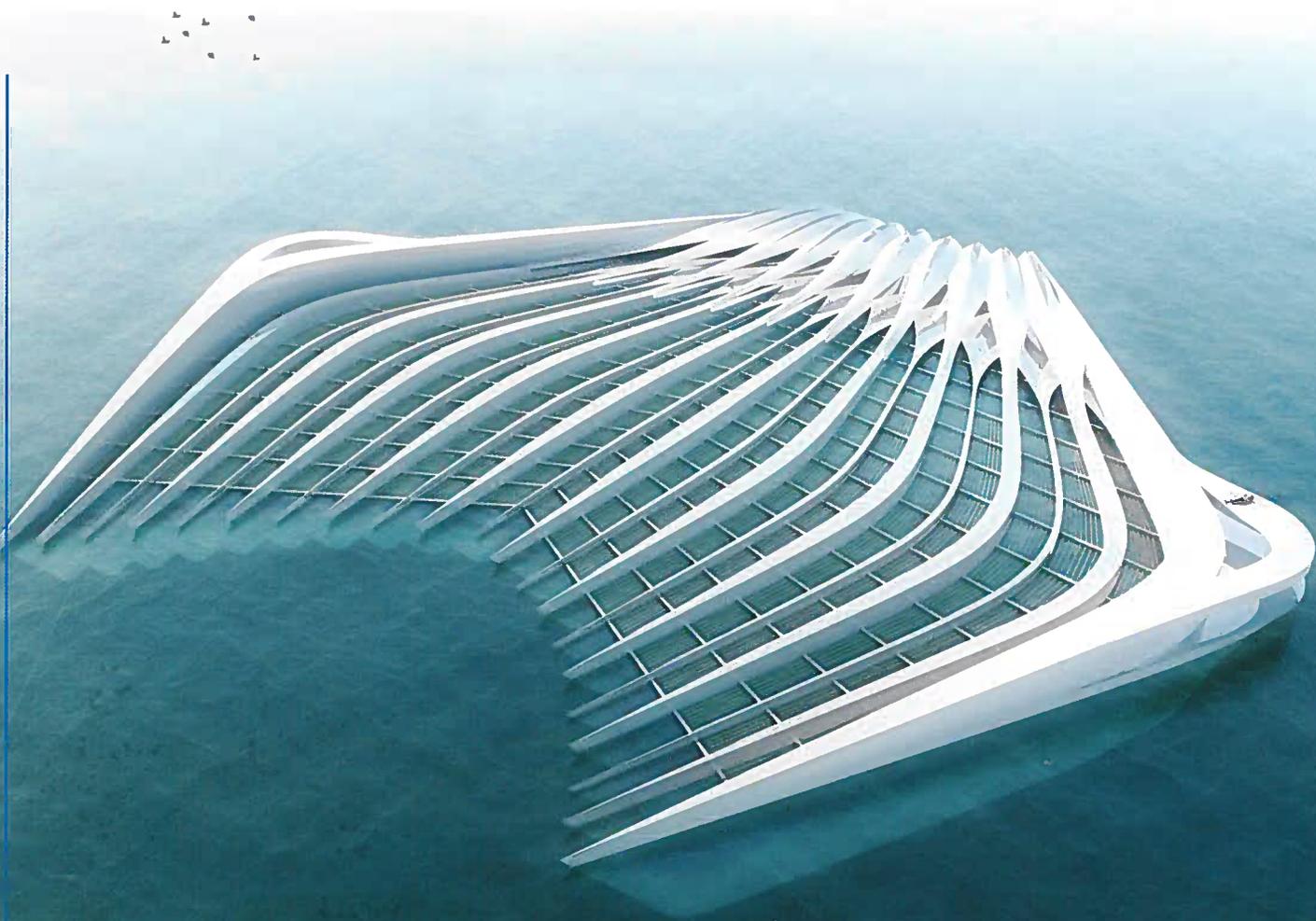


03/2019

# VDE *dialog*

DAS TECHNOLOGIE-MAGAZIN



## Meer

Technologie und Umwelt

## ALTERNATIVE SCHIFFSANTRIEBE

# SAUBER ZUR SEE

Die meisten Schiffe verbrennen heute giftiges Schweröl als Treibstoff. Die Luftverschmutzung ist enorm. Ingenieure arbeiten deshalb an alternativen Schiffsantrieben wie Brennstoffzellen oder riesigen Segeln. Dank strengerer Abgasvorschriften könnten sie bald Wirklichkeit werden.



Ein Segelschiff ohne Segel: Die Umsetzung dieser Idee erweist sich jedoch als schwieriger als von dem norwegischen Schiffskonstrukteur Terje Lade gedacht.

VON TIM SCHRÖDER

Kreuzfahrtschiffe gehören zu den wohl imposantesten Meeresriesen. Bis zu 20 Decks ragen sie auf, so hoch wie Wohnblöcke. Sie sind mehr als 300 Meter lang und fast so breit wie der „Arc de Triomphe“ in Paris. Ginge es nach der japanischen Nichtregierungsorganisation Peace Boat, dürften die Kreuzfahrtriesen künftig noch faszinierender daherkommen. Peace Boat organisiert seit mehr als 30 Jahren Kreuzfahrten für politisch engagierte Menschen. Bislang sind sie mit einem konventionellen Kreuzfahrtschiff unterwegs. Vor Kurzem aber hat Peace Boat ein ganz neues Konzept vorgestellt: Ein Schiff für 3000 Passagiere mit einer runden Schnauze, die ähnlich wie bei einem Wal den Wasserwiderstand minimieren soll. Von den oberen Decks ragen zehn stählerne Segel auf, die mit glänzenden Solarzellen überzogen sind. Das Schiff soll mit sauberem Flüssiggas angetrieben werden – anders als die meisten anderen Schiffe, die heute giftiges Schweröl verbrennen. Scheint die Sonne und weht der Wind aus der richtigen Richtung, dann lasse sich der Kohlendioxidausstoß mithilfe der Segel und Solarzellen im Vergleich zu einem herkömmlichen Schiff um bis zu 40 Prozent reduzieren. Der Stapellauf sei für 2020 geplant, heißt es derzeit bei Peace Boat. Ob das Schiff tatsächlich gebaut wird, ist aber nicht bekannt.

Man darf gespannt sein, denn in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten haben Ingenieure immer wieder pfiffige Entwürfe für alternative Schiffsantriebe präsentiert. Viele Projekte aber kamen trotz großer Erwartungen nicht über den Prototyp hinaus. Vor drei Jahren zum Beispiel stellte der Schiffingenieur Terje Lade aus der westnorwegischen Stadt Ålesund das „Vindskip“, Windschiff, vor – den Entwurf eines großen Autofrächters mit einem Schiffsrumpf in Tropfenform, bei dem der Bug wie das schlanke Profil eines Windradflügels aufragt. Strömt der Wind schräg von vorn am Rumpf entlang, entsteht wie bei einem Flügel ein Sog, der das Schiff vorantreibt. Mit einer Simulation konnten die Norweger zeigen, dass der schnittige Autotransporter auf einer typischen Transpazifik-Route zwischen Japan und Südamerika satte 60 Prozent Treibstoff einsparen kann, sofern er die Nase optimal in den Wind dreht. Doch bis heute gibt es nur Entwürfe. Offenbar ist es schwer, Reederei von radikal neuen Konzepten zu überzeugen, denn die Schiffsbranche ist konservativ. Immerhin ist ein Schiff bis zu 30 Jahren im Dienst.



Möglichst umweltfreundlich um die Welt: Als erstes großes Containerschiff wird derzeit die „Sajir“ (l.) auf Erdgasbetrieb (LNG) umgerüstet. Das Gas verbrennt deutlich sauberer als Schweröl oder Diesel. Auch das neue „Peace Boat“ (r.) soll künftig mit LNG fahren. Zudem sollen große Segel mit Solarzellen den Treibstoffverbrauch verringern.

Auf der anderen Seite sind alternative Schiffsantriebe derzeit gefragter denn je. Zum einen, weil sich das Öl in den kommenden Jahrzehnten verknappen wird. Zum anderen zieht die Internationale Seeschiffahrtsorganisation in London, die International Maritime Organisation (IMO), den Schiffseignern in Sachen Umweltschutz langsam die Daumenschrauben an: Erstmals in der Geschichte der Seefahrt setzt sie jetzt strenge Schadstoffgrenzwerte für Schiffe durch. Und so werden aktuell viele alternative Schiffsantriebe und Treibstoffe diskutiert: Batterien, Brennstoffzellen und Wasserstoff, Flüssigerdgas, Methanol oder sogar Sonnensegel wie beim neuen Peace Boat.

### Was bei Fähren funktioniert, ist auf hoher See nur bedingt einsetzbar

Sicher ist, dass es künftig nicht mehr den einen Treibstoff für alle Schiffe geben wird – so wie heute das Schweröl oder den Diesel. Denn jede neue Antriebstechnologie, jeder neue Treibstoff hat seine Stärken und Schwächen. Batteriebetriebene Motoren etwa eignen sich insbesondere für Fähren, nicht aber für Schiffe im Transatlantikbetrieb. Für

die Fahrt auf hoher See müssten Schiffe mit riesigen Batterien ausgestattet werden, weil sie unterwegs nicht nachgeladen werden können. Eine Fähre hingegen legt regelmäßig an, womit zumindest ein kurzes Laden möglich ist. Wie das aussieht, zeigt seit einigen Jahren der norwegische Fährbetreiber Norled, der inzwischen mehrere Linien vom Diesel- auf Elektroantrieb umgestellt hat.

Die „Ampère“ war die erste große Elektrofähre weltweit, die 2015 zu Wasser gelassen wurde. Sie transportiert bis zu 360 Passagiere und 120 Autos und kreuzt 34-mal pro Tag den Sognefjord unweit von Bergen. Während das Schiff am Anleger liegt und die Passagiere aus- und einsteigen, lädt die Bordelektronik die Lithium-Ionen-Akkus im Schiffsrumpf. Zehn Minuten dauert ein solcher Stopp. Währenddessen werden große Mengen Strom in die Bord-Akkus gepumpt. Norled und die Firma Siemens, die den Antrieb und die Ladetechnik entwickelt hat, standen deshalb zunächst vor einem Problem: Die Fähre saugt beim Schnellladen während der kurzen Zwischenstopps so viel Energie aus dem schwachen Stromnetz der Fjord-Dörfer, dass in den Häusern ringsum die Elektroherde und Waschmaschinen ausgehen würden. Daher installierte

man an den Anlegern zusätzliche Akkustationen als Puffer. Der Strom stammt übrigens von Wasserkraftwerken in der Umgebung.

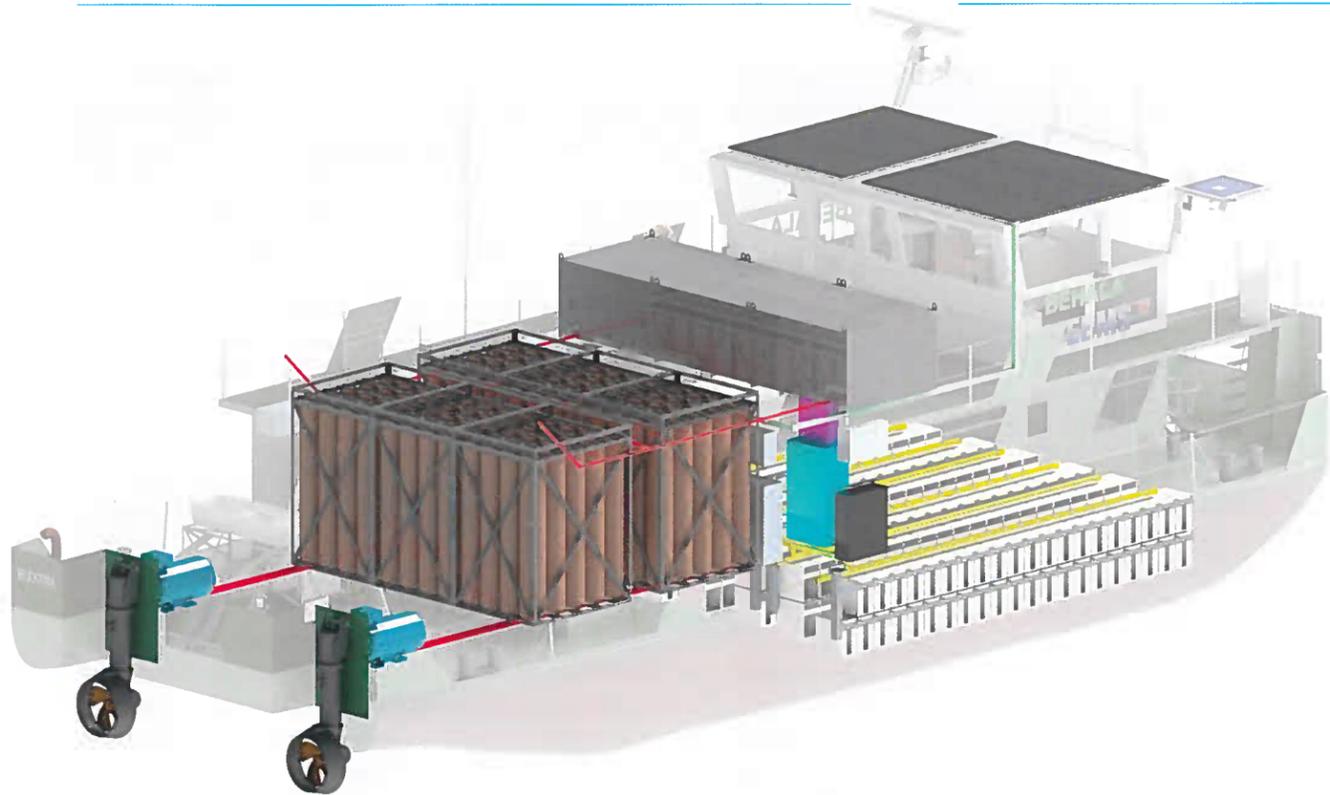
Überhaupt ist Norwegen bei den Elektrofähren inzwischen führend. In dem EU-Projekt „TrAM“, an dem unter anderem der Schiffsmotorenhersteller Wärtsilä beteiligt ist, entsteht derzeit ein Konzept für Schnellfähren. Solche Schnellfähren verbinden ähnlich wie Stadtbusse die vielen Inseln an der zerklüfteten norwegischen Küste. Sie fahren feste Haltepunkte an oder stoppen nach Bedarf, wenn die Bewohner einer Insel eine Signalflagge hissen. In den Gewässern um Stavanger dröhnen Schnellfähren bislang mit Dieselmotoren und flotten 25 Knoten dahin – fast 50 Kilometern pro Stunde. In TrAM sollen jetzt für Stavanger erstmals derart flotte Elektro-Schnellfähren entwickelt werden. Die Herausforderung besteht darin, dass die Schnellfähren anders als die Ampère kaum Zeit zum Zwischenladen haben. Die Schiffe machen nicht fest, sondern gehen am Steg einfach längsseits, während die Passagiere an Bord gehen. Ein Törn dauert 150 Minuten. Dann gibt es eine kurze Pause von 15 Minuten. „Um so hohe Geschwindigkeiten für die Strecke zu erreichen, müssen gro-

ße Batterien an Bord sein, die rund 20 Tonnen wiegen“, sagt Tobias Seidenberg, Forscher am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn – einem Partner im TrAM-Konsortium. Um diese während der 15-Minuten-Pause nachzuladen, wird eine Leistung von rund zwei Megawatt benötigt – genug, um 600 Haushalte mit Strom zu versorgen. „Bislang gibt es aber weder eine entsprechende Ladeelektronik noch entsprechende Stecker oder Kabel, die in so kurzer Zeit eine so große Leistung bewältigen können und für diese Anwendung geeignet sind“, so Seidenberg.

### Schiffsdesign der Zukunft darf nicht allein vom Rumpf her gedacht werden

Zum Vergleich: Kreuzfahrtschiffe werden heute in einigen Häfen von Land aus mit Strom versorgt, damit sie ihre rauchenden Motoren abstellen können. Die einzelnen Kabel haben eine ähnliche Leistung, sind aber so dick wie ein Oberschenkel und zu schwer, um per Hand bewegt zu werden. Ein solches Kabel wäre in Stavanger nicht praktikabel. „Das besondere an TrAM ist, dass wir die Fähre völlig neu konzipieren“, sagt Christoph Jürgenhake, Projektleiter am Fraunhofer IEM. „Normalerweise denkt man das Schiffsdesign vom Rumpf her – für einen bestimmten Zweck gibt es einen optimalen Rumpf, daran wird alles andere angepasst. Diesen klassischen Ansatz stellen wir jetzt in unserem neuen Produktentstehungskonzept auf den Kopf – wir überlegen, welche Funktionen das Schiff erfüllen muss, vor allem in Sachen Batterie, Ladetechnik und Landanbindung – und bauen davon ausgehend das Design mit Ansätzen des Model Based Systems Engineering neu auf.“ Im nächsten Jahr soll das Konzept vorliegen.

In Deutschland wiederum denkt man darüber nach, die rauchenden Binnenschiffe zu elektrisieren, die in Städten wie Köln wesentlich zur Luftverschmutzung beitragen. Im Projekt „Elektra“ entwickeln Forscher von der TU Berlin zusammen mit Firmen ein Schubboot, das künftig Kähne von Hamburg nach Berlin und zurück transportieren soll. Der Baubeginn ist für Ende 2019 vorgesehen. Die „Elektra“ wird mit Brennstoffzellen ausgerüstet, die Strom für die Elektromotoren liefern. Die Brennstoffzellen wiederum werden mit Wasserstoff betrieben. Um das langwierige Tanken zu umgehen, soll der Wasserstoff in Tanks auf Spezialcontainern angeliefert werden. Die leeren Container an Bord werden dann zügig gegen die vollen ausgetauscht. An einen Einsatz von Brennstoffzellen auf größeren Schiffen denken auch Experten der Firmen ABB und Ballard Power Systems, die gemeinsam bestehende Brennstoffzellen-Technologien im Kilowatt-Maßstab optimieren wollen, um daraus Schiffsantriebe mit einer Leistung im Megawatt-Maßstab zu entwickeln. Mit der elektrischen Leistung



Elektrisch von Hamburg nach Berlin: Für Ende 2019 ist der Baubeginn der „Elektra“ vorgesehen, eines großen Schubbootes, das künftig Frachtkähne zwischen den Großstädten hin- und hertransportieren soll. Das Schiff wird mit Brennstoffzellen ausgerüstet, die elektrischen Strom liefern. Als Treibstoff dient Wasserstoff.

von drei Megawatt, was etwa 4000 PS entspricht, würde dieses neue System in ein einziges Modul passen, das nicht größer ist als ein herkömmlicher Schiffsmotor, der mit fossilen Brennstoffen betrieben wird.

„Der Einsatz von Wasserstoff ist aber nur sinnvoll, wenn es gelingt, ihn klimaneutral herzustellen“, bemerkt Achim Schaadt vom Fraunhofer-Institut für Erneuerbare Energiesysteme in Freiburg. „Noch stammt der meiste Wasserstoff in Deutschland aus der Petrochemie, also aus Erdöl. Nur wenn man ihn mithilfe von Ökostrom über Elektrolyse produziert, wird ein Schuh daraus.“ Doch auch Öko-Wasserstoff wird künftig nicht die Patentlösung für die gesamte Schifffahrt sein – schon gar nicht für Riesen wie Containerschiffe oder Massengutfrachter, die bei einem Törn viele Tausend Kilometer zurücklegen. Das Problem: Für eine Ozeanquerung lässt sich nicht genug Wasserstoff bunkern, weil der auf das Volumen bezogene Heizwert von Flüssig-Wasserstoff vergleichsweise klein ist – etwa viermal geringer als der von Benzin. Und je größer die Tanks sind, desto weniger Platz bleibt für die Fracht. Für viele Reeder ein schlagendes Argument. Hinzu kommt: Die weltweit für die Schifffahrt benötigten Wasserstoffmengen wären gigantisch. Immerhin verbrennen Schiffe heute in jedem Jahr 400 Millionen Tonnen Flüssigtreibstoff.

Die bessere Lösung wären für Achim Schaadt deshalb umweltfreundliche, synthetische Flüssigtreibstoffe, das sogenannte Synfuel – insbesondere Methanol. Denn diese lassen sich in ausreichender Menge an Bord speichern. Methanol verbrennt sehr sauber, da der im Molekül eingebaute Sauerstoff die Verbrennung begünstigt. Damit wäre die Luftverschmutzung, wie man sie vom Schweröl kennt, passé. Methanol lässt sich erzeugen, indem man Wasserstoff mit Kohlendioxid reagieren lässt. Künftig könnte man umweltfreundlich produzierten Wasserstoff mit Kohlendioxid aus der Atmosphäre oder aus Industrieabgasen zu Methanol verbinden.

### Industriell optimiert hergestelltes Methanol aus Freiburger Laboren

Eine kleine Demonstrationsanlage dieser Art betreiben Achim Schaadt und seine Kollegen in ihren Freiburger Laboren. Darin optimieren sie die Reaktion von Wasserstoff und Methanol. „Natürlich ist die industrielle Methanol-Synthese ein etablierter Prozess“, sagt Schaadt. „Wenn wir aber künftig Kohlendioxid aus Industrieabgasen nutzen – etwa aus Zementwerken –, dann wird die Zusammensetzung der Gase ständig schwanken. Und daran müs-

sen wir die Methanolproduktion anpassen.“ Und auch das Angebot an Wasserstoff wird schwanken – je nachdem wie viel Wind- und Sonnenstrom für die Elektrolyse zur Verfügung steht.

Derzeit bauen Schaadt und seine Kollegen zusammen mit einem Industriepartner eine größere Anlage auf, die künftig Kohlendioxid aus dem Abgas von Hochöfen im Ruhrgebiet nutzen soll. „Grünes Methanol kann man heute zu Kosten von etwa einem bis 1,5 Euro pro Liter Benzinäquivalent herstellen und ist damit schon nah an den Preisen, die es konkurrenzfähig machen“, sagt Schaadt. Seine Methanol-Zukunft ist also keine graue Theorie.

Doch für die Versorgung einer weltweiten Flotte mit derzeit rund 50.000 Handelsschiffen müsste zunächst einmal eine umweltfreundliche Methanol-Infrastruktur aufgebaut werden. Bis es so weit ist, wäre nach Ansicht vieler Experten verflüssigtes Erdgas (LNG) ein geeigneter sauberer Schiffsbrennstoff. Bei LNG, Liquefied Natural Gas, handelt es sich um Methangas, das auf minus 160 Grad Celsius tiefgekühlt und so verflüssigt wird. Die Technik ist seit Jahrzehnten erprobt. Große LNG-Tanker, die Erdgas in rohstoffarme Länder wie Südkorea und Japan liefern, werden schon immer damit angetrieben. Doch in der übrigen Schifffahrt wurde LNG kaum beachtet. Mit den neuen Reglements der Internationalen Seeschifffahrtsorganisation IMO ist der Treibstoff aber plötzlich interessant.

### Die Greenhouse Gas Strategy wirbelt die Schiffsbranche auf

Die IMO schreibt vor, die Schwefelverbindungen und Stickoxide im Abgas massiv zu senken. Waren früher Treibstoffe mit 4,5 Prozent Schwefel erlaubt, dürfen ab 2020 nur noch Treibstoffe mit 0,5 Prozent getankt, oder wie es in der Schifffahrt heißt, gebunkert werden. Und in besonders dicht befahrenen Meeresgebieten wie der Nordsee, der Ostsee und den Küstengewässern der USA und Kanadas sind schon jetzt nur noch 0,1 Prozent Schwefelgehalt erlaubt. Zudem hat die IMO im vergangenen Jahr ein Reglement erlassen, das die Schiffsbranche aufwirbelt: Mit ihrer Greenhouse Gas Strategy schreibt die IMO vor, dass Schiffe bis 2050 mindestens 50 Prozent weniger Treibhausgase als noch 2008 ausstoßen sollen. Diese Zahl ist ein Fanal, denn mit herkömmlichen Treibstoffen wird man 50 Prozent definitiv nicht erreichen können. Die Schiffsbranche ist gezwungen, auf Alternativen umzusteigen.

LNG ist heute in großen Mengen verfügbar und drängt sich damit als Alternative geradezu auf. Denn bei der Verbrennung von LNG werden 26 Prozent weniger Kohlendioxid frei als beim Schweröl. Die Stickoxidmenge verringert sich um 85 Prozent, der Ausstoß von Feinstaub gar um 95 Prozent. Und Schwefeloxide fallen gar nicht an. Na-

türlich ist auch Erdgas ein fossiler Rohstoff, der zum Treibhauseffekt beiträgt. Doch Fachleute verweisen darauf, dass LNG künftig mithilfe erneuerbarer Energien klimaneutral hergestellt werden könne – auf demselben Weg wie das Methanol aus Wasserstoff und Kohlendioxid.

### Groß, weiß und elegant: Kreuzfahrtschiffe sind Sympathieträger

Derzeit sind weltweit knapp 150 LNG-Schiffe unterwegs. Im Vergleich mit der Welthandelsflotte ist das wenig. Doch mittlerweile hat die Branche wichtige Zeichen gesetzt, die kaum mehr daran zweifeln lassen, dass LNG tatsächlich die Interimslösung auf dem Weg in eine Wasserstoff-Methanol-Zukunft sein kann. Werbewirksam wurde Anfang August 2018 die neue „AIDAnova“ gefeiert – als erstes LNG-Kreuzfahrtschiff der Welt, das der Mutterkonzern Carnival Corporation bei der Meyer-Werft in Papenburg in Auftrag gegeben hatte. Kreuzfahrtschiffe sind Sympathieträger – weiß, groß, elegant. Und deshalb wurde das LNG im Kielwasser der AIDAnova plötzlich zum großen Thema. Doch wenn es darum geht, die Schifffahrt in den kommenden Jahrzehnten gänzlich klimaneutral zu machen, ist Erdgas als fossiler Rohstoff natürlich nicht der Weisheit letzter Schluss. Gut möglich, dass die Schifffahrt neben Sonnenstrom, Methanol oder Wasserstoff zum guten alten Segel zurückkehrt. Etwa so, wie es Forscher von mehreren Hochschulen und Firmen aus Belgien, England, den Niederlanden und Deutschland im EU-Projekt „Sail“ erdacht haben. Sie haben das Konzept-Schiff „Ecoliner“ entwickelt – einen Massengutfrachter, der Erz, Getreide oder Industriegüter über die Ostsee und Nordsee transportieren könnte. Der Frachter soll vier große blattartige Segel haben, die den Treibstoffverbrauch um 30 Prozent senken würden. Die Segeltechnik ist so ausgelegt, dass sie sich einfach bedienen lässt. Das Projekt ist schon länger abgeschlossen und das Konzept so weit entwickelt, dass man das Schiff direkt bauen könnte. Zunächst hatte Volkswagen Interesse angemeldet, war aber plötzlich aus dem Projekt ausgestiegen. Doch letztlich sagt das wenig, denn im Grunde beginnt die Ära der alternativen Schiffsantriebe erst jetzt. Vielleicht steht uns die Renaissance des Segels erst noch bevor.

#### TIM SCHRÖDER

arbeitet als Wissenschaftsjournalist in Oldenburg. Seine Themenschwerpunkte sind Energie, Umwelt – und das Meer.