

Energiewende in Bayern

GEO THERMIE



**NACHWACHSENDE
ROHSTOFFE**



SOLAR THERMIE



WASSERSTOFF



WELTWEIT *daham*

Rundum-Sorglos-Service für Ihren Exporterfolg weltweit

Bayern International unterstützt als Unternehmen des Freistaates Bayern den bayerischen Mittelstand mit einer Vielzahl von Angeboten bei seinen ersten Schritten in internationale Märkte.

www.bayern-international.de



Messebeteiligungen



Delegations- und Unternehmerreisen



Delegationsbesuche »Bayern – Fit for Partnership«



Firmendatenbank www.keytobavaria.de



Digitale Angebote





Grußwort

Bayern ist Spitze beim Ausbau der Erneuerbaren Energien! In keinem anderen Bundesland wurde in den vergangenen Jahren so viel installierte Leistung bei den Erneuerbaren zugebaut. Dabei setzt der Freistaat auf einen ausgewogenen Mix aller alternativer Energieformen.

Bei Sonnenenergie und Geothermie ist Bayern ebenso führend wie bei Wasserkraft und Biomasse. Damit stehen wir für Versorgungssicherheit und Preisstabilität für den starken Wirtschaftsstandort Bayern. Und packen gleichzeitig den Klimawandel an!

Diesen Kurs setzt die Bayerische Staatsregierung entschlossen fort. Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien verdoppeln wir bis 2030. Wir verdreifachen Sonnenstrom bis 2030 und bauen auch die Windkraft mit neuen Windparks und 1.000 neuen Windrädern weiter aus.

Bei der Geothermie kommen bereits 80 Prozent der gesamtdeutschen Leistung aus Bayern. Bis 2050 werden wir 25 Prozent des bayerischen Wärmebedarfs bei Gebäuden mit Erdwärme decken. Die Heimatenergien Biomasse und Wasserkraft bringen im ländlichen Raum großes Potenzial mit sich, das wir auch künftig nutzen. Und wir investieren weiterhin sowohl in den Bau regionaler Wasserstoffkraftwerke als auch in Infrastruktur und Forschung. Denn Wasserstoff ist ein Schlüssel zur effizienten Energiespeicherung.

Für das Gelingen der Energiewende braucht es Investition und Innovation. Und den ständigen Austausch aller Akteure. Dazu leistet dieses Sondermagazin einen wichtigen Beitrag! Dafür Dank und Anerkennung!

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Söder'.

Grußwort Dr. Markus Söder	3
Editotial / Impressum	5
Bayern International: Haben Sie Energie?	
<i>Kontakt: Bayern international / Bayerische Gesellschaft für Internationale Wirtschaftsbeziehungen mbH</i>	6
Geothermie: Hightech für die Geothermie	
<i>Autor: Timo Trauth</i>	9
igmPLAN GmbH	
<i>Kontakt: igmPLAN GmbH / Planungsgesellschaft für Energie- und Umwelttechnik</i>	10
Geothermie: Leuchtturmprojekt in Bayern – Geothermie neu gedacht	
<i>Kontakt: Eavor GmbH Kommunikation</i>	11
TFZ Bayern: Die Energie- und Rohstoffwende gelingt mit Nachwachsenden Rohstoffen – Forschung, Förderung, Wissenstransfer am TFZ	
<i>Autor: Johannes Bodensteiner</i>	13
TU München: „Neuer“ Organismus wird fit für die Biotechnologie	
<i>Kontakt: Technische Universität München</i>	16
igmPLAN GmbH	
<i>Kontakt: igmPLAN GmbH / Planungsgesellschaft für Energie- und Umwelttechnik</i>	18
Bayern International: Zukunftstechnologie Wasserstoff – was war und was sein wird	
<i>Kontakt: Bayern international / Bayerische Gesellschaft für Internationale Wirtschaftsbeziehungen mbH</i>	20
KUMAS: KUMAS – Kompetenzzentrum Umwelt e.V.	
<i>Kontakt: Thomas Nieborowsky</i>	22
H2 Innovation projects: Notwendige Forschungen und Entwicklungen zur Erschließung einer effizienten Energieversorgung mit Wasserstoff-Technologien	
<i>Autoren: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Arlt, Andreas Galster, Gerd-Friedrich Witthus, Herbert Köpplinger</i>	24
Metropolregion Nürnberg: Europäische Metropolregion Nürnberg – fruchtbarer Boden für eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft	
<i>Autoren: Dr.-Ing. Robert Schmidt, Dr. rer. nat. Ronald Künneth</i>	28
TU München: Zukunftsförderung durch die Hightech Agenda Bayern	
<i>Kontakt: Technische Universität München</i>	31
Wasserstoffstrategie: Strategie der Wasserstofftechnologie	
<i>Autor: Prof. Dr. Siegfried Balleis</i>	32
Energiewende: Wasserstoff – Chance und Schlüssel zur Energiewende?	
<i>Autoren: Prof. Dr. Richard Wehrich, Dr. Michael Heine</i>	34
FREIE WÄHLER LANDTAGSFRAKTION:	
Dr. Mehring: „Wasserstoff spielt erste Geige im Energiemix der Zukunft	
<i>Autor: Dr. Fabian Mehring, MdL</i>	37
Augsburg Innovationspark:	
Der Augsburg Innovationspark mit dem Technologiezentrum Augsburg	
<i>Kontakt: Wolfgang Hehl</i>	38
Institut für Materials Resource Management:	
Mit KI zum sicheren H2-Druckbehälter	
<i>Kontakt: Prof. Dr. Markus Sause</i>	39
Bauhaus Luftfahrt: Grüner Wasserstoff als Energieträger für die Luftfahrt – Status, Herausforderungen und Perspektiven	
<i>Autor*innen: Dr. Kathrin Ebner, Dr. Arne Seitz, Dr. Valentin Batteiger, Fabian Peter</i>	42
Photovoltaik: Schlüsselfaktor für den zukünftigen Erfolg der Photovoltaik	
<i>Autoren: Prof. Dr. Siegfried Balleis, Prof. Dr. Christoph I. Brabec</i>	46



Editorial

„Alles blüht zu seiner Zeit“

Die Wirtschaft steht vor großen Herausforderungen. Wie, wo, was, wann es wirklich blüht, darüber entscheiden auch neue Technologien.

Die Folgen des Klimawandels werden täglich vor Augen geführt – Trockensommer, Überflutungen, Feuerbrünste und andere Katastrophen sind zunehmende Begleiter.

Neben der vielzitierten Zeitenwende ist deshalb die Energiewende das Gebot der Stunde.

Mit den aktuellen Themen Geothermie, nachwachsende Rohstoffe, Solarthermie und Wasserstoff möchten wir auf die Bedeutung und Chance der Energiewende hinweisen.

Es geht um die Zukunft der Umwelt und deren Erhalt mit Hilfe erneuerbarer Energien.

Es gibt Schlüsseltechnologien, die unsere Energieprobleme lösen können. Einige seien folglich dargestellt.

Im aktuellen Klima-Ranking von Germanwatch hat sich Deutschland wegen der Blockade im Verkehrs- und Gebäudebereich verschlechtert. Daraus ergeben sich viele Fragen und Probleme. Es gibt viel zu tun!

Diese Publikation finden Sie auch im Internet unter www.media-mind.info

Impressum:

Herausgeber:	media mind GmbH & Co. KG Aachener Straße 11 80804 München Telefon: +49(0)89 36 26 33 E-mail: mail@media-mind.info www.media-mind.info
Verantwortlich:	Walter Fürst, Jürgen Bauernschmitt
Gestaltung + DTP:	Grafik+Druck digital K.P. GmbH
Druckvorstufe:	Grafik+Druck digital K.P. GmbH
Druck:	Grafik+Druck digital K.P. GmbH

Walter Fürst, Geschäftsführer

© 2025 by media mind GmbH & Co. KG, München
Kein Teil dieses Heftes darf ohne schriftliche Genehmigung der Redaktion gespeichert, vervielfältigt oder nachgedruckt werden.

Haben Sie Energie?

Der nachhaltige Umgang mit Energie gehört zu den Kernherausforderungen unserer Zeit. Bayern International bietet für interessierte KMUs laufend Veranstaltungen zum Bereich. Das Ziel: neue Auslandsmärkte kennenlernen und für den Export erschließen.

Energie zu haben essenziell: Für Individuen ebenso wie für die Wirtschaft. Energie ist sowohl Produktionsfaktor als auch Umsatzbringer. So erwirtschafteten in Deutschland im Jahr 2020 rund 54.400 Beschäftigte der Energietechnikbranche einen Umsatz von etwa 11,2 Milliarden Euro. Dies schafft Arbeitsplätze und fördert die Wertschöpfung auch im Freistaat Bayern, der u.a. als Spitzenreiter beim Ausbau erneuerbarer Energie gilt. ■

Fit for Partnership?!

Um hier effizient und erfolgreich vorzugehen, muss man langfristig größer denken. Bayern International unterstützt hier mit einer Vielzahl von Veranstaltungen. Zum Beispiel mit dem internationalen Weiterbildungsprogramm „Bayern – Fit for Partnership“ (BFP) das schon vor 20 Jahren vom Bayerischen Wirtschaftsministerium ins Leben gerufen wurde. Bayerische Unternehmen stellen interessierten internationalen Partnern, die nach Bayern kommen, ihr gesamtes Produkt- und Leistungsspektrum vor und können damit wertvolle Kontakte zu internationalen Entscheidungsträgern herstellen. Die großen Benefits:

- Kostenlose Beteiligung für bayerische Unternehmen
- Aktive Mitwirkungsmöglichkeit an der Programmgestaltung

- Vernetzung mit internationalen Unternehmen ohne hohem Reiseaufwand

Ein aktuelles Beispiel:

Mitte April kamen Projektentwickler, Energiedienstleister, Unternehmer im Bereich und Energieversorgung sowie Betreiber von EE-Anlagen aus Serbien und Montenegro nach Bayern und trafen sich mit bayerischen KMUs, die Komponenten oder Dienstleistungen zu den Themen Solarenergie, Windkraft & Energietechnik anbieten. Das Fazit: Es gibt gute Geschäftschancen beispielweise in der gemeinsamen Projektentwicklung für Solar- & Windparks sowie in Vertriebspartnerschaften für Energietechnik. ■

Umwelttechnologie: Wasser und Abwasser für Albanien – Das BFP-Programm für den Herbst

Wenn Sie Technologieanbieter und Dienstleister der Wasserwirtschaft sind, dann ist dieses BFP- Programm vermutlich richtig für Sie. Einige Fakten:

- 23.-27.9.2024
- Händler und Importeure, Entscheidungsträger aus Wassertechnik- und betrieblen, Vertreter der Behörden und von Planungsbüros etc. aus Albanien kommen nach Bayern
- Bayerische Firmen präsentieren ihr Produkt- und Leistungsspektrum
- Bekunden Sie Ihr Interesse so bald wie möglich online: www.bayern-international.de/bfp_albanien Veranstaltungsname: Umwelttechnologie: Wasser und Abwasser für Albanien ■



Max Bögl Wind ■

Delegationsreisen für alle, die Informationen aus erster Hand vor Ort bevorzugen

Wer ein mögliches Zielland wirklich erleben möchte, für den sind die Delegationsreisen die richtige Variante. 2024 geht es zu den Themen Delegationsreisen zu Energie in den Oman und die Vereinigten Arabischen Emirate, nach Polen und nach Brasilien. Die Reisen für dieses Jahr sind schon ausgebucht, doch auch für 2025 gibt es schon wieder konkrete Planungen. Informieren Sie sich einfach regelmäßig online unter: www.bayern-international.de/delegationsreisen ■

Sie möchten von anderen Firmen gefunden werden? Wir haben den Schlüssel dafür!

Nämlich mit der Key to Bavaria Firmendatenbank. Hier ist die Energietechnik als Schlüsselbranche gelistet. Weitere Informationen und die Möglichkeit das eigene Unternehmen zu registrieren findet sich online unter www.keytobavaria.de ■

Gemeinschaftsstand, Infos & netzwerken – Die Messebeteiligungen

Dieses Jahr sind die Gemeinschaftsstände auf einer Vielzahl von Messen im Energiesektor schon gut gebucht: Beteiligungen sind im Sommer bei der EFCF in Luzern sowie bei der HydroVision International in Denver geplant. Im Herbst folgen die ENLIT in Mailand, die European Hydrogen Week in Brüssel sowie die Hydro in Graz. Bekunden Sie jetzt schon Ihr Interesse an einer Teilnahme am Gemeinschaftsstand für 2025 auf <https://www.bayern-international.de/termine-veranstaltungen>!

Geplant sind:

- World Smart Energy Week – FC Expo 2025 in Tokio (19.2.-21.2.25)
- Intersolar North America 2025 in San Diego (25.2.-27.2)

- Aquatech 2025 in Amsterdam (11.3.-14.3)
- IFAT Brasil 2025 in Sao Paulo (April.25)
- Swissbau 2026 in Basel (20.1.-23.1. 2026) ■

Lust auf mehr?

Sie haben viele Möglichkeiten:

- Branchenwebsite: bayern-international.de/branche/umwelt-energie
- Spezifische Veranstaltungsangebote proaktiv zur Branche per Mail unter info@bayern-international.de
- Newsletter mit vielen verschiedensten Infos: Einfach registrieren via bayern-international.de/newsletter
- Übersicht über das Gesamtangebot: bayern-international.de/weltweit-dahoam

Es lohnt sich auf jeden Fall, öfter auf der Website vorbeizuschauen, da das Angebot – auch für das bestehende Jahr – laufend erweitert wird. Wir vom Bayern International Team freuen uns auf Sie! ■



Thomas Schwarz A. Eberle GmbH & Co. KG ■



Kontaktdaten:

Bayern international
 Bayerische Gesellschaft für
 Internationale Wirtschafts-
 beziehungen mbH
 Rosenheimer Str. 143c
 D-81671 München
 Telefon: +49 89 660566-0
 Fax: +49 89 660566-150
 E-Mail: info@bayern-international.de
www.bayern-international.de

GEOOTHERMIE IN BAYERN



In Zeiten des Klimawandels und der Energieknappheit ist die geothermische Nutzung auch bei hohen technischen und wirtschaftlichen Anforderungen erfolgreich.

Intelligente Energienetze und -verteilungssysteme reduzieren die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen.

Hightech für die Geothermie

Oberbayern und München sind in Deutschland führend bei der Geothermie. Aktuell laufen die Bohrungen für Bayerns 25. tiefes Geothermieprojekt. Die Tiefbohranlagen dafür sind Hightech aus Deutschland.

Geothermie ist eine erneuerbare Energie, die wetterunabhängig 365 Tage im Jahr, 7 Tage in der Woche, 24 Stunden am Tag zur Verfügung steht. Das Potenzial der Geothermie als nachhaltige und dauerhaft verfügbare Energiequelle wurde von Dr.-Ing. E.h. Martin Herrenknecht, Gründer des vor allem für seine Tunnelbohrmaschinen bekannten, weltweit aktiven Herstellers von Vortriebstechnik, schon früh erkannt. Die Herrenknecht AG hat ihren Unternehmenssitz in Schwanau (Baden-Württemberg), am südlichen Oberrhein. Wie Oberbayern ist der Oberrheingraben geologisch für die tiefe Geothermie besonders geeignet. Bereits im Jahr 2005 wurde Herrenknecht Vertical gegründet, die auf Tiefbohranlagen spezialisierte Tochtergesellschaft. ■

Viele Geothermieprojekte in Bayern

Inzwischen haben Tiefbohranlagen von Herrenknecht mehr als 56.000 Meter Bohrungen für Geothermie in Deutschland hergestellt. Bei gut einem Drittel aller bereits in Deutschland realisierten Geothermie-Vorhaben kam Bohrtechnologie des



Vortriebs-Spezialisten zum Einsatz. Oberbayern spielte dabei eine große Rolle. Beispiele in der Region sind Orte wie Kirchweidach, Traunreut, Freiham, Mauerstetten, Dürrnhaar oder Kirchstockach. Seit dem Frühjahr 2024 läuft die Bohrung für Bayerns 25. tiefes Geothermieprojekt in Polling (Landkreis Altötting), gleichfalls mit Herrenknecht-Technologie. ■

Geringer Platzbedarf, hochautomatisiert und begrenzte Geräuschemissionen

Wenn mit heißem Wasser aus der Tiefe thermische Energie für Wärme, Kälte und Strom erzeugt wird, müssen die Transportwege so kurz wie möglich sein. Insbesondere in Hinsicht auf die für die Fernwärme nötigen Leitungen ist es aus Effizienzgründen notwendig, dass sowohl der Bohrplatz als auch das Kraftwerk in der Nähe von bebauten Gebieten liegen. Das stellt besondere Anforderungen an die Bohranlage. Herrenknecht Tiefbohranlagen haben einen geringen Platzbedarf und sind hochautomatisiert. Mit ihrem hydraulischen Antrieb und dem mechanischen Handling der Rohre gelten sie als die leisesten Tiefbohranlagen auf dem Markt. ■

Maschinensteuerung mit künstlicher Intelligenz

Diesen Vorsprung baut Herrenknecht in einem Forschungsprojekt



Naturwärme Kirchweidach-Halsbach ■

gemeinsam mit der Hochschule Offenburg weiter aus. Maschinendaten und Schallentwicklung werden mit Verfahren der Künstlichen Intelligenz analysiert und für die Steuerung der Tiefbohranlage eingesetzt. Damit wird erreicht, dass die Geräuscentwicklung auf der Baustelle minimiert und gleichzeitig die Bohrung technisch effizient und damit in kürzester möglicher Bauzeit erfolgt. ■

**HERRENKNECHT
VERTICAL**

Autor:



Timo Trauth
Business
Development
Manager

Herrenknecht Vertical GmbH

Im Heidenwinkel 5
D-77963 Schwanau-Allmannsweier
Telefon: +49 7824 302-1300
E-Mail: info@herrenknecht-vertical.com

Geothermie Unterhaching und Geothermie Grünwald

Zur Wärmeversorgung und Stromerzeugung übernahm die igmPLAN für die Erdwärme Grünwald und die Geothermie Unterhaching die Generalplanung von Obertageanlage, Thermalwassertrasse, Spitzenlast- und Reserveheizwerk sowie BHKW-Anlagen.

Innerhalb des Wärmeverbunds beider Gemeinden oblag uns die Gesamtplanung der Wärmetauscher-Stationen in beiden Anlagen einschließlich Bauüberwachung.

Technische Daten Unterhaching

Wärmeleistung aus Geothermie:

ca. 36 MW (150 l/s mit 127 °C)

Wärmeleistung Spitzenlast- und Reserveheizwerk: 45 MW

Trassenlänge der Thermalwassertrasse: ca. 3,5 km als GfK-Leitung

Fernwärmenetz: > 50 km

Anschlussleistung: > 70 MW

Technische Daten Grünwald

Wärmeleistung Fernwärmeauskopplung: ca. 40 MW

Wärmeleistung Spitzenlast- und Reserveheizwerk: 20 + 10 MW

Stromerzeugung: max. 3,5 MWel (ORC-Prozess)

Die igmPLAN ist seit Projektbeginn Generalplaner für das Fernwärmenetz der Geothermie Unterhaching. Bis Ende 2027 soll der Vollausbau mit Neuerschließungen und Netzverdichtung im Bestand des geothermischen Fernwärmenetzes abgeschlossen sein. ■

Geothermie Kirchstockach BHKW-Anlage mit Wärmeauskopplung

Zur Eigenstromversorgung und Absicherung des Geothermiekraftwerks planten die Stadtwerke München den Neubau einer BHKW-Anlage sowie einer Fernwärmestation.

Die igmPLAN war mit der Gesamtplanung der BHKW-Anlage mit Integration der Anlagen in die bestehende Geothermieanlage betraut. ■



Fernwärmenetz der Geothermie Kirchweidach

Beim Fernwärmenetz der Geothermie Kirchweidach übernahm die igmPLAN die Gesamtplanung der Wärmeauskopplung aus dem Thermalwasserkreislauf, Einbindung des bestehenden Heizwerks mit Wärmetauscher-Stationen und Fernwärmenetz (Rohrleitungsbau und Bauleistungen), Planung Gebäude Obertageanlage einschließlich Bauüberwachung, Inbetriebnahmen und Abnahmen.

Technische Daten

Fernwärmenetz

Netzlänge gesamt: > 20 km

Anzahl realisierter Anschlüsse: > 350

Anschlussleistung: max. 10 MW

Nutzwärmeleistung ca. 36 MW

aus Thermalwasser

20 MW Spitzenlast- und

Reserveheizwerk ■

Obertageanlage in Kirchweidach-Halsbach

Die Naturwärme Kirchweidach-Halsbach ist mit ihrer Tiefenbohrung für geothermische Energie fündig geworden – somit kann die Planung einer geothermischen Obertageanlage beginnen. Die igmPLAN ist aktuell mit der Planung der Obertageanlage zur Auskopplung der Wärme des Thermalwassers, für die ein separates Gebäude am Bohrplatz errichtet wird, beauftragt.

Technische Daten

Wärmeleistung aus Geothermie:

ca. 30 MW (110-120 l/s mit 110 °C) ■

Wärme aus Tiefengeothermie bei der MTU in München-Allach

Die MTU Aero Engines AG plant, im Zuge einer Geothermieanlage einen Thermalwasserkreislauf mit Einbindung in ein neues Technikgebäude zu errichten. Die ersten Pumpversuche sind erfolgreich abgeschlossen. Die igmPLAN ist mit der Generalplanung des Thermalwasserkreislaufs und der Wärmeauskopplung beauftragt.

igmPLAN

Kontaktdaten:

igmPLAN GmbH
Planungsgesellschaft für
Energie- und Umwelttechnik

Ein Unternehmen in der
INGENIEURGRUPPE 

Jens Kötting
www.igmplan.de

Leuchtturmprojekt in Bayern – Geothermie neu gedacht

„Eavor-Loop™ zeigt, dass wir die gewaltigen Herausforderungen der Dekarbonisierung durch kluge Innovationen meistern können“ – Daniel Mölk, Geschäftsführer der Eavor GmbH.

Eavor bohrt „nur“ nach warmem Gestein

Während Sie diese Zeilen lesen, werden in Bayern die Weichen für eine breitere Nutzung der Geothermie bei der Energiewende gestellt. In Geretsried wird weltweit erstmals ein spezielles Verfahren der Tiefengeothermie kommerzialisiert – Eavor-Loop™ – mit dem Potenzial, ein echter Gamechanger zu werden. Die innovative Technologie, die ohne Thermalwasser auskommt, wurde in Kanada entwickelt und getestet. Sie gleicht einem unterirdischen Wärmetauscher, bei dem in einem geschlossenen System aus kilometerlangen Schleifen ein Arbeitsmittel zirkuliert und die Wärme aus dem Gestein aufnimmt. In vier bis fünf Kilometern Tiefe beträgt die Temperatur der Gesteinsformation etwa 150 bis 200 Grad Celsius. Durch Nutzung des Thermosiphoneffekts arbeitet das System besonders effizient und CO₂-frei. ■

Eavor-Loop™ in Geretsried

Das vom EU Innovation Fund geförderte und von der European Investment Bank sowie von der Japan Bank for International Cooperation, der ING Bank N.V. und der Mizuho Bank, Ltd. unterstützte Projekt wurde seit dem Spatenstich im Jahr 2022 sehr positiv aufgenommen. Im Juli 2023 begannen die vertikalen Bohrungen und Ende März 2024 war die erste Schleife in der Horizontalen fertig.

Parallel dazu entsteht eine Kraftwerksanlage vor Ort, über die der Eavor-Loop™ zunächst Strom produziert. Geplant ist, den ersten Loop Ende 2024 zu vollenden und insgesamt vier Loops und 48 Schleifen anzulegen. Dann wird der Wärmetauscher mit dem Fernwärmenetz verbunden. Bei Fertigstellung 2026 erzeugt die Anlage ca. 64 MW Wärme und 8,2 MW Strom im Jahr. ■



Expertenteam

Die Eavor GmbH ist ein Tochterunternehmen der Eavor Technologies Inc. und entwickelt geothermische Wärme- und Stromerzeugungsprojekte in Deutschland. Das Mutterunternehmen wurde 2017 in Kanada von Spezialisten aus der Energiewirtschaft gegründet. Viele wegweisende Patente in der Bohrtechnik und in der Versiegelung von Bohrlöchern bilden das Fundament der Eavor-Loop™-Technologie. Ihre Vorteile: Sie ist grundlastfähig, skalierbar, erneuerbar und regelbar. Außerdem nimmt die Anlage an der Oberfläche nur wenig Platz ein. All dies im Blick arbeitet das Team von Eavor voll Energie daran, einen Beitrag zur Energie- und Wärmewende zu leisten. Bayern hat bereits erkannt, dass dies eine Schlüsseltechnologie ist, mit der ein großer Beitrag für Klimaneutralität und deutlich mehr Energiesicherheit geleistet werden wird. ■



Eavor GmbH Kommunikation

Peter-Müller-Straße 14 | D-40468 Düsseldorf
E-Mail: info@eavor.de | www.eavor.de



NACHWACHSENDE ROHSTOFFE IN BAYERN



Die knapper werdenden Ressourcen und der gleichzeitig weltweit steigende Energiebedarf machen die energetische Biomassennutzung wieder attraktiver. Nachwachsende Rohstoffe spielen eine wichtige Rolle bei der Umstellung auf nachhaltige Energiesysteme und gestalten die Kreislaufwirtschaft effizienter.

Die Energie- und Rohstoffwende gelingt mit Nachwachsenden Rohstoffen

– Forschung, Förderung, Wissenstransfer am TFZ

Nachwachsende Rohstoffe sind klimafreundlich und schaffen Unabhängigkeit von fossilen Energien und Rohstoffen. Aus ihnen lassen sich Strom, Wärme, Kraftstoffe und erneuerbare Materialien erzeugen. Wichtige Grundlagen dafür schafft die Forschungsarbeit des Technologie- und Förderzentrum (TFZ) in Straubing – eine Einrichtung des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus. Am TFZ wird das Wissen einem breiten Publikum zugänglich gemacht. Im Frühjahr 2023 eröffnete das Mitmach-Museum „NAWAREUM“, bei dem u.a. Nachwachsende Rohstoffe interaktiv und spielerisch erlebt werden können.

Seit der Ölkrise 1973 wird am TFZ mit seinen Vorgängereinrichtungen an der energetischen und stofflichen Nutzung von Biomasse geforscht. Mit dem erarbeiteten Wissen und Können wird die Energie- und Rohstoffwende vorangetrieben – so gelingt Umwelt- und Klimaschutz. Der Artikel gibt einen beispielhaften Überblick über die Facetten der Forschung, Förderung und des Wissenstransfers am TFZ. ■

Spritzbares Mulchmaterial im Wein-, Obst- und Gemüsebau als wirksame Alternative zur Unkrautunterdrückung

Am TFZ forscht ein Team an erneuerbaren Materialien aus Nachwach-

senden Rohstoffen. Um Plastikmüll und Herbizide im Wein-, Obst- und Gemüsebau zu vermeiden, wurde ein aufspritzbares Mulchmaterial entwickelt. Es besteht hauptsächlich aus Pflanzenöl, Stärke sowie Wasser und sorgt für eine wirksame Unkrautunterdrückung. Um das Mulchmaterial bestmöglich aufzutragen, konstruierten die Wissenschaftler in Kooperation mit Industriepartnern ein Applikationsgerät gleich mit. Es wird am Traktor angebaut und vermischt die flüssigen Komponenten während des Aufspritzens. Auf dem Boden härtet das Material aus und bildet eine physikalische Barriere für Beikräuter. Nach der Funktionszeit baut sich das Mulchmaterial vollständig biologisch ab – ohne Rückstände im Boden zu hinterlassen. ■



Das Mulchmaterial wird auf einer Obstplantage aufgespritzt (Bild: TFZ) ■

Klimafreundliche Antriebe für Land- und Forstmaschinen



TFZ-Wissenschaftler analysieren die Abgase eines Traktors (Bild: Tobias Hase/StMELF) ■

Mit erneuerbaren Kraftstoffen aus Nachwachsenden Rohstoffen lassen sich Treibhausgasemissionen einsparen. Zudem können sie die Abhängigkeit von fossilen Kraftstoff-Importen verringern. Die Forschungsarbeiten am TFZ umfassen die Herstellung, Qualität und Bewertung etablierter und neuer Kraftstoffalternativen sowie deren Einsatz in Land- und Forstmaschinen.

„Arbeiten in der Land- und Forstwirtschaft sind so unterschiedlich wie die Maschinen, mit denen sie verrichtet werden: Für den Antrieb von Hofladern, Traktoren, Häckslern und Mähdreschern kam bisher fast nur Dieselkraftstoff zum Einsatz. Mit Partnern aus Industrie und Forschung untersuchen wir, wie erneuerbarer Strom und verschiedene erneuerbare Kraftstoffe in Land- und Forstmaschinen künftig Verwendung

finden können: praxisingerecht, kostengünstig und klimafreundlich“, so Dr. Edgar Remmele, Leiter der Abteilung Erneuerbare Kraftstoffe und Materialien.

Im Praxistest mit 30 Landmaschinen, die über 100.000 Betriebsstunden in Betrieb waren, zeigte sich: Die Maschinen funktionieren mit erneuerbaren Kraftstoffen wie Rapsölkraftstoff, Biodiesel und paraffinischem Diesel (HVO) genauso zuverlässig wie mit fossilem Diesel. ■

Weniger Holzverbrauch und Feinstaubausstoß durch korrekte Ofenbedienung

Holz ist ein erneuerbarer und heimischer Brennstoff der vielseitig eingesetzt werden kann. Scheitholz wird z.B. gern in Kamin- oder Kachelofen verwendet. Die TFZ-Forschung zeigt: durch richtiges Bedienen kann man unnötige Wärmeverluste über den Schornstein vermeiden und Emissionen wie Feinstaub deutlich verringern. Für den Ofenbesitzer ist eine korrekte Ofenbedienung wirtschaftlich und sorgt für gute Luftqualität. Dazu wurde am TFZ eine Schulung für Ofenbetreiber entwickelt.



Am Feuerungsprüfstand wird das Betriebsverhalten des Ofen untersucht (Bild: TFZ) ■

„Wir haben Vergleiche mit 6 Testpersonen gemacht. Sie wurden gebeten, vor und nach unserer Schulung zum richtigen Heizen einen Kaminofen zu bedienen – also Anheizen und Nachlegen. Im Mittel hat der gleiche Ofen nach der Schulung 82 % weniger Staub und 68 % weniger organische Kohlenstoffemissionen ausgestoßen“, erklärt Dr. Hans Hartmann, Leiter der Abteilung Biogene Festbrennstoffe am TFZ. ■

nen ausgestoßen“, erklärt Dr. Hans Hartmann, Leiter der Abteilung Biogene Festbrennstoffe am TFZ. ■

Der Freistaat Bayern fördert Projekte zur energetischen und stofflichen Nutzung von Biomasse. Diese werden am TFZ vom „Förderzentrum Biomasse“ betreut und vollzogen:

- „BioWärme Bayern“ – Fördert die Errichtung von Biomasseheizwerken und zugehörige Wärmenetze
- „BioMeth Bayern“ – Fördert die Erzeugung von Biomethan, um es als Kraftstoff oder für Strom und Wärme zu nutzen
- „DemoPyro“ – Fördert Pyrolyse-Demonstrationsanlagen, um Pflanzenkohlen herzustellen und Kohlenstoff langfristig zu speichern

Hohe Erträge trotz Trockenheit in Bayern – Sorghum ist die Energiepflanze der Zukunft

Biogasanlagen produzieren Strom und Wärme aus Energiepflanzen. Jedoch zeigen die letzten Jahre, dass sich die Anbaubedingungen für Pflanzen verändern. Mit der Erforschung von Sorghum am TFZ durch die Abteilung Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse wird eine vielversprechende Pflanzenart untersucht: Sie liefert als trockentolerante und nährstoffeffiziente Energiepflanze auch unter schwierigen klimatischen Bedingungen stabile und hohe Erträge.

„Neben Sorghum forschen wir noch an weiteren Kulturen im Pflanzenbau wie beispielsweise Nutzhanf oder Dauerkulturen wie die Durchwachsene Silphie. Wir möchten der Landwirtschaft Antworten geben auf die Frage, welche Pflanzen bei uns zukünftig Rohstoffe und Energie liefern können. Dabei ist uns wichtig, dass wir nicht nur das Kulturartenspektrum auf dem Acker erweitern, sondern die Kulturen auch ökonomisch und ökologisch Sinn ergeben“, so die Abteilungsleiterin Dr. Maendly Fritz. ■

misch und ökologisch Sinn ergeben“, so die Abteilungsleiterin Dr. Maendly Fritz. ■



Am TFZ werden Interessierte zu den Eigenschaften von Sorghum beraten (Bild: TFZ) ■

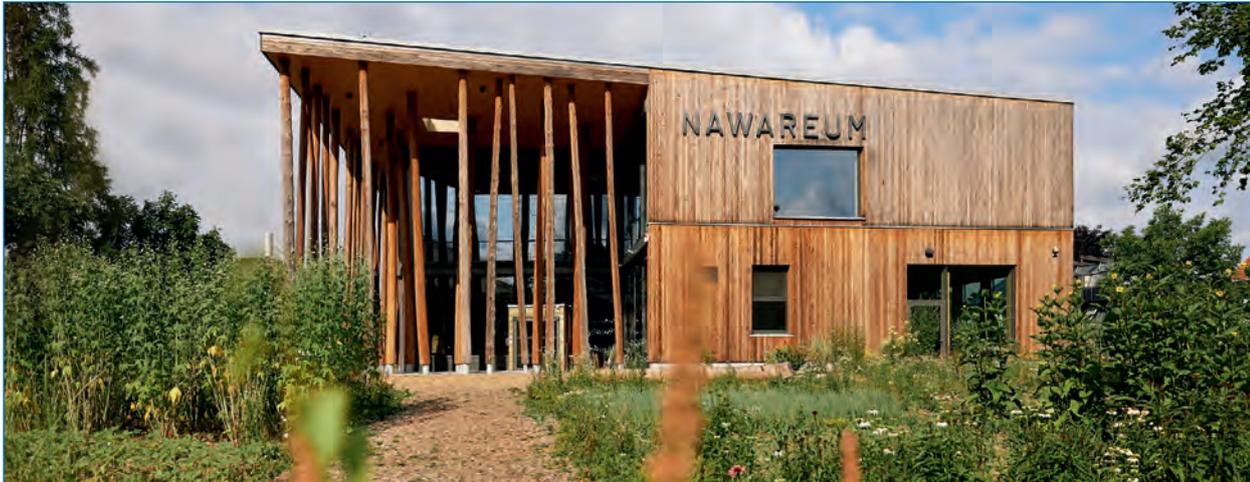
Mit Bewertung zum Erfolg: Treibhausgase einsparen und wirtschaftlich bleiben

Für die unterschiedlichen nachwachsenden Rohstoffe werden am TFZ Umweltwirkungen und Treibhausgasemissionen analysiert und bewertet. Wie hoch sind Emissionen und andere Umweltwirkungen im Anbau und bei der Nutzung? Wie lassen sich diese reduzieren? Handlungsempfehlungen sind jedoch kaum allgemeingültig. Die landwirtschaftliche Produktion hängt von regionalen Gegebenheiten wie der Bodengüte und klimatischen Faktoren ab. Diese müssen bei der Umsetzung von Maßnahmen berücksichtigt werden.



Daten für die Treibhausgasbilanzierung werden direkt auf dem Feld erhoben (Bild: Angelika Warmuth/StMELF) ■

„Gemeinsam mit Wissenschaftlern aus ganz Deutschland haben wir konkrete Empfehlungen für Landwirte erarbeitet, um Treibhausgase einzusparen und wirtschaftlich zu bleiben. Basierend auf unseren Forschungsergebnissen raten wir zum



Das NAWAREUM ist ein Erlebnisort für Kinder und Erwachsene (Bild: NAWAREUM/Franziska Schrödinger) ■

zusätzlichen Anbau von Zwischenfrüchten und Leguminosen. Das verringert die Treibhausgase in der Landwirtschaft und reduziert die Nitratbelastung der Böden“, so Dr.-Ing. Daniela Dressler, Leiterin der Abteilung Systembewertung Nachwachsender Rohstoffe. ■

Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Gesellschaft – das Mitmach-Museum NAWAREUM

Das erforschte Wissen für Praxis, Politik und Gesellschaft verständlich aufzubereiten ist dem TFZ seit seiner Gründung ein starkes Anliegen. Dr. Bernhard Widmann, Leiter des TFZ, stieß deshalb die Idee für das Mitmach-Museum NAWAREUM an, um die Bevölkerung ganzheitlich und begeisternd über Nachhaltigkeit und Erneuerbare Energien zu informieren. Mit Finanzierung des Freistaats Bayern konnte das NA-

WAREUM realisiert werden, das im Frühjahr 2023 am TFZ-Standort in Straubing eröffnet wurde.

In einer interaktiven Dauerausstellung vermittelt das NAWAREUM, wie ein nachhaltiger Umbau von Wirtschaft und Gesellschaft zur Sicherung der Lebensgrundlagen aussehen kann. Neben den Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels und von Umweltbelastungen erfahren Besucherinnen und Besucher, welche Bedeutung die Energie- und Rohstoffversorgung für den Klimaschutz hat und wie jeder Einzelne mit seinem Konsumverhalten dazu beitragen kann. Ergänzt wird die Dauerausstellung durch Pädagogikangebote, Workshops, Fachvorträge und kulturelle Veranstaltungen für alle Altersklassen. Dass die Angebote gut ankommen, belegen über 70.000 Gäste im ersten Jahr. ■



Autor:



Johannes
Bodensteiner

Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für
Nachwachsende Rohstoffe
(TFZ)

Schulgasse 18
D-94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
www.tfz.bayern.de

Interessierte können sich zum Einsatz von Nachwachsenden Rohstoffen in der Abteilung Wissenstransfer beraten lassen. Dazu werden Online-Veranstaltungen wie „Heizen mit Holz“, „Mehrjährige Energiepflanzen in Bayern“ oder „Was tanken Traktoren morgen?“ angeboten.

In der Dauerausstellung Biomasseheizungen sind mehr als 80 Holz-Zentralheizungen verschiedenster Hersteller ausgestellt. Unter den Anlagen befinden sich klassische Scheitholz-, Pellet- und Hackschnitzel-Heizungen. Anhand von Datenblättern und Infomaterialien der Hersteller können die Heizungen miteinander verglichen werden.

Der TFZ-Newsletter „Nachwachsende Rohstoffe im Fokus“ erscheint monatlich mit aktuellen Meldungen, Publikationen und Terminen und informiert regelmäßig über die neuesten Erkenntnisse aus der TFZ-Forschung. Informieren Sie sich unter www.tfz.bayern.de und www.landschaftenergie.bayern.de

„Neuer“ Organismus wird fit für die Biotechnologie

Grundlage für Bioprozesse der nächsten Generation

Bernsteinsäure dient als wichtiger Ausgangsstoff für Chemikalien in der Pharmazie und Kosmetik, aber auch als Baustein für biologisch abbaubare Kunststoffe. Sie wird derzeit hauptsächlich aus petrobasierten Prozessen gewonnen. Forschende am Campus Straubing der Technischen Universität München (TUM) verwenden das Meeresbakterium *Vibrio natriegens* als Biokatalysator. Damit könnte sich Bernsteinsäure in nachhaltigen Produktionsverfahren aus nachwachsenden Rohstoffen herstellen lassen.

Schnell wachsendes Meeresbakterium

Das Meeresbakterium *Vibrio natriegens* zeichnet sich durch ein extrem schnelles Wachstum aus. Es ist der schnellst wachsende, nicht krankheitsregende Organismus, der bislang bekannt ist. Damit einher geht seine Fähigkeit, Substrate – die Ausgangsstoffe der Katalyse – sehr schnell aufzunehmen. „Wir arbeiten mit Hochdruck daran, *Vibrio natriegens* in der Biotechnologie zu etablieren“, sagt Bastian Blombach, Professor für Mikrobielle Biotechnologie an der TUM.

Das Team von Prof. Blombach am TUM Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit arbeitet daran, mithilfe dieses Meeresbakteriums Produktionsprozesse zeiteffizienter und somit Ressourcen-schonender gestalten zu können sowie die benötigte Größe von biotechnologischen Anlagen zu verringern. ■

Meeresbakterium hilft bei der Herstellung der Bernsteinsäure

Die Forscherinnen und Forscher konnten nun am Beispiel der Bernsteinsäure das Potenzial dieses Meeresbakteriums aufzeigen. Bernsteinsäure ist organisch und kommt in fossilen Harzen wie Bernstein oder auch in Braunkohle vor. In der Natur ist die Säure zum Beispiel in unreifen Weintrauben, Rhabarber oder Tomaten zu finden.

Im Stoffwechsel aller Organismen kommt Succinat, das Salz der Bernsteinsäure, beim Abbau von Glukose als Zwischenstufe vor. Das natürliche Vorkommen der Bernsteinsäure im Stoffwechsel wird in der Biotechnologie nun genutzt, um sie gezielt durch Mikroorganismen wie dem von den Forschenden eingesetzten Meeresbakterium herstellen zu lassen. Dazu ist ein Verständnis der Stoffwechselleistung mikrobieller Plattformen wie *Vibrio natriegens* wesentlich. ■

Potenzial für die industrielle Biotechnologie

Das Team um Prof. Blombach nutzt Methoden des Metabolic Engineerings, um solche neuartigen mikrobiellen Systeme für die industrielle Biotechnologie zu entwickeln. Mittels moderner Methoden des Genetic Engineerings können dann maßgeschneiderte Zellfabriken entstehen. Wie die Forschenden bei der Herstellung von Bernsteinsäure vorgegangen sind, erklärt Dr. Felix Thoma, Wissenschaftler an der Professur für Mikrobielle Biotech-



nologie und Erstautor der Studie: „Wir haben Plastikröhrchen mit einer Salzlösung gefüllt, in der *Vibrio natriegens* sich wohl fühlt, Glukose hinzugegeben und das Ganze luftdicht verschlossen. In Abwesenheit von Sauerstoff haben die Bakterien dann den Zucker und das im Medium gelöste CO₂ zu Bernsteinsäure umgesetzt. Dieser Vorgang war nach etwa zwei bis drei Stunden abgeschlossen.“

Im weiteren Verlauf der Studie haben die Forschenden die Experimente im Bioreaktor durchgeführt. Dort konnten sie zusätzlich den pH-Wert kontrollieren, denn durch die Bildung der Säure wird dieser sonst mit der Zeit unwirksam. Außerdem konnten sie genügend Substrate „nachfüttern“. ■



Ein Bakterium auf dem Weg zum wichtigen Prozesspartner

Bernsteinsäure zählt zu den zwölf zentralen Produkten, die zukünftig biotechnologisch hergestellt werden könnten, um einer petrochemischen Darstellung Konkurrenz zu machen. „Nur zwei Jahre Entwicklungsarbeit mit dem Meeresbakterium haben zu vergleichbaren Leistungsmerkmalen geführt, wie sie andere Systeme nach 15 bis 20 Jahren aufweisen. Damit ist das Meeresbakterium ein neuer potenter Akteur in der industriellen Biotechnologie“, sagt Thoma. Durch gezielte genetische Modifikation ist es dem Forschungsteam gelungen, den Stoffwechsel dieses Bakteriums so zu optimieren, dass Glukose effizient in Bernsteinsäure umgesetzt wird - und das mit sehr

hoher Produktivität. „Auf dem Weg zu einem industriell relevanten Prozess muss hinsichtlich der Prozessführung noch einiges getan werden“, sagt Prof. Blombach. Jetzt konzentriert sich das Forschungsteam auf die Prozessentwicklung mit *Vibrio natriegens* und die Nutzbarkeit nachwachsender Rohstoffe und Abfallströme, die nicht mit der Lebensmittelindustrie konkurrieren. ■

Publikationen

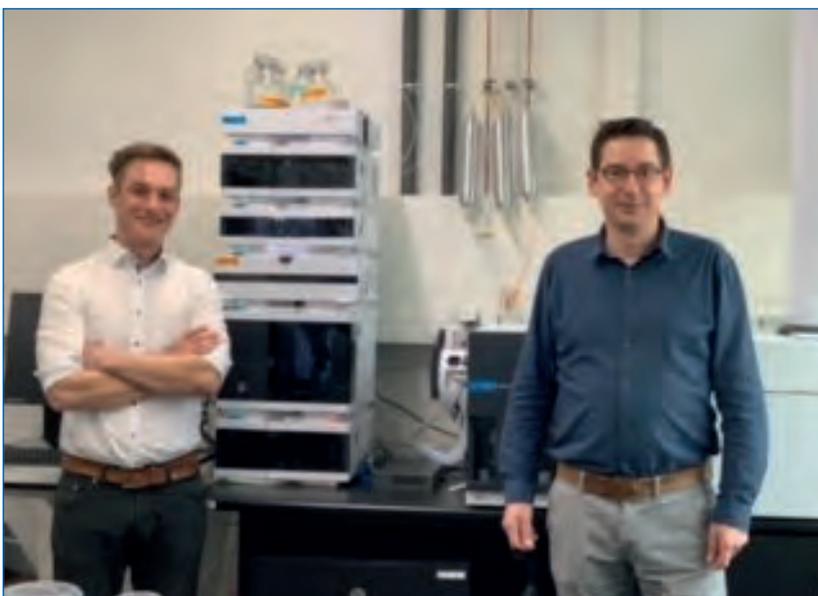
Felix Thoma, Clarissa Schulze, Carolina Gutierrez-Coto, Maurice Hädrich, Janine Huber, Christoph Gunkel, Rebecca Thoma & Bastian Blombach (2021): Metabolic engineering of *Vibrio natriegens* for anaerobic succinate production. In: *Microbial Biotechnology*.

Eugenia Hoffart, Sebastian Grenz, Julian Lange, Robert Nitschel, Felix Müller, Andreas Schwentner, André Feith, Mira Lenfers-Lücker, Ralf Takors & Bastian Blombach (2021): High substrate uptake rates empower *Vibrio natriegens* as production host for industrial biotechnology. In: *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 83, No. 22.

Felix Thoma & Bastian Blombach (2021): Metabolic engineering of *Vibrio natriegens*. In: *Essays Biochem* (2021) 65 (2): 381–392. ■

Weitere Informationen und Links

Die Studie wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. ■



Kontaktdaten:

Technische Universität München

Arcisstraße 21
D-80333 München
Telefon: +49 89 289 01
Fax: +49 89 289 22000
www.tum.de

Ihr kompetenter Partner für die Energiewende

- Kraftwerkstechnik
- Heizwerke
- Wärmespeicher
- Wärmepumpen
- Power-to-Heat-Anlagen

Biomasse-Heizkraftwerk in Rheinland-Pfalz

Als Ersatz für das bestehende Heizkraftwerk wird bei einem namhaften Unternehmen zur Wärme- und Stromerzeugung ein Biomasse-Heizkraftwerk errichtet. Das Projekt steht kurz vor der Inbetriebnahme – die igmPLAN ist mit der Gesamtplanung des Biomasse-Heizkraftwerks mit Brennstofflagerhalle, Biomassekesselhaus, Dampfzentrale, Elektro- und Sozialgebäude, 20 kV-Schaltanlagen sowie Ver- und Entsorgungseinrichtungen beauftragt.



Technische Daten

Biomasse-Dampferzeuger: 55 MW
 Dampfturbosatz: ca. 15 MVA
 3 Spitzenlast- und Reservekessel:
 18 und 24 MW
 3 Notstromaggregate mit jeweils
 ca. 2,5 MVA ■

Biomasse-Heizkraftwerk und Wärmespeicher für die Fernwärme Ulm

Zum weiteren Ausbau der ökologischen Fernwärmeversorgung mit nachwachsenden Rohstoffen durch Substitution von Kohle, Öl oder

Erdgas plante die Fernwärme Ulm GmbH (FUG) mit dem BioHKW II die Errichtung eines weiteren Biomasseheizkraftwerks.

Die igmPLAN war mit der Gesamtplanung der Kraftwerksanlage einschließlich Bautechnik und Tragwerksplanung beauftragt.

Technische Daten

Biomassekessel für Frisch- und Altholz Kat. A I und A II: 25 MW
 Dampfleistung: 27,5 t/h
 Frischdampfdaten: 78 bar, 480 °C
 Entnahme-Kondensationsturbine:
 5 MWeI

Dampfauskopplung zur Fernwärmeversorgung

Derzeit plant die FUG eine Fernwärmestation mit einem Zwei-Zonen-Wärmespeicher. Mit einer Höhe von 84 m sollen in dem Turm 37.000 m³ Wasser die Wärme speichern. Die igmPLAN ist mit Teil-Planungsleistungen beauftragt. ■

Heizwerk zur Wärmeversorgung in Springe

Die Stadtwerke Springe haben sich die regenerative Fernwärmeversorgung zur Aufgabe gemacht. Das errichtete Wärmenetz wird durch ein überwiegend mit naturbelassenem Holz befeuerten Heizwerk sowie durch die Anbindung der bei Baubeginn bereits bestehenden Biogasanlage versorgt.

Die igmPLAN übernahm die Gesamtplanung des Heizwerks mit Holzlager.

Technische Daten

Biomassekessel für naturbelassenes Holz: 2,5 MW



Gaskessel zur Spitzenlastabdeckung: ca. 3 MW
 P2H-Anlage: 2 MWeI
 Wärmespeicher: 2 x 100 m³ ■

Machbarkeitsstudie Nahwärmenetz der Gemeinde Bernried

Die Gemeinde Bernried plant zur regenerativen Wärmeversorgung einen Wärmeverbund in mehreren Bauabschnitten. Die Energieerzeugung soll über eine modulare Anlagentechnik mit Wärmepumpen, Solar- und PV-Anlagen erfolgen.

Die igmPLAN ist mit einer dementprechenden Machbarkeitsstudie beauftragt, Hierbei soll auch beurteilt werden, ob die Veredelung von biogenen Reststoffen und getrocknetem Klärschlamm zu Biokohle, Wasserstoff und Methan umsetzbar ist. ■

igmPLAN

Kontaktdaten:

igmPLAN GmbH
Planungsgesellschaft für
Energie- und Umwelttechnik

Ein Unternehmen in der
 INGENIEURGRUPPE 

Jens Kötting
 www.igmplan.de

WASSERSTOFF IN BAYERN



Klimaneutralität mit „grünem Wasserstoff“ zu erreichen ist ein großes Ziel.

Durch den Einsatz von Wasserstoff lassen sich Klimaschutz und Mobilität auf ideale Weise vereinen.

Wasserstoff spielt für eine nachhaltige Energiezukunft eine entscheidende Rolle. Das spiegelt sich besonders in den Bereichen Elektrollysetechnologie und Wasserstoffspeicherung wider.

Zukunftstechnologie Wasserstoff – was war und was sein wird

Der Countdown läuft. 16 Jahre bleiben noch, um das große Ziel, die Klimaneutralität, bis 2040 zu erreichen. Grüner Wasserstoff gilt als zentrale Maßnahme. Damit bayerische KMUs hier gut am Start sind, bietet Bayern International eine Vielzahl von Veranstaltungen.

Die Wasserstofftechnologie hat in den letzten Jahren eine bedeutende Entwicklung erlebt und wird zunehmend als Schlüsseltechnologie für eine klimaneutrale Industriegesellschaft betrachtet. Wasserstoff bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, angefangen bei der Speicherung erneuerbarer Energien über den Einsatz als Kraftstoff in der Mobilität bis hin zur industriellen Nutzung in der Industrie. ■

Führende Bayerische Wasserstofftechnologie als Exportschlager

Bayern ist besonders im Bereich der Elektrolysetechnologie und der (chemischen) Wasserstoffspeicherung und -konversion weltweit führend. Ebenso existieren in Bayern zahlreiche Unternehmen, die sich im breiten Feld Wasserstoff engagieren. Nur um eine Vorstellung zu bekommen: Deutlich über 40 Prozent der bayerischen Beschäftigten des verarbeitenden Gewerbes sind in Wirtschaftszweigen tätig, die für Wasserstofftechnologien relevant sind. Gerade in gebündelter Form liegt in diesem technologischen Knowhow ein enormes wirtschaftliches Potenzial. Gleichzeitig sind in Bayern selbst die Kapazitäten zur Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse aufgrund der begrenzten erneuerbaren Energiequellen gering. Die Suche nach verlässlichen Impartnern ist daher essenziell. ■



Die 30 köpfige Delegation reiste Mitte Februar 2023 nach Saudi-Arabien und Bahrain. ©STMWI ■

High-Tech, Innovation und Klimaschutz: Die Bayerische Wasserstoffstrategie

Als Dreh- und Angelpunkt dient das Wasserstoffbündnis Bayern, eine gemeinsame Vernetzungs- und Wissensplattform von mittlerweile 366 Wasserstoff-Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik mit einem Sitz in Bayern. Das Bündnis wird durch das Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B) koordiniert. H2B begleitet intensiv die bayerische Wasserstoffstrategie, schafft Technologietransfer, sorgt für nationale und internationale Vernetzung und versucht durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit die allgemeine Wahrnehmung dieser neuen Technologie und ihrer Perspektiven zu steigern. ■

Arabische Welt, Südamerika oder ganz woanders?

Bayern International ist eine gute Adresse für Vernetzung zum Thema Wasserstoff

Bayern International bietet laufend interessante Vernetzungsangebote für Firmen, die sich mit dem Thema Wasserstoff beschäftigen, an. Schon



Die Reise nach Saudi-Arabien und Bahrain war die Fortführung einer Serie an Delegationsreisen u.a. nach Dubai und in den Oman auf der arabischen Halbinsel. ©STMWI ■



Quelle: STMWI © Mariana Ivanovska ■

2023 fand eine Delegationsreise nach Saudi Arabien und Bahrain statt. Unter dem Titel „EXPLORING WASTE, WATER AND HYDROGEN OPPORTUNITIES“ and erst kürzlich eine Delegationsreise in den Oman und in die Vereinigten Arabischen Emirate statt.

Im Herbst, nämlich vom 5.-13. Oktober, führt eine Delegationsreise nach Brasilien. Das Land, das oft als das Tor zu Südamerika bezeichnet wird, fördert umweltfreundliche Lösungen stark und forciert zunehmend saubere Energiequellen. Für die Produktion, Nutzungen und den Export von **grünem Wasserstoff** besteht ein exzellentes Potenzial. ■

Tokio 2025 – Die Chance, beim Epizentrum der Wasserstofftechnologie dabei zu sein

Besonders spannend wird die World Smart Energy Week in Tokio in Japan, in deren Rahmen die 21. International Hydrogen and Fuel Cell Expto stattfindet. Es handelt sich um die weltweit größte Messe für neueste Technologien zu Wasserstoff und Brennstoffzellen. Hier ist Bayern International mit einem Gemeinschaftsstand vertreten. Die Veranstaltung findet vom 19.-21. Februar 2025 statt. Das Interesse an einer

Teilnahme kann bekundet werden über die Website (bayern-international.de) mit dem Veranstaltungstitel: WORLD SMART ENERGY WEEK - FC EXPO 2025. ■

Gemeinschaftsstand – wie geht das?

Wie konkret ein Gemeinschaftsstand aussieht, das können Sie schon jetzt auf der EFCF von 2.-5. Juli in Luzern in der Schweiz oder bei der European Hydrogen Week von 18.-22. November in Brüssel auf sich wirken lassen. Hier ist Bayern International mit einem Stand und einigen Veranstaltungen vertreten. Weitere Infos und Beispiele zu den Gemeinschaftsständen zeigt die Website mit der URL: bayern-international.de/messen ■

Sie wollen gefunden werden? – Ein Eintrag in der Key to Bavaria-Firmendatenbank (KTB)

Um gerade kleineren und mittleren Unternehmen zu mehr Sichtbarkeit zu verhelfen, gibt es die KTB-Firmendatenbank (Website: keytobavaria.de). Hier können sich bayerische Firmen – nicht nur zum Thema Wasserstoff – mit ihrem Unternehmen, Produkten und Dienstleistungen kostenlos eintragen, um von ausländischen Interessenten gefunden zu werden.

Generell lohnt es sich, die zahlrei-

chen innovativen Veranstaltungen und Formate zu nützen. Kommen Sie doch regelmäßig bei uns vorbei! Weitere Infos unter: bayern-international.de, Branchenauswahl: Wasserstoffwirtschaft ■

Bayern
International

Kontaktdaten:

*Bayern international
Bayerische Gesellschaft für
Internationale Wirtschafts-
beziehungen mbH*

Rosenheimer Str. 143c

D-81671 München

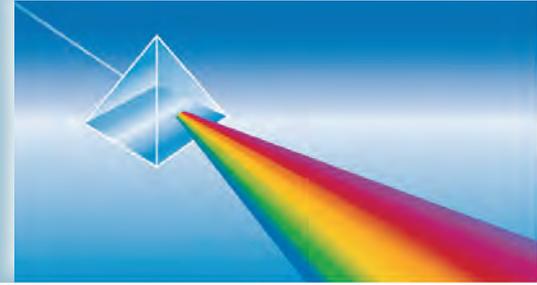
Telefon: +49 89 660566-0

Fax: +49 89 660566-150

E-Mail: info@bayern-international.de

www.bayern-international.de

KUMAS – Kompetenzzentrum Umwelt e.V.



KUMAS
UMWELTNETZWERK

25 Jahre wachsende Umweltkompetenz

UMWELTNETZWERK für Bayern

Das KUMAS UMWELTNETZWERK mit Sitz in Augsburg feiert im Jahr 2023 sein 25jähriges Bestehen! Ziel des im Jahr 1998 gegründeten Netzwerks ist die Förderung innovativer Umwelttechnologien und die Vernetzung der bayerischen Umweltkompetenzen. Wirtschaft, Kommunen, Kammern, Wissenschafts- und Bildungseinrichtungen arbeiten zu diesem Zweck vertrauensvoll zusammen. Wichtige Elemente der Arbeit von KUMAS sind der Wissenstransfer, der Erfahrungsaustausch, Informations- und Kontaktvermittlung sowie die nachhaltige Kooperation. Neben der Einhaltung und Weiterentwicklung gängiger Umweltstandards stellen die effiziente Nutzung von Energie und Ressourcen sowie der Klimaschutz wichtige Zukunftsaufgaben dar. Umweltkompetenz ist die wichtigste Voraussetzung, um Produktionsstandorte und die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. KUMAS leistet auch für Kommunen wertvolle Arbeit, wenn es darum geht, das Umweltbewusstsein zu stärken und die natürlichen Lebensgrundlagen zu erhalten. ■

Erfolgreiche Arbeit für Bayern

Bayerisch-Schwaben ist eine starke Wirtschaftsregion. Mit Kontinuität in der Zusammenführung und För-



Auszeichnung der offiziellen KUMAS-Leitprojekte im MAN Museum der MAN Energy Solutions SE ■

derung des Know-hows umweltrelevanter Einrichtungen, Unternehmen und Kommunen leistet KUMAS einen wichtigen Beitrag und bietet allen Mitwirkenden Chancen und Vorteile. Von Augsburg aus vernetzt KUMAS mit seinen Veranstaltungen und Angeboten die bayerische Umweltwirtschaft und Kompetenzträger



Die Auszeichnung „KUMAS-Leitprojekt“ spiegelt das breite Spektrum der Umweltkompetenz wider ■

in einem wichtigen Technologie und Wirtschaftszweig. Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU), die Universität Augsburg, die Hochschule für Angewandte Wissenschaften und die Mitglieder leisten dabei einen wichtigen Beitrag, wie zum Beispiel das bifa Umweltinstitut, das eza!–Energie- und Umweltzentrum Allgäu und viele weitere Partner wie z. B. C.A.R.M.E.N. e. V. in Straubing. ■

Umweltbildung – Fundament der Nachhaltigkeit

Zusammen mit Universitäten, Hochschulen für angewandte Wissenschaften, Berufsschulen, Technikerschulen, den Akademien der Kammern und vielen weiteren Bildungseinrichtungen treibt KUMAS



Amtschef, Ministerialdirektor Dr. Christian Barth besucht Fachaussteller der Bayerischen Abfall- und Deponietage 2022 ■

die wohl wichtigste Investition in die Zukunft voran: Die Steigerung der Umweltkompetenz und grundlegendes Basiswissen für die nachfolgenden Generationen in neuen Studiengängen und berufs begleitenden Fortbildungsprogrammen. ■

KUMAS-Fachkongresse und Messebeteiligungen

KUMAS hat mit den Bayerischen Abfall- und Deponietagen, den Bayerischen Immissionsschutztagen und den Bayerischen Wassertagen weit über Bayern hinaus bekannte, erfolgreiche Fachkongresse etabliert. Auf internationalen Umweltmessen wie der IFAT in München ist KUMAS schon seit Jahren mit einem Gemeinschaftsstand für Mitglieder vertreten. ■

Integration und Kooperation durch Netzwerkformate

Das breite KUMAS-Serviceangebot mit Informationen, Beratungen, Erfahrungsaustausch und Kooperationsanbahnungen sorgt in Arbeitsgruppen und Netzwerktreffen für die weitere Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Umweltwirtschaft in der Region und ganz Bayern. ■

Zukunftstechnologie Wasserstoff

KUMAS vereinigt unter seinem Dach etliche Mitglieder, die sich mit der Entwicklung und Anwendung von Wasserstofftechnologien beschäftigen. Augsburg und Bayerisch Schwaben haben in diesem Bereich

viel zu bieten, wie die 1. Regionale Zukunftskonferenz Wasserstoff im Dezember 2022 im Technologiezentrum des Innovationsparks Augsburg zeigte. Das Konsortium, bestehend aus der Stadt Augsburg, den Landkreisen Augsburg und Aichach-Friedberg, des MRM der Universität Augsburg und der Hochschule Augsburg, IHK Schwaben, Handwerkskammer für Schwaben und dem Augsburg Innovationspark konnte dazu 140 Teilnehmer begrüßen. Projektträger und Multiplikatoren sendeten unter der Moderation von KUMAS ein starkes Signal aus der Wasserstoffkompetenzregion Augsburg/Bayerisch-Schwaben an die Welt. ■

KUMAS-Leitprojekte und Deutscher Umweltpreis

KUMAS verleiht schon seit 1998 jährlich die Auszeichnung „Offizielles Leitprojekt des KUMAS UMWELTNETZWERKS“. Verfahren, Produkte, Dienstleistungen, Konzepte, Entwicklungen oder Forschungsprojekte werden gewürdigt, die mit besonderem Vorbildcharakter geeignet sind, Umweltkompetenz zu demonstrieren. KUMAS ist außerdem vorschlagsberechtigte Institution für den Deutschen Umweltpreis der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. ■



KUMAS-Gemeinschaftsstand auf der IFAT 2022 in München ■

Kontakt:



Thomas
Nieborowsky

KUMAS -
Kompetenzzentrum Umwelt e. V.

Thomas Nieborowsky
Am Mittleren Moos 48
86167 Augsburg
Telefon 0821-450781-0
info@kumas.de

Notwendige Forschungen und Entwicklungen zur Erschließung einer effizienten Energieversorgung mit Wasserstoff-Technologien

Ausgangslage

Es ist allgemein akzeptiert, dass nur Wasserstoff als CO₂-freier Träger für Energie in Frage kommt. Diese Erkenntnis hat weitreichende Konsequenzen: die gesamte Wirtschaft, die Mobilität und die Wärmeversorgung sind auf Wasserstoff umzustellen. Da sind sehr hohe Investitionen notwendig und mannigfaltige Probleme zu lösen. Der Umstellungsprozess wird Jahrzehnte dauern und somit einen langen Atem erfordern. Es ist daher zwingend, einen graduellen Übergang zu finden. Den Schalter einfach auf Wasserstoff umzulegen, ist unmöglich. Auf jeden Fall ist es einfacher und kostengünstiger, CO₂ zu vermeiden als aus der Luft zu holen, nachdem man CO₂-produzierende Energieträger benutzt hat. Hinzu kommt die Frage, wo man das abgetrennte CO₂ lagern soll, denn es handelt sich um gigantische Mengen. ■

Wasserstoffgewinnung

Der Grund, warum Erdgas (Methan, CH₄) so billig ist, ist die Tatsache, dass man das Gas in der Erde findet. Man muss nur ein Loch bohren und oft kommt das Methan von allein an die Oberfläche. Das ist bei Wasserstoff anders, daher kann Wasserstoff nie so billig wie Methan sein. Nur in seltenen Fällen kommt Wasserstoff in der Erde vor. Ein Beispiel ist Mali, wo der Wasserstoff verunreinigt mit anderen Gasen aus der Erde gefördert werden kann („weißer

Wasserstoff“). Es bleibt nur noch das Problem, wie der Wasserstoff zu den Industriezentren dieser Welt transportiert werden kann. Die heutige Basistechnologie ist, Wasserstoff aus Erdgas=Methan herzustellen. Dabei wird der Kohlenstoff des Methans zu CO₂, daher ist dieser Wasserstoff nicht „grün“ sondern „grau“ und hilft nicht gegen den Klimawandel. Eine weitere Möglichkeit ist es, Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser zu gewinnen, indem man Gleichstrom durch ein Wasserbad, was leitfähig gemacht wurde, schickt. An einem Pol entsteht Wasserstoff, am anderen Sauerstoff, der keinen großen kommerziellen Nutzen hat, aber nicht vermieden werden kann. Allein daher wird der gewonnene Wasserstoff nie so viel Energie enthalten wie die eingesetzte Elektrizität. Wird die Elektrizität CO₂-frei gewonnen, z.B. durch Photovoltaik oder Windanlagen, ist der entstandene Wasserstoff „grün“ und somit klimaverträglich. Andere Methoden wie z.B. biotechnologische sind zu vernachlässigen. ■

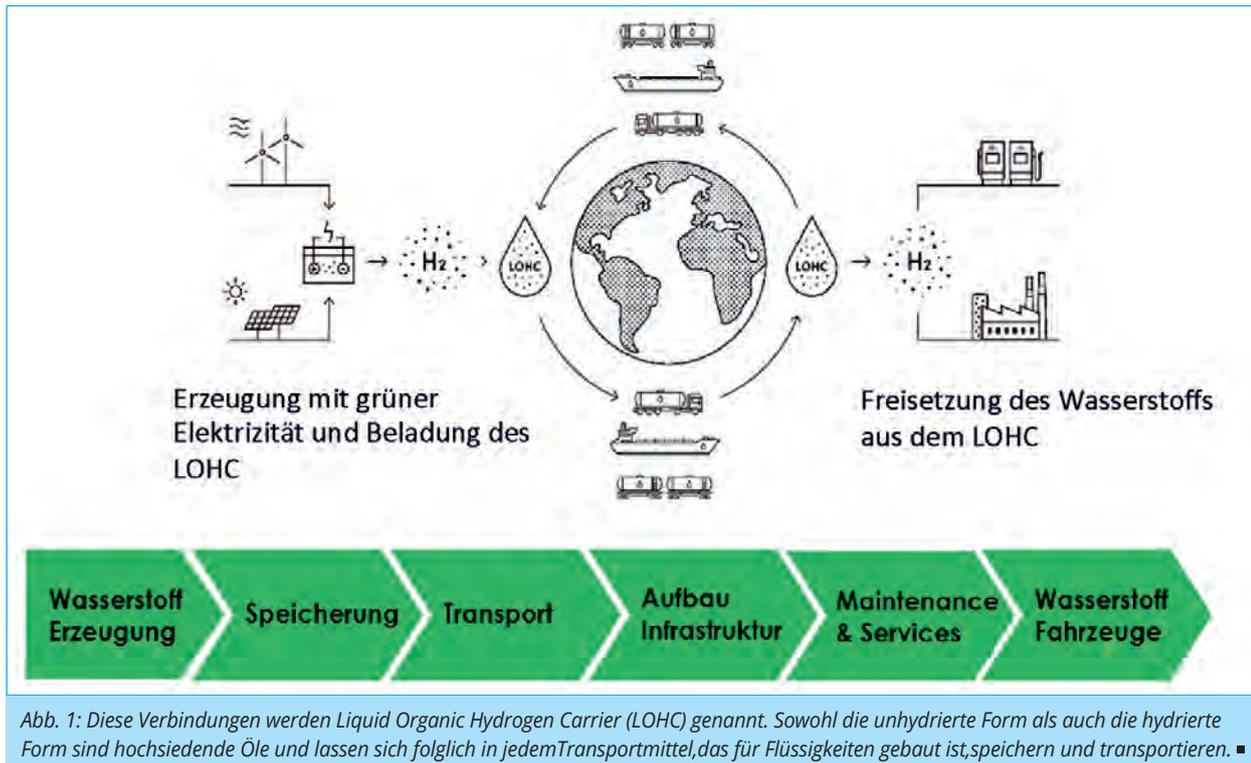
Transport von Wasserstoff

Wasserstoff ist das erste Element im Periodensystem und demnach sehr leicht. Das äußert sich auch in der Dichte, das heißt in der Frage, wie viel ein Kubikmeter Wasserstoff wiegt. Bei 20°C und 1013 mbar (also Umgebungsdruck) sind 84 Gramm Wasserstoff im inneren Volumen von einem Kubikmeter eines Behälters,

verschwindend wenig. Damit verbietet sich der Transport von Wasserstoff bei Umgebungsdruck. Eine Transportform muss folgende Bedingungen erfüllen:

1. Sie muss leicht importierbar sein, am besten per Schiff
2. Sie darf keine hohen Ausgaben für eine neue Infrastruktur nach sich ziehen
3. Sie soll keine Gefahr für die Umwelt und die Menschen darstellen

Eine Möglichkeit zum Transport ist es, Wasserstoff auf höheren Druck zu verdichten, gängig sind heute 350 bar und 700 bar. Zu beachten ist, dass sich bei 700 bar nicht doppelt so viel Wasserstoff im Volumen befindet wie bei 350 bar, sondern weniger. Bei 350 bar und Umgebungs-temperatur sind 26 kg Wasserstoff im inneren Volumen, wobei das äußere Volumen durch die Wandstärke des Behälters größer ist. Auch das ist kein attraktives Ergebnis. Eine weitere Möglichkeit ist die Verflüssigung von Wasserstoff. Die Menge in einem 1 Kubikmeter Behälter ist mit 71 kg flüssigem Wasserstoff attraktiv (vergleiche: 1 Kubikmeter Wasser wiegt etwa 1000 kg), aber die zugehörige Temperatur von -253°C ist es nicht. Diese Temperatur liegt außerhalb der häufigen Anwendung in der heutigen Industrie, die bei -200°C (Verflüssigung von Luft) endet. Zudem ist es energieaufwändig, auf so niedrige Temperaturen zu kommen, denn die Kälteprozesse werden



umso weniger effizient, je kälter es ist. Beim Wasserstoff kommt eine weitere Komplikation hinzu, nämlich das Gleichgewicht von ortho und para Wasserstoff. Dieses macht die Verflüssigung schwieriger. Das äußere Volumen des Behälters ist durch die Wärmeisolierung gegeben. Selbst die beste Isolierung kann einen Wärmetransport in das Gefäß nicht verhindern, der zur Bildung von gasförmigen Wasserstoff führt (in der Technik als Boil-off bezeichnet). Mit dem Boil-off Gas muss man umgehen. Nach einiger Zeit ist ein Behälter mit flüssigem Wasserstoff trotz Wärmeisolierung leer. Es gibt bisher ein Schiff (in Japan, „Suiso Frontier“), das flüssigen Wasserstoff transportiert. Viel versprechend ist die chemische Umwandlung von Wasserstoff in eine gut transportierbare Form. Eine Variante ist die Herstellung von Ammoniak NH_3 , wo einem Stickstoff-Atom 3 Wasserstoffatome gegenüberstehen, in Masse 14:3, ein sehr gutes Verhältnis. Obwohl bisher nur im Labor gezeigt, sollte sich Ammoniak am Zielort wieder in Wasserstoff und

Stickstoff spalten lassen, um den Wasserstoff nach Trennung vom Stickstoff verwenden zu können. Zudem ist Ammoniak eine Grundchemikalie mit einem Bedarf von vielen Millionen Tonnen pro Jahr allein in Deutschland. Schiffe, die Ammoniak transportieren, gibt es. Allein die Einordnung als Störfallstoff macht Ammoniak zu einem hoch problematischen Stoff, sodass nur die Versorgung der Chemie mit Ammoniak vertretbar erscheint, nicht jedoch die breite Wirtschaft oder gar der Bürger. Zudem ist ein Trend von Entwicklungs- und Schwellenländern zu Ammoniak feststellbar, denn aus Ammoniak und dem Oxidationsprodukt Stickoxide lässt sich leicht der sehr wirkungsvolle Sprengstoff Ammonitrat herstellen, wie z.B. Beirut oder Oklahoma-City eindrucksvoll nachgewiesen haben. Diese Nachteile vermeidet die Reaktion von Wasserstoff mit einer aromatischen Verbindung (siehe Abb. 1).

Die Suche nach geeigneten Stoffpaarungen (hydriert und unhydriert) ist schwierig. Dabei ist nicht die Hydrierung sondern die De-

hydrierung der schwierige Schritt. Das chemische Gleichgewicht der Reaktion muss einmal auf der Seite des hydrierten Produktes liegen (Beladung mit Wasserstoff), auf der anderen auf der des Wasserstoffs (Freisetzung des Wasserstoffs). Die notwendige Änderung der Zuständigen Freien Reaktionsenthalpie wird durch Temperaturänderung bewirkt. Die Beladungsreaktion ist immer exotherm, die Freisetzung demgemäß im gleichen Maße endotherm. Das schmälert die Energiemenge, die im freigesetzten Wasserstoff enthalten ist. Es zwingt gleichzeitig zu einem Energiemanagement. Vorteilhaft ist der Einsatz von Hochtemperaturbrennstoffzellen, sogenannten solid oxide fuel cells, SOFC, zur Rückwandlung des Wasserstoffs in Elektrizität, da sowohl das Temperaturniveau als auch die Energiemenge oft zur benötigten Wärmemenge für die Freisetzung passen. Weltweit wird an LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) in Wuhan (China), Japan und Erlangen geforscht. Die Erlanger Firma Hydrogenious LOHC Technologies ist



Abb. 2: Beladenes (LOHC+) und unbeladenes (LOHC-) ■

im Vergleich am weitesten fortgeschritten, sie baut kleine Anlagen als Container und große Chemieanlagen und besitzt eine Vielzahl von Patenten, sowohl für Stoffe (siehe Abb. 2 und 3) als auch für Verfahren. Die momentan präferierten Stoffe sind Dibenzyltoluol und Monobenzyltoluol, die mehrere Forderungen erfüllen: sie sind ungiftig, lassen sich in jeder Art Tank lagern und lassen sich sehr schwer entflammen. Das aromatische Produkt ist immer etwas gelblich gefärbt, das aliphatische ist wasserklar (siehe Abb. 2). Beide Stoffe werden allein in Deutschland im 10.000 to Maßstab pro Jahr hergestellt, sie sind ein Wärmeübertragungsöl. Damit erfüllen diese Stoffe die oben aufgestellten Kriterien. Zudem sind kaum Investitionen in die Infrastruktur notwendig. Während der Transport aus fernen Ländern, die ein wesentliches besseres Angebot an erneuerbaren Energien haben, per Seeschiff erfolgen kann, wird vorgeschlagen, sie in den Seehäfen auf Flussschiffe umzuladen und das exzellente deutsche Netz der Binnenschiffahrtsstraßen zu nutzen. Somit ist eine graduelle Einführung von Wasserstoff, wie oben gefordert, möglich. Am Zielort kann das LOHC in bereits vorhandenen Tanks für Flüssigkeiten gelagert

oder zum Zielort weiter transportiert werden: per Pipeline, Bahn oder LKW, oder freigesetzt und als Wasserstoff weiter transportiert werden. Alternativ können vorhandene Ölpipelines genutzt werden wie die TAL von Triest nach Ingolstadt und Karlsruhe. Auch hier ist ein graduel-ler Übergang von Öl auf Wasserstoff möglich, ein wichtiges strategisches Argument. ■

Bisher bekannte Anwendungen von LOHC

Wie oben erläutert, generiert LOHC bei der Speicherung und beim Transport von Wasserstoff entscheidende Vorteile. So gibt es erste LOHC - Lösungen bei der Anwendung von Wasserstoff

- im Bereich zur Erzeugung von Prozesswärme in der Groß- und Schwerindustrie bei der Stahl- und Aluminium-Erzeugung auch als Reduktionsmittel und der Weiterverarbeitung von Halbzeugen
- im Mobilitätsbereich bei der Versorgung von Tankstellen für Züge, schweren LKW's und Bussen des ÖPNV

Im Flächenbundesland Bayern haben sich Ende Februar 2023 rund 200 Vertreter der Land- und Forst-

wirtschaft beim Wasserstoff-Gipfel getroffen. Ein wichtiges Ziel des Wasserstoffgipfels war die Vernetzung aller Akteure. Eingeladen hatte der bayerische Wirtschaftsminister, Wasserstoff öffnet viele Türen in die Zukunft der dekarbonisierten Energie und bietet der Land- und Forstwirtschaft gute Perspektiven. Am Tag drauf trafen sich etwa 100 Landwirte, Hersteller von Anlagen und Wissenschaftler auf einem Wasserstoffgipfel, zum dem der Generalsekretär der CSU Martin Huber nach Unterneukirchen eingeladen hatte. Die Landwirtschaft ist aber nicht nur ein potentieller Erzeuger von Wasserstoff aus Stroh, Holzresten und Biomasse, sondern auch ein Anwender: Die Trocknung von Getreide, Holz, Heu und Hopfen mit einem sehr hohen Energiebedarf und der Betrieb von Fahrzeugen. Der Landmaschinenhersteller Fendt stellte den ersten Prototypen eines wasserstoffbetriebenen Traktors im Frühjahr 2023 aus. So könnte ein Bauernhof Energie-autark betrieben werden.

- im Bereich einer klimaverträglichen Infrastruktur für Gebäude (Schulen und Quartiere) durch Fern- und Nahwärmenetze

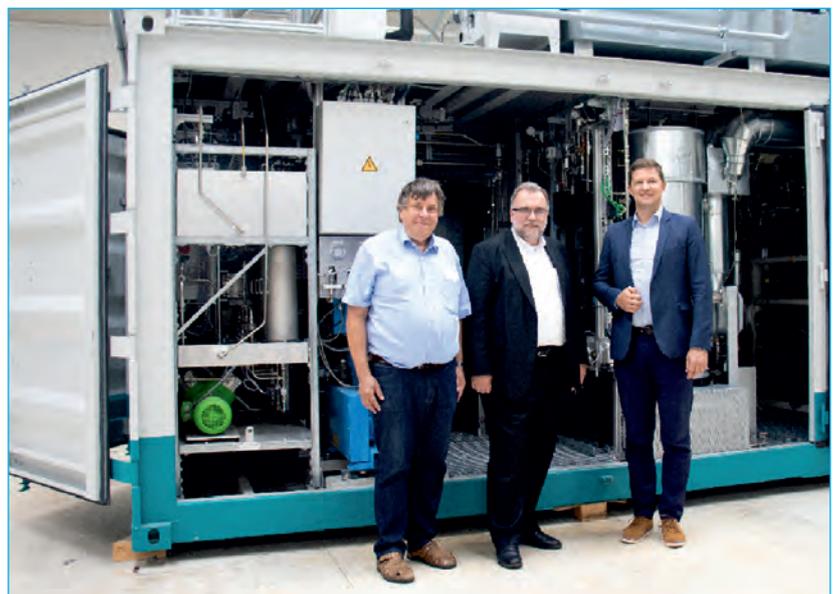


Abb. 3: Der Geschäftsführer Dr. Teichmann der Fa. Hydrogenious LOHC Technologies, BDI-Präsident Prof. Russwurm und Mitfirmengründer Prof. Arlt (von re nach li). ■



Abb. 4: Freisetzungsanlage von Wasserstoff der Fa. Hydrogenious LOHC Technologies an der Wasserstofftankstelle in Erlangen

- im Bereich stationärer Anwendungen bei der Versorgung abgelegener Ortschaften und Skigebiete, deren elektrische Energieversorgung noch mit dieselgetriebenen Generatoren sichergestellt wird.

In einer ganzheitlichen Betrachtung werden durchgängige Lösungen von der Wasserstoffgewinnung über die Speicherung, den Transport und den Aufbau einer Infrastruktur zur Hydrierung und Dehydrierung des LOHC angestrebt.

Die H2-Innovation Gruppe aus Erlangen konzentriert sich aktuell im

- Mobilitätssektor auf den Einsatz von H2-Hybridbussen im ÖPNV und den Einsatz von H2-Hybrid LKW im kommunalen und im Speditionsbereich. Es werden ganzheitliche Verfahrensketten über die Erzeugung des Wasserstoffs bis zum Aufbau und der Versorgung der Tankstellen (Abb. 4) untersucht.
- Gebäudesektor und bei der Versorgung abgelegener Ortschaften und Skigebiete auf Anlagen, die eine Speicherung der durch Photovoltaik, Wind oder Biomasse erzeugten Energie ermöglichen und zu einem späteren Zeitpunkt abrufbar machen, so dass eine anforderungs- und bedarfsgerechte Wärme- und Energieversorgung ermöglicht wird.

Hier wird auf eine Optimierung sämtlicher Verfahrensschritte in den Anlagen zur Elektrolyse, zur Hydrierung und Dehydrierung des LOHC und zur Umwandlung des Wasserstoffs in der Brennstoffzelle bzw. im Blockheizkraftwerk in Wärme und Energie geachtet. Hier kann der Wankelmotor eine Renaissance erleben. Auf dem Weg zur Klimaneutralität, werden z. Zt. in Zusammenarbeit mit mehreren Kommunen energieautarke Insellösungen entwickelt: z.B für neu zu errichtende Schulgebäude mit angrenzenden Wohngebieten und weiteren öffentlichen Gebäuden. In einem 2. Schritt werden die Inseln dann miteinander verbunden mit dem Ziel, eine gesamte Gemeinde energieautark und klimaneutral aufzustellen. Dass das möglich ist, wurde im Ort Wildpoldsried (Allgäu) ab 1999 in einem Feldversuch gezeigt. Diese Vorgehensweise lässt sich bei kleineren Gemeinden mit geringer energieintensiver Industrie und hohem Anteil eigener Energieerzeugung gut darstellen. Bei größeren Städten bzw. bei energieintensiven Industriebetrieben ist eine Versorgung mit extern zu beschaffendem Wasserstoff unumgänglich. Da die Versorgung mit grünem Wasserstoff, der in Deutschland/ Europa erzeugt werden kann, für die angestrebte Energiewende nicht aus-

reicht, ist es notwendig, grünen Wasserstoff aus Ländern mit hoher Sonneneinstrahlung und/oder günstigen Windverhältnissen (z.B. Nordafrika, VAE) zu importieren. Der LOHC-Technologie kann hierbei eine entscheidende Rolle zukommen, denn mit dieser Technologie kann die vorhandene Infrastruktur der Binnenwasserstraßen weiter genutzt werden: Anlandung des beladenen LOHC in Seehäfen, Weiterverteilung mit Binnenschiffen, Pipelines, Zügen oder LKW. Beim Umstieg auf Wasserstofftechnologien ergibt sich somit ein entscheidender Zeit- und Kostenvorteil. Wasserstoff wird für die nachhaltige Energieversorgung der zentrale Lösungsbaustein werden, auch für künftige Generationen. Politik, Wirtschaft und Industrie sind aber schon jetzt gefordert die richtigen Entscheidungen und Maßnahmen zu treffen. Die Verfasser dieses Artikels laden zur systemübergreifenden Zusammenarbeit ein. ■

Autoren:



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Arlt
 Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik
 Uni Erlangen
 Egerlandstr. 3
 91058 Erlangen

H2 Innovations projects



Andreas Galster



Gerd-Friedrich Witthus



Herbert Köpplinger

Europäische Metropolregion Nürnberg – fruchtbarer Boden für eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft

Die Nutzung von Wasserstoff für Transportzwecke ist nicht neu. Das erste systematisch geplante Projekt war das sog. „Euro-Quebec Hydro-Hydrogen“-Pilotprojekt von 1989 bis 1992, an dem auch die Region um Nürnberg beteiligt war. Aufgrund der schwierigen Rahmenbedingungen wurden allerdings nur kleine Teilprojekte realisiert. Hierzu gehörte der erste wasserstoffbetriebene Stadtlinienbus in Erlangen Anfang der 90er Jahre. Die Projekte bildeten den Keim für spätere Wasserstoff- und Brennstoffzellenanwendungen bis hin zu den Power-to-Gas Konzepten der jüngsten Zeit.

Einen neuen Schub erhielt die Region jüngst mit der Ansiedelung des Zentrums Wasserstoff. Bayern (H2.B) im Jahr 2019 beim Energie Campus Nürnberg. Das Zentrum war maßgeblich an der Entwicklung der bayerischen Wasserstoffstrategie beteiligt und koordiniert gegenwärtig die Erstellung der bayerischen Wasserstoff-Roadmap. Zudem ist es Träger des Wasserstoffbündnis Bayern, in dem sich führende Unternehmen und Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen haben, um die Technologie voranzutreiben. Hierzu gehört auch die Koordination großer industrieller Demonstrationsprojekte. Auch die bayerischen Industrie- und Handelskammern (IHKs) sind – aktuell unter Federführung der IHK mit Sitz in Nürnberg – Partner im Wasserstoffbündnis und konnten sich bei der H2-Strategie für die Belange der Wasserstoffwirtschaft einbringen.

Erste Wasserstoffprojekte in der Europäischen Metropolregion Nürnberg (EMN) zeigen die Chancen auf. Die größte bayerische Wasserstoff-erzeugungsanlage wurde im ober-



V.l.n.r.: Markus Bachmeier, Linde; Dr. Florian Janik, Oberbürgermeister Erlangen; Thorsten Glauber, Staatsminister für Umwelt und Verbraucherschutz Bayern; Joachim Herrmann, Staatsminister des Innern, für Sport und Integration Bayern; Lorenz Jung, H2 MOBILITY Deutschland; Daniel Teichmann, Hydrogenious LOHC Technologies; Matthias Fischbach, MdL; Gerald Giering, SiemensEnergy.
Foto: © H2 MOBILITY Deutschland ■

fränkischen Wunsiedel errichtet. Die hocheffiziente Elektrolyseanlage von Siemens Energy aus Erlangen wird ausschließlich mit Wind- und Solarstrom betrieben und hat nach der Beschränkung des Betriebs während der Strompreisbremse des Bundes wieder den Betrieb aufgenommen. In der Region hat sich ein Spitzen-

Forschungs- und Entwicklungs-Cluster um den Energie Campus Nürnberg (EnCN) und das Helmholtz Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI ERN) ausgebildet. Schwerpunkt der Expertise liegt in der Wasserstoffspeicherung in Flüssigkeiten, den sogenannten Liquid Organic Hydrogen

Carriers (LOHCs). LOHCs bieten neue Ansatzpunkte für die Wasserstofflogistik sowie für stationäre und mobile Anwendungen. Der Vorteil von LOHC: Mit diesem Verfahren lässt sich der Wasserstoff wie Benzin transportieren, lagern und vorhandene Infrastrukturen nutzen. Mit dem Erlanger Start-up-Unternehmen Hydrogenious LOHC Technologies gibt es ein Spin-off der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), das die LOHC-Technologie weltweit vermarktet.

Im Juli 2022 wurde in Erlangen die weltweit erste Wasserstoff-Tankstelle in Betrieb genommen, die neben Druckspeicher- auch innovative LOHC-Technologie einsetzt. Darüber hinaus bietet die Tankstelle auch Wasserstoff in den zwei etablierten Druckstufen von 350 und 700 bar an. Laut dem Betreiber H2 Mobility profitiert die neue Anlage „von den vielen Aktivitäten der Region rund um das Thema Wasserstoff-erzeugung und -speicherung“. Ein Beispiel dafür ist das Engagement der Stadt Erlangen, die den Betrieb von diversen Wasserstoff-Fahrzeugen, u.a. Müllsammelfahrzeuge und Busse, zugesagt hat. Die Nürnberger Spedition Amm betreibt und betankt dort aktuell mehrere Nutzfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb, um bspw. regionale Drogerien zu beliefern. Der im Jahr 2023 neu gegründete IHK-AnwenderClub „Wasserstoff | H2“ war beim 4. Treffen zu Gast bei Siemens Energy sowie der Erlanger H2-Tankstelle.

Mit dem jährlichen „Hydrogen Dialogue – Expo & Summit“ bringt die NürnbergMesse am 4. und 5. Dezember 2024 bereits zum fünften Mal nationale und internationale Akteure der Wasserstoffwirtschaft zusammen. Die bayerischen IHKs unterstützen den Technologietransfer entlang der Wertschöpfungskette und sind seit Beginn im Jahr 2020 mit einem Stand, unter Federfüh-



Tobias Gotthardt, Staatssekretär im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (Mitte) und Dirk Weberskirch, Teamleiter Komponentenventwicklung Antriebstrang MAN Truck & Bus SE (rechts) beim Besuch des Hydrogen Dialogue 2023 auf der NürnbergMesse. Foto: Nürnberg Messe / Thomas Geiger ■

rung der IHK Nürnberg für Mittelfranken, in den Messehallen präsent. Die Beteiligten am IHK-Anwender Club Wasserstoff nutzten dort die Gelegenheit zum gegenseitigen Erfahrung- und Wissensaustausch. Rückgrat für die Wasserstoff-Mobilität in der regionalen Wirtschaft sind die traditionell starken Unternehmen aus den Bereichen Automobilzulieferer und Motorenbau.

So haben MAN Truck & Bus, die FAU und die Technische Hochschule Nürnberg (THN) eine Kooperationsvereinbarung zur Forschung und Entwicklung von wasserstoffbasierten Fahrzeugantrieben geschlossen. Die jeweiligen Kompetenzen der Partner spielen dabei ideal zusammen: Die FAU wird den Schwerpunkt auf die Grundlagenforschung setzen, die THN ihre Stärken im Gebiet der anwendungsnahen Forschung einbringen und der Nutzfahrzeughersteller MAN für die Umsetzung der Forschungsergebnisse bei Wasserstoff-Brennstoffzellen und -Verbrennungsmotoren in Lkw und Bussen sorgen.

Das Nürnberger Werk des globalen Zulieferers Robert Bosch GmbH ist mit seinen knapp 2000 Beschäftigten eigentlich ein klassischer „Verbrenner-Standort“. Für die Zukunft ist eine Doppelstrategie vorgesehen: Einerseits werden die Komponenten für die Benzineinspritzung weiterentwickelt, um Kraftstoffverbrauch und Emissionen weiter zu senken. Andererseits macht sich Nürnberg fit für die Zukunft im Bereich von Brennstoffzellensystemen und der Wasserstofftechnik. Hier geht es um die sogenannte Vorindustrialisierung von Ventilen für die Brennstoffzelle sowie um eine Magnetbaugruppe für ein Wasserstoffventil.



Fertigung von Festoxid-Brennstoffzellen am Bosch-Standort in Bamberg: Prüfung einer fertig prozessierten Festoxid-Brennstoffzelle. Foto: Bosch ■



Prof. Dr.-Ing. Tim Hosenfeldt, Leiter Zentrale Innovation und Forschung bei der Schaeffler AG, mit metallischer Bipolarplatte für die Wasserstofftechnologie.
Foto: Kurt Fuchs ■

Weiter produziert Bosch am Standort Bamberg seit dem Jahr 2023 Brennstoffzellen-Stacks. Diese sog. Festoxid-Brennstoffzelle gilt als ein möglicher Baustein für nachhaltige Energiegewinnung in der Zukunft und kann für eine vernetzte, dezentrale Energieversorgung zum Beispiel von Städten, Fabriken, Rechenzentren oder Ladeparks von Elektro-Fahrzeugen dienen.

Auch die Schaeffler AG in Herzogenaurach entwickelt Produkte und Lösungen für die Wasserstofftechnologie. Eine der Entwicklungen ist eine metallische Bipolarplatte mit einer nanostrukturierten Beschichtung – eine zentrale Komponente für die Brennstoffzelle, mit der Schaeffler ein Alleinstellungsmerkmal hinsichtlich Funktionalität und Material hat. Die Platten werden zu Stacks aufeinandergeschichtet, an denen die Energieumwandlung stattfindet und Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser reagieren.

Um bei den regionalen Anbietern, Anwendern und Entwicklern Kooperationsmöglichkeiten zu schaffen und den Wissensaustausch zu fördern, organisiert die IHK Nürnberg für Mittelfranken in Kooperation mit den IHKs mit Sitz in Bayreuth,

Coburg, Regensburg und Würzburg-Schweinfurt seit dem Jahr 2023 den IHK-Innovations- und AnwenderClub „Wasserstoff“ als Unternehmensnetzwerk nach dem Motto „Praxisnahe H2-Lösungen hautnah erleben“. Das Netzwerk trifft sich 3-5 mal pro Jahr.

Beispiele für weitere regionale Cluster, die das Thema Wasserstoff- bzw. Elektromobilität vorantreiben sind die Bayern Innovativ GmbH, der EnergieRegion Nürnberg e.V., der Center for Transportation and Logistics Neuer Adler e.V. (CNA) sowie das Automotive-Projekt „transform_EMN“. Wasserstoffthemen für betriebliche Anwendungen sind ferner Gegenstand im IHK-AnwenderClub „Energie | Klima“; dieses Netzwerk für Energie- und Klimaschutzmanager ist seit 1992 etabliert, es hatte vor Kurzem mit dem 100. Treffen sein Jubiläum in der Nürnberger IHK-Akademie.

Bei den jährlichen Hydrogen Dialogues in den Jahren 2020 bis 2024 engagieren sich die IHKs als Aussteller. In der bundesweiten Datenbank ecoFinder werden auf Nürnberger Initiative hin auch Profile von Akteuren der Wasserstoffwirtschaft und -Wissenschaft aufgenommen, um

die Markttransparenz in diesem Themenbereich zu erhöhen. Interessierte Einrichtungen können sich kostenfrei eintragen unter www.ihk-ecofinder.de.



Autoren:



Dr.-Ing.
Robert Schmidt



Dr. rer. nat.
Ronald Künneth

Industrie- und Handelskammer (IHK)
Nürnberg für Mittelfranken
Geschäftsbereich
Innovation/Umwelt

Hauptmarkt 25/27
D-90403 Nürnberg
E-Mail: gju@nuernberg.ihk.de
www.ihk-nuernberg.de

Zukunftsförderung durch die Hightech Agenda Bayern

TUM stärkt Forschung zu grünem Wasserstoff und nachhaltiger Pflanzenproduktion

Im wettbewerblichen Förderprogramm „Exzellenzverbünde und Universitätskooperationen“ der Hightech Agenda Bayern hat sich die Technische Universität München (TUM) gleich zweimal in zentralen Forschungsbereichen erfolgreich durchgesetzt. Dabei geht es einerseits um die Produktion, Speicherung und effiziente Nutzung von grünem Wasserstoff für die Mobilität von morgen und andererseits um die nachhaltige Produktion von pflanzlichen Proteinquellen.

Im Bereich Wasserstoff arbeitet die TUM künftig noch enger mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) zusammen und im Bereich pflanzliche Agrarproduktion mit der Universität Regensburg (UR). In der über das Programm Exzellenzverbünde und Universitätskooperationen (E-VUK) geförderten Wasserstoffforschung konzentriert sich die TUM vor allem auf die Elektrochemie, Chemische

Verfahrenstechnik und Maschinenwesen. Die FAU komplementiert dies durch einen Ausbau in Maschinenbau, Systemtechnik und den Wirtschaftswissenschaften.

Die agrarwissenschaftliche Förderung des Projektes der TUM und der UR fokussiert auf der Verbindung zwischen Boden- und Nahrungsmittelqualität, vornehmlich bei Nutzpflanzen wie Mais und Gerste. Gemeinsames Ziel ist es, durch neue wissenschaftliche Forschungen die nachhaltige Produktion pflanzlicher Proteinquellen zu optimieren und deren steigenden Bedarf zu sättigen. ■

Kooperation bei großen Zukunftsthemen

Mit der erfolgreichen E-VUK-Förderung durch die Bayerische Staatsregierung soll die Bewerbung neuer Exzellenzcluster ab 2025 kraftvoll vorbereitet werden. TUM-Präsident Thomas F. Hofmann sagte: „Wir haben zwei Förderanträge auf Zukunftsfeldern gestellt, beide mit starken Partnern und beide haben sich erfolgreich im Wettbewerb durch-

gesetzt. Ein toller Erfolg, der einmal mehr zeigt, dass große Zukunftsthemen wie eine nachhaltige Mobilität oder die Sicherung der globalen Ernährung nur in Verbänden starker Partner ausreichend wirksam gestaltet werden können.“ ■



Kontaktdaten:

Technische Universität München

Arcisstraße 21
D-80333 München
Telefon: +49 89 289 01
Fax: +49 89 289 22000
www.tum.de



Strategie der Wasserstofftechnologie

Spätestens seit Beginn des Angriffs-kriegs Russlands gegen die Ukraine am 24. Februar 2022 hat die Bedeutung des Einsatzes von Wasserstoff für unsere Energiewirtschaft einen ungeahnten Aufschwung genommen. Die Ursache dafür ist, dass die bislang bestehende einseitige Abhängigkeit Deutschlands von Gas- und Öllieferungen aus Russland drastisch verringert werden musste, und eine fieberhafte Suche nach alternativen Energielieferungen begann. Zur Ehrenrettung der Politik muss aber auch in Erinnerung gerufen werden, dass die EU-Kommission auf europäischer, die Bundesregierung auf deutscher und die bayerische Staatsregierung auf bayerischer Ebene bereits knapp zwei Jahre zuvor die Bedeutung des Einsatzes von Wasserstoff für die Energiewirtschaft erkannte und entsprechende Wasserstoffstrategien verabschiedet hat. Erfreulicherweise hat der Freistaat Bayern bereits im Mai 2020 eine entsprechende Wasserstoffstrategie vorgelegt. Es folgte dann vier Wochen später im Juni 2020 die Wasserstoffstrategie der Bundesrepublik Deutschland und wiederum vier Wochen später im Juli 2020 die Europäische Kommission mit ihrer Wasserstoffstrategie. ■

Die bayerische Wasserstoffstrategie

Der Freistaat Bayern hat in seiner Wasserstoffstrategie das ehrgeizige Ziel formuliert, in diesem Bereich die Technologieführerschaft anzustreben und weltweite Marktpotenziale zu erschließen und aus-



Prof. Dr. Siegfried Balleis, Stefan Müller, parlamentarischer Geschäftsführer der CSU in Deutscher Bundestag, Dr. Daniel Teichmann, Geschäftsführer der Firma Hydrogenious Foto: Kai Stürmer ■

zubauen. Weiterhin ist Gegenstand dieser Strategie die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Wasserstoff durch eine industrielle Skalierung. Schließlich will der Freistaat Bayern auch die Wasserstoffinfrastruktur für Wasserstoffanwendungen im Freistaat vor allem im Bereich von Verkehr und Industrie vorantreiben. Konkret hat sich der Freistaat Bayern beispielsweise zur Installation zahlreicher Wasserstofftankstellen verpflichtet. Der Freistaat Bayern sieht durch die Nutzung von Wasserstoff vor allen Dingen auch die Möglichkeit, Strom, der im windreichen Norden der Republik erzeugt wird, in die industriellen Zentren Bayerns zu transportieren. Der Freistaat Bayern hat diese Strategie im Frühjahr 2022 mit der Veröffentlichung einer Wasserstoff-Road-Map weiter konkretisiert

und entsprechende Handlungsempfehlungen beschlossen. Diese Maßnahmen beinhalten beispielsweise den Ausbau einer nationalen und internationalen Wasserstoffpipeline-Infrastruktur und den Ausbau von Elektrolysekapazitäten im Freistaat Bayern selbst. ■

Die deutsche Wasserstoffstrategie

Die aus der damaligen großen Koalition bestehende Bundesregierung hat 2020 die Wasserstofftechnologie als Kernelement der Energiewende definiert, um mit Hilfe erneuerbarer Energien Produktionsprozesse zu dekarbonisieren. Die Bundesregierung hat in dieser Strategie weiterhin zugesichert, dass sie die regulativen Voraussetzungen für den Markthochlauf der Wasserstofftechnologie schaffen will und dass im Bereich von Forschung und Entwicklung

innovative Wasserstofftechnologien forciert werden sollen. Die Bundesregierung hat zwischenzeitlich auch einen detaillierten Aktionsplan zur Wasserstoffstrategie vorgelegt, der sich vor allem auf die Erzeugung von Wasserstoff und die Nutzung von Wasserstoff im Bereich von Verkehr und Industrie konzentriert. Der Aktionsplan beinhaltet aber Themen wie die Nutzung von Wasserstoff im Gebäudebereich beispielsweise durch hocheffiziente Brennstoffzellenheizgeräte und die Umwidmung bestehender Erdgaspipelines für den Transport von Wasserstoff. Außerdem werden in einer ressortübergreifenden Forschungsoffensive "Wasserstofftechnologie 2030" Forschungsmaßnahmen zu Wasserstoff-Schlüsseltechnologien strategisch gebündelt. ■

Die europäische Wasserstoffstrategie

Die Europäische Kommission hat sich in ihrer Wasserstoffstrategie vom Juli 2020 darauf verpflichtet, eine nachhaltige industrielle Wertschöpfungskette für die Erzeugung von Wasserstoff aufzubauen. Weiterhin hat sie die Förderung des Einsatzes von Wasserstoff für Industrieanwendungen und Mobilitätslösungen angekündigt und die Förderung von Forschung und Innovation im Bereich der sauberen Wasserstofftechnologie in Aussicht gestellt. Schließlich hat sie auch eine Zusammenarbeit mit Nachbarländern und Nachbarregionen der Europäischen Union im Hinblick auf einen weltweiten Wasserstoffmarkt angekündigt. Dass es die Europäische Kommission nicht bei Ankündigungen belassen wird, wurde im Juli 2022 deutlich, als sie die sogenannten IPCEI Projekte (Important Project of Common European Interest) im Rahmen ihrer EU-Beihilfenvorschriften genehmigt hat. Insgesamt haben 15 Mitgliedstaaten der Europäischen Union dieses

Projekt vorbereitet und sich darauf verpflichtet, 5,4 Milliarden Euro an öffentlichen Mitteln bereitzustellen. Man geht weiter davon aus, dass zusätzliche private Investitionen in einem Umfang von 8,8 Milliarden Euro mobilisiert werden. Absolut problematisch sind aber Pläne der EU-Kommission, dass für die Wasserstoffproduktion nur Strom verwendet werden kann, der aus eigens dafür gebauten Solar- und Windkraftanlagen stammt. Dieser sog. delegierte Rechtsakt der EU-Kommission bremst nach Ansicht der Wasserstoffbranche und der Vorsitzenden des nationalen Wasserstoffrates, Frau Katharina Reiche, mit seinen restriktiven Kriterien den Hochlauf für grünen Wasserstoff. Frau Reiche, hat ihre Kritik wie folgt zugespitzt formuliert: „Man kann ein Stahlwerk nicht nur dann betreiben, wenn der Wind weht“. Die USA steuern in diesem Zusammenhang wesentlich pragmatischer, dort fällt die Steuergutschrift für Wasserstoff umso höher aus, je niedriger die CO₂-Emissionen des eingesetzten Stroms sind. Die EU dagegen steht sich hier selbst im Weg, indem sie verlangt, dass der Wasserstoff zu 100 % grün sein muss, andernfalls falle man ganz aus der Förderung. Seit einiger Zeit engagiert sich auch der Bundeswirtschaftsminister intensiv darum, wie aus verschiedenen Ländern und unterschiedlichen Wegen Wasserstoffimporte aus dem Ausland realisiert werden können. Beispielsweise sind hier konkrete Verträge mit Norwegen in der Diskussion, aber auch große Projekte zur Erzeugung von Wasserstoff in Namibia und auch in mehreren nordafrikanischen Staaten. Tatsache ist nämlich, dass auch in Zukunft nur ein relativ überschaubarer Teil des benötigten Wasserstoffs in Deutschland selbst hergestellt werden kann. Die Bundesrepublik Deutschland die beispielsweise heute 70% aller

Energieträger importiert, wird sicher auch auf Dauer ein Energieimportland bleiben. Der Unterschied besteht nur darin, dass in Zukunft nicht mehr Öl und Gas sondern Wasserstoff importiert wird. Mit Wasserstoff kann – wie bereits weiter oben erwähnt – ein wesentlicher Beitrag zur Dekarbonierung unserer Volkswirtschaft geleistet werden. Welche Transportmethoden dafür in Zukunft die Oberhand gewinnen werden ist heute noch offen. Zahlreiche Politiker und Wirtschaftsvertreter setzen auf den Transport von Ammoniak. Wesentlich unproblematischer und auch ungefährlicher ist allerdings der Transport von an LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) gebundenen Wasserstoff. Dieser Transportmodus, der im Erlanger Unternehmen Hydrogenious von den Professoren Wasserscheid, Arlt und Schlücker sowie dem Geschäftsführer Herrn Dr. Daniel Teichmann entwickelt wurde, ermöglicht es, die gesamte bisherige Transportlogistik „eins zu eins“ zu nutzen, nur dass in Zukunft in Tankschiffen, LKW und Kesselwagen der Bahn nicht mehr Erdöl oder Erdölprodukte, sondern an LOHC gebundener Wasserstoff absolut ungefährlich transportiert wird. Dies gilt im übrigen auch für den Transport von Wasserstoff durch Pipelines. Hier ist es vorstellbar, dass Wasserstoff nicht nur gasförmig transportiert wird, sondern ebenfalls an LOHC gebunden. ■

Autor:



Prof. Dr.
Siegfried Balleis

Tel: +49 9131 534944
Mobil: +49 171 3606363
Email: siegfried@balleis.de

Wasserstoff – Chance und Schlüssel zur Energiewende?



Seit über 4 Milliarden Jahre laufen auf unserem Planeten chemische Prozesse ab, die zur Ausbildung einer Erdatmosphäre geführt haben, wo tierische und pflanzliche Zellen sich weiter entwickeln konnten und so zu dem heutigen uns bekannten Erscheinungsbild von Fauna und Flora geführt haben. Eine wichtige Rolle hat hier der Kohlenstoff und das Wasser gespielt, die zusammen mit den Elementen Schwefel, Phosphor und Stickstoff letztendlich die Entstehung lebensfähiger Organismen erst möglich gemacht hat. Seit Urzeiten kann die Natur effizient mit ihren Ressourcen umgehen. So wächst und gedeiht in der Pflanzenwelt alles in sattem Grün, produziert keine Abfälle und verbraucht ihre Ressourcen nicht. Wie macht sie das? Das Geheimnis ist ihr spezieller Umgang mit den auf der Erde verfügbaren energetischen und stofflichen Ressourcen. Energie bezieht die Natur von der unendlichen Quelle der Sonne des weiß-blauen Himmels (Abb. 1). Die hier genutzte Photosynthese der pflanzlichen Zellen ist nicht mal besonders effizient und hat einem schlechten Wirkungsgrad, aber sie produziert dennoch extrem große Mengen an Biomasse. Das zweite und entscheidende Geheimnis der Natur ist der effiziente Umgang mit den begrenzten stofflichen Ressourcen der Welt. Die Natur unterscheidet nicht zwischen Rohstoff und Abfall, sondern führt die entscheidenden Elemente, v.a. Wasserstoff (H), Kohlenstoff (C),

Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und einige Metalle (M) grundsätzlich im Kreislauf. Weil diese Grundbausteine so immer wieder neu zu chemischen Verbindungen verknüpft werden, sind sie beliebig oft verwendbar – seit Jahrmillionen. Die Lebens- und Wirtschaftsweise moderner Industrienationen unterscheidet sich hier vom Konzept der

Natur grundsätzlich in der Gewinnung und Nutzung von Energie und Ressourcen. Wie bekannt, haben seit Beginn des Industriezeitalters stufenweise bahnbrechende Innovationen von der Dampfmaschine bis zum modernen Smartphone unser Leben maßgeblich beeinflusst und zu enormem Wachstum in der Wirtschaft und zum Wohlstand geführt. Dabei

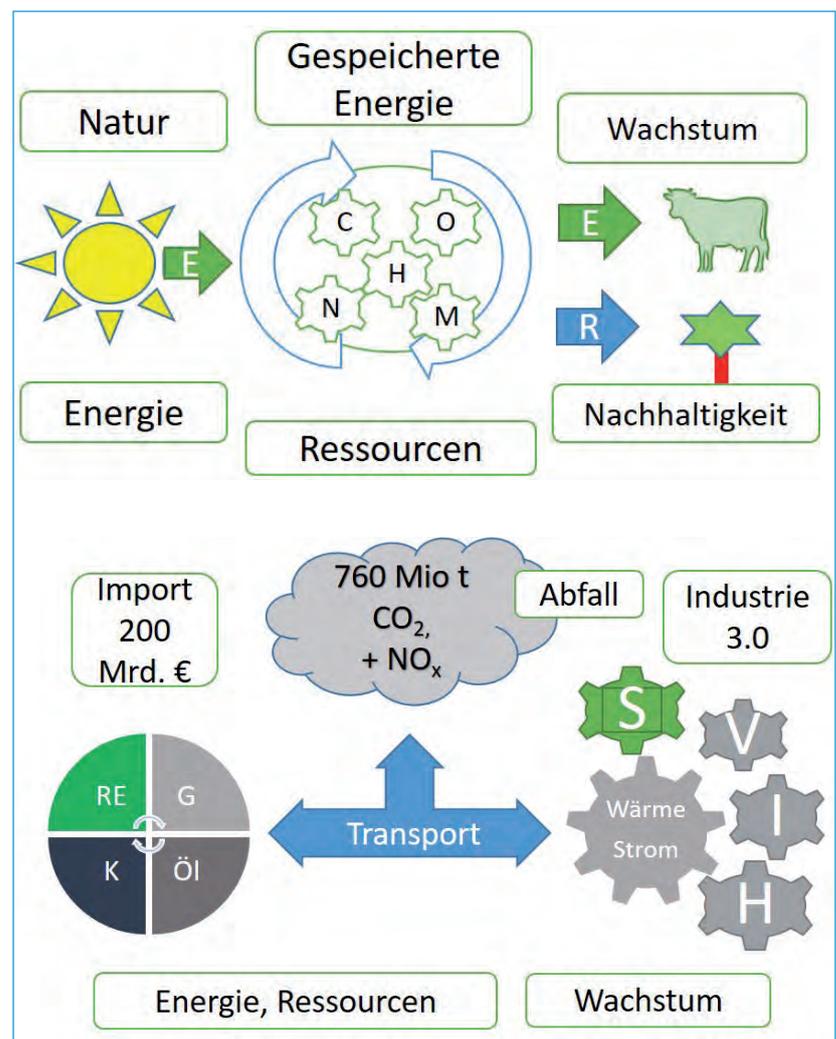


Abb. 1: Energie- (E) und Ressourcen-Nutzung (R) durch Natur (oben) und Menschen (unten) in den Sektoren Stromgewinnung (S), Verkehr (V), Industrie (I), Haushalt (H). ■

werden permanent Energie und Ressourcen als stofflich endliche Quellen der Natur entnommen und zum größten Teil nicht regeneriert, sondern geht als Abfall oder Reststoff erst einmal verloren. Insbesondere die Energiegewinnung basiert z.B. in Deutschland noch immer zu ca. 75% auf fossilen Energieträgern, also auf dem Kohlenstoff, der seit Jahr-milliarden gespeichert wurde. Der jährliche Primärenergiebedarf von ca. 3200 TWh wurde im Jahre 2021 zu 75% aus Kohle, Erdgas und Erdöl gedeckt. Der größte Anteil des Energiebedarfs wurde damals noch für ca. 150 Mrd. Euro importiert (heute deutlich höher) und zu ca. 760 Mio. kg CO₂ verbrannt. Deutschland ist damit Nr.1 in Europa bei den CO₂-Emission. Wie uns die aktuellen Jugendbewegungen und Kriegshandlungen gerade vor Augen führen, machen uns der Import der Energie dadurch stark abhängig von den Ländern mit fossilen Kohlenstoff-Vorkommen und führen zwangsläufig zur wirtschaftlichen Gefährdung

in Krisenzeiten. Zusätzlich sind seit Jahren der Klimawandel und die Umweltzerstörung zur existentiellen Bedrohung für Europa und die Welt geworden, weshalb die EU-Kommission und die Bundesregierung in zunehmendem Umfang eine nachhaltige Lebens- und Wirtschaftsweise anstreben. Man orientiert sich hier an den Zielen der Dokumente von Rio aus 1992. In der Tat wird dazu die Energie-Gewinnung nach dem Vorbild der Natur auf unerschöpflichen Quellen von Sonne, Wind und Wasser umgestellt. Als Schlüssel-sektor wurde die Stromgewinnung (S) bereits zu 50% auf regenerativen Energiequellen (RE) umgestellt. Bei der Dekarbonisierung bzw. der Defossilierung der Sektoren Verkehr (V), Haushalte (H, v.a. Heizung) und Industrie (I) bietet die Elektrifizierung enorme Potentiale und zeigt aber auch zahlreiche noch ungelöste Schwierigkeiten auf wie z.B. die limitierten Ausbaumöglichkeiten von Wind-, Solar- und Biogasanlagen als regenerative Quellen. Hinzu kom-

men oftmals die großen Distanzen zwischen dem Ort der Energie-Gewinnung und dem Ort der Nutzung. Fehlende ausreichend große Energie-Speicher, Netz-Stabilisatoren und Leitungen zum Transport großer Mengen Energie kommen hinzu. Die aktuell verfolgte Batteriespeichertechnologie zeigt wohl zunehmend Fortschritte, ist aber aufgrund begrenzter Rohstoffressourcen und dem hohen Speichergewicht für den Transport schwerer Güter, wie z.B. beim LKW-Transport, bei Schiffen und Flugzeugen nur schwierig oder nicht wirtschaftlich einsetzbar. Hier kommt das Element Wasserstoff ins Spiel. Wasserstoff ist das am meisten verbreitete Element im Universum. So besteht die Sonne fast vollständig aus Wasserstoff und auf der Erde ist der Wasserstoff im Wasser gebunden. Er bildet zusammen mit dem Kohlenstoff die Grundlage der lebenden Organismen und ist in extrem großer Menge verfügbar. Er ist grundsätzlich chemisch gebunden, kann aber durch Energie-

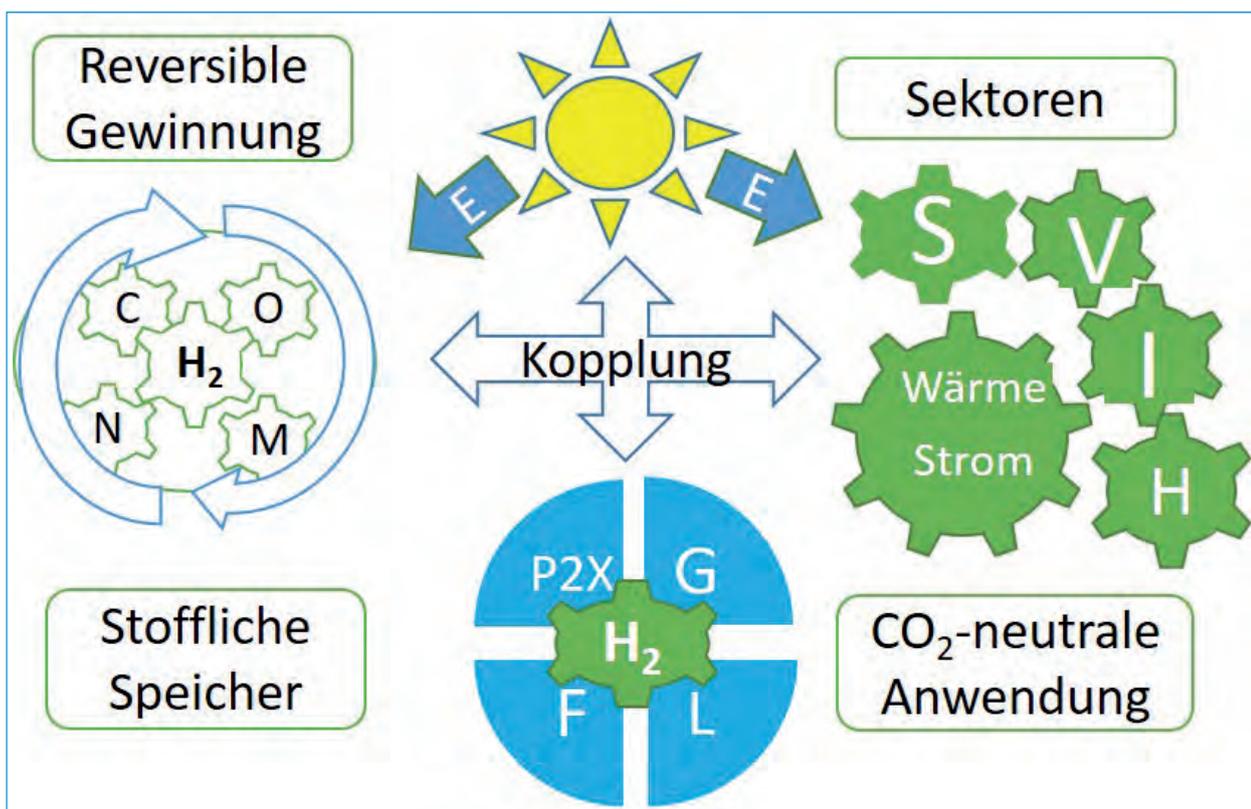


Abb. 2: Kopplung von Energie- und Ressourcennutzung mit Hilfe von Wasserstoff. ■



Abb. 3: Aspekte der Wasserstoff-Technologie ■

zufuhr freigesetzt werden. Wie in Abb.2 dargestellt, kann Wasserstoff als Riesen-Akku regenerative Energie (Strom, Wärme) an allen Orten der Erde beliebig oft und skalierbar stofflich speichern. Nach dem Power-to-X-Konzept (P2X) kann H₂ in flüssige (L), gasförmige (G) und feste Formen (F) und Derivate (Ammoniak, Methanol, Methan, LOHC, Hydridspeicher, E-Fuels) umgewandelt, gespeichert und transportiert werden. Er kann dabei reversibel an dieselben Elemente binden, die die Natur zur stofflichen Energiespeicherung verwendet (C, O, N). Wasserstoff kann in allen Sektoren von der Stromwirtschaft und Netzstabilisierung, Verkehr, Haushalt und Industrie zur Energiegewinnung eingesetzt werden. Stofflich kann er zudem als Reduktionsmittel in der Metallindustrie und zur Herstellung von E-Fuels, chemischen Grundstoffen und Düngemittel eingesetzt werden. Da er verschiedene Sektoren, insbesondere die stoffliche und energetische Welt verknüpft, wird er auch als Sektor-Koppler bezeichnet. Wie fälschlicherweise oftmals angenommen, ist Wasserstoff nicht Konkurrenz zur Elektrifizierung mit der Batterietechnologie, sondern ergänzt sie und macht sie in vielen Bereichen durch hybride Kombination erst möglich.

Eine wichtige Voraussetzung für die vollständige Klimaneutralität

einer weltweiten Wasserstoff-Wirtschaft ist die Verwendung von grünem Wasserstoffs, der ausschließlich durch regenerative Energie und damit CO₂-neutral gewonnen wird. Damit verbunden ist die Herausforderung genügend Wasserstoff auf diese Weise herzustellen und entsprechende Lagerungs- und Transportkapazitäten zu schaffen. Es werden hier große Chancen für den Aufbau deutscher Industriekompetenz zur Wasserstoff-Wirtschaft gesehen, um eine klimaneutrale Zukunft sicherzustellen.

In Augsburg existiert ein interdisziplinärer Verbund von Lehrstühlen und Arbeitsgruppen, um die Expertise und den Austausch hinsichtlich der Forschung zu relevanten Themen der Wasserstofftechnologie zu bündeln und um einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der Energiewende und der Europäischen, Nationalen und Bayerischen Wasserstoff-Strategie und Klima-Allianz zu leisten. Die Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Universität umfasst Expertisen zu Materialsynthesen / -charakterisierungen, Monitoring, Simulationen, Prozeß-Entwicklungen, Gasreaktionen / -separation, und u.a. deren Adaptierung an KI. Das H₂.UniA-Netzwerk bearbeitet hierbei die wichtigen Wasserstoff-Themenbereiche „Erzeugung“, „Speicherung & Transport“, sowie „Anwendungs-

bezogene Nutzung“ adressieren. (Abb. 3)

Es besteht eine branchenübergreifende Vernetzung mit Industriepartnern um die Umsetzung modernster Technologien im industriellen Maßstab zu begleiten. Dies beinhaltet auch eine enge Kooperation mit dem bifa Umweltinstitut GmbH Augsburg, das seit mehr als 30 Jahren als anwendungsorientierte Forschungs-, Entwicklungs- und Beratungseinrichtung ein breitgefächertes Leistungsspektrum rund um den „Technischen Umweltschutz“ repräsentiert. Zu erwähnen ist hier auch das KUMAS — Kompetenzzentrum Umwelt e.V., das neben wirtschaftlichen Aspekten und dem Ausbau des Umweltkompetenzentrums Augsburg, das Augenmerk auf die Sicherung und Verbesserung der regionalen Umweltqualität in Bayerisch-Schwaben und Bayern legt, indem Projekte im Umwelt- und Naturschutz aktiv unterstützt werden. ■

Autoren:



Prof. Dr.
Richard Wehrich
Institut für Materials
Resource
Management (MRM)

Universität Augsburg
Am Technologiezentrum 8
D-86159 Augsburg (Germany)
E-mail: richard.wehrich@mrm.uni-augsburg.de
Tel.: +49 821 598 69131
Tel. +49 821 598 69100 (Sekr.)
Mobil +49 151 68813093



Dr. Michael Heine
CME Carbon
Materials
Engineering

E-Mail:
michael.heine@composites-united.com
+49 8273 9945306
Mobil: +49 171 4740710



Dr. Mehring: „Wasserstoff spielt erste Geige im Energiemix der Zukunft

Ein Überschuss an Energie kann produziert und in Wasserstoff gespeichert werden.

Putins Überfall der Ukraine hat eine beispiellose Energiekrise ausgelöst. Sie wirkt als Brennglas für energiepolitische Fehlentwicklungen der Vergangenheit und lässt die überfällige Energiewende im Zeitraffer passieren. Triebfeder hierfür ist ein neues öffentliches Bewusstsein um die Notwendigkeit des Zubaus erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen. Leider kommt dabei in der öffentlichen Wahrnehmung noch immer zu kurz, dass die Transformation unserer Energieversorgung von fossilen zu erneuerbaren Quellen über Zubau alleine nicht gelingen kann. Stattdessen haben wir insbesondere ein Speicherproblem. Die zentrale Herausforderung besteht darin, erneuerbare Energie vom Tag in die Nacht und vom Sommer in den Winter zu transferieren. Der Gamechanger heißt „Grundlastfähigkeit“. Die Gretchenfrage lautet, ob wir unseren Energiebedarf zukünftig auch in der Dunkelflaute aus erneuerbaren Energien decken können. Erst dann wird ein finaler Abschied von klimafeindlichem Kohlestrom, Atommüll und der Abhängigkeit von zweifelhaften Autokraten greifbar.

Der Schlüssel hierzu besteht im Wasserstoff, der deshalb die erste Geige im Energiemix der Zukunft

spielen wird. Elektrolyseure ermöglichen den aktuellen Zustand zu beenden, in dem Solar- und Windparks in Diensten der Netzstabilität abgeschaltet werden müssen, obwohl die Sonne scheint und der Wind weht. In Zukunft kann auf diese Weise ein Überschuss an Energie produziert, in Wasserstoff gespeichert und während der Dunkelflaute verbraucht werden. Die Good News ist: Die Netzinfrastruktur hierfür ist über das Erdgasnetz bereits weitgehend vorhanden – statt neue Stromtrassen zu bauen, kann das bestehende Pipeline-System Zug um Zug umgestellt werden.

Bayern setzt folgerichtig wie keine zweite Region in Europa auf den Wasserstoff. Dies geschieht in der Überzeugung, dass die Energiefrage darüber entscheiden wird, ob es gelingt unseren Wohlstand in die Zukunft zu tragen. Ohne bezahlbare und verlässliche Energie droht uns nämlich eine volkswirtschaftliche Reduzierung auf Forschung und Entwicklung, während Produktionsprozesse weiter in Regionen mit niedrigeren Löhnen und Energiepreisen abwandern werden. Mithilfe von Wasserstoff den gordischen Knoten der Energiewende zu durchschlagen ist deshalb essentiell für die Zukunft unseres Wirtschaftsstandortes.

Auf diese Weise kann es gelingen, die Chance in der Krise zu ergreifen und uns die Spitzenplätze auf den grünen Märkten der Zukunft zu erobern. Dabei darf die Energiewende auch als Chance dafür verstanden werden, die Wertschöpfungspotenziale des Energiesektors zurück in die Regionen Bayerns zu verlagern. ■

Dr. Fabian Mehring, MdL
Parlamentarischer Geschäftsführer

Autor:



FREIWÄHLER LANDTAGSFRAKTION

Dr. Fabian Mehring, MdL
Abgeordnetenbüro
Schloßstraße 2c
86405 Meitingen

Tel: +49 (0) 82 71 / 81 296 – 10
Fax: +49 (0) 82 71 / 81 296 – 29
E-Mail:
abgeordnetenbuero.mehring@
fw-landtag.de

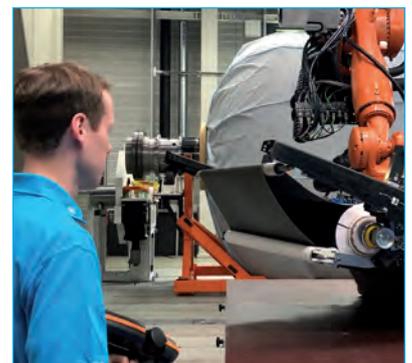
Der Augsburg Innovationspark mit dem Technologiezentrum Augsburg

Der **Augsburg Innovationspark** mit dem **Technologiezentrum Augsburg** ist eine Wirtschaftsfördermaßnahme der Stadt Augsburg und des Landkreises Augsburg, die vom Freistaat Bayern unterstützt wird. Ziel ist es, Innovationen und Technologietransfer für Unternehmen in den Bereichen Wasserstofftechnologie, Luft- und Raumfahrt, Leichtbau, Faserverbund, Mechatronik & Automation, Digitalisierung, Künstliche Intelligenz, Industrie 4.0, Umwelttechnologie und Ressourceneffizienz zu unterstützen. Diese verschiedenen Bereiche ergänzen sich dabei hervorragend. Ein Beispiel: Wasserstofftanks für Flugzeuge werden aus Carbonfaser-Materialien mit Robotern auf KI-gesteuerten Produktionsanlagen gefertigt. Durch unsere Verknüpfung der Wissensquellen (Universität, Hochschule, Institute, Startups...) mit den Unternehmen gelingt es, das Know-How der Wissensquellen sehr schnell in die industrielle Produktion überzuführen. Im 70 ha großen Innovationspark können sich Technologieunternehmen ansiedeln oder als Projektgruppe im 12.000 m² großen Technologiezentrum Augsburg mit Forschungseinrichtungen eng zusammenarbeiten, um Produktionsprozesse und Produkte zu verbessern. 50 Nutzer wie Forschungsinstitute, Startups, regionale Unternehmen und Global Player sind bereits vor Ort und beschäftigen über 1000 Fachkräfte. Die **Wasserstofftechnologie** hat für

den Augsburg Innovationspark eine zentrale Bedeutung auf Grund der enormen und notwendigen globalen Relevanz und der damit verbundenen Marktchancen, die wir mit den Kompetenzen des Innovationsparks insgesamt sehr gut bedienen.

Beispielhafte H2-Kompetenzen im Augsburg Innovationspark

- **DLR SG:** H2 in Turbinenanwendung, Test und Simulationen
- **DLR ZLP:** Leichtbaustruktur-Produktionsverfahren bis zur Industriereife, z.B. H2-Tankstrukturen
- **Fraunhofer IGCV:** Composite Materials und Prozessautomation
- **AMU mit H2.UniA:** interdisziplinärer H2-Verbund von Lehrstühlen und Arbeitsgruppen
- **Material Resource Management Institut:** Technologieentwicklung, Sensorik, Materialaspekte, Analysen, Digitalisierung, KI
- **FZG:** Entwicklung von Getrieben für H2 Antriebsstränge
- **Composites United, MAI Carbon:** Cluster für Carboncomposites. Anwendung in verschiedenen H2-Bereichen, Bildung, Vernetzung und Projekte
- **CMA:** Cluster für Mechatronik und Automation. Vernetzung, Bildung, Projekte
- **KUMAS:** Cluster, u.a. im H2-Bereich aktiv mit Datensammlung, Information, Sensibilisierung, Bewertung, Moderation, Vernetzung, Bildung
- **Bavaria Hydro:** Wasserstoff-Projektentwickler
- **H-TECH SYSTEMS:** Hersteller H2-Großelektrolyseure
- **AdvanTec:** Experimentalflugzeug mit E-Antrieb auf dem Weg zum Brennstoffzellenantrieb
- **Coriolis:** Entwicklung und Produktion von Druckgasspeichern aus Carbonfasern, Roboterproduktionstechnologie
- **3D-MT:** CT-Meßtechnik für Strukturen der H2 Technik
- **Solvay:** Membran-Elektrodeneinheiten
- **Evobay:** Bipolarplatten-Beschichtungsmaschinen. Entwicklung und Bau
- **Audiatec:** Wasserstoffverbraucher



Tankproduktion mit Robotern
Foto: © Wolfgang Hehl ■

Kontakt:

Augsburg Innovationspark GmbH
Wolfgang Hehl
Geschäftsführer
Am Technologiezentrum 5
86159 Augsburg
T +49(0)821 80 90 30 60
wolfgang.hehl@augzburg-innovationspark.com
www.augszburg-innovationspark.com

Mit KI zum sicheren H2-Druckbehälter

Das Institut für Materials Resource Management der Universität Augsburg verfügt über eine weltweit einzigartige Expertise in der Schallemissionsmessung. Aktuell ist die Einbindung von KI zur Ortung, Klassifizierung und Prognostizierung von Bruchvorgängen.

Wenn man von Wasserstoff als dem Kraftstoff der Zukunft spricht, müssen zwei Fragen geklärt sein: Wie können H₂-Druckbehälter erstens ressourcenoptimiert und zweitens anwendungssicher hergestellt werden? An der Universität Augsburg forscht das Institut für Materials Resource Management (MRM) seit mehreren Jahren an diesem Thema. Mittels Sensoren in Kombination mit Algorithmen der künstlichen Intelligenz können selbst kleinste Bruchvorgänge in Druckbehältern aus carbonfaserverstärktem Kunststoff geortet, klassifiziert und der Berstdruck der Behälterstrukturen prognostiziert werden. Dies kann unter anderem den Aufwand an Prüfverfahren zur Zulassung von Druckbehältern reduzieren und deren Nutzung noch sicherer machen. In Zukunft sollen die KI-Anwendungen weiter erforscht und deren Zuverlässigkeit noch höher werden. ■

Weltweit einzigartige Expertise

Die Forschung zum Thema Schallemissionsmessung begann am MRM vor mehr als zehn Jahren mit sehr grundlegenden Fragestellungen zur Prüfung von Faserverbundwerkstoffen. Mit der Anwendung auf Druckbehälter wurde mittlerweile eine weltweit einzigartige Expertise erarbeitet, welche sich von automotiv-typischen Größen im Meterbereich bis hin zu Behältergrößen von bis zu 12 Metern Länge im Raumfahrt-

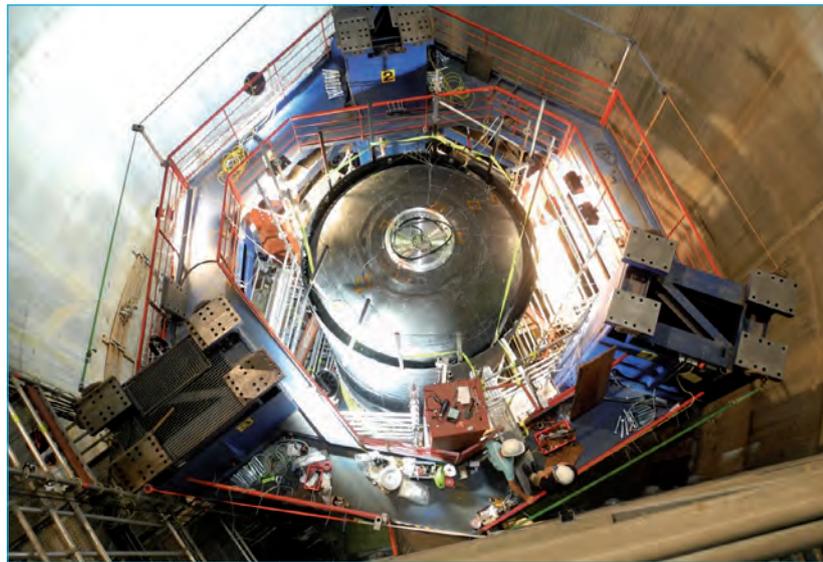


Abb. 1: Installation der Sensorik an einem Druckbehälter mit 3,5 m Durchmesser in einer Testgrube für die Berstdruckprüfung. © MT-Aerospace AG ■

bereich erstreckt. In diesem Umfeld wurde unter anderem die Entwicklung der Booster für z.B. die Ariane 6-Trägerrakete oder mögliche Minilauncher unterstützt. ■

Am Anfang ist das Geräusch

Der Forschungsansatz des Teams um Prof. Dr. Markus Sause (Mechanical Engineering) im Kontext der Druckbehälter gestaltet sich wie folgt: Bricht ein Material unter einer mechanischen Belastung, wird die gespeicherte elastische Energie spontan freigesetzt und versetzt die Umgebung in Schwingung. Im Material breiten sich dann elastische Wellen von dem Bruchvorgang aus, dieser wird daher als Schallemission bezeichnet. Vorstellen kann man sich dies wie ein Erdbeben, allerdings auf

viel kleinerer Skala mit kaum wahrnehmbaren Schwingungen im Ultraschallbereich. ■

Die Schallemissionsanalyse

Diese kleinen Schwingungen werden durch äußerst empfindliche Sensoren auf der Oberfläche eines zu untersuchenden Objekts dank des piezoelektrischen Effekts in ein elektrisches Signal umgewandelt. Aus diesem lassen sich unterschiedliche Informationen gewinnen: Die Betrachtung der Schalllaufzeiten bzw. der Ankunftszeiten des Schallemissionssignals an Sensoren unterschiedlicher Position lassen beispielsweise eine Ortung der Schallemissionsquelle zu. Analog der Vorgehensweise bei der GPS-Navigation lässt sich dabei durch Verwendung mehrerer

Sensoren eine Ortsbestimmung der Schallquelle auch in einem dreidimensionalen Objekt, wie z.B. einem Druckbehälter, vornehmen. ■

Herausforderung carbonfaserverstärkte Materialien

Bei der Überwachung eines Druckbehälters aus carbonfaserverstärkten Materialien, z.B. einem H₂-Druckbehälter, gestaltet sich die Ortung einer Schallquelle aufgrund der anisotropen Materialeigenschaften aufwändiger als in einem Behälter aus isotropen Materialien: Durch die Orientierung der Fasern im Verbundwerkstoff breitet sich der Schall richtungsabhängig mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus. Lokale Abweichungen von z.B. Faserorientierungen oder Faser volumengehalt bringen zusätzlich die Genauigkeit analytischer Berechnungen schnell an ihre Grenzen. An dieser Stelle kommen daher Methoden der künstlichen Intelligenz zum Einsatz: Mittels maschinellen Lernens können z.B. unterschiedliche Signalankunftszeiten an Sensoren eines Netzwerks dafür genutzt werden, um ein Modell zu trainieren, das die Position einer Schallquelle auch in solchen Situationen sehr präzise bestimmen kann. Fazit des Teams um Professor Sause: Wenn man einen H₂-Druckbehälter mit einem Prüfdruck beaufschlagt und mit Sensoren ausstattet, kann man sehr genau feststellen, ob – und wenn ja, wo – kleinste Bruchvorgänge stattfinden. ■

Klassifizierung von Schallereignissen

Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Auswertung der Messdaten kommt zu der Ortung von Bruchereignissen noch ein weiterer, entscheidender Vorteil mit Blick auf die Entwicklung und Fertigung von Druckbehältern hinzu: Die Klassifizierung von Bruchvorgängen. Während bei metallischen Werkstoffen als Versagensmechanismus nur eine Art

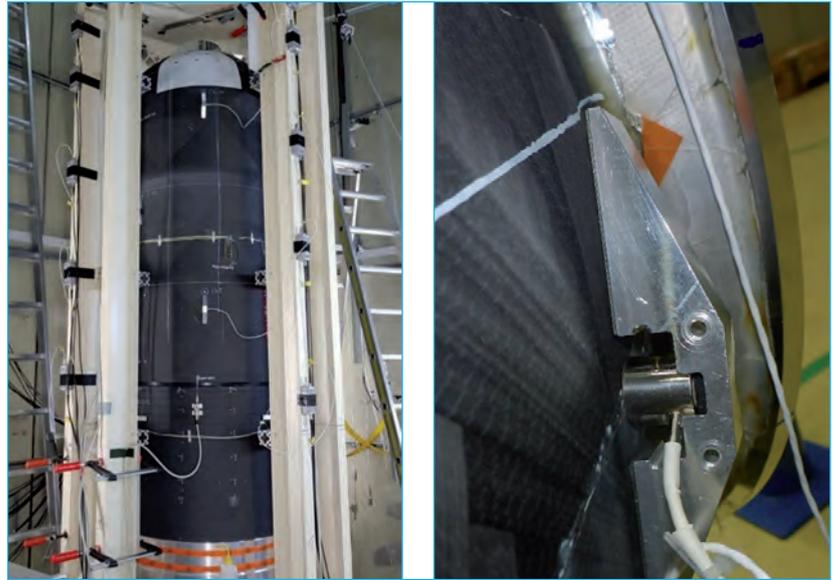


Abb. 2 u. 3: Lastrahmenkonstruktion für Strukturtest an einem großen Druckbehälter für Raumfahrtanwendungen (links), bestückt mit Schallemissionssensoren (rechts). © MT-Aerospace AG ■

Risswachstum in Frage kommt, ist die genaue Art des Risses für Druckbehälter aus carbonfaserverstärktem Kunststoff oft entscheidend: Handelt es sich um einen Bruch der Fasern, einen Riss in der Matrix oder aber eine Ablösung an der Grenzfläche zwischen Faser und Matrix? Je nachdem kann durch eine Anpassung des Materials oder eines früheren Fertigungsschritts in der Produktion eine höhere Qualität der Druckbehälter erreicht werden. Die Forschenden rund um Professor Sause nutzen dabei einen Effekt aus, der gut bekannt ist: Je nachdem, welches Material bricht, ändert sich das entstehende Geräusch. Man kann diese Unterschiede nutzen, um den charakteristischen Fingerabdruck eines brechenden Materials (z.B. einer Faser oder eines Kunststoffes) mittels KI-basierten Klassifizierungsalgorithmen zu trennen und damit automatisiert zu bestimmen. Die Begleitung eines Druckbehälters von der Materialauswahl bis hin zum fertigen Produkt mit KI-Methoden ist deshalb wichtiger Bestandteil der Forschung. ■

Vorhersage des Bauteilversagens

Ergänzend hierzu befassen sich die Forscherinnen und Forscher am MRM mit der Frage, wie man das

Versagen einer strukturellen Komponente — beispielsweise eines Druckbehälters — vorhersagen kann. Aktuell werden in der Abnahmeprüfung Druckbehälter mehrfach mit Innendruck beaufschlagt, beispielsweise mit 1.500 bar bei einer angestrebten Belastung im Betrieb von 1.000 bar. Hält der Behälter stand, weiß man, dass er mit großer Wahrscheinlichkeit die 1.000 bar für lange Zeit aushält. Allerdings kennt man seine tatsächliche Belastungsgrenze nicht und weiß ebenso wenig, ob innerhalb der Produktion über die Zeit hinweg bereits Trends einer Qualitätsabnahme entstehen. An dieser Stelle setzen die Forschenden an: Es ist durch die genauere Betrachtung der Schallemissionssignale in einem gewissen Zeitraum und den Vergleich mit früheren Ergebnissen u.a. im Labormaßstab gelungen die Last, die zum Versagen eines Druckbehälters führt, quantitativ zu prognostizieren. Das Verfahren nutzt hierzu wiederum einen Ansatz des maschinellen Lernens, welches diesen Übertrag von Daten aus dem Labormaßstab auf reale H₂-Druckbehälter ermöglicht. Damit können beim Test die lokalen Belastungszustände berechnet und dargestellt werden (s. Abbildung 4), dies erlaubt Schwach-

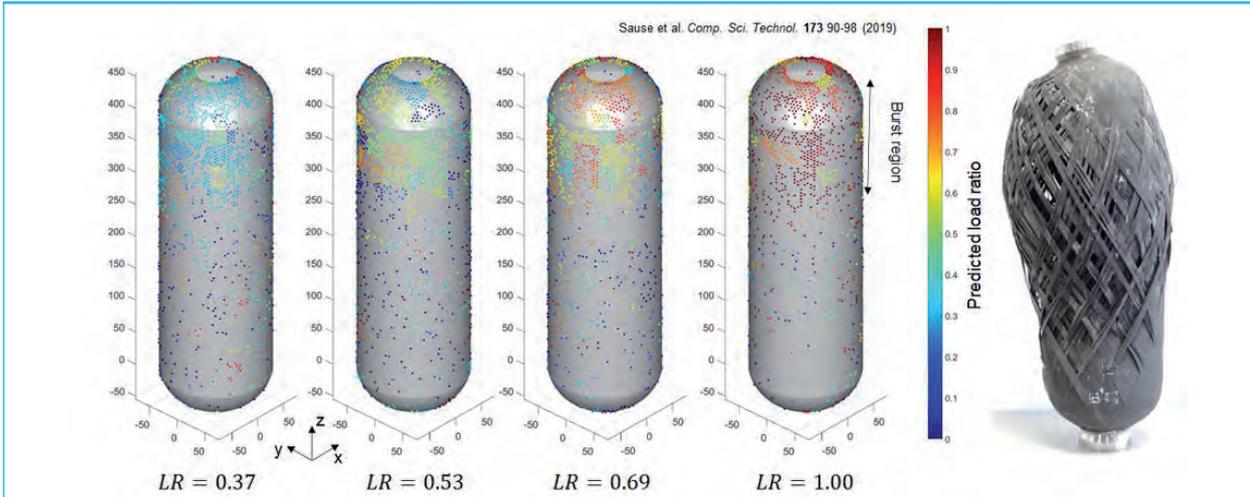


Abb. 4: Beispiel für die lokale Vorhersage der Belastung im Behälter (Load Ratio LR) dargestellt in vier nacheinander folgenden Last-zyklen, sowie der Behälter nach dem Bersttest. © Universität Augsburg

stellen zu visualisieren und die Qualität zu dokumentieren. Dieses Verfahren ist daher ein wichtiger Schritt auf dem Weg hin zu einer besseren und dabei wirtschaftlicheren Zulassungsprüfung von H₂-Druckbehältern. Neben dem Einsatz der Schallemissionsanalyse zur Prüfung neuer Behälterdesigns, zur Qualifizierung neuer Materialien oder bei der Zulassungsprüfung von Druckbehältern, kann sie auch zur permanenten Überwachung der Integrität verwendet werden (engl.: structural health monitoring). Dabei helfen ebenfalls Klassifizierungsverfahren basierend auf Methoden der künstlichen Intelligenz, relevante und ggf. kritische Signale bzw. kritische Signalanhäufungen zu identifizieren und darüber hinaus kritische Zustände einer Struktur zu erkennen, bevor sie zu einer Gefahr werden. ■

Das KI-Produktionsnetzwerk Augsburg

In Zukunft wird das Team um Professor Sause im Rahmen des KI-Pro-

Das KI-Produktionsnetzwerk Augsburg ist ein Verbund der Universität Augsburg mit dem Fraunhofer-Institut für Gießerei, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV sowie dem Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Ziel ist eine gemeinsame Erforschung KI-basierter Produktionstechnologien an der Schnittstelle zwischen Werkstoffen, Fertigungstechnologien und datenbasierter Modellierung.

duktionsnetzwerks Augsburg daran forschen, wie man die KI-Verfahren zur Analyse der Schallemission noch effektiver und effizienter einsetzen kann, um sich schneller auf geänderte Fertigungsmethoden, Geometrien oder neue Materialien einzustellen. Das KI-Produktionsnetzwerk Augsburg bietet dabei eine hervorragende Plattform um die Produktion von H₂-Druckbehältern vollständig mit Methoden der künstlichen Intelligenz zu begleiten. Dies umfasst die Zustandsüberwachung der Herstellungsprozesse wie Wickeln, Aushärten und die Rückführung der Daten für eine Pro-

zessoptimierung, über die Prüfung von Druckbehältern bis zur Überwachung und vorausschauenden Wartung der Druckbehälter im Betrieb. Was die Forschenden antreibt ist der Wunsch, H₂-Druckbehälter aus carbonfaserverstärktem Kunststoff noch sicherer zu machen und damit einen wichtigen Beitrag für die Mobilitätswende zu leisten. ■



Ansprechpartner:



Prof. Dr. Markus Sause
 Universität Augsburg/
 Institut für Materials
 Resource Management/
 Mechanical
 Engineering

Tel.: +49-[0]821-598-69161
 E-Mail: markus.sause@mrm.uni-augsburg.de
 web: www.mrm.uni-augsburg.de/
 gruppen/sause/

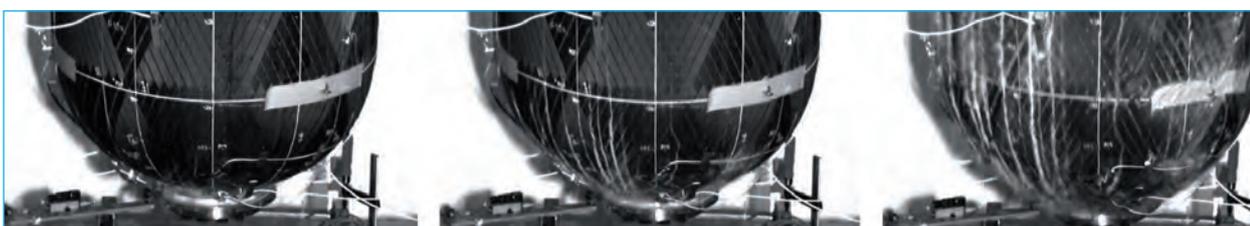


Abb. 4: Beispiel für die lokale Vorhersage der Belastung im Behälter (Load Ratio LR) dargestellt in vier nacheinander folgenden Last-zyklen, sowie der Behälter nach dem Bersttest. © Universität Augsburg

Grüner Wasserstoff als Energieträger für die Luftfahrt – Status, Herausforderungen und Perspektiven

Das weltweite Bestreben den durch den Anstieg der Durchschnittstemperaturen bedingten Klimawandel zu begrenzen¹ erfordert Anstrengungen aller Sektoren. Auch die Luftfahrtindustrie hat sich ambitionierte Ziele^{2,3}, gesetzt, welche eine wesentliche Emissionsreduktion und vollständige Dekarbonisierung (i.e. netto-null CO₂-Emissionen) bis 2050 vorsehen. Die Erreichung dieses Vorhabens stellt einen enormen Kraftakt dar und kann nur durch rigorose Kombination weitreichender Emissionsreduktionsmaßnahmen erwirkt werden. Neben technischen Effizienzsteigerungen und der Optimierung operationeller Aspekte wie etwa die Vermeidung von ungenutzten Sitzplätzen oder

Zwischenlandungen, stellt der Umstieg auf nachhaltigere Energieträger einen wesentlichen Hebel dar. Dieser wirkt in gewisser Weise zweifach: Zum einen sind Art und Menge der während des Fluges ausgestoßenen Emissionen von fundamentaler Bedeutung für die Klimawirkung, zum anderen ist es essentiell, die Produktion und Bereitstellung des Energieträgers möglichst nachhaltig zu gestalten und somit eine vorteilhafte Umweltbilanz zu erzielen. Die Renewable Energy Directive der Europäischen Union⁴ sieht hierbei Reduktion von mindestens 70% gegenüber fossilem Kerosin vor. Im Kontext nachhaltiger Energieträger kommt dem grünen Wasserstoff

eine Schlüsselrolle zu. Dieser kann mittels Elektrolyse mit vergleichsweise hoher Effizienz und geringem Umwelteinfluss aus erneuerbaren Energien und Wasser produziert werden, bietet die Möglichkeit der Anwendung in verschiedenen Industrien und bildet zudem die Grundlage für die Herstellung vieler anderer chemischer Produkte sowie Kraftstoffe. Das Potential und wesentliche Ziele für den sektorübergreifenden Einsatz wurde bereits auf nationaler⁵, europäischer⁶ sowie bayerischer⁷ Ebene in Strategiepapieren festgehalten. Auch in der Luftfahrt stellt grüner Wasserstoff einen wichtigen Baustein für die Erreichung obengenannter Klimaziele dar. Dabei wird er nicht nur



Visualisierung dreier Konzepte für wasserstoffbetriebene Flugzeuge in verschiedenen Marktsegmenten – von regionalen Flügen (hinten) bis zur Langstrecke (vorne). ©Bauhaus Luftfahrt ■

als Ausgangsstoff für die Herstellung synthetischer Kerosine mit hohem Emissionsreduktionspotential benötigt, sondern auch als spannende Zukunftsoption für den direkten Einsatz als Energieträger an Bord diskutiert. Dies ist – neben der nachhaltigen Herstellungsweise – vor allem durch den Wegfall kohlenstoffbasierter Verbrennungsprodukte wie Rußpartikel und CO₂ motiviert, aber mit zahlreichen Herausforderungen verbunden, welche sich aus den von Kerosin fundamental verschiedenen Eigenschaften dieses Energieträgers ergeben. Neben der hohen Flüchtigkeit und des gasförmigen Zustands bei Standardbedingungen, ist hier vor allem die geringe volumetrische Energiedichte zu nennen. Bei hohen Drücken von 700 bar kann diese zwar signifikant vergrößert werden, ist aber dennoch auf ca. 1/7 von Kerosin limitiert – dazu kommt ein erhöhtes Tankgewicht. Eine Bedruckung von Wasserstoff reicht somit für den Einsatz in Passagierflugzeugen nicht aus (Ausnahmen stellen hier nur sehr kleine Vehikel wie Flugtaxi dar). Daher muss auf verflüssigten Wasserstoff zurückgegriffen werden, eine kryogene Flüssigkeit mit Temperatur $\leq 253^\circ\text{C}$. Um letztere beibehalten zu können unterscheiden sich die Flüssigwasserstoffspeicher drastisch von den herkömmlichen, im Flügel integrierten Kerosintanks: Sie benötigen eine aufwendige Wärmeisolation und müssen daher meist zylindrisch oder gar kugelförmig ausgeführt werden. Ihre Integration ist daher meist im Rumpf vorgesehen, was zu größeren Rumpfvolumina und -längen und im Ergebnis zu höheren Luftwiderständen führt. Um diese intrinsischen Nachteile von direkter Wasserstoffnutzung zu kompensieren, ist es von essentieller Bedeutung alle sich daraus ergebenden Möglichkeiten auszuschöpfen. Das

Bauhaus Luftfahrt e.V. erforscht dazu seit geraumer Zeit verschiedenste Ansätze und hat unter anderem kürzlich auf der ILA 2022 (Innovation and Leadership in Aerospace) drei Konzeptvorschläge für wasserstoffbetriebene Flugzeuge präsentiert. Ein wesentliches Element ist hierbei der langgestreckte Flügel: Da, wie beschrieben, der Kraftstoff im Rumpf und nicht wie konventionell im Flügel gelagert wird, wird der Designraum des letzteren wesentlich vergrößert – mit gestreckten Geometrien und einer hochflexiblen Auslegung können hier signifikante aerodynamische Vorteile erzielt werden. Ebenso ermöglicht die Nutzung von Wasserstoff auch den Einsatz von in der Luftfahrt zuvor nicht zur Anwendung gekommenen Energiewandler: Brennstoffzellen wandeln chemische zu elektrischer Energie, welche an Bord für die Versorgung der Subsysteme, oder auch für den Antrieb genutzt werden kann. Je nach Leistungsklasse und Betriebspunkt, können im Vergleich zur Gasturbine hohe Effizienzen erzielt werden. Allerdings bringen diese elektrochemischen Vorrichtungen auch ein höheres Gewicht mit an Bord und sind aktuell in ihren Systemgrößen limitiert. Um Vorteile beider Technologien zu nutzen sind verschiedenste synergistische Kombinationen aus Gasturbine und Brennstoffzelle möglich. Auch verteilte Antriebsauslegungen werden untersucht: beispielsweise wirkt ein grenzschichteinsaugender Fan am Heck des Flugzeuges effizienz erhöhend und kann insbesondere den aerodynamischen Nachteilen eines vergrößerten Rumpfes effizient entgegenwirken. Erste Analysen des Bauhaus Luftfahrt e.V. zeigen, dass Wasserstoff auf allen Marktsegmenten denkbar ist. Aufgrund der großen Breite an Anwendungsfällen und Leistungsanforderungen – von

Maschinen für wenige Passagiere und kurze Strecken bis hin zu großen Langstreckenflugzeugen – wird es aber entscheidend sein, jeweils die bestgeeignete Kombination der verschiedenen Technologiebausteine einzusetzen. Nicht nur im Flugzeug- und Antriebsdesign sind interdisziplinäre und innovative Lösungsansätze gefragt um den Weg für Flüssigwasserstoff als Energieträger der Luftfahrt freizumachen. Besonders beim Transport, sowie bei der am Flughafen benötigte Verteil- und Tankinfrastruktur, bedarf es der (Weiter)entwicklung diverser technologischer Schlüsselkomponenten wie Kryopumpen und Flüssigwasserstoffleitungen zu erhöhen. Hier gilt es, die Distributions- und Speicherlösung dem jeweiligen Anwendungsfall anzupassen, also beispielsweise anhand der Flughafengröße, der benötigten Wasserstoffmenge und der Turnaro- und Abläufe zu optimieren – komplexe Zusammenhänge, welche am Bauhaus Luftfahrt e.V. mittels Modellierung in Angriff genommen werden. Um auch den durch Verdampfung wieder gasförmig gewordenen Wasserstoff zu nutzen, ist es sinnvoll den Energieträger auch für den Betrieb am Boden oder die Gebäudeversorgung mit Strom und Wärme einzusetzen. Sicherheitsaspekte im Umgang mit Wasserstoff am Flughafen sind dabei stets mitzudenken. Neben den technologischen Herausforderungen zur Ermöglichung des Wasserstofffliegens bestehen noch Unsicherheiten hinsichtlich des Treibhauseffekts der Emissionen auf Reiseflughöhe. Während der Wegfall von Rußpartikeln einen klaren Vorteil darstellt, so ist es für ein sicheres Verständnis der Gesamtklimawirkung eines als Energieträgers in der Luftfahrt unumgänglich, auch den Effekt der Kondensstreifen und Wolkenbil-

dung sowohl für konventionelle Flugzeuge als auch für Wasserstoffflugzeuge weiter aufzuklären. Frühe Modellrechnungen⁸ deuten allerdings darauf hin, dass Wasserstoffflugzeuge auf den für aktuelle Zivilflugzeuge typischen Reiseflughöhen eine geringere Klimawirkung aufweisen. Zusammenfassend lässt sich ein erheblicher Forschungs und Entwicklungsaufwand feststellen. Zudem benötigt es einen wesentlichen Ausbau an Produktions- und Distributionskapazitäten für grünen Wasserstoff. Um das Potential dieses nachhaltigen Energieträgers zu heben, bedarf es daher eines Zusammenspiels verschiedener Akteure. Eine erfolgreiche Einführung und Transformationsphase in der Luftfahrt bedarf demnach ein Mitwirken von Flughäfen, Airlines, Flugzeugherstellern, und Zulieferern aber auch breiteren Einsatz von anderen Sektoren, Politik, Forschung und Gesellschaft. Unter Berücksichtigung der genannten Faktoren, sowie der in der Luftfahrt üblichen zeitintensiven Designzyklen, ist ersichtlich, dass es sich bei grünem Wasserstoff als eine spannende Alternative mit Emissionsreduktionspotential handelt, welche längerfristig einen großen Beitrag liefern könnte. ■

- 1 Paris Agreement, available online: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en, accessed 31.1.2023
- 2 Waypoint 2050 2nd Edition, available online: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>, accessed 31.1.2023
- 3 Fly Net Zero, available online: <https://www.iata.org/en/programs/environment/flynetzero/>, accessed 31.1.2023
- 4 Renewable Energy Directive, available online: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en, accessed 31.1.2023
- 5 Nationale Wasserstoffstrategie, available online: https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoff-strategie/nationale-wasserstoffstrategie_node.html, accessed 31.1.2023
- 6 A Hydrogen Strategy for a Climate Friendly Europe, available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC 0301>, accessed 31.1.2023.
- 7 Bayerische Wasserstoffstrategie, available online: <https://www.stmwi.bayern.de/energie/energiewende/wasserstoffstrategie/>, accessed 31.1.2023
- 8 Ponater M. et al., 2006, Atmospheric Environment, 40, 6928-6944.

Autor*innen:



Dr. Kathrin Ebner
Kathrin.Ebner@bauhaus-luftfahrt.net



Dr. Arne Seitz
arne.seitz@bauhaus-luftfahrt.net



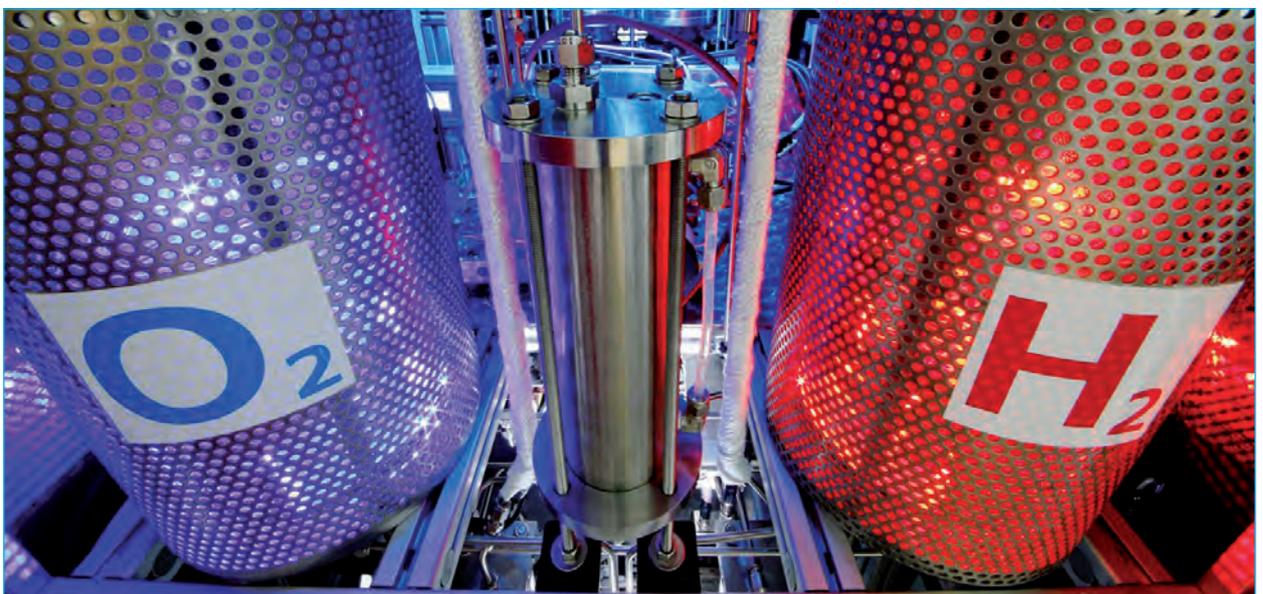
Dr. Valentin Batteiger
valentin.batteiger@bauhaus-luftfahrt.net



Fabian Peter
abian.peter@bauhaus-luftfahrt.net

Kontakt:

Bauhaus Luftfahrt e. V.
Willy-Messerschmitt-Str. 1
82024 Taufkirchen
Germany
www.bauhaus-luftfahrt.net



SOLARTHERMIE IN BAYERN



Der über Jahre aufgebaute Erfolg dokumentiert sich in Qualität und Leistung in dieser Schlüsseltechnologie, die auch unsere Energieprobleme lösen kann.

Solarthermieanlagen stellen Warmwasser und Raumwärme bereit.

Solarthermische Anlagen haben das Potenzial den CO₂-Ausstoß erheblich zu reduzieren und die Umweltbelastung zu verringern.

Schlüsselfaktor für den zukünftigen Erfolg der Photovoltaik

Die Integration von Photovoltaik in Gebäude wird als gebäudeintegrierte Photovoltaik (BIPV) bezeichnet, die traditionelle Gebäudehüllen oder -strukturen wie Fenster, Dächer, Wände, Geländer usw. durch voll funktionsfähige PV-Module aufwertet und im Idealfall ersetzt. Diese neuen BIPV-Strukturen können nicht nur als gewöhnliche Baumaterialien dienen, sondern auch Elektrizität für den Energieverbrauch innerhalb der Gebäude erzeugen. Im Vergleich zum nicht integrierten System benötigt BIPV keine neuen Landressourcen, ein wichtiges Argument für den beschleunigten Ausbau der PV. BIPV wird daher als einer der vier Schlüsselfaktoren für den zukünftigen Erfolg der Photovoltaik betrachtet. Anwendungen von BIPV sind vielfältig und können als photovoltaische Dächer, photovoltaische Wände, semitransparente photovoltaische Glasstrukturen oder auch als photovoltaische Sonnenschutzvorrichtungen implementiert werden. Bei vollständiger Integration können diese BIPV-Materialien nicht nur die Kosten für Baumaterialien reduzieren, sondern auch die Kosten für die eigene Installation senken, da BIPV keine eigene Ständerung benötigt. Einige Forscher weisen jedoch darauf hin, dass eine erfolgreiche Entwicklung der BIPV nicht nur die Erwartungen hinsichtlich Funktion und Kosten erfüllen muss, sondern insbesondere auch bei Aspekten der Ästhetik, Oberflächenstruktur und Farbharmone überzeugen muss. Die Entwicklung von Dünnschicht

PV Technologien hat die Innovation von BIPV vorangetrieben, nicht nur aufgrund von möglichen niedrigeren Kosten und einer einfacheren Verarbeitungstechnologien, sondern vor allem aufgrund des niedrigen Gewichts, der einfachen Integration und Designmerkmalen wie Flexibilität und Transparenz. Organische PV-Module sind einer der jüngsten Technologien, die aktuell auf ihr Marktpotenzial überprüft werden. Die organische Photovoltaik überzeugt dabei vor allem durch das besonders geringe Gewicht, eine Flexibilität die Krümmungsradien von unterhalb 10 cm erlaubt, und insbesondere durch ihr vielfältiges Farbspektrum. Technisch relevant ist auch die sehr geringe Winkelabhängigkeit und das ausgezeichnete Schwachlichtverhalten der organischen Photovoltaik. Mehrere Studien konnten zeigen, dass die integrierte OPV insbesondere bei ungünstigen Ausrichtungen eine relativ höhere Energieausbeute hat, bezogen auf die maximale Leistung, als unterschiedliche anorganische PV Technologien hat.

Im Vergleich zu siliziumbasierten Solarzellen steht die organische Photovoltaik erst am Anfang einer möglichen Kommerzialisierung. Allerdings haben diese organische Solarzellen unterschiedliche Vorteile, die sie insbesondere für die Gebäude Integration interessant machen. Dazu zählen die „Rolle-zu-Rolle“-Fertigung mittels konventioneller Beschichtungs- oder Drucktechnologien, kohlenstoffbasierte Halbleiter



Bei den Erlanger Stadtwerken wurde kürzlich eine Fassade mit organischen Solarmodulen versehen. Die Module wurden direkt auf die Fassade geklebt und haben keinerlei weitere statische Anforderungen. ■

die, ähnlich wie Silizium, beinahe unerschöpflich sind, potenziell geringe Kosten, geringes Gewicht und die Umweltverträglichkeit. Ebenfalls attraktiv ist das Recycling von organischen Solarzellen. Erste Studien haben gezeigt, dass organische Solarzellen beinahe zu 100 % recycled werden können, und das, ohne an Performance zu verlieren. Diese Eigenschaft des horizontalen Recyclings löst gerade wesentliche Aktivität im Bereich Forschung und Entwicklung aus. Unschlagbar attraktiv sind die organischen Solarzellen in Hinsicht auf Transparenz. Organische Halbleitermaterialien sind sogenannte exzitonische Halbleiter, die eine spektral relativ schmale Absorption aufweisen. Diese Absorption lässt sich sehr einfach modifizieren. Damit lassen sich organische Halbleiter mit einer optischen einstellbaren Bandlücke herstellen, die vor allem das infrarote Licht absorbieren, also die Wärmestrahlung, aber für das sichtbare Licht hochtransparent sind. Eine Hauptherausforderung für die Zukunft der organischen Photo-



Am Helmholtz Institut Erlangen-Nürnberg wird eine automatisierte Laborplattform genutzt um neue Materialien für druckbare Halbleiter zu entwickeln. Mit der Plattform werden vollautomatisiert Solarzellen hergestellt und anschließend charakterisiert. ■

voltaik wird darin bestehen, ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen hoher Transparenz im sichtbaren Bereich und hoher photoelektrischer Umwandlungseffizienz im nahen Infrarotbereich zu erreichen. Diese Solarzellen lassen sich dann in Fenster integrieren, erzeugen kostengünstig Strom und unterbinden zusätzlich die Transmission von infraroter Wärmestrahlung. Organische solar Fenster würden damit nicht nur erneuerbaren Strom liefern, sondern auch die Kosten für Kühlung und Heizung reduzieren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass organische Solarzellen eine attraktive Option für die Zukunft der gebäudeintegrierten PV darstellen. Allerdings wird es noch wesentliche Investitionen und Forschungsaufwand benötigen, um die Technologie zur Reife für den Massenmarkt zu entwickeln. ■

Ein neues Kapitel im Bereich der Photovoltaik

Die Erlanger Stadtwerke haben im Bereich der Photovoltaik ein neues Kapitel aufgeschlagen. Auf der Südseite der Metallfassade der Erlanger Stadtwerke AG wurden Elemente der folienbasierten Photovoltaik des Unternehmens Heliatek aus Dresden angebracht.

Der große Vorteil dieser Folien besteht darin, dass sie durchaus auch auf gekrümmte Gegenstände angebracht werden können und am Ende ihrer Lebensdauer wieder recycelt werden können.

Nachdem Deutschland bei den klassischen Silizium Fotovoltaik-Elementen inzwischen zu 95 % von China abhängig ist, ist das Thema der folienbasierten Fotovoltaik eine industriepolitische Chance für die Bundesrepublik Deutschland.

Wir dürfen diesen Vorteil gegenüber

anderen Wettbewerbern nicht verspielen.

Es wäre zu wünschen, dass viele Unternehmen und auch Privatpersonen, dem positiven Beispiel der Erlanger Stadtwerke nacheifern.

In diesem Zusammenhang sind auch die Aktivitäten von Solar TAP (Solar Technology Acceleration Platform for emerging Photovoltaics) zu erwähnen, die von Jens Hauch geleitet wird. Diese Initiative hat den Auftrag, den Transfer von Technologie aus dem Labor in die Wirtschaft zu beschleunigen.

Foto: Kurt Fuchs/ HIERN/ SolarTap

Autoren:



Prof. Dr.
Siegfried Balleis

Tel: +49 9131 534944
Mobil: +49 171 3606363
Email: siegfried@balleis.de



Prof. Dr.
Christoph I. Brabec

Tel: +49 9131 8525426
Mobil: +49 171 7557762

Email: christoph.brabec@fau.de



Gedruckte Solarzellen und -module können bei niedrigen Temperaturen mit konventionelle Druckprozessen auf Folien hergestellt werden. Dadurch sind die Solarmodule leicht und flexibel. Auch die Form und Farbe lassen sich vergleichsweise einfach verändern. ■

Magazinreihe

Zukunftstechnologien in Bayern

