

Die Entwicklung der Elektrotechnik an Bord von Seeschiffen

Schulz-Baldes, Friedrich

Veröffentlichungsversion / Published Version

Zeitschriftenartikel / journal article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Schulz-Baldes, F. (1983). Die Entwicklung der Elektrotechnik an Bord von Seeschiffen. *Deutsches Schifffahrtsarchiv*, 6, 133-150. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-54198-6>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

*TECHNIKGESCHICHTE*DIE ENTWICKLUNG
DER ELEKTROTECHNIK
AN BORD VON SEESCHIFFEN

VON FRIEDRICH SCHULZ-BALDES

Die stürmische Entwicklung der Starkstromtechnik ganz allgemein begann 1866 mit der Entdeckung des dynamo-elektrischen Prinzips durch Werner v. Siemens (gleichzeitig mit den Engländern Charles Wheatstone und C.F. Varley). Hierdurch erst wurde der Bau leistungsfähiger Generatoren zur Erzeugung elektrischer Energie in größerem Umfang möglich. Der elektrische Strom kam aber erst an Bord von Seeschiffen mit der Erfindung der elektrischen Beleuchtung. Schon 1873 gelang wiederum Werner v. Siemens der Bau einer selbstregulierenden Bogenlampe (elektr. Lichtbogen zwischen zwei Kohleelektroden) als Scheinwerfer und 1879 folgte die Wiedererfindung und technische Verwirklichung der Kohlenfadenglühlampe durch den Amerikaner T.A. Edison. Bereits 1854 hatte der Deutsch-Amerikaner Heinrich Göbel eine elektrische Kohlenfadenglühlampe erfunden, ohne sie technisch ausnutzen zu können. Erst sehr viel später gelang dem Österreicher Auer v. Welsbach 1898 mit Hilfe des Metalls Osmium die Herstellung einer betriebsreifen Konstruktion der Metallfadenglühlampe.

Bei der Betrachtung der geschichtlichen Entwicklung der Elektrotechnik an Bord von Seeschiffen ist man geneigt, Vergleiche mit der Entwicklung in Landbetrieben zu ziehen. Dabei stellt man fest, daß die Entwicklung der Starkstromtechnik an Bord hinter der an Land immer bis auf den heutigen Tag um einige Jahre her hinkt. Die Erklärung hierfür ist zu suchen – abgesehen von der Mentalität des Seemannes in bezug auf Neuheiten – in den erschwerten Betriebsverhältnissen an Bord durch die Feuchtigkeit – immer ein Feind des geleiteten Stromes – und durch die übermäßige Erwärmung der Maschinenräume sowie durch die Bewegungen des Schiffes im Seegang. Zwei Beispiele mögen diese Tatsache verdeutlichen. Während 1879 erstmals Generatoren zum Betrieb von Lichtbogenlampen mit einer Spannung von 70 Volt an Bord eingebaut wurden, führte Werner v. Siemens im gleichen Jahr die erste betriebsfähige elektrische Lokomotive (3 PS/2,2 kW, 150 Volt) der erstaunten Berliner Bevölkerung vor. So ist es auch nicht verwunderlich, daß sich Gleichstromanlagen an Bord viel länger halten konnten als an Land. Hier fängt der Trend vom Gleichstrom zum Wechsel-/Drehstrom schon 1891 mit dem Bau der ersten Drehstrom Hochspannungsleitung Lauffen–Frankfurt an und ist in den 20er Jahre abgeschlossen, während diese Stromart erst ab etwa 1935 auf einzelnen Schiffen heimisch zu werden und erst ab 1955 den Gleichstrom zu verdrängen beginnt. Dabei sollen die Vorteile des Gleichstromes an Bord in der frühen Zeit nicht unterschätzt werden. Sie lagen im Doppelschlußgenerator als Maschine mit konstanter Spannung ohne große Regeleinrichtung

bei Belastungsänderungen bei konstanter Drehzahl und beim Gleichstrommotor als Antriebsmaschine mit guter Regelbarkeit der Drehzahl. Als Nachteil dieser Maschinen wurde immer der empfindliche Kollektor mit seinen der Abnutzung unterworfenen Kohlebürsten und einer umfangreichen Lagerhaltung von Ersatzteilen empfunden. Diese Vor- und Nachteile konnten erst egalisiert bzw. kompensiert werden, durch die moderne elektronische Regelung von Drehstromgeneratoren und -motoren. Ebenso verhält es sich mit der Einführung höherer Spannungen (Mittelspannung 3–6 kV) an Bord, die um 1935 begann, sich aber bei zunehmender Leistung der Verbraucher an Bord erst um 1965 endgültig durchgesetzt hatte. Aber ein anderer, rein menschlicher Aspekt, spielte bei der Entwicklung der Elektrotechnik an Bord eine Rolle, nämlich das Mißtrauen und die Abneigung der technischen Besatzungen an Bord gegenüber der Elektrotechnik als unsichtbare Hilfskraft, der sogenannten »schwarzen Kunst«. Erst mit dem Aufkommen der elektronischen Steuerungen und Überwachungen, d.h. der Automatisierung, hat sich der Schwerpunkt mehr zur Elektrotechnik verschoben, es entstand das Elektroschiff. Man kann heute ohne Übertreibung sagen, daß kein modernes Schiff die Weltmeere befahren könnte ohne Elektrotechnik, in welcher Form auch immer.

I Die erste Stufe der Entwicklung, etwa 1879–1904

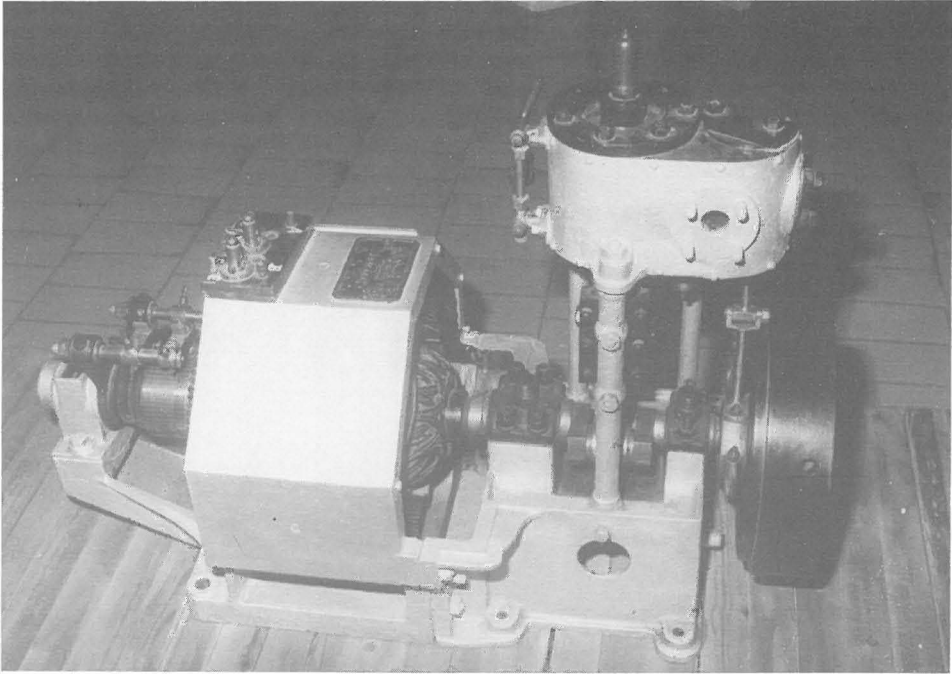
Merkmal: Spannung 70 Volt Gleichstrom

Die Generatoren und ihre Antriebe

Die Generatoren an Bord waren Gleichstrommaschinen, zunächst noch mit Ringanker, später nur noch mit Trommelankerwicklung, System v. Hefner-Alteneck, erfunden 1872. Diese Generatoren wurden zunächst über Riemetrieb von liegenden oder stehenden Dampfkolbenmaschinen angetrieben. Erst Ende der 80er Jahre wurde auch von deutschen Firmen der Dampf-dynamo mit direkt gekuppelten, 1 oder 2 Zylinderdampfkolbenmaschinen gebaut. Die Anzahl der Dampf-dynamos an Bord stieg mit zunehmender Leistung der angeschlossenen Verbraucher, wobei im Laufe der Jahre und der technischen Entwicklung nicht nur Bogen- und Glühlampen betrieben werden mußten, sondern auch kleinere Elektromotoren. Eine ähnliche Entwicklung ist auch bei der Deutschen Marine festzustellen.

Das Bordnetz

Die elektrischen Leitungen wurden auf Handelsschiffen meist einpolig verlegt, d.h. der eiserne Schiffskörper wurde zur Rückleitung des Stromes benutzt, eine Verlegung, die sich bis auf den heutigen Tag auch für Wechsel-/Drehstrom erhalten hat (Ausnahme: Tankschiffe). Auf Kriegsschiffen dagegen wurde schon frühzeitig die zweipolige Verlegung, aus Sicherheitsgründen und wegen der Möglichkeit, den Isolationszustand des Bordnetzes jederzeit während des Betriebes sichtbar zu machen, gewählt. Das Leitungsmaterial bestand zunächst aus Kupferdrähten, die an trockenen Stellen im Schiff mit Baumwolle und Gummiband isoliert, in Holzkänen verlegt waren. In feuchten Räumen, vor allem in Maschinenräumen und am Oberdeck kam schon bald aus Sicherheitsgründen Bleikabel mit Eisendraht- bzw. Bandeisenarmierung auf. Letzteres gilt auch für Kriegsschiffe, deren Stromleitungen schon bald aus dem sogenannten Marinekabel, ebenfalls ein Bleikabel mit Eisengeflecht armiert, bestanden. Um die Generatorleistung dem Bordnetz anpassen zu können, mußte man bei größeren Anlagen dazu übergehen, als Sicherheit gegen »black out« (das ist der Ausfall aller Generatoren) verschiedene Arten der Verteilung anzuwenden. Während anfangs die Borddynamos wahlweise auf einzelne Verbrauchergruppen zu schalten waren, kam später auch die Parallelschaltung von Generatoren auf, die dann auf Sammelschienen arbeiteten, von denen über Schalter und Sicherungen die



Kompakt Dampfdynamo für 50–60 Glühlampen der Deutschen Elektrizitäts-Werke (Garbe, Lahmeyer & Co.), Aachen, aus dem Jahre 1895. (Slg. Deutsches Schiffahrtsmuseum)

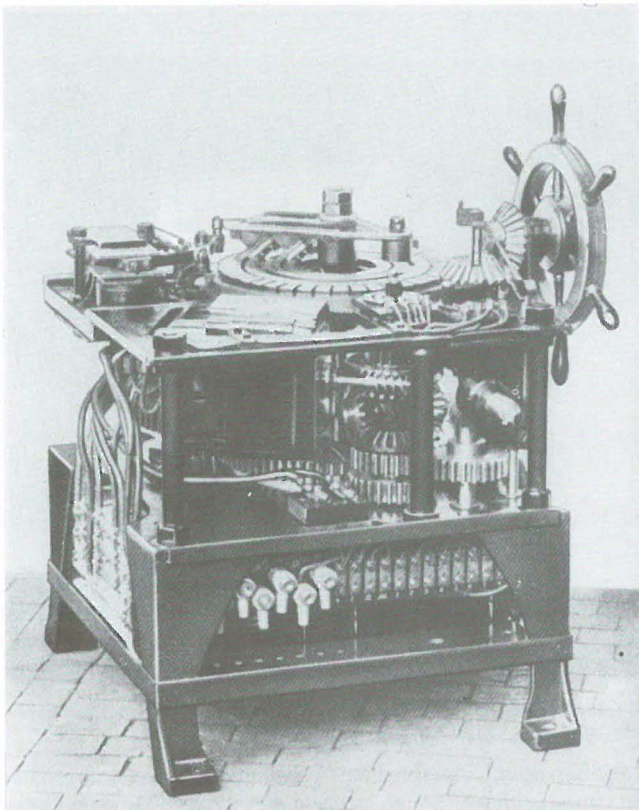
Stränge zu den einzelnen Verbrauchern oder Unterabteilungen abgingen. Die Sicherungen bestanden aus Bleidrähten bzw. auf Pappe geklebten Staniolstreifen, die in Porzellan- oder Gußeisendosen montiert waren. Auch wurden zum Anschluß von transportablen Lampen im Kohlebunker und auf Deck Anschlußdosen angebracht, die einfache Stecker aufnehmen konnten. Diese sogenannten Steckdosen waren ebenfalls in gußeisernen Kästen montiert, deren Deckel als Verschuß gegen Seewasser schützen sollte.

Die Verbraucher Scheinwerfer und Glühlampen

Die Verbraucher elektrischer Energie auf Frachtschiffen der ersten 30 Jahre bestanden zum überwiegenden Teil aus Bogenlampen zur Decksbeleuchtung (Suezkanalscheinwerfer). Mit der Einführung der Kohlenfadenlampe 1879 wurde sie als feuersicheres Licht zur Beleuchtung in den Decks, Wohn- und Maschinenräumen eingesetzt sowie als Signallampen (Positionslaternen) auf der Brücke. In den Jahren bis 1904 wurden von deutschen Firmen für verschiedene Reedereien im In- und Ausland zahlreiche Schiffe mit Dampfdynamomaschinen und elektrischen Beleuchtungsanlagen ausgerüstet. So erhielt 1888 die AUGUSTA VICTORIA der HAPAG, Hamburg, eine vollständige elektrische Anlage mit vier Dynamos und 2 100 Glühlampen. Auch in den USA ging die Entwicklung der Elektrotechnik an Bord von Seeschiffen sehr rasch vor sich. Ende 1882 waren von 22 000 von der Edison Company in Amerika installierten Glühlampen allein 2 000, d.h. 10% auf Seeschiffen eingebaut.

Elektrische Kommandoelemente und -Hilfsmaschinenantriebe

Nach der Entwicklung eines betriebssicheren Elektromotors durch Werner v. Siemens gehörten auch kleinere Elektromotore, etwa zum Antrieb von Ventilatoren, zu den frühen Verbrau-



Rudersteuerapparat von 1902 für den portugiesischen Kreuzer TEJO. (Aus 75 Jahre Schiffselektrotechnik im Hause Siemens)

chern der ersten E-Anlagen auf Seeschiffen. In dieser Zeit lagen die Verhältnisse in bezug auf die Verwendung der Elektrizität an Bord von Kriegsschiffen weit günstiger als an Bord von Handelsschiffen. So wurden Ende der 80er Jahre von verschiedenen Firmen sogenannte Nachtsignalapparate eingeführt, die mit mehreren verschiedenen schaltbaren farbigen Lichtern eine Verständigung der Schiffe auch bei Nacht möglich machten. Mit Hilfe eines Kurbelschalters und drei am Mast angebrachten Doppellaternen (obere Hälfte weiß, untere Hälfte rot) konnten 14 verschiedene Signale abgegeben werden. In diesen Jahren kamen auch die ersten elektrischen Kommandogeräte (Maschinentelegraf) und Fernsprecheinrichtungen an Bord. Mitte der 90er Jahre entschloß sich die Kaiserliche Marine erstmals auf ihrem Küstenpanzer AEGIR elektromotorische Antriebe für Lüfter, Krane, Spills, Winden und die Ruderanlage einzubauen.

Auf Seeschiffen eingebaute E-Anlagen:

1879	Dampfer HANNOVER	Reederei Bocholl, Bremen 1 Gen., 5 Bogenl., 1 Scheinwerfer Siemens und Halske
1879	Dampfer THEBEN 1216 NRT 800 PS	Deutsche Dampfschiff.Ges. Cosmos, Hamburg 1 Gen., 5 Bogenl., 1 Scheinwerfer Siemens und Halske

1879	Dampfer HOLSATIA 1397 NRT 800 PS	HAPAG Hamburg 2 Gen., 2 Scheinwerfer Siemens und Halske
1879	Passagierdampfer CITY OF BERLIN 2957 NRT	Reederei Imman Steamship, Liverpool 1 Gen., mehrere Bogenl. i.d. Wohndecks Siemens Brothers Ltd. London Später auch Glühl. im Maschinenraum
1880	SMS AVISO FALKE	1 Gen., 1 Scheinwerfer
1880	COLUMBIA	Oregon Railway and Navig. Company gebaut in Glasgow 2 Edison-Dynamomaschinen 115 Glühlampen Edison Company
1883	Schnelldampfer ELBE	Norddeutscher Lloyd Bremen vollständige Beleuchtungsanlage
1889	GRAF WALDERSEE 12 830 BRT	HAPAG Kolbendampfmaschine 714 NHP Generatorleistung 66 kW

II Die zweite Stufe der Entwicklung etwa 1904–1935

Merkmal: Spannung 110 Volt (ab 1925 220 Volt) Gleichstrom

Die ersten drei Jahrzehnte unseres Jahrhunderts sind geprägt durch die Entwicklung der Dampfturbine und des Dieselmotors zum Antrieb von Seeschiffen. Parallel zu dieser Entwicklung nimmt auch die Generatorleistung an Bord sprunghaft zu, was auch aus der folgenden Übersicht deutlich hervorgeht.

Baujahr	Schiffsname	Schiffsraum BRT	Propeller- antrieb	Generator- leistung kW	sepz. Leistungs- zahl W/BRT
1898	GRAF WALDERSEE	12 800	Kolbendampf.	66	5
1907	MAURETANIA	30 700	Dampfturbinen	1500	49
1914	VATERLAND	54 300	Dampfturbinen	1490	29
1923	COLUMBUS	32 600	Kolbendampf.	1260	40
1924	MONTE SARMIENTO	13 600	Dieselmotoren	1800	130
1930	EUROPA	49 800	Dampfturbinen	2280	46*
1933	CORDILLERA	12 000	Dieselmotoren	1450	120
1934	QUEEN MARY	80 000	Dampfturbinen	9100	113
1936	PRETORIA	16 700	Dampfturbinen	1860	112
1935	POTSDAM	17 500	Turboelektrisch	2700	154

* Hilfsmaschinen Dampftrieb

Durch den Wegfall von Dampfkesseln wurde man gezwungen, alle wichtigen Hilfsmaschinen elektrisch anzutreiben. Wie erfolgreich sich diese E-Antriebe durchsetzen konnten, ist daraus zu ersehen, daß später auch Dampfschiffe solche E-Anlagen erhielten. Aber auch der elektrische Propellerantrieb trat in diesen Jahren in Erscheinung und zwar nicht nur bei U-

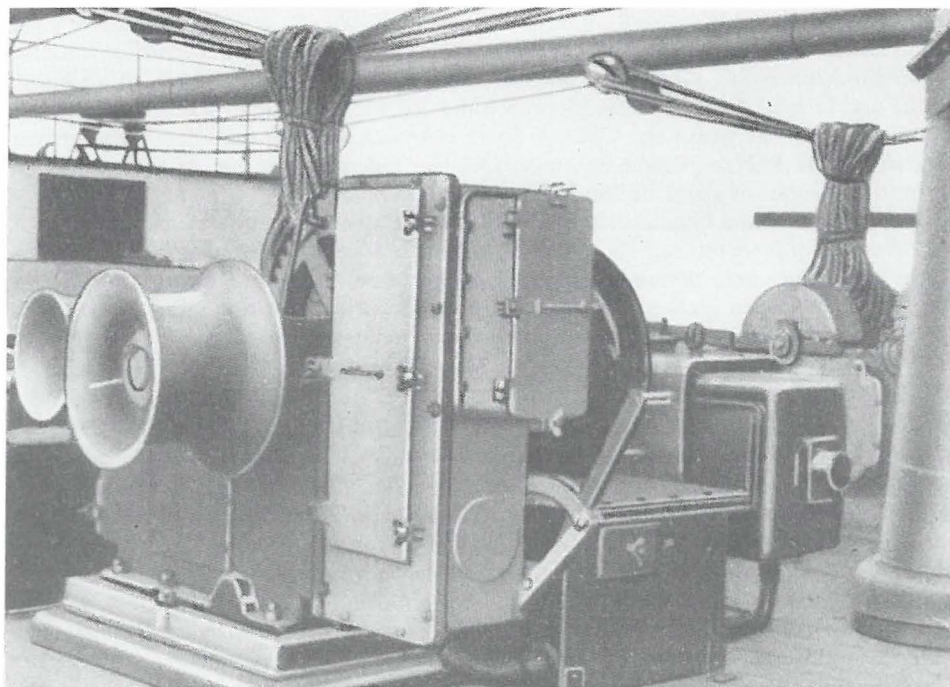
Booten sondern von den USA kommend, auch auf großen Schiffen. Vom Handelsschiff-Normenausschuß HNA (gegründet 1919) wurden Vorschriften für elektrische Anlagen auf Seeschiffen erlassen, in denen Vorschriften des VDE, des Germanischen Lloyd (GL) und anderer Stellen berücksichtigt werden. In diesen Vorschriften waren alle bisherigen Vorschriften einzelner Reedereien zusammengefaßt, wobei für den elektrischen Teil auf die Normen des VDE hingewiesen wurde.

Generatoren und ihre Antriebe

Mit zunehmender Leistung der Verbraucher – im wesentlichen elektrisch angetriebene Hilfsmaschinen – mußte auch die Leistung der Generatoren automatisch größer werden. Schon 1908 lag die installierte elektrische Leistung eines Schnell- oder Passagierdampfers bzw. eines Linienschiffes bei 1000–1500 kW. Von den 1907 registrierten 1300 elektrischen »Zentralstationen« in Deutschland sind nur etwa 100 gleich oder größer, als die Stromerzeugungsanlagen der o.g. Schiffe. Dabei entsprach die elektrische Leistung von 1000–1500 kW etwa dem Leistungsbedarf von Städten mit 50 000–70 000 Einwohnern wie z.B. Elbing, Flensburg, Solingen oder Zwickau. Diese an Bord notwendigen Leistungen führten dann auch sehr schnell zur Dampfturbine als Antrieb von Generatoren, den »Turbodynamos«. Der »Dynamo« selbst mußte bei höheren Drehzahlen sehr genau ausbalanciert sein, der Kommutator reichlich dimensioniert und der Generator mit Wendepolen und entsprechenden Kohlebürsten bestückt sein. Auftretende Belastungsschwankungen, die zu Spannungsschwankungen in der gesamten E-Anlage führten, z.B. beim Ladebetrieb mit Ladewinden, wurde durch Einbau von sogenannten Verbund- oder Compoundwicklungen (Nebenschluß mit Reihen- oder Hauptschlußwicklungen) entgegengewirkt, so daß der Einbau von besonderen Spannungsreglern überflüssig wurde. So war lange Jahre der sogenannte Doppelschluß-Gleichstromgenerator für die Stromversorgung an Bord üblich. Aber auch die Isolation der Generatoren konnte in den folgenden Jahren durch Erhöhung der »Grenztemperaturen« für die Wicklungen wesentlich verbessert werden. Dies wurde erreicht durch bessere Isoliermaterialien, wie z.B. Baumwolle, Seide, Papier, die Grenztemperaturen bis 95° C zuließen und letztlich zu kleineren Ausmaßen und Gewichten der Maschinen führten.

Das Bordnetz und die Sicherheitseinrichtungen

Mit der Einführung der Spannung 110/220 Volt mußten natürlich auch sämtliche Leitungen, Schalter, Sicherungen, Stecker usw. den höheren Spannungen angepaßt werden. Dazu kamen höhere Stromstärken für die Verbraucher mit größeren Leistungen. An Bord wurde daher aus Isolationsgründen zunehmend Bleikabel mit Stahlgeflechtummantelung verlegt, das sogenannte Marinekabel (MK Schiffskabel). Der Bedarf an elektrischer Energie war an Bord recht unterschiedlich. Man unterscheidet daher den Bedarf auf See (Seebetrieb), den Bedarf bei Revierfahrt und den Bedarf im Hafen mit oder ohne Ladebetrieb. Diese verschiedenen Betriebsarten führten aus wirtschaftlichen Gründen zu einer Aufteilung der Gesamtgeneratorleistung auf mehrere Maschinen. Während man zunächst jedem Generator eine Stromschiene zuordnete und die Verbraucher umschaltbar an diese Sammelschienen anschloß, wurde mit weiter zunehmenden Leistungen und zur Vereinfachung der Schaltanlage die Parallelschaltung der Generatoren üblich, die sich bis heute auch in modernen Anlagen bewährt hat. Selbstverständlich brachte diese Parallelschaltung zunächst Schwierigkeiten im Betrieb mit sich, so daß sogenannte Sicherheitsschaltungen entwickelt werden mußten. Das bis heute noch gültige Prinzip besteht in der Aufteilung der gesamten E-Anlage in wichtige und unwichtige Verbraucher. Durch entsprechende Schützsteuerungen konnte dann bei Ausfall eines Generators von z.B. zwei Generatoren das Abschalten des zweiten Generators dadurch verhindert werden, daß zunächst die unwichtigen Verbraucher abgeschaltet wurden und die wichtigen Verbraucher wie z.B. Ruderanlage, Pumpen usw. in Betrieb bleiben konnten.



Ladewinde auf MS SELANDIA. 40 PSI/930 U/m von 1911. (Aus 75 Jahre Schiffselektrotechnik im Hause Siemens)

Elektrische Hilfsmaschinenantriebe und Kommandoelemente

Wie schon erwähnt, trat mit dem Dieselmotor und der Dampfturbine als Hauptmaschine eine wesentliche, sprunghafte Vergrößerung der elektrischen Anlagen an Bord in Erscheinung. Alle bisher mit Dampf betriebenen Hilfsmaschinen mußten »elektrifiziert« werden.

Die Rudermaschine

Die wichtigste Hilfsmaschine ist die Rudermaschine. Anstatt der bisher üblichen Dampf- oder Dieselmotormaschine mit einer Steuerung über eine Axiometerleitung von der Brücke über Gestänge und Ketten, trat die elektrisch oder hydraulisch betriebene Rudermaschine mit einer elektrischen oder hydraulischen Steuerung. Es dürfte im Rahmen dieser Abhandlung zu weit führen alle bisher entwickelten Ruderanlagen und Steuerungen zu erwähnen. Es sei hier nur auf die beiden, noch heute üblichen, Hauptarten von Steuerungen hingewiesen: die Zeitsteuerung und die Wegsteuerung. Bei der einfacheren Zeitsteuerung (Betätigung durch Druckknöpfe oder Lenkräder) läuft das Ruder in einer Richtung solange, wie ein Befehl (d.h. Schalter geschlossen) von der Brücke gegeben wird. Wird der Schalter geöffnet (Befehl hört auf), bleibt das Ruder sofort stehen. Das Ruder wird durch zwei Druckknöpfe oder entsprechende Lenkradstellungen nach Backbord oder Steuerbord bewegt. Da die augenblickliche Lage des Ruderblattes nicht bekannt ist, muß ein mechanischer Ruderlagenanzeiger vorhanden sein. Bei der Wegsteuerung wird ein Ruderwinkel auf der Brücke eingestellt, und das Ruder läuft auf den eingestellten Winkel und bleibt dort stehen, wobei ein Folgezeiger den erreichten Ruderwinkel anzeigt. Die bekannteste Rudersteuerung dieser Art war lange Jahre die sogenannte sympathische

Rudersteuerung der AEG. Die Rudermaschine selbst, die über Ruderpinne und Ruderschaft das oft tonnenschwere Ruder antreibt, hat mannigfache Entwicklungen durchlaufen: zunächst der direkte Antrieb über Ritzel und Ruderquadrant auf dem Ruderschaft vor allem für kleinere Schiffe und kleinere Kräfte. Auf größeren Schiffen hat sich dann die hydraulische Rudermaschine durchgesetzt, wobei der Öldruck durch elektrisch angetriebene Ölpumpenaggregate hergestellt wird. Hierzu gehören neben der Quadrantrudermaschine von AEG bis ca. 80 mt für mittlere Kräfte vor allem die Tauchkolbenrudermaschinen mit größeren Kräften für große Schiffe wie Tanker und Containerfrachter. Kleinere Anlagen dieser Art arbeiten mit nur zwei Tauchkolben, größere mit vier Tauchkolben, von denen jeweils zwei parallel arbeiten. Aus Sicherheitsgründen waren ursprünglich von Hand betriebene Notrudereinrichtungen vorgesehen, die aber bei den großen Rudermaschinen durch parallel arbeitende Tauchkolben und doppelt angeordnete Pumpenaggregate und Steuereinrichtungen ersetzt werden mußten.

Ladewinden

Auch die Ladewinden wurden sehr schnell vom Dampftrieb auf den elektrischen Betrieb umgestellt. Da Ladewinden an Deck aufgestellt sind, mußten die Motoren gegen Seewasser geschützt sein. Das zweite Problem mußte mit der Steuerung dieser Winden gelöst werden. Die erste elektrische Ladewinde wurde 1911 auf dem Motorschiff SELANDIA aufgestellt. Die Steuerwalze wurde hier mit Hilfe der von Dampfwinden gewohnten Hebelsteuerung betätigt. Die Motorleistung betrug 40 PS, Steuerwalze und Widerstände waren in wasserdichten Stahlgehäusen untergebracht. Zwei Jahre später wurde auf dem Motorschiff SECUNDUS die erste Ladewindensteuerung mit elektrischen Schaltschützen und Regelwiderständen installiert (Motorleistung 33–42 PS). Schwergutwinden bis 180 t Tragfähigkeit wurden mit besonderen Motorschaltungen (Leonardschaltung) bei 64 PS Leistung installiert. Dazu gehört jeweils ein entsprechender Generator, der elektrisch mit dem Windenmotor verbunden sein muß. Auch Bordkräne mit elektrischer Steuerung aller Bewegungsrichtungen werden üblich.

Pumpen und Lüfterantriebe

Durch die Umstellung von Dampf- auf elektrischen Antriebe für Pumpen und Lüfter konnten Größe und Gewicht der Aggregate wesentlich vermindert werden, während andererseits Generatorleistungen und Schaltanlagen ständig größer werden mußten. Die Motoren für den Antrieb sind in der Regel Nebenschlußmotoren mit Drehzahlregulierung durch Feldschwächung (nur von der Grunddrehzahl nach oben möglich). Diese Art der Regelung ist wegen der notwendigen größeren Motoren nur für Antriebe mit feinstufiger Regelung durchführbar. Als Anlasser wurden in der Regel mehr oder weniger große Vorwiderstände im Ankerkreis verwendet. Die Hilfsmaschinen an Bord sind neben allen vorhandenen Pumpenarten wie Feuerlösch-, Lenz-, Kühlwasser-/Speiswasser-, Heizöl- und Schmierölpumpen auch Kesselgebläse und Raumlüfter.

Schiffsstabilisierung

Hier wurden vor allem aktive Anlagen mit Hilfe von motorgetriebenen Wagen eingesetzt. Diese wurden von Leonardumformern gespeist und von Steuergeräten (Ferrarimotor, Lagekreisel und Wendekreisel) gesteuert.

Kommandoelemente

Mit zunehmender Größe der Seeschiffe wurde es notwendig, Fernmelde- und Sicherheitsanlagen zur Sicherung des Schiffsbetriebes in größerem Umfang einzubauen. Zu den teilweise recht umfangreichen Anlagen zählen: Befehlsübermittlungsanlagen wie Maschinen- und Kesseltelegraf, Anzeiganlagen wie Ruderlagenanzeiger, Alarmanlagen wie Feueralarm- und Bootsalarmanlagen, Schottendichtmeldeanlagen, Telefon- und Klingelanlagen. Alle diese An-

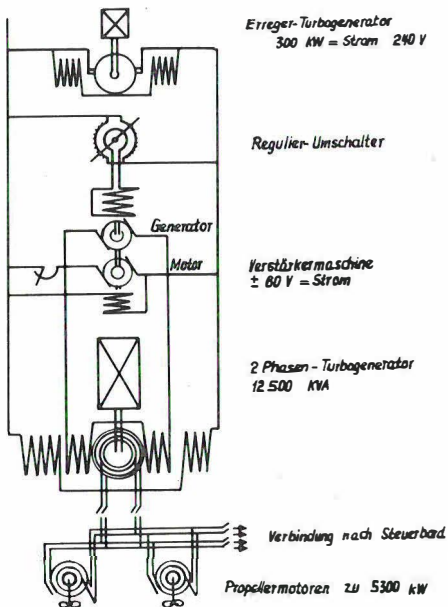
lagen erfordern ein ausgedehntes Leitungsnetz mit einer gesonderten Stromversorgung und niederen Spannungen, meist Akkumulatoren mit selbständiger Ladeeinrichtung.

Elektrische Propellerantriebe

Mit der Möglichkeit, größere Elektromotoren herzustellen, trat auch der elektrische Propellerantrieb in Erscheinung. Die Entwicklung hat von Akkumulatoren-Booten bis hin zu den größten Kriegsschiffen der Amerikaner und großen Arbeits-, Fracht- und Passagierschiffen in Deutschland geführt. Geradezu ideal für die damalige Zeit war der elektrische Motor für den Antrieb von Unterseebooten (bis heute noch konventioneller Antrieb, verdrängt durch den Kernenergieantrieb der Atom-U-Boote). Ein früher Vorläufer des elektrischen Propellerantriebes aus dem Jahre 1883 war auf einem Boot des deutschen Professors Moritz Hermann Jacobi auf der Newa vor Petersburg (elektromagnetische Maschine mit Batterie aus 320 Zink-Kupferelementen) eingebaut. Der Versuch scheiterte an der unzuverlässigen Stromquelle. Im Jahre 1886 baute Werner v. Siemens in Berlin ein Elektroboot ELEKTRA (11,5 m lang, 2 m breit und 0,8 m Tiefgang für 20 Personen) angetrieben von einem Elektropropellermotor 5 PS, 800 Umdr./Min. und einer Akkubatterie von 120 Ah Kapazität. Das Boot erregte allgemeines Aufsehen. Es dauerte immerhin ca. 35 Jahre, bis elektrische Propellerantriebe sowohl mit Gleichstrom als auch mit Wechselstrom für größere Leistungen eingesetzt werden konnten. Der Grund dafür ist kurz folgender: Die elektrische Energie muß bei größeren Leistungen von Turbogeneratoren, Diesellaggregaten oder Akkumulatoren geliefert werden, die erst in diesen Jahren, ebenso wie die Antriebsmotoren, dem rauen Seebetrieb gerecht werden konnten. Im Vordergrund standen vor allem wirtschaftliche Gründe. Die Generatorenanlage kann so aufgeteilt werden, daß immer nur die augenblicklich benötigte Leistung, d.h. Anzahl von Generatoren eingeschaltet zu werden braucht. Große Saugbagger benötigen z.B. während des Baggerns eine verhältnismäßig geringe Propellerleistung, während die Saugbaggerpumpe auf der Fahrt zur Verklappung stillsteht. Einen großen Vorteil bietet die freizügige Veränderung der Drehzahl des Propellermotors während der Fahrt als auch beim Umsteuern von »Voraus« auf »Zurück« bei gleicher Leistung und Wegfall von Getrieben. Auch Forschungsschiffe sind für den elektrischen Propellerantrieb geeignet, da die Generatoraggregate schwingungsfrei, gedämpft und geräuscharm aufgestellt werden können. Die Amerikaner haben aber auch im Kriegsschiffbau zahlreiche Schiffe mit Elektroantrieb ausgerüstet, weil neben der guten Manövrierbarkeit auch die Freizügigkeit in der Aufstellung der Generatorsätze (Kraftwerke) im Schiff (Sicherheitsmaßnahme gegen Ausfall von Generatoren) eine ausschlaggebende Rolle spielten.

Ausgeführte Anlagen mit Gleichstromantrieb

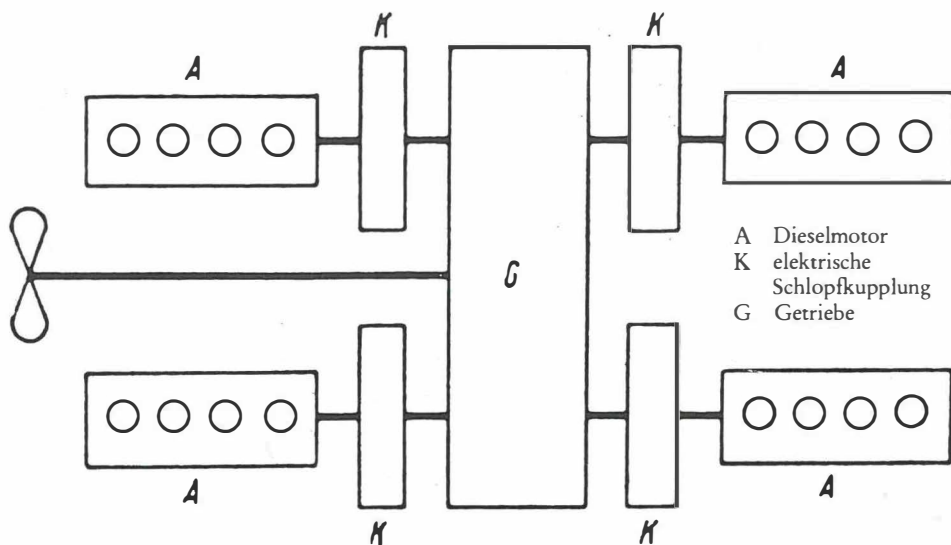
In Deutschland wurde der elektrische Antrieb von Schiffen zunächst nur im Binnenland sichtbar. Seit 1909 fuhr auf dem Königssee eine Flotte von Elektrobooten mit einer Akkumulatorenstromquelle, die während der Nacht aufgeladen werden konnten. Ebenfalls 1909 wurde die Rheinfähre Godesberg–Niederdollendorf elektrifiziert mit zwei Propellermotoren von je 37 kW sowie zwei Klappwinden von je 6 kW, gespeist von Akkumulatorenbatterien, die während der Betriebspausen an Land aufgeladen wurden (1934 ersetzt durch Dieselgenerator). Während in Deutschland nur wenige Schiffe mit elektrischem Antrieb gebaut wurden, die sich vor allem auf Saugbagger beschränkten, wurden im Ausland auch größere dieselelektrische Antriebsanlagen mit Gleichstrom in Betrieb genommen. Ein Vorteil besteht gegenüber dem direkten Antrieb darin, daß der Dieselmotor unabhängig von der Schraubendrehrichtung oder Drehzahl durchläuft und daher jederzeit bereit ist, seine volle Leistung abzugeben. Die ist besonders wichtig für Schlepper, von denen eine größere Zahl in den USA, England, Belgien und Italien mit dieser Antriebsart ausgerüstet wurden. Von den zahlreichen Ausführungen dieselelektrischer Schraubenantriebe mit Gleichstrom sind bemerkenswert:



Elektrische Antriebsanlage des Schlachtschiffs
der US-Marine MEXICO aus dem Jahr 1915.

1918	amerikanisches Frachtschiff COURAGEOUS	mit 5000 WPS
1922	holländisches U-Boot Mutterschiff PELIKAN	mit 1400 WPS
1924	amerikanisches Tankschiff J. W. VAN DYKE	mit 2500 WPS
1931	italienisches Fährschiff SCILLA	mit 6000 WPS
1932	schwedischer Eisbrecher YMER	mit 8100 WPS

Außer diesen, mit klassischen Schaltungen zum Steuern von Gleichstrommotoren ausgerüsteten Anlagen, hat es eine Reihe von Versuchen gegeben, mit Hilfe von Zusatzantrieben Energie zu sparen. Die bekannteste Form ist die »Bauer-Wach-Anlage«. Der Zusatzantrieb besteht hierbei aus einer Abdampfturbine (Abdampf aus einer Dampfkolbenmaschine), die einen Zusatzgenerator antreibt. Die Zusatzleistung wird über einen Elektromotor an die Welle abgegeben. Dieser Antrieb wurden 1924 auf der CITY OF HONKONG, 9600 BRT, und mehreren ähnlichen Schiffen eingebaut. Eine weitere Variante eines Zusatzantriebes ist die besonders auf Fischdampfern eingebaute »Vater und Sohn«-Anlage. Zwei Dieselmotoren (720 PS umsteuerbar und 250 PS nicht umsteuerbar) arbeiten über Flüssigkeitskupplungen und Getriebe auf den Propeller. Der kleinere Dieselmotor treibt über eine ausrückbare Kupplung einen Steuergenerator zum Antrieb des Motors der Fischnetzwinde an. In diese Zeit fällt auch der Bau von elektrischen »Schlupfkupplungen« bei gleichzeitigen Fortschritten im Getriebebau. Neben England und Amerika sind vor allem in Schweden eine große Anzahl von Handelsschiffen mit elektrischen Schlupfkupplungen ausgerüstet worden. Folgendes Bild zeigt das Prinzip eines elektrischen Schiffsschraubenantriebs. Durch Zu- und Abschalten einzelner Antriebsmaschinen ist eine wirtschaftliche Fahrt möglich, wie auch das Manövrieren beim An- und Ablegen durch wahlweises Schalten eines Motors auf »Voraus«, eines anderen auf »Zurück« erleichtert wird. Zu den Vorläufern großer elektrischer Propellerantriebe gehört aber auch der Versuch der US-Flotte, Schlachtschiffe mit zunächst zwei Phasen Wechselstromgeneratoren und Motoren anzutreiben. Im Jahre 1915 wurde das erste Schlachtschiff MEXICO mit einer solchen Anlage ausgerüstet. Je zwei Zweiphasengeneratoren 12 500 kVA arbeiteten auf vier Zweiphasenmotoren mit je 5300 kW (vier Schrauben). Hauptgeneratoren und Erregergeneratoren wurden von Turbinen angetrieben. Geradezu prädestiniert war aber der elektrische Antrieb auf Tauch- und U-Booten bei allen Marinen der Welt (siehe S. 149).



Indirekter Schiffsschraubenantrieb über elektrische Schlupfkupplungen. (Aus 75 Jahre Schiffselektrotechnik im Hause Siemens)

III Die dritte Stufe der Entwicklung etwa 1935–1970

Merkmal: Spannungen bis 6000 V Drehstrom 50/60 Hz

Die Zeit ab 1935, und besonders auffallend nach dem Zweiten Weltkrieg, war geprägt durch die Einführung des Drehstromes (Dreiphasenwechselstrom) an Bord von Seeschiffen. Während zunächst das System 220/380 Volt, 50 Hz auf europäischen Schiffen (50 Hz ist die Frequenz des europäischen Verbundnetzes) vorzufinden war, hatte sich im Laufe der Jahre das amerikanische System 259/450 Volt 60 Hz durchgesetzt (höhere Spannung und Frequenz bedingen höhere Leistungen bei gleichen Größen und Gewichten der Maschinen). Mit den größer werdenden Leistungen auf großen Schiffen (Tanker, Fahrgastschiffe und Bohrschiffe bzw. -inseln) erhöhte sich in späteren Jahren auch die Spannung auf 3000 bis 6000 Volt (Mittelspannung). Diese hohen Spannungen machten auch den Einbau von Transformatoren für die notwendige Niederspannung erforderlich sowohl als auch den Gebrauch von Thyristoren zur Steuerung elektrischer Maschinen und Spannungen. Der Drehstrom verlangte zwar mehr Leitungen und Schaltgeräte (3 Kabel bei Drehstrom gegenüber 1 Kabel bei Gleichstrom und geerdetem Sternpunkt bzw. einpoliger Verlegung), erlaubte aber auf der anderen Seite den Einbau einfacher E-Motoren (Kurzschlußläufer), die weniger Wartung und Ersatzteilhaltung erforderten. Kostenvergleich Gleichstrom–Drehstrom (3~) für Antrieb von Motoren gleicher Leistung und gleicher Entfernung von der Hauptschalttafel:

	Gleichstrom	Drehstrom
Schaltgeräte und Kabel	11,5 %	9,5 %
Elektromotor	56 %	19 %
Ersatzteile	32,5 %	1 %

Mit Hilfe von Transformatoren lassen sich alle notwendigen Spannungen (z.B. Lichtspannungen) leicht herstellen. Die etwas schwierige Drehzahlregelung von Drehstrommotoren kann mit Hilfe moderner Halbleiterelemente (Thyristoren) wesentlich erleichtert werden. Einen weiteren Aspekt stellt die zunehmende Automatisierung in den letzten 10 Jahren dar, die ebenfalls nur möglich wurde durch den Wechselstrom und die Entwicklung von geeigneten Halbleitergeräten (Transistoren und Thyristoren) für den Bordbetrieb.

Generatoren

Der Durchbruch des Drehstromes an Bord ist nicht zuletzt auch der Beherrschung der Antriebsmaschinen (Dieselgenerator und Turbogenerator) zuzuschreiben. Neben entsprechenden Leistungssteigerungen und ihrer Regelung, sprich Stabilisierung der Drehzahl zum Erzielen konstanter Frequenzen und Spannungen, wurde auch der innere Aufbau der Generatoren ständig verbessert. Dazu gehört die Entwicklung des Drehstrom-Konstantspannungsgenerators Anfang der 50er Jahre mit Hilfe von Magnetverstärkern. 10 Jahre später beginnt der Siegeszug der Leistungselektronik mit der Entwicklung des Thyristors. Auch der Bau von bürstenlosen Drehstromgeneratoren wird jetzt möglich, bei der die Erregerwicklung des Generators von der Läuferwicklung der Erregermaschine über einen rotierenden Gleichrichtersatz in Drehstrombrückenschaltung gespeist wird. Ein Konstantspannungsgerät mit Thyristor-Spannungsregler sorgt für die Erregung der Erregermaschine und damit für konstante Spannung des Generators in Abhängigkeit von Belastungsstrom und $\cos \varphi$. Ein weiteres Anwendungsgebiet findet die Thyristorsteuerung bei den, auch schon für Gleichstromgeneratoren beschriebenen, Drehstrom-Wellengeneratoren. Der Wellengenerator erspart einen zusätzlichen Dieselgenerator im Seebetrieb und damit dessen Betriebskosten. Der vom Wellengenerator erzeugte Drehstrom veränderlicher Frequenz (abhängig von der Drehzahl der Schraube) wird über Gleichrichter (Gleichstromzwischenkreis) und Thyristor-Wechselrichter in Drehstrom konstanter Frequenz gewandelt. Infolge des Gleichstromzwischenkreises, der keine Blindleistungen übertragen kann, ist eine Blindleistungsmaschine notwendig (zur Lieferung der zum Aufbau der Magnetfelder notwendigen Blindarbeit). Hierzu wird entweder ein zusätzlicher bürstenloser Blindleistungsgenerator eingebaut oder einer von mehreren Drehstromgeneratoren für das Bordnetz durch Abkuppeln von der Antriebsmaschine benutzt.

Transformatoren

Mit Einzug von Mittelspannungsgeneratoren und -motoren an Bord (3000-6000 Volt) fanden auch Transformatoren in größerem Umfang zum Herabsetzen auf die übliche Niederspannungen der Bordnetze für Licht etc. (380/220 oder 440/250 Volt) Eingang an Bord. Da der an Land meistens angewandte ölgekühlte Transformator wegen befürchteter Brandgefahr nur ungern eingebaut wurde, war durch die Entwicklung des Gießharz-Trocken-Transformators bis zu Leistungen von 5 MVA eine wesentliche Erhöhung der Sicherheit eingetreten.

Bordnetz einschl. Schaltanlage und Schutzeinrichtungen

Auf modernen großen Schiffen bildet die im Maschinenkontrollraum untergebrachte Hauptschalttafel den Schwerpunkt der gesamten E-Anlage bezüglich der Leistungszusammenfassung. Hier sind Generatorschutz, Verteilung der Stromkreise, Überwachung und Bewältigung von Kurzschlußströmen untergebracht. Die Sicherung der im Parallelbetrieb arbeitenden Generatoren erfolgt über kombinierte Überstrom-Rückleistungsauslöser, die nach Zeit gestaffelt sein können. Bei Vergrößerung der Bordnetze mit zunehmenden Einzelleistungen und Generatorströmen bis 5000 A wurde das Abschalten von Kurzschlüssen mit hohen Strömen (Größenordnung 100 000 A) immer problematischer. Man war deshalb gezwungen – wie auch in Landanlagen – die Spannungen an Bord zu erhöhen.

In den 30er Jahren wurden bereits Anlagen für Mittelspannungen bis 6000 V zum Betrieb

der Propellermotoren an Bord eingeführt. Jetzt führen aber Verbraucher großer Leistung, wie Bug- und Heckstrahlruder bei großen, langen Schiffen dazu, das Bordnetz für Mittelspannung bis 6000 V auszulegen und über Transformatoren auf die normalen Verbraucherspannung von 220 bis 440 V herabzutransformieren. So gelang es auch, die bei Niederspannung auftretenden hohen Kurzschlußströme herabzudrücken und mit Serienschaltgeräten zu begegnen. Moderne Schaltanlagen, die hohe Wirkleistungen einwandfrei schalten konnten, standen zur Verfügung. Ebenso wird eine Entwicklung in den elektrischen Kabelnetzen sichtbar: Die Einführung von kunststoffisolierten Leitungen für alle Spannungen bis 6000 V.

Elektrische Hilfsmaschinenantriebe

Durch die Einführung der Drehstromtechnik an Bord, haben Drehstrom-Käfigläufermotoren die Aufgaben übernommen, die bisher von Gleichstrommotoren bestens bewältigt wurden. Der Vorteil dieser modernen Drehstrommotoren besteht neben Robustheit und Zuverlässigkeit in Wartungsfreiheit, langer Lebensdauer und geringer Ersatzteilkhaltung. Der Nachteil bestand zunächst in der verhältnismäßig schwierigen Drehzahlregelung dieser Maschinen, da sie von der Frequenz und der Polpaarzahl abhängig ist. Da die Frequenz im Bordnetz konstant sein mußte, wurde die Drehzahl dieser Motoren meist mit Hilfe der Polumschaltung durchgeführt. So ließen sich durch besondere Konstruktion der Wicklungen bis zu vier verschiedene Drehzahlen erreichen, während eine kontinuierliche Änderung der Drehzahl nur über die Frequenz möglich war mit Hilfe von Umformern. Erst der Thyristor hat auch hier einfachere Regelmöglichkeiten gebracht.

Rudermaschinen und deren Steuerung

Am Prinzip der Ruderanlagen hat sich nicht viel geändert. Die Maschinen sind, entsprechend der Länge und Größe der Schiffe, ebenfalls größer geworden, was sich wegen der größeren am Ruder auftretenden Kräfte in größere Ruderschaftmomenten und damit in den Leistungen der Pumpenaggregate ausdrückt. Weitgehend werden auf größeren Schiffen Selbststeueranlagen eingebaut. Da diese Anlagen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Ruderanlage als Zeitsteuerung arbeitet, lassen sich Selbststeueranlagen verschiedener Systeme mit der elektrischen Zeitsteuerung in einfacher Weise kombinieren.

Ladewinden, Bordkrane und Verladebrücken

Für alle diese Anlagen setzt sich sehr schnell der 3fach polumschaltbare Asynchronmotor mit Käfiganker als Antriebsmaschine durch, der mit drei (mitunter auch vier) verschiedenen Drehzahlen betrieben werden kann. Die Motoren sind robust und betriebssicher, dabei meistens an Deck aufgestellt, während die Steuereinrichtungen besonders seewassergeschützt aufgestellt sind. Motoren gleicher Bauart werden auch zum Antrieb von Hilfswinden, Ankerwinden und Verholspills sowie automatischen Mooringwinden (Winden, bei denen der Trossenzug automatisch konstant gehalten wird) in Standardausführung eingebaut. Auch Bordkrane und Verladebrücken erhalten solche Antriebe.

Pumpen- und Lüfterantriebe

Unter Deck hat der Drehstrommotor vielfältige Aufgaben übernommen zum Antrieb der für den Betrieb der Hauptmaschine notwendigen Hilfsmaschinen wie Pumpen aller Art, Kompressoren, Ventilatoren, und Separatoren. Spannung im Bordnetz sowohl 380 V/50 Hz als auch 440 V/60 Hz. Die Motoren werden in der Regel direkt angelassen, wobei die Drehzahl den Anforderungen entsprechend von der Polzahl des Motors abhängt. Motoren mit größeren Leistungen bei Drehzahlen bis 3600 U/min werden über Anlasser angelassen.

Schiffsstabilisierung

Es wird zwischen passiver und aktiver Stabilisierung der Bewegungen des Schiffes um seine Längsachse unterschieden. Die passive Stabilisierung ohne Energiezufuhr von außen erfolgt z.B. durch die heute noch gebräuchlichen Schlingerkeile am Schiffsrumpf, sowie die in zahlreichen Varianten der 1911 von Frahm entwickelten Stabilisierungstanks. Letztere arbeiten mit frei beweglichen Wassermassen in einem quer im Schiff eingebauten Tank. Ähnliche Systeme wurden auch mit Wagen oder Rollen entwickelt. Mit der fortschreitenden Elektrifizierung der großen Seeschiffe kamen später aktive Systeme auf, bei denen durch Flossen oder bewegte Massen (Wagen, Rollen oder Kreisel) Leistung zugeführt wird, die das notwendige rückdrehende Moment erzeugt, das für eine Stabilisierung des Schiffes in jedem Augenblick ausreicht. Hierbei hat sich die in den 70er Jahren entwickelte Flossenstabilisierung als aktive Rollämpfungseinrichtung für kleinere Restrollwinkel (vor allem Fahrgastschiffe) weitgehend durchgesetzt. Diese Einrichtung besteht aus je einer unterhalb der Wasserlinie auf beiden Seiten des Schiffes schräg nach unten angeordnete Flosse. Diese können entweder starr oder in den Schiffsrumpf einklappbar angebracht sein. Die Bewegung der Flossen wird über Hydraulikantriebe gesteuert und elektronisch geregelt. Bei größeren Restrollwinkeln z.B. bei Frachtern, Rohrlegern, Bohrschiffen oder Fischereifahrzeugen kommen vorzugsweise Tankanlagen zum Einbau, wobei die Füllstandshöhe der Tanks zur Stabilisierung bei fahrendem Schiff elektronisch verändert wird.

Kommandoelemente

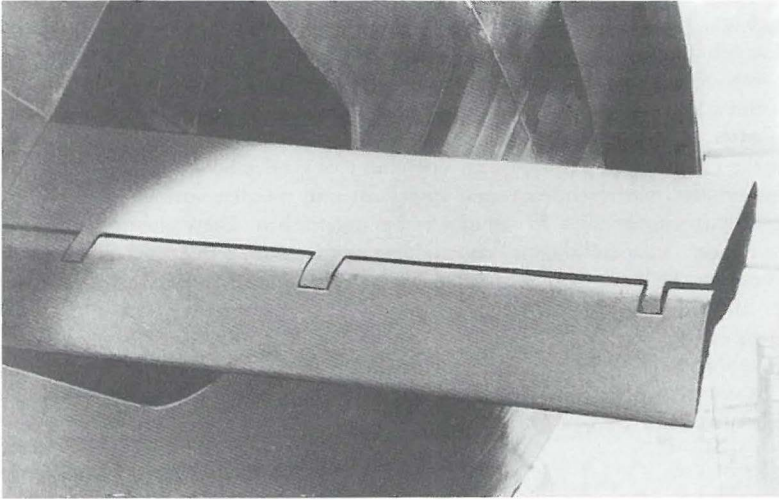
Die Kommandoelemente sind heute elektrifiziert und bedienen sich weitgehend der Elektronik. Erwähnt sei hier nur eine Einrichtung, die das Manövrieren des Schiffes wesentlich erleichtert hat. Es ist der Funksprechverkehr. Er stellt z.B., bekannt als Talkie-Walkie, eine direkte Verbindung von der Brücke zu Bug oder Heck auf langen Schiffen dar und wird auch im Gegenseprechverkehr von Schiff zu Schiff benutzt.

Elektrische Propellerantriebe

Die Einführung des Drehstromes an Bord von Seeschiffen führte auch in Deutschland zum Bau größerer, elektrisch angetriebener Schiffe bei Leistungen über 40 000–50 000 WPS. Die Drehzahlregelung des Propellers und damit die Geschwindigkeit des Schiffes erfolgte meistens über die Änderung der Drehzahl des Turbogenerators. Vorteile dieser Anordnung: Wegfall eines Getriebes zwischen der hochtourigen Turbine und der langsam drehenden Schiffswelle, Wegfall von Rückwärtsturbinen, da Umsteuerung auf zurück elektrisch erfolgt. Einfache Bedienung der Anlage. Nachteil: Mehraufwand an Maschinen, da drei Maschinen zum Antrieb notwendig sind: Turbine, Generator und Elektromotor. Mit der Weiterentwicklung der primären Kraftmaschinen (schnell laufende Dieselmotoren und Verstellpropeller) hat sich der elektrische Antrieb nur noch auf Spezialschiffe wie Eisbrecher, Großfähren und Saugbagger wegen der besonderen Manöviereigenschaften beschränkt.

Drehstromantriebe mit Turbo- oder Dieselmotorengeneratoren

1933 entstanden in den USA große elektrische Drehstromantriebe. Die Flugzeugträger LEXINGTON und SARATOGA erhielten Antriebe mit vier Turbogeneratoren je 40 000 kVA, 1755 U/min, 60 Hz und 4 mal 2 (Doppelmotoren) Drehstrom Synchronmotoren je 22 500/5 500 WPS (insgesamt 180 000 WPS), 5000 V, 317/162 U/min. Im Jahr 1935 folgte dann in Frankreich die Ausrüstung des Schnelldampfers NORMANDIE mit einer Drehstromanlage mit 4 Turbogeneratoren je 33 400 kVA, 6000 V, 80 Hz, 2340 U/min und 4 Propellermotoren je 40 000 WPS, 243 U/min. In Deutschland entstand im selben Jahr 1935 eine Drehstromanlage für den Schnelldampfer POTSDAM mit 2 Turbogeneratoren je 10 000 kVA, 6000 V, $53\frac{2}{3}$ Hz, 3200 U/min und 2 Propellermotoren je 13 000 PS, 160 U/min. Ähnliche Anlagen waren auf



*Flossenbau
am Schiffsrumpf.
(Aus Schiffselektrotechnik
heute)*

der deutschen SCHARNHORST sowie auf den russischen Eisbrechern STALIN und MOLOTOW eingebaut. In den folgenden Jahren kam auch der Dieselmotor als Antriebsmaschine für Drehstromgeneratoren zum Zuge.

In den Jahren 1940–1945 wurden in den USA über 500 T-2-Tanker mit turboelektrischem Propellerantrieb gebaut. Ein Turbogenerator 5400 kVA, 2300 V, bei 62 Hz speist einen Propellermotor (1 Schraube) von 6000 WPS bei 90 U/min sowie über Transformatoren das gesamte Bordnetz mit 440 und 120 V Wechselstrom. Im gleichen Zeitraum kommt aber auch der Dieselmotor als Antriebsmaschine für Drehstromgeneratoren zum Zuge. Zur Erzeugung größerer Leistungen muß hier die Gesamtleistung auf mehrere Dieselaggregate verteilt werden, was zu umfangreicheren Schaltanlagen geführt hat. Außerdem wird das Bordnetz meistens über Transformatoren von der Hauptfahranlage gespeist. Bemerkenswerte Anlagen sind 1937 ES WUPPERTAL mit drei Dieselgeneratoren je 1900 kVA, 2000 V, 50 Hz und einem Propellermotor 6800 WPS, und zusätzlich einem Nebelmotor von 900 WPS bei 62,5 U/min, 1938 das ES PATRIA mit zweimal 3 Dieselgeneratoren je 2150 kVA, 3300 V, 50 Hz und 2 Propellermotoren je 7500 WPS, 125 U/min, 1939 das ES ROBERT LEY mit zweimal 3 Dieselgeneratoren je 1550 kVA, 2300 V, 48,4 Hz und 2 Propellermotoren je 4400 WPS, 121 U/min.

Weitere Schiffe mit dieselektrischem Antrieb waren das Auswanderschiff SKAUGUM und die Schiffe OSORNO, HUASCARAN, STEIERMARK, bei denen ebenfalls das gesamte Bordnetz über Transformatoren betrieben wurde. Im gleichen Zeitraum entstanden aber auch eine Reihe von dieselektrischen Schiffsantrieben mit Gleichstromübertragung. Dies sind aber hauptsächlich Spezialschiffe wie Eisbrecher, Fähren und Saugbagger, bei denen wegen der besseren Manövrierbarkeit Gleichstrommaschinen den Vorzug erhielten. Im Jahre 1957 entstand u.a. für die argentinische Marine das Polarforschungsschiff GENERAL SAN MARTIN, die Bundesbahn-Hochseefähre THEODOR HEUSS sowie drei Saugbagger für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung der Bundesrepublik (RUDOLF SCHMIDT, LUDWIG FRANZIUS und JOHANNES GÄHRS). Diese Schiffe besitzen 6 Diesel-Gleichstromgeneratoren je 810 kW und 4 Gleichstrompropellermotoren je 1100 kW (je 2 Motoren auf eine Welle) und 2 Baggerpumpenmotoren je 675 kW. Hierher gehören auch die Forschungsschiffe METEOR und PLANET.

Elektrische Querstrahlenanlagen

Diese Anlagen dienen der Verbesserung der Manövrierfähigkeit von größeren Schiffen. Eine der ersten Anlagen dieser Art wurde 1953 auf dem DES FALKENSTEIN als Aktivrudder oder

Pliegerruder eingebaut. Es besteht aus einem Asynchronmotor 400 WPS, 440 V, bei 43 Hz und 600 U/min, eingebaut in das Ruderblatt, das zu diesem Zweck um 90° nach jeder Seite drehbar gemacht werden mußte. Der Drehstromasynchronmotor ist ein Unterwassermotor, wie er auch bei Unterwasserpumpen Verwendung findet, d.h. der Läufer dreht sich im Wasser. Eine weitere Entwicklung stellen die sogenannten Bugstrahlruder, ursprünglich Jasamruder, dar. Der oder die Propeller sind in einem im Vorschiff (bei großen Schiffen auch im Heck) unterhalb der Wasserlinie querliegenden Kanal eingebaut und werden von einem darüber, trocken liegenden Elektromotor über Kegelradgetriebe angetrieben. Diese, heute als Querstrahlanlagen bezeichnete Anlagen können Propellerdurchmesser von 2 m erreichen bei einer Antriebsleistung von ca. 3000 PS. Auf sehr langen Schiffen (große Fahrgastschiffe, Tanker oder Containerschiffe) werden die Propeller von Mittelspannungsmotoren (3000 bis 6000 Volt) mit direkter Speisung von den Generatoren angetrieben. Anlagen dieser Art sind u.a. eingebaut auf den schon erwähnten Saugbaggern RUDOLF SCHMIDT (Gleichstrom) oder dem Kreuzfahrtschiff NORWAY (Drehstrom 3000 Volt). Auch alle größeren Fährschiffe benutzen solche, leicht steuerbaren elektrischen Querstrahlanlagen.

Notstromanlagen

Nach dem internationalen Schiffsicherheitsvertrag von 1960 (Gesetz seit 1965) müssen Schiffe über 5000 BRT eine Notstromanlage (entweder Batterie oder Dieselaggregat) besitzen, die sechs Stunden betriebsfähig sein muß. Auf Fahrgastschiffen muß die Notstromquelle alle für die Sicherheit von Fahrgästen und Besatzung notwendigen elektrischen Anlagen und Verbraucher für die Zeit von 36 Stunden zu speisen imstande sein. Ist die Notstromquelle ein Maschinensatz, so ist eine Akkumulatorenbatterie als zwischenzeitliche Notstromquelle vorzusehen, die neben einigen lebensnotwendigen Einrichtungen die Notbeleuchtung durchgehend eine halbe Stunde speisen kann. Aus diesem Gesetz ergeben sich umfangreiche Einrichtungen für die Sicherheit von Besatzung und Fahrgästen. Neben der Wartung, vor allem von Akkubatterien, muß die Anlage ständig auf ihre Funktionsfähigkeit hin überprüft werden, wie z.B. das selbsttätige Umschalten auf die Batterie oder das selbständige Anlassen des Notstromdieselaggregates. 60–70 % aller Schiffe besitzen eine 24 Volt Batterie als Notstromanlage, an die vor allem Notbeleuchtung, Lautsprecher und Generalalarm etc. angeschlossen sind. Dabei ist der Ladung der Batterie eine besondere Sorgfalt zuzuwenden.

IV Entwicklung der Elektrotechnik an Bord nach 1970

Hier kann nur kurz skizziert werden, wohin die Entwicklung der Elektrotechnik im Seebetrieb in den letzten 10 Jahren gegangen ist.

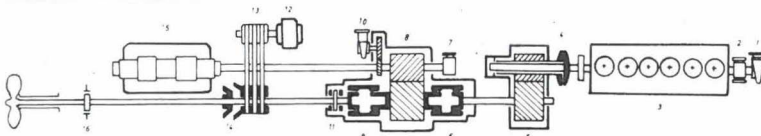
1. Durch die Zunahme der eingebauten Leistungen aller Hilfsmaschinen werden die Stromstärken nur noch beherrschbar durch die Erhöhung der elektrischen Spannung an Bord (Mittelspannungen 3000 bis 6000 Volt).
2. Zunahme der Wellengeneratoren an Bord. Während der Wellengenerator vor allem bei Gleichstromanlagen schwierige Regelprobleme in der Spannungshaltung brachte, können solche Probleme mit der modernen Leistungselektronik (Halbleiter, Gleichrichter und Thyristoren) gelöst und beherrscht werden. Dadurch wird der von der Hauptwelle angetriebene Drehstromwellengenerator zum Bestandteil jeder großen, modernen E-Anlage.
3. Die Automatisierung, durch Einsatz elektronischer Meß- und Regelgeräte und elektronischer Rechner hat dazu geführt, daß die Maschinenanlage von der Brücke aus überwacht und gesteuert werden kann.
4. Vereinfachungen und Verbesserungen der elektrischen Geräte, wie z. B. der bürstenlose Drehstromgenerator (erst möglich durch die Entwicklung leistungsstarker Siliziumzellen wie Gleichrichter und Thyristoren) und der Transformatoren für den Bordbetrieb.

5. Verbesserungen der Notstromeinrichtungen mit Hilfe der Elektronik zur Erhöhung der Sicherheit von Besatzung und Fahrgästen im Notfall.

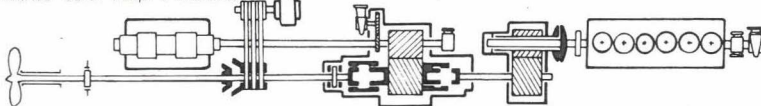
Elektrotechnik auf Unterseebooten (Tauchbooten).

Nach verschiedenen gescheiterten Versuchen, Unterseeboote mit Dampfmaschinen anzutreiben, baute 1886 der Franzose Goubet das erste U-Boot mit Elektroantrieb, gespeist von einer Akkumulatorenbatterie. Zwei Jahre später entstand in Cadix ein U-Boot des Spaniers Isaac Peral. Es wurde angetrieben von 2 Propellermotoren je 30 PS und einer Batterie mit 480 Akkuzellen. Auch die Hilfsmaschinen wurden hier elektrisch betrieben. Als Unterwasserfahrzeug ist es als Prototyp aller Einhüllen-U-Boote anzusehen. Seit 1887 wurden dann die Franzosen im U-Bootbau lange Zeit führend, u.a. 1887 das U-Boot »Gymnote« und 1892 das 266 ts U-Boot »Sirène« von Zédé. Dieses Boot besaß 2 Teilbatterien je 360 Zellen, die bei 300 V und 1800 A 2 E-Motoren von je 360 PS speisen konnten. Ähnliche U-Boote entstanden von 1895–1904 in Italien (1895 »Delfine«), in den USA (1897 »Holland«), in England (1901 ebenfalls »Holland«), in Schweden (1904 »Hajen«), in Holland (1906 »Luctor et Emergo«). In Deutschland entstanden auf der Germaniawerft in Kiel 1903 in russischem Auftrag das U-Boot »Forelle« und ein Jahr später das deutsche Boot »U 1«. Das 1906 in Dienst gestellte Boot (ähnlich dem franz. Boot Sirène) war ein »Zweihüllentauchboot« von 235 ts, angetrieben von Petroleummotoren und unterwasser von E-Motoren 400 PS und Batterieladung. Dieses Boot wurde zum Prototyp für alle Hochsee U-Boote des Ersten und Zweiten Weltkrieges. An dem prinzipiellen Aufbau der elektrischen Antriebsanlage hat sich bis zum Bau von Atom-U-Booten in den 50er Jahren nichts geändert. Das im Zweiten Weltkrieg in Deutschland entwickelte »Walter U-Boot« (Antrieb unterwasser mit einer Turbine, gespeist mit Perhydrol), kam nicht mehr zum Einsatz. Lediglich die Leistungen der Dieselmotoren zum Überwasserantrieb sowie der E-Motoren und der Batterien wurden ständig vergrößert und der Bootsgröße und den Einsatzbedingungen angepaßt. Als Beispiel einer Entwicklung soll hier das gegen Ende des Zweiten Weltkrieges gebaute U-Boot vom Typ XXI, das sog. große Elektro-Boot dienen. Die Batterie des Bootes bestand aus 372 Zellen Typ 44 MAL 740 W je Zelle 620 kg schwer und einer Spannung von 360 V (3 Teilbatterien je 62 Zellen und 120 V). Mit dieser Batterie war eine Leistung von 2240 PS (1650 kW) je Motor und Welle möglich geworden und sei hier kurz skizziert. Ein Dieselmotor trieb bei Überwasserfahrt über Getriebe und Kupplung und den als Generator arbeitenden Fahrmotor zum Laden der Batterie an. Bei Unterwasserfahrt wurde der Dieselmotor abgekuppelt und der elektrische Doppelmotor trieb nun die Welle an. Bei

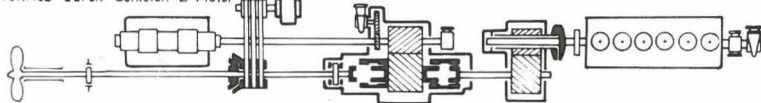
Antrieb durch Dieselmotor



Antrieb durch Haupt-E-Maschine



Antrieb durch Schleich-E-Motor



Schema der Antriebsschaltungen auf U-Booten vom Typ XXI. (Aus E. Rössler: U-Boottyp XXI. München 1967)

einzelnen Bootstypen konnte auch ein »Schleichmotor« über Riemenantrieb auf die Wellen geschaltet werden. Gegen Ende des Zweiten Weltkrieges wurden die Boote mit einem sog. »Schnorchel« ausgerüstet (Luftzufuhr für den Dieselmotor durch einen umklappbaren Luftmast), so daß auch bei kleiner Unterwassergeschwindigkeit in Seerohrtiefe die Batterien mit den Dieselmotoren aufgeladen werden konnten. Boote mit ähnlichen Anlagen werden heute noch gebaut. Die Lebensdauer der Batterien betrug ca. 18–21 Monate.

Mensch und Technik

An der geschichtlichen Entwicklung der Elektrotechnik an Bord von Seeschiffen läßt sich auch die Entwicklung der Aufgaben und der Anforderungen an den »Elektriker« an Bord verfolgen. Wenn Bohnenstengel in seinem Büchlein »Die Elektrizität auf Dampfschiffen« aus dem Jahre 1892 für den »Maschinisten« aber auch »Kapitain und Offizieren« eine Anleitung für den Umgang mit der Elektrizität an Bord an die Hand gegeben hat, so fällt auf, daß in jenen Jahren als Verbraucher elektrischer Energie eigentlich nur Glühlampen, Scheinwerfer und kleine elektrische Ventilatoren in Gebrauch sind. Auf Kriegsschiffen sind aber in jener Zeit schon Elektromotoren zum Drehen und Richten schwerer Geschütze und zum Heben der Geschosse im Einsatz. Mit der in diesem Aufsatz geschilderten Entwicklung der Elektrotechnik wuchsen aber auch die Aufgabengebiete und die Verantwortung für die elektrischen Anlagen ganz beachtlich. Trotzdem blieb der »Elektriker« an Bord immer ein Stiefkind der gesellschaftlichen Hierarchie an Bord. Der Elektriker hatte kein Patent, war deshalb auch nicht Schiffsoffizier und ihm war daher der Zutritt zur Offiziersmesse versagt. Erst die Automatisierung im Schiffsbetrieb mit Hilfe der Elektronik hat hier einen Wandel herbeigeführt. Das heutige moderne Schiff ist ohne Elektronik tot, ein sog. »Blackout« legt den gesamten Schiffsbetrieb einschließlich Antriebsanlagen lahm. Aus diesem Grunde muß der heutige Schiffbetriebsingenieur (Dipl.-Ing.) sehr viel mehr von Elektrotechnik verstehen als das in früheren Jahren üblich war. Das Wort von der »schwarzen Kunst«, einst ein Schlagwort an Bord, dürfte heute durch ein fundiertes Wissen aller Offiziere auf dem Gebiet der Elektrotechnik seine Wirkung verloren haben. Das moderne Schiff ist ein elektrotechnisches Wunderwerk und verlangt von seiner Führungsmannschaft mehr elektrotechnische als in früheren Jahren Kenntnisse von der Antriebsanlage.

Literaturhinweise

- J. Bahl: Schiffselektrotechnik. I. Elektrische Hauptantriebe. In: Siemens-Schuckert-Werke = Sonderdruck aus: Schiffbau, Schifffahrt und Hafengebäude Heft 17, 1.9. 1941 und Heft 9, 1.5.1942, S. 1–7.
- E. Bohnenstengel: Die Elektrizität auf Dampfschiffen. 2. Aufl. Leipzig 1892.
- 75 Jahre Schifffahrtselektrotechnik im Hause Siemens, 1879–1954, o.O. 1954.
- Germanischer Lloyd. Vorschriften für Klassifikation und Bau der elektrischen Anlagen auf Seeschiffen. Hamburg 1966.
- D. Hesse: Geschichte der Schiffsbetriebstechnik. Flensburg 1973.
- H.-J. Kosack und A. Wangerin (Hrsg): Elektrotechnik auf Handelsschiffen. Berlin 1956.
- H.-J. Kosack: Schiffselektrotechnik. In: Siemens Zeitschrift 39, Heft 6, Juni 1956, S. 705–710.
- Schiffselektrotechnik heute. Seit 100 Jahren Siemens an Bord, 1879–1979. München/Berlin 1979.
- F. Schulz-Baldes: Das elektrische Bordnetz. In: Shell Taschenbuch für die Schifffahrt. Hamburg 1970, S. 281–292.
- E. Witte und F. Schulz-Baldes: Blei- und Stahllakkumulatoren für Fahrzeugantrieb und Schiffsbetriebe. Wiesbaden 1957.