

# Einsatz dieselektrischer Schiffsantriebe

DIPL.-ING. HARTMUT DOBINSKY, DIPL.-ING. GERD SOSNA, BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, DIENSTSTELLE HAMBURG, REFERAT WASSERFAHRZEUGE

## Teil 1: Dipl.-Ing. Hartmut Dobinsky

Dieselektrische Schiffsantriebe haben nach wie vor für Spezialschiffe große Bedeutung; trotz im Allgemeinen gegenüber Direktantrieben schlechterem Wirkungsgrad, größerer Gewichte, höherem Platzbedarf und höheren Investitionskosten. Demgegenüber stehen die besonderen Vorteile, z. B. bei Anforderungen an Energieverschiebung zwischen Verbrauchern größerer Leistung, Geräusch und vibrationsarme Antriebssysteme, stark unterschiedlichen Leistungsbedarf für besondere Fahrprofile, höhere Redundanz- und Verfügbarkeitsanforderungen, stufenlose Drehzahlverstellungen der Antriebsmotoren bis zu kleinsten Werten, höhere Drehmomente (z. B. bei Eisbrechern).

Mit der Einführung der Leistungselektronik, die den klassischen Leonard Antrieb mit Gleichstromgeneratoren und -motoren (Bild 1), oder auch Konstantstromsysteme ablöste, verringerten sich die erwähnten Nachteile.

Aus einem Drehstrom-Konstantspannungsnetz, quasi einer Kraftwerksschiene, können sowohl das Bordnetz, als auch über Leistungselektronik die Fahrtriebe mit Energie versorgt werden.

Mit Einführung der IGBT-Technik (Insulated Gate Bipolar Transistor) für größere Leistungsbereiche ist mit dem Ersatz der Gleichstromfahrmotoren durch Drehstrommotoren ein weiterer Innovationsschub hinsichtlich Ver-

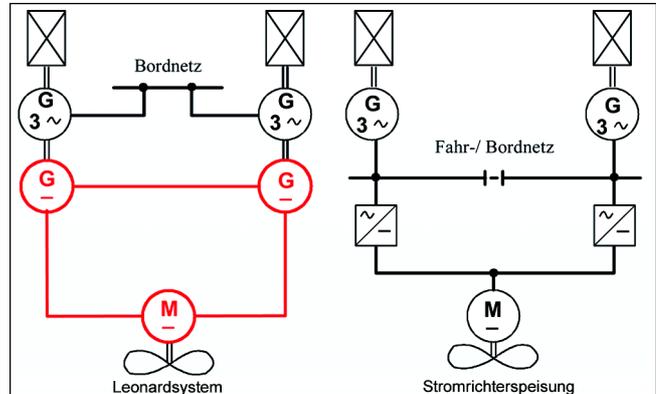


Bild 1: Gleichstromantriebe

besserung von Wirkungsgrad und Kosten zu verzeichnen.

Mit solchen Lösungen sind z. B. das Fischereischutzboot SEEADLER und das Lotsenstationsschiff ELBE ausgerüstet, die beide im Jahr 2000 von der Peenewerft bzw. Schiffswerft Abeking & Rasmussen (A&R) abgeliefert wurden. Während beim Fischereischutzboot ein Vater-/Sohn-Konzept mit 3800 kW Dieselmotoren und 750 kW E-Motoren ausgeführt wurde, erhielt das Lotsenstationsschiff ein rein elektrisches Antriebskonzept mit zwei 1000 kW Drehstrommotoren (Bild 2).

Im Bau sind zurzeit drei Grenzschutzboote bei der Schiffswerft A&R, ebenfalls mit dem für diese Spezial-

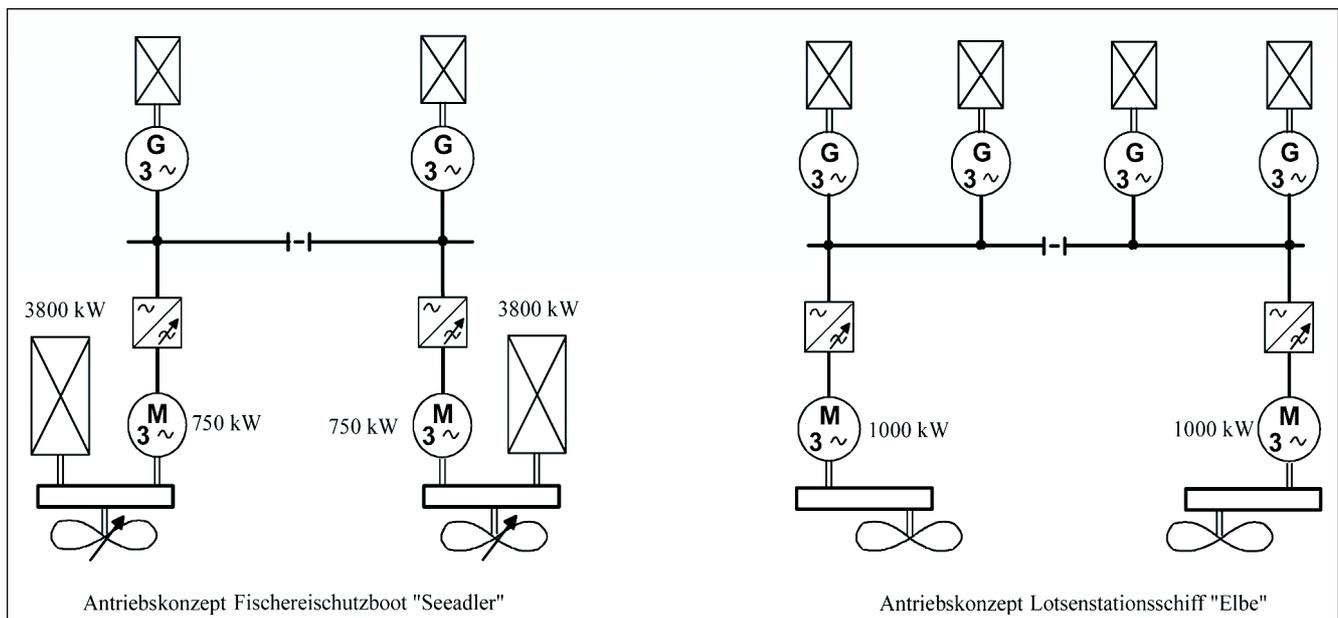


Bild 2: Drehstromantriebsysteme über Umrichter

schiffe besonders wirtschaftlichen Vater-/Sohn-Konzept, hier jeweils mit einem Dieselmotor von 5200 kW und einem Drehstrommotor von 600 kW.

Aus Gewichts- und Kostengründen sind die Drehstromantriebe als höherdrehende Maschinen ( $1500 \frac{1}{\text{min}}$ ) mit nachgeschaltetem Getriebe ausgeführt. Ebenfalls aus Gewichts- und Kostengründen sind für die Regelung 6-pulsige Pulswechselrichter eingesetzt, mit denen zwar die nach GL geforderten Spannungsklirrfaktoren von 8 % nicht in allen Fällen eingehalten werden konnten (8 bis 11,5 % je nach Anzahl der zugeschalteten Dieselaggregate), die jedoch für die installierten Anlagen keine Probleme bereiten. Für moderne Spezialschiffe, die dem Zwang nach minimiertem Raum- und Gewichtsbedarf unterliegen, sind zurzeit die Möglichkeiten zu kompakter Bauweise von elektrischen Antriebskonzepten keinesfalls befriedigend.

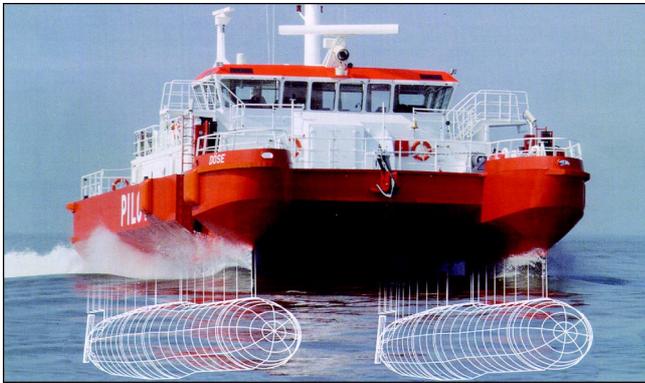


Bild 3: Lotsentender DÖSE

Besonders deutlich wird dieses bei den in 2000/2001 gelieferten Lotsentendern, die mit dem schon erwähnten Lotsenstationsschiff als erste SWATH-Schiffe in Deutschland von der Schiffswerft A&R entwickelt wurden. Für diese Spezialschiffe ist eine Gewichtsminimierung von extremer Bedeutung (Bild 3).

Ein direktes Anordnen von Dieselmotoren in den Schiffsrümpfen ist nicht möglich bzw. für Einheiten dieser Größenordnung nicht empfehlenswert. Neue elektrische Antriebstechniken, wie sie für das Marine-Forschungsschiff entwickelt wurden, das ebenfalls als SWATH-Konzeption zurzeit bei den Nordseewerken entsteht, sind für die hier erforderlichen Antriebsleistungen (710 kW) noch nicht verfügbar und wohl auch nicht bezahlbar.

Vor diesem Hintergrund wurde für die Lotsentender folgendes Konzept gewählt (Bild 4):

Der Antrieb erfolgt über elektrische Wellen, bestehend aus gewichtsminimierten Drehstromgeneratoren und Drehstrommotoren in Sonderausführung, mit Dieseldrehzahlen zwischen  $800$  und  $2100 \frac{1}{\text{min}}$ . Das Bordnetz wird von einem Dieselaggregat versorgt; bei Ausfall muss zur Bordnetzversorgung ein Fahrmotor abgeschaltet und der Dieselmotor auf  $1500 \frac{1}{\text{min}}$  gefahren werden. Die Ruderanlagen - und bei einem neuen Projekt auch das Bugstrahlruder - werden von unabhängigen Hydrauliksystemen betrieben, bei mechanischem Antrieb der Hydraulikpumpen vom Drehstromaggregat. Wünschenswert wäre sicherlich für dieses hochmoderne Schiff ein adäquates Antriebs-/Bordnetzkonzept, z. B. mit elektrischen Wellen ohne Getriebe, und ein unab-

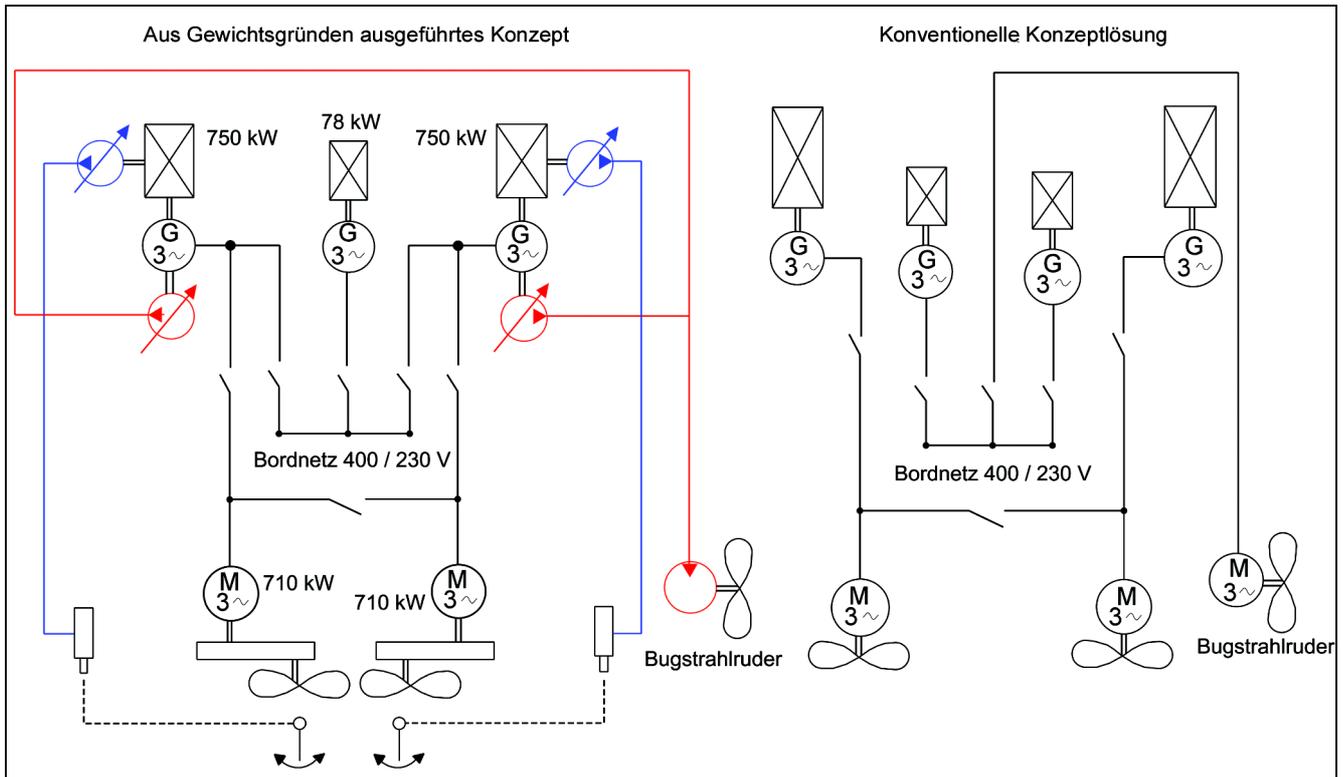


Bild 4: Antriebsvarianten Lotsentender

hängiges Bordnetz mit einem zweiten Bordnetzaggregat (Bild 5).

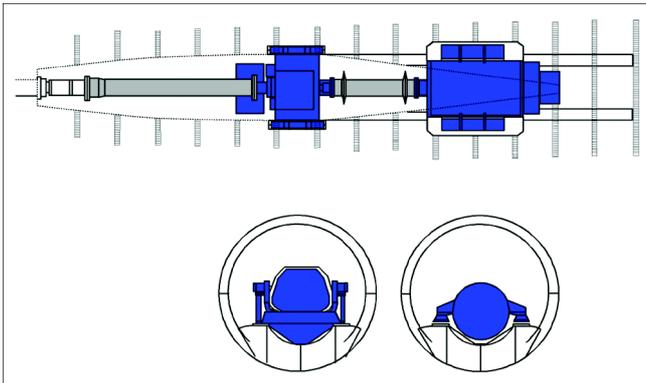


Bild 5: Raumverhältnisse eines Antriebsstranges mit E-Fahrmotor, Getriebe und Komposit (Kohlefaser)-Verbindungswellen

Probleme gibt es ebenfalls bei Schiffen, die nur mit einer Wellenanlage und aus Gewichts- und Platzgründen auch nur mit einem Fahrmotor ausgeführt werden. So sind zurzeit ein Oder-Eisbrecher bei der Schiffswerft Hitzler und ein Fischereiforschungsschiff bei der Schiffswerft Fassmer mit Gleichstromantrieben im Bau, wo aus Mangel an verfügbarem Raum noch Gleichstromantriebe zur Anwendung kommen (Bild 6).

Während sich beim Stromrichter für den Gleichstrommotor der Leistungsteil in zwei parallele Einheiten halber Nennleistung aufteilen lässt, mit Dopplung der Regелеlektronik, wäre beim vergleichbaren Drehstromkonzept ein redundanter Umrichter erforderlich. Unter Redundanzgesichtspunkten ist die bessere Antriebslösung eine

Aufteilung in zwei Systeme halber Leistung, die jedoch, bei Realisierung in konventioneller Technik, bei größerem Gewicht einen höheren Raumbedarf erforderlich macht. Als Vorteile des Gleichstromantriebes sind hier allerdings auch die Anforderungen nach hohem Anfahrmoment beim Eisbrecher und nach einem geräuschminimierten Antriebssystem, mit extremen Forderungen an den Unterwasser-Eigenstörpegel des Fischereiforschungsschiffes, zu nennen.

Für die Zukunft gesehen werden für Spezialschiffe moderne, kompakte und bezahlbare Antriebslösungen benötigt, die auf Grund geringer Leistungsgewichte folgende Möglichkeiten bieten:

- Antriebsredundanz bei Einwellenanlage
- Verzichtbarkeit auf Getriebeleistungen
- Geräuscharm
- Hohe Drehmomente
- Wartungsloser Betrieb

Durch die Entwicklung von E-Motoren mit permanentmagneterregten Rotoren ergeben sich sehr gute Möglichkeiten diese Zielsetzung zu erreichen. In der Schifffahrt eingesetzt sind zurzeit permanentmagneterregte Maschinen in sogenannten "Podded-Propulsern", bei denen der E-Antriebsmotor und Propeller in einer Gondel außerhalb des Schiffskörpers zusammengefasst sind.

Als Antriebsmotor im Schiff sind permanentmagneterregte Maschinen bisher nur als relativ aufwändige Prototypen in Marineschiffen realisiert worden. Als interessantes Beispiel für einen permanentmagneterregten Motor ist im Bild 7 der prinzipielle Aufbau einer Sektormaschine dargestellt, einer zurzeit noch theoretischen Entwicklung des „Instituts für Elektrische Maschinen“ der TU Braun-

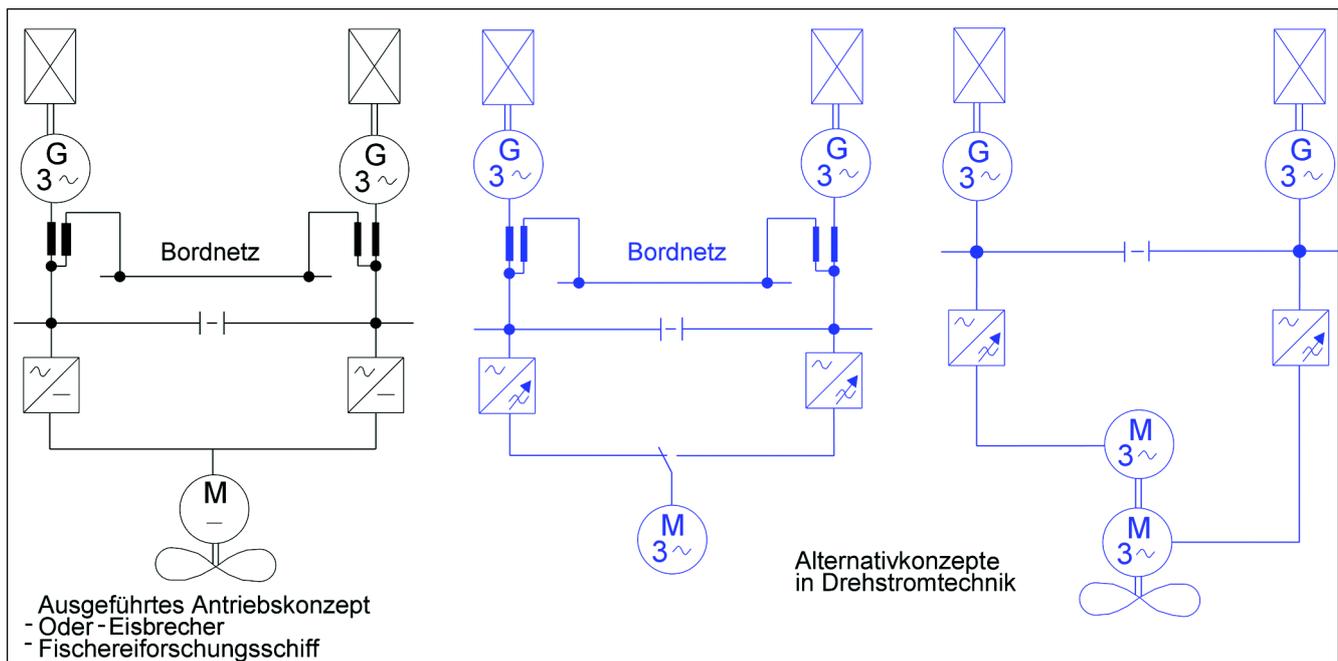


Bild 6: Antriebskonzepte „Oder-Eisbrecher“ und „Fischereiforschungsschiff“ mit Alternativen

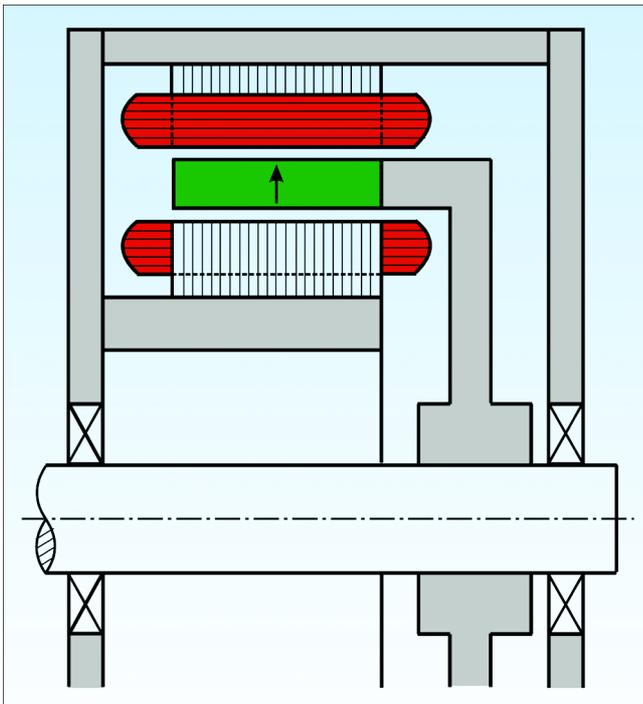


Bild 7: Sektormaschine mit permanentmagneterregtem Rotor und Doppelstator

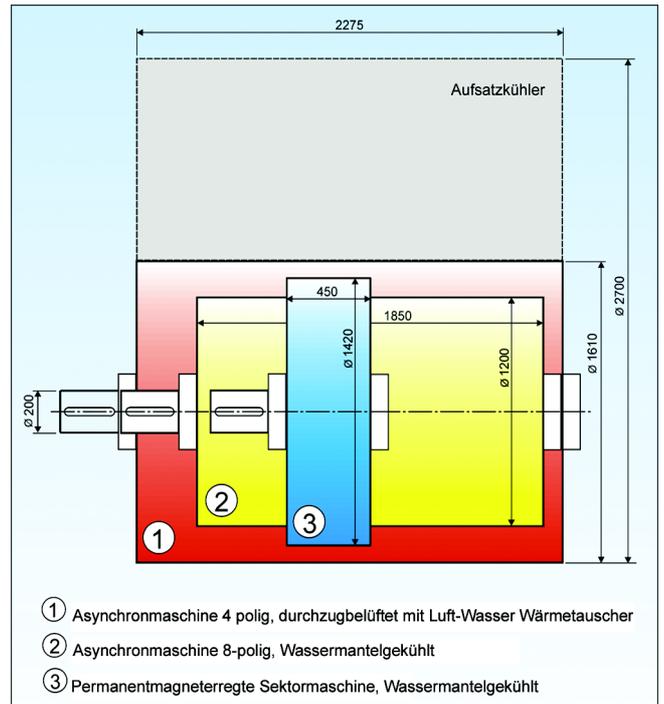


Bild 8: Größenvergleich von Drehstromantriebsvarianten

schweig. Die Maschine zeichnet sich durch einen sehr einfachen Aufbau und konventionelle Fertigungstechnik aus.

Das Maschinenkonzept ist gekennzeichnet durch:

- Kleine Hauptabmessungen
- Sehr gute Dynamik
- Niedriges Massenträgheitsmoment
- Hohe Überlastbarkeit
- Sehr geringe Verlustleistung
- Mechanisch teilbare Statoren
- Konventionelle Fertigungstechnik

In Zusammenarbeit von BAW, Referat Wasserfahrzeuge (K4), und der TU Braunschweig wurde ebenfalls der Einsatz solcher Maschinen für die Projekte Fischereiforschungsschiff und neuer Lotsentender untersucht. Das Ergebnis für den 930 kW Antriebsmotor des Fischereiforschungsschiffes ist aus der nachfolgenden Gegenüberstellung von Abmessungen untersuchter Ausführungsvarianten ersichtlich (Bild 8) sowie der wichtigsten Motordaten aus der tabellarischen Auflistung (Tabelle 1).

	DS-AS-Motor Luft-Wasser-Wärmetauscher	DS-AS-Motor Wassermantelkühlung	PMSM Wassermantelkühlung
Durchmesser	1610 mm	1200 mm	1420 mm
Länge	2275 mm	1850 mm	900 mm
Gewicht	16,8 t	8,5 t	4 t
Verluste	29 kW ( $\eta = 0,97$ )	103 kW ( $\eta = 0,91$ )	16 kW ( $\eta = 0,98$ )
Polzahl 2p	4	8	62
Bemessungsfrequenz	8 Hz	16 Hz	116,3 Hz
Aktives Material	ca. 9..10 t	5,4 t	1,2 t

Tabelle 1: Datenvergleich der Drehstromantriebsvarianten

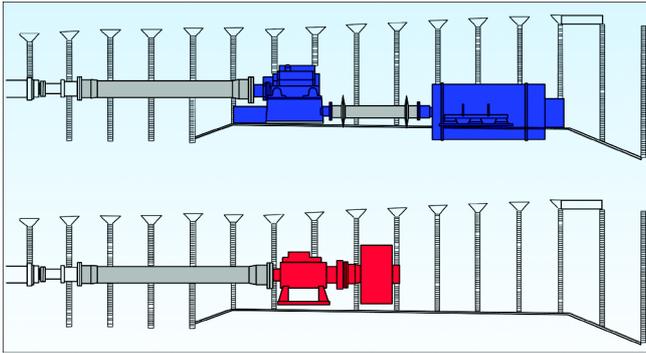


Bild 9: Propellerantrieb Lotsentender bei Einsatz von Segmentmotoren

Bei Einsatz von Segmentmaschinen für die Lotsentender würden sich Gewichtseinsparungen von größer 3 t ergeben, unter Berücksichtigung von direktem Antrieb der Welle durch den E-Motor und Ersatz des Getriebes durch ein Gleitlager (Bild 9). Bei dieser Gewichtseinsparung wäre dann auch ein günstigeres Bordnetzkonzept realisierbar.

Es ist zu erwarten, dass der Einsatz permanentmagnet-erregter Maschinen für die nahe Zukunft eine schnelle Entwicklung erfahren wird, zumal diese Technik auch für Windkraftanlagen bedeutende Vorteile aufweist.

## Teil 2: Dipl.-Ing. Gerd Sosna

### 1 Vorteile zu Gunsten der dieselelektrischen Antriebe aus maschinenbaulicher Sicht

Obwohl der Dieselmotor aus den Antriebssträngen der Vortriebsanlagen bei dieselelektrischen Antriebsanlagen verschwunden ist und durch E-Motoren ersetzt wird, ist dieser zum Antrieb der Generatoren in unseren Bereichen noch unersetzbar.

#### Vorteile:

- Aufteilung der Dieselmotorleistungen auf mehrere Motoren (Generatorsätze) und damit ausreichend **Redundanzen**
- Dieselmotoren mit höheren Drehzahlen (**Schnellläufer**) zu Gunsten von Platzverhältnissen, Anschaffungspreis und Schallerfordernissen
- Bei unterschiedlichen Einsatzprofilen und Energieanforderungen können die Dieselmotoren im **Konstantdrehzahlbetrieb** in einem **optimalen Leistungsbereich** wirtschaftlich betrieben werden mit:
  - geringsten spezifischen Brennstoffverbräuchen
  - geringstem Schadstoffausstoß (im Teillastbereich bei herkömmlichen Einspritzsystemen steigen die Abgasemissionen, Ausnahme: Common-Rail-Einspritzsystem und Pumpe-Düse-System, elektronisch geregelt → höherer Brennstoffverbrauch)
  - wenig Schwachlastproblemen (Verkokungen Ventile → Ausfall)
  - Einwirken auf die TBO-Zeiten
- Die **Aufstellungen** der Diesel-Generatoraggregate ist unabhängig von den Propulsionsorganen mit den Fahrmotoren
  - Maschinenraumanordnung im Gewichtsschwerpunkt des Schiffes
  - keine langen Wellenleitungen und damit keine Durchführungen und Verbindungen zum verschmutzten und verseuchten Bereich, wie z. B. Ladetanks/Pumpenräume von Schadstoffunfallbekämpfungsschiffen (gem. GL nicht erlaubt)
- **Stufenlose Drehzahlverstellung** des E-Motors von ca. 5 1/min bis Maximum (feinfühliges Manövrieren möglich)
- Umsteuerung **Vorwärts-/Rückwärtsfahrt**: über Erregerstromumkehrung (Gleichstrom) oder Phasenvertauschung der Stromrichter (Drehstrom), damit Entfall von aufwändigen mechanischen Drehrichtungsumkehrereinheiten wie:
  - Wendeumsetzungsgetriebe (Sonderfall Lotsentender) oder
  - Verstellpropelleranlagen (Sonderfall Umbau BG 23)

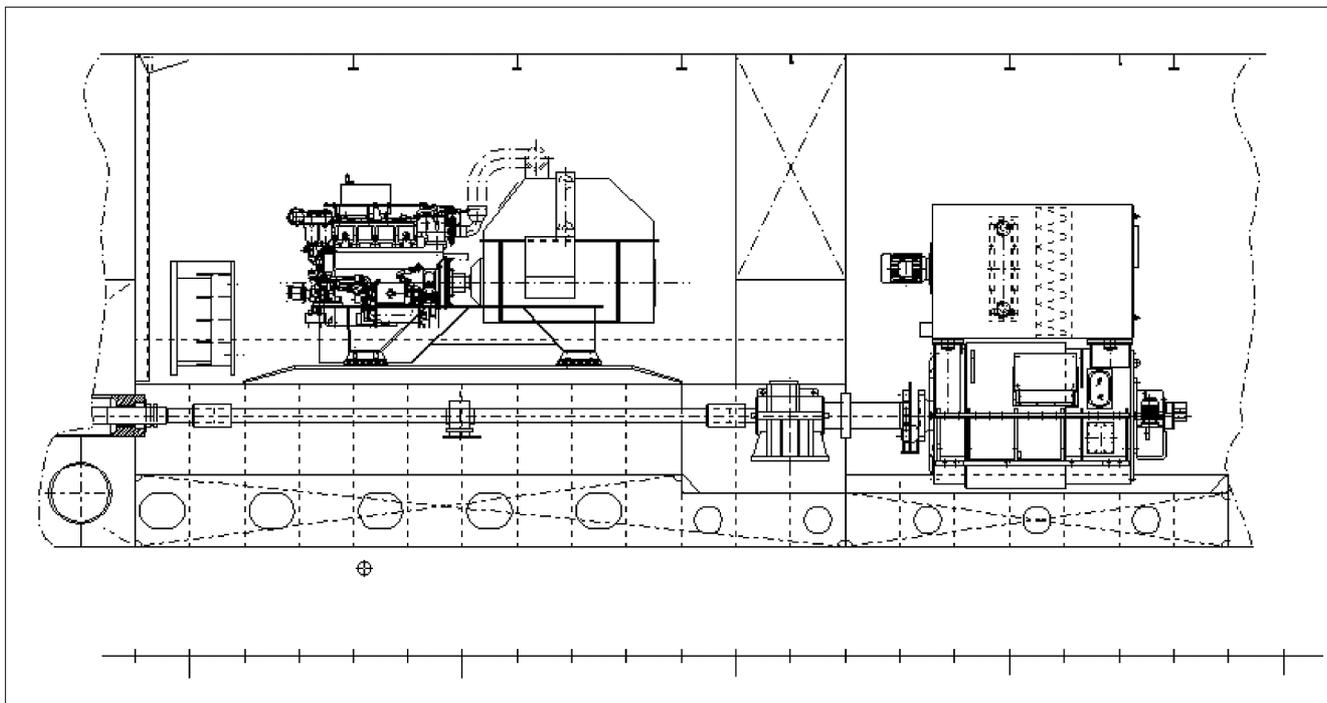


Bild 10: Beispiel KOMET: Teilansicht aus Maschinen-Raum-Plan

- **Verfügbarkeit** von:
  - Nenndrehmoment im unteren Drehzahlbereich, wobei der Gleichstrommotor sein volles Drehmoment sofort zur Verfügung stellt
  - volle Leistung vor dem Erreichen der Nenndrehzahl entsprechend der Auslegung
  - *Überschreitungsmöglichkeit des Nennmomentes bei Blockierung*

## 2 Beispiele / Anwendungen

### A. Auswahl von direkt angetriebenen Vortriebsorganen mit E-Motoren, die wir ausschließlich in der Gleichstromtechnik eingesetzt haben:

- **Maschinenraum KOMET** (Bild 10)
  - Große Abmessungen und Gewichte
  - Schallmäßige Auslegung optimal
  - Kosten: hoch

Weitere Beispiele für den Einbau dieselelektrischer Antriebe dieser Art in der Verwaltung: Forschungsschiffe Meteor, Gauß, Poseidon, Alkor, Heincke, Sonne, Ersatz Solea, Oder-Eisbrecher

- **Schottel - SEP** (Bild 11)
  - PODs: 5 – 20 MW und kleinere Einheiten von ABB und Schottel von 0,4– 5 MW
  - Drehstromtechnik: Synchronmotoren von ABB, Lips/STN, Rolls-Royce. Im kleinen Leistungsbereich von Schottel Asynchronmaschinen; Permanent erregte Maschinen von Siemens/Schottel und im kleineren Leistungsbereich von ABB.
  - Hohe Manövrierfähigkeit

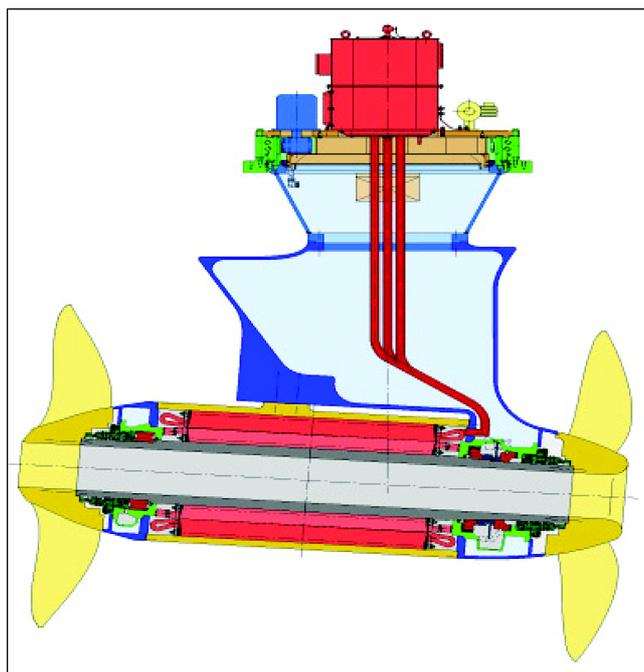


Bild 11: Beispiel Schottel: POD-Antrieb

- Platzersparnis (E-Motor außerhalb des Schiffes)
- Kosten: hoch

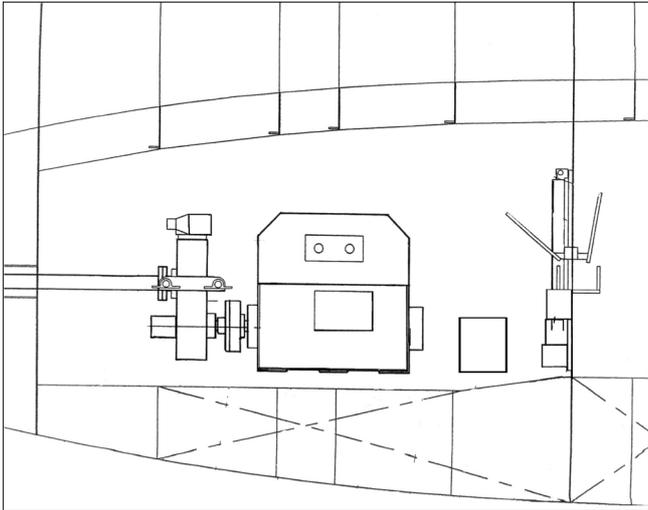


Bild 12: Beispiel ELBE: Teilansicht aus Maschinen-Raum-Plan

**B.** Auswahl von über **Untersetzungsgetriebe** angetriebene Vortriebsorgane mit E-Motoren, die wir ausschließlich in der Drehstromtechnik eingesetzt haben:

- **Maschinenraum ELBE** (Bild 12)
  - Zusätzliche Lärmerzeugung und geringere Lebensdauererwartungen durch hohe Drehzahlen und Getriebe und dadurch auch wartungsintensiver
  - Norm-Standard E-Motoren
  - Kosten: niedriger, mit Ausnahme der Ruderpropeller

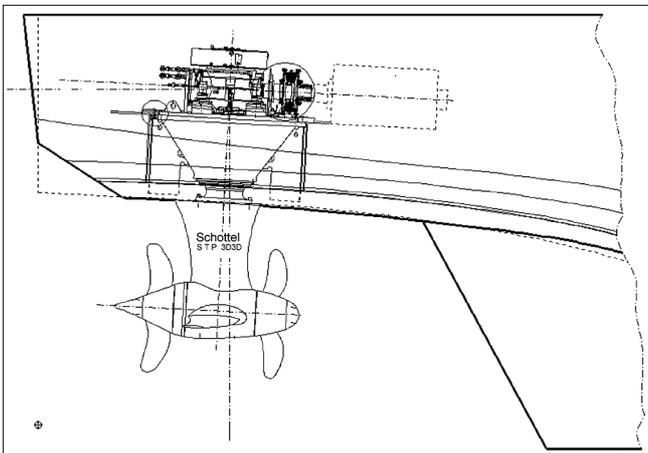


Bild 13: Beispiel Schottel: Ansicht Ruderpropeller

- **Schottel- Ruderpropeller** (Bild 13)

Weitere Beispiele: NEUWERK, Lotsenstationsschiff ELBE, Lotsentender

Das Thema unseres Vortrages war der Einsatz von dieselektrischen Schiffsantrieben. In unserer schnelllebigen Zeit ist aber dieses bereits wieder eine Untergruppe von der mit dem neumodischen Schlagwort versehenen Überschrift:

### “All Electric Ship“

1. Diesel- Elektrischer Antrieb
2. Gasturbinen- Elektrischer Antrieb
  - Ein wirtschaftlicher Betrieb rechnet sich nur in Verbindung mit Abdampfturbinen
  - Der Dieselmotor ist noch nicht ganz vom Schiff verschwunden, denn die Klassen fordern zum Anfahren der Turbinen bzw. als Notstromerzeuger diesen immer noch
  - Beispiele: Kreuzfahrtschiffe bei der Meyer-Werft
3. Brennstoffzellen
  - Elektrische Energiegewinnung aus der Synthese von Sauerstoff und Wasserstoff
  - Schadstoffarme Energieversorgung der Zukunft in Verbindung mit Kraft-Wärme-Kopplung mit Wirkungsgraden zurzeit von 50 % bis eventuell 65 %
  - Beispiele: U-Boote der Bundesmarine in Bau bei HDW