

# Energieeinsparung durch Wind

Dr. Arnd Bernaerts und Victor Kurmis, Hamburg

Nachdem in den letzten Jahren viele Versuche unternommen worden sind, durch die Nutzung des Windes auf Seeschiffen den Kostendruck durch die Verwendung fossiler Brennstoffe zu senken, haben die Verfasser unter dem Thema: „Rahmenbedingungen für Handelsschiffe mit Windantrieb“<sup>1)</sup> eine Bestandaufnahme versucht. Nach Abschluß dieser Arbeit wurden inzwischen weitere Ideen veröffentlicht<sup>2)</sup>; ein Durchbruch für eine kommerzielle Nutzung von Windantriebsanlagen ist jedoch bisher nicht in Sicht. Die „Shin Aitoku Maru“, von der bereits das zweite Schwesterschiff gebaut wird<sup>3)</sup> stellt das derzeit fortschrittlichste Winddrucksystem dar. Überzeugende Resultate konnten bisher jedoch nicht nachgewiesen werden<sup>4)</sup>. Soweit das System der „Shin Aitoku Maru“ in seiner technischen Ausgestaltung nicht grundsätzlich neu konzipiert wird, ist mit überzeugenden wirtschaftlichen Ergebnissen nicht zu rechnen<sup>5)</sup>.

Die Nutzung der Windenergie hat nur dann eine Chance, wenn man sich von einer Reihe von herkömmlichen Kriterien löst. Auf eine Kurzform gebracht, handelt es sich um folgende Ansatzpunkte:

1. Nur höhere Windgeschwindigkeiten sind wirtschaftlich nutzbar.
2. Die Stabilität des Schiffes darf auch bei Nutzung hoher Windgeschwindigkeiten nicht beeinträchtigt werden.
3. Die Anlage muß technisch preiswert, unkompliziert, sicher und automatisch bedienbar sein.

Die Zusammenfassung dieser Kriterien bedingt ein Motorschiff mit einer kleinen Winddruckfläche, die im Regelfall eine untergeordnete Treibstoffkostensparnis erwirtschaften kann. Anzustreben ist eine Reduzierung des Brennstoffverbrauchs zwischen 20% und 30%. Bewegt man sich in dieser Größenordnung und beschränkt sich auf dieses Ziel<sup>6)</sup>, so bestehen begründete Aussichten, den Betriebskostendruck des Verwenders merklich zu senken.

## Konzept für die Winddruckanlage

Ausgangsform für die Winddruckanlage ist eine plane Fläche, die nur durch ihre Abmessungen bestimmt ist und keine aerodynamischen Ansprüche erhebt. Es kommt maßgeblich nur darauf an, daß die Flächen entsprechend des eingesetzten Schiffes beliebig vergrößert werden und so groß gewählt werden können, daß mit einer Winddruckfläche pro Schiff die angestrebten 20% Treibstoffersparnisse erreicht werden.

Vom Grundkonzept wird damit nichts anderes angestrebt, als es bereits durch die rahgetakelten Schiffe praktiziert wurde. Aerodynamischen Anforderungen genügen diese Schiffe nicht; auch, wenn der äußere Eindruck dies suggerierte. Kompromisse an die Aerodynamik werden sich durchweg aus Kostengründen verbieten. Das System muß sich auch dadurch auszeichnen, daß es in Ruhelage auf das kleinstmögliche Ausmaß reduziert werden kann, um die Bremswirkung in der Nur-Maschinenfahrt so klein wie möglich zu halten.

## Modell einer Winddruckfläche

Unter Berücksichtigung der vorstehenden Kriterien bietet sich eine Winddruckfläche gemäß Bild 1<sup>7)</sup> an, die auch weiterhin zur Flächenbildung Segeltuch oder ähnliche Materialien vorsieht. Im Prinzip werden weiterhin Rahmen verwendet, indem diese jedoch senkrecht zum Spannen und Aufrollen der Segelfläche, und zwar in Form von Vertikal-Röhren, zum Einsatz kommen. Die Funktion der Schoten wird durch eine Ober- und Unterrah übernom-

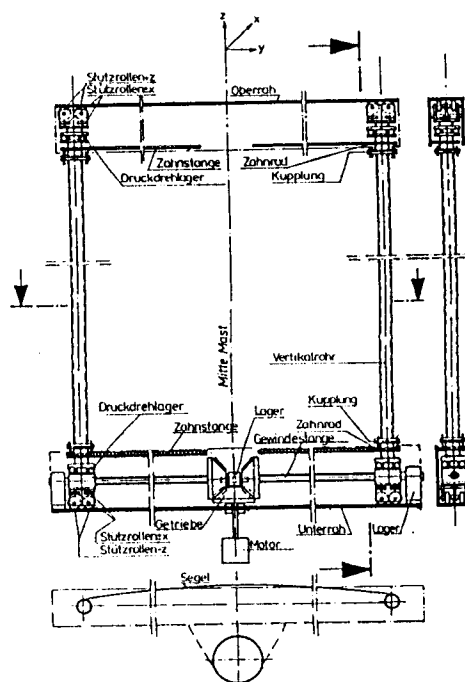


Bild 1 Winddruckflächenkonzept

men, in deren Halterungen die drehbaren und translatorisch verschiebbaren Vertikal-Röhre angeordnet sind. In die Betriebsposition würden die Vertikal-Röhre aus der Ruhelage, parallel zum Mast, nach außen hin bewegt. Zwischen der Ruhelage und der größtmöglichen Fläche kann jede beliebige Fläche nach Bedarf eingestellt werden. Die Verwendung von Segeltuch oder ähnlichem Material ermöglicht eine Anlage mit dem denkbar geringsten Gewicht. Um die flächenmäßig geringste Ausbreitung in Ruhelage zu erreichen, ist die Verwendung von Segeltuch oder gleichwertigem Material unabdingbare Voraussetzung.

Um die so gebildete Winddruckfläche dem Windeinfallswinkel anpassen zu können, ist der die Winddruckfläche tragende Mast um den Mastfuß drehbar.

1) „Hansa“ 1982, S. 974 ff.

2) So u. a. Claus Wagner, Technische und wirtschaftliche Aspekte für einen Windzusatzantrieb mit Rotoren am Beispiel eines 50 000-t-dw-Bulkcarriers, Schiff & Hafen/Kommandobrücke 1982, S. 133 ff.; Hamburger Abendblatt 4. 2. 83, S. 28.

3) Vgl. Lloyd's List vom 1. 10. 82, S. 5; für die Indienstellung wird März 1983 angegeben.

4) Auf dem General Meeting am 7. 12. 1987 des North-East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders Bolbec Hall, Newcastle upon Tyne, wurde von M. Murata u. a. für die „Shin Aitoku Maru“ folgende Leistungsbilanz vorgelegt:

Power gain during actual voyage

Voyage	Mean power gain (PS)	Power gain per unit sail area (PS/m <sup>2</sup> )	Voyage mile age (mile)	Sail-used-rate (%)
1st	121	0.624	757	79
2nd	—4	—0.003	1207	36
3rd	6	0.030	649	30
4th	57	0.291	573	88
5th	41	0.212	199	68
6th	170	0.877	509	65

5) wie Fn. 1, S. 976.

6) So auch Wagner, aaO, S. 134.

7) Reg.Nr. beim Deutschen Patentamt P 31 29 225.9/G 81 21 756.0.

## Einsatzmöglichkeit

Auch dem vorstehenden Konzept würde man die amortisationsfähige Einsatzmöglichkeit nehmen, wenn man sich nicht radikal vom Segelschiffskonzept der alten Tage löst. Die Rah-Schiffe der Jahrhundertwende waren über-takelt<sup>8)</sup>. Durch die Verwendung von 3, 4 oder gar 5 Masten standen sich diese, insbesondere bei achterlichen Windkursen, gegenseitig im Wege. Der rechnerische Unterschied ist sehr anschaulich durch Schenzel auf dem RINA-Symposium 1980<sup>9)</sup> dargestellt worden. Das Untersuchungsergebnis von Schenzel und die von ihm erarbeitete graphische Darstellung wird im Bild 2<sup>9)</sup> wieder-gegeben.

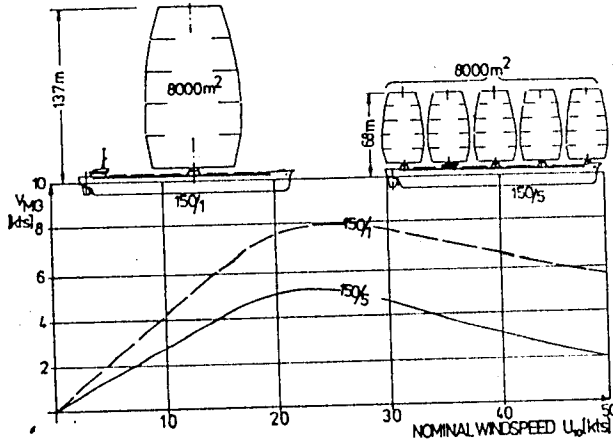


Bild 2 Leistungsunterschiede zwischen einem Ein- und Fünfmast bei gleicher Gesamtsegelfläche, nach Schenzel.

Die Zusammenfassung einer um die Jahrhundertwende gebräuchlichen Segelfläche in eine ein-mastige Fläche würde unüberwindliche Sicherheitsprobleme im Hinblick auf die Stabilität, die technische Bedienbarkeit und die Steuerfähigkeit aufwerfen. Diese Probleme treten jedoch nicht auf, wenn man sich — scheinbar — mit etwas Weniger bescheidet, d. h. mit kleineren Flächen und dem Ziel, ein akzeptables Kosten-Nutzungsverhältnis zu erreichen.

Weil Tanker und Massengutfrachter im Regelfall gute Stabilitätsverhältnisse und viel Seezeit aufweisen können und häufig kein eigenes Ladungsgeschirr haben, sind diese Schiffe für eine Hilfsbesegelung prädestiniert.

## Modellrechnung

Für die nachfolgende Untersuchung wurde angenommen, daß ein Tanker mit einer Tragfähigkeit von 80 000 t mit einer Winddruckfläche von 2000 m<sup>2</sup> ausgerüstet wurde. Als technische Daten wurden für das Schiff zugrunde gelegt:

Tonnage 45 000 BRT  
 Tragfähigkeit 80 000 t  
 Maschinenleistung: 23 000 PSe bei 118 U/min  
 Brennstoffverbrauch: Pro Tag ca. 75 t  
 Geschwindigkeit: 16 kn

Die Größe der Winddruckfläche im Verhältnis zu den Abmessungen des Schiffes ergibt sich aus Bild 3.

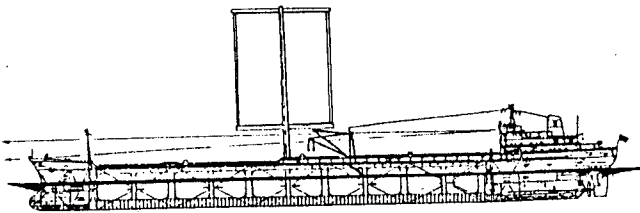


Bild 3 Winddruckfläche von 2000 m<sup>2</sup> bei einer Schiffslänge von 250 m.

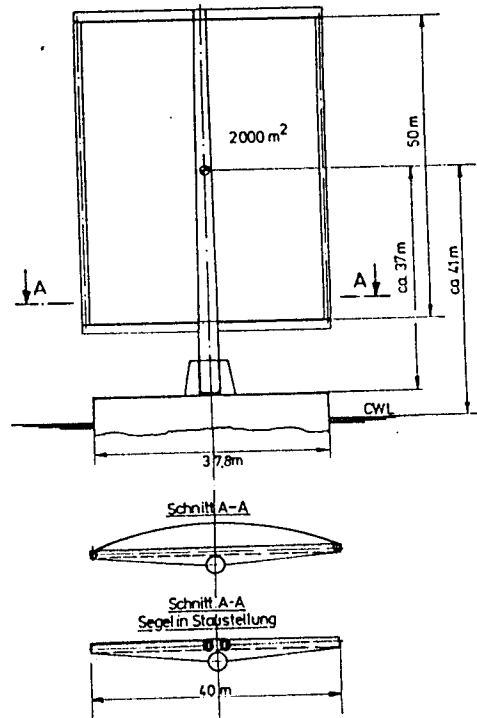


Bild 4 Winddruckfläche von 2000 m<sup>2</sup> von der Brücke aus gesehen.

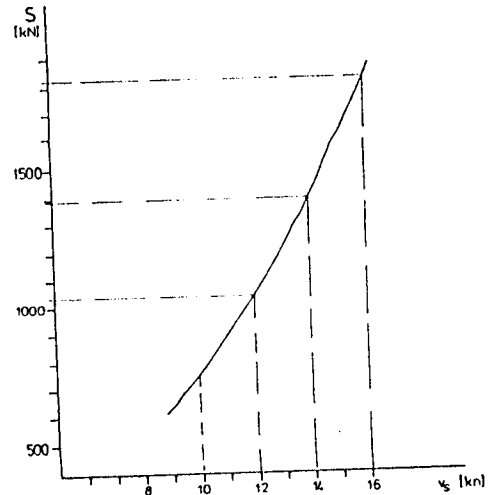


Bild 5 Theoretische Schubgeschwindigkeitskurve eines 80 000-t-Tankers mit 23 000 PSe.

Bild 4 zeigt die Winddruckfläche, wie sie von der Brücke aus gesehen wurde.

In weiteren graphischen Darstellungen ist die theoretische Schubgeschwindigkeitskurve für das Schiff abgebildet (Bild 5) sowie die Beiwerte der Winddruckfläche im Verhältnis zu den Anström-Winkeln (Bild 6) dargestellt.

Setzt man diese Werte um, so ergibt sich das Schaubild (Bild 7), wie es in der Ermittlung der Schubleistung der Hilfsbesegelung für verschiedene Schiffsgeschwindigkeiten dargestellt worden ist<sup>10)</sup>.

Aus den Diagrammen für die Schubleistung läßt sich unschwer entnehmen, daß Winddrücke bis zu einer Windgeschwindigkeit von 4 Bft fast vernachlässigt werden können. Erst ab 4 Bft ergeben sich interessante Werte, wobei das wirtschaftliche Ergebnis sehr stark von der vorgegebenen Reisegeschwindigkeit bestimmt wird.

8) wie Fn. 1, S. 975.

9) P. Schenzel, Standardised Speed Prediction for Wind Propelled Merchant Ships, RINA Symposium 1980, London 1981, S. 173 (179/180).

10)  $v_s$  wurde zwischen dem Widerstandskoeffizienten einer Nur-Maschinen-Vorausfahrt und Schub bei achterlichen Winden gemittelt dargestellt.

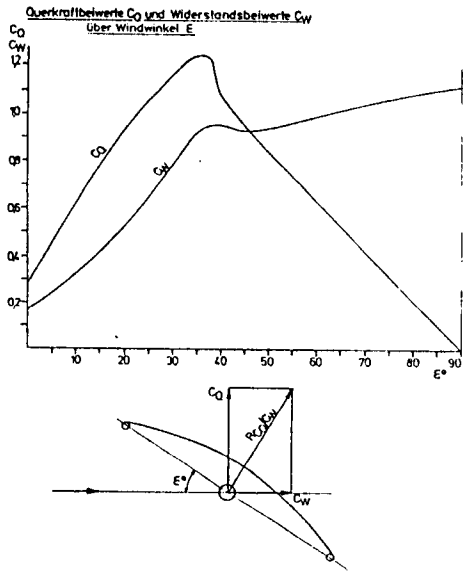


Bild 6 Beiwerte einer Winddruckfläche von 2000 m<sup>2</sup>.

Zur Demonstration von möglichen Einsparungen soll auf eine Reise des Motorseglers „Great Britain“, wie sie auf dem RINA-Symposium wiedergegeben wurden<sup>11)</sup>, zurückgegriffen werden. Die Basiswerte stellen sich vereinfacht für die Reise von Melbourne—Englischer Kanal wie folgt dar:

Reisetage	Windwinkel	Windgeschwindigkeit (kn)
3	ca. 150°	13
2	ca. 160°	12,5
16	ca. 170°	23
9	ca. 55°	18
3	ca. 160°	16
6	ca. 180°	13,5
7	ca. 60°	15
5	ca. 110°	28

Gibt man eine Reisegeschwindigkeit von 12 Knoten vor und berücksichtigt die vorgegebenen Werte, so ergibt sich das Leistungsergebnis aus Bild 8.

Bemerkenswert ist, daß in die Modellrechnung nur 5 Tage (46. bis 51. Tag) mit einer Windgeschwindigkeit von 7 Bft eingegangen sind. Die graphische Darstellung (Bild 8) ergibt eine Treibstoffersparnis über den Gesamtzeitraum von knapp 23 Prozent.

Die Brennstoffeinsparung läßt sich auch wie folgt rechnerisch ermitteln:

#### Brennstoffersparnis

Erforderlicher Schub bei 12 kn = 104 t = 13 300 PS  
 Gewinn durch Segel = 23,6 t  
 Erforderliche mittlere Maschinenleistung  
 104 - 23,6 = 80,4 t = 10 200 PS  
 Einsparung: 13 300 PS - 10 200 PS = 3 100 PS  
 Verbrauch angenommen mit 160 g/PSH  
 Einsparung: 3100 × 24 × 0,16 × 51 = 607 104 kg  
 Verbrauch ohne Segel: 13 300 × 24 × 0,16 × 51 = 2 604 672 kg  
 Ersparnis: ca. 23,3 %

#### Generelle Beurteilung für das System

Modellrechnungen haben ergeben, daß diese Winddruckanlage unter Zugrundelegung des vorstehend beschriebenen Konzeptes eine Amortisationszeit von 1 bis 2 Jahren haben wird. Die Leistungsfähigkeit des Konzeptes hängt — außer den bereits genannten Kriterien, wie maximal 1 Segel, lange Seezeit, wenig Widerstand in Ruhestellung — entscheidend von der Nutzbarkeit bei hohen Windstärken ab. Wie Bild 8 ergibt, wurde eine Ersparnis von ca. 23 % ermittelt, obwohl auf der Reise nur an einem Tag die Windstärke von 35 kn (Bft 7/8) ausgenutzt werden konnte.

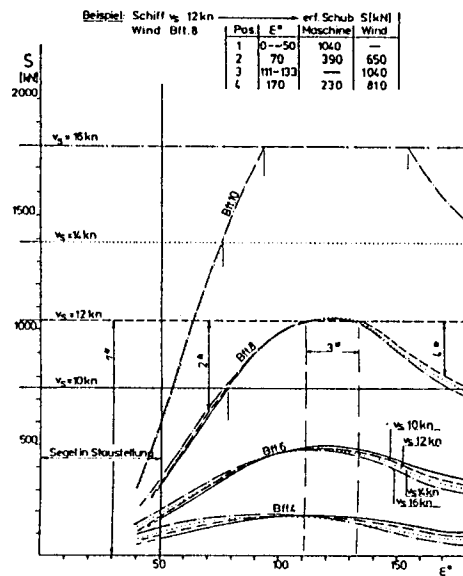


Bild 7 Schubleistung bei Windflächennutzung.

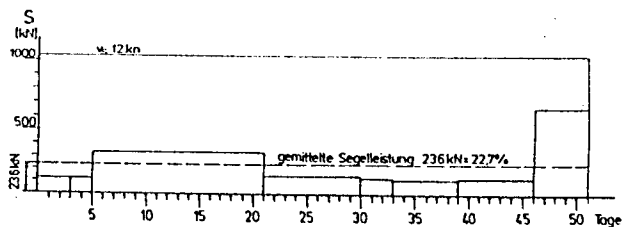


Bild 8 Gemittelte Segelleistung bei vorgegebener Schiffsgeschwindigkeit von 12 kn.

Die Winddruckfläche der „Shin Aitoku Maru“ ist beispielsweise nur für eine Windstärke bis zu 8 Bft ausgelegt<sup>12)</sup>. Die Überlegenheit und Stärke des Konzeptes ergibt sich insbesondere auch aus der Möglichkeit, Windstärken über 8 Bft zu nutzen. Bild 7 zeigt, mit welchen guten Ergebnissen bei Windgeschwindigkeiten über 7 Bft zu rechnen ist. Das vorgestellte Konzept ist ohne Einschränkungen für sehr hohe Windgeschwindigkeiten auslegbar. Soweit sich Einschränkungen wegen der Schiffstabilität ergeben sollten, kann die Winddruckfläche problemlos verkleinert werden. Bei einem Einsatz der relativ kleinen Winddruckflächen im Verhältnis zur Größe des Schiffes wird eine Verkleinerung der Winddruckfläche aus Stabilitätsgründen nur bei Windstärken ab 10 Bft erforderlich sein.

Durch die Kompaktheit des Bergungssystems ist das Risiko eines Versagens des Bergungssystems sehr gering. In Gefahrensituation oder, wenn bei der Schiffsführung die „Angstschwelle“ erreicht ist, läßt sich die Winddruckfläche auch dadurch neutralisieren, indem sie über einen „Angstknopf“ umgehend parallel zum Wind gestellt wird, d. h., indem der Windeinfallswinkel verkleinert wird. Schließlich läßt sich ohne erheblichen Kostenaufwand eine selbständig oder durch Veranlassung des Brückenpersonals in Tätigkeit tretende Sollbruchstelle einrichten. Bei dem zusätzlichen Einbau einer solchen Sollbruchstelle, durch die zweckmäßigerweise nur der Verlust der Segeltuchfläche veranlaßt wird, kann man eine Gefährdung der Schiffssicherheit durch das System nach menschlichem Ermessen ausschließen.

11) R. M. Willoughby, Design Problems of a Commercial Sailing Ship, RINA Symposium 1980, London 1981, S. 215 (219 f.).

12) NN, Sail Equipped Motor Ship, The Naval Architect, March 81, S. E61.

## Zusammenfassung

Es ist vorhersehbar, daß die größte Kritik von den Anhängern für aerodynamische Winddruckflächen kommen wird. Ihnen muß entgegeng gehalten werden, daß die Winddruckverhältnisse nicht statisch sind. Eine Nutzung der Windenergie unter 4 Bft wird weder heute noch in der Zukunft eine positive Kosten/Nutzen-Relation in der Handelsschiffahrt erbringen. Über 4 Bft verliert die Aerodynamik mit steigender Windstärke rapide an Bedeutung. Jede Konzession an die Aerodynamik verteuert die Kosten für die Winddruckfläche erheblich. Je mehr Konzessionen an die Aerodynamik gemacht werden, desto stärker wird die Zuverlässigkeit des Systems beeinträchtigt. Die scheinbare Kompromißlosigkeit eröffnet die durchgehende Verwendung auf Schiffen beliebiger Größen und kann durch die Anpassung an die gewünschte Leistungsfähigkeit optimal dem Bedarf angepaßt werden.

Das System bringt für den Verwender eine erhebliche Erweiterung seines kaufmännischen Handlungsspielraums<sup>13)</sup>. Z. B. kann ältere Massengut-Tonnage dadurch wieder attraktiv werden. Dies kann insbesondere für den Transport von Gütern gelten, bei denen das Schiff eine partielle Lagerhaltung übernehmen kann. Darüber hinaus kann die Verwendung des Konzeptes auch eine vorbeugende Schutzmaßnahme für Fälle plötzlichen Treibstoffpreisanstieges oder bei Versorgungsschwierigkeiten sein.

---

13) P. M. Alderton, The Optimum Speed of Ships, The Journal of Navigation, Sept. 81, S. 341 f.) zur rechnerischen Ermittlung der Nutzung/Kosten-Verhältnisse vgl. auch Harry Benford, A Method of Deriving the Annual Costs of Capital Recovery for Commercial Sailing Ships, Marine Technology 1982, S. 159 ff.