

Kritik S. 196

I. ABSCHNITT.

Einleitung.

Der Betrieb der Flaschenzüge, Winden, Krane und Aufzüge.

§ 1.

Zweck, Wirkungsweise und Einteilung der Lasthebemaschinen.

Flaschenzüge, Winden, Krane und Aufzüge sind die wichtigsten Vertreter der sogenannten Lasthebemaschinen oder Lasthebezeuge. Sie dienen zum Heben und Senken von Lasten, oft auch noch zum Versetzen derselben in meist horizontaler Richtung. Der Zweck der hier zu betrachtenden Maschinen ist also der Transport von Lasten in vertikaler oder in vertikaler und horizontaler Richtung innerhalb solcher Grenzen, wie sie durch die Dimensionen der Hebezeuge im Verein mit den örtlichen Verhältnissen, unter denen sie arbeiten, gesteckt sind. Die zu bewegenden Lasten sind entweder feste Körper oder flüssige in festen Behältern. Die Grösse der zu bewegenden Lasten ist sehr verschieden, ebenso die Geschwindigkeit derselben bei dem erwähnten Transport. Während aber früher Lasthebemaschinen vornehmlich nur zum Heben, Senken und Verschieben weniger und schwerer Lasten mit verhältnismässig geringer Geschwindigkeit benutzt wurden, also die Steigerung der Betriebskraft, wie nachher gezeigt, der Hauptzweck dieser Maschinen war, ist jetzt das schnelle Heben und Versetzen zahlreicher Güter, also die Steigerung der Kraftgeschwindigkeit und die damit verbundene Zeitersparnis, eine wichtige Forderung für viele Hebezeuge geworden.

Die Wirkungsweise der Lasthebemaschinen beruht auf dem Satze von der mechanischen Arbeit. Unter dieser versteht man bekanntlich das Produkt aus der die Arbeit erfordernden oder verrichtenden Kraft in deren Weg, soweit derselbe in die Richtung der Kraft fällt. Bei einem Hebezeuge muss die zum Heben der Last aufzuwendende Arbeit von der sogenannten Betriebskraft der Maschine geleistet werden, und es würde, wenn wir uns zunächst eine solche Maschine reibungslos und ohne sonstige eigenen Widerstände denken, für den Beharrungszustand stets die zum Heben der Last erforderliche

Arbeit gleich der von der Betriebskraft zu verrichtenden, also

$$\text{Last} \times \text{Lastweg} = \text{Betriebskraft} \times \text{Kraftweg}$$

sein, sofern Last- und Kraftweg auf dieselbe Zeit bezogen sind. Es kommt nun bei der zu leistenden Arbeit der Betriebskraft nicht auf die Grösse der einzelnen Faktoren, sondern lediglich auf die Grösse des Produktes selbst an. Dieses lässt sich aber in jedem Falle auf sehr verschiedene Weise erzielen. Scheiden wir den Fall aus, dass die Betriebskraft gleich der Last und also auch die von beiden durchlaufenen Wege einander gleich sind, so ergeben sich zwei Möglichkeiten:

1. Die Betriebskraft ist kleiner als die Last, und dann muss, soll die obige Gleichung erfüllt sein, auch der Kraftweg in demselben Verhältnis grösser als der gleichzeitig zurückgelegte Lastweg sein, und
2. Die Betriebskraft ist grösser als die Last, und dann kann gemäss der obigen Bedingung auch der Kraftweg entsprechend kleiner als der gleichzeitige Lasthub sein.

Beide Möglichkeiten finden, je nach dem schon oben angedeuteten Zweck, dem das Hebezeug dienen soll, ihre Verwendung. In dem einen Falle gestattet die Maschine das Heben schwerer Lasten durch kleinere Betriebskräfte, wobei diese einen im Verhältnis von Last und Kraft grösseren Weg zurücklegen müssen als jene. In dem anderen Falle wird durch Umsetzung des kleineren Kraftweges in den grösseren Lasthub die Last entsprechend schneller gehoben, wobei aber die langsamer wirkende Betriebskraft wieder in dem Verhältnis beider Wege grösser als die Last sein muss.

Bei der wirklichen Maschine verschiebt sich die obige Beziehung in der Weise, dass die Betriebskraft nicht nur die Arbeit für das Heben der Last, sondern auch diejenige zur Überwindung der Reibungs- und sonstigen Nebenwiderstände in und an der Maschine zu leisten hat. Die Betriebskraft der wirklichen Maschine

fällt deshalb um einen von den Nebenhindernissen und deren Wegen abhängigen Betrag grösser aus als die Betriebskraft der reibungslos gedachten Maschine. Beim Bewegen der Last in horizontaler Richtung hat die Betriebskraft nur die Arbeit der Reibungswiderstände zu überwinden, welche sich dieser Bewegung in und am Gestell des Hebezeuges entgegensetzen, beim Senken der Last wirkt die letztere mit treibend und in gleichem Sinne mit der Betriebskraft, falls hierzu eine solche erforderlich ist.

Die erwähnte Umsetzung zwischen Betriebskraft und Last bzw. deren Wegen oder Geschwindigkeiten wird in den meisten Lasthebemaschinen, soweit hierzu nicht die Hebelarme der Betriebskraft und der Last beitragen, durch besondere Getriebe erreicht. Bei den hier zu betrachtenden Hebezeugen kommen als solche hauptsächlich Rollen-, Räder-, Schraubenge triebe und die hydraulische Presse zur Verwendung; sie finden im zweiten Abschnitte dieses Buches eine nähere Behandlung.

Für die Einteilung der Lasthebemaschinen können sehr verschiedene Rücksichten geltend gemacht werden. Wir beschränken uns hier auf die beiden folgenden Einteilungen, von denen die eine im zweiten Abschnitte bei der Behandlung der Getriebe, die andere in den drei letzten Abschnitten bei der Betrachtung der ganzen Hebezeuge berücksichtigt ist. Wir unterscheiden zunächst Lasthebemaschinen mit rotierender und solche ohne rotierende Kraftübertragung. Bei jenen, die man gewöhnlich als Windwerke bezeichnet, wird die an einer Kurbel oder einem Hasepelrade wirksame Betriebskraft als Drehmoment eingeleitet und als solches an die Lastwelle übertragen; die Last wird hier, wie der Sprachgebrauch schon sagt, hochgewunden. Bei der zweiten Gruppe von Hebezeugen, zu denen vornehmlich die Rollenzüge mit und ohne Druckkolben gehören, treten drehende Momente, ausgenommen diejenigen zur Überwindung der Rollenreibung, überhaupt nicht auf; die als Zug- oder Druckkraft wirksame Betriebskraft wird als solche im Hebezeug weitergeleitet, und die Last, wie ebenfalls der Sprachgebrauch schon sagt, hochgezogen oder hochgehoben. Weiter unterscheiden wir einfache Hebezeuge und Hebezeuge mit besonderem Gestell zur Führung der Last. Zu den ersteren rechnen wir die einfachen Flaschenzüge und Winden, zu den letzteren die Krane und Aufzüge.

§ 2.

Der Betrieb der Lasthebemaschinen im allgemeinen.

Die Lasthebemaschinen werden durch Muskel- oder Elementarkraft betrieben. Als Muskelkraft kommt nur die des Menschen, als Elementarkraft vorwiegend die Spannkraft des Wasserdampfes, seltener die zum Betriebe von Gas-, Petroleum- oder Benzinmotoren dienenden Gase in Betracht. Die Elementarkraft kann dabei direkt oder indirekt zum Antrieb der Hebezeuge Verwendung finden. Bei direkter Verwendung bildet die Kraftmaschine, welche die erforderliche Arbeit leistet und also in einer

Dampfmaschine oder einem der erwähnten Motoren bestehen kann, einen Teil der Lasthebemaschine oder ist mit dieser unmittelbar gekuppelt; die Kraftmaschine ist dann zugleich der eigentliche Motor des Hebezeuges. Bei indirekter Verwendung dagegen wird die von der Kraftmaschine geleistete Arbeit entweder durch eine mechanische Transmission an das Hebezeug übertragen, oder sie wird in elektrische Energie, Wasser- oder Luftdruck umgesetzt und in dieser Form zum Hebezeug geleitet, das dann noch einen besonderen Motor besitzt. Bei direktem Dampftrieb kann ferner der Wasserdampf in einem Kessel, der auf dem Hebezeug bzw. dessen Gestell steht, oder aber in einer von diesem getrennten, meistens auch noch anderen Zwecken dienenden Kesselanlage erzeugt werden. Bei indirektem Dampftrieb findet stets das letztgenannte statt, und es dienen dann, namentlich bei grösseren Anlagen, besondere Kraftzentralen zur Erzeugung und Umformung der Dampfkraft.

Es lassen sich somit die folgenden Betriebsarten der Lasthebemaschinen unterscheiden:

1. Handbetrieb durch die Muskelkraft des Menschen.
2. Direkter Elementarkraftbetrieb durch einen Dampf-, Gas-, Petroleum- oder Benzinmotor, der ein Teil des Hebezeuges bildet oder mit diesem unmittelbar gekuppelt ist.
3. Transmissionsbetrieb durch eine mechanische Transmission, die von der Kraftmaschine angetrieben wird.
4. Betrieb durch Pressluft, welche, von der Kraftmaschine unter Druck gesetzt, den Kolben des Hebezeugmotors bewegt.
5. Betrieb durch Druckwasser, das in gleicher Weise unter Druck gebracht und zum Antrieb verwendet wird.
6. Elektrischer Betrieb, bei welchem die Arbeit der Kraftmaschine zur Stromerzeugung in einem Dynamo und die so gewonnene elektrische Energie zum Antriebe eines Elektromotors benutzt wird, der das Hebezeug treibt.

Für uns handelt es sich nun hier darum, den Betrieb der Lasthebemaschinen zunächst im allgemeinen zu verfolgen und vor allen Dingen die Anforderungen kennen zu lernen, welche an ihn gestellt werden; auf Grund dieser Anforderungen sollen dann in den späteren Paragraphen die Vor- und Nachteile der einzelnen Betriebsarten, sowie die Gebiete und Fälle festgesetzt werden, für welche jede derselben sich am besten eignet. Wir beschränken uns bei der nachstehenden allgemeinen Betrachtung aber auf den Betrieb durch Elementarkraft, also auf den motorischen Antrieb, da der Handbetrieb, wie im nächsten Paragraphen gezeigt ist, für die grossen Geschwindigkeiten und Lasten moderner Hebezeuge wenig geeignet ist.

Bei jedem Hebezeugbetrieb, namentlich aber wenn dieser eine grössere Anlage betrifft, bildet zunächst die möglichste Beschränkung der gesamten Betriebskosten, also die Erzielung eines genügend hohen wirtschaftlichen Wirkungsgrades, eine der wichtigsten

Anforderungen. Die genannten Kosten setzen sich bekanntlich zusammen aus der Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitales, aus den eigentlichen Herstellungskosten der zu entwickelnden Energie, sowie aus den Wartungs- und Reparaturkosten, und es sind somit Billigkeit der Anlage, möglichste Vermeidung aller Verluste bei der Erzeugung (Dampfkessel und Dampfmaschine), Umformung (Kompressor, Druckpumpe, Dynamo, Akkumulator) und Fortleitung (Rohrleitungen, Transmission, Hebezeug) der Energie bis zu der zu bewegenden Last hin, sowie Einschränkung der Reparaturen, Einfachheit in der Bedienung u. s. w. für den heutigen Hebezeugbetrieb ebenso wichtige und unerlässliche Bedingungen wie für jeden anderen Betrieb. Die Eigenart des Hebezeugbetriebes stellt aber noch besondere Anforderungen, denen zur Erzielung wirtschaftlich günstiger Wirkungsgrade genügt werden muss.

Von anderen Betrieben unterscheidet sich nämlich derjenige der Lasthebemaschinen in mancher Hinsicht. Zunächst erleidet er äusserst häufig Unterbrechungen, er ist, wie man zu sagen pflegt, ein stark intermittierender; dann ist die eigentliche Arbeitsperiode, während welcher die Last bewegt wird, immer nur von sehr kurzer Dauer; weiter unterliegt die Last und deren Geschwindigkeit während der verschiedenen Arbeitsperioden starken Schwankungen, und endlich ist in vielen Fällen zum Senken der Last keine Arbeit aufzuwenden, sondern die Last giebt vielmehr einen Überschuss an Arbeit her.

Verfolgen wir diese einzelnen Punkte hinsichtlich ihres Einflusses auf den Wirkungsgrad eines solchen Betriebes, so erkennen wir zunächst leicht, dass es wegen der häufigen Unterbrechungen günstig ist, wenn die Leerlaufarbeit des eigentlichen Hebezeugmotors und etwaiger Zwischenteile nicht nur während der Arbeitspausen, sondern auch während des Anlaufes des Motors möglichst beschränkt wird, wenn also im günstigsten Falle der Motor während der Pausen vollständig still steht und bei Beginn der Arbeitsperiode mit voller Last anläuft. Ungünstiger ist es stets, wenn der Motor seinen Lauf leer beginnen muss und erst nach Erreichung seiner vollen Geschwindigkeit durch Einschaltung einer Kupplung zur Einwirkung auf die Last gebracht werden kann. Entsprechendes gilt für die mechanische Transmission eines Hebezeuges mit Transmissionsbetrieb.

Schwieriger gestaltet sich die Einsicht in die Verhältnisse, wie sie sich aus der zweiten Eigentümlichkeit des Hebezeugbetriebes, den kurzen Arbeitsperioden, ergeben. Jede der letzteren lässt, sofern nicht die Bewegung der Last zu gering ist oder aus anderen Gründen nicht in der normalen Weise vor sich geht, drei Teile unterscheiden. Die Arbeitsperiode beginnt mit der Einleitung der Bewegung, dem sogenannten Anlauf. Während desselben ist nicht nur die Last zu heben, sondern es sind auch die Massen der Last, des Triebwerks und des mit diesem gekuppelten Motors, die während der vorausgegangenen Arbeitspause zur Ruhe gekommen waren oder eine langsamere Bewegung angenommen hatten, so stark zu beschleunigen, dass sie

eine Geschwindigkeit erreichen, welche bei der Last der gewünschten Hubgeschwindigkeit entspricht. Dann kommt als zweiter Teil der Beharrungszustand, in welchem die Last weiter gehoben, die genannten Massen aber mit der am Ende des Anlaufes erreichten Geschwindigkeit, also ohne Beschleunigung, weiter bewegt werden. Den Schluss der Arbeitsperiode bildet der sogenannte Auslauf, durch den der Lasthub beendet wird und die sich bewegenden Massen wieder allmählich in die Ruhelage gebracht, also von der Geschwindigkeit des Beharrungszustandes bis auf Null verzögert werden. Für das Versetzen der Last gilt Entsprechendes.

Von diesen drei Teilen einer jeden Arbeitsperiode ist nun der An- und Auslauf insofern von Wichtigkeit, als sie bei dem meist nur kleinen Hub der Lasthebemaschinen einen grossen Teil der ganzen Periode ausmachen. Der Anlauf erfordert ferner aus doppeltem Grunde einen beträchtlich grösseren Arbeitsaufwand als der eigentliche Beharrungszustand; einerseits sind nämlich bei jenem die erwähnten Massen zu beschleunigen, während sie bei diesem nur mit konstanter Geschwindigkeit weiter zu bewegen sind, andererseits sind die Arbeitsverluste, welche durch Stösse, Gleiten u. s. w. während des Anlaufes entstehen, in der Regel ziemlich bedeutend. Um den Mehraufwand an Arbeit, soweit er zunächst durch die erforderliche Beschleunigung der Massen beim Anlauf verursacht wird, möglichst zu beschränken, wird man, da dieser Arbeitsaufwand bekanntlich der Masse in der ersten, der erreichten Endgeschwindigkeit in der zweiten Potenz proportional ist, nicht nur darauf bedacht sein müssen, die Massen der Triebwerkteile, wie Räder, Bremscheiben, Trommeln, Kupplungen u. s. w., bei elektrischem Antriebe auch die des Ankers, thunlichst klein zu halten, sondern auch im letzteren Falle möglichst langsam gehende Elektromotoren zu verwenden suchen; eine niedrige Umdrehungszahl des Elektromotors wirkt dabei teils wegen der geringen Anker- geschwindigkeit, teils wegen der dann erforderlichen kleineren Übersetzung zwischen Motor- und Lastwelle und der hiermit verbundenen Verminderung der Triebwerkmassen in dem gewünschten Sinne günstig. Bezüglich der weiteren Energieverluste, welche beim Anlauf durch Stösse, Gleiten in etwa vorhandenen Reibungskupplungen, Wärmeumsatz in den Elektromotoren u. s. w. veranlasst werden, ist zu bemerken, dass diese Verluste unter sonst gleichen Verhältnissen um so grösser ausfallen, je schneller die zur Beschleunigung der Massen nötige Arbeit eingeleitet werden muss, je plötzlicher also die Massen zu beschleunigen sind. Dies aber ist um so mehr der Fall, je kürzer die Anlaufzeit und je grösser die zu erreichende Endgeschwindigkeit ist. Mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebes darf deshalb die Dauer des Anlaufes nicht zu sehr gekürzt und die Geschwindigkeit, mit welcher die Last im Beharrungszustande gehoben oder bewegt wird, nicht zu hoch gewählt werden. Genaue Angaben über die zweckmässige Länge des

Anlaufes¹⁾ und die vorteilhafteste Grösse der Hub- oder Transportgeschwindigkeit können natürlich infolge der Verschiedenheit der einzelnen Fälle und der vielen Faktoren, die dabei in Frage kommen, nicht gemacht werden, zumal grosse Geschwindigkeiten jetzt mit Rücksicht auf die dadurch gesteigerte Leistungsfähigkeit des Hebezeuges erwünscht sind und bei sehr kleinem Hube, wenn es überhaupt zu einem Beharrungszustande kommen soll, der Anlauf kürzer als wünschenswert genommen werden muss. Immerhin wird man aber bei der Wahl beider Grössen die angedeuteten Umstände mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebes nicht ausser acht lassen dürfen.

Der Auslauf einer Arbeitsperiode muss, sollen Energieverluste vermieden werden, so bemessen sein, dass die Last und die mit ihr bewegten Massen nach Abstellen des Motors durch ihre eigene lebendige Kraft im Verein mit der etwa während des Abstellens noch wirksamen, gedrosselten Triebkraft gerade so weit und so lange bewegt werden, dass sie in der gewünschten Endlage der Last zur Ruhe kommen. Wird der Motor zu früh abgestellt und erreicht die Last die beabsichtigte Endlage nicht, so werden Verluste durch den nun erforderlichen neuen kurzen An- und Auslauf entstehen, erfolgt die Abstellung zu spät, so muss, wenn die Last nicht über die verlangte Endlage hinausschnellen soll, die zuviel geleistete Arbeit des Motors vernichtet, abgebremst werden. Bei Aufzügen lässt sich eine richtige Abstellung des Motors durch selbstthätige Vorrichtungen erreichen und so den fraglichen Verlusten vorbeugen, bei Kranen und namentlich Laufkranen dagegen, wo der Hub und die Verschiebung der Last bald grösser, bald kleiner, bald hier, bald dort vorgenommen werden muss, ist das nicht möglich; hier kommt es auf die Geschicklichkeit und Tüchtigkeit des Führers an, der allein durch richtige Schätzung des Auslaufes die genannten Verluste vermeiden kann.

Die dritte Eigentümlichkeit des Hebezeugbetriebes — der häufige Wechsel der Last und deren Geschwindigkeit für die verschiedenen Arbeitsperioden — weist in wirtschaftlicher Beziehung darauf hin, bei Elementarkraftbetrieb dafür zu sorgen, dass der eigentliche Hebezeugmotor auch bei anderer Grösse der Last als der normalen und ebenso bei anderer Geschwindigkeit als der meist gebräuchlichen noch einen genügend hohen Wirkungsgrad er giebt und die Schwankungen im Dampf-, Strom-, Luft- bzw. Druckwasserverbrauch für die Einheit der Hubarbeit bei den verschiedenen Belastungen keine zu grossen sind. Bei grösseren Hebezeuganlagen mit gemeinschaftlicher Kraftzentrale wird es ferner in der genannten Hinsicht vorteilhaft sein, die Zentrale nur für eine mittlere Tagesleistung zu bemessen und zu Zeiten, wo diese mittlere Leistung nicht ganz gebraucht wird,

die überschüssig erzeugte Energie in einem Kraftsammler oder Akkumulator aufzuspeichern, um mit dessen Hilfe dann Anforderungen an die Zentrale zu genügen, welche die mittlere Leistung übersteigen. Verluste durch Leerlaufarbeit der Kraftmaschine während der Betriebspausen einzelner Hebezeuge der Gruppenanlage werden dadurch vermieden.

Die letzte Sonderheit des Hebezeugbetriebes kann zur Erhöhung des wirtschaftlichen Wirkungsgrades der Anlage beitragen, wenn die Arbeit, welche die niedergehende Last abzüglich derjenigen zur Überwindung der Nebenhindernisse leistet, in irgend einer Weise aufgespeichert und später wieder zum Heben oder Versetzen der Last nutzbar gemacht wird. Diesbezügliche Einrichtungen hat man bei elektrisch betriebenen Hafenkranen versucht, aber wieder fallen gelassen, wahrscheinlich weil der erzielte Gewinn die erhöhten Anlagekosten und die verminderte Einfachheit in der Einrichtung und Bedienung nicht aufhob. Jetzt verzichtet man allgemein auf eine Nutzbarmachung der genannten Arbeit und bremst dieselbe ab, damit die Last mit möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit heruntergeht, setzt sie also in Wärme und Verschleissarbeit um; für den eigentlichen Zweck der Hebezeuge geht die Arbeit dann verloren.

Kehren wir jetzt zu den Anforderungen zurück, welche an den Betrieb der Hebezeuge gestellt werden, so sind zunächst die namentlich in den letzten Jahren gesteigerten Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der Lasthebemaschinen zu erwähnen. Man hat teils durch Wahl immer grösserer Geschwindigkeiten, teils dadurch, dass man leichtere Lasten von einem Hebezeug schneller als schwere bewegen lässt, die zum Heben und Versetzen der Lasten erforderliche Zeit möglichst gekürzt und so die Leistungsfähigkeit dieser Maschinen immer mehr gesteigert. Beide Mittel sind natürlich so lange berechtigt, als der mit der grösseren Geschwindigkeit auch zunehmende Mehraufwand an Beschleunigungsarbeit während des Anlaufes und der somit verminderte Wirkungsgrad der Anlage innerhalb zulässiger Grenzen bleiben. Auch ist zu beachten, dass bei den meisten Hebezeugen die Dauer der eigentlichen Arbeitsperioden im Verhältnis zu der Zeit, während welcher die Lasten an- und abgehoben werden, nur gering ist und dass deshalb Mittel, welche diese letztgenannte Zeit kürzen, vorzugsweise dazu berufen erscheinen, die Leistungsfähigkeit der Hebeemaschinen zu erhöhen. Immerhin bildet aber auch schon jetzt die Forderung, dass leichtere Lasten, und namentlich der leere Haken, innerhalb der durch den Anlauf gesteckten Grenzen schneller gehoben und versetzt werden, eine wichtige und unerlässliche Bedingung für die meisten Hebezeuge. Dabei soll die Änderung der Geschwindigkeit für die verschiedenen Lasten in leichtester Weise bewirkt werden können, womöglich selbstthätig durch den Motor erfolgen.

Eine weitere Forderung, der die meisten Hebezeuge, namentlich solche mit motorischem Antrieb, genügen sollen, ist ruhiges Arbeiten selbst bei den grössten Geschwindigkeiten und Lasten; insbesondere ist stoss-

1) Bei elektrischen Mehrmotorenkranen findet man gewöhnlich einen Anlauf von 2 Sekunden Dauer.

freies Anheben und Stillsetzen der Last für viele Betriebe ein unbedingtes Erfordernis, wie z. B. für Giessereien, wo zudem die Last (Modelle, Formkästen) genau senkrecht angehoben werden muss. Ein ruhiges Arbeiten ist nur bei geeigneten Lastorganen (Drahtseilen), sorgfältig bearbeiteten, montierten und geschmierten Triebwerken, geräuschlos und stossfrei arbeitenden Motoren zu erzielen, das sanfte Anheben und Stillsetzen der Last nur bei feinsten Regulierbarkeit der Lastgeschwindigkeit durch den Motor und die Bremsvorrichtung, bei Triebwerken, die Federungen und Schwingungen während des An- und Auslaufes ausschliessen, u. s. w. zu erreichen. Hebezeuge, die wie die Krane nicht blos zum Heben, sondern auch zum Versetzen von Lasten dienen, müssen ferner eine genügende Manöverierfähigkeit besitzen, d. h. sie müssen jede Vereinigung der vertikalen und horizontalen Lastbewegung, wie z. B. schnelles Heben und langsames Fahren oder langsames Heben und rasches Fahren u. s. w., zulassen. Auch müssen sie, um die Last in jeder Höhenlage genau einstellen zu können, die Zurücklegung der kleinsten Wegestrecken gestatten. Beides ist nur wieder bei hinreichender Regulierfähigkeit der Geschwindigkeit, genügender Empfindlichkeit und Vielseitigkeit der Steuerung ausführbar.

Endlich ist die Sicherheit des Betriebes bei Hebezeugen in vollstem Masse zu wahren. Es sind deshalb nicht nur die Arbeiter vor rotierenden und vorspringenden Teilen, Zahnrädern, Leitungen u. s. w. zu schützen, sondern es sind auch die einzelnen Teile dieser Maschinen so stark zu bemessen, dass sie eine genügende Sicherheit gegen Bruch bieten, wobei nicht unterlassen werden soll, darauf hinzuweisen, dass gerade bei Hebezeugen Umstände auftreten können, die wie die Massenbeschleunigung während des Anlaufes, das ruckweise Hemmen der Lasten beim Senken, fahrlässige Überlastung u. s. w. zeitweise eine höhere Beanspruchung der einzelnen Teile als im normalen Betriebe hervorrufen. Besondere Sicherheitsvorrichtungen verlangen natürlich diejenigen Hebemaschinen, die zum Heben und Senken von Personen dienen.

§ 3.

Der Handbetrieb der Lasthebemaschinen.

Die Muskelkraft des Menschen wird zum Antriebe von Rollenzügen, Räder-, Schrauben- und hydraulischen Winden und den mit solchen Maschinen ausgerüsteten Aufzügen und Kranen benutzt. Sie wirkt bei den Rollenzügen als Zugkraft an dem Lastseil oder der Lastkette, bei den Räderwinden als Drehkraft an der Kurbel, dem Haspelrad oder dem einfachen Hebel. Die Kraft, welche ein Arbeiter in dieser Weise ausüben kann, ist aber nur gering, auch die Zahl der Arbeiter, welche ein Hebezeug betreiben können, beschränkt; bei längere Zeit andauerndem Betriebe tritt zudem bald eine Ermüdung der Arbeiter ein. Dies in Verbindung mit der verhältnismässig geringen Kraftgeschwindigkeit gebracht, mit welcher ein Arbeiter das Zugkraftorgan zu ziehen bzw. Kurbel und Hebel zu drehen vermag, ergibt, dass

Handbetrieb in der Regel nur bei solchen Hebezeugen vorteilhaft Verwendung findet, welche kleine Lasten mit mässiger Geschwindigkeit, grössere aber nur selten und mit sehr geringer Geschwindigkeit zu heben haben; für grosse Lastgeschwindigkeiten ist der Handbetrieb überhaupt nicht geeignet. Bei grösseren Hebezeuganlagen mit Elementarkraftbetrieb an Häfen bedient man sich des Handbetriebes auch vielfach noch zum Senken von Lasten aus dem Speicher in die Eisenbahnwagen.

Der Wirkungsgrad der durch Muskelkraft betriebenen Lasthebemaschinen ist bei starker Übersetzung zwischen Kraft- und gleichzeitigem Lastweg gering. Besonders gilt dies für solche Hebezeuge, welche durch die eigenen Bewegungswiderstände selbsthemmend sind.

Ein stossfreies Anheben und Stillsetzen der Last ist bei aufmerksamer Bedienung des Hebezeuges wohl zu erreichen. Dagegen ist eine Veränderung der Hubgeschwindigkeit entsprechend der Grösse der Last nur bei Räderwinden und auch dort nur in beschränktem Masse möglich; diese Änderung ist, da sie durch Ein- und Ausschaltung von Rädern bewirkt werden muss, je nach der Ausführung des bezüglichen Mechanismus mehr oder weniger leicht zu erreichen. Das Niederlassen der Last mit gleichförmiger Geschwindigkeit ist bei der vorliegenden Betriebsart nur an selbsthemmenden Hebemaschinen, wo hierzu eine besondere Kraftwirkung nötig ist, gesichert. Bei nicht vorhandener Selbsthemmung ist die Regelung der Senkgeschwindigkeit wieder von der Bedienung abhängig und namentlich bei Räderwinden, wo besondere Bremsen das Lastsenken ermöglichen, für den ungeübten und ungeschickten Wärter nur schwierig in stossfreier und gleichförmiger Weise zu erzielen. Dieser Umstand bedingt auch, dass bei den letztgenannten Hebezeugen ein genaues Einstellen der sinkenden Last nicht immer mit der gewünschten Leichtigkeit vor sich geht, während beim Heben und Verschieben der Last beliebig kleine Strecken zurückgelegt werden können. Die Manöverierfähigkeit der von Hand betriebenen Dreh- und Laufkrane endlich ist nur mangelhaft, wird auch mit Rücksicht auf die geringe Geschwindigkeit, welche der ganzen Betriebsart anhaftet, für gewöhnlich gar nicht verlangt.

Die Sicherheit des vorliegenden Betriebes lässt namentlich bei Räderwinden zu wünschen übrig. Beim Niedergange der Last können hier zunächst die Kurbeln, welche bei den meisten Ausführungen dann noch mit herumschlagen, für die Bedienung gefahrvoll werden; Konstruktionen, welche ein solches Schlagen vermeiden, lassen meistens die erforderliche Einfachheit und Sicherheit in der Bedienung vermissen. Ferner kann der Lastniedergang, wenn er durch Bremsung ermöglicht wird, bei nicht sachgemässer Konstruktion und Bedienung der Senkvorrichtung, wie schon bemerkt, zu Stössen oder sogar zum Herunterstürzen der Last führen, Umstände, welche beide Seil-, Ketten-, Wellen- oder Räderbrüche zur Folge haben können. Bei Rollenzügen, welche keine Sperr- oder Stützvorrichtung besitzen, muss weiter die

Last durch anhaltenden Zug am Lastseil oder an der Lastkette hochgehalten werden; ein Laststurz ist deshalb bei unachtsamer Bedienung auch hier nicht ausgeschlossen.

§ 4.

Der direkte Elementarkraftbetrieb der Lasthebemaschinen.

Zur Zeit kommt bei dieser Betriebsarbeit noch vorwiegend die Dampfkraft in Betracht. Der Motor, in welchem dieselbe die erforderliche Arbeit leistet, kann ein rotierender oder ein Hubmotor sein. Im ersten Falle ist er gewöhnlich eine Zwillingmaschine, welche eine Trommelwinde treibt, im zweiten Falle wirkt der Kolben eines oder zweier Cylinder direkt auf einen Rollenzug ein. Jene Ausführungsart findet man bei Winden und Drehkränen, diese bei Aufzügen und Drehkränen, von denen namentlich die sogenannten Brown'schen Drehkrane mit zwei Treib- und einem dazwischen befindlichen Bremscylinder bekannt sind. Der Dampf wird, wenn es sich um einzelne oder mehrere weit auseinander liegende Hebezeuge handelt und eine anderen Zwecken dienende Kesselanlage nicht in der Nähe ist, in einem besonderen Dampfkessel erzeugt; das ist namentlich bei freistehenden Drehkränen der Fall, wo der Kessel zugleich das für die Stabilität dieser Krane erforderliche Gegengewicht abgibt. Bei Gruppenanlagen von Hebezeugen kann der Dampf für die vorliegende Betriebsart in einer gemeinschaftlichen Kesselzentrale erzeugt und dann durch Leitungen den Motoren auf den Hebemaschinen zugeführt werden. Für Laufkrane, wo der Kessel wohl kaum auf die Fahrbühne gestellt werden wird, findet der direkte Dampftrieb wegen der Schwierigkeiten, welche die Dampfzuleitung hier bereitet, überhaupt keine Anwendung.

Die Vorteile des direkten Dampfbetriebes liegen in der unmittelbaren Einwirkung des vom Dampf bewegten Kolbens auf das Hebezeug, wodurch jede Fortleitung oder Umleitung der Energie, wie sie sich beim Transmissions- bzw. Druckwasser-, elektrischen Betriebe u. s. w. natürlich unter Verlusten nötig macht, fortfällt. Auch ermöglicht der Wasserraum des Kessels in der einfachsten Weise eine Aufspeicherung der Energie, die ja für den häufig unterbrochenen und in der Belastung stark schwankenden Betrieb der Hebemaschinen sehr vorteilhaft ist. Schliesslich werden Verluste durch Leerlaufarbeit vermieden, wenn der Motor während der Betriebspausen still steht. Diesen Vorteilen steht aber als Hauptnachteil der starke Dampfverlust gegenüber, wie er sich namentlich in langen Dampfleitungen oder nach längeren Pausen im Dampfzylinder durch Abkühlung, sowie beim An- und Abstellen des Motors ergibt. Dieser Nachteil drückt den wirtschaftlichen Wirkungsgrad der in Frage kommenden Hebezeuganlagen ganz bedeutend herunter, und er bildet namentlich den Grund dafür, dass Gruppenanlagen von Hebemaschinen mit gemeinschaftlichem Kesselhause und langen Dampfzuleitungen überhaupt nicht mehr gebaut werden

und der direkte Dampftrieb sich nur noch an freistehenden Drehkränen mit besonderem Kessel oder an Winden und Aufzügen auf Schiffen und Gruben vorfindet, wo eine vorhandene Kesselanlage den Anschluss vermittelt einer kurzen und gut isolierten Leitung gestattet. Aber auch in diesen zuletzt genannten Fällen macht der elektrische Betrieb mit seiner leichten Energieverteilung dem direkten Dampftrieb eine starke Konkurrenz, wenn auch der wirtschaftliche Wirkungsgrad des ersteren sich in vielen Fällen als keineswegs günstiger erweist.

Durch verschiedene Füllungen im Cylinder lässt sich ferner beim direkten Dampftrieb die treibende Kraft der Last- und Geschwindigkeitsgrösse leicht anpassen. Auch kann bei genügend grosser Füllung der Motor unter Last anlaufen. Meistens lässt man aber, um ein stossfreies Anheben und Stillsetzen, sowie genaues Einstellen der Last zu ermöglichen, den Motor bei Räderwinden leer anlaufen und erst nach beendigtem Anlauf vermittelt Reibungskupplungen und Wendegetriebe allmählich auf die Winde einwirken. Damit sind dann natürlich, abgesehen davon, dass Reibungskupplungen und Wendegetriebe sich für grosse Geschwindigkeiten nicht brauchbar erwiesen haben, Arbeitsverluste verbunden, während andererseits beim Anlaufen des Motors unter Last das stossfreie Anheben und Stillsetzen der letzteren wegen der leichten Ausdehnbarkeit des Dampfes nur bei sehr geschickter Steuerung erreicht wird. Besser in dieser Hinsicht sind bei direktem Dampftrieb die Hubmotoren mit Flaschenzugübersetzung und besonderem Bremscylinder. Der letztere gestattet auch ein sicheres Niedergehen der Last, was bei Räderwinden meistens durch die Bremse bewerkstelligt werden muss und deshalb nicht immer in gleichmässiger Weise vor sich geht. Die Manöverierfähigkeit der Dampfkrane, also das schnelle Wechseln und rasche Einleiten der verschiedenen Bewegungen, ist nicht gross, die Sicherheit des Betriebes infolge der Verwendung des Dampfes im Hebezeug selbst oder in nächster Nähe desselben natürlich geringer als bei anderen Hebemaschinen. Bei rotierenden Motoren und Räderwinden sind auch Unglücksfälle nicht ausgeschlossen, die infolge Durchgehens der Last bei ungeschickter Steuerung oder Bremsung entstehen.

An Stelle der rotierenden Dampfmaschinen verwendet man jetzt auch bei fahrbaren Drehkränen, die bald auf diesem, bald auf jenem Geleise fahren müssen und deshalb dem elektrischen Antrieb hinsichtlich der Energiezuleitung Schwierigkeiten bereiten, Petroleum- oder Benzinmotoren. Der Hauptvorteil derselben gegenüber dem Dampfmotor besteht darin, dass sie jeden Augenblick in Betrieb gesetzt werden können und nicht vom Dampfdruck im Kessel abhängig sind. Durch Fortfall des letzteren wird auch das fahrbare Gewicht des Kranes verringert und die Bedienung des Hebezeuges vereinfacht. Die genannten Motoren drehen wie die rotierenden Dampfmaschinen eine Welle, von der aus durch Reibungskupplungen und Wendegetriebe die erforderlichen Bewegungen der Last und des Kranes eingeleitet werden.

Der Transmissionsbetrieb der Lasthebe­maschinen.

Er wurde früher vielfach für Aufzüge und Laufkran­ne benutzt; seit Einführung des elektrischen Antriebes hat aber seine Anwendung, namentlich bei den Laufkranen, bedeutend nachgelassen. Die Hebevorrich­ungen bestehen bei Transmissionsantrieb fast stets aus Trommelwinden. Bei den Aufzügen werden dieselben meistens durch festen und losen Riemen angetrieben, während bei den Laufkranen durch einen Seiltrieb oder eine Wellenleitung eine Querwelle in dauernde Drehung versetzt wird und von dieser dann vermittelt dreier Reibungs­kupplungen und Wendegetriebe die erforderlichen drei Bewegungen der Last bei diesen Hebezeugen, wie Heben oder Senken, Längs- und Querfahren, in dem einen oder anderen Sinne eingeleitet werden.

Der Hauptnachteil des vorliegenden Antriebes besteht darin, dass die Leerlaufarbeit der dauernd bewegten Transmissionswelle und sonstigen Antriebsteile bei der häufigen Unterbrechung und verhältnismässig nur geringen Benutzung, welche der Betrieb der meisten Hebezeuge während eines Tages erfährt, ganz bedeutend ausfällt und deshalb sehr ungünstig auf den wirtschaftlichen Wirkungsgrad solcher Anlagen einwirkt. Auch sind die durch Reibungskupplungen und Wendegetriebe übertragbaren Arbeiten und Geschwindigkeiten beschränkt und deshalb Lauf- und Drehkran­e mit Seil- oder Wellenantrieb für sehr grosse Geschwindigkeiten nicht verwendbar. Wenn irgend möglich, benutzt man deshalb jetzt an Stelle des Transmissionsantriebes den elektrischen Antrieb, der sich gerade durch Vermeidung der Leerlaufarbeit wirtschaftlich vorteilhaft erweist, und nur in den Fällen, wo eine vorhandene, zum Betriebe von Arbeits­maschinen in dauernder Drehung zu erhaltende Transmissionswelle zum Antriebe eines Aufzuges zur Verfügung steht, oder wo im entgegengesetzten Falle elektrische Energie nur schwierig und mit grossen Kosten zu beschaffen ist, dürften Hebezeuge mit Transmissionsbetrieb noch als berechtigt erscheinen. Dabei soll aber wiederum nicht unterlassen werden, darauf hinzuweisen, dass dem erwähnten Vorteile des elektrischen Antriebes als Nachteil höhere Anlagekosten und in manchem Falle andere nachteilige Umstände gegenüberstehen.

Das stossfreie Aufnehmen und Stillsetzen der Last ist bei Aufzügen und Kranen mit Transmissionsbetrieb für gewöhnlich gesichert, da bei Aufzügen der elastische Riemen, bei Kranen die Reibungskupplungen, solange diese sich nicht festfressen, etwaige Stösse bei zu schnellem Anlauf durch Gleiten unschädlich machen. Eine Veränderung der Hub- und Fahrgeschwindigkeit bei Kranen mit Zahn­raderwinden ist nur umständlich durch Wechsel des Vorgeleges zu erreichen. Bei Aufzügen mit Schneckenwinden ist eine solche Veränderung, abgesehen davon, dass der leere Fahrstuhl oft vermittelt kleinerer Antriebs­scheiben schneller niedergelassen als hochgezogen wird, für gewöhnlich nicht ausführbar. Da ferner die ver-

wendeten Schneckenwinden meistens, bei Kranen auch die Zahn­raderwinden für kleinere Lasten selbsthemmend sind, so ist das Senken der Last hier nur durch eine entsprechende Triebkraft zu ermöglichen und unter Benutzung geeigneter Vorrichtungen auch mit genügender Gleichmässigkeit zu erzielen; für grössere Lasten ist dagegen bei Kranen eine Selbsthemmung durch die eigenen Bewegungswiderstände des Triebwerks nicht mehr vorhanden, also ein Senken dieser Lasten durch die Bremse erforderlich, was, wie beim Handbetrieb erwähnt, nicht immer in stossfreier und gleichmässiger Weise erreicht wird.

Die bei Kranen erwünschte Zurücklegung kleiner Bewegungs­strecken zum genauen Einstellen der Last ist hier bei geschickter Bedienung wohl zu ermöglichen, auch die Manöverierfähigkeit bei der vorliegenden Betriebsart für gewöhnlich in genügendem Masse vorhanden. Die Sicherheit wird bei Aufzügen mit Transmissionsantrieb und Schneckenwinden, auch wenn diese selbsthemmend sind, durch eine besondere Bremse und die sonst üblichen Vorrichtungen dieser Hebe­maschinen erhöht, bei Kranen ist die Sicherheit ebenso wie beim Handbetrieb durch Seil-, Kettenbrüche oder Brüche der Triebwerk­teile beim Niederlassen grösserer Lasten gefährdet.

§ 6.

Der Druckluftbetrieb der Lasthebe­maschinen.

Die im Kompressor durch eine Kraftmaschine erzeugte Druckluft von 5 bis 6 Atm Überdruck wird vorgewärmt durch Leitungen den Motoren der einzelnen Hebezeuge zugeführt. Diese Motoren sind entweder rotierende Kurbel­motoren, und dann ist das Hebezeug eine Trommelwinde, oder es sind Hubmotoren, welche direkt oder vermittelt Rollenzug auf die Last einwirken.

Als Vorteile der vorliegenden Betriebsart sind zu nennen: die leichte Zuführung und Verzweigung der Betriebskraft durch Leitungen, in denen nennenswerte Verluste durch Undichtheiten oder durch Kondensation, wie bei Dampfleitungen, nicht auftreten, auch Schwierigkeiten durch Einfrieren, wie bei Wasserleitungen, nicht zu gewärtigen sind, ferner die leicht zu beschaffende Kraftreserve durch Aufspeicherung der Luft in Behältern, welche aber bei nicht zu grossen Druckschwankungen recht beträchtliche Dimensionen erhalten müssen, endlich die durch verschieden grosse Füllungen und eine einfache Steuerung bequem zu erreichende Anpassung der Betriebskraft an die jeweilige Grösse der Last und Geschwindigkeit. Diesen Vorteilen steht der wirtschaftliche Nachteil gegenüber, dass rotierende Luftmotoren in der einfachen Bauart, wie sie der häufig unterbrochene und wechselnde Hebezeugbetrieb verlangt, einen recht ungünstigen Luftverbrauch aufweisen. Hubmotoren stellen sich in dieser Hinsicht, abgesehen davon, dass auch bei ihnen die Arbeit, welche zum Füllen des Cylinders mit komprimierter Luft bei jedem einfachen Hube aufgewendet werden muss, vollständig verloren geht, günstiger; indes fallen Hebezeuge mit solchen Motoren infolge des geringen Betriebsdruckes schon bei mittleren Lasten recht umfangreich aus und verlangen, um ein genaues Einstellen der letzteren,

sowie ein entsprechendes Begrenzen des Lasthubes zu sichern, meist einen besonderen Bremszylinder, wodurch nicht nur die Einfachheit, sondern auch die Wirtschaftlichkeit des Betriebes leidet. Aus diesen Gründen findet man Druckluft nur selten zum Betriebe von Hebe- und Hebemaschinen und meistens nur dort verwendet, wo solche Luft zu anderen Zwecken benutzt wird oder eine vorhandene zentrale Druckluftanlage den Anschluss an diese nahe legt.

Über die sonstigen Punkte der vorliegenden Betriebsart gilt das beim direkten Dampfbetrieb Bemerkte.

§ 7.

Der Druckwasserbetrieb der Lasthebemaschinen.

Er findet sowohl bei Einzel- als auch bei Gruppenanlagen von Hebezeugen Verwendung. Bei Einzelanlagen, die meistens Aufzüge sind, ist seine Anwendung durch den elektrischen Betrieb eingeschränkt worden, während bei Gruppenanlagen, wie sie namentlich an Häfen, Eisenbahnen und Speichern zum Ein-, Ausladen und Transportieren der Güter vorkommen, der Druckwasserbetrieb dem elektrischen noch immer Konkurrenz zu bieten vermag. Das Druckwasser wird, wenn man von den Aufzügen absieht, welche durch den Druck einer städtischen Wasserleitung betrieben werden und wegen ihrer hohen Betriebskosten nur noch selten vorkommen, durch eine Kraftmaschine erzeugt, welche das Wasser vermittelt eines Pumpwerkes in ein hoch gelegenes Bassin hebt, oder, wie es namentlich bei grösseren Anlagen der Fall ist, unter den Kolben eines Gewichtskumulators presst. Von hier aus kann dann die im Wasser aufgespeicherte Energie jederzeit zur Einwirkung auf den Hubmotor des Hebezeuges kommen. Dieser besteht in einem Treib- oder Tauchkolben, der die zu hebende Last entweder unmittelbar oder mittelbar vermittelt eines umgekehrten Flaschenzuges trägt. Als Kraftmaschine für das Pumpwerk benutzt man bei Einzelanlagen, namentlich in Städten, wenn keine andere Betriebskraft zur Verfügung steht, gewöhnlich einen Gasmotor, während bei Gruppenanlagen stets eine Dampfzentrale mit einer oder mehreren grösseren Dampfmaschinen die Pumpwerke treibt.

Die Vorteile des hydraulischen Betriebes liegen zunächst in der grossen Einfachheit des Hubmotors, der abgesehen von den Leitrollen des umgekehrten Flaschenzuges keine rotierenden und dem Verschleiss stark unterworfenen Teile enthält und der bei einfacher Bedienung ein genaues, ruhiges und leicht regulierbares Arbeiten bei grosser Sicherheit gestattet. Ferner kommen beim Druckwasserbetrieb Leitungsverluste wie beim direkten Dampfbetrieb nicht vor, und auch Verluste durch Leerlaufarbeit der Kraftmaschine während der Betriebspausen einzelner Hebezeuge einer Gruppenanlage sind hier ziemlich vollständig ausgeschlossen, da der Akkumulator die Kraft fast bis zu jeder gewünschten Grösse sowohl aufspeichern als auch bei der meist nur kurzen Arbeitszeit der einzelnen Hebezeuge entnehmen lässt, sodass die Kraftmaschine, die für die mittlere Tagesleistung bemessen

ist, ununterbrochen laufen kann. Endlich sind die Anlagekosten beim Druckwasserbetrieb wesentlich niedriger als beim elektrischen Betriebe.

Als Nachteil der vorliegenden Betriebsart ist vor allen Dingen der Umstand zu nennen, dass bei Hubmotoren mit einfachem Tauchkolben immer derselbe Wasser- und Energieverbrauch, nämlich für jeden Hub die volle Cylinderfüllung, eintritt, gleichviel ob die Last gross oder klein ist, dass aber Konstruktionen des Kolbens, welche den Wasserverbrauch der Lastgrösse anpassen, d. h. ein Arbeiten mit sogenannten Laststufen ermöglichen, teils an Einfachheit gegenüber der gewöhnlichen Ausführung des Kolbens einbüssen, teils aber auch die Bedienung erschweren. Weiter kommt die Vorsicht und Umständlichkeit, mit welcher die Leitungen der hydraulischen Anlagen zu verlegen und gegen Frostgefahr zu schützen sind, sowie die Schwierigkeit und Grösse der Ausbesserungen, der solche Leitungen bei Vernachlässigung genügender Vorsicht ausgesetzt sind, ungünstig dem elektrischen Betrieb gegenüber in Betracht, der gerade in dieser Beziehung die grösste Einfachheit aufweist. Endlich ist der Druckwasserbetrieb für Laufkrane kaum zu verwenden.

Das stossfreie Aufnehmen und Stillsetzen, sowie das genaue Einstellen der Last wird ebenso wie die Regulierung der Lastgeschwindigkeit beim vorliegenden Betriebe durch Drosselung des Druckwassers, also in leichtester und sicherster Weise durch die meist einfache Steuerung bewirkt; Stösse und Erschütterungen beim Anlauf oder Niederlassen der Last sind dabei völlig ausgeschlossen, und gerade die Sanfttheit, Leichtigkeit und Genauigkeit, mit der jede Bewegung der Last hier vollzogen werden kann, wird bei keiner anderen Betriebsart in demselben Masse erreicht. Für die Sicherheit des Betriebes ist der Umstand von Wichtigkeit, dass die im Cylinder eingeschlossene Wassersäule beim Stillstand der Last eine vorzügliche Stützung der Last bildet.

Der Grund dafür, dass der elektrische Betrieb den durch Druckwasser bei Einzelanlagen von Hebezeugen, wie namentlich Aufzügen, verdrängt hat, liegt darin, dass der erstere durch Anschluss an ein vorhandenes Leitungsnetz in der einfachsten Weise ermöglicht werden kann und sich auch billiger gestaltet als die Errichtung einer eigenen hydraulischen Kraftstation, die sich nur bei einer grösseren Zahl von Motoren rentiert. Ferner beansprucht der elektrische Antrieb weniger Raum für den Motor des Hebezeuges als der mit Druckwasserbetrieb. Anders aber liegt die Sache bei Gruppenanlagen. Hier ist die Frage, welche von beiden Betriebsarten die bessere, namentlich hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit, sei, zur Zeit noch nicht entschieden; es beweist dies der Umstand, dass neuerdings nach dem Bau solcher Anlagen mit elektrischem Antriebe auch wieder solche mit Druckwasserbetrieb errichtet werden, und das wohl deshalb, weil bei sachgemässer Anordnung

und Wartung hydraulisch betriebene Hebezeuge in jeder Beziehung befriedigende Betriebsergebnisse ergeben haben.

§ 8.

Der elektrische Betrieb der Lasthebemaschinen.

Von allen Betriebsarten der Hebezeuge ist der elektrische der jüngste. Trotzdem hat er schon ganz bedeutende Erfolge aufzuweisen, und wenn er auch nicht, wie manche glauben, alle übrigen Betriebsarten auf diesem Zweige des Maschinenbaues in absehbarer Zeit verdrängen wird, so bildet doch gerade der Hebezeugbau dasjenige Gebiet, für welches die elektrische Kraftübertragung ganz besonders geeignet ist.

Als eigentliche Hebevorrichtungen kommen bei elektrischem Antriebe nur Maschinen mit rotierender Kraftübertragung, wie namentlich Trommelwinden mit Rädervorgelege, in Frage, die entweder direkt oder durch eine kurze Zwischentransmission mit dem Elektromotor gekuppelt werden. Die hohen Umdrehungszahlen des letzteren machen ziemliche Übersetzungen im Räderwerk der Winden erforderlich, das bei Aufzügen meistens aus Schnecke und Schneckenrad, bei Kranen aber häufiger aus Zahnrädern besteht.

Die Vorteile des elektrischen Antriebes bei Hebezeugen sind die folgenden. Verluste durch Leerlaufarbeit während des Stillstandes der Hebemaschinen oder infolge wechselnder Belastung derselben werden hier bei direkt gekuppeltem Motor fast vollständig vermieden, da sich der Kraft- bzw. Stromverbrauch der Grösse der Arbeitsleistung, wie sie die zu bewegende Last verlangt, von selbst anpasst und sich ziemlich proportional mit dieser ändert. Hierin liegt vornehmlich der Grund, weshalb bei dem häufig unterbrochenen Betrieb und stark schwankenden Kraftverbrauch der Hebezeuge der elektrische Antrieb in manchen Fällen trotz seiner grösseren Anlagekosten wirtschaftlich günstigere Resultate, also geringere Betriebskosten als alle andere Betriebsarten aufzuweisen hat. Weiter lässt sich die elektrische Energie durch Kabel in einfachster Weise überall, selbst unter den schwierigsten örtlichen Verhältnissen, und nach jeder Richtung hin verteilen, fortleiten und durch Anschluss an ein vorhandenes Netz auch in Städten für Hebezeugzwecke erlangen. Gefahren, wie sie unter Umständen bei hydraulischen Leitungen durch Frost hervorgerufen werden können, bestehen für elektrische Leitungen nicht.¹⁾ Die Stromerzeugungsanlage nebst Leitungen kann ferner zu Beleuchtungszwecken verwendet werden, und eingeschaltete Akkumulatoren können zum Ausgleich der stark schwankenden Energieentnahme dienen. Bei Gruppenanlagen von Hebezeugen, sowie beim Anschluss an ein grösseres Netz kommen zudem die Vorteile der zentralen Krafterzeugung zur Geltung. Selbst die Arbeit,

1) Fahrbare Drehkrane, die bald auf diesem, bald auf jenem Geleise fahren müssen, versieht man wegen der Schwierigkeiten, welche die Zuleitung der elektrischen Energie hier verursacht, jetzt wohl mit einer Akkumulatorenbatterie, welche in den Arbeitspausen an einer Anschlussstation geladen wird.

welche die niedergehende Last verrichtet, kann zur Gewinnung elektrischen Stromes, des sogenannten Rückstromes, nutzbar gemacht werden, wovon man aber, wie schon früher bemerkt, jetzt allgemein absieht, da die Rückgewinnung des Stromes sich nur bei Hebemaschinen mit grossen Senkwegen lohnt und die hierzu erforderlichen Einrichtungen die Anlage komplizierter machen, sowie deren Bedienung erschweren. Die Elektromotoren schliesslich beanspruchen verhältnismässig wenig Wartung und Reparaturen, der zu ihrer Aufstellung nötige Raum ist klein, das Gewicht gering, der Wirkungsgrad gut und von der Bedienung unabhängig. Sie lassen sich ferner leicht umsteuern, machen also Wendegetriebe, Reibungskupplungen u. s. w. überflüssig und gestatten eine Geschwindigkeitsregulierung innerhalb weiter Grenzen.

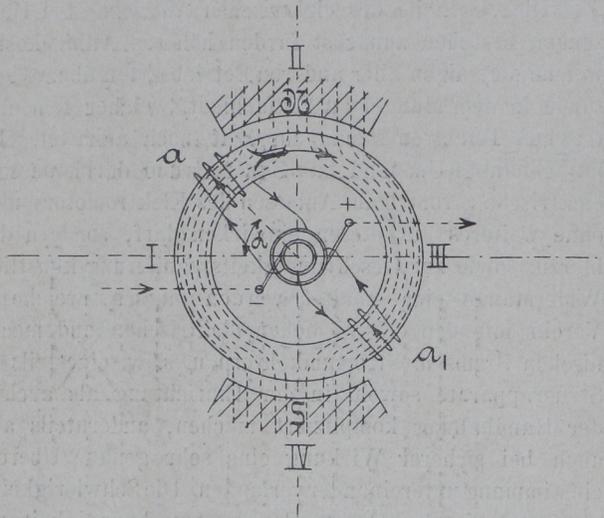
Die Nachteile des elektrischen Antriebes bei Hebezeugen bestehen zunächst in den höheren Anlagekosten, welche diejenigen aller anderen Betriebsarten übersteigen, sowie in dem Mangel an Einfachheit, welcher dem elektrischen Teil wenigstens zur Zeit noch anhaftet. Der letztgenannte Umstand hat seinen Grund darin, dass der elektrische Strom beim Anlassen des Elektromotors nicht ohne weiteres auf diesen einwirken darf, sondern dass hierzu, sowie zur Geschwindigkeitsregulierung künstliche Widerstände eingeschaltet werden müssen, welche im Verein mit den erforderlichen elektrischen und mechanischen Bremsen, Stromumkehrern u. s. w. einesteils die Steuerapparate sowohl in der Einrichtung als auch in der Handhabung kompliziert machen, andernteils aber auch bei sicherer Wirkung eine sehr genaue Übereinstimmung untereinander verlangen. Die Schwierigkeiten wachsen mit der Grösse der Lastgeschwindigkeit und machen bei sehr grossen Geschwindigkeiten geschulte Wärter erforderlich. Weiter tritt während des Anlaufes ein Arbeitsverlust insofern ein, als ein Teil des nun gesteigerten Stromes in den erwähnten Widerständen in Wärme umgesetzt wird. Bei Hebezeugen mit häufiger Unterbrechung, sehr kurzen Arbeitsperioden und direkter Verbindung des Motors kann dieser Verlust sogar die Wirtschaftlichkeit des ganzen Betriebes in Frage stellen. Endlich finden bei der Geschwindigkeitsregulierung meistens Verluste in den Widerständen statt.

Das stossfreie Stillsetzen der Last und das Zurücklegen kleiner Bewegungsstrecken ist bei elektrischem Antriebe nicht in dem Masse gesichert, wie dies beim hydraulischen der Fall ist, wo die treibende Kraft der verlangten Verzögerung gemäss durch Drosselung des Druckwassers allmählich bis zum Stillstand der Last verringert werden kann. Beim Abstellen elektrisch betriebener Hebezeuge dagegen bleibt der Motor einfach stehen, sobald der Stromverbrauch unter eine gewisse Grenze sinkt, und die lebendige Kraft, welche die Last und die anderen bewegten Massen dann noch besitzen, ist allein für die weitere Bewegung massgebend. Die Sicherheit des Betriebes, soweit solche beim Niederlassen, Stillhalten und Einstellen der Last in Frage kommt, ist also hier von der Wirkungsweise der Bremsen abhängig und nicht in demselben Grade wie beim Druck-

wasserbetrieb gewährleistet. Die Manövrierfähigkeit der elektrisch betriebenen Laufkrane ist namentlich dann eine grosse, wenn für jede der drei Bewegungen ein besonderer Motor vorhanden ist; die einzelnen Räderwerke sind dann unabhängig voneinander, und jede Bewegung kann für sich durch Schaltung des zugehörigen Motors reguliert werden.

Der elektrische Antrieb hat vorzugsweise bei Aufzügen und Kranen Anwendung gefunden. Bei Laufkranen kommt jetzt namentlich der erwähnte Einzelantrieb, wo jede der verschiedenen Lastbewegungen durch einen besonderen Motor erzielt wird, unter neuen Verhältnissen und für grössere Geschwindigkeiten als früher zur Aus-

Fig. 1.



führung. Was die Frage, ob der elektrische Betrieb für die Zukunft allein bei Hebezeugen mit Elementarkraftbetrieb in Betracht kommen wird, anbelangt, so ist wie auf S. 8 auch hier darauf hinzuweisen, dass diese Frage zur Zeit wenigstens nicht ohne weiteres entschieden werden kann. Bei einzelnen Hebezeugen wird man überall dort, wo der Anschluss an ein Leitungsnetz möglich ist, schon mit Rücksicht auf die Leichtigkeit und Einfachheit dieses Anschlusses in den meisten Fällen den elektrischen Antrieb wählen. Bei Gruppenanlagen dagegen wird der Druckwasserbetrieb wegen seiner für gewöhnlich geringeren Betriebskosten neben dem elektrischen seine Anwendung finden, zumal er diesem in der Einfachheit des Hebezeuges und der Steuerung, sowie in der leichten Bedienung wenigstens augenblicklich noch überlegen ist.

§ 9.

Der elektrische Strom und die Elektromotoren.

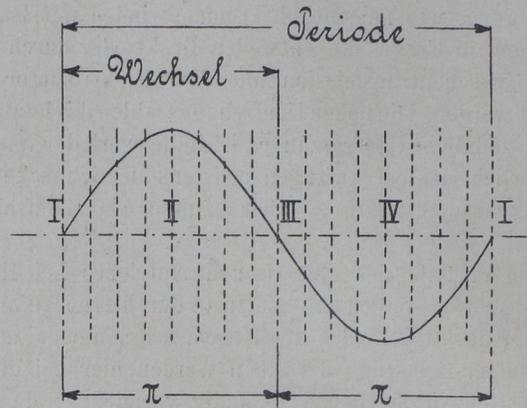
Die Wichtigkeit, welche augenblicklich dem elektrischen Antrieb der Lasthebezeugen beigelegt wird, lässt es, zumal spätere Erklärungen und Wiederholungen dadurch vermieden werden, wünschenswert erscheinen;

schon hier die Erzeugung und Eigenschaften des elektrischen Stromes, sowie die Wirkungsweise und allgemeine Einrichtung der Elektromotoren und zugehörigen Teile bis zu einem gewissen Grade zu behandeln; eingehendere Erklärungen bezüglich der Anlage, Ausführung und Einrichtung des elektrischen Teiles solcher Hebezeuge müssen den späteren Abschnitten vorbehalten bleiben.

1. Der Wechsel- und Drehstrom.

Der elektrische Strom wird bekanntlich dadurch in den Dynamomaschinen erzeugt, dass elektrische Leiter die Kraftlinien eines magnetischen Feldes schneiden. Als Leiter dienen die Drähte (Windungen, Spulen) des

Fig. 2.



sogenannten Ankers, der durch eine Kraftmaschine gedreht wird und je nach seiner äusseren Form als Ring- oder Trommelanker ausgebildet sein kann. Das magnetische Feld wird durch einen Elektromagneten geliefert, zwischen dessen Polen der Anker rotiert oder der selbst um den dann feststehenden Anker bewegt wird. Zur Erregung der Magnete beim Beginn der Bewegung dient entweder der im Eisen zurückgebliebene (remanente) Magnetismus, der dann später durch den von der Maschine selbst erzeugten Strom verstärkt wird, oder eine besondere kleine Dynamomaschine, die dauernd mitläuft.

Der in jedem Leiter des Ankers auf solche Weise induzierte Strom ändert fortwährend seine Stärke und elektromotorische Kraft, Spannungsdifferenz oder kurzweg Spannung, entsprechend der Zu- und Abnahme der Kraftlinien, welche der Leiter in jedem Augenblick durchschneidet. Ist in Fig. 1 des Textes N der Nord-, S der Südpol, so treten die Kraftlinien von N nach S über, wobei sie durch den Anker gehen, dessen Eisen die Linien in sich zu vereinigen sucht. Während einer vollen Umdrehung des Ankers nimmt nun die Zahl der Kraftlinien in den Spulen a und a₁ bei der angegebenen Drehrichtung ab, wenn die Spulen die Quadranten I—II bzw. III—IV durchlaufen, dagegen zu, wenn sie durch die Quadranten II—III bzw. IV—I gehen; umgekehrt

wachsen in den beiden erstgenannten Quadranten Stromstärke und elektromotorische Kraft, während dieselben in den beiden letztgenannten Quadranten abnehmen. Erfolgt, wie man gewöhnlich annimmt, die Zu- und Abnahme der von einer Drahtspule eingeschlossenen Kraftlinien nach dem Sinus des zugehörigen Drehwinkels α , so ergibt die graphische Darstellung der Stromstärke oder elektromotorischen Kraft eine Sinuskurve nach Fig. 2 des Textes.

In I und III (Fig. 1), deren Verbindungslinie die neutrale Achse heisst, findet ein Wechsel in der Stromrichtung statt; Stromstärke und elektromotorische Kraft sind dann gleich Null. Solange ferner bei der angegebenen Drehrichtung des Ankers sich eine Drahtspule oberhalb der neutralen Achse befindet, ist der Strom in ihr vom Inneren des Ringes nach aussen gerichtet, sonst umgekehrt, von aussen nach innen. Verbindet man endlich jede Drahtspule an ihren Enden mit zwei auf der Welle des Ankers isolierten, aber mit dieser sich drehenden Metallringen, den sogenannten Schleifringen, so kann man den Strom abwechselnd durch die eine von zwei feststehenden, federnden Bürsten, welche auf den Ringen schleifen, in einen äusseren Stromkreis entsenden und durch die andere wieder zurückleiten. Dort, wo der Strom in die äussere Leitung eintritt, ist der $+$, dort wo er wieder in den Anker zurückkommt, der $-$ Pol; beide Bürsten bilden abwechselnd den $+$ und $-$ Pol.

Der in der beschriebenen Weise erzeugte Strom wird **Wechselstrom** genannt, weil er seine Richtung beim Durchgang der Spulen durch die neutrale Achse wechselt. Die Zeit I bis III bzw. III bis I in Fig. 2, während welcher der Strom, von Null bis zu einem positiven bzw. negativen Maximum wachsend und von diesem wieder bis auf Null abnehmend, seine Richtung beibehält, heisst ein Wechsel; zwei aufeinander folgende Wechsel bilden eine Periode. Die Zahl der Perioden beträgt höchstens 50, die der Wechsel also höchstens 100 in der Sekunde. Fallen bei einem Wechselstrom die einander entsprechenden Werte¹⁾ von Stromstärke und elektromotorischer Kraft zeitlich zusammen, so bezeichnet man ihn als induktionsfrei. Tritt aber infolge von Selbstinduktion, also dadurch, dass der fortwährend zu- und abnehmende Wechselstrom einen zweiten Strom induziert, eine Verschiebung der genannten Werte von Stromstärke und elektromotorischer Kraft ein, so heisst er induktiv und die erwähnte Verschiebung die **Phasenverschiebung** oder der ihr entsprechende Winkel in der graphischen Darstellung der Phasenwinkel.

Als Masseinheiten für den elektrischen Strom gelten nach dem Reichsgesetz vom 1. Juni 1898:

1. Das Ohm als Einheit des Widerstandes. Es wird dargestellt durch den Widerstand einer Quecksilbersäule von der Temperatur des schmelzenden Eises, deren Länge bei durchweg gleichem, einem qmm gleich zu achtendem Querschnitte 106,3 cm und deren Masse 14,4521 g beträgt.

2. Das Ampère als Einheit der elektrischen Stromstärke. Es wird dargestellt durch den unveränderlichen elektrischen

1) Das sind z. B. die positiven Maximalwerte der Stromstärke und elektromotorischen Kraft.

Strom, welcher beim Durchgange durch eine wässrige Lösung von Silbernitrat in einer Sekunde 0,001118 g Silber niederschlägt.

3. Das Volt als Einheit der elektromotorischen Kraft. Es wird dargestellt durch die elektromotorische Kraft, welche in einem Leiter, dessen Widerstand ein Ohm beträgt, einen elektrischen Strom von einem Ampère erzeugt.

Die Leistung eines Ampère in einem Leiter von einem Volt Endspannung heisst ein Watt; 1000 Watt bilden ein Kilowatt. Drückt man die effektive¹⁾ Stromstärke und elektromotorische Kraft eines Wechselstromes in Ampère bzw. Volt aus, so ist die Leistung desselben in Watt gleich

$$\text{Ampère} \times \text{Volt} \times \cos \varphi.$$

$\cos \varphi$ ist der sogenannte Leistungsfaktor, er ist bei induktionsfreien Strömen, bei denen der Phasenwinkel Null ist, gleich 1, sonst aber selten weniger als 0,8.

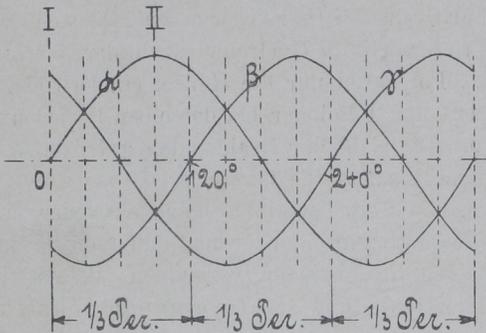
Bei einer Wechselstrom-Dynamomaschine mit nur zwei Polen findet während einer Umdrehung nur eine Periode statt, und die Zahl der Umdrehungen, welche der Anker zur Erzeugung der oben erwähnten Periodenzahl machen muss, fällt sehr gross aus. Zur Beschränkung der Umdrehungszahl werden deshalb Wechselstrommaschinen stets mit mehreren Polpaaren versehen, wobei Nord- und Südpol immer abwechselnd aufeinander folgen. Da auch hier die Stromrichtung in einer Spule wechselt, wenn sie durch die Mitte zwischen zwei benachbarten Polen geht, so braucht die Umdrehungszahl der Maschinen mit 2, 3 ... Polpaaren nur die Hälfte, ein Drittel ... derjenigen mit nur 1 Polpaar bei derselben Periodenzahl zu betragen. Die Zahl der Drahtspulen auf dem Anker einer Wechselstrommaschine ist weiter ebenso gross wie die der Pole. Je nachdem diese Spulen entweder sämtlich oder alle erst untereinander und dann nur an zwei Stellen mit den Schleifringen verbunden sind, spricht man von Parallel- und Hintereinanderschaltung des Ankers. Die Leistung der Maschine bleibt unter sonst gleichen Verhältnissen natürlich dieselbe, gleichgültig oder der Anker parallel- oder hintereinander geschaltete Wickelung besitzt, nur wird bei Parallelschaltung die Stromstärke, bei Hintereinanderschaltung die elektromotorische Kraft im äusseren Stromkreise entsprechend der Zahl der Polpaare 2-, 3- ... mal so gross als bei der anderen Schaltung. Wechselstrommaschinen werden schliesslich nicht nur mit feststehenden Magneten und rotierendem Anker, sondern auch umgekehrt mit rotierenden Magneten und stillstehendem Anker gebaut. Zur Erregung der Magnete ist bei Wechselstrommaschinen, da der von ihnen gelieferte Strom hierzu nicht geeignet ist, stets eine besondere kleine Dynamomaschine erforderlich, welche den für die Erregung nötigen Gleichstrom (siehe später) liefert; bei stillstehendem Anker wird der letztere den rotierenden Magneten vermittelt Schleifringen und Bürsten zugeführt.

Beim Antriebe von Hebezeugen kommt der einfache Wechselstrom selten zur Verwendung. Meistens benutzt man drei verkettete Wechselströme, die man als dreiphasigen Wechsel- oder **Drehstrom** bezeichnet. Teilt

1) Das ist die konstant gedachte Stromstärke bzw. elektromotorische Kraft des Wechselstromes bei der gleichen Leistung und der gleichen elektromotorischen Kraft bzw. Stromstärke.

man nämlich die Wickelungen einer Wechselstrommaschine in drei Teile, so gehen diese bei der Drehung des Ankers nacheinander an den Magnetpolen vorüber und erzeugen drei Ströme α , β , γ (Fig. 3 des Textes), von denen jeder um $\frac{1}{3}$ Periode oder 120 Grad, eine Periode, wie üblich, zu 360 Grad gerechnet, gegen den vorhergehenden verschoben ist. Die Verkettung dieser drei Ströme erfolgt in Dreiecks- oder Sternschaltung. Fig. 4 und 5 des Textes zeigen beide Schaltungen schematisch, wobei jede Zickzacklinie eine der drei Spulenabteilungen darstellt. Für beide Schaltungsarten sind aber nur drei Leitungen erforderlich, weil, wie schon aus Fig. 3 ersichtlich, in jedem Augenblicke die algebraische Summe der drei Ströme Null ist; fließt also der Strom in zwei Leitungen von der Maschine fort (a und b in Fig. 4 und 5 für einen bestimmten Augenblick), so kehrt die Summe beider Ströme durch die dritte Leitung (c in Fig. 4 und 5) wieder zurück, und weitere Leitungen sind überflüssig. Die Spannungsdifferenz zwischen zwei beliebigen der drei Leitungen (a und b, a und c, sowie b und c in Fig. 4 und 5) ist zudem gleich.

Fig. 3.



Die Leistung eines Drehstromes in Watt beträgt, wenn die effektive Stromstärke und elektromotorische Kraft der Einzelströme in Ampère bzw. Volt ausgedrückt werden,

$$\text{Ampère} \times \text{Volt} \times \cos \varphi \times \sqrt{3}.$$

$\sqrt{3}$ ist der sogenannte Verkettungsfaktor und rührt daher, dass die drei Einzelströme niemals gleichzeitig in ihrer vollen Stärke auftreten.

Die Drehstrom-Dynamomaschinen werden mit oder ohne Schleifringe gebaut. Im ersteren Falle rotiert der Anker, und die Enden seiner Spulen sind zu drei Schleifringen geführt. Im letzteren Falle steht der Anker fest, und in ihm rotiert ein Eisenkern (Induktor) mit vorstehenden Polhörnern, für welche aber nur eine einzige, gleichfalls feststehende Erregerspule vorhanden ist.

2. Der Gleichstrom.

Vergleich von Gleich- und Drehstrom.

Schliesst man die Enden der in Fig. 1 des Textes (S. 10) angedeuteten beiden Drahtspulen a und a', nicht an zwei Schleifringe, sondern an einen einzigen Ring auf der Welle an, der sich mit dieser dreht und unter zwei Kupferbürsten schleift, dabei aber aus zwei durch Glimmer isolierten Längshälften besteht, so kann in dem Augenblicke, wo die Richtung des induzierten Stromes sich beim Durchgang der Spulen durch die neu-

trale Achse I—III ändert, jede Bürste mit einer anderen Ringhälfte in Verbindung treten. Infolgedessen wird in dem genannten Augenblicke der Strom durch eine andere Bürste als vorher abfließen, die Stromrichtung im äusseren Stromkreise also stets dieselbe bleiben. Ein solcher Strom wird im Gegensatz zu dem seine Richtung stets ändernden Wechselstrom **Gleichstrom** genannt; der erwähnte Ring, auf welchem die Kupferbürsten schleifen, heisst Kommutator. Um eine Gleichförmigkeit in der elektromotorischen Kraft und Stärke des Stromes zu erzielen, die sich beide mit der in jedem Augenblicke verschiedenen Zahl der durchschnittenen Kraftlinien ändern, ordnet man natürlich nicht nur zwei, sondern soviel Spulen auf dem Anker an, als auf diesem Platz haben. Der Kommutator muss dann aber auch aus soviel Segmenten bestehen, als ableitende Punkte vorhanden sind.

Fig. 6 des Textes (S. 13) zeigt z. B. einen Anker mit drei Spulenpaaren aa', bb', cc', und zwischen zwei aufeinander folgenden Spulen, also an 6 Stellen, ist eine Ableitung zum Kommutator vorhanden, der dem entsprechend aus 6 Lamellen besteht. Die in den einzelnen Spulen

Fig. 4.

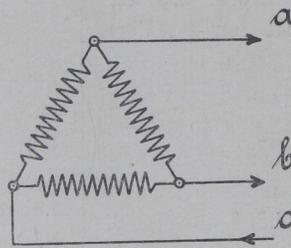
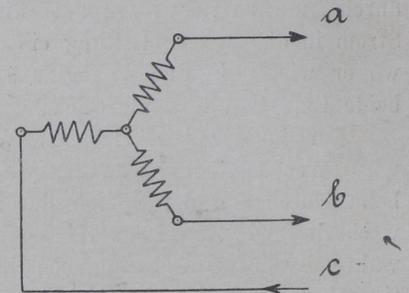


Fig. 5.

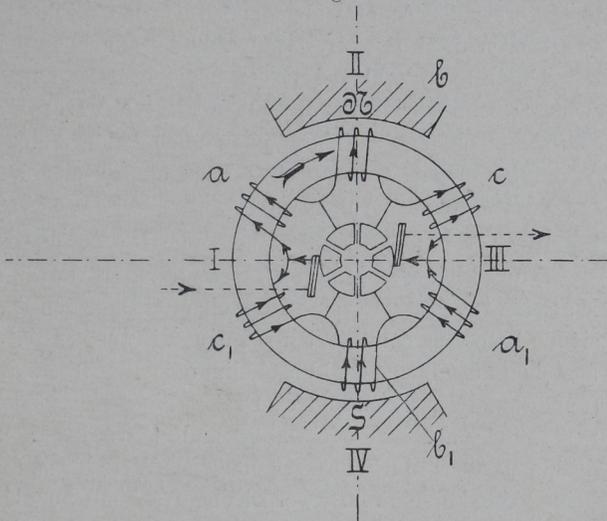


jeweilig erzeugten elektromotorischen Kräfte und Stromstärken sind nun zwar in jedem Augenblicke verschieden, sie summieren sich aber zu einer resultierenden elektromotorischen Kraft bzw. Stromstärke, die um so weniger schwankt, je mehr Spulen vorhanden sind. Es ist dies aus Fig. 7 (S. 13) des Textes ersichtlich, welche mit Bezug auf Fig. 6 für drei Paar Spulen gezeichnet ist. Die Kurve aa' entspricht der elektromotorischen Kraft bzw. Stromstärke in den Spulen aa', $\beta\beta$ derjenigen in bb', $\gamma\gamma$ derjenigen in cc'. Die resultierende Kurve rr zeigt weit geringere Schwankungen als die Einzelkurven.

Jedesmal, wenn eine Lücke zwischen zwei Kommutatorlamellen unter den Bürsten hingeleitet, werden diese zwei Lamellen für einen Augenblick miteinander verbunden und die zugehörigen Windungen des Ankers kurz geschlossen. Dies geschieht, falls die Bürsten, wie in Fig. 6 angegeben, in der neutralen Achse I—III anliegen, gerade dann, wenn der Strom seine Richtung wechselt. Infolgedessen ist in dem erwähnten Augenblicke in den fraglichen Ankerwindungen auf ganz kurze Zeit kein Strom vorhanden, während gleich darauf der Strom in entgegengesetzter Richtung durch sie fließen will, als er vorher geflossen ist. Da diese Vorgänge alle äusserst rasch aufeinander folgen, so stösst der alte Strom, welcher

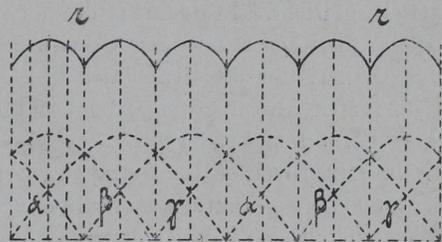
infolge seiner plötzlichen Unterbrechung zurückstaut und seine Richtung beibehalten will, nach Beendigung des Kurzschlusses für kurze Zeit auf den neuen, entgegengesetzt gerichteten, und das Zusammentreffen beider führt zur Funkenbildung zwischen dem Kommutatorsegment und der Bürste. Um solche Funken, die zu nachteiligen Folgen führen, zu verhüten, setzt man die Bürsten nicht in die neutrale Achse, sondern rückt sie in der Drehrichtung des Ankers etwas vor. Dadurch wird schon während des Kurzschlusses in den betreffenden Ankerwindungen ein Strom erzeugt, der den Rückstau des alten vernichtet. Zur Verminderung des Funkens nimmt man auch die Zahl der Windungen, welche zwischen benachbarten Lamellen liegen, möglichst klein oder ersetzt die Kupferbürsten durch solche aus Kohle, die weniger leitend ist.

Fig. 6.



mehreren Hebezeugen von Wichtigkeit ist, so findet Gleichstrom stets für Gruppenanlagen solcher Maschinen mit eigener Kraftzentrale und von nicht zu grosser Ausdehnung Verwendung. Die Pufferbatterie bietet hier eine vorzügliche Kraftreserve und einen schätzenswerten Ausgleich für den stark schwankenden Energiebedarf solcher Anlagen. Andererseits lässt sich die elektrische Energie durch Drehstrom auf weit grössere Entfernungen als durch Gleichstrom übertragen. Während nämlich bei diesem die Spannung für gewöhnlich nicht mehr als 500 Volt beträgt, kann sie bei jenem, ohne dass Schwierigkeiten entstehen, durch Transformatoren beliebig hoch gesteigert werden. Hochgespannte Ströme von geringer Menge lassen sich aber durch Drähte von geringerem Querschnitt, also durch billigere Leitungen als solche von niedriger Spannung und grosser Menge fortleiten.

Fig. 7.



Gleichstrom-Dynamomaschinen werden mit einem oder mehreren Polpaaren gebaut; bei den letzteren folgt wieder stets auf einen Nordpol ein Südpol und umgekehrt. Die Ankerwickelungen, von denen bei mehrpoligen Maschinen soviel Abteilungen als Pole vorhanden sind, können wieder parallel- oder hintereinandergeschaltet sein. Bei derselben Leistung liefert eine Maschine mit Parallelschaltung eine entsprechend der Zahl der Polpaare grössere (2-, 3fache u. s. w.) Stromstärke, eine solche mit Hintereinanderschaltung eine entsprechend grössere Spannung für den äussern Stromkreis als bei der anderen Schaltungsart und sonst gleichen Verhältnissen.

Die Leistung eines Gleichstromes, dessen Stromstärke in Ampère und dessen elektromotorische Kraft in Volt ausgedrückt ist, beträgt in Watt

$$\text{Ampère} \times \text{Volt.}$$

Für den Betrieb der Lasthebemaschinen kommt neben dem Gleichstrom nur der Drehstrom in Betracht. Ein Vergleich beider Stromarten ergibt, dass ein wesentlicher Vorteil des Gleichstroms darin beruht, dass er die Einschaltung einer sogenannten Pufferbatterie (von Akkumulatoren) zulässt, während dies bei Drehstrom nicht angängig ist. Da dies namentlich für Anlagen mit

Pohlhausen, Flaschenzüge etc.

Infolgedessen kommt Drehstrom vorzugsweise für Kraftübertragung auf grosse Strecken, also für räumlich sehr ausgedehnte Netze in Frage. Auch wird von Vielen den Drehstrom-Dynamomaschinen und -Motoren eine höhere Zuverlässigkeit, sowie grössere Einfachheit bezüglich der Ausführung und Wartung als den Gleichstrommaschinen und -motoren zuerkannt, wenn auch von Anderen dies geleugnet und den Gleichstrommotoren im Hebezeugbau der Vorzug mit Rücksicht darauf gegeben wird, dass sie Eigenschaften besitzen, die, wie später gezeigt wird, gerade für den Antrieb der Lasthebemaschinen äusserst wertvoll und den Drehstrommotoren in weit geringerem Masse eigen sind. Für feuchte Räume und solche mit explosiven Gasen kann nur Drehstrom verwendet werden. Die Stromzuführung endlich fällt bei Gleichstrom einfacher aus, was für manche Hebezeuge, wie namentlich fahrbare, von Wichtigkeit ist.

In vielen Fällen ist die Stromart natürlich vorgeschrieben oder durch andere Rücksichten bedingt; jenes ist z. B. der Fall, wenn Hebezeuge an ein vorhandenes Netz angeschlossen werden, dieses tritt ein, wenn das oder die zu betreibenden Hebezeuge einen untergeordneten Teil einer grösseren Anlage bilden.

3. Die Gleichstrommotoren.

Sie sind in der Hauptsache wie die entsprechenden Dynamomaschinen eingerichtet. Der Strom, welcher den einzelnen Windungen des Ankers durch einen Kommutator zugeführt wird, bewirkt beim Durchfliessen derselben infolge der Einwirkung seiner Kraftlinien auf diejenigen des gleichzeitig erregten Magnetfeldes eine Bewegung beider Kraftlinien gegeneinander; hieraus resultiert eine Drehung des Ankers in einem von der Richtung des zugeführten Stromes abhängigen Sinne. Da hierbei die Ankerleiter die Kraftlinien schneiden, so wird wieder eine elektromotorische Kraft in den ersteren erzeugt; dieselbe wirkt aber hier der entsprechenden Kraft des äusseren Stromkreises entgegen und wird deshalb elektromotorische Gegenkraft genannt. Sie bietet dem äusseren, treibenden Strom gleichsam den Widerstand dar, den dieser bei der Verrichtung der äusseren Arbeit, also bei der Drehung des Ankers und seiner Welle, überwinden muss, und hält somit der Spannung des äusseren Stromes im Verein mit den sonstigen inneren Widerständen das Gleichgewicht. Die Stärke der elektromotorischen Gegenkraft wächst mit der Geschwindigkeit, mit welcher die Ankerleiter die Kraftlinien des Magnetfeldes schneiden, nimmt also mit steigender Umdrehungszahl des Ankers zu, mit sinkender ab.

Gleichstrommotoren werden für Netzspannungen von 110, 220 oder 500 Volt gebaut, sie erhalten ein oder mehrere Polpaare, und ihre Ankerwicklung kann parallel- oder hintereinandergeschaltet sein. Motoren für grosse Leistungen und grosse Drehmomente bzw. grosse Zugkraft baut man mehrpolig mit parallelgeschalteter, langsamlaufende Motoren mehrpolig mit hintereinandergeschalteter Ankerwicklung. Motoren mit 2, 3, 4 Polpaaren und parallelgeschalteter Ankerwicklung geben nämlich bei derselben Umdrehungszahl und entsprechend grösserem Stromverbrauch den 2-, 3- bzw. 4fachen Effekt und ein 2-, 3- bzw. 4mal so grosses Drehmoment als der entsprechende Motor mit nur 1 Polpaar, während die ersteren bei hintereinandergeschalteter Ankerwicklung zur Erzielung der gleichen Leistung und desselben Drehmomentes wie der letztere nur die Hälfte, ein Drittel bzw. ein Viertel von dessen Umdrehungen zu machen brauchen. Für grosse Lasten bevorzugt der Hebezeugbau jetzt vielfach langsamlaufende Motoren; sie sind zwar teurer als die entsprechenden schnelllaufenden Motoren von gleicher Leistung, verlangen aber kleinere Übersetzungen im Räderwerk und bieten namentlich ein grösseres nutzbares Anzugmoment, da das zur Beschleunigung der Ankermasse erforderliche Moment infolge der niedrigeren Umdrehungszahl kleiner ausfällt.

Würde man den Netzstrom ohne weiteres auf den stillstehenden Elektromotor bei dessen Ingangsetzung einwirken lassen, so würde der in den Anker tretende Strom eine ausserordentliche Grösse erreichen und durch seine Wärmewirkung leicht gefährlich für die Ankerwindungen werden können. Um dies zu vermeiden, macht sich für den Anlauf der meisten Gleichstrommotoren ein sogenannter Anlasswiderstand er-

forderlich, welcher dem Anker vorgeschaltet wird und den in diesen eintretenden Strom beim Anlauf abschwächt. Mit zunehmender Ankergeschwindigkeit und allmählich wachsender elektromotorischer Gegenkraft werden aber die Ankerwindungen zur Aufnahme eines immer stärkeren Stromes geeignet, und kann dementsprechend der Anlasswiderstand nun langsam und stufenweise ausgeschaltet werden. Beim Abstellen des Motors muss umgekehrt der ganze Widerstand wieder vorgeschaltet und dann erst der Strom unterbrochen werden. Dieses Vorschalten hat aber nun nicht langsam, sondern schnell zu geschehen, damit der durch die plötzliche Unterbrechung des Stromes hervorgerufene Rückstau, welcher den Strom nochmals in der alten Richtung anwachsen lässt, bei möglichst unveränderter Ankergeschwindigkeit und elektromotorischer Gegenkraft eintritt und dadurch in seiner Wirkung möglichst abgeschwächt wird.

Ausser den Anlasswiderständen werden bei den Elektromotoren noch weitere Widerstände zur Regulierung der Umdrehungszahl bei unveränderter Belastung verwendet; man bezeichnet dieselben als Regulierwiderstände. Vielfach vereinigt man auch beide Arten von Widerständen, so dass durch Drehen eines Hebels zuerst das Ausschalten des Anlasswiderstandes und dann das Vorschalten des Regulierwiderstandes bewirkt werden kann.

Für kleinere Motoren benutzt man gewöhnlich Metall-, für grössere der Billigkeit und kleineren Dimensionen halber meistens Flüssigkeitswiderstände. Jene bestehen aus einer Anzahl Nickel- oder Neusilberspiralen (auch -bänder), welche durch Drehen eines Kontakthebels der Reihe nach zu- oder abgeschaltet werden können, diese enthalten ein \square förmig gebogenes Weissblech, dessen beide Schenkel man in zwei Blechgefässe mit Sodalösung einlassen kann. Tauchen die Schenkel gar nicht in die Flüssigkeit, so ist der Strom unterbrochen; beim langsamen Eintauchen nimmt der Widerstand für den nun geschlossenen Strom allmählich und um so mehr ab, je tiefer die Platten des Bleches stehen, bis endlich beim tiefsten Stande derselben der Flüssigkeitswiderstand vollständig ausgeschaltet ist. Da der Gleichstrom die Eintauchplatten mit der Zeit zersetzt, so sind dieselben in allerdings längeren Zwischenräumen zu erneuern. Metall-Anlasswiderstände werden meistens so dimensioniert, dass sie einen dauernden Stromdurchgang nicht vertragen können. Deshalb muss bei ihnen dafür gesorgt werden, dass der sie bedienende Kontakthebel nur in der Anfangs- und Endlage dauernd stehen bleiben kann. Regulierwiderstände aus Metall sind dagegen stets in solchen Dimensionen auszuführen, dass sie einen längere Zeit anhaltenden Stromdurchgang vertragen.

Die Drehrichtung eines Gleichstrommotors wird umgekehrt, wenn man entweder die Stromrichtung im Anker oder diejenige in den Magnetwickelungen umkehrt. Umsteuerbare Elektromotoren für Gleichstrom bedürfen deshalb einer besonderen Schaltvorrichtung, durch welche die erwähnte Änderung in der Stromrichtung bewirkt werden kann. Man legt diese Vorrichtung vielfach in die Anlasswiderstände, die man dann als Umkehr-Anlasser

bezeichnet. Gewöhnlich wird beim Umsteuern der Gleichstrommotoren die Richtung des Ankerstromes geändert, da die Stromumkehr in den Magnetwickelungen stets mit Verlusten infolge des dann zu vernichtenden remanenten Magnetismus verbunden sein würde.

In allen Vorschalt- und Regulierwiderständen wird ein Teil des eintretenden Stromes in Wärme umgesetzt. Dieser Teil geht natürlich für die Nutzwirkung verloren und bildet einen Verlust, der, wie schon früher bemerkt, bei dem häufig unterbrochenen Betriebe und den kurzen Arbeitsperioden mancher Hebezeuge den wirtschaftlichen Wirkungsgrad der Anlage recht ungünstig beeinflussen kann.

Zur Vermeidung des Funkens, das bei den Gleichstrommotoren durch dieselben Vorgänge wie bei den entsprechenden Dynamomaschinen hervorgerufen wird und namentlich beim Anlassen, Abstellen oder bei Änderungen in der Belastung auftritt, müssten die kupfernen Kommutatorbürsten etwas entgegen der Drehrichtung des Motors über die neutrale Achse geschoben werden, und zwar entsprechend der hier sehr wechselnden Stromstärke verschieden stark. An umsteuerbaren Motoren müsste sich ferner diese Verschiebung beim jedesmaligen Wechsel in der Drehrichtung auf eine andere Seite erstrecken. Da beides aber mit Rücksicht auf die erforderliche Einfachheit in der Bedienung nicht angängig ist, so verwendet man bei Motoren fast stets Kohlenbürsten, die radial stehen und das Funken erschweren. An umsteuerbaren Motoren sind solche Bürsten, die ihre Stellung für beide Drehrichtungen beibehalten, unerlässlich. Weiter wird zur Verhütung des Funkens empfohlen, die Zahl der Kommutatorteile möglichst gross zu nehmen und mehrere derselben durch die Bürsten zu überdecken, wie denn überhaupt schon bei der Konstruktion des Motors durch Wahl seiner magnetischen und elektrischen Dimensionen die Ursachen der Funkenbildung thunlichst zu beheben sind.

Auch bei den Steuerschaltern der Elektromotoren treten Funken auf, wenn die Anlass- und Regulierwiderstände nicht richtig abgestuft sind oder zu schnell abgeschaltet werden. Für die Betriebsdauer dieser Apparate ist es daher von grösster Wichtigkeit, die Funken unschädlich zu machen. Man versieht zu diesem Zwecke die Anlasser mit Kohlenkontakten nach Siemens & Halske in Berlin oder bringt besondere Funkenlöcher an, von denen namentlich der elektromagnetische Funkenlöcher der Union-Electricitätsgesellschaft in Berlin bekannt ist. Kohlenkontakte geben erfahrungsgemäss nur unschädliche Lichtbogen, während das Kraftlinienfeld der elektromagnetischen Funkenlöcher die Funken der Steuerschalter zur Seite drängt und durch den mit der Länge des Lichtbogens wachsenden Widerstand zum Erlöschen bringt.

Die Gleichstrommotoren werden von den Fabriken in gedrungener Form und geschlossenem Gehäuse geliefert, das einerseits Staub und Schmutz von den wichtigen Teilen abhält, andererseits aber zur Einsicht und Vornahme von Reparaturen leicht geöffnet werden kann. Als empfindlichster Teil der vorliegenden Motoren hat der Kommutator zu gelten, der nament-

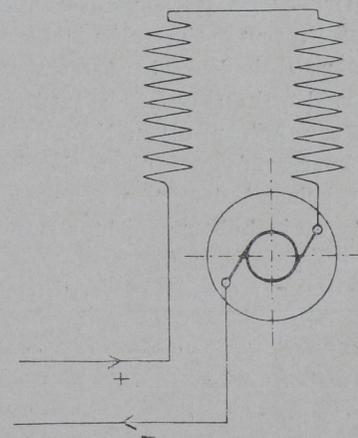
lich bei starken Belastungsschwankungen und sehr hohen Spannungen Schwierigkeiten bereitet, indem er eine dauernde Instandhaltung dann erschwert und zu häufigen Reparaturen Veranlassung giebt. Dieser Nachteil des Gleichstrommotors wird meist Drehstrommotoren gegenüber angeführt, die für geringe Leistungen gar keinen Kommutator, für andere an dessen Stelle die schon bei den betreffenden Dynamomaschinen erwähnten Schleifringe erhalten, welche weniger zum Funken neigen, dauerhafter und betriebs-sicherer sein sollen. Wenn dies nun auch für hohe Spannungen allgemein anerkannt wird, so ist ebenso nicht zu leugnen, dass Gleichstrommotoren bei den gebräuchlichen Spannungen und sachgemässer, sowie sorgfältiger Wartung — die ihnen allerdings gerade im Hebezeugbetrieb häufig nicht zu teil wird — jahrelang anstandslos gelaufen sind. Der Gleichstrommotor hat zudem, wie schon früher bemerkt und wie im Folgenden näher angegeben, Eigenschaften, die gerade für den Antrieb von Lasthebemaschinen äusserst wertvoll sind, er ist ferner billiger als der Drehstrommotor, während dieser kleiner, leichter und gedrängter ausfällt. Wo somit andere Gründe nicht für Drehstrommotoren sprechen, werden Gleichstrommotoren wohl stets das Feld behaupten.

Die Gleichstrommotoren trennt man, je nachdem die Magnetwickelungen im Hauptstrom oder im Nebenschluss zu diesem liegen, in Hauptstrom-(Serien-) und Nebenschlussmotoren.

a) Die Hauptstrommotoren.

Der Netzstrom geht bei ihnen, wie die schematische Darstellung eines solchen Motors in Fig. 8 des Textes zeigt, der Reihe nach durch die Magnetwickelungen, den

Fig. 8.



Anker und wieder in die Leitung zurück. Die Haupteigenschaften der vorliegenden Motoren sind die folgenden.

Sie ziehen unter Last an und entwickeln bei verhältnismässig kurzer Anlaufperiode ein grosses Anzugmoment, da der ganze Ankerstrom, soweit er nicht in den Anlasswiderständen verzehrt wird

beim Anlassen durch die Magnetwickelungen geht und also die Magnete sehr kräftig erregt werden.

Sind die Widerstände vollständig ausgeschaltet, so stellt sich der Gleichstrommotor selbstthätig auf eine seiner Belastung entsprechende Umdrehungszahl derart ein, dass er bei kleinerer Belastung schneller als bei grösserer läuft. Die Umdrehungszahl ist hier nämlich fast allein von der Stärke der Magneterregung bzw. des Stromes in der Magnetwicklung abhängig und dieser Stärke umgekehrt proportional; je kleiner nun die Last ist, desto kleiner ist auch die Stromstärke im Anker und den Magnetwickelungen, desto grösser also die Umdrehungszahl, und umgekehrt. Mit dieser Eigenschaft der vorliegenden Motoren ist einerseits der Vorteil verbunden, dass kleinere Lasten schneller, grössere langsamer gehoben werden, wodurch die Zeit für das Heben leichterer Lasten, wie namentlich das unter Umständen häufig erforderliche Heben des leeren Hakens, verkürzt wird. Andererseits bringt die erwähnte Eigenschaft aber auch den Nachteil mit sich, dass Hauptstrommotoren bei unveränderter Netzspannung im unbelasteten Zustande, sich selbst überlassen, durchgehen und dass es in allen den Fällen, wo nicht die Widerstände im Hebezeug selbst oder sonstige Vorrichtungen ein Durchgehen verhüten, dies mit Hilfe der Vorschaltwiderstände geschehen muss, was bei manchen Hebezeugen eine geschickte und aufmerksame Bedienung voraussetzt.

Ein Hauptstrommotor, der bei der Maximalbelastung n Umdrehungen macht, läuft bei der halben Maximallast mit ungefähr $n\sqrt{2}$, bei dem Drittel der Maximallast mit ungefähr $n\sqrt{3}$ Touren. Der leere Haken wird gewöhnlich 3- bis 4 mal so schnell als die grösste Last gehoben. Die mit steigender Last eintretende relative Abnahme der Umdrehungszahl fällt natürlich um so geringer aus, je grösser die Last wird und je mehr die Magnete durch den immer stärkeren Ankerstrom gesättigt werden.

Der Hauptstrommotor verträgt weiter für kurze Zeit eine erhebliche Überlastung, ohne dass die hiermit verbundene Erwärmung des Ankers nachteilig wird; mit 50 Prozent seiner Nennleistung kann er minutenlang ohne Bedenken überlastet werden. Seine Neigung zum Funken endlich ist geringer als bei dem später behandelten Nebenschlussmotor und sein Wirkungsgrad, wie die nachstehende Tabelle erkennen lässt, keinen bedeutenden Schwankungen unterworfen, so lange die Leistung nicht allzusehr abnimmt.

Tabelle
der Leistungen eines Hauptstrommotors.

Indizierte Ampère.	Indizierte PS.	Gebremste PS.	Normales Drehmoment in kgm.	Umdrehungen in der Minute.	Wirkungsgrad.
10	3,0	1,3	0,40	2300	0,45
15	4,5	3,2	1,47	1560	0,72
20	6,0	4,7	3,03	1110	0,79
25	7,4	6,0	4,88	880	0,81
30	9,0	7,3	7,07	740	0,81
35	10,5	8,4	9,26	650	0,80
40	11,8	9,2	11,36	580	0,78

Die Werte der Tabelle beziehen sich auf einen Motor der Union Electricitäts-Gesellschaft in Berlin, welche

namentlich dem Bau der langsamlaufenden Hauptstrommotoren ihre Aufmerksamkeit widmet. Entsprechend dem günstigsten Wirkungsgrad von 0,81 wird der Motor als 7pferdiger bei 750 Umdrehungen ausgegeben. Diese Leistung (die sogenannte Nennleistung)¹⁾ und Umdrehungszahl wäre also gegebenen Falles der Berechnung der maximalen Last bzw. Geschwindigkeit des angetriebenen Hebezeuges zu Grunde zu legen.

Das Anzugmoment eines Hauptstrommotors beträgt bei entsprechend grösserer Stromstärke ungefähr das Doppelte bis Dreifache des normalen Drehmomentes. So giebt Kammerer in der Zeitschrift des Ver. deutsch. Ingenieure²⁾ für einen 30pferdigen normalen Hauptstrommotor von Siemens & Halske in Berlin, der mit 675 min. Umdrehungen läuft, ein normales Drehmoment von 29 kgm und ein Anlaufmoment von 60 kgm an. Von dem letzteren gehen aber 12 kgm für die Beschleunigung der Ankermasse während des Anlaufes ab, so dass nur $60 - 12 = 48$ kgm als nutzbares Anzugmoment für das Hebezeug verbleiben. Ein gleichpferdiger langsamlaufender Hauptstrommotor derselben Firma, der bei 350 min. Umdrehungen ein normales Drehmoment von 55 kgm entwickelt, liefert beim Anlauf ein maximales Moment von 115 kgm und ein nutzbares von 93 kgm, da zur Beschleunigung der Ankermasse 18 kgm erforderlich sind. - Man ersieht, dass das nutzbare Anlaufmoment des langsamlaufenden Motors nicht ganz zweimal so gross als das des schnelllaufenden normalen ist.

Die Regulierung der Umdrehungszahl bei bestimmter Last lässt sich an Hauptstrommotoren innerhalb genügend weiter Grenzen in leichter Weise ermöglichen. Gewöhnlich schaltet man hierzu der Einfachheit wegen Widerstände in den Anker- oder Magnetstromkreis (parallel zu dem letzteren) ein und aus, trotzdem dabei mehr oder weniger Strom in den Widerständen in Wärme umgesetzt wird und für die Nutzwirkung verloren geht. Um möglichst viele Grössen und Stufen von Widerständen zu ermöglichen, richtet man dieselben meistens so ein, dass sie sowohl einzeln als auch alle hinter- oder parallel-, oder aber gleichzeitig teilweise hinter- und teilweise parallelgeschaltet werden können. Nicht mit dem Nachteil von Energieverlusten ist eine andere Methode der Regulierung verbunden, welche durch Veränderung der Magnetwindungszahl auf die Stärke der Magneterregung und hierdurch auf die Umdrehungszahl einwirkt.

b) Die Nebenschlussmotoren.

Die Magnetwickelungen liegen hier, wie Fig 9 des Textes schematisch zeigt, im Nebenschluss, also in einem Abzweige des Haupt- und Ankerstromkreises, dem sie parallelgeschaltet sind.

Aus dem Umstande, dass durch die Magnetwickelungen ein bedeutend kleinerer Strom als durch den Anker geht und dass sich ferner der Erregerstrom und die Stärke des Magnetfeldes bei wechselnder Belastung nur wenig oder gar nicht ändern, folgen die wichtigsten Eigenschaften des Nebenschlussmotors. Diese sind: Kleineres Anzugmoment als beim Hauptstrommotor, nur ge-

1) Nach dem Entwurf des Verbandes deutscher Elektrotechniker für Normalien zur Prüfung von elektrischen Maschinen und Transformatoren hat als normale Leistung eines Motors bei intermittierendem Betriebe diejenige zu gelten, welche ohne Unterbrechung eine Stunde lang abgegeben werden kann, ohne dass der als zulässig bezeichnete Wert der Temperaturzunahme überschritten wird.

2) Jahrgang 1901, S. 17 u. 20.

ringe Schwankungen in der Umdrehungszahl bei verschiedener Belastung und unveränderter Netzspannung, so dass einerseits eine selbstthätige Einstellung der Geschwindigkeit auf eine von der Last abhängige Grösse wie beim Hauptstrommotor nicht stattfindet, andererseits ein Durchgehen des unbelasteten Nebenschlussmotors von selbst ausgeschlossen und dessen höchste Geschwindigkeit begrenzt ist. Wegen der letztgenannten Eigenschaft finden die vorliegenden Motoren vorzugsweise im Aufzugbau Verwendung. Der Wirkungsgrad des Nebenschlussmotors weicht, wie die nachstehende Tabelle erkennen lässt, innerhalb ziemlich weiter Grenzen

Fig. 9.

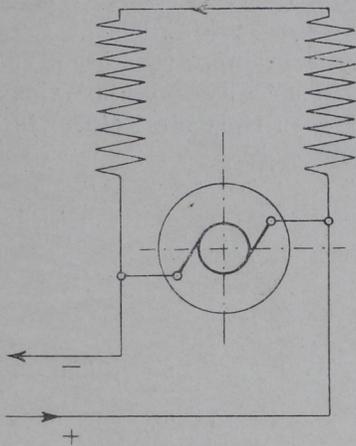
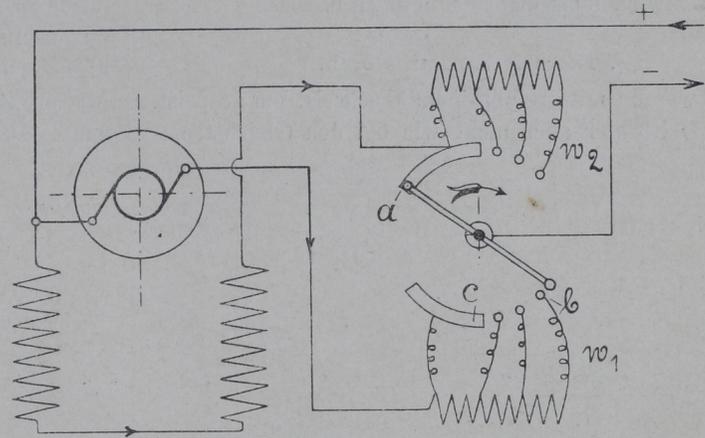


Fig. 10.



von der normalen Leistung nur wenig ab. Die Arbeit der niedergehenden Last kann ferner durch den Nebenschlussmotor in elektrische Energie umgewandelt werden, indem der Motor unter dem Antrieb dieser Last als Dynamo läuft und Strom in das Netz zurücksendet. Dieser Vorteil ist aber, wie schon früher erwähnt, nicht von grosser Bedeutung und wird jetzt, da er für das meist nur wenige Sekunden andauernde Senken der Last zu gering ausfällt und weitere Komplikationen in den Steuerapparaten nach sich zieht, nicht mehr ausgenutzt. Die Neigung zum Funken ist beim Nebenschlussmotor im allgemeinen grösser als beim Hauptstrommotor.

Tabelle
der Leistungen eines Nebenschlussmotors.

Indizierte Ampère.	Gebrenste PS.	Normales Drehmoment in kgm.	Umdrehungen in der Minute.	Wirkungsgrad.
25,5	5	0,5	870	0,65
42	10	1,0	870	0,81
59	15	4,16	860	0,86
78	20	17,25	830	0,87
99	25	22,1	810	0,865
120	30	27,54	780	0,825

Die Werte der vorstehenden Tabelle beziehen sich auf einen 23pferdigen Nebenschlussmotor von Siemens & Halske in Berlin, der mit 830 min. Umdrehungen und 220 Volt Spannung arbeitet. Die Anzugmomente betragen für Nebenschlussmotoren ungefähr das 1,6fache des normalen Momentes und erfordern die 1,6fache normale Stromstärke.

Kammerer¹⁾ giebt das Anzugmoment eines 30pferdigen

1) Siehe die 2. Anmerkung auf S. 16.

Nebenschlussmotors von Siemens & Halske, der mit 770 min. Umdrehungen arbeitet und ein normales Drehmoment von 28 kgm entwickelt, mit 50 kgm an. Da hiervon aber 22 kgm zur Beschleunigung des Ankers dienen, so verbleibt ein nutzbares Anlaufmoment von nur 28 kgm, das bedeutend kleiner als dasjenige des auf S. 16 angeführten Hauptstrommotors (48 bzw. 93 kgm) ist.

Die Regulierung der Umdrehungszahl des arbeitenden, nicht anlaufenden Motors bei unveränderter Last kann auch hier durch Widerstände bewirkt werden, die entweder in den Anker- und Hauptstrom oder in den Erreger- und Nebenstrom eingeschaltet werden. Das letztere Verfahren ist das ökonomischere. Fig. 10 des Textes zeigt eine diesbezügliche Anordnung, wo die

Anlass- und Regulierwiderstände durch Drehen eines einzigen Hebels bedient werden können. Nach einem anderen Regulierverfahren werden die Magnetwickelungen, die in eine Anzahl von Stufen eingeteilt sind, entweder einzeln oder alle hintereinander- oder parallel-, oder aber gleichzeitig teils hintereinander- und teils parallelgeschaltet. Ferner haben die Firmen, welche sich mit dem Bau von Elektromotoren und der Zubehöerteile befassen, noch besondere Reguliermethoden ausgebildet, bezüglich welcher auf die Angaben dieser Firmen selbst verwiesen werden muss.

Beim Drehen des Hebels der Fig. 10 in der angegebenen Pfeilrichtung wird, was bei Nebenschlussmotoren stets zu geschehen hat, beim Anlauf zunächst der Erregerstrom der Magnete bei a und dann erst der Ankerstrom bei b eingeschaltet. Ist der Schluss in b bewirkt, so geht der Ankerstrom durch die sämtlichen Anlasswiderstände w_1 , die stets in den Ankerstromkreis gelegt und, entsprechend der Weiterdrehung des Hebels, allmählich abgeschaltet werden, in c also vollständig ausgeschaltet sind. Nun ist der Anlauf beendet. Bei der Regulierung der Umdrehungszahl wird dann durch Drehen des Hebels über c hinaus der Regulierwiderstand w_2 nach und nach in den Magnetstromkreis eingeschaltet, während der volle Hauptstrom unverändert durch den Anker geht.

Nebenschlussmotoren erhalten mitunter noch eine zweite Wickelung auf den Magneten, die man in den Haupt- oder Ankerstrom legt und als zusätzliche Reihenwicklung gegenüber der im Nebenschluss liegenden Hauptwicklung bezeichnet. Die betreffenden Motoren nennt man Compoundmotoren oder Motoren mit Verbundwicklung. Die Zusatzwicklung dient

dazu, dem Nebenschlussmotor ein grösseres Anzugmoment beim Anlauf zu geben. Auch benutzt man sie hin und wieder dazu, die geringen Schwankungen, welche der Nebenschlussmotor noch in der Umlaufzahl zeigt, ganz zu beseitigen. Die Zusatzwicklung, die nur in einer kleinen Zahl von Windungen besteht, wird dann vom Hauptstrom entgegengesetzt wie die Hauptwicklung vom Nebenstrom durchflossen und schwächt bzw. verstärkt diese bei einer Änderung in der Belastung, wodurch die beim Nebenschlussmotor hiermit verbundenen Geschwindigkeitsschwankungen vollständig beseitigt werden. Im allgemeinen finden aber Compoundmotoren zum Antrieb von Hebezeugen wenig Verwendung, zumal sie die Gefahr in sich bergen, die Schenkel der Magnete durch die Hauptstromwicklung umzumagnetisieren.

4. Die Drehstrommotoren.

Sie werden mit dreiphasigem Wechselstrom gespeist. Derselbe tritt hier aber nicht wie bei den Gleichstrom-

geben zwei Felder, deren Nordpole in \mathfrak{N}_b bzw. \mathfrak{N}_c und deren Südpole in \mathfrak{S}_b bzw. \mathfrak{S}_c liegen. Das hieraus resultierende Feld hat offenbar seinen Nordpol in \mathfrak{N}_I und seinen Südpol in \mathfrak{S}_I (Fig. 11). Entsprechend ergibt sich für den Zeitpunkt II in Fig. 13 z. B., der $\frac{1}{4}$ Periode später als I eintritt und für den α seinen grössten positiven, β und γ denselben halben grössten negativen Wert haben, die aus Fig. 12 des Textes ersichtliche Lage der Pole. Die beiden Felder von β und γ vereinigen sich mit demjenigen von α , das in gleichem Sinne wirkt. Das resultierende Feld $\mathfrak{N}_{II}\mathfrak{S}_{II}$ liegt jetzt horizontal, ist also gegen dasjenige zur Zeit I um $\frac{1}{4}$ Umdrehung oder 90 Grad verschoben, und zwar in der Richtung, in welcher die Ströme in den einzelnen Wicklungsabteilungen aa, bb, cc , ihren positiven Maximalwert erreichen. Verfolgt man weitere Zeitpunkte in der angegebenen Weise, so erkennt man, dass das resultierende Feld, wie es durch

Fig. 11.

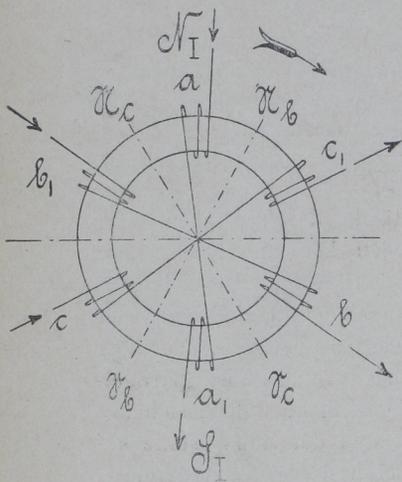


Fig. 12.

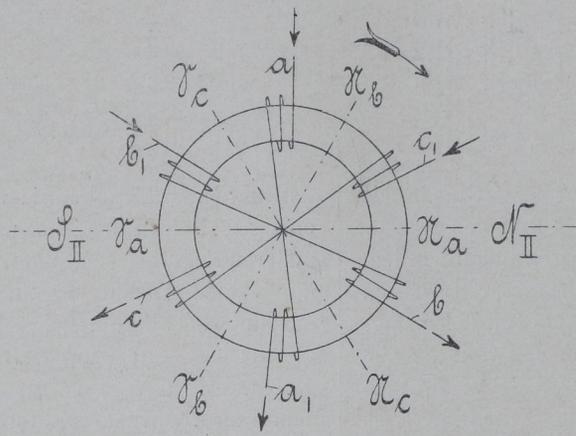
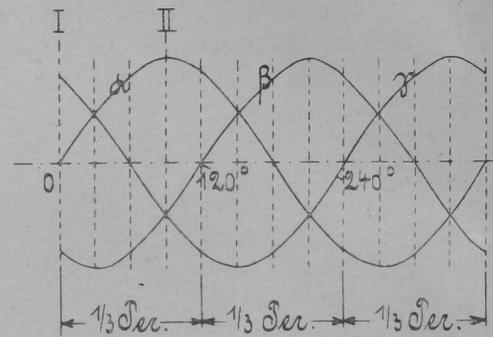


Fig. 13.



motoren in den Anker, sondern in die Wicklungen der Magnete. In den Anker der Drehstrommotoren wird kein Strom eingeleitet, sondern nur ein solcher durch den Erregerstrom der Magnete induziert. Die Wirkungsweise ist dabei die folgende.

Das feststehende Magnetgestell, welches zugleich das Gehäuse des Motors bildet, ist ein Eisenring, der, dem dreiphasigem Wechselstrom entsprechend, mit drei Abteilungen von Drahtwicklungen versehen ist. Sind aa, bb , und cc , in Fig. 11 des Textes diese drei Abteilungen, in welche die einzelnen Wechselströme so eingeleitet werden, dass sie der angegebenen Reihenfolge gemäss ihren grössten positiven Wert erreichen, so erzeugen diese Ströme α, β und γ für den Augenblick I in Fig. 13 die in Fig. 11 des Textes eingetragenen Felder. Der Strom α liefert, da er in dem genannten Augenblicke Null ist, kein Feld, die Ströme β und γ dagegen, die zur Zeit I nach Fig. 13 nicht ganz ihren grössten negativen bzw. positiven Wert erreicht haben, in der Grösse aber gleich sind,

die jeweilige Grösse und Richtung der drei Wechselströme bedingt ist, sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in der angegebenen Richtung dreht. Der Zeitdauer einer Periode entspricht eine volle Umdrehung des resultierenden Magnetfeldes. Die Stärke des letzteren bleibt dabei, wie sich leicht nachweisen lässt, annähernd konstant.

Das sich drehende Magnetfeld schneidet nun weiter die in sich geschlossenen Leiter des Ankers, wenn ein äusserer oder innerer Widerstand denselben zurückhält. Dadurch wird in diesen Leitern ein Ankerstrom induziert, zugleich aber auch infolge der Einwirkung, welche die Kraftlinien des induzierten Ankerstromes auf diejenigen des Magnetfeldes ausüben, der Anker mitgenommen und der Widerstand desselben von dem sich drehenden Kraftmoment des Magnetfeldes überwunden. Dabei bleibt der Anker immer um einen gewissen Betrag hinter dem Magnetfeld zurück, beide laufen asynchron, wie man sagt. Die

Differenz in der Geschwindigkeit beider wird durch die sogenannte Schlüpfung gemessen, das ist der Quotient

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

wenn

n_1 die Umdrehungszahl des Magnetfeldes,

n_2 die des Ankers in der Sekunde

bezeichnet. Solange ein äusserer oder innerer Widerstand am Anker wirksam ist, hat die Schlüpfung einen positiven Wert, und zwar einen um so grösseren, je grösser der zu überwindende Widerstand ist. Würde der letztere im und am Anker Null werden, so würde die Schlüpfung auch Null sein. Das Magnetfeld würde dann die Ankerleiter nicht mehr schneiden, also auch keinen Strom in ihnen induzieren und der Motor, der nun synchron liefe, somit keine Zugkraft entwickeln. Dreht sich aber der Anker infolge eines äusseren Antriebes schneller als das Magnetfeld, so wird die Schlüpfung negativ; der Motor wird dann zum Dynamo und liefert Strom in das Netz zurück.

Die Schlüpfung eines Drehstrommotors beträgt bei Leerlauf infolge des inneren Ankerwiderstandes und der Reibung seiner Welle in den Lagern 2 bis 3, bei voller Belastung 4 bis 7, selten aber mehr als 10 Prozent. Von der Schlüpfung ist auch der Wirkungsgrad des Motors zur Hauptsache abhängig. Während des Anlaufes, wo zur Beschränkung der Stromstärke und zur Steigerung des Drehmomentes bezw. der Anzugkraft auch hier Widerstände in den Ankerstromkreis eingeschaltet werden müssen, nimmt die Schlüpfung unter entsprechender Verminderung der Stromstärke und des Drehmomentes (wenn auch bisweilen unter anfänglicher Steigerung des letzteren) allmählich ab. Das dauert auch noch fort, wenn die erwähnten Widerstände nach und nach ausgeschaltet werden, bis dass nach vollständiger Ausschaltung der letzteren die Schlüpfung ihren bei der betreffenden Belastung möglichen kleinsten, der Wirkungsgrad seinen diesbezüglichen grössten Wert während des Beharrungszustandes annimmt. Sobald aber in den Ankerstromkreis des arbeitenden Motors die Widerstände wieder eingeschaltet werden, nimmt die Schlüpfung wieder zu, sinkt also die Geschwindigkeit und Leistung des Motors unter gleichzeitiger Abnahme des Wirkungsgrades bei gleichbleibendem Drehmoment.

Von wesentlicher Bedeutung für die Eigenschaften eines Drehstrommotors ist ferner die Grösse der sogenannten Streuung. Man versteht darunter den Verlust, welcher dadurch hervorgerufen wird, dass ein Teil der Kraftlinien des Magnetfeldes und induzierten Ankerstromes nicht durch den Anker bezw. die Feldmagnete geht, sondern durch den Spielraum tritt, der zwischen Anker und Feldmagnete vorhanden ist. Dieser Teil der Kraftlinien bleibt für die Leistung des Motors wirkungslos, und deshalb müssen Drehmoment und Wirkungsgrad desselben um so geringer sein, je grösser unter sonst gleichen Verhältnissen die Zahl der wirkungslosen Kraftlinien bezw. die Streuung ist. Die letztere wächst im

allgemeinen mit zunehmender Schlüpfung und Belastung des Motors infolge des dann grösser werdenden Stromes.

Bezüglich der Bauart der Drehstrommotoren ist zu bemerken, dass dieselben, soweit sie zum Antriebe von Lasthebemaschinen dienen, stets mit mehreren Polpaaren versehen, d. h. die Feldmagnete so gewickelt werden, dass durch den eintretenden Strom mehrere Polpaare entstehen. Der Grund hierfür ist wieder, die Umdrehungszahl des Motors möglichst zu beschränken. Bei derselben Periodenzahl fällt nämlich für einen Drehstrommotor mit 2, 3 . . . Polpaaren die Umdrehungszahl des Ankers nur halb, ein Drittel . . . so gross als bei 1 Polpaar aus. Ferner unterscheidet man bezüglich der Bauart Drehstrommotoren mit Kurzschluss- und solche mit Spulenanker. Bei den ersteren, die gewöhnlich nur für kleine Leistungen bis zu 5 PS gebaut

Fig. 14.

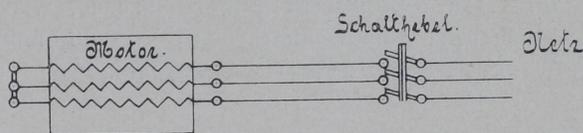
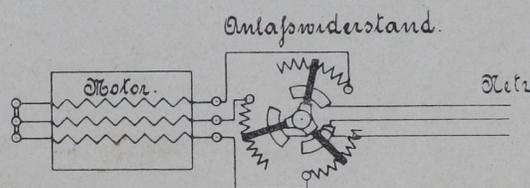


Fig. 15.



werden, besitzt der cylindrische Anker auf seinem Mantel Löcher, die parallel zur Drehachse in geringem Abstände voneinander eingbohrt und mit Kupferstäben ausgefüllt sind; die hervorstehenden Enden der Stäbe sind an jeder Stirnfläche des Ankers durch starke Kupferringe untereinander verbunden, also kurz geschlossen. Schematisch kann ein solcher Motor nach Fig. 14¹⁾ des Textes dargestellt werden. Da hier für gewöhnlich kein besonderer Widerstand in den Ankerstromkreis eingeschaltet werden kann, so muss man durch hinreichend grosse Streuung dafür sorgen, dass beim Anlauf der Ankerstrom genügend geschwächt und für den Anker ungefährlich wird. Selten findet man nach Fig. 15 des Textes bei Motoren mit Kurzschlussanker zur Abschwächung des Anlaufstromes Widerstände in den Magnetstromkreis geschaltet.

Bei den Drehstrommotoren mit Spulenanker ist dieser mit einer Wicklung, ähnlich der des Magnetringes, bekleidet. Diese Wicklung berührt, um Widerstände zur Beschränkung des Anlaufstromes und zur Regulierung der Umdrehungszahl einschalten zu können, mit ihren Enden drei Schleifringe auf der Achse des Motors. Vermittelst Bürsten, welche auf diesen Ringen schleifen,

1) Fig. 14 bis 16 nach „C. Lasehe, Elektrischer Einzelantrieb mit Drehstrom“, Zeitschrift des Ver. deutsch. Ingenieure, Jahrgang 1899, S. 287.

und dreier Leitungen kann dann der Ankerstrom durch den in Stern- oder Dreieckschaltung eingesetzten Widerstand geleitet werden. Fig. 16 des Textes zeigt das Schema solcher Motoren, wenn der Widerstand eingeschaltet ist. Während des Beharrungszustandes wird der letztere ausgeschaltet und der Spulenanker durch einen Kurzschliesser bei abgehobenen Bürsten kurz geschlossen. Ist der Beharrungszustand kurz, muss also der Motor häufig an- und abgestellt werden, wie z. B. bei vielen Kranen, so lässt man den Kurzschliesser der Einfachheit wegen meistens fort.

Über die wichtigsten Eigenschaften der Drehstrommotoren ist das Folgende zu bemerken.

Drehstrommotoren mit Kurzschlussanker und ohne besonderen Widerstand zeichnen sich, da ihnen Kommutator und Schleifringe fehlen, durch grosse Einfachheit aus. Ihre Verwendung bleibt aber nur auf kleine Leistungen und solche Fälle beschränkt, in denen starke Stromstösse, wie sie namentlich beim Anlauf entstehen, nicht vorkommen. Der Wirkungsgrad und das Anzugmoment dieser

stand abschwächen lässt, mit geringerer Streuung als solche mit Kurzschlussanker ausgeführt werden. Sie liefern infolge dessen im allgemeinen einen höheren Wirkungsgrad und ein grösseres Anzugmoment als diese. Allerdings werden diese Vorteile auf Kosten der Einfachheit und Billigkeit erkauft.

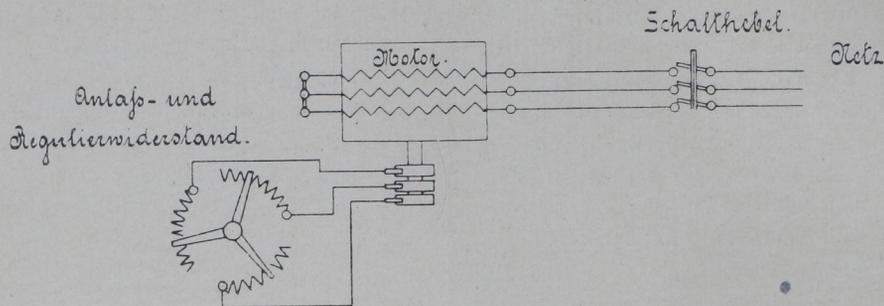
Tabelle

der Leistungen eines Drehstrommotors mit Spulenanker.

Indizierte Ampère.	Gebremste PS.	Wirkungsgrad.	Leistungsfaktor.	Indizierte Ampère.	Gebremste PS.	Wirkungsgrad.	Leistungsfaktor.
32	5	0,74	0,47	90	25	0,9	0,9
42	10	0,85	0,79	108	30	0,9	0,9
57	15	0,88	0,86	127	35	0,89	0,89
73	20	0,89	0,88	147	40	0,88	0,88

Die Werte der vorstehenden Tabelle beziehen sich auf einen Motor der Maschinenfabrik Örlikon in Örlikon von 30 PS Nennleistung, 830 min. Umdrehungen, 150 Volt Spannung und 42 sek. Perioden. Das Anlaufmoment ist ungefähr das Dreifache des normalen Drehmomentes. Der Motor soll auf längere Zeit bis zu 100 Prozent überlastet werden können.

Fig. 16.



Motoren ist ferner wegen der grösseren Streuung und des höheren Ankerwiderstandes geringer als bei Motoren mit Spulenanker und einschaltbarem Widerstand.

Tabelle

der Leistungen eines Drehstrommotors mit Kurzschlussanker.

Gebremste PS.	Wirkungsgrad.	Leistungsfaktor.	Gebremste PS.	Wirkungsgrad.	Leistungsfaktor.
0,2	0,38	0,58	1	0,77	0,92
0,4	0,64	0,73	1,2	0,77	0,92
0,6	0,70	0,83	1,4	0,75	0,92
0,8	0,74	0,89	1,6	0,73	0,91

Die Werte der Tabelle beziehen sich auf einen Motor der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin von 1 PS Nennleistung bei 1440 min. Umdrehungen. Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ rührt, wie schon bei dem Wechselstrom auf S. 11 erklärt, daher, dass die augenblickliche Stromstärke hinter der sie erzeugenden Spannung zeitlich um den Phasenwinkel φ zurückbleibt. Je grösser φ und je kleiner $\cos \varphi$ ist, desto kleiner ist auch der Wirkungsgrad des Motors. Das Anzugmoment beträgt ungefähr das Doppelte des normalen. Mit 50 Prozent Überlastung kann der Motor ohne Anstand $\frac{1}{4}$ Stunde laufen.

Drehstrommotoren mit Spulenanker können, da sich der Anlaufstrom bei ihnen durch einen Anlasswider-

Bei sämtlichen Drehstrommotoren stellt sich im Beharrungszustande von selbst eine der Grösse der Belastung entsprechende Schlüpfung und Geschwindigkeit ein; mit steigender Belastung nimmt jene zu, diese ab. Diese Geschwindigkeitsänderungen sind aber bedeutend geringer als beim Hauptstrommotor, der kleinere Lasten viel schneller als der entsprechende Drehstrommotor hebt. In dieser Hinsicht ist also der Hauptstrommotor dem Drehstrommotor weit überlegen, zumal der letztere sich im Stromverbrauch bei geringer Belastung keineswegs günstiger als der erstere stellt. Andererseits bleibt ein Durchgehen des sich selbst überlassenen Drehstrommotors im unbelasteten Zustande ausgeschlossen, da er wie der Nebenschlussmotor an eine bestimmte höchste Geschwindigkeit gebunden ist. Das Anzugmoment des Nebenschlussmotors ist aber kleiner als das eines entsprechenden Drehstrommotors mit nicht zu grosser Streuung.

Eine grosse Überlastungsfähigkeit und hohe Steigerung des Drehmomentes beim Anlauf lässt sich ferner bei Drehstrommotoren nur durch Einschränkung der Streuung erzielen, ist also für gewöhnlich nur bei Drehstrommotoren mit Spulen-

anker und besonderem Anlasswiderstand vorhanden. Hier beträgt die grösste Leistung, welche vom Motor auf längere Zeit ertragen werden kann, bis zu 100 Prozent, während bei Motoren mit Kurzschlussanker gewöhnlich nur 50 Prozent für längere Dauer zugesichert werden. Der Wirkungsgrad der Drehstrommotoren, der, wie schon erwähnt, mit wachsender Schlüpfung und Streuung abnimmt, soll bei der normalen oder Nennleistung seinen grössten Wert haben.

Gegenüber den Gleichstrommotoren zeichnen sich die Drehstrommotoren dadurch vorteilhaft aus, dass sie bei gleicher Leistung im Bau leichter und gedrängter, in der Wickelung einfacher ausfallen, dass sie gegen Schmutz, Staub u. s. w. weniger empfindlich sind und geringerer Wartung bedürfen. Bei Drehstrommotoren mit Kurzschlussanker ergibt sich ferner aus dem Wegfall des Kommutators und sonstiger dem Verschleiss unterworfenen Teile (ausser den Lagern) ein vollständig funkenloser Betrieb, selbst bei wechselnder Last und Drehrichtung, verbunden mit geringer Reparaturbedürftigkeit und grosser Sicherheit. Für Drehstrommotoren mit Spulenanker sind diese Vorteile, wie schon auf S. 15 vermerkt, dahin zu beschränken, dass die hier verwendeten Schleifringe im allgemeinen, namentlich bei hoher Spannung, weniger Neigung zum Funken zeigen und weniger Anlass zu Störungen geben als der Kommutator der Gleichstrommotoren. Dagegen haben Drehstrommotoren gegenüber den letzteren den Nachteil, dass wegen der drei Leitungen auch drei Schleifkontakte, Sicherungen u. s. w. nötig sind und dass ferner aus Mangel an einer brauchbaren Kurzschlussbremse für Drehstrom mechanische Bremsen mit kompliziertem Steuergestänge angeordnet werden müssen.

Zur Regulierung der Umlaufzahl des arbeitenden Drehstrommotors werden der Einfachheit wegen meistens die Anlasswiderstände benutzt, die dann genügend abgestuft, sowie hinreichend stark für dauernden Betrieb bemessen sein müssen und gewöhnlich Flüssigkeitswider-

stände sind, da der Wechselstrom die Tauchplatten nicht zersetzt. Natürlich bewirken diese Widerstände ebenso wie bei Gleichstrommotoren Energieverluste, da ein Teil des Stromes in ihnen in Wärme umgesetzt wird. Die Widerstände können in den Magnet- oder Ankerstromkreis eingeschaltet werden. Das erstere ist, trotzdem dann der Motor mit einfachem Kurzschlussanker und ohne Schleifringe gebaut werden kann, weniger gebräuchlich, weil dann beim Einschalten des Widerstandes Drehmoment bzw. Zugkraft bedeutend sinken, oft sogar bis zum Stillstand. Auch wird durch Einschaltung des genannten Widerstandes der Stromverbrauch recht ungünstig beeinflusst. Nur die Rückstösse auf das Netz fallen weniger heftig als beim Kurzschlussanker ohne besonderen Widerstand aus. Weit gebräuchlicher ist es, vermittelt dreier Schleifringe und Leitungen mit Stern- oder Dreiecksschaltung einen Flüssigkeitswiderstand in den Ankerstromkreis zu legen, weil dann, wie schon erwähnt, beim Anlassen die Zugkraft bedeutend gesteigert werden kann und dabei der Stromverbrauch nicht allzusehr über den bei völlig ausgeschaltetem Widerstand steigt. Beim Regulieren der Umdrehungszahl sinkt die Geschwindigkeit natürlich um so mehr über die bei ganz ausgeschaltetem Widerstand vorhandene, je mehr Widerstand vorgeschaltet wird.

Bezüglich anderer Reguliermethoden muss auf die Prospekte der einzelnen Firmen verwiesen werden.

Zur Umsteuerung der Drehstrommotoren hat man zwei Zuleitungen, wie z. B. diejenigen der Spulen *bb*, und *cc*, in Fig. 11 auf S. 18 miteinander zu vertauschen. Es ändert sich dann die Umlaufrichtung des resultierenden Magnetfeldes und also auch die des Ankers. Man bedient sich zum Wechseln der Drehrichtung besonderer Umschalter, die gewöhnlich mit dem Anlasser verbunden werden. Zur Funkenlöschung benutzt man bei Drehstrommotoren selten magnetische Funkenlöcher, sondern meistens Anlasser mit Kohlenkontakten, deren Kohlenstücke leicht auswechselbar sind. Die Anlasser für Drehstrom fallen insofern komplizierter aus, als sie drei oder mindestens zwei Kontaktreihen an Stelle einer einzigen bei Gleichstrom erfordern.