



Brennstoffzellen im Einsatz auf hoher See

# Alternativ unterwegs

Energieversorgung: Brennstoffzellen an Bord großer Schiffe sollen Abgasemissionen und den Brennstoffeinsatz reduzieren.

Seit geraumer Zeit arbeiten Schifffahrt und Schiffbauindustrie an der Entwicklung neuer umweltschonender Formen der Energieerzeugung. Neben der intensiven Untersuchung von Gas als Schiffsbrennstoff geht es dabei insbesondere auch um die Nutzung von Brennstoffzellen und deren Verwendung auf Passagier- und Kreuzfahrtschiffen. Das Projekt „e4ships – Brennstoffzellen im maritimen Einsatz“, reiht sich dabei in die Gruppe von der Bundesregierung geförderter sogenannter Leuchtturmprojekte ein. Eine Förderung wurde durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms (NIP) ermöglicht.

Inhaltlich gliedert sich das Projekt e4ships, dessen Projektlaufzeit voraussichtlich 2015 endet, in die zwei anwendungsorientierten Demonstrationsprojekte Pa-X-ell und SchIBZ, sowie ein Verwaltungsmodul die sogenannte Toplaterne.

## Warum Brennstoffzellen auf Schiffen?

Brennstoffzellen können je nach Leistungsanforderung auf einer Vielzahl von Schiffstypen eingesetzt werden. Hochtem-

peraturbrennstoffzellen mit einer Leistung von künftig bis zu 1 MW empfehlen sich für die Bordenergieversorgung größerer Schiffe wie Kreuzfahrtschiffe und Containerschiffe sowie aus Komfortgründen, wie der geringen Geräuschentwicklung, auch für Megayachten. Als Versorgungssystem für die Hilfsaggregate kann vor allem während der Liegezeiten in Häfen eine deutliche Verbesserung der Luftqualität bewirkt werden. Bei einem Einsatz auf See entlastet der stark verminderte Schadstoffausstoß vor allem die küstennahen Seegebiete. Über den bereits grundsätzlich besseren Wirkungsgrad hinaus können Hochtemperaturbrennstoffzellen mittels Kraft-Wärme-Kopplung die Effizienz gegenüber heutigen Energieversorgungssystemen noch einmal deutlich verbessern. Die anfallende Abwärme kann darüber hinaus auch für Kühlzwecke, etwa in Klimaanlage genutzt werden. Passagierfähren kleinerer Art oder Ausflugsschiffe in der Leistungsklasse von bis zu 300 kW könnten beispielsweise ihre komplette Antriebsenergie aus Niedertemperaturbrennstoffzellen beziehen. Ein mögliches Konzept ist die Integration in ein Hybridsystem, das zusätzlich mit Hochleistungsbatterien gepuffert ist – Wie beispielsweise bei dem in Hamburg eingesetzten Alsterdampfer ALSTERWASSER.

## Das Synergiemodul „Toplaterne“

Ziel des Projektmoduls Toplaterne ist u.a. die Bündelung und Abstimmung der Aufgaben in den Teilprojekten sowie die Koordinierung des öffentlichen Auftritts des Gesamtprojektes e4ships. Durch die technische und wirtschaftliche Bewertung der Demonstrationen können zudem Optimierungspotentiale beim Einsatz von Brennstoffzellen auf Schiffen erschlossen und alle Fragen zur ökologischen, technischen und wirtschaftlichen Bewertung des Einsatzes von Brennstoffzellen auf Schiffen bearbeitet werden.

In den vergangenen Projektjahren wurden bereits weitreichende Erkenntnisse gewonnen und erarbeitet insbesondere im Bereich der einsetzbaren Brennstoffe sowie deren Spezifika.

## Verbindliche internationale Schiffssicherheits- und Meeresumweltschutzvorschriften

Unabdingbare Voraussetzung für die zügige und breite Markteinführung maritimer Brennstoffzellensysteme ist die Entwicklung verbindlicher internationaler Schiffssicherheits- und Meeresumweltschutzvorschriften inklusive begleitender Normung. Daher ist Gegenstand des Projekts auch das Bemühen um die Schaffung geeigneter technischer Vorschriften und Prüfnormen. Das diesbezügliche Arbeitspaket „Sicherheit, Standards, Richtlinien“ zielt ab auf eine eindeutige Definition, völkerrechtliche Durchsetzung und bedarfsgerechte Implementierung der technischen Anforderungen an die Brennstoffzellentechnologie im Rahmen der „International Maritime Organization (IMO)“, der „International Electrotechnical Commission (IEC)“ und der „International Organization for Standardization (ISO)“.

Hierzu wurden projektübergreifend alle sicherheitsrelevanten Fragen und Erkenntnisse gesammelt, ausgewertet und in einem Datenpool zur Verfügung gestellt.

Die Daten werden durch die beteiligten Klassifikationsgesellschaften in Vorschläge für Sicherheits- und Umweltstandards für die IMO-Vorschriftenentwicklung und für andere nationale und internationale Gremien umgesetzt. Im Fokus stehen hierbei nicht nur die Anforderungen an das Brennstoffzellensystem selbst, sondern auch an die Integration in das Schiff inklusive Fragen der Schiffsfestigkeit, Unterteilung, Stabilität, Treibstofflagerung und Betankung.

## Das Projekt „Pa-X-ell“

Neben der intensiven Untersuchung von neuen Schiffsbrennstoffen und den Aufbau eines dezentralen Energienetzes geht es hier insbesondere um die Nutzung von Brennstoffzellen auf Passagierschiffen. Zur Realisierung des Projekts Pa-X-ell haben sich ein Konsortium aus drei Werften (Meyer Werft GmbH, Fr. Lürssen Werft GmbH & Co. KG und die Flensburger Schiffbau-Gesellschaft), zwei Klassifikationsgesellschaften (Germanischer Lloyd und Det Norske Veritas), ein Spezialist im Bereich thermischer Energieverwertung (INVEN) sowie ein Brennstoffzellenhersteller (ursprünglich MTU, jetzt Serenergy/Fischer Ecosolution) sowie die DLR als Spezialist für Simulations-

## e4ships – fuel cells in marine applications

*In order to meet stricter regulations, the emissions of seagoing vessels, above all in harbours, need to be decreased strongly in future. The advantages of generating power via fuel cells onboard ships are twofold: the emission of toxic pollutants is reduced and the efficiency of the facilities is improved. Thus they present an attractive alternative to conventional ship aggregates, and can contribute considerably to decreasing harmful emissions.*

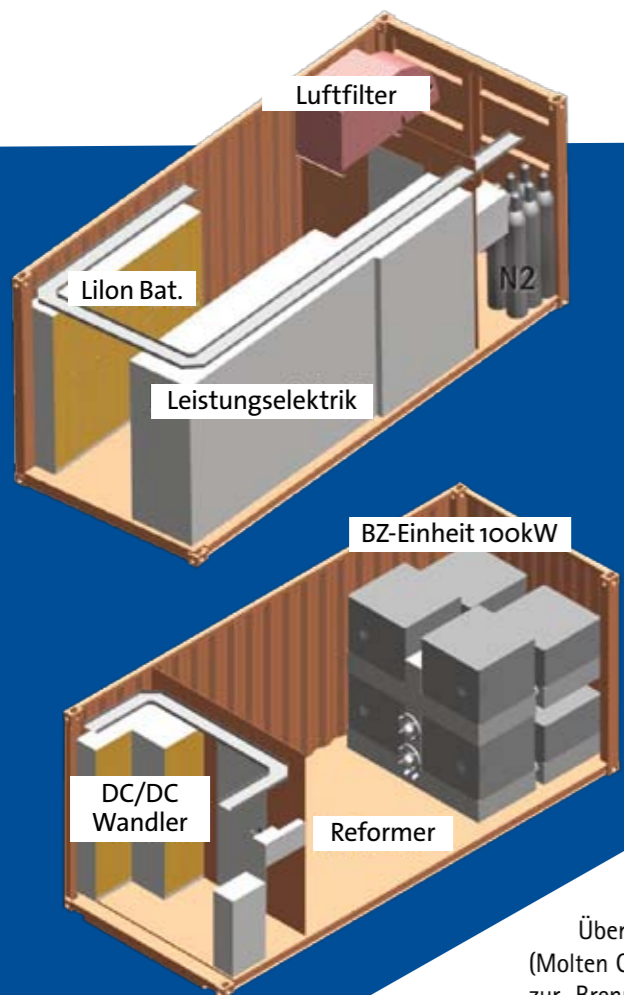
*The project e4ships aims to improve significantly the energy supply onboard large vessels. To realise this, the use of PEM and high-temperature fuel cells is being planned; these should enable a considerable reduction in emissions and fuel use.*

*In addition to the technical implantation on different vessel types, another important challenge is to derive technical standards for all system types and performance classes. Moreover, better high-performance energy supply systems need to be planned for the future.*



Alsterwasser: Schon mit Brennstoffzellentechnik unterwegs





Inneneinsichten: Die beiden Container mit der Versuchsanlage

und Vermessungsfragen zusammengefasst. Zwar hat sich der ursprünglich beteiligte Brennstoffzellenhersteller MTU aus dem Projekt wieder zurückgezogen. Mit Serenergy/Fischer Ecosolution konnte jedoch ein neuer Projektpartner für dieses

Segment gewonnen und der Übergang von der MCFC-Technologie (Molten Carbon Brennstoffzellen) von MTU zur Brennstoffzellen-Technologie HT-PEM (Hochtemperatur-Proton-Exchange-Membrane) von Serenergy auch fast nahtlos vollzogen werden.

Im ersten Schritt werden nun einige Grundmodule in genormter Größe (19" Einschub-/Einstecktechnologie bei einer Höhe von 6 U (270mm) und einer Tiefe von 700mm) entwickelt, die ca. 5kW Leistung erzeugen werden. Die Module haben einen integrierten Methanolreformer und bieten elektrisch verschiedene Ausgangsspannungen. Ein Schwerpunkt ist eine möglichst hohe Nutzung der thermischen Energie. Dafür wurde ein Flüssigkeitskühlsystem entwickelt um zum einen die Wärme aus dem Stack optimal abzuführen und zum anderen eine gute Wärmeübertragung für die Anbindung an die thermischen Verbraucher zu erreichen. Von diesem Modulen können dann maximal acht übereinander (als 40 kW peak oder 30 kW nominal Rack von H 2200mm, B 600mm und T 800mm inklusive Verkabelungs- und Verrohrungsraum) zu einem modularen Schaltanlagen-system aufgebaut werden. Auf diese Weise sind theoretisch beliebig große Leistungen darstellbar.

Bisher ist ein Grundmodul im Testbetrieb als Prototyp im Einsatz. Ein Rack mit einigen Grundmodulen soll im Herbst zur Erprobung kommen. Als Brennstoff ist zunächst Methanol vorgesehen, im zweiten Schritt auch Erdgas.

Bei einem Brennstoffzellensystem müssen alle Energiesysteme eines Schiffes optimal integriert werden. Um die höchste Gesamteffizienz zu erreichen, muss die erzeugte elektrische und thermische Energie bestmöglich verwertet werden. Dabei stellt die optimale Nutzung der thermischen Energie die größte Herausforderung dar. Um diese erfolgreich zu meistern, wird eine schiff-taugliche Absorptionskälteanlage in Kombination mit einem thermischen Frischwassererzeuger neu entwickelt. Dabei wird die thermische Energie zuerst für die Kälteanlage genutzt und die Abwärme der Kälteanlage dann später zur Produktion von Frischwasser mittels eines Verdampfers. Dieser Prozess wird von den Projektpartnern „Trigeneration“ genannt. Dieses Verfahren erhöht den Gesamtwirkungsgrad des Systems enorm.

Das primäre Entwicklungsziel des Projektes Pa-X-ell liegt zurzeit auf der Erprobung und Optimierung des Grundmoduls sowie der Entwicklung des Racksystems für das Brennstoffzellensystem. Bordseitig liegt der Focus gegenwärtig auf der Entwicklung des elektrischen und thermischen Energienetzes mit der Einbindung des Brennstoffzellensystems. Ein erstes Brennstoffzellensystem mit ca. 120kW el. an Bord eines Schiffes ist für 2015 geplant.

### Das Projekt „SchIBZ“

Unter dem Titel „SchIBZ – SchiffsIntegration BrennstoffZelle“ arbeitet ein Verbund aus sechs weiteren Unternehmen und Institutionen an der Entwicklung eines Generatorsatzes mit 500 kW elektrischer Leistung auf der Basis von Hochtemperaturbrennstoffzellen für seegehende Schiffe. Die Partner des seit 2009 laufenden Vorhabens sind ThyssenKrupp Marine Systems, Imtech Marine Germany, das Oel-Waerme-Institut, der Germanische Lloyd, die Leibniz Universität Hannover sowie die Reederei Braren.

Ziel ist die Entwicklung eines Aggregates, das dezentral insbesondere in kompakten Schiffen wie Megayachten und Spezialschiffen die Versorgung mit Strom und Wärme vornehmen und Emissionen aus der Energiewandlung an Bord nachhaltig senken soll.

Die Besonderheit des Systems liegt darin, Diesel mit einem Schwefelgehalt wie in Pkw-Diesel zu verwenden. Um diesen Brennstoff für eine Brennstoffzelle nutzbar zu machen, muss er zuerst in einem sog. Reformationsprozess unter hoher Temperatur zu einem Gemisch aus Methan, Wasserstoff und Kohlendioxid umgewandelt werden. Dies geschieht an einem Katalysator, der - um keine Wirkungsgradverluste zu erleiden - indirekt aus der Abwärme der Hochtemperatur-Brennstoffzelle beheizt wird. Diese Brennstoffzellen werden von sunfire aus Deutschland auf Basis der eingebrachten SOFC (Festoxid Brennstoffzelle)-Technologie weiterentwickelt.

Das System arbeitet bei Temperaturen um 750° C, bei denen noch keine Stick-oxidbildung auftritt, so dass das Aggregat trotz der Verwendung von Diesel keine NOx emittiert. Die Emission von SOx wird durch den geringen Schwefelanteil im Brennstoff sowie spezielle Filtereigenschaften im Prozess bei 0 ppm liegen. Auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird durch den hohen erwarteten elektrischen Wirkungsgrad von mindestens 50% um 25% gegenüber einem modernen, üblicherweise eingesetzten Dieselaggregat reduziert. Nicht eingerechnet sind weitere CO<sub>2</sub>-Reduzierungen durch die Nutzung der Abwärme in den Schiffssystemen.

Da alle Teilprozesse bekannt und erprobt sind und verfügbare Komponenten verwendet werden sollen, wird der Demonstrator zunächst über eine Leistung von 100 kW verfügen und dann später für die Fertigung einer 500 kW-Anlage hochskaliert. Die Wahl des Brennstoffes Diesel erfolgte, weil dieser Brennstoff in gewohnter Weise gehandhabt werden kann und im Vergleich zu Gasen nur

ein Drittel bis ein Viertel des Bunkerplatzes benötigt. Auch ist die Verteilung im Schiff zu den einzelnen Verbrauchern sehr einfach. Die Wärmeintegration wird dann bei späteren Anwendungen im Neubau im Einzelfall entwickelt und angepasst.

Derzeit ist der Reformierungskatalysator bereits erfolgreich im Labor über 3.200 Stunden betrieben worden und mit Reformer und Brennstoffzelle werden - zur Bestimmung der günstigsten Betriebsparameter und Betriebsweisen - weitere Labortests durchgeführt. Nach dem Ende der Testläufe wird der Demonstrator aufgebaut, der 2015 auf der MS CELLUS für ca. ein Jahr einen wesentlichen Teil der Bordstromversorgung übernehmen soll.

### Ausblick

Wie in jedem umfangreichen Forschungsvorhaben hatte ebenfalls das Projekt e4ships mit Widrigkeiten zu kämpfen. Gleich zu Beginn gab es den ersten Rückschlag, als die in Bremen ansässige Beluga Shipping ihre Insolvenz erklärte und somit gleichzeitig ein vielversprechendes Demonstrationsprojekt entfiel. Eine weitere Hiobsbotschaft im späteren Projektverlauf war der Ausstieg von MTU onsite energy aus dem Brennstoffzellenmarkt. Hierdurch entstand eine große Lücke, da die von MTU vertriebene MCFC-Technologie der Haupttechnologieträger beider Demonstrationsprojekte werden sollte.

Aber allen schlechten Vorzeichen zum Trotz setzte das Konsortium seine Arbeit fort und schaffte es sogar, aus der Not eine Tugend zu machen. Neue Technologiepartner wurden gefunden, und die Entwicklungsarbeit ist heute auf einem besseren Stand denn je. Dies ist nicht zuletzt dem unermüdbaren Glauben der beteiligten Partner an die Technologie der Brennstoffzelle geschuldet. Das Konsortium ist überzeugt von der Idee und erwartet in Zukunft viele weitere interessante Ergebnisse.

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



Schiffstauglich: Die thermische Energie wird zuerst für die Absorptionskälteanlage und später für die Produktion von Frischwasser genutzt.