

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000303992

xx  
425



III 33980



StB. 262/99

Janin

Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

F. Nr. 22 992



# Elektrischer Antrieb in Hütten- und Walzwerken.

Von Oberingenieur O. Lasche in Berlin.

Sonder-Abdruck aus der Zeitschrift »Stahl und Eisen«, 1899, Heft 19.

In der letzten Hauptversammlung des »Vereins deutscher Eisenhüttenleute« hielt Herr Ingenieur E. Kieselbach einen Vortrag über Motoren zum Antrieb von Walzenstrassen, und berührte am Schluss seiner Ausführungen mit einigen Worten den elektrischen Antrieb der Walzwerke.

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft betreibt die Walzenstrassen ihres an der Oberspree bei Berlin gelegenen Kabelwerkes seit nahezu 1 $\frac{1}{2}$  Jahren mit Elektromotoren. Die nachstehende Tafel I (Seite 3) giebt ein Bild dieses Kupferwalzwerkes. In einem Raume von 20 m Breite und 45 m Länge ist ein Vorwalzwerk mit 4 Walzgerüsten und eine Feinstrasse mit 7 Walzgerüsten aufgestellt. Die Walzenstrassen wurden von der Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. Gebr. Klein, Dahlbruch, gebaut.

Das Vorwalzwerk macht 108 Umdrehungen in der Minute und wird mittels Seilübertragung durch einen Drehstrommotor betrieben. Der Motor leistet bei 380 Minuten-Umdrehungen und 500 Volt Spannung im Mittel 200 PS und treibt mit einer Seilscheibe von 1,4 Meter Durchmesser auf die Scheibe der Walzenstrasse von etwa 5,0 m Durchmesser. Es wurde seiner Zeit hier eine Uebersetzung angewendet, trotzdem es wohl möglich ist, Drehstrommotoren mit der verlangten geringeren Tourenzahl zu bauen.

Die Feinstrasse ist mit einem Drehstrommotor von 400 PS bei 420 Umdrehungen direkt gekuppelt, zur Unterstützung des Motors wurde ein Schwungrad eingebaut.

In elfstündigem Betriebe können mit den beiden Walzenstrassen 27 000 kg Kupfer aus Barren von etwa 60 kg Gewicht und etwa 0,8 qdcm zu Draht von 7 mm Durchmesser ausgewalzt werden, das sind im Tag rund 200 km Draht. Da die beiden Walzenstrassen durch das Auswalzen von Draht und Bandkupfer bereits voll ausgenutzt sind, werden zur Zeit noch zwei neue Strassen zum Auswalzen von Trolleydraht im anstossenden Raume angelegt.

Obwohl der Kraftbedarf des gesamten Kabelwerkes, sowie die günstige Lage des Werkes an der schiffbaren Spree die Anlage einer ökonomisch arbeitenden eigenen Kraftzentrale ermöglicht hätten, um so mehr, als auch Dampf zu Heizzwecken für das Gummiwerk gebraucht wird, wird der Strom doch von einer öffentlichen Zentrale, von dem Elektrizitätswerk Oberspree, bezogen. Dies geschah hauptsächlich darum, weil man aus dem öffentlichen Werk Strom in be-

Akc. Nr. 4940/51

24  
725

liebig wechselnder Menge zu jeder Zeit beziehen kann und keine Reserve für etwaige Betriebsstörungen einer eigenen Zentrale braucht.

In dem etwa 1 $\frac{1}{2}$ jährigen Betriebe sind Betriebsstörungen nicht vorgekommen und arbeitet die ganze Anlage zur vollsten Zufriedenheit. Die Vorteile, die sich gegenüber Walzwerken mit Dampftrieb ergeben haben, sind vor allem das rasche, zuverlässige Arbeiten, die Raumerparnis, der Wegfall jeder Bedienung an den Motoren, ferner reichliches Licht und vermehrte Sauberkeit. Die Leistungsfähigkeit ist dementsprechend eine entschieden höhere, als bei den mit Dampfmaschinen betriebenen Werken. Zur weiteren Diskussion dieser Erfahrungen ist es erforderlich, zunächst mit einigen Worten auf den elektrischen Antrieb im allgemeinen einzugehen.

In einem grossen Hüttenwerke sind viele Dutzend Dampfmaschinen von kleinsten bis zur grössten Leistung im Betriebe, von denen die meisten ausserordentlich unwirtschaftlich arbeiten. Durch die vielen getrennten Maschinen- und Kesselanlagen wird der ganze Betrieb teuer und für den verantwortlichen Betriebsleiter äusserst unübersichtlich. Die gesamte Grundlage ist derart ungünstig, dass die Vorteile, welche durch Ueberhitzung des Dampfes, moderne Dampfkesselanlagen, Economiser, Zentralkondensationen u. s. w. erreicht werden könnten, gar nicht ins Gewicht fallen.

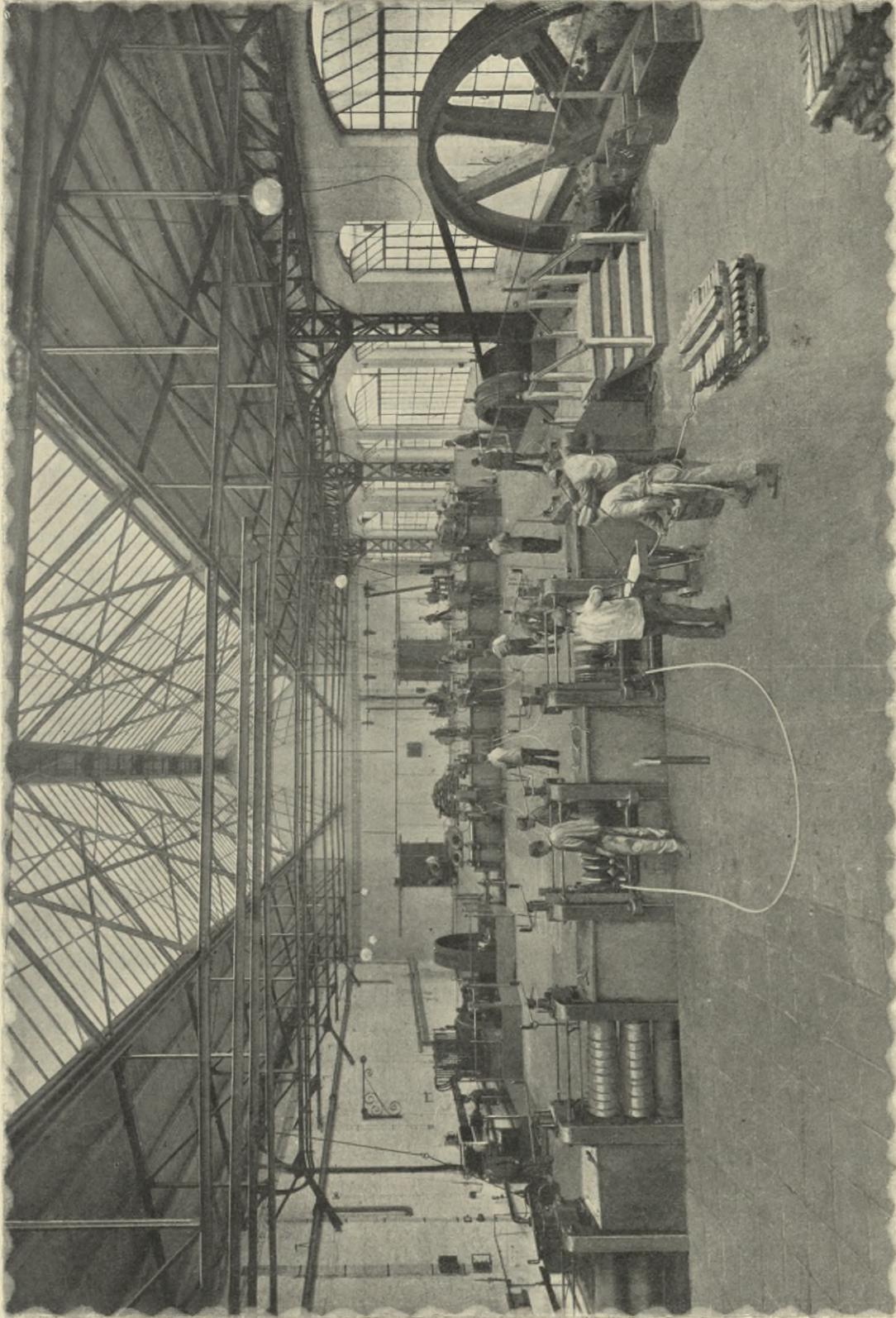
Die Hütten- und Walzwerke sind aber heute gezwungen, auf möglichst sparsamen Verbrauch des Dampfes zu sehen, auch ist die Technik in der Lage, Umwälzungen anzubahnen, welche so enorme Ersparnisse versprechen, dass die erforderliche Vergrösserung des Anlagekapitals gerechtfertigt ist und auch die grossen Unannehmlichkeiten einer Umbauperiode in Kauf genommen werden müssen.

Der Frage der vollen Auswertung der Hochofengase muss heute von allen Seiten näher getreten werden, nachdem erwiesen ist, dass die direkte Verwendung dieser Gase in Gasmotoren durchführbar ist. Noch vor einem Jahre sprachen sich massgebende Hüttenleute gegen die direkte Verwendung von Hochofengas aus, doch haben die mit solchen Motoren gemachten Erfahrungen bewiesen, dass der Betrieb möglich ist und zu ernstesten Anständen Bedenken nicht vorliegen. Entsprechend den für Hüttenwerke geforderten Leistungen wurden bereits Einheiten bis zu etwa 1000 PS in Bau genommen.

Ein weiterer Punkt, welcher erforderlich war, um die heutige Umwälzung zu ermöglichen, war die Einführung des Drehstromes in die Industrie. Erst hierdurch wurde es möglich, Kraft auf bequeme Art und ohne hohe prozentuale Verluste auch weithin fortzuleiten und beliebig verzweigt zu verteilen.

Auf diese Weise sind aus den Hochofengasen jährlich viele Millionen nutzbar zu machen. Nach F. W. Lürmann handelt es sich für Deutschland allein um eine verfügbare Leistung von nicht weniger als etwa 500 000 PS\*), in welcher Zahl die von den Hüttenwerken im eigenen Betriebe verbrauchte Energie nicht einbegriffen ist. Der Bau von Zentralen mit Gasmotorenantrieb ist nun auch in jüngster Zeit von vielen Werken in Angriff bzw. in Aussicht genommen worden, und da den Hüttenwerken dadurch Energie in grosser Menge zur Verfügung gestellt wird, liegt auch seitens der Hüttenwerke das Bestreben vor, in grösstmöglichem Umfange den elektrischen Antrieb einzuführen. Aufgabe der elektrotechnischen Firmen ist es, diesem wirtschaftlichen Be-

\*) »Stahl und Eisen« 1899, Seite 476.



Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

KUPFER-WALZWERK.

streben Rechnung zu tragen und die Durchführung des elektrischen Antriebes zu ermöglichen. Der Bau der Dynamomaschinen für direkte Kupplung mit Gasmotoren verlangte einige besondere Konstruktionen, insbesondere mussten die Maschinen mit viel Schwungmasse ausgerüstet werden, also die Umfangsgeschwindigkeit musste gesteigert werden. Bezüglich der Elektromotoren war dem wachsenden Bedürfnis nach geringerer Tourenzahl Rechnung zu tragen, um hierdurch Zwischenglieder, insbesondere bei grossen Kräften, zu vermeiden.

Entsprechend dem Bestreben, den stets wachsenden Forderungen der Praxis dauernd nachzukommen, ist auch seitens der elektrotechnischen Firmen die hohe Verantwortung und Bedeutung von Ingenieurarbeiten im Gegensatz zu der ursprünglichen Installationsthätigkeit längst erkannt und voll gewürdigt worden. Die elektrotechnischen Firmen selbst verfügen grossenteils über mustergiltig eingerichtete Werkstätten\*) und können bei Neuanlagen von mechanischen Werkstätten und beim Zusammenbau von Werkzeugmaschinen und Motoren manche Erfahrung zur Verfügung stellen. Auch an anderen Maschinen, die für Walz- und Hüttenwerke in Betracht kommen, hat sich der elektrische Antrieb bereits bewährt. Rangierlokomotiven werden vielfach elektrisch betrieben, für die engen Stollen ist die gedrängte elektrische Grubenlokomotive oft Bedingung, um den mechanischen Transport zu ermöglichen. Hinzu kommen die elektrisch betriebenen Krane, Aufzüge, Förderanlagen u. s. w.

Die Ausführung von grösseren Fördermaschinen bedarf, insbesondere bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit, noch eingehenden Studiums und mancher Erfahrung.\*\*\*) Unterirdische Wasserhaltungen sind schon vielfach mit elektrischem Antrieb gebaut worden.\*\*\*)

Die Frage des elektrischen Antriebes von Walzwerken wurde noch nirgends eingehend besprochen, die einzigen Resultate, welche bekannt wurden, waren negative.

**Zentralisation der Krafterzeugung.** Die gesunde Grundlage aller Bestrebungen, den Betrieb zu vereinfachen und zu verbilligen und einfache, unbedingt betriebssichere Elektromotoren an die Stelle von unzähligen verstreuten Dampfmaschinen und Kesselgruppen zu stellen, wird helfen, die auftretenden Schwierigkeiten und Störungen zu überwinden. Schon in Fällen, wo weder Wasserkraft noch Hochofengase zur Verfügung stehen, wo also Dampfkessel und Dampfmaschinen verwendet werden müssen, bietet bereits die durch den elektrischen Antrieb ermöglichte Zentralisation der Krafterzeugung grosse Vorzüge. Infolge der Unabhängigkeit der Zentrale und infolge des hohen Nutzeffektes der elektrischen Kraftverteilung mittels Drehstrom, kann man die Zentrale unter Berücksichtigung aller für die wirtschaftliche Erzeugung und Verteilung des Stromes in Frage kommenden Punkte anlegen. Da die gesamte Kraft an einem Orte und gemeinsam erzeugt wird, können grosse ökonomisch arbeitende Maschinen aufgestellt werden; es geht die A. E. G. in den von ihr zu bauenden Anlagen bereits bis zu 3000 und 4000 PS Einheiten, für welche Einheiten z. B. der garantierte Dampfverbrauch in sehr weiten Leistungsgrenzen nur etwa  $4\frac{1}{2}$  bis  $4\frac{1}{4}$  kg pro ind. PS und Stunde beträgt. Wie im Maschinenhaus, so konnte in der Anlage der Dampfkessel die grösste Wirtschaftlichkeit erreicht werden durch die geschickte Ausnutzung konzentrierter Massenleistung.

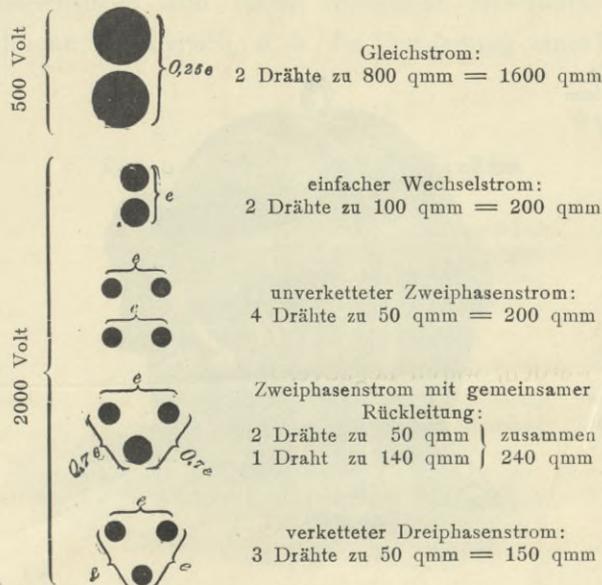
\*) »Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure« 1899, Seite 113, 141 und 178.

\*\*\*) In der Eisenerzgrube »Hollertszug« bei Herdorf a. Sieg z. B. ist seit Mai 1895 eine 60 PS Förderanlage im Betriebe, welche das Erz aus einem 240 m tiefen Schachte fördert, vom Ende des Schachtes findet die weitere Förderung durch einen 1800 m langen Stollen mittels Grubenlokomotive statt.

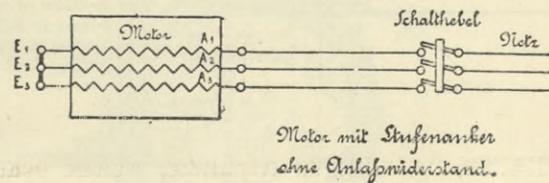
\*\*\*\*) Vergl. Unterirdische Wasserhaltung von 800 PS auf Zeche »Vereinigte Maria, Anna und Steinbank in Höntrop bei Bochum,« »Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure« 1898, No. 49, S. 1341.

Da bei zentralisierter Energieerzeugung die Kraftschwankungen der verschiedenen Arbeitsstellen sich innerhalb weiter Grenzen ausgleichen, so arbeiten Maschinen und Kessel mit einer mehr konstanten Belastung und mit besserem Nutzeffekt. Maschinen und Kessel können in Summa für geringere Leistung bemessen sein. Ebenso gestaltet sich die Aufstellung einer gemeinsamen Reserve für den gesamten Betrieb wesentlich günstiger; beim gänzlichen Fehlen oder bei ungenügender Grösse einer Reserve können jederzeit wenigstens diejenigen Arbeitsmaschinen Strom bekommen, deren Inganghaltung ganz besonders wichtig ist.

Ferner tritt eine Verminderung des Bedienungspersonals ein, die Wartung wird sachverständiger und die Ueberwachung, insbesondere auch im Nachtbetriebe, wird durch die elektrischen Mess- und Registriervorrichtungen erleichtert.



Figur 1.



Figur 2.

Wir sehen also, dass durch Zentralisierung der Krafterzeugung diese vereinfacht, verbessert und verbilligt wird. In der Dampferzeugung hatte man auf den Hüttenwerken bisher schon die Zentralisation, aber hierdurch waren die langen Dampfleitungen mit all ihren Uebelständen erforderlich, sodass die Vorteile der Zentralisierung kaum zur Geltung gelangen konnten.

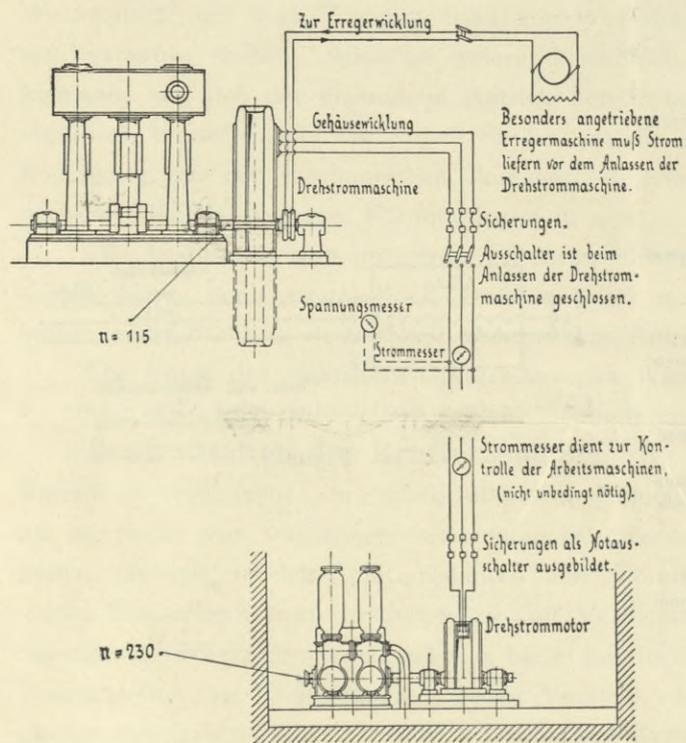
Viel einfacher aber und billiger als mit Dampf-, Presswasser- und Druckluftleitungen ist der Betrieb mit dem elektrischen Kabel; einmal verlegt, verlangt dieses überhaupt keine Wartung und passt sich auch bei grössten Leistungen den ungünstigen Platzverhältnissen leicht an.

**Betrieb mit Elektromotoren.** »Der elektrische Antrieb der Walzenstrasse muss durch eine Dampfmaschine ersetzt werden«, die »elektrische Schere geht nicht«, »der elektrische Einzelantrieb der mechanischen Werkstatt musste durch Gruppenantrieb ersetzt werden«.

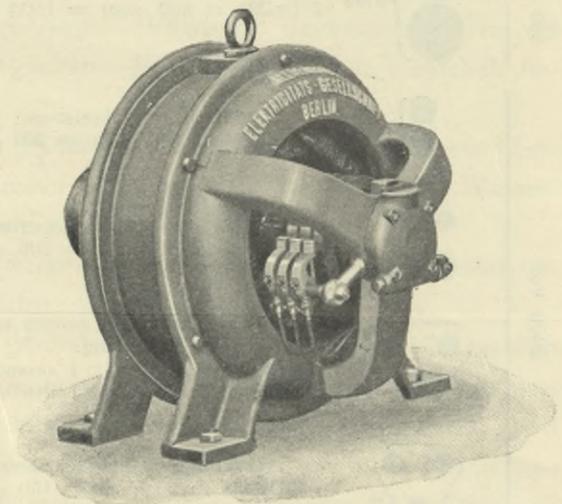
Dies sind Einwendungen, welche gar so oft und gern immer und immer wiederholt werden als Waffe gegen das Neue, ohne dass man es als erforderlich erachtete, mit einigen wenigen

Worten zu erklären, aus welchem Grunde es »nicht geht«, welches Detail die Schuld trägt, oder ob etwa die Gesamtanordnung verfehlt war. Der Ausdruck »das Elektrische« sagt aber gar nichts. Ebenso wie die richtige Wahl der Stromspannung erforderlich ist, ist vor allem die Stromart selbst zu diskutieren. Es kann für Kraftübertragung und Kraftverteilung grösseren Stiles heute nur noch Drehstrom in Frage kommen und zwar aus folgenden Gründen:

**Die Motoren.** Die heutigen Einphasen-Wechselstrommotoren haben einige schwerwiegende Nachteile gegenüber dem Dreiphasenmotor, dem Drehstrommotor; sie laufen schwer und nur im unbelasteten Zustande an, ihre Ueberlastungsfähigkeit ist gering und der Wirkungsgrad schlechter. Die Gleichstrommotoren verlangen dauernde Bedienung und Wartung. Die Stromzuführung er-



Figur 3.



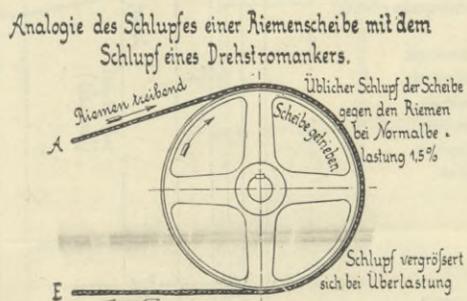
Figur 4.

folgt durch schleifende Bürsten und den empfindlichen Kommutator. Abnutzung des Kommutators und häufige Reparaturen der Anker stehen aber ebenso im Gegensatz zu dem geforderten Dauerbetriebe, wie Zugänglichkeit der genannten Teile eine schwer zu vereinbarende Bedingung ist mit geschütztem, gedecktem Bau und geringster Raumbeanspruchung. Der Drehstrommotor bedarf keiner Bedienung und sind Reparaturen an ihm nahezu ausgeschlossen. Er thut ohne Unterbrechung im Dauerbetriebe seine Schuldigkeit. Wenig zugänglich aufgestellt, verlangt er keinen Platz für Wartung und auch gegen Staub und Schmutz ist er weniger empfindlich. Seine geringe Raumbeanspruchung und der Wegfall jeder Bedienung erleichtern den Einbau bzw. den Zusammenbau mit Arbeitsmaschinen und ermöglichen eine viel weiter-

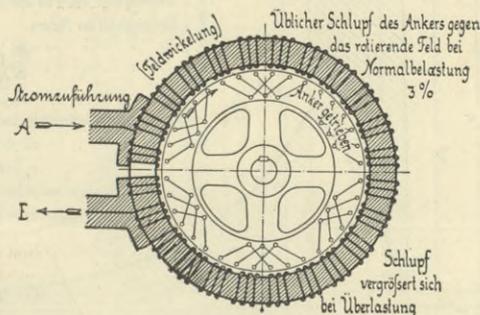
gehende Verwendbarkeit. Dem einfacheren Bau und dem geringeren Gewicht entsprechend, stellt sich auch der Preis des Drehstrommotors von gleicher Leistung und Umdrehungszahl niedriger.

**Die Leitungen.** Mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit sollten Spannungen von 500 Volt für Gleichstrombetriebe nicht überschritten werden. Bei Wechselstrom und Drehstrom sind Spannungen von mehreren tausend Volt ohne Bedenken anwendbar, so werden 30 PS-Motoren noch für 2000 Volt gebaut. Beim Einphasen-Wechselstrom erhalten die Leitungen erheblich grössere Querschnitte bei gleicher Strommenge und Spannung als beim Drehstrom. Zum Vergleiche sind die bezüglichen Leitungsquerschnitte in Figur 1 zusammengestellt.

**Umformer - Transformatoren.** Statt des für Fernleitungen erforderlichen hochgespannten Stromes ist an der Stromverbrauchsstelle oft niedrigere Spannung erwünscht. Der Strom muss von der höheren Spannung in solchen von niedriger Spannung verwandelt werden. Bei Gleichstrom sind hierzu rotierende Maschinen-»Umformer«, wie sich der Sprachgebrauch ausdrückt, erforderlich, d. h. die Verbindung eines Hochspannungsmotors mit einer Dynamomaschine



Figur 5.



Figur 6.

für geringere Spannung; bei Dreh- und Wechselstrom wird der Strom durch ruhende Apparate sogenannte »Transformatoren«, welche selbstverständlich keiner Abnutzung unterworfen sind und keiner Wartung bedürfen, in seiner Spannung verändert.

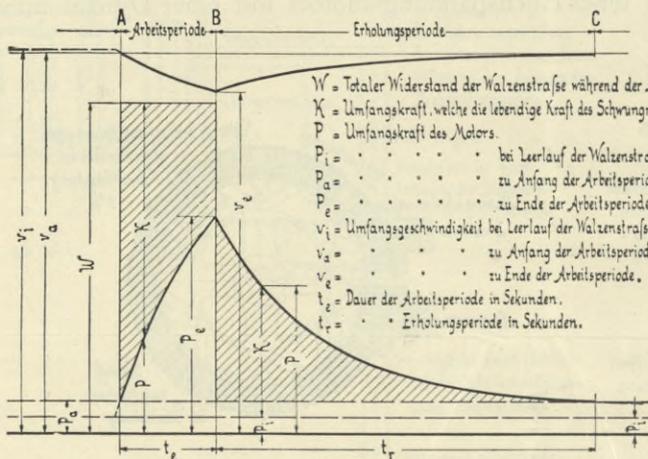
**Das Anlassen der Motoren.** Die einfachste Form ist der Motor mit Kurzschlussanker. An ihm ist mit Ausnahme der Lager kein Teil der Abnutzung unterworfen. Zum Anlassen und Abstellen genügt ein Schaltknopf oder ein Schalthebel (Figur 2). Die Zugkraft des Motors (mit Kurzschlussanker) beim Anlaufen ist bei kleinen Motoren (bis 5 oder 10 PS) nahezu das Doppelte der normalen Zugkraft.

Auch bei grossen Motoren (Figur 3) kann der einfache Kurzschlussanker Verwendung finden, indem die Motoren mit der Dynamomaschine zugleich angelassen werden. Diese Ausführungsart findet ihre häufigste Anwendung bei elektrisch betriebenen unterirdischen Wasserhaltungen. Die Motoren werden vor Beginn des Betriebes in das Netz eingeschaltet oder bleiben überhaupt in dem Stromkreis der Dynamomaschine; sie sind sozusagen mit der Primärmaschine elektrisch gekuppelt und laufen mit dieser gemeinsam an.

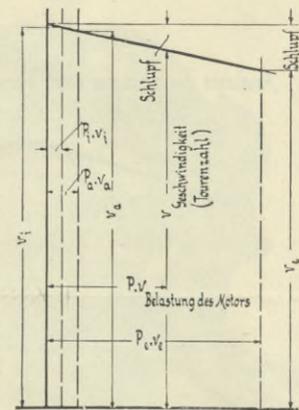
Zum Anlassen mit erhöhter Anzugskraft und beliebig langsamen Anlauf werden Widerstandsapparate verwendet, welche in den Ankerstromkreis (Figur 4) eingeschaltet werden, und durch Regulieren der genannten Widerstände, d. h. durch Verändern des Widerstandes im Ankerstromkreis, kann die Anlaufperiode beliebig verlängert werden. Es kann die Umlaufzahl auch dauernd, während des ganzen Betriebes innerhalb weiter Grenzen reguliert werden.\*)

In dieser Ausführung kann der Drehstrommotor beim Anlauf bis das Dreifache der normalen Zugkraft entwickeln; der Schleifringanker wird also überall dort zu verwenden sein, wo der Motor mit voller Last langsam anlaufen muss.

Werden die Schleifringe nur für die Anlaufperiode benutzt, so wird, nachdem der Motor läuft, durch einen »Kurzschliesser« der Ankerstromkreis im Anker selbst geschlossen, die Bürsten werden von den Schleifringen abgehoben und so der Anker wieder in einen Kurzschlussanker mit seinen natürlichen Vorzügen verwandelt.



Figur 7.



Figur 8.

### Besondere Bedingungen der Motoren für den Antrieb von Walzenstrassen.

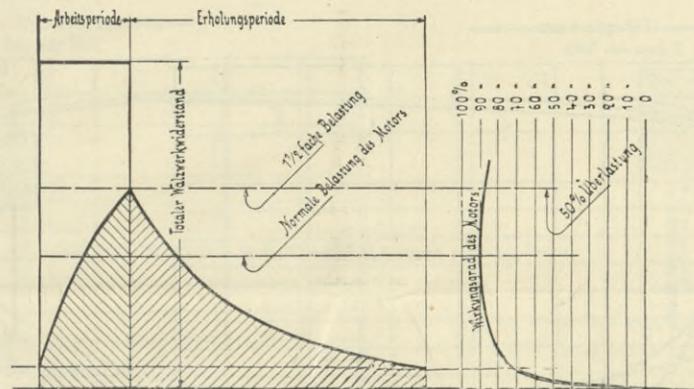
Die Tourenzahl der Drehstrommotoren nimmt mit steigender Belastung um einige Prozent ab. Um von dem Wesen des Drehstrommotors in dieser Beziehung ein Bild zu geben, sei im folgenden das Schlüpfen des Motorankers verglichen mit dem Schlüpfen eines Treibriemens auf einer Riemenscheibe (Figur 5).

Wird von der angetriebenen Transmissionswelle keine Arbeit abgenommen, läuft also die Riemenscheibe leer, so ist der Schlupf des Riemen auf der Scheibe nur ganz gering, die Umfangsgeschwindigkeit des treibenden Riemen ist nur sehr wenig grösser als die der angetriebenen Scheibe. Wird aber von der Welle Arbeit abgegeben, muss der Treibriemen also eine grössere Zugkraft ausüben, so wächst der Schlupf der Scheibe, d. h. die Riemenscheibe bleibt gegen den treibenden Riemen zurück. Eine gleiche Erscheinung zeigt sich beim Drehstrommotor in der gegenseitigen Wirkung zwischen dem Anker und dem sogenannten »rotierenden Feld« der Gehäusewicklung.

\*) »Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure.« 1899, Seite 287.

Die Wicklung, welche in dem feststehenden Motorgehäuse eingebettet liegt (Figur 6), wird in getrennten Stromkreisen von drei Wechselströmen in der angenommenen Drehungsrichtung durchflossen. Das Zusammenwirken dieser drei Ströme erzeugt in dem Gehäuseeisen ein wandern- des Magnetfeld, das sogenannte Drehfeld, welches den Anker (Eisenkern) mitzuziehen bestrebt ist, ihn also in Drehung versetzt.

Wenn der Anker an seine Welle Arbeit nicht abzugeben hat (Leerlauf), rotiert der Anker mit nahezu der Geschwindigkeit des rotierenden Feldes; mit zunehmender Belastung jedoch beginnt der Anker zu schlüpfen, d. h., der Anker beginnt etwas zurückzubleiben, er beginnt zu gleiten. Dieser Schlupf der Motoren ist in den Grenzen der normalen Belastung nahezu proportional der zunehmenden Belastung. Beträgt er z. B.  $1\frac{1}{2}$  Prozent bei halber Belastung, so ist er ca. 3 Prozent bei voller Belastung. Bei der Berechnung und Konstruktion eines Drehstrom- motors kann man den Schlupf grösser oder kleiner annehmen, je nach Wahl wird dann mit zu- nehmender Belastung die Umdrehungszahl des Motors mehr oder weniger sinken.



Figur 9.

Dieser Schlupf der Motoren stellt allerdings einen geringen prozentualen Verlust dar, genau wie beim Riemenbetrieb. Es ist daher für normale Betriebsmotoren, mit Rücksicht auf den Wirkungsgrad des Motors, ein möglichst geringer Schlupf erwünscht; beim elektrischen Walzwerksantrieb kommt es indessen auf den Gesamtwirkungsgrad der Anlage an, der unter Berücksichtigung der allgemeinen Vorzüge selbst bei grossem Schlupf sehr hoch sein dürfte.

Durch diese Eigenschaft des Schlüpfens, dass also der Motor seine Umdrehungszahl mit zunehmender Belastung verringert, kann die lebendige Kraft einer Schwungradmasse einen Teil der momentan zu leistenden Arbeit übernehmen, da ein Schwungrad Arbeit abgeben kann, wenn seine Geschwindigkeit abnimmt. Der Motor dürfte also erheblich kleiner sein, als dem auftretenden Maximalwiderstand entspricht.

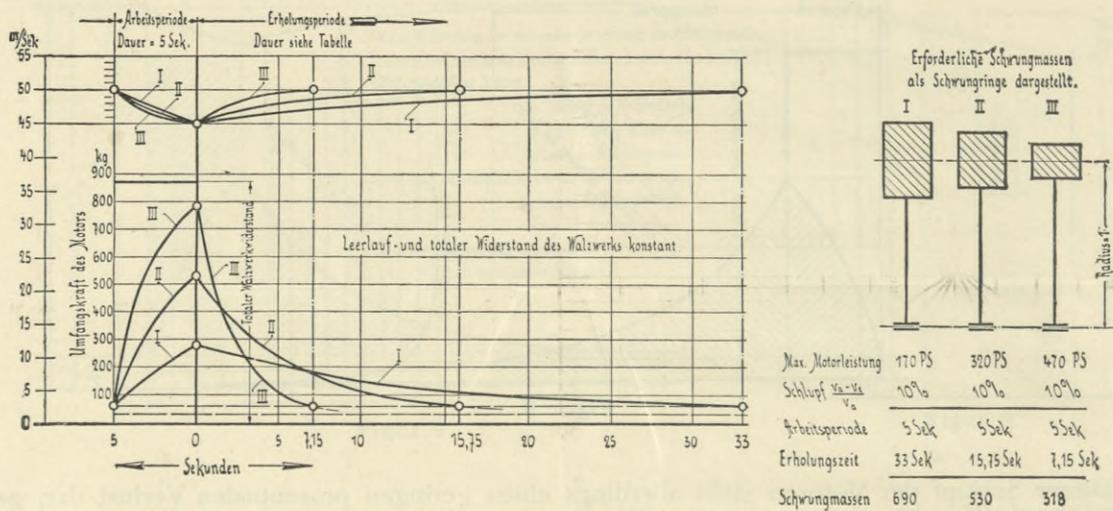
Im folgenden wird nur auf den Betrieb von Schwungrad-Walzenstrassen Rücksicht genommen; Motoren zum Antrieb von Reversierstrassen müssen, entsprechend den völlig anderen Betriebsbedingungen, aus der vorliegenden Betrachtung ausgeschlossen bleiben und soll zunächst untersucht werden, in welcher Weise der Motor vom Schwungrad unterstützt wird, und welche Ueberlegungen für die Bemessung von Motorgrösse und Schwungradenergie massgebend sind.

Wir müssen hierfür zwei Hauptperioden, die Walz- oder Arbeitsperiode im Gegensatz zu einer Erholungspause, unterscheiden. Unter Erholungsperiode sei verstanden der Zeitraum, während welchem die vom Schwungrade abgegebene Arbeit wieder vom Motor in das Schwungrad aufgespeichert wird. In der Annahme, dass sowohl der Leerlaufwiderstand ( $P_i$ ) der Walzenstrasse und des Motors, als auch dass der totale Widerstand der Walzenstrasse ( $W$ ) während der Arbeitsperiode konstant ist, ergeben sich folgende Beziehungen, wobei sämtliche vorkommenden Kräfte und Umfangsgeschwindigkeiten auf den Radius 1 reduziert wurden.

a) Arbeitsperiode.

Zur Ueberwindung des während der einzelnen Arbeitsperioden als konstant angenommenen Widerstandes  $W$  stehen zur Verfügung: Die Umfangskraft des Motors und derjenige Teil der lebendigen Kraft des Schwungrades, welcher durch das Sinken der Tourenzahl frei wird. Es ist  $W = P + K$ , wobei  $K$  die freiwerdende Umfangskraft des Schwungrades bedeutet.

Während dieser Arbeitsperiode fällt die Geschwindigkeit von  $v_a$  auf  $v_e$ ; Strecke A B der Figur 7.



Figur 10.

Die obere Kurve von A bis B giebt den Abfall von  $v$ , die untere Kurve die Aenderung des Verhältnisses von  $K$  zu  $P$ , d. h. das Verhältnis der vom Motor geleisteten Umfangskraft zu der vom Schwungrade abgegebenen. In der Grundgleichung:

$$W = P + K \text{ ist } K = m \frac{dv}{dt}$$

Die Bestimmung von  $P$  geschieht aus vorstehender Figur 8, in welcher die zugehörigen Geschwindigkeiten  $v$  für die verschiedenen Belastungsgrößen des Motors  $P \cdot v$  aufgetragen wurden. Die Beziehung zwischen  $v$  und  $P \cdot v$  ist bei den Drehstrommotoren zur bequemeren Berechnung als linear angenommen. Es sei zu Beginn der Arbeitsperiode der Beharrungszustand des Leerlaufes noch nicht wieder völlig erreicht, der momentane Wert von  $v$  sei  $v_a$ , also noch etwas kleiner als  $v_i$ , welches dem Leerlauf entspricht, derjenige von  $P \cdot v$  sei  $P_a \cdot v_a$ . Die zu  $P_a \cdot v_a$  und  $P_e \cdot v_e$  gehörigen Werte von  $v_a$  und  $v_e$  sind durch die Dimensionierung des Motors bekannt.

Es ist diese Beziehung gegeben durch die Gleichung:

$$P = \frac{P_e \cdot v_e (v_a - v) + P_a \cdot v_a (v - v_e)}{v (v_a - v_e)}$$

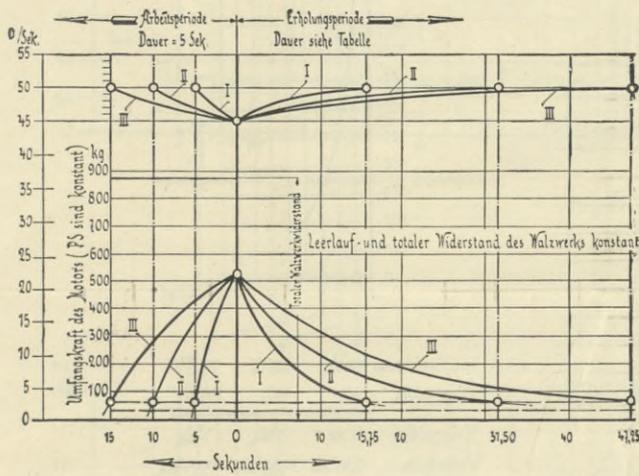
Diese Werte von K und P in die Grundgleichung eingesetzt giebt:

$$W = \frac{P_e \cdot v_e (v_a - v) + P_a \cdot v_a (v - v_e)}{v (v_a - v_e)} + m \frac{dv}{dt}$$

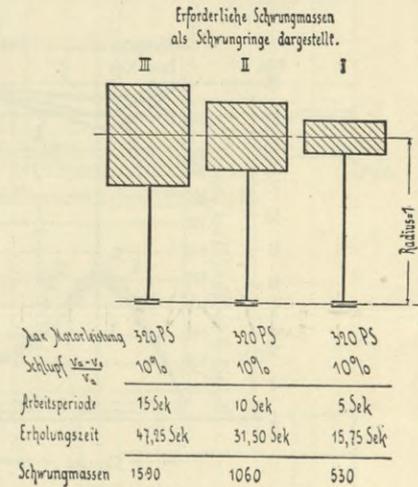
Hieraus lassen sich die Gleichungen der Kurven für P und v als Funktionen der Zeit entwickeln und wir können für die einzelnen Sekunden die bezügliche Geschwindigkeitsabnahme der Schwungmasse und die zugehörige Kraftinanspruchnahme des Motors in eine Kurve auftragen.

### b) Erholungsperiode.

Das Schwungrad ist durch den Drehstrommotor wieder von der am Ende der Arbeitsperiode erreichten Geschwindigkeit  $v_e$  auf seine Anfangsgeschwindigkeit  $v_a$  zu beschleunigen. Während



Figur 11.



dieser Periode hat der Motor zu überwinden: den konstanten Leerlaufwiderstand  $P_i$  und die Widerstandskraft K, welche die Trägheit der Schwungmasse ihrer Beschleunigung entgegengesetzt. In jedem Moment gilt die Gleichung  $P = K + P_i$ .

Die Kurven auf der Strecke BC zeigen die Zunahme der Geschwindigkeit und das Abnehmen der vom Motor zu leistenden Umfangskraft P. In der Grundgleichung  $P = K + P_i$  hat K genau denselben Wert, wie während der Walzperiode.

Es ist  $K = m \frac{dv}{dt}$ . Der Wert von P bestimmt sich aus Figur 8. Es ist

$$P = \frac{P_e \cdot v_e (v_i - v) + P_i \cdot v_i (v - v_e)}{v (v_i - v_e)}$$

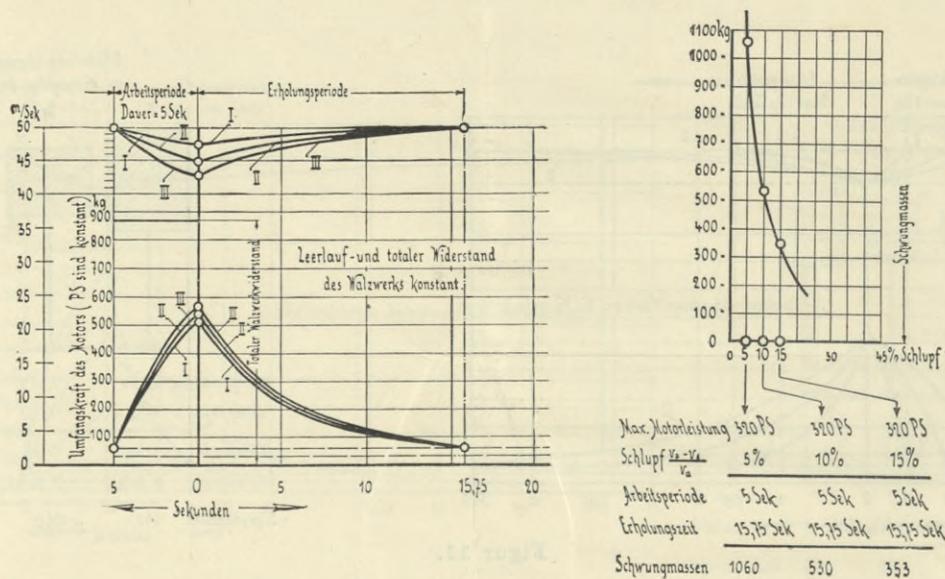
Obige Werte in die Grundgleichung eingesetzt:

$$\frac{P_e \cdot v_e (v_i - v) + P_i \cdot v_i (v - v_e)}{v (v_i - v_e)} = m \frac{dv}{dt} + P_i$$

und sind hieraus, wie für die Walzperiode die Gleichungen der Kurven für  $P$  und  $v$  zu bestimmen, Mit Hilfe der aus vorstehenden Gleichungen ermittelten Formeln für  $P$  und  $v$  wurden die durch Figur 10 bis 12 dargestellten Kurven berechnet und aufgetragen. Bei sämtlichen durchgeführten Beispielen wurde der Walzwerkwiderstand während der Arbeitsperiode als konstant angenommen.

Eingefügt sei hier, dass der Wirkungsgrad der Motoren in sehr weiten Grenzen nahezu konstant ist (Figur 9) oder wenigstens nur bis auf etwa 85 Prozent hinunter sinkt.

In Figur 10 wurden zum Vergleiche drei Beispiele entworfen, bei denen die Dauer der Arbeitsperioden, sowie der Schlupf des Motors, d. h. die Abnahme der Geschwindigkeit durch Belastungszuwachs gleich angenommen ist. Die Motorgröße aber ist für jeden Fall verschieden gewählt und hierfür die je zur Unterstützung erforderliche Schwungmasse bestimmt und die erforderliche Erholungszeit ermittelt. Als maximale Beanspruchung des Motors ist nur die  $1\frac{1}{2}$ fache der normalen Motorleistung angenommen.

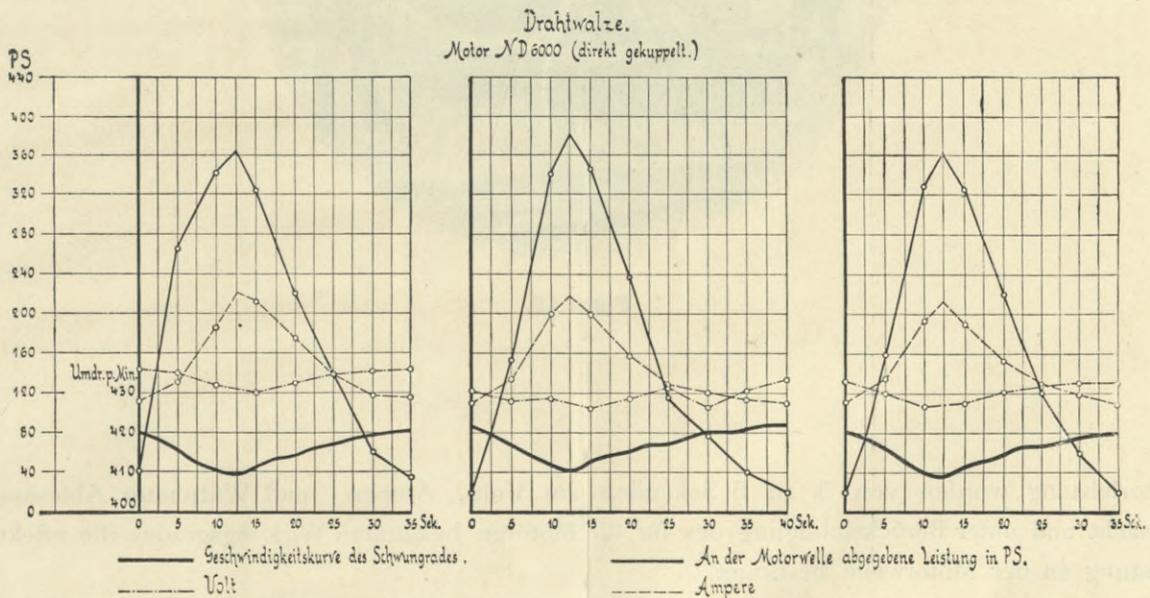
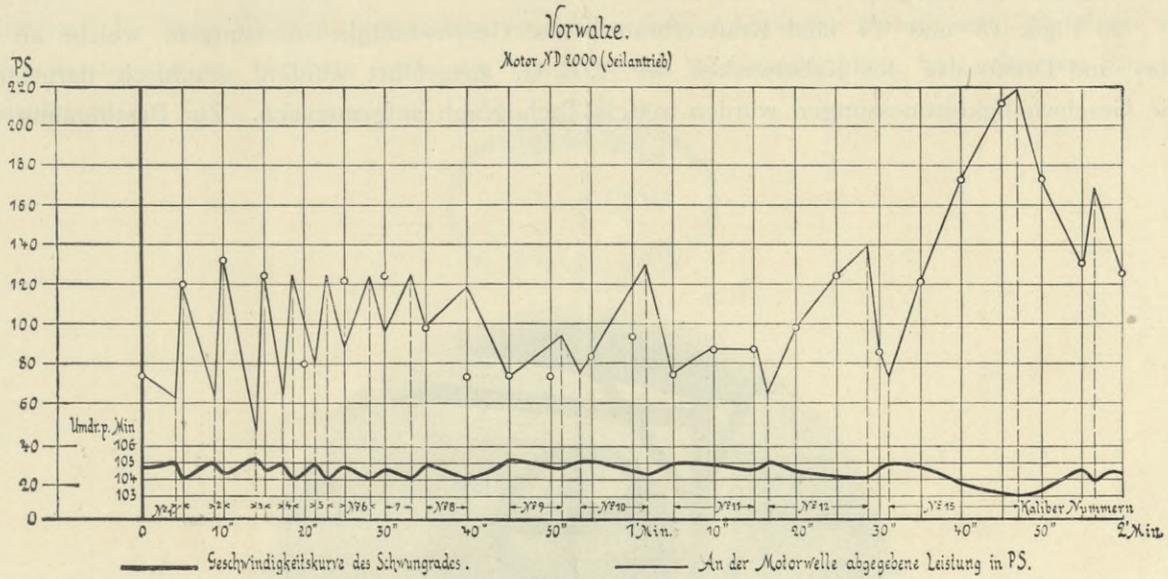


Figur 12.

Aus diesen Diagrammen geht hervor, dass bei nur kurzen Pausen zwischen zwei Stichen, also bei nur kurzer Erholungszeit, ein starker Motor in Verbindung mit einem leichten Schwungrad gewählt werden muss, während bei langer Ruhepause zwischen zwei einzelnen Stichen ein schwacher Motor in Verbindung mit einem entsprechend starken Schwungrad genügt. In der gleichen Figur sind die bei den verschiedenen Motorgrößen erforderlichen Schwungmassen als mathematische Schwungringe skizziert.

In Figur 11 wurden zum Vergleich wieder drei Beispiele entworfen, bei denen die Motorgröße und der Schlupf gleich gross angenommen sind, aber es wurde die Dauer der Arbeitsperioden verschieden gewählt und die je dazugehörigen Schwungmassen, sowie die notwendige Erholungszeit ermittelt. Es geht aus diesen Diagrammen hervor, dass bei gleichbleibender Motorgröße die Erholungszeiten, sowie die erforderlichen Schwungmassen sich proportional mit

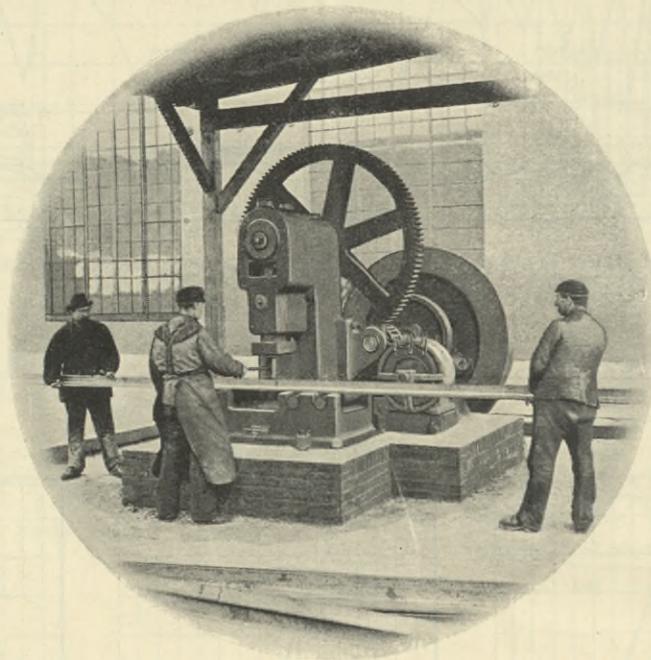
der Dauer der Arbeitsperiode vergrössern, dass also für lange Arbeitsperioden grosse Schwungmassen gewählt werden und für die Erholung lange Zeiten verfügbar sein müssen. — In Figur 12 wurden wieder drei Beispiele entworfen, bei denen die Dauer der Arbeitsperioden, sowie die



Motoren gleich gross angenommen wurden. Der Schlupf des Motors ist für jedes Beispiel verschieden gewählt und die je dazu erforderliche Schwungmasse bestimmt, sowie die notwendig

werdende Erholungszeit ermittelt. Je weniger Schlupf wir zulassen wollen, um so reichlicher muss die bezügliche Schwungmasse bemessen werden. In derselben Figur sind in einer Kurve die Grössen des Schlupfes als Abscissen und die dazu gehörigen Schwungmassen als Ordinaten aufgetragen. Diese Diagramme zeigen, um wieviel bei grösser zugelassenem Schlupfe sich die erforderlichen Schwungmassen verringern.

In Figur 13 und 14 sind Kraftverbrauch und Geschwindigkeitsmessungen, welche an der Vor- und Drahtwalze des Kabelwerkes der A. E. G. ausgeführt wurden, graphisch dargestellt. Die Geschwindigkeitsmessungen wurden mittels Tachograph aufgenommen. Zur Bestimmung der



Figur 15.

Motorleistung wurden von 5 zu 5 Sekunden am Volt-, Ampere- und Wattmeter Ablesungen gemacht und unter Berücksichtigung des für die Motoren bekannten Wirkungsgrades die effektive Leistung an der Motorwelle bestimmt.

Bei anderen Arbeitsmaschinen, wie Stanzen, Scheren, Pressen, Richtmaschinen (Figur 15) usw., welche stossweise arbeiten, und deshalb mit Schwungrädern versehen werden, ist der Bestimmung der Motor- und Schwungradgrösse eine ähnliche Berechnung zu grunde zu legen, dabei ist zu berücksichtigen, dass bei diesen Maschinen die Pausen im Verhältnis zur Arbeitsdauer verhältnismässig sehr lange sind, dass also der Motor ziemlich schwach gewählt werden darf.

Das Vorgeführte soll zeigen, dass auf dem Gebiete des elektrischen Antriebes von Walzenstrassen bereits Anhaltspunkte vorhanden sind. Für eine grosse Anzahl von Walzenstrassen decken sich die für den Antrieb zu stellenden Bedingungen mit den Eigenschaften des Elektromotors, und entsprechend vorliegenden Erfahrungen ist der Drehstrommotor sehr wohl imstande, den Anforderungen des Walzwerkbetriebes bei unbedingter Betriebssicherheit zu genügen. Es kann nicht Aufgabe dieser ausschliesslich einleitenden Arbeit sein, die Frage der Reversierstrassen zu berühren oder die Grenzen der Wirtschaftlichkeit bei schweren Strassen festzulegen.







S. 61



POLITECHNIKA KRAKOWSKA  
BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. Inw.

33980

Kdn. 524. 13. IX. 54

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000303992