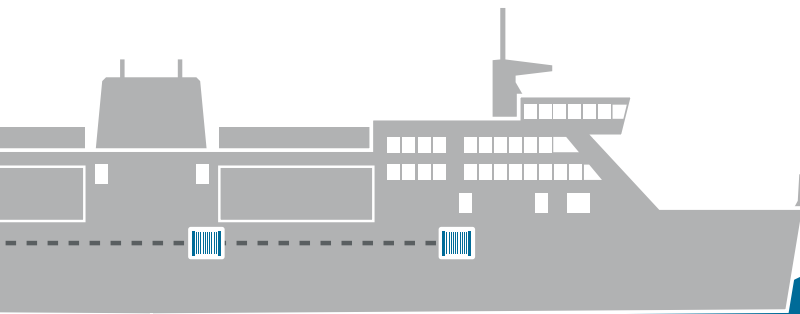


e4ships  
BRENNSTOFFZELLEN IM MARITIMEN EINSATZ  
2016 - 2022





# INHALT

4	<b>Grußwort   Staatssekretärin Susanne Henckel</b>
5	<b>Vorwort   Kurt-Christoph von Knobelsdorff</b>
6	<b>Einleitung   Dr. Ralf Sören Marquardt</b>
7	<b>Regularienarbeit IMO - CESNI</b>
10	<b>Einsatzgebiete Brennstoffzelle</b>
12	<b>Projekt ELEKTRA</b>
14	<b>Projekt Pa-X-ell</b>
16	<b>Projekt MultiSchIBZ</b>
18	<b>Projekt RiverCell</b>
20	<b>Ausblick   Peter Lindlahr</b>
22	<b>Partner e4ships Innovationscluster</b>

# GRUSSWORT

Staatssekretärin Susanne Henckel



Sehr geehrte Damen und Herren,

die aktuelle weltpolitische Entwicklung führt auf dramatische Weise vor Augen, dass eine zukunftsgerechte Energieversorgung konsequent auf Dekarbonisierung gerichtet sein muss und dabei der Diversifizierung des Energiebezugs eine alles überragende Bedeutung zukommen wird. Kaum ein verkehrlicher Sektor macht dies so deutlich wie die Schifffahrt, wo erste Schritte in die richtige Richtung bereits eingeleitet sind.

4

In der Erkenntnis, dass die Weltschifffahrt 90% des globalen Warentransports abwickelt und hierbei knapp 3% des globalen CO<sub>2</sub>-Aufkommens emittiert, hat die Internationale Seeschifffahrtsorganisation IMO einen initialen Rahmen zur Dekarbonisierung sowie verbindliche Maßnahmen für die Seeschifffahrt beschlossen, mit denen der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis zum Jahr 2050 um 50% (Base Line 2008) sowie bis zum Ende des Jahrhunderts vollständig reduziert werden soll. Das Ziel einer emissionsfreien Welthandelsflotte bis 2050 wird bei der IMO noch diskutiert, die Unterstützung dieses ambitionierten Vorhabens ist aber bereits jetzt sehr groß.

Zudem wird auf europäischer Ebene mit dem Verordnungsentwurf FuelEU Maritime eine jährlich zunehmende Reduktion der Kohlenstoffintensität von Schiffskraftstoffen um bis zu 75% bis zum Jahr 2050 im Vergleich zum Basisjahr 2020 angestrebt, was zu einem deutlich steigenden Bedarf an erneuerbaren und kohlenstoffarmen Kraftstoffen führen wird.

Die Europäische Kommission strebt insgesamt eine Reduzierung der kohlenstoffintensiven Emissionen um 55% bis 2030 und eine Reduzierung der absoluten Emissionen um 90%, gemessen am Niveau von 2005, an. Mit dem diesem Netto-Null-Ziel wird ein starkes Signal an Energieversorger, Schiffbauer und Motorenhersteller gerichtet, künftig noch schneller und stärker in alternative Antriebstechnologien und grüne Treibstoffe zu investieren.

Schon seit einigen Jahren treibt die Bundesregierung in strategischer Partnerschaft mit der maritimen Branche die Technologieentwicklung und -erprobung im Bereich alternativer Antriebe gezielt voran. Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) nimmt hierbei eine Schlüsselrolle ein, geht über klassische FuE-Aktivitäten hinaus und adressiert auch Maßnahmen zur Forcierung des Markthochlaufs. Ziel ist es, die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie schnellstmöglich zur Marktfähigkeit zu bringen. Besonders wichtig ist hierbei ein technologieoffener Ansatz, um alle Potentiale bestmöglich auszuschöpfen und nicht einzelne Technologien frühzeitig auszuschließen.

Brennstoffzellensysteme für den maritimen Einsatz sind ein zentraler Treiber für die zunehmend stärker einsetzende Transformation in deutschen Werften und der Zulieferindustrie.

Im Innovationscluster e4ships wurden bereits seit 2009 maritime Demonstrationsvorhaben erfolgreich durchgeführt und die hieraus gewonnenen technischen Erkenntnisse aktiv in die Erarbeitung der Sicherheitsvorschriften der IMO für die Zulassung von Schiffen mit Brennstoffzellen eingebracht.

Führende deutsche Werften und Reedereien haben in Zusammenarbeit mit Brennstoffzellenherstellern frühzeitig in einem intensiven Austausch darauf gesetzt, Brennstoffzellensysteme für den spezifischen Bedarf der See- und Binnenschifffahrt zu entwickeln und zugleich bei der Entwicklung internationaler Regelungen für die Binnen- und Seeschifffahrt mitzuwirken. Der Erfolg dieser Arbeit zeigt sich unter anderem an der Veröffentlichung der Guidelines für Schiffe, die Brennstoffzellenanlagen einsetzen, durch den Schiffsicherheitsausschuss der IMO im April dieses Jahres.

Die Erfahrungen und Ergebnisse aus e4ships ermöglichen eine technologisch innovative Antwort auf die Herausforderungen des Umwelt- und Klimaschutzes und leisten einen wertvollen und praxisvalidierten Beitrag, um die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass sich die Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien am Industriestandort Deutschland auch in der Schifffahrt dauerhaft etablieren.

Susanne Henckel  
Staatssekretärin  
Bundesministerium für Digitales und Verkehr

# VORWORT

Kurt-Christoph von Knobelsdorff



Sehr geehrte Damen und Herren,

auf internationaler und europäischer Ebene werden derzeit verbindliche Maßnahmen und Vorgaben zur Dekarbonisierung der Schifffahrt beschlossen. Für Reedereien, Schiffseigner, Werften, Zulieferer und Energieversorger bedeutet dies, dass sie heute Entscheidungen treffen müssen, wie sie zukünftige Flotten klimafreundlich und gleichzeitig wirtschaftlich gestalten. Vor diesem Hintergrund sind Technologieentwicklung, Verfügbarkeit sowie Wirtschaftlichkeit von Brennstoffzellensystemen und erneuerbaren Kraftstoffen von großer Bedeutung. Führende deutsche Werften, Reedereien, Zulieferer und Forschungsinstitute haben sich daher gemeinsam in dem durch das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) geförderte Innovationscluster e4ships zusammenschlossen und kooperieren in innovativen Demonstrationsvorhaben. Gemeinsam treiben sie die Technologieentwicklung, den Wissenstransfer sowie die sicherheitstechnischen Standards auf internationaler und europäischer Ebene voran.

In der aktuellen, zweiten Phase des NIP (2016–2026) hat das e4ships Konsortium bedeutungsvolle Meilensteine erreicht. Dazu gehören die Inbetriebnahme des weltweit ersten Batterie-Brennstoffzellen-Hybrid-Schubbootes ELEKTRA sowie die Entwicklung und Erprobung von HT PEM Brennstoffzellen im Realbetrieb auf Passagierschiffen wie der MS Mariella. Weiterhin hat die International Maritime Organization (IMO) 2022 Sicherheitsvorschriften für die Zulassung von Schiffen mit Brennstoffzellen verabschiedet. Grundlage dafür waren unter anderem die Erkenntnisse, die aus der langfristigen Forschungs- und Entwicklungsförderung durch das NIP gewonnen werden konnten. Die Basis für den Markthochlauf dieser Technologie in der Schifffahrt ist somit geschaffen. Fortgeschrittene Entwicklungs- und Erprobungsarbeiten an NT PEM und SOFC Brennstoffzellensystemen unter Einsatz diverser alternativer Brennstoffe, wie Methanol, Wasserstoff oder schwefelarmen Diesel tragen weiter dazu bei, dass die im maritimen Sektor geförderten Vorhaben durch das NIP dem Industriezweig einen Technologievorsprung verschaffen.

Als NOW koordinieren und begleiten wir die maritimen Vorhaben im NIP. Diverse Fördermaßnahmen greifen hier ineinander, um das übergeordnete Ziel zu erreichen: Eine klimafreundliche Schifffahrt. Wir sehen im maritimen Einsatz der Brennstoffzellentechnologie einen wesentlichen Hebel zu ihrer Skalierung und erwarten Synergieeffekte für landbasierte Anwendungen. Neben der eigentlichen Technologieinnovation stellt jedoch die Einsatzreife

und Verfügbarkeit von erneuerbaren Kraftstoffen eine weitere Herausforderung für eine nachhaltige maritime Mobilität dar. Mit dem Gesamtkonzept Erneuerbare Kraftstoffe gehen wir sie an, um so die Energietransformation und die weitere Anwendung von Brennstoffzellen zu sichern.

Wir bei der NOW sind davon überzeugt, dass die Demonstrationsprojekte für Brennstoffzellen im maritimen Einsatz und das begleitende Innovationscluster e4ships Pionierarbeit für den Markteintritt der Brennstoffzellentechnologie leisten. Sie sind wichtige programmatische Bestandteile des NIP und wir freuen uns darauf, die Weiterentwicklung des Innovationsclusters unter Einbeziehung von Stakeholdern entlang der gesamten eFuel-Supply-Chain für Brennstoffzellen im maritimen Einsatz zu begleiten.

Kurt-Christoph von Knobelsdorff  
CEO & Sprecher NOW GmbH -  
Nationale Organisation Wasserstoff- und  
Brennstoffzellentechnologie

# EINLEITUNG

Dr. Ralf Sören Marquardt



6

Mit dem Innovationscluster e4ships - Brennstoffzellen im maritimen Einsatz - hat Deutschland Kurs auf den Zielhafen Nachhaltige Schifffahrt gesetzt. Für die Mobilität der Zukunft reicht es nicht aus, einzelne Emissionsminderungen zu erreichen, sondern es gilt, ganzheitlich signifikante Beiträge zu verschiedenen Nachhaltigkeitszielen zu realisieren. Es geht nicht mehr nur um Klimagase und Luftschadstoffe, sondern auch um Gewässerschutz, Lärmvermeidung und Kreislaufwirtschaft.

Ein nachhaltiger Transport über See- und Binnenwasserstraßen erfordert energieeffiziente, emissionsarme und leise Antriebe sowie eine klimaneutrale Energieversorgung. Die Brennstoffzelle ist hierfür eine Schlüsseltechnologie, die viele alternative Treibstoffe nutzen kann und mit der die Energiewende auch in der maritimen Wirtschaft vorangetrieben wird.

Gefördert vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) haben führende deutsche Werften, Reedereien, Brennstoffzellenhersteller, Forschungsinstitute, Klassifikationsgesellschaften und der Verband für Schiffbau und Meerestechnik (VSM) ihre Forschungsaktivitäten koordiniert und beantworten gemeinsam zentrale Fragen zu Klimaschutz, Schiffssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.

Mit den vier Leuchtturmvorhaben ELEKTRA, Pa-X-ell, RiverCell und Multi-SchIBZ hat sich die deutsche Schiffbauindustrie an die Spitze der Technologieentwicklung gesetzt und praxistaugliche Systeme für wesentliche Schiffstypen und Transportaufgaben implementiert. Das Spektrum umfasst Kreuzfahrtschiffe, Yachten, Spezial- und Binnenschiffe sowie verschiedene Brennstoffzellentypen und Primärbrennstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften und Sicherheitsanforderungen. Hierdurch werden nicht nur passgenaue Lösungen für den innereuropäischen Seeverkehr und die Binnenschifffahrt umgesetzt, sondern auch Exportperspektiven für den Weltmarkt eröffnet.

Voraussetzung für das Nutzen dieser Potenziale ist die erfolgreiche Gestaltung regulatorischer und politischer Rahmenbedingungen. Denn die breite Einführung leistungsstarker Brennstoffzellensysteme in die internationale Schifffahrt benötigt die Rechtssicherheit verbindlicher Zulassungsvorschriften, die dem rasant fortschreitenden Stand der Technik entsprechen.

Das Innovationscluster e4ships hat hierzu den Dreiklang aus technischer Vorschriftenentwicklung, Öffentlichkeitsarbeit und politischer Strategieentwicklung bespielt. Durch Informationsaustausch, Vernetzung und Wissenstransfer zwischen forschenden Unternehmen, regulatorischen Gremien und politischen Entscheidern wurden wichtige Meilensteine erreicht, die

jetzt die effiziente Nutzung von Brennstoffzellen an Bord von See- und Binnenschiffen ohne zeitraubende und teure Einzelzulassungen ermöglichen.

Sowohl das Energieportfolio als auch die Sicherheitskonzepte werden stetig erweitert: Zukünftig stehen zusätzliche Energieträger, wie Ammoniak und Wasserstoff, nicht nur für den Antrieb, sondern auch für den EU-Energieimport auf der Agenda und bringen neue technische und politische Herausforderungen mit sich.

Für das gemeinschaftliche Bohren dicker Bretter braucht es deshalb auch in Zukunft effiziente Innovationscluster, die dazu beitragen, die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Produkte zu stärken.

Neben regulatorischen Fortschritten und zunehmender öffentlicher Wahrnehmung hat es mich persönlich begeistert, mitzuerleben, wie das gegenseitige Vertrauen durch die intensive Zusammenarbeit gewachsen ist. Das Innovationscluster hat nicht nur Wissenstransfer ermöglicht, sondern auch einen Spirit of Co-operation generiert, der es erlaubt, wachsende Herausforderungen zu meistern: Damit kann die klimaneutrale Schifffahrt in Europa bis 2050 Wirklichkeit werden.

Dr. Ralf Sören Marquardt

Vorsitzender der e4ships Statusversammlung  
Geschäftsführer des VSM

# REGULARIENARBEIT

## IMO - CESNI



7

### VORSCHRIFTENENTWICKLUNG

**Angesichts der sich verschärfenden Klima- und Energiekrise steht die Maritime Wirtschaft weltweit vor der großen Herausforderung, die See- und Binnenschifffahrt umfassend zu transformieren. Es gilt nicht nur Technologien und Energieträger zur Anwendungsreife zu entwickeln, sondern auch wettbewerbsfähige Rechtsgrundlagen für die Zulassung und den Betrieb von Schiffen mit innovativen Antriebssystemen und alternativen Treibstoffen zu legen. Denn für die breite industrielle Implementierung braucht es internationale technische Standards, die ohne prototypische Einzelzulassung eine schnelle und einheitliche Zertifizierung ermöglichen.**

Für die Realisierung einer nachhaltigen Schifffahrt ist es daher unverzichtbar, proaktiv in den Gremien des maritimen Völkerrechts zu agieren, um Innovationserfolge in signifikante Emissionsminderungen und eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen umsetzen zu können. Für die Schifffahrt werden die maßgeblichen Entscheidungen hierzu in London (in der IMO - International Maritime Organization) und Straßburg (im CESNI - Comité européen pour l'élaboration de standards dans le domaine de la navigation intérieure) getroffen. In diesen Gremien ist es auf der Grundlage von klar dokumentierten Forschungsergebnissen und Anwendungserfahrungen einzelner Demonstrationsvorhaben und des Innovationsclusters e4ships gelungen, zukunftsweisende Standards zu setzen.



e4ships Vertreter präsentieren bei der IMO

### Neue zukunftsweisende Standards gesetzt

Hierzu wurden in Zusammenarbeit von Unternehmen, Hochschulen und Klassifikationsgesellschaften konkrete, praxisgerechte Anforderungen erarbeitet und über das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) und die europäischen Schiffbauverbände CESA und SEA Europe in IMO- und CESNI-Gremien eingebracht. Die technologieoffene Konsolidierung im Innovationscluster ermöglichten die Finalisierung bzw. Verabschiedung allgemeingültiger Regelungen, die verschiedene Brennstoffzellentypen (PEM und SFOC), Antriebskonzepte und Schiffstypen abdecken.

Mit den vom Maritime Safety Committee der IMO im Mai 2022 verabschiedeten Interim Guidelines for the Safety of Ships using Fuel Cell Power Installations (MSC.1/Circ. 1647) wird ein hocheffizienter Energiewandler für die internationale Seeschifffahrt nutzbar gemacht und das Treibstoffportfolio um reformierten Wasserstoff erweitert. Nun sind größere Installationen von Brennstoffzellen an Bord international operierender Handelsschiffe, wie z.B. dem Kreuzfahrtschiff AIDAnova, möglich. Analog zum LNG-Boom, der nach 2016 vom International Code for the Safety of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF Code) ausgelöst wurde, beginnt sich dieser Meilenstein bereits auf deutschen Werften in zahlreichen neuen Aufträgen und Projekten für klimaneutrale Kreuzfahrtschiffe und Yachten niederzuschlagen.

Parallel wird daran gearbeitet, das für Seeschiffe nutzbare Treibstoffportfolio zu erweitern, um Transporte mit Null-Emissionen für alle geographischen Einsatzgebiete darstellen zu können. e4ships war maßgeblich an der Entwicklung der Interim Guidelines for the Safety of Ships Using Methyl/Ethyl Alcohol as Fuel (MSC.1/Circular.1621 vom Dezember 2020) beteiligt und treibt die Finalisierung von Sicherheitsvorschriften für klimaneutrale e-Fuels voran, wie z. B. grünem Wasserstoff und Ammoniak sowie synthetischem Diesel.



Technologietransfer nach London

Um die Vorschriftenentwicklung signifikant zu beschleunigen, haben die Partner in e4ships einen Acceleration Plan for Alternative Fuels erarbeitet, der von der IMO ab dem 2. Halbjahr 2022 vollumfänglich umgesetzt wird. Zukünftig werden die Sitzungen des federführenden IMO-Unterausschusses Carriage of Containers and Cargoes (CCC) erweitert und die Entwicklungsvorhaben parallelisiert. Diese massive Kapazitätsausweitung, die eine schnelle Erreichung ambitionierter Minderungsziele ermöglichen wird, erfordert die verlässliche Fortführung der Zuarbeit von e4ships und weiterer Know-how-Träger zur zügigen Schließung von Regelungslücken für die sichere Bunkerung, Lagerung und Verwendung alternativer Treibstoffe.

### Weiteres Schließen von Regelungslücken notwendig

Auch auf CESNI-Ebene schreitet die Vorschriftenentwicklung planmäßig voran: Obwohl die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie erst seit 2020 auf dem CESNI-Arbeitsprogramm steht, wurden in der neu eingerichteten Arbeitsgruppe CESNI/PT/FC wichtige Regelwerke erarbeitet, die die technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN) kurzfristig erweitern werden. Zunächst werden das für Brennstoffzellen und Methanol revidierte ES-TRIN Kapitel 30 und der Anhang 8 in Kraft gesetzt. Der Entwurf für die Lagerung von Wasserstoff an Bord von Binnenschiffen befindet sich ebenfalls in einem fortgeschrittenen Stadium. Hierbei profitiert CESNI von der intensiven Beteiligung von e4ships Partnern. Mit der Inbetriebnahme des weltweit ersten wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen-Schubboots ELEKTRA



verfügt das Innovationscluster über technisches Grundwissen, während sich die langjährige IMO-Erfahrung beim regulatorischen Lobbying in Straßburg auszahlt. Ebenso konnten viele Einwendungen durch praktische Demonstration und international erprobte Partnerschaften von Mitgliedsstaaten und Nicht-Regierungsorganisationen schnell entschärft werden.

In diesem Prozess spielen insbesondere landbasierte Testeinrichtungen, wie der RiverCell-Demonstrator für ein Binnenkreuzfahrtschiff, eine zentrale Rolle. In Gremiensitzungen, die teilweise vor Ort durchgeführt werden, können technische Fragestellungen umgehend beantwortet und schneller Konsens hergestellt werden.

### Branchengerechte Entwicklung von Umweltaforderungen und politischen Strategien

Mit diesen regulatorischen Erfolgen hat sich das Innovationscluster zu einem wertvollen Antriebssystem für die sichere Dekarbonisierung entwickelt. e4ships trägt dabei auch zur branchengerechten Entwicklung von Umweltaforderungen und politischen Strategien bei. Denn neuartige Energiesysteme setzen sich nicht allein dadurch im Markt durch, dass sie betriebssicher eingesetzt werden können. Der durch Innovation erweiterte Stand der Schiffstechnik muss auch durch international verbindliche Minderungsziele eingefordert werden.

Zu diesem Zweck berichtet e4ships in Gremien zur IMO GHG Strategy und zur Revision der MARPOL-Konvention, die für effizientere Energiewandler und klimaneutrale e-Fuels ertüchtigt werden müssen (Stichwort: Life Cycle Assessment). Diese Ziele werden auch in relevanten EU-Institutionen, wie dem European Sustainable Shipping Forum (ESSF)

und der Sustainable Finance Platform (SFP) verfolgt. Es ist unverzichtbar, dass europäisch und international konsistente Bewertungskriterien implementiert werden, die sicherstellen, dass Brennstoffzellen und wasserstoffbasierte e-Fuels als nachhaltige Lösungen technisch anerkannt und finanziell - im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Bepreisung und der grünen Schiffsfinanzierung - angereizt werden.



### Brennstoffzelle:

### Praxistauglich für viele Schiffstypen

Die Arbeiten in e4ships haben die Praxistauglichkeit der Brennstoffzellentechnologie für ein breites Schiffstypenspektrum unter Beweis gestellt und den regulatorischen Rahmen für die Marktaktivierung gelegt. Dennoch bestehen weiterhin Entwicklungsbedarfe für höhere Leistungsklassen und der Vervollständigung des Regelwerks, um ein weltweites, verbindliches „Level-playing Field“ für alle Energieträger und Antriebsoptionen zu gewährleisten. Innovationscluster sind dabei ein wesentlicher Baustein, um sicherzustellen, dass Vorschriften effizient an Naturwissenschaft, Technik und Branchenspezifika angepasst werden können.

# 10

Das Projekt e4ships ist ein von der Bundesregierung gefördertes Gemeinschaftsprojekt führender deutscher Werften, Reedereien, Brennstoffzellenhersteller und Klassifikationsgesellschaften im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP).

## Autofähre/Kreuzfahrtschiff

Technik



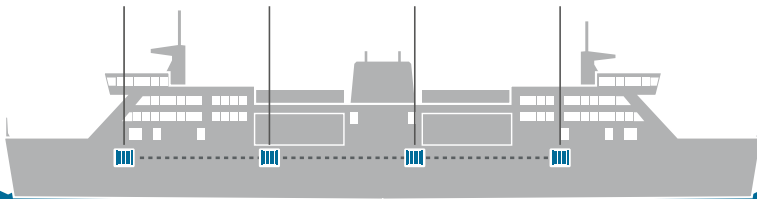
Kabinen



Küche



Wäscherei

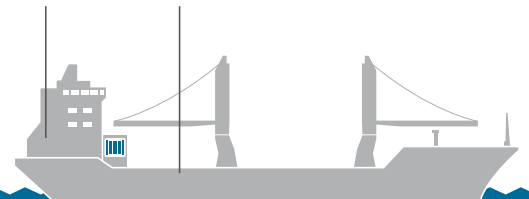


## Multi-Purpose-Vessel

Kabinen



Technik



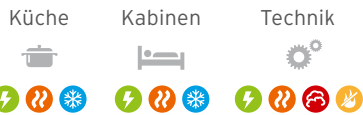
SEESCHIFFFAHRT

# EINSATZGEBIETE BRENNSTOFFZELLE

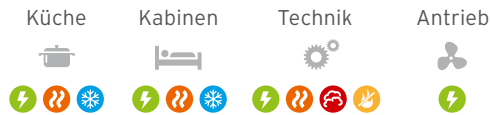


11

## Yacht



## Flusskreuzfahrtschiff



## Schubboot



BINNENSCHIFFFAHRT

# PROJEKT ELEKTRA



12

Das Ziel im Demonstrationsvorhaben ELEKTRA ist die Implementierung und Erprobung von mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellen in Verbindung mit Batterien für die gesamte Energieversorgung in einem kommerziellen Binnenschiff. Dabei sollen ökologische Anforderungen in sensiblen Gebieten bei der Umsetzung des emissionsfreien Schiffes beachtet werden.



© BEHALA

Die ELEKTRA im Berliner Heimathafen bei der BEHALA

Das hierfür gebaute Schubschiff ELEKTRA wurde im Mai 2021 fertiggestellt und wird seit einer nautischen Prüfung und der Schiffstaufe im Frühjahr 2022 erprobt. Das Konsortium besteht aus den Projektpartnern ANLEG, Ballard, BEHALA, EST Floattech, HGK Shipping, SER Schiffselektronik Rostock und der Schiffswerft Hermann Barthel unter der Leitung der Fachgruppe Entwurf und Betrieb maritimer Systeme der Technischen Universität Berlin (EBMS TU Berlin).

Für den hybrid-elektrischen Antrieb wurde ein umfassendes Energiemanagementsystem für alle Erzeuger und Verbraucher entwickelt, um die begrenzte an Bord vorhandene Energie optimal zu nutzen und somit die Wirtschaftlichkeit und damit die Konkurrenzfähigkeit gegenüber konventionell angetriebenen Schiffen zu stärken. Dabei wird die Brennstoffzellentechnologie zur wasserstoffbasierten Grundlastenergieversorgung des Antriebsstrangs und des Bordnetzes genutzt. Um Spitzenlasten im Betrieb bewältigen zu können, wird die nötige Energie durch Akkumulatoren bereitgestellt. Darüber hinaus wird die Realisierbarkeit von Wasserstoff als Energiespeicher mit seinen spezifischen Besonderheiten und Anforderungen in der Schifffahrt erprobt und Konzepte für den Aufbau einer Infrastruktur für die Ladung der Akkumulatoren

mit Landstrom und zur Versorgung der Brennstoffzellen mit Wasserstoff erarbeitet. Erste Funktionstest des elektrischen Systems konnten ohne Anlaufschwierigkeiten durchgeführt werden. Die Betreibergesellschaft BEHALA hat zudem an ihren Hafensandorten 125 Ampere-fähige Ladepunkte eingerichtet, um eine Energieversorgung des Schiffes zu garantieren und beabsichtigt auf der vorgesehenen Route weitere Ladepunkte für eine lückenlose Versorgung zu installieren.

Für die Befüllung und zum Transport der Tanksysteme (Multiple Energy Gas Container - MEGC) wurde ein Liefervertrag für grünen Wasserstoff bis zum Ende der Projektlaufzeit Ende 2024 abgeschlossen. Die MEGC können mit einem bordeigenen Kran getauscht und der Stromanschluss über einen Ladegalgen mit landeseitiger Kabelführung sichergestellt werden. Für die Schiffsbesatzung ist somit der Umgang mit den armdicken Kabeln sehr einfach, das Schiff ist in kurzer Zeit an der Ladestation angeschlossen und die Pier frei von Kabeln. Aktuell befinden sich die von ANLEG bereitgestellten MEGC noch in der Zulassung, jedoch werden schon erste Erprobungen mit Wasserstoffbündeln unter geringeren Drücken und Kapazitäten durchgeführt. Dabei wurden diverse Leistungskurven im Fahrbetrieb für die weitere Analyse aufgenommen.

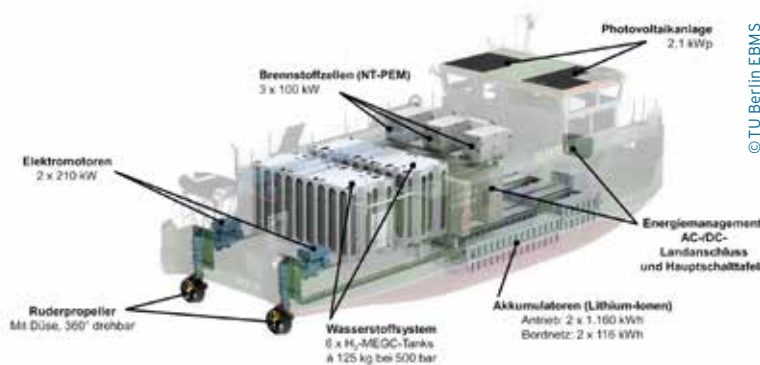
Mit 750 kg nutzbarem gasförmigem Wasserstoff bei einem Druck von 500 bar an Bord und einer Batteriekapazität von ca. 2.500 Kilowattstunden hat das Schiff im Schubverband mit dem beladenen Schwergutleichter URSUS eine Reichweite von ca. 400 Kilometern. Daher wird in den Fahrtgebieten von Berlin Richtung Rhein/Ruhr, Hamburg und Stettin neben dem Westhafen unterwegs nur jeweils eine weitere Landstation zur Versorgung der ELEKTRA mit Wasser-

stoff und Strom benötigt. Insgesamt können Verbände bis 150 m Länge gefahren werden. Erste überregionale Fahrten im Verband von Derben nach Berlin sowie nach Niederfinow und Wusterwitz konnten bereits ohne Zwischenfälle durchgeführt werden. Ebenso wurden unterschiedliche Verbandskonstellationen in begrenzten und tieferen Fahrwassern im Berliner Umland getestet. Die weiteren Erprobungen werden ab 2023 auch verstärkt im Fernverkehr Richtung Hamburg fortgesetzt.



© BEHALA

Schiffstaube der ELEKTRA mit politischer Vertretung im Mai 2022



© TU Berlin/EBMS

Schemabild der ELEKTRA und ihren Funktionsgruppen

Darüber hinaus wird im Rahmen des Demonstrationsvorhabens die Entwicklung von Regeln, Vorschriften und Gesetzen für den Einsatz von Wasserstoff, Brennstoffzellen und Batterien höherer Leistungsstufen auf Binnenschiffen gemeinsam mit Behörden und Klassifikationsgesellschaften erarbeitet.

### Projektpartner

Anleg, Ballard Power Systems, Schiffswerft Hermann Barthel, BEHALA Berliner Hafen- und Lagerhausgesellschaft, EST Floattech, HGK Shipping, SER Schiffselektronik Rostock und TU Berlin – Fachgebiet Verkehrs- und Maschinensysteme

# PROJEKT PA-X-ELL2

14

**Im Kontext von e4ships wird in dem Projekt Pa-X-ell2 die PEM-Brennstoffzellentechnologie für den Einsatz auf Hochsee-Passagierschiffen weiterentwickelt und deren Marktaktivierung gefördert. Das Konsortium, unter der Leitung der MEYER WERFT, bilden die Projektpartner besecke, Carnival Maritime, DLR, DNV, EPEA, Fr. Lürssen Werft und Freudenberg Fuel Cell e-Power Systems.**



Der Fokus liegt auf der Integration von Brennstoffzellen auf Passagierschiffen als Bestandteil eines dezentralen Energienetzes und eines hybriden Energiesystems mit Energiespeichern. Für diese beiden Energiekonzepte ist die Entwicklung eines maritimen Brennstoffzellensystems für die hohen Anforderungen auf Passagierschiffen hinsichtlich Leistung, Lebensdauer und Zuverlässigkeit erforderlich. Der Testbetrieb von Versuchsanlagen mit der Brennstoffzellentechnologie auf Passagierschiffen ist dabei relevanter Bestandteil zur Entwicklung zukunftsfähiger Energiekonzepte, der Brennstoffzellentechnologie, sowie der internationalen Vorschriften und Regelwerke.

Das Gesamtvorhaben gliedert sich in drei Themenbereiche: Den ersten Themenbereich bildet die Brennstoffzellenentwicklung, die die Technologie-, System- und Voraufwicklung der Brennstoffzellen, Reformierung und deren Peripheriesysteme abdeckt. Diese wird sowohl sicherheitstechnisch sowie durch ökologische und ökonomische Analysen begleitet.

In diesem Themenbereich wird sowohl die Systementwicklung eines NT-PEM Systems durch Freudenberg durchgeführt, als auch innerhalb der Voraufwicklung durch das DLR die technologische Grundlage für HT-PEM Großsysteme geschaffen. Für den Einsatz auf Schiffen wird in diesem Vorhaben ein neuartiges NT-PEM-System mit thermisch hoch integriertem Methanol-Reformer durch die Firma Freudenberg realisiert werden. Die Konzeption des Systems, bestehend aus NT-PEM-Brennstoffzellenstack, Gasprozess zur Umwandlung von Methanol in Wasserstoff sowie das Wärme- und Wassermanagement, werden in diesem Vorhaben geplant und neu entwickelt, da vor allem die Strömungs-



© Grayling/Aida

Auf der AIDAnova wird das Brennstoffzellensystem installiert



Foto des aufgebauten Demonstrators auf dem Gelände der Lürssen Werft



Draufsicht des gerenderten CAD-Modells inkl. der Raumbezeichnung.

mechanik und die Wärmeübergänge abhängig von den benötigten Mengen sind. Gleichzeitig muss die strom- und wärmeseitige Auslegung für die Schiffsanwendung von Grund auf durchdacht werden, um eine hohe Effizienz und möglichst hohe Laufzeiten zu erreichen.

Die Fr. Lürssen Werft hat ein von Freudenberg entwickeltes 100 kW-Brennstoffzellensystem in einen Demonstrator integriert, der alle relevanten Systeme und Komponenten einer Yacht beinhaltet. Vom Bunkervorgang bis zum Abfahren gemessener Lastprofile können alle möglichen Betriebsituationen wie auf einer realen Yacht abgebildet werden. Hieraus werden wichtige Erkenntnisse für eine spätere Umsetzung auf einer Yacht gewonnen.



Konzeptdesign eines Brennstoffzellen-großsystems von Freudenberg

Darüber hinaus wird eine weitere Brennstoffzelleninstallation auf der AIDAnova durch die MEYER WERFT gemeinsam mit der Reederei entwickelt sowie auf dem Kreuzfahrtschiff installiert. Die gewonnene Erfahrung mit solch einem neuartigen Energieerzeuger helfen Erkenntnisse für die Entwicklung eines dezentralen Energienetzes zu gewinnen. Des Weiteren werden die Betriebserfahrungen zur Technologiebewertung herangezogen, um Potenziale zu identifizieren und diese Erkenntnisse für zukünftige Weiterentwicklungen einzusetzen.

Darüber hinaus wird im Projekt Pa-X-ell2 das Potenzial und die Machbarkeit großflächiger HT-PEM Brennstoffzellen-Stacks durch das DLR untersucht und bewertet. Mittels eines neuartigen Konstruktionsprinzips sollen großflächige Membrane ermöglicht werden, damit die Leistung der Stacks erhöht werden. Ziel ist es, mit einem Laborprototypen die Machbarkeit eines HT-PEM Großsystems mit Reformer zu untersuchen, da eine effizientere Nutzung der Wärmeenergie an Bord durch höhere Temperaturen erzielt werden kann.

In beiden Testinstallationen müssen dabei nicht nur die Technologie und Systemtechnik, sondern auch die Sicherheitskonzepte auf Basis der internationalen Regelwerke entwickelt werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen fließen maßgeblich in den dritten Themenbereich, die Entwicklung der Integration ein, mit dem Ziel, ein optimales Integrationskonzept für Brennstoffzellensysteme auf Passagierschiffen zu entwickeln. Dabei werden auch neue Ansätze untersucht, wie die dezentrale Energieerzeugung und das Energiemanagement, für einen effizienten Einsatz von Energiesystemen auf Basis der Brennstoffzellentechnologie.

Den größten Themenbereich des Projektes bildet die Entwicklung, Konstruktion, Bau und Test der Versuchsanlagen in dem sowohl das Brennstoffzellensystem getestet werden kann, aber auch Rückschlüsse für die Entwicklung des Energiemanagementsystems und die Regelentwicklung gewonnen werden können.

#### Projektpartner

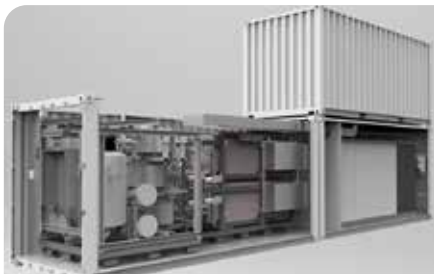
besecke, Carnival Maritime, EPEA, DLR Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum, DNV, Freudenberg Fuel Cell e-Power Systems, Fr. Lürssen Werft und MEYER WERFT

# PROJEKT MULTISCHIBZ



16

Im Projekt MultiSchIBZ steuerten thyssenkrupp Marine Systems und das OWI Science for Fuels in zwei Phasen die Prozessoptimierung und Weiterentwicklung der Konstruktion des Brennstoffzellensystems aus dem Projekt SchIBZ2 für die Einführung in gewerbliche Anwendungen.



Schematische Innenansicht des Demonstrators

© ThyssenKrupp Marine Systems



Fertiger Landdemonstrator in Kiel

© ThyssenKrupp Marine Systems

Bordseitig können diese Brennstoffzellen auf Seeschiffen zur Versorgung der Nebenaggregate (APUs) mit Strom und Wärme eine Alternative zu der wirtschaftlich oft kritischen Landstromversorgung bilden. Das System soll an Bord vorhandene flüssige Brennstoffe in ein wasserstoffreiches Brenngas wandeln, das SOFC-Brennstoffzellen in elektrische Energie umsetzen. Der Systembetrieb ist  $\text{CO}_2$ - und schadstoffarm sowie leise und nahezu vibrationsfrei. Gegenüber konventionellen Antrieben mit Schiffsdiesel ist eine Reduzierung der Emissionen um 99 Prozent bei Stickoxiden und Feinstaub sowie um mehr als 25 Prozent bei Kohlendioxid zu erwarten. Durch die Nutzung treibhausgasarmer Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen könnten die  $\text{CO}_2$ -Emissionen weiter sinken.

Wesentliche technische Aufgabe des Projektes war die Entwicklung von Komponenten, mit denen die bekannte SOFC-Technologie für die Nutzung in hochintegrierten, voll-automatisierten Systemen für Schiffsanwendungen ergänzt wird. Dabei sollte ebenso die Integration der Systeme mit Energiepuffern in jeder Feuerzone in die schiffbauliche Umgebung, die Weiterentwicklung der gültigen Vorschriften und die Anforderungen der betrieblichen Abläufe u.a. für Binnenschiffe berücksichtigt werden. Für den Aufbau der Demonstratoren im Laborbetrieb kamen Prototypen der SOFC-Brennstoffzellenmodule mit einer Leistung von



insgesamt 25 kWel zum Einsatz. Diese sind in ein Gesamtsystem eingebunden, das aus einem Prozessgasmodul, einem Nachbrenner für heißes Abgas und einem DC-AC Konverter besteht. Das Prozessgasmodul wandelt flüssigen Kraftstoff in ein wasserstoffreiches Brenngas zum Betrieb des Brennstoffzellenmoduls. Bei den Untersuchungen am Gesamtsystemdemonstrator evaluierten die Forschenden die Betriebspunkte, Lastwechsel und das Startverhalten. Die Emissionswerte liegen dabei deutlich unterhalb konventioneller motorischer Aggregate.

Die Entwicklung des Prozessgasmoduls machte einen großen Schritt zur technologischen Reife. Wesentliche Ziele auf dem Weg waren die Realisierung eines robusten Pre-Reforming-Prozesses für Dieselmotoren inklusive Screening von Katalysatoren, Simulationen zur Prozessoptimierung, Methodenentwicklung zur Degradationsbestimmung sowie Redesign und Konstruktion der neuen Dieselmotoren. Ein zentrales Element des Moduls ist der darin verbaute Katalysator, dessen Lebensdauer großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems hat. Mit optimierten Prozessstrategien, etwa hinsichtlich der Temperatur und des Mischungsverhältnisses von Wasser, sowie der Kombination mit schwefelfreien synthetischen und biogenen Brennstoffen ist eine erhöhte Lebensdauer des Katalysators von mehr als 10.000h realisierbar. Damit sind auch wirtschaftliche Wartungskonzepte erreichbar. Darüber hinaus ist es gelungen, den Prozesswasserhaushalt des Systems durch die Kondensation des Wassers und dessen Aufbereitung für die Nutzung im Kreislauf zu schließen.

Die Restgasrezirkulation mit Heißgasgebläsen ist der Stand der Technik bei SOFC-Brennstoffzellensystemen, allerdings ist sie teuer, stör anfällig und reduziert den Gesamtsystemwirkungsgrad. Daher wurde im Projekt die passive Anodenabgasrezirkulation entwickelt. Bei dieser Technologie verbleibt das heiße Anodenrestgas aus den Brennstoffzellen für eine weitere Nutzung im System und wird im Nachbrenner zu Wärmeenergie umgesetzt, die über einen Hochtemperatur-Wärmetauscher zur Bereitstellung des Prozessdampfes in der Dampfpreformierung dient. Die passive Anodengasrezirkulation erfüllt den gleichen Zweck wie ein Gebläse, funktioniert aber durch einen Treibstrahl mit heißem Dampf. Das Bauteil wurde mit Hilfe numerischer Simulationen (CFD) entwickelt. Die Herstellung erfolgte im 3D-Metal-Printing-Verfahren, das die Fertigung kompakter Apparate ermöglicht, die deutlich weniger Platz im System einnehmen. Durchgeführte Materialuntersuchungen bestätigen die Vergleichbarkeit der additiven Fertigung mit konventionell gefertigten Bauteilen und ein Proof of Concept zeigte die Funktionalität der Rezirkulation für alle Betriebspunkte, den Start und Lastwechselfälle.



© ZBT Duisburg

Brennstoffzellenprüfstand am ZBT in Duisburg



© OWI Aachen

Der Prüfstand mit dem MultiSchIBZ-Feststoff-(SOFC) Brennstoffzellensystem im OWI-Labor

Der Schlüssel zum Erfolg des Projektes waren Prozesskenntnisse der komplexen Systeme sowie intelligente Fertigungsverfahren für kompakte Bauteile mit hoher Leistungsdichte. Die Hochskalierung des Labordemonstrators für die Umsetzung eines größeren Gesamtsystemdemonstrators mit einer Leistung von 300 kWel ist bereits erfolgt. Seine Umsetzung ist das Ziel eines angestrebten Nachfolgeprojekts.

**Projektpartner**

DNV, Hülsenbusch Apparatebau, Leibniz Universität Hannover, OWI Science for Fuels, Rosswag, Sunfire, thyssenkrupp Marine Systems und ZBT Zentrum für BrennstoffzellenTechnik

# PROJEKT RIVERCELL



18



Digitale Abschlussveranstaltung  
auf der NEPTUN WERFT

© MEYER WERFT

## Im Projekt RiverCell stand die Entwicklung und Erprobung eines modularen hybriden Energiesystems mit Brennstoffzellen für Flusskreuzfahrtschiffe im Fokus.

Viele der europäischen Wasserverkehrswege führen entlang ökologisch sensibler Landschaften und dichten Siedlungsräumen, so dass hier künftig verstärkt Abgas- wie auch Lärm-Emissionen reduziert werden müssen.

Die Passagierschiffahrt sieht sich diesen steigenden Anforderungen an die Nachhaltigkeit besonders ausgesetzt, da sie betriebsbedingt stärker in der Öffentlichkeit präsent ist und vorwiegend die innerstädtischen Anleger und touristisch attraktiven Ziele anlaufen, in denen die Emissionsgrenzen bereits besonders streng sind. Die Erwartung, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit auch sichtbar umgesetzt werden, hat bei vielen Passagieren wie auch in Teilen der Öffentlichkeit zugenommen. Neben Abgasemissionen sind auch Schallemissionen entlang der Flüsse eine große Herausforderung. Das Bestreben, die etablierte Dieselmotor-basierte Antriebstechnologie zu saubereren und leiseren Antrieben zu optimieren, stößt mittlerweile an seine ökonomischen und technischen Grenzen. Um zukünftigen Umweltaforderungen gerecht zu werden besteht eine hohe Notwendigkeit alternative Energie- und Antriebskonzepte auch für Binnenschiffe zu entwickeln und zu erproben.

Der Stand der Entwicklung zum Projektende von RiverCell2 ist ein funktionsfähiger und auf Sicherheit geprüfter Prototyp eines schiffstauglichen Brennstoffzellenaggregats, der Marine Fuel Cell Unit (MFCU), welcher in einer landbasierten, schiffsnahen Versuchs- und Demonstrationsanlage, in ein modulares hybrides Energiesystem für Binnenfahrgastschiffe integriert wurde.



© MEYER WERFT

Brennstoffzellenschrank des Demonstrators

Im Gegensatz zur Anwendung auf seegehenden Schiffen erweisen sich verflüssigte Gase als Schiffsbrennstoff für volumenkritische Schiffe wie Flusskreuzfahrtschiffe aus Raum- und Gewichtsgründen (Tankgewicht) als sehr begrenzt praktikabel. Da sich flüssiges Methanol als geeignete Alternative zum Diesel für diese Schiffe erweist, wurde hierfür ein kompaktes Tank- und Brennstoffversorgungssystem für die platzsparende und sichere Integration auf Binnenschiffen entwickelt und im Demonstrator umgesetzt. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass kompakte doppelwandige Schiffs-Struktur tanksysteme mit wesentlich geringerem Aufwand zu bauen und zu warten sind als Gastanksysteme. Zum anderen konnte demonstriert werden, dass sich Schiffstanks für Methanol umrüsten lassen und sich daher dieser Brennstoff für die dringend benötigte Umrüstung der Bestandsflotte auf nachhaltige Systeme als besonders geeignet erweist.

Durch die Realisierung und die Erprobung des Prototyps eines schiffstauglichen Brennstoffzellenaggregats, der MFCU (Marine Fuel Cell Unit), konnten die entwickelten Lösungskonzepte wirksam demonstriert werden. Insbesondere konnte das Sicherheitskonzept erfolgreich validiert und das hohe Sicherheitsniveau bestätigt werden. Die umfangreichen Betriebsdaten bilden die Grundlage für die Weiterentwicklung des MFCU-Designs sowie der Brennstoffzellenmodule des Projektpartners Advent Technologies. Besonderes Augenmerk ist bei der weiterführenden Entwicklung der MFCU auf die Optimierung der Leistungsdichte, Standzeiten, Herstellungskosten und Steuerung

zu legen. Eine Steigerung der Leistung auf rund 100kW pro Rack, bestehend aus zwei bis drei Modulen, gilt als Entwicklungsziel.

Die Realisierung und Erprobung des gleichstromelektrischen Energiesystems mit MFCU, Batteriespeicher und Dieseleinspeisung im schiffsnahen Versuchsaufbau des Demonstrators wurden erfolgreich abgeschlossen. Im simulierten Fahrbetrieb mit realitätsnahen Lastprofilen konnte



© MEYER WERFT

Landdemonstrator des Brennstoffzellensystems in Rostock

das Zusammenspiel sowie die Steuerung der Komponenten im Hybridverbund und das Automationskonzept eingehend erprobt werden. Angesichts der höheren Komplexität derartiger Energieanlagen wird eine umfassend automatisierte und ergonomisch zu bedienende Anlage als wesentlicher Faktor für eine erfolgreiche Markteinführung eingestuft.

Über die beratende Mitarbeit in der Arbeitsgruppe der CESNI/PT/FC konnten die Erkenntnisse aus dem Bau und Betrieb der Brennstoffzellen sowie der Methanol-Tanksysteme in die Entwicklung zwei neuer Vorschriftenkapitel innerhalb des Regelwerkes für den Bau von Binnenschiffen (ES-TRIN) eingebracht werden. Dabei wurde ein entscheidender Fortschritt erzielt, so dass in der Auflage 2023 der ES-TRIN die Vorschriften für Brennstoffzelleninstallationen verfügbar sein werden. Das Kapitel über die Lagerung von Methanol als Treibstoff wurde ebenfalls kurz nach Projektende fertiggestellt.

#### Projektpartner

DNV, HADAG Seetouristik und Fährdienst, HELM Proman Methanol, MEYER WERFT, NEPTUN WERFT, Pella Sietas, Advent, TU Berlin und Viking Technical

20



Oben links: Christian Allgeier, Claus Brandt, Dr. Martin Kröger, Peter Müller-Baum, Dr. Reinhard Lüken;  
Mit e4ships-Logo: Bingbing Song, Christian Allgeier, Peter Lindlahr, Hermann-Josef Mammes,  
Kurt-Christoph von Knobelsdorff, Achim Wehrmann, Dr. Ralf Sören Marquardt, Dr. Christopher Stanik

# AUSBlick

Peter Lindlahr



**Man muss kein Prophet sein, um voraussagen zu können, dass die medial, politisch und in der Fachwelt gesteigerte Aufmerksamkeit für grünen Wasserstoff und seine Derivate auf absehbare Zeit nicht abreißen wird, nein im Gegenteil, sie wird noch deutlich zunehmen.**



Peter Lindlahr  
Geschäftsführer hySOLUTIONS GmbH

Wer dekarbonisieren will, der muss diversifizieren. Und diese Diversifizierung betrifft nicht nur die Spreizung über sämtliche Verkehrsträger in den Bereichen Straße, Schiene, Wasser, Luft, sondern auch und vor allem die Frage des „wie“ hinsichtlich der Systemintegration und des „was“ bei den stofflichen Optionen und deren Aggregatzuständen.

Mit dem Innovationscluster e4ships ist in der Vergangenheit wertvolle Grundlagenarbeit im Bereich der Regularienentwicklung geleistet worden und zugleich konnten prioritäre Fragestellungen in konkreten Demonstrationsprojekten bearbeitet werden. Diese duale Struktur hat sich bewährt und ermöglicht eine intensive wechselseitige Impulsgebung.

Der Transformationsprozess in der Schifffahrt hat globale Ausmaße und verdient daher auf allen Ebenen ein hohes Maß an Stakeholderdialog, politischer Unterstützung und die uneingeschränkte Aufmerksamkeit der Zivilgesellschaft. Die Schifffahrt im Wandel nicht nur als politisches Narrativ zu verwenden, sondern Budgetfragen und Förderbedarfe viel stärker zu adressieren, ist daher folgerichtig und mit Blick auf den internationalen Wettbewerb unerlässlich.

Wenn die Bundesregierung dies beherzigt, könnte hieraus eine konzertierte Aktion werden, bei der die Branche sich proaktiv einbringen und hinsichtlich konkreter Anwendungen konzeptionell in die Verantwortung gehen müsste. Schifffahrt könnte so zum Trigger einer public-private-partnership werden, die auch in anderen Bereichen Maßstäbe setzen kann.

Als langjähriger Clustermanager dankt hySOLUTIONS allen Projektbeteiligten für den gemeinsamen Weg, den es nun fortzusetzen gilt, denn auch für e4ships gilt die Devise „nach dem Spiel ist vor dem Spiel“: es bleibt viel zu tun im Spannungsfeld technologischer Innovation, Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit.

## PARTNER

 ADVENT


 ANLEG  
Advanced Technology

 BALLARD

 BEHALA

 besecke  
automation

 CARNIVAL  
MARITIME

 DLR  
Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt

 DNV

 EDMS

 EPEA

 EST-Floattech  
Intelligent Energy Storage Solutions

 FREUDENBERG  
INNOVATING TOGETHER

 HADAG

 HELM  
PROMAN  
METHANOL

 HGK  
SHIPPING

 HULSENBUSCH  
APPARATEBAU



23





e4ships  
c/o hySOLUTIONS GmbH  
Burchardstraße 21, 20095 Hamburg

info@e4ships.de

[www.e4ships.de](http://www.e4ships.de)

September 2022

Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Projekträger:

