

Rahmenbedingungen für Handelsschiffe mit Windantrieb

Noch 1908 war Laas¹⁾ überzeugt, daß die Segelschiffahrt fortbesteht. Er begründete dies mit steigenden Kosten für Kohle und Besatzung. Die Frachtschiffahrt konnte sich nur noch eine kurze Zeit halten. Neue Verbrennungsmotoren, Dampfturbinen und preiswertes Öl veränderten die Kostenstruktur. Inzwischen hat die Seeschiffahrt wieder ähnliche Probleme, wie sie von Laas vor 75 Jahren beschrieben wurden.

Heute verbraucht die Handelsschiffahrt jährlich ca. 140 Mio. t Öl²⁾ bzw. 3—4 % des jährlichen Weltölbedarfs³⁾. Die hohen Ölpreise und die begrenzten Ölreserven haben die Diskussion über die Einsparung von Ölverbrauch und die Suche nach alternativen Brennstoffen und anderen Energiegewinnungseinrichtungen stark belebt. Aus der Fülle von Vorschlägen kommen für die Seeschiffahrt derzeit nur Öl/Kohle/Gas, Kernenergie und Wind in Betracht. Kohle und Gas werden in höherem Maße und länger verfügbar sein als Öl, der Preis für diese Brennstoffe wird sich letztlich am Preis für Öl orientieren. Insofern kann eine Kosteneinsparung nur durch Verbesserungen der Motoren erreicht werden. Dies trifft auch für Uranbrennstoffe zu. Reaktorschiffe können technisch ohne weiteres gebaut werden. Ihre Sicherheit ist nicht nur durch die NS „Savannah“ und NS „Otto Hahn“, sondern auch durch mehrere russische Eisbrecher und über 250⁴⁾ mit Nuklearantrieb ausgerüstete Kriegsschiffe erwiesen. Nach dem heutigen Erkenntnisstand können diese Schiffe jedoch nur dann wirtschaftlich operieren, wenn eine hohe Maschinenleistung erforderlich ist⁵⁾ und ihre Bewegungsfreiheit nicht mehr eingeschränkt wird als für die Handelsschiffahrt üblich. Als weitere Energieressource wird der Seeschiffahrt derzeit und in der näheren Zukunft nur der Wind zur Verfügung stehen. Da im Gegensatz zu Öl/Kohle/Gas und Uran der Wind nicht dem Kostengesetz von Angebot und Nachfrage folgt und das windbetriebene Schiff um die letzte Jahrhundertwende beachtliche Transportleistungen aufweisen konnte, ist es naheliegend, daß ein Interesse besteht, die Ressource Wind zur Kostensenkung in der Schiffahrt zu nutzen.

Einen guten Überblick über den derzeitigen Stand der Diskussion über die Nutzung der Windenergie auf Seeschiffen vermitteln die Proceedings of the Symposium on Wind Propulsion of Commercial Ships⁶⁾, nachfolgend als RINA Symp. bezeichnet. Die Konferenz fand im November 1980 in London statt. Im Rahmen der nachfolgenden Erörterung sollen insbesondere zwei auf der Konferenz angesprochene Projekte diskutiert werden. Zum einen handelt es sich um das wohl bisher am längsten und ausführlichsten in der Literatur⁷⁾ erörterte sogenannte Dyna-Ship, ein hochautomatisiertes, rahgetakeltes Schiff, zum anderen um das ebenfalls seit längerem diskutierte konventionelle Rah-Schiff, den sogenannten Sealiner⁸⁾. Das Schiff soll mit einer Besatzung von 55 Mann gefahren werden. Als Größe ist vorgesehen ca. 15 000 tdw und eine Segelfläche von 6200 m². Zu erwähnen sind zwei weitere Projekte, die nicht auf der Konferenz im November 1980 vorgestellt worden sind. Im August 1980 lief in Japan ein mit zwei starren Winddruckflächen von je ca. 100 m² ausgestattetes, ca. 1500 tdw großes Tankschiff, die „Shin Aitoku Maru“, vom Stapel. Das Schiff und seine Ausrüstung sind wiederholt ausführlich beschrieben worden⁹⁾. Von den installierten Winddruckflächen wurde eine Brennstoffeinsparung von 10 % erwartet. Als letztes Projekt wurde ein schoonergetakelter Küstensegler mit ca. 2000 tdw

vorgestellt¹⁰⁾. Das Schiff wird speziell für Indonesien entwickelt und wird von den Regierungen von Indonesien und der Bundesrepublik Deutschland unterstützt. Obwohl Proelss das von ihm entworfene Dyna-Schiff bereits in den 60er Jahren vorgestellt hatte¹¹⁾, hat sich weder dieses Projekt noch ein anderes Windantriebsprojekt¹²⁾ durchsetzen können.

Betrachtet man die bisher bekannt gewordenen Projekte, die einen Rahmen vom konventionellen Schiff bis zu Windmühlen¹³⁾ und Drachen¹⁴⁾ umspannen, so haben manche nicht die Aussicht, in der überschaubaren Zukunft in der Seeschiffahrt verwendet zu werden. Bevor Windmühlen auf Schiffen überhaupt in Erwägung gezogen werden können, müßten entsprechende Anlagen zunächst einmal im Landbetrieb ihre Leistungsfähigkeit beweisen. Sollte dies gelingen, dann ist immer noch nicht klar, wie diese Monster mit Flügeldurchmessern von 100 m¹⁵⁾ auf einem Schiff funktionieren sollen. Eine Anlage mit diesen Flügeln und einer installierten Leistung von 3 MW, das entspricht ungefähr 4000 PS, wiegt ohne Mast ca. 200 t¹⁶⁾. Selbst wenn diese Schwierigkeiten alle gemeistert werden können und nachgewiesen ist, daß die Ausfallhäufigkeit äußerst gering ist, müssen diese Anlagen für den Seebetrieb noch besonders hergerichtet werden. Ähnliches gilt für die Drachen.

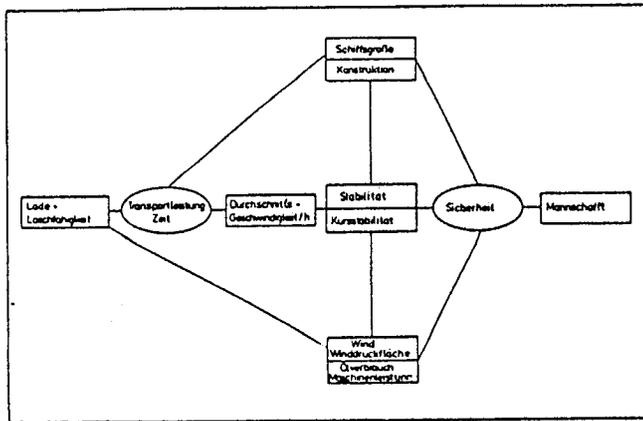
Wieweit bei den beschriebenen Projekten besondere schiffs- und windspezifische Kriterien ausreichend berücksichtigt worden sind, ist nicht immer zu erkennen. Einige Gesichtspunkte, die über den Erfolg von Windschiffen entscheiden können, sollen nachfolgend angesprochen werden.

- 1) W. Laas. Die großen Segelschiffe, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1907, Berlin 1908, Vorwort
- 2) Sunday Times Magazin, Sept. 28, 1980, S. 35
- 3) G. Mau, Zukünftige Antriebe für seegehende Schiffe, „Hansa“ 81, S. 1509
- 4) N. Battle/D. J. Morris, Nuclear propulsion for merchant ships. „The Motor Ship“: The Motor Ship Conference London March 1979, S. 75. Nach neuesten Berichten verfügt alleine die UdSSR über 180 Kriegsschiffe mit Kernenergieantrieb (davon 179 U-Boote), siehe Atomwirtschaft 1982, S. 187.
- 5) Vgl. NN, Alternative fuel for maritime use, Washington 1980, S. 148 ff.
- 6) Proceedings of the „Symposium on Wind Propulsion of Commercial Ships“ London Nov. 80, Royal Institution of Naval Architects 1981, nachfolgend: RINA 81
- 7) Vgl. P. Schenzel, Standardised speed prediction for wind propelled merchant ships, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 173 ff. mit weiteren Nachweisen; siehe auch: Shipbuilding and Engineering 1975, S. 33 und Occasional Publication No. 2 of Symposium on the Future of Commercial Sail, London Nov. 75, RINA
- 8) Vgl. R. M. Willoughby, Design problems of a commercial sailing ship, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 215 ff.
- 9) Sunday Times Magazin, a.o.; NN, Sail equipped motor ship, The Naval Architect, March 81, S. E59 ff.; NN, Alternative Antriebsenergie Windkraft, „Hansa“ 1981, 584 f.; NN, Fuel savings aboard Japanese sailing tanker, Marine Propulsion, Feb. 81, S. 35 f.
- 10) P. Schenzel, Entwicklung von Segelfrachtschiffen für den indonesischen Inselverkehr (Indosail), „Hansa“ 1981, S. 1576 ff.
- 11) W. Proelss, On the economic possibilities of wind-propelled merchant ships, Jahrbuch Schiffbautechnische Gesellschaft 1987 (Vol. 61)
- 12) Vgl. C. T. Nance, Wind power for ships — A general survey, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 12 f.
- 13) N. Bose, Windmills — Propulsion for a hydrofoil trimaran, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 147 ff.; R. C. T. Rainey, The wind turbine ship, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 97 ff.
- 14) G. W. Schaefer/K. Allsopp, Kite-sails for wind-assisted ship propulsion, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 117 ff.
- 15) P. Schenzel, Diskussionsbeitrag, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 156
- 16) L. Jarss, Windpower, Berlin 1980, S. 70; es handelt sich um das Versuchsobjekt GROWIAN, die Anlage wird derzeit an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste aufgebaut.

Rahmenbedingungen

Handelsschiffe sind weitgehend unabhängige wirtschaftliche und technische Einheiten, die weltweit eingesetzt werden. Der Erfolg des Einsatzes von Schiffen hängt von den durchschnittlichen Kosten für eine Transportleistung in einer vorgegebenen Zeit ab. Windschiffe können nur dann eine Zukunft haben, wenn sie gegenüber Motorschiffen in entsprechender Größe kostengünstiger sind. Dazu müssen eine Reihe von Maßnahmen, deren Kosten sich in angemessener Zeit amortisieren müssen, zusammen optimal wirken.

Die Kosten-/Leistungsrelation eines Windschiffes kann man wie folgt darstellen:



Natürlich spielen Stabilität, Schiffskonstruktion, Lade- und Löschfähigkeit auch auf vergleichbaren Motorschiffen eine Rolle, die Dimensionen sind jedoch ganz andere. Zum Beispiel wird sich die Schiffssicherheit im Vergleich von Wind- und Motorschiffen bei wenig Wind nur unwesentlich unterscheiden. Die Nutzung des Windes bei Windstärken von 6 Bft und mehr wirft jedoch ganz andere Stabilitätsprobleme und damit Sicherheitsprobleme für das Windschiff auf. Das gleiche kann für die Lösch- und Ladefähigkeit gesagt werden. Das Motorschiff hat nur Masten und Krane zum Zwecke der Beladung und Löschung. Konventionelle Rahschiffe wie der Sealiner, aber auch alle anderen Windschiffe werden als Trockenfrachter nie völlig den Freiraum über Deck haben wie das Motorschiff. Die für das Windschiff angegebenen Kriterien beeinflussen sich gegenseitig und sind in ihrer optimalen Ausgestaltung existentiell für das Windschiff, wobei man einen Teil der Kriterien aus dem Blickpunkt der „Sicherheit“ oder der „Transportleistung“ betrachten kann. Dabei stehen diese beiden Pole nicht in einem Spannungsverhältnis, wenn man sie nur insoweit betrachtet, wie das Windschiff gegenüber dem Motorschiff Besonderheiten aufweist. Das Spannungsverhältnis besteht zwischen diesen beiden Kriterien und dem Faktor Wind/Winddruckanlage. Zunächst sollen die Kriterien unter dem Sicherheitsaspekt betrachtet werden.

Sicherheit

Würde der Wind nie mehr als mit max. 10 m/sec (5 Bft) wehen, würde die Sicherheitsfrage eine untergeordnete Rolle spielen. Zum Beispiel konnte die „Preussen“ ihre 5600 m² Segel bis 5 Bft fahren und erreichte dann am Wind ca. 8,6 kn und vor dem Wind ca. 10,5 kn¹⁷⁾. Hätte es eine Gewähr dafür gegeben, daß das Schiff nie auf Windstärken über 5 Bft trifft, hätte man ohne Bedenken die Segelfläche vergrößern können und damit auch die Geschwindigkeit. Da auf windreichen Schifffahrtsrouten ungefähr 40 % der Windhäufigkeit¹⁸⁾ über 5 Bft liegt, konnte die „Preussen“ bei über 5 Bft ihre vollen Segel nicht mehr tragen. Die Segel mußten gekürzt werden, die Geschwindigkeit des Schiffes erhöhte sich nicht mehr wesentlich, bei 7—8 Bft um ca. eine Meile je Windstärke, ab 8—9 Bft nahm die Geschwindigkeit sogar wieder ab¹⁹⁾. Ursache dafür war, daß diese Segelschiffe als Leichtwetter-schiffe gebaut waren, d. h. sie sollten bereits bei geringen Windstärken hohe Geschwindigkeiten erzielen. Dies führte jedoch dazu, daß sie für stärkere Windstärken übertakelt waren. Durch die hohe und schwere Takelage (schwer, weil man noch nicht die Stahlbautechnik von heute

hatte) wirkte jeder Winddruck auf die Stabilität. Diese negative Wirkung wurde durch 10 km stehendes Gut, 12 km laufendes Stahlgut und 17 km laufendes Hanfgut stark erhöht. Diese fahrhemmenden und stabilitätsbeeinträchtigenden Einflüsse lassen sich anschaulich verdeutlichen. Die Windkraft (Winddruck kp/m²) wächst schneller als die Windstärke nach der Bft-Skala²⁰⁾.

Bft 3	= 7—10 kn	= 3,4—5,4 m/sec	= 1—2 kp/m ²
Bft 4	= 11—16 kn	= 5,5—8,0 m/sec	= 2—5 kp/m ²
Bft 5	= 17—21 kn	= 8,1—10,7 m/sec	= 5—10 kp/m ²
Bft 6	= 22—27 kn	= 10,8—13,8 m/sec	= 10—15 kp/m ²
Bft 7	= 28—33 kn	= 13,9—17,1 m/sec	= 15—20 kp/m ²
Bft 8	= 34—40 kn	= 17,2—20,7 m/sec	= 20—29 kp/m ²
Bft 9	= 41—47 kn	= 20,8—24,4 m/sec	= 29—44 kp/m ²
Bft 10	= 48—55 kn	= 24,5—28,3 m/sec	= 44—59 kp/m ²

Um die gleiche Kraft wirken zu lassen, braucht man bei 10 Bft nur 1 m² Fläche, bei 4—5 Bft 10 m² und bei 3 Bft ca. 33 m². Wie für die „Preussen“ so werden auch für jedes andere Windschiff die überproportional steigenden Winddrucke die maßgeblich beeinflussenden Faktoren für die Sicherheit sein, und zwar im Hinblick auf die Stabilität und das sichere Bergen der Winddruckfläche.

Grundsätzlich muß das Windschiff unter allen denkbaren Umständen beherrschbar bleiben. Dies setzt zunächst voraus, daß die Winddruckflächen unter allen Umständen und ohne Gefährdung von Schiff und Besatzung beherrschbar bleiben müssen. Es kann heute von einer Schiffsbesatzung nicht mehr erwartet werden, daß sie wie die Urgroßväter im Sturm und in Kälte in den Toppen die Segel birgt. Es ist daher unrealistisch, anzunehmen, daß man den Sealiner ohne Gefährdung der Mannschaft bei Wind von 8 Bft (20 m/sec) und einer Schiffsgeschwindigkeit von 14,5 kn²¹⁾ segeln kann. Aber auch soweit auf dem Dyna-Schiff die Segelbedienung voll automatisiert werden soll, werden erhebliche Sicherheitsfragen aufgeworfen. Bei diesem Schiff werden die Segel zwischen den Rahen geführt und über Rollen im Mast eingebracht. Dies setzt ein sehr aufwendiges System mit Rollen, Elektromotoren, Seilen, Läufern usw. voraus. Wenn MacLear auf dem RINA Symposium zum Ausdruck brachte²²⁾:

„... there will be considerable difficulties in getting the sail out...“

so würde das Nichtsetzenkönnen von Segelflächen nur die Transportleistung, nicht jedoch die Sicherheitsfrage betreffen. Die absolute Zuverlässigkeit im Bergen der Segelflächen ist für die Sicherheit eminent wichtig. Das System darf unter keinen Umständen versagen, wenn die Winddruckflächen wegen Starkwind weggenommen werden müssen. Auf konventionellen Großseglern — das Dyna-Schiff wird sich ähnlich verhalten — mußten die Reuls ab Windstärke 5 Bft, die Bramsegel ab 6 Bft, das Unter-marssegel ab 7 Bft usw.²³⁾ weggenommen werden. Wenn wegen Versagen des Systems eines oder mehrere Segel nicht geborgen werden können und die Windstärke zunimmt, dann ist es wenigstens um den Mast, wenn nicht um das ganze Schiff geschehen. Unter schwierigen Wetterbedingungen kann nicht erwartet werden, daß in der Takelage Reparaturen ausgeführt werden können. Daß das vorgesehene automatische System sehr anfällig sein wird, ergibt sich aus dem Umstand, daß alle unter Winddruck stehenden Teile arbeiten, sich biegen und zum Teil unterschiedlich belastet werden, so daß es zu Verspannungen kommen muß.

Das konventionelle schoonergetakelte Indosail-Ship wird sich wie konventionelle schoonergetakelte Schiffe verhalten

17) H. Hamecher, Königin der See Fünfmast-Vollschiff „Preussen“, Hamburg 1969, S. 212

18) Vgl. P. Schenzel, aaO, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 181

19) Vgl. H. Hamecher, aaO, S. 212

20) Tabelle nach: C. A. Marchay, Segeltheorie und Praxis, Berlin 1971, S. 476

21) Vgl. R. M. Willoughby, aaO, S. 220

22) MacLear, Diskussionsbeitrag, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 157

23) H. Hamecher, aaO, S. 57

ten. Eine besondere Betrachtung ist bei der „Shin Aitoku Maru“ erforderlich. Mit ihrer derzeitigen Ausrüstung dürfte dieses Schiff keine Sicherheitsprobleme haben. Die Winddruckflächen von zweimal ca. 100 m² sind derart klein, daß die Stabilität nur unter extremen Bedingungen berührt wird. Im übrigen ist bereits in der Planung vorgesehen, daß die Flächen spätestens bei 8 Bft (20 m/sec) weggeklappt werden müssen²⁴). Eine praxisbezogene Prüfung des Systems ist unter diesen Voraussetzungen nicht zu erreichen. Zwar ist konsequent eine manuelle Bedienung der Winddruckflächen ausgeschlossen worden, bei Vergrößerung der Anlage scheint durch dieses Klappensystem das Stabilitätsproblem nicht gelöst. Um eine Winddruckfläche zu installieren, die bei 5 Bft dem Schiff wenigstens eine Reisegeschwindigkeit von 7 bis 8 kn verleiht, müßte die Winddruckfläche ungefähr zehnmal größer sein²⁵), d. h. statt der zweimal 100 m² müßten zweimal 1000 m² installiert sein. Selbst wenn man davon ausgeht, daß eine 2000 m² große Anlage insgesamt so leicht bzw. schwer gebaut ist, daß durch die Gewichte über Deck kein größerer Einfluß auf die Stabilität auftritt als bei anderen Takelagen, so bewirkt das Klappsystem, daß ca. ein Fünftel der jeweiligen Winddruckfläche noch im geklappten Zustand als Windwiderstandsfläche dem Wind ausgesetzt ist. Dies macht bei den jetzigen Abmessungen ca. 40 m² (bei zehnfacher Vergrößerung ca. 400 m²) aus. Rechnet man den Winddruck bei 5 Bft mit 7,5 kp/m², so wirkt auf die Restwinddruckfläche ein Winddruck von 300 kp (bzw. 3000 kp). Legt man bei 9 Bft einen Winddruck von 36 kp/m² zugrunde, so ergibt sich für die Restfläche ein Winddruck von 40 mal 36 = 1440 kp (bzw. 14 400 kp). Kommt der Wind von vorne, so wird nur die Maschinenfahrt erheblich vermindert, kommt der Wind von der Seite, so haben diese Winddrucke erheblichen Einfluß auf die Stabilität des Schiffes. Die Verwendung starrer Flächen hat ferner den Nachteil, daß auch die Klappflächen Widerstände erzeugen, wenn diese Flächenteile in Ruhestellung geklappt sind. Weder weht der Wind ständig aus der gleichen Richtung, noch befindet sich das Schiff ständig auf gleichem Kurs. Die errechneten Widerstände werden daher höher ausfallen.

Insbesondere das Projekt „Shin Aitoku Maru“ zeigt, daß die Ausgestaltung der Takelage erheblichen Einfluß auf die Stabilität und damit auf die Sicherheit hat. Soweit Einflüsse durch die Takelage unvermeidbar sind, besteht jedoch die Möglichkeit, durch Veränderung der Rumpfkonstruktion etwas Ausgleich zu schaffen. Bei den hier vorgestellten Projekten ist nicht erkennbar, daß von den üblichen Schiffsrümpfen abgewichen worden ist.

Eine weitere Sicherheitsvoraussetzung ist eine ausreichende Maschinenleistung. Für den Sealiner, das Dynaschiff und das Indosail-Ship sind nur Hilfsantriebsmaschinen vorgesehen, während die „Shin Aitoku Maru“ die für die Größe des Schiffes übliche Antriebsrichtung von 1600 PS für 12 kn hat. Im Regelfall wird man sich nicht mit einer Hilfsmaschine zur Überwindung von Flaute begnügen können. Bereits bei einer Windstärke von 7 bis 8 Bft kommt ein nur mit Hilfsmaschine ausgerüstetes Segelschiff nicht mehr gegen den Wind an²⁶), obwohl es bei Flaute eine Geschwindigkeit von ca. 10 kn erreicht. Aus Sicherheitsgründen muß das Windschiff auf Zwangswegen, Revieren und bei dichtem Schiffsverkehr und insbesondere im Küstenbereich in der Lage sein, gegen den Wind und die stehende See anzukommen. Die Maschinenanlage eines Windschiffes muß daher so ausgelegt sein, daß unter Berücksichtigung der Schiffswiderstände inklusive der verwendeten Takelage das Schiff sicher dirigiert werden kann.

Transportleistung

Es wurde aus Sicherheitsgründen gefordert, daß das Windschiff im Regelfall²⁷) mit einer Hilfsmaschine ausgerüstet sein muß, die dem Motorschiff gleicher Größe entspricht. Dadurch wird das Windschiff um die Kosten für die Windeinrichtung und deren Wartung teurer sein als das entsprechende Motorschiff. Bei der „Shin Aitoku Maru“ haben die Kosten für die Winddruckanlage ca. 10% der

Gesamtbaukosten ausgemacht²⁸). Untersucht man die Vor- und Nachteile einer leistungsfähigen Maschine im Bereich Transportleistung, so wird im Ergebnis eine hohe Flexibilität dem Windschiff zum Vorteil gereichen. Es kann sich ohne weiteres der Marktsituation anpassen, aber auch Kontraktgeschwindigkeiten halten. Bei wertvoller Ladung (Kosten für Kapitaldienst auf die Ladung) und hohen Frachtraten kann es trotz kostengünstiger Treibstoffkosten zweckmäßig sein, hohe Durchschnittsgeschwindigkeiten zu fahren²⁹), während bei geringem Wert der Ladung, niedrigen Frachtraten und langen Hafentiegezeiten die ökonomischste Geschwindigkeit (most profitable speed) erheblich niedriger ist³⁰). Ein Windschiff, das nicht in der Lage ist, sich der Marktsituation anzupassen, wird in Konkurrenz mit dem Nur-Motorschiff nur schwer bestehen können. Letztlich muß das Windschiff nicht nur die Mehrkosten einfahren, die es verursacht, sondern darüber hinaus einen meßbaren Profit gegenüber der Motorschiffahrt aufweisen.

Der durch Wind erzeugte Vorantrieb entscheidet über das Gelingen des Unternehmens. Im Mittelpunkt steht die Winddruckfläche. Um sich vor Augen zu führen, mit welchen Dimensionen man zu tun hat, soll zunächst auf die Leistungsfähigkeit der „Preussen“ eingegangen werden. Mit ihren 5600 m² Segeln legte sie auf ihrer zweiten und vierten Ausreise (Europa—Chile) ca. 10 900 Seemeilen zurück, wobei der direkte Weg 9600 Seemeilen betrug³¹). Sie ersegelte damit eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 7,5 kn und einen Reisedurchschnitt über die direkte Distanz von ca. 6,7 kn. Diese Reisegeschwindigkeit ohne Hilfsantriebsmaschine und durch die Mallungen hindurch ist beachtlich und würde theoretisch bei einem Motorschiff mit 12 kn Marschgeschwindigkeit zu einer Treibstoffeinsparung von ca. 50% führen. Tatsächlich wäre die Treibstoffeinsparung höher, da sich das Windnutzungsverhältnis mit einem Windmotorschiff verbessert. So hat Willoughby für den Sealiner im Vergleich zur „Great Britain“ errechnet, daß dieser konventionelle Segler bei Verwendung einer Hilfsmaschine in 51 Tagen von Australien über Kap Horn nach England bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 12 kn nur 217 Tonnen Bunker verbrauchen würde³²). Ein Schiff gleicher Größe würde bis zu 25 t Bunker pro Tag verbrauchen (bei 51 Tagen max. 1000 t).

Dennoch wird sich der Sealiner nicht durchsetzen können. Die Kosten für die 55 Mann Besatzung würden sich vielleicht noch verkraften lassen. Für die Rentabilitätsberechnung sind ferner die Hafentiegezeiten von Bedeutung. Konventionelle Windschiffe können sich nicht an die Lade- und Löschgewohnheiten und die Erfordernisse im Massengutverkehr anpassen. Jedenfalls wird eine mangelnde Anpassungsfähigkeit zu Verzögerungen führen. Das Windschiff muß jedoch unter allen Umständen lange Hafentiegezeiten vermeiden, da es nur durch Seeinsatz, d. h. durch energiegnügende Transportleistung sich armortisiert und die Konkurrenz mit dem Motorschiff gewinnen kann. Selbst wenn man sich über diese Punkte hinwegsetzen will, z. B. um überhaupt einmal einen Anfang zu machen³³), so liegt der eminente Nachteil beim Sealiner, daß er aus sich heraus nicht „entwicklungsfähig“ ist und insbesondere wegen der manuellen Bedienung der Segel nicht wesentlich vergrößert werden kann.

Für die „Shin Aitoku Maru“ wurde bereits angesprochen, daß die Winddruckflächen viel zu klein sind, um eine be-

- 24) NN, Sail equipped motor ship, The Naval Architect, March 81, S. E 61
- 25) Vgl. P. Schenzel, aaO, „Hansa“ 81, S. 1580
- 26) Vgl. H. F. Moriss Scott, Diskussionsbeitrag, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 186
- 27) Ausnahmen sind jedoch möglich, z. B. für das Indosail-Ship, das in Windgebieten fährt mit Windstärken, die selten über 5 Bft hinausgehen; vgl. P. Schenzel, aaO, „Hansa“ 81, S. 1576
- 28) NN, aaO, The Naval Architect, March 81, S. E 60
- 29) P. M. Alderton, The optimum speed of ships, The Journal of Navigation, Sept. 81, S. 341 f.
- 30) wie vor
- 31) H. Hamecher, aaO, S. 218
- 32) R. M. Willoughby, aaO, S. 220
- 33) So H. G. Lawrence, Diskussionsbeitrag, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 225 (226)

merkenswerte Einsparung zu erzielen. Nicht haltbar sind Berichte, daß ca. 50 % Brennstoff eingespart wurden³⁴⁾, das war, wie schon erwähnt, auch nicht vorgesehen³⁵⁾.

Um gegenüber dem konventionellen Segelschiff die Reisegeschwindigkeit und damit die Transportleistung zu erhöhen, wurde bei den Projekten Dyna-Ship, „Shin Aitoku Maru“ und Indosail-Ship intensiv an einer besseren Windnutzung durch Berücksichtigung aerodynamischer Regeln gearbeitet³⁶⁾. Es fragt sich, ob mit einer Verbesserung der Aerodynamik der Durchbruch für Windschiffe erzielt werden kann. Schenzel³⁷⁾ ermittelte für das Indosail-Ship eine um einen Knoten erhöhte Reisedurchschnittsgeschwindigkeit gegenüber einem in etwa gleich großen rahgetakelten Schiff (SS „Gorch Fock“). Für das Dyna-Schiff werden je nach Anzahl der Masten erheblich höhere Geschwindigkeiten im Vergleich zum konventionellen Segelschiff erwartet³⁸⁾. Die Angaben können hier nicht überprüft werden. Sie sind nur theoretisch ermittelt und sind allenfalls bei absoluter Funktionssicherheit zu erreichen.

Beschränkt man sich auf den grundsätzlichen Einfluß der Aerodynamik für Segelschiffe, so kann ihre Bedeutung unter gewissen Voraussetzungen nicht nachhaltig genug betont werden. Die moderne Regatta-Yacht ist ohne die optimale und damit aerodynamisch günstige Segeleinrichtung nicht konkurrenzfähig. Im Gegensatz zum Flugzeug, wo die Strömungsabläufe wegen der relativ hohen Flugeschwindigkeit fast als statisch angesehen werden können, bewegt sich das Segelschiff in sehr unterschiedlichen Winddruckverhältnissen. Unterschiedliche Winddrücke erzeugen auch unterschiedliche Strömungsabläufe. Der Yachtsport hat sich darauf völlig eingestellt und ist in der Lage, die Segel entsprechend der jeweiligen Stärke und Windrichtung zu trimmen.

Für ein großes Windschiff kommt aus technischen und Kostengründen eine fortlaufende Anpassung an die aerodynamisch günstigste Form der Winddruckfläche nicht in Betracht. Man kann daher allenfalls einen Mittelwert zugrunde legen, d. h. man entscheidet sich für eine bestimmte Windgeschwindigkeit und einen bestimmten Einfallswinkel und stellt für diese die Fläche optimal ein. Für andere Windgeschwindigkeiten und Windeinfallswinkel ist die Fläche dann nicht mehr ideal. Ferner ist zu berücksichtigen, daß aerodynamische Strömungsabläufe nur in einem verhältnismäßig kleinen Bereich (ca. 30° auf jedem Bug und hoch am Wind) gravierende Vorteile bringen³⁹⁾. Je achterlicher der Wind einfällt, desto weniger wirkt sich eine besondere Form der Winddruckfläche aus. Für Frachtschiffe ist die aerodynamische Ausgestaltung der Winddruckflächen nicht so bedeutend wie in der Sportschiffahrt. Je ausgefeilter das System ist, desto stärker werden die Funktionssicherheit beeinträchtigt und die Kosten ansteigen.

Ferner sind noch anzusprechen die Kursstabilität und die Schiffsgröße. Winddruckflächen müssen so ausgestaltet sein, daß während ihrer möglichen Nutzungszeit die Steuerfähigkeit nicht beeinträchtigt wird. Die Flächen müssen ferner so eingerichtet und getrimmt werden können, daß nicht oder nur wenig mit fahrhemmendem Ruderausschlag gefahren werden kann. Die erforderlichen Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Kursstabilität und Steuerfähigkeit wurden früher empirisch gefunden. So hatte man z. B. festgestellt, daß große schoonergetakelte Schiffe zu luvgerig sind und nicht befriedigend gesegelt werden konnten. Soweit man daher auf Schoonertakelung zurückgreifen wollte, versah man den Vordermast mit einer Rahtakelung, die sogenannte Brigantine. Die Unsteuerbarkeit von nur schoonergetakelten Schiffen erlebten die Eigner mit dem größten je gebauten Schooner (mit einer Tragfähigkeit von 8100 Tonnen fast so groß wie die „Preussen“), der „Thomas W. Lawson“. Das in Amerika Anfang dieses Jahrhunderts gebaute Schiff sollte mit einer Besatzung von nur 17 Mann fahren. Laut Angaben bei Laas⁴⁰⁾, in denen er sich auf eine Zeitungsmeldung beruft,

wurde das Schiff 1906, ein Jahr nach Indienststellung, zum Leichter umgebaut, „weil er nur bei dem besten Wind zu regieren ist“. Bei dem Entwurf von Windschiffen muß man sich ferner vor Augen halten, daß die Klüversegel und die Besansegel weniger Zugsegel, sondern in erster Linie Kursstabilisierungssegel waren. Ein Windschiff, das nicht alleine durch den Gebrauch seiner Winddruckflächen den Kurs halten kann, verliert durch viel Rudergeben bzw. eine ausmittige Ruderlage unnötig Fahrt und wird möglicherweise gezwungen, Winddruckflächen wegzunehmen, bevor dies aus Stabilitäts- und anderen Sicherheitsgründen erforderlich ist.

Zum Abschluß soll noch kurz auf die Schiffsgröße eingegangen werden. Bei der Planung von Windschiffen wird man berücksichtigen müssen, daß sich die Windschiffe nach den Marktanforderungen richten müssen, d. h. die Winddruckflächen müssen sich den Schiffsgrößen anpassen können. Konzepte, die nicht variabel genug sind, werden sich nur vereinzelt durchsetzen können. So ist z. B. der Sealiner, der in der Australienfahrt eingesetzt werden soll, für die Massengutfracht zu klein und wird als Stückgutsschiff nicht gebraucht⁴¹⁾.

Zusammenfassung

Die Erörterung des Schaubildes zeigt, daß das konkurrenzfähige Windschiff ein sehr komplexes System ist. Daß man nicht auf der Suche nach dem perpetuum mobile ist, haben die großen Segelschiffe der Jahrhundertwende anschaulich bestätigt. Diese Generation von Schiffen kann jedoch nur Anregungen und Hinweise hinsichtlich Dimension, Leistungsfähigkeit, Segeltechnik, Schiffsverhalten usw. geben. Auch in verbesserter Ausführung werden sie nicht mit den modernen Seeschiffen konkurrieren können. Auch der moderne Segelyachtsport wird nur in äußerst geringem Rahmen Wege für das Handelsschiff mit Windantrieb aufzeigen können. Zwar ist das Ziel, höchste Windausnutzung (in Bereichen unter 5 Bft) und hohe Geschwindigkeit zu erreichen, insoweit gleich, aber die Mittel, um das zu erreichen, sind fundamental unterschiedlich⁴²⁾. Lediglich in der Klein- und Küstenschiffahrt, insbesondere wo noch Frachtsegel betrieben wird, wie z. B. in Indien⁴³⁾ und Indonesien⁴⁴⁾, wird man auf kleineren Einheiten⁴⁵⁾ und ohne größeren Kostenaufwand die im Segelsport entwickelten Masten, Takelagen und Segel verwenden können. Für die große Handelsschiffahrt hat der Segelsport nicht viel zu bieten. Die Dimensionen und Anforderungen sind viel zu unterschiedlich. Das Handelsschiff muß unter allen Umständen sicher seinen Dienst versehen. Das trifft insbesondere unter schwierigen Wetterbedingungen zu. Darauf hat der Herzog von Edinburgh⁴⁶⁾ bei der Eröffnung des RINA Symposiums 1980 mit folgenden Worten hingewiesen:

„It is easy enough to reduce the whole of the discussion to elegant formulae, beautiful graphs and pages of statistics, but seagoing is not quite as clinical as that. The elements also play part in the matter, and they are unforgiving.“

Schwierigkeiten, die überwunden werden müssen, sind in Fülle vorhanden. Was unter diesen und jenen Umständen gut ist, ist unter anderen Umständen schädlich. Das

34) so die Angaben bei N. Hamada, Jamda pioneering new technology, Zozen 81, S. 20

35) NN, aaO, The Naval Architect 81, S. E 61

36) Für das Dyna-Ship und die „Shin Aitoku Maru“ wurden die Winddruckflächen nach innen (Windfallseite) gewölbt.

37) P. Schenzel, aaO, „Hansa“ 81, S. 1580

38) P. Schenzel, aaO, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 180

39) Vgl. C. A. Marchay, Diskussionsbeitrag, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 8, Fig. 4

40) Laas, aaO, S. 10

41) Vgl. S. T. Ballantysse, Diskussionsbeitrag, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), S. 228; danach werden bereits heute 90 % des Stückgutverkehrs von und nach Australien über Container abgewickelt.

42) Abgesehen davon, daß Yachten Leichtwetterschiffe sind, brauchen sie keine Ladung zu fahren und haben eine hohe Besatzungsstärke.

43) Vgl. D. B. Irani, Country craft and sailing vessels of India, The Naval Architect, Sept. 1980, S. 179 (181)

44) P. Schenzel, aaO, „Hansa“ 81, S. 1576

45) Siehe die Referate von Jacquemin, Gifford, Scott, alle RINA 81 (vgl. Fußn. 6)

46) Eröffnungsrede, RINA 81 (vgl. Fußn. 6), ohne Seitenangabe

könnte letztlich zur Erkenntnis führen, daß es Kompromißformeln nicht gibt. Selbst wenn man keine grundlegenden Verhaltensänderungen im Welthandelsverkehr, keine Treibstoffverknappung und keine extremen Kostensteigerungen erwartet, wird die Diskussion über die Nutzung von Windenergie anhalten. Wie in der Einleitung ausgeführt, sind die Ressourcen für das Handelsschiff stärker eingeschränkt als für Landanlagen. Für den Schiffsantrieb kann die Verwendung von Sonnenenergie, Wellengenera-

toren, Gezeitenkraftwerken, Wärmepumpen etc. nicht unmittelbar nutzbar gemacht werden. Es wäre erstaunlich, wenn die Windnutzung auf Schiffen bei hohem Kosteniveau für Brennstoffe nicht nutzbar werden könnte, wo von allen sogenannten alternativen Energiequellen das Windschiff die ideale Nutzung natürlicher Ressourcen ist. Windenergie wird unmittelbar in Antriebsleistung umgesetzt. Es ist daher keine gewagte Voraussage, daß die Bemühungen um das Windhandelsschiff anhalten werden.