

Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Verbundvorhaben TOPLATERNE im Leuchtturmvorhaben „e4ships - Brennstoffzellen im maritimen Einsatz“

Schlussbericht

28. Juni 2017

Zuwendungsempfänger	Förderkennzeichen
Carnival Maritime GmbH (AIDA Cruises)	03BI208B
DNV (DNV GL)	03BI208C
Flensburger Schiffbaugesellschaft	03BI208E
Fr. Lürssen Werft GmbH & Co.KG	03BI208D
Germanischer Lloyd (DNV GL)	03BI208F
Elsflether Zentrum für Maritime Forschung	03BI208H
Hochschule für Angewandte Wissenschaften	03BI208G
hySOLUTIONS GmbH	03BI208A
MEYER WERFT GmbH & Co. KG	03BI208J
MTU Onsite Energy GmbH Fuel Cell Systems	-
thyssenkrupp Marine Systems GmbH	03BI208K
Verband für Schiffbau und Meerestechnik	03BI208L
Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT GmbH)	03BI208M

Assoziierter Partner:

Center of Maritime Technologies (CMT)

Bewilligungszeitraum

01.10.2009 – 31.12.2016

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	1
A. Abschlussbericht.....	3
A.1 Kurzfassung	3
A.2 Ausgangslage	4
A.2.1 Projektbeteiligte	5
A.2.3 Ziele	12
A.2.4 Aufgabenstellung.....	13
A.2.5 Planung und Ablauf des Vorhabens	17
A.2.6 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Projekts	19
A.3. Projektverlauf	20
A.3.1. AP 1 Technik	20
A.3.2 AP 2 Sicherheit, Standards, Richtlinien, IMO-Arbeit	31
A.3.3 AP 3 Projekt- und Informationsmanagement	39
A.4 Projektevaluation.....	52
C.1 Berichtsblatt	54
C.1 Berichtsblatt Anhang	56
C.2 Document Control Sheet	58
C.2 Document Control Sheet Annex.....	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Projektpartner.....	5
Abbildung 2: Darstellung Stratiemodul.....	14
Abbildung 3: Restrukturierungskonzept	15
Abbildung 4: Arbeitsplan, Meilensteine, Berichte	16
Abbildung 5: Arbeitsplan, Meilensteine, Berichte	16
Abbildung 6: Arbeitsplan, Meilensteine, Berichte	17
Abbildung 7: Einsparpotentiale eines Kreuzfahrtschiffes und einer Yacht.....	23
Abbildung 8: 5kW-Modul und 30kW-Rack.....	24
Abbildung 9: Herstellungs- und Verbrauchskette für (fossile) Kraftstoffe.....	28
Abbildung 10: Diffusionsprozess einer Innovation	29
Abbildung 11: Vergleich Brennstoffzellentypen	30
Abbildung 12: Generalisierte BZ-System Struktur	37



Abbildung 13: Projektlogo..... 42

Abbildung 14: Webseite deutsch / englisch..... 44

Abbildung 15: Auftaktveranstaltung 45

Abbildung 16: Beispiele Messestand auf der SMM (2012, 2014, 2016) 46

Abbildung 17: Stand Tage der offenen Tür der Bundesregierung 47

Abbildung 18: Abschlussveranstaltung 48

Abbildung 19: Auszug aus VSM Verbandszeitschrift Schiffbau Industrie 49

Abbildung 20: Brennstoffanalyse deutsch / englisch..... 50

Abbildung 21: Flyer deutsch / englisch 50

Abbildung 22: Schaubild..... 51


Abbildung 23: Abschlussbroschüre 51

Bestätigung der Richtigkeit und Vollständigkeit der in den Abschlussberichten A, C.1 und C.2 dargestellten Inhalte der Fördervorhaben-Nr. 03BI208- A, -B, -C, -D, -E, -F, -G, -H, -J, -K, -L, -M

Ort: Hamburg

Datum: 28. Juni 2017

Unterschrift(en):



Heinrich Klingenberg



Jennifer Kreissel



A. Abschlussbericht

A.1 Kurzfassung

Von November 2009 bis Dezember 2016 wurde das Projekt TOPLTAERNE im Rahmen des Leuchtturmvorhabens e4ships durch das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie der Bundesregierung (NIP) gefördert. Im Leuchtturmvorhaben e4ships entwickelten die beiden großen Werften MEYER WERFT (Demonstrationsprojekt Pa-X-ell) und thyssenkrupp Marine Systems (Demonstrationsprojekt SchIBZ) mit ihren Partnern jeweils technisch unterschiedliche Brennstoffzellensysteme (HT-PEM und SOFC) und setzten mit Methanol bzw. Diesel auch verschiedene Treibstoffe ein. Das Ergebnis ist in beiden Fällen eine fast vollständige Reduktion der Emissionen von Ruß, Schwefel und Stickoxiden sowie deutlich sinkende Anteile des klimaschädlichen Kohlendioxids. Zu den Aufgaben gehörte außerdem die Mitwirkung bei der Formulierung von weltweit gültigen Regeln und Standards für die Zulassung und Installation von Brennstoffzellen und für die Nutzung emissionsarmer Treibstoffe wie schwefelfreien Diesel, Erdgas oder Methanol auf Schiffen und ihre Bereitstellung in den Häfen. Ein Schwerpunkt waren hierbei die Abstimmung mit der International Maritime Organization (IMO). Die im Vorhaben e4ships wesentlichen Aktivitäten umfassten:

- Vergleich und Bewertung bestehender Energieversorgungssysteme von Schiffen mit den im Rahmen des Forschungsprojektes realisierten Systemen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie unter Gesichtspunkten ökologischer Nachhaltigkeit und energetischer Effizienz sowie Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten der Brennstoffzellensysteme und daraus folgend Ableitung künftiger Optimierungspotentiale und deren Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit durch eine Lebenszyklusanalyse (Life-Cycle-Costing)
- Definition technischer Nutzungs- und Ausbaustrategien in Bezug auf die typischen Platz-, Gewichts- und Leistungsbedarfe von seegehenden Schiffen
- Mitwirkung bei der Entwicklung von internationalen Sicherheitsanforderungen für maritime Brennstoffzellensysteme im Rahmen der International Maritime Organization (IMO)
- Ausgehend von den Erkenntnissen aus dem Demonstrationsvorhaben Pa-X-ell und SchIBZ die Mitarbeit bei der Vorschriftenentwicklung im Rahmen des International Maritime Organization (IMO)-Arbeitsprogrammepunktes „Development of the Draft Internationale Codes on Safety for Natuaral Gas-fuelles ships“ (IGF-Code)
- Einheitliche, professionelle und zielgerichtete Außendarstellung des Leuchtturmprojektes e4ships und fachgerechte Vermittlung der technischen Inhalte gegenüber Fachleuten, Presse, Politik und breiter Öffentlichkeit

A.2 Ausgangslage

Die Brennstoffzellentechnologie kann einen wertvollen Beitrag zum Klimaschutz und zur Zukunftsfähigkeit der maritimen Industrie leisten. Denn durch die Nutzung von Brennstoffzellen für die Energieversorgung in der Schifffahrt können Emissionen wie Schwefeldioxid und Rußpartikel reduziert werden. Insbesondere in so genannten Emission Control Areas, wo sinkende Emissionsobergrenzen aufgrund von Umweltverordnungen Schifffahrtsunternehmen vor große Herausforderungen stellen, zahlt sich dieser Vorteil positiv aus. Zum Zeitpunkt der Beantragung haben sich verschiedene führende deutsche Werften (MEYER WERFT, Fr. Lürssen Werft, Flensburger Schiffbaugesellschaft, thyssenkrupp Marine Systems) sowie der Brennstoffzellenhersteller MTU Onsite Energy zusammengeschlossen, um die Brennstoffzellentechnologie für den Schiffbau und die Seeschifffahrt zu nutzen. Dazu haben sie jeweils eigene Demonstrationsvorhaben ins Leben gerufen, in denen klimaschonende Brennstoffzellenanwendungen auf Schiffen in ihrer technischen Leistungsfähigkeit bewertet und abschließend auch realisiert werden sollten.

Ergänzend zu den Demonstrationsvorhaben wurde das Verbundvorhaben TOPLATERNE als Syngiemodul initiiert, um die in allen Demonstrationsvorhaben bestehenden übergeordneten Fragestellungen zu den Klimaschutzeffekten, der Wirtschaftlichkeit, sicherheitstechnischen Standards sowie der Markteinführungsstrategie zusammen und unter Nutzung von Synergien qualifiziert im Leuchtturm „e4ships – Brennstoffzellen im maritimen Einsatz“ zu beantworten und die Ergebnisse zu veröffentlichen. Das gemeinsame Interesse der Projektpartner lag insbesondere in der Nutzung der Brennstoffzellentechnologie für die klimafreundliche Energieversorgung vor allem von Nebenaggregaten und Versorgungssystemen auf Schiffen.

Da der Schiffbau und die Schifffahrt aus Sicherheitsgründen international stark reglementiert sind, dauert es oft sehr lange, bevor neue technische Systeme oder Treibstoffe für die Nutzung in den Häfen der Welt zugelassen werden. Zuständig für die Regelwerke und Standards ist dabei die International Maritime Organisation (IMO). Die IMO ist eine Specialized Agency der Vereinten Nationen (UN), in der 172 Mitgliedstaaten (Küsten- und Flaggenstaaten) in Konsultation mit 142 non- und intergovernmental Organizations (NGO und IGO) das maritime Völkerrecht entwickelt und beschlossen wird. Daher lag ein weiterer wesentlicher Schwerpunkt im Verbundvorhaben TOPLATERNE in der Implementierung der Brennstoffzellentechnologie und der Zulassung weiterer Treibstoffe in die Regelwerke und Standards bei der IMO.

A.2.1 Projektbeteiligte



Abbildung 1: Übersicht der Projektpartner

Carnival Maritime GmbH (vormals AIDA Cruises – German Brand of Costa Crociere S.p.A.)

AIDA Cruises/Carnival Maritime GmbH (CMG) trat als Praxispartner und Objektträger des Demonstrationsvorhabens Pa-X-ell auf. Da die Carnival Maritime GmbH seit Oktober 2015 die Kreuzfahrtschiffe der AIDA-Flotte technisch betreut, wurde ebenfalls die Projektbearbeitung ab diesem Zeitpunkt durch Carnival Maritime geleistet. Das Demonstrationsvorhaben Pa-X-ell wurde innerhalb des Projektes Toplaterne im Maritimen Leuchtturm e4ships durchgeführt. Federführend hierfür war die MEYER WERFT Papenburg. Geplant war zunächst die Aufstellung einer Brennstoffzelle auf einem Schiff der AIDA-Flotte. Nach dem Ausscheiden der MTU onsite energy wurde es notwendig, den Projektablauf neu zu strukturieren. AIDA/CMG beteiligte sich hauptsächlich an den Arbeitspaketen Arbeitspaket 1 "Technik" und Arbeitspaket 2 "Sicherheit, Standards und Vorschriften". Zusammen mit den Partnern im Projekt Pa-X-ell und dem hinzugewonnenen Hersteller Serenergy wurde die HT-PEM-Technologie untersucht und weiterentwickelt. Der Einbau der Zellen auf einem Kreuzfahrtschiff konnte nicht realisiert werden, stattdessen erfolgte die Erprobung auf der MS Mariella. Darüber hinaus wurde die technische Realisierung, die Landerprobung und der Einbau an Bord einer Demonstrationsanlage zur Wärmerückgewinnung (Absorptionskältemaschine), begleitet.

Das Konzept der Wärmerückgewinnung zur Kälteerzeugung konnte erfolgreich demonstriert werden. Die Ergebnisse des Projekts werden genutzt, um die Energieerzeugung durch

Brennstoffzellen an Bord von Passagierschiffen weiter voranzubringen. Die Untersuchungen an der Demonstrationsanlage haben gezeigt, dass der Betrieb möglich ist. Die Entwicklung der Vorschriften und der notwendigen Technologie für die Integration in ein Schiff schaffen die Möglichkeit, Brennstoffzellen in der nächsten Generation von Kreuzfahrtschiffen einzusetzen.

DNV GL SE

Die Klassifikationsgesellschaften Det Norske Veritas (DNV) GmbH und die Germanische Lloyd AG begannen als jeweils eigenständige Partner mit der Arbeit an den Arbeitspaketen 1 und 2. Während der Projektlaufzeit fusionierten die beiden Unternehmen im September 2013 zur DNV GL SE, welche eine führende Rolle in der Klassifikation von Schiffen und im Bereich maritimer Ingenieurdienstleistungen weltweit einnimmt. Im AP 1 Technik war es das Ziel des DNV GL, mit den Arbeitspaketpartnern gemeinsam die technische Weiterentwicklung von Brennstoffzellen für die maritime Industrie und deren Nutzung an Bord von insbesondere Passagierschiffen zu erarbeiten. Im Arbeitspaket 2 Sicherheit koordinierte der DNV GL die Dokumentation und Bewertung sicherheitstechnischer Aspekte aus den Demoprojekten. Ziel war die Entwicklung von einheitlichen Grundlagen für die sicherheitstechnische Bewertung von Brennstoffzellensystemen, für die Bauteilzertifizierung und für die weitere nationale und internationale Vorschriftenentwicklung. Im Arbeitspaket 1 nahm der DNV GL regelmäßig an den Sitzungen teil und unterstützte die Arbeiten durch Informationen und Erkenntnissen aus vorangegangenen Projekten und der „Markstudie für Brennstoffzellensysteme in der Seefahrt“. Das Arbeitspaket 2 „Sicherheit“ wurde durch den DNV GL geleitet. Hierbei wurden projektübergreifend sicherheitstechnische Fragen gesammelt, bewertet und dokumentiert.

Gemeinsam mit den Partnern wurden die Erkenntnisse der Demoprojekte diskutiert und in Zusammenarbeit mit dem Verband für Schiffbau und Meerestechnik (VSM) und dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) Vorschläge für die internationale Vorschriftenentwicklung erarbeitet. Hierzu zählen u.a. ein zielorientierter Regelungsansatz für die Formulierung funktionaler Sicherheitsanforderungen, die Zulassung von Brennstoffzellen als Energiewandler für maritime Anwendungen, Betrachtung potentieller Treibstoffe mit niedrigem Flammpunkt, etc. Parallel hierzu wurden die Erkenntnisse in nationalen und internationalen Gremien vorgestellt. Das angestrebte Ergebnis von AP 2 Sicherheit ist die Basis für Klassifikationsvorschriften und internationale Vorschriften der International Maritime Organization (IMO) im Wesentlichen in Form von Anforderungen, definiert im „International Code of Safety for Ships using gases or other Low-flashpoint fuels (IGF Code)“ der IMO.

Fr. Lürssen Werft GmbH & Co. KG

Die Fr. Lürssen Werft ist ein wichtiger Partner im Vorhaben „Pa-X-ell“ und Partner im Projekt TOPLATERNE. Als eine der führenden Werften im Yachtbau beschäftigt sich die Fr. Lürssen Werft seit einigen Jahren mit der Möglichkeit Brennstoffzellen an Bord von Yachten zu integrieren. Im Vorhaben „Pa-X-ell“ wurden neue Konzepte zum Einsatz von Brennstoffzellen auf Schiffen entwickelt. Einem Brennstoffzelleneinsatz auf seegängigen Schiffen stand noch das Fehlen geeigneter internationaler Vorschriften entgegen. Daher war es das primäre Ziel in der TOPLATERNE die verschiedenen Erkenntnisse der Anwendungsmodule zu bündeln und allgemein anwendbare Vorschläge für international geltende Vorschriften zu entwickeln. Ein weiteres Ziel war der Erkenntnisaustausch in Bezug auf unterschiedliche technische Lösungen und den Betriebseigenschaften der unterschiedlichen Systeme. Die Fr. Lürssen Werft war an den technischen Arbeitsinhalten und den Arbeitspaketen zur Entwicklung von Vorschriften beteiligt. Die relevanten Ergebnisse aus dem Vorhaben Pa-X-ell wurden für diese Arbeitspakete 1 und 2 aufbereitet und flossen in die Diskussionen und Vorschläge für neue Vorschriften ein. Dies geschah auch im Rahmen einer regelmäßigen Teilnahme an den periodisch stattfindenden Projektarbeitstreffen. Die Fr. Lürssen Werft setzt große Erwartungen in die internationale Vorschriftenentwicklung und die sinngemäße Umsetzung der Vorschläge im Rahmen der IMO, um damit in absehbarer Zeit einen verlässlichen Rahmen für den Bau von Schiffen mit Brennstoffzellen und alternativen Brennstoffen zu schaffen. Dieses bildet die Voraussetzung, um einem interessierten Yacht-Kunden Brennstoffzellen für die Erzeugung des Bordstromes anbieten zu können.

Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG

Die Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG (FSG) beteiligte sich maßgeblich am Anwendungsprojekt Pa-X-ell und war damit auch Partner im Projekt TOPLATERNE. Als eine der führenden Werften im Bau von Fracht- und Passagierfähren setzte sich die FSG intensiv mit der Entwicklung von zukunftssträchtigen und effizienten Energiekonzepten auf Schiffen auseinander. In den Projekten Pa-X-ell und TOPLATERNE erarbeitete sich die FSG Kompetenz für den Einsatz der Brennstoffzellentechnologie auf ihren Schiffen. Das Hauptziel war dabei die Grundlagen für allgemeingültige technische Lösungen für spätere Serienanwendungen von Brennstoffzellensystemen zu erlangen. Um das volle Potential der Brennstoffzellentechnik auf ihren Schiffen ausnutzen zu können hat die FSG erhebliches Interesse an technischen Nutzungs- und Ausbaustrategien für Brennstoffzellensysteme. Die FSG beteiligte sich deshalb am Arbeitspaket 1 Technik in der TOPLATERNE. Im Fokus stand hier die integrierte ökonomische und ökologische Lebenszyklusanalyse (Life-Cycle-Costing). Dies ist eine Methodik, die sowohl finanzielle als auch umwelttechnische Auswirkungen eines Produktes untersucht und bewertet. Daneben gibt es die Möglichkeit, Produktvarianten zu vergleichen und Rückschlüsse auf deren Wettbewerbsfähigkeit zu machen. Als Basis dienen die technischen Pa-



parameter aus den Anwendungsprojekten sowie die Erkenntnisse aus dem Betrieb von Schiffsneubauten. Eine weitere wichtige Grundlage für die Nutzung von Brennstoffzellensystemen an Bord von Schiffen ist die Entwicklung von funktionellen Vorschriften. Die FSG brachte ihre Erfahrung aus dem Projekt Pa-X-ell in das vom DNV GL geleitete Arbeitspaket Sicherheit, Standards und Richtlinien ein.

Hochschule für Angewandte Wissenschaften-Hamburg

Die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) unterstützte das Projekt TOPLATERNE bis Ende 2010 durch die Beteiligung des Lehrstuhls für Maschinen und Anlagen/Schiffstechnik (Prof. Holger Watter). Nach seinem Wechsel an die Hochschule Flensburg betreute Herr Prof. Watter das Projekt von dort. Herr Prof. Watter beschäftigte sich seit 1997 mit verschiedenen betriebstechnischen und maschinenbaulichen Fragestellungen in Bezug auf maritime und energieoptimale Anwendungen. Er brachte seinen Sachverstand in die Arbeitspakete AP 1 Technik und AP 2 Sicherheit, Standards, Richtlinien ein.

hySOLUTIONS GmbH

Die hySOLUTIONS ist eine Public-Private Organisation in der Hansestadt Hamburg, die aktiv die Förderung und Umsetzung der Brennstoffzellentechnologie in Verkehr, Schiffbau und Luftfahrt unterstützt. Die Gesellschaft vermittelt dabei zwischen den klima- und wirtschaftspolitischen Interessen der Hansestadt, der relevanten Industrie und den Nutzern in ihren jeweiligen Anwendungen. Sie arbeitet dabei eng mit den Förderinstanzen auf nationaler und europäischer Ebene zusammen und überträgt deren Ziele und Technologieansätze in die Region. Im Rahmen des Projekts e4ships beinhaltete das Aufgabenspektrum der hySOLUTIONS GmbH Aufgaben im Projektmanagement wie beispielsweise die Abstimmungen mit dem Zuwendungsgeber, die Termin- und Erfolgskontrolle im übergeordneten Modul TOPLATERNE einschließlich der Zwischenberichte sowie die Koordination des Wissensmanagements.

Im Arbeitspaket Öffentlichkeitsarbeit übernahm die Gesellschaft die Federführung und Koordination. Inhaltliche Schwerpunkte der Arbeit bildeten die Vorbereitung und Betreuung attraktiver und aussagefähiger Informationsmedien (Broschüren, Flyer, Website, etc.), Veranstaltungen (z.B. e4ships Konferenz) und die organisatorische Unterstützung der Task Force Communication in fachlicher und administrativer Hinsicht. Die Arbeit der hySOLUTIONS war im Wesentlichen ausgerichtet auf die Erschließung von organisatorischen und fachlichen Synergie- und Lerneffekten im übergeordneten Modul TOPLATERNE. Dem Bereich Wissensmanagement kam dabei besondere Bedeutung als Medium für die Bereitstellung und Nutzung der Informationen aus den Demoprojekten im übergeordneten Modul sowie an geeignete Dritte zu. In Kombination mit einer attraktiven und wirksamen



Darstellung des Projektes nach außen wurde der Informationsstand von Experten wie auch der allgemeinen Öffentlichkeit deutlich verbessert und die Akzeptanz für die Technologie gerade auch im politischen Raum gestärkt. Aufgrund seiner spezifischen Mittlerfunktion bei der Marktvorbereitung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie trägt hySOLUTIONS ganz besonders zum Austausch mit parallel laufenden Entwicklungen in anderen Industrie- und Anwendungsfeldern wie Verkehr und Stationäre Anlagen und damit zu einer schnelleren Marktreife der technischen Systeme und Komponenten bei.

MEYER WERFT GmbH & Co. KG

Die MEYER WERFT war Leiter des Demonstrationsprojektes Pa-X-ell und damit auch Partner im Projekt TOPLATERNE. Als eine der weltweit führenden Werften im Passagierschiffbau beschäftigt sie sich mit der Entwicklung von innovativen und effizienten Energiekonzepten für diese Schiffe. Im Projekt Pa-X-ell wurde das Konzept auf Basis der Brennstoffzellentechnologie entwickelt, um hierdurch Grundlagen für allgemeingültige technische Lösungen für spätere Serienanwendungen zu erlangen. Die MEYER WERFT hat langfristig großes Interesse an technischen Nutzungs- und Ausbaustrategien für Brennstoffzellensysteme im Hinblick auf den maritimen Einsatz und übernahm aus diesem Grunde die Leitung des Arbeitspaketes 1.4 Brennstoffzellenintegration in der TOPLATERNE. Die Erkenntnisse aus den Entwicklungsinhalten des Projekts Pa-X-ell und aus dem Arbeitspaket 1.4 hat die MEYER WERFT insbesondere in das vom DNV GL geleitete Arbeitspaket „Sicherheit, Standards und Richtlinien“ eingebracht, um hierdurch zur Entwicklung von international gültigen Vorschriften bei der International Maritime Organization (IMO) beizutragen. Eine funktionelle Vorschriftenentwicklung liegt im Eigeninteresse einer Werft und wird somit zusammen mit entsprechenden Systemstrategien eine Grundlage für künftige Passagierschiffkonstruktionen bilden.

ThyssenKrupp Marine Systems GmbH

ThyssenKrupp Marine Systems (TKMS) war als Leiter des Verbundvorhabens SchiBZ an dem Projekt TOPLATERNE beteiligt. Das Ziel der TKMS war durch gemeinsame Auswertung von Erfahrungen und Meßwerten eine Bewertung des Systems aus dem Projekt SchiBZ zu ermöglichen und durchzuführen. Von besonderem Interesse waren hierbei die Beantwortung zu Fragen der Sicherheit, Ökologie und Ökonomie. TKMS beteiligte sich insbesondere an den Arbeitspaketen, die sich mit der Technik der Brennstoffzellen auf Schiffen befassten und die sicherheits- oder wirtschaftlichkeitsorientiert waren.

Für diese Arbeitspakete liefert TKMS Daten aus dem Demo-Modul zu und unterstützte bei der Auswertung durch Formulierung der anzuwendenden Kriterien. Zusätzlich beteiligte sich TKMS an der Definition der Anforderungen an maritime Brennstoffzellensysteme, um eine Strategie für die Weiterentwicklung aufzustellen. Im Einzelnen war TKMS in den Arbeitspa-

keten AP 1: Technik und AP 2: Sicherheit, Standards und Richtlinien tätig. Durch die Beteiligung an dem Projekt TOPLATERNE konnten wesentliche Erkenntnisse der Demonstrationsprojekte SCHIBZ und Pa-X-ell in system- und sicherheitstechnischen Bereichen ausgetauscht und in die Entwicklung im Projekt SCHIBZ eingebracht werden. Durch die gesammelte Auswertung der Erfahrungen und Ergebnisse der Demonstrationsprojekte im Rahmen der Arbeitspakete der TOPLATERNE soll die Anlage aus SCHIBZ in einem zukünftigen Projekt in einen serienreifen Zustand gebaut werden, der die zu erwartenden Anforderungen verschiedener relevanter Zulassungs- und Normierungsstellen erfüllt.

Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V.

Der Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. (VSM) vertritt die gemeinsamen wirtschafts-politischen und technischen Interessen der deutschen Werften und der maritimen Industrie gegenüber nationalen, europäischen und internationalen Institutionen und der Öffentlichkeit. Im Vordergrund der VSM-Arbeit im Rahmen des Projektes TOPLATERNE stand die technische Vorschriftenentwicklung und die Öffentlichkeitsarbeit zu den Fortschritten der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Im Arbeitspaket AP2.1 beteiligte sich der VSM über seinen europäischen Dachverband CESA an der völkerrechtlichen Vorschriftenentwicklung im Rahmen der International Maritime Organization (IMO). Der VSM brachte durch projektbezogene Delegierte die e4ships-Ergebnisse in die IMO-Beratungen ein. Der VSM fungierte in AP 3 Management als zentrale Kontaktstelle für die Pressearbeit. Zu den Aufgaben gehörte hier die Unterstützung externer Kontaktforderungen aus den Medien, der Politik und der Fachwelt unter Nutzung der in Abstimmung mit der zweimal jährlich tagenden Task Force Communication (TFC) erstellten Materialien. In der TFC waren alle Projektmodule sowie NOW und die Partner des AP3 der TOPLATERNE vertreten. Die TFC traf Entscheidungen zur Öffentlichkeitsarbeit und genehmigte Material für die Veröffentlichung. Durch das Einbringen der Ergebnisse in die IMO-Vorschriften wurden günstige Rahmenbedingungen für den Einsatz von Brennstoffzellen und alternativer Brennstoffe in der internationalen Schifffahrt erreicht und darüber hinaus die öffentliche Wahrnehmung durch die Weitergabe der Ergebnisse gefördert.

Zentrum für BrennstoffzellenTechnologie gGmbH (ZBT)

Das ZBT führt Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für Industrielle und öffentliche Auftraggeber durch und erbringt Dienstleistungen im Bereich der Brennstoffzellentechnologie. Es will eine Brücke zwischen universitärer Grundlagenforschung und den industriellen Ansprüchen auf Anwendungsfähigkeit bilden. Es ist das übergeordnete Ziel des ZBT, in Zusammenarbeit mit der Industrie Brennstoffzellensysteme in verschiedenen Anwendungen marktfähig zu machen. Demzufolge liegt es im Interesse des ZBT, durch eine Evaluierung der Energie-

und Schadstoffbilanzen von Brennstoffzellen im Vergleich zu konventionellen Techniken, durch Aufzeigen von ökonomischen Potenzialen und durch ein Engagement im Bereich der Aus- und Weiterbildung daran mitzuwirken, dass durch den innovativen Einsatz von Brennstoffzellen an Bord deutsche Werften, Reeder und Zulieferer ihre Marktposition verbessern können und dadurch letztlich Arbeitsplätze in Deutschland geschaffen oder zumindest gesichert werden können. Die ZBT GmbH wurde im November 2001 gegründet und ist ein Institut der Universität Duisburg-Essen. Mittlerweile (Stand Juni 2017) arbeiten über 80 Mitarbeiter im ZBT vornehmlich aus den technischen Gebieten Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Elektrotechnik, Chemie und der Schiffstechnik.

Das ZBT ist seit 2005 eine gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung, die Geschäftsführung hat Frau Prof. Dr. Angelika Heinzl als wissenschaftliche und kaufmännische Leiterin inne. Alleiniger Gesellschafter ist die Universität Duisburg-Essen. Das ZBT war in erheblichem Umfang am Arbeitspaket 1 Technik beteiligt. Für das AP 1.1 Brennstoffanalyse wurde seitens ZBT eine Datenbank programmiert, die die Spezifika der konventionellen Brennstoffe wie MGO, MDO, IFO 180 sowie IFO 380 und von alternativen Brennstoffen wie Wasserstoff, Methanol, Flüssigerdgas, Flüssiggas, Diesel (Straßendiesel) und Dimethylether abbildet. Im AP 1.2 Systembeschreibung hat ZBT ein Berechnungswerkzeug zur Durchführung eines Vergleichs von Energie- und Schadstoffbilanzen der unterschiedlichen Stromerzeugungskonzepte für die Schiffstypen Kreuzfahrtschiff, Mega-Yacht und Fähre entwickelt und sich an entsprechenden Simulationsrechnungen beteiligt. Das AP 1.3 Life Cycle Costing (LCC) wurde nach der Restrukturierung federführend durch den Partner FSG auf der Basis der dort entwickelten Software LCPA bearbeitet. ZBT hat parallel dazu eine Excel-Arbeitsdatei für ein Life Cycle-Costing auf Basis der DIN EN 60300-3-3 entwickelt und ausgewertet.

Das ZBT ist als Anbieter von Dienstleistungen und von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der Brennstoffzellentechnologie daran interessiert, seine Expertise und sein Know-how in Forschungsprojekte einzubringen und dadurch die vorhandene Wissensbasis ständig zu erweitern. Es liegt in unmittelbarem Interesse des ZBT, seine Erfahrungen im Bereich der Bewertung der Effizienz und Qualität von Strom- und Wärmeerzeugungstechniken durch Energie- und Schadstoffbilanzen und im Bereich der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu nutzen, auszubauen und das dazu notwendige methodische Vorgehen durch gemeinsame Bewertungen mit kompetenten Partnern zu verifizieren. Insbesondere das methodische Vorgehen kann auch andere Anwendungsgebiete von Brennstoffzellensystemen, z.B. die stationäre, dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung, übertragen werden und bietet dem ZBT so als eine weitere Referenz die Möglichkeit, derartige Evaluierungen als wissenschaftliche Dienstleistung für andere Anwendungsfälle anzubieten. So können die im Rahmen von TOPLATERNE – e4ships entwickelten Tools und Arbeitsdateien für Seeschiffe auch für die Bewertung von Brennstoffzellensystemen in der Binnenschifffahrt eingesetzt werden.

Als 100-prozentige Tochtergesellschaft der Universität Duisburg-Essen steht das ZBT der wissenschaftlichen Ausbildung von Ingenieuren sehr nahe, die im Arbeitspaket „Qualifizierung“ erarbeiteten praxisnahen Ausbildungskonzepte werden den entsprechenden Ausbildungsstellen zur Verfügung gestellt, sie können jedoch auch unmittelbar an der Universität Duisburg-Essen im Rahmen des Studiengangs Maschinenbau, Vertiefungsrichtung Schiffstechnik, z.B. in einem Vertiefungsfach realisiert und umgesetzt werden.

Im Laufe des Projektes schieden folgende Partner aus:

MTU onsite energy GmbH, 12/2010:

Aufgabe des Geschäftsfeldes „Brennstoffzellentechnologie“

Die ursprüngliche Planung im Projekt TOPLATERNE sah vor, dass bei den Demonstrationsprojekten Pa-X-ell und SchIBZ die selbe Brennstoffzellentechnologie zum Einsatz kommt. Durch den Ausstieg von MTU als Partner aus den Projekten war die Notwendigkeit gegeben, andere Brennstoffzellenhersteller zu finden, wobei sich die Projekte SchIBZ und Pa-X-ell für unterschiedliche Technologien entschieden haben. So baut SchIBZ auf die SOFC- und Pa-X-ell auf die HT-PEM-Technologie auf. Dadurch ergeben sich verschiedene Brennstoffzellensysteme, die innerhalb der Demonstrationsprojekte entwickelt wurden (s. A.2.5 Planung und Ablauf des Vorhabens).

Elsflether Zentrum für Maritime Forschung GmbH, 03/2011:

Insolvenz

A.2.3 Ziele

Die konkreten Ziele des Synergiemoduls TOPLATERNE waren

- Vergleich und Bewertung bestehender Energieversorgungssysteme von Schiffen mit den im Rahmen des Forschungsprojektes realisierten Systemen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie unter Gesichtspunkten ökologischer Nachhaltigkeit und energetischer Effizienz sowie Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten der Brennstoffzellensysteme und daraus folgend Ableitung künftiger Optimierungspotentiale und deren Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit durch eine Lebenszyklusanalyse (Life-Cycle-Costing)
- Definition technischer Nutzungs- und Ausbaustrategien in Bezug auf die typischen Platz-, Gewichts- und Leistungsbedarfe von seegehenden Schiffen.



Zu den Aufgaben gehörte außerdem die Mitwirkung bei der Formulierung von weltweit gültigen Regeln und Standards für die Zulassung und Installation von Brennstoffzellen und für die Nutzung emissionsarmer Treibstoffe wie schwefelfreien Diesel, Erdgas oder Methanol auf Schiffen und ihre Bereitstellung in den Häfen. Ein Schwerpunkt waren hierbei die Abstimmung mit der International Maritime Organization (IMO) (siehe AP2 Vorschriften).

A.2.4 Aufgabenstellung

Im Verbundvorhaben e4ships sollten weltweit erstmalig Brennstoffzellensysteme für den Einsatz auf Schiffen entwickelt und erprobt werden. Das Projekt e4ships war ein im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) von der Bundesregierung gefördertes Forschungsprojekt führender deutscher Werften, Reedereien, Brennstoffzellenhersteller und Klassifikationsgesellschaften. Es hatte sich zum Ziel gesetzt, durch den Einsatz von Brennstoffzellen auf seegängigen Schiffen die Schadstoffemissionen deutlich zu senken. Dabei ging es im ersten Schritt um eine saubere Energieversorgung an Bord in Form von Strom, Wärme und gegebenenfalls Kälte. Denn wenn Schiffe im Hafen ihre Energie aus Brennstoffzellen beziehen, kann hierdurch künftig eine deutliche Verbesserung der Luftqualität erreicht werden.

Im Rahmen des Syngiemoduls TOPLATERNE im Leuchtturmvorhaben e4ships wurden Themenstellungen bearbeitet, die für alle Demonstrationsprojekte gültig sind bzw. die von der gemeinsamen Auswertung von Daten profitieren. Das waren insbesondere solche Aufgaben, die Projektkosten reduzieren und eine gemeinsame Basis für die ökologische, technische und ökonomische Bewertung der Demonstrationsprojekte schufen. Zu den Aufgaben gehörte weiterhin die Mitwirkung bei der Formulierung von Regeln für die Zulassung und Installation von Brennstoffzellen auf Schiffen sowie die Ermittlung und Evaluierung ökologischer Effekte.

Zudem sollten Synergien der einzelnen Demonstrationsprojekte erschlossen und die Akzeptanz der Brennstoffzellentechnologie durch gemeinsame Öffentlichkeitsarbeit gefördert werden. Nachstehend wird die Gesamtorganisation von e4ships mit den Demonstrationsprojekten und dem übergeordneten Modul TOPLATERNE schematisch dargestellt.

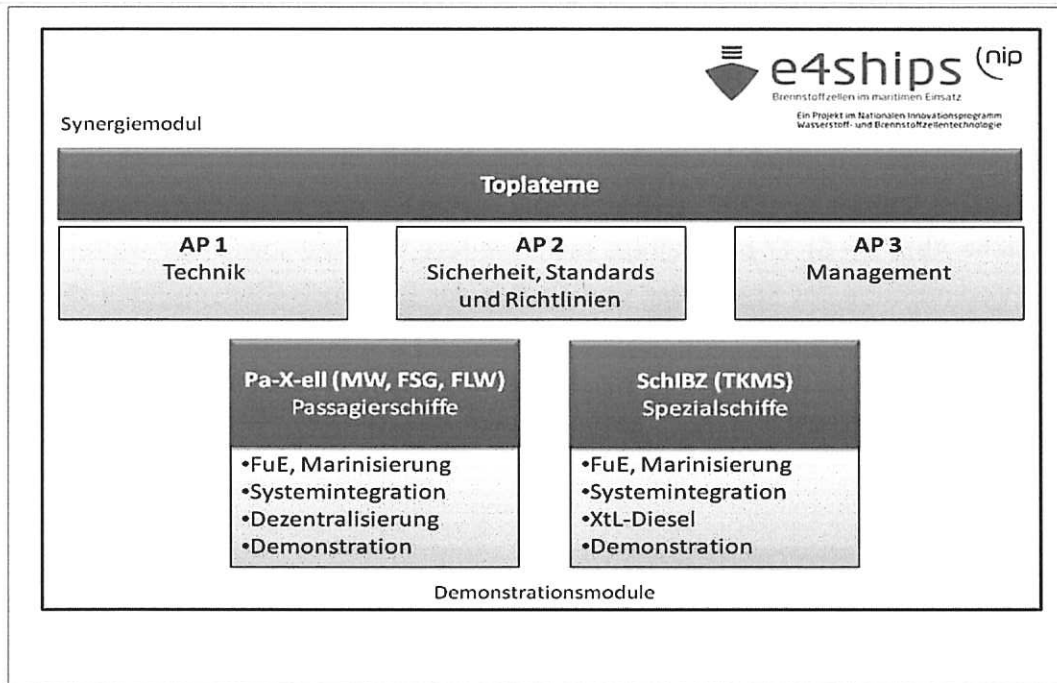


Abbildung 2: Darstellung Strategiemodul

Durch den Ausstieg von MTU Onsite Energy GmbH Fuel Cell Systems im Dezember 2010 und den Einstieg neuer Partner als Zulieferer von Brennstoffzellensystemen in den Demonstrationsprojekten kam es innerhalb des Leuchtturms zu Verzögerungen. Der Grund hierfür war eine geänderte Ausrichtung der Unternehmensziele von MTU und die damit verbundene Aufgabe des Geschäftsfeldes Brennstoffzellentechnologie. (a. A.2.5 Planung und Ablauf des Vorhabens). Daher wurden die Demonstrationsprojekte Pa-X-ell und SchIBZ kostenneutral bis zum 31.12.2016 verlängert. Um zu gewährleisten, dass die inhaltlichen Ergebnisse der Demonstrationsprojekte weiterhin in das Strategiemodul TOPLATERNE einfließen und bewertet werden konnten, wurden auf der Statusversammlung am 13.02.2014 in Abstimmung aller Konsortialpartner die Beantragung einer förderneutralen Verlängerung des Moduls TOPLATERNE beschlossen. Diesem Antrag wurde mit Änderungsbescheid vom Projektträger Jülich vom 29.09.2014 stattgegeben. Eine weitere kostenneutrale Verlängerung wurde am 14.08.2015 beantragt und mit dem Änderungsbescheid vom 21.10.2015 bestätigt. Hintergrund hierfür war die Vorstellung der Projektergebnisse im Rahmen einer öffentlichen Abschluss- und Pressekonferenz am 07.09.2016 bei der weltweit führenden Schiffbaumesse, der SMM 2016. Durch die Verlängerung des Leuchtturmprojekts wurde sichergestellt, dass die Ergebnisse der Demonstrationsprojekte öffentlichkeitswirksam aufbereitet und durch Vertreter aus Politik und Industrie dem auf der Messe anwesenden Fachpublikum und der eingeladenen Fachpresse vorgestellt werden konnten.



Die Anpassung der Arbeitspaketinhalte AP 1.4 Brennstoffzellenintegration und AP2.3 Qualität, die geänderten Verantwortlichkeiten sowie der angepasste Zeitplan und die zusammenfassenden Berichte thematisch verbundener Arbeitspaketergebnisse wurden in einem Restrukturierungskonzept zum Modul festgehalten und ebenfalls im Konsortium beschlossen. Der ergänzte Arbeitsplan umfasste den Zeitraum vom ersten Quartal 2014 bis zum zweiten Quartal 2016 (siehe Abb. 3 – 6). Er beinhaltete sechs weitere Berichte sowie vier weitere Meilensteine zur Verknüpfung der Ergebnisse und Kosten der Demonstrationsprojekte mit den Ergebnissen zu den Brennstoffen und Systemen und den Sicherheitsanforderungen aus dem Modul TOPLATERNE. Die Beantragung der kostenneutralen Verlängerung erfolgte von den Partnern je gesondert (s. AP 3.1). Dem Antrag wurde zugestimmt.

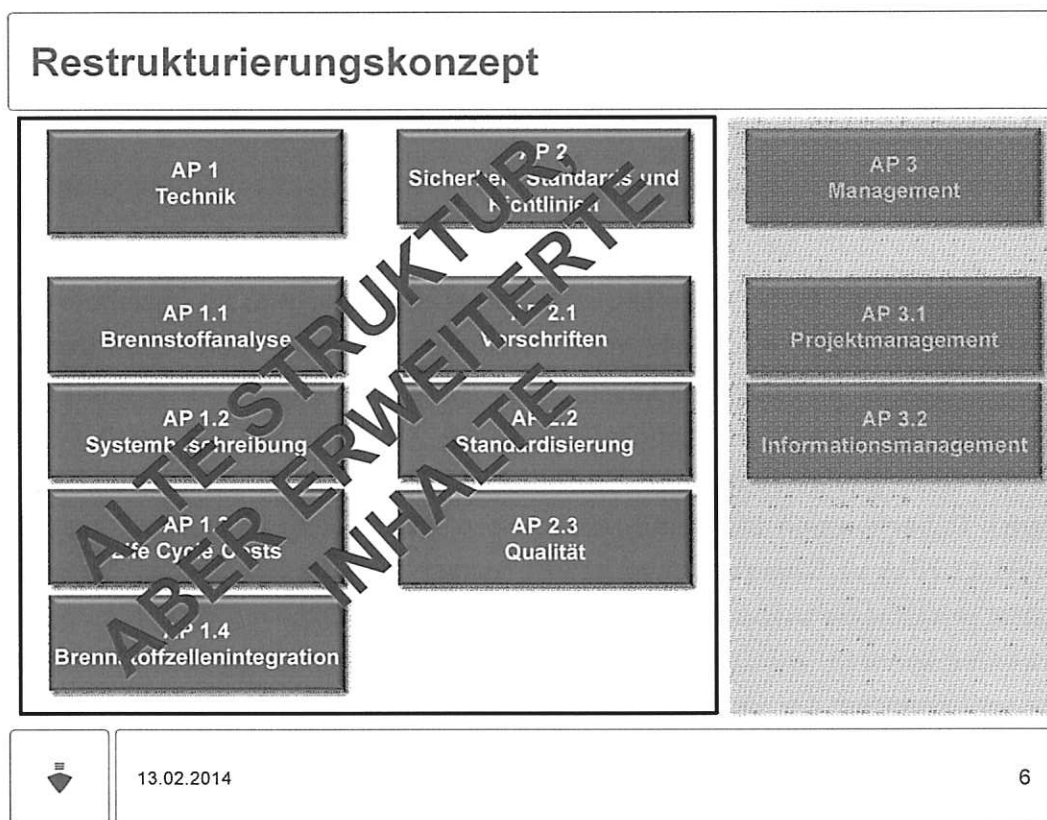


Abbildung 3: Restrukturierungskonzept



Arbeitsplan, Meilensteine und Berichte

Arbeitspakete	Meilensteine	Berichte
AP 1.1 Brennstoffanalyse	M1: Definition der zu betrachtenden Brennstoffe ZBT (03/14)	B1: Nachbesserungen zu Methanol und LNG, Adaption zur politischen Verwertbarkeit in Verknüpfung mit <u>B2</u> ZBT (03/14)
AP 1.2 Systembeschreibung	M2: Festlegung der realistischen Systemkonfigurationen ZBT/MW/TKMS (03/14)	B2: Energie- und Emissionsbilanzen aus e4ships, Adaption zur politischen Verwertbarkeit in Verknüpfung mit <u>B1</u> ZBT (03/14)
AP 1.3 Life Cycle Costs	M3: Datenabgleich mit Demo-Projekten FSG/MW/TKMS/FLW (09/14)	B3: LCPA aus Demo-Projekten FSG (03/15)
AP 1.4 Brennstoffzellen-integration	-	B4: Zusammenfassender Bericht zur BZ-Integration sowie Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit (AP 2.3 Qualität) MW/TKMS/DNV/GL (06/15)

	13.02.2014	8
--	------------	---

Abbildung 4: Arbeitsplan, Meilensteine, Berichte

Arbeitsplan, Meilensteine und Berichte

Arbeitspakete	Meilensteine	Berichte
AP 2.1 Vorschriften	-	B5: Status der Klassevorschriften und IMO-IGF DNV/GL/VSM (03/14)
AP 2.2 Standardisierung	M4: Definition von grundlegenden Zertifizierungsinhalten DNV/GL (12/14)	B6: Dokumentation der Sicherheitsanalysen DNV/GL (06/15)
AP 2.3 Qualität	-	B4: Zusammenfassender Bericht zur BZ-Integration sowie Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit (AP 2.3 Qualität) MW/TKMS/DNV/GL (06/15)

	13.02.2014	9
--	------------	---

Abbildung 5: Arbeitsplan, Meilensteine, Berichte

Arbeitsplan, Meilensteine und Berichte

Arbeitspakete	Meilensteine	Berichte
AP 3.1 Projektmanagement	M5: Final Conference hyS (03/2016)	-
AP 3.2 Informationsmanagement	M6: Abschlussbericht hyS/VSM (06/2016)	-

	13.02.2014	10
--	------------	----

Abbildung 6: Arbeitsplan, Meilensteine, Berichte

A.2.5 Planung und Ablauf des Vorhabens

In Hamburg wurde bereits ab 2007 im Rahmen des europäischen Förderprojektes ZEMSHIPS der Einsatz von Brennstoffzellen auf einem Fahrgastschiff geplant und das System ab Mitte 2008 im regulären Betrieb erprobt. Die positiven Erfahrungen aus diesem Technologieansatz waren Anlass, weitere Einsatzfelder für Brennstoffzellensysteme auf Schiffen zu identifizieren. Das Gesamtvorhaben e4ships stellte somit eine Ausweitung der bestehenden Aktivitäten dar von kleineren Anwendungen auf Binnenschiffen zu Konzepten für seegängige Schiffe dar.

Auf dieser Basis wurden im Rahmen des Leuchtturmprojektes e4ships zur Realisierung von Brennstoffzellensystemen an Bord von Seeschiffen unter der Leitung der MEYER WERFT (Demonstrationsprojekt Pa-X-ell) und thyssenkrupp Marine Systems (Demonstrationsprojekt SchIBZ) zwei eigenständige Projektvorhaben im Nationalen Innovationsprogramm der Bundesregierung (NIP) umgesetzt.

Anmerkung

Zum Zeitpunkt der Beantragung war vorgesehen unter der Leitung von Beluga Shipping im e4ships Demonstrationsprojekt HyFerry ein Wasserstoff-Hybridschiff mit einem PEM-Brennstoffzellensystem als Teil des Antriebskonzeptes umzusetzen. Aufgrund der Insolvenz der Beluga Shipping Company im März 2011 wurde dieses Projekt nicht realisiert.

Eine maßgebliche Veränderung in den Demonstrationsprojekten Pa-X-ell und SchIBZ war der Ausstieg des Brennstoffzellenherstellers MTU Onsite Energy GmbH Fuel Cell Systems im Dezember 2010. Der Grund hierfür war eine geänderte Ausrichtung des Unternehmens und die damit verbundene Aufgabe des Geschäftsfeldes Brennstoffzellentechnologie. Beim Projekt-treffen TOPLATERNE am 22.05.2012 wurde u.a. die Beteiligung der neuen Partner – DLR, HDW, Serenergy und Topsoe – am Projekt TOPLATERNE diskutiert. Förderrechtlich bestand keine Notwendigkeit einer formalen Aufnahme der Unternehmen in das Synergiemodul TOPLATERNE. Es bestand jedoch Einigkeit unter den Mitgliedern im Projekt TOPLATERNE darüber, dass eine Mitwirkung der neuen Mitglieder in den Arbeitspaketen (AP1 Technik, AP2 Sicherheit, Standards und Richtlinien) sichergestellt werden sollte, da die Ergebnisse für die Partner von strategischer und operativer Bedeutung sind. Im Demonstrationsprojekt SchIBZ zog sich das Unternehmen topsoe 2013 wieder aus dem Brennstoffzellengeschäft zurück und wurde durch die Firma Sunfire ersetzt. Die Gewährleistung des Wissenstransfers mit allen Unternehmen erfolgte jeweils über die Leiter der Demonstrationsprojekte, die diesbezüglich in den regelmäßigen Treffen in angemessenem Umfang berichteten.

Demonstrationsprojekt Pa-X-ell

In dem Demonstrationsvorhaben Pa-X-ell wurden nach dem Ausstieg von MTU unter Federführung der MEYER WERFT und ihren Projektpartnern Brennstoffzellensysteme mit flüssigkeitsgekühlten Hochtemperatur-PEM Brennstoffzellen entwickelt und auf dem Passagierschiff MS Mariella erprobt. Grundlage für das Brennstoffzellensystem waren dabei standardisierte Module für die Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte, die durch Zusammenschalten in beliebige Leistungsgrößen skaliert werden können. Die Anlage wurde mittels eines internen Reformers mit einem Methanol-Wasser-Gemisch betrieben. Das langfristige Ziel der Projektpartner war es, Brennstoffzellen in dezentralen Netzen an Bord von Passagierschiffen einzusetzen. Der dezentrale Aufbau steigert die Sicherheit, da jede einzelne Feuerzone auf einem Schiff mit Brennstoffzellen ausgestattet werden kann. Neben dem positiven Sicherheitsaspekt der Energieversorgung des Hotelbereichs werden Energieströme reduziert und somit die Effizienz des Gesamtsystems gesteigert. Nach ersten erfolgreichen Tests an Land bei der MEYER WERFT wurde die vorgefertigte Brennstoffzellenanlage zur ersten maritimen Erprobung des Brennstoffzellensystems auf dem zwischen Stockholm und Helsinki verkehrenden Fährschiff MS Mariella installiert und erprobt.

Im nächsten Schritt sind eine weitere intensive Entwicklung bei der Produktion der Brennstoffzellenmodule und die Steigerung der Energiedichte erforderlich, sowie die intensive Entwicklung des dezentralen und des hybriden Energiesystems für seegehende Schiffe.

Demonstrationsprojekt SchIBZ

Unter Leitung von thyssenkrupp Marine Systems arbeiteten im Projekt SchIBZ verschiedene Unternehmen und Institutionen daran, motorisch getriebene Generatoren langfristig durch umweltschonende Brennstoffzellensysteme zu ersetzen. Dafür wurde in interdisziplinärer Zusammenarbeit ein hochseetaugliches Hybrid-Stromaggregat nach dem Rückzug von MTU auf der Basis von Festoxidbrennstoffzellen (Solid Oxid Fuel Cell, SOFC) und Lithium-Ionen Batterien entwickelt, gefertigt und erprobt, um zukünftig den Hotelbetrieb an Bord zu versorgen. Hierzu wurden Brennstoffzellen von sunfire verwendet, nachdem die Zusammenarbeit mit Topsoe Fuel Cells nicht erfolgreich war. Das Aggregat sowie die Anzahl der Module pro Schiff sind skalierbar, so dass ein schrittweiser Aufbau der Leistung in den Megawattbereich möglich ist. Als Brennstoff für die Anlage diene schwefelarmer Diesel, da er weltweit verfügbar ist und bei einer Anwendung in der Brennstoffzelle eine hohe volumetrische Energiedichte besitzt. Für alle im Systemzusammenhang geprüften Teilprozesse wurde zunächst ein Demonstrator an Land aufgebaut, getestet und für den Betrieb auf See auf dem Mehrzweckschiff MS Forester der Reederei Rörd Braren vorbereitet. Der Seebetrieb soll im Sommer 2017 starten. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird das System weiterentwickelt hinsichtlich der Integration in Bordnetze und Leistungsdichte.

A.2.6 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Projekts

Technischer Hintergrund

Die Vorteile der Energieerzeugung mit einer Brennstoffzelle liegen für die Schifffahrt in der Reduzierung oder Vermeidung von Emissionen aller Art, der Möglichkeit neuer Energieverteilungskonzepte, den höheren Wirkungsgraden und der Erfüllung neuer Sicherheitskonzepte (Safe Return to Port). Im Hinblick auf die in der Schifffahrt wachsenden Anforderungen aus den Klimaschutzvorgaben etwa des europäischen und internationalen Rechts werden Alternativen zu den herkömmlichen Dieselaggregaten benötigt. Wesentliche Herausforderungen sind die physische Integration in die verschiedenen Schiffstypen und die logistische Integration in den Schiffsbetrieb, hier insbesondere die Brennstoffversorgung (MARPOL, Annex VI).

Hintergrund und Koordination des Projektes

Das Projekt TOPLATERNE wurde von den Verbundpartnern und der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) initiiert, um eine qualifizierte und effiziente Bearbeitung der gemeinsamen und übergeordneten Aufgaben aus den verschiedenen



Demonstrationsvorhaben zu erreichen. Im Projekt TOPLATERNE sollten Themenstellungen bearbeitet werden, die für alle Demonstrationsvorhaben gültig sind bzw. die von der Auswertung von Daten profitieren. Um Kosten zu reduzieren und eine gemeinsame Basis für die Demonstrationsvorhaben zu schaffen, sollten sowohl administrative und strategische als auch praktische Aufgaben, z.B. die Ableitung einheitlicher technischer Standards für alle Systemvarianten und die Mitarbeit bei der Implementierung neuer technischer Systeme oder Treibstoffe in die Regelwerke und Standards der International Maritime Organisation (IMO) bearbeitet werden. Außerdem ist zu zeigen, wie Brennstoffzellensysteme samt Peripherie in den täglichen Schiffsbetrieb wirtschaftlich integriert werden können.

Die Koordination der Zusammenarbeit zwischen den Verbundpartnern erfolgte über die Koordinatoren des Gesamtvorhabens (Center of Maritime Technologie e.V. und hySOLUTIONS GmbH).

A.3. Projektverlauf

Innerhalb des Moduls TOPLATERNE wurden die übergeordneten Themen des Leuchtturmprojektes e4ships zusammengefasst. Dazu zählen neben der technischen Bewertung der Brennstoffzellensysteme, die Erarbeitung neuer Richtlinien und Standards innerhalb der International Maritime Organization (IMO) zur künftigen Integration an Bord von Schiffen, die Darstellung der Projektinhalte für Experten aus dem maritimen Umfeld sowie für die breite Öffentlichkeit.

A.3.1. AP 1 Technik

AP 1. 1 Brennstoffanalyse

In der heutigen Seeschifffahrt wird Brennstoffzellensystemen ein großes Potential zur ökonomischen und ökologischen Substituierung klassischer Bordstromversorgungseinrichtungen zugeschrieben, welche heute vor allem mit Dieselmotoren ausgelegt werden. Brennstoffzellensysteme erfordern für die Energieerzeugung an Bord von Seeschiffen allerdings andere, alternative Brennstoffe, die im Rahmen des AP 1.1 Brennstoffanalyse vergleichend dargestellt wurden. Zunächst wurden die Spezifika von konventionellen, dieselähnlichen Brennstoffen wie MGO, MDO, IFO 180 sowie IFO 380 zusammengestellt. Die betrachteten, alternativen Brennstoffe sind Erdgas (LNG bzw. CNG), Liquified Petroleum Gas (LPG), Methanol (MeOH), Dimethylether (DME), Wasserstoff (H₂) und schwefelarmer bzw. schwefelfreier Diesel (Straßendiesel).



Für das AP 1.1 Brennstoffanalyse wurde eine Datenbank (Arbeitsdatei) programmiert, die Spezifika der oben genannten Brennstoffe abbildet. Bei den Destillaten MGO und MDO sowie bei den Rückstandsölen IFO 180 und IFO 380 wurden die Daten aus der DIN 8217 verwendet. Bei LPG wurde reines Propan und reines Butan als Brennstoff angenommen, um die international sehr unterschiedlichen Zusammensetzungen von LPG zu berücksichtigen. Bei Erdgas wurden einerseits russisches H-Gas und andererseits niederländisches L-Gas berücksichtigt, um die weltweit verfügbaren verschiedenen Gasqualitäten zu betrachten. Beim Methanol wurden heute typische Varianten aus zwei Erdgasen und eine aus Kohle berücksichtigt. Für Wasserstoff wurden insgesamt sieben unterschiedliche Prozessketten, konventionell und regenerativ, zur Bereitstellung behandelt. Als schwefelarmer Diesel wurde der GtL-Pfad auf Basis von Shell V-Power-Diesel betrachtet.

Die Brennstoffe wurden in der Arbeitsdatei hinsichtlich ihrer Herkunft bzw. ihres Herstellungsprozesses einschließlich Transport in Bezug auf ihren energetischen Wirkungsgrad und auf ihr Emissionsverhalten untersucht und bewertet. Daraufhin wurde in der Arbeitsdatei der gegebenenfalls erforderliche Prozess der Konditionierung und der Distribution des jeweiligen Brennstoffs auf die gleiche Weise analysiert. Somit wurde eine vergleichende „well-to-tank-Betrachtung“ für die konventionellen und die alternativen Brennstoffe durchgeführt.

Anschließend wurden die bei der Umsetzung der Brennstoffe zu erwartenden spezifischen Emissionen an Kohlendioxid und Schwefeldioxid berechnet bzw. abgeschätzt und bewertet. Die brennstoffspezifischen Emissionen Kohlendioxid CO₂ und Schwefeldioxid SO₂ lassen sich relativ einfach aus der Zusammensetzung des Brennstoffs berechnen. Dazu wurde in der Arbeitsdatei basierend auf dem VDI-Lexikon „Energietechnik“ (VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994) eine Verbrennungsrechnung programmiert, die eine Stoffbilanz erstellt. Zunächst wurde auf Basis der durch eine Elementaranalyse gegebenen Zusammensetzung eines Brennstoffs die für die vollständige Verbrennung erforderliche Mindestluftmenge bestimmt. Danach erfolgte die Festlegung des jeweiligen stöchiometrischen Luftverhältnisses bei der Verbrennung für jeden Brennstoff sowie die Berechnung der Zusammensetzung des Verbrennungsgases. Für jeden Brennstoff ist somit bekannt (und in dem im AP 1.1 entwickelten Berechnungswerkzeug auch hinterlegt), wie viel Kohlendioxid und wie viel Schwefeldioxid bei der Verbrennung des jeweiligen Brennstoffs freigesetzt werden.

Die Arbeitsdatei wurde abschließend noch durch aktuelle, typische Marktpreise für jeden Brennstoff ergänzt, um diese Informationen für die spätere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Rahmen des AP 1.3 „Life-Cycle-Costing“ (s. AP 1.3 Life Cycle Costing) nutzen zu können.

AP 1.2 Systembeschreibung

Die brennstoffabhängigen Emissionen, im Wesentlichen CO₂ und SO₂, ergeben sich aus der Brennstoffzusammensetzung. Über die vom System gelieferte elektrische Arbeit und den Systemwirkungsgrad kann dann die dafür benötigte Treibstoffmenge und die freigesetzte Menge an CO₂ und SO₂ berechnet werden. Heute übliche Bordstromversorgungen haben in der Regel keine nachgeschaltete Rauchgasreinigung zur Abtrennung des Schwefeldioxids oder gar des Kohlendioxids, so dass diese nach der Verbrennung über den Schornstein des Schiffes in die Umgebung freigesetzt werden.

Die systemspezifischen Emissionen entstehen bei der Umsetzung des Brennstoffs in dem jeweiligen System und unterliegen einem breiten Spektrum an Abhängigkeiten. Maßgeblicher Einflussfaktor ist die Effizienz des Umwandlungs- bzw. Verbrennungsprozesses. Bei einer vollständigen, idealen Verbrennung würden nur die brennstoffabhängigen Emissionen entstehen. Durch die systemspezifischen, realen Verbrennungsverhältnisse ist es jedoch unvermeidbar, dass es zu weiteren Emissionen kommt. Dies sind im Wesentlichen Rußpartikel, NO_x, CO und unverbrannte Kohlenwasserstoffe. Rußpartikel und Stickoxide treten in Verbindung mit dem Wasser in der Atmosphäre als Säurebildner auf. Sie wirken reizend und giftig auf die Schleimhäute. Daher wurden bereits parallel zu den brennstoffabhängigen Emissionen auch Grenzwerte für Stickoxid-Emissionen eingeführt und sukzessive verschärft.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 1.2 Systembeschreibung wurde eine komplexe Arbeits- und Berechnungsdatei auf Basis von Excel erstellt. Innerhalb dieser Datei können Lastprofile von Schiffen mit den Daten von Energieerzeugern und Brennstoffen zu stromgeführten bzw. stromorientierten Versorgungssystemen frei kombiniert werden. Es wurde somit ein flexibles Berechnungswerkzeug entwickelt, welches den Energiehaushalt und den Emissionsausstoß der jeweils zu betrachtenden Konfiguration bilanziert. Neben Systemen mit reinem Strombedarf lassen sich auch Konfigurationen mit zusätzlichem Wärmebedarf als Kraft-Wärme-Kopplungen oder auch mit zusätzlichem Wärme- und Kältebedarf als Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung bilanzieren, was insbesondere für Kreuzfahrtschiffe mit einem erheblichen Wärmebedarf von großem Interesse ist.

Die Berechnungsdatei ermöglicht den Einsatz der in AP 1.1 zusammengestellten Brennstoffe (MGO, MDO, IFO 180, IFO 380, LPG, Erdgas, Methanol, Wasserstoff und schwefelarmer Diesel). Die Systembeschreibung enthält alle Eigenschaften, die für Energie- und Schadstoffbilanzrechnungen notwendig sind. Für die einzelnen Schiffstypen sind das die entsprechenden Lastprofile (Strom und ggfs. Wärme) und bei den betrachteten Stromerzeugungskonzepten (konventionelle Motoren und Brennstoffzellensysteme) die Daten der elektrischen und thermischen Wirkungsgradverläufe über der Last. Die Berechnungsdatei importiert die Daten der Systembeschreibungdatei, führt die Bilanzrechnungen durch und gibt anschließend die Ergebnisse in Form von Diagrammen aus.

Ein wesentlicher Anteil der spezifischen Emissionen von alternativen Brennstoffen liegt in der vorgelagerten Kette zur Herstellung der Brennstoffe, beim Transport und bei den in den Grundstoffen enthaltenen CO₂-Anteilen. Ganz allgemein kann festgestellt werden, dass der CO₂-„Footprint“ alternativer Brennstoffe mit dem konventioneller Brennstoffe vergleichbar ist, wenn fossile Energieträger zu deren Herstellung genutzt werden. Ursache hierfür sind die dem Verbrauch vorgelagerten Transport- und herstellungsbedingten Emissionen. In der Anwendung ergeben sich allerdings für Brennstoffzellensysteme erhebliche Emissionsminderungen im Vergleich zu herkömmlichen Energiewandlern heutiger Seeschiffe. Dieses Ergebnis konnte durch die Berechnungen im Rahmen des AP 1.2 Systembeschreibung deutlich herausgearbeitet werden und wurde für die unten dargestellte Abbildung im Faltblatt „Bewertung alternativer Brennstoffe für die Bordstromversorgung durch Brennstoffzellen auf Schiffen - Sparsamer Energieeinsatz und geringer Schadstoffausstoß“ genutzt.

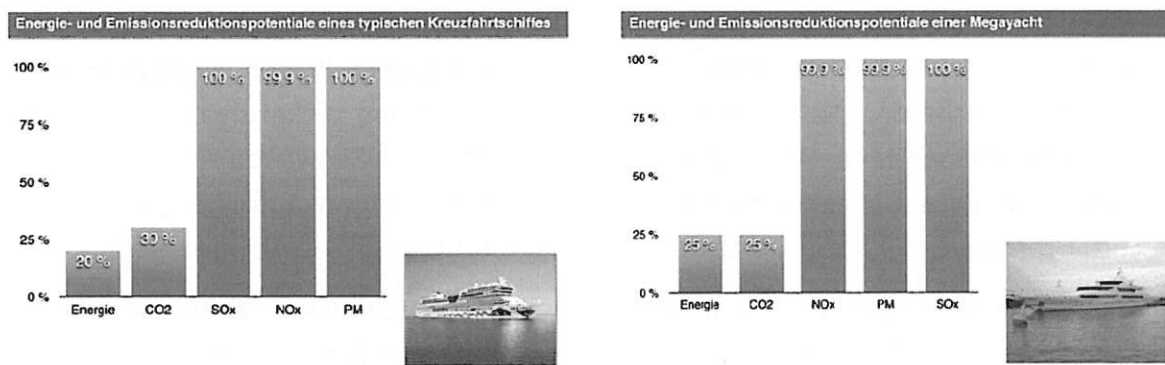


Abbildung 7: Einsparpotentiale eines Kreuzfahrtschiffes und einer Yacht

Für Brennstoffzellensysteme ist hervorzuheben, dass die NO_x-Emissionen praktisch vernachlässigt werden können. Die NO_x-Emissionen von Brennstoffzellen-Systemen sind um mehr als den Faktor 100 niedriger als die Grenzwerte für motorische Systeme nach Tier III. Auch die Emissionen an Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und Rußpartikeln sind gleich Null oder vernachlässigbar gering.

Partner nach Ausstieg MTU

Die ursprüngliche Planung im Projekt TOPLATERNE sah vor, dass bei den Demonstrationsprojekten Pa-X-ell und SCHIBZ die gleiche Brennstoffzellentechnologie zum Einsatz kommt. Durch den Ausstieg von MTU als Partner aus den Projekten war die Notwendigkeit gegeben, andere Brennstoffzellenhersteller zu finden, wobei sich die Projekte SCHIBZ und Pa-X-ell für unterschiedliche Technologien entschieden haben. So baut SCHIBZ auf die SOFC- und Pa-X-ell auf die HT-PEM-Technologie auf. Dadurch ergeben sich verschiedene Brennstoffzellensysteme, die innerhalb der Demonstrationsprojekte entwickelt wurden. Im Folgenden werden die entwickelten Systeme kurz vorgestellt. Weitere Details zu den Systemen und Demonstratoren sind in den jeweiligen Projektberichten zu finden.



Das in **Pa-X-ell** entwickelte HT-PEM-Brennstoffzellensystem basiert auf Methanol als Treibstoff und ist flüssigkeitsgekühlt. Ein Brennstoffzellensystem besteht aus mehreren Brennstoffzellenmodulen, die in einem modifizierten Schaltschrank zusammen gefasst sind, um so die Leistungsdichte zu erhöhen, die Sicherheit zu gewährleisten und die Peripherie zu vereinfachen.

Jedes Modul hat eine elektrische Ausgangsleistung von maximal 5kW. Es besteht aus dem Brennstoffzellenstack, einem vorgeschalteten Reformer und katalytischen Brenner, der zur Aufrechterhaltung des Reformierprozesses als auch zur Aufoxidation von Restgasen zuständig ist. Diese Kernkomponente wird durch Lüfter mit Prozessluft versorgt und ist mit einem Kühlkreislauf ausgestattet, um die entstehende Prozesswärme abzuführen. Der aus dem Stack kommende Gleichstrom wird in einer Elektronikeinheit auf die gewünschte Ausgangsspannung konvertiert, die, je nach Anwendung, bis zu 900VDC gehen kann. Für Wechselstromanwendungen ist ein externer Umrichter erforderlich. Die Steuerung sämtlicher Komponenten übernimmt eine modulinterne Steuerung, die zusätzlich eine eigenständige Steuerung enthält, die nur für Sicherheitsfunktionen zuständig ist.

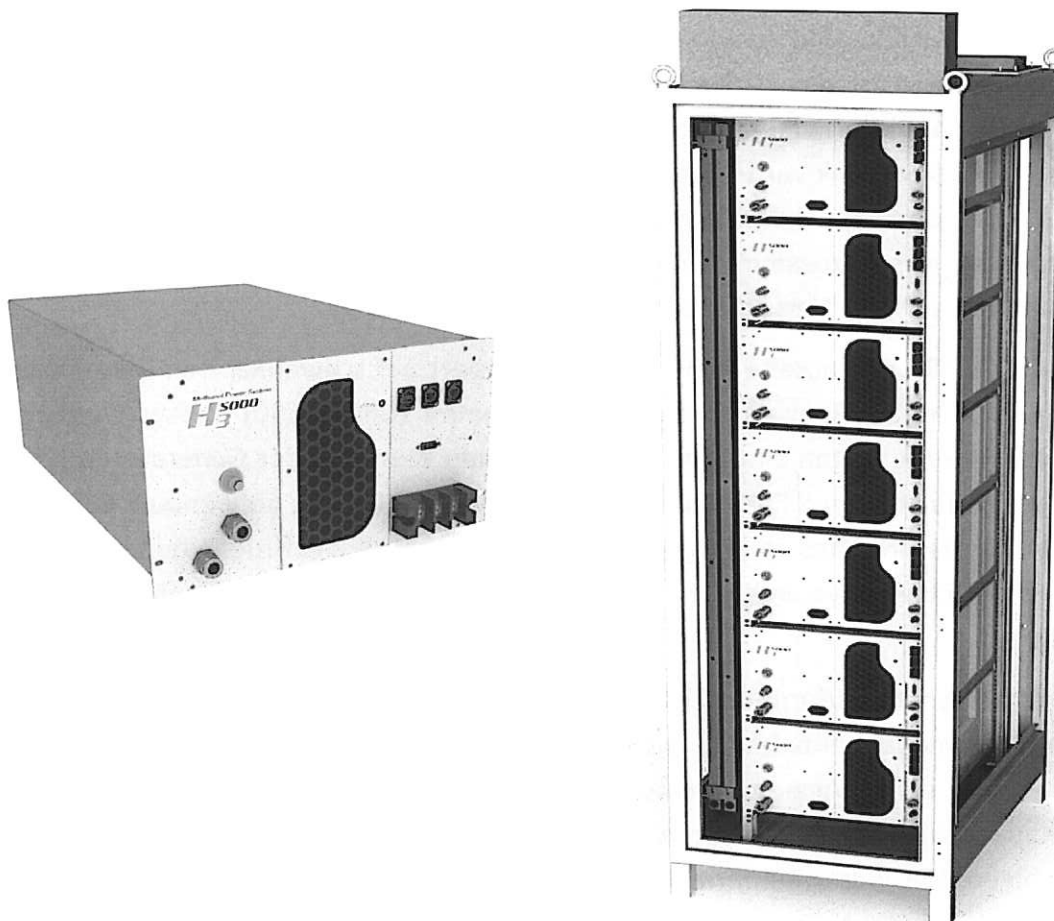


Abbildung 8: 5kW-Modul und 30kW-Rack



Bis zu sechs solcher Module können in den entwickelten Schrank eingeschoben werden, womit ein solcher Schrank eine Leistung von bis zu 30kW hat. Die Module werden an einen schrankinternen Kühlkreislauf angeschlossen, der über einen Wärmeübertrager an eine externe Kühlung angekoppelt werden kann. Zusätzlich verfügt der Schrank über eine Steigleitung für den Brennstoff, an den die Module ebenfalls angeschlossen werden. Die Kommunikation der Module geschieht über ein normales Netzwerk, sodass das System auch über das Internet per Fernwartung überprüft werden kann.

Dieser Aufbau des Systems erzeugt pro Schrank eine sehr hohe Redundanz, da der Ausfall eines einzelnen Moduls nicht sofort zum Verlust der gesamten Leistung führt und die restliche Anlage im Normalfall weiter betrieben werden kann. Ist Wartung an der Hardware eines Moduls notwendig, kann es mit ein paar Handgriffen aus dem Schrank genommen und zum Hersteller zurückgeschickt werden. Damit reduziert sich der Wartungsaufwand vor Ort.

Das Sicherheitskonzept ist so ausgelegt, dass keine der eingebauten Komponenten explosionsgeschützt ist. Der Grund hierfür liegt darin, dass solche Komponenten sehr teuer in der Anschaffung sind, die Sicherheit aber auch einfacher gewährleistet werden kann. So dient das Modulgehäuse als erste Barriere im Falle von Leckagen, der Schrank als die Zweite. Der Schrank und die Module sind belüftet, um unterhalb der Anforderungen, explosionsgeschützte Komponenten zu verwenden, zu bleiben. Jedes Modul selbst kann im Falle eines Fehlers vollständig heruntergefahren und abgeschaltet werden. Bei Detektion von Methanol oder Wasserstoff im Schrank wird ab gewissen Konzentrationen das System in den Notaus gehen und hierbei sämtliche elektrischen Verbindungen öffnen. Das Konzept wurde in mehreren Sicherheitsanalysen zusammen mit dem DNV GL erarbeitet und bewertet und anschließend auch so auf dem Versuchsträger MS Mariella eingesetzt.

Das im Projekt **SchIBZ** entwickelte hybride System basiert auf schwefelarmen Dieselmotoren, wie er auch im Straßenverkehr zum Einsatz kommt (DIN EN590). Dieser wurde gewählt, um den Anforderungen eines kraftwerksähnlichen Betriebes der Generatoren (24/7) im Hinblick auf Benutzung und Energiedichte zu entsprechen. Um die notwendige Reformierung des Kohlenwasserstoffes in ein geeignetes Brenngas energieeffizient durchzuführen, wurde als Brennstoffzellentyp eine SOFC gewählt, die eine entsprechende Abwärme zur Verfügung stellt.

Aufgrund der typischen Bauform der SOFC mit kleineren Stacks, wurde mit dem Hersteller sunfire ein Basismodul entwickelt, welches in verschiedenen Anzahlen mit einem Reformiermodul zu einem Aggregat verbunden wird. In diesem Modul sind die einzelnen Stacks mechanisch zu größeren Einheiten verbunden, die über gemeinsame Gas- und Luftanschlüsse verfügen. Mit dieser Bauform sind Leistungen bis einige hundert kW pro Aggregat konfigurierbar. Alle potentiellen Tauschteile sind so dimensioniert, daß sie durch normal schiffbauliche Türen transportiert werden können.



Die Brenngaserzeugung erfolgt durch Dampfreformierung, welche den höchsten Wirkungsgrad zuläßt. Der Reformierungskatalysator wird dabei über die Wärme des Brennstoffzellenabgases und der Restgasoxidation beheizt. Die Restgasoxidation an einem Katalysator dient vor allem der Umsetzung ungenutzten Brenngases aus Sicherheitsgründen und stellt dabei nutzbare Abwärme zur Verfügung. Diese kann durch einen externen Wärmetauscher abgeführt werden, wobei sowohl Warmwasser als auch Dampf für andere Schiffssysteme erzeugt werden kann.

Bei der gewählten Bauform wird der Aufstellungsraum als zweite Gasbarriere ausgestaltet. Die Aggregatkomponenten sind nicht explosionsgeschützt, sondern der Raum ist mit einer Lüftung versehen, die einen mindestens 30-fachen Luftwechsel pro Stunde erreicht. Zusätzlich überwacht eine vorgeschriebene Gaswarnanlage die Raumluft und stoppt den Brennstoffzellenprozess bei Gasdetektion.

Die Brennstoffzellenstacks sind elektrisch zu Gruppen verschaltet, welche über spezielle DC/DC-Wandler mit einer DC-Sammelschiene verbunden werden. Diese Sammelschiene soll später als Grundlage für ein schiffswieites DC-Netz dienen. In der Demonstrationsanlage sind an diese Sammelschiene auch die Lilon-Batterien und der SuperCapacitor angeschlossen. Die Verbindung zum Schiffsnetz erfolgt über einen gemeinsamen DC/AC-Wandler.

Im Projekt SCHIBZ wurde das Brennstoffzellenaggregat zugleich „hybridisiert“, d.h. mit einem Energiespeicher gekoppelt. Dieser besteht aus einem Lithium-Ionen-Batteriemodul und einem SuperCapacitor-Modul. Der Aufbau dient der alleinigen Versorgung eines Inselnetzes mit Strom aus einem Brennstoffzellensystem. Bei der Versuchsanlage, die in einem Anschlußprojekt auf der MS Forester erprobt wird, ist die Kapazität der Batterien so ausgelegt, daß das Schiff für ca. 30min allein aus der Anlage betrieben werden kann. In der übrigen Zeit wird ein Generator parallel betrieben, der auf eine feste Ausgangsleistung eingestellt wird. Damit werden weiterhin die Lastschwankungen von dem Brennstoffzellensystem aufgenommen.

AP 1.3 Life Cycle Costing (LCPA aus den Demoprojekten)

Das AP 1.3 „Life Cycle Costing“ (LCC) wurde nach der Restrukturierung federführend durch den Partner FSG auf der Basis der dort entwickelten Software LCPA bearbeitet. ZBT hat parallel dazu eine Excel-Arbeitsdatei für ein Life Cycle-Costing auf Basis der DIN EN 60300-3-3 entwickelt und ausgewertet, die zu ähnlichen Ergebnissen kommt wie das LCPA.

Das Life-Cycle-Costing dient üblicherweise der monetären Analyse verschiedener Investitionsalternativen. Dabei sollen alle mit der Investition verbundenen, im Laufe des Lebenszyklus anfallenden Kosten berücksichtigt werden, die Anschaffungskosten und die Folgekosten einer Investition, wie z. B. die Betriebs-, Wartungs- und Entsorgungskosten. Die Lebenszykluskosten bilden die Grundlage für einen zielführenden Vergleich der unterschiedlichen Investitionsmöglichkeiten.

Gegenstand des LCC nach DIN EN 60300-3-3 waren die drei Schiffstypen Kreuzfahrtschiff, Megayacht und Fähre. Die Ermittlung der Lebenszykluskosten wurde dabei unter Berücksichtigung des Risikos sich verändernder politischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen in der nahen Zukunft durchgeführt. Von besonderem Interesse war dabei das Risiko steigender Kosten für konventionelle Dieselmotorsysteme aufgrund zunehmender Belastungen durch Klima- und Umweltschutzauflagen.

Die Ergebnisse des Life-Cycle-Costings zeigen, dass Brennstoffzellensysteme in Bezug auf die Lebenszykluskosten gegenwärtig noch keine konkurrenzfähige Alternative zu dieselmotorischen Systemen zur Energieversorgung der untersuchten Schiffstypen darstellen. Auch der Einbezug geeigneter Risikoprämien hinsichtlich Brennstoffkosten, CO₂-Zertifikaten, ECAs und Hafengebühren führt lediglich zu einer Verschiebung der Kosten zulasten der Dieselmotorsysteme, ohne dabei allerdings den Break-Even-Punkt zu erreichen. Neben den Brennstoffpreisen und der Effizienz der einzelnen Systeme hat sich insbesondere die Volllaststundenzahl als ein wichtiger Faktor herausgestellt. Analog zum Anlagenbau gilt auch hier, dass sich hohe spezifische Investitionskosten eher rentieren, wenn hohe Volllaststunden erreicht werden. Damit die Brennstoffzellentechnologie zukünftig als Energieversorgungssystem in der Schifffahrtsindustrie zur Marktreife gebracht werden kann und eine konkurrenzfähige Alternative zu konventionellen Systemen darstellt, müssen allerdings weitere Marktbarrieren beseitigt werden. In erster Linie sind hier die hohen spezifischen Investitionskosten der Brennstoffzellensysteme zu nennen. Sollte die Industrie in diesem Bereich ihre selbst gesetzten Ziele erreichen, könnten Brennstoffzellenbetriebene Kreuzfahrtschiffe oder Megayachten, aufgrund der relativ hohen Volllaststundenzahlen, durchaus wirtschaftlich betrieben werden.

Im Pa-x-ell Vorhaben steht der Ersatz von heute typischerweise eingesetzten Dieselgeneratoren zur Stromerzeugung an Bord durch HT-PEM Brennstoffzellen im Fokus, im Projekt SchIBZ mit SOFC. Daneben lassen sich durch die mögliche Dezentralisierung des elektrischen Netzwerkes mittels der Brennstoffzellen sehr wahrscheinlich auch wirtschaftliche Vorteile erzielen. Eine erhöhte Sicherheit durch eine insgesamt verringerte Leistungsdichte der Energieerzeugung und -verteilung an Bord ist ein weiterer Effekt, der aber schwer monetär zu bewerten ist. Diese Effekte sind daher nicht Bestandteil der Untersuchung.

In den Untersuchungen wurden zunächst nur die eigentlichen primären Energiekonverter miteinander verglichen. Dazu wurde ein heutiger klassischer für den Bordeinsatz verwendeter Dieselgenerator identifiziert und einem hypothetischen Cluster aus Brennstoffzellen (Brennstoffzellensystem) zur Erzeugung der gleichen Nennleistung gegenübergestellt. Ein typisches zeitliches Profil des Energiebedarfs wurde angenommen, um die Auswirkungen unterschiedlicher Betriebspunkte erfassen zu können.



Alle damit zusammenhängenden Fragen wie Wirkungsgrad, Instandhaltungsarbeiten, Austauscharbeiten von relevanten Bauteilen etc. wurden damit erfasst.

Von großer Wichtigkeit ist die Vergleichbarkeit des Niveaus von umweltschädlichen Emissionen, die während des Betriebs der Energiekonverter entstehen. Es muss darauf geachtet werden, dass beide Varianten auf einem „level playing field“ verglichen werden.

Neben den rein technischen Gesichtspunkten der Energiekonverter spielt auch der verwendete Kraftstoff eine wichtige Rolle. Heute ist noch Schweröl bzw. Dieselöl der Kraftstoff der Wahl, aber zunehmend werden alternative Kraftstoffe wegen verschärfter Umweltforderungen nachgefragt wie LNG oder auch Methanol. Je nach Herstellungspfad entstehen dabei unterschiedlich hohe Emissionen und Energieaufwände. Daher wurde der Ansatz „from well to tank“ in die Untersuchung mit einbezogen um diesem Aspekt gerecht zu werden. Insbesondere wenn es zukünftig auch darum geht, solche alternativen Kraftstoffe regenerativ herzustellen kommt man an diesem Ansatz nicht vorbei.

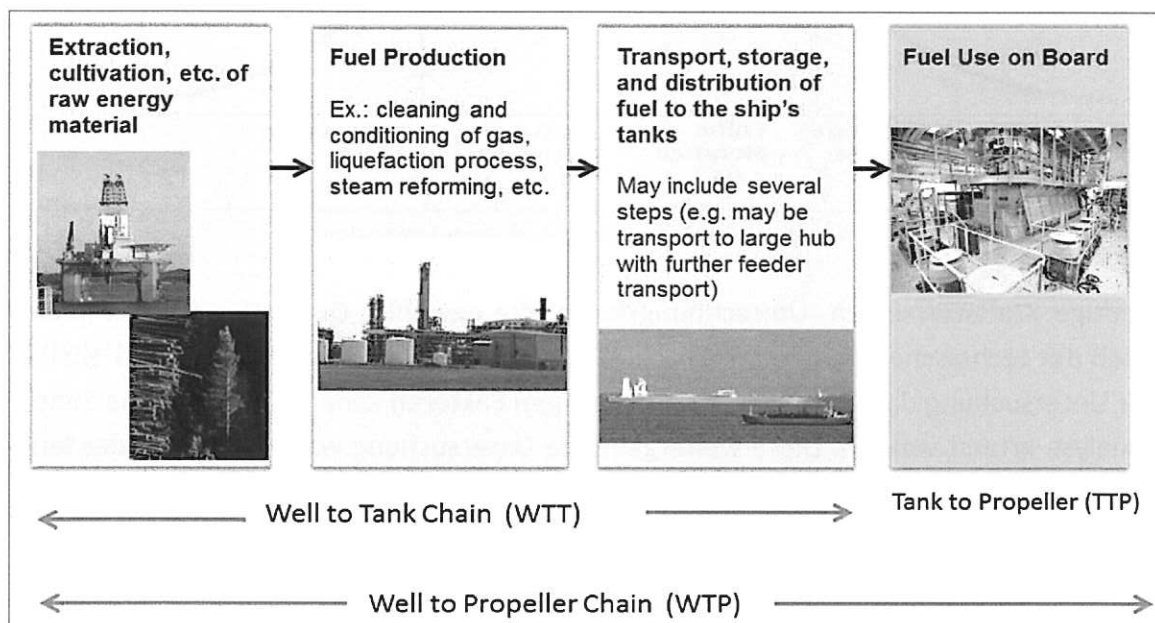


Abbildung 9: Herstellungs- und Verbrauchskette für (fossile) Kraftstoffe

Die Zielwerte im Projekt e4ships zur Kostendegradation, Standzeit der Brennstoffzelle und Wirkungsgrad sind sehr ambitioniert. Es ist aber keinesfalls ausgeschlossen, dass diese Ziele erreicht werden können. Auch in anderen Bereichen wie z. B. der Batterieherstellung wird diese Kostendegradation unterschätzt (VDI 2016¹).

¹ VDI 2016: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Batteriepreise-sinken-schneller-erwartet>

Voraussetzung ist aber, dass weitere intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu den technologisch relevanten Themen durchgeführt werden, um die unterstellten Wirkungsgrade, Standzeiten und Optimierung der Fertigung des Brennstoffzellensystems auch erzielen zu können. Je schneller diese Ziele erreicht und nachgewiesen werden durch z. B. Demonstrationsprojekte, desto eher ist eine marktnahe Anwendung durch Innovatoren oder frühe Adaptoren zu erwarten (Rogers 1995²).

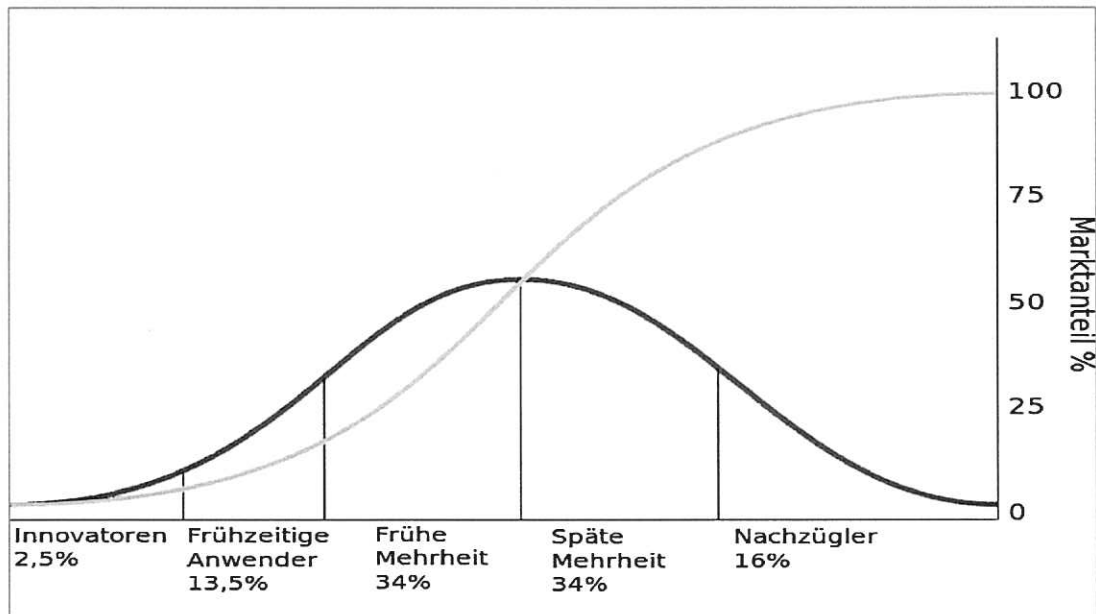


Abbildung 10: Diffusionsprozess einer Innovation

Zukünftige Kraftstoffkosten, Umrechnungskurse, die gewählte Diskontierungsrate und das Erzielen der technischen Parameter einschl. Kosten stellen einen hohen Unsicherheitsfaktor in der Untersuchung dar. Der Einfluss der jeweiligen Faktoren kann aber durch eine Sensitivitätsanalyse erfasst werden. Diese weitergehende Untersuchung war im Rahmen des laufenden Projektes aber nicht möglich.

Umweltwirkungen spielen eine große Rolle, wenn sie über die externen Kosten bewertet werden. Über diesen Weg wurde die Vergleichbarkeit der Energiekonverter hergestellt und das ökonomische Ergebnis hat sich dadurch signifikant verändert zugunsten der Brennstoffzelle. Die Untersuchung zeigt daher, dass zukünftig eine Veränderung der politischen Rahmenbedingungen erfolgen muss, um den derzeit existierenden Nachteil der Brennstoffzellen auszugleichen. Dies ist insofern von großer Dringlichkeit, da insgesamt für die maritime Industrie mehr Planungssicherheit notwendig ist, um den zukünftigen Herausforderungen wie kurzfristiger Reduktion der umweltschädlichen Emissionen und der langfristigen drastischen

² Rogers, Everett (1995): The Diffusion of Innovations, New York, NY: Free Press



Reduzierung der CO₂-Emissionen besser begegnen zu können. Brennstoffzellensysteme können dabei einen signifikanten Beitrag leisten. Fragen hinsichtlich des Schiffsentwurfs konnten nicht vollständig berücksichtigt werden (Dezentralisierung, Lüftung, tatsächliches Potential der Wärmerückgewinnung, Peak Shaving mit Batterien etc.), da hierfür komplette Entwürfe miteinander verglichen werden müssten. Das Ergebnis eines solchen Vergleichs ist weiterhin vom Schiffstyp und den speziellen Anforderungen des jeweiligen Einsatzprofils abhängig.

AP 1.3 Brennstoffzellenintegration

In AP 1.3 wurden Aspekte der Integration von Brennstoffzellensystemen untersucht. Wie in AP 1.1 beschrieben wurde durch den Projektausstieg von MTU in den Demonstrationsprojekten mit verschiedenen Brennstoffzellentypen gearbeitet, sodass die Bewertungskriterien für Brennstoffzellensysteme auf beide angesetzt werden können. Dieser Vergleich ist im Folgenden tabellarisch aufgearbeitet.

	Pa-X-ell	SchIBZ
Brennstoffzellentyp	HT-PEM	SOFC
Brennstoff	Methanol-Wasser (60/40%)	Diesel (15ppmS)
Typisches Raumvolumen	1,5 m ³	24 m ³
Typisches Gewicht	Ca. 800kg	Ca. 15t
Typische max. Ausgangsleistung	Ca. 30kW	Ca. 200kW
Typischer Verbrauch	0,9 l/kWh	0,19 l/kWh

Abbildung 11: Vergleich Brennstoffzellentypen

Bei diesem Vergleich ist zu beachten, dass es sich hier um zwei völlig verschiedene Brennstoffzellentypen handelt, die entsprechende Daten aufweisen. Prinzipiell ist bei der Integration der Brennstoffzellen auf Schiffen immer der direkte Vergleich zu konventionellen Energieerzeugern gegeben. Seit Jahrzehnten etabliert ist der Dieselmotor, der im Laufe der Entwicklung sehr gute Leistungsdichten erreicht hat. Die Brennstoffzellentechnologien müssen sich mit den konventionellen Energieerzeugern messen und entsprechende Erwartungen an Leistungsgewichte und –volumina erfüllen. Dabei sind in die Bilanz auch die elektrischen Komponenten der Generatorsätze, die Abgasreinigung, Schalldämmmaßnahmen und der Brennstoffbunker einzubeziehen. Zugleich ermöglichen die Brennstoffzellensysteme der Demonstrationsprojekte eine völlig neue Art der Integration auf Schiffen, da sie durch ihre



Modularität über ein Schiff verteilt aufgestellt werden können. Dieses Konzept ermöglicht die Steigerung der Versorgungs- und Ausfallsicherheit, was enorme Vorteile vor allem für Passagierschiffe bedeutet. Auch die Skalierbarkeit der Leistungen ist durch die Modularität deutlich vereinfacht. So können breite Leistungsspektren zielgerichtet abgedeckt werden.

Neben diesen prinzipiellen Werten ist bei der Integration von Brennstoffzellen auch der Aspekt der Handhabung und Sicherheit an Bord bewertet worden. Gerade das Thema Sicherheit bei der Integration von Brennstoffzellen wurde intensiv behandelt und die jeweiligen Ergebnisse aus den Demonstrationsprojekten in e4ships integriert, um hier Eingaben für die Arbeiten bei der IMO vorzubereiten. So hat die Projektierung von Brennstoffzelleninstallationen im Rahmen der beiden Demonstrationsprojekte einige Erkenntnisse beisteuern können, die im Rahmen der Arbeiten in e4ships diskutiert und in eine generelle Vorgehensweise bei Brennstoffzellenintegrationen überführt werden konnten. Vertieft wurden diese Erkenntnisse besonders durch die Demonstrationsanlage, die auf der MS Mariella installiert worden ist und die Planung für den Versuchsbetrieb auf der MS Forester.

Aufgrund der unterschiedlichen Entwicklungstendenzen, bedingt durch die verschiedenen Brennstoffzellentypen, wurde versucht, die Anforderungen der Integration an Bord von Schiffen so zu verallgemeinern, dass sie in die Regelentwicklung allgemeingültig eingebracht werden können.

A.3.2 AP 2 Sicherheit, Standards, Richtlinien, IMO-Arbeit

Für den Bau und Betrieb von maritimen Brennstoffzellensystemen an Bord von seegehenden Schiffen und Binnenschiffen gibt es derzeit kein verbindliches internationales Regelwerk. Ein weltweiter Einsatz an Bord von Schiffen ist derzeit nur durch Ausnahmeregelungen möglich, die für die Betreiber einen erheblichen Kosten- und Zeitaufwand nach sich ziehen.

Grundlage für bisherige Ausnahmeregelungen waren u.a. Richtlinien von Klassifikationsgesellschaften. Eine erste klassifikatorische Richtlinie für den Bau von maritimen Brennstoffzellensystemen wurde durch den Germanischen Lloyd im Jahre 2002 veröffentlicht, die derzeit in aktualisierter Form seitens der neu formierten Klassifikationsgesellschaft des DNV GL vorliegt. Basierend auf diesen ersten Richtlinien und den Ergebnissen der Demonstrationsprojekte in e4ships befasste sich die TOPLATERNE mit der Entwicklung von möglichen Inhalten für die Vorschriftenentwicklung, als Grundlage standardisierter Prüfprozesse.

AP 2.1 Vorschriften

Die im Projektzeitraum wichtigste Aktivität für die Entwicklung von internationalen Sicherheitsanforderungen für maritime Brennstoffzellensysteme im Rahmen der „International Maritime Organization (IMO)“ dar. Ausgehend von den sicherheitstechnischen Erkenntnissen der e4ships-Teilprojekte „TOPLATERNE“, „Pa-X-ell“ und „SchIBZ“ wurde die Vorschriften-



entwicklung im Rahmen des IMO-Arbeitsprogrammepunktes „Development of the Draft International Code on Safety for Natural Gas-fuelled Ships“ vorangetrieben (IGF Code) . Im Einzelnen wurde:

- ein zielorientierter Regelungsansatz (engl. „goal-based standards“) entwickelt, der durch die Formulierung funktionaler Sicherheitsanforderungen Flexibilität in der technischen Umsetzung sicherstellt;
- die explizite Verankerung von Brennstoffzellen als zulässiger Energiewandler für maritime Anwendungen vorangetrieben;
- Öffnung der SOLAS-Konvention³ für potentielle Treibstoffe mit niedrigem Flammpunkt erreicht, die als Energieträger für Brennstoffzellensysteme in Frage kommen;
- Anforderungen und Randbedingungen für die Treibstofflagerung formuliert, die Brennstoffzellenanwendungen für verschiedene weltweit operierende Schiffstypen ermöglicht;
- die Berücksichtigung von dezentralen und modularen Energieversorgungssystemen promotet;
- die Möglichkeit geschaffen, im Einzelfall von spezifischen Sicherheitsanforderungen auf dem Wege des „alternative designs“ abzuweichen.

Arbeitsweise und Partner

Um die IMO-Vorschriftenentwicklung zu begleiten, wurde eine Spiegelarbeitsgruppe eingerichtet, in der die TOPLATERNE-Partner und die Projekte Pa-X-ell und SchiBZ vertreten waren. Ausgerichtet auf das IMO-Arbeitsprogramm wurden in diesem Gremium brennstoffzellenrelevante Vorhabenergebnisse identifiziert, diskutiert und für den International Code on Safety for Natural Gas-fuelled Ships (IGF Code) aufgearbeitet. Der e4ships-Input erfolgte entweder über die deutsche Flagge (in der IMO vertreten durch das BMVI) oder über den europäischen Schiffbauverband CESA, der einen IMO-Beobachterstatus besitzt.

In letzterem Fall wurden die e4ships-Vorlagen im CESA „Technical Committee“ den weiteren nationalen Schiffbauverbänden vorgestellt, verabschiedet und als CESA-Submissionen in Unterausschuss-Sitzungen, Korrespondenzarbeitsgruppen und IMO-Präsentationen eingebracht. Die e4ships-Positionen wurden zumeist ohne Änderungswünsche der in CESA organisierten nationalen Schiffbauverbände in Verbandspositionen überführt, da anscheinend nur in wenigen Ländern an konkreten Brennstoffzellen-Projekten gearbeitet wird.

³ Die „International Convention for the Safety of Life at Sea“ ist das zentrale IMO-Instrument für alle baulichen und betrieblichen Anforderungen der Schiffsicherheit. Durch die SOLAS-Konvention wird auch der IGF Code rechtsverbindlich für Schiffe im internationalen Seeverkehr.



Zwar war hierdurch eine problemlose Umwandlung von e4ships-Inhalten in CESA-Positionen möglich, allerdings konnte über die nationalen Schiffbauverbände nur wenig politische Unterstützung weiterer europäischer Flaggenstaaten erreicht werden.

Aktivitäten und Meilensteine

Regulatorischer Ausgangspunkt der Vorschriftenentwicklung war – neben den Klassevorschriften des GL – die im Juni 2009 fertiggestellten unverbindlichen IMO-Empfehlungen „Interim Guidelines for gas-fuelled ships“ (IG) (MSC.285(86)). Aufgrund des Klima- und Umweltschutzpotentials und des durch das e4ships-Konsortium deutlich repräsentierten industriellen Bedarfs konnte sofort eine Überführung der gerade abgeschlossenen IG-Entwicklung in einen Auftrag zur Entwicklung eines verbindliche Codes für Erdgas getriebene Schiffe (LNG und CNG) mit verschiedenen Energiewandlern erreicht werden (Draft International Code on Safety for Natural Gas-fuelled Ships, IGF Code). Diese Phase der IGF Code-Entwicklung schloss bis 2010 zwar Brennstoffzellensysteme mit ein, ohne jedoch ein explizites Brennstoffzellen-Kapitel mit präskriptiven Sicherheitsanforderungen anzubieten.

Angesichts guter Fortschritte wurde der auf Erdgas beschränkte Arbeitsauftrag 2011 auf alle Treibstoffe mit niedrigem Flammpunkt ausgedehnt. Die IGF Code Entwicklung wird seither unter dem Titel „Development of the Draft International Code on Safety for Ships using Gases or other Low-Flashpoint Fuels“ vorangetrieben. 2015 konnte ein Code finalisiert werden, der detailliert beschreibende technische Regelungen für LNG und CNG setzt und die Zulassung von weiteren Primärbrennstoffen auf der Grundlage von funktionalen Anforderungen ermöglicht. Insbesondere konnten auch praxisgerechte Regelungen für die sichere Anordnung von Brennstofftanks formuliert werden, die den internationalen Einsatz von LNG im Langstreckenseeverkehr ermöglichen. 2014 und 2015 wurde der IGF Code in erster und zweiter Lesung verabschiedet (MSC.391(95)). Seither sind zahlreiche gasgetriebene Schiffe in Deutschland geordert worden, darunter auch ein Auftrag für ein großes Kreuzfahrtschiff mit Brennstoffzellensystem für die Bordstromversorgung.

Seit 2015 wird der neue Code in Phase 2 auf weitere Treibstoffarten erweitert, wobei zunächst das für maritime Brennstoffzellensysteme besonders geeignete Methanol bearbeitet wird. Gleichzeitig konnte für den Energiewandler Brennstoffzelle dadurch der regulatorische Durchbruch erreicht werden, dass die bisher im Rahmen des Erdgas-Parts entwickelt Sicherheitsanforderungen in einen gesonderten Abschnitt für Brennstoffzellentechnologie (Part E) überführt wurde. Die Umstrukturierung des IGF Code trägt dem Umstand Rechnung, dass Brennstoffzellen verschiedenste Primärbrennstoffe nutzen können.

Vertreter des e4ships-Konsortiums haben im Rahmen von Delegationen von Deutschland und CESA im Zeitraum bis 2016 an allen relevanten Gremiensitzungen der IMO teilgenommen und sich intensiv in die Diskussion im Plenum und der IGF-Code-Arbeitsgruppen (WG) eingebracht. Durch den kontinuierlichen technisch fundierten Input des Vorhabens e4ships



konnten alle für die Implementierung von Brennstoffzellensysteme wichtigen Richtungsentscheidungen der IGF Code-Entwicklung initiiert bzw. beeinflusst werden:

- 14. bis 17. Sitzung des Unterausschuss „Bulk Liquids and Gases“ (BLG 14 bis BLG 17);
- 1. bis 3. Sitzung des Unterausschuss „Carriage of Cargoes and Container“ (CCC 1 bis CCC 3);
- 55. Sitzung des Unterausschuss „Stability, Load Lines and Fishing Vessel Safety“ (SLF 55);
- 89., 94. Und 95. Sitzung des Maritime Safety Committee (MSC 89, MSC 94, MSC 95);
- Brennstoffzellen und IGF Code bezogenen „Intersessional Correspondence Groups“ (CG).

Insgesamt wurden in die IMO vier umfangreiche Fachvorträge, 11 schriftliche Submissionen und mehr als 100 CG-Stellungnahmen und Wortmeldungen in Arbeitsgruppen (WG) eingebracht. Die Beiträge und Entwicklungsfortschritte sind in folgenden IMO-Arbeitspapieren dokumentiert:

- BLG 13/6/3 - Comments on the proposed Interim Guidelines on safety for natural gas-fuelled engine installations in ship by Germany
- BLG 14/INF.7 – Progress in fuel cell and Hydrogen technology in the German maritime industry by CESA
- BLG 14/6/1 – Report of the correspondence group Norway
- BLG 14/WP.1 – DRAFT REPORT TO THE MARITIME SAFETY COMMITTEE AND THE MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE by the Secretariat
- BLG 14/WP.5 – Report of the working group Secretariat
- BLG 14/17 – REPORT TO THE MARITIME SAFETY COMMITTEE AND THE MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE by the Secretariat
- BLG 16/6 – Report of the working group at BLG 15 (part 2) by the Chairman
- BLG 16/6/1 – Report of the Correspondence Group by Norway
- BLG 16/WP.5 – Report of the working group (Part 1) by the Working Group
- BLG 17/8/6 – Specific requirements for low-flashpoint fuels other than natural gas by CESA
- BLG 17/8/7 – Harmonizing distance criteria for gas fuel tanks and assumed penetration depth providing appropriate collision protection and damage stability by CESA
- BLG 17/8 – Report of the working group (Part 2) by the Chairman of the WG
- BLG 17/8/1 – Report of the correspondence group by Norway
- SDC 1/24/4 – Harmonizing distance criteria for gas fuel tanks and assumed penetration depth providing appropriate collision protection and damage stability by Germany and CESA
- SDC 1/24/7 – Development of probabilistic distance criteria for gas fuel tanks by CESA



- CCC 1/4 – Report of the correspondence group by Norway
- CCC 1/4/12 – Comments on document CCC 1/4 and the full scope of the IGF Code by CESA
- CCC 1/WP.1 – DRAFT REPORT TO THE MARITIME SAFETY COMMITTEE by the Secretariat
- CCC 1/13 – REPORT TO THE MARITIME SAFETY COMMITTEE by the Secretariat
- MSC 94/INF.11 – On appropriate LNG tank location requirements for the draft IGF Code by Germany and CESA
- MSC 94/11/6 – Clarifications needed in order to ensure homogeneous application of the IGF Code by CESA
- CCC 2/3/1 – AMENDMENTS TO THE IGF CODE AND DEVELOPMENT OF GUIDELINES FOR LOW-FLASHPOINT FUELS by Sweden
- CCC 2/WP.3 – AMENDMENTS TO THE IGF CODE AND DEVELOPMENT OF GUIDELINES FOR LOW-FLASHPOINT FUELS Report of the working group by Sweden
- MSC 95/3/13 – Development of international Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF Code) Accidental loads on fuel tank by Japan and CESA
- MSC 95/3/15 – Editorial clarifications needed in order to ensure homogeneous application of risk assessment in conjunction with part A-1 of the draft IGF Code by China, Germany, Japan, Republic of Korea, Spain and CESA
- CCC 3/3 – AMENDMENTS TO THE IGF CODE AND DEVELOPMENT OF GUIDELINES FOR LOW-FLASHPOINT FUELS Report of the correspondence group by Sweden
- CCC 3/WP.3 – UNIFIED INTERPRETATION OF PROVISIONS OF IMO SAFETY, SECURITY AND ENVIRONMENT-RELATED CONVENTIONS Report of the Working Group by the WG

Darüber hinaus wurde gegenüber europäischen Institutionen zu regulatorischen Entwicklungen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie berichtet. In diesem Zusammenhang ist der technische Austausch mit der European Maritime Safety Agency (EMSA) und der European Patent Office (EPO) zu nennen. Gegenüber dem EPO wurde frühzeitig zur IGF Code Entwicklung berichtet, um sicherzustellen, dass völkerrechtliche Anforderungen nicht in unberechtigte Patentanmeldungen überführt werden, die die Weiterentwicklung und Vermarktung behindern könnten.

Alle Abschnitte des IGF Code-Entwurfs werden nunmehr durch funktionale Anforderungen eingeleitet, die als Grundlage für die sicherheitstechnische Bewertung und Genehmigung von alternativen Designoptionen herangezogen werden müssen. Hierdurch werden verlässliche Kriterien für abweichende Bauformen geschaffen, die nicht vollständig durch rein beschreibende Vorschriften abgedeckt werden können, und somit die weltweit einheitliche Handhabung dieses Sicherheitsstandards gefördert. Der zielorientierte Aufbau des IGF Codes



ist für Brennstoffzellenanwendungen von besonderer Bedeutung, weil die Vielzahl der Brennstoffzellensysteme und nutzbarer Treibstoffe eine detaillierte Ausformulierung aller Konzepte erschwert.

Zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses dauern die IMO-Beratungen zu Phase 2 der IGF Code Entwicklung noch an. Die an CCC 4 (September 2017) berichtende CG hat in seinem Abschlussbericht einen in der Entwicklung weit fortgeschrittenen Entwurf des Part E – Fuel Cells vorgelegt, der durch seinen generischen Aufbau Brennstoffzellen unterschiedlicher Bauart adressiert, die mit verschiedenen Primärbrennstoffen genutzt werden können. Sofern die CCC 4 Beratungen in einer beschlussreife Vorlage an das MSC münden, könnte der in Hinblick auf Brennstoffzellen und den Primärbrennstoff Methanol revidierte IGF Code in den Jahren 2018 und 2019 in erster und zweiter Lesung verabschiedet werden.

Aufgrund des bei der IMO üblichen 4 jährigen Inkraftsetzungszyklus würde der neue IGF Code ab 1. Januar 2024 völkerrechtlich verbindlich werden. Allerdings ist davon auszugehen, dass der Code ab seiner voraussichtlich Adoption im Dezember 2018 trotz zu diesem Zeitpunkt noch unverbindlichen Charakters industrielle Wirksamkeit entfalten wird. Üblicherweise sind ab diesem Zeitpunkt keine Schiffe mehr vermarktbar, die nicht dem neuen IMO Standard entsprechen, da z.B. Klassifikationsgesellschaften unmittelbar beginnen werden, ihre Bauvorschriften entsprechend zu überarbeiten. Dies wird die breitere internationale Anwendung von maritimen Brennstoffzellensystemen beflügeln.

AP 2.2 Standardisierungen

Bauliche Anforderungen an maritime Brennstoffzellensysteme werden künftig im IGF Code definiert. Hierbei wird berücksichtigt, dass durch International Electrotechnical Commission (IEC) und die Internationale Organisation für Normung (ISO) bereits Regeln und Normen entwickelt wurden, die Sicherheits- und Testanforderungen für Brennstoffzellen (in diesem Fall überwiegend für Straßenfahrzeuge und kleine stationäre Stromerzeuger) definieren. Insbesondere könnten folgende Normen für den maritimen Bereich in Betracht gezogen:

- IEC 62282 „Fuel Cell technologies“
- ISO 14687 „Hydrogen fuel – Production specification“
- ISO 16110 „Hydrogen generators using fuel processing technologies“

Weitere sicherheitstechnische Aspekte wurden im Rahmen der Betrachtung der Demonstrationen vorhaben „Pa-X-ell“ und „SchIBZ“ diskutiert. Bei diesen beiden Vorhaben kommen unterschiedliche Brennstoffzellentypen und Primärbrennstoffe zum Einsatz:

1. Pa-X-ell: Hochtemperatur Polymer Elektrolyt Membran Brennstoffzelle (HT PEMFC) mit Methanol als Primärbrennstoff
2. SchIBZ: Festoxidbrennstoffzelle (SOFC) mit Diesel als Primärbrennstoff

Für beide Systeme wurden entwicklungsbegleitend sicherheitstechnische Bewertungen und Risikoanalysen durchgeführt. Ziel dieser Analysen war zum einen die Sicherstellung eines sicheren Testbetriebs und zum anderen die Identifikation möglicher zusätzlicher regulatorischer Aspekte einzelner Teilsystems zur Berücksichtigung in der weiteren Vorschriftenentwicklung.

Für eine Zuordnung möglicher zusätzlicher sicherheitstechnischer Aspekte aus den Analysen der Demoprojekte wurde folgende verallgemeinerte Darstellung für maritime Brennstoffzellensysteme (Fuel Cell Power Installations) verwendet. Diese Abbildung wurde für die Diskussion der Arbeitsgruppen des IGF Codes verwendet und nach dem Projektzeitraum weiter entwickelt.

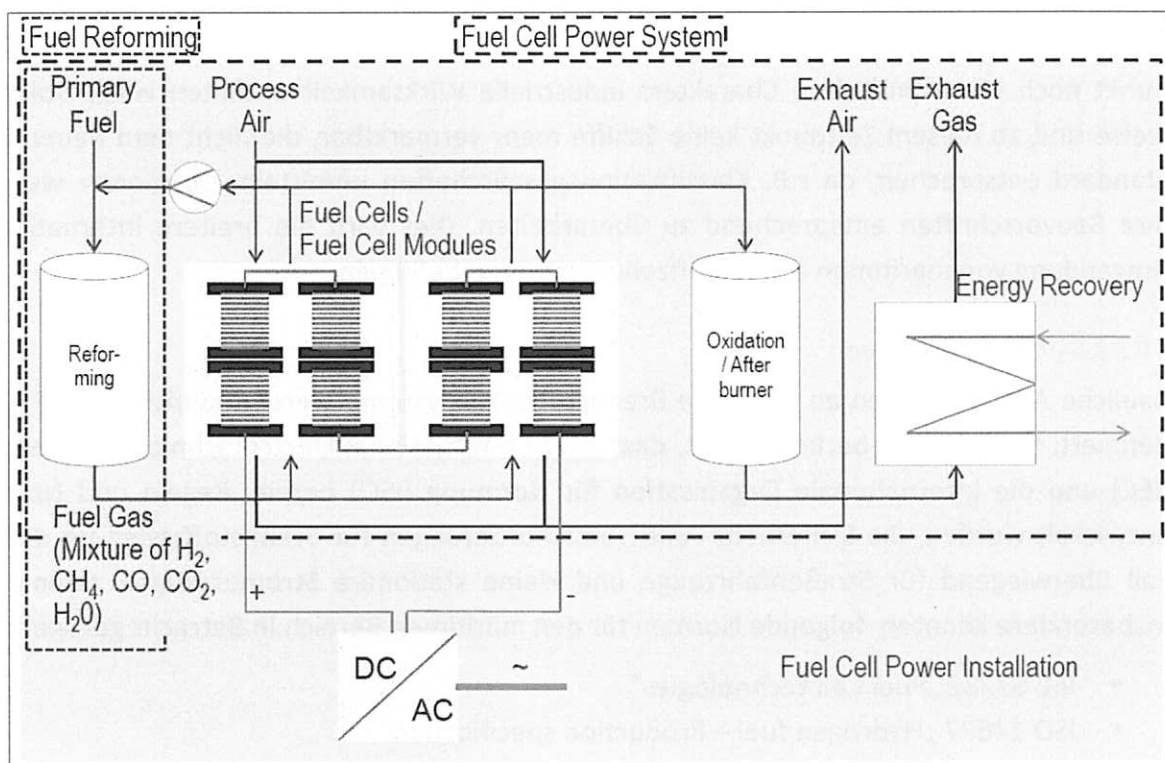


Abbildung 12: Generalisierte BZ-System Struktur

Folgende Brennstoffzellensystem-typische Hauptaspekte wurden für die weitere Vorschriftenentwicklung identifiziert (siehe Abbildung):

- Primär-Brennstoff (vgl. "Primary Fuel")
Für die Brennstofflagerung und -verteilung von Methanol und Diesel mit niedrigem Flammpunkt ergeben sich aufgrund der Stoffeigenschaften unterschiedliche Anforder-



rungen im Vergleich zu bisherigen verwendeten maritimen Dieselmotoren. Diese Aspekte werden derzeit im Rahmen der Entwicklung des IGF Codes mit berücksichtigt.

- **Reformer System (vgl. "Fuel Reforming")**
Bestimmte Reformermaterialien führen bei Kontakt mit Sauerstoff zu starken exothermischen Reaktionen. Wärmeentwicklungen von Temperaturen bis zu 1.000°C sind möglich. Aus diesem Grund sind Reformertemperaturen zu überwachen und Maßnahmen zur Vermeidung von Sauerstoffeintritt in den Reformer zu treffen.
- **Brenngas (vgl. "Fuel Gas")**
Das Reformersystem bereitet den Primärbrennstoff für eine weitere Verwendung in den Brennstoffzellen in ein wasserstoffreiches Gas auf. Bei Hochtemperatur-Anwendungen sind die Auswirkungen für Leckageszenarien hinsichtlich der Ausbreitung, Verdünnung, sowie einer möglichen Selbstentzündung aufgrund hoher Temperaturen zu berücksichtigen.
- **Brennstoffzellen (vgl. "Fuel Cells")**
Durch interne Materialfehler in den Brennstoffzellen kann es zu Brennstoffzellen-internen Oxidationsprozessen mit hoher Wärmeentwicklung kommen. Aus diesem Grund ist eine Stacktemperatur und –Spannungsüberwachung mit Abschaltfunktion vorzusehen.
- **Nachbrenner (vgl. "Oxidation / Afterburner")**
Zur Vermeidung der Abführung von brennbaren Restgasen in die Umwelt oder größeren Gasmengen im Fehlerfall, ist eine Nachverbrennungseinheit vorzusehen. Bei entsprechend zuverlässiger Ausführung sind an der Abluftöffnung keine brennbaren Gase zu erwarten, weshalb die Abluftöffnung in diesem Fall als „nicht-gefährdeter“ Bereich betrachtet werden kann.
- **Energieeinspeisung (Allgemein zu "Fuel Cell Power Installation")**
Ein Fehler des Energieeinspeisesystems kann zu hohen Überspannungen (Netzlevel) an den Brennstoffzellenmodulen und damit zu Feuer führen. Aus diesem Grund sind Sicherungen und Konvertersysteme vorzusehen, die für den Überspannungsfall ausgelegt sind.
- **Energiespeicher (Allgemein zu "Fuel Cell Power Installation")**
Interne Fehler bei Li-ion-basierten Batteriesystemen können zu einer durchgehenden thermischen Reaktion und damit zu Feuer führen. Entsprechende funktionale Sicher-



heitsanforderungen wie in den klassifikatorischen Richtlinien des DNV GL sind zu berücksichtigen.

- **Inertgassystem (Allgemein zu “Fuel Cell Power Installation”)**
Die Verfügbarkeit des Inertgassystem zum Spülen des Brennstoffzellensystems im Fehlerfall ist sicherzustellen. Entsprechende Anforderungen sind bereits im IGF Code definiert.
- **Redundanzanforderungen (Allgemein zu “Fuel Cell Power Installation”)**
Im Sinne der Verfügbarkeit des Systems sind Redundanzanforderungen zu definieren; Diese sind u.a. auch für notwendige Hilfssysteme wie bspw. die Energiespeicherung zu definieren.

AP 2.3 Qualität

Nach Restrukturierung der TOPLATERNE verknüpft mit AP 1.4 Brennstoffzellenintegration (siehe AP 1.4).

A.3.3 AP 3 Projekt- und Informationsmanagement

AP 3.1 Projektmanagement

Aufgrund seiner interdisziplinären Ausrichtung, der Innovationskraft und Komplexität des Vorhabens wurde das Projektmanagement durch das Center of Maritime Technologies (CMT) und hySOLUTIONS übernommen. Ab Herbst 2014 hat hySOLUTIONS das Projektmanagement bis zum Ende des Vorhabenszeitraums vollständig übernommen und CMT ist ausgeschieden, da eine Finanzierung der nicht durch die Förderung gedeckten Kosten nicht mehr gewährleistet werden konnte.

AP 3.2 Organisation

Die Projektorganisation umfasste alle ablauforganisatorischen Regelungen zur Abwicklung des Übergeordneten Moduls TOPLATERNE. Hier fand der Austausch der einzelnen Demonstrationsprojektpartner untereinander statt und übergeordnete Kommunikationsmaßnahmen wurden festgelegt.

Das Verbundvorhaben TOPLATERNE wurde mit dem Zuwendungsbescheid vom Projektträger Jülich vom 16. September 2010 für die Projektlaufzeit vom 01.10.2010 bis zum 30.09.2014 bewilligt. In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde beim PtJ eine kostenneutrale Verlängerung des Vorhabens bis zum 30.06.2016 und erneut zum 31.12.2016 beantragt, um die



Ergebnisse aus den Demonstrationsvorhaben zu bündeln und öffentlichkeitswirksam aufzubereiten. Dies erfolgte weitgehend parallel zu bereits bewilligten Verlängerungen der Demonstrationsvorhaben Pa-X-ell und SchIBZ. Den Verlängerungsanträgen wurde durch den Projektträger mit Bescheiden vom 29.09.2014 und 21.10.2015 zugestimmt. Die entstandenen Mehrkosten wurden dabei gegenüber dem Zuwendungsgeber nicht geltend gemacht. Mit der Verlängerung des Moduls TOPLATERNE wurde insbesondere sichergestellt, dass die Brennstoffzellensysteme von Serenergy (HT-PEM) bzw. sunfire (SOFC) sowie der Einsatz weiterer Brennstoffe, wie Methanol, Diesel, LNG oder CNG in die Evaluation aufgenommen werden konnten. Diese Brennstoffe wurden bei der Beantragung des Projektes nicht vorgesehen, da ursprünglich nur die BZ-Systeme von MTU eingesetzt werden sollten. Außerdem konnten so die Ergebnisse der Demonstrationsprojekte hinsichtlich der Schadstoffemissionen und der Effizienz der Versorgung von Schiffen mit Strom und Wärme in einer gemeinsamen Bewertung abschließend zusammengeführt werden.

AP 3.3 Durchführung

Das Projektmanagement führte eine kontinuierliche Überprüfung der Einhaltung des Projektplanes (Zeit-, Kosten-, Ressourcenplanung) durch, um zeitliche, inhaltliche oder wirtschaftliche Abweichungen frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen zu korrigieren. Um den Projektfortschritt zu begleiten und zu dokumentieren wurde eine Statusversammlung einberufen, die sich aus den für die jeweiligen Arbeitspakete zuständigen Personen zusammensetzte. Auf den Statusversammlungen wurde über den erreichten Sachstand berichtet und offene Fragen erörtert. Vom 01.10.2010 bis zum 31.12.2016 fanden insgesamt 12 ordentliche Statusversammlungen statt. Darüber hinaus wurden themenbezogene Sondertermine und Workshops durchgeführt.

Zusätzlich zu den Statusversammlungen fanden sogenannte Steuerkreissitzungen statt, auf denen über den Projektfortschritt berichtet wurde. Im Steuerkreis waren die Konsortialführer der Demonstrationsprojekte Pa-X-ell und SchIBZ sowie Vertreter von der NOW, DNV GL und hySOLUTIONS anwesend. Im Laufe des Projektes hat der Steuerkreis 12 Mal getagt.

AP 3.4 Öffentlichkeitsarbeit

Eine einheitliche, professionelle und zielgerichtete Außendarstellung des Leuchtturmprojektes e4ships und die fachgerechte Vermittlung der technischen Inhalte gegenüber der Öffentlichkeit waren Inhalt dieses Arbeitspakets. Alle Kommunikationsaktivitäten entsprachen dem Leitfaden Kommunikation des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) für geförderte Vorhaben. Dafür waren eine stetige Aufklärung

über die technischen und wirtschaftlichen Bedingungen und der Informationsfluss zur Mitarbeit bei den Regelwerken für den internationalen Schiffsverkehr erforderlich. Aufgrund der internationalen Ausrichtung der deutschen Schiffbauindustrie wurden alle Kommunikationsmaterialien in deutscher und englischer Sprache erstellt. Für die graphische und technische Umsetzung der Kommunikationsmittel wurde die Kommunikationsagentur Motum ausgewählt, die im Projektverlauf von hySOLUTIONS betreut wurde.

Struktur

Für die Entwicklung und Umsetzung der Kommunikationsmaßnahmen im Rahmen des Leuchtturmprojektes e4ships wurde eine Task Force Communication (TFC) gegründet. Die Taskforce bestand im Wesentlichen aus Vertretern von CMT, VSM, hySOLUTIONS und der durch das Partnerkonsortium beauftragten Kommunikationsagentur Motum. Vor der jeweiligen Umsetzung wurden die einzelnen Maßnahmen mit den Mitgliedern des Steuerkreises abgestimmt. Technische Informationen, die für die Darstellung in der Öffentlichkeit relevant sind, wurden aus den Projektmodulen (Demo-Projekten und Arbeitspaketen der TOPLATERNE) bereitgestellt.

Die ursprüngliche Planung sah vor, die Außendarstellung des Projektes in Abstimmung zwischen den beteiligten Partnern sowie nach den Vorgaben des Zuwendungsgebers und gemäß den Förderrichtlinien des Projektträgers projektbegleitend durchzuführen. Aufgrund von Verzögerungen zu wesentlichen Ergebnissen aus der Forschung und Entwicklung in den einzelnen Demonstrationsprojekten und der damit verbundenen Evaluation sowie den Ausstieg des Brennstoffzellenherstellers MTU Onsite Energy GmbH Fuel Cell Systems einigten sich jedoch alle Projektpartner, trotz bereits bestehendem Interesses Dritter an den Projektergebnissen, diese erst dann zu veröffentlichen, wenn die zentralen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen feststehen und Umfang und Inhalt in Abstimmung mit allen Beteiligten gemeinsam vereinbart wurden.

Maßnahmen

Kommunikationsleitfaden & Corporate Design Styleguide

Für die einheitliche Darstellung aller Projektinhalte wurde ein Kommunikationsleitfaden erstellt, in dem die wesentlichen Inhalte, Ziele und Botschaften für die definierten Zielgruppen zusammengefasst wurden. Für eine einheitliche öffentlichkeitswirksame Kommunikation wurde für den Leuchtturm e4ships ein Logo entwickelt, eine Gestaltungsrichtlinie (styleguide) erstellt und allen Partnern zur Verfügung gestellt.



Abbildung 13: Projektlogo

Botschaften

Für eine zügige Bereitstellung von Medieninformationen wurden mit den Partnern vorabgestimmte Kommunikationsinhalte für bestimmte Zielgruppen und Medien angefertigt, die von der TFC und/oder den Partnern ohne nochmalige Freigabe oder Genehmigung durch andere Partner verwendet werden konnten.

Folgende Botschaften wurden entwickelt:

- A **Brennstoffzellen können schon heute zur Erzeugung von Strom und Wärme in Schiffen eingesetzt werden.**
DETAILS → Eine Brennstoffzelle ist ein Mini-Blockheizkraftwerk mit hohem Wirkungsgrad und hoher Leistungsdynamik, das bereits im häuslichen und mobilen Anwendungsbereich erfolgversprechend eingesetzt wird und auch für den Einsatz an Bord von Schiffen sinnvoll ist.
- B **Brennstoffzellen wandeln Energie mit hoher Effizienz und senken Emissionen.**
DETAILS → Die Schifffahrt ist mit knapp drei Prozent am globalen CO₂-Ausstoß beteiligt. Brennstoffzellen tragen aufgrund ihrer Effizienz zur Reduktion von schädlichen Abgasemissionen wie Schwefeldioxid, Stickoxid und Rußpartikel bei – wichtig in Zeiten strenger werdender Umweltverordnungen.
- C **Brennstoffzellen senken die Betriebskosten.**
DETAILS → Brennstoffzellen wandeln eingesetzte Energieträger effizienter in Energie um als konventionelle Verbrennungsmotoren. Sie sind daher eine attraktive weil kostensenkende Alternative zu den herkömmlichen Hilfsaggregaten zur Erzeugung von Strom und Wärme an Bord von Schiffen.
- D **e4ships schafft Wertschöpfung für Deutschland und fördert das fachliche Knowhow in einer Zukunftstechnologie.**
DETAILS → In den Teilprojekten von e4ships arbeiten Werften, Reedereien, Brennstoffzellenhersteller, Zulieferer und wissenschaftliche Institutionen mit Hilfe von Bundesmitteln aus dem NIP (Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) daran, technologische Expertise für den Standort Deutschland zu sichern und Zukunftssicherheit in Hinblick auf den internationalen Wettbewerb zu schaffen.



E e4ships ist Wegbereiter für weitere Brennstoffzellen-Anwendungen an Bord von Schiffen.

DETAILS → e4ships ist ein Leuchtturmprojekt, das weitere zukünftige Einsätze der Brennstoffzelle im maritimen Bereich vorbereitet, z..B. für den leisen und emissionsarmen Schiffsantrieb im kleineren Leitungsbereich oder für die effiziente Kühlung bei Kühlcontainerschiffen.

Zielgruppen

Die Öffentlichkeitsarbeit des Projektes e4ships waren auf folgende Zielgruppen ausgerichtet:

- Fachleute und Industrie der Brennstoffzellentechnik
- Maritime Fachleute, insbesondere Werften und Reeder;
- Gremien und Organisationen (z.B. International Maritime Organization (IMO), Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), etc.)
- (Fach-) Journalisten in Fernsehen, Presse, Hörfunk und Online-Medien, national und international
- Breite Öffentlichkeit und Politik

Die Öffentlichkeitsarbeit richtete sich schwerpunktmäßig auf Deutschland und Europa aus. Aufgrund der besonderen Wettbewerbssituation im Schiffbau wurde in Abstimmung mit der „Task Force Communication“ sichergestellt, dass der Know-how Abfluss an außereuropäische Wettbewerber der deutschen Industrie kontrolliert und minimiert wurde.

Website

Die Website www.e4ships.de war die Grundlage für den Aufbau einer aussagekräftigen Kommunikationsplattform, die alle Aktivitäten im Projekt abbildete. Die Website enthielt alle relevanten Informationen zu übergeordneten Fragestellungen, technischen Inhalten und zu den einzelnen Demonstrationsprojekten. Alle Projektfortschritte wurden kontinuierlich auf der Website aktualisiert. Die Nutzerzahlen pendelten sich im Schnitt auf 2.150 Besucher pro Halbjahr ein. Ein deutlicher Anstieg der Nutzerzahlen konnte im Anschluss an die Abschlussveranstaltung im September 2016 und der damit verbundenen Vorstellung der Projektergebnisse verzeichnet werden. Insgesamt besuchten rund 28.000 Interessierte die Projektseiten.

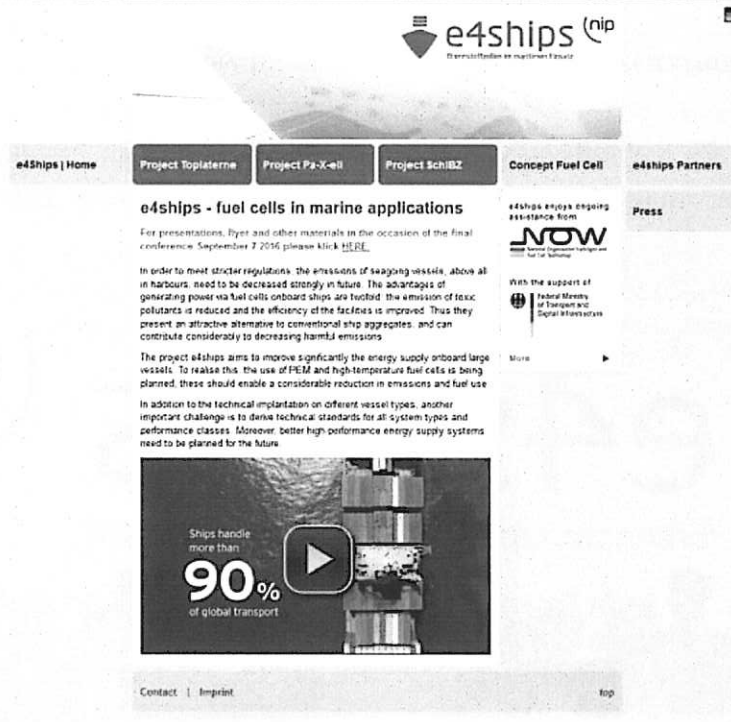


Abbildung 14: Webseite deutsch / englisch

Präsentationen / Veranstaltungen

Das Ziel der Öffentlichkeitsarbeit war es, die Wahrnehmung für die positiven Effekte bei Klimaschutz und Luftqualität aus dem Einsatz von Brennstoffzellensystemen an Bord von Schiffen zu stärken. Weiterhin sollten die Kommunikationsmaßnahmen eine langfristige Umstellung der Bordstromversorgung auf emissionsfreie Systeme unterstützen und dazu dienen mögliche Vorbehalte gegen die Technologie (Zulassungen, Sicherheitsfragen, etc.) abzubauen. Im Rahmen einer Vielzahl von nationalen und internationalen Veranstaltungen wurde das Projekt dem Fachpublikum und der breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Neben offiziellen Terminen wie z.B. dem Projektauftritt im Juli 2009 gab es diverse weitere Anlässe zur Präsentation der Projektinhalte und -ergebnisse.

Veranstaltungen

Folgende Veranstaltungen können exemplarisch genannt werden:

- Offizielle Kick-off-Veranstaltung des übergeordneten Projektmoduls „TOPLATERNE“ im Maritimen Leuchtturm e4ships im November 2010



Dr. R.S. Marquardt (VSM), T. Scholz (Imtech), B. Urban (Lürssen), Dr. B. Hinrichsen (FSG), T. Melzer (Proton Motor), Dr. G. Würsig (GL), K. Leites (TKMS), J. Tellkamp (DNV), R. Braren (R. Braren), M. Dragon (H.-S. Universität), B. Meyer (MEYER WERFT), H. Klingenberg (hySOLUTIONS), Dr. B. Behrens (Beluga Shipping), PSts. K. Roth (BMVBS), M. Bode (mtu-onsite), Dr. C. Eckel (TKMS), K. Klinder (NOW)

Abbildung 15: Auftaktveranstaltung

- Fachvorträge bei Messe und Kongress fcell in Stuttgart im Oktober 2010
- H2Expo – internationale Konferenz und Fachmesse für Wasserstoff, Brennstoffzelle und elektrische Antriebe. Im Rahmen einer eigenen Session „Maritime Shipping“ wurden die Projekte PaXell und SchIBZ durch die Projektpartner vorgestellt.
- Vortrag „Brennstoffzelle e4ships“ während der f-cell im Oktober 2012

- Für den Projektverbund hat der Verband für Schiffbau und Meerestechnik regelmäßig seit 2010 (2012, 2014 und 2016) auf der internationalen Weltmesse SMM (Shipbuilding, Machinery & Marine Technology) in Hamburg das Projekt mit einem gesonderten Ausstellungsbereich auf dem VSM Messestand vertreten. Darüber hinaus standen während der gesamten Messezeit Ansprechpartner zur Verfügung. Insbesondere in den letzten beiden Messejahren wurden Informationen zu dem Projekt sehr stark nachgefragt.

Beispiele des e4ships Messebereichs auf dem VSM-Stand 2012, 2014 und 2016

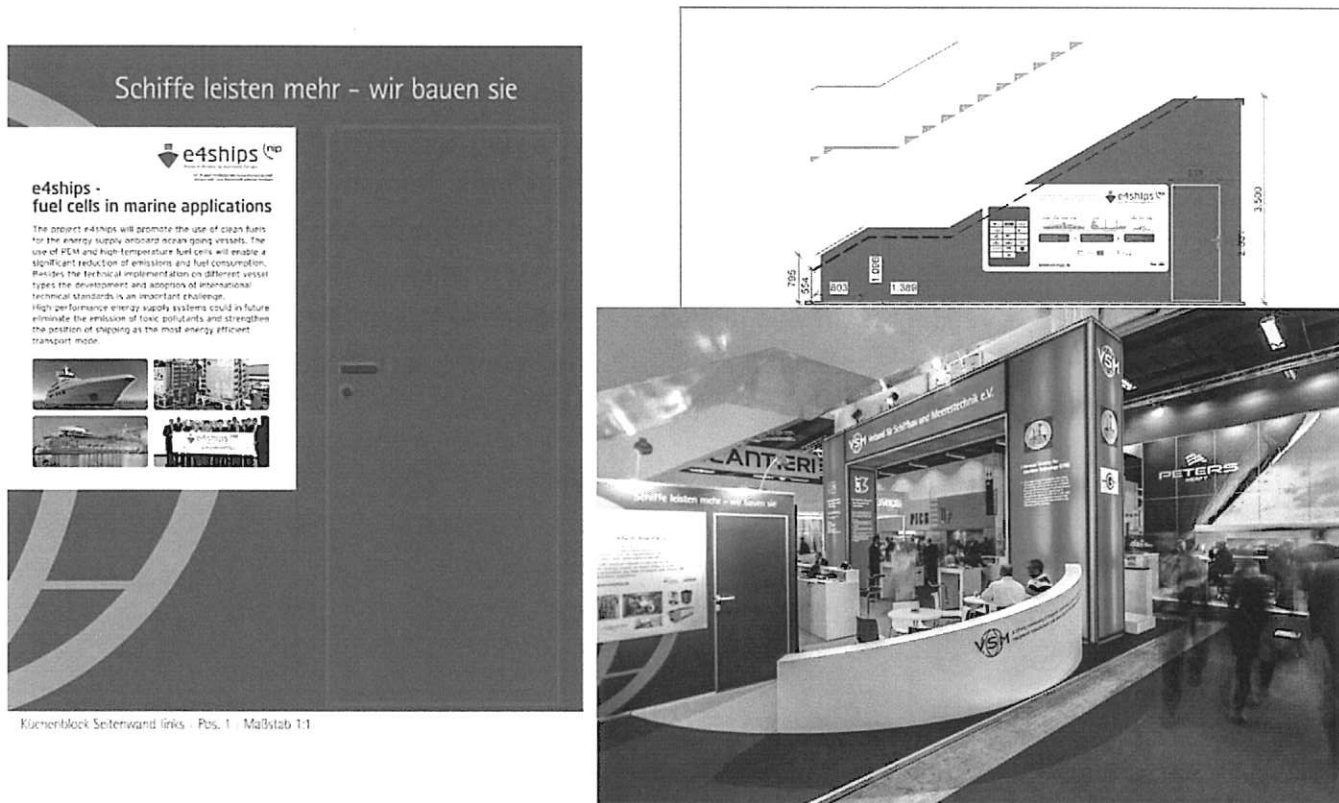


Abbildung 16: Beispiele Messestand auf der SMM (2012, 2014, 2016)

- Vorstellung des Projektes bei der IMDC 2012 (International Marine Design Conference) in Glasgow (11. – 14.06.2012)
- Gastvortrag an der TUB Freiburg durch das Center of Maritime Technology (CMT) im Januar 2013
- ZAL Diskurs Fuel Cell „Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung in der Schifffahrt" am 21.11.2013 bei tyssenkrupp Marine Systems
- Vortrag auf der Global Maritime Environmental Congress (gmecc), einer Fachmesse auf der SMM in Hamburg und Vertretung auf dem Stand des Verband-

des für Schiffbau und Meerestechnik (VSM) bei der „SMM 2014“ (Schiff, Marine, Meerestechnik).

- Beteiligung an der Messe H2Expo goes Wind Energy Hamburg 2014
- Während der gesamten Projektlaufzeit nutzten auf den jährlich stattfindenden Tagen der offenen Tür der Bundesregierung am Stand der NOW im Bundesverkehrsministerium regelmäßig viele Besucher die Möglichkeit, sich auch die Funktionsweise der Brennstoffzellen-Technologie an Exponaten und Schaubildern aus dem Forschungsprojekt e4ships anschaulich erläutern zu lassen.
- Ganztägige Statuspräsentation über Aktivitäten zur Entwicklung maritimer Brennstoffzellensysteme, Darstellung von Teilergebnissen und weiteren Zielen sowie Information zu Themenschwerpunkten geplanter künftiger Demonstrationsprojekte im Bundesverkehrsministerium am 23. Juni 2016. Fragen zur Zulassung, Sicherheitsstandards, Infrastruktur und Exportunterstützung der Branche wurden dargestellt und erörtert. Zielgruppe waren Vertreter der Referate verschiedener Bundesministerien.
- Teilnahme an den jährlich stattfindenden Tagen der offenen Tür der Bundesregierung am Stand der NOW im Bundesverkehrsministerium während der gesamten Projektlaufzeit (2011 – 2016)



Abbildung 17: Stand Tage der offenen Tür der Bundesregierung

- Abschlussveranstaltung e4ships im Rahmen der Messe Schiff, Marine, Meerestechnik 2016 (SMM 2016) am 7. September 2016 mit rund 120 Gästen. Anwesend waren u.a. Herr Achim Wehrmann, Leiter der Unterabteilung



Schifffahrt aus dem Bundesverkehrsministerium, Frau Dr. Heike Deggim, Senior Deputy Director, Marine Environment Division bei der International Maritime Organization (IMO) sowie Vertreter der Demonstrationsprojekte, Verbände und Klassifikationsgesellschaft.



K. Leites (thyssenkrupp Marine Systems), G. Untiedt (MEYER WERFT), Dr. R. Lüken (VSM), Staatsrat Böisinger (BWVI), Dr. K. Bonhoff (NOW), A. Wehrmann (BMVI), Dr. G. Würsig (DNV GL), B. Meyer (MEYER WERFT), H. Klingenberg (hySOLUTIONS)

Abbildung 18: Abschlussveranstaltung

Presse / Veröffentlichungen

Durch die intensiven Pressekontakte konnten die maritimen Perspektiven der Brennstoffzellennutzung in der Fachpresse und gegenüber einer breiten Öffentlichkeit verdeutlicht werden (u.a. Presseartikel in Tageszeitungen, Veröffentlichung den Fachzeitschriften Schiff & Hafen, HANSA und Neue Energie, sowie Beiträge auf Deutschlandfunk und im NDR). Darüber hinaus wurde im NOW Jahresbericht regelmäßig zum Projektfortschritt berichtet. Die Projektergebnisse wurden in einer aufwendig gestalteten Abschlussbroschüre im Dezember 2016 anlässlich der NIP Ergebniskonferenz im Bundesverkehrsministerium vorgestellt. Folgende Publikationen / Veröffentlichungen können stellvertretend genannt werden:

VSM Verbandszeitschrift SCHIFFBAU INDUSTRIE: II 2009, I + II 2011, I 2013, II 2016



Alternativ unterwegs

Erprobung einer alternativen Energieerzeugung für die Schifffahrt

Seit gut einem Jahr ist die Schifffahrt in der Entwicklung neuer Antriebssysteme für die Energieerzeugung. Neben der erneuerbaren Energieerzeugung durch Solarzellen und Photovoltaik sind auch die Nutzung von Wasserstoff und die Verwendung von Feststoff- und Katalysatorzellen (Fuel Cells) im Fokus. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft.

Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft.

Wodurch Energieerzeugung auf Schiffen?

Energieerzeugung auf Schiffen

Das Synergienmodell „Lipilaternen“

Ziel des Projekts ist die Entwicklung von Synergien zwischen den verschiedenen Akteuren der Schifffahrt. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft.

Das Ziel des Projekts ist die Entwicklung von Synergien zwischen den verschiedenen Akteuren der Schifffahrt. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft.

Das Projekt „Pa-X-ell“

Das Projekt „Pa-X-ell“ zielt auf die Entwicklung von alternativen Antriebssystemen für die Schifffahrt ab. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft.

Veränderte internationale Schiffsicherheits- und Meeressicherheitsrichtlinien

Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft. Die Entwicklung dieser Systeme ist ein zentraler Bestandteil der Schifffahrt der Zukunft.



e4ships

e4ships - Fuel cells in marine applications

The e4ships project is a collaborative effort between several European countries to develop and test fuel cell technology for marine applications. The project aims to reduce the environmental impact of shipping by using clean, renewable energy sources. The development of these systems is a key part of the future of shipping.



Abbildung 19: Auszug aus VSM Verbandszeitschrift Schiffbau Industrie

Abbildung 19: Auszug aus VSM Verbandszeitschrift Schiffbau Industrie

Im Rahmen folgender Veranstaltungen über Zwischenergebnisse und Ziele von Pa-X-ell wurde von Seiten der MEYER WERFT als Projektkoordinator berichtet:

- Radiobeitrag beim Deutschlandfunk, Rubrik „Forschung aktuell“, 24.02.2015
- 4th international conference, low temperature and waste heat use in energy supply systems, 25th September 2015, Bremen
- VDR und MARIKO Workshop: Alternative Kraftstoffe, 31.05.2016, Leer
- H2BZ Initiative Hessen, Arbeitskreistreffen emissionsfreie Schiffe, 09.03.2017, Rüsselsheim
- Tag der offenen Tür der Ministerien, 2015, 2016, Berlin

Werbemittel

Für das Projekt e4ships wurden verschiedene Kommunikationsmittel wie z.B. Flyer, Roll Up Banner und ein Informationsblatt zur Brennstoffanalyse erstellt, die vor allem auf Veranstaltungen und Präsentationen zum Einsatz kamen und kompakte Informationen zu Brennstoffzellen im maritimen Einsatz, den Demonstrationsprojekten und dem Nationalen Innovationsprogramm der Bundesregierung lieferten.

Beispiele Werbemittel

Beispiel Kreuzfahrtschiff


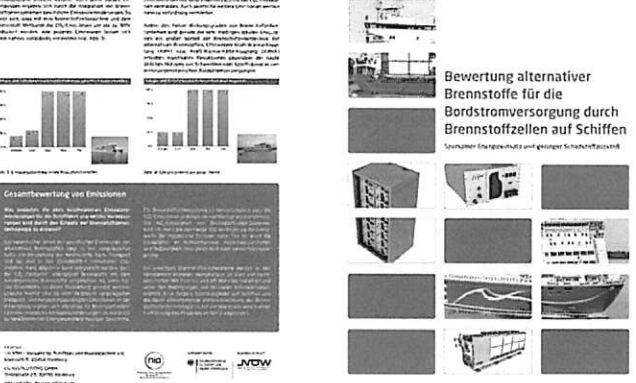
Das Beispiel eines Kreuzfahrtschiffes mit konventioneller Dieselmotorenantriebsanlage ist als Referenz für die Bewertung alternativer Brennstoffe... (text continues)

Beispiel Yacht

Das Beispiel einer Yacht mit konventioneller Dieselmotorenantriebsanlage ist als Referenz für die Bewertung alternativer Brennstoffe... (text continues)

Bewertung alternativer Brennstoffe für die Bordstromversorgung durch Brennstoffzellen auf Schiffen

Verbesserte Energieeffizienz und geringer Schadstoffausstoß

Gesamtbewertung von Emissionen

Die Emissionen der alternativen Brennstoffe werden mit den Emissionen der konventionellen Dieselmotorenantriebsanlage verglichen... (text continues)

e4ships lighthouse project

The results of the studies conducted to date in the e4ships project demonstrate the enormous potential of fuel cells when combined with eco-friendly fuels.

Fuel specific emissions

For fuel specific emissions, the e4ships project compares the emissions of fuel cells with those of conventional engines... (text continues)

System specific emissions

System specific emissions take into account the emissions of the entire power generation system... (text continues)




Abbildung 20: Brennstoffanalyse deutsch / englisch

Projekt SchIBZ

Das Projekt SchIBZ wird von einem Projektteam geleitet, das von ThyssenKrupp Marine Systems getrieben wird... (text continues)


Funding scheme

In the future, hydrogen technology and fuel cell technology will play a major role... (text continues)

Outlook

Beyond the funded research and development projects under the umbrella of e4ships... (text continues)

Project partner



About e4ships

"e4ships - fuel cells in maritime application" is an association of leading German yacht, ship operators, manufacturers of fuel cells... (text continues)

e4ships logo

Our course: towards a climatefriendly energy supply on board ships using fuel cells

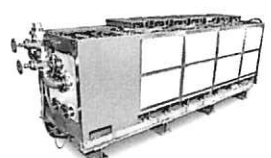


Abbildung 21: Flyer deutsch / englisch

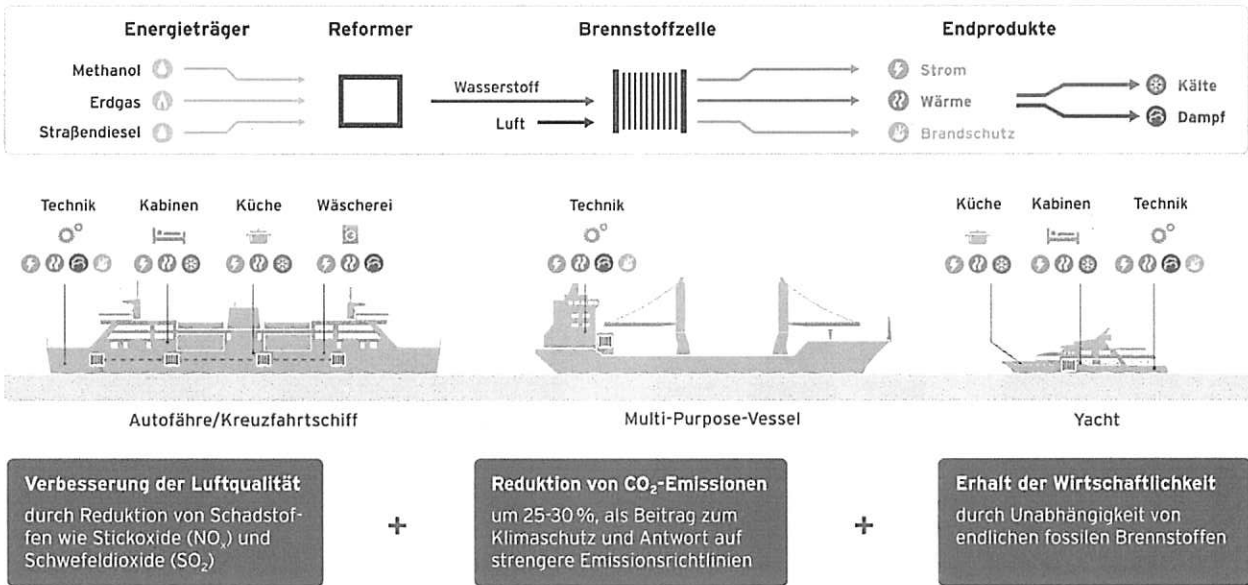


Abbildung 22: Schaubild

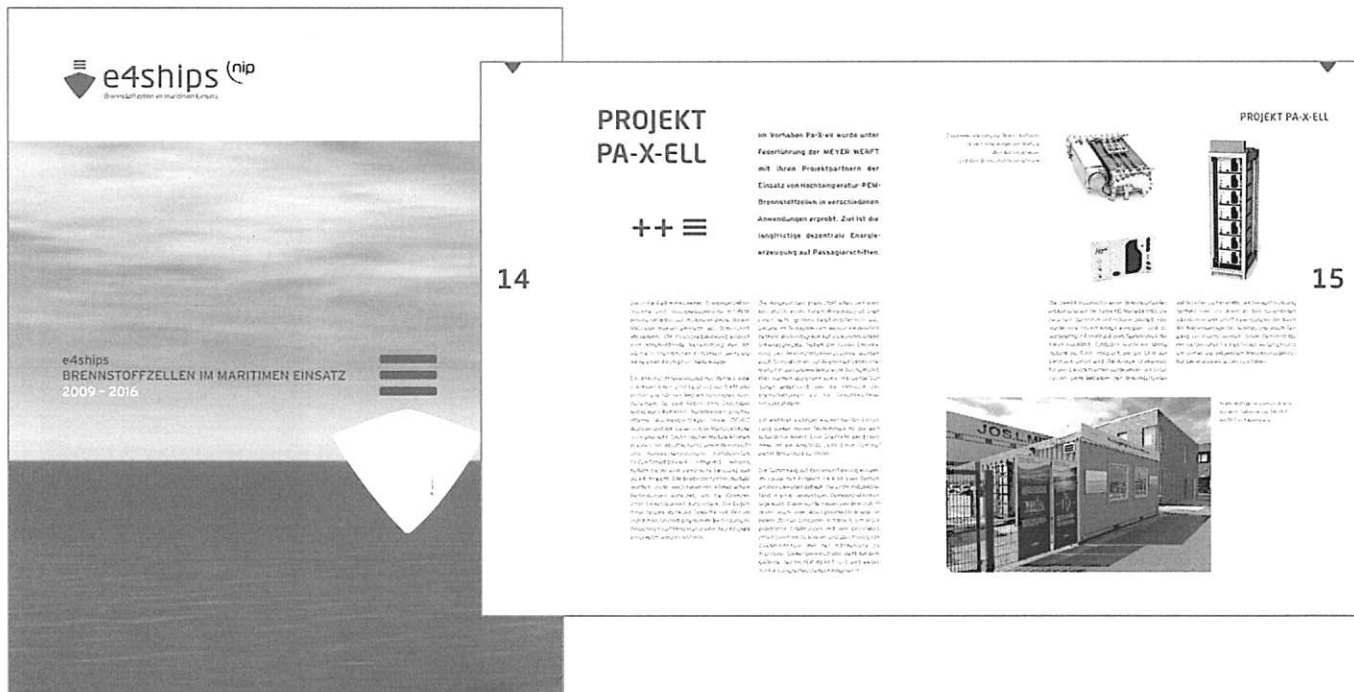


Abbildung 23: Abschlussbroschüre

Filme

Im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums wurde für das Leuchtturmvorhaben e4ships für die Wissensstation im Deutschen Pavillon auf der Weltausstellung EXPO 2012 in Südkorea ein Kurzfilm erstellt. Der Film wurde anschließend auf der Projektwebsite e4ships (www.e4ships.de) veröffentlicht und für allgemeine Projektpräsentationen genutzt. Darüber hinaus wurde zur Abschlussveranstaltung im September 2016 ein Film produziert, in dem die Projektergebnisse vorgestellt wurden.

Vorschriftenentwicklungen bei IMO und EU

DNVGL und VSM haben in Zusammenarbeit mit den Demonstrationsprojekten Pa-X-ell und SchiBZ über die Fortschritte und Ergebnisse der Vorschriftenentwicklungen im Rahmen der Topplaterne in der IMO und gegenüber weiteren Institutionen mithilfe von Fachvorträgen und Podiumsdiskussion berichtet:

- Lunchpräsentation und Podiumsdiskussion während der 1. Sitzung des IMO Sub-Committee „Ship Design and Equipment“ (SDC 1);
- Zwei Lunchpräsentationen mit anschließender Podiumsdiskussion während der 1. Sitzung des IMO Sub-Committees „Carriage of Cargoes and Containers“ (CCC 1);
- Fachvortrag zu den Perspektiven der sauberen und energieeffizienten Schifffahrt mit Brennstoffzellentechnologie im Rahmen des IMO World Maritime Day Parallel Events 2016 in Istanbul;
- Mehrere Fachvorträge im Rahmen des jährlich stattfindenden SEA Europe EMSA Technical Workshops in Lissabon.

Diese ausführlichen Darstellungen der e4ships-Ergebnisse haben dazu beigetragen, dass die sicherheitstechnischen Fortschritte der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie stärker in das Bewusstsein von Vorschriftenentwicklern in der IMO und der EU rücken, als dies durch schriftliche Eingaben und die zeitlich knapp bemessenen Interventionen im Rahmen von IMO- und EU-Gremiensitzungen allein möglich gewesen wäre.

A.4 Projektevaluation

A.4.1 Zahlenmäßiger Nachweis

Der Zahlenmäßige Nachweis erscheint unter B.5 und wird nicht veröffentlicht.

A.4.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

In dem Verbundprojekt e4ships ist es durch die gemeinsame Initiative der Partner und des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) für Deutschland als Mit-



gliedsstaat gelungen, die Ergebnisse aus der Erprobung erfolgreich in die Entscheidungsprozesse bei der IMO einzubringen und so die regulatorische Grundlage zu schaffen, zukünftig Brennstoffzellen an Bord von Schiffen kommerziell nutzen zu können.

Die in den Demonstrationsprojekten Pa-X-ell und SchIBZ erprobten Anlagen sind noch Prototypen, die im Echtbetrieb weiter erprobt und optimiert werden müssen. Mögliche Forschungsaktivitäten beinhalten dabei den Einsatz von Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC und HT-PEM) bei den seegängigen Schiffen sowie Hoch- und Niedrigtemperaturbrennstoffzellen (SOFC, HT- und LT-PEM) bei Binnenschiffen. Mögliche Brennstoffe sind Methanol, Erdgas (CNG, LNG), Diesel oder Wasserstoff. Wesentliche technische Herausforderungen sind neben der Umsetzung auf den verschiedenen Schiffstypen die Ableitung einheitlicher technischer Standards für alle Systemvarianten und Leistungsklassen. Für die Zukunft sind zudem leistungsstärkere Systeme planerisch vorzubereiten. Die bereits erworbenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Fortführung der Weiterentwicklung in maritimen Anwendungsfeldern.

A.4.3 Verwertbarkeit und Anschlussfähigkeit

Durch die Arbeiten im Projekt wurden gemeinsame Anforderungen bei der Erstellung von nationalen, europäischen und internationalen Regelwerken, Normen und Standards in die relevanten Fachgremien wie z.B. die International Maritime Organisation (IMO) eingebracht, um zukünftig grundsätzlich den Einsatz alternativer Kraftstoffe und Brennstoffzellen in der internationalen Schifffahrt zu ermöglichen. Dafür war und ist ein intensiver Austausch mit den Koordinatoren der Mitgliedsstaaten der IMO, d.h. in Deutschland dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur erforderlich. Im Rahmen von regelmäßigen Projekttreffen wurde eine Plattform für den fachlichen Austausch der Projektpartner untereinander geschaffen und durch eine gemeinsame Kommunikation eine hohe Wahrnehmung des Leuchtturmvorhabens in Politik und Öffentlichkeit sichergestellt.

Die in einem möglichen Anschlussvorhaben zu bearbeitenden Inhalte sind von besonderer Bedeutung für den Erfolg der Markteinführung von Brennstoffzellensystemen in der maritimen Wirtschaft.



C.1 Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	entfällt	2. Berichtsart	Schlussbericht
3a. Titel des Berichts	Verbundvorhaben TOPLATERNE im Leuchtturmvorhaben e4ships-Brennstoffzellen im maritimen Einsatz		
3b. Titel der Publikation	entfällt		
4a. Autoren des Berichts	siehe Anhang	5. Abschlussdatum des Vorhabens	31.12.2016
		6. Veröffentlichungsdatum	noch offen
4b. Autoren der Publikation	entfällt	7. Form der Publikation	entfällt
		9. Berichtsnummer der durchführenden Institution	entfällt
8. Durchführende Institution(en)	siehe Anhang	10. Förderkennzeichen	siehe Anhang
		11a. Seitenzahl Bericht	61
		11b. Seitenzahl Publikation	61
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) Invalidenstr. 44 10115 Berlin		12. Literaturangaben	
		14. Tabellen	
		15. Abbildungen	
16. Zusätzliche Angaben			
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Technische Informationsbibliothek (TIB), Welfengarten 1B, 30167 Hannover http://www.tib.uni-hannover.de			
18. Kurzfassung Von November 2009 bis Dezember 2016 wurde das Projekt TOPLATERNE im Rahmen des Leuchtturmvorhabens e4ships durch das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie der Bundesregierung (NIP) gefördert. Im Leuchtturmvorhaben e4ships entwickelten die beiden großen Werften MEYER WERFT (Demonstrationsprojekt Pa-X-ell) und thyssenkrupp Marine Systems (Demonstrationsprojekt SchIBZ) mit ihren Partnern jeweils technisch unterschiedliche Brennstoffzellensysteme (HT-PEM und SOFC) und setzten mit Methanol bzw. Diesel auch verschiedene Treibstoffe ein. Das Ergebnis ist in beiden Fällen eine fast vollständige Reduktion der Emissionen von Ruß, Schwefel und Stickoxiden sowie deutlich sinkende Anteile des klimaschädlichen Kohlendioxids. Zu den Aufgaben gehörte außerdem die Mitwirkung bei der Formulierung von weltweit gültigen Regeln und Standards für die Zulassung und Installation von Brennstoffzellen und für die Nutzung emissionsarmer Treibstoffe wie schwefelfreien Diesel, Erdgas oder Methanol auf Schiffen und ihre Bereitstellung in den Häfen. Ein Schwerpunkt waren hierbei die Abstimmung mit der International Maritime Organization (IMO).			



Die im Vorhaben e4ships wesentlichen Aktivitäten umfassten:

- Vergleich und Bewertung bestehender Energieversorgungssysteme von Schiffen mit den im Rahmen des Forschungsprojektes realisierten Systemen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie unter Gesichtspunkten ökologischer Nachhaltigkeit und energetischer Effizienz sowie Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten der Brennstoffzellensysteme und daraus folgend Ableitung künftiger Optimierungspotentiale und deren Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit durch eine Lebenszyklusanalyse (Life-Cycle-Costing)
- Definition technischer Nutzungs- und Ausbaustrategien in Bezug auf die typischen Platz-, Gewichts- und Leistungsbedarfe von seegehenden Schiffen
- Mitwirkung bei der Entwicklung von internationalen Sicherheitsanforderungen für maritime Brennstoffzellensysteme im Rahmen der International Maritime Organization (IMO)
- Ausgehend von den Erkenntnissen aus dem Demonstrationsvorhaben Pa-X-ell und SchIBZ die Mitarbeit bei der Vorschriftenentwicklung im Rahmen des International Maritime Organization (IMO)-Arbeitsprogrammepunktes „Development of the Draft Internationale Codes on Safety for Natuaral Gas-fuelles ships“ (IGF-Code)
- Einheitliche, professionelle und zielgerichtete Außendarstellung des Leuchtturmprojektes e4ships und fachgerechte Vermittlung der technischen Inhalte gegenüber Fachleuten, Presse, Politik und breiter Öffentlichkeit

19. Schlagwörter	Stationäre Brennstoffzellen, Wasserstoff, Bordstromversorgung, HT PEM, SOFC		
20. Verlag		21. Preis	



C.1 Berichtsblatt, Anhang

4a.+ 8 Autoren des Berichts / Durchführende Institutionen

Carnival Maritime GmbH (vormals AIDA Cruises), Förderkennzeichen: 03BI208B

Großer Grasbrook 9
20457 Hamburg

DNV (DNV GL), Förderkennzeichen: 03BI208C

Dr. Gerd-Michael Würsig
Lars Langfeldt
Brooktorkai 18
20457 Hamburg

Flensburger Schiffbaugesellschaft, Förderkennzeichen: 03BI208E

Rolf Nagel
Batteriestraße 52
24939 Flensburg

Fr. Lürssen Werft GmbH & Co.KG, Förderkennzeichen: 03BI208D

Dr. Bernhard Urban
Zum Alten Speicher 11
28759 Bremen

Germanischer Lloyd (siehe DNV GL), Förderkennzeichen: 03BI208F

Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Förderkennzeichen: 03BI208G

Berliner Tor 5
20099 Hamburg

hySOLUTIONS GmbH, Förderkennzeichen: 03BI208A

Heinrich Klingenberg
Jennifer Kreissel
Steinstrasse 25
20095 Hamburg

MEYER WERFT GmbH & Co. KG, Förderkennzeichen: 03BI208J

Sören Berg
Industriegebiet Süd
26871 Papenburg

thyssenkrupp Marine Systems GmbH, Förderkennzeichen: 03BI208K

Keno Leites

Hermann-Blohm-Straße 3

20457 Hamburg

Verband für Schiffbau und Meerestechnik, Förderkennzeichen: 03BI208L

Dr. Ralf Sören Marquardt

Kathrin Ehlert-Larsen

Steinhöft 11

Slomanhaus

20459 Hamburg

Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT GmbH), Förderkennzeichen: 03BI208M

Dr. Jürgen Roes

Carl-Benz-Straße 201

47057 Duisburg



C.2 Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	Not applicable	2. Type of report	Final report
3a. Report title	Verbundvorhaben TOPLATERNE im Leuchtturmvorhaben e4ships – Fuel Cells in Marine Applications		
3b. Title of the publication	Not applicable		
4a. Author(s) of the report	See annex	5. End of project	31.12.2016
		6. Publication date	Tbd
4b. Author(s) of the publication	See annex	7. Form of publication	Not applicable
		9. Originator's report no.	Not applicable
8. Performing organization(s)		10. Reference no.	See annex
		11a. No. of pages (report)	61
		11b. No. of pages (publication)	61
13. Sponsoring agency Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure 5 Berlin		12. No. of references	
		14. No. of tables	
		15. No. of figures	
16. Supplementary notes: None			
17. Presented at (title, place, date) Technische Informationsbibliothek (TIB) [German National Library of Science and Technology], Welfengarten 1B, 30167 Hannover (Germany) http://www.tib.uni-hannover.de			
18. Abstract From November 2009 to December 2016, the project TOPLATERNE has been funded by the National Innovation Programme of Hydrogen and Fuel Cell Technology of the Federal German Government (NIP) as part of the lighthouse project e4ships. In the lighthouse project e4ships, the two big shipyards MEYER WERFT (demonstration project Pa-X-ell) and thyssenkrupp Marine Systems (demonstration project SCHiBZ) both developed with their partners different fuel cell systems (HT-PEM and SOFC) and, with methanol or diesel, they also used different fuels. The result is, in both cases, an almost complete reduction of emissions of soot, sulfur and nitrogen oxides, as well as significantly decreasing proportions of climatic carbon dioxide. The tasks also included the participation in the formulation of globally valid rules and standards for the approval and installation of fuel cells and the use of low-emission fuels such as sulfur-free diesel, natural gas or methanol on ships and their supply in the ports. A main focus was the coordination process with the International Maritime Organization (IMO).			

The e4ships main activities included:

- Comparison and assessment of existing energy supply systems of ships with the hydrogen and fuel cell technology systems developed within the framework of the research project, with regard to ecological sustainability and energy efficiency as well as the identification of the investment and operating costs of the fuel cell systems and the derivation of future optimization potentials and their effects on economic efficiency by analyzing the life-cycle-costing
- Definition of technical utilization and expansion strategies in relation to the typical place, weight and performance requirements of seagoing ships
- Participation in the development of international safety requirements for maritime fuel cell systems within the framework of the International Maritime Organization (IMO)
- Based on the insights developed in the demonstration projects Pa-X-ell and SCHiBZ there has been a participation in the development of regulations within the work program item of the International Maritime Organization (IMO) "Development of the Draft International Codes on Safety for Natural Gas Fills" (IGF- Code)
- Standardized, professional and target-oriented presentation of the lighthouse project e4ships and its professional transfer to experts, journalists, political representatives and the general public

19. Key words	Stationary Energy Supply, Fuel Cell, Hydrogen, HT PEM, SOFC		
20. Publisher		21. Price	



C.2 Document Control Sheet, Annex

4a. + 8 Authors of the report / Performing organization(s)

Carnival Maritime GmbH (vormals AIDA Cruises), Förderkennzeichen: 03BI208B

Großer Grasbrook 9
20457 Hamburg

DNV (DNV GL), Förderkennzeichen: 03BI208C

Dr. Gerd-Michael Würsig
Lars Langfeldt
Brooktorkai 18
20457 Hamburg

Flensburger Schiffbaugesellschaft, Förderkennzeichen: 03BI208E

Rolf Nagel
Batteriestraße 52
24939 Flensburg

Fr. Lürssen Werft GmbH & Co.KG, Förderkennzeichen: 03BI208D

Dr. Bernhard Urban
Zum Alten Speicher 11
28759 Bremen

Germanischer Lloyd (siehe DNV GL), Förderkennzeichen: 03BI208F

Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Förderkennzeichen: 03BI208G

Berliner Tor 5
20099 Hamburg

hySOLUTIONS GmbH, Förderkennzeichen: 03BI208A

Heinrich Klingenberg
Jennifer Kreissel
Steinstrasse 25
20095 Hamburg

MEYER WERFT GmbH & Co. KG, Förderkennzeichen: 03BI208J

Sören Berg
Industriegebiet Süd
26871 Papenburg



thyssenkrupp Marine Systems GmbH, Förderkennzeichen: 03BI208K

Keno Leites

Hermann-Blohm-Straße 3

20457 Hamburg

Verband für Schiffbau und Meerestechnik, Förderkennzeichen: 03BI208L

Dr. Ralf Sören Marquardt

Kathrin Ehlert-Larsen

Steinhöft 11

Slomanhaus

20459 Hamburg

Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT GmbH), Förderkennzeichen: 03BI208M

Dr. Jürgen Roes

Carl-Benz-Straße 201

47057 Duisburg