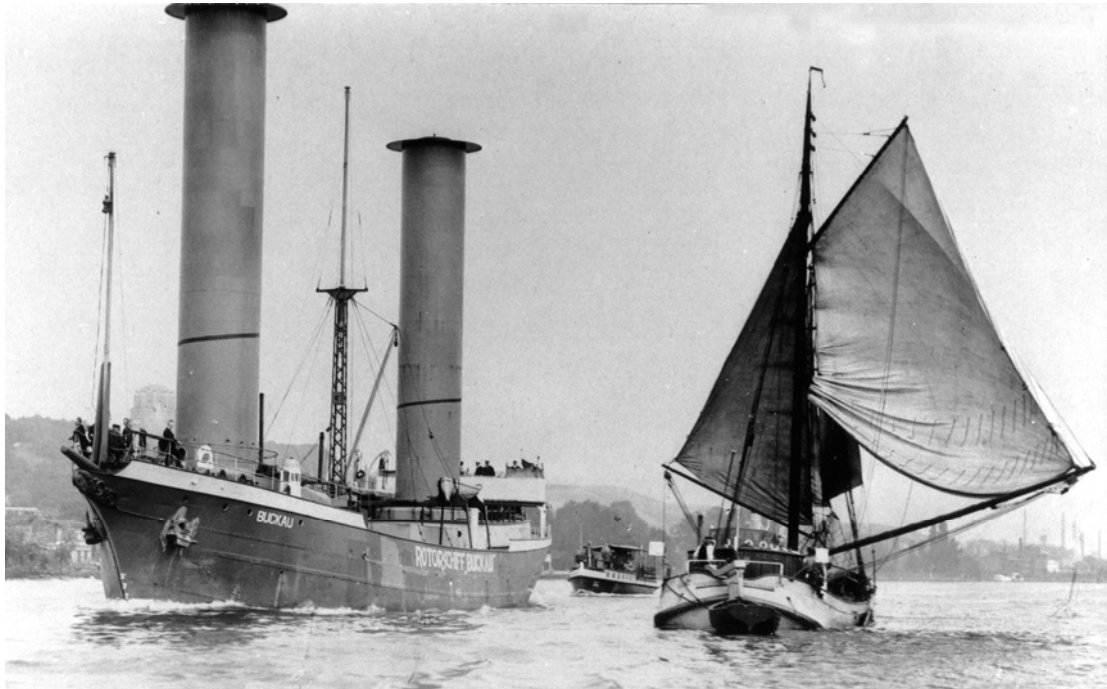


Flettner-Rotorschiffe: Alte Technik für neue Schiffe

Autor: Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Reuß



*Auf dem Weg nach Stettin begegnet das Rotorschiff BUCKAU auf der Oder bei Gotzlow einer Tjalk, 1924.
Foto: Max Dreblow / Archiv DSM*

Im breiten Raum der Öffentlichkeit taucht immer wieder die Frage auf, ob eine Idee, eine Erfindung zu früh oder zu spät kam. In der Fachwelt stellt sie sich nicht, denn mit den Fortschritten der Technik lässt sich Jahrzehnte später leicht beweisen, ob und wie nützlich der Einsatz einer alten Technik sein kann. Dabei ist es gleichgültig, ob es sich zum Beispiel um ein Luftschiff NT (neuer Technologie) oder ein Flettner Rotorschiff handelt, das im kommenden Jahr in Dienst gestellt werden soll und den Projektnamen „E-Ship“ trägt.

Wie vor gut zwei Jahren bekannt wurde, hat der deutsche Windkraftanlagenhersteller Enercon GmbH in Aurich der Kieler Schiffswerft und Maschinenfabrik Lindenau GmbH einen Auftrag zum Bau eines Flettner Rotorschiffes erteilt. Nach den ursprünglichen Plänen sollte das E-Ship bereits im Herbst 2008 in Dienst gestellt werden. Dieser Zeitplan ist aber nicht eingehalten worden.

Worum geht es? Das Auricher Unternehmen möchte seine Windkraftanlagen weltweit exportieren und benötigt dazu entsprechende Transportkapazitäten, die auf konventionellen Stückgutfrachtern hinsichtlich Be- und Entladung Probleme bereiten und aufgrund des Tiefgangs dieser Schiffe auch nicht in allen Fällen ohne Umladung zum Ziel gelangen können. So wird der Transport teuer. Mit einem eigenen Schiff, dessen Ladegeschirr auf die speziellen Bedürfnisse ausgelegt ist und das aufgrund eines geringen Tiefgangs nahezu alle Plätze anlaufen kann, an denen die Anlagen installiert werden sollen, ließe sich einiges einsparen. Mit einer umweltfreundlichen, energiesparenden Antriebstechnik könnte dann ein wirtschaftlicher Betrieb sichergestellt werden. Wird auf dem Rückweg noch Fracht für Dritte mitgenommen, verbessert sich das Ergebnis.

Diesen Ansatz hat Enercon nach einer Machbarkeitsstudie, die von ThyssenKrupp Nordseewerke durchgeführt wurde, gewählt und ein Schiff bestellt, das eine diesel-elektrische Hauptantriebsanlage erhalten wird und einen Hilfsantrieb mit vier Flettner-Rotoren. Aus den wenigen bislang veröffentlichten Daten und Fakten geht hervor, dass das Schiff bei einer BRZ von 12800 eine Länge über alles von 130 Metern und eine Breite von 22 Metern erhalten soll. Der Tiefgang wird nur mit „gering“ angegeben.

Am Heck und am Bug, unmittelbar hinter der Brücke, werden jeweils zwei Rotoren mit einem Durchmesser von 4 und einer Höhe von 27 Metern angeordnet. Dieser Hilfsantrieb soll zu einer Kraftstoffeinsparung zwischen 30 und 40 Prozent führen. Zusätzlich sind an Bug und Heck Manövrierhilfen vorgesehen, da mit den Rotoren nur bei Wind manövriert werden kann. Die Klassifizierung des Schiffes übernahm der Germanische Lloyd. Unbestätigt ist bislang die Eisklasse E3. In Aurich rechnet man mit einer Amortisation der Investition innerhalb von fünf Jahren.

Nach dem ursprünglichen Konzept waren für das Be- und Entladen zwei Kräne mit Tragfähigkeiten von 80 bzw. 120 Tonnen und langen Auslegern auf der Backbordseite sowie eine Heckklappe vorgesehen. Wie es heißt, sollen Rotoren zur Vereinfachung des Ladevorgangs entfernt werden. Der Frachtraum ist so konzipiert, dass einerseits ein optimaler, raumsparender Transport der langen Rotorblätter der Windkraftanlagen in speziellen Gestellen möglich ist, andererseits Stückgut als Rückfracht geladen werden kann.



Unter der Bezeichnung E-SHIP 1 lag der Rumpf des geplanten Rotorschiffes im Herbst 2008 bei der Kieler Lindenau Schiffswerft und Maschinenfabrik, wo das Schiff am 2. August vom Stapel gelaufen war. Foto: Klaus-Peter Kiedel

Mit Hilfe der heutigen Elektronik, speziell der Rechnertechnik, lassen sich Haupt- und Hilfsantrieb ideal kombinieren und damit sowohl Primärenergie sparen, als auch die CO₂-Emission in beträchtlichem Maße senken. Abhängig von Windstärke und Windangriffswinkel können Drehrichtung und Drehzahl der einzelnen Rotoren so optimiert werden, dass eine größtmögliche Vortriebskraft erzielt wird. Je größer diese wird, um so mehr Aggregate der diesel-elektrischen Hauptantriebsanlage werden abgeschaltet. Unbestätigt hierzu ist die Zahl von neun Bordaggregaten. Grundsätzlich wäre eine große Zahl kleiner Aggregate die beste Lösung, da diese immer auf dem besten Betriebspunkt gefahren werden können, womit soviel Kraftstoff wie möglich gespart wird.

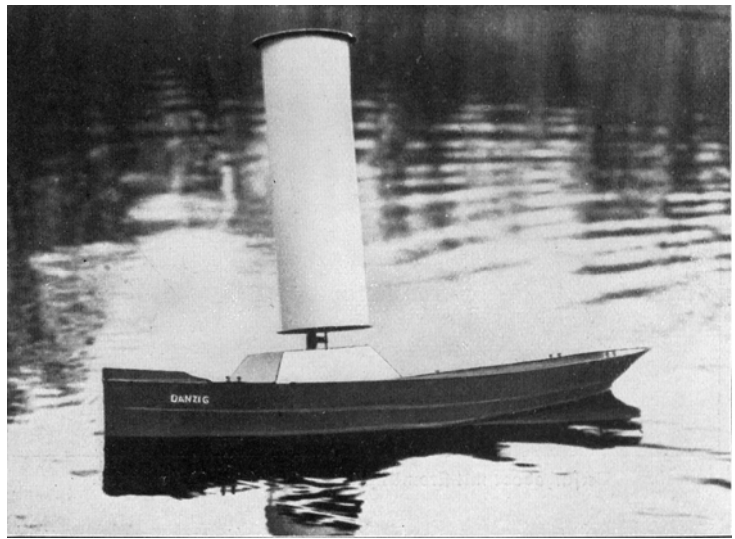
Anton Flettner und sein Weg zum Windkraftschiff

Um jeden Zweifel von vornherein auszuräumen: Das Flettnersche Windkraft- oder Rotorschiff BUCKAU ist ein Segelschiff mit Hilfsantrieb, also ein Motorsegler gewesen. Der Flettner-Rotor ist ein alternativer aerodynamischer Antrieb, seine Projektion eine alternative Segelfläche. Wenn heute von Schiffen mit Flettner-Rotoren gesprochen wird, handelt es sich meist um Motorschiffe mit einem Segel-Hilfsantrieb, der Kraftstoff sparen soll. Die Rotoren haben die Wirkung von Segeln, verbunden mit den Vorteilen, dass sie nur etwa ein Zehntel der Fläche eines vergleichbaren Segelschiffes benötigen und dass zur Bedienung keine Mannschaft erforderlich ist. Sie bieten darüber hinaus Vorteile hinsichtlich der Stabilität des Schiffes und bilden bei Sturm keine Gefahr, da ihre projizierte Fläche kleiner ist als die einer entsprechenden Takelage.

Zur Zeit des großen Erfolgs von Anton Flettner gab es ungläubiges Staunen und Zweifel darüber, was diese Schiffe bewegt. Ludwig Prandtl, Leiter der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen, schrieb dazu in einem umfassenden Beitrag zur Erläuterung des Magnus-Effektes und dessen Nutzung zum Antrieb von Schiffen, der in der Zeitschrift „Die Naturwissenschaften“ 1925 erschien: „Das Flettnersche Windkraftschiff, das durch eine ungewöhnliche Zeitungspropaganda in aller Munde ist, hat die Strömungslehre, die bis dahin ein bescheidenes Dasein, beschränkt auf den engeren Kreis der Fachleute geführt hatte, plötzlich in den Vordergrund des allgemeinen Interesses gerückt; der wunderliche ‚Flettner-Rotor‘ zeigte nämlich ein Verhalten, das man sich mit den überkommenen Anschauungen über den Winddruck schlechterdings nicht erklären konnte, sollte doch der rotierende Zylinder dieselben Kraftwirkungen hervorbringen, wie ein Segel mit 10 bis 15 mal so großer Ansichtsfläche.“

Prandtl führt weiter aus, dass die Strömungslehre nicht nur diesen ungewöhnlichen Schiffsantrieb physikalisch präzise erklären kann, sondern dass sie auch maßgeblich an seiner Entwicklung beteiligt war. Er geht dann detailliert auf den Magnus-Effekt ein und auf dessen Effekt bei der Artillerie und alle Arten der Ballspiele, bei denen angeschnittene Bälle eine Rolle spielen. In seinem Institut sind Anfang 1923 die ersten Versuche mit senkrecht angeströmten rotierenden Zylindern gemacht worden, mit denen die theoretischen Erkenntnisse bestätigt wurden. Er schreibt: „Über die Verwendungsmöglichkeiten des rotierenden Zylinders hatten wir bereits gelegentlich des theoretischen Resultats Überlegungen angestellt, sahen aber bei keiner von uns in Erwägung gezogenen Verwendung (Flugzeugflügel, Propeller, Windmühlenflügel, Turbinenschaufel usw.) irgendeinen praktischen Gewinn.“

Prandtl und seine Mitarbeiter waren offenbar sehr stark in Richtung Flugzeug orientiert, als dass sie an ein Segel als Anwendung hätten denken können. So schreibt er weiter: „Den Fall des Schiffsegels, wo die Verhältnisse anders liegen und sich für den rotierenden Zylinder viele Vorteile ergeben, hatten wir damals leider nicht in Erwägung gezogen. Dies blieb Herrn A. Flettner, dem bekannten Erfinder des ‚Flettner-Schiffsruders‘ vorbehalten. Er hatte in der mir unterstellten Anstalt schon früher verschiedene Versuche zur Klärung der Eigenschaften seines Ruders ausführen lassen, und war dann dazu übergegangen, den Gedanken eines Ruders auf das Segelschiff zu übertragen.“



Anton Flettner (1885-1961), auf dem Bild etwa im Alter von 40 Jahren, bewies zunächst mit einem Modellboot die Funktion seiner Erfindung: Ein Rotor konnte die klassischen Segel ersetzen und das Boot antreiben. Fotos: Archiv DSM, Sammlung d. Verf.

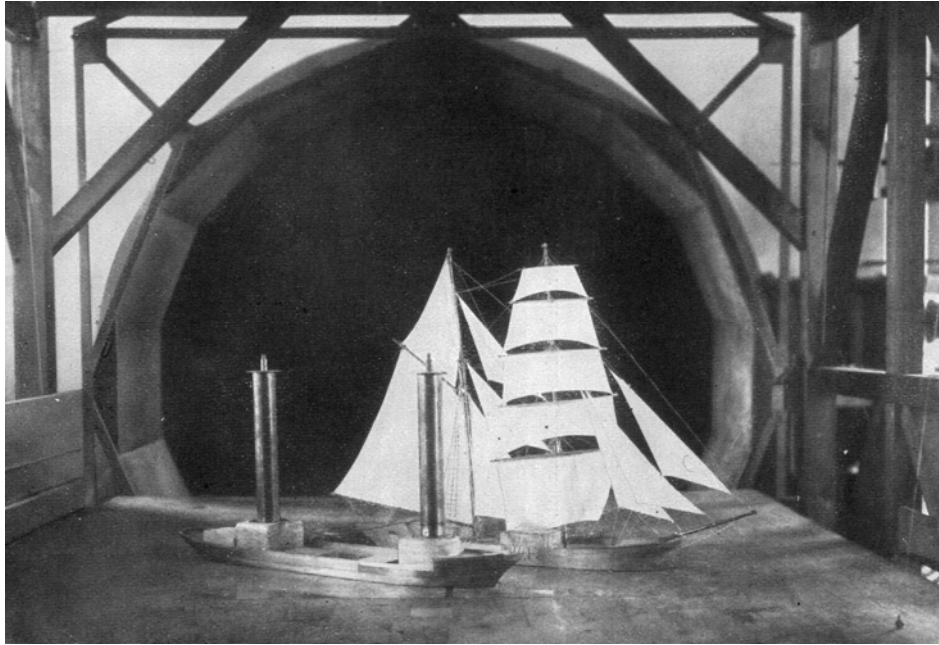
Flettner suchte ursprünglich nach einer Alternative zu konventionellen Segeln, deren Bedienung sehr personalaufwendig war und viel Zeit erforderte. Das Segel bot folglich keinen wirtschaftlichen Schiffsantrieb mehr, von dem er in seinem Buch „Mein Weg zum Rotor“ schreibt, dass er „jederzeitige schnelle Bereitschaft, einfache Bedienung, kleine Bedienungsmannschaft“ bieten muß. Mit einem Hilfsruder ausgestattete Metallsegel sollten die „alten Segel“ ersetzen. Da symmetrische Profile nicht soviel Auftrieb bewirken wie unsymmetrische, schlug Flettner sogar Metallsegel mit veränderlichem Profil vor. Wie Prandtl schreibt, erreichten konventionelle Segel im Vergleich zu Metallsegeln etwa 80 Prozent der Kräfte. Somit mussten letztere im Vergleich deutlich größer werden, um konventionelle Segel abzulösen. Da zudem eine Havarie des Hilfsruders nicht auszuschließen war, blieb das Sturmrisiko bestehen. Die Metallsegel mussten bei Sturm mit dem Hilfsruder zuverlässig in Windrichtung gebracht werden, um eine möglichst kleine Angriffsfläche zu bieten. Flettner suchte weiter.

Als er von den Versuchsergebnissen mit dem rotierenden Zylinder hörte, „entschloss er sich rasch, die Verwendbarkeit solcher Zylinder für sein Segelschiff untersuchen zu lassen ...“. Aufgrund der in Göttingen vorliegenden aerodynamischen Versuchsergebnisse erhielt Flettner wertvolle Hinweise zur Größe und Form der benötigten Rotoren. Auch für die mit dem Zylinder umlaufenden Scheiben am oberen und unteren Ende erhielt er die zur Optimierung der Rotoranlage notwendigen Hinweise. Ohne auf die Details näher einzugehen, wird schnell deutlich, welchen Einfluss die Scheiben haben, wenn man nur den Auftriebsbeiwert ohne und mit Scheiben vergleicht. Zu Zeiten Flettners erreichte ein Zylinder ohne Scheiben einen Auftriebsbeiwert von $c_a = 4$ und der Zylinder mit Scheiben einen c_a -Wert von 10!

Neben zahlreichen Versuchen mit Zylindern wurden recht bald Windkanalversuche mit einem Modell des geplanten Rotorschiffes BUCKAU und dem eines vergleichbaren Zweimastschoners durchgeführt, deren Segelflächen im Verhältnis 1:9,8 standen. Vermutlich um schon einen Vorgeschmack auf den praktischen Einsatz und die Vorteile des Rotors gegenüber dem klassischen Segel zu geben, weist Prandtl ausdrücklich auf die aufwendige Segeleinstellung für die verschiedenen Versuchsreihen hin, wohingegen beim Rotormodell nur die Umfangsgeschwindigkeit der Rotoren einer Änderung der Windgeschwindigkeit anzupassen war, um den gleichen Effekt zu erzielen. Er versäumt auch nicht darauf hinzuweisen, dass viele Schiffe schlecht gesegelt wurden, weil häufig aufwendige Segelmanöver zu spät oder gar nicht ausgeführt wurden. Mit dem Rotor muss beim Wendemanöver nur seine Drehrichtung geändert werden. Und mit entgegengesetzt drehenden Rotoren kann ein Schiff mit zwei oder mehr Rotoren sogar auf der Stelle drehen. Dazu genügt eine geringe Windgeschwindigkeit. „Gerefft“ wird beim Rotorschiff mit der Verringerung der Umfangsgeschwindigkeit des Rotors bis die Vortriebskraft bei Umfangsgeschwindigkeit null ebenfalls null ist. Der Luftwiderstand nicht drehender Rotoren ist geringer als der einer vergleichbaren Takelage.

Flettner hatte bereits mit der Fried. Krupp AG Germaniawerft in Kiel Verträge zur gemeinsamen Erprobung seiner mit Hilfsflächen gesteuerten Metallsegel geschlossen, als ihn während eines Urlaubs, im Sommer 1923 in Travemünde, der Gedanke an eine Nutzung des Magnus-Effektes nicht mehr los ließ. Sein Bruder Andreas hatte ihm kurz zuvor von den ersten Ergebnissen der Rotorversuche in Göttingen berichtet. Wie Prandtl und dessen Mitarbeiter hatten auch Anton Flettner und sein Bruder zunächst keine praktische Verwendung für den Rotoreffekt gesehen. Er schreibt dazu: „Die Idee, eine rotierende Walze zu benutzen, um damit ein Segel zu ersetzen, lag bei weitem nicht so nah, wie man heute glauben möchte und es oft dargestellt wird.“ Trotz vieler Zweifel wollte er sich seine „Erfindung“ schützen lassen und ließ dazu den Direktor der Berliner Flettner-Schiffsruder-Gesellschaft nach Travemünde kommen, um mit ihm eine Patentanmeldung auszuarbeiten. Das Patent wurde am 29. August 1923 unter dem Titel „Verfahren zur Erzeugung des Quertriebs an Quertriebskörpern, zum Beispiel an Segeln von Schiffen“ eingereicht und am 4. November 1925 erteilt.

Hinter der Suche nach Alternativen zum klassischen Segel als „Windkraftantrieb“ stand für Flettner die Konkurrenzsituation zwischen Segelschiff, Dampfschiff und Dieselmotorschiff. Seine Metallsegel mit der Steuerung über ein Hilfsruder sollten den Personalaufwand der Segelschiffe reduzieren. Zum Rotor schreibt er: „In den Tagen, in denen ich meine Erfindung machte, wußte ich noch nicht, daß der Rotor 8- bis 10-mal so viel Segeldruck erzeugen konnte wie ein Segel von gleichgroßer Projektion. Obwohl ich erwartete, daß die Leistung des Rotors bedeutend größer



Im Windkanal der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen wurden unter anderem vergleichende Versuche zwischen einem Rotorschiffs- und einem Segelschiffs-Modell durchgeführt. Foto: Sammlung d. Verf.

sei als die des alten Segels, war dieser Gedanke weniger ausschlaggebend. Den größten Vorteil sah ich in der außerordentlichen Einfachheit der Bedienung der neuen Anordnung.“

Erste Versuche mit einem Bootsmodell von etwa einem Meter Länge, ausgerüstet mit einem Papierzylinder als Rotor (Durchmesser 15 cm, Höhe 50 cm), der von einem Uhrwerk angetrieben wurde, brachte ihm Ende Juli 1923 auf dem Wannsee den grundsätzlichen Beweis für seine „theoretischen Behauptungen“. Umfangreiche Versuche im Windkanal der Göttinger Versuchsanstalt schufen die Voraussetzungen für eine konkrete Anwendung. Diese war mit der ursprünglich als Dreimast-Topsegelschoner gebauten BUCKAU vorgesehen. Flettner hat später keinen Zweifel daran gelassen, dass die technischen Einrichtungen in der Versuchsanstalt und die Motivation der „Göttinger Herren“, in den Personen Ludwig Prandtl und seinen Mitarbeitern Ackeret und Betz, erheblichen Anteil an seinem Erfolg hatten. So war die Übertragung der Versuchsergebnisse auf das reale Schiff ohne weitere Versuche ein voller Erfolg.

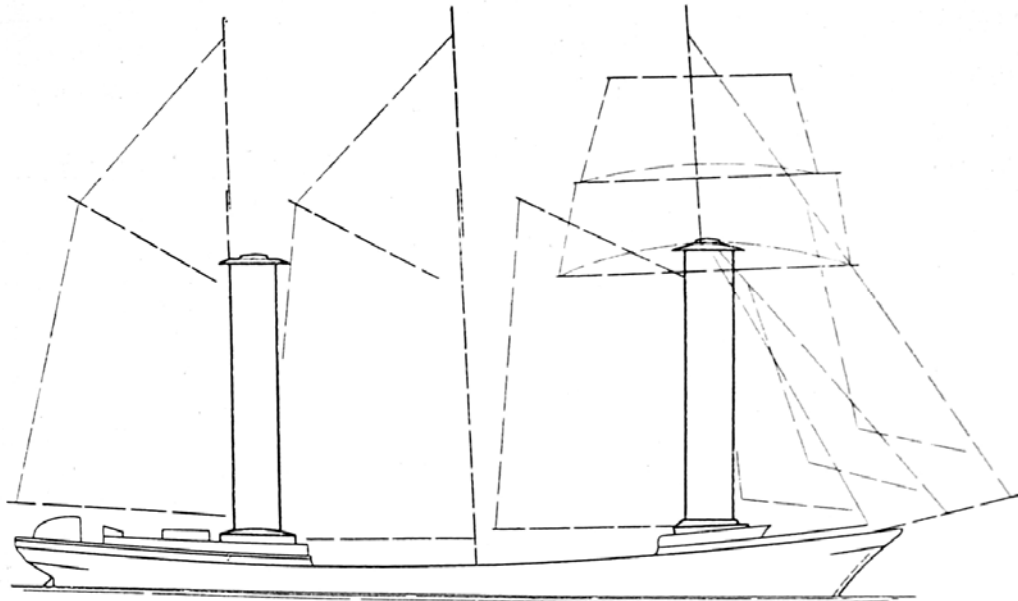
Zu diesem Erfolg trug unter anderem bei, dass von Anfang an Endscheiben vorgesehen waren, die mit den Zylindern umliefen. Aufgrund der damit verbesserten aerodynamischen Verhältnisse am Zylinder war es möglich, den Winddruck „fast auf das Doppelte zu erhöhen“, bei gleichzeitiger Verbesserung der Gleitzahl. Für die konstruktive Ausführung ergaben sich aus diesen Versuchen die optimalen Abmessungen der Endscheiben auf der BUCKAU. Letztlich zeigten die Versuche auch, mit welcher Umfangsgeschwindigkeit die Rotoren bei den verschiedenen Windgeschwindigkeiten laufen mussten und vermittelten, wie sich das Schiff im Sturm verhalten würde.

Das Rotorschiff BUCKAU

Die BUCKAU war 1920 bei der Germaniawerft in Kiel vom Stapel gelaufen. Sie hatte eine Länge von 47,48 m, eine Breite von 9,03 m und einen Tiefgang von 3,80 m. Als Hilfsantrieb war ein Sechszylinder-Viertaktmotor von MAN mit einer Leistung von 160 PS eingebaut, ursprünglich ein U-Boot-Motor, der hier mit reduzierter Leistung zum Einsatz kam. Die Segelfläche betrug einschließlich Toppsegel 883 qm. Das Schiff wurde von der Reederei Dönitz, Witt & Co. GmbH in Hamburg gekauft und der Germaniawerft für die Versuche verchartert.

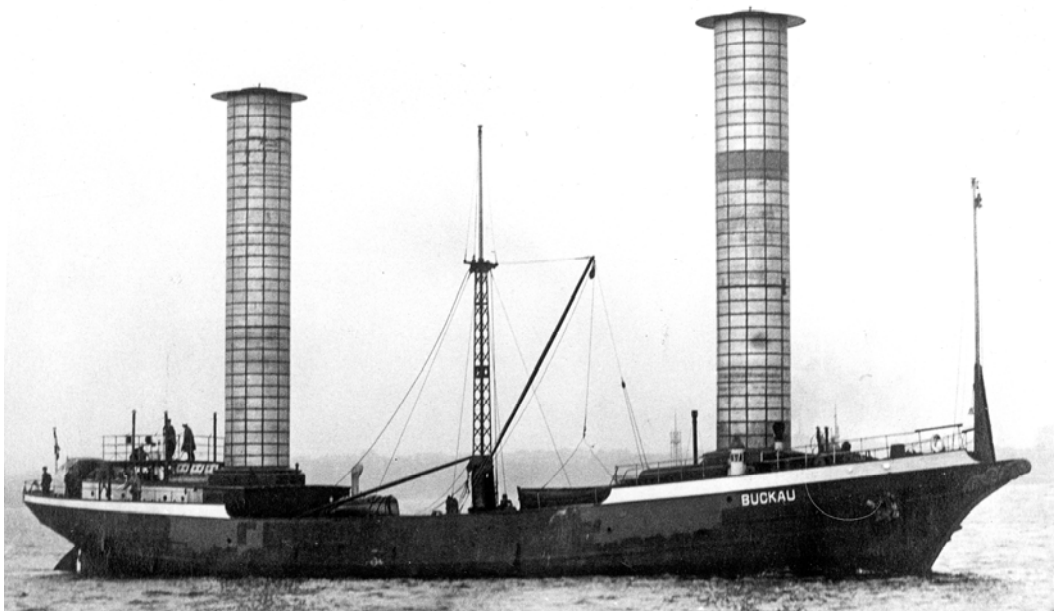
Wie bereits ausgeführt, sollten mit der BUCKAU Versuche mit den Metallsegeln durchgeführt werden. Der Unterstützung von Prandtl und seinen Mitarbeitern hatte Flettner es zu verdanken, dass die Leitung der Werft auf die Versuche mit den Metallsegeln verzichtete und sich unmittelbar dem Rotorprojekt widmete.

Die Buckau erhielt zwei aus einer Art Fachwerk bestehende, mit 1 bis 1,5 mm dickem, verzinktem Stahlblech bekleidete Rotoren von 2,8 m Durchmesser und 15,6 m Höhe. Die Projektion beider Rotoren von zusammen 87,4 qm entsprach somit knapp einem Zehntel der ursprünglichen Segelfläche von 883 qm. Das Hauptlager war in etwa 13 Metern Höhe über dem Hauptdeck auf einem freistehenden „Tragmast“ angeordnet und hatte sowohl den Winddruck, als auch das Gewicht des Rotors als Last aufzunehmen. Ein zweites Lager war auf Deck als Führungslager angeordnet. Für den Antrieb wurden umkehrbare 220-Volt-Gleichstrom-Nebenschlußmotoren von 11 kW Wellenleistung verwendet. Die Leistungsübertragung auf den Zylinder erfolgte mit einem Getriebe ($i = 6$) am oberen Lager, das die Drehzahl des Rotors auf maximal 140 min^{-1} herabsetzte. Für die Stromerzeugung wurde ein zusätzliches Bordaggregat mit einem Gleichstromgenerator in Leonard-Schaltung installiert, dessen Dieselmotor eine Leistung von 45 PS hatte.

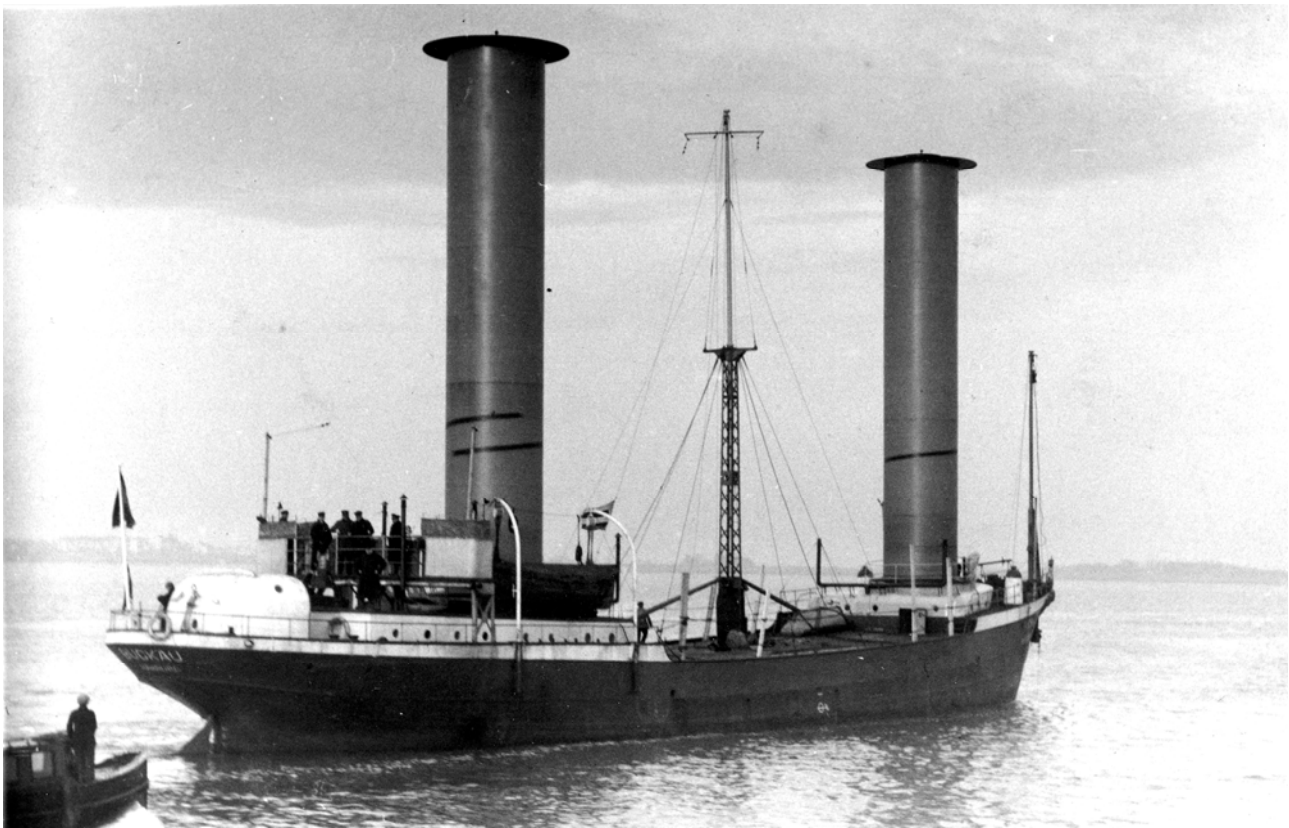


Der Motorsegler BUCKAU hatte eine Segelfläche von 883m². Als Rotorschiff brachte er mit knapp einem Zehntel der ursprünglichen Segelfläche sogar bessere Leistungen. Zeichnung: Sammlung d. Verf.

Wie Flettner schreibt, war das „Segelschiff ohne Segel“ Ende Oktober 1924 fertiggestellt und die Erprobung auf der Ostsee konnte beginnen. Die Ergebnisse übertrafen die Erwartungen Flettners und überraschten die Fachwelt. Die BUCKAU segelte mit den Rotoren bei entsprechenden Windbedingungen schneller als mit konventionellem Rigg und konnte mit fast 20 bis 30° („2 bis 2 ½ Strich“) deutlich höher an den Wind gehen und das bei geringster Krängung. Sie hatte eine überraschend gute Manövrierfähigkeit und ließ sich sogar rückwärts segeln. Wie Flettner schreibt, haben die Versuchsfahrten die Göttinger Messergebnisse in vollem Umfang bestätigt. Übereinstimmend berichten mehrere Autoren als besonders bemerkenswert die Tatsache, dass an Bord weder nennenswerte Geräusche noch Schwingungen zu beobachten waren, wenn die Rotoren drehten. Unter guten Voraussetzungen lief sie nur von den Rotoren angetrieben 8,5 kn, gegenüber 7,5 kn unter Maschine. Dabei betrug die Leistungsaufnahme der Rotorantriebe zusammen nur 32 PS.



*Die BUCKAU auf einer ihrer ersten Versuchsfahrten in der Ostsee.
Mit diesem Schiff erzielte die Erfindung Flettners weltweite Beachtung. Foto: Archiv DSM*



Unter ihrem späteren Namen BADEN-BADEN sollte die BUCKAU zwei Jahre nach ihrer Indienststellung sogar eine Transatlantikreise erfolgreich absolvieren. Foto: Archiv DSM

Die erste Reise führte das Schiff mit einer Ladung Holz von Danzig nach Schottland und zurück mit Kohlen nach Cuxhaven. Beide Strecken waren Sturmfahrten, bei denen die Rotoren keinen Schaden erlitten und ihre Funktionstüchtigkeit in der Praxis unter Beweis stellten. Anschließend wurde das Rotorschiff dem Eigner, der inzwischen in „Hanseatische Motorschiffahrt AG“ umbenannten Reederei, übergeben, die es für „Vorführungsfahrten“ vercharterte. Aufgrund verschiedener Vorkommnisse wollte Flettner unmittelbaren Einfluss auf das Schiff und seine Einsätze gewinnen. So wurde im Februar 1926 die „Flettner-Rotorschiffahrt GmbH“ mit Sitz in Berlin gegründet. Die Gesellschaft übernahm die BUCKAU in eigene Regie und gab ihr am 31. März 1926 den Namen BADEN-BADEN, unter dem sie wenige Monate später eine erfolgreiche Amerikareise unternahm.

Das zweite Rotorschiff – die BARBARA

Die BARBARA wurde auf Order der Seetransportabteilung der Marineleitung des Deutschen Reichs bei der AG Weser in Bremen gebaut und von Robert M. Sloman jr. in Hamburg „bewirtschaftet“, wie es offiziell hieß. Sie lief im April 1926 vom Stapel und wurde im Oktober desselben Jahres vom Germanischen Lloyd klassifiziert. Bei einer Länge von 86,75 m, einer Breite von 13,24 m und einem Tiefgang von 5,05 m war sie mit 2977 BRT vermessen. Als Hauptantrieb erhielt sie zwei von der AG Weser (Lizenz MAN) hergestellte Sechszylinder-Viertaktmotoren, die ihre Leistung von je 530 PS über ein gemeinsames Getriebe auf einen Propeller abgaben. Hinsichtlich dieser Motorleistung ist festzuhalten, dass die Rotoren nur als Zusatzantrieb verstanden wurden. Die BARBARA sollte ihre Ziele unabhängig von Windbedingungen in jedem Fall erreichen. Die Reisegeschwindigkeit betrug bei beiden Antriebsarten rund 10 kn. Je nach Windstärke konnten die Dieselmotoren entweder bei mäßigem Wind als Zusatzantrieb genutzt oder bei stärkerem Wind gedrosselt gefahren bzw. einzeln oder beide abgeschaltet werden.

Das Schiff erhielt drei Rotoren mit einem Durchmesser von 4 m und einer Höhe von 17 m. Ursprünglich hatte Flettner das Schiff mit nur einem Rotor von 7 m Durchmesser und 27 m Höhe ausrüsten wollen, fand aber, wie er schreibt, keinen Hersteller, der in der Lage war, entsprechend große Kugellager für diesen Rotor zu liefern. Waren die Rotoren der BUCKAU noch mit Gleitlagern ausgestattet, so wollte er bei der BARBARA Wälzlager verwenden. Das führte zu einer Anordnung von drei Rotoren, da für deren Abmessungen entsprechende Wälzlager lieferbar waren.

Auch der weitere Aufbau der Rotoren war schon fortschrittlicher als bei der BUCKAU. So betont Flettner, dass die Rotoren „nach den Grundsätzen des Leichtbaus, vollkommen aus Aluminium“ hergestellt wurden. Das Gittergerüst war mit einer Haut aus 1 mm dickem Aluminiumblech bekleidet. Der Antrieb erfolgte ebenfalls mit Elektromotoren über ein Getriebe, mit dem eine maximale Rotordrehzahl von 150 min^{-1} erreicht wurde. Die Leistung der Motoren gibt

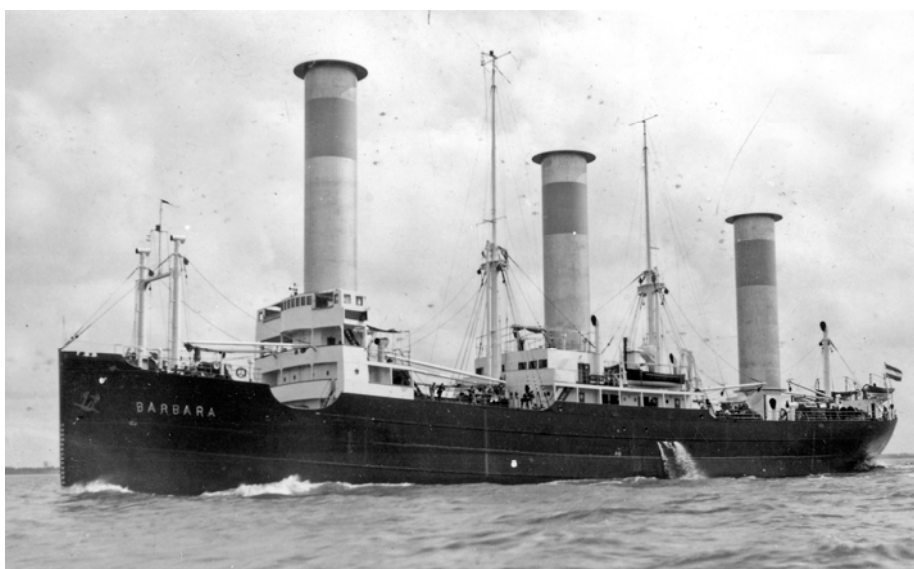


Das zweite Rotorschiff, die BARBARA, im Bau bei der AG Weser, 1926. Foto: Archiv DSM

Flettner mit jeweils etwa 35 PS an. Ausgelegt waren die Rotoren auf eine Windgeschwindigkeit von 10 m/s, bei der sie ihre größte Leistung erreichten. Das waren 50 Prozent mehr als bei der BUCKAU. Mit dem dritten Schiff wollte er die Windgeschwindigkeit auf 15 m/s steigern. Doch dazu kam es nicht mehr.

Die ersten Einsätze der BARBARA erfolgten im Mittelmeer, obwohl dort nicht die besten Voraussetzungen für die Erprobung des Rotorsystems und den Nachweis seiner Wirtschaftlichkeit gegeben waren. Zwei Gesichtspunkte sprachen dennoch dafür: Einerseits konnte bei Schäden an den Rotoren - man erwartete „Kinderkrankheiten“ - schnell Hilfe aus Deutschland geholt werden, andererseits war zumindest ein mittelbarer Vergleich mit den von Sloman ebenfalls im Mittelmeer eingesetzten Schwesterschiffen AMALFI und SORRENTO möglich.

Auf dem Seeschiffahrtstag in Berlin, am 14. März 1927, trug der Leiter der Seetransportabteilung, Kapitän z. See Lohmann, erste Ergebnisse vor, die am folgenden Tag in der Schifffahrt-Zeitung der Hamburger Börsenhalle, einer Beilage zum Hamburgischen Correspondenten, veröffentlicht wurden. Die in rund sechs Monaten gesammelten Ergebnisse waren „nicht entmutigend“, im Gegenteil, er brachte zum Ausdruck, „daß sich die Rotoren zu einem wirtschaftlich durchaus aussichtsreichen Antriebsmittel insbesondere für größere, lange Strecken befahrende Frachtschiffe entwickeln werden“.



Die BARBARA auf einer ihrer ersten Reisen. Foto: AG Weser / Archiv DSM

Der Kraftstoffverbrauch pro Rotor wurde mit 1 kg/h angegeben. Ein äußerst geringer Verbrauch im Verhältnis zu der bei einer Windstärke von 5 Bft erbrachten Leistung von 600 PS. Hochgerechnet aus diesem Wert wurde für ein 10000-

t-Schiff eine Rotorleistung von 2000 bis 3000 PS erwartet. Unter Vollast der Hauptmotoren und zusätzlichem Antrieb über die Rotoren fuhr die BARBARA rund 2 kn schneller.

Stabilitätsprobleme gab es bei den Rotorschiffen nicht. So konnte auch einer vermuteten Topplastigkeit mit dem Hinweis begegnet werden, dass die drei Rotoranlagen ein Gesamtgewicht von nur 40 Tonnen gegenüber 180 Tonnen für die Takelage eines vergleichbaren Segelschiffes hatten. Die drehenden Massen der Rotoren hatten ein Gewicht von jeweils nur 1,2 Tonnen. Selbst bei 10 bis 12 Bft traten keine Probleme auf.

Auch der Reeder wollte in Berlin seine Erfahrungen, gesammelt auf den ersten fünf Reisen, mitteilen. Da Bruno Richter, Mitinhaber bei Sloman, jedoch verhindert war, verlas Lohmann seinen Bericht. Darin betont Richter, dass auch die BARBARA im Hinblick auf die Rotoren nur ein Versuchsschiff sei. Nennenswerte Havarien waren seit der Indienststellung im August 1926 nicht aufgetreten. So zeigte sich Richter ebenfalls mit dem Rotorsystem sehr zufrieden und erwartete eine „große Zukunft“, allerdings nur als Zusatzantrieb. Die sah er so: entweder Hauptmaschinen volle Kraft plus Rotoren, um etwa 3 kn schneller fahren zu können, oder kraftstoffsparender Betrieb mit Hauptmaschinen halbe Kraft plus Rotoren bei normaler Reisegeschwindigkeit von 10 kn. Er bevorzugte die schnellere Fahrt unter Hinweis auf kürzere Reisen und somit reduziertem Aufwand.

Eine größere Havarie ereignete sich am 22. September 1932 auf der BARBARA. Wie die Kieler Neuesten Nachrichten am 24. September 1932 meldeten, verlor sie „in der nördlichen Nordsee durch eine starke Bö bei Windstärke 6 - 7 den Mantel des vorderen Rotors“.

Außer mit den Rotorschiffen Buckau und BARBARA wies Flettner die Brauchbarkeit seiner Erfindung auch mit Yachten nach. Da die Umfangsgeschwindigkeit des Rotors beibehalten werden musste, um dieselben Effekte zu erzielen, waren bei kleinen Zylindern hohe Drehzahlen erforderlich. Das bereitete Schwingungsprobleme. Eindrucksvolle Erfolge erzielte Flettner mit dem Rumpf einer 6m-Rennyacht. Bei Windgeschwindigkeiten zwischen 8 und 10 m/s erreichte sie 11 bis 12 Knoten.

Sechzig Jahre später ...

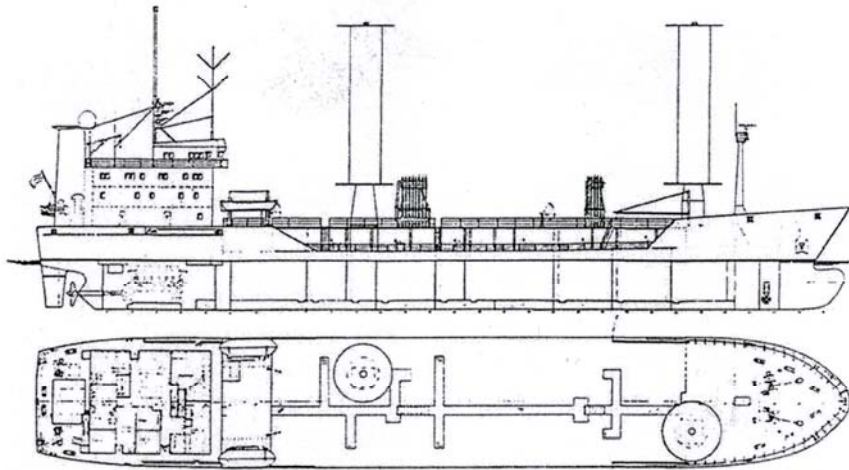
Die erste und die zweite Energiekrise in den 1970er und 1980er Jahren brachten aus Gründen der Einsparung von Primärenergie alte, zum Teil weiterentwickelte Techniken wieder ins Gespräch und auf die Reißbretter der Ingenieure. So wurden neben den Antrieben von Personenwagen und Nutzfahrzeugen besonders alle möglichen Varianten des Schiffsantriebs als alternative Antriebe untersucht. Welche Auswirkungen die Preiserhöhungen der OPEC von 1973 und 1979 auf die Betriebskosten und die Wirtschaftlichkeit des Schiffsbetriebs hatten, muss an dieser Stelle nicht untersucht werden. Dazu gibt es hinreichend Literatur. Interessant sind hier dagegen die technischen Lösungen des alternativen Schiffsantriebs. Flettners Erfindungen kamen gleich zweimal zum Zuge: seine Metallsegel mit Hilfsruder und das Rotorsegel.

Bei Blohm + Voss liefen Anfang der 1980er Jahre Untersuchungen über Windzusatzantriebe, die im Februar 1984 in ein vom Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördertes Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mündeten. Ziel dieses Vorhabens war die Entwicklung und Erprobung eines Windzusatzantriebs als Pilotanlage mit einem geeigneten Schiff auf Basis eines weiterentwickelten Flettner-Rotors. Das zu entwickelnde Rotorsystem sollte im ersten Ansatz den Leistungsbedarf am Propeller um 35 Prozent senken und zwar unter folgenden Parametern: Schiffsgeschwindigkeit 12 Knoten, Windstärke 5 Beaufort und wahrer Wind zum Kurs 100 bzw. 260 Grad, früher hätte man gesagt, etwas achterlicher als dwars. Darüber hinaus durfte kein Teil der Rotoranlage über die seitlichen Linien des Schiffes und dessen höchsten Punkt hinausgehen, die zu erwartende Sichtbehinderung von der Brücke aus sollte „vertretbar“ sein und der Einbau möglichst geringe Änderung an den bestehenden Anlagen notwendig machen. Weitere Forderungen waren, dass die Stabilität des Schiffes nicht beeinträchtigt werden durfte und die Rotoranlage jederzeit zu- und abschaltbar sein musste. Auch sollten Lade- und Löschbetrieb eines Schiffes nicht behindert werden und die Struktur der Mannschaft musste unverändert bleiben.

Wie bei B + V zu lesen ist, führten diese Bedingungen dazu, dass man sich entschloss, einen 1982 in Korea gebauten Produktentanker von 6700 tdw (andere Quellen: 4500 tdw) mit zwei Flettner-Rotoren auszurüsten. Nach den Vorarbeiten wurden für die Konstruktion folgende Daten festgelegt: Rotorhöhe 19,5 m, Durchmesser 3,8 m, Endscheibendurchmesser 7,0 m und maximale Rotordrehzahl 225 min⁻¹. Um die Sichtverhältnisse so wenig wie möglich zu verschlechtern, wurde der hintere Rotor auf der Backbordseite und der vordere auf der Steuerbordseite angeordnet.

Entsprechend den damaligen technischen Möglichkeiten war eine automatische Steuerung der Rotoren von der Brücke aus vorgesehen. Die Ergebnisse der Voruntersuchungen waren überraschend gut. Bei einem Windeinfallwinkel von 120° und einer Windstärke von 6 Bft hätte die Rotoranlage bei 12 Knoten Schiffsgeschwindigkeit 65 Prozent der erforderlichen Leistung übernehmen können und bei Schiffsgeschwindigkeiten unter 9 Knoten die volle Antriebsleistung.

Unabhängig von diesen Einzelergebnissen wurden verschiedene Routen untersucht, um ein realistisches Bild des Einsparungspotentials zu bekommen. Erste Ergebnisse zeigten Möglichkeiten zur Einsparung im Jahresverbrauch von 15 Prozent als Garantiewert und bis zu 20 Prozent unter Einbeziehung von Routenberatung bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 12 Knoten auf der Route Deutsche Bucht – Mittelamerika. Nach einer Optimierung sollten Jahr für Jahr 25 Prozent Kraftstoff auf dieser Route mit dem Zusatzantrieb gespart werden.



*Plan für ein Rotorschiffsprojekt von Blohm + Voss, 1984: Ein Chemikalien-tanker sollte damals mit Flettner-Rotoren als Windzusatzantrieb ausgerüstet werden, um den Jahreskraftstoffverbrauch um 25 Prozent zu senken.
Zeichnung: Germanischer Lloyd*

Die Untersuchungen bei B + V haben die Ergebnisse der 1920er Jahre bestätigt. Das klassische Rahsegel benötigt im Vergleich zum Rotorsegel die zehnfache Fläche, um denselben Schub zu erzeugen. Die seinerzeit in Japan entwickelten symmetrischen Starrsegel benötigten nur noch die Hälfte der Fläche der Flettnerschen Metallsegel. Das Projekt wurde jedoch nicht weiter verfolgt, als die Rohölpreise auf den alten Stand zurückgingen.

Quellen und Literatur

Historisches Archiv Krupp, Essen (HAK)

ACKERET, Jacob: Das Rotorschiff und seine physikalischen Grundlagen. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1925

FLETTNER, Anton: Mein Weg zum Rotor. Leipzig: Koehler & Amelang, 1926

FLETTNER, Anton: Die Anwendung der Erkenntnisse der Aerodynamik zum Windantrieb von Schiffen. In: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft Bd. 25, Berlin: Julius Springer, 1924, S. 222-251

N.N.: Ergebnisse der schiffstechnischen Forschung und Entwicklung 1976 – 1990. In: Germanischer Lloyd (Hrsg.), Hamburg 1990

N.N.: Der Wind als Schiffsantrieb. In: Auf unserer Werft : Informationen für Betriebsangehörige u. Freunde d. Hauses Blohm und Voss AG, 1984, S. 37-41

PRANDTL, Ludwig: Magnuseffekt und Windkraftschiff, in: Die Naturwissenschaften, 13. Jg., 1925, Heft 6, S. 93ff

TRADT, M.: Der Umbau des Motorseglers „Buckau“ zum Flettner-Rotorschiff und seine Erprobungen In: Werft Reederei Hafen, Heft 6, 25. März 1925, Seite 160-167

WAGNER, Claus D.: Die Segelmaschine. Der Flettner-Rotor: Eine geniale Erfindung und ihre mögliche Renaissance. Ernst Kabel Verlag: Hamburg, 1991