

Beispiel Kreuzfahrtschiff

Am Beispiel eines Kreuzfahrtschiffes mit konventioneller Energieversorgung im Vergleich zu einem mit integriertem Brennstoffzellensystem werden die Reduktionspotentiale besonders deutlich (Abb. 3). Zugunsten des herkömmlichen Dieselmotorsystems wird angenommen, dass durch eine verbesserte Nutzung der Abwärme sehr hohe thermische Wirkungsgrade erreicht werden. Auch unter diesen Bedingungen ergeben sich durch die Integration von Brennstoffzellensystemen beachtliche Emissionsminderungen. So zeigt sich, dass mit dem Brennstoffzellensystem und dem Brennstoff Methanol die CO₂-Emissionen um bis zu 30% reduziert werden. Alle anderen Emissionen lassen sich lokal nahezu vollständig vermeiden (vgl. Abb. 3).

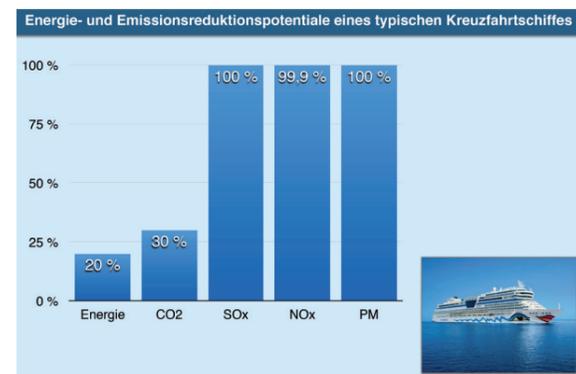


Abb. 3: Einsparpotentiale eines Kreuzfahrtschiffes

Beispiel Yacht

Ein ähnliches Bild ergibt sich beim Einsatz von BZ-Systemen auf Yachten (vgl. Abb. 4). Ausgehend von einer unregelmäßigen Nutzung, wie sie hier häufig auftritt, wurde in der Bilanzrechnung von 1500 h/a auf See ausgegangen. Im Vergleich zu einem herkömmlichen Dieselsystem betrieben mit Marineöldiesel lassen sich mit einer SOFC-Brennstoffzelle betrieben mit Straßendiesel ca. 25% der CO₂-Emissionen vermeiden. Auch sämtliche weitere Emissionen werden nahezu vollständig vermieden.

Neben den hohen Wirkungsgraden von Brennstoffzellensystemen sind gerade die sehr niedrigen lokalen Emissionen ein großer Vorteil der Brennstoffzellentechnik mit alternativen Brennstoffen. Effizientere Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) erlauben signifikante Reduktionen gegenüber der heute üblichen Nutzung von Schwerölen oder Schiffsdiesel in verbrennungsmotorischen Bordstromversorgungen.

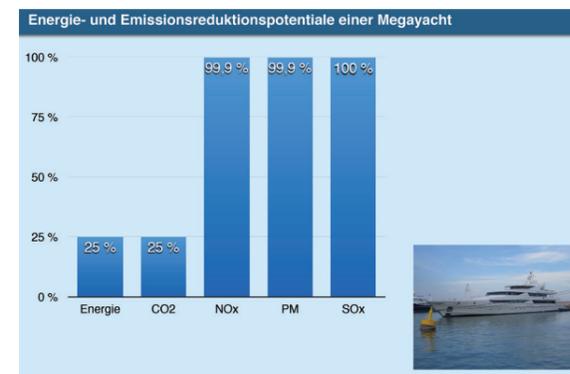


Abb. 4: Einsparpotentiale einer Yacht

Gesamtbewertung von Emissionen

Was bedeuten die oben beschriebenen Emissionsminderungen für die Schifffahrt und welche Verbesserungen sind durch den Einsatz der Brennstoffzellentechnologie zu erzielen?

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 Grundstoffe 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.

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.

Die jeweiligen Brennstoffzellensysteme werden in den kommenden Monaten exemplarisch an Bord von Hochseeschiffen (MS Forester und MS Mariella) installiert und unter den Bedingungen des normalen Schiffsbetriebes erprobt. Eine längere Erprobungszeit auf Schiffen und die damit einhergehende Weiterentwicklung der Brennstoffzellentechnologie bis hin zur Marktreife wird in einer Fortführung des Projektes im NIP 2 angestrebt.

e4ships
c/o VSM - Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V.
Steinhöft 11, 20459 Hamburg
c/o hySOLUTIONS GmbH
Steinstraße 25, 20095 Hamburg
info@e4ships.de www.e4ships.de



Bewertung alternativer Brennstoffe für die Bordstromversorgung durch Brennstoffzellen auf Schiffen

Sparsamer Energieeinsatz und geringer Schadstoffausstoß



Der Leuchtturm e4ships

Um den strengeren gesetzlichen Rahmenbedingungen zu genügen, müssen die Emissionen von Seeschiffen, vor allem in Häfen, künftig erheblich reduziert werden. Dies war einer der Gründe für den Zusammenschluss von Werften, Reedereien, Brennstoffzellenherstellern, Zulieferern, Forschungseinrichtungen und Klassifikationsgesellschaften zum Leuchtturmprojekt „e4ships – Brennstoffzellen im maritimen Einsatz“.

Das Vorhaben umfasst zwei Demonstrationsprojekte zur Anwendung von Brennstoffzellen an Bord von Schiffen sowie ein übergeordnetes Modul zu Fragen des Klimaschutzes, der Wirtschaftlichkeit, sicherheitstechnischen Standards und zur Markteinführungsstrategie. Gefördert wird der Leuchtturm e4ships durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP).

Das Ziel des Leuchtturmprojekts ist es, die Brennstoffzellen-Technologie marktreif für den Einsatz auf Schiffen zu machen. Damit soll künftig ein wichtiger Beitrag zur Emissionsminderung in Häfen und zur Verbesserung der Luftqualität geleistet werden. Ein wesentlicher Aspekt im Rahmen des Gemeinschaftsprojekts ist die Nutzung sauberer Brennstoffe für die klimafreundliche und effiziente Energieversorgung von Nebenaggregaten und Versorgungssystemen auf Seeschiffen auf Basis von Brennstoffzellensystemen. Die betrachteten Brennstoffe sind Erdgas (LNG bzw. CNG), Liquefied Petroleum Gas (LPG), Methanol (MeOH), Dimethylether (DME), Wasserstoff (H₂) und schwefelarmer bzw. schwefelfreier Diesel (Straßendiesel). Die derzeit untersuchten Brennstoffzellensysteme basieren auf der HT-PEM*-sowie der SOFC*-Technologie. Im bisherigen Projektverlauf wurden Methoden und Werkzeuge entwickelt, die es erlauben, klimaschonende Energieerzeuger emissions- und energiebasiert zu entwickeln, zu erproben und gegenüber herkömmlichen Systemen zu bewerten.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen in e4ships zeigen die enormen Potentiale von Brennstoffzellen in Kombination mit umweltfreundlichen Brennstoffen auf.

Die sich durch den Einsatz von Brennstoffzellen ergebenden Möglichkeiten zur Verbesserung der Energie- und Emissionsbilanzen zeigen, dass diese Technologie in Verbindung mit umweltfreundlichen Brennstoffen Schiffsemissionen erheblich senken kann.

Durch den Einsatz von Brennstoffzellen an Bord von Schiffen können deutsche Werften, Reeder und Zulieferer ihre Marktposition in Zukunft verbessern und dadurch letztlich Arbeitsplätze in Deutschland sichern bzw. schaffen. Solange allerdings die praktische Nutzung von sauberen Energieträgern nicht ausreichend durch gesetzliche Rahmenbedingungen unterstützt wird, ist die Notwendigkeit zur Umstellung auf klimafreundliche Technologien nur gering. Hier sind regulierende, gesetzgeberische Maßnahmen wichtig, um die Attraktivität von Alternativen zu den heute üblichen Schiffsbrennstoffen zu steigern.

Brennstoffzellen sind am effizientesten, wenn sie mit alternativen Brennstoffen betrieben werden. Ihre Effizienz kann die von herkömmlichen Energiewandlern für Schiffe übersteigen, so dass diese Technologie einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung von Schadstoff-Emissionen in der Schifffahrt und zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes von Schiffen leisten kann. Sie braucht jedoch Unterstützung, um Markteinführungsbarrieren zu überwinden.

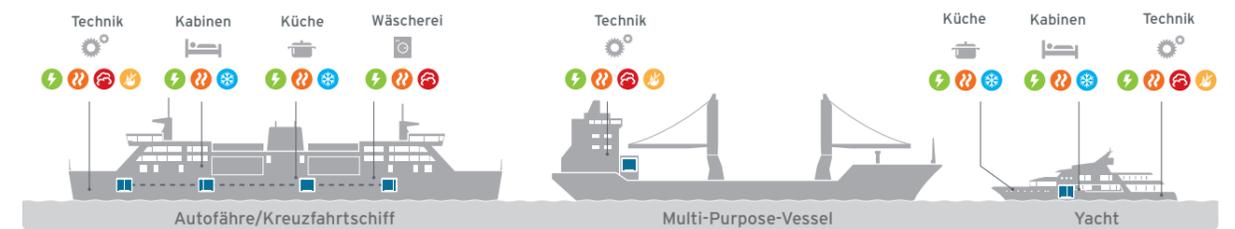
Das Projekt steht im Einklang mit der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) der Bundesregierung mit dem Ziel, die Treibhausgasemissionen bezogen auf 1990 bis zum Jahre 2020 um 40% zu senken. Ein wichtiger Punkt der MKS ist die Unterstützung der Markteinführung von LNG als Schiffsbrennstoff. In der Schifffahrt werden die Vorteile

von sauberen Brennstoffen durch die Einbindung neuartiger Energieerzeuger wie der Brennstoffzelle erheblich vergrößert. In diesem Zusammenhang wird durch die Aktivitäten im Rahmen des Leuchtturmprojekts ein Beitrag zur Einführung von LNG aber auch anderer sauberer Brennstoffe wie Methanol oder Straßendiesel als Schiffsbrennstoff geleistet.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für saubere Schiffe ist der Beitrag der Bundesregierung zur Unterstützung der International Maritime Organisation (IMO) bei der Entwicklung eines einheitlichen internationalen Standards für den Einsatz niedrigründender Brennstoffe auf Schiffen. Dieser sogenannte IGF Code (International Code of Safety for Ships using Gas and other low flashpoint fuels) wurde am 12.06.2015 von der IMO in London verabschiedet und wird im Januar 2017 in Kraft treten. Mit dem jetzt verabschiedeten allgemeinen Teil und den Regelungen für Erdgas als Schiffsbrennstoff sind die Voraussetzungen für die Verwendung von LNG als Schiffsbrennstoff geschaffen. Nunmehr geht es darum den IGF Code auf andere alternative Brennstoffe wie Methanol und schwefelfreien Diesel zu erweitern. Die weitere Unterstützung der Bundesregierung zur Ergänzung des IGF Codes bleibt daher wichtiger Teil der e4ships-Aktivitäten.

Beim Vergleich von Brennstoffzellensystemen für die Energieerzeugung an Bord von Seeschiffen mit konventionellen Systemen (wie etwa Motoren oder Gasturbinen) müssen grundsätzlich neben den brennstoffspezifischen Emissionen, wie Kohlendioxid (CO₂) und Schwefeldioxid (SO₂), auch die systemspezifischen Emissionen, wie z.B. Rußpartikel (Particulate Matter-PM), Stickoxid (NO_x), Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (C_xH_y), berücksichtigt werden.

*HT-PEM: Hochtemperatur-Brennstoffzelle
*SOFC: Festoxid-Brennstoffzelle



Verbesserung der Luftqualität
durch Reduktion von Schadstoffen wie Stickoxide (NO_x) und Schwefeldioxide (SO₂)

+

Reduktion von CO₂-Emissionen
um 25-30%, als Beitrag zum Klimaschutz und Antwort auf strengere Emissionsrichtlinien

+

Erhalt der Wirtschaftlichkeit
durch Unabhängigkeit von endlichen fossilen Brennstoffen

Brennstoffabhängige Emissionen

Die brennstoffabhängigen Emissionen, im Wesentlichen CO₂ und SO₂, ergeben sich aus der Brennstoffzusammensetzung. Über die vom System gelieferte elektrische Arbeit und den Systemwirkungsgrad können die benötigte Energie- bzw. Treibstoffmenge und die emittierte Menge an CO₂ und SO₂ berechnet werden.

Insbesondere der Schwefelgehalt der jeweiligen Brennstoffe wurde durch die IMO bereits reglementiert. Im Jahr 2010 wurde ein Grenzwert von max. 1,0% Massenanteil in sogenannten „Sulphur Emission Controlled Areas“ (SECAs) verabschiedet.

Außerhalb der SECAs gilt seit 2012 ein Grenzwert von 3,5% Schwefelanteil (35.000 ppm) im Brennstoff. Seit dem 1. Januar 2015 liegt der Grenzwert in der Nord- und Ostsee sowie in den 200-Seemeilen-Zonen der USA und Kanadas bei 0,1% Schwefelanteil. Im Jahr 2020 wird in den 200-Seemeilen-Zonen der EU ein Wert von 0,5% gelten. Es ist geplant, diesen Grenzwert ab dem Jahr 2020 bzw. dem Jahr 2025 global einzuführen. Eine Entscheidung der IMO wird hierzu im Jahr 2018 erwartet (Abb. 1).

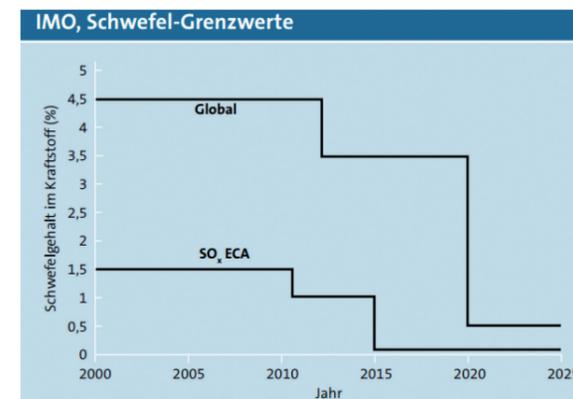


Abb. 1: Grenzwerte für Schwefel im Treibstoff [Quelle: IMO]

Systemspezifische Emissionen

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. In Abbildung 2 sind diese Grenzwerte in Abhängigkeit von der Motordrehzahl für die aktuell geltende Regelung Tier II (Abgasnorm) sowie die für 2016 geplante Verschärfung der Regelung nach Tier III aufgezeigt.

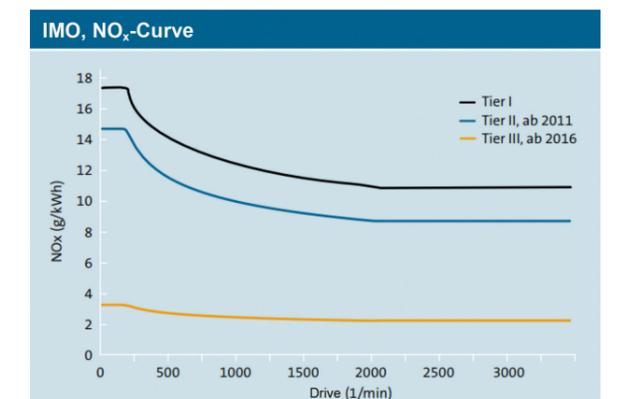


Abb. 2: Grenzwerte für Stickoxid-Emissionen [Quelle: IMO]