektrochemie (IEK-9)
Telefon: +49 (0)2461 61 46 44
E-Mail: r.eichel@fz-juelich.de

Projektpartner

Forschungszentrum Jülich GmbH,
Institut für Energie- und Klimaforschung
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen,
Institut für Anorganische Chemie
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen,
Institut für Physikalische Chemie
Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Angewandte Materialien

Internet

www.fz-juelich.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Forschungszentrum Jülich GmbH



Supraleiter für neuartige Windturbinen

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Mit dem Energiekonzept strebt die Bundesregierung eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung an. Dabei nehmen Windenergieanlagen auf See eine wichtige Rolle ein. Ziel ist es, mehr als zehn Megawatt Leistung je Anlage erreichen zu können. Hersteller von Groß-Windanlagen steigern zwar kontinuierlich die Leistung der Turbinen, mit wachsender Leistung wachsen aber auch Turmkopfmasse und -volumen überproportional an. Aus diesen Gründen müssen Hersteller die Leistungsdichte der Anlagen erhöhen. Die Leistungsdichte von Generatoren, als eines der schwersten und größten Komponenten des Turmkopfes, kann beispielsweise vergrößert werden, indem Supraleiter in den Magnetspulen des Rotors verwendet werden. Wegen der hohen Supraleitermenge pro Anlage ist dafür aber eine günstige Herstellungsmethode für supraleitende Drähte und Bänder notwendig. Der Verbund DIAMANT will nun einen effizienten Herstellungsprozess entwickeln, der grundsätzlich eine reproduzierbare, wirtschaftliche Fertigung großer Leiterlängen in industriellem Maßstab ermöglichen soll.

Supraleitende Motoren und Generatoren sind im Vergleich zu konventionellen elektrischen Maschinen extrem klein, leicht und arbeiten sehr energieeffizient. Allerdings ist die Menge an Supraleitermaterial insbesondere für Windkraftanlagen sehr groß: ein zehn Megawatt-Generator braucht beispielsweise zwischen 30 und 300 Kilometer Supraleiterdraht. Daher muss ein Material entwickelt werden, das günstig hergestellt werden kann, um dem im Windenergiemarkt allgemein sehr hohen Kostendruck gerecht zu werden. Wenn ein kostengünstiger Supraleiter verfügbar wäre, könnte dies für einen Innovationsschub sorgen, der auch anderen potentiellen Anwendungen der Supraleitung in der Energietechnik, zum Beispiel den Energieübertragungskabeln, den Wasserkraft- oder Kraftwerksgeneratoren, nutzen könnte.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Verbund DIAMANT wenden die Aerosolbeschichtungsmethode als neuartige, skalierbare und kostengünstige Herstellungsmethode auf das Supraleitermaterial Magnesiumdiborid (MgB_2) an. Sie wählen dieses Material mit hervorragenden supraleitenden Eigenschaften, weil es eine geringe Dichte aufweist und im Vergleich zu anderen Supraleitern einfacher und kostengünstiger prozessierbar ist.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Verbund DIAMANT wollen aus diesem quasikeramischen und damit spröden und schwer zu verdichtenden Material einen effizienten „technischen Leiter“ herstellen, der folgende Eigenschaften erfüllen soll:

- technisch relevante Gesamtstromtragfähigkeit (mehrere hundert Ampere pro Band)
- mechanische Festigkeit, gute Biegsamkeit
- Resistenz gegen Vibrationen, elektrische Stabilität, einfache Kontaktierbarkeit
- grundsätzlich gegebene Handhabbarkeit im industriellen Wickelprozess für Spulen



Transport des Turmkopfes einer Windkraftanlage inklusive des Generators

Für die Herstellung von Drähten und Kabeln aus MgB_2 sind zwar vorindustrielle Prozesse vorhanden, diese sogenannten Pulver-in-Rohr-Prozesse sind aber häufig aufwändig und kostenintensiv. Zudem schränken die dabei nötigen hohen Prozesstemperaturen die Materialauswahl und Leiterarchitekturen ein. Forscherinnen und Forscher im Verbund DIAMANT wenden alternativ die Aerosolbeschichtungsmethode (aerosol deposition method, ADM) an. Bei dieser Methode können sie dichte keramische Schichten ohne Hochtemperaturprozesse direkt aus dem Ausgangspulver auf fast beliebige Substratmaterialien aufbringen.

Durch eine Pulverschüttung hindurch wird ein Prozessgas geleitet. Dadurch entsteht ein Aerosol, also ein Gemisch aus festen Schwebeteilchen und einem Gas. Eine Druckdifferenz erwirkt eine Beschleunigung des Partikels vom Aerosolerzeuger in die Vakuumkammer. Dort wird das Aerosol auf mehrere 100 Meter pro Sekunde beschleunigt und auf das zu beschichtende Substrat gelenkt. Dabei entstehen fest anhaftende, dichte Beschichtungen von z. B. 1 µm bis 300 µm Dicke. Die Materialeigenschaften der erzeugten Schicht sind dabei ähnlich dem Ausgangsmaterial. Nach Ausbildung einer Verankerungsschicht auf dem Substrat kommt es zu einem kontinuierlichen Aufbau und einer Verdichtung der Schicht. Dieser Vorgang wird als Room Temperature Impact Consolidation (RTIC) bezeichnet.

Welche Eigenschaften aber muss das MgB_2 -Ausgangspulver haben, um es bei der Aerosolbeschichtungsmethode einsetzen zu können? Wie kann Pulver mit diesen Eigenschaften kommerziell beschafft oder selber hergestellt werden? Wie sieht ein industrieller Herstellungsprozess für Leiterbahnen aus? Wie soll die Qualitätskontrolle aussehen? Welche Substratmaterialien und Deckschichten sind zielführend? Welche Stromdichte kann in der Schicht erreicht werden? Diese und weitere Fragen bearbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Projekt DIAMANT.

Für die Aerosolbeschichtung ermitteln die Forscherinnen und Forscher geeignete Prozessparameter. Vorhandene Laboranlagen bauen sie dafür um oder neue Anlagen auf. Außerdem stellen sie Funktionsmuster (Schicht- und Leiterproben) her und charakterisieren mit elektrischen und magnetischen Methoden, Mikroskopie, Struktur- sowie chemischer Analyse.

Die Ergebnisse benutzen sie wiederum, um den Prozess zu optimieren und die Reproduzierbarkeit sicherzustellen. Ziel ist es, ein Konzept für eine zukünftige Hochskalierung des Prozesses auf eine industrielle Leiterfertigung auszuarbeiten. Am Projektende will das Team die Machbarkeit dieser Herstellungsmethode demonstrieren und bewerten, und zwar durch Herstellung und Test einer signifikanten Leiterlänge oder einer kleinen Versuchsspule.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Direkt-Abscheidung von Magnesium-Diborid-Supraleitern für Neuartige Windturbinen – DIAMANT

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0480

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,9 Millionen Euro

Kontakt

Siemens AG, Corporate Technology
Abteilung CT RTC PET SUC
Dr. Marijn Oomen
Günther-Scharowsky-Straße 1
91058 Erlangen
Tel.: +49 (0)9131 735 331
Fax: +49 (0)9131 733 323
E-Mail: marijn.oomen@siemens.com

Projektpartner

Siemens AG, Corporate Technology
Universität Bayreuth,
Fakultät VI Angewandte Naturwissenschaften,
Lehrstuhl für Funktionsmaterialien
Karlsruhe Institut für Technologie,
Institut für Technische Physik
Palas GmbH, Karlsruhe

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Siemens AG, WindPower & Renewables



Duale Solarenergienutzung: Wasserstoffherzeugung bei der Abwasserreinigung

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Für die Energiewende gilt es, mit innovativen Technologien Speicher zu entwickeln, die Solarenergie für Perioden mit geringer Sonneneinstrahlung zur Verfügung stellen. Auf der anderen Seite gibt es Wasserverunreinigungen. Neue Technologien, mit deren Hilfe die Energie- und Wasserprobleme simultan gelöst werden können, sind von großer Bedeutung. Das Projekt DuaSol will ein wirtschaftliches und großtechnisch umsetzbares Konzept aufbauen, das in Zukunft Wasserstoff als chemischen Energiespeicher für Solarenergie nutzt und gleichzeitig Abwässer reinigt. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln dazu eine photoelektrochemische Tandemzelle mit kaltgasgespritzten Elektroden, die mit Sonnenlicht photokatalytisch Wasserstoff erzeugt und dabei Abwässer klärt. DuaSol deckt dabei die gesamte Entwicklungskette ab: angefangen von der Herstellung von Photokatalysatoren über die Optimierung des Photokatalysator-Pulvers und den Bau der Elektroden bis hin zur Analyse von photoelektrochemischen Prozessen an den Elektroden sowie der Anwendungsuntersuchung.

Für eine wirtschaftliche, solarchemische Wasserstoffherzeugung sind die Effizienz und die Lebensdauer der derzeit bekannten, reproduzierbaren photoelektrochemischen Systeme noch zu gering. Eine Ursache ist, dass die photokatalytische Wasserspaltung ein komplexer Prozess ist, der vielfältige Anforderungen an die zu verwendenden Photokatalysatoren stellt. Es müssen Materialien gefunden werden, die verschiedene und zum Teil gegenläufige Eigenschaften in sich vereinen, beispielsweise ein geeignetes Energieniveau für die Wasserreduktion und -oxidation. Die genannten Faktoren sind häufig nicht unabhängig voneinander optimierbar.

Zuerst trennen die Forscherinnen und Forscher in diesem Projekt die Teilreaktionen Wasserreduktion und die Oxidationsreaktion räumlich voneinander. Dazu werden eine Photoanode zur Aufnahme der Elektronen und eine Photokathode zur Wasserstoffherzeugung in einem photoelektrochemischen Zweikammersystem angeordnet. Die Materialien für die Anoden und Kathoden können für die beiden Teilreaktionen unabhängig voneinander verbessert, gleichzeitig die Rückreaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff unterbunden und so eine deutliche Effizienzsteigerung gegenüber Einkammersystemen erreicht werden. Weiterhin sind die Produktgase der anodischen und der kathodischen Reaktion räumlich voneinander getrennt, so dass reiner Wasserstoff ohne eine kostenaufwändige Gastrennung produziert werden kann.

Um eine möglichst hohe Effizienz hinsichtlich der Wasserstoffentwicklung zu erreichen, wurden bisher nahezu alle Systeme zur photokatalytischen Wasserstoffherzeugung

unter Zusatz von Methanol und anderen Alkoholen konzipiert. Methanol aber wird großtechnisch selbst aus Wasserstoff hergestellt, was die Anwendung als technisch umsetzbares Konzept häufig hemmt. Anstatt des Methanols untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Projekt DuaSol alternative Elektronendonatoren. Hier sollen Elektrolyte mit organischen Abwässern, die im Überfluss verfügbar wären, eingesetzt werden, beispielsweise Abwässer in kommunalen Kläranlagen oder Industrieabfälle, wie Glycerol, das als Nebenprodukt der Biodieselproduktion in großen Mengen anfällt. Durch Verwendung von im Abwasser enthaltenen organischen Verunreinigungen als Elektronendonatoren kann die solarchemische Wasserstoffherzeugung wirtschaftlich und ökologisch effizient werden. Der Gesamtprozess wandelt unter Bestrahlung mit Sonnenlicht unerwünschte Schadstoffe in den wichtigen Energieträger Wasserstoff um.



Die Demonstrationsanlage SOWARLA am DLR-Zentrum Lampoldshausen umfasst ca. 350 Quadratmeter. Sie dient der Wasseraufbereitung durch solare Photokatalyse.

Ein spezielles Beschichtungsverfahren, das Kaltgasspritzen, trägt das Material für die Photoelektroden pulverförmig und sehr schnell auf metallische Elektrodenträger auf. Das Kaltgasspritzen gilt unter den bisher untersuchten Verfahren zur Herstellung von Photoelektroden hinsichtlich der erreichbaren Effizienzen als besonders vielversprechend, ist kostengünstig und im technischen Maßstab umsetzbar. Dennoch ist es für die Erzeugung von Schichten für die Photokatalyse bislang nur wenig untersucht worden. Für die Photoelektroden wählen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler insbesondere die chemischen Verbindungen Niobate und Tantalate. Die Materialien sollen für den Einsatz beim Kaltgasspritzen hinsichtlich ihrer Partikelmorphologie optimiert und maßgeschneidert werden.



Teststand SoCRatus für photokatalytischer Systeme mit Solarstrahlung

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Duale Solarenergienutzung: Wasserstofferzeugung bei der Abwasserreinigung – DuaSol

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0482

Fördervolumen des Verbundes

ca. 3,2 Millionen Euro

Kontakt

H.C. Starck GmbH
Dr. Sven Albrecht
Im Schleeke 78-91
38642 Goslar
Tel.: +49 (0)5321 751 3735
E-Mail: sven.albrecht@hcstarck.com

Projektpartner

H.C. Starck GmbH,
Zentralbereich Forschung & Entwicklung
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover,
Institut für Technische Chemie
Justus-Liebig-Universität Gießen,
Physikalisch-Chemisches Institut
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Solarforschung
Helmut-Schmidt-Universität Hamburg,
Institut für Werkstofftechnik

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



Innovative Oberflächenbeschichtung verhindert Eisbildung

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Deutschland baut seine Energieversorgung um. Für die Umsetzung der Energiewende gilt es, die notwendigen technologischen Voraussetzungen und Innovationen für eine langfristig gesicherte, bezahlbare und umweltverträgliche Energieversorgung zu schaffen. Eis- und Raureifbildung an technischen Anlagen, wie Windkraftanlagen, Starkstromleitungen und Telekommunikationseinrichtungen, verhindern aber einen reibungslosen Betrieb. Sie senken den Wirkungsgrad, erhöhen den Wartungsaufwand, verursachen Stillstandzeiten und stellen zudem ein hohes Sicherheitsrisiko dar. Das Forschungsprojekt EISAB unter Koordination der Technischen Universität Dresden will eine aktive Folienbeschichtung entwickeln, die Eisbildung und dauerhafte Eisanhaftung an Oberflächen von technischen Anlagen verhindert.

Oberflächen können durch thermische und elektrische Energie, wie durch beheizte Flächen, eingebettete Widerstandsschichten oder -drähte, enteist werden. Weitere Möglichkeiten sind die mechanische Enteisung oder der Einsatz von Chemikalien. Um Eisbildung aber erst gar nicht entstehen zu lassen, gibt es zwei Möglichkeiten: Zum einen können Betreiber von technischen Anlagen Maßnahmen ergreifen, die die Eisbildungstemperatur senken. Zum anderen können sie Mechanismen einsetzen, die eine Eisanhaftung minimieren. Die Forscherinnen und Forscher im Forschungsprojekt EISAB kombinieren diese bekannten Prinzipien zur Eisinhibition mit einem neuartigen pyroelektrischen Prinzip. Sie entwickeln eine Oberflächenbeschichtung, die die Vereisungstemperatur an der Oberfläche zu einem tieferen Wert verschiebt und gebildete Eiskeime mit jedem erneuten Temperaturwechsel ablöst.

Für dieses neue Schichtkonzept kombinieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein besonderes Oberflächencluster mit wasserliebenden und wassermeidenden Flächen, eine Schmelzpunktniedrigung sowie einen Werkstoff, der sich bei Temperaturänderung elektrisch auflädt. Diese drei physikalischen Effekte führen die Forscherinnen und Forscher in einer Schicht zusammen und entwickeln eine effektive Anti-Eis-Beschichtung. Eine solche Kombination stellt eine neue Herangehensweise zur Entwicklung von eisabweisenden Oberflächen dar. Sie beinhaltet im Einzelnen die Umsetzung

- des Tausalzeffektes: Eine Immobilisierung von wasserlöslichen Polymeren senkt den Gefrierpunkt an der Grenzfläche zwischen Eis und dem Bauteil.

- des hydrophob/hydrophilen Domäneneffektes: Das Eis bildet sich auf diskreten, nanoskopisch verteilten Kristallisationspunkten und haftet nur lose auf der beschichteten Oberfläche.
- des pyroelektrischen Effektes: Ein temperaturgesteuerter Ladungsaufbau greift in die Verbindung zwischen Wasser und Bauteil ein. Eis kann an schon gebildeten Eiskeimen nicht mehr anhaften und löst sich so besser ab. Darüber hinaus unterbindet die freiwerdende Wärme das Anhaften von Eiskeimen an der Oberfläche.



Eine solche Beschichtung lässt sich durch eine einfache Tauchbeschichtung auf ein Rotorblatt oder andere Oberflächen aufbringen und kann in einem zweiten Schritt beispielsweise über einen photoinduzierten Pfropfungsprozess mit variablen Komponenten und Struktur ausgerüstet werden. Auf diese Weise steht eine gut haftende, vollständig polymere, pyroelektrisch wirksame Oberflächenbeschichtung für beliebige Untergründe zur Verfügung. Die Forscherinnen und Forscher erwarten wegen des Einsatzes organischer pyroelektrischer Precursoren in Kombination mit gängigen Polymeren einen geringen finanziellen Aufwand ohne Beschaffungsengpässe.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler demonstrieren die Wirkungsweise eines solchen eisabweisenden und -ablösenden Beschichtungssystems auf Rotorblättern und Gehäuseteilen im Außenbereich der Windenergiegewinnung, für die sie wegen der natürlichen Temperaturschwankungen besonders geeignet scheinen. Ebenfalls sehr vielversprechend ist die Verwendung in häufig frequentierten Klimakammern der Biotechnologie oder der Lebensmittelindustrie.



Die Wirkungsweise eines eisabweisenden Beschichtungssystems wird auf Rotorblättern und Gehäuseteilen im Außenbereich der Windenergiegewinnung demonstriert.

Die Forschungsarbeiten zu eisabweisenden Oberflächen richtet das Forschungsprojekt EISAB am konkreten Bedarf der Wirtschaft aus. Während der Projektlaufzeit streben sie den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis an. Ein Team aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie assoziierten Projektpartnern der Windenergiebranche hat sich zusammengeschlossen, um für Windkraftanlagenhersteller und Nutzergruppen den Wissens- und Technologietransfer zu begleiten

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Aktive eisabweisende Oberflächen auf Rotorblättern – EISAB

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0475

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1 Million Euro

Kontakt

Technische Universität Dresden
Fakultät Maschinenwesen –
Institut für Werkstoffwissenschaft
Dr.-Ing. Ute Bergmann
Helmholtzstraße 7
01062 Dresden
Telefon: +49 (0)351 4633 3895
E-Mail: ute.bergmann@tu-dresden.de

Projektpartner

Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.

Assoziierte Projektpartner

Bundesverband WindEnergie e.V., Berlin
ENERCON GmbH, Magdeburg
eno energy GmbH, Rostock

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Technische Universität Dresden (Konsortium)
Bundesverband WindEnergie e.V. (Windkraftanlagen)



Katalysatoren ohne Platin für die Niedertemperatur-Brennstoffzelle

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Niedertemperatur-Brennstoffzellen wandeln chemische Energie direkt in elektrische Energie um. Die Brennstoffzellen gelten als sauber, effizient und vielseitig nutzbar, beispielsweise als Fahrzeugantrieb oder in der Hausenergie. Für die Herstellung werden aber seltene und teure Elektrodenmaterialien benötigt, die eine breite Markteinführung hemmen. Die Nachwuchsgruppe ECat-PEMFC entwickelt effiziente und robuste Elektrokatalysatoren, die sie mit modernen Methoden verbessern.

Die Polymerelektrolytbrennstoffzelle – eine Klasse der Niedertemperatur-Brennstoffzellen – ist eine vielversprechende Technologie für eine umweltschonende und saubere Energieumwandlung. Dabei wird unter Verwendung von Wasserstoff und Sauerstoff chemische in elektrische Energie umgewandelt. Käme der nötige Wasserstoff aus Wasserelektrolyseuren, die man beispielsweise mit Solar- oder Windkraftanlagen betreibt, würde ihre großtechnische Anwendung die Treibhausgasemission senken. Auch würde ihre Einführung den weltweiten Erdölverbrauch deutlich verringern.

Das Herzstück in einer Niedertemperatur-Brennstoffzelle ist eine Membran-Elektroden-Anordnung, die aus einer Anode, einer Kathode und einer protonenleitenden Membran besteht. Dieser Aufbau ist im Vergleich zu den restlichen Komponenten das teuerste Stück und macht bis zu 34 Prozent der Gesamtkosten aus. In der Regel werden als Standardkatalysator in der Membran-Elektroden-Anordnung reine Platin-Nanopartikel verwendet, die auf einem Kohlenstoff-Trägermaterial fein verteilt sind.

Die Aufgabe des Katalysators ist es, die elektrochemischen Reaktionen in der Brennstoffzelle zu beschleunigen und somit zu kleinen Überspannungen an den Elektroden zu führen. Bisher wird als Katalysator das teure Edelmetall Platin benötigt. Dennoch sind die Eigenschaften und die Lebensdauer dieser Katalysatoren für eine wirtschaftliche Anwendung unzureichend.

Bei einem der erfolgreichsten Katalysatorkonzepte wird dem Platin ein unedleres Metall zugegeben, um die Eigenschaften der platinbasierten Partikel in einer Brennstoffzelle zu verbessern. Haben das unedlere Metall und das Platin auf dem Katalysator zueinander eine geringe Ent-

fernung, werden die elektronischen und geometrischen Eigenschaften von Platin verändert. Das unedlere Metall löst sich aber trotz einer platinreichen Partikeloberfläche unter den Bedingungen in einer Brennstoffzelle auf. Die Aktivität einer Brennstoffzelle nimmt so über einen längeren Zeitraum ab.

Ein ideales Trägermaterial muss also mehrere Eigenschaften mit sich bringen:

- gute elektrische Leitfähigkeit
- gute Haftungseigenschaften für eine starke Wechselwirkung zwischen Partikel und Trägermaterial
- hohe spezifische Oberfläche für eine gute Verteilung der Nanopartikel
- hohe Porosität zur Vergrößerung der Dreiphasengrenzfläche
- gute wasseranziehende Oberflächeneigenschaften, um das gebildete Wasser von der Kathode abzutransportieren
- gute Korrosionsresistenz

Das Forschungsprojekt arbeitet an Strategien und Konzepten, um die katalytischen Eigenschaften und besonders die elektrochemische Resistenz der Elektrodenmaterialien zu verbessern und gleichzeitig Materialkosten zu reduzieren. In diesem Projekt werden als kostengünstige Katalysatoren platinarme Legierungsnanopartikel auf Kohlenstoff mit guter katalytischer Aktivität und Lebensdauer sowohl für die Kathodenreaktion als auch für die Anodenreaktion entwickelt.

Diese Nanopartikel werden mittels moderner nass-chemischer Imprägnierungsmethoden hergestellt, da diese Art der Synthese für die Industrie großtechnisch und kostengünstig realisierbar ist. Durch die Kontrolle der Partikeldurchmesser, der chemischen Zusammen-

setzung und der Kristallinität sollen die katalytischen Eigenschaften der platinarmen Nanopartikel für die beiden Halbzellen-reaktionen gesteuert werden.

Weiterhin wird die Lebensdauer des Katalysators durch eine veränderte Oberfläche des Kohlenstoffs verbessert. Dadurch kann deren Resistenz erhöht und insgesamt der Partikelabtrag, welcher ein Grund für den Alterungsprozess dieser Katalysatoren ist, minimiert werden.

Zwei Fragen stehen im Zentrum der Arbeiten der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler: Sie wollen erstens die strukturellen und chemischen Parameter identifizieren, die das Zusammenspiel zwischen den platinarmen Nanopartikeln und dem auf Kohlenstoff basierten Trägermaterial verbessern. Zum zweiten möchten sie den Mechanismus aufklären, der dafür verantwortlich ist, dass sich das unedlere Metall aus dem Inneren der platinbasierten Nanopartikel auflöst.

Zuerst werden die während der Forschungsarbeiten entwickelten Katalysatoren für die jeweiligen Halbzellenreaktionen optimiert. Anschließend werden die Katalysatoren auch in einer realen Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle untersucht. Zum Schluss wird die Nachwuchsgruppe die Katalysatoren in die Membran-Elektroden-Anordnung überführen.



Teststand für eine Brennstoffzelle

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Aktive und stabile Platin-arme Elektrodenkatalysatoren für die Niedertemperatur-Polymer-elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle – PEMFC

Laufzeit

01.07.2016 – 30.06.2021

Förderkennzeichen

03SF0539

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,9 Millionen Euro

Kontakt

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Jun. Prof. Mehtap Oezaslan
Fakultät V – Mathematik und Naturwissenschaften
Institut für Chemie
Carl-von-Ossietzky-Str. 9-11
26129 Oldenburg
Telefon: +49 (0) 441 798 3917
Fax: +49 (0) 441 798 3979
E-Mail: mehtap.oezaslan@uni-oldenburg.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Greenlight Innovation GmbH



Werkstoffverhalten in lastflexibel betriebenen Kraftwerken im Rahmen der Energiewende

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Trotz des stetig wachsenden Anteils regenerativer Energiequellen an der Stromerzeugung kommt konventionellen Kraftwerken weiterhin eine entscheidende Rolle zu. Sie gleichen die wetter- und jahreszeitbedingt schwankenden Beiträge der Windkraft- und Solarenergie aus und stabilisieren so die Stromversorgung. Hierzu ist ein lastflexibler Betrieb der Kraftwerke mit häufigen Starts und Lastwechseln erforderlich. Starts und Lastwechsel führen zu Temperaturwechseln und zeitlich schwankenden mechanischen Lasten, die die Bauteile in veränderter Weise verglichen zu heutigen Fahrweisen beanspruchen. Dabei kann eine beschleunigte Werkstoffschädigung mit frühzeitigen und unerwarteten Schäden an Bauteilen oder Anlagen auftreten. Die Nachwuchsforschungsgruppe FLEXIKON der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) untersucht am Beispiel hochwarmfester Stähle, inwieweit die Erfahrungen zum Verhalten dieser Werkstoffe unter stationären Kraftwerksbedingungen auf einen zyklischen Anlagenbetrieb im Rahmen der Energiewende übertragbar sind.

Hohe Temperaturen und Drücke sowie aggressive Rauchgas- und Wasserdampfatamosphären sind die enormen Einsatzbedingungen, denen Bauteile in konventionellen Kraftwerken ausgesetzt sind. Für diese hohe Beanspruchung kommen zwar speziell entwickelte hochwarmfeste Stähle zum Einsatz, im Rahmen der Energiewende aber verändern sich ihre Einsatzbedingungen. Die zunehmend zyklische Betriebsweise der Anlagen mit häufigen Starts oder Lastwechseln kann eine starke Korrosionsbeanspruchung und gleichzeitig eine verstärkte mechanische Beanspruchung der Anlagenteile verursachen.



Schaden an einem Überhitzerrohr für Dampfkraftwerke im Laborversuch. Es ist eine örtliche Schädigung und Aufweitung des Rohrs durch lokale Korrosion und den hohen Dampf-Innendruck der Rohrleitung. Schließlich kommt es zur Bildung eines Risses.

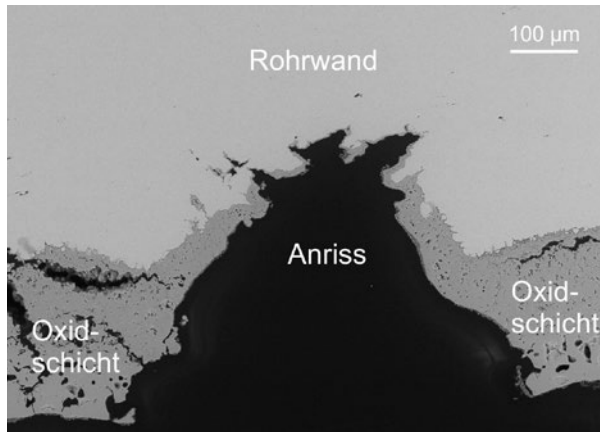
Unter den Betriebsbedingungen, die Kraftwerke im Rahmen der Energiewende erfüllen, kann es daher sowohl zu einer Kombination bereits bekannter Schadensmechanismen als auch zum Auftreten unerwarteter neuer Schädigungs-

prozesse kommen. Ob das bekannte Werkstoffverhalten unter den bisher stationären Betriebsbedingungen auf die neuen Betriebsprofile beim Einsatz erneuerbarer Energien übertragbar ist, ist bisher kaum erforscht. Die Nachwuchsgruppe FLEXIKON untersucht am Beispiel hochwarmfester Stähle mit einem Chromgehalt zwischen neun und zwölf Prozent, welche Auswirkungen eine regelmäßige Veränderung von Temperatur, mechanischer Belastung und Rauchgaszusammensetzung auf die Schädigungsprozesse und die Lebensdauer dieser Stähle hat.

Zur Simulation der realen Beanspruchung führen die Forscherinnen und Forscher Korrosionsversuche unter Dampf und Rauchgas mit wechselnden Temperaturen und Zusammensetzungen durch. Sie machen auch mechanische Untersuchungen mit Temperatur- und Lastwechseln, teils auch unter Rauchgas. Die Werkstoffreaktion prüfen sie durch umfangreiche Untersuchungen der Mikrostruktur der Materialien. Ziel ist, sämtliche auftretenden Veränderungen der Mikrostruktur, Oberflächenmerkmale und mechanischen Eigenschaften sowie die Schädigungsprozesse bis hin zum Versagen detailliert zu betrachten.

Auf diese Weise erhalten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Beschreibung des Schädigungsverlaufs und seiner Mechanismen auf der Nano- bis Millimeterskala. Die Ursachen der beobachteten Materialveränderungen sowie ihre Auswirkungen auf das Langzeitverhalten der Werkstoffe untersuchen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auch mit flankierenden kinetischen/thermodynamischen Modellrechnungen

sowie speziell angepassten Verformungs- und Lebensdauermodellen.



Frühes Stadium der Rissbildung mit aufgerissener Oxidschicht auf der Oberfläche eines Rohrs. Es bildet sich ein trichterförmiger Anriss (Bildmitte unten), da der Werkstoff hier nicht mehr vor der Dampf-atmosphäre geschützt ist.

Kernziel des Projekts ist, ein umfassendes Verständnis der unter flexiblen Betriebsbedingungen auftretenden Werkstoffveränderungen und Schädigungsprozesse zu entwickeln. Die Interpretation der Befunde baut auf dem Wissensstand zum Werkstoffverhalten unter stationären Bedingungen auf und zeigt die relevanten Unterschiede des zyklischen Materialverhaltens. Die Forscherinnen und Forscher möchten herausfinden, welche Materialveränderungen und Schadensmechanismen unter zyklischen Bedingungen dominieren und wie Schäden durch betriebsseitige und werkstofftechnische Maßnahmen vermieden oder reduziert werden können.

Auf diese Weise ermöglichen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Abschätzung der grundsätzlichen Eignung bestehender Kraftwerke für den langfristigen zyklischen Einsatz. Gleichzeitig ergeben sich Ansatzpunkte für eine zielgerichtete Weiterentwicklung der Werkstoffe sowie für neue Schutzkonzepte, die künftig durch den Austausch kritischer Bauteile von bestehenden Anlagen sowie in der Konzeption neuer Anlagen berücksichtigt werden können.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitle

Hochwarmfeste Dampferzeugerwerkstoffe für lastflexible konventionelle Kraftwerke: Betriebsverhalten, Schädigungsprozesse und Optimierungspotentiale für künftige Einsatzbedingungen – FLEXIKON

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0474

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1 Million Euro

Kontakt

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Nachwuchsgruppenleiter Dr.-Ing. Jürgen Olbricht
Fachbereich 5.2 - Experimentelle und modellbasierte
Werkstoffmechanik
Unter den Eichen 87
12205 Berlin
Telefon: +49 (0)30 8104 3137
Telefax: +49 (0)30 8104 1527
E-Mail: juergen.olbricht@bam.de
www.bam.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)



Neue Verfahren zur Strukturierung von Photoelektroden zur Wasserstoffherzeugung

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

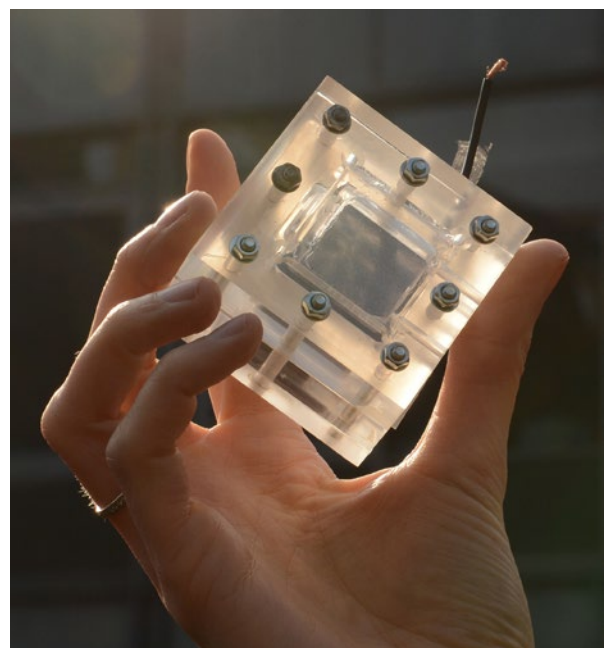
Die Umwandlung von regenerativer Energie in ein nutzbares Gas als sekundärer Energieträger kann eine wichtige Rolle bei der Energiewende einnehmen. Erneuerbarer Strom könnte in Wasserstoff bzw. Methan umgewandelt werden. Diese Gase können in der Gasinfrastruktur transportiert, gespeichert und anschließend genutzt werden. In Demonstrationsanlagen ist bisher eine Kombination aus Photovoltaik und technischen Elektrolyseuren realisiert worden; diese hat sich jedoch als sehr kostenintensiv herausgestellt. Kostengünstiger kann die Wasserstoffproduktion in einem Schritt mit Hilfe von photoaktiven Halbleiterelektroden durchgeführt werden. Die Nachwuchsgruppe Focus-H₂ will mit dem Verfahren des Kaltgasspritzens strukturierte großflächige Photoelektroden mit hoher Effizienz für die solare Wasserstoffproduktion entwickeln.

Zahlreiche Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf die Entwicklung neuer halbleitender Materialien für die photoelektrochemische Wasserspaltung. Im Zentrum stehen meist nur kleine experimentelle Elektrodenflächen, die der Charakterisierung im Labor dienen. Ein Scale-up auf größere technisch anwendbare Elektroden ist mit den üblicherweise verwendeten Verfahren schwer zu realisieren. Mit dem jungen Verfahren des Kaltgasspritzens können photoelektrochemisch aktive Materialien für die Wasseroxidation kostengünstig auf kleine oder große Flächen aufgebracht werden, so dass die ökonomische Produktion von Elektroden auf technischem Maßstab ermöglicht wird. Das Kaltgasspritzen ist ein Beschichtungsverfahren, bei dem der Werkstoff in Pulverform mit sehr hoher Geschwindigkeit auf das Trägermaterial aufgebracht wird. Für das Modellsystem Titandioxid sind für photoelektrochemisch aktive Elektroden sogar um einen Faktor vier bis fünf höhere Photoströme erreicht worden als mit der üblichen Labortechnik.

Allerdings existieren kaum Untersuchungen zur Anbindung der Partikel an das Substrat und dem daraus resultierenden Ladungstransport in den kaltgasgespritzten Photoelektroden, die die Basis für eine weitere Prozessoptimierung und Effizienzsteigerung darstellen. Weiterhin fehlen bislang Untersuchungen zur Anwendbarkeit des Verfahrens für andere Materialien wie Bismutvanadat- oder Eisenoxid, die das Sonnenlicht besser ausnutzen können.

Das Ziel der Nachwuchsgruppe unterteilt sich in zwei Schwerpunkte. Zum einen sollen grundlegende Kenntnisse erarbeitet werden zum Anbindungsmechanismus von

halbleitenden Partikeln auf das technische Substrat während des Spritzverfahrens. Zum anderen geht es um den Einfluss der Oberflächenstruktur der Photoelektroden auf das Licht- und Gasmanagement. Dabei konzentrieren sich die Arbeiten vorerst auf Photoanoden für die Wasseroxidation, die auf der Basis von Metalloxiden aufgebaut sind. Die Wasseroxidation ist die Gegenreaktion bei der Herstellung von Wasserstoff über die Elektrolyse von Wasser und stellt aufgrund der komplexen Reaktionskinetik zurzeit den limitierenden Faktor bei der Gesamteffizienz der Wasserspaltung dar.



In der Demonstrationszelle wird unter Ausnutzung von Sonnenenergie Wasserstoff erzeugt.

Der Einfluss der Oberflächenstruktur auf die photochemische Aktivität wird zunächst an Modellsystemen untersucht. Die in diesen Arbeiten gewonnenen Erkenntnisse sollen im Verlauf des Projekts dann auf gespritzte Photoanoden übertragen werden.

Über das herkömmliche Kaltgasspritzen ist häufig die erforderliche Oberflächenstruktur kaum zu erreichen. Deswegen kommt ein noch nicht etabliertes Verfahren, das Aerosol-Kaltgasspritzen, zum Einsatz. Es ist in der Lage, auch Strukturen im sub- μm Maßstab präzise zu erzeugen. Die Prozesse während des Spritzverfahrens, insbesondere die Anbindung der Partikel an die Oberfläche, werden zunächst an planaren kaltgasgespritzten Proben untersucht. Nach Aufbau und Inbetriebnahme der Aerosol-Kaltgasspritzanlage sollen diese Erkenntnisse auf das Aerosol-Kaltgasspritzen auf geeignete oberflächenstrukturierte Elektroden mit hoher Wandlungseffizienz übertragen werden.

Ziel ist es, kostengünstige Elektroden für Prototypmodule bereitstellen zu können. Diese sollen dann schlussendlich in Kombination mit Photokathoden zur Wasserstoff-erzeugung effiziente lichtbetriebene Elektrolyseure bilden.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Neuartige Verfahren zur Strukturierung von Photoelektroden zur Wasserstoffherzeugung – Nachwuchsgruppe Focus-H₂

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2019

Förderkennzeichen

03SF0479

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,7 Millionen Euro

Kontakt

Helmut-Schmidt-Universität
Universität der Bundeswehr
Dr. Maria Teresa Villa Vidaller
Institut für Werkstofftechnik
Holstenhofweg 85
22043 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 6541 2261
E-Mail: maria.villa@hsu-hh.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Helmut-Schmidt-Universität, U. Schröder



Absorberschichten für den Einsatz in umweltverträglichen Dünnschichtsolarzellen

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Photovoltaik ist ein wichtiger Baustein der zukünftigen Energieversorgung aus erneuerbaren Energiequellen. Wie können Material- und Herstellungskosten weiter gesenkt werden? Welche Techniken lassen den Wirkungsgrad weiter steigen? Diese Fragen stehen im Zentrum der Forschungsarbeiten zur Photovoltaik, um die Konkurrenzfähigkeit auch ohne wirtschaftliche Förderung zu gewährleisten. Wegen ihres geringen Rohstoffbedarfs gewinnen die Dünnschichttechnologien verstärkt an Bedeutung. Hier kommt beispielsweise das seltene Technologiemetall Indium sowie das rare und toxische Element Cadmium zum Einsatz. Forscherinnen und Forscher wollen im Projekt FREE-INCA Absorberschichten für den Einsatz in indium- und cadmiumfreien Dünnschichtsolarzellen entwickeln und optimieren.

Der Erfolg einer Photovoltaiktechnologie ist abhängig von nachhaltig verfügbaren und umweltverträglichen Ausgangsmaterialien. Daher wird die Materialklasse der Kesterite (Typ $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_{1-z}\text{Se}_z)_4$), welche auf den verfügbaren und umweltverträglichen Metallen Kupfer, Zink und Zinn aufbaut, als aussichtsreiches Absorbermaterial für die Dünnschichtphotovoltaik der nächsten Generation diskutiert. Kesterit-Solarzellen konnten im Labormaßstab bereits 12,7 Prozent der Energie des einfallenden Sonnenlichts in elektrische Energie umwandeln. Um diese Effizienzen zuverlässig zu erreichen und weiter zu steigern, müssen Wissenslücken beispielsweise zum Schichtwachstum, den elektronischen Eigenschaften von Kesteriten und den Grenzflächen zum Vorder- und Rückkontakt geschlossen werden.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsprojekt FREE-INCA wollen mit materialwissenschaftlicher Grundlagenforschung dazu beitragen, den Weg für wirtschaftlich relevante Solarzellenwirkungsgrade im Bereich von 15 Prozent zu ebnen. Das Projekt adressiert somit die Schnittstelle zwischen Materialforschung und Energieerzeugung. Hier spielen die Bereiche Materialentwicklung und -charakterisierung, Grenzflächenforschung, Solarzellenentwicklung und Beschichtungstechnologie eine Rolle. Forschende arbeiten an der materialwissenschaftlich-zielgerichteten Entwicklung defekt- und sekundärphasenarmer Kesterit-Dünnschichten und ihrer Optimierung für den Einsatz in Dünnschichtsolarzellen mit einem verwertungsnahen Wirkungsgrad von mindestens 13 Prozent.

Eine der Herausforderungen bei der Herstellung von Kesterit-Absorbern ist das Auftreten von sogenannten Neben- bzw. Sekundärphasen, welche häufig dazu führen,

dass der Wirkungsgrad der Solarzelle sinkt. Diese Nebenphasen können durch chemische und physikalische Prozesse während der Schichtherstellung neben der erwünschten Kesterit-Phase entstehen, sollen aber vermieden werden. Im Forschungsprojekt unter Koordination der Universität Oldenburg und Beteiligung des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) sowie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) testen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedliche Strategien, wie diese Nebenphasen vermieden werden können. Die Reinheit der Kesterit-Schicht kann beispielsweise durch eine optimierte Prozessführung beeinflusst werden.



Photovoltaik ist ein wichtiger Baustein der zukünftigen Energieversorgung aus erneuerbaren Energiequellen.

Für die Konzeption einer nachhaltigen Kesterit-Solarzellenstruktur sind zudem neuartige und umweltverträgliche, das heißt cadmiumfreie Puffermaterialien vorgesehen. Eine Pufferschicht wird bei diesem Materialsystem für den Aufbau einer Solarzelle benötigt und könnte Verluste minimieren. Sie „puffert“ den elektronischen Übergang vom Absorber, der die Energie des Sonnenlichts aufnimmt, zum Frontkontakt ab. Der ist notwendig, damit die Solarzelle einen Stromfluss liefern kann. Das zurzeit noch gängigste Material für Pufferschichten für Kesterite, welches seit einigen Jahren bereits die industrielle Reife erlangt hat, ist Cadmiumsulfid. Statt dieser chemischen Verbindung wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler umweltverträglichere Alternativen einsetzen. Damit würden sie sowohl die seltenen Technologiemetalle wie Indium und Tellur ersetzen als auch nicht mehr das toxische Metall Cadmium verwenden.

Um elektronisch hochwertige Absorber zu entwickeln, werden mehrere industrierelevante Herstellungsvarianten eingesetzt und verglichen.

Bei allen Herstellungsverfahren sind:

1. das phasenreine Wachstum von Kesteritschichten,
2. die Optimierung des Rückkontakts sowie
3. die energetische Optimierung der Grenzfläche Halbleiter/Puffer wichtige Zwischenziele des Forschungsprojekts.

Auf dieser Basis sollen die Grundlagen für ein verwertungsnahes Wirkungsgradpotential für Kesterit-Dünnschicht-solarzellen geschaffen werden. Für die hergestellten Labormuster erfolgt zum Ende des Vorhabens eine Bewertung, welche Material- und Grenzflächeneigenschaften den Wirkungsgrad limitieren und welche Herstellungsverfahren hinsichtlich eines Transfers auf industrierelevante Substratgrößen aussichtsreich erscheinen.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Entwicklung und Optimierung von CZT(S,Se)-Kesteritschichten für den Einsatz in Dünnschicht-solarzellen auf Basis nachhaltig verfügbaren und umweltverträglichen Ausgangsmaterialien – Free Inca

Laufzeit

01.10.2015 – 30.09.2018

Förderkennzeichen

03SF0530

Fördervolumen des Verbundes

ca. 2,1 Millionen Euro

Kontakt

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Institut für Physik
Dr. Levent Gütay
Carl-von-Ossietzky-Str. 9-11, 26129 Oldenburg
Telefon: +49 (0)441 7983749
Fax: +49 (0)441 7983990
E-Mail: levent.guetay@uni-oldenburg.de

Projektpartner

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Solar Panels from Oregon Department of Transportation
(CC BY 2.0)



Das Potential der Perowskit-Photovoltaik bestimmen

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

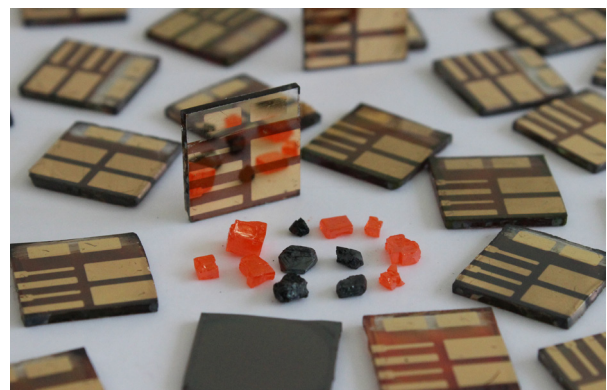
Mit neuartigen Dünnschicht-Solarzellen auf der Basis von kristallinen Perowskit-Halbleitern gelang es bereits nach kurzer Entwicklungszeit, Wirkungsgrade von über 20 Prozent im Labor zu realisieren. Es stellt sich die Frage, welches Wirkungsgrad-Potential die Perowskit-Technologie – insbesondere im Vergleich zu herkömmlichen Technologien - noch besitzt, den thermodynamischen Grenzen des Wirkungsgrads noch näher zu kommen. In diesem sich rasant entwickelnden Feld ist es daher wichtig, auch im Hinblick auf die Materialsynthese und die Bauelemententwicklung, eine relevante Größe (figure of merit) zu definieren, die das Potential der Perowskit-Materialien für die Photovoltaik und ihre Konkurrenzfähigkeit im Vergleich zu den weiteren anorganischen und organischen Photovoltaik-Technologien beschreibt. Die Ermittlung einer derartigen technologieübergreifenden Größe ist das Ziel des Forschungsprojekts HYPER. Dazu wird ein Ansatz mit abgestimmten materialwissenschaftlichen, experimentellen und theoretischen Aspekten von der Universität Würzburg, der Technischen Universität Chemnitz und dem Bayerischen Zentrum für angewandte Energieforschung (ZAE Bayern) verfolgt.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsprojekt HYPER wollen eine relevante Größe definieren, um das Potential der Perowskit-Materialien für die Photovoltaik experimentell und theoretisch herauszuarbeiten. Auf diese Weise soll ihre Konkurrenzfähigkeit im Vergleich zu den weiteren anorganischen und organischen Dünnschicht-Photovoltaik-Technologien anhand eines zu ermittelnden Gütefaktors (figure of merit) bestimmt werden.

Darüber hinaus wollen die beteiligten Forscherinnen und Forscher die Grundlagen für zukünftige gezielte Optimierungen der Absorber- und Transportschichten für Perowskit-Solarzellen schaffen. Denn in diesen Schichten wird das einfallende Sonnenlicht in Ladungsträger bzw. elektrischen Strom umgewandelt und der erzeugte Strom wird von diesen zu den Elektroden transportiert.

Ein Fokus liegt dabei auf der Untersuchung der kristallinen Perowskit-Schicht sowie der Grenzflächen zu den Transport-Schichten bzw. Elektroden und den darin stattfindenden Generations-, Transport- und Rekombinationsprozessen der Ladungsträger. Dabei soll die Auswirkung dieser Prozesse auf die Schlüsselparameter der Solarzellen gezielt ermittelt werden. Dazu zählen die Leerlaufspannung, Voc, der Kurzschlussstrom, Jsc, der Füllfaktor, FF, und der Wirkungsgrad. Neben der separaten Untersuchung der genannten Prozesse wird besonderer Wert auf die Korrelation von elektronischen Defekten und Bandlückenzuständen mit der Ladungsträgerbeweglichkeit sowie der Effizienz der strahlenden im Vergleich zur nichtstrahlenden Rekombination der Ladungsträger gelegt.

Das abgestimmte Forschungsprogramm beinhaltet die Materialsynthese, die Schicht-Charakterisierung, die optoelektronische Charakterisierung von Materialien und Bauelementen sowie Simulationen und Defektspektroskopie bis hin zur Herstellung und Optimierung von effizienten Perowskit-Solarzellen.



Perowskit Vielfalt: Vom Material zur Solarzelle

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen flüssigprozessierte Perowskit-Solarzellen im Labormaßstab, die mittels spin-coating und Raketel- bzw. Druckprozessen hergestellt werden.

Als Referenz dienen durch Aufdampfverfahren hergestellte Perowskit-Solarzellen von externen Partnern. Die gewonnenen experimentellen Ergebnisse setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dabei mit der Kristallinität, Homogenität und Zusammensetzung der Perowskit-Absorberschicht in Beziehung. Auch ermitteln sie den Einfluss der Zwischenschichten und der entsprechenden Grenzflächen.

Neben der grundlegenden Charakterisierung der entsprechenden Solarzellen bezüglich Absorption, externer Quantenausbeute und der Solarzellenparameter (V_{oc} , J_{sc} , FF) werden verschiedene Rekombinationsprozesse der Ladungsträger quantitativ untersucht. Die Rekombination von Ladungsträgern führt zu Verlusten an elektrischem Strom und mindert so den Wirkungsgrad der Solarzelle. Es werden sowohl strahlende als auch nicht-strahlende Verlustmechanismen mittels Elektrolumineszenz- und Photolumineszenzmessungen im Gleichgewicht sowie zeitlich aufgelöst mittels transienter Messmethoden untersucht. Die detaillierte Analyse der so gemessenen Spektren erlaubt die Berechnung eines Gütefaktors (figure of merit).

Zusätzlich werden Ladungsträger-Rekombination und -Transport mit weiteren, auch optischen und elektrischen Methoden temperaturabhängig untersucht. So gelingt es, ein umfassendes Bild von den elektrischen und optischen Eigenschaften der Perowskit-Materialien zu erhalten und den Einfluss von Defekten auf den Transport und die Beweglichkeit der Ladungsträger in den Solarzellen zu bestimmen.

Darüber hinaus wird die etablierte Solarzellen-Simulation auf die Eigenschaften und Effekte von Perowskit-Solarzellen angepasst. Die mit den oben beschriebenen experimentellen Methoden ermittelten Eingangsparameter werden dann für Bauelement-Simulationen genutzt. So wird es möglich, Strom-Spannungs-Charakteristiken (J-V) zu berechnen und mit den experimentellen Daten zu vergleichen. Auf diese Weise unterstützen die Simulationen die physikalische Beschreibung von Ladungsträger-Transport- und Verlustmechanismen und ermöglichen, neue und bewährte Modelle der grundlegenden Prozesse zu identifizieren bzw. zu verifizieren.

Die als Zielstellung definierten und angestrebten grundlegenden Erkenntnisse aus diesem Projektvorhaben betreffen das etablierte Perowskit-Material. Darüber hinaus eröffnen sich damit Wege für eine quantitative Abschätzung des Potentials von neu synthetisierten Perowskit-Materialien.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Potential der Perowskit-Photovoltaik:
Untersuchung relevanter physikalischer Parameter und Materialeigenschaften sowie effizienzlimitierender Faktoren in Hybrid-Perowskit-Solarzellen – HYPER

Laufzeit

01.10.2015 – 30.09.2018

Förderkennzeichen

03SF0514

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,6 Millionen Euro

Kontakt

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Prof. Dr. Vladimir Dyakonov
Fakultät für Physik und Astronomie
Lehrstuhl für Energieforschung (Experimentelle Physik VI)
Am Hubland
97070 Würzburg
Telefon: +49 (0)931 31 83111
Fax: +49 (0)931 31 83109
E-Mail: dyakonov@physik.uni-wuerzburg.de

Projektpartner

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung
e.V. (ZAE)
Technische Universität Chemnitz

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Bayerischen Zentrum für angewandte Energieforschung
(ZAE Bayern)



Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln Redox-Flow-Batterie mit Ionischen Flüssigkeiten

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Technologien, die elektrische Energie im großen Maßstab, zu niedrigen Kosten und mit großer Effizienz speichern können, sind ein zentraler Eckpfeiler für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Neuartige Redox-Flow-Batterien besitzen eine alternative Materialklasse: die Ionischen Flüssigkeiten. Im Gegensatz zu konventionellen Redox-Flow-Batterien müssen die energiespeichernden Stoffe hier nicht in einem Lösungsmittel gelöst werden, sondern können als Reinstoffe eingesetzt werden, da sie selbst flüssig sind. Es wird zudem der Einsatz von kostengünstigen, weltweit verfügbaren Rohstoffen mit hohen Energiedichten ermöglicht. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsvorhaben IL-RFB streben an, die Technologie anhand eines Demonstrators zu realisieren.

Eine Möglichkeit Energie aus fluktuierenden regenerativen Energiequellen zu speichern, ist der Einsatz von Redox-Flow-Batterien. Dabei handelt es sich um Batterien, in denen die energiespeichernden Materialien sowohl im geladenen als auch im entladenen Zustand in Lösungsmitteln gelöst sind. Eine der Besonderheiten der Redox-Flow-Batterie ist, dass sich Leistung und Kapazität unabhängig voneinander skalieren lassen. Die Leistung hängt von der Anzahl der Zellen in einem Block und der Oberfläche der verwendeten Elektroden ab. Die Kapazität lässt sich durch die Konzentration der energiespeichernden Spezies in der Lösung und durch das Volumen des Elektrolyten einstellen. Weitere Vorteile sind die hohe Effizienz, die schnelle Reaktionszeit sowie die Möglichkeit des modularen Aufbaus.

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, eine alternative Redox-Flow-Batterie zu entwickeln, in der Ionische Flüssigkeiten (Ionic Liquids, ILs) als Energieträger eingesetzt werden. Bei Ionischen Flüssigkeiten handelt es sich um Salze, die einen Schmelzpunkt unter 100 °C aufweisen. Raumtemperatur Ionische Flüssigkeiten (Room temperature Ionic Liquids, RTILs) sind Salze, die bereits unter Raumtemperatur flüssig sind. Diese Flüssigkeiten vereinen Eigenschaften, die in dieser Kombination in keiner anderen Substanzklasse auftreten: hohe Leitfähigkeit, niedrige Viskosität, enorme Flüssigkeitsbereiche, niedrige Dampfdrücke, große elektrochemische Stabilität sowie niedrige Entflammbarkeiten.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler setzen Ionische Flüssigkeiten ein, die aus organischen Kationen sowie metall- oder halogenhaltigen Anionen bestehen und bei Raumtemperatur flüssig sind. Aus diesem Grund kann auf

den Einsatz eines Lösungsmittels in der Batterie verzichtet werden. Weitere Vorteile sind die damit einhergehende hohe Energiedichte der Systeme sowie der Einsatz von kostengünstigen und weltweit verfügbaren Metallen.



Forschende bauen einen Batterieversuch ab. Ionische Flüssigkeiten sind in Glasgefäßen zu sehen (rechts).

Ausgehend von vier Modellsystemen mit unterschiedlicher Zellchemie ermitteln die Forscherinnen und Forscher sukzessive das am besten geeignete System. Dies erfolgt zuerst durch experimentelle Untersuchungen der Systeme. Die beinhalten ein Materialscreening, in dessen Verlauf die Ionischen Flüssigkeiten, die Elektroden sowie die Membraneigenschaften und ihre Kompatibilität mit der Zellchemie untersucht werden. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus dem Materialscreening testen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Modellsysteme im einfachen statischen Betrieb und ermitteln ihre spezifischen Kenndaten, wie Zellpotential, Entlade- und Ladestromstärke sowie Strom-Spannungs-Kennlinien.

Um einen reibungslosen Übergang vom statischen in den fließenden Betrieb zu ermöglichen, führen die Forscherinnen und Forscher grundlegende Messungen durch. Danach folgen die Arbeiten zur Entwicklung und Auslegung von Zelldesigns sowie zur Planung verfahrenstechnischer Anordnungen. Sie entwickeln für zwei favorisierte chemische Systeme jeweils ein Zell- und Stackdesign sowie ein Verfahrenskonzept. Schließlich testen sie das geeignetste Modellsystem in zunehmend größeren und technisch anspruchsvolleren Einzelzellen, was auch die Entwicklung und Fertigung geeigneter Zellen beinhaltet.

Aufbauend auf den Betriebserfahrungen wird ein Mehrzeller über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten als Demonstrator betrieben. Zur Evaluierung der Kostenstruktur für eine Redox-Flow-Batterie im technischen Maßstab wird in enger Zusammenarbeit mit den assoziierten Partnern eine technisch-ökonomische Machbarkeitsstudie für eine Mega-Watt-Anlage erarbeitet.

Um Ergebnisse aus der Forschung in die Praxis zu führen, binden die Forscherinnen und Forscher Anwendungspartner aus der gesamten Wertschöpfungskette der Redox-Flow-Batterie in den Forschungsprozess ein. Der mittelständische Anlagenbauer RENA könnte – im Falle eines erfolgreichen Projektverlaufs – auf der Basis des Demonstrators mit der Entwicklung eines marktfähigen Produktes beginnen. Durch die Zusammenarbeit von den Universitäten Freiburg und Berlin sowie dem Fraunhofer ISE mit den assoziierten Industriepartnern könnte langfristig eine Pilotanlage einer Redox-Flow-Batterie entstehen, die mit Ionischen Flüssigkeiten betrieben wird.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

(Membranlose) Redox-Flow-Batterien auf Basis von Metall-Polyhalogenid-Ionischen Flüssigkeiten – IL-RFB

Laufzeit

01.09.2015 – 31.08.2019

Förderkennzeichen

03SF0526

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,3 Millionen Euro

Kontakt

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Fakultät für Chemie,
Pharmazie und Geowissenschaften
Institut für Anorganische und Analytische Chemie
Prof. Dr. Ingo Krossing
Albertstraße 21
79104 Freiburg
Telefon: +49 (0)761 203 6122
E-Mail: krossing@uni-freiburg.de

Projektpartner

Freie Universität Berlin, Institut für Chemie und Biochemie
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

Assoziierte Partner

IoLiTec GmbH, Heilbronn
RENA GmbH, Guetenbach
FuMA-Tech GmbH, Bietigheim-Bissingen

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Fotograf: Benedikt Burgenmeister



Lebensdauererhöhung und Leichtbauoptimierung im Rotorblatt

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Um die Energiewende erfolgreich und wirtschaftlich umzusetzen muss der Wirkungsgrad der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen gesteigert werden. Für die Windenergie bedeutet das, den Ertrag je Anlage zu erhöhen. Dies geht üblicherweise mit einer Vergrößerung des Rotordurchmessers einher. Doch die Rotorblätter sind je nach Windstärke und Turbulenz unterschiedlicher Belastung ausgesetzt. Dadurch ermüdet das Material mit der Zeit. Steigt die Festigkeit des Materials, sind die Anlagen noch sicherer und es wird gleichzeitig weniger Material benötigt. Ziel des Forschungsprojektes LENA ist es daher, Werkstoffsysteme zu entwickeln, die zu einer längeren Lebensdauer und einem verbesserten Leichtbau für Windenergieanlagen führen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erarbeiten dabei Zusammenhänge über die gesamte Prozesskette – beginnend bei der Materialentwicklung bis hin zur Bauteilgestaltung.

Herkömmliche Werkstoffe stoßen mittlerweile an ihre Leistungsgrenzen, wenn es darum geht, eine längere Lebensdauer und eine bessere Ausschöpfung des Leichtbaupotentials für Rotorblätter von Windenergieanlagen zu erreichen. Um eine Vergrößerung der Rotorblätter bei gleichzeitig effizienter Materialausnutzung zu erreichen, setzen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsprojekt LENA unter Koordination der Leibniz Universität Hannover neue Kunststoffe ein. Die Forschungsarbeiten haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in zwei Themenkomplexe gegliedert: Die Entwicklung von hybriden Werkstoffen zur Leichtbauoptimierung sowie von nanopartikelmodifizierten Kunststoffen zur Lebensdauererhöhung.



Ausschnitt eines Rotorblatts für Windkraftanlagen

Hybride Werkstoffe, also Verbundwerkstoffe oder Werkstoffverbunde, die aus mehreren Einzelkomponenten hergestellt oder gefügt werden, spielen in der industriellen Anwendung eine immer wichtigere Rolle. Ziel des hybriden Leichtbaus ist es, die Masse von Tragwerken oder Bauteilen zu reduzieren, die Bauteilleistungsfähigkeit aber gleichzeitig zu erhöhen. Hier sollen gezielt Edelstahlfolien und Kohlenstofffasern eingesetzt werden, um im Zusammenspiel mit den gängigen glasfaserverstärkten Kunststoffen einen Verbundwerkstoff herzustellen, der im Resultat leichter ist, aber die gleiche oder bessere Festigkeit erreicht.

Für das Forschungsthema „Nanopartikelmodifikation“ verändern Forscherinnen und Forscher durch den Einsatz von Nanopartikeln gezielt die Materialeigenschaften von Werkstoffen. Dadurch können die mechanischen Kennwerte von faserverstärkten Laminaten und Klebstoffen verbessert werden, was wiederum die Festigkeit und das Verhalten des Rotorblatts bei unterschiedlichen Windbedingungen verbessert.

Beide Technologieansätze sollen von der Werkstoffentwicklung bis zur Komponentenprüfung durchgängig bearbeitet werden. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten beginnen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf der Werkstoffebene. Als ersten Schritt werden Materialsysteme für die Fertigung von Coupon- und Strukturelementen entwickelt, die anschließend für die Entwicklung auf der Bauteilebene, genutzt werden. Dieser ganzheitliche Ansatz sowie ein Fokus der sich nicht allein auf verbesserte Kennwerte richtet, sorgt dafür, dass ein Verständnis für die Wirkmechanismen und die allgemeingültigen Zusammenhänge entsteht.



Ein Rotorblatt für Windkraftanlagen in einer 90 Meter langen Halle

In einem letzten Arbeitsschritt sammeln, bündeln und kategorisieren die Expertinnen und Experten alle Ergebnisse hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit, Wirtschaftlichkeit sowie unter Berücksichtigung der Anforderungen der Windenergiebranche. Als Bewertungsgrundlage dienen die Richtlinien zur Materialcharakterisierung des Germanischen Lloyds für Zertifizierung von Windenergieanlagen sowie ein am Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik - IWES entwickeltes Kostenmodell für Rotorblätter.

Diese Erkenntnisse werden nicht nur dazu beitragen in Zukunft weitere Materialverbesserungen umzusetzen, sondern auch dass der erzielte Wissensgewinn als Grundlage für die Entwicklung anderer Materialsysteme genutzt werden kann. Verbesserte Materialeigenschaften durch Nanopartikelmodifikation, geänderte Bauweise durch hybride Materialien, Leichtbauoptimierung stehen neben der Windenergietechnik auch in anderen Branchen, wie der Luft- und Raumfahrttechnik, im Fokus.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Lebensdauererhöhung und Leichtbauoptimierung durch nanomodifizierte und hybride Werkstoffsysteme im Rotorblatt – LENA

Laufzeit

01.09.2015 – 31.08.2019

Förderkennzeichen

03SF0529

Fördervolumen des Verbundes

ca. 2,4 Millionen Euro

Kontakt

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
Fakultät für Bauingenieurwesen und
Geodäsie - Institut für Statik und Dynamik
Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes
Appelstraße 9a
30167 Hannover
Telefon: +49 (0)511 762 3867
E-Mail: r.rolfes@isd.uni-hannover.de

Projektpartner

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover-ForWind,
Institut für Statik und Dynamik
Fraunhofer-Institut für Windenergie und
Energiesystemtechnik IWES
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut
für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Dieter Hergeth 2008 (Glanzblattprüfung)
Martina Buchholz (90 Meter Halle, Hochkant)



Brennstoffzellen-Katalysator mit wenig Platin entwickeln

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Ziel der Bundesregierung ist es, eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung zu gestalten, die zudem auf erneuerbaren Energiequellen, wie Wind- und Sonnenenergie, beruht. Um erneuerbare Energie grundlastfähig zu machen, bedarf es leistungsfähiger Elektrizitätsspeicher und -wandler. Polymer Elektrolyt Membran (PEM)- Brennstoffzellen sind flexible elektrochemische Energiewandler mit einem breiten Einsatzgebiet, beispielsweise in Brennstoffzellenfahrzeugen. Hier kommen bisher große Mengen Platin als Katalysator zum Einsatz. Das silbrig-weiße wertvolle Edelmetall- und Industriemetal hat aber eine hohe chemische Reaktivität, kann die chemische Reaktion nur mit einer hohen Überspannung katalysieren und hat eine stark abfallende Leistung im Langzeitbetrieb. Das verhindert bisher eine breite Vermarktung von PEM-Brennstoffzellen. Nun erforschen die Technische Universität Berlin, die VOLKSWAGEN AG und der Katalysatorhersteller Umicore AG & Co. KG, wie Nanokatalysatoren mit wenig Platin für PEM-Brennstoffzellen gefertigt werden können.

In einer PEM-Brennstoffzelle wird unter Verwendung von Wasserstoff und Sauerstoff chemische in elektrische Energie umgewandelt. Bei einer PEM-Brennstoffzelle wird als Katalysator Platin eingesetzt. Ohne den Katalysator würden Wasserstoff und Sauerstoff nicht miteinander reagieren. Wird Aktivierungsenergie zugeführt, läuft die Reaktion ab. Konventionelle Platinkatalysatoren katalysieren die chemische Reaktion aber nur mit einer hohen Überspannung bei technisch relevanten elektrischen Strömen. Die Überspannung in elektrochemischen Reaktionen ist die Mehrspannung, die benötigt wird, um die Reaktion ablaufen zu lassen. Sie tritt auf, wenn mindestens ein Einzelschritt der Reaktion (kinetisch) gehemmt ist, also gebremst wird. Das Forschungsprojekt unter Koordination der Technischen Universität Berlin will die hohe elektrochemische Überspannung von platinhaltigen Katalysatoren in der Sauerstoffreduktion senken und gleichzeitig die Platinmenge minimieren.

Dazu stellen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein aus zwei Metallen bestehendes Elektrokatalysatorsystem her, das nur einen Bruchteil der üblichen Menge an Platin enthält. Sie wenden dazu das sogenannte Kern-Schale-Nanostrukturkonzept an. Dabei befindet sich das katalytisch aktive Platin überwiegend auf den äußeren Atomlagen des Kern-Schale-Legierungspartikels, während das Partikelinnere vorwiegend nicht edle Übergangsmetalle enthält. Für die Herstellung dieser Kern-Schale-Legierungspartikel kombinieren die Forscherinnen und Forscher vor allem nanotechnologische Synthesemethoden der Grundlagenforschung mit in der Industrie etablierten Methoden, um daraus die für die weitere Verwertung geeignete Präparation zu entwickeln.

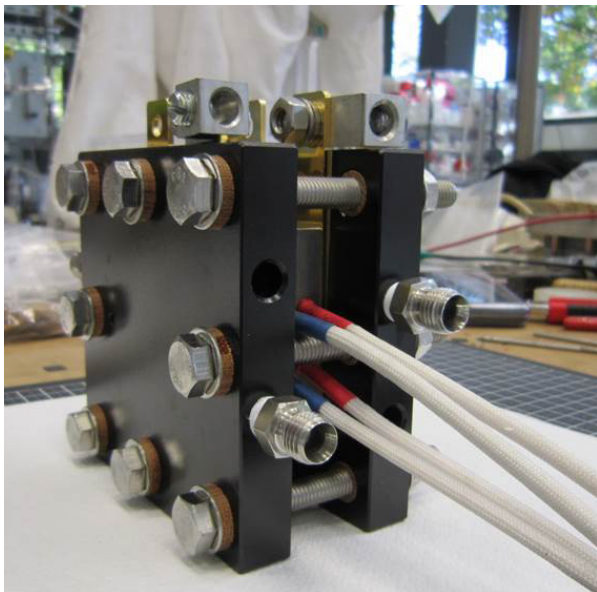


Die angestrebten Kern-Schale Partikel werden u.a. mit Flüssigphasen-Synthesen hergestellt.

Ziel ist es außerdem, die Größenverteilung der Kern-Schale-Nanopartikel zu steuern und darüber die Aktivität und Stabilität der Katalysatoren zu verbessern. Forscherinnen und Forscher berechnen dazu beispielsweise den Zusammenhang zwischen Struktur, Aktivität und Stabilität von Kern-Schale-Legierungspartikeln. Das soll dazu beitragen, die elektrochemische Stabilität und Lebensdauer der Legierungspartikel zu verbessern. Die detaillierte Untersuchung soll einerseits auf molekularen Erkenntnissen aufbauen, andererseits aber gezielt einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur Marktreife von PEM-Brennstoffzellen darstellen.

Durch die ergänzende computergestützte Berechnung von thermodynamischen und kinetischen Parametern versuchen die Forschenden die Aktivität und Stabilität der neuen Katalysatoren abzuschätzen. Diese simulative Methode stellt das Bindeglied zwischen der atomaren Struktur und der Funktionalität eines Katalysators dar.

Zusammenfassend präparieren, charakterisieren und testen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Kern-Schale-Legierungspartikel für den Einsatz in Elektrokatalysatoren, die mit wenig Platin auskommen. Der Test der neuartigen Elektrokatalysatoren erfolgt dabei zunächst in einer Halbzelle. Elektrokatalysatoren, die diese Probe überstehen, werden danach in kleine PEM-Brennstoffzellen eingebaut und unter Bedingungen, wie sie in der Automobilindustrie gegeben sind, getestet.



PEM-Einzelzelle für den Test der hergestellten Elektrokatalysatoren

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Pt-arme Hochleistungskatalysatoren für Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) Brennstoffzellen basierend auf dem Kern-Schale Nanostrukturkonzept - LoPlaKat

Laufzeit

01.11.2015 – 31.10.2018

Förderkennzeichen

03SF0527

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,8 Millionen Euro

Kontakt

Technische Universität Berlin
- Fakultät II - Mathematik und Naturwissenschaften
Prof. Dr. Peter Strasser
Institut für Chemie - Sekr. TC 3
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin
Telefon: +49 (0)30 314 29542
Fax: +49 (0)30 314 22261
E-Mail: pstrasser@tu-berlin.de

Projektpartner

VOLKSWAGEN AG, Technologiezentrum Isenbüttel
Umicore AG & Co. KG, Hanau

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Technische Universität Berlin



Forscher entwickeln Zink-Luft-Zelle mit einem auf ionischen Flüssigkeiten basierenden Elektrolyten

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Das Ziel der Bundesregierung, die Energiewende umzusetzen, verlangt in vielen Bereichen nach Innovationen, insbesondere bei den Energiespeichertechniken. Hier sind Batterien mit langer Lebensdauer und unbegrenzt verfügbaren Elektrodenmaterialien, zum Beispiel aus Zink, Magnesium, Aluminium, Silizium oder Natrium notwendig. Ohne Speicher ist die Umsetzung der Energiewende technisch nicht möglich. Neben den klassischen Blei-Akkumulatoren und fortschrittlichen Systemen, wie Lithium-Ionen-, Natrium-Silizium- oder Redox-Flow-Batterien werden vor allem die Metall-Luft-Systeme in den nächsten Jahren eine herausragende Rolle als elektrochemische Speicher einnehmen. Das Forschungsprojekt LUZI unter Koordination der Technischen Universität Clausthal entwickelt eine neue Zink-Luft-Zelle mit einem auf ionischen Flüssigkeiten basierenden Elektrolyten und an ihn angepasste Elektroden, die eine wesentlich höhere Lebensdauer als bisherige Lösungen aufweisen.

Zink-Luft-Batterien stellen eine Alternative zu Lithium-Ionen-Akkus dar. Die Technologie ist seit langem bekannt und wird millionenfach, beispielsweise als Batterie in Hörgeräten, eingesetzt. In dieser Batterie wird metallisches Zink mit Luftsauerstoff in einem alkalischen Elektrolyten oxidiert und die dabei freiwerdende Energie elektrochemisch genutzt. Die Dendritenbildung an der Zink-Anode (Kurzschlussgefahr), die Korrosionsanfälligkeit der Luftp Kathode sowie die Verdunstung und Karbonatisierung des alkalischen Elektrolyten bewirken, dass dieser Batterietyp nur unzureichend wieder aufgeladen werden kann. Das Zink-Luft-System konnte sich bisher – abgesehen vom Einsatz in primären Knopfzellen – weder für stationäre noch für mobile Anwendungen auf dem Markt durchsetzen.

Gegenüber Lithium-Ionen-Zellen zeichnet sich das Zink-Luft-System aber durch

- eine zwei- bis dreifach höhere Energiedichte,
- eine hohe Sicherheit aufgrund selbstlimitierender elektrochemischer Reaktionen,
- fehlende brennbare Komponenten und
- die Verwendung umweltfreundlicher, nicht toxischer Materialien

aus.

In Abhängigkeit vom verwendeten Lade- und Entladestrom werden bisher nur Zyklenzahlen von 300 bis 600 erreicht. Infolge der hohen Polarisationsverluste an der Sauerstoffelektrode liegt die Energieeffizienz für das Gesamtsystem (inklusive Ladegerät) bei ca. 60 Prozent

und die spezifische Leistung bei rund 100 Watt je Kilogramm. Sie liegt somit unter dem Minimum von 300 Watt je Kilogramm, die das U.S. Advanced Battery Consortium aufgestellt hat.



Eine Wissenschaftlerin untersucht den Einsatz von ionischen Flüssigkeiten für die Einführung eines neuen Elektrolytsystems.

Gründe dafür sind vor allem die hohen technischen Anforderungen, die aus der Kombination der Zinkelektrode mit der Sauerstoff-Gasdiffusionselektrode resultieren. Zink geht während der Entladung entweder als löslicher Zinkkomplex in Lösung oder fällt bei Übersättigung des Elektrolyten als Zinkoxid aus. In der Vergangenheit gab es zwar erhebliche Anstrengungen in der Entwicklung mechanisch wieder aufladbarer Zink-Luft-Systeme, wegen der hohen Anforderungen an die logistische Infrastruktur konnte sich diese Variante aber bisher nicht durchsetzen.

Ein Ansatz, um die Lebensdauer zu erhöhen, ist die Einführung eines neuen Elektrolytsystems. Zuerst konzentrieren sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in diesem Forschungsprojekt auf den Einsatz von ionischen Flüssigkeiten und das Mischverhältnis mit Wasser oder organischen Lösungsmitteln. Diese weisen einen sehr niedrigen Dampfdruck auf, sind in der Regel kohlendioxidunempfindlich, nicht-toxisch und verfügen je nach System bzw. Mischung über ein breiteres elektrochemisches Potentialfenster als herkömmliche alkalische Systeme. Die Forscherinnen und Forscher versprechen sich von diesem neuen Elektrolyt neue Perspektiven bei der Auswahl von Elektrodenmaterialien, die zum Beispiel Passivschichten bilden und so die Korrosion reduzieren. So tragen sie wesentlich zur Steigerung der Lebensdauer der Zelle bei.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stellen diesen Lösungsansatz dem klassischen alkalischen Elektrolyten gegenüber und vergleichen ihn mit einem neutralen Elektrolytsystem. Ihre Arbeiten konzentrieren sich im Wesentlichen auf ruhende Elektrolyte. Um das ganze Potential der neuen Elektrolyte auszuschöpfen, werden die Elektrolyte auch durch Umpumpen bewegt. Damit untersuchen die Forscherinnen und Forscher als weiteres Konzept auch Elektrolyt-Umpump-Systeme (Durchflusszelle) und entwickeln diese weiter. Sie sollen für eine effizientere Zink-Abscheidung beim Laden sorgen und das Wärmemanagement im Vergleich zu klassischen alkalischen Elektrolyten verbessern.

Der Elektrolyt stellt eine Schlüsselkomponente dar. Er muss zwar bestimmte Eigenschaften besitzen, wie eine hohe chemische Stabilität und ionische Leitfähigkeit, bestimmte Nebenreaktionen, zum Beispiel Carbonat- und Wasserstoff-Bildung, darf er aber nicht begünstigen. Hierfür bieten sich ionische Flüssigkeiten an, die im Vergleich zu den herkömmlichen alkalischen und neutralen wässrigen Elektrolyten einen niedrigeren Dampfdruck und ein breiteres elektrochemisches Fenster aufweisen.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitle

Zink-Luft-Batterien mit neuartigen Materialien für die Speicherung regenerativer Energien und die Netzstabilisierung – LUZI

Laufzeit

01.07.2015 – 30.06.2018

Förderkennzeichen

03SF0499

Fördervolumen des Verbundes

ca. 3,2 Millionen Euro

Kontakt

Technische Universität Clausthal –
Institut für Elektrochemie
Prof. Dr. Frank Endres
Arnold-Sommerfeld-Str. 6, 38678 Clausthal-Zellerfeld
Telefon: +49 (0)5323 72 3141
E-Mail: frank.endres@tu-clausthal.de

Projektpartner

DECHEMA Forschungsinstitut
Forschungszentrum Jülich GmbH
IoLiTec Ionic Liquids Technologies GmbH
Universität Ulm
Westfälische Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung

Assoziierte Partner

Bayer MaterialScience AG, HOPPECKE Batterien GmbH & Co. KG, VARTA Microbattery GmbH, Institute of Materials Research and Engineering (IMRE), Lancaster University – Energy, Technische Universität Graz, VARTA Micro Innovation GmbH (VMI) der Forschungsholding
TU Graz GmbH

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Technische Universität Clausthal

www.bmbf.de



MAX-Phasenkomposite: Eine neue Werkstoffklasse für Bauteile unter extremen Temperaturen

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Turbinen in einem Kraftwerk produzieren Strom für den Alltag der Menschen. Die darin ablaufenden Verbrennungsprozesse erreichen leicht über tausend Grad Celsius. Damit Materialien diese extremen Temperaturen aushalten, müssen sie gekühlt werden. Dieser Prozess verbraucht enorm viel Energie. Deshalb ist es ein wichtiges Forschungsziel, Materialien zu entwickeln, die auch extreme Temperaturen aushalten. Hierzu forscht die Nachwuchsgruppe MAXCOM. Die neue Klasse von keramischen Faserverbundwerkstoffen (Ceramic Matrix Composites: CMCs) hält auch Temperaturen oberhalb von 1.150 Grad Celsius aus, bei geringerem Gewicht und höherer Korrosionsstabilität. Die Nachwuchsgruppe untersucht die Grundlage dieser Faserverbundwerkstoffe, nämlich sogenannte MAX-Phasen: Stickstoff- oder Kohlenstoffverbindungen, die mit ihren Eigenschaften die Lücke zwischen Keramik und Metall überbrücken.

Erneuerbare Energien sind der Schlüssel für die nachhaltige Energieversorgung der Zukunft. Die Energiewende erfordert viele Komponenten, die ineinandergreifen müssen: Das Material muss leistungsfähiger, die Energieeffizienz muss gesteigert und die Energiespeicher müssen ausgebaut werden. Während der letzten Jahrzehnte lag der Fokus aller Forschungs- und Entwicklungsarbeiten rund um Hochtemperaturmaterialien auf Superlegierungen und keramischen Faserverbundwerkstoffen (CMCs). Heutzutage wird bereits die fünfte Generation von Superlegierungen eingesetzt. Sie können aber nur in solchen Anwendungen verwendet werden, deren Temperatur nicht höher als 1.150 Grad Celsius ist. Damit sind die physikalischen Grenzen dieser Legierungen, deren Schmelzpunkt bei etwa 1.350 Grad Celsius liegt, erreicht. Folglich haben sich Turbinenmaterialien nur noch wenig weiterentwickelt, denn aktuelle Arbeiten bewirkten maximal, dass diese Materialien mit jedem Jahr ca. drei Grad mehr aushalten. Eine bessere Temperaturtoleranz ist nur durch einen Schub in der Materialentwicklung zu erreichen.

Damit die Bauteile auch eine Betriebstemperatur von mehr als 1.200 Grad Celsius bestehen, können Faserverbundwerkstoffe eingesetzt werden. Vorteil ist die hohe Widerstandsfähigkeit der Keramiken gegenüber hohen Temperaturen und oxidierenden Umweltbedingungen.

Faserverbundwerkstoffe könnten die Zukunft der Hochtemperaturmaterialien mitbestimmen. Allerdings ist der Herstellungsprozess bisher noch sehr kompliziert und die damit verbundenen Herstellungskosten für ein Bauteil definierter Geometrie sind dementsprechend hoch.

Ein Forschungsprojekt arbeitet nun an einem alternativen Konzept für Faserverbundwerkstoffe. Dazu wird eine harte und zerspannbare Keramik durch Kurzfasern verstärkt. Darüber hinaus werden sogenannte MAX-Phasen als Matrix verwendet. MAX-Phasen sind Verbindungen aus Stickstoff oder Kohlenstoff sowie einem Übergangsmetall und einem Hauptgruppenelement, die sowohl keramische als auch metallische Eigenschaften haben.



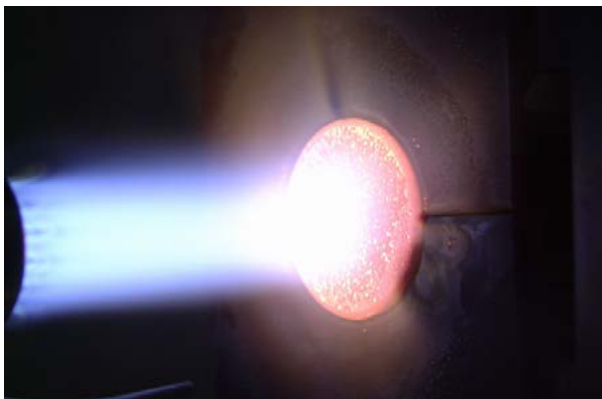
Feldunterstütztes Sintern zum Verdichten der Verbundwerkstoffe

MAX-Phasen werden wegen ihrer einzigartigen Kombination von Eigenschaften bevorzugt. Auf der einen Seite sind sie hochtemperaturbeständig und können aggressiven Bedingungen trotzen, genauso wie Hochtemperaturkeramiken. Auf der anderen Seite sind sie bruchzäh, lassen sich leicht verarbeiten und haben zudem hohe thermische und elektrische Leitfähigkeiten, genauso wie Metalle. Somit vereinen sie die guten Eigenschaften von Metallen und Keramiken. Darüber hinaus sind die geplanten Faserverbundwerkstoffe leichter als die derzeit

benutzten metallischen Legierungen. Das Gewicht der entsprechenden Bauteile würde sich um 40 bis 60 Prozent reduzieren.

Forscherinnen und Forscher wollen MAX-Phasen systematisch untersuchen und entwickeln, um damit Verbundwerkstoffe über einfache und kostengünstige Prozesse herzustellen, was zu einem späteren Zeitpunkt in einen industriellen Maßstab überführt werden könnte. Folgende Arbeiten werden durchgeführt:

- einen wiederholbaren Herstellungsprozess für MAX-CMCs entwickeln
- geeignete Materialien für MAX-CMCs auswählen, die hohen Temperaturen (1.000 bis 1.400 Grad Celsius), einer oxidierenden Atmosphäre und hohen mechanischen Belastungen standhalten
- endgültige Eigenschaften während des Herstellungsprozesses untersuchen und überwachen und eine Leistungsprüfung der endgültigen Bauteile unter realistischen Temperaturbelastungen durchführen
- zum Schluss wird ein konturnahes Bauteil für energieerzeugende Systeme hergestellt, wie für eine Turbinenschaufel und eine Brennkammerauskleidung von Gasturbinen und Wärmetauschern



Proben werden unter realistischen Bedingungen geprüft

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Nachwuchsgruppe MAX-Com: MAX-Phasenkomposite: Eine neue Werkstoffklasse für hochtemperaturbelastete Bauteile.

Laufzeit

01.09.2016 – 31.08.2021

Förderkennzeichen

03SF0534

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,7 Millionen Euro

Kontakt

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung:
Werkstoffsynthese und Herstellungsverfahren (IEK-1)
Dr. Jesus Gonzalez
Wilhelm-Johnen-Straße
52425 Jülich
Telefon: +49 (0) 246161-96761
Fax: +49 (0) 246161-2455
E-Mail: j.gonzalez@fz-juelich.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Forschungszentrum Jülich GmbH

Angesichts dessen ist nicht nur die Entwicklung besserer Hochleistungsmaterialien notwendig, sondern auch die Erforschung nachhaltiger, kosten-, ressourcen- und energieeffizienter Synthesewege. Ein Syntheseweg, der das Potenzial hat, diesen ökologischen und ökonomischen Anforderungen gerecht zu werden, zudem aufskalierbar ist und auf den Einsatz von Lösungsmitteln ganz oder weitgehend verzichtet, ist die Mechanochemie. Hier wird mechanische Energie durch Mahlen, Pressen, Drücken in ein System eingetragen, wobei lokal extreme Bedingungen, wie hohe Drücke und Temperaturen, erzeugt werden können.

Forscherinnen und Forscher bringen im Forschungsprojekt Mechanocarb auf mechanochemischem Weg gezielt Poren definierter Größe in Kohlenstoffmaterialien ein, um ressourcen- und energieeffizient nanostrukturierte Elektrodenmaterialien herzustellen. Sie stellen poröse Kohlenstoffe aus erneuerbaren Rohmaterialien oder Abfallprodukten, wie Getreidehülsen, Obstkernen, Lignin, Petrolkoks, Pech oder Pflanzen- und Kunststoffabfällen her. Danach charakterisieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die porösen Kohlenstoffe für die Anwendung in Superkondensatoren und Li-S-Batterien.

Außerdem veredeln sie herkömmliche Kohlenstoffmaterialien mechanochemisch und steigern so ihre Leistungsfähigkeit. Ein tiefes Verständnis des Einflusses von mechanochemischen Verfahren auf die Porosität kohlenstoffbasierter Materialien ist dringend erforderlich, um das große Potenzial dieser kosteneffizienten und nachhaltigen Methode zur Synthese von zukünftigen Energiespeichermaterialien zu nutzen. Die Forscherinnen und Forscher erwarten, dass mit dieser Syntheseroute die Kosten von Hochleistungsmaterialien auf unter 100 Euro pro Kilogramm gesenkt werden könnten, was einen möglichen Markteintritt unterstützen würde.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Mechanochemie als nachhaltiges Prinzip zur Synthese und Funktionalisierung nanostrukturierter Kohlenstoffmaterialien in der elektrochemischen Energiespeicherung – Nachwuchsgruppe Mechanocarb

Laufzeit

01.07.2015 - 30.06.2020

Förderkennzeichen

03SF0498

Fördervolumen des Verbundes

ca. 2 Millionen Euro

Kontakt

Technische Universität Dresden
Institut für Anorganische Chemie I
Dr. Lars Borchartd
Bergstraße 66
01062 Dresden
Tel: +49 (0) 351 463 34960
E-Mail: lars.borchartd@chemie.tu-dresden.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Technische Universität Dresden, Lars Borchartd



Effiziente Mehrfachsolarzelle herstellen

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

III-V Solarzellen können rund ein Drittel der Energie des einfallenden Sonnenlichts in elektrische Energie umwandeln. Sie setzen sich aus einer Silizium-Unterzelle und einem Verbindungshalbleiter zusammen, der wiederum aus den chemischen Elementen aus der Erdmetall-Bor-Gruppe und der Stickstoff-Phosphor-Gruppe besteht. Man spricht von einer sogenannten Tandemsolarzelle. Die Herstellungskosten liegen allerdings wesentlich über denen von herkömmlichen Silizium-Solarzellen. In einem Forschungsprojekt wird nun untersucht, wie man III-V Solarzellen günstiger herstellt.

Eine Mehrfachsolarzelle, wie die III-V Solarzelle, nutzt wegen ihres besonderen Aufbaus fast das gesamte Spektrum des Sonnenlichts optimal aus. Kurzwelliges Sonnenlicht wird in den III-V Schichten absorbiert, wohingegen langwelliges Infrarotlicht in die Silizium-Zelle transmittiert wird. Eine Solarzelle mit diesem Aufbau erreichte Wirkungsgrade von über 30 Prozent. Die III-V Silizium-Mehrfachsolarzelle baut auf einer herkömmlichen Silizium-Unterzelle auf, welche heute 90 Prozent des Photovoltaikmarktes ausmacht. Auf diese Silizium-Unterzelle werden zehn bis zwanzig weitere Schichten aus III-V Halbleitern aufgebracht, die wiederum aus den chemischen Elementen aus der Erdmetall-Bor-Gruppe und der Stickstoff-Phosphor-Gruppe bestehen.

Die Technologie profitiert von den Fortschritten in der Silizium-Photovoltaik und überschreitet zudem die Grenzen, die für den Wirkungsgrad einer Silizium-Einfachsolarzelle in der Theorie gelten. Mehrfachsolarzellen könnten wegen ihres hohen Wirkungsgrades auf limitierten Flächen, wie einem Hausdach, in Zukunft bis zu 50 Prozent mehr elektrische Leistung erzeugen. Die Vorteile der Mehrfachsolarzelle zu demonstrieren und für den Photovoltaikmarkt zu erschließen, stehen im Mittelpunkt des Forschungsprojekts MehrSi. Dieses Projekt will die Vorteile der Mehrfachsolarzelle demonstrieren und für den Photovoltaikmarkt erschließen.

Reine III-V Solarzellen erreichen schon heute bei weitem die höchsten Raten für die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom von bis zu 37,9 Prozent. Diese Solarzellen werden heute typischerweise auf sogenannten Galliumarsenid-Substraten abgeschieden, die sehr teuer sind. Der Einsatz in photovoltaischen Flachmodulen schien bisher aufgrund hoher Substrat- und Herstellungskosten als unrealistisch. Ein Forschungsprojekt hat aber

herausgefunden, dass sich III-V Verbindungen mit hoher Qualität auch auf Silizium-Substraten herstellen lassen. Damit sinken die hohen Substratkosten und die Herstellung einer solchen Solarzelle ist günstiger als bisher angenommen.

Diese Solarzellen sind aber durch eine hohe Konzentration von Kristallfehlern in ihrer Wirkung limitiert. Um diese Kristallfehler in Zukunft zu minimieren, arbeiten die Forscherinnen und Forscher im Projekt MehrSi an verbesserten Abscheidebedingungen. Weiterhin führen sie Versuche durch, um die wirtschaftliche Relevanz dieser Solarzellen zu belegen.



CRIUS Epitaxieanlage des Verbundpartners Aixtron, welche am Fraunhofer ISE zur Entwicklung der III-V Halbleiter-Schichtstrukturen auf Silizium genutzt wird.

Entscheidend für den Erfolg der neuen III-V Silizium-Mehrfachsolarzelle ist eine bessere Materialqualität der III-V Halbleiterkristalle auf Silizium, eine Optimierung der vielen Einzelschichten in der komplexen Solarzellenstruktur und die Entwicklung von effizienten Verfahren, welche zu niedrigen Produktionskosten führen.

Konkret sollen durch eine Reduktion der Defektdichte in den III-V Halbleiterschichten und eine Optimierung der Solarzellenstrukturen erstmals III-V Silizium-Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von über 30 Prozent demonstriert werden. Hierzu ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Materialentwicklung und Analytik sowie der Solarzellenstrukturoptimierung geplant. Eine exakte Stromanpassung der Teilzellen in der Mehrfachsolarzellenstruktur erfolgt über theoretische Modellbildung. Neben grundlegenden Material- und Strukturfragen werden Produktionsaspekte von Anfang an berücksichtigt. Ein Anlagenhersteller bringt seine langjährige Expertise aus der LED-Fertigung ein und wird Konzepte für großflächige und kostengünstige Prozesse auf Silizium mit den Verbundpartnern erarbeiten.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Hocheffiziente III-V Mehrfachsolarzellen auf Silizium – MehrSi

Laufzeit

01.09.2015 – 30.08.2018

Förderkennzeichen

03SF0525

Fördervolumen des Verbundes

ca. 2,7 Millionen Euro

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Dr. Frank Dimroth
Heidenhofstrasse 2, 79110 Freiburg
Telefon: +49 (0) 761 4588-5258
Fax: +49 (0) 761 4588-9250
E-Mail: frank.dimroth@ise.fraunhofer.de

Projektpartner

Technische Universität Ilmenau
Philipps-Universität Marburg
AIXTRON SE

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Fraunhofer ISE/Thomas Klink

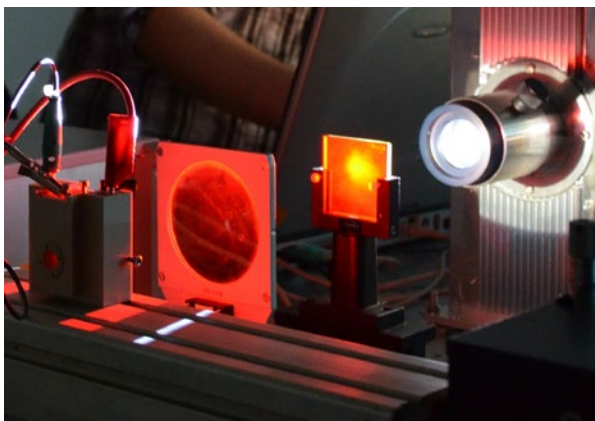


Komplexe Metalloxide als effiziente und stabile Komponenten für die solare Wasserstoffherzeugung

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Um Solarenergie im Gigawatt-Bereich zu nutzen, ist eine Energiespeicherung im großen Maßstab erforderlich, beispielsweise um das Stromangebot an den Tag-Nacht-Rhythmus anzupassen. Eine Möglichkeit für diese Speicherung ist Wasserstoff, er könnte beispielsweise als Treibstoff genutzt werden. Weiterhin könnte er zu flüssigen Kohlenwasserstoffen weiterverarbeitet werden, die als Kraftstoffe oder Speichermedien leichter und sicherer zu transportieren wären als Wasserstoff. Das chemische Element kann erzeugt werden, indem eine Solarzelle mit einem Elektrolyseur gekoppelt wird. Diese technische Vorrichtung führt mit elektrischem Strom aus Sonnenlicht eine chemische Reaktion durch und spaltet Wasserstoff aus Wasser ab. Solche Systeme sind aber häufig nicht rentabel und empfindlich gegenüber Korrosion.

Ziel des Forschungsprojektes MeOx4H₂ unter Koordination des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie ist es, eine integrierte photoelektrochemische Elektrode zu entwickeln, die bei Bestrahlung mit Sonnenlicht Wasserstoff erzeugt. Dabei rechnen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit einem Wirkungsgrad von bis zu zehn Prozent. Für diese Photoelektrode setzen sie chemisch stabile Metalloxid-Halbleiter ein. Die Photoelektrode kann direkt in Wasser eingetaucht werden. Sie erzeugt selbst die notwendige Spannung, um Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff aufzuspalten.



Messung der wellenlängenabhängigen Quantenausbeute einer photoelektrochemischen Zelle

Lichtabsorption und Elektrokatalyse können nach diesem Verfahren in einer Photoelektrode ablaufen. Es wird erwartet, dass die Entwicklung dieser Photoelektrode mit integrierten Katalysatoren kostengünstiger ist als die Kopplung von Solarzellen mit einem kommerziellen Elektrolyseur.

Die in diesen Photoelektroden eingebauten Halbleiterstrukturen erreichen Stromdichten, die etwa zwei Größenordnungen kleiner sind als die Stromdichten in kommerziellen Elektrolyseuren. Deshalb können halbleitende Metalloxidfilme verwendet werden, deren Metalle nicht toxisch, leicht verfügbar und im Vergleich zu eher seltenen und teuren Elementen wie Gallium und Indium kostengünstig sind.

Metalloxide sind eine Materialklasse mit einer hohen chemischen Stabilität. Sie haben aber noch eine vergleichsweise geringe Effizienz bei der Wasserstoffherzeugung. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Verbundprojekt MeOx4H₂ wollen den Einfluss von Strukturdefekten, die in solchen oxydischen Materialien auftreten, erforschen und Möglichkeiten erarbeiten, diese zu minimieren. Außerdem wollen sie mit Nanodrahtanordnungen erreichen, dass mehr Wasserstoff mit der gleichen Lichtmenge erzeugt werden kann.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen dafür zunächst an Modellsystemen geeignete Metalloxide entwickeln und untersuchen, wie groß der Einfluss von Defekten auf die photoelektrochemischen Eigenschaften ist. Außerdem ermitteln sie diejenigen Defekte, die den größten Einfluss besitzen. Ziel ist es, die Defektkonzentration kontrollieren zu können. Für photoelektrochemische Halbzellen stellen die Forscherinnen und Forscher Tandemelektroden auf Basis strukturierter Silizium-Nanodrähte her, die mit Metalloxidfilmen beschichtet werden. Das photoelektrochemische Verhalten und die Stabilität werden unter realen Bedingungen und mittels Langzeitstudien untersucht.



Atomlagenabscheidungs-Anlage für die Herstellung dünner Metalloxid-Schichten

Im Einzelnen setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler folgende Arbeiten um:

- Kontrollierte Herstellung dünner Schichten komplexer Oxide als Modellsystem
- Identifizierung der Defekte mit strukturellen, optischen und elektrischen Untersuchungen
- Identifizierung von wirkungsgrad-limitierenden Eigenschaften
- Entwicklung von Behandlungsschritten zur Unterdrückung unerwünschter Defekte
- Herstellung von Silizium-Nanodrahtanordnungen
- Abscheidung dünner Metalloxidschichten mittels Atomlagenabscheidung

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Komplexe Metalloxide als effiziente und stabile Komponenten für die Solare Wasserstofferzeugung – MeOx4H_2

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0478

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,6 Millionen Euro

Kontakt

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH
Institut für Solare Brennstoffe
Prof. Dr. Roel van de Krol
Hahn-Meitner-Platz 1
14109 Berlin
Telefon: +49 (0)30 8062 43035
Telefax: +49 (0)30 8062 42434
E-Mail: roel.vandekrol@helmholtz-berlin.de

Projektpartner

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Institut für Solare Brennstoffe
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Institut für Nanoarchitekturen für die Energieumwandlung
Friedrich-Schiller-Universität Jena, Physikalisch-Astronomische Fakultät, Institut für Festkörperphysik

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH



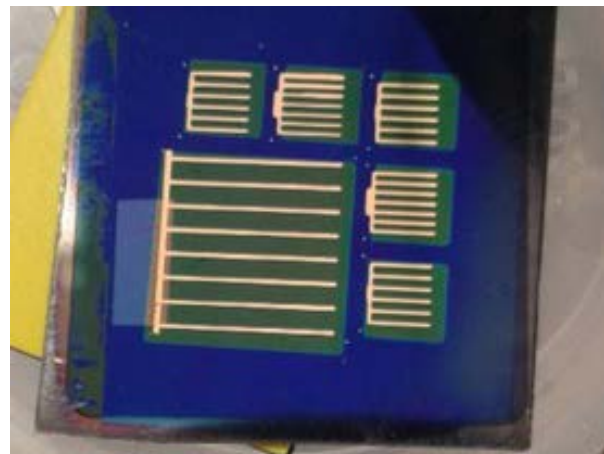
Hocheffiziente und spektral optimierte Tandemsolarzellen aus Perowskit und Silizium

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Die Energiewende ist ein international einzigartiges und ambitioniertes Ziel, dessen Umsetzung enorme technologische Anstrengungen erfordert, um den geplanten Anteil der erneuerbaren Energien von mindestens 80 Prozent am Bruttostromverbrauch bis 2050 zu realisieren. Innovationen durch neue oder verbesserte Materialien sind für die Erzeugung des elektrischen Stroms, über den Transport und die Speicherung, bis hin zum energiesparenden Verbrauch dringend notwendig. In der Photovoltaik gelten zurzeit organisch-anorganische Halbleitermaterialien der Metall-Halid Perowskite als vielversprechende Materialklasse, da sie in den letzten Jahren rasante Effizienzsteigerungen erreichten. Wie man hocheffiziente und spektral optimierte Perowskit-Silizium Tandemsolarzellen entwickelt, will die vom BMBF geförderte Nachwuchsgruppe MeSa-Zuma am Helmholtz-Zentrum Berlin nun untersuchen.

Die Photovoltaik hat sich in den letzten Jahren mit der dominierenden Silizium-Technologie sehr erfolgreich entwickelt. Damit Menschen in Zukunft noch mehr Sonnenenergie nutzen können und so den Anteil der erneuerbaren Energien deutlich steigern, gilt es, die Stromgestehungskosten noch weiter zu senken. Das sind genau die Kosten, die für die Wandlung einer erneuerbaren Energieform wie Solarstrahlung oder Wind in elektrischen Strom entstehen. Ein möglicher Weg zur Kostensenkung ist, den Wirkungsgrad zu steigern, also beispielsweise mit Solarzellen möglichst viel elektrische Energie durch einfallendes Sonnenlicht zu erzeugen. Das Potential der reinen Silizium-Photovoltaik, den Wirkungsgrad noch weiter zu steigern, ist aber bereits weitgehend ausgeschöpft. Stapelt man in einem Bauelement aber Silizium-Solarzellen mit anderen Solarzellen können der Wirkungsgrad weiter gesteigert und auch die Kosten gesenkt werden. Wenn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zwei Solarzellen in einem Bauelement stapeln, erhalten sie sogenannte Tandemsolarzellen.

Einfacher gesagt heißt das, dass ungestapelte Solarzellen nur einen bestimmten Spektralbereich des Lichts effektiv nutzen können. Hier wird der Vorteil von gestapelten oder Tandem- bzw. Mehrfach-Zellen deutlich. In solchen gestapelten Solarzellen wandelt eine obere Solarzelle (Top Zelle) mit einer höheren Bandlücke Photonen mit hoher Energie (UV und blaues Licht) effizient in Elektrizität um, während eine untere Solarzelle (Bottom Zelle) mit einer niedrigeren Bandlücke niederenergetisches Sonnenlicht (rot bis infrarot) nutzt. Somit werden Photonen über ein breites Spektrum absorbiert und gleichzeitig wird der Energieverlust minimiert.



Die Abbildung zeigt eine fertige Tandemsolarzelle aus einer Perowskit Top Zelle und einer Silizium Wafer Bottom Zelle. Zu sehen sind die grünen Flächen - die eigentlichen aktiven Flächen der Solarzelle. Die goldenen Flächen sind die Metallfinger, die den Strom sammeln.

Diesen Energieverlust zu minimieren ist das Kernziel der neuen Nachwuchsgruppe am Helmholtz-Zentrum Berlin: es sollen hocheffiziente Tandemzellen mit zwei Anschlüssen, bestehend aus Perowskit- und Siliziumsolarzellen, realisiert werden. Forscherinnen und Forscher untersuchen dafür die grundlegenden Zusammenhänge zwischen dem Einsatz neuer Materialien, experimenteller Analytik und bauteil-relevanten Simulationen.

Die organisch-anorganische Halbleitermaterialien der Metall-Halid Perowskite (zum Beispiel Methylammonium-Bleiiodid) hatten ihren Wirkungsgrad rasant steigern können und gelten als vielversprechendes Material in der Photovoltaik. Der Wirkungsgrad dieser Technologie hat sich in nur acht Jahren von niedrigen 3,8 Prozent auf erstaunliche 22,1 Prozent in 2016 entwickelt.

Dabei sind die Effizienzen der Perowskit Solarzellen nunmehr auf dem Niveau anderer Dünnschichttechnologien. Perowskite bieten dabei den Vorteil der Prozessierung aus der Lösung bei niedrigen Temperaturen und könnten dementsprechend in Zukunft relativ kostengünstig hergestellt werden. Durch die Kombination von Perowskit und Silizium in einem Tandem-Bauelement könnten in Zukunft Effizienzen von rund 30 Prozent erreicht werden ohne dabei erhebliche Mehrkosten bei der Herstellung zu verursachen.



Nachwuchsgruppenleiter Dr. Steve Albrecht vor einer Glove-Box, in denen die sensitiven Perowskit-Materialien unter Schutzatmosphäre bearbeitet und prozessiert werden.

Zur Kommerzialisierung von Perowskit-basierten Materialien in der Photovoltaik müssen die Langzeitstabilität des Halbleiters verbessert und die Bauteiltechnologie optimiert werden. Außerdem könnte der toxische Schwermetallbestandteil des Halbleitermaterials die Umwelt belasten.

Die Nachwuchsgruppe untersucht den Einsatz neuer Perowskit-Materialien und will durch gezielte experimentelle Analytik und bauteilrelevanten Simulationen ein Grundlagenverständnis generieren. Mit diesen gewonnenen Ergebnissen soll die Optimierung von hocheffizienten, monolithischen Tandemzellen mit zwei Anschlüssen, bestehend aus Perowskit- und Silizium-Heterokontakt-Solarzellen, realisiert werden. Da letztere temperaturempfindlich oberhalb von 200°C sind, sollen planare, bei niedrigen Temperaturen hergestellte Perowskit-Solarzellen zum Einsatz kommen. Dabei liegt der Fokus darauf, die neuen Materialien und Schichtstapel zunächst in den jeweiligen Einzelzellen und an bauteilrelevanten Modell-Systemen zu optimieren. Danach verbinden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die beiden optimierten Teilzellen zu einem hocheffizienten Tandem-Bauelement. Am Ende sollen die Ergebnisse zur Entwicklung einer spektral optimierten, hocheffizienten und langzeitstabilen Tandem-Solarzelle führen.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Nachwuchsgruppe MeSa-Zuma: Entwicklung von spektral optimierten, hocheffizienten und langzeitstabilen Perowskit/Silizium Tandem Solarzellen

Laufzeit

01.08.2016 – 31.07.2021

Förderkennzeichen

03SF0540

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,4 Millionen Euro

Kontakt

Helmholtz-Zentrum Berlin
Nachwuchsgruppe Perowskit Tandemsolarzellen
Dr. Steve Albrecht
Kekuléstr. 5
12489 Berlin
Telefon: +49 (0)30806241334
Fax.: +49 (0)30806241334
E-Mail: steve.albrecht@helmholtz-berlin.de

Projektpartner

Zollern BHW Gleitlager GmbH & Co. KG
Oerlikon Metco Coatings GmbH

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Dr. Steve Albrecht, Helmholtz-Zentrum Berlin (S.1)
Katharina Kolatzki, Helmholtz-Zentrum Berlin (S.2)



Materialentwicklung für eine alternative Solarzellentechnologie

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

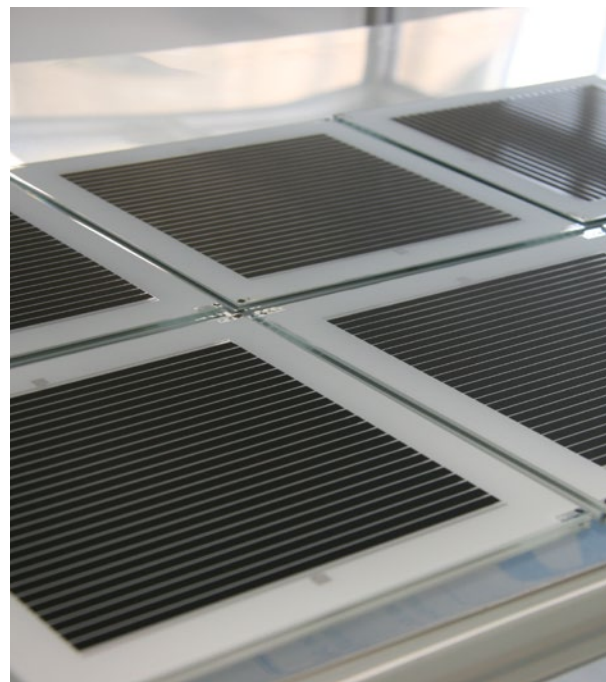
Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist eine zentrale Säule der Energiewende. Photovoltaik kann dabei eine entscheidende Rolle spielen, denn Sonnenergie lässt sich vielfältig und ohne Umwege nutzen. Solarzellen in Photovoltaikanlagen, solarthermischen Kraftwerken und Sonnenkollektoren verwenden die Sonnenstrahlung und wandeln sie in Strom oder Wärme um. Hierzu gilt es Materialien und Konzepte zu entwickeln, die eine ressourcenschonende Photovoltaik ermöglichen. Erst seit wenigen Jahren fertigen Forscherinnen und Forscher Solarzellen aus Perowskit-Kristallen an. Darunter fallen alle Materialien, die dieselbe Kristallstruktur aufweisen, wie das Mineral Kalziumtitanat. Das Forschungsprojekt MesoPIN unter Koordination des Fraunhofer ISE will das Konzept der Perowskit-Solarzelle weiterentwickeln. Neben den anderen Solarzellentechnologien könnte sie eine weitere Energiequelle für mobile und stationäre Anwendungen werden.

Das Konzept der Perowskit-Solarzelle erfährt ein starkes weltweites Forschungsinteresse. Sie erreichte 2013 – zu Beginn des steigenden Interesses – bereits einen zertifizierten Laborwirkungsgrad von 14,3 Prozent. Der Wirkungsgrad liegt zurzeit bei mehr als 20 Prozent und ist damit vergleichbar mit dem von traditionellen Solarzellen. Mit dem zunehmendem Verständnis der grundlegenden photovoltaischen Prinzipien erwarten Solarforscherinnen und -forscher eine weitere Steigerung.

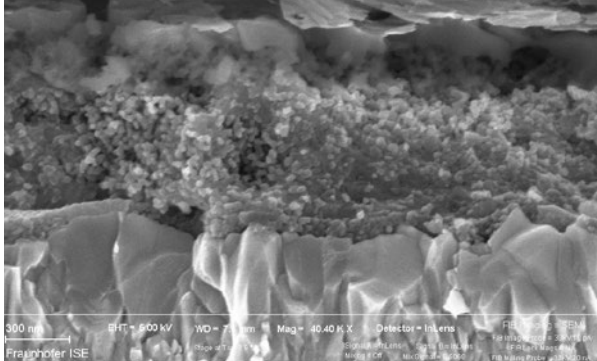
Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsprojekt MesoPIN greifen das aktuelle Thema der Perowskit-Solarzellen auf und entwickeln es weiter. Dazu erhöhen sie die Effizienz und erarbeiten ein skalierbares Zellkonzept, welches als Basis für die Weiterentwicklung zur Verfügung steht. Modulprototypen stellen sie ebenfalls her. Damit gehen sie den ersten Schritt in Richtung Zertifizierung und Festlegung von Herstellungsprozessen. Zunächst führen die Forscherinnen und Forscher das Know-how der Forschungspartner zusammen. Die langjährige Erfahrung mit geeigneten Materialien und verwandten Zellkonzepten ermöglicht es ihnen, neue Perowskit-Solarzellen mit hohem Wirkungsgrad im Labor herzustellen. Sie weisen die Übertragbarkeit der Produktionsverfahren auf die neue Technologie experimentell nach.

Als nächstes integriert ein Industriepartner die getesteten Strukturen im Labormaßstab in Zellen und charakterisiert sie hinsichtlich ihrer Effizienz und Stabilität. Systeme, die Potenzial für eine Kommerzialisierung zeigen, untersuchen Forscherinnen und Forscher auf ihre Übertragbarkeit auf

ein Rolle-zu-Rolle-Fertigungsverfahren. Kriterien sind hier vor allem die Integrierbarkeit in stabile Prozesse, Skalierbarkeit und potentiell günstige Kostenstrukturen. Im Anschluss stellen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erste Elektrodensubstrate auf Glas her, die mit dem Siebdruckverfahren in Flachbetтанlagen produziert werden. Begleitend führen sie vor allem Strukturuntersuchungen durch. Spezifische physikalische Charakterisierungsmethoden für das Perowskit-Material werden etabliert.



Herstellung erster Elektrodensubstrate mittels Siebdruck für die Neuentwicklung von 20 cm x 20 cm Perowskitsolarmodulen



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Querschnittes einer Perowskit-Solarzelle auf Glas

Danach setzen die Forscherinnen und Forscher skalierbare Konzepte für standardisierte Testzellen sowohl auf Glas als auch auf Foliensubstraten um. Eine detaillierte theoretische und experimentelle Verlustanalyse der Testzellen in Analogie zur Vorgehensweise bei anderen Hocheffizienzzellen führen sie ebenfalls durch. Mit den optimierten Materialien und Zellparametern streben sie den Nachweis an, für die neu entwickelte kostengünstige Technologie eine Zelleffizienz von mehr als 17 Prozent zu erreichen.

Zum Schluss übertragen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Methoden auf ein realisierbares Herstellungsverfahren und führen es durch. Sie realisieren die Modulkonzepte in glaslotversiegeltem Architekturglas und auf transparenten Barrierefolien so wie es bereits bei bestehenden Methoden der Farbstoff Solarzellen und der polymeren Solarzellen üblich ist. Am Ende stellen die Forschenden Prototypen her und führen erstmalig Stabilitätstests unter realen Bedingungen durch.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Hocheffiziente gedruckte (>17%) Perowskit Solarzellen – topaktuelle Materialentwicklung für eine ressourcenschonende lokal produzierbare PV MesoPIN

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0484

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,9 Millionen Euro

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Dr. Andreas Hinsch
Heidenhofstraße 2
79110 Freiburg
Telefon: +49 (0)761 4588 5417
Fax: +49 (0)761 4588 9000
E-Mail: andreas.hinsch@ise.fraunhofer.de
www.ise.fraunhofer.de

Projektpartner

Universität Konstanz, Fachbereich Physik
Universität Bayreuth, Lehrstuhl für
Makromolekulare Chemie I
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
Freiburger Materialforschungszentrum (FMF)
Thieme GmbH & Co. KG
BELECTRIC OPV GmbH

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Fraunhofer ISE



Neue Faserverbundkeramiken für Gasturbinen in Kraftwerken

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Seit den 1990er Jahren sind neue, bruchzähe faserverstärkte Keramiken für Hochtemperaturanwendungen entwickelt worden, die zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt angewendet werden sollten. Während Faserverbundkeramiken (Ceramic Matrix Composites, CMC) in Raumfahrtssystemen nur begrenzt zum Einsatz kamen, führte ihre vergleichsweise hohe Schadenstoleranz zu erfolgreichen Serienanwendungen beispielsweise in Automobilbremscheiben oder Pumpenlagern. Ihr hoher Materialverlust bei Temperaturen um 1.500 °C sowie die geringe Hochtemperaturfestigkeit verhindern aber, dass Verbundkeramiken auch in Gasturbinen in Kraftwerken eingebaut werden. Das Ziel des Forschungsprojektes NewAccess ist es, diese neue Werkstoffklasse für den Gebrauch in Gasturbinen zu optimieren, indem es neue keramische Faserverbundwerkstoffe entwickelt.

Basierend auf den derzeit vorhandenen Materialsystemen sowie detaillierten Grundlagenuntersuchungen zum Langzeitverhalten optimieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Eigenschaften der CMC. Sie haben sich zum Ziel gesetzt, die Langzeitstabilität der keramischen Faserverbundwerkstoffe bei hohen Temperaturen und die Stabilität gegenüber Heißgaskorrosion zu erhöhen. Daraus ergeben sich die Aufgaben im Projekt NewAccess:

- Entwicklung von langzeitstabilen, schadenstoleranten Faserverbundwerkstoffen für Strukturanwendungen in Heißgasturbinen bei Temperaturen bis 1.500 °C und unter zyklischen Lastbedingungen
- Entwicklung von Oberflächenschutzschichten, um Materialdegradation durch Oxidations- und Korrosionsprozesse als Folge der Wechselwirkung der keramischen Werkstoffe mit der Heißgasatmosphäre zu verhindern

Das Werkstoffdesign von keramischen Faserverbundwerkstoffen ist im Vergleich zu den monolithischen keramischen Werkstoffen kompliziert. Bei keramischen Faserverbundwerkstoffen ist ein definierter Aufbau zwischen Fasern, Faserbeschichtung und Matrix zu beachten. Eine Einbindung von hochfesten keramischen Fasern in eine spröde keramische Matrix kann die Schadenstoleranz gewährleisten. Eine Möglichkeit, dichte schadenstolerante Werkstoffe herzustellen, besteht in einer Faserbeschichtung, mit der eine Faser-Matrix-Anbindung mit geringer Festigkeit realisiert

werden kann. Solche Strukturen können im Schadensfall entstehende Risse unter Energieverlust ablenken und über pull-out-Mechanismen ein schadenstolerantes Verhalten realisieren.



Hochtemperaturöfen zur Herstellung keramischer Hochtemperaturkomponenten im Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart

Unter dem Aspekt der Langzeitstabilität von mehr als 10.000 Betriebsstunden unter Heißgasbedingungen bei hohen Temperaturen sind neue Materialkonzepte notwendig, die eine hohe Stabilität im System Faser-Interface-Matrix gewährleisten. Kritische Aspekte stellen hier vor allem Diffusionsprozesse im Inneren (Phasen- und Gefügestabilität) sowie die Sauerstoffdiffusion von außen (ausreichender Oxidationsschutz) dar.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verfolgen den Ansatz, selbsteheilende Funktionen in die Matrix einzubauen, um bei auftretenden Rissen eine Durch-

oxidation – und damit die Zerstörung des Werkstoffes – zu vermeiden. So wollen sie die Langzeitstabilität des Werkstoffes umsetzen.

Eine weitere Aufgabe ist es, die Stabilität der Werkstoffe für den Einsatz in Heißgasturbinen zu erhöhen. Durch wenig Kühlung der Komponenten und der so höheren Materialtemperatur kommt es zu starken Wechselwirkungen der Bauteiloberfläche mit der Heißgasatmosphäre. Neben Gasverunreinigungen oder Erosionsvorgängen durch kleine Partikel spielt hier der Wasserdampfpartialdruck im Heißgas eine entscheidende Rolle. Bei Temperaturen über 1.200 °C ist für diese Werkstoffe ein entsprechender Oberflächenschutz (environmental barrier coating, EBC) erforderlich. Die Partner im Projekt NewAccess entwickeln diese Oberflächenschutzsysteme und führen umfangreiche Untersuchungen zur Beschichtungsmethodik durch. Ziel ist es, die Langzeitstabilität dieser Schichten auf dem Substratmaterial insbesondere unter zyklischer Belastung zu verbessern.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

NEW Advanced Ceramic Composites for Energy Saving gas turbineS – NewAccess

Laufzeit

01.05.2015 – 30.04.2018

Förderkennzeichen

03EK3544

Fördervolumen des Verbundes

ca. 2,8 Millionen Euro

Kontakt

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie -
Abt. Keramische Verbundstrukturen
Dr.-Ing. Dietmar Koch
Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart
Telefon: +49 (0)711 6862 470
E-Mail: dietmar.koch@dlr.de

Projektpartner

Karlsruher Institut für Technologie – Institut für Angewandte
Materialien – Angewandte Werkstoffphysik
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und
Systeme IKTS
Schunk Kohlenstofftechnik GmbH
MTU Aero Engines AGs
Clariant Produkte (Deutschland) GmbH

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)



Hochporöse Beschichtung für Kühlanlagen oder Wärmepumpen

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Heizen, kühlen, be- und entfeuchten – diese Vorgänge machen mehr als 40 Prozent des deutschen Primärenergieverbrauchs aus. In OPTIMAT wird ein Funktionsmuster zur direkten Entfeuchtung und Kühlung von Gebäude-Zuluft entwickelt. Statt Elektrizität kann dann für die Klimatisierung die oft reichlich verfügbare und energetisch günstigere Ab- oder auch Fernwärme verwendet werden. In einem solchen Prozess wird der Raumluft unerwünschte Feuchtigkeit durch spezielle wasseranziehende, mikroporöse Materialien, sogenannte Adsorbentien, entzogen. An anderer Stelle kühlt der Verdunstungseffekt die Luft. Die Leistung und Effizienz einer solchen Anlage hängt aber von der Leistungsfähigkeit dieser Adsorbentien sowie von ihrer Verbindung zu einer Wärmeüberträgerstruktur und ihrer strömungstechnischen Optimierung ab. Das Forschungsprojekt OPTIMAT wird unter Koordination des Fraunhofer ISE die gesamte Entwicklung vom Sorptionsmaterial bis zum Funktionsmuster umsetzen.

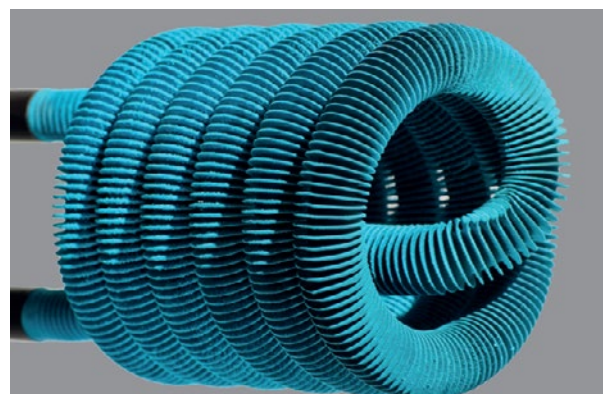
Für die Herstellung des Adsorbens beginnen die Forscherinnen und Forscher mit der Synthese und der Evaluation von neuen Materialien. Dabei legen sie den Schwerpunkt auf die Klasse der metallorganischen Gerüstverbindungen (metal-organic frameworks – MOFs). Das sind Materialien, die aus metallischen Knotenpunkten und organischen Molekülen aufgebaut sind. Die Moleküle dienen als Verbindungselement zwischen den Knotenpunkten. Das Ziel der Synthese ist es, ein hinreichend stabiles Adsorbens herzustellen, das zum einen eine hohe Aufnahmekapazität und zum anderen genau die richtige Anziehungskraft für die Luftfeuchte im Raum besitzt.

Danach passen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Direktkristallisationsverfahren so an, dass die aus Adsorbentien bestehende Schicht auf Wärmeüberträger synthetisiert werden kann. Bisher wurden die MOFs als Schüttung aufgebracht. Das aber behindert die Wärmeleitung. Wird das Material aber in einer dünnen Schicht auf Metalllamellen aufgebracht, vervielfacht das die Wärmeableitung. Das geschieht mit dem Direktkristallisationsverfahren.

Neben der Herstellung der Adsorbentien gilt es nun, die MOF-Verbundwerkstoffe zu entwickeln. Hier steht zunächst die Synthese von MOF-Nanopartikeln im Fokus. Verbundwerkstoffe aus MOF-Nanopartikeln und Trägermaterial können vorteilhafte Diffusionseigenschaften und eine besonders gute Wärmeleitfähigkeit besitzen, d.h. in ihnen läuft der ganze Adsorp-

tionsprozess im besten Fall noch schneller ab, als in den verhältnismäßig großen Kristallen der konventionell hergestellten oder direkt beschichteten Materialien. Damit steigt die Leistung einer Anlage an.

Hier steht zunächst die Synthese von MOF-Nanopartikeln im Fokus. Darauf aufbauend betten die Forscherinnen und Forscher die MOF-Nanopartikel in Polymere ein. Sie stellen Membrane oder Formkörper her, die ebenfalls in der Befeuchtungsanlage eingesetzt werden können. Ob sie eine Alternative zu dem Beschichtungssystem sind, werden die Versuche zeigen.



Mit MOF (Kupfertrimesat HKUST-1) durch direkte Aufkristallisation beschichtete 3D-Struktur (Kupfer-Rippenrohr) als Vorstudie zum funktionsfähigen Wärmeüberträger

Auch die Weiterentwicklung möglicher Trägerstrukturen, wie das Rippenrohr, ist für die geplante Anwendung von Bedeutung. Ihre Aufgabe ist es, die Wärme

im Arbeitszyklus schnell aus dem Material hinaus ins Kühlwasser und im Regenerationszyklus aus dem Heizungswasser ins Material hinein zu bekommen. Sie sorgen auch dafür, das Sorptionsmaterial möglichst gut mit der vorbeiströmenden Luft in Kontakt zu bringen, ohne einen großen Widerstand zu bieten.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern entwickeln metallische Gewebestrukturen. Es handelt sich um Strukturen mit optimaler Wärmeleitfähigkeit, hoher Oberfläche für die MOF-Beschichtung und geringem Widerstand für vorbeiströmende Luft. Es erfolgt außerdem eine simulationsbasierte Bewertung bevor die Fertigungsverfahren auf ein Musterbauteil aufgebracht werden.

Materialien und Komponenten müssen für die Anwendung in Klimatisierungsprozessen geeignet sein. Das ist durch Stabilitätsuntersuchungen sichergestellt. Vor allem untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Stabilität der Materialien und ihre Beschichtung gegenüber Wechsel-Belastungen (heiß/kalt und beladen/entladen).

Nach der Herstellung der Adsorbentien und der Trägerstrukturen stellen die Forscherinnen und Forscher ein Funktionsmuster her. Sie wählen dabei die von ihren Eigenschaften her bestmögliche und gleichzeitig auch die am wirtschaftlichsten zu synthetisierende chemische Verbindung.

Neben dem Direktkristallisationsverfahren entwickeln sie für das Funktionsmuster binderbasierte Beschichtungen von Adsorptionsmaterialien, die eine Alternative zum Direkt-Kristallisationssystem darstellen. Die Überführung der Messergebnisse in ein physikalisches Modell stellt die erste Stufe der Simulation dar. Es erfolgt die Bildung eines Modells für den Luftentfeuchtungsprozesses, das der Auslegung des Funktionsmusters dient. Diese Simulationen werden durch Experimente am offenen Modell-System überprüft. Nach der Modellvalidierung erfolgt eine Bewertung für verschiedene Temperaturen und Feuchten von Eingangs- bzw. Gebäudezuluft.

Schließlich wird die Umsetzung in einem Funktionsmuster zusammengeführt. Neben Konzeption und Bau stellt die umfassende experimentelle Charakterisierung und Bewertung den Schwerpunkt der Arbeiten dar.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Optimierung von neuartigen Materialien für zyklische Adsorptionsprozesse – OptiMat

Laufzeit

01.05.2015 – 31.10.2018

Förderkennzeichen

03SF0492

Fördervolumen des Verbundes

ca. 2,1 Millionen Euro

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Division Thermal Systems and Buildings
Dr. Felix Jeremias
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg
Telefon: +49 (0)761 4588 5907
Fax: +49 (0)761 4588 9132

Projektpartner

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
DencoHappel

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Fraunhofer ISE



Organische Perowskit-Kristalle für Hochleistungs-Dünnschichtsolarzellen

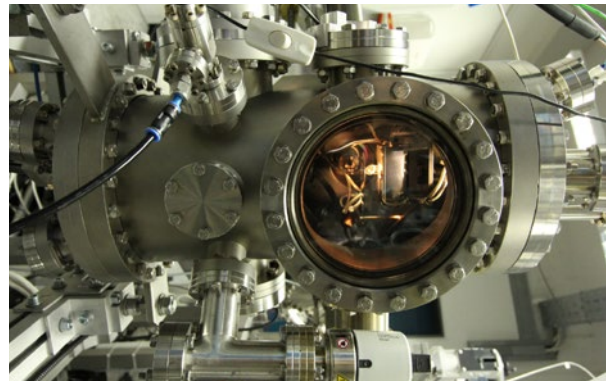
Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Photovoltaik hat in puncto installierter Leistung in den vergangenen Jahren die größten Zuwachsraten unter den erneuerbaren Energien erreicht. Damit leistet diese Technologie einen wichtigen Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Erst seit wenigen Jahren verwenden Forscherinnen und Forscher Perowskit-Kristalle mit organischen und anorganischen Bestandteilen in Solarzellen – ein Material, das die Lichtenergie sehr gut absorbieren kann und so hohe Wirkungsgrade erreicht. Für Perowskite sind die Möglichkeiten und Grenzen weiterer Verbesserungen weitgehend unerforscht. Das Forschungsprojekt PeroSol unter Koordination der Technischen Universität Darmstadt untersucht, was die erfolgreichen Perowskite auszeichnet, um langfristig weitere Halbleiter für die Solarenergie zu erschließen.

In Dünnschichttechnologie gefertigte Solarmodule basieren in der Regel auf Halbleitern, die Solarzellenhersteller großflächig und häufig kostengünstig auf Substrate wie Glas, Metall- oder Plastikfolien aufbringen können. Von Vorteil ist der geringe Materialeinsatz und die etablierte Produktionstechnik, die es erlaubt, die Solarstrahlung absorbierende Schicht im Mikrometerbereich aufzutragen. Die Produktion von Dünnschichtsolarzellen ist aber auch auf seltene Rohstoffe, wie Indium oder Tellur, angewiesen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsprojekt PeroSol kombinieren die Vorteile von Dünnschicht-Solarzellen mit der kostengünstigen Materialklasse der photovoltaisch aktiven Perowskite, deren Wirkungsgrad seit ihrer Entdeckung 2009 bereits auf rund 20 Prozent erhöht werden konnte. Im Detail verwenden sie ein Methylammonium-Bleijodid in der Perowskit-Kristallstruktur als Absorber, der die Energie der verschiedenen Strahlungen der Sonne aufnimmt. Zur Herstellung dieser Schichten setzen die Forscherinnen und Forscher sowohl gängige nasschemische als auch hochskalierbare Vakuum-Depositionsverfahren ein. Dabei verbinden sie die Prozessierung mit wissenschaftlicher Analytik, um herauszufinden, welche spezifischen Eigenschaften die Perowskite als Absorber in Solarzellen so erfolgreich machen.

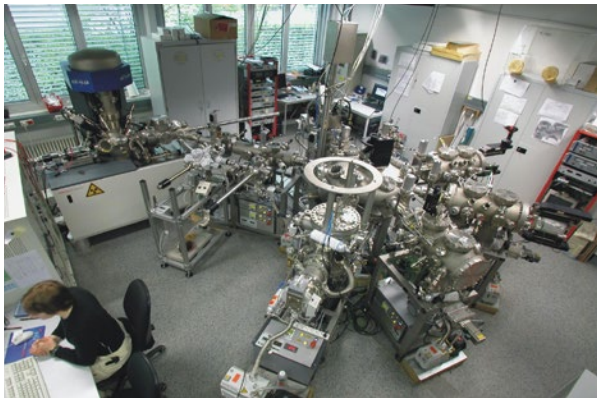
Methylammonium-Bleijodid ist aber nur wenig stabil gegenüber Umwelteinflüssen, wie Feuchtigkeit, und beinhaltet außerdem das giftige Schwermetall Blei. Forscherinnen und Forscher wollen deswegen auch Alternativen zu Blei, wie beispielsweise Zinn, einsetzen und bewerten.



Die Abscheidung und Untersuchung des Perowskit-Dünnschichtabsorbers Methylammonium-Bleijodid erfolgt unter kontrollierten Bedingungen in einer Vakuumkammer.

Entscheidend für die Funktion elektronischer Bauteile sind die elektronischen und chemischen Eigenschaften an inneren Grenzflächen. Um die Kontaktpotenziale und Grenzflächenzustände auf atomarer Ebene zu charakterisieren, eignet sich die Kombination von Röntgen- und Ultraviolett-Photoelektronen-Spektroskopie. Für diese Analytik ist die Deposition hochreiner Kontaktschichten im Submonolagenbereich erforderlich, was Arbeiten im Vakuum voraussetzt. Um zuverlässige Aussagen zu erhalten, müssen Deposition und Charakterisierung in integrierten Systemen erfolgen, in denen die Proben mit den unterschiedlichen abgeschiedenen Materialschichten zwischen Depositionskammer und Analyseeinheit unter Vakuum hin und her transportiert werden können. So verhindern die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, dass die Ergebnisse durch eine Kontamination mit Bestandteilen aus der Luft verfälscht werden.

Solarzellenhersteller verwenden Vakuumdepositionsverfahren großtechnisch zur Produktion von Dünnschicht-solarzellen im industriellen Maßstab. Daneben gibt es nasschemische Methoden, die das Potenzial bieten, Kosten zu sparen. Ein Ziel ist es, Perowskit-Labor-Solarzellen mit nasschemischen und skalierbaren vakuumbasierten Verfahren herzustellen.



Am System für Solarzellenforschung DaisySol der Technischen Universität Darmstadt werden neuartige Perowskit-Solarzellen im Labormaßstab im Vakuum hergestellt und mit Photoelektronenspektroskopie analysiert.

Der Wirkungsgrad von Solarzellen hängt davon ab, wie effizient sie Lichtquanten in angeregte Ladungsträger umwandeln, wie viele dieser Ladungsträger an den Kontakten der Zelle als Photostrom abgegriffen werden können und welche Photospannung sie dabei erzeugen. Die chemische Zusammensetzung der inneren Grenzfläche bestimmt weitgehend, wie groß der Photostrom ist und die elektrischen Potenziale an inneren Grenzflächen die Photospannung. Die Untersuchung der Grenzflächeneigenschaften stellt für die Forscherinnen und Forscher im Projekt PeroSol daher einen wesentlichen Schwerpunkt dar.

Die Aufklärung der Perowskit-Spezifika für die Photovoltaik, wie Absorption, Ladungstransport, Ladungsträger-Lebensdauer und Dotierbarkeit, sind weitere Schwerpunkte von PeroSol.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Halogenid-Perowskite als neuartige Absorber für Hochleistungs-Dünnschicht-solarzellen – PeroSol

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0483

Fördervolumen des Verbundes

ca. 2 Millionen Euro

Kontakt

Technische Universität Darmstadt
Material- und Geowissenschaften
Fachgebiet Oberflächenforschung
Prof. Dr. Wolfram Jaegermann
Jovanka-Bontschits-Straße 2
64287 Darmstadt
Telefon: +49 (0)6151 16 6304
E-Mail: jaegermann@surface.tu-darmstadt.de

Projektpartner

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg,
Fakultät für Chemie und Geowissenschaften,
Anorganisch-Chemisches Institut
Karlsruher Institut für Technologie,
Lichttechnisches Institut

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Technische Universität Darmstadt



Bessere Elektroden und Membrane für Brennstoffzellen und Motoren

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Elektrolyseure können Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen. Wasserstoff wird beispielsweise zur Wärme- oder Stromerzeugung in Motoren oder Brennstoffzellen genutzt. Grundbaustein eines Elektrolyseurs ist eine Membranzelle mit zwei Elektroden – eine Anode und eine Kathode. Diese Membran mit einem sogenannten Festelektrolyt hat im Gegensatz zu herkömmlichen alkalischen Elektrolyseuren eine deutlich höhere Leistung und kann flexibel auf das variable Angebot erneuerbarer Energien reagieren. Allerdings entstehen Verluste während der Umwandlung in Wasserstoff, die Elektrolyseure sind nicht effizient genug und zu teuer. Das Forschungsprojekt POWER-MEE will Hochleistungselektroden und eine Membran entwickeln sowie Alterungsmechanismen untersuchen und verhindern.

Mit mehr erneuerbarer Energie steigt auch die überschüssige Elektroenergie im Versorgungsnetz. Studien gehen bei einem Anteil der erneuerbaren Energie von 80 Prozent bis zum Jahr 2050 von einer Überschussmenge von bis zu 110 Terrawattstunden pro Jahr aus. Zum Vergleich: der Brutto-Inlandsstromverbrauch in Deutschland lag 2012 bei 610 Terrawattstunden pro Jahr. Ohne Speicher oder andere Stromnutzer müsste das Überangebot der erneuerbaren Energie abgeregelt werden und ginge somit verloren.

Eine Lösung könnte die Speicherung in Form von Wasserstoff sein. Seit einiger Zeit werden dafür Elektrolyseure mit Membranen aus polymeren Festelektrolyten diskutiert, die im Vergleich zu herkömmlichen alkalischen Elektrolyseuren eine deutlich höhere Leistung haben und flexibel auf das variable Angebot erneuerbarer Energie reagieren können. Diese Membran mit polymeren Festelektrolyten ist momentan noch nicht technisch ausgereift, so dass sie nicht lange hält und sehr teuer ist. Hier sind beispielsweise der Stromsammelraster und die Membran-Elektroden-Einheit – das funktionale Herz der Wasserstoffelektrolyseure – ein wesentlicher Kostenfaktor.

Das Forschungsprojekts POWER-MEE will eine Hochleistungs-Membranelektroden-Einheit erforschen und entwickeln, die mit einer geringen Katalysatorbelastung auskommt und wenig Spannungsverluste in den Elektroden hat, sowie die Elektrolyte in der Membran leicht transportiert. Auch untersuchen und beheben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Alterungseffekte in der Hochleistungs-Membranelektroden-Einheit. Neu bei der Herstellung der Hochleistungs-Memb-

branelektroden-Einheit sind drei Punkte: Zunächst werden Membranpolymere mit höherer Lebensdauer und Leistungsdichte entwickelt. Zudem soll ein neu entwickeltes Herstellungsverfahren für eine Hochleistungsmembran aus der Wasserstoffbrennstoffzelle auf die Festelektrolytmembran übertragen werden. Es ist ein Herstellungsverfahren für Katalysatorschichten mit hoher Leistung, sodass in Summe Membranelektroden-Einheiten mit verbesserten Leistung entstehen werden.

Zusätzlich werden drei innovative Ansätze zur Untersuchung von Alterungsphänomenen kombiniert: Ein Testprotokoll als experimentelles Werkzeug, das gezielt die beschleunigte Alterung im Betrieb systematisch untersucht, sowie ein Strukturanalyseansatz, der sich Techniken auf der Nanoskala bedient, um Strukturänderungen in der Elektrode durch Alterung zu erforschen und zu messen.

Ein elektrochemisches Modell ermöglicht zudem, den Zusammenhang zwischen Morphologie und Polarisationsverhalten in der Festelektrolytmembran aufzuklären. Außerdem wird eine integrale Betrachtung der Zelleigenschaften aufgrund der neuen Membranelektroden-Einheiten durchgeführt, um die Auslegung von daraus resultierenden großflächigen Zellen abschätzen zu können. Durch diese Kombination werden Alterungs- und Leitungseigenschaften von der Festelektrolytmembran in einer neuen Weise untersucht.

Fazit: Das Forschungsprojekt POWER-MEE könnte also dazu beitragen, die Herstellung von Wasserstoff effizient und günstig zu machen sowie das Angebot von erneuerbarem Strom besser zu nutzen.



Wasserstoff wird beispielsweise zur Wärme- oder Stromerzeugung in Motoren oder Brennstoffzellen genutzt.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Lebensdauer- und Leistungserhöhung (POWER) von Polymerelektrolytmembranelektrolyseuren durch Hochleistungsmembranelektrodeneinheiten (MEE) – POWER-MEE

Laufzeit

01.07.2016 – 30.06.2019

Förderkennzeichen

03SF0536

Fördervolumen des Verbundes

ca. 3,4 Millionen Euro

Kontakt

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH Aachen)
Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs
Campus-Boulevard 61, 52074 Aachen
Telefon: +49 (0) 241 80-95635
Fax: +49 (0) 241 80-92256
E-Mail: georg.jacobs@cwd.rwth-aachen.de

Projektpartner

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik
Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V.
Universität Stuttgart, Institut für chemische Verfahrenstechnik
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Institut für Elektrische Energiesysteme
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Thomas Trutschel/photothek.net



Forschergruppe entwickelt neue Kohlenwasserstoffmembran für PEM-Brennstoffzelle

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

PEM-Brennstoffzellen (Polymer Electrolyte Membrane – PEM) könnten neben Batterien ein wichtiger Bestandteil einer möglichen zukünftigen Elektromobilität werden. Sie erlauben Reichweiten, die mit denen von herkömmlichen Automobilen vergleichbar sind. Als Brennstoff benötigen sie Wasserstoff, der verhältnismäßig einfach durch Elektrolyse mittels regenerativ erzeugter elektrischer Energie herstellbar ist. Darüber hinaus könnten PEM-Brennstoffzellen überall dort Anwendung finden, wo die Kapazität von Batterien nicht ausreicht. Kernstück einer Membran-Brennstoffzelle ist die einige zehn bis hundert Mikrometer dünne Polymermembran. Die derzeit übliche Membran verhindert aber, dass PEM-Brennstoffzellen mit geringeren Mengen Edelmetallkatalysatoren und in einem vereinfachten System betrieben werden können. Protonenleitfähigkeit und chemische Stabilität wären nicht mehr ausreichend. Das Projekt PSUMEA-2 verfolgt einen neuen Ansatz aus der Kohlenwasserstoffchemie und stellt für die PEM-Brennstoffzelle neue Kohlenwasserstoffmembranen her. Der Einsatz einfacher Herstellverfahren soll zu einer deutlichen Kostenreduktion führen und ihre Vorteile, wie geringe Gasdurchlässigkeit und Entsorgung in der Platin-Rückgewinnung, erhalten.

PEM-Brennstoffzellen bei höherer Temperatur und niedrigerer Befeuchtung betreiben zu können, gilt seit mehr als einem Jahrzehnt als eine Möglichkeit, der Technologie zu einem wirtschaftlichen Durchbruch zu verhelfen. Der Einsatz geringerer Mengen von Edelmetallkatalysatoren, Systemvereinfachungen in den Bereichen Kühlung und Gasbefeuchtung als auch geringere Anforderungen an die Wasserstoffreinheit wären einige maßgebliche Vorzüge. Verhindert werden diese Betriebsbedingungen aber durch die Eigenschaften heute üblicherweise verwendeter PFSA-Membranen (Perfluorosulfonsäure Polymere – PFSA): Zwar wurden im letzten Jahrzehnt Modifikationen der PFSA-Membranen vorgenommen, die aber nur zu geringen Verbesserungen geführt haben.

Das Projekt PSUMEA-2 verfolgt einen anderen Ansatz, der sich die Vorteile einer reinen Kohlenwasserstoffchemie nutzbar macht. Der Einsatz einfacher Herstellverfahren soll zu einer deutlichen Kostenreduktion führen und typische Vorteile von Kohlenwasserstoffmembranen, wie geringe Gasdurchlässigkeit und Vereinfachung der Platin-Rückgewinnung, erhalten. Weil es sich bei den zu entwickelnden Membranen um einen anderen Typ als die in heutigen PEM-Brennstoffzellen eingesetzten PFSA-Membranen handelt, müssen die Elektrodenstrukturen neu entwickelt werden. Dabei ist die Herausforderung, kompatible Protonenleiter so in der elektrochemisch aktiven Schicht zu verteilen, dass der Transport von Gas, Wasser, Protonen und Elektronen mit minimaler Überspannung erfolgt.

Von Bedeutung ist hierbei der Gastransport, der im Gegensatz zur Situation in PFSA-Membranen nicht in der protonenleitenden Phase erfolgen kann. Hierzu kombinieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Variation des Herstellungsverfahrens mit dem Einsatz bildgebender Verfahren und Brennstoffzellentests einschließlich ihrer Interpretation. Dabei steht eine sehr hohe Performance bei hoher Temperatur (ca. 110° C) und niedriger Feuchte der Reaktionsgase im Vordergrund.



Vorbereitung einer Membranprobe für die Feldgradienten- Kernspinresonanzspektroskopie: Einführen des Probenkopfs

Das Einzelvorhaben vereinigt zwei vom Max-Planck-Institut für Festkörperforschung entwickelte hoch protonenleitende Poly-Phenylene Sulfone mit hochmolekularen Strukturpolymeren, um Blends mit sehr guter chemischer und mechanischer Stabilität herzustellen.

Hierzu modifizieren die Forscherinnen und Forscher zunächst kommerziell verfügbare Polysulfone mit einer definierten Konzentration von basischen Gruppen. Dabei variieren sie sowohl Art als auch Konzentration der basischen Gruppen systematisch. Diese modifizierten Polysulfone werden danach mit den bereits entwickelten hoch sulfonierten Polysulfonen zu Blendmembranen verarbeitet. Der Membranbildungsprozess wird in definierten Abständen unterbrochen, um die Entwicklung der Morphologie (Phasen-separation) mittels Kleinwinkelstreuung zu untersuchen.

Nach weiteren Prozessierungsschritten bestimmen die Forscherinnen und Forscher die resultierenden Membraneigenschaften. Dabei ziehen sie die Leitfähigkeit bei einem hohen Wasserdruck und Temperaturen von 105-150° C als Vergleichskriterium dafür heran, ob weitere aufwendigere Messungen durchgeführt werden. Der optimierte Herstellungsprozess von Blends mit geeigneter Morphologie wird hochskaliert. Ziel ist 100 bis 200 Gramm Ausgangsmaterial in reproduzierbarer Weise herzustellen. Dies beinhaltet im Wesentlichen die Anpassung der Prozessparameter an die Herstellung größerer Ansätze. Diese Arbeiten führen die Forscherinnen und Forscher in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen durch. Die so erhaltenen Membranen stellen sie bereits einigen Herstellern zu Testzwecken zur Verfügung, um durch deren Feedback möglichst früh die Herstellung entsprechender Elektroden an den neuen Membrantyp anpassen zu können.

Da die kostengünstige Herstellbarkeit der zu entwickelnden Blendmembranen maßgeblich von den Kosten des Hauptbestandteils (Poly-Phenylene-Sulfone) bestimmt wird, werden kostengünstigere Verfahren zur Herstellung optimiert. Dabei steht im Vordergrund, statt der kostspieligen, aber sehr reaktiven Verbindungen Di-Fluor-di-Phenylen, die wesentlich günstigeren, aber auch weniger reaktiven, Di-Chlor-Verbindungen in der Polykondensationsreaktion einzusetzen.

Das Unternehmen EnBW AG beteiligt sich mit Drittmitteln am Projekt und wird vornehmlich Gelder für die benötigten Materialien und Untersuchungen zur Verfügung stellen.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Entwicklung einer Hochleistungsmembran basierend auf hochsulfonierten Polysulfonen für den Einsatz in HT-PEM-Brennstoffzellen – PSUMEA-2

Laufzeit

01.06.2014 – 31.05.2017

Förderkennzeichen

03SF0473

Fördervolumen des Verbundes

ca. 490.000 Euro

Kontakt

Max-Planck-Institut für Festkörperforschung
Klaus-Dieter Kreuer
Heisenbergstraße 1,
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 689 1772
Fax.:+ 49 (0)711 689 1722
E-Mail: kreuer@fkf.mpg.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Max-Planck-Institut für Festkörperforschung,
Foto: Friedemann Bayer



Neue Materialien zur reversiblen Speicherung von Wasserstoff

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Mit dem Energiekonzept 2050 hat die Bundesregierung das zukünftige Energiesystem in Deutschland skizziert. Dazu gehört auch, die Treibhausgasemission um mindestens 80 Prozent im Vergleich zu dem Wert von 1990 zu reduzieren. Mit der Einführung von Batterie- oder Brennstoffzellenfahrzeugen könnte dieses Ziel leichter erreicht werden. Wasserstoff dient als Treibstoff, der auch gespeichert werden muss. Feststoff-Speichermaterialien erfüllen aber häufig nicht alle Bedingungen, um sie in der Elektromobilität anwenden zu können. Ziel des Verbundprojektes RevAl unter Koordination des Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung ist es, neue Materialien für die Wasserstoffspeicherung für mobile und stationäre Brennstoffzellenanwendungen zu entwickeln. Diese neuen Materialien sind kompatibel zu einer Hochdruckbetankungstechnik für Brennstoffzellenfahrzeuge.

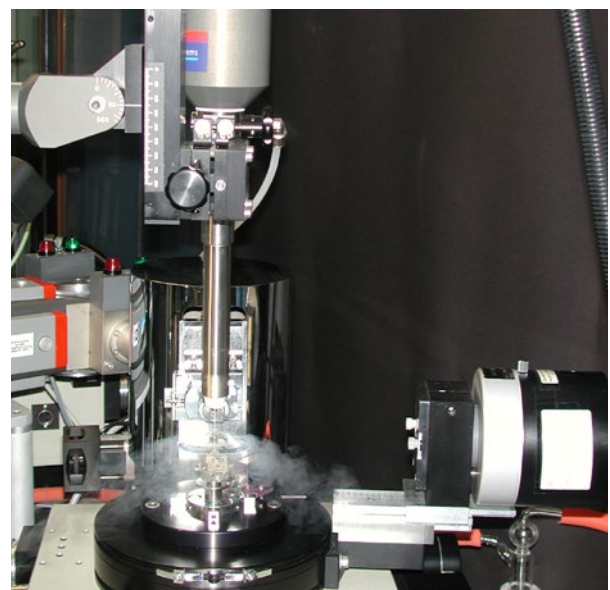
Mit der Einführung von emissionsfreien Brennstoffzellenfahrzeugen gilt es, ein wirtschaftlich lohnendes Verfahren zu etablieren, wie Wasserstoff als Treibstoff gespeichert werden kann. Die heute favorisierte Lösung ist die Druckgasspeicherung mit bis zu 700 bar. Höhere Speicherdichten als mit der Druckgasspeicherung könnten aber mit sogenannten Metallhydriden erreicht werden. Höhere Speicherdichten sind sinnvoll, weil mehr Gas pro Volumen gespeichert werden kann und die Reichweite dadurch erhöht wird. Bei Metallhydriden wird Wasserstoff im Feststoff in einer umkehrbaren Reaktion in einem metallischen Kristallgitter oder in einer chemischen Verbindung eingelagert. Bisher bekannte stabile Metallhydride erreichen allerdings nicht die notwendigen volumetrischen und gravimetrischen Speicherdichten für eine mobile Anwendung. Entweder ist die Speicherkapazität für Wasserstoff zu gering, die Zersetzungstemperatur zur Freisetzung von Wasserstoff zu hoch oder die freigesetzte Wärmemenge beim Betankungsvorgang zu groß.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsprojekt RevAl setzen deswegen den Schwerpunkt ihrer Forschungsarbeiten auf instabile Hydride, besonders auf Materialien mit Aluminium-Stickstoffverbindungen. Solche Materialien zersetzen sich bei Raumtemperatur und setzen dann Wasserstoff bis zum Erreichen des jeweiligen Gleichgewichtsdruckes frei. Wird der Druck über den Gleichgewichtszustand hinaus erhöht, belädt sich das Material bei Raumtemperatur wieder mit Wasserstoff.

Die Kombination von instabilen Hydriden und der Hochdrucktechnik hat gegenüber einer konventionellen Metall-

hydridspeichertechnik für Wasserstoff folgende Vorteile:

- Instabile Hydride sind zu dem entstehenden Hochdruck-Tankstellennetz kompatibel.
- Es gibt eine erhöhte Speicherdichte durch die Kombination von Hochdrucktank und instabilen Metallhydrid.
- Die Kaltstartproblematik bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen entfällt (Hochdrucksystem).
- Wasserstoff wird ohne zusätzlichen äußeren Wärmeinput freigesetzt.
- Wiederbeladung beispielsweise von Brennstoffzellenfahrzeugen erfolgt bei Raumtemperatur durch Druckerhöhung.



Tieftemperatureinheit zur Kristallstrukturbestimmung von instabilen Verbindungen mittels Röntgen-Pulverdiffraktometrie

Aminoalane und verwandte Verbindungen sind Vertreter der Verbindungsklasse der instabilen Materialien, die aus einfachen Vorstufen (Aluminiumhydrid und Ammoniak) synthetisiert werden können und in großen Mengen herstellbar sind. Forscherinnen und Forscher führen eine genaue thermodynamische Untersuchung und strukturelle Charakterisierung dieser Materialien durch. Die Herausforderungen des Projektes sind die Synthese und die thermodynamische und strukturelle Charakterisierung der Materialien unter nicht-Umgebungsbedingungen (tiefe Temperatur und hoher Wasserstoffdruck). Hierzu sind unter anderem auch neue technische Apparate zur Strukturbestimmung notwendig. Ziel des Projektes ist es, ein Gesamtbild dieser Verbindungsklasse für einen möglichen Einsatz in Brennstoffzellenfahrzeugen zu erhalten.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

AlH₃-Stickstoffverbindungen als neue Materialien zur reversiblen Speicherung von Wasserstoff – RevAl

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0481

Fördervolumen des Verbundes

ca. 840.000 Euro

Kontakt

Max-Planck-Institut für Kohlenforschung
Dr. Michael Felderhoff
Kaiser-Wilhelm-Platz 1
45470 Mülheim an der Ruhr
Telefon: +49 (0)208 306 2368
E-Mail: felderhoff@mpi-muelheim.mpg.de

Projektpartner

Technische Universität Bergakademie Freiberg,
Fakultät für Chemie und Physik,
Institut für Physikalische Chemie

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Max-Planck-Institut für Kohlenforschung



Degradationsphänomene von Hochtemperatur Brennstoffzellen im Detail untersuchen

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Mit dem Energiekonzept hat die Bundesregierung die Grundlagen einer umweltschonenden, zuverlässigen und bezahlbaren Energieversorgung geschaffen. Hier gilt es auch, Technologien einzusetzen, die einen hohen Wirkungsgrad besitzen. Brennstoffzellen wandeln die Energie eines Gases direkt in elektrische Energie um. Einsatzgebiet der Hochtemperatur-Brennstoffzelle mit Festoxid-Elektrolyt (Solid Oxide Fuel Cell - SOFC) ist die Strom- und Wärme-erzeugung, beispielsweise in der Hausenergieversorgung oder als industrielle Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage. Manche Komponenten sind aber noch nicht für einen langfristigen, verlässlichen Betrieb von mehr als vier Jahren oder 35.000 Betriebsstunden geeignet. Sie zeigen einen kontinuierlichen Verlust an Leistungsfähigkeit, die sogenannte Degradation. Das Forschungsvorhaben SOFC-Degradation unter Koordination des Forschungszentrums Jülich wird die Degradationsphänomene in SOFC-Brennstoffzellen detailliert untersuchen. Die Arbeiten sollen dazu beitragen, eine Lebensdauer von bis zu zehn Jahren oder etwa 100.000 Betriebsstunden zu erreichen.

Brennstoffzellen bieten als elektrochemische Energiewandler hohe Wirkungsgrade. Darüber hinaus haben sie ein günstiges Verhältnis von erzeugtem Strom zu abgegebener Wärme von 1:1 bis 2:1. Das macht sie für die Elektrizitäts-erzeugung auch im industriellen Maßstab interessant. Hochtemperatur-Brennstoffzellen können durch ihre Betriebstemperatur von mehr als 600° C aus Wasserstoff oder auch aus kohlenstoffhaltigen Gasen, wie Methan und Kohlenmonoxid, Strom und Wärme erzeugen.

Um eine höhere Spannung zu erhalten, werden mehrere einzelne Zellen zu einem Stack in Reihe geschaltet. Diese Stacks und die Systemkomponenten zeigen aber einen kontinuierlichen Verlust an Leistungsfähigkeit im Betrieb. Darüber hinaus versagen Komponenten aufgrund der hohen thermomechanische Belastung im instationären also dynamischen Betrieb, zum Beispiel bei Lastwechseln und thermischen Zyklen.



Messtechnik zur elektrochemischen Charakterisierung von SOFCs – in den Prüfständen werden Einzelzellen über einen Zeitraum von bis zu mehreren tausend Stunden betrieben.

Die Phänomene der Leistungseinbußen im stationären und instationären Betrieb sind zwar weitgehend bekannt, die genauen Mechanismen aber sind noch umstritten. Es handelt sich um eine Vielzahl korrosiver und thermodynamischer Vorgänge sowie mikrostruktureller Veränderungen der Materialien, die vor allem von der hohen Betriebstemperatur zwischen 600 ° C und 850 ° C verursacht wird. Diese Leistungseinbußen sind häufig im laufenden Betrieb nicht beobachtbar, da sie sich innerhalb des abgeschlossenen Stack ereignen.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler analysieren in Modellversuchen elf einzelne Degradationsphänomene, die in Abstimmung mit Brennstoffzellenherstellern identifiziert worden sind:

- Gefügealterung von Schutzschichten und deren Einfluss auf Schichthaftung, Chromabdampfung und Degradation
- Thermodynamische und kinetische Langzeitstabilität von Materialien des SOFC-Stacks
- Chromvergiftung in Mangan-freien Kathoden
- Degradationsphänomene für anodenseitige Kontaktierung
- Einfluss des Systembetriebsverhaltens auf die SOFC-Stackdegradation
- Verhalten der Anode bei Verunreinigungen des Brenngases mit Schwefelverbindungen
- Impedanzanalyse der Degradationsphänomene in Einzelzellen zur Modellierung der Degradation im Stack

- Chemisch und elektrochemisch bedingtes Sintern der Anode und Kathode
- Veränderungen in den Mikrostrukturen von SOFC-Stackschichten unter verschiedenen Betriebsbedingungen

Forscherinnen und Forscher beschreiben und erklären die spezifisch ausgewählten Degradationsphänomene. Danach gleichen sie die Ergebnisse mit dem bisherigen Stand der Wissenschaft ab. Dazu erfassen sie experimentell die relevanten Effekte, führen Sensitivitätsanalysen durch und untersuchen die Abhängigkeit von verschiedenen Parametern. Die Quantifizierung und Parametrisierung der Phänomene erlaubt die Modellbildung und letztlich die Vorhersage über die Auswirkungen einzelner Betriebsparameter, wie Temperatur, Partialdruck und Stromstärke, auf den Degradationsverlauf und die Lebensdauer von SOFC-Brennstoffzellen.

Ziel dieser Arbeiten ist es, die Degradationsraten und die Lebensdauer der einzelnen Komponenten sowie die Auswirkung auf den Leistungsverlust eines gesamten SOFC-Systems zu ermitteln. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erarbeiten Modellformulierungen und Vorschläge für beschleunigte Testverfahren, die dann experimentell überprüft werden.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Analyse der Ursachen und Entwicklung von Gegenmaßnahmen – SOFC-Degradation

Laufzeit

01.09.2014 – 31.08.2017

Förderkennzeichen

03SF0494

Fördervolumen des Verbundes

ca. 2,8 Millionen Euro

Kontakt

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung, Grundlagen der Elektrochemie (IEK-9)
Dr. L.G.J. de Haart
Wilhelm-Johnen-Straße , 52428 Jülich
Telefon: +49 (0)2461 61 6699
E-Mail: l.g.j.de.haart@fz.juelich.de

Projektpartner

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Technische Universität Clausthal, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Technische Thermodynamik, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Forschungszentrum Jülich GmbH,

Assoziierte Unternehmen

Robert Bosch GmbH, Ceramic Fuel Cells GmbH, FuelCon AG, Hexis AG, new enerday GmbH, PLANSEE SE, sunfire GmbH, Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG, Elring Klinger AG

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie, 53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Karlsruher Institut für Technologie



Maßgeschneiderte Adsorbentien für stationäre Wärmetransformatoren

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Adsorptionswärmepumpen können sowohl Kälte als auch Wärme bereitstellen. Im Unterschied zu konventionellen, elektrisch betriebenen Wärmepumpen nutzen sie dafür thermische Energie, die beispielsweise aus den regenerativen Energiequellen – Sonne, Erdwärme oder Wind – gewonnen wird. Kern von Adsorptionswärmepumpen sind spezielle Adsorptionsmaterialien, die aber bisher kaum für Klimatisierungsaufgaben optimiert worden sind. Das Forschungsprojekt TailorSorb unter Koordination der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen stellt maßgeschneiderte Adsorptionsmaterialien her und optimiert sie für den Betrieb mit regenerativen Energien in Gebäuden. Hierdurch können Anlagen noch effizienter betrieben und Treibhausgas-Emissionen eingespart werden.

Ziel des Forschungsprojektes ist es, ein neues, struktur-optimiertes Material zu entwickeln, das einen effizienteren Betrieb von Adsorptionswärmepumpen ermöglicht. Die Forscherinnen und Forscher möchten zeigen, dass das neu entwickelte Material grundsätzlich für den Betrieb in Adsorptionswärmepumpen geeignet ist und zu einer Verbesserung der Anlagenleistung führt. Im Anschluss an das Forschungsprojekt soll das Material für den kommerziellen Einsatz in einer Adsorptionskälteanlage, einem Typ der Adsorptionswärmepumpe, weiterentwickelt werden. Sie verwendet beispielsweise bei Blockheizkraftwerken (BHKW), Solarthermie-Anlagen, Nah- und Fernwärmestationen die frei werdende, ungenutzte Wärme für die Kühlung von Gebäuden oder Prozessen. Insbesondere gegenüber den stromintensiven Kompressionskälteanlagen, wie sie in herkömmlich Klimaanlage zu finden sind, kann sich eine Adsorptionskälteanlage mit einem neu entwickelten Material aufgrund geringerer Herstellkosten auf dem Markt wesentlich besser durchsetzen und so Treibhausgasemissionen weiter reduzieren.



Links: Zeolithe haben vielfältige Anwendungsmöglichkeiten unter anderem als Ionenaustauscher etwa zur Wasserenthärtung. Rechts: Silicagel/Kieselgel genannt ist stark wasseranziehend und eignet sich als Geliermittel, Filter- und Adsorptionsmaterial sowie Trockenmittel.

Silicagele oder Zeolithe machen es möglich, dass Adsorptionswärmepumpen sowohl Kälte als auch Wärme bereitstellen können. Diese chemischen Stoffe sind robust, wiederverwertbar und können Wasser in großen Mengen – bis zu 35 Prozent ihres Eigengewichtes – aufnehmen und auch wieder abgeben. Beispielsweise haben Silicagele die Eigenschaft, Wasserdampf anzuziehen und an ihrer Oberfläche anzulagern (Adsorption). Dabei wird Wärme frei. Die notwendige Energie zum Verdampfen von Wasser könnte aus regenerativen Energiequellen oder aus ungenutzter Wärme (BHKW) stammen.

Allerdings sind die eingesetzten Adsorptionsmaterialien bislang kaum und nur unsystematisch für die energetische Nutzung der Adsorption optimiert worden. Forscherinnen und Forscher im Forschungsverbund TailorSorb identifizieren neue Materialien, was eine integrierte Analyse von Materialstruktur und Materialeigenschaften erfordert. Dazu modifizieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Strukturparameter von Materialien systematisch und korreliert sie mit thermodynamischen und kinetischen Adsorptionseigenschaften.

Hierfür führen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein praxisgestütztes, adaptives Screening von Adsorptionsmaterialien durch. Im Mittelpunkt der im Projekt zu untersuchenden Adsorptionsmaterialien stehen Zeolithe und Silicagele. Das Projektteam wählt sie aufgrund des Praxisbezugs und der demzufolge notwendigen ökonomischen Rahmenbedingungen für die Produktion neuer Adsorptionsmaterialien aus. Daneben wird die Stabilität der synthetisierten Materialien untersucht.

Die Untersuchung thermodynamischer Eigenschaften führen die Forscherinnen und Forscher mit einer Gleichgewichtsmessung der Adsorbentien mit Wasserdampf durch. Sie erforschen die Kinetik der Adsorbentien mit einem selbst entwickelten Verfahren, wie etwa der Large-Temperature-Jump-Methode: Hier wird ein Temperatursprung auf eine Probe aufgeprägt und es kommt zur Adsorption. Währenddessen messen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Aufnahme von Wasser. Die Untersuchung liefert material- und prozessrelevante Daten. Schließlich werten sie mit Hilfe dynamischer Modelle die Daten aus und bewerten anhand dieser den Einsatz der Materialien in Adsorptionswärmetransformatoren.

Nach dem Screening entwickeln die Forscherinnen und Forscher neue Adsorptionsmaterialien. Ihre Leistungsfähigkeit validieren sie für eine Adsorptionskälteanlage, die als Referenzanwendung von Adsorptionswärmetransformatoren dient und vergleichen sie technisch und wirtschaftlich mit kommerziell erhältlichen Adsorbentien.

Neben der Entwicklung eines optimierten Materials erarbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Methodik, die angefangen von der Struktur des Adsorptionsmaterials bis hin zum Einsatz des Adsorptionsmaterials in einem Wärmeübertrager unter Anwendungsbedingungen gleich mehrere Ebenen untersucht. So werden Struktur, thermodynamische und kinetische Eigenschaften der Materialien im Milligramm-Maßstab erforscht. Auch wird das Verhalten in Adsorptionskälteanlagen detailliert geprüft. Hierfür wird die Adsorptionskinetik der Materialien in Adsorbergeometrien untersucht, die realen Anlagen nachempfunden sind. Abschließend wird ein Material in einer Adsorptionsanlage experimentell validiert und mit kommerziell erhältlichen Adsorbentien verglichen. Dynamische Modelle erlauben die Verknüpfung dieser drei Ebenen, um so Rückschlüsse von der Anlagenebene hin zur Struktur der Materialien zu erhalten.

Diese Methodik soll auf die Entwicklung neuer Adsorptionswärmetransformatoren angewandt werden, um so die Anwendungsgebiete von Adsorptionswärmetransformatoren zu erweitern. Das wissenschaftliche Interesse an den Struktur-Eigenschafts-Beziehungen ist auch für andere Materialklassen und Anwendungsgebiete interessant und kann stark zur Verbesserung des Betriebsverhaltens von Adsorptionswärmetransformatoren in diesen Gebieten beitragen.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Maßgeschneiderte Adsorbentien für stationäre Wärmetransformatoren – TailorSorb

Laufzeit

01.07.2015 – 30.06.2018

Förderkennzeichen

03SF0515

Fördervolumen des Verbundes

ca. 813.000 Euro

Kontakt

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Fakultät 4 – Maschinenwesen – Lehrstuhl für Technische Thermodynamik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. André Bardow
Schinkelstraße 8
52062 Aachen
Telefon: +49 (0)241 8095 380
E-Mail: andre.bardow@lth.rwth-aachen.de

Projektpartner

InvenSor GmbH

Assoziierte Partner

Vaillant GmbH
Clariant AG

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik,
RWTH Aachen University



Neue Werkstoffe für die Wärmeisolation

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Heizen und Klimatisieren macht einen großen Teil des Gesamtenergieverbrauchs eines Gebäudes aus. Dieser Verbrauch lässt sich durch eine geeignete Wärmeisolation verringern, da Wärmeverluste an die Umgebung minimiert werden. Jedoch zeigen die am häufigsten verwendeten Isolationsstoffe, wie Glaswolle oder Polyurethan-Schaum, wegen ihres hohen Anteils an Poren und Hohlräumen eine sehr geringe Festigkeit. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen im Projekt **Thermostop** unter Koordination der Universität Duisburg-Essen neue Materialien auf Basis von Kompositen aus Nanopartikeln in Verbindung mit Polymeren entwickeln. Ziel ist eine nahezu porenfreie und tragfähige Wärmedämmung herzustellen, d. h. bei vergleichbaren Isolationseigenschaften wie bei klassischen Werkstoffen soll eine viel höhere Festigkeit erreicht werden.

Das Forschungsprojekt **Thermostop** will neue Werkstoffe für die Wärmeisolation entwickeln. Hierfür verarbeiten und kombinieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedene Nanopartikel, um diese mit Hilfe von Polymeren zu einem festen Komposit zu verbinden. Feste Komposite besitzen aufgrund der geringen Größe und der hohen Anzahl an Teilchen sehr viele Korngrenzen, an denen die Wärmeleitung durch Reflexion und Streuung reduziert wird. Diese Reflexion lässt sich weiter erhöhen, wenn Partikel zum Einsatz kommen, deren elastomechanische Eigenschaften sich untereinander möglichst stark unterscheiden. Dadurch kann – eine gute und homogene Durchmischung der verschiedenen Partikel vorausgesetzt – die Wärmeleitung stark reduziert werden. Der Wärmeverlust sinkt.

Die Materialien, die für dieses Projekt als Nanopartikel infrage kommen, müssen günstig und leicht verfügbar sein. Sie dürfen ferner keine Gefährdung für Mensch und Umwelt darstellen. Hierfür eignen sich vor allem Partikel, die bereits in der Industrie Verwendung finden. Dies sind beispielsweise Nanopartikel aus Siliziumdioxid, die bestimmten Betonarten beigemischt werden, oder Ruß-Partikel, die in Autoreifen den Abrieb verringern, und Aluminiumoxid-Nanopartikel, die in manchen Kosmetikartikeln eingesetzt werden.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchen darüber hinaus Verfahren zur Synthese weiterer Nanopartikel, um die für dieses Projekt benötigten Nanopulver „nach Maß“ herzustellen. Sie wenden dazu das Sol-Gel-Verfahren an, bei dem durch die Reaktion von Vorläufer-Molekülen in organischen Lösungsmitteln ein nanopartikuläres Pulver synthetisiert wird. Die Größe sowie die Größenverteilung der einzelnen Teilchen lassen sich bei dieser Methode sehr genau steuern, wodurch Nanopartikel in der gewünschten

Größe entstehen. Auch die Eigenschaften der Partikeloberfläche sind so steuerbar, was vor allem für eine gute Dispergierung der Pulver sorgt. Außerdem können so Andockstellen für das Bindemittel geschaffen werden.



Eine Mitarbeiterin bedient die hydraulische Heißpresse. Hiermit werden die Pulver-Polymer-Mischungen unter Temperatureinwirkung zu einem Pressling verdichtet.

Die Verbindung der Partikel geschieht vor allem über Bindemittel auf Polymerbasis, die für einen möglichst festen Zusammenhalt sorgen. Dabei ist zu beachten, dass die Menge des Bindemittels möglichst gering gehalten wird, da sich die Wärme sonst den „Weg des geringsten Widerstands“ sucht und über das zusammenhängende Polymernetzwerk anstatt durch die Nanopartikel fließt. Ein ähnliches

Phänomen tritt bei Wärmebrücken in Gebäuden auf, bei denen beispielweise ein Stahlträger die Wärme deutlich schneller nach außen leitet, als der umgebende Beton. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern untersuchen zu diesem Zweck unterschiedliche Polymere und Herstellungsrouten, um geeignete Verfahren für die Synthese der Nanopartikel-Komposite zu ermitteln.

Die Charakterisierung der Probekörper, besonders im Hinblick auf den wichtigsten Parameter – die Wärmeleitfähigkeit – geschieht prozessbegleitend. So können die hergestellten Komposite unmittelbar auf ihre Eignung als Wärmedämmung untersucht und die Synthesemethoden gegebenenfalls angepasst werden.

Sowohl der Universität Duisburg-Essen als auch der ContiTech AG stehen verschiedene Methoden zur Struktur- aufklärung zur Verfügung, mit denen die Materialien in mikro- und nanoskaligen Dimensionen charakterisiert werden können. Hierzu gehören elektronenmikroskopische Verfahren (REM, TEM, EELS), röntgenographische (XRD) und mikromechanische (AFM) Analysetechniken. So untersuchen Forscherinnen und Forscher das Gefüge des neuen Werkstoffs und ziehen Rückschlüsse, um die makroskopischen Eigenschaften – Isolation und Festigkeit gezielt zu steuern. Dabei ist es das Ziel, nicht nur den besten Kompromiss der miteinander verknüpften Eigenschaften hohe Isolation und geringe Festigkeit oder umgekehrt zu finden, sondern mit neuen Materialkonzepten die Schere zwischen Isolation und Festigkeit signifikant aufzuweiten.

Sind geeignete Komposite mit guten Wärmeisolationseigenschaften hergestellt und identifiziert worden, untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sie auf mechanische Kennwerte und Festigkeiten. Sie wenden Methoden an, die sowohl im Bauwesen als auch in anderen materialwissenschaftlichen Disziplinen zum Einsatz kommen, beispielsweise Biege- und Zugversuche oder eine Härtebestimmung. Dies ist nötig, um einen Vergleich mit den auf dem Markt vorhandenen Dämmstoffen zu ziehen und die Vor- und Nachteile des neuen Materials bewerten zu können.

Im letzten Schritt schätzen die Forscherinnen und Forscher ab, ob die Methode eine deutliche Erhöhung des Produktionsvolumens hin zu industriellen Maßstäben ermöglicht und vor allem auch kosteneffizient durchführbar ist. Gelingt dies, kann ein neuer Baustoff zur Verfügung gestellt werden, den Industrie und Handwerk nach Abschluss des Projektes in Feld- und Langzeittests erproben und bewerten können.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Thermische Isolationswerkstoffe hoher Festigkeit und höchster Isolationswerte – Thermostop

Laufzeit

01.08.2015 – 31.07.2018

Förderkennzeichen

03SF0517

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,1 Millionen Euro

Kontakt

Universität Duisburg-Essen
Institut für Materialwissenschaft
Prof. Dr. rer. nat. Doru C. Lupascu
Universitätsstraße 15
45141 Essen
Telefon: +49 (0)201 183 2737
Fax.: +49 (0)201 183 3968
E-Mail: doru.lupascu@uni-due.de

Projektpartner

ContiTech AG

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundlagenforschung Energie
53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis

Universität Duisburg-Essen,
Institut für Materialwissenschaft



Moderne Gleitlager für zuverlässigere Windenergieanlagen

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Rotoren von Windrädern drehen sich heute ausnahmslos in Wälzlagern. Diese werden jedoch von Böen, Turbulenzen und großen Windstärken besonders beansprucht und erreichen die industriübliche Zuverlässigkeit deswegen selten – die teure und aufwändige Demontage des Rotors zur Reparatur ist die Folge. Gleitlager wären unter Umständen eine verschleißarme, langlebigere und wartungsfreundliche Alternative. Daran arbeitet das Forschungsvorhaben WEA-GLiTS.

Funktionieren Wälzlager im Rotor von Windrädern nicht mehr, muss die Rotorlagerung aufwändig ausgetauscht werden, und zwar indem der Rotor und der gesamte Triebstrang mit Kränen demontiert werden. Die Lebensdauer von Gleitlagern ist nicht zwangsläufig durch Ermüdung begrenzt, und bei einem Schaden können einzelne Gleitsegmente erheblich einfacher ausgetauscht werden als im Wälzlager. Diese bauartbedingten Vorteile sind Anlass für das Forschungsprojekt WEA-GLiTS, ein Werkstoffkonzept für Gleitlager in Windenergieanlagen zu entwickeln und validieren. Grundlage der Arbeiten sind dabei neuartige, thermisch gespritzte Beschichtungen für Gleitlager.

Das Forschungsprojekt betrachtet dabei sowohl die spezifischen Anforderungen an das Werkstoffkonzept als auch die erforderlichen Parameter für die Schichtherstellung, das heißt die Lagerkonstruktion in Momentenbauformen, den thermischen Spritzvorgang und die Werkstoffzusammensetzung. Neben Forschungen an geeigneten Werkstoffen sowie der Schichtmorphologie und -topographie für ein geeignetes Materialkonzept umfassen die Arbeiten die belastungsspezifische Geometrieermittlung und die Prozessentwicklung zur Produktion der entwickelten Beschichtungen. Die Komplexität der Versuche zur Validierung eines Werkstoffkonzeptes steigt dabei sukzessiv an. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen die Werkstoffe systematisch erproben, mit dem Ziel die beste Materialpaarung zu finden und auf einem Prüfstand zu testen.

Am Beginn stehen die theoretischen Arbeiten zur Ermittlung der Materialanforderungen an potenzielle Gleitlagerwerkstoffe. Anhand von Simulationen, die reale Windfelder abbilden, und realer Windlasten werden die Kräfte am Rotorlager und die übrigen Belastungen analysiert, denen das Material standhalten muss. Anschließend werden

verschiedene Lagerkonzepte evaluiert, wobei insbesondere kompakte Bauformen, die mit nur einer einzelnen Lagerstelle auskommen, im Fokus stehen sollen. Auf dieser Grundlage erfolgt eine erste Dimensionierung des Lagers.

Aufbauend auf den so ermittelten Anforderungskatalog wird eine Auswahl von Werkstoffen auf die prinzipielle Eignung für die Rotorlagerung hin untersucht. Im Fokus steht dabei der thermische Spritzprozess zur Beschichtung der Lagerflächen, den das Vorhaben anpassen und verbessern will. Dazu analysieren die Forscherinnen und Forscher die Reibung an den thermisch gespritzten Schichten und überprüfen deren Haftfähigkeit auf anderen Werkstoffen, wie zum Beispiel Stahl. Zusätzlich wird die Belastungsfähigkeit mit Druck-Kriech-/Druck-Schwell-Versuchen erprobt.

Das Projekt wird zunächst etwa 60 verschiedene Werkstoffvarianten betrachten, die in vier Kategorien gegliedert sind: harte sowie weiche Beschichtungen, Mehrschichtsysteme und Matrixwerkstoffe, in denen nicht-metallische Partikel mit positivem Einfluss auf die Gleitschmierung eingebettet sind. Diese sollen anhand der gewonnenen Erkenntnisse durch werkstofftechnische und prozesstechnische Modifikationen iterativ weiterentwickelt und die spezifische Bauteilgeometrie des Rotorlagers angepasst werden. Dazu werden die gespritzten Beschichtungsproben u. a. metallographisch hinsichtlich der Schichtmorphologie sowie hinsichtlich der Haftung der Schichten am beschichteten Grundkörper untersucht. Die verschiedenen Werkstoffvarianten werden dabei kontinuierlich untereinander verglichen, sodass die aussichtsreichsten Materialien und Varianten eingegrenzt und weiterentwickelt werden.

Im Anschluss werden drei bis sechs der Werkstoff-/Topologie-Kombinationen in Gleitlagern an Radialgleitlagerprüfständen in Modellgröße (Modell-Gleitlager) erprobt.

an Radialgleitlagerprüfständen. Auf dieser Grundlage wird nach Bewertung der Werkstoff- bzw. Schichteigenschaften die für die Windenergieanlage am besten geeignete Werkstoffkombination ausgewählt.

Im Anschluss werden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für die Validierung ihres Konzepts Tests an einem Demonstrator auf einem Systemprüfstand durchführen. Hierzu wird das ursprüngliche Rotorlager eines Systemprüfstandes für Windkraftanlagen durch den Demonstrator, also ein Gleitlager, ersetzt. Der Demonstrator ist ein teilbares Gleitlager in realer Baugröße zur Lagerung der Rotorwelle. Für die Gleitflächen dieses Lagers werden einzelne Segmente, die ohne größeren Aufwand ausgetauscht werden können, mittels thermischen Spritzens beschichtet. Der abschließende Schritt zur Validierung des Werkstoffkonzepts ist die Erprobung des Demonstrators anhand von Vergleichs-, Funktions- und Verschleißtests.

Zur Abbildung der Kräfte, die der Wind in Realität über den Rotor auf die darin gelagerte Rotorwelle überträgt, ist die Rotorwelle an eine Lasteinheit gekoppelt.

Fördermaßnahme

Materialforschung für die Energiewende des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms

Projekttitel

Thermisch gespritzte Gleitlagerbeschichtungen für Hauptlager von Windenergieanlagen – WEA-GLiTS

Laufzeit

01.01.2016 – 31.12.2018

Förderkennzeichen

03EK3036A

Fördervolumen des Verbundes

ca. 1,3 Millionen Euro

Kontakt

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH Aachen)

Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs

Campus-Boulevard 61, 52074 Aachen

Telefon: +49 (0) 241 80-95635

Fax.: +49 (0) 241 80-92256

E-Mail: georg.jacobs@cwd.rwth-aachen.de

Projektpartner

Zollern BHW Gleitlager GmbH & Co. KG

Oerlikon Metco Coatings GmbH

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Referat Grundlagenforschung Energie

53170 Bonn

Redaktion und Gestaltung

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH