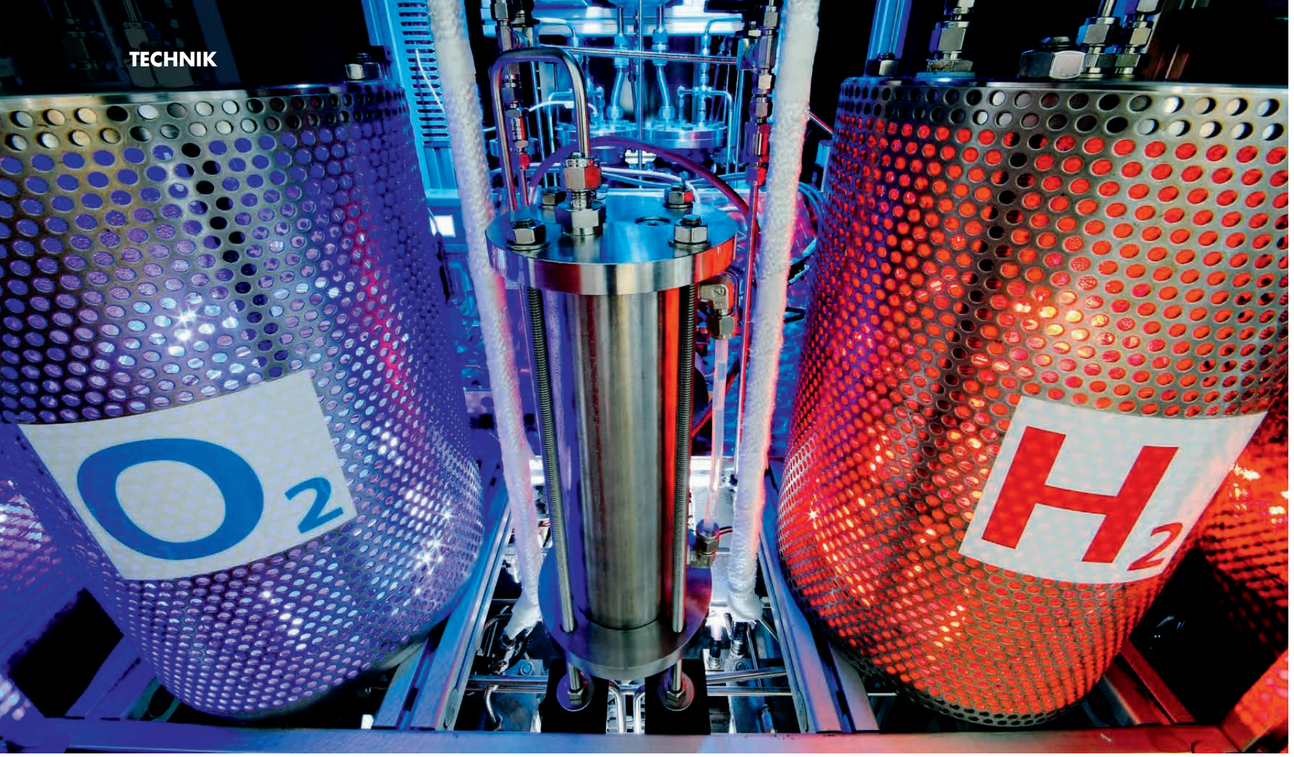


FOTO: DLR/THOMAS ERNSTING

Neue Reaktionsräume

Auch in die Antriebs- und Versorgungswelten von Großyachten hält vermehrt die Chemie Einzug. Werften implementieren Brennstoffzellen, die sich aus Wasserstoff speisen. Über 50 Meter wird auf Methanol als Energieträger gesetzt.

Text Sören Gehlhaus

Dass die Dekarbonisierung auch im Yachting weiter voranschreitet, wurde höchste Zeit. Dass der libysche Diktator Muammar al-Gaddafi mit den Begriffen Wasserstoff, Brennstoffzelle und Yacht in Verbindung gebracht werden würde, war hingegen nicht abzusehen. Seine Sunseeker 95 Predator strandete nach einem Riffkontakt im Jahr 2008 in einer maltesischen Werft und wurde von seinen Erben an Green Yacht veräußert. Das norwegische Unternehmen fand in dem Kasko, was es suchte: hohes Geschwindigkeitspotenzial, einen großen Motorenraum – und nahm das Medienecho, das der schillernde „Revolutionsführer“ auch über seinen Tod hinaus auslöst, natürlich gern in Kauf. Der 28,75 Meter lange und 2005 gelaunchte GFK-Bau erreichte Bergen vor einem Jahr. Derzeit wird „Che Guevara“ zu „Hydrogen Viking“ umgebaut und erhält statt der zwei MTU-Sechzehnzylinder und der beiden Generatoren nun E-Motoren, Batteriebank und „mehrere Megawatt“ starke Brennstoffzellen von Toyota. Den nötigen Wasserstoff will man achtern in Drucktanks lagern und über eine gläserne Lazarette in Szene setzen. Gestalterisch betreut der in Bergen ansässige Designer Rory Coase das Umbauprojekt, bei dem der Salon in einen Konferenzraum für bis zu 30 Personen umgewandelt wird. Denn ab dem Sommer soll „Hydrogen Viking“ als schwimmender Showroom Refitkunden zu Green Yacht nach Norwegen lotsen.

Statt zwei Dieseln stehen E-Motoren, Batteriebank und Brennstoffzellen im Motorenraum

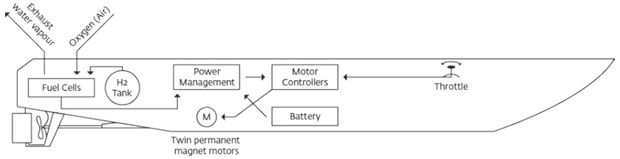
Ehrgeiziges Refit: Die Sunseeker 95 Predator gehörte Muammar al-Gaddafi und wird von Green Yacht in eine emissionsfreie Yacht umgewandelt. Eine gläserne Lazarette macht das Direkt-Wasserstoff-System sichtbar.

Bereits Aufträge schreibt das französische Start-up Hynova, das sein 40-Fuß-Modell als erstes seriengefertigtes Wasserstoffsportboot der Welt vermarktet. Gründerin ist Chloé Zaied aus Marseille, der ihre Arbeit als Kapitänin für Ausflugsfahrten in den Nationalpark Calanques die Notwendigkeit eines emissionsfreien Antriebs bewusst machte. Unter der achterlichen Sonnenliegefläche der Hynova 40 befinden sich 22,5 Kilogramm Wasserstoff in drei zylindrischen Behältern. Eine schlankere Lösung bietet die Hynova 42, deren Antriebsstrang dezent im bauchigen Rumpf abtaucht. Das Design von Chloé Zaied hat den Tender -und Chaseboat-Markt im Blick, entsteht in La Ciotat und will mit 150 Seemeilen Maximalreichweite sowie 30 Knoten Topspeed überzeugen.

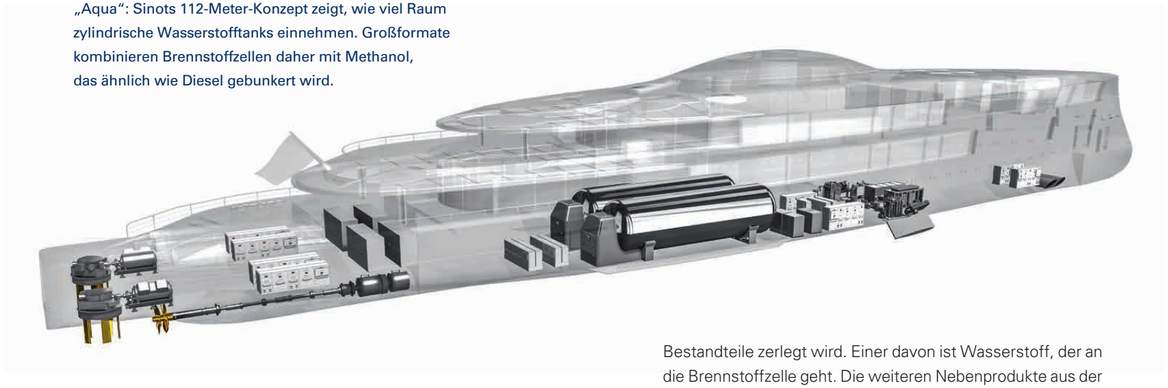
Seriengefertigte Sportboote tanken bereits Wasserstoff

Hynova nutzt marinisierte Brennstoffzellen mit 80 Kilowatt Leistung von EODev, die zur Wirkungsgradsteigerung mit Batterien kombiniert werden. Der kommerzielle Ableger des „Energy Observer“-Katamarans entwickelt seine Stromquellen gemeinsam mit Toyota, dem japanischen Wasserstoffprimus auf der Straße und Anteilseigner von EODev. Leistungsärmere Brennstoffzellen, etwa von Efoy, sind seit über zehn Jahren am Markt und verrichten zusätzliche Stromdienste auf zahlreichen Segelbooten.

Sobald auf großen Motorformaten mit externen Wasserstofftanks gearbeitet wird, stößt man schnell an Volumengrenzen. Besonders deutlich machen das die wenigen reinen Wasserstoffkonzepte, wie das 2018 von Espen Øino und Viareggio Superyachts vorgestellte 65-Meter-Projekt „Waterecho“ oder Sinots futuristische 112-Meter-„Aqua“. Es gab sie aus guten Gründen ausschließlich in virtueller Form. Die H2-Zylinder sind zwar leichter als Dieselbunker und wären längsschiffs flexibel anzuordnen, würden sich jedoch über zwei Decks erstrecken und einen gravierenden Verlust von Interiorfläche bedeuten – selbst wenn Wasserstoff wie üblich mithilfe von hohem Druck komprimiert wird. Zur See wäre das mit 350 Bar möglich, die Automobilindustrie darf Tanks für eine 25-prozentige Kapazitätserhöhung mit 700 Bar betreiben. Nicht zu vernachlässigen ist die Energie, die für die Kompression benötigt wird. Die flüssige Wasserstoffspeicherung bei minus 253 Grad Celsius kommt auch nicht infrage, da die Energiedichte dann immer noch siebenmal geringer als bei Diesel ist.



„Hydrogen Viking“: In Bergen wird al-Gaddafis Ex-„Che Guevara“ derzeit umgerüstet. E-Motoren ersetzen die MTUs. Neben Wasserstofftanks und Toyota-Brennstoffzellen befinden sich zur Wirkungsgradsteigerung auch Batterien an Bord.



„Aqua“: Sinots 112-Meter-Konzept zeigt, wie viel Raum zylindrische Wasserstofftanks einnehmen. Großformate kombinieren Brennstoffzellen daher mit Methanol, das ähnlich wie Diesel gebunkert wird.

Da Direkt-Wasserstoff-Systeme für energiehungrige wie Wohnflächen-orientierte Superyachten ausscheiden, bleibt die Konzentration auf die Basiskomponente, die Brennstoffzelle (Kasten). Als Bunkerstoff haben Großyachtwerften wie Lürssen Methanol für sich entdeckt. Der einfache Alkohol ist bei Normalbedingungen flüssig – und somit in der Lagerung vergleichbar mit Diesel. Der Flammpunkt ähnelt dem von Benzin. An Bord durchläuft Methanol einen Reformer, wo er erhitzt und in seine Bestandteile zerlegt wird. Einer davon ist Wasserstoff, der an die Brennstoffzelle geht. Die weiteren Nebenprodukte aus der Methanol-Dampfreformierung – die die Abwärme der Brennstoffzelle nutzt – sind Sauerstoff und Kohlendioxid, die beide in die Luft entweichen. Keinerlei Treibhausgase werden bei der Verwendung von grünem, klimaneutralem Methanol emittiert.

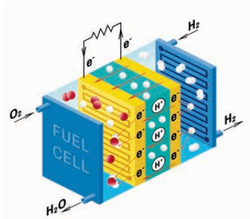
Lürssen geht den „Methanol-Brennstoffzellen“-Weg nicht allein. Entgegen der sonst so diskreten Kommunikationspolitik bezüglich laufender Projekte gab Peter Lürßen Anfang 2021 bekannt, dass sich ein Eigner diese Technologie in einem Neubau wünscht. Ein landseitiger Teststand steht kurz vor der Inbetriebnahme, die Ablieferung der „Wasserstoffyacht“ hat Lürssen fest im Blick. Die Bremer haben sich mit Freudenberg Sealing Technologies einen Partner ausgesucht, der wie die Werft Teil des Forschungsverbunds Pa-X-ell 2 ist und über 30 Jahre Erfahrung mitbringt. Aus Weinheim am Rhein kommen vorgefertigte Systemeinheiten aus Brennstoffzellenstacks mit einem Megawatt Leistung, Reformer und Steuerungselektronik sowie allen Leitungen. Die elektrische Energie speist den E-Antrieb und das Bordnetz – emissionsneutral sowie geräusch- und vibrationsarm. Aus Gründen der Reichweitengarantie und Routenflexibilität agieren die Brennstoffzellen aber noch komplementär zu Dieselgeneratoren.

Wasserstoffboote: 80-Kilowatt-Brennstoffzelle und zwei E-Motoren bringen die Hynova 40 auf 26 Knoten (u.). Das 42-Fuß-Modell kaschiert die H2-Tanks.

Brennstoffzellen halten auf Großyachten Einzug

Ein ähnliches Hybridsystem aus Flüssigerdgas (LNG) als Primärenergieträger und Brennstoffzellen von Freudenberg fährt demnächst auf der „Aida Nova“. Den 337 Meter langen Kreuzfahrer rüstete die Meyer-Werft Ende 2020 mit einer Heavy-Duty-Anwendung nach, für die man mit mehr als 35 000 Betriebsstunden rechnet. Ein Anwendungsbeispiel für eine 50-Meter-Yacht will Sanlorenzo 2024 liefern. Für die Wasserstoffyacht, die der Vorstandsvorsitzende Massimo Perotti in Auftrag gab, kooperieren die Italiener mit Siemens Energy und verfolgen einen ähnlichen Ansatz wie Lürssen: Sie setzen auf Methanol, aus dem ein vorgeschalteter Reformer die zwischengespeicherte Energie wieder in Wasserstoff zurückverwandelt und an eine Brennstoffzelle abgibt. Paolo Bertetti, Vizepräsident von Sanlorenzos Entwicklungsabteilung, gibt einen Ausblick auf den Maßstab und rechnet vor: „Eine 50 Meter lange Yacht müsste 5000 bis 6000 Liter Methanol mitführen, um die Hotellast für eine Woche abdecken zu können.“ Yachten dieser Länge bunkern momentan in etwa die zehnfache Menge Diesel für Antrieb und Bordnetz. Es gehe darum, die Dieselelektrik während Standzeiten, etwa unter Anker, zu ersetzen und nicht zu Propulsionszwecken zu unterstützen. Bertetti unkt: „Einen Brennstoffzellen-Hauptantrieb wird es nicht vor 2030 geben.“

Die Brennstoffzelle



Zellsicht: Sauerstoff (O2) trifft auf Wasserstoff (H2).

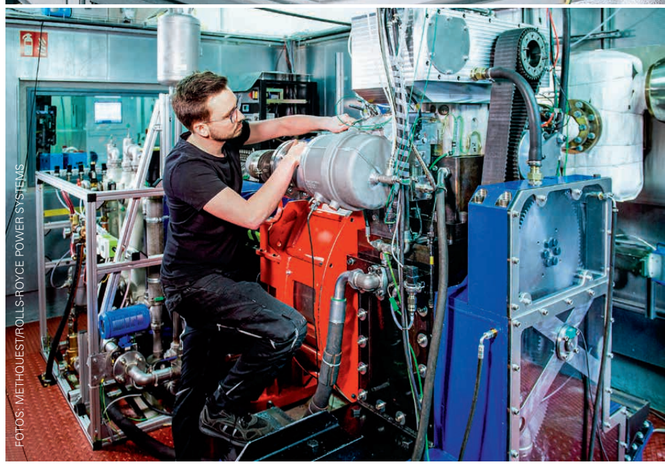
GRAFIK: ADOBE STOCK

Sie funktioniert ähnlich wie eine Batterie. Zwei Elektroden (Anode und Kathode) werden durch eine Membran in zwei Halbräume getrennt. In den einen strömt Wasserstoff ein, in den anderen Sauerstoff. Der Wasserstoff wird in seine Bestandteile zerlegt: zwei Elektronen und zwei Protonen. Die Protonen gelangen durch die Membran in den anderen Halbraum, in den Sauerstoff einströmt. Um auf die Sauerstoffseite zu gelangen – dort herrscht Elektronenmangel –, werden die Elektronen über einen äußeren Stromkreis geschickt. Gleichstrom fließt. Die Spannung pro Zelle beträgt aber nur etwa ein Volt. Um mehr Strom zu erzeugen, werden die Zellen übereinander zu einem „Stack“ gestapelt. Laut Brennstoffzellenhersteller Freudenberg benötigt man für eine Leistung von 80 Kilowatt um die 4000 Einzelzellen.

Nachfrage nach grün hergestelltem Methanol steigt

Es gibt mit Methanol also einen Wasserstoffträger, der dank seiner unkomplizierten Lagerung auch für Großyachten die Nutzung von Brennstoffzellen interessant macht. Die Stromerzeuger im Schrankformat sind skalierbar und damit so leistungsstark geworden, dass sie Propulsion und Bordnetz abdecken könnten. Was fehlt, sind Erfahrungswerte – und Methanol, das grün ist. Doch die Nachfrage steigt und kommt auch aus einem Sektor, der weltweit zu den größten CO2-Emittenten zählt: der Containerschifffahrt, die bis 2050 klimaneutral sein will. Die dänische Maersk-Reederei erwartet ab 2024 zwölf Frachter, deren MAN-Aggregate sowohl mit Diesel als auch direkt mit Methanol laufen. Der Betrieb mit grauem Methanol hätte CO2-Ausstoß zur Folge, aber weniger Feinstaub und Luftschadstoffe. Mit einem Konsortium will man daher grünes Methanol herstellen, von dem jährlich aber 450 000 Tonnen benötigt werden. Zum Vergleich: Der größte Methanolproduzent Europas, die Total-Raffinerie in Leuna, produziert im Jahr 700 000 Tonnen graues Methanol, also auf Basis fossiler Rohstoffe. Der französische Konzern weihte in Sachsen-Anhalt jüngst einen Ein-Megawatt-Elektrolyseur ein, und der Gaskonzern Linde will in Leuna mit dem weltgrößten PEM-Wasserstoff-Elektrolyseur mit 24 Megawatt Leistung pro Jahr 3200 Tonnen grünes Methanol erzeugen. Auch Rolls-Royce Power Systems mischt als Teil des MethQuest-Projekts bei der Methanolherstellung mithilfe erneuerbarer Energiequellen mit. Man will die Verfügbarkeit speziell in Häfen erhöhen und die Verbreitung der neuen Methanol-Motoren von MTU vorantreiben. Rettung naht eventuell von oben. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) arbeitet in Jülich daran, mithilfe der weltgrößten künstlichen Sonne kostengünstig Wasserstoff zu erzeugen. Daraus könnte grünes Methanol oder synthetischer, CO2-neutraler Diesel gewonnen werden. Es bräuchte dann Solarthermie-Anlagen in sonnenreichen Ländern, die ohne Strom und ausschließlich mit Licht laufen.

Durch Methanol wird die Brennstoffzellentechnologie auch für Großyachten interessant



FOTOS: METHQUEST/ROLLS-ROYCE POWER SYSTEMS

Laborbedingungen: Bei der Methanisierung (o.) wird Wasserstoff zu erneuerbarem Methan. Rolls-Royce Power Systems prüft auf einem Einzylinderprüfstand die Wasserstoffmotor-Technologie. Das Ziel sind Methanol-Motoren von MTU.

Innovations-affin: Der Lürssen-Geschäftsführer Dr. Justus Reinke steht auch der F&E-Abteilung vor und betreut den ersten Brennstoffzellenbau in der Werftgeschichte.

„Reine Brennstoffzellen-yacht in zehn Jahren“

Dr. Justus Reinke ist seit vier Jahren einer von vier Geschäftsführern der Lürssen-Yachtsparte. Als Verantwortlicher für den Bereich Technologie und Innovation ist der 40-jährige Wirtschaftsingenieur erster Ansprechpartner für den 2025 zu erwartenden „Wasserstoff-Neubau“.

Interview Sören Gehlhaus

Zur erfolgreichen Implementierung neuer Technologien gehören starke Partner. Wie sind Lürssen und der Brennstoffzellen-Lieferant Freudenberg zusammengekommen?
Für unser Brennstoffzellenvorhaben Pa-X-ell waren wir 2018 auf der Suche nach einem kompetenten Brennstoffzellenpartner. Wir haben Freudenberg aufgrund der langjährigen Erfahrung mit Brennstoffzellen und deren Komponenten ausgewählt. Ihr Fokus liegt auf Heavy-Duty-Anwendungen, also auf Systemen mit erhöhten Lebenszeit- und Effizienzanforderungen. Gleichzeitig profitiert Freudenberg von der Innovationskompetenz der Lürssen-Gruppe. Wir erhalten ein Gesamtsystem, das auch den Reformer enthält, der an Bord Wasserstoff aus Methanol gewinnt – eine technisch sehr aufwendige Schnittstelle. Freudenberg kann zudem bei Bedarf auch Batterien liefern und übernimmt somit Verantwortung für das Gesamtsystem. Diese Zusammenarbeit geht mittlerweile über Pa-X-ell hinaus und betrifft konkrete Aufträge.

Der Motorenraum wird zum Reaktionsraum.
In Zukunft wird es deutlich weniger mechanisch beanspruchte Teile geben. Das hat auch positive Auswirkungen auf Lebenszykluskosten und auf Freiheitsgrade im Entwurf. Auch was die dezentrale Platzierung der einzelnen Komponenten angeht. ‚Motorenräume‘ von ausschließlich mit Brennstoffzellen betriebenen Yachten werden kleiner ausfallen als die von Dieselaggregaten. Systeme wie Schalldämpfer und Abgasnachbehandlung werden entfallen. Zudem haben wir es heute mit sehr großen Schächten zu tun, um Luft und Abgas zu bewegen. Die könnten in Zukunft kleiner ausfallen.

Lürssen hat vor knapp einem Jahr Pläne für einen Teststand präsentiert. Wann geht dieser ans Netz?
Die neueste Generation von Freudenbergs Brennstoffzellen befindet sich in der Prototypen-/Vorserienphase. Ziel ist, die Energiedichte zu erhöhen. Teilnehmer am Pa-X-ell-Projekt haben schon Versuche mit Vorserienmodellen durchgeführt, und es gibt an Land Systeme, die bereits sehr lange Testzeiten absolviert haben. Die Entwicklung und der Bau des Teststands bei Lürssen sind abgeschlossen. Sobald Freudenbergs Gesamtsystem zertifiziert und abgenommen ist, kann die Brennstoffzelle in den Teststand integriert werden. Die volle Betriebsbereitschaft soll Mitte des Jahres erreicht sein.

Wie viele Brennstoffzellen wird Lürssens „Wasserstoffyacht“ erhalten, und welchen Output werden diese haben?
Entscheidend ist die Höhe des Leistungsbedarfs und damit die Yachtgröße. Der Einsatz von Wasserstoff-Brennstoffzellen mit Methanol-Reformation schließt ein entsprechendes Stromnetz, bekannt von der Dieselelektrik, und eine elektrische Antriebskomponente ein. Auf dem Weg zur reinen Brennstoffzellenyacht könnten wir im Zuge steigender Verlässlichkeit Dieselgeneratoren sukzessive durch Brennstoffzellen ersetzen, die einfach skalierbar sind. Für unser im Bau befindliches Projekt planen wir mit zwei jeweils 500 Kilowatt starken Brennstoffzellensystemen. Mit einem Megawatt Leistung sind 1000 Seemeilen bei niedriger Geschwindigkeit oder 15 Tage CO2-neutral vor Anker möglich.

An Bord wird Wasserstoff aus Methanol gewonnen. Wo und wie wird der flüssige Brennstoff gelagert?
Die Tanks können wir ähnlich wie für Diesel in den Doppelboden integrieren. Da Methanol bei Umgebungstemperatur flüssig ist, kann der Tank der Schiffsstruktur folgen und den Platz optimal ausnutzen. Das ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber Wasserstoff, der flüssig sehr kalt oder gasförmig in großen Drucktanks gelagert werden muss. Der benötigte Platz würde nicht im Verhältnis zur Energiedichte stehen. Das Handling von Methanol ist relativ einfach, und der Flammpunkt ist vergleichbar mit dem von Benzin. Auch das Gefahrenpotenzial für Meeresgewässer ist bei Methanol geringer als bei Diesel oder Benzin. Wenn Methanol mithilfe erneuerbarer Energien hergestellt wird, ergibt sich ein CO2-neutraler Zyklus. Das CO2, das in diesem grünen Methanol gebunden ist und bei der Wasserstofferzeugung frei wird, wurde zuvor der Atmosphäre entnommen.

Wie stellt sich die Bunkersituation von Methanol dar?
Methanol ist heute überall verfügbar und ein Vor- oder Nebenprodukt vieler industrieller Prozesse. Die Verfügbarkeit ist hoch, wobei graues, nicht CO2-neutral erzeugtes Methanol den Markt heute noch dominiert. Es gibt aber eine klare Entwicklungsrichtung hin zu grünem Methanol. Es entstehen verschiedene Konsortien, die sich der Erzeugung und der Verfügbarkeit in Häfen widmen. Die Maersk-Reederei oder das MethQuest-Projekt seien hier stellvertretend genannt.

Wie groß sind die Methanol-Reformer?
Sie sehen im Prinzip wie Schaltschränke aus und haben etwa die Größe von einem Brennstoffzellenstack. Ein Reformer versorgt eine 500-Kilowatt-Einheit, bestehend aus fünf 100-Kilowatt-Stacks, mit Wasserstoff.

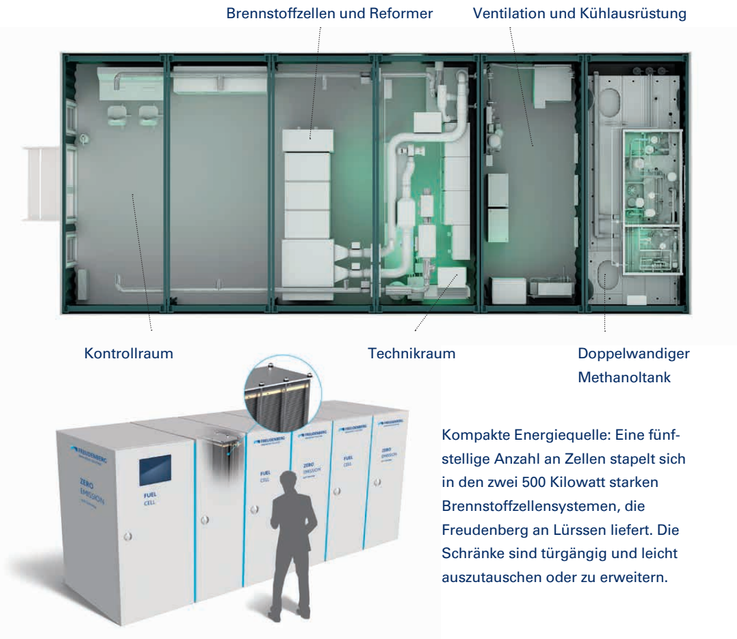
Wie benutzerfreundlich und wartungsintensiv ist das Brennstoffzellensystem?
Ähnlich wie bei dieselelektrischen Yachten werden Erste Ingenieure auch hohe elektrotechnische Kompetenzen und Kenntnisse über den Brennstoff Methanol mitbringen müssen. Aufgrund der geringeren mechanischen Beanspruchung sind die Kurven bei Brennstoffzellen flacher. Wenn Stacks das Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben, können sie ohne Weiteres ersetzt oder erweitert werden, da die Schränke türgängig sind. Wir gehen davon aus, dass über einen gewissen Zeitraum die Wartungskosten im operativen Betrieb niedriger sein werden.

„In Kundengesprächen, die wir für Neubauprojekte führen, beobachten wir schon jetzt ein großes Interesse an der Brennstoffzellentechnologie“

Während der Online-Veranstaltung „Lürssen Live!“ sagte Peter Lürßen, dass er die fossilfreie Zukunft nicht in Lithium-Ionen-Batterien sieht. Wie sehen Sie das?
Batterien sind an Bord als reine Energiespeicher unglaublich groß und schwer. Ihre Energiedichte sprengt jedwede sinnvolle Anforderung, sie können kein reiner Energiepfad für Yachten sein. Eine Form der Energiespeicherung wird in Ergänzung zur Brennstoffzelle jedoch immer nötig sein, da die Brennstoffzelle relativ träge ist, und dafür sind Batterien nötig. Für Yachten eignen sich Batterien aber derzeit nicht als Primärenergiequelle.

Lürssen hat 1886 das weltweit erste Motorboot mit Verbrennungsmotor gebaut. Wann wird die erste fossilfrei angetriebene Großyacht Realität sein?
Erst einmal konzentrieren wir uns auf die erfolgreiche Ablieferung unserer ersten Yacht mit Brennstoffzellentechnologie. Wir beobachten bereits jetzt schon ein großes Interesse in den Kundengesprächen, die wir für Neubauprojekte führen. Gemeinsam mit Freudenberg haben wir die Vision, uns in Richtung einer reinen Brennstoffzellenyacht zu entwickeln. Unser Ziel ist es, in spätestens zehn Jahren derlei Projekte realisieren zu können.

Der Teststand von Lürssen



Kompakte Energiequelle: Eine fünfstellige Anzahl an Zellen stapelt sich in den zwei 500 Kilowatt starken Brennstoffzellensystemen, die Freudenberg an Lürssen liefert. Die Schränke sind türgängig und leicht auszutauschen oder zu erweitern.