

# CONTAINERSCHIFFE ZU WINDSCHIFFEN UMBAUEN

## WIE EINE DEKARBONISIERTE CONTAINER-SCHIFFFAHRT OHNE E-FUELS MÖGLICH IST



Bild 1: Entwurf für ein umgebautes Ultra Large Container Ship mit Windantrieb und PV auf den einfahrbaren Segelprofil-Segmenten

**K**aum eine technische Entwicklung im Schiffbau ist so rasant vorangeschritten wie das Größenwachstum bei Containerschiffen. Galten noch Anfang des Jahrtausends Containerschiffe mit mehr als 8.000 Zwanzig-Fuß-Standardcontainern (TEU) Tragfähigkeit als Riesen, so befahren heute Ultra Large Container Ships (ULCS) mit 400 m Länge, 60 m Breite und mehr als 20.000 Standardcontainern Tragfähigkeit die Weltmeere. Achtzig dieser Giganten (Stand 2021) halten den globalen Warenverkehr am Laufen. Dazu kommt noch eine große Zahl der etwas kleineren Very Large Container Ships mit einer Tragfähigkeit über 11.000 TEU. Welche gewaltigen Transportmengen das sind, und wie abhängig die Weltwirtschaft von Containerschiffen ist, wurde manchem klar, als die Evergiven dieses Jahr im Suezkanal stecken blieb und diesen eine Woche lang blockierte.

Obwohl die meisten dieser Schiffe neuesten Datums und für eine Nutzungszeit von mindestens 25 Jahren entworfen wurden, sind noch viel mehr ULCS in Planung. Allein bis 2023 sollen weitere rund 60 dieser Schiffe die Weltflotte

verstärken<sup>1)</sup>. Jeder dieser Containerriesen verbrennt zwar an die 12.000 Liter Schweröl pro Stunde – dennoch gelten insbesondere die großen ULCS, gemessen am CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro transportierter Tonne und Kilometer, als klimafreundlichstes fossil getriebenes Transportmittel<sup>2)</sup>.

Dabei ist die gesamte Weltflotte für immerhin drei Prozent der weltweiten Klimaemissionen verantwortlich, somit knapp vor Deutschland, das zwei bis drei Prozent der Treibhausgase verantwortlich zeichnet. Die Abgasfahnen der Schiffe verursachen auch Atemwegsprobleme im Inland, weit über die Grenzen der Hafenstädte hinaus. Und in den Hafenstädten müssen mit zunehmendem Schiffswachstum Kaianlagen verlängert, Brücken erhöht, Entladeeinrichtungen ausgebaut werden – mit allen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Bauwesens. Dazu kommen die zunehmenden Containerverluste der hoch auftürmenden ULCS: von November 2020 bis zum Februar 2021 gingen allein im Pazifik 3.000 Container verloren<sup>3)</sup>. Auch in der Nordsee gibt es genügend Fälle: so gingen 2019 während eines Sturms der MSC Zoe mehr als 300 Container vor der holländischen Küste über Bord.

Diese verlorenen Container stellen mit ihrem Inhalt, wie z.B. Elektronik, nicht nur eine Gefahr für die Meeresumwelt dar<sup>4)</sup>, sondern sie gefährden – falls sie nicht sinken, sondern im Wasser schweben – als künstliche kleine Eisberge die Schifffahrt. Das alles wird in Kauf genommen für einen völlig überbordenden Konsum, für so fragwürdige Produkte wie Billig-T-Shirts, Einmalrasierer, Dekoartikel und vieles mehr.

Doch bei aller berechtigten Konsumkritik stellt sich die Frage nach einer technischen Lösung des seefahrtlichen Klima- und Umweltproblems, insbesondere auch für die schon fahrenden ULCS. Denn in diesen Schiffen, die noch Jahrzehnte weiter ihren Dienst tun könnten, sind große Mengen grauer Energie in Form von verarbeitetem Stahl enthalten; die Schiffe einfach abzuwracken und neue zu bauen, würde nur weitere Klimagasemissionen verursachen.

Vor einem Jahr veröffentlichte die SONNENENERGIE zwei Artikel (Ausgabe 3/20 und 4/20), die die realistischen Möglichkeiten der Dekarbonisierung der Seeschifffahrt mittels Windantrieben aufzeigen. Damals wurden nur Kriegsschiffe (zu schnell) und Containerschiffe (kein glattes Deck) als für solche Antriebe ungeeignet bezeichnet. Doch mittlerweile gibt es ein Konzept, das auch die Dekarbonisierung der Containerschifffahrt als klimarelevantesten Teil des maritimen Verkehrs demonstriert. Dieses soll im Folgenden an Hand des Umbaus eines Ultra Large Container Ships (ULCS) erstmals vorgestellt werden.

### Den Rumpf optimieren

Bei heutige ULCS sind die Kommandobrücke (vorn) und die Schornsteine des Schiffsmotors (hinten) räumlich getrennt. Das hängt damit zusammen, dass die Schiffsführung einen ungehinderten Blick vom Horizont bis 500 Meter vor dem eigenen Bug haben muss. Solange dieses gewährleistet ist, kann die Kommandobrücke auch noch weiter nach vorne rücken, um dahinter mehr durchgehenden Platz für das Segelrigg zu gewinnen. Dieser Platzgewinn wird heute schon bei



Foto: G. Wanneke

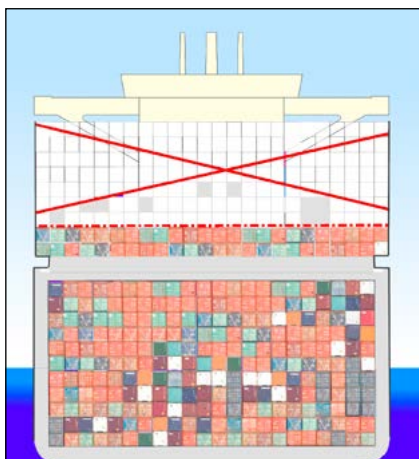
Bild 2: Die 400 m lange und 58,6 m breite Al Nefud mit ihren 18.800 TEU zeigt deutlich die Trennung zwischen Brücke vorn, und der Maschinenanlage (oranjer Schornstein) hinten.

Neubauten praktiziert, damit sich mehr Container laden lassen. Doch auch für bestehende Schiffe ist das möglich: zum einen lässt sich die Kommandobrücke oberhalb des Decks versetzen, zum anderen sich eventuell auch das ganze Rumpsegment mit der Brücke oben auf nach vorn verschieben. Das Herausschneiden und Einsetzen von Segmenten ist mittlerweile gängige Werftpraxis; so wurde gerade bis Juni 2021 die Ostseefähre Stena Scandica durch ein Rumpfmittelteil um 36 Meter verlängert.

Auch am Heck des Schiffes ist ein Umbau notwendig: Da künftig die Segelanlage den Hauptantrieb des Schiffes liefert, sind die große Hauptmaschine und der Schornsteinaufbau überflüssig. Durch einen entsprechenden Umbau bietet sich hier weiterer Raum für Containerstellplätze.

### Deckladung verringern – Stabilität erhöhen

Der Querschnitt eines ULCS zeigt, dass die sichtbaren Container nur etwa die Hälfte der Ladung ausmachen. Die meisten der Container sind im Schiffsbauch untergebracht, wo sie auch viel sicherer gegenüber Beschädigungen und Totalverlust durch hohe Wellen sind. Ein notwendiger Schritt ist es also, zunächst die Deckladung zu reduzieren. Statt neun



Quelle: H. Burenell

Bild 3: Wegfallende Container-Stellplätze auf dem Wind-ULCS

Lagen Container übereinander gibt es nur noch zwei Lagen. Das schafft Platz für die Segel und die Nutzung des Windes. Das fehlende Gewicht der Deckladung wird in Form von Ballast ausgeglichen, damit das Schiff wieder auf seinem vorgesehenen Tiefgang schwimmt und der Schwerpunkt noch weiter gesenkt wird, was die Stabilität erhöht. Je mehr Stabilität das Schiff hat – also je mehr Seitenkräfte in Form von Winddruck auf die Segel das Schiff verträgt –, desto mehr Windenergie kann es letztendlich nutzen. Übersteigt die Windlast einen kritischen Punkt, müssen die Segel gerefft und so die nutzbaren Segelflächen reduziert werden.

Berechnungen zeigen, dass diese Maßnahmen ausreichende Stabilität für eine Segelfläche von bis zu 30.000 m<sup>2</sup> ermöglichen. Die Tragfähigkeit des Schiffes reduziert sich dabei auf 14.000 TEU – eine immer noch gewaltige Anzahl von Containern.

### Die Segelanlage

Das nutzbare Windfenster für den Vortrieb des Schiffes reicht vom Bugbereich (Brücke, Deckhaus) bis zum Heck. Der gesamte Luftraum dazwischen ist nutzbar. Bei einer Segelhöhe von über 160 m ist das Windfenster 52.000 m<sup>2</sup> groß, und damit mehr als dreimal so groß wie das Windfenster einer an Land stehenden 4,2 MW Windkraftanlage.

Die Segel selbst sind starre Flügel, welche einen guten aerodynamischen Wirkungsgrad erzielen. Mehrere Hersteller, Start-Ups und Institute entwickeln zur Zeit Konzepte dafür. Die Schwierigkeit dabei ist es, die Segelfläche verschiedenen Windgeschwindigkeiten anpassen, insbesondere bei Starkwind reduzieren zu können. Die aussichtsreichste Lösung sind teleskopartige Flügel, welche sich bei viel Wind von oben nach unten zusammenschieben lassen. Auch bei der Durchfahrt unter Brücken und beim Löschen der Ladung im Hafen werden die Flügel heruntergefahren (Bild 3). Mit der installierten Segelfläche (Bild 1) erreicht das Schiff eine Höchstgeschwindigkeit

von ungefähr 22 Knoten und eine Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 12 Knoten unter Segeln.

Die Flügel sind zwar Leichtbaustrukturen aus Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK) mit mittleren Wandstärken von wenigen Millimetern; dennoch müssen sie schon wegen ihrer Höhe und den bei Wind und Wellen wirkenden Kräften sicher am Rumpf befestigt sein. Dazu wird der drehbare Mastfuß in eine sechs Meter unter das Deck reichende Hülse gesteckt, und mittels Winkelkonstruktionen („Knien“) mit zusätzlichen diagonalen Decksträgern und Rahmenspannen verbunden. Diese Konstruktion leitet Kräfte des Flügels sternförmig auf Deck und Rumpf ab. Das Gewicht der gesamten Flügelkonstruktion beträgt geschätzt 500 Tonnen pro Flügel, was etwa dem Maximalgewicht von 20 Containern entspricht – ein geringer Wert für die bei ULCS üblichen Decklasten.

Selbst wenn der Wind nicht weht, lässt sich auf See eine weitere ergiebige Energiequelle nutzen: Die Sonnenenergie. Die starren Flügel werden beidseitig mit Photovoltaikpanelen beschichtet. Mit ca. 12.000 m<sup>2</sup> Solarzellenfläche pro Flügel-seite stehen dem Schiff zusätzlich an die 2 MW elektrische Leistung zur Verfügung. Die so erzeugte elektrische Energie wird nicht nur für Schiffsaggregate, Instrumente, die Bedienung der Segelflügel etc. genutzt; selbst eine langsame Fahrt mit rund 5 Knoten ist mit reiner Solarenergie möglich.

### Der Zusatzantrieb

Für das Manövrieren, aber auch für Fahrten auf Flüssen und in Kanälen benötigt ein dekarbonisiertes ULCS einen Zusatzantrieb; dieser kann nur aus einem Elektroantrieb bestehen. Wegen der gegenüber Dieselmotoren kompakteren Bauweise gibt es hier nach Entfernung der Dieselaggregate für den E-Antrieb kein Platzproblem im Schiff. Der E-Motor speist sich aus großen Batterien, die ihre Energie wiederum aus den PV-Panelen der Segel oder einer Brennstoffzelle beziehen, wobei letztere aus einem Wasserstofftank gespeist wird. Für die Batterien und den Wasserstofftank, die zugleich als Ballast dienen, ist durch den Wegfall von Schiffsmotor und Abgasleitungen etc. hinreichend Platz. Bei Bedarf lässt sich der Wasserstoffvorrat auch auf hoher See mit Wasserstoff von Segelenergieschiffen<sup>5)</sup> ergänzen.

Als zusätzliche Energiequelle dient der E-Motor plus Schiffspropeller auch als Hydrogenerator (Wasserkraftwerk), der beim Segelbetrieb aus der Strömungsgeschwindigkeit des Schiffes Strom gewinnt, was allerdings Geschwindigkeit kostet.

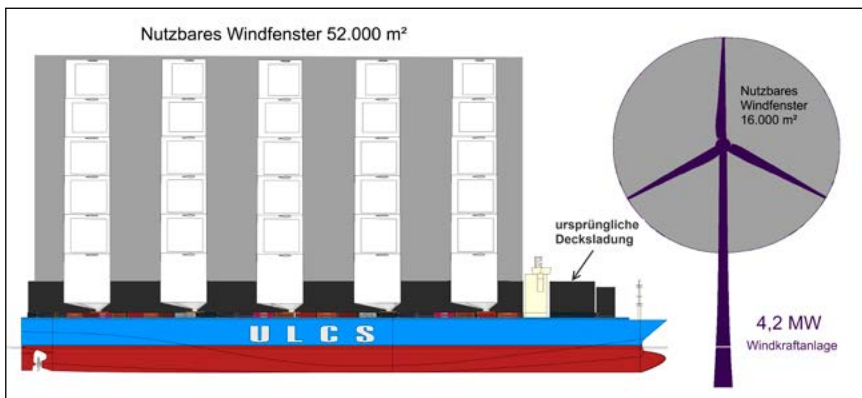
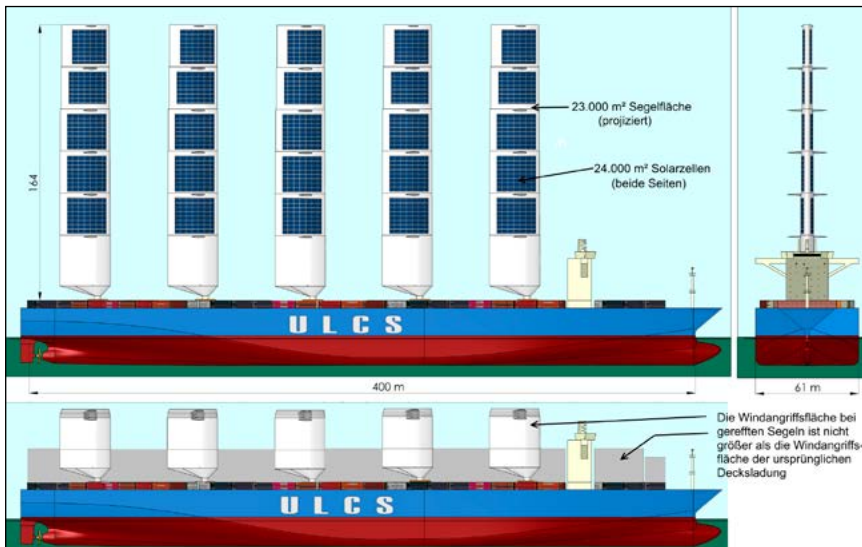


Bild 4: Größenverhältnisse und Ansichten des Containerschiff-Entwurfs. Das nutzbare Windfenster liegt deutlich über dem einer Onshore-WKA

### Irrtum E-Fuels

Während mit dem Wind auf See heute eine – auch Dank der Fortschritte in der Wettervorhersage – zuverlässige, kostengünstige und saubere Energiequelle für die Seeschifffahrt zur Verfügung steht, setzt die Mehrheit der konservativen Reeder lieber auf sogenannte E-Fuels als dekarbonisierte Energiequelle für den Schiffsantrieb – ohne auch nur die direkte Windnutzung als wirkliche Antriebsalternative in den Blick zu nehmen<sup>6)</sup>. Aber warum nicht die Windenergie auf Land oder See nutzen, um daraus synthetische Kraftstoffe (E-Fuels) herzustellen<sup>7)</sup>?

Der Grund liegt in der Energieeffizienz, mit der hier die Erneuerbaren Energien genutzt werden können: Wegen der langen Prozesskette und der mehrfachen Energieumwandlungen, die dabei in Kauf genommen werden müssen, lassen sich auf dem E-Fuel-Pfad nur etwa ein Zehntel der Windenergie wirklich in Vortrieb umwandeln. Es wären also rund 30 Stück der o.a. 4,2-MW-Windkraftanlagen für den Vortrieb eines Ultra Large Container Ships nötig – quasi ein ganzer Windpark! Beim Segeln hingegen nutzt das Schiff die Windenergie direkt. Es ist daher absurd, mit viel Windenergie klimaneutrale

E-Fuels für Motorschiffe zu produzieren, nur damit letztere dann draußen auf See gegen diesen Wind ankämpfen können.

### Fazit

Man sieht also, die Kolosse der Erdölära lassen sich clever umfunktionieren. So können sie den ungestörten Wind auf See ebenso wie die Sonne auf ihren Fahrtrouten nutzen. Sie werden zu fast autarken Energiemaschinen, die 14.000 Container (TEU) transportieren können – und das vollkommen CO<sub>2</sub>-neutral. Ein Transport, für den keine zusätzliche Infrastruktur an Land notwendig ist. Ein solches Windschiff wäre das größte jemals gebaute Segelfahrzeug.

### Fußnoten

- 1) [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_largest\\_container\\_ships](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_container_ships)
- 2) Bahn 18g CO<sub>2</sub> / t\*km , ULCS 3g CO<sub>2</sub> / t\*km A.P. Moeller – Maersk Group
- 3) <https://www.thb.info/rubriken/maritime-sicherheit/detail/news/3000-container-versinken-in-der-see.html>
- 4) <https://www.heise.de/hintergrund/Vergiften-Smartphones-die-Mee-re-4986395.html>
- 5) <https://segelenergie.de/technologie/>
- 6) <https://www.prnewswire.com/news-releases/mehr-als-150-branchenfuhrer-und-unternehmen-fordern-entschlossene-massnahmen-der-regie-rung-um-die-vollstaendige-dekar-bonisierung-der-internationalen-schifffahrt-bis-2050-zu-ermogli-chen-832040064.html>
- 7) <https://de.wikipedia.org/wiki/E-Fuel>

### ZU DEN AUTOREN:

- ▶ **Dipl.-Ing. Herbert Bluemel** ist Teamleiter Structural Engineering bei Becker Marine Systems  
hbl@becker-marine-systems.com
- ▶ **Götz Warnke** ist Vorsitzender der DGS-Sektion Hamburg-Schleswig-Holstein  
kontakt@warnke-verlag.de

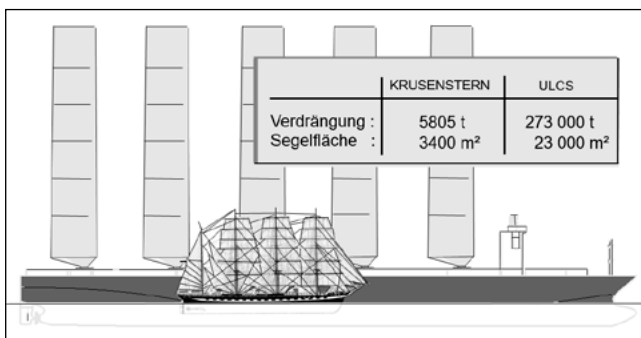


Bild 5: Größenvergleich mit dem 1926 gebauten Frachtsegler Padua (jetzt russ. Schulschiff Krusenstern)

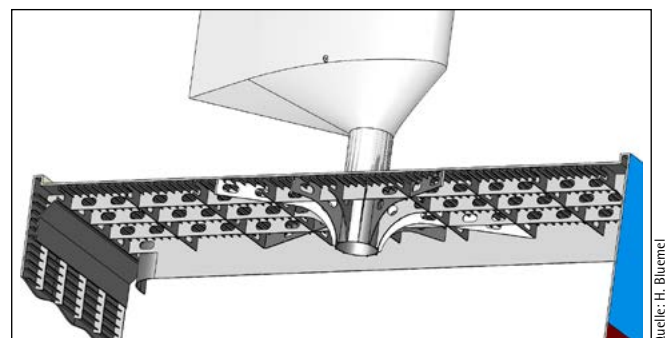


Bild 6: Die Deckverstärkung und Trägerstruktur für die über 160 Meter hohen Segelprofile