

## Einfluß dynamisch wirkender Ruderorgane auf das Drehkreisverhalten von Flachwasserschiffen

Dr.-Ing. H. Schmidt-Streibitz<sup>1)</sup>

### Einführung

Die steigende Verkehrsdichte auf den Binnenwasserstraßen mit gleichzeitig wachsender Größe der schwimmenden Einheiten macht es erforderlich, neu zu bauende Fahrzeuge mit verbesserten Manöviereigenschaften auszustatten. Da die weitere Vergrößerung des Ruderflächenverhältnisses infolge hyperbolischer Abhängigkeit nur eine geringe Verringerung des Drehkreisradius zur Folge hat, ist diese Maßnahme im Verhältnis zu dem erforderlichen Aufwand wenig wirksam. Auf der Suche nach aktiveren Querkrafterzeugern gegenüber statisch wirkenden Ruderblättern fallen außer den Propulsionsanlagen mit steuerbarer Schubrichtung die bekannten in Luft gemessenen Querkraftbeiwerte von rotierenden Zylindern und flachen Körpern [1, 4] auf, deren Querkraftwerte etwa den achtfachen Betrag derjenigen der statisch wirkenden Ruder erreichen können. Es sollte die zweckmäßigste Form und Anordnung rotierender Körper sowie ihre erforderliche Antriebsleistung im Hinblick auf die Verwendung als Steuerorgane ermittelt werden. Die Brauchbarkeit derartiger Ruderorgane könnte sich bei entsprechender Lage ihrer Drehachse auch auf Seeschiffe erstrecken, wenn es gilt, deren Bewegungen im Seegang um die Längs- und Querachse zu dämpfen.

Die erforderlichen Mittel für die Untersuchung wurden dankenswerterweise von der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen zur Verfügung gestellt.

### 2.0 Übersicht über die Versuche

Kanal	9,8 m breiter Tank der VBD stehendes Wasser. Hw. = 950 mm
Modelle M 1 : 12,5	Drehkörper am Pendelarm h = 10 cm mit Kreisendscheiben Einkörper-Anordnung s. folgende Tafel Mehrkörper-Anordnungen s. folg. Tafel $n_{Ruder} = 200$ bis 3000 U/min
Freifahrt	mit verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten. $V_{Natur} = 5,1$ bis 11,46 km/h
Kanal	25 × 25 m Manövrierbecken der VBD Hw = 280, 500, 800 mm
Schiffsmodell M 298 M 1 : 12,5	„Gustav Koenigs“; $V = 481,3$ dm <sup>3</sup> Tg = 160 mm mit Drehflächenruder
	$n_{Fahrmotor} = 1100$ 1000 U/min $n_{Ruder} = 200$ bis 3000 U/min
Propeller	35 r D = 112 mm H/D = 1,121 Fa/F = 0,525 z = 4

1) 91. (stark gekürzte) Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg; Institut an der TH Aachen; Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AIF). — Interessenten können XEROX-Pausen der ausführlichen Fassung zum Selbstkostenpreis von der VBD beziehen.

Drehkreisfahrten  
Messung der Drehkreisradien  
(4 Peiler am Tankrand)  
Wasserhöhenverhältnis  
 $\frac{Hw}{Hw - Tg} = 2,33, 1,47$  und 1,25

### Übersicht

Querschnitte der Einzelkörper	s/d	e/d	s = $\frac{h}{d}$	Schiffsmodell
	0,16	1,0	2	— Drehkreis
	0,21	1,3	2,6	
	0,32	2,0	4	
	0,4	2,5	5	
	0,32	2	4	
	0,64	2	4	
	1,0	2	4	
	1,0	2	4	

Mehrkörperanordnung	Querabstand	Schiffsmodell
	6,56 d	— Drehkreis
	3,28 d	
	6,56 d	— Schlangenlin
	3,28 d	
	4,13 d	— Schlangenlin
	2,07 d	
	2,26 d, 2,26 d bis 3,24 d, 3,24 d	— Schlangenlin
	4 Zwischenw. Längsabstand	
	5,66 d	— Schlangenlin
	3,24 d, 3,24 d	

### Ergebnisse

Für die ersten Funktionserprobungen eines Drehruders am Schiffsmodell wurde der Typ „Gustav Koenigs“ im Maßstab 1 : 12,5 verwendet. Die rotierende Ruderfläche mit 0,05 × 0,1 m war flächenmäßig um das 6,4fache kleiner als das normalerweise verwendete Dreiflächenruder. Trotzdem sind die erzielten Drehkreisdurchmesser günstiger als bei statisch wirkenden Rudern.

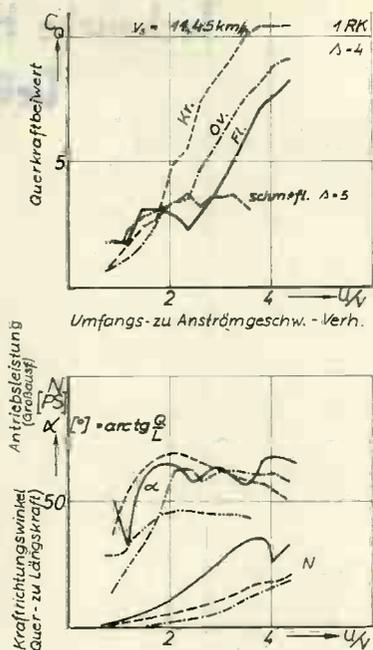


Bild 1

Nach Überlegungen von L. Prandtl [3] beträgt der maximale Querkräftebeiwert eines rotierenden Zylinders  $C_{Q \max} = 4\pi$ . Zur Überprüfung der mit Ein- und Mehrkörperanordnungen bei verschiedenen Verhältnissen von Umfangs- zu Anströmgeschwindigkeit  $u/v$  erreichbaren Querkräftewerte sowie der erforderlichen Antriebsleistung dienten Freifahrtversuche an einem Meßpendel.

An dem Meßpendel ließ sich allerdings nicht die Abschirmung zur Wasseroberfläche hin wie am Modell nachahmen. Das anfänglich verwendete Ruder mit flachelliptischem Querschnitt, 0,05 m größter Breite bei 0,1 m Höhe, war wie bei der Modellfahrt mit oberer und unterer Endscheibe ausgerüstet, die die größte Breite aber nicht überragte. Die damit gemessenen Querkräftebeiwerte steigen nur zu Maximalwerten von  $C_Q = 2$  bis 3 an, wobei auch große  $u/v$ -Werte keine Besserung bringen. Ab  $u/v$ -Werten von etwa 6 übersteigt die erforderliche Antriebsleistung der Ruder die 20-PS-Grenze für das naturgroße Schiff. Es wurden wegen des ungünstigen Seitenverhältnisses der zuerst gewählten Körper weitere, schmalere gehaltene Flächen gleicher Höhe untersucht. Die Endscheiben behielten ihre ursprüngliche Größe. Die Herabsetzung der Flächenbreite auf 0,0385 m führte bereits zu einer Verdoppelung der Querkräftebeiwerte. So wie die Antriebsleistung bei  $u/v$ -Verhältnissen von 4 und darüber steiler ansteigt, nimmt auch der Widerstandsbeiwert größere Werte als der Querkräftebeiwert an. Eine weitere Verkleinerung der Flächenbreite auf 0,025 m bei gleicher Höhe führte zu dem Erfolg, den Querkräftebeiwert auf den Betrag der theoretischen Maximalgröße von  $4\pi$  ansteigen zu lassen. Damit wurde auch das Verhältnis von Quer- zu Längskraft günstiger, so daß der Winkel des Tangens  $Q/L$  unterhalb  $u/v = 4$  etwa  $65^\circ$  erreichte. Eine weitere Fläche mit Oval-Querschnitt bei gleicher Breite von 0,025 m ergibt einen gleichmäßigeren Querkräftenstieg über zunehmendem  $u/v$  bei vergleichbaren Maximalquerkräftebeiwerten. Schließlich wurde noch der Kreiszyylinder erprobt. Er erreicht die Maximalquerkraft im Direktanstieg über  $u/v$  schon bei  $u/v$ -Verhältnissen von etwa 4 und hält den Maximalwert mit geringfügigem Abfall bei höheren  $u/v$ -Zahlen (Bild 1). Die erforderliche Antriebsleistung für den Kreiszyylinder erreicht etwa nur zwei Drittel des Betrages derjenigen für den Zylinder mit Ovalquerschnitt bei vergleichbarer Seiten-Projektionsfläche. Die Zusammenstellung dieser Ergebnisse läßt einen gemeinsamen Schnittpunkt aller Querkräftebeiwerte bei

einem  $u/v$ -Verhältnis von 1,7 mit einem Querkräftebeiwert von etwa 3,2 erkennen, wobei die dazugehörigen Antriebsleistungen für die Großausführung unter 10 PS liegen. Mit diesem Querkräftebeiwert ist der des statisch wirkenden Ruders bereits verdoppelt, was für normale Steuervorgänge völlig ausreichend erscheint.

Eine weitere Verkleinerung der Flächenbreite auf 0,02 m verlagerte den steilen Anstieg der Querkräftebeiwerte zu  $u/v$ -Zahlen von etwa 5, hatte aber gleichzeitig eine nennenswerte Verkleinerung der erforderlichen Antriebsleistung zur Folge.

In Anlehnung an die Anordnung statisch wirkender Ruder wurde auch ein Mehrflächen-Drehrudder-System untersucht. Es wurde dazu die Fläche mit 0,025 m Breite benutzt. Bei zwei Flächen, mit dem Abstand voneinander wie ihn die äußeren Flächen des Hitzler-Ruders üblicherweise besitzen, ist ein fast linearer Querkräftenstieg über wachsendem  $u/v$  zu verzeichnen mit Maximalwerten von etwa 11, also nur geringfügig unter der theoretisch möglichen Grenze. Die Flächen standen in Ruhestellung parallel. Wird zwischen die beiden Körper wie beim Hitzler-System etwas nach rückwärts ein dritter Körper gesetzt, so lassen sich nicht mehr so hohe Querkräftebeiwerte erzielen. Die Maxima fallen außerdem mit wachsender Geschwindigkeit ab.

Um den Einfluß des Gitterabstandes zu untersuchen, wurde der Zwischenraum zwischen drei nebeneinander angeordneten Körpern schrittweise vergrößert. Bei der stufenweisen Abstandsvergrößerung zwischen  $2\frac{1}{4}$  und  $3\frac{1}{4} d$  sind keine nennenswerten Unterschiede feststellbar.

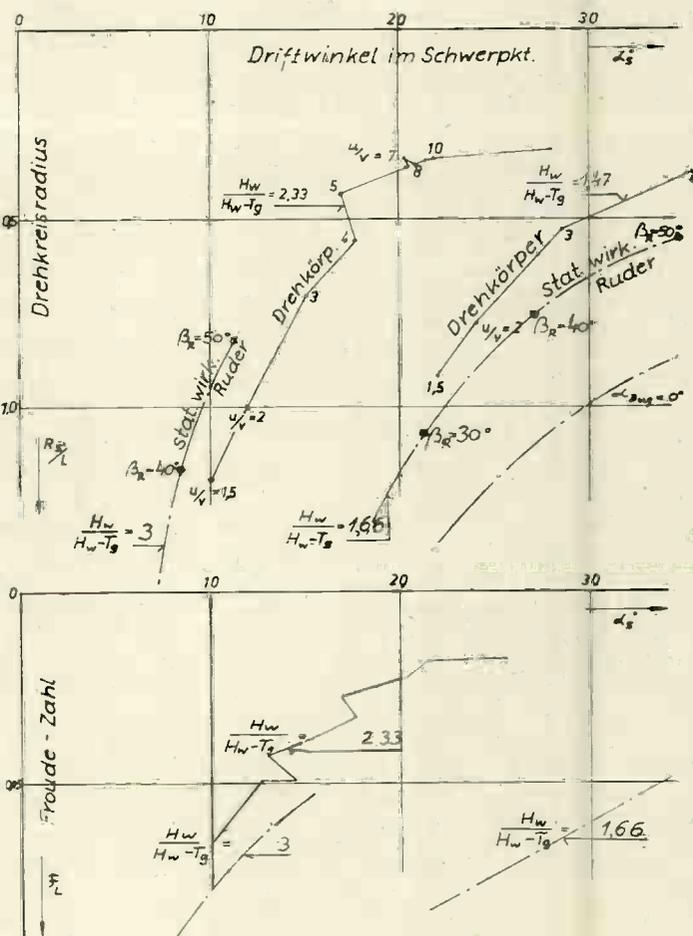


Bild 2 Drehkreise mit 3 Ruder-Körpern  
 $r_{\text{Ruderm}} = 0,0125 \text{ m} \triangle r_s = 0,1563 \text{ m}$   
 $\dot{n}_{\text{Fahrmotor}} = 1000 \text{ U/min} \triangle n_s = 283 \text{ U/min}$   
 Mittelwert BB-S-B-Drehkreise

Die gegenseitige Beeinflussung hintereinander angeordneter Drehkörper war für nur zwei Flächen und einen Abstand von etwa 5,5 d gering. Der maximale Quertrieb fiel mit steigender Fahrgeschwindigkeit kaum unter  $c_Q$ -Werte von 5,5. Das Verhältnis von Quer- zu Längskraft blieb gleich gut.

Die Mehrkörperanordnung quer zur Anströmung wurde auch ins Schiffsmodell eingebaut und damit Modelldrehkreise gefahren, deren Ergebnisse denen mit den einzelnen Drehkörpern doppelter Flächenbreite etwa gleichen (Bild 2). Schon bei dem einzelnen Körper, aber besonders bei mehreren drehenden Körpern fällt die Glättung des Wasserspiegels im Bereich hinter der Schraube auf. Es ist damit kaum noch eine Spiegelerhöhung hinter der Schraube bemerkbar. Mit entsprechendem Leistungsaufwand für den Ruderkörperantrieb läßt sich der Drehkreisradius allerdings bei gleichzeitiger Vergrößerung des Driftwinkels auf 0,3 L auch auf sehr flachem Wasser verkleinern.

Um das Steuerverhalten bei wechselnder Querkraftrichtung zu studieren, sind einige Schlangelmodellfahrten im geraden Tank sowohl vorwärts als auch rückwärts ausgeführt worden. Wegen der günstigen Ergebnisse am Freifahrtpendel wurden dafür nur zwei Drehkörper verwendet. Es manövrierte sich damit vorwärts wie rückwärts recht gut. Bei der Rückwärtsfahrt scheint das Steuerverhalten des Schiffes besser als das mit Normalrudern zu sein.

### Teileinflüsse

Der Endscheibenwirkung kommt, wie es nach den Ergebnissen der Versuche in Luft zu übersehen ist, eine beträchtliche Rolle zu. Für eine „Nur-Tragfläche“ scheint die Drehfläche wegen des schlechten Gleitwinkels nicht geeignet zu sein. Bei horizontaler Anordnung, etwa für den Ausgleich von Krängungen im natürlichen Seegang, müßte die Randumströmung durch eine genügend große Endscheibe vermieden werden.

Für den jeweilig beabsichtigten Verwendungszweck wäre das günstigste Seitenverhältnis noch zu ermitteln. Es hat den Anschein, als ob mit Seitenverhältnissen von  $\Lambda = 4$  in Wasser der theoretische Maximalauftrieb erreichbar ist. Im Vergleich zu normalen Rudern an Seeschiffen ist das schon ein beachtlicher Gewinn, noch viel mehr gegenüber normalen Binnenschiffsrudern. Der Vorteil der profilierten Fläche gegenüber dem Kreiszyylinder liegt in der Möglichkeit, sie notfalls in einer bestimmten, geradeausgerichteten Lage fixieren und mittels einer Notpinne wie ein Ruder ausschlagen zu können. Andererseits besteht die Möglichkeit, für die gewöhnlich nur kleinen Steuerkräfte ein kleines statisch wirkendes Ruder zu verwenden und Drehruder zusätzlich für kurzzeitig erforderliche größere Kräfte in Gang zu setzen.

### Drehgeschwindigkeitsverhältnis $u/v$

Verfolgt man bei den Freifahrtversuchen am Pendelarm mit verschiedenen  $u/v$ -Verhältnissen nur den maximalen Quertriebsbeiwert und trägt ihn über wachsendem  $u/v$ -Verhältnis auf (Bild 3), so ergibt sich ein parabolischer Anstieg mit dem Exponenten 2:

$$c_{Q \max} = 0,3 (u/v)^2.$$

Andererseits ist bei der Betrachtung über ansteigender Fahrgeschwindigkeit  $v$  ein hyperbolischer Abfall der  $c_{Q \max}$ -Werte zu bemerken, der sich durch

$$c_{Q \max} = \frac{v_0}{v}$$

annähernd beschreiben läßt, worin  $v_0$  die Ausgangsgeschwindigkeit ist. Beide Wirkungen zusammengefaßt, ergibt

$$\begin{aligned} c_{Q \max} &= 0,3 (u/v)^2 \cdot \frac{v_0}{v} \\ &= 0,3 v_0 \cdot \frac{u^2}{v^3} \end{aligned}$$

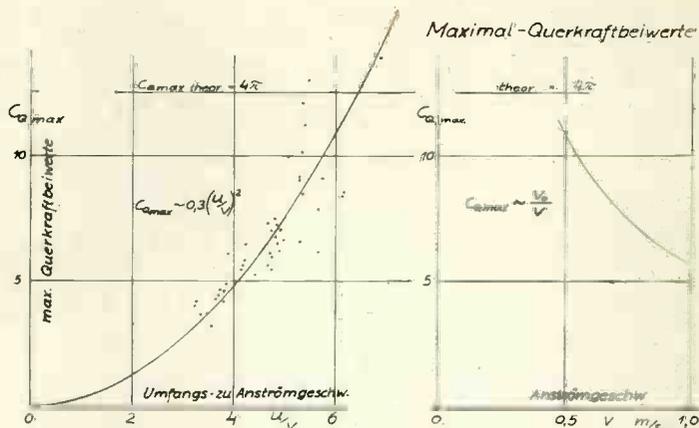


Bild 3

Das bedeutet eine Proportionalität der Drehgeschwindigkeit  $u$  zu der 1,5fachen Potenz der Anströmgeschwindigkeit  $v$  für den Fall maximalen Quertriebs. Wenn man also dem Drehflächenantrieb eine geschwindigkeitsabhängige Sperre, die über ein Pitotrohr gesteuert werden könnte, aufzwingt, so wäre für den ganzen Betrieb der leistungsgünstigste Ast abgeschnitten, in dem trotz höherer Drehzahl und natürlich auch höherer Antriebsleistung doch nur unter dem Maximalquertrieb liegende Werte erreicht werden. Man wäre damit aber in der Lage, zu jeder Fahrgeschwindigkeit den optimalen Quertrieb zu erzeugen, ohne dem Antrieb unvernünftige Leistungen abzufordern. Aus der hyperbolischen Abhängigkeit des maximalen Quertriebs von der Fahrgeschwindigkeit ergibt sich noch ein weiterer Vorteil gegenüber dem statisch wirkenden Ruder, dessen Höchstauftriebsbeiwert nahezu unabhängig von der Anströmgeschwindigkeit bleibt und dessen Auftriebskraft sich bei kleiner werdender Fahrgeschwindigkeit proportional  $v^2$  verkleinert. Das Drehruder kann mit der beschriebenen Steuerung diesen Abfall durch den hyperbolischen ansteigenden Auftriebsbeiwert mehr als kompensieren.

Eine Überprüfung der Kavitationsgefahr ist in der VBD nicht möglich. Wenn sich auch beim Fahren der 0,05 m breiten Fläche kurzzeitig Geräusche ergaben, so läßt die Ermittlung der zu Maximalquertriebszahlen gehörigen Kavitationszahlen  $\sigma = (p - p_d) / (\rho/2 \cdot v^2) = 10$  bis 30 noch einen weiten Abstand von kritischen Gebieten erkennen. Selbst die Vergrößerung im Maßstab 12,5 auf naturgroße Verhältnisse läßt den Zähler ein wenig wachsen und den Nenner wegen der Froudeschen Proportionalität von  $v$  zu  $l^{1/2}$  nur linear mit dem Maßstab ansteigen, so daß die Kavitationszahlen zu  $c_{Q \max}$  der naturgroßen Ausführung etwa um 0,9 bis 2,4 liegen.

Die Messungen haben für normale Querkraftbeiwerte, die die statisch erzielbaren um den Faktor 2 bis 3 übersteigen, Antriebsleistungen der Größenordnung vorhandener Rudermaschinen ergeben.

### Zusammenfassung

Es sind Drehkörper in Ein- und Mehrkörperanordnung sowohl in Freifahrt- als auch in Schiffsmodellversuchen gemessen worden. Ihre bisher aus Luftversuchen bekannten hohen Quertriebsbeiwerte bestätigen sich auch in Wasser, wobei sich die erforderlichen Antriebsleistungen in der Größenordnung bekannter Rudermaschinen bewegen. Auf Grund der gefundenen Ergebnisse läßt sich eine Drehzahlregelung vorsehen, die bei jeder Anströmgeschwindigkeit unter Vermeidung unwirtschaftlicher Antriebsleistungen optimalen Quertrieb liefert. Die Weiterverfolgung derartiger Anlagen für bestimmte, insbesondere für sehr kritische Steuervorgänge (Notmanöver) erscheint aussichtsreich. Eine Anwendung als Stabilisierungsflosse zur Dämpfung der Schiffsbewegungen um Längs- und gegebenenfalls auch Querachse erscheint möglich.

Der Verfasser dankt Herrn Dipl.-Ing. G. Luthra für die Auswertung eines großen Teils der Versuchsergebnisse.

### Schrifttum

- [1] Busemann, A.: Messungen an rotierenden Zylindern. Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt, Göttingen. Lfg IV 1932 S. 101. R. Oldenbourg, München.
- [2] Oswatitsch, K.: Physikalische Grundlagen der Strömungslehre in Handbuch der Physik, S. Flüge Strömungs-

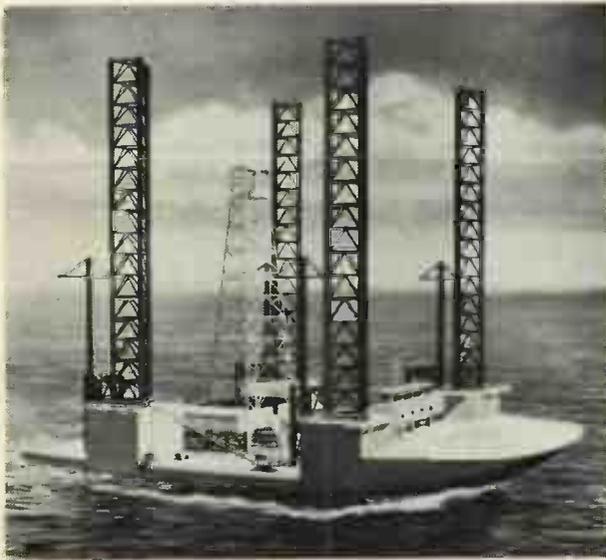
mechanik I, Bd. VIII/1. Springer 1959, S. 99.

- [3] Prandtl, L.: Magnuseffekt und Windkraftschiff. Naturwissenschaften 1925, S. 93—108 oder Gesammelte Abhandlungen. Springer, Berlin 1961, S. 1503, S. 1521.
- [4] Riegels, F. W.: Aerodynamische Profile. R. Oldenbourg, München 1958, S. 198.
- [5] Tietjens, O.: Kinematographische Strömungsaufnahmen von rotierenden und nichtrotierenden Zylindern. Berichte und Abhandlungen der WGL. 13. Heft 1926, S. 100. R. Oldenbourg, München.

## Neue Ölbohrinseln

### Bohrinsel mit Eigenantrieb

Die Rimrock (UK) Ltd., London, eine Tochtergesellschaft der Husky Oil Gruppe, bestellte bei der Werftgruppe Upper Clyde Shipbuilders, Glasgow, eine Ölbohrinsel mit Eigenantrieb. Die Baukosten werden rd. 2 Mill. £ betragen. Das Fahrzeug wird 84,12 m lang und 6,71 m hoch. Mit zwei Schrauben, die von je einem 2000-PS-Dieselmotor angetrieben werden, soll es eine Geschwindigkeit von 7 kn erreichen und somit ohne Schlepperhilfe Überführungs-



reisen durchführen können. An der Bohrstelle werden vier dreieckförmige „Beine“ in Fachwerkkonstruktion ausgefahren. Sie sind 108,20 m lang und ermöglichen das Arbeiten der Insel in Wassertiefen bis zu ca. 76 m. Das Bohrgestüst wird auf einem verfahrbaren Aufbau montiert, der mit Hydraulikkolben in die Arbeitsposition am Heck verschoben werden kann. Wohneinrichtungen für 75 Mann Besatzung und eine Hubschrauber-Landeplattform sind vorgesehen.

### Leistungselektronik auf der Bohrinsel „Scarabeo II“

Die Bohrinsel „Scarabeo II“ des ENI-Konzerns hat 43 km östlich von Ancona in der Adria mit den ersten Bohrungen begonnen. In Wassertiefen bis 180 m kann sie über 6000 m tief bohren. Die „Scarabeo II“ ist die erste Bohrinsel, bei der die regelbaren Gleichstrommotoren der Bohranlage nicht von dieselangetriebenen Gleichstromgeneratoren, sondern über Thyristoren direkt aus dem Drehstromnetz der

Insel gespeist werden. Die elektrische Ausrüstung wurde von der Siemens AG geliefert.

Bisher wurden auf einer Bohrinsel zwei verschiedene Systeme zur Stromerzeugung angewendet: dieselangetriebene Gleichstromgeneratoren für die regelbaren Gleichstrom-Hauptantriebe der Bohranlage und dieselangetriebene Drehstromgeneratoren für die Stromversorgung der Drehstromantriebe, der Lichtstromkreise und der anderen Wechselstromverbraucher. Die Leistungselektronik bietet heute mit den Thyristoren die Möglichkeit, auch Gleichstromantriebe mit gutem Wirkungsgrad aus dem Drehstromnetz zu versorgen. Dadurch ergibt sich eine einheitliche und übersichtliche Gesamtstromversorgung. Auf Bohrinseln kann außerdem die Erzeugerleistung besser ausgenutzt und dadurch bei den Dieselgeneratorsätzen eine Einsparung erreicht werden. Bedienung und Wartung werden vereinfacht.

Auf der „Scarabeo II“ wurden fünf zentral angeordnete, dieselgetriebene Drehstrom-Synchrongeneratoren mit einer Gesamtleistung von 6000 kVA eingebaut. Sie speisen eine 440-V/60-Hz-Sammelschiene, an die sowohl die zehn Gleichstromantriebe mit zusammen 5200 kW für die Bohranlage als auch sämtliche anderen Verbraucher angeschlossen sind. Die Anlage hat inzwischen ihre Bewährungsprobe bestanden und gezeigt, daß auch im „Inselbetrieb“ die Probleme der Stromversorgung mit überwiegender Stromrichterlast gelöst werden können.

