

# Ueber den elektrischen Antrieb des Schiffssteuers

---

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur **Adolf Stauch** aus Nürnberg

---

Genehmigt von der Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin

---

Referent: Professor Dr. **Wedding**

Korreferent: Professor **Krainer**

---

1908

Verlag der Zeitschrift „Schiffbau“ in Berlin SW. 68

G. 62  
59

954  
~~120~~

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305729





# Ueber den elektrischen Antrieb des Schiffssteuers

---

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur **Adolf Stauch** aus Nürnberg

---

Genehmigt von der Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin

---

Referent: Professor Dr. **Wedding**

Korreferent: Professor **Krainer**

*F. Nr. 28157*



1908

Verlag der Zeitschrift „Schiffbau“ in Berlin SW. 68

*7.54*  
*120.*      *62. 59*

BIBLIOTEKA POLSKA  
KRAKÓW

III 33144

Akc. Nr. 2786/49

## Ueber den elektrischen Antrieb des Schiffsteuers

Von Dipl.-Ingenieur A. Stauch

Die Wichtigkeit der Steuervorrichtung des Seeschiffes verlangt besondere Sorgfalt bei Entwurf und Ausführung. Hängt doch unter Umständen das Wohl und Wehe des ganzen Fahrzeuges und seiner Besatzung von dem richtigen Funktionieren des Steuers ab! Wenn irgendwo, so muß deshalb hier der Gesichtspunkt der Betriebssicherheit allen anderen Gesichtspunkten vorangestellt werden. In Erkenntnis dieses Umstandes sieht man immer mindestens zwei von einander unabhängige Steuereinrichtungen vor, von denen die eine als Reserveeinrichtung dient und rasch an Stelle der anderen in Betrieb gesetzt werden kann.

Besonders hohe Anforderungen müssen an die Steuereinrichtung des modernen Kriegsschiffes gestellt werden, denn diese rasch laufenden Fahrzeuge fahren in größeren Verbänden und müssen dabei sicher und genau manövrieren.

Gehört somit einerseits die Steuereinrichtung zu den wichtigsten Hilfsmaschinen an Bord, so zählen wir sie andererseits auch zu den größten nach Ausdehnung, Gewicht und Energiebedarf. Denn aus dem Handsteuer des Segelschiffes und des Ruderbootes hat sich die motorisch angetriebene Steuereinrichtung des modernen Riesenschiffes entwickelt, deren Gewicht bis zu 50 t und mehr betragen kann und bei der Ruderschaftdurchmesser von mehr als 500 mm Anwendung finden.

Eine wichtige Frage, die sich uns beim Entwurf der Steuereinrichtung aufdrängt, ist die Frage der zum Steuern anzuwendenden Energieform, bzw. der für die Kraftübertragung zu verwendenden Energieträgers. Es liegt nahe, die an Bord vorhandene Dampfanlage für den Steuerbetrieb direkt heranzuziehen, also Dampfmaschinen zum Drehen des Steuers zu verwenden. Diese Lösung ist auch in der Tat die Regel, und die hierfür entwickelten Konstruktionen sind den an sie gestellten Anforderungen erfahrungsgemäß gewachsen.

Freilich empfindet man die langen Dampfleitungen zwischen Kesseln und Kondensator einerseits und Rudermaschine andererseits und die mechanische Uebertragung von der Kommandobrücke nach dem Wechselschieber der Rudermaschine für die

direkte Lenkung der letzteren als Nachteile, die an die Verwendung der Dampfmaschine als Motor der Steuereinrichtung geknüpft sind.

Die Frischdampfleitung ist schwer und bringt, da sie ständig unter Dampf steht, Dampfverluste durch Kondensation. Besonders unangenehm ist die Wärmeabgabe nach außen. Sind Munitionsräume mit der Frischdampfleitung zu passieren, so sind besondere Konstruktionen anzuwenden, welche eine Heizung dieser Räume, die ja auf verhältnismäßig niedrigen Temperaturen gehalten werden müssen, hintanhaltend. Auch muß für die Entwässerung dieser Leitung Sorge getragen werden. Die Leitung zum Kondensator muß wegen der Rückgewinnung des Speisewassers vorgesehen werden und stellt ebenfalls eine unerwünschte Vermehrung des Gewichtes der Steuereinrichtung dar.

Das Gesamtgewicht der Rohrleitungen und Zubehör beträgt z. B. auf kleinen Kreuzern ca. 1600 kg; auf Linienschiffen ca. 2000 kg, d. i. im ersten Falle ca. 27 %, im zweiten Falle ca. 15 % des Gesamtgewichtes der Rudermaschinenanlage ohne Geschirr.

Daß die Axiometerleitung, d. h. die mechanische Anlaßleitung von der Kommandobrücke zum Wechselschieber der Dampf- oder Rudermaschine zweckmäßig durch eine elektrische Fernsteuerung ersetzt werden sollte, ist einleuchtend. Ich habe diese Frage im „Schiffbau“ 1908 in einem Aufsatz „Ueber den elektromotorischen Antrieb des Wechselschiebers der Dampf- oder Rudermaschine“ behandelt und beschränke mich hier darauf, auf die dortigen Ausführungen zu verweisen.

Aber auch dann, wenn das Problem der direkten Lenkung des Steuers von der Kommandobrücke aus ganz einwandfrei gelöst ist, sind wir mit der Dampf- oder Rudermaschine noch nicht zufriedengestellt, da, wie bereits eingangs erwähnt, die langen Rohrleitungen unangenehm empfunden werden und außerdem der Betrieb dieser Maschinen höchst unökonomisch ist.

Diese Gründe waren es, welche dazu führten, daß gelegentlich auch andere Motoren als Dampfmaschinen zur Bewegung des Steuers verwendet

wurden. So hat man hydraulische und pneumatische Einrichtungen gebaut, bei denen die benötigte Pumpe oder der Kompressor passend aufgestellt wurden und mit Hilfe des betreffenden Druckmediums dem Steuer die zu seiner Bewegung erforderliche Energie zuführten. Für die hydraulische Kraftübertragung spricht sich übrigens Middendorf wie folgt aus:

„Die Frage nach der besten Steuervorrichtung ist vom theoretischen Standpunkte aus dahin zu beantworten, daß dies die hydraulische ist, da diese sich für die langsamen Bewegungen und großen Kraftäußerungen, wie sie beim Steuern vorkommen, ganz besonders gut eignet. Man hat es aber bislang noch nicht verstanden, diese Steuerung so zu konstruieren, daß sie sich den Bordverhältnissen ebenso gut anpaßt wie die Dampfsteuervorrichtung, und deshalb wird letztere immer noch bevorzugt.“

Natürlich kann gegen die hydraulischen und pneumatischen Betriebe, ganz abgesehen von den Schwierigkeiten der Dichtung bei den erforderlichen großen Pressungen, eingewendet werden, daß sie ein neues Element in den ohnehin schon recht komplizierten Schiffsbetrieb hineinbringen, denn Pumpe und Kompressor sind Maschinen, die an sich Betriebsstörungen unterworfen sein können, mit denen man sonst nicht zu rechnen hätte. Werden diese Hilfsmittel unklar, so wird damit die Rudereinrichtung gestört, und bei ihrer Wichtigkeit müßte sofort an die Aufstellung von Reserveeinrichtungen gedacht werden. Diese Bedenken müssen fallen, sobald uns für die Bewegung des Steuers an Bord eine Energieform zur Verfügung steht, welche einerseits die Vorzüge der hydraulischen Einrichtungen bietet, andererseits ohnehin bereits im Schiffsbetriebe Verwendung findet und mit ausreichenden Reserven vorhanden ist.

Eine solche Energieform ist aber in der Tat an Bord jedes modernen größeren Kriegs- und Handelsschiffes in Gestalt der elektrischen Energie vorhanden. Unsere modernen großen Seeschiffe haben ausgedehnte elektrische Zentralen für die Zwecke der Beleuchtung und Kraftübertragung mit einer Gesamtleistung von mehr als 1000 KW., und der Gedanke, das Steuer elektrisch zu betreiben, findet somit eine geeignete Energiequelle bereits vor.

Die elektrische Anlage eines Schiffes muß unbedingt betriebssicher sein, denn von ihrem Funktionieren hängt so viel ab, daß ein Versagen bedenkliche Konsequenzen haben müßte. Die gesamte Beleuchtung und Befehlsübermittlung werden elektrisch betrieben.

Wichtige Hilfsmaschinen, wie Ventilatoren, Pumpen, Bootsheizmaschinen, Munitionsaufzüge, Geschützschwenkwerke, werden elektrisch betätigt. Die elektrischen Einrichtungen gestatten Reserven in einfacher und betriebssicherer Weise zum Betriebe heranzuziehen, und überall da, wo auf das sichere Funktionieren der elektrischen Einrichtungen noch nicht genügend Rücksicht genommen ist, sind eben die Hilfsmittel, die die moderne Elektrotechnik bietet, nicht ausreichend benützt.

Wenn man bedenkt, daß im Laufe der Jahre die elektrische Kraftübertragung an Bord sich eine Hilfsmaschine nach der anderen erobert hat, wenn man bedenkt, daß recht schwierige Aufgaben, wie z. B. das Schwenken der Panzertürme oder der Betrieb der Bootskräne und Munitionsaufzüge mit hohen Fördergeschwindigkeiten so befriedigend gelöst wurden, daß heute nur noch der elektrische Antrieb dafür in Frage kommt, so wäre es doch auffallend, wenn die Rudermaschine der Entwicklung der elektrischen Kraftübertragung an Bord Halt gebieten würde.

Auch die ständig wachsende Verwendung der Dampfturbine an Bord, die, wie wir sehen, die Kolbenmaschine immer mehr verdrängt, weist auf die elektrische Transmission hin.

Angesichts dieser günstigen Sachlage darf man sich wohl wundern, daß die bisherigen Bestrebungen, elektrische Steuerantriebe einzuführen, zu geringen Erfolgen, mitunter sogar zu einem direkten Mißerfolge geführt haben. Die hierfür vorhandenen Gründe müssen wir in der Eigenart der elektrischen Kraftübertragung suchen. Man darf natürlich nicht bei Einführung des elektrischen Antriebes die „bewährte Dampfsteuereinrichtung“ dadurch abändern, daß man einfach an Stelle der Dampfmaschine einen gebräuchlichen Elektromotor setzt. Denn die Verwendung eines grundsätzlich anderen Antriebsorganes bringt neue Gesichtspunkte, die man nicht ungestraft vernachlässigen kann.

Aufgabe des Nachstehenden soll es sein, die beim Bau einer elektrischen Steuereinrichtung zu beachtenden Gesichtspunkte festzustellen und die vorliegenden Lösungen des Problems nach diesen Gesichtspunkten zu diskutieren.

Es ist dabei zu beachten, daß diese Betrachtungen außer aus den bereits erwähnten Gründen insbesondere schon da einem praktischen Bedürfnisse nachkommen, wo die Eigenart des Schiffsbetriebes direkt auf den elektrischen Antrieb des Steuers hinweist. Dies ist der Fall auf Schiffen, deren Schrauben durch Explosionsmotoren, sei es direkt oder unter Vermittlung einer elektrischen Transmission, angetrieben werden. Zu dieser Kategorie von Schiffen gehören nicht nur die Unterseeboote, sondern auch andere Fahrzeuge, freilich vorläufig noch bescheidenen Umfanges.

Man ist schon lange bestrebt, Verbrennungsmotoren für die Bewegung der Schrauben zu verwenden. Dieses Problem weist bei größeren Anlagen auf die elektrische Transmission hin, da der heutige Verbrennungsmotor weder leicht umsteuerbar ist, noch die Anforderungen, welche an seine Regulierbarkeit gestellt werden, erfüllt. Für die Bedingungen, die an den Ruderantrieb gestellt werden müssen, ist der Verbrennungsmotor ganz und gar nicht geeignet. Hier wäre man also direkt auf den elektrischen Antrieb der Steuereinrichtung angewiesen.

Bei den nachstehenden Betrachtungen wird angenommen, daß für die Kraftübertragung Gleichstrom Verwendung findet. Natürlich könnte auch

darán gedacht werden, einphasigen Wechselstrom oder Drehstrom anzuwenden. Die Kompaßbeeinflussung der Gleichstromanlage spricht sogar direkt für diese Stromarten. Auch der einfachere Aufbau des asynchronen Drehstrommotors lenkt unsere Aufmerksamkeit auf dieses System. Wenn ich mich trotzdem darauf beschränke, die Gleichstromkraftübertragung für die Rudermaschine zu besprechen, so geschah dies einmal mit Rücksicht darauf, daß zurzeit die elektrische Anlage an Bord von Kriegs- und Handelsschiffen fast ausschließlich mit Gleichstrom betrieben wird, dann aber auch deshalb, weil ein sehr wichtiger Gesichtspunkt, nämlich die Rücksicht auf den Anlaßvorgang, gegen Wechsel- und Drehstrom spricht, denn die Vermeidung von Starkstromkontakten, die, wie wir feststellen werden, bei Gleichstrom möglich ist, läßt sich bei diesen Stromarten nicht erreichen. Beim einphasigen Wechselstromkollektormotor wäre dies wohl prinzipiell möglich, wenn nämlich mit Rücksicht auf die Umsteuerung Sonderregung vorgesehen werden würde. Da wir aber brauchbare Kollektormotoren mit Sonderregung noch nicht besitzen, so ist diese Möglichkeit heute noch ein ungelöstes Problem.

Selbst wenn es aber gelingt, brauchbare Kollektormotoren mit Sonderregung zu bauen, so hat dieses System nicht viele Vorzüge vor der Gleichstromanlage, denn die Bauart des Kollektormotors ist keinesfalls einfacher als die des Gleichstrommotors, und auch die Kompaß-Beeinflussung ist in beiden Fällen nahezu dieselbe, denn sie wird ja hauptsächlich durch die über die Kommandobrücke geführte Leitung verursacht, und diese Leitung führt in beiden Fällen Gleichstrom, nämlich den Erregungsstrom der Anlaßmaschine.

Ohne also behaupten zu wollen, daß es bei der fortschreitenden Entwicklung der Elektrotechnik unmöglich wäre, auch für Drehstrom noch eine geeignete Anlaßmethode zu finden, konstatieren wir, daß heute noch ausschließlich mit Gleichstrom als Stromart für den Ruderantrieb gerechnet werden muß.

Bevor wir in die Besprechung von Einzelheiten eintreten, muß ganz allgemein ein Punkt besprochen werden, der gerade bei dem vorliegenden Gegenstande, wie bereits eingangs erwähnt, von ausschlaggebender Bedeutung ist, nämlich die Betriebssicherheit. In bezug auf diesen Punkt drängt sich uns die Frage auf: „Warum wird im allgemeinen eine Dampfmaschine an Bord für betriebssicherer gehalten als ein Elektromotor?“ Ich glaube die Beantwortung dieser Frage dadurch erledigen zu können, daß ich die in beiden Fällen möglichen Betriebsstörungen nach Ursache und Wirkung untersuche. Die Ursache von Betriebsstörungen kann sein fehlerhafte Beschaffenheit

1. der Konstruktion,
2. des Materials,
3. der Bedienung.

Die Wirkung einer Betriebsstörung kann so sein, daß die Fehlerstelle

1. leicht,
2. nur durch genaue Untersuchung auffindbar ist,
3. leicht,
4. nur durch einen längeren Zeitraum beanspruchende Arbeiten zu beseitigen ist.

Konstruktion und Material müssen und können bei beiden Betriebsarten fehlerfrei sein; jedenfalls liefern diese beiden Gesichtspunkte keinerlei Momente, welche für die eine im Gegensatz zur anderen Betriebsart sprechen.

Dagegen kann in bezug auf die „Bedienung“ behauptet werden, daß im allgemeinen unser Bordpersonal besser mit der Dampfmaschine umzugehen versteht, als mit den elektrischen Einrichtungen. Man findet ja heute sehr häufig an Bord Personal, das den elektrischen Einrichtungen ein anerkanntes Verständnis entgegenbringt, allein mitunter findet man auch das Gegenteil. Man kann indessen erfreulicherweise eine fortschreitende Besserung dieser Verhältnisse konstatieren, und bei der Aufmerksamkeit unserer Marine und unserer Reedereien, welche für geeignete Ausbildung des Bedienungspersonals in bezug auf die elektrischen Einrichtungen bemüht sind, ist es gar nicht zweifelhaft, daß in absehbarer Zeit das Personal die Bedienung der elektrischen Anlage ebenso sachgemäß ausführt, wie heute diejenige der Dampfmaschine. Jedenfalls ziehen wir aus dieser Ueberlegung den Schluß, daß die elektrische Einrichtung möglichst einfach und übersichtlich gehalten sein muß. In bezug auf die Wirkung einer Betriebsstörung muß zugegeben werden, daß die Fehlerstelle beim Dampftrieb leichter auffindbar ist, als beim elektrischen Betrieb, denn sehen wir von dem Bruch oder der mechanischen Deformation eines Konstruktionselementes, die in beiden Fällen gleich leicht gefunden werden können, ab, so ist klar, daß eine Undichtigkeit der Dampfanlage sich leicht wahrnehmbar äußert, während ein Isolationsfehler in der elektrischen Anlage erst mühsam durch Messung gesucht werden muß.

Da nun bei den eigenartigen Verhältnissen an Bord die Gefahr einer Isolationsstörung nahe liegt, so wird diese Ueberlegung sehr zu Ungunsten des elektrischen Betriebes sprechen. Wenn man aber bedenkt, daß es gelungen ist, betriebssichere elektrische Anlagen mit einer Spannung von 30 000 Volt und mehr und Gleichstromanlagen mit 1000 Volt und mehr zu erbauen, so neigt man zu dem Schlusse, daß es doch möglich sein muß, selbst unter den ungünstigsten Verhältnissen an Bord eine Anlage mit einer Spannung von 110 oder 220 Volt so betriebssicher zu installieren, daß ein Isolationsfehler praktisch ausgeschlossen ist. Die Leitungsanlage als solche, also das armierte Gummibleikabel mit wasserdichten Endverschlüssen ist schon heute so betriebssicher, daß sie kaum als verbesserungsbedürftig angesehen werden kann.

Generatoren und Motoren werden heute mit Feuchtigkeitsschutz versehen, so daß es möglich ist, sie 12 Stunden ins Wasser zu legen und im Anschluß daran wieder in Betrieb zu setzen, nachdem sie abgewischt und getrocknet wurden. Bei einem modernen Fabrikat kommt ein Durchschlagen der Ankerwicklung nicht vor. Die sonstigen Apparate, wie Schalter, Widerstände können bei sachgemäßer Konstruktion und Installation vollkommen betriebssicher gehalten werden, wie tausende von Ausführungen beweisen. Die ungünstigen Erfahrungen, die bisweilen gemacht wurden, sind auf grobe Fehler in Konstruktion, Material oder Bedienung zurückzuführen. Man muß nur bedenken, daß vor gar nicht langer Zeit noch Installationen zu sehen waren, bei denen die Verbindungsleitungen zwischen Motoren und Apparaten in der oberflächlichsten Weise mit ungeeigneter Isolation verlegt waren, so daß sie und die Anschlußstellen sehr bald die Ursache von Isolationsstörungen wurden. Der zur Oese gebogene Draht, der unter eine Kontaktschraube geklemmt wurde, brach mitunter unmittelbar an der Klemme, weil er bei der Montage bereits verletzt war, und so wurde oft eine Kleinigkeit die Ursache einer Betriebsstörung. Allein diese Ursachen sind ja ganz klar erkannt, und es liegen nicht die geringsten Schwierigkeiten vor, sie radikal zu beseitigen.

Unsere in fremden Gewässern kreuzenden Schiffe müssen in der Lage sein, auch Betriebsstörungen zu beheben, deren Beseitigung einen längeren Zeitraum erfordert. Unsere Kriegsschiffe haben deshalb nicht nur komplette Reserveteile an Bord, sondern auch die Konstruktionsmaterialien, wie Wicklungselemente für den Anker des Elektromotors usw.

Man kann schon heute sagen, daß auch empfindlichere Störungen beim elektrischen Betrieb mit Bordmitteln beseitigt werden können.

Werden also diese einfachen Regeln beim Bau und bei der Installation einer elektrischen Anlage beachtet, und wird insbesondere der wichtige Grundsatz, nur einfache und übersichtliche Anordnungen zu verwenden, hochgehalten, so können wir in bezug auf die Betriebssicherheit einer elektrischen Anlage behaupten, daß sie der einer Dampfmaschine nicht nachsteht.

Bei der Wichtigkeit der Frage der aufzuwendenden Gewichte ist es notwendig, daß wir untersuchen, inwieweit der elektrische Ruderantrieb prinzipiell eine Gewichtsvermehrung oder — Verminderung herbeiführt, verglichen mit der gebräuchlichen Dampfmaschinen. Wir dehnen diese Untersuchungen nur auf den eigentlichen Antrieb aus, der am Steuerrad beginnt und bei der Kupplung mit dem Rudergeschirr endigt.

Beim Dampfsteuerapparat können wir dann folgende Hauptteile unterscheiden:

1. die Dampfmaschine,
2. die Anlaßleitung, d. h. die Wellenleitung von den Handrädern zum Umsteuermechanismus,

3. die Rohrleitung mit Flanschen, Stopfbuchsen, Ventilen, Schiebern, Hähnen, Schrauben, Rohrhaltern und Rohrbekleidung,
  4. die Rudertelegraphen und Ruderlageanzeiger,
  5. Zubehör, Ersatzgegenstände und Inventarien.
- Beim elektrischen Ruderantrieb dagegen erhalten wir folgende Gruppen:

1. der Rudermotor,
2. die Anlaßmaschine mit Antriebsmotor,
3. die Anlaßvorrichtung, bestehend aus den Gehäusen und den Verbindungskabeln zwischen Kommandostelle und Rudermaschine, sowie das Kabel zwischen Anlaßmaschine und Rudermotor,
4. die Rudertelegraphen und Ruderlageanzeiger,
5. Zubehör, Ersatzgegenstände und Inventarien.

Die Positionen 4 und 5 entsprechen sich in beiden Fällen. Etwaige Differenzen sind unwesentlich. Der Vergleich braucht also auf diese Punkte keine Rücksicht zu nehmen.

Der Vergleich der Positionen 1 ergibt, daß wesentliche Gewichtsunterschiede zwischen Dampfmaschine und Elektromotor nicht bestehen. Auch diese Position scheidet also beim Vergleich aus.

Die Anlaßvorrichtung beim elektrischen Betrieb ist leichter als die Anlaßvorrichtung beim Dampfbetrieb.

Der Rohrleitung beim Dampfbetrieb steht beim elektrischen Antrieb die Anlaßmaschine gegenüber.

Die elektrische Anlaßmaschine wiegt zweifellos mehr als die Rohrleitung. Auch die Gewichtsersparnis bei der Anlaßleitung gleicht diese Differenz noch nicht aus. Wir werden deshalb von vornherein beim elektrischen Antrieb mit einer Gewichtsvermehrung rechnen müssen, und erkennen hierin einen Nachteil des elektrischen Ruderantriebes, der nicht zu vermeiden ist. Der Gewichtsunterschied ist aber nicht so erheblich, daß er nicht angesichts der fraglosen Vorteile des elektrischen Antriebes in Kauf genommen werden könnte.

Die nachstehende Zusammenstellung von Gewichten ausgeführter Dampfsteueranlagen soll einen Ueberblick über die in Frage kommenden Gewichte geben:

Pos. Nr.	Kl. Kreuzer kg	Linienschiff kg
1	2113	8290
2	1486	2057
3	1651	2081
	5250	12428.

Nehmen wir an, das Gewicht der Anlaßleitung bei der elektrischen Anlage betrage  $\frac{1}{3}$  des Gewichtes der mechanischen Anlaßleitung, so erhalten wir beim kleinen Kreuzer ein Gewicht von  $1651 + 1000 = 2651$  kg, beim Linienschiff ein Gewicht von  $2081 + 1370 = 3451$  kg, das durch den Fortfall der Rohrleitung und durch die Vereinfachung der Anlaßleitung gespart wird. Die Anlaßmaschine würde nach meiner Schätzung im

ersten Falle etwa 3000 kg, im zweiten Falle etwa 5000 kg wiegen. Wir erhalten somit beim kleinen Kreuzer ein Mehrgewicht von ca. 350 kg, d. i. ca. 6 % und beim Linienschiff ein solches von 1550 kg, d. i. ca. 12 % des Gesamtgewichtes. Man kann also etwa mit einem durchschnittlichen Mehrgewicht von ca. 10 % beim elektrischen Antrieb rechnen, bezogen auf den maschinenbaulichen Teil des Ruderantriebes, also ohne Steuergeschirr. Man sieht, daß die Gewichtsvermehrung unbedeutend ist. Außerdem kommt das Mehrgewicht insofern der gesamten elektrischen Anlage zugute, als die Anlaßmaschine ja gegebenenfalls bei still liegendem Schiff zu anderen Zwecken benützt werden kann.

Beim Entwurf einer elektrischen Rudereinrichtung müssen folgende Gesichtspunkte beachtet werden:

1. Bauart des Rudermotors,
2. der Anlaßvorgang,
3. das Drehmoment und die Winkelgeschwindigkeit,
4. die Fernsteuerung,
5. die Stellhemmung,
6. die Genauigkeit der Einstellung.

#### I. Bauart des Rudermotors

Wenn Middendorf den hydraulischen Antrieb als besonders geeignet für den Ruderbetrieb bezeichnete, so dachte er dabei offenbar daran, daß die verhältnismäßig langsamen, mit großen Kräften verknüpften Bewegungen des Ruders bei der Hydraulik ganz unmittelbar übertragen werden können. Das ist in der Tat sehr wertvoll, und zwar aus zweierlei Gründen.

Zunächst ist einleuchtend, daß in diesem Falle die Antriebsorgane besonders einfach werden, da sie keine Geschwindigkeitsänderungen zu erzeugen haben, wie dies bei raschlaufenden Antriebsmotoren nötig wird. Ist in dieser Beziehung schon die Dampfmaschine, die behufs Erreichung geringer Gewichte raschlaufend gebaut wird, dem hydraulischen Betriebe gegenüber im Nachteil, so muß dieser Umstand beim Elektromotor als besonders empfindliche Schwierigkeit erkannt werden, da es im allgemeinen zweckmäßig ist, Elektromotoren aus naheliegenden Gründen mit hohen Winkelgeschwindigkeiten zu bauen.

Es ist ganz interessant, sich bei dieser Gelegenheit klar zu machen, welche Uebersetzungsverhältnisse sich bei elektrischem Antrieb für das Rudervorgelege ergeben. Nimmt man an, daß das Steuer von 40° St.B. nach 40° B.B. in 30 Sekunden gelegt werden soll und daß zum Antrieb ein Elektromotor mit 400 Touren pro Minute zur Verfügung stehe, so ergibt sich ohne Rücksicht auf die verminderten Geschwindigkeiten in der Anlauf- und Auslaufperiode ein Uebersetzungsverhältnis

$$n = \frac{400 \cdot 360 \cdot 30}{60 \cdot 80} = 900.$$

Man erhält also in diesem Falle eine Uebersetzung von 900 ins langsame, die durch Zahn-

räder, Schneckenvorgelege oder Schraubenspindeln erreicht werden muß. Der Rudermotor macht dabei offenbar im ganzen, d. h. von Hartsteuerbord bis Hartbackbord nur 200 ganze Umdrehungen.

Bei diesen großen Uebersetzungsverhältnissen müssen hohe Reibungsverluste in Kauf genommen werden, und es ergibt sich darauf ein niedriger Wirkungsgrad der Rudertransmission. Soweit diese Verluste die für das Steuer unbedingt erforderliche Selbsthemmung sichern, erscheinen sie uns annehmbar, wenn auch nicht unvermeidbar, wie das Beispiel der Senksperrbremse im Hebezeugbetriebe zeigt. Sofern sie aber nicht durch diesen Nebenzweck entschuldigt werden können, bleiben sie eine unliebsame Erscheinung, die durch geeignete Konstruktionen bekämpft werden muß. Da die besprochenen Reibungsverluste mit dem Uebersetzungsverhältnis der Transmission wachsen, so gewinnen wir aus dieser Ueberlegung den Grundsatz, möglichst geringe Winkelgeschwindigkeit für den zu verwendenden Elektromotor zu wählen, sofern nicht andere noch zu besprechende Gesichtspunkte dagegen sprechen.

Noch bedenklicher erscheint der zweite Umstand, auf den an dieser Stelle hingewiesen werden muß, nämlich die Tatsache, daß der Arbeitsvorgang des Ruderlegens natürlich auch die Beschleunigung und Verzögerung der rotierenden Teile des Rudermotors erfordert. Um das Steuer um einen bestimmten Winkel zu drehen, müssen wir also nicht nur die hier als Nutzarbeit anzusehende Arbeit der Wasserverdrängung am Ruderblatt aufwenden, sondern auch die Beschleunigungsarbeit die in die rotierenden Teile der Dampfmaschine bzw. des Elektromotors hineingelegt wird. Da diese Beschleunigungsarbeit mit dem Quadrat der Geschwindigkeit, bezw. Winkelgeschwindigkeit wächst, so ist klar, daß abgesehen von der Masse bzw. dem Trägheitsmoment der rotierenden Teile ein Ruderantrieb um so zweckmäßiger sein wird, je geringer die vorkommenden Geschwindigkeiten bezw. Winkelgeschwindigkeiten sind.

Also auch von diesem Gesichtspunkt aus ist der hydraulische Antrieb ideal, der Dampftrieb ungünstiger, der elektrische Antrieb aber scheinbar ganz ungeeignet, sofern man an die gebräuchlichen hohen Umdrehungszahlen des Elektromotors denkt. Dazu kommt noch erschwerend, daß das Trägheitsmoment des Ankers des Elektromotors, der als Schwungrad angesehen werden kann, verhältnismäßig groß ist, jedenfalls größer als dasjenige der rotierenden Teile der schwungradlosen Dampfmaschine. Der rotierende Teil eines Elektromotors ist in der Hauptsache ein Hohlzylinder, nämlich das Blechpaket mit Wicklung und Befestigung auf der Welle. Ist J das Trägheitsmoment des Elektromotorankers in bezug auf die Drehachse und  $w$  die Winkelgeschwindigkeit, so ist die Beschleunigungsarbeit

$$A = \frac{1}{2} J w^2.$$

Ist dabei M die Gesamtmasse des rotierenden Teiles, R der äußere, r der innere Halbmesser des Blechpaketes, so ist

$$J = \frac{1}{2} M (R^2 + r^2).$$

Zur Vereinfachung der Rechnung setzen wir  $r = 0$ , d. h. wir nehmen an, daß das Blechpaket direkt auf der Welle sitzt. Solche Konstruktionen werden freilich nur bei kleinen Elektromotoren angewendet; da indessen der Einfluß der einzelnen Massenteilchen auf das Trägheitsmoment mit dem Quadrat ihres Abstandes von der Drehachse abnimmt, so dürfen wir annehmen, daß das Resultat der Rechnung durch die obige Vernachlässigung nicht wesentlich beeinflußt wird. Wir werden also setzen

$$J = \frac{1}{2} M R^2.$$

Ist weiterhin L die Breite des Blechpaketes,  $\sigma$  das spezifische Gewicht des Ankers und g die Beschleunigung der Schwere, so wird

$$M = \frac{R^2 \pi \cdot L \cdot \sigma}{g}.$$

Durch Einsetzen dieser Werte von J und M in die erste Gleichung erhält man für die Beschleunigungsarbeit

$$A = \frac{\pi \sigma}{4 g} R^4 L \cdot w^2.$$

Den größten Einfluß auf die Beschleunigungsarbeit hat also der Ankerdurchmesser des Elektromotors, und wir werden bestrebt sein müssen, ihn so klein als möglich zu halten. In zweiter Linie wächst die Beschleunigungsarbeit mit der verwendeten Winkelgeschwindigkeit. Da ihr Einfluß indessen weit geringer ist, als der des Ankerdurchmessers, so werden wir die Erreichung geringer Ankerdurchmesser selbst auf Kosten einer höheren Winkelgeschwindigkeit anzustreben haben. Den relativ geringsten Einfluß auf die Beschleunigungsarbeit hat die Länge der Armatur, und indem wir diesem Umstand besondere Beachtung schenken, empfiehlt es sich, dem Ruderelektromotor einen verhältnismäßig langen Anker zu geben. Unter Umständen kann diese Ueberlegung auch dazu führen, den Ruderelektromotor zu unterteilen, also etwa eine Doppelmaschine zu verwenden.

Die Dimensionen des Elektromotors werden im übrigen durch die geforderte Leistung bestimmt, in unserem Falle also durch die durchschnittliche Leistung bei dem 30" dauernden Legen des Ruders von der einen Hartlage in die andere. Ist N die Leistung des Elektromotors in PSuc eine Konstante, so ist bekanntlich mit Annäherung zu setzen

$$N = c \cdot R^2 \cdot L \cdot w.$$

Diese Gleichung sagt uns, daß die mit Rücksicht auf Verminderung der Beschleunigungsarbeit als zweckmäßig erkannte Reduktion des Ankerdurchmessers in bezug auf die Leistung des Elektromotors ungünstig ist, da der Ankerdurchmesser den wirksamsten Faktor der Leistung darstellt.

Bestimmend für die Dimensionierung des Elektromotors wird daher das Verhältnis der Beschleunigungsarbeit zur Leistung des Elektromotors sein. Es ist aber

$$\frac{A}{N} = \frac{\pi}{4} \frac{\sigma}{g c} \cdot R^2 \cdot w.$$

Je kleiner dieses Verhältnis ist, um so zweckmäßiger ist die Anordnung in bezug auf den Beschleunigungsvorgang. Wir werden hierdurch also in den bereits aus der Gleichung der Beschleunigungsarbeit genommenen Schlüssen bestärkt, d. h. wir werden in erster Linie einen kleinen Ankerdurchmesser anzustreben haben.

Aus diesen Beziehungen ersieht man übrigens auch, daß es gar nicht zweckmäßig ist, durch Wahl überreichlich großer Motoren scheinbar die Sicherheit der Anlage zu erhöhen. Dadurch, daß nämlich

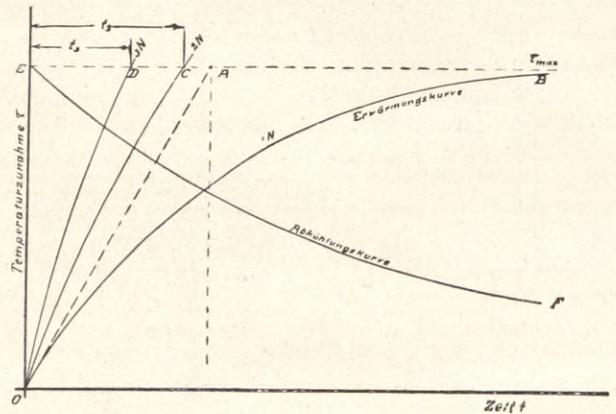


Abb. 1

bei weitaus den meisten Rudermanövern das Ruder nur um kleine Winkel verdreht wird, ist die Belastung des Rudermotors hauptsächlich durch den Vorgang der Eigenbeschleunigung und -Verzögerung bedingt, und diese Arbeitsmengen wachsen naturgemäß mit der Größe des Motors. Man muß also von der schätzenswerten Eigenschaft der Ueberlastbarkeit des Elektromotors den weitgehendsten Gebrauch machen. Abgesehen davon, daß die Belastbarkeit eines Gleichstrommotors natürlich auch durch seine mechanische Festigkeit und durch den funkenfreien Gang des Kollektors begrenzt ist, kann nämlich von einer zulässigen Leistung in bezug auf die Erwärmung des Elektromotors nur in Verbindung mit der Dauer der Belastung gesprochen werden. Belaste ich einen Motor mit einer konstant bleibenden, dauernd zulässigen Leistung N, so erhalte ich die in Abb. 1 graphisch dargestellte Beziehung zwischen Temperaturzunahme und Zeit. Würde keine Wärmeabgabe nach außen stattfinden, so würde die Temperaturzunahme nach der Geraden OA erfolgen, in Wirklichkeit verläuft sie nach der Kurve OB, die sich asymptotisch dem Grenzwert  $\tau_{max}$  nähert. Die Gerade OA ist Tangente an die Kurve OB im Punkte O.

Belaste ich nun denselben Motor mit der doppelten, dreifachen Leistung, so erhalte ich die in Abb. 1 skizzierten Erwärmungskurven OC und OD. Während die Belastung N dauernd zulässig war, wird bei der Belastung 2N das zulässige  $\tau_{\max}$  schon nach der Zeit  $t_2$ , bei der Belastung 3N nach der Zeit  $t_3$  erreicht. Solange sich die Dauer der einmaligen Ueberlastung 2N, 3N usw. innerhalb der Grenzen  $t_2$ ,  $t_3$  usw. hält, ist in bezug auf die Erwärmung des Motors nichts einzuwenden.

Nach dem Abstellen des Motors tritt Abkühlung infolge der Wärmeabgabe nach außen ein. Die Abkühlungskurve EF ist ebenfalls in Abb. 1 eingetragen.

Für irgend einen aussetzenden Betrieb folgt der Temperaturzustand des Motors in der Zeit der Belastung der Erwärmungskurve und in der Pause, beim Stillstand des Motors, der Abkühlungskurve. Man erhält als Gesamtbild des Temperaturzustandes somit für einen nach einem bestimmten Gesetz aussetzenden Betrieb eine Zickzacklinie, deren einzelne Elemente Teile der Erwärmungs- und Abkühlungskurven sind. Wir müssen dann nur darauf sehen, daß die oberen Spitzen der Zickzacklinie das zulässige  $\tau_{\max}$  nicht überschreiten.

Der Motor muß demnach mechanisch und in bezug auf Kollektor und Stromzuführung für das maximale Drehmoment in der Hartlage des Ruders bei maximaler Schiffsgeschwindigkeit gebaut sein.

In bezug auf die Erwärmung aber muß er dabei auf das fünffache und mehr der normalen Dauerlast überlastet werden. Auch darf man den Motor nicht einkapseln, sondern muß ganz offene Bauart mit bester Ventilation und Wärmeableitung wählen. Dies kann man um so leichter, als die Kapselung eines Elektromotors an Bord so gut wie keinen Schutz gegen Feuchtigkeit bietet, sondern nur als Schutz gegen Eingriffe von unbefugter Hand Berechtigung besitzt. Letzteres ist aber beim Rudermotor unnötig, da dieser im abgeschlossenen Ruderraum Aufstellung findet.

Das Gewicht G eines Elektromotors ist, wenn  $c_1$  eine Konstante bedeutet, etwa

$$G = c_1 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot R^2 \cdot L.$$

Bilden wir auch hier das Verhältnis zur Leistung, so ist

$$\frac{G}{N} = \frac{c_1 \sigma \pi}{c} \cdot \frac{1}{w}.$$

Da wir für den Ruderantrieb natürlich geringe Gewichte anstreben müssen, so führt uns diese Ueberlegung zur Wahl großer Winkelgeschwindigkeiten im Gegensatz zu dem Ergebnis unserer Ueberlegungen in bezug auf das Uebersetzungsverhältnis. Wir müssen also von Fall zu Fall zwischen diesen sich widersprechenden Forderungen die Auswahl der Tourenzahl des Motors treffen.

Nun wird aber bekanntlich das Gewicht eines Elektromotors kleiner, wenn man die Polzahl des Magnetgestelles erhöht. Es empfiehlt sich deshalb von diesem Umstand Gebrauch zu machen und für den Rudermotor eine möglichst hohe Polzahl zu wählen.

Beispielsweise sei erwähnt, daß die Siemens-Schuckert Werke für einen Spezialzweck, für den ähnliche Gesichtspunkte maßgebend waren, einen 3 PS. Gleichstrom-Motor mit 150 Touren pro Minute und 10 Polen gebaut haben. Die Erreichung dieser geringen Winkelgeschwindigkeit bei einem so kleinen Motor und bei geringem Gewichte sowie bei annehmbaren elektrischen Verhältnissen gestattet den Schluß, daß auf diesem Wege für größere Leistungen noch geringere Winkelgeschwindigkeiten unter praktisch brauchbaren elektrischen Verhältnissen erreicht werden können.

Die vorstehenden Ueberlegungen lenken unsere Aufmerksamkeit übrigens auch noch auf eine andere Lösung, die den festgestellten Anforderungen gerecht zu werden sucht. Um nämlich die beim Rudermanöver aufzuwendende Beschleunigungsarbeit der rasch rotierenden Massen des Elektromotors zu vermeiden, kann man den Rudermotor auch dauernd durchlaufen lassen. Man beschleunigt ihn also nur ein einziges Mal, nämlich beim Klarmachen der Rudermaschine zu Beginn der Fahrt.

Der Rudermotor läuft dann im allgemeinen leer und wird beim Rudermanöver durch Wendekupplungen mit dem Rudergeschirr wahlweise gekuppelt, hat dann also nur dieses und nicht auch sich selbst zu beschleunigen.

In Abb. 2 ist ein Projekt dargestellt, das die E. A. G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg, im Jahre 1894 für das Panzerfahrzeug „T“ ausarbeitete und das den gleichen Gedanken, wie er vorstehend skizziert wurde, zum Ausdruck bringt. Nur hat man hier 2 Elektromotoren gewählt, von denen der eine die Drehung des Steuers in der einen, der andere in der anderen Richtung besorgen sollte. Dadurch ergibt sich zwar eine symmetrische Anordnung des ganzen Antriebes, das allein rechtfertigt aber wohl kaum den Mehraufwand an Gewicht gegenüber der Einmotorenanordnung mit Wendekupplungen. Die Kupplungen waren, wie man aus der Zeichnung sieht, magnetisch gedacht. Das Projekt erlebte keine Ausführung.

Die angedeuteten Anordnungen tragen zweifellos den festgestellten Schwierigkeiten in bezug auf die Beschleunigungsarbeit Rechnung. Leider sprechen gegen sie aber gewichtige Bedenken. Ganz abgesehen von den durch den Leerlauf der Elektromotoren bedingten ständigen Verlusten, die nötigenfalls in Kauf genommen werden könnten, bereiten die notwendigen Kupplungen für die beiden erforderlichen Drehrichtungen des Steuers konstruktive Schwierigkeiten. Da nämlich die eine Hälfte der Kupplung im ersten Augenblick des Einrückens die Winkelgeschwindigkeit des Elektromotors besitzt, die andere Hälfte aber ruht, so kann zur Beschleunigung dieser ruhenden Teile nur die durch eine künstliche Anpressung beider Teile hervorgerufene Reibung benützt werden, denn jede starre Verbindung etwa nach Art der bekannten Klauenkupplung würde in diesem Augenblicke enormen Beanspruchungen unterworfen sein, denen

man durch noch so kräftige Dimensionierung der beanspruchten Teile überhaupt nicht betriebssicher begegnen kann. Wird dagegen die Mitnahme der ruhenden Teile durch Reibungsschluß bewerkstelligt, so können die auftretenden Beschleunigungskräfte durch geeignete Wahl des Anpressungsdruckes und Reibungskoeffizienten in beliebigen Grenzen gehalten werden. Je kleiner auf diese Weise die Beschleunigungskräfte gehalten werden, um so länger werden die Zeitdauer der Beschleunigungsperiode und der Beschleunigungsweg. Während dieser Zeitdauer findet eine Relativbewegung

wobei  $M$  die zu beschleunigenden Massen bezogen auf den Angriffspunkt der Kraft  $P$  sind. Da nun

$$A = \int_{v=0}^{v=u} M u dv = M u^2$$

so ist klar, daß die gesamte übertragene Arbeit doppelt so groß ist als die für die Beschleunigung der rotierenden Massen auf der angetriebenen Seite erforderliche Arbeit  $\frac{M u^2}{2}$ . Der gleiche Arbeitsbetrag, wie die lebendige Kraft der angetriebenen rotierenden Massen, geht beim Beschleunigungsvor-

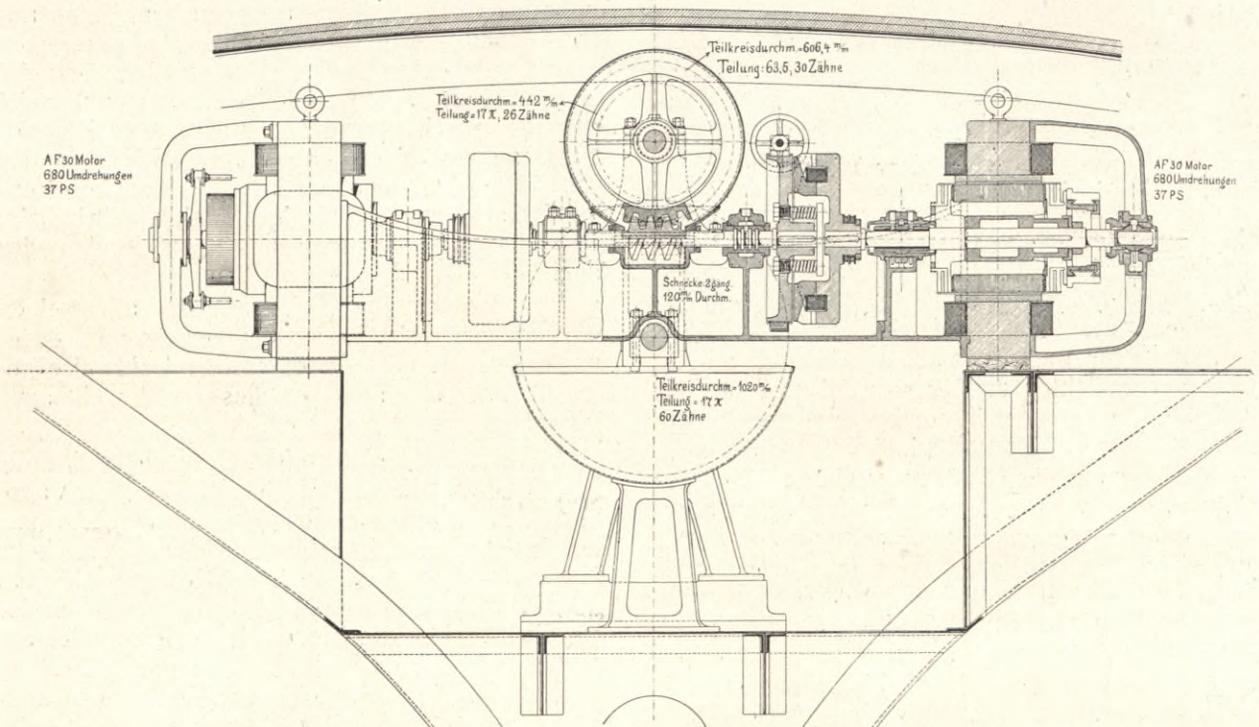


Abb. 2

zwischen dem beschleunigenden und dem beschleunigten Teil der Kupplung statt. Diese Relativbewegung ist die Ursache von Energieverlusten. Die Größenordnung der auftretenden Verluste erkennt man am besten, wenn man annimmt, daß nur Massen zu beschleunigen sind, wenn also bei der Rechnung keine Rücksicht auf die zu überwindenden Nutz- und Verlustkräfte der Getriebe genommen wird. Ist  $P$  die mitnehmende Kupplungskraft, die in einem bestimmten Abstände von der Drehachse wirken möge,  $u$  die Umfangsgeschwindigkeit des treibenden Teiles an dieser Stelle,  $v$  die Geschwindigkeit der getriebenen Scheibe, so ist nach Ernst die gesamte übertragene Arbeit, wenn nach  $t$  Sekunden der Beharrungszustand erreicht ist:

$$A = \int_0^t P \cdot u \cdot dt = \int_0^t M \frac{dv}{dt} \cdot u dt$$

gang verloren und wird in Wärme verwandelt. Wird der Vorgang öfters wiederholt, so sammelt sich in der Kupplung ein Wärmequantum an, das schließlich unzulässige Temperaturerhöhungen herbeiführen würde, sofern nicht durch die gleichzeitige Wärmeabgabe nach außen bei einer zulässigen Temperatur der Beharrungszustand erreicht wird. Um dies herbeizuführen, müßten die Dimensionen der Kupplung passend gewählt werden. Abgesehen von dieser Wärmeentwicklung aber ist mit jedem Reibungsvorgang auch eine Abnützung der gleitenden Materialien verbunden und bei einem forcierten Betriebe würde dieser Verschleiß die Kupplung bald unbrauchbar machen. Freilich ist es heute möglich, durch Verwendung von naturhartem oder gehärtetem Stahl dieser Abnützung bis zu einem gewissen Grade zu begegnen, man kann damit zweifellos die Lebensdauer der Konstruktion verlängern, der prinzipielle Nachteil der Anordnung aber bleibt bestehen, und er verstößt so sehr gegen den Grundsatz „Betriebssicherheit“, daß wir zu

einer Verurteilung dieses Systems kommen müssen.

Nun ist aber noch eine weitere Lösung der Aufgabe denkbar. Man kann nämlich den Rudermotor in 2 Motoren unterteilen, welche beim Stillstand des Ruders mit gleicher und entgegengesetzt gerichteter Winkelgeschwindigkeit umlaufen und durch ein Differentialgetriebe verbunden sind, dessen Umlaufrad in diesem Falle stillsteht. Soll manövriert werden, so läßt man den einen Elektromotor rascher laufen, während der andere seine Tourenzahl behält oder noch besser zu langsamem Gange gezwungen wird. Das Umlaufrad des Differentialgetriebes dreht sich dann entsprechend der Differenz der Winkelgeschwindigkeiten der beiden Elektromotoren und diese Differenzbewegung wird auf das Rudergeschirr übertragen. Die beim Rudermanöver aufzuwendende Beschleunigungsarbeit ist offenbar bei dieser Lösung gegenüber der Anordnung mit aus der Ruhe zu beschleunigendem Motor wesentlich verringert.

Nach dieser Methode wurde von der Union Electricitätsgesellschaft Berlin eine elektrische Steuereinrichtung ausgebildet, die sich jedoch nicht bewährt hat und die bei Besprechung der vorliegenden Ausführungen noch ausführlich behandelt werden soll.

Ich habe bei Besprechung des vorliegenden Gesichtspunktes absichtlich recht breit die Schwierigkeiten geschildert, welche beim elektrischen Antrieb des Schiffssteuers in bezug auf den Beschleunigungsvorgang vorliegen. Es ist ja auch ganz klar, daß in bezug auf diesen Gesichtspunkt der elektrische Betrieb gegenüber dem hydraulischen grundsätzlich minderwertig ist.

Wir dürfen indessen diese Verhältnisse nicht überschätzen, und es ist deshalb an dieser Stelle gewiß ein Hinweis auf eine technische Errungenschaft der letzten Jahre am Platze, bei der ähnliche Schwierigkeiten, nur noch weit größerer Art, zu überwinden waren. Ich meine den Bau elektrischer Reversierwalzenstraßen. Es ist gelungen, betriebssichere und wirtschaftliche Einrichtungen zu schaffen, bei denen tausendpferdige Gleichstrommotoren minutlich 20mal umgesteuert werden. Auch an die elektrischen Fördermaschinen im Bergwerksbetriebe, bei denen ähnliche Verhältnisse vorliegen, sei erinnert. In allen diesen Fällen wurde man den vorliegenden Schwierigkeiten gerecht. Man sah eben für die häufig einzuleitenden und abzuleitenden Arbeitsmengen der Beschleunigung und Verzögerung Energiespeicher in Form von starken Netzen, Batterien oder Schwungrädern vor, so daß es sich beim Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgang nur um ein Pendeln der Energie aus dem Energiespeicher in den Motor und umgekehrt handelt.

In ähnlicher Weise müssen auch wir verfahren, und da es sich hier um weit kleinere Arbeitsmengen handelt, so werden die Schwierigkeiten noch leichter zu überwinden sein als dort.

Fassen wir die unter I. entwickelten Ueberlegungen zusammen, so ergibt sich, daß in bezug auf die Bauart und Anordnung des Elektromotors verlangt werden muß, daß sie den Eigenbeschleunigungsarbeiten in der oben geschilderten Weise Rechnung tragen, da die Methoden, welche die Aufwendung der Beschleunigungsarbeit vermeiden oder vermindern, unbrauchbar sind. Wir verlangen also relativ kleine Ankerdurchmesser, große Polzahl, große Baulänge in Richtung der Drehachse, starke mechanische Ausführung, vorzügliche, auf starke gelegentliche Ueberlastung Rücksicht nehmende Kommutierung und offene, best ventilierte Bauart.

## II. Der Anlaßvorgang.

Bei Besprechung des Anlaßvorganges gehen wir von dem einfachen Falle aus, daß der Elektromotor beim Manövrierten von einem Netz mit konstanter Spannung aus angelassen werden soll. Soll bei diesem Vorgang die dem Netz entnommene Stromstärke einen bestimmten Maximalwert nicht übersteigen, so muß in der Beschleunigungsperiode ein mit wachsender Tourenzahl des Elektromotors abnehmender Betrag der Netzspannung abgedrosselt werden. Es wird also dabei ein Teil der dem Netz entnommenen Energie in den Anlaßwiderständen vernichtet. Der Vorgang erinnert uns an die Erscheinungen bei der Reibungskupplung. Nehmen wir an, der Anlasser habe eine unendlich große Stufenzahl und die Einschaltgeschwindigkeit sei so bemessen, daß während des ganzen Beschleunigungsvorganges praktisch die gleiche, nämlich die maximal zulässige Stromstärke auftritt, so ergibt sich auch hier eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung des Motorankers, denn das Drehmoment ist der Stromstärke direkt proportional und konstant. Die vom Motor entwickelte gegen elektromotorische Kraft wächst bei dem gedachten Beschleunigungsvorgang also linear.

In Abb. 3 ist zunächst ein auf die Zeit bezogenes Spannungsdiagramm gezeichnet, aus dem man ersieht, daß die Netzspannung  $e$  sich teilt in den Spannungsabfall  $e_1$  im Anker des Motors, die gegen elektromotorische Kraft  $e_2$  des Ankers und den Spannungsabfall  $e_3$  im Vorschaltwiderstand.

Das ebenfalls auf die Zeit bezogene Stromdiagramm zeigt, daß die Anlaufstromstärke  $i$  sich zusammensetzt aus der Stromstärke  $i_1$ , entsprechend den mechanischen und magnetischen Verlusten im Motor, der Stromstärke  $i_2$ , entsprechend dem Nutzdrehmoment und der Stromstärke  $i_3$ , entsprechend dem Beschleunigungsdrehmoment.

Im Leistungsdiagramm sehen wir, wie sich die aufgewendete Arbeit  $e \cdot i \cdot t$  verteilt in einen Betrag, der die mechanischen, magnetischen und elektrischen Verluste des Elektromotors deckt, in die eigentliche Nutzarbeit, in die Beschleunigungsarbeit und in den Verlust in den Vorschaltwiderständen.

Man sieht, daß nur ein geringer Teil der aufgewendeten Arbeit zur Leistung der eigentlichen Nutzarbeit verwendet wird. Besonders ungünstig

wird das Verhältnis von Nutzarbeit zur aufgewendeten Arbeit, wenn der Vorgang beendet wird, bevor der Motor ganz beschleunigt ist, wie es beim Legen kleiner Ruderwinkel oder bei Korrekturen der Ruderlage vorkommen kann.

Die Vorschaltwiderstände müssen so dimensioniert werden, daß sie die Verlustwärme aufnehmen können, ohne unzulässige Temperaturen anzunehmen. Dabei ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß der Beschleunigungsvorgang sich in kurzer Zeit wiederholen kann, daß also in bestimmten Intervallen immer wieder neue Verlustwärme eintritt, bevor noch die vom vorhergehenden Anlaßprozeß herrührende durch Abkühlung des Widerstandsmaterials vollständig abgegeben ist. Dies führt bei größeren Anlagen zu Konstruktionen, welche nach Gewicht und Raumbedarf recht unerwünschte Anforderungen an den Schiffbauer stellen, ganz abgesehen von den Energieverlusten als solchen.

Noch bedenklicher ist aber der Umstand, daß das allmähliche Abschalten der einzelnen Widerstandsstufen durch Kontaktapparate geschehen muß, die den ganzen Strom des Motors zu führen haben.

Da an Bord bisher nur mit sehr geringen Spannungen bis höchstens 110 Volt gearbeitet wurde, ergeben sich für die bei Rudermaschinen erforderlichen Energiemengen schon Stromstärken, für die man Schaltapparate für sehr häufige Betätigung kaum mehr betriebssicher herstellen kann. Nun ist ja freilich die deutsche Kriegsmarine neuerdings dazu übergegangen, die Bordspannung auf 220 Volt zu erhöhen und andere Marinen werden diesem Beispiele folgen, indessen damit ist uns für den vorliegenden Fall nicht viel gedient.

Uebergangswiderstand und Oeffnungslichtbogen beanspruchen das Kontaktmaterial mit hohen Temperaturen, welche die Schmelztemperatur der gebräuchlichen Metalle erreichen. An den Kanten der Schleifringe, Kontakthämmer, Bürsten etc. bilden sich dann Perlen, Erhöhungen und Brandstellen aus, welche Bewegungshindernisse darstellen, die einmal vorhanden, wenn sie nicht beseitigt werden, einen rapiden Verschleiß und eine Betriebsstörung herbeiführen. Es ist ganz ausgeschlossen, eine so sorgfältige Ueberwachung dieser Organe durch das Bedienungspersonal vorzusehen, daß auf diese Weise der drohenden Betriebsstörung vorgebeugt wird.

Freilich hat man höchst sinnreiche Einrichtungen erdacht, welche automatisch die Kontaktapparate schützen sollen. Ich erinnere z. B. an den bekannten magnetischen Funkenbläser, bei dem ein künstlich erzeugtes Magnetfeld der entstehenden Lichtbogen als Leiter mechanisch bewegt, so daß er rasch abreißt. Auch die Verwendung von Kohle, einem Material, das nicht schmilzt, also auch keine Perlen bildet, bedeutet einen Fortschritt auf diesen Gebieten und besonders einleuchtend ist eine Kombination aus gutleitenden Metallen und Kohle beim Aufbau des Kontaktapparates etwa nach Art der

bekannten stufenweisen Funkenentziehung. Aber alle diese Einrichtungen sind für unsere Zwecke grundsätzlich ungeeignet, da sie nicht genug Gewähr für absolute Betriebssicherheit bieten, zu kompliziert sind und zuviel Aufsicht erheischen.

Von einer brauchbaren elektrischen Rudermaschine müssen wir, um es kurz zu sagen, verlangen, daß Starkstromschaltapparate überhaupt

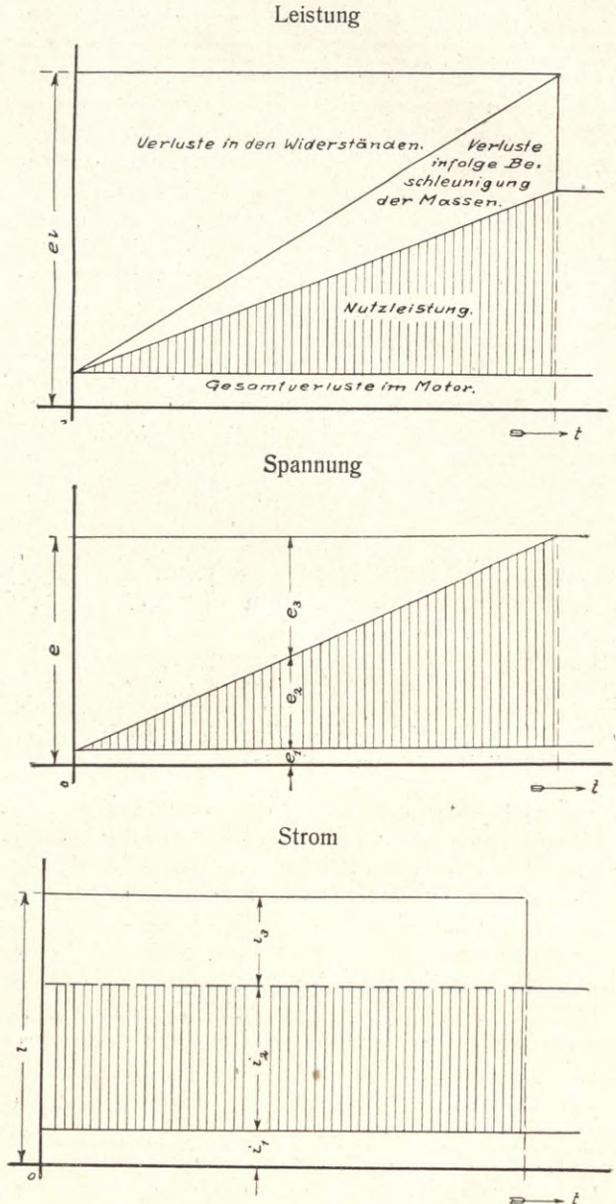


Abb. 3

vollständig vermieden werden. Die hierfür vorhandenen Lösungen kommen übrigens auch gleichzeitig der Forderung nach einem ökonomischen Anlaßvorgang ohne Vorschaltwiderstände nach. Die in Abschnitt I besprochenen Anordnungen mit ständig laufenden Motoren und Einrückkupplungen bzw. Differentialgetriebe tragen den soeben entwickelten Forderungen Rechnung. Denn in beiden Fällen werden Starkstromkontakte und Vorschaltwiderstände vermieden, da im einen Falle nur die

zum Einkuppeln verwendeten Magnete zu erregen sind, im anderen Falle das Feld der beiden Motoren verändert wird. Die zu schaltenden Stromstärken sind in beiden Fällen so gering, daß in bezug auf die Kontaktapparate gar keine Schwierigkeiten vorliegen. Wie aber bereits konstatiert, sind diese beiden Systeme aus anderen Gründen unbrauchbar, so daß sie nicht weiter in Frage kommen.

Eine brauchbare Lösung wird erreicht, wenn man für den Betrieb des Rudermotors eine besondere Dynamo vorsieht, deren Spannung von Null

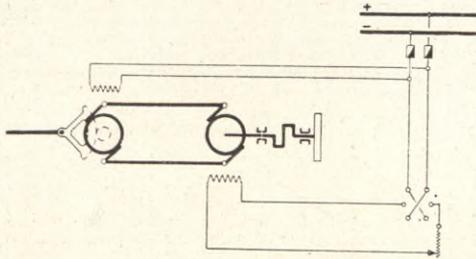


Abb. 4

bis zum festgesetzten Maximum beliebig verändert werden kann. Die Dynamo wird mit Sondererregung vom Netz aus versehen und das Regelungsorgan besteht aus einem Nebenschlußregulator, also aus einem Apparat, der nur schwache Ströme zu schalten hat. Die Methode ist unter dem Namen Leonardschaltung bekannt und wird schon vielfach, z. B. für Fördermaschinen, Turmschwenkwerke, Bootsheißmaschinen, Munitionsaufzüge mit großem Erfolge angewendet. Sie erfüllt insbesondere auch die bereits erwähnte Bedingung eines ökonomischen Anlaßvorganges, denn da Vorschaltwiderstände vollständig vermieden werden, wird abgesehen von den unvermeidlichen Transmissionsverlusten die gesamte in der Anlaßdynamo umgesetzte Energie dem Rudermotor zugeführt und dort für den Beschleunigungsvorgang bezw. die Bewegung des Steuers verwendet.

Ist der Rudermotor mit Sondererregung vom Netz oder von irgend einer anderen Stromquelle aus versehen, so kann die Umsteuerung des Motors dadurch geschehen, daß das Feld der Anlaßmaschine reversiert wird. Also auch die Umsteuerung geschieht ohne Verwendung von Starkstromkontakten und damit wird das Anlaßorgan zu einem verhältnismäßig kleinen, leichten und sehr betriebssicheren Apparat.

In Abb. 4 ist das Schaltschema der Anordnung dargestellt. Als Antriebsmotor für die Anlaßdynamo kann eine Dampfmaschine, Dampfturbine oder ein Verbrennungsmotor dienen. Die im Anker der Anlaßmaschine und einem besonderen Schwungrad aufgespeicherte lebendige Kraft ist für den Beschleunigungsvorgang des Rudermotors sehr erwünscht und zweckmäßig.

Die Bordzentrale wird aus anderen Gründen so angelegt, daß sie aus mehreren nicht zu großen Maschinensätzen besteht, die einzeln oder parallel

geschaltet Energie abgeben. Da nun unsere Anlaßmaschine natürlich auch mit konstanter Spannung betrieben werden kann, ist es möglich, sie gegebenenfalls vom Rudermotor abzuschalten und auf einen anderen Stromkreis bezw. auf Sammelschienen umzuschalten.

Indem wir also die Einheiten, in die wir die Bordzentrale zerlegen, von passender Größe wählen und sie in ihrer Bauart für Leonardschaltung geeignet machen, erhalten wir ganz von selbst eine Reserve für den Ruderbetrieb. Der angedeutete Weg ist auch mit Rücksicht auf die zweckmäßige Größe der Maschinensätze durchaus gangbar, denn die Energiemengen, die von der Rudermaschine benötigt werden, ergeben Anlaßmaschinen, deren Größe sich sehr gut mit der Größe deckt, die aus anderen Erwägungen für zweckmäßig befunden wird.

So wird z. B. an Bord meist für den verminderten Energiebedarf des Hafensbetriebes nur ein Maschinensatz in Betrieb gehalten, dessen Größe am besten so gewählt werden würde, daß die Maschine eben voll belastet ist, da sich dann der wirtschaftlichste Betrieb ergibt. Die hier in Frage kommenden Maschinengrößen decken sich vorzüglich mit den für den Steuerbetrieb erforderlichen und da die beiden Betriebe niemals zeitlich zusammenfallen, so kann dieselbe Maschine den beiden Zwecken dienen.

Die elektrische Bootsheißmaschine, das elektrische Spill evtl. auch größere Hebezeuge an Bord werden ebenfalls zweckmäßig mit Leonardschaltung betrieben. Da nun diese Betriebe nur bei stillstehendem Schiff betätigt werden, so liegt es nahe, die Anlaßmaschine der elektrischen Rudermaschine auch hierfür zu verwenden, umso mehr, als wiederum die in Betracht kommenden Energiemengen da und dort befriedigend übereinstimmen.

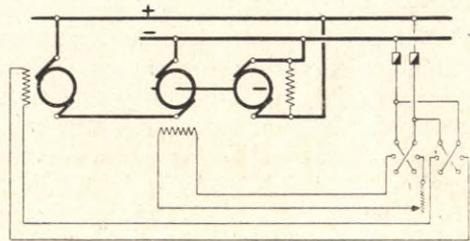


Abb. 5

Natürlich könnte als Antriebsmotor für die Anlaßdynamo auch ein Elektromotor verwendet werden, der vom Netz gespeist wird, so daß der Maschinensatz die Form eines Motorgenerators erhält.

Damit ist zwischen die Energiequelle und den Rudermotor ein besonderes Aggregat eingeschoben, das die Transmissionsverluste und die Einbaugewichte erhöht und die Betriebssicherheit vermindert. Wir können diese Methode nur als zweckmäßig ansehen, wenn man gezwungen ist, sie anzuwenden. Dies wäre z. B. der Fall, wenn als Energiequelle eine große Akkumulatorenbatterie vorhanden ist.

Der Vollständigkeit halber muß hier eine Methode erwähnt werden, welche die Nachteile des Motorgenerators, soweit Transmissionsverluste und Einbaugewichte in Frage kommen, zu vermindern sucht.

Abb. 5 zeigt das Schaltschema der sogenannten „Gegenschaltung“. Netz, Anlaßdynamo und Rudermotor sind dabei in einem Stromkreise vereint. Im Ruhezustande ist die Anlaßdynamo so erregt, daß sie eine Spannung erzeugt, die der Netzspannung entgegengesetzt gleich ist, so daß die dem Rudermotor zugeführte Spannung gleich Null ist. Soll der Rudermotor anlaufen, so wird das Feld der Anlaßmaschine geschwächt. Dadurch sinkt ihre Spannung um einen gewissen Betrag unter die Netzspannung und diese Spannungsdifferenz wird dem Rudermotor zugeführt, der unter der auftretenden Stromstärke anläuft. Die Anlaßdynamo läuft dabei als Motor, ihr Antriebsmotor als Dynamo, die ins Netz zurückspeist. Man sieht deutlich, daß der Motorgenerator gewissermaßen die Rolle eines Anlassers für den Rudermotor spielt und zwar eines sehr vollkommenen Anlassers, da ja die dem jeweils abgedrosselten Netzspannungsbetrage entsprechende Energie, abgesehen von den unvermeidlichen verhältnismäßig geringen Transmissionsverlusten, dem Netz wieder zugeführt wird. Hat man in dieser Weise das Feld der Anlaßdynamo bis auf Null geschwächt, so wird dem Rudermotor die ganze Netzspannung zugeführt und das Anlaßaggregat ist unbelastet. Schaltet man jetzt die Erregung der Anlaßmaschine um und verstärkt ihr Feld wieder, diesmal freilich im entgegengesetzten Sinne als vorher, so liefert die Maschine eine Spannung, die mit der Netzspannung gleichgerichtet ist und diese also verstärkt. Die dem Rudermotor zugeführte Spannung ist jetzt größer als die Netzspannung. Die Anlaßmaschine läuft als Dynamo, ihr Antriebsmotor als Motor, der die Zusatzenergie dem Netze entnimmt. Ist die Spannung der Anlaßdynamo wieder der Netzspannung gleich geworden, so erhält der Rudermotor die doppelte Netzspannung zugeführt und läuft mit maximaler Geschwindigkeit. Von den Verlusten im Anlaßaggregat abgesehen, setzt sich jetzt die dem Rudermotor zugeführte Energie aus zwei gleichen Teilen zusammen, von denen der eine direkt dem Netz entnommen, während der andere über den Motorgenerator zugeführt wird. Dieser braucht somit nur für die halbe Leistung des Rudermotors bemessen zu werden. Auch die Verluste im Motorgenerator sind etwa nur halb so groß, als bei Transformation der gesamten Energie. Der Rudermotor wird dabei natürlich für die doppelte Netzspannung gebaut.

Wir haben uns bereits oben gegen die Zwischenschaltung von Motorgeneratoren zwischen Energiequelle und Rudermotor ausgesprochen. Gegen die Methode der „Gegenschaltung“ im besonderen spricht noch der Umstand, daß der Nullzustand unsicher wird. Es ist praktisch unmöglich, eine absolut konstante Netzspannung zu erreichen.

Auch ist es nicht möglich, die Spannung der Anlaßmaschine im Nullzustande absolut konstant zu erhalten. Es muß also damit gerechnet werden, daß in der Nullstellung des Anlaßorganes, nämlich des verwendeten Umkehrnebenschlußregulators der Anlaßmaschine eine Differenzspannung dem Rudermotor zugeführt wird, die eine unerwünschte Bewegung des letzteren herbeiführt.

Man könnte ja allerdings sich von diesem Uebelstande freimachen, indem man im Nullzustande den Motor abschaltet und kurzschließt, so daß eine etwa noch vorhandene Differenzspannung ihn nicht mehr beeinflussen kann. Allein dann erhalten wir wieder Starkstromkontakte und die Einfachheit des Reguliervorganges geht zum Teil wieder verloren.

Die Umsteuerung des Rudermotors würde bei dieser Methode an sich am besten durch Umschalten des Ankerstromes geschehen. Dies würde aber wieder Starkstromkontakte im Steuerapparat ergeben. Deshalb ist in Abb. 5 die Umsteuerung durch Umschaltung der Erregung des Rudermotors vorgesehen. Indessen bietet das Ab- und Umschalten von Stromkreisen mit hoher Selbstinduktion große Schwierigkeiten, da die bei diesem Vorgang freiwerdende Energie des voll erregten Magnetfeldes im Oeffnungslichtbogen auftritt und durch geeignete Mittel, wie induktionsfreie Parallelwiderstände, aufgenommen werden muß, um der Zerstörung des Schaltapparates vorzubeugen und ein Anschwellen der Selbstinduktionsspannung über ein mit Rücksicht auf die Isolation zulässiges Maß zu verhüten.

Fassen wir die unter II. zusammengestellten Ueberlegungen zusammen, so können wir sagen, daß für den Betrieb einer elektrischen Rudermaschine zweckmäßig die einfache Leonardschaltung gewählt wird, wobei die Anlaßmaschine direkt von einer Dampfmaschine, Dampfturbine oder von einem Verbrennungsmotor anzutreiben ist.

### III. Drehmoment und Winkelgeschwindigkeit

Eine besondere Ueberlegung erfordert der Umstand, daß wir es beim Steuerbetrieb mit sehr stark wechselnden Drehmomenten zu tun haben. Denn ganz abgesehen von dem durch die Relativbewegung des Steuerruders gegen den Schiffskörper auftretenden Druck des Wassers auf die Ruderfläche nimmt der Steuerdruck bei gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit des Schiffes ungefähr mit dem Quadrat des Sinus des Ruderwinkels zu. Nach Euler ist nämlich

$$P = K \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot F \cdot v^2 \sin^2 \alpha$$

wobei P der Druck des Wassers im Schwerpunkt des Ruderblattes, K ein Erfahrungskoeffizient,  $\gamma$  das spezifische Gewicht des Wassers, g die Beschleunigung der Schwere, F die Fläche des Ruderblattes, v die Geschwindigkeit des Schiffes und  $\alpha$  der Winkel, den das Ruder mit der Längsachse des Schiffes bildet, seien.

Dieselbe Struktur zeigt die von Rankine herrührende Formel

$$P = 11 F \cdot v^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

wobei P in kg, F in qm und v in Knoten ( $\approx 1852$  m) pro Stunde ausgedrückt sind. Ebenso geht die von Weißbach aufgestellte Gleichung

$$P = K \cdot \frac{\gamma}{2g} v^2 \cdot \sin^2 (\alpha + \delta) \cdot F$$

worin  $\delta$  der sogenannte Derivationswinkel, d. h. der Winkel zwischen Schiffsmittellinie und Fahrtrichtung ist, für  $\delta = 0$  in die Euler'sche Formel über.

Auch die von Middendorf empfohlene Beziehung

$$P = K \cdot F (\varepsilon v)^2 \sin^2 \alpha$$

worin  $\varepsilon$  ein für Segelschiffe = 1, für Raddampfer = 1,1 und für Schraubendampfer = 1,2 zu setzender Koeffizient ist, ist im wesentlichen nichts anderes als die Euler'sche Gleichung.

Die einzelnen Formeln unterscheiden sich eigentlich nur durch die Wahl des Erfahrungskoeffizienten K. Die indikatorischen Untersuchungen des Herrn Marinebaumeister Praetorius (Schiffbau VIII, Jahrgang Nr. 7) haben nun aber gezeigt, daß die in Wirklichkeit auftretenden Ruderdrucke zum Teil recht erheblich von den nach den verschiedenen Formeln errechneten Werten abweichen. Insbesondere ergaben diese Untersuchungen eine Bestätigung der schon lange gehegten Vermutung, daß die Rudermaschine am stärksten beansprucht wird, wenn das Ruder von der einen Hartlage in die andere gebracht wird, das Schiff also eine S-förmige Kurve fahren soll. So hat Praetorius in dem von ihm behandelten Falle bei  $30^\circ$  St.B. einen Ruderdruck von 71 t ermittelt, während die Middendorfsche Formel, die übrigens die größten Werte im Vergleich zu den übrigen Formeln ergibt, bei  $30^\circ$  22,5 t und bei  $38^\circ$  35,5 t liefert. Der praktisch ermittelte maximale Ruderdruck war also doppelt so groß, als der rechnerische Höchstwert.

Diese Erscheinungen sind für unsere Betrachtungen von größter Wichtigkeit, denn da wir bisher immer stillschweigend separate Erregung des Rudermotors angenommen haben, war die Winkelgeschwindigkeit des Motors nahezu unabhängig vom Drehmoment. Bei der Dampfudermaschine ist dies nicht der Fall, sie läuft automatisch langsamer, wenn das Drehmoment wächst. Würde sie das nicht tun, vielmehr ihre Tourenzahl beibehalten, so würden die oben angegebenen Maximalwerte des Ruderdruckes noch größer werden, da die von der Bewegung des Ruderblattes relativ zum Schiffskörper herrührende zusätzliche Beanspruchung natürlich auch mit dem Quadrat der Winkelgeschwindigkeit wächst.

Außerdem müßte natürlich die Kraftmaschine bzw. Energiequelle in diesem Falle für eine Leistung gebaut werden, welche sich als Produkt aus dem maximalen Ruderdruck und der konstant bleibenden Geschwindigkeit des Angriffspunktes des Ruderdruckes am Steuerblatt ergibt. Das würde ganz unnötig große und schwere Maschinen ergeben, denn es wird ja garnicht verlangt, dass die Winkelgeschwindigkeit des Steuers über den gesamten Ausschlagwinkel konstant sei, es wird lediglich verlangt, daß der gesamte Weg innerhalb einer bestimmten Zeit z. B. 30" zurückgelegt wird. Es liegt deshalb nahe, einerseits von der bereits unter I ausführlich behandelten Ueberlastungsfähigkeit des Elektromotors in diesen Fällen weitgehenden Gebrauch zu machen und andererseits die Winkelgeschwindigkeit des Steuers abhängig vom Ruderdruck zu machen, so dass die Leistung der Kraftmaschine auf dem ganzen Wege möglichst konstant bleibt. Bei den kleinen Ruderdrucken müssen grosse Geschwindigkeiten und umgekehrt vorgesehen werden. Man könnte dies z. B. anstreben durch ein variables Uebersetzungsverhältnis zwischen Rudermotor und Ruderpinne. Diese Lösung hat das System Harfield gewählt, bei dem ein exzentrisches Stirnrad in einen unrunder Zahnbogen auf der Ruderpinne eingreift.

Die Rudermaschinen auf den kleinen Kreuzern „Niobe“ und „Gazelle“ sind z. B. nach diesem System ausgeführt. Abgesehen von den Schwierigkeiten der unrunder Räder kann uns diese Lösung deshalb nicht befriedigen, weil, wie die Untersuchungen des Herrn Praetorius gezeigt haben, unter Umständen die Höchstwerte des Ruderdruckes nicht in der Hartlage, sondern bei kleineren Winkeln auftreten.

Eine korrekte Lösung dieses Problems wird deshalb auch nur dann erreicht, wenn die Winkelgeschwindigkeit des Steuers unmittelbar vom Steuerdruck abhängig gemacht wird. Ist das Uebersetzungsverhältnis konstant, so gibt beim elektrischen Ruderantrieb mit separater Erregung die Ankerstromstärke stets ein Bild des Ruderdruckes bzw. besser gesagt des Drehmomentes der Pinne.

Der Serienmotor ist in dieser Beziehung wesentlich geeigneter für den Ruderantrieb als der Motor mit Sondererregung, weil bei ihm die Winkelgeschwindigkeit bereits infolge der magnetischen Verhältnisse automatisch mit zunehmendem Drehmoment abnimmt. Leider spricht aber gegen seine Verwendung der Umstand, dass die Umsteuerung Starkstromkontakte erfordert.

Die gesamte Arbeit, welche erforderlich ist, um das Steuer aus der Mittschiff- in der Hartlage zu drehen, ist:

$$A = \int_{\alpha=0}^{\alpha=40^\circ} P \cdot R \cdot d\alpha$$

wobei P der Ruderdruck, R der Hebelarm des Drehmomentes und  $\alpha$  der Ruderwinkel seien.

Setzen wir darin nach früherem

$$P = K \cdot F \cdot v^2 \sin^2 \alpha$$

so ist

$$A = \int_0^{40^\circ} K F \cdot R v^2 \sin^2 \alpha d \alpha = K F R v^2 \int_0^{40^\circ} \sin^2 \alpha d \alpha$$

oder

$$A = K F R v^2 \left[ -\frac{1}{4} \sin 2\alpha + \frac{\alpha}{2} \right]_0^{40}$$

$$A = 0,1 K F \cdot R v^2$$

Würden wir durch die Anordnung der Rudermaschine erreichen, dass diese Arbeit bei konstanter Leistung der Energiequelle abgegeben wird, so ergibt sich eine erforderliche Leistung von

$$N = \frac{A}{75 \cdot 15 \cdot \eta} = \frac{0,1}{75 \cdot 15 \cdot \eta} K \cdot F \cdot R v^2$$

$$N = \frac{1}{11250 \eta} \cdot K \cdot F \cdot R v^2 \text{ PS}$$

Dabei ist  $\eta$  der Gesamtwirkungsgrad der Kraftübertragung.

Soll nun dieser Mittelwert nicht überschritten werden, so muss sein

$$N = \frac{P \cdot v_1}{75 \cdot \eta}$$

wobei  $v_1$  die Geschwindigkeit des Angriffspunktes des Ruderdruckes ist, (vgl.

$$v_1 = \frac{75 N \cdot \eta}{P}$$

oder

$$v_1 = \frac{75 \cdot 0,1 \cdot K F R v^2 \cdot \eta}{75 \cdot 15 \cdot \eta \cdot K F v^2 \sin^2 \alpha}$$

$$v_1 = \frac{1}{150} \cdot \frac{R}{\sin^2 \alpha}$$

d. h. die Winkelgeschwindigkeit des Rudermotors müsste umgekehrt proportional dem Quadrat des

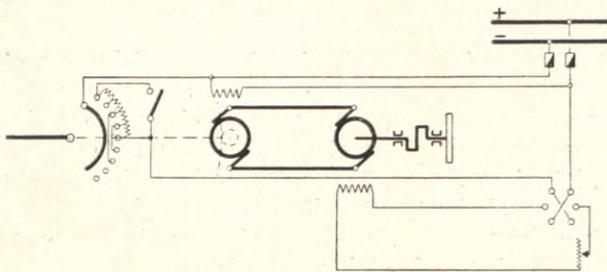


Abb. 6

Sinus des Ruderwinkels sich ändern. Eine derartige zwangsläufige Veränderung der Winkelgeschwindigkeit kann aber in der einfachsten Weise bei der Leonardschaltung erzielt werden. Ich schlage vor, von der Ruderpinne aus nach Abb. 6

einen zweiten Nebenschlussregulator betätigen zu lassen, dessen einzelne Stufen entsprechend dem obigen Gesetz  $\frac{1}{\sin^2 \alpha}$  bezogen auf die Winkel-

geschwindigkeit des Rudermotors oder, was das selbe ist, bezogen auf die Spannung der Anlaßmaschine gewählt werden müssen. Der eigentliche Umkehrnebenschlußregulator dient dann nur zum Anlassen und wird voll eingeschaltet. Der Hilfsnebenschlußregulator wird durch eine geeignete Vorrichtung kurzgeschlossen, sobald das Ruder sich gegen die Mittschiffelage bewegt, da bei dieser rückläufigen Bewegung eine Regelung der Geschwindigkeit nur stören würde. Uebrigens kann man natürlich die Geschwindigkeitsregulierung auch durch Feldveränderung des Motors erreichen. An Stelle des Hilfsregulators für die Erregung der Anlaßmaschine tritt dann ein analog konstruierter Nebenschlußregulator für die Erregung des Motors, der das Feld des Motors in der Mittschiffelage des Ruders schwächt und gegen die Hartlagen verstärkt. Sehr zweckmäßig ist es, von beiden Möglichkeiten gleichzeitig Gebrauch zu machen. Die Feldschwächung des Motors in der Mittschiffelage des Ruders sichert dann gleichzeitig einen geringen Energieverbrauch für Erregung in den Ruhepausen und gibt die Möglichkeit einer Ueberlastung der Erregung in den Hartlagen. Für  $\alpha = 0$  würde sich nach obigem Gesetz  $v_1 =$  ergeben. Das ist natürlich nicht möglich und nur als Grenzwert anzusehen. In dieser Beziehung müssen wir uns mit einer Annäherung an die aufgestellte gesetzmäßige Beziehung begnügen. Selbstverständlich kann eine solche Einrichtung, die ja in Abhängigkeit vom Ruderwinkel regelt, nicht auch in den von Herrn Praetorius untersuchten Fällen und im Falle eines mechanischen Hindernisses wirken. Indessen ist es sehr leicht möglich, auch hierfür eine Einrichtung vorzusehen. Man kann nämlich z. B. mit Hilfe eines Relais, d. h. eines magnetischen Schalters, der bei einer bestimmten Maximalstromstärke wirkt, einen bestimmten Widerstand in die Erregung der Anlaßmaschine einschalten. Dadurch wird diese Maschine so weit entmagnetisiert, daß die reduzierte Spannung selbst bei Stillstand des Rudermotors, also bei Fortfall seiner gegen elektromotorischen Kraft, im Stromkreise keine größere Stromstärke herbeiführen kann, als die maximal zulässige.

Eine zweite Möglichkeit, die Stromstärke zu begrenzen, besteht darin, daß man die Anlaßmaschine so gegenkompoundiert, daß sie in ganz ähnlicher Weise, wie die soeben beschriebene Einrichtung bei der Maximalstromstärke, eine entsprechend reduzierte Spannung gibt. Dadurch ergibt sich eine absolute Begrenzung des Drehmomentes; selbst in dem Falle, wo das Ruder gegen einen starren Anschlag oder gegen einen Fremdkörper laufen würde, könnte die Stromstärke eine bestimmte Grenze, welche durch die Dimensionierung der Kompoundwicklung festsetzbar ist, nicht überschreiten.

Die beiden angegebenen Methoden sind zweckmäßig und ausführbar. Das in Abb. 7 dargestellte Schaltschema zeigt die Anordnung mit Relais.

Indem wir die Betrachtungen unter III zusammenfassen, verlangen wir von der elektrischen Rudermaschine, daß sie in bezug auf die Winkel-

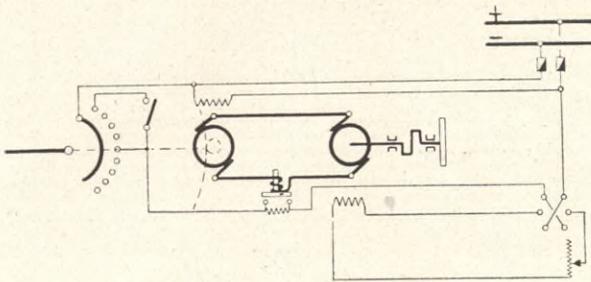


Abb. 7

geschwindigkeit des Rudermotors auf das stark wechselnde Drehmoment bei den verschiedenen Ruderwinkeln entsprechend Rücksicht nimmt.

Wir erkennen ein geeignetes Mittel hierfür in dem Hilfsregulator des Feldes der Anlaßmaschine, oder des Rudermotors, der von der Ruderpinne oder irgend einem anderen, zwangsläufig mit der Rudermaschine verbundenen Organ angetrieben wird.

#### IV. Fernsteuerung

Ein wichtiges Moment, das für den elektrischen Antrieb des Schiffssteuers spricht, ist die bequeme Fernsteuerung von der Kommandobrücke aus. Der Ersatz der Axiometerleitung durch ein Kabel würde einen wesentlichen Fortschritt bedeuten.

Wenn wir aber schon bei Besprechung der Anlaßmethoden erkannt haben, daß Starkstromanlaßapparate zu vermeiden sind, so werden wir hier in dieser Ansicht noch bestärkt, denn zunächst ist klar, daß der Umweg über die Kommandobrücke einen bedeutenden Mehraufwand von Kupfer erheischt. Außerdem bringt das periodische Auftreten hoher Stromstärken in der Nähe der Kompaßrose Störungen für diese mit.

Natürlich könnte auch der Starkstromanlaßapparat etwa im Ruderraum untergebracht und ganz ähnlich wie der Wechselschieber der Dampf- rudermaschine durch eine synchrone Uebertragung gedreht werden. Allein es ist klar, daß wir unter sonst gleichen Umständen einer Methode den Vorzug geben müssen, welche dieser Hilfsmittel nicht bedarf.

Die unter II als zweckmäßig erkannte Anlaßmethode ist aber offenbar für die direkte Fernsteuerung sehr geeignet, denn dabei brauchen wir nur die verhältnismäßig geringen Stromstärken, die zur Erregung der Anlaßmaschine dienen, über die Kommandobrücke zu leiten. Der Aufwand an Kupfer für die Leitung ist gering und die Beeinflussung des Kompasses nicht bedeutend.

Nur der Vollständigkeit halber sei bei dieser Gelegenheit bemerkt, daß man die Erreger-Energie für die Anlaßmaschine sehr wohl auch durch eine

besondere Erregermaschine aufbringen kann, wobei dann im Anlaßprozeß deren Feld geregelt und umgesteuert werden kann. Die zu schaltenden und über die Kommandobrücke zu leitenden Stromstärken werden dadurch noch weiter verringert. Sollte also in einem speziellen Falle das Bedürfnis vorliegen, das Anlaßorgan für besonders kleine Stromstärken einzurichten, so könnte der ange-deutete Weg eingeschlagen und eine Erregermaschine vorgesehen werden. Die Nachteile, welche dieser Methode anhaften, sollen später noch ausführlich behandelt werden.

Aus den vorstehenden Ausführungen gelangen wir also zu dem Schlusse, daß für die Fernsteuerung eine Anordnung des Anlaßapparates gewählt werden muß, wie sie bereits unter II als zweckmäßig und notwendig erkannt wurde.

#### V. Stellhemmung

Solange das Steuer von Hand gedreht wurde, war der Weg des Handrades ein untrügliches Bild des Ruderwinkels. Als man zum motorischen Antrieb überging, wollte man auf diesen Vorteil nicht verzichten und schuf eine Einrichtung, die eine zwangsläufige Abhängigkeit des Ruderwinkels von dem Handradweg sicherte, die Stellhemmung. Mit dem Handrad wird der Wechselschieber der Dampf- rudermaschine geöffnet, die Stellhemmung schließt ihn selbsttätig wieder. Die Rudermaschine stellt sich also automatisch selbst ab, und zwar nach Maßgabe des eingestellten Handradweges.

Diese Methode ist den Seeleuten so geläufig geworden, daß mit ihr zunächst gerechnet werden muß. Es wird somit verlangt, daß einer Ver- drehung des Handrades auf der Kommandobrücke um einen bestimmten Winkel auch gleichzeitig eine ganz bestimmte Ruderlage entspricht.

Unbedingt nötig ist eine solche Einrichtung offenbar nicht, da man ja nach dem Ruderlage- anzeiger, der doch zur Kontrolle vorgesehen wird, steuern kann. In den technischen Bedingungen für den elektrischen Ruderantrieb auf russischen Kriegsschiffen findet sich z. B. der Satz: „Die auto- matische Einstellung des Ruders in eine bestimmte Stellung wird nicht als unbedingt erforderlich an- gesehen.“

Der Fortfall dieser Bedingung der Stellhem- mung würde sehr zur Vereinfachung des ganzen Problems beitragen. Der Vollständigkeit halber müssen wir uns hier aber etwas eingehender mit der Lösung dieser Frage beschäftigen.

Wenden wir beim elektrisch angetriebenen Steuer zur Bewegung des Anlaßorganes eine jener synchronen Uebertragungen an, die ich im „Schiff- bau“ 1908 in ihrer Anwendung auf die elektrische Lenkung des Wechselschiebers der Dampf- rudermaschine bereits besprochen habe, so ist die Auf- gabe der Selbsthemmung schon gelöst. Der syn-chrone Motor der Uebertragung verstellt das An- laßorgan des Rudermotors, also z. B. den Umkehr- nebenschlußregulator der Anlaßmaschine um einen ganz bestimmten Winkel, die Rudermaschine stellt

das Anlaßorgan dann wieder selbsttätig auf Null zurück, worauf der Rudermotor stehen bleibt.

Durch Verwendung eines Differentialgetriebes wird eine derartige Einrichtung ohne weiteres ermöglicht. Natürlich muß die Anordnung so getroffen werden, daß der eigentliche Anlaßvorgang, d. h. das Kurzschließen des Nebenschlußregulators nur einen verhältnismäßig geringen Weg des Steuerades erfordert, damit möglichst rasch das Feld der Anlaßmaschine auf den vollen Betrag gebracht wird.

Bei der Zurücklegung größerer Steuerwinkel, z. B. beim Drehen in die Hartlage, muß dann die Drehgeschwindigkeit des Handrades bezogen auf das Differentialgetriebe gleich oder größer sein, als diejenige des Rudermotors ebenfalls bezogen auf das Differentialgetriebe. Die durch die eventuelle Differenzgeschwindigkeit gegebene Voreilung der Handradseite des Differentialgetriebes verlangt einen gewissen Leergang des Nebenschlußregulators, der durch die Anordnung von Schleifringen vorgesehen werden muß.

Noch besser wäre natürlich eine Methode, welche die Zwischenschaltung einer synchronen Uebertragung zwischen Handrad und Anlaßorgan ganz vermeidet. Eine solche Methode gibt es. Das System Pfatischer, von dem später noch ausführlich gesprochen werden wird, stellt eine solche Lösung dar.

Im Prinzip wird dabei die Erregung der Anlaßmaschine in die Ausgleichsleitung einer Wheatstonebrückenschaltung gelegt. Indem nun ein an der Netzspannung liegendes Widerstandssystem im Geber in genauer Uebereinstimmung mit einem zweiten Widerstandssystem, das von der Ruderpinne aus reguliert wird, abgestuft wird, erreicht man, daß jeder Stellung des Schleifhebels am Geberwiderstand eine Stellung des von der Ruderpinne aus betätigten Schleifhebels des Empfängerwiderstandes entspricht, bei dem die Ausgleichsleitung stromlos wird, da ihre Enden gleiches Potential haben.

Stehen die beiden Schleifhebel nicht übereinstimmend, so fließt in der Ausgleichsleitung ein Strom, der die Anlaßmaschine magnetisiert, der Rudermotor läuft in der durch die Richtung des Ausgleichsstromes bestimmten Richtung, und zwar so lange, bis das Ruder den Empfängerschleifhebel auf das gleiche Potential eingestellt hat, das der Geberschleifhebel besitzt. Man muß zugeben, daß diese Methode theoretisch an Einfachheit nichts zu wünschen übrig läßt und absolut zwangsläufig ist. Sie hat indessen leider auch erhebliche Nachteile.

Die Benutzung der beiden Widerstandsgruppen am Geber und an der Pinne bedingt nämlich Energieverluste, die bei einer größeren Anzahl von zu übertragenden Stellungen ein Vielfaches der Nutzenergie des in der Ausgleichsleitung liegenden Energieverbrauches, in unserem Falle der Erregung der Anlaßmaschine, ausmachen.

Bei größeren Verhältnissen, wie im vorliegenden Falle, wird die Anordnung aus diesem Grunde geradezu unausführbar, und Pfatischer hat deshalb auch in die Ausgleichsleitung der Wheatstonebrücke nicht die Erregung der Anlaßmaschine

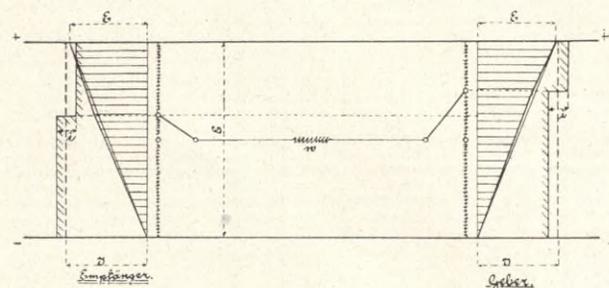


Abb. 8

selbst, sondern diejenige einer besonderen Erregermaschine gelegt. Dann hat man es mit wesentlich geringeren Energiemengen zu tun, welche durch die Schaltung mit Rücksicht auf das Widerstandsmaterial und die aufgewendete Energie noch praktisch beherrscht werden können.

Bei gegebener Netzspannung und Anzahl von Stellungen lassen sich aus der in der Ausgleichsleitung erforderlichen Stromstärke und Spannung die Größe der Hilfswiderstände und die in diesen fließenden Ströme berechnen. In Abb. 8 ist an Hand von Strom- und Potentialdiagrammen gezeigt, wie sich für bestimmte, nicht übereinstimmende, Stellungen der beiden Schleifhebel Strom und Spannung in den einzelnen Teilen einstellen. Die analytische Behandlung dieses Vorganges führt bei einer größeren Anzahl von Stellungen zu sehr komplizierten Rechnungen. Ich beschränke mich deshalb auf die Behandlung des einfachsten Falles, der in Abb. 9 dargestellt ist und bei dem außer der Nullstellung nur zwei Stellungen vorhanden sind.

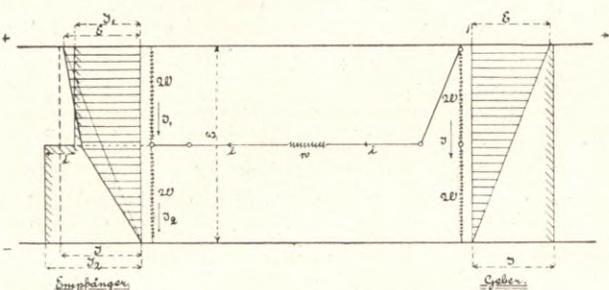


Abb. 9

Ist dabei  $E$  die Netzspannung,  $i$  der Nutzstrom in der Ausgleichsleitung,  $w$  der Widerstand des Stromverbrauchers in dieser Leitung,  $W$  der Widerstand einer der vier vorhandenen Widerstände im Geber und Empfänger,  $J$  der bei übereinstimmender Stellung beider Schleifhebel in jeder Widerstandsgruppe fließende Strom,  $J_1$  und  $J_2$  die Ströme, welche bei der in Abb. 9 gezeichneten Stellung in den Empfängerwiderständen auftreten, so wird

$$W = \frac{E}{i} - 2 w$$

$$J = \frac{E \cdot i}{2(E - 2 w i)}$$

$$J_1 = \frac{w i^2}{E - 2 w i}$$

$$J_2 = \frac{i(E - w i)}{E - 2 w i}$$

Das Verhältnis der in der Ausgleichsleitung entwickelten zu der insgesamt aufgewendeten Leistung kann man als den Wirkungsgrad der Schaltung bezeichnen. Wird derselbe mit  $\eta$  bezeichnet, so ist

$$\eta = \frac{i^2 \cdot w}{E \cdot J + J_1^2 W + J_2^2 W + i^2 w}$$

Setzen wir  $i w = e$ , so wird nach Einsetzung der obigen Werte

$$\eta = \frac{2 e (E - 2 e)}{E (3 E - 2 e)}$$

Um zu ermitteln, wie groß  $e$  bei gegebener Netzspannung gewählt werden muß, damit  $\eta$  ein Maximum wird, differenzieren wir nach  $e$  und erhalten

$$\frac{d \eta}{d e} = \frac{2}{E} \cdot \frac{3 E^2 - 12 E e + 4 e^2}{(3 E - 2 e)^2}$$

Dieser Wert wird Null für

$$e = \frac{3}{2} E \pm \sqrt{\frac{3}{2} E}$$

Das positive Vorzeichen hat keinen physikalischen Sinn. Wir erhalten somit den günstigsten Wert von  $e$  als

$$e = \frac{3}{2} E - \sqrt{\frac{3}{2} E}$$

Für diesen Wert von  $e$  ergibt sich

$$\eta_{\max} = 0,1$$

d. h. der Wirkungsgrad der Schaltung ist im günstigsten Falle 10 %.

Außerdem wird in diesem Falle

$$J = 1,1 i$$

Wird die Anzahl der zu übertragenden Stellen größer, wie in unserem Falle, so werden Wirkungsgrad der Schaltung und Hilfsstromstärke noch wesentlich ungünstiger.

Damit haben wir einen schwerwiegenden Nachteil dieser an sich so vorzüglichen Schaltung erkannt.

Man kann indessen diesen Nachteil vermindern, wenn man nach Abb. 10 der Anlaßmaschine zwei Erregerwicklungen gibt, die genau entgegengesetzt gleich sind. Jede Wicklung besitzt je einen Nebenschlußregulator im Geber und einen genau gleichen an der Ruderpinne. In der Mittschiffelage des Ruders sind beide Wicklungen ganz schwach erregt. Wird der Geber verstellt, so wird die eine

Erregerwicklung der Anlaßmaschine erregt, der Ruder motor läuft an und dreht dabei außer dem Ruder auch den Schleifhebel des Nebenschlußregulators an der Pinne, so daß jetzt auch die andere Erregerwicklung erregt wird. Da diese im entgegengesetzten Sinne wie die erste wirkt, so muß, wenn man zunächst von der Erscheinung der Remanenz absieht, bei dem am Geber eingestellten Ruderwinkel ein vollständiges Entmagnetisieren der Anlaßmaschine eintreten und damit der Ruder motor stillgesetzt werden. Die Anordnung benötigt keine besondere Erregermaschine.

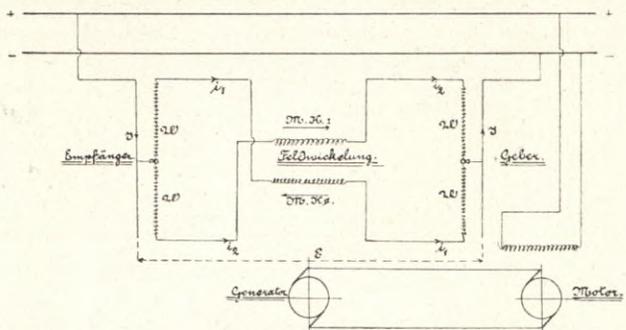


Abb. 10

Fassen wir die Ueberlegungen unter V zusammen, so erkennen wir, daß der Fortfall der nicht unbedingt notwendigen Forderung, der Stelhemmung, die einfachsten Verhältnisse ergibt, was mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit anzustreben ist. Bei Aufrechterhaltung der Forderung kann das Problem durch die oben angegebene Schaltung gelöst werden.

Ist diese aus irgend einem Grunde nicht angebracht, so haben wir noch die verschiedenen synchronen Uebertragungen zur Verfügung.

### VI. Genauigkeit der Einstellung

Es ist für die Schiffsleitung von Wichtigkeit, daß der am Steuerrad eingestellte Ruderwinkel sich auch wirklich und mit genügender Genauigkeit am Steuer ergibt. Man sieht deshalb meist noch ein Kontrollinstrument, den Ruderlageanzeiger, vor. Besonders wichtig ist eine genaue Einstellung der Mittschiffelage des Steuers, da sonst das Schiff vom Kurs abweicht.

Beim elektrischen Antrieb ist in dieser Beziehung besonders Vorsicht am Platze, da der Auslauf des abgestellten Motors infolge der größeren lebendigen Kräfte der rotierenden Massen gegenüber anderen Betriebsarten längere Wege erfordert. Dieser Umstand wird indessen so gut wie ausgeglichen durch die einfache elektrische Bremsung des separat erregten Motors, die insbesondere bei der Leonardschaltung immer dann selbständig auftritt, wenn die Primärspannung erniedrigt wird.

Das unter I erwähnte System der Union Elektrizitätsgesellschaft ist eine Differentialanordnung. Die zum Rudergeschirr führende Welle des Differentialgetriebes steht nur dann still, wenn die Winkelgeschwindigkeiten der beiden Motoren absolut

gleich und entgegengesetzt gerichtet sind. Die geringste Verschiedenheit der beiden Winkelgeschwindigkeiten genügt, um eine kleine, aber stetige Bewegung des Steuers hervorzurufen. Es ist klar, daß bei der unvermeidlichen Verschiedenheit der Tourenzahlen der beiden Elektromotoren eine bedenkliche Unsicherheit in der Leitung des Schiffes eintreten muß. In der Tat wird von S.M.S. „Aegir“, auf dem eine Rudermaschine dieses

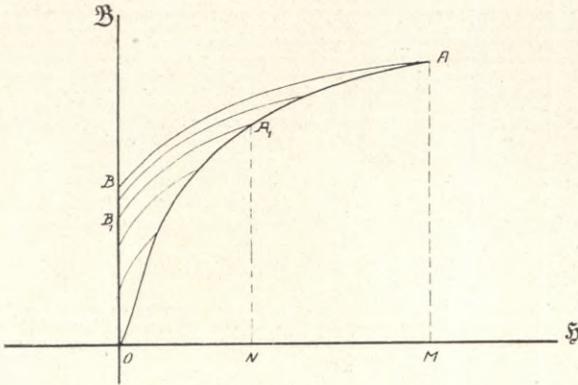


Abb. 11

Systems eingebaut war, erzählt, daß es des öfteren unbeabsichtigte Evolutionen ausführte, weshalb andere Schiffe seine Nähe mieden. Dieser Uebelstand war wohl auch der Hauptgrund, weshalb die Steuereinrichtung auf diesem Schiff wieder entfernt und durch ein Dampfsteuer ersetzt wurde.

Für die gegenwärtigen Betrachtungen über die Genauigkeit der Einstellung gewinnen wir aus diesem Beispiel die Folgerung, daß Differentialmethoden für den elektrischen Steuerantrieb unbrauchbar sind.

Auch die unter II, Abb. 5 besprochene „Gegenschaltung“ ist eine Differentialmethode und deshalb, wie bereits unter II erläutert, für unsere Zwecke ungeeignet.

Untersuchen wir nun, ob die bisher als sehr zweckmäßig erkannte Anlaßmethode der Leonardschaltung auch den Anforderungen der Einstellungsgenauigkeit entspricht, so finden wir, daß die Erscheinung der Remanenz des Feldes der Anlaßmaschine sich störend bemerkbar macht.

Um diese Erscheinung zu erläutern, ist in Abbild. 11, in der auf der Abszissenachse die magnetomotorische Kraft, also die Ampèrewindungen der Erregung, oder da die Windungszahl ja konstant ist, direkt die Erregerstromstärke und auf der Ordinate die Feldstärke aufgetragen sind, die Magnetisierungskurve  $OA$  der Anlaßmaschine gezeichnet, die durch den Ursprung des Koordinatensystemes geht, weil wir annehmen, daß beim Beginn des Einschaltens des Nebenschlußregulators die Maschine vollkommen entmagnetisiert gewesen sei. Bei der Erregung  $OM$  erhalten wir also das Feld  $MA$ . Stellen wir jetzt den Nebenschlußregulator wieder auf die Erregung Null, so nimmt das Feld dabei nach einem anderen Gesetze ab, als dasjenige war, nach dem es zugenommen hatte. Die

Zunahme erfolgte nach der Linie  $OA$ , die Abnahme vollzieht sich nach der Kurve  $AB$ , und es zeigt sich, daß bei der Erregung Null nicht auch das Feld Null geworden ist. Es behält vielmehr den Wert  $OB$ , der mit Remanenz bezeichnet wird. Hätten wir beim Magnetisieren der Anlaßmaschine die Erregung nur bis  $ON$  getrieben, so hätten wir als Magnetisierungskurve die Linie  $OA_1$  erhalten. Die Remanenz hätte dann nur den Wert  $OB_1$  erreicht. Man sieht, daß also beim Zurückstellen des Nebenschlußregulators auf Null die Maschine nicht vollkommen entmagnetisiert wird, und daß der zurückbleibende Magnetismus abhängig ist von der Stärke der vorherigen Erregung. Die der Remanenz entsprechende elektromotorische Kraft der Anlaßmaschine ist Ursache einer Stromstärke, welche den Rudermotor über die Mittschiffklage des Steuers hinausdrehen sucht, d. h. die Mittschiffklage wird unsicher. Diese Erscheinung nötigt uns, eine Vorrichtung anzubringen, welche die Remanenz beseitigt. Man hat hierzu mit Erfolg die Remanenz selbst benutzt. Schaltet man nämlich in der Nullstellung des Nebenschlußregulators die Anlaßmaschine auf Eigenerrregung, und zwar so, daß die der Maschine infolge der Remanenz noch anhaftende Spannung die Maschine im entgegengesetzten Sinne zu magnetisieren sucht, so muß schließlich ein vollkommenes Entmagnetisieren erreicht werden. Man hat diese Schaltung, da sich die Remanenz gewissermaßen selbst beseitigt, als „Selbstmordschaltung“ bezeichnet.

Natürlich bedarf es bei diesem Vorgange eines gewissen toten Ganges des Steuers, denn die Vernichtung der Remanenz beginnt ja erst, wenn der Nebenschlußregulator auf Null gestellt wird.

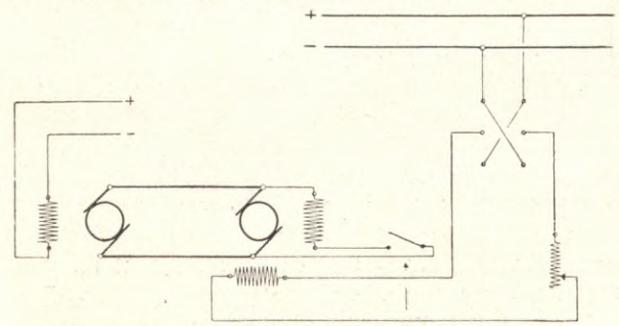


Abb. 12

Vollkommen befriedigen kann uns offenbar nur eine Methode, welche beim Entmagnetisieren das Feld (s. Abb. 11) möglichst genau auf derselben Linie  $OA$  zurückführt, nach der sich die Magnetisierung vollzog. Man kann dies dadurch erreichen, daß man die Anlaßmaschinenerregung um eine schwache Nebenschlußwicklung vermehrt, welche nur dann eingeschaltet wird, wenn der Umkehrnebenschlußregulator gegen die Nulllage gedreht wird, was durch eine geeignete Konstruktion des Antriebes des Regulators erreicht werden muß. Diese Hilfswicklung oder Antiremanenzwicklung wird dabei zweckmäßig auf Eigen-

erregung geschaltet. Das ergibt etwa das Schema Abb. 12.

Noch ungünstiger liegt die Sache, wenn eine Erregermaschine Verwendung findet, deren Feld geregelt wird, wie z. B. beim System Pfatischer. In Abb. 13 ist in dem oberen Diagramm der Magnetisierungsvorgang in der Erregermaschine dargestellt. Nach der x-Achse sind dabei die Erregerstromstärken der Erregermaschine aufgetragen und die einzelnen Punkte nach der Abszissenachse entsprechen den einzelnen Stufen des Nebenschlußregulators der Erregermaschine, sofern man sich zunächst diesen Regulator mit unendlich

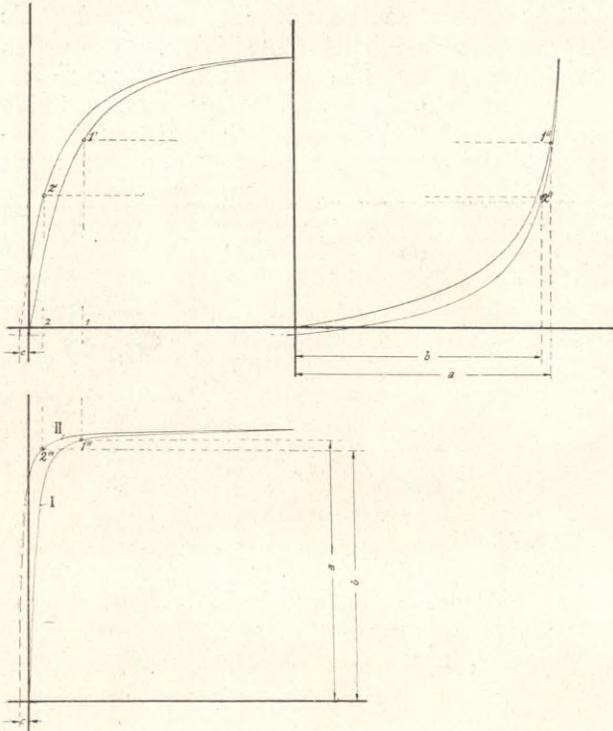


Abb. 13

vielen Stufen versehen denkt. In dem unteren Diagramm ist der Magnetisierungsvorgang in der Anlaßmaschine selbst dargestellt, und zwar ist derselbe bezogen auf die Erregung der Erregermaschine, also auf die Stellungen des Nebenschlußregulators dieser Maschine. Kurve I zeigt die Magnetisierung, Kurve II die Entmagnetisierung der Anlaßmaschine. Diese Kurven sind dadurch gewonnen, daß aus der Hilfsfigur neben dem oberen Diagramm die auftretenden Feldstärken, bzw. Spannungen der Anlaßmaschine für die einzelnen Stellungen des Nebenschlußregulators der Erregermaschine abgegriffen sind und im unteren Diagramm als Ordinaten aufgetragen wurden.

Der Einfachheit halber wurden dabei die Maßstäbe für Erregung und Feldstärke, bzw. EMK so gewählt, daß die maximalen Werte dieser Größen durch gleiche Strecken dargestellt werden.

Man ersieht aus dieser Zusammenstellung, daß die störende Erscheinung der Remanenz durch die Verwendung einer Erregermaschine sehr viel wirksamer in die Erscheinung tritt.

Eine Zusammenfassung der Ueberlegungen unter VI lehrt uns, daß eine besondere Erregermaschine, deren Feld geregelt wird, womöglich zu vermeiden, vielmehr das Feld der Anlaßdynamo unmittelbar zu regeln ist. Auch hierfür ist aber eine Verringerung, bzw. Vermeidung der Erscheinung der Remanenz anzustreben, einmal durch geeignete Bauart der Anlaßmaschine (lamelliertes Gestell usw.), dann aber auch durch die oben angegebene Antiremanenzschaltung.

Die vorstehend entwickelten Gesichtspunkte müssen nach meiner Ansicht beim Bau einer elektrischen Steuereinrichtung beachtet werden. Es ist nun offenbar ganz interessant, die bisher bekannt gewordenen Ausführungen an Hand dieser Gesichtspunkte einer Besprechung und Kritik zu unterziehen.

Mir sind folgende Ausführungen bekannt geworden:

1. Die Konstruktion Pfatischer, ausgeführt von der Electro Dynamic Company, Philadelphia,
2. die Konstruktion Eßberger, ausgeführt von der Union Elektrizitätsgesellschaft, Berlin,
3. die Konstruktion Hoffmann, ausgeführt von der Siemens & Halske A.-G., Berlin,
4. die Konstruktion Brougham, ausgeführt von Siemens Brothers Ltd., London,
5. die Konstruktion der Compagnie générale d'Electricité de Creil.,
6. die Konstruktion der Siemens Brothers Dynamo Works, Stafford,
7. die Konstruktion der Societa nazionale delle Officine di Savigliano, Turin.

#### 1. Die Konstruktion Pfatischer

Diese Konstruktion verdient es, an erster Stelle genannt zu werden, da sie die älteste und erfolgreichste elektrische Steuereinrichtung darstellt. Sie stammt von dem Ingenieur Pfatischer, Philadelphia, welcher seine Idee durch die Elektro Dynamic Company Philadelphia zur Ausführung brachte. Das System ist hauptsächlich auf russischen Kriegsschiffen zur Anwendung gekommen, was daher kommen mag, daß die russische Marine eine ausgesprochene Vorliebe für den elektrischen Steuerantrieb zeigt.

Rudermaschinen nach diesem System wurden auf folgenden Schiffen eingebaut:

- „Gromoboy“, erbaut in St. Petersburg für die russische Marine,
- „Osliabia“, erbaut in St. Petersburg für die russische Marine,
- „Pallada“, erbaut in St. Petersburg für die russische Marine,
- „Alexander III.“, erbaut in St. Petersburg für die russische Marine,
- „Pobieda“, erbaut in St. Petersburg für die russische Marine,
- „Peresviet“, erbaut in St. Petersburg für die russische Marine,
- „Variag“, erbaut in Philadelphia für die russische Marine,

„Retvizan“, erbaut in Philadelphia für die russische Marine,

„Hulk No. 312“, erbaut in Philadelphia für die International Nav. Co.

Zur Erläuterung dieses Systems kann ich auf die Bemerkungen unter Gesichtspunkt V verweisen. Pfatischer benutzt also zum Anlassen des

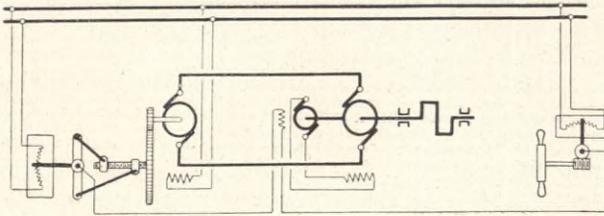


Abb. 14

Rudermotors, der separat und konstant erregt ist, eine mit Sondererregung versehene Anlaßdynamo, deren Erregerwicklung in der Ausgleichsleitung der Wheatstoneschen Brückenschaltung liegt. Offenbar wird am Prinzip nicht viel geändert, wenn, wie es Pfatischer wirklich macht, in der Wheatstonebrücke nicht die Erregung der Anlaßdynamo selbst untergebracht wird, sondern die Erregung einer Erregermaschine für die Anlaßdynamo. Die Erregermaschine ist ein zwischen Steuerrad und Anlaßdynamo angeordnetes Relais, das notwendig wurde, damit die in den Geber- und Empfängerwiderstandssystemen vernichtete Energie nicht zu groß wird.

Das Gesamtschaltenschema des Systems Pfatischer sieht dann etwa wie in Abb. 14 dargestellt aus.

Selbstverständlich kann der Antriebsmotor dabei eine Dampfmaschine, Dampfturbine, ein Verbrennungsmotor, ein Elektromotor oder ein beliebig anderer Motor sein.

Abb. 15 zeigt den Rudermotor und den Geber im Ruderraum auf dem russischen Kreuzer „Variag“.

Prüfen wir nun das System nach den entwickelten Gesichtspunkten, so ist folgendes zu sagen:

Die Gesichtspunkte II, IV und V werden von dem System voll befriedigt. ad I) Ich glaube nicht, daß bei den Ausführungen auf diesen Gesichtspunkt Rücksicht genommen worden ist, und Abb. 15, in der als Rudermotor ein Elektromotor ganz normaler Bauart dargestellt ist, bestärkt mich in dieser Ansicht; indessen ließe sich das System nach dieser Richtung hin sehr leicht verbessern, durch Wahl einer geeigneten Bauart des Motors. Grundsätzliche Bedenken gegen das System liefert dieser Gesichtspunkt also nicht. ad III) Sogar diese Bedingung ist erfüllt, denn es ist klar, daß bei zweckmäßiger Abstufung der beiden Widerstandssysteme der Wheatstonebrücke in der Tat die Winkelgeschwindigkeit des Rudermotors bei größeren Steuerwinkeln in der gewünschten Weise kleiner wird.

Natürlich muß der Umstand in Kauf genommen werden, daß die Geschwindigkeit des Rudermotors, die ja von der Erregung der Anlaßmaschine abhängt, beim Legen kleiner Ruderwinkel nur gering sein wird, da ja die Erregung der Erregermaschine und diejenige der Anlaßmaschine entsprechend der kleinen, eingestellten Potentialdifferenz nur schwach ist. Dieser Umstand hat aber meiner Ansicht nach nicht viel Bedeutung, da es bei Manövern mit kleinen Steuerwinkeln ja nicht so sehr auf die Zeit ankommt, innerhalb deren sich die gewünschte Ruderlage einstellt. Im übrigen müssen eben die einzelnen Stufen der beiden Widerstandsgruppen so gewählt werden, daß die einer Stufe entsprechende Potentialdifferenz genügt, um die Erregermaschine so weit zu magnetisieren, daß die entstehende Spannung der Anlaßmaschine den zum Drehen des Rudermotors in der jeweiligen Stellung erforderlichen Strom erzeugen kann.

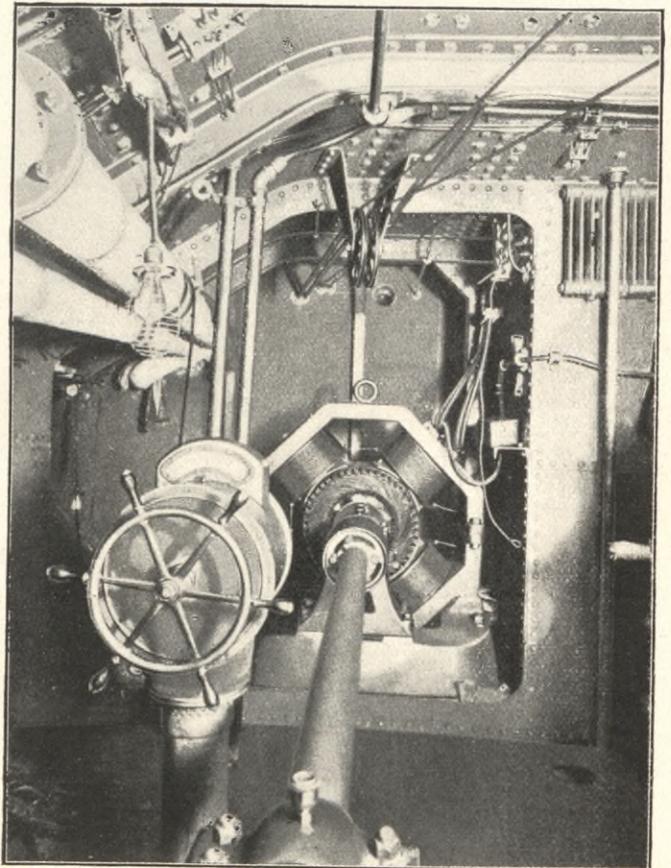


Abb. 15

Der durch die beiden Widerstandsgruppen bedingte Energieverbrauch ist bei Verwendung einer Erregermaschine relativ so gering, daß er in Kauf genommen werden kann.

ad VI) Dieser Gesichtspunkt wird von dem System nicht beachtet. Wir konstatierten bereits bei den Betrachtungen unter VI an Hand der Abbild. 13, daß die einfache Leonardschaltung infolge der Remanenz der Anlaßmaschine und insbesondere bei Verwendung einer Erregermaschine verbesserungsbedürftig ist.

In dieser Beziehung ist also das System sehr verbesserungsbedürftig und ich nehme an, daß dieser Umstand die Entwicklung dieses sonst vorzüglichen Systemes sehr gehemmt hat. Es wäre sonst nicht einzusehen, weshalb die Russen die bei den vielen Ausführungen doch reichlich Gelegenheit

2. Die Konstruktion Ebberger  
Diese Konstruktion interessiert uns schon deshalb, weil sie die erste und einzige ist, die an Bord eines deutschen Kriegsschiffes, nämlich auf S. M. S. „Aegir“, zur Ausführung gekommen ist. Sie ist indessen nach einiger Zeit wieder entfernt und durch

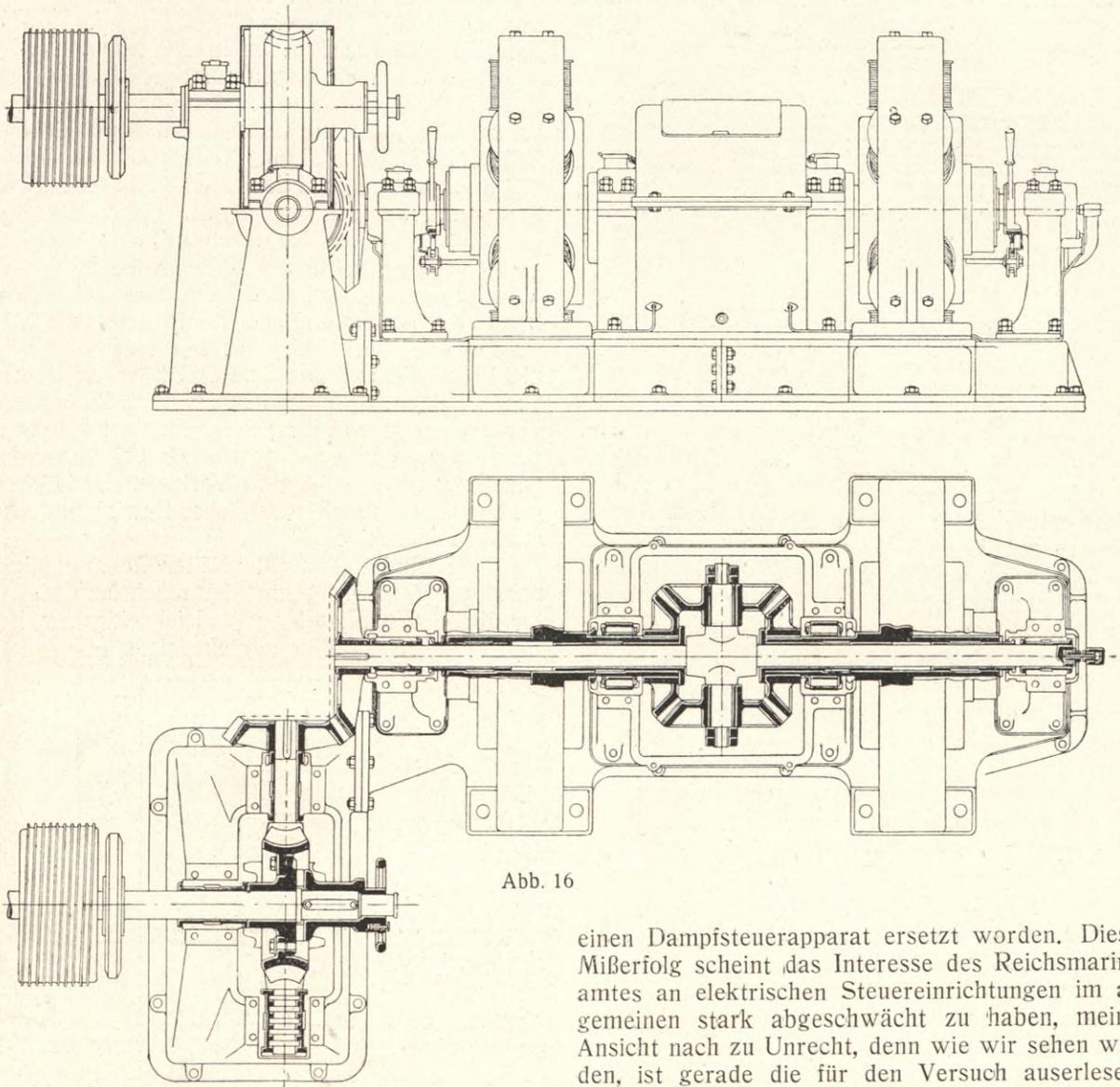


Abb. 16

hatten, Erfahrungen zu sammeln, immer noch Versuche mit anderen Konstruktionen machen.

Wie bereits unter VI ausgeführt, ist es nicht unmöglich, die Erscheinung der Remanenz erfolgreich zu bekämpfen. Man kann einerseits beim Aufbau der Erreger- und Anlaßmaschine geringe Remanenz anstreben, z. B. durch Verwendung lamellierter Eisenquerschnitte. Andererseits kann man mit noch größerem Erfolg mit Hilfe einer Antiremanenzwicklung den Entmagnetisierungsvorgang in der gewünschten Weise beeinflussen.

Zusammenfassung: Mit den vorgeschlagenen Verbesserungen erscheint das System als brauchbar, und es ist anzunehmen, daß es sich in der Praxis noch gebührende Geltung verschaffen wird.

einen Dampfsteuerapparat ersetzt worden. Dieser Mißerfolg scheint das Interesse des Reichsmarineamtes an elektrischen Steuereinrichtungen im allgemeinen stark abgeschwächt zu haben, meiner Ansicht nach zu Unrecht, denn wie wir sehen werden, ist gerade die für den Versuch auserlesene Konstruktion nicht glücklich gewählt.

Eine zweite Ausführung des Systems ist auf dem russischen Kreuzer „Diana“ eingebaut worden.

Ausgeführt wurde die Konstruktion von der Union Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

Das unter I bereits kurz beschriebene System sieht für den Ruderantrieb zwei in entgegengesetzter Richtung umlaufende, durch ein Differentialgetriebe verbundene, Elektromotoren vor. Die Abbild. 16 zeigt die Konstruktion, die im übrigen so einfach ist, daß sich eine weitere Beschreibung erübrigt.

Die beiden Motoren laufen fortwährend, also auch dann, wenn das Ruder stillsteht, die beim Rudermanöver erforderliche Differenz der Winkelgeschwindigkeiten der beiden Elektromotoren wird

durch Aenderung der Erregung erreicht. Abb. 17 zeigt das sehr einfache Schaltschema des Systems. Bei der gezeichneten Stellung des Ruderlenkers U ist der Erregung des Motors I der Widerstand W parallel geschaltet, das Feld des Motors wird infolgedessen geschwächt, dasjenige des Motors II verstärkt.

Eine Kritik des Systems nach den entwickelten Gesichtspunkten liefert folgende Schlüsse:

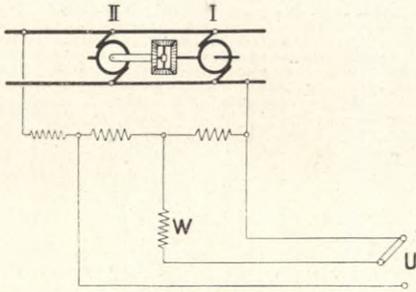


Abb. 17

In bezug auf die Gesichtspunkte I, II, IV läßt sich gegen das System nichts einwenden. Indem die rotierenden Massen des Motorenaggregates zu Beginn der Fahrt einmal beschleunigt werden, ist es beim eigentlichen Rudermanöver nur notwendig, eine Aenderung der Winkelgeschwindigkeit der beiden Motoren aufwärts, bzw. abwärts vorzunehmen. Die in Frage kommenden Beschleunigungsarbeiten sind also sehr viel kleiner, als bei einer Anordnung, bei der der Motor beim Ruderanöwer aus der Ruhe beschleunigt werden muß. Die Motoren machen ca. 300 Touren/min., wenn sie gleich rasch laufen. Die größte Tourenzahl beim Manövrieren ist 500, die kleinste 200, so daß die maximale Tourendifferenz 300 Touren/min. beträgt.

ad III) Dieser Gesichtspunkt wird von dem System nicht beachtet. Die eingestellten Winkelgeschwindigkeiten der beiden Motoren sind beinahe unabhängig von der Belastung, so daß also auch die Winkelgeschwindigkeit der Ruderrotation ziemlich unabhängig vom Ruderwinkel ist, was wir als Nachteil erkannt haben. Es muß allerdings zugegeben werden, daß prinzipiell nichts im Wege steht, diese Abhängigkeit in ähnlicher Weise, wie unter III ausführlich dargelegt, künstlich dadurch herbeizuführen, daß man durch geeignete, von der Ruderpinne aus gesteuerte, Regelungsorgane die Tourendifferenz der beiden Motoren, je nach Lage des Ruders, beeinflußt.

ad V) Es muß nach einem Ruderlageanzeiger gesteuert werden, und so zeigt das Beispiel, daß auch ohne Stellhemmung ein Betrieb des Steuers möglich ist.

ad VI) Wie bereits bei den Erläuterungen unter VI ausgeführt, erscheint das System unter diesem Gesichtspunkte als praktisch unbrauchbar. In Erkenntnis des Umstandes, daß eine absolute Gleichheit der Winkelgeschwindigkeit der beiden Motoren unbedingt erforderlich ist und in weiterer Erkenntnis des Umstandes, daß ohne besondere

Hilfsmittel diese Gleichheit niemals erreicht werden kann, ordneten die Erbauer des Steuerapparates besondere Reguliereinrichtungen an, welche eingestellt, aber auch nachreguliert werden mußten. Abb. 18 zeigt, in welcher Weise dies geschah.

Von einer elektrischen Rudermaschine müssen wir aber verlangen, daß sie grundsätzlich frei ist von derartigen Mängeln. Der geringste Tourenunterschied verursacht einen Ausschlag des Ruders und damit ein unbeabsichtigtes Manöver des Schiffes, was die unangenehmsten Konsequenzen haben kann. Wir verwerfen deshalb grundsätzlich jede Differenzialanordnung bei Rudermaschinen.

Auch in bezug auf das Gewicht müssen wir das System als verfehlt bezeichnen. Der Doppelmotor ist nämlich infolge der Differenzialanordnung ungleich höher belastet als der einfache Motor. Der jeweils langsamer laufende Motor läuft beim Ruderlegen als Dynamo und speist ins Netz zurück. Der rascher laufende Motor hat somit aus dem Netz nicht nur die auf das Rudergeschirr zu übertragende Nutzarbeit aufzunehmen, sondern auch die von dem anderen Motor als Dynamo ins Netz zurückgespeiste Energie, sowie die bei dieser Umwandlung unvermeidbaren Verluste. Dadurch ergeben sich ein unwirtschaftlicher Betrieb und große schwere Maschinen.

Beim Ruderlegen mit größter Geschwindigkeit nahm auf S. M. S. „Aegir“ der rasch laufende Motor 18,2 KW auf, während gleichzeitig der langsam laufende 2,4 KW zurückspeiste.

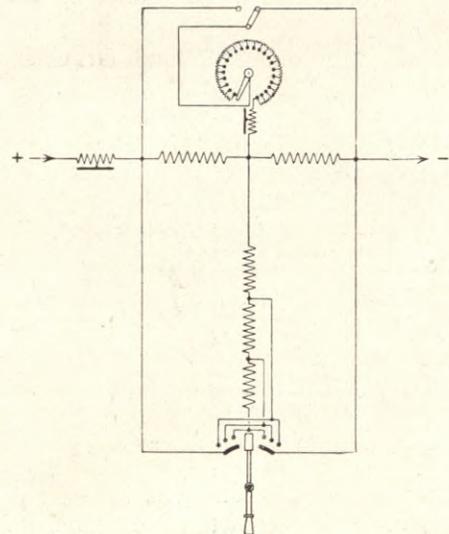


Abb. 18

Diese 2,4 KW entsprechen, wenn man einen Gesamtwirkungsgrad der Umsetzung von 0,6 annimmt, was angesichts des Differentialgetriebes, das einen sehr schlechten Wirkungsgrad hatte,

sicher nicht zu gering geschätzt ist,  $\frac{2,4}{0,6} = 4$  KW.

Energieaufnahme aus dem Netz. Um diesen Betrag ist der rascher laufende Motor höher belastet, als wenn er direkt die Rudermaschine betätigen würde. Es muß also nicht nur das Gewicht des einen Motors als Mehrgewicht gegenüber der

Einmotorenanordnung angesehen werden, sondern auch das Mehrgewicht der zusätzlichen Belastung von 4 KW., denn diese erfordert einen größeren und schwereren Motor.

Die „Aegir“-Steuermaschine war infolge dieses Umstandes auch mehr als doppelt so schwer als die Dampfudermaschine des Schwesterschiffes „Hagen“. Der motorische Teil des Steuerapparates einschließlich Dampfrohrleitung, bzw. Kabel und Zubehör wog:

auf S. M. S. „Hagen“ . . . . .	4016 kg
auf S. M. S. „Aegir“ . . . . .	9446 kg

In dem Gewicht der elektrischen Rudermaschine sind dabei enthalten:

die Motoren mit Getriebe und Grundplatte mit . . . . .	8626 kg
die Kabel usw. mit . . . . .	593 kg
das Zubehör mit . . . . .	227 kg
	<hr/>
	9446 kg.

Die Anlaßleitung, bzw. Ruderzeigerleitung wog

auf S. M. S. „Hagen“ . . . . .	1563 kg
auf S. M. S. „Aegir“ . . . . .	118 kg.

Angesichts dieser Zahlen kann man es verstehen, daß das Reichsmarineamt einen recht ungünstigen Eindruck von der elektrischen Steuereinrichtung erhalten haben mag. In bezug auf das Gewicht hätte man aber nicht leicht eine ungünstigere Konstruktion wählen können, als dieses System.

Wie bereits in der Einleitung dargelegt, bin ich gar nicht der Ansicht, daß die elektrische Rudermaschine eine Gewichtersparnis gegenüber dem Dampfsteuer bringen wird, die in Kauf zu nehmenden Mehrgewichte werden aber keinesfalls bei richtiger Anordnung mehr als 10 % des Gesamtgewichtes ausmachen, und nicht 100 %, wie beim „Aegir“-Steuer.

Auch vom Gesichtspunkte der Wirtschaftlichkeit aus ist das System zu verwerfen. Die beiden ständig umlaufenden Motoren in Verbindung mit dem Differentialgetriebe haben eine außerordentlich hohe Leerlaufarbeit. Sie betrug auf S. M. S. „Aegir“ ca. 7,2 KW, zurückgerechnet auf die Primärmaschine ca. 8 KW bei 90 % Wirkungsgrad der Primärmaschine. Berücksichtigt man noch die ungünstigen Belastungsverhältnisse beim Manövrieren selbst, so kommt man zu dem Schlusse, daß der Betrieb bei diesem System höchst unwirtschaftlich ist.

Zusammenfassung: Das System ist unbrauchbar, da es gegen die wichtigsten Gesichtspunkte in grundsätzlicher Weise verstößt.

### 3. Die Konstruktion Hoffmann

Diese Konstruktion ist deshalb ganz instruktiv, weil der Konstrukteur die vorliegenden Schwierigkeiten gut erkannt hat und ihnen durch wohlgedachte Einzelheiten zu begegnen suchte. Sie kam

zur Ausführung auf dem russischen Kreuzer „Aurora“ und hat nach eingelaufenen Berichten dort zur Zufriedenheit, auch auf der bekannten Dauerfahrt des Geschwaders unter Admiral Roschdjestwensky funktioniert.

Die Ausführung stammt von der Siemens & Halske A.-G., Berlin.

Das System sieht einen Rudermotor vor, der Hauptstromschaltung hat und vom Netz aus mittels Vorschaltwiderständen angelassen und reguliert wird. Der Anlaßwiderstand wird dabei durch eine Fernsteuerung mit Synchronmotor betätigt, die ich in einer Besprechung des elektrischen Wechselschieberantriebes der Dampfudermaschine im „Schiffbau“ 1908 behandelt habe. Wie dort nach Erreichung der gewünschten Ruderlage der Wechselschieber durch gespannte Federn in die Abschlußlage zurückgebracht wurde, so wird hier der Anlasser durch Federn in die Nullstellung zurückgeführt, dadurch der Motor ausgeschaltet und durch Kurzschlußschaltung gebremst.

Das Schaltschema Abb. 19 enthält alle wesentlichen Einzelheiten.

Eine Prüfung des Systems nach den von uns entwickelten Gesichtspunkten liefert folgendes Ergebnis:

ad I) Auf diesen Gesichtspunkt ist nicht besonders Rücksicht genommen. Gegen die gewählte Tourenzahl, 400 pro Min. bei 20 PS. Belastung, ist nichts einzuwenden, da sie, wie es auch wünschenswert ist, als verhältnismäßig niedrig bezeichnet werden kann. Der Motor mit Vorgelege ist in Abb. 20 abgebildet. Er ist vollständig gekapselt, was wir als unzweckmäßig erkannt haben, und wog 1760 kg. Dieses Gewicht muß als sehr groß bezeichnet werden.

ad II) Der Konstrukteur suchte den vorliegenden Schwierigkeiten dadurch gerecht zu werden, daß er dem Anlaßwiderstand eine sehr hohe Stufenzahl gab. Indem er außerdem Kohlebürsten vorsah, war der Apparat an sich als recht vollkommen zu bezeichnen. Der Anlasser wog 554 kg. Die unter II ausführlich behandelten Unvollkommenheiten, die dieser Methode grundsätzlich anhaften, konnten natürlich auf diese Weise nicht beseitigt werden. Wir sehen in den Effektverlusten in den Widerständen eine höchst unerwünschte Erscheinung, weniger wegen der Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit, sondern hauptsächlich wegen der abzuführenden Wärme. Außerdem ist der Starkstromschaltapparat nicht betriebssicher, denn er ist kompliziert und erfordert Wartung. Wenn auf „Aurora“ befriedigende Betriebsergebnisse erzielt wurden, so spricht dies dafür, daß Konstruktion, Herstellung und Wartung vorzüglich waren, es kann uns dieser Umstand aber nicht davon abhalten, einer Methode den Vorzug zu geben, welche grundsätzlich solche Fehlerquellen eliminiert, um so mehr, als heute bereits wesentlich höhere Leistungen auf unseren großen Kriegs- und Handelsschiffen zum Drehen des Ruders angewendet werden müssen. Der Anlasser ist in Abb. 21 dargestellt.

Wir können also von diesem Gesichtspunkt aus das System nicht als zweckmäßig bezeichnen. ad. III). Auf diesen Gesichtspunkt nimmt das System dadurch Rücksicht, daß für den Ruderantrieb ein Reihenschlußmotor gewählt wurde, der, wie wir bereits feststellten, bereits bis zu einem gewissen Grade den gestellten Bedingungen gerecht wird. Das System geht sogar noch weiter und sieht auf den Schenkeln des Motors 2 Wicklungen vor. Geht der Ankerstrom nur durch die eine Wicklung mit geringerer Windungszahl, so macht der Motor bei 20 PS. ca. 400 Touren/Min., geht er aber durch beide Wicklungen hintereinander, so läuft der Motor bei 20 PS. mit ca. 200

zum Einschalten des Anlassers dient. Diese Dämpfung besteht (s. meinen Aufsatz im „Schiffbau“ 1908 „Ueber den elektromotorischen Antrieb des Wechselschiebers der Dampftrudermaschine“) aus einer Luftpumpe.

Am Saugraum der Luftpumpe ist ein Rohr angeschlossen. Dieses Rohr ist zum Maximalausschalter geführt und besitzt dort ein Drosselventil, das von einem Magneten beeinflusst wird, dessen Erregung im Ankerstrom des Rudermotors liegt. Solange der Ankerstrom relativ klein ist, wird das Ventil durch Federn offen gehalten, die Dämpfung des Hilfsmotors ist gering; steigt die Stromstärke, so wird das Ventil allmählich geschlossen, bei etwa

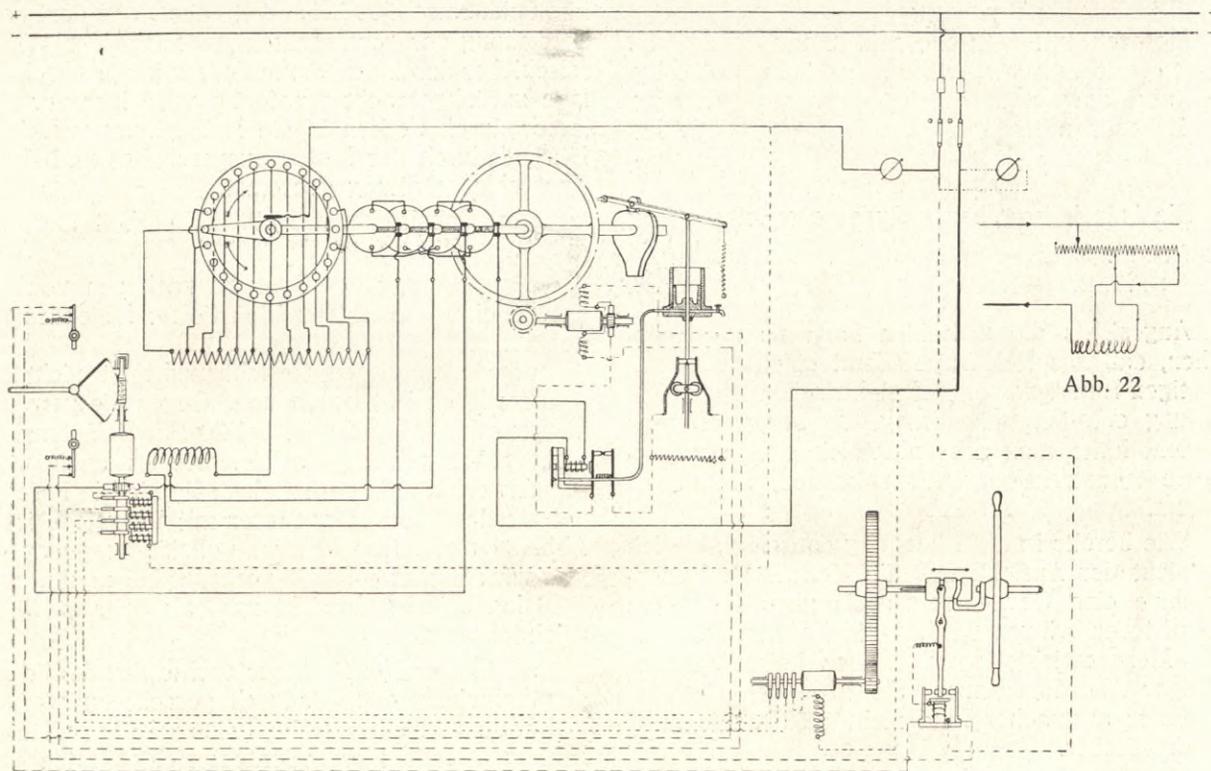
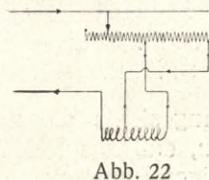


Abb. 19



Touren/Min. und seine Zugkraft ist bei der gleichen Stromstärke ca. doppelt so groß als im ersten Falle. Der Anlasser ist so eingerichtet, daß zunächst auf einem Drehwinkel von ca. 90° beide Wicklungen in Serie vom Ankerstrom durchflossen werden. Dies ergibt ein starkes Feld in der Beschleunigungsperiode, was natürlich sehr zweckmäßig ist.

Wird der Anlasserschleifkontakt weiter gedreht, so wird unter Verwendung eines Parallelwiderstandes (s. Abb. 22) die untere Wicklung immer schwächer erregt, bis schließlich in der Endlage des Schleifkontaktes im wesentlichen nur die obere Wicklung erregt, das Feld also geschwächt ist.

Ein besonderer Apparat, im Schaltschema mit Maximalausschalter bezeichnet, beeinflusst nun zunächst die Dämpfung des kleinen Hilfsmotors, der

der halben maximalen Stromstärke soll es vollkommen dicht sein. Die Bewegung des Hilfsmotors ist dann stark gedämpft, der Anlasser wird also nur ganz langsam bewegt. Wird endlich die maximal zulässige Stromstärke erreicht, so unterbricht der Maximalausschalter auch noch den Stromkreis des Hilfsmotors, die Rückstellfedern führen den Anlasser dann bis in die Ausschaltstellung zurück. Sinkt bei diesem Vorgang die Stromstärke soweit, daß der Stromkreis des Hilfsmotors wieder geschlossen wird, so dreht dieser den Anlasser wieder im Einschaltinne. Jedenfalls aber erfolgt dieser Vorgang dann, wenn der Anlasser in der Ausschaltstellung angekommen ist. Der Apparat würde also in diesem Falle nicht eher zu Ruhe kommen, als bis die gewünschte Ruderlage erreicht ist. Man muß zugeben, daß diese Einrichtungen gut erdacht sind, praktisch bedeuten sie aber eine erhöhte Bean-

spruchung des Anlassers und der Schaltapparate und eine unerwünschte Komplikation des Apparates.

Bei dieser Gelegenheit sei noch eines weiteren Apparates gedacht, den das System für eine Regelung der Winkelgeschwindigkeit des Rudermotors vorsieht. Es ist dies der sogenannte „Voll- und Halbkrafteinsteller“, ein Ausschalter, der von der Kolbenstange der Luftpumpe aus gesteuert wird und einen im Stromkreise des Hilfsmotors liegenden Widerstand kurzschließen. bzw. einschalten kann. Durch Verstellen einer Stellmutter ist es möglich, die Betätigung des Ausschalters auf eine bestimmte Stellung des Anlassers zu verlegen.

ad IV und V) Fernsteuerung und Stellhemmung sind durch eine synchrone Uebertragung, die ausführlich in meinem Aufsatz über den Wechselschieberantrieb besprochen wurde, in brauchbarer Weise gelöst. Wie aber schon festgestellt, ist eine solche Einrichtung immerhin als Komplikation anzusehen und wir ziehen eine unmittelbare Fernsteuerung evtl. unter Aufgabe der Forderung der Stellhemmung vor.

ad VI) Sieht man von etwaigen Fehlern der Stellhemmung ab, so ist die Genauigkeit der Einstellung des Ruders bei dem System sehr gut. Da in der Ausschaltstellung des Anlassers eine ener-

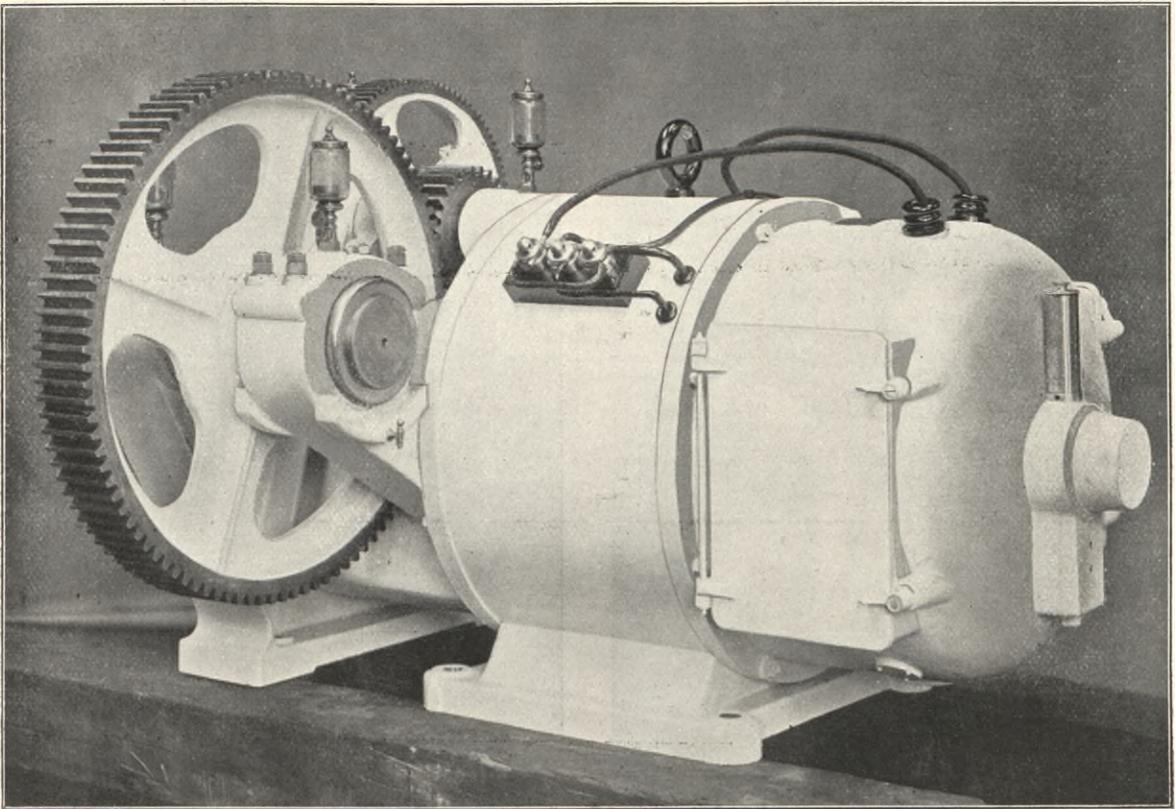


Abb. 20

Das Drehmoment des Hilfsmotors wird durch das Einschalten des Widerstandes verringert und das Gleichgewicht dieses Drehmomentes, gegenüber dem Drehmoment der Spannung der Rückstellfedern tritt z. B. bereits bei einer Verdrehung um  $90^\circ$  des Schleifkontaktes ein. Der Apparat scheint durch die Erwägung entstanden zu sein, daß die wirklich auftretenden Beanspruchungen des Rudermotors von vornherein niemals genau festgestellt werden können. Uebrigens hätte man ja schon in der Nachstellbarkeit der Rückstellfedern des Anlassers ein Mittel in der Hand gehabt, in dem angedeuteten Sinne einzugreifen.

Der vorliegende Gesichtspunkt ist nach vorstehendem von dem System Hoffmann wohl beachtet worden, die angewendeten Mittel können aber nicht als vollkommen bezeichnet werden.

gische elektrische Bremsung des Rudermotors durch Ankerkurzschlußschaltung vorgesehen ist, so brauchen wir nicht zu befürchten, daß infolge des Nachlaufes des Motors nach dem Ausschalten Einstellgenauigkeiten von Bedeutung auftreten.

Zusammenfassung: Das System ist nach dem damaligen Stande der Elektrotechnik als eine wohl-durchdachte und gute Lösung des Problems anzusprechen. Heute wird man es nicht mehr anwenden, da es zu kompliziert ist, um genügend Gewähr für Betriebssicherheit zu bieten und weil es gegen Gesichtspunkt II verstößt.

#### 4. Die Konstruktion Brougham.

Diese Konstruktion ist deshalb sehr interessant, weil dabei der Anlaßapparat eine bisher

noch nicht besprochene Bauart erhielt, die sehr bemerkenswert ist.

Sie wurde ausgeführt von der Siemens Bros & Co., Ltd. London und ist eingebaut an Bord des Turbinendampfers „Manxman“. Das Schiff wurde von „Vickers Sons and Maxim“ für die „Midland Railway Company“ erbaut.

Zur Bewegung des Ruders sind ein Elektromotor und eine Dampfmaschine vorgesehen, welche je nach Wahl auf das Rudergeschirr gekuppelt werden können. Der Wechselschieber der Dampf- rudermaschine wird elektromotorisch bewegt in einer Weise, die in meinem Aufsatz im „Schiffbau“ 1908 über Wechselschieberantriebe besprochen wurde.

verschiebbar, ebenso die beiden Räder mit horizontaler Achse. Die nach oben gehende vertikale Welle ist das Ende der mechanischen Anlaßleitung, die nach links gehende Welle führt zum Wechselschieber der Dampf rudermaschine. Rechts sitzt der Anlasser, unten der Hilfsmotor. Durch geeignete Verschiebung der beiden Kegelräderpaare kann offenbar jede denkbare Kombination aus den beiden Anlaßarten und den beiden Rudermaschinen gebildet werden.

Der Elektromotor zum Bewegen des Ruders wird beim Manövrieren vom Netz aus angelassen. Der in Abb. 25 rechts erkennbare Anlasser steuert nicht direkt den Ankerstrom des Ruder motors, sondern Schwachstrom, der Relais erregt, die den eigentlichen Anlaßvorgang besorgen.

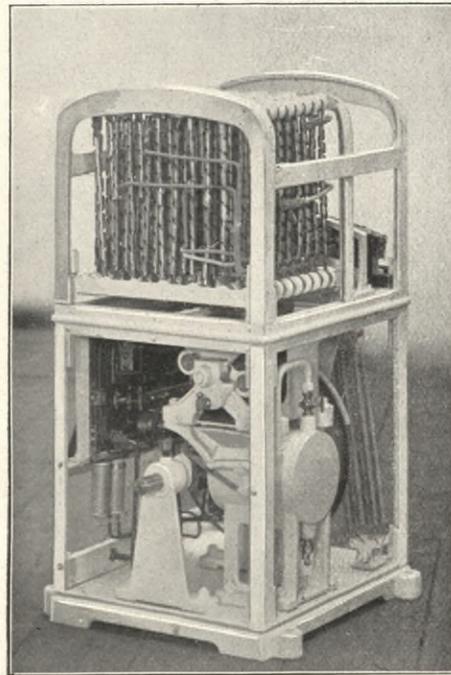
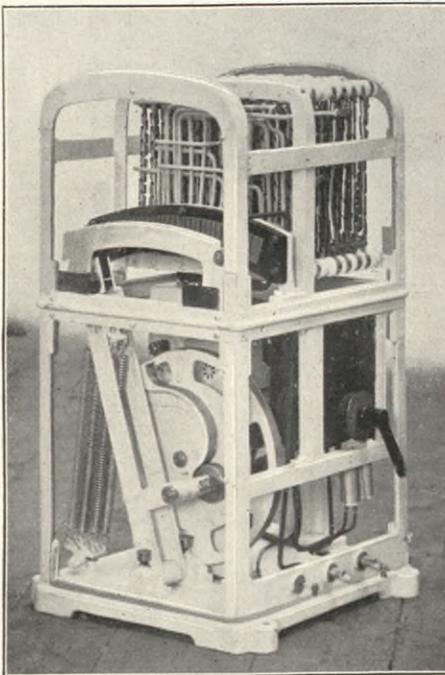


Abb. 21

Abb. 23 zeigt die Anordnung mit allen in Betracht kommenden Einzelheiten, Abb. 24 das Schaltschema des Systems und der Fernsteuerung, Abb. 25 zeigt den Ruder motor, Hilfsmotor und Anlasser auf dem Prüffelde der Erbauer.

Auf der Kommando brücke sind 2 Handsteuer- räder vorgesehen; das eine betätigt eine mecha- nische Anlaßleitung, die entweder den Wechselschieber der Dampfmaschine oder den Anlasser des Elektromotors ver stellt, das andere bedient den Geberapparat des Hilfselektromotors für den Wechselschieber, bezw. den Anlasser des Elektromotors. Um alle möglichen Kombinationen ausführen zu können, sind in Abb. 25 deutlich sichtbar 4 Kegel- räder vorgesehen.

Die beiden Kegelräder mit vertikaler Achse sitzen auf derselben Welle und sind gemeinsam

Eine Kritik des Systems nach den entwickelten Gesichtspunkten liefert folgende Ergebnisse:

ad I) Der Motor ist von ganz geschlossener (gekapselter) Bauart, was nicht zweckmäßig ist und kann im intermittierenden Betriebe bis zu 60 PS. belastet werden. Er ist mit einer elektro- magnetisch betätigten Backenbremse zur Verringerung des Nachlaufes ausgerüstet. Im übrigen nimmt die Bauart keine ausgesprochene Rücksicht auf den entwickelten Gesichtspunkt.

ad II) Das Anlassen des Ruder motors geschieht vom Schiffsnetz aus mittels Vorschalt- widerständen und Starkstromkontaktapparaten, eine Methode, die wir, wie unter II ausführlich dar- gelegt, unbedingt verwerfen müssen. Die Kon- struktion sieht einen elektromagnetischen Antrieb der Kontaktapparate vor, d. h. wir haben es mit

einer sogenannten „Relaissteuerung“ zu tun, wie sie neuerdings sehr häufig im Bahn- und Aufzugsbetriebe angewendet wird. Für jede der vier Widerstandsstufen ist ein Relais vorgesehen. Ab-

motors bewirkt. Die Steuerung der Relais geschieht durch einen in Abb. 27 abgebildeten Schwachstromapparat. Der nach links zeigende Wellenstumpf wird unter Vermittlung des oben beschriebenen

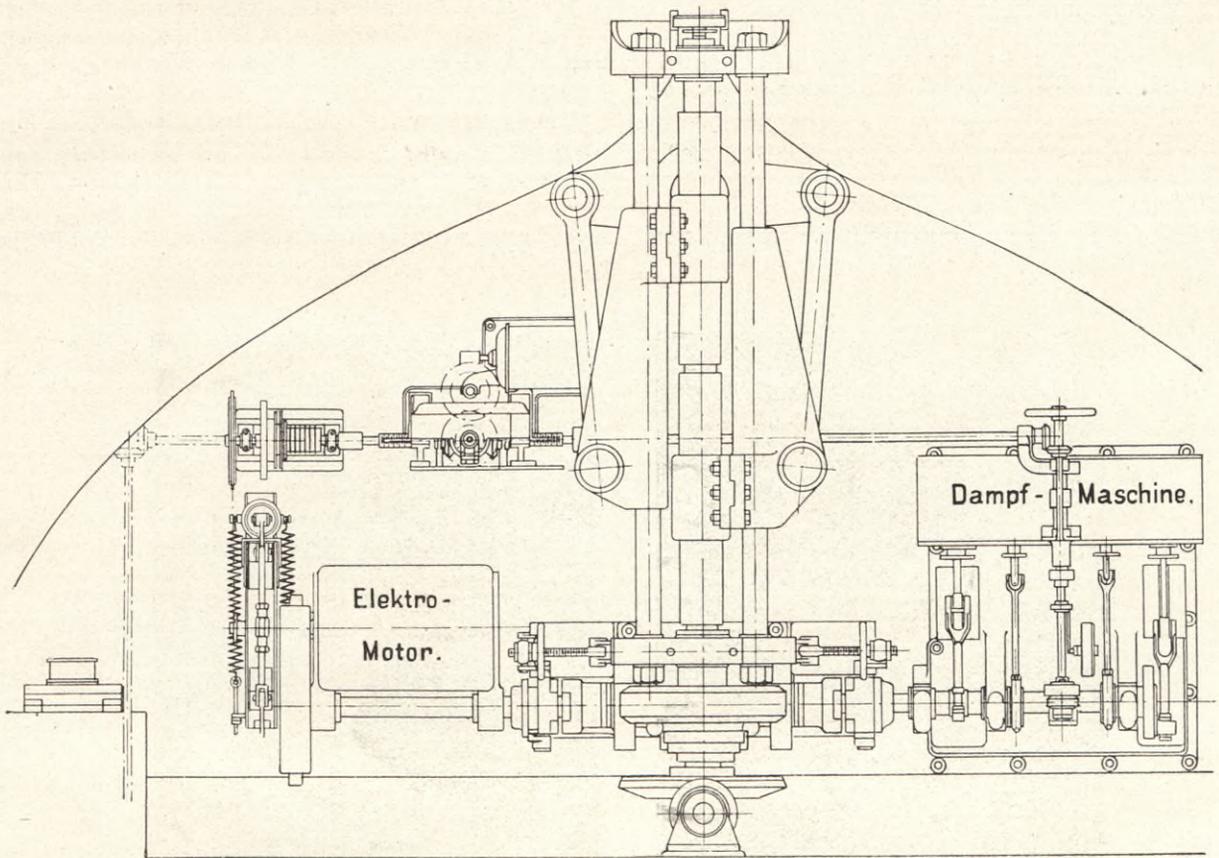


Abb. 23

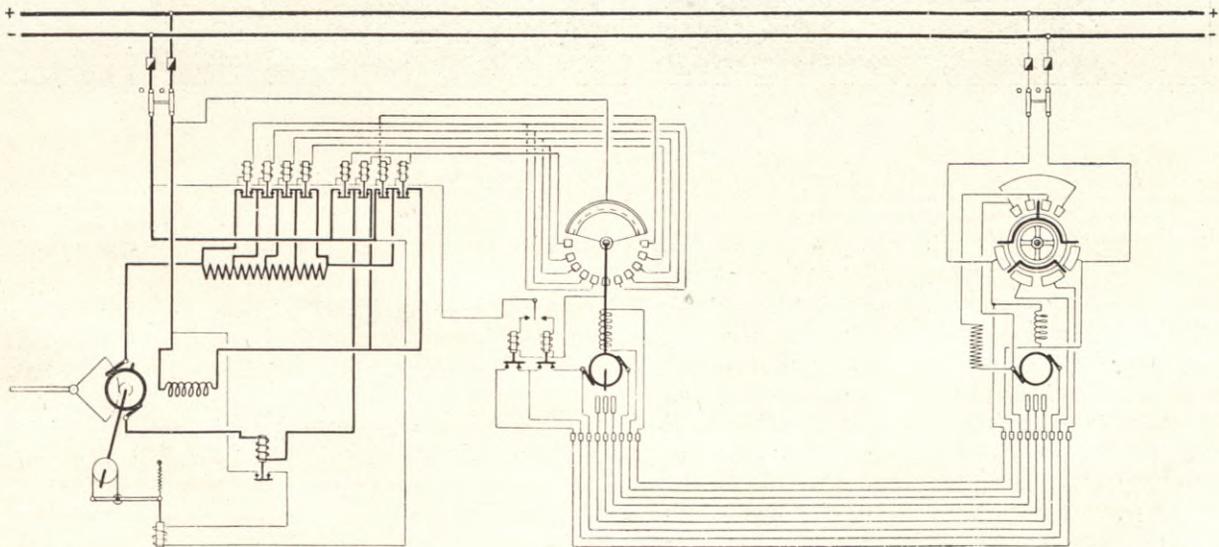


Abb. 24

bild. 26 zeigt die Konstruktion dieser vier magnetisch betätigten Schalter, die mit einem kräftigen Funkenbläser ausgerüstet sind. Durch eine ähnliche Relaisgruppe wird die Umsteuerung des Ruder-

Wechselgetriebes mit vier Kegelrädern wahlweise auf den Hilfsmotor oder auf die mechanische Anlaßleitung gekuppelt. Das rechts sitzende Kettenrad wird vom Vorgelege des Rudermotors aus ange-

trieben. Der Schaltapparat zur Betätigung der Relais wird also vom Hilfsmotor oder von der Anlaßleitung eingeschaltet und vom Rudermotor wieder ausgeschaltet.

Die Anordnung ist zweifellos sehr geschickt und interessant, sie kann uns aber doch nicht befriedigen. Denn in der Zwischenschaltung der Relais erblicken wir eine höchst unerwünschte Komplikation der Apparatur. Der Relaischalter als solcher bedeutet einen Fortschritt gegenüber dem Stufenschalter mit mechanischem Antrieb, weil die

sichtspunkt zweckmäßig ist. Da indessen eine besondere Abhängigkeit der Winkelgeschwindigkeit des Rudermotors vom Drehmoment, bzw. der Ruderlage nicht vorgesehen ist, so werden die Beanspruchungen des Netzes bei großer Schiffsgeschwindigkeit und großem Steuerwinkel unnötig hoch, und wir müssen das System auch von diesem Gesichtspunkte aus als verbesserungsbedürftig bezeichnen.

ad IV) und V) Die Gesichtspunkte sind berücksichtigt, da ja die synchrone Uebertragung mit

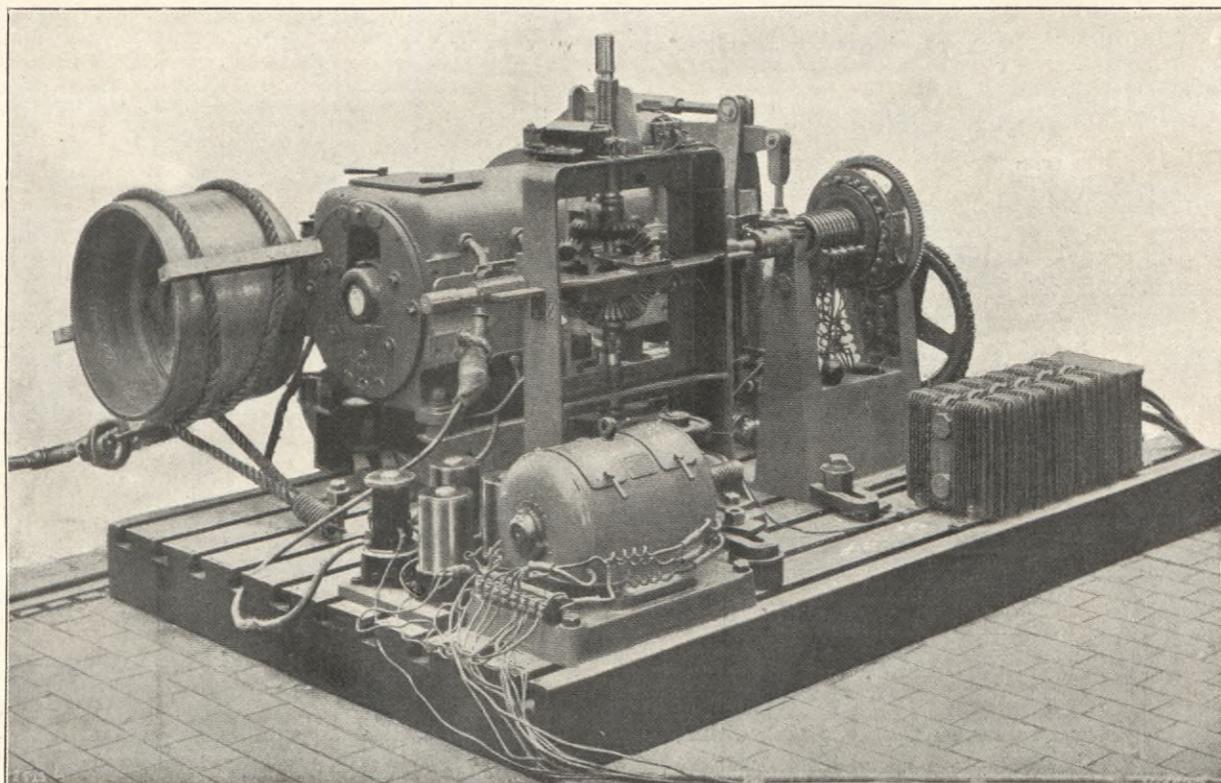


Abb. 25

Schaltbewegung momentan erfolgt, so daß keine Lichtbogen gezogen werden können und weil das Unterbrechungsfeuer durch die Blaswirkung nur ganz kurze Zeit wirkt. Aber selbst diese Lösung kann den grundsätzlichen Nachteil aller Starkstromschaltapparate nicht beseitigen, daß die bei häufiger Betätigung sich summierenden Beschädigungen und der stetig zunehmende Verschleiß schließlich Betriebsstörungen herbeiführen, die gerade bei der Steuereinrichtung vermieden werden müssen, besonders wenn man berücksichtigt, daß auf eine sachkundige, aufmerksame Bedienung an Bord nicht gerechnet werden darf.

Diesem Gesichtspunkte also wird das System nicht in befriedigender Weise gerecht.

ad III) Der Rudermotor wurde mit Serienwicklung versehen, was in bezug auf diesen Ge-

Hilfsmotor prinzipiell die als notwendig erkannten Bedingungen erfüllt.

ad VI) In bezug auf diesen Gesichtspunkt läßt sich gegen das System nichts einwenden, sofern man Zweifel in bezug auf die Zwangsläufigkeit der Stellhemmung nicht hegt.

Zusammenfassung: Das System ist geschickt erdacht und zeigt bemerkenswerte Einzelheiten. Es ist aber zu kompliziert und verstößt gegen den Gesichtspunkt II, so daß wir es heute nicht mehr als vorbildlich bezeichnen können.

##### 5. Die Konstruktion der Compagnie générale d'électricité de Creil.

Diese Konstruktion liefert uns zwar keine wesentlichen neuen Momente für unsere Betrachtungen, ich glaube sie aber besprechen zu sollen, weil

sie zeigt, zu welchen Komplikationen man geführt wurde, weil man offenbar die Vorteile der Spannungsregulierung damals noch nicht genügend erkannte.

Die Konstruktion wurde ausgeführt von der Compagnie générale d'électricité de Creil unter Mitwirkung der E. A. G. vorm. Schuckert & Cie., Nürnberg, auf den portugiesischen Kanonenbooten „Tejo“ und „Patria“.

Das Gesamtschaltschema der Konstruktion ist dargestellt in Abb. 28.

Der Rudermotor wird bei einer Netzspannung von nur 80 Volt mit Hilfe einer synchronen Fernsteuerung vom Netz aus angelassen; die Anlaßvorrichtung mit Hilfsmotor ist in Abb. 29 abgebildet.

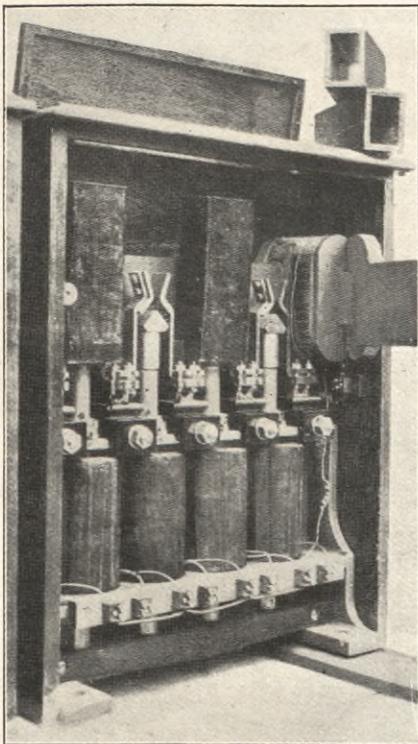


Abb. 26

mit Funkenbläser besorgt, so daß wenigstens die empfindlichste Stelle des Apparates einige Gewähr für betriebssicheres Funktionieren bietet. Aber auch dieses Detail bedarf einer gelegentlichen Revision und einer Nachstellung der Kohlekontakte.

ad III) Abgesehen davon, daß der Rudermotor Kompoundwicklung besitzt, so daß also zum Teil die Vorzüge des Hauptstrommotors benützt werden, ist der Gesichtspunkt nicht besonders berücksichtigt.

ad IV) und V) Diese Gesichtspunkte sind erfüllt, da eine synchrone Uebertragung, und zwar nach Art des elektromotorischen Wechselschieberantriebes auf dem russischen Kreuzer „Bogatyr“ vorgesehen ist.

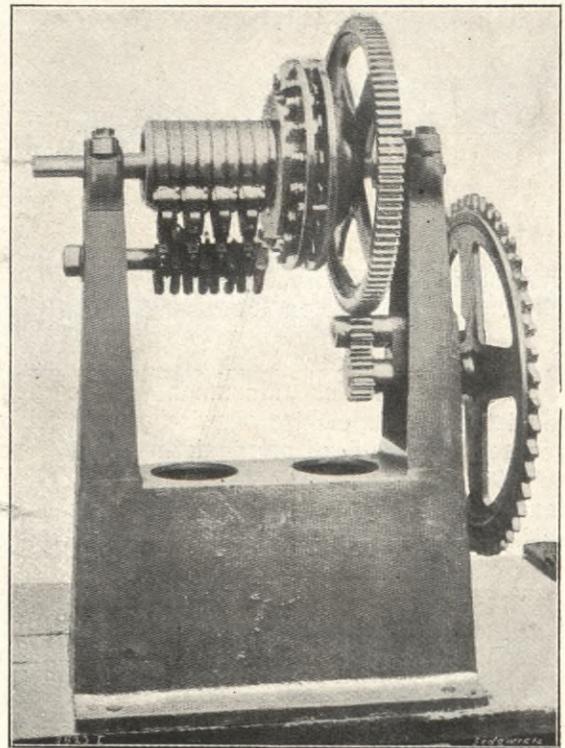


Abb. 27

Die Fernsteuerung ist nach dem gleichen Prinzip durchgeführt, nach dem die E. A. G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg, den Wechselschieberantrieb der Dampftrudermaschine auf dem russischen Kreuzer „Bogatyr“ ausführte, und das ich in meinem Aufsätze über den elektrischen Schieberantrieb besprochen habe.

ad I) Auf diesen Gesichtspunkt nimmt das System keine Rücksicht. Verwendet wurde ein normaler, zweipoliger Motor, offener Bauart, von 20 PS. und 900 Touren pro Minute.

ad II) In bezug auf diesen Gesichtspunkt muß das System entschieden verurteilt werden. Denn die Starkstromkontakte des Anlaßapparates sind Konstruktionselemente, die beim Steuerbetriebe nicht verwendet werden dürfen. Die Stromunterbrechung in der Ausschaltstellung des Anlasses wird bei dem System durch einen Kohleschalter

ad VI) In bezug auf diesen Gesichtspunkt läßt sich gegen das System nichts einwenden.

Zusammenfassung: Das System ist nicht zweckmäßig, da es die meisten Gesichtspunkte nicht beachtet.

#### 6. Die Konstruktion der Siemens Brothers Dynamo Works Stafford.

Diese Konstruktion ist verhältnismäßig jung. Sie wurde im Jahre 1907 auf dem russischen Kreuzer „Rurik“, der bei Vickers Sons and Maxim in Glasgow erbaut wurde, eingebaut.

Der Rudermotor ist ein Serienmotor und wird von einem Motorgenerator in Gegenschaltung angelassen. Das prinzipielle Schaltschema ist unter Weglassung unwesentlicher Einzelheiten in der Abb. 30 dargestellt.

Die Fernsteuerung geschieht in derselben Weise wie der elektromotorische Antrieb des

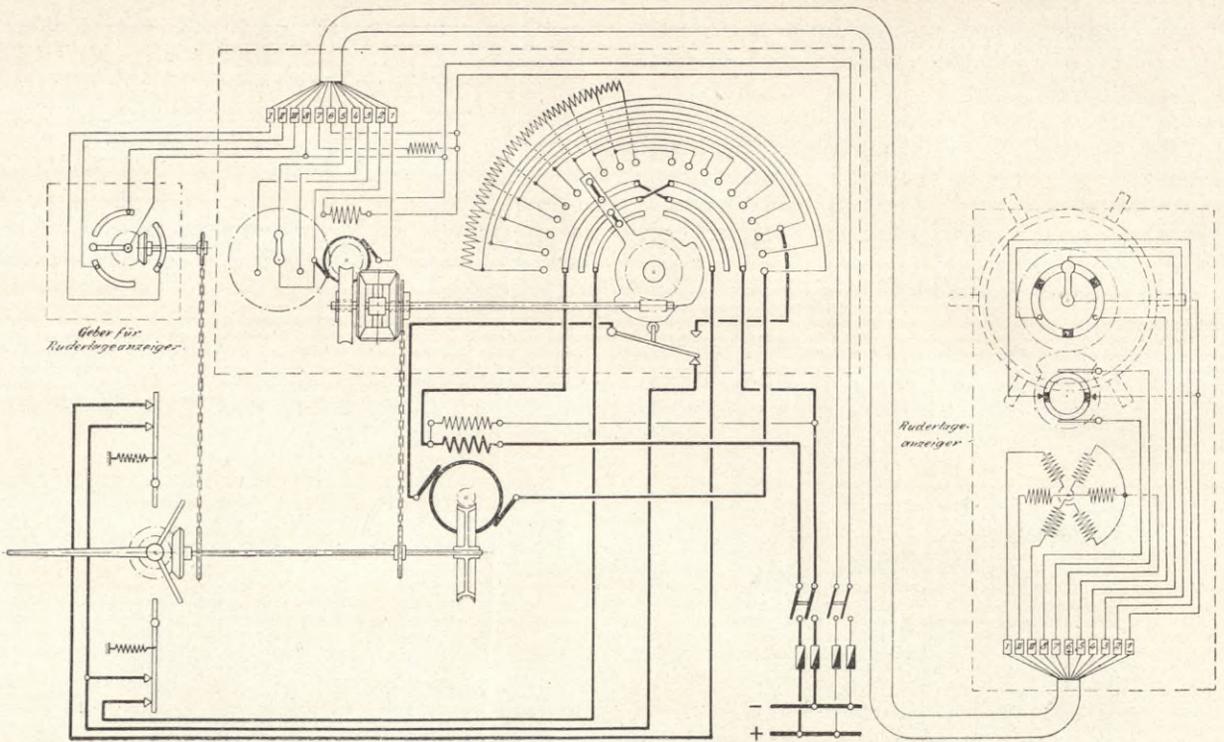


Abb. 28

Wechselschiebers der Dampfrudermaschine auf dem Turbinendampfer „Manxman“ (siehe meinen Aufsatz über den elektromotorischen Antrieb des Wechselschiebers der Dampfrudermaschine „Schiffbau“ 1908). Die allgemeine Anordnung des „Rurik“-Steuers ist in Abb. 31 dargestellt. Wir sehen, daß der Motorgenerator im Ruderraum Aufstellung ge-

funden hat, und daß außer dem elektrischen Antrieb auch noch eine Dampfmaschine vorgesehen ist, so daß wahlweise mit der einen oder der anderen Antriebsart gearbeitet werden kann.

Eine Betrachtung des Systems nach den aufgestellten Gesichtspunkten liefert folgendes Ergebnis:

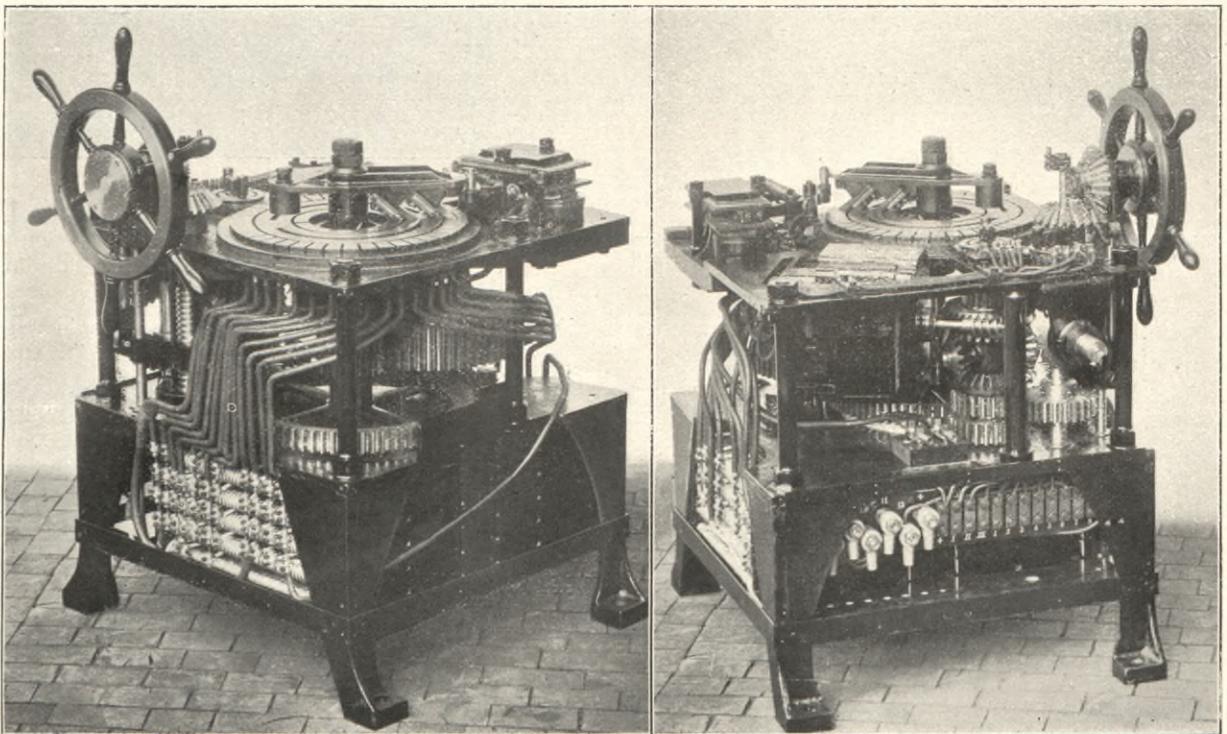


Abb. 29

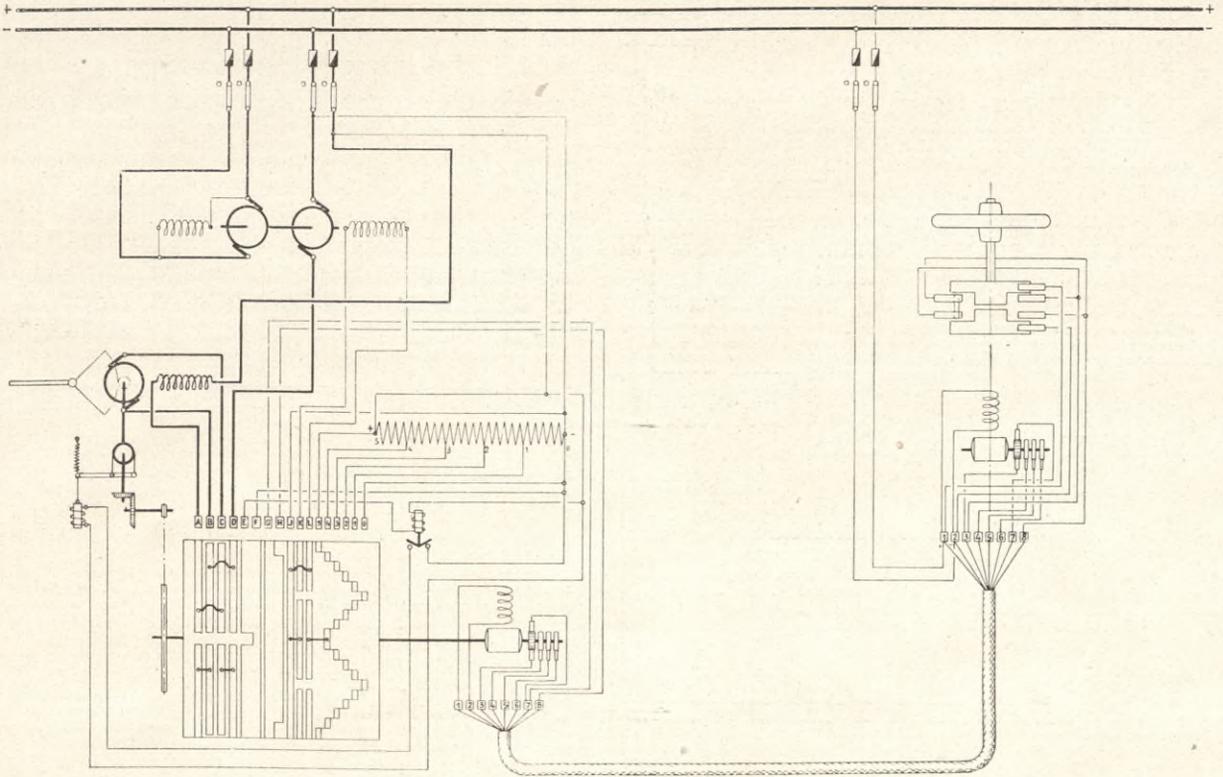


Abb. 30

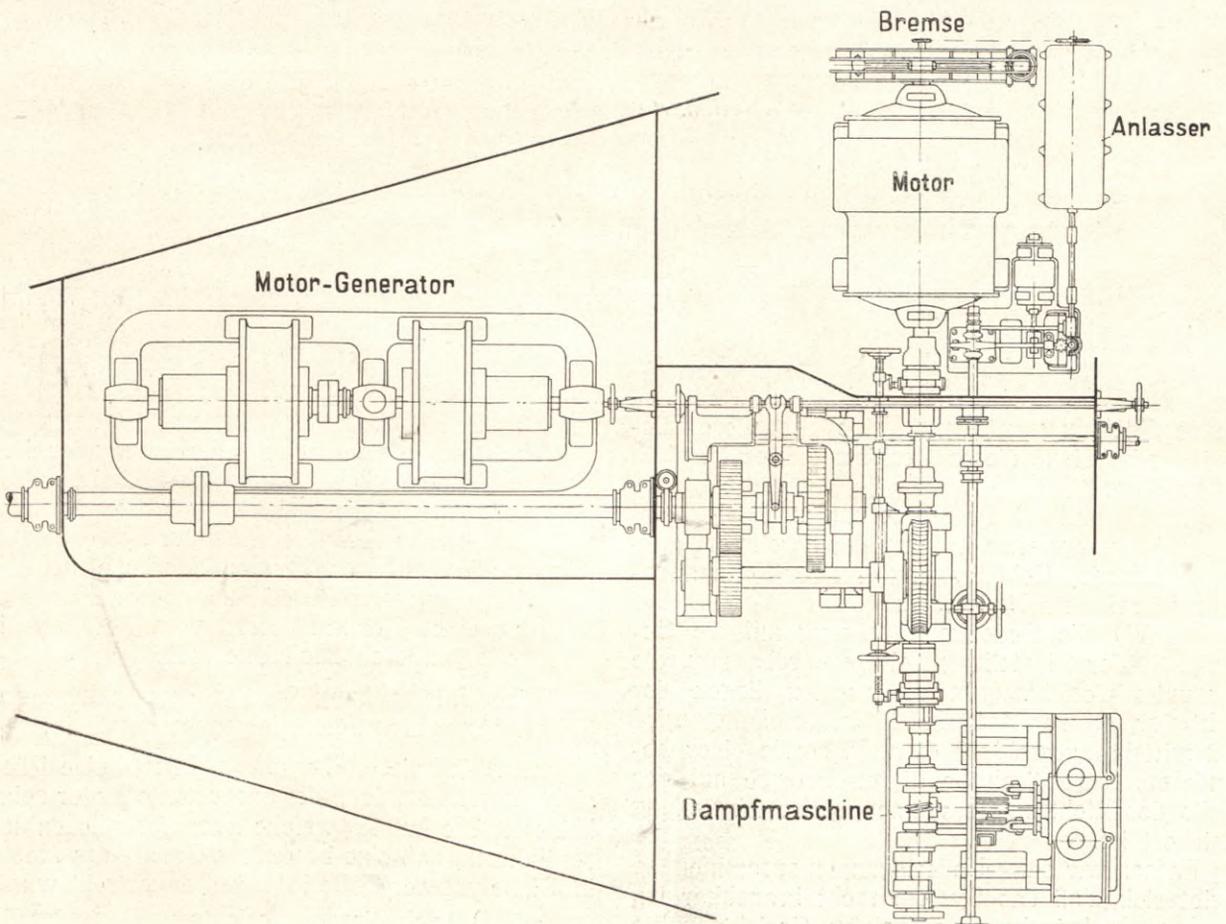


Abb. 31

ad I) Eine besondere Rücksicht auf die Bauart des Motors im Sinne unseres Gedankenganges ist nicht genommen worden.

ad II) Auf diesen Gesichtspunkt ist wohl dadurch Rücksicht genommen worden, daß der Anlaßvorgang sich mittels Spannungsregulierung in der Form der Gegenschaltung vollzieht. Da aber ein Hauptstrommotor vorgesehen ist und weil bei Gegenschaltung überhaupt grundsätzlich im Hauptstrom umgeschaltet werden muß, sind Starkstromkontakte nicht vermieden, was wir als Nachteil des Systems bezeichnen müssen.

ad III) Da der Motor Serienschaltung besitzt, so wird dem Gesichtspunkte bis zu einem gewissen

### 7. Die Konstruktion der Societa nazionale delle officine di Savigliano

Die italienische Kriegsmarine bringt neuerdings dem elektrischen Antriebe des Schiffssteuers großes Interesse entgegen. Es ist deshalb ganz interessant, eine italienische Konstruktion zu besprechen, welche offenbar, angeregt durch dieses Interesse, entstanden ist und auf der Mailänder Ausstellung 1906 vorgeführt wurde. Sie stammt von der Societa nazionale delle officine di Savigliano in Turin. Das ausgestellte Objekt war das Modell im Maßstabe 1:2,5 eines Ruders für ein Panzerschiff der Type „Vittorio Emanuele“.

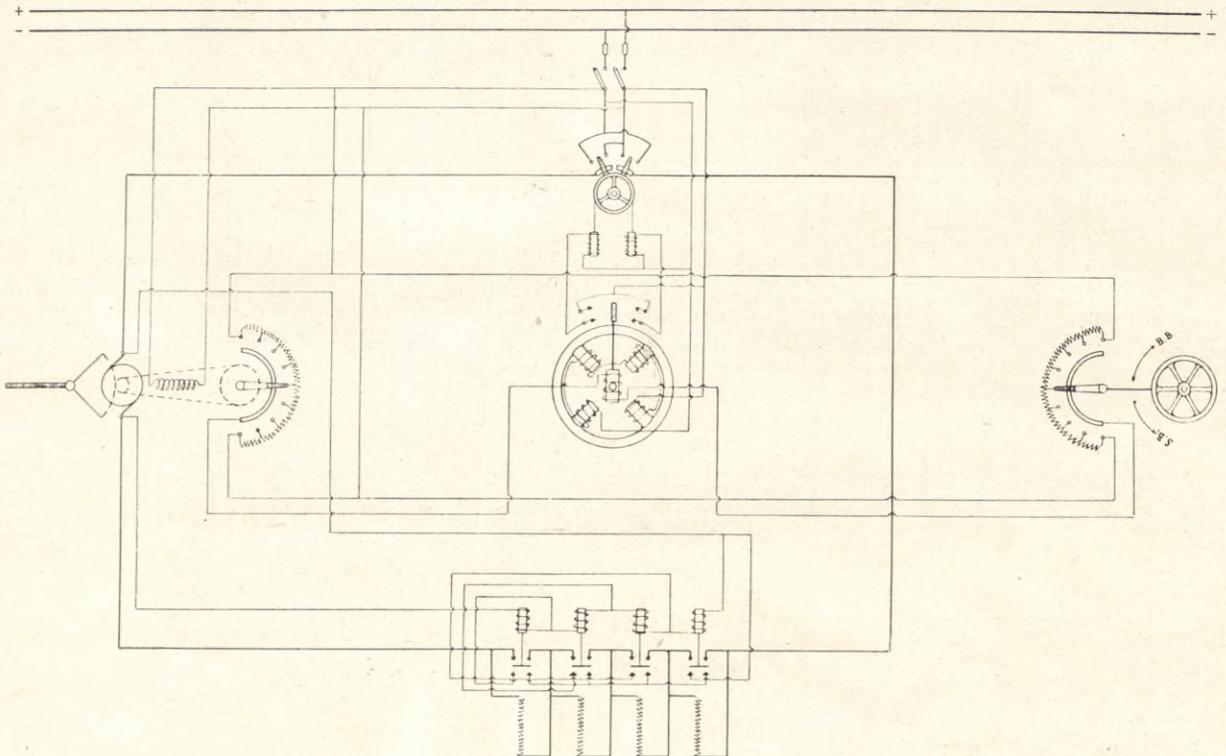


Abb. 32

Grade Rechnung getragen. Eine besondere Einrichtung im Sinne dieses Gesichtspunktes ist nicht vorgesehen.

ad IV und V) Fernsteuerung und Stelhemmung sind vorgesehen in Form der bereits erwähnten synchronen Uebertragung von der Kommandobrücke nach dem Ruderraum.

ad VI) Die Bedenken in bezug auf die Genauigkeit der Einstellung bei Gegenschaltung, die wir unter Gesichtspunkt VI äußerten, liegen hier nicht vor, da der Ankerstrom ausgeschaltet wird und mittels Kurzschlußbremsung, sowie einer besonderen, magnetisch betätigten Bremse auf der Welle des Elektromotors eine präzise Einstellung gesichert ist.

Fassen wir diese Ueberlegungen zusammen, so ergibt sich, daß das System recht brauchbar ist, wenn es auch in bezug auf einige Gesichtspunkte verbesserungsbedürftig erscheint.

Das Schaltschema des Systems ist dargestellt in Abb. 32. Es bedient sich zur Erreichung der Stelhemmung einer Wheatstonebrückenschaltung, wobei in der Ausgleichsleitung ein polarisiertes Relais liegt, das je nach dem Drehsinne der Bewegung des Steuerrades auf der Kommandobrücke den mit Fremderregung versehenen Rudermotor unter Vermittlung eines Relaisanlassers vom Netz aus in einen oder anderen Drehsinne anläßt.

Eine Untersuchung des Systems nach unseren 6 Gesichtspunkten liefert folgendes Ergebnis:

ad I) Auf diesen Gesichtspunkt ist keine Rücksicht genommen, denn der ausgestellte Motor zeigte keinerlei Merkmale, welche darauf schließen lassen können, daß eine besondere Bauart des Motors im Sinne unserer Ueberlegungen angestrebt wurde.

ad II) Auch diesem Gesichtspunkt genügt das System nicht, da ein Starkstromanlasser gewählt

wurde, dessen einzelne Stufen durch Relais geschaltet werden. Die Steuerung dieser Relais ist übrigens sehr geschickt angeordnet. Die im Schalt-schema angedeuteten vier Relaispulen sind in Serie geschaltet und liegen parallel zum Anker des Ruder motors. Zunächst sind drei Relaiswicklungen kurzgeschlossen. Die vierte bewirkt, wenn die im Motoranker entwickelte gegen elektromotorische Kraft einen gewissen Wert erreicht hat, daß die ihr zugeordnete Widerstandsstufe kurzgeschlossen und gleichzeitig der Kurzschluß der benachbarten Relaiswicklung aufgehoben wird, so daß auch diese zur Wirkung kommen kann und so fort, bis schließlich der gesamte Anlaßwiderstand kurzgeschlossen ist. Der Motor besorgt also gewissermaßen selbst die Betätigung des Anlassers.

Trotz dieser Feinheiten, deren Zweckmäßigkeit an sich nicht bestritten wird, müssen wir diese Einrichtung für den Ruderbetrieb als zu kompliziert und unzuverlässig bezeichnen.

ad III) Auf diesen Gesichtspunkt ist keine Rücksicht genommen, was um so bedenklicher ist, als ein Motor mit Sondererregung vorgesehen wurde.

ad IV), V) und VI) In dieser Beziehung läßt sich gegen das System nichts einwenden.

Zusammenfassung: Das System ist gut erdacht und ist für kleine Verhältnisse wohl auch brauchbar. Für größere Anlagen aber ist es mit Rücksicht

auf die Vernachlässigung des Gesichtspunktes II und auf die Kompliziertheit ungeeignet.

#### Literatur

Middendorf: Die Steuervorrichtungen der Seeschiffe, insbesondere der neueren großen Dampfer. Jahrbuch der schiffbautechnischen Gesellschaft, I. Band, 1900.

Uthemann: Die Verwendung der Elektrizität auf Kriegsschiffen. Marine-Rundschau, X. Jahrgang 1899.

Roedder: Die elektrotechnischen Einrichtungen moderner Schiffe, 1903.

The electro dynamic Company: The electric steering gear.

L'electricista all' Esposizione di Milano: Lo stand delle officine de Savigliano sezione trasporti marittimi, 1906.

Praetorius: Die indikatorische Untersuchung von Rudermaschinen durch Zeitdiagramme. Schiffbau VIII, Jahrgang Nr. 7.

Oehlschläger: Die Berechnung von Widerständen, Motoren u. dgl. für aussetzende Betriebe. E. T. Z. 1900, Heft 51.

Stauch: Ueber den elektromotorischen Antrieb des Wechselschiebers der Dampf rudermaschine. Schiffbau 1908.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW





19



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

III 33144  
L. inw.

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305729