

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 13 (1922)
Heft: 9

Artikel: Elektrische Mehrmotorenantriebe für Papiermaschinen
Autor: Stiel, Wilhelm
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059782>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Grund der Formeln (6) und (7) die in nachstehender Zahlentafel mitgeteilten Resultate der Berechnung von L_g und von n_g . Diese Tafel lautet:

Typenreihen	Grenzleistung L_g in kW	Grenzdrehzahl ($60 \cdot n_g$) in Uml/min.
Langsamläufer	2170	$1,48 \times 60 = 88,8$
Normalläufer	906	$4,88 \times 60 = 292,8$
Schnellläufer ; . . .	461	$14,5 \times 60 = 870$
Expressläufer , . . .	177	$45,1 \times 60 = 2706$

Bei jeder der vier Typenreihen werden somit Gleichstrommaschinen von höherer Leistung, als der in dieser Tabelle jeweils aufgeführten, ohne Wendepole keine befriedigende Kommutation mehr aufweisen, es sei denn, es werde ein grösseres Armaturvolumen zur Konstruktion beansprucht, als es aus Erwärmungsrücksichten erforderlich ist. Mit der Aufstellung dieser Tabelle ist somit die Aufgabe der Angabe der Grenzwerte von Leistung und Drehzahl bei Gleichstrommaschinen ohne Wendepole, die wir uns stellten, für Maschinen, die mit konstanter Drehzahl, konstantem Flux und konstanter Spannung betrieben werden, und ohne Rücksicht auf das mechanische Verhalten des Kommutators als gelöst zu betrachten.

Elektrische Mehrmotorenantriebe für Papiermaschinen.

Von Dr.-Ing. Wilhelm Stiel, Charlottenburg.

Der Verfasser erläutert einleitend die bisher gewöhnlich angewendeten Antriebsarten und spricht darauf die Vorteile und Nachteile einer ganzen Reihe von elektrischen Einzelantrieben. Er legt daher das Hauptgewicht auf Ausschaltung von Kegel-Riemenantrieben und weist auf die Schwierigkeiten nicht nur einer genauen Papier-Zugeinstellung hin, sondern auch auf die ungleich schwerer zu verwirklichende Papier-Zug-aufrechterhaltung in der Papiermaschine.

L'auteur commence par décrire les méthodes usitées pour la commande par moteurs électriques des machines à papier et indique les inconvénients et les avantages de chacune. Il démontre l'infériorité de la commande par poulies coniques et fait ressortir l'importance qu'il y a à pouvoir non seulement régler exactement mais aussi à maintenir rigoureusement constante la tension du papier.

I. Allgemeines.

Der elektrische Antrieb der Papiermaschine wurde bisher fast durchweg in der Weise ausgeführt, dass zwei Motoren vorgesehen wurden: ein Motor mit unveränderlicher Drehzahl zum Antrieb des „konstanten Teils“ und ein zweiter Motor mit regelbarer Drehzahl zum Antrieb des „variablen Teils“. Es handelt sich bei dieser Anordnung also um elektrische Gruppenantriebe, bei welchen die Verteilung der Energie auf die einzelnen Teile der Gesamtmaschine mittels mechanischer Kraftübertragung, in der Hauptsache durch Seil- und Riementriebe, vorgenommen wurde. Die Figuren 1 und 2 zeigen die grundsätzliche Anordnung einer in dieser Weise elektrisch angetriebenen neuzeitlichen Langsieb-Papiermaschine. Zum besseren Verständnis alles Folgenden sei vorerst anhand dieser Figuren die Anordnung und Arbeitsweise der Papiermaschine kurz erläutert.

Man unterscheidet bei jeder Papiermaschine die bereits angedeuteten beiden Teile: „konstanter Teil“ und „variabler Teil“.

Der *konstante Teil* umfasst die Vorrichtungen, welche dauernd mit gleicher Geschwindigkeit betrieben werden; zu ihm gehören in der Hauptsache:

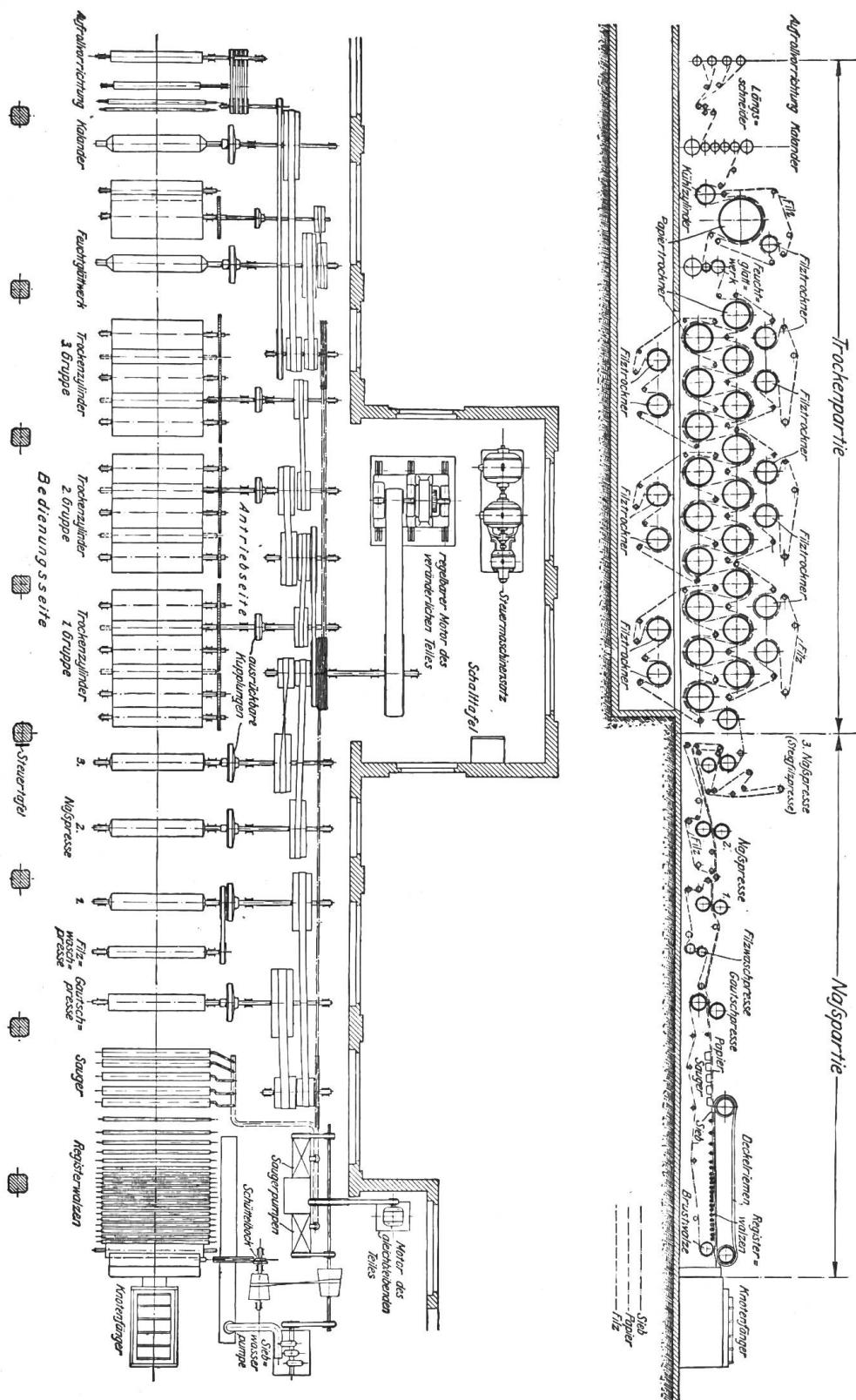


Fig. 1 und Fig. 2

1. Die Rührbütten (Stoffbütten); in diesen wird der von den Holländern kommende Papierrohstoff gesammelt und durch fortwährendes Umrühren verwendungsbereit gehalten.
 2. Die Stoffpumpe (auch vielfach als Schöpftrad ausgeführt), welche den Stoff in richtiger Menge den Bütten entnimmt und den Sand- und Knotenfängern zuführt.

3. Die Sand- und Knotenfänger, erstere einfache Gerinne, letztere meist sich drehende Siebtrommeln mit Schüttelbewegung, welche die im Stoff enthaltenen Knoten usw. zurückhalten und entfernen.

4. Der Schüttelbock, der die Schüttelung des Siebes besorgt.

5. Die Siebwasserpumpe, die das noch faserhaltige, vom Sieb abfliessende Wasser zur Rückgewinnung des Faserinhaltes fortpumpt.

6. Die Luft- und Wasserpumpe für die Sauger.

Von diesen Teilen sind die Rührbütteln, die Stoffpumpe und der Sandfang in der Figur 2 nicht mitgezeichnet. Sie sind rechts anschliessend an die dargestellten Teile des konstanten Teils (Knotenfänger, Siebwasserpumpe, Schüttelbock und Saugerpumpen) zu denken.

Der *variable Teil* umfasst diejenigen Vorrichtungen der Papiermaschine, deren Arbeitsgeschwindigkeit je nach der herzustellenden Papiersorte verschieden sein muss; er gliedert sich in die Unterteile:

1. Siebpartie,
2. Pressenpartie, beide zusammen: Nasspartie,
3. Trockenpartie.

1. Die *Siebpartie* besteht in der Hauptsache aus einem endlosen, bandartigen Metallgewebesieb, das am vorderen Ende (vergleiche Fig. 1) über die Brustwalze, am hinteren Ende über die untere Walze der Gaußschpresse geführt ist und sich annähernd wagerecht über dünne Tragwalzen (Registerwalzen) hinweg bewegt, während der Papierstoff sich, vom Knotenfänger kommend, in gleichmässigem Strom in der Nähe der Brustwalze darauf ergiesst. Den seitlichen Abschluss bilden vierkantige endlose Gummibänder von etwa 4×4 cm Querschnitt, die sich mit dem Sieb fortbewegen und „Deckelriemen“ genannt werden. Auf dem sich vorwärts bewegenden Siebe findet die Entwässerung des Papierstoffes und demnach die Bildung der Papierbahn statt. Das Wasser fliesst als „Siebwasser“ nach unten ab; das Abfliessen wird durch unter dem Siebe liegende Saugkästen, die „Sauger“, unterstützt.

Am Ende der Siebpartie befindet sich die „Gaußschpresse“, zwischen deren Walzen das Sieb hindurchläuft, um dann unterhalb, durch Leit- und Spannwalzen geführt, zum Beginn der Siebpartie zurückzukehren. Das Papier ist nach dem Durchlaufen der Gaußschpresse genügend wasserfrei und fest, um vom Sieb auf einen endlosen Tragfilz überführt zu werden.

Das ganze Sieb nebst Tragrahmen, Tragwalzen usw. wird an seinem vorderen Ende, wo der Papierstoff auffliesst, durch den Schüttelbock in wagrechter Richtung kräftig hin- und hergeschüttelt, so dass die Fasern des Papierstoffes gut verfilzen.

2. Die *Pressenpartie* besteht aus mehreren, meist drei, hintereinander geschalteten Presswalzenpaaren, den „Nasspressen“, zwischen denen das auf dem Filz liegende Papier hindurchgeführt und immer mehr ausgepresst wird, bis es nach Verlassen der letzten Presse nur noch etwa 50 bis 60% Wasser enthält und fest genug geworden ist, um ohne Filz weiter zu laufen. In der Regel ist, wie aus Fig. 1 ersichtlich, die dritte Presse eine sogenannte Steigfilz presse, auf welcher die Papierbahn gewendet wird, so dass sie nunmehr mit der andern Seite auf dem Filz dieser Presse aufliegt.

3. Die *Trockenpartie* beendet die Austreibung des überflüssigen Wassers aus dem Papier durch Trocknung mittels Dampfes. Sie besteht aus einer Anzahl guss-eiserner Trommeln, die mit Abdampf oder gedrosseltem Frischdampf geheizt werden. Die Papierbahn umspannt diese umlaufenden „Trockenzylinder“ und wird durch mitlaufende Filze fest an ihre Oberfläche angedrückt. Am Ende der Trockenpartie befindet sich ein Kühlzylinder, der die trockene, heisse Papierbahn wieder abkühlt; meist ist auch noch im letzten Teile der Trockenvorrichtung eine „Feuchtglätte“ (Walzenpresse mit zwei oder drei Walzen), sowie hinter dem Kühlzylinder ein „Kalander“ (Walzenglättwerk mit drei bis acht Walzen) vorhanden, der dem Papier

eine glatte Oberfläche gibt, bevor es auf dem Längsschneider in mehrere schmale Bahnen zerteilt und schliesslich auf dem „Rollapparat“, der das Ende der eigentlichen Papiermaschine bildet, in Rollen aufgewickelt wird.

Alle diese verschiedenen Teile der Papiermaschine sind aus Fig. 1 im Aufriss in ihrer grundsätzlichen Form erkennbar, während Fig. 2 den Grundriss darstellt und in der Hauptsache ein Bild des bisher üblichen Gruppenantriebs der Papiermaschine gibt. Wie ersichtlich, erfolgt der Antrieb des variablen Teils (der uns hier vor allem interessiert) in der Weise, dass zunächst vom Motor aus ein Riemenvorgelege betrieben wird. Von diesem aus werden die zweite und die dritte Presse mittels schwach kegelförmiger Riemenscheiben direkt betrieben. Für die anderen Teile sind Zwischenvorgelege notwendig, welche teils mit Riemern (für den Antrieb der drei Trockenzylinergruppen), teils mit Seilen betrieben werden, um von da die Energie ebenfalls mittels schwach kegeliger Scheiben weiter zu leiten.

Wie alle Gruppenantriebe hat diese heute übliche Anordnung nach Fig. 2 den Vorteil, dass die Anlagekosten für den elektrischen Antrieb verhältnismässig gering werden, weil für den gesamten konstanten beziehungsweise variablen Teil nur je ein einziger Motor verwandt wird, dagegen den Nachteil, dass in den mechanischen Energieübertragungsorganen, namentlich in den Kegeltrieben, erhebliche Verluste auftreten, welche bei Einzelantrieb zum grössten Teil vermieden werden können. Der letztere Umstand, welcher an vielen anderen Stellen der Industrie zur Verdrängung des Gruppenantriebes durch elektrischen Einzelantrieb und auch bereits öfters zur Teilung des Antriebs des konstanten Teils der Papiermaschine in Einzelantriebe geführt hat, vermochte das Gleiche bei dem variablen Teil der Papiermaschine, d. h. der „Papiermaschine“ im engeren Sinne, bisher nicht zu bewirken. Der Grund hierfür liegt darin, dass die für den Mehrmotorenantrieb in Betracht kommenden Einzelteile des variablen Teils keine zusammenhanglosen Einzelmaschinen darstellen, sondern in einer eng begrenzten Geschwindigkeitsabhängigkeit voneinander stehen: die Papierbahn durchläuft sie alle nacheinander und muss hierbei an jeder Stelle der Gesamtmaschine mit einer ganz bestimmten Spannung geführt werden, um einerseits ein Reissen, anderseits ein Faltenschlagen zu vermeiden. Diese bei der Papiermaschine auftretende Aufgabe der Regelung des Papierzuges zwischen den einzelnen Maschinenteilen („Zugregelung“), welche beim Gruppenantrieb nach Fig. 2 durch Einschaltung der Kegelscheiben-Riementriebe mit etwa 5–10% Regelbereich gelöst wurde, bildete bisher das wesentliche Hindernis für die Einführung des elektrischen Einzelantriebes der Papiermaschine.

Es handelt sich hierbei um zwei Teilaufgaben, nämlich:

1. Die Möglichkeit der Herstellung eines in gewissen Grenzen (bis etwa 5% Unterschied) wählbaren Geschwindigkeitsverhältnisses zwischen je zwei benachbarten Maschinenteilen (Zugeinstellung).
2. Die genaue Aufrechterhaltung dieses Verhältnisses nach einmal erfolgter Einstellung (Zugaufrechterhaltung).

Die Lösung der Aufgabe 1 bietet elektrisch keine Schwierigkeiten, da sie durch Anwendung von Feldregelung bei Gleichstrommotoren gut gelöst werden kann; dagegen stellt die mechanische Lösung, kegelförmige Riemenscheiben, ein unvorteilhaft arbeitendes Maschinenelement dar, dessen Beseitigung um so mehr erstrebt werden muss, je grössere Leistungen mittels dieser Kegelscheibentriebe zu übertragen sind. Solange die Papiermaschinen mit verhältnismässig geringen Breiten ausgeführt wurden und mit geringen Geschwindigkeiten liefen, liessen sich die Uebelstände der Kegelscheibentriebe ertragen. Mit steigender Maschinengrösse und Arbeitsgeschwindigkeit wachsen die Schwierigkeiten jedoch so sehr, dass der Betrieb der Maschinen gefährdet wird. Die neueren Bestrebungen, die Papiergegeschwindigkeit über 200 m/min. hinaus bis auf die Geschwindigkeiten von 300 bis 400 m/min. und darüber zu erhöhen, wie sie namentlich in Amerika bestehen,¹⁾ führen zu derartig

¹⁾ Die neueste Entwicklung stellt eine Maschine der „Consolidated Water Power & Paper Co. in Grand Rapids, Wiskonsin“ dar, welche für eine Arbeitsgeschwindigkeit von 460 m/min. bestimmt ist.

grossen Antriebsleistungen für die einzelnen Pressen und Trockenzylingergruppen, dass die mechanische Leistungsübertragung mittels Kegelscheiben fast unausführbar wird. Es lag daher seit der Einführung dieser hohen Arbeitsgeschwindigkeiten die Notwendigkeit vor, den Möglichkeiten einer zweckmässigen Durchführung des elektrischen Einzelmotorenantriebes erneut Aufmerksamkeit zu schenken. In der Tat sind Ausführungsformen gefunden worden, welche auch die oben gekennzeichnete Aufgabe 2, welche die eigentliche Schwierigkeit beim elektrischen Einzelmotoren-antrieb darstellt, einwandfrei lösen.

Das Kennzeichnende beim Mehrmotorenantrieb ist, wie sich aus dem Gesagten ergibt und worauf hier besonders hingewiesen sei, nicht die genaue Gleichhaltung der Drehzahl selbst, als vielmehr die genaue Einstellung und Gleichhaltung des Verhältnisses der Drehzahlen der einzelnen Motoren zueinander. Dieses Verhältnis bestimmt die Aufrechterhaltung der einmal eingestellten Papierzüge auch bei Aenderungen der Pressenbelastung oder ähnlichen Laständerungen der einzelnen Motoren. Gleichzeitige Aenderungen der Drehzahlen sämtlicher Einzelmotoren (wobei also das Verhältnis der Einzeldrehzahlen zueinander ungeändert bleibt) haben keinen Einfluss auf die Zugregelung, wohl aber auf die Stärke des erzeugten Papiers. In dieser Hinsicht verhält sich der Mehrmotorenantrieb in seiner Gesamtheit genau so wie der Einmotorenantrieb, und es können zur Regelung und zur Gleichhaltung der Gesamtgeschwindigkeit der Einzelmotoren beim Mehrmotoren-Antrieb genau die gleichen Mittel angewendet werden, wie sie beim Einmotoren-antrieb bekannt sind.¹⁾

II. Ausführungsformen des elektrischen Mehrmotorenantriebs.

Im Nachstehenden sollen die hauptsächlichsten Ausführungsformen des Mehrmotorenantriebs dargestellt und die Vor- und Nachteile derselben erläutert werden.

Die einzelnen Ausführungsformen unterscheiden sich durch die Art und Weise, in welcher die Aufgaben der Einstellung des Geschwindigkeitsverhältnisses (Zug-einstellung) und der Gleichhaltung des Geschwindigkeitsverhältnisses (Zugaufrechterhaltung) gelöst sind. Unwesentlich ist dabei die Art der Geschwindigkeitsregelung des Gesamtantriebs. Im Folgenden ist daher diesbezüglich stets Regelung durch Leonardschaltung angenommen, wobei die sämtlichen Teilantriebe durch einen gemeinsamen Steuersatz gespeist werden.

1. Mehrmotorenantrieb mit kompondierten Gleichstrommotoren und Zugeinstellung mittels Feldschwächung.

Es liegt wohl am nächsten, den Mehrmotorenantrieb in der Weise zu versuchen, dass lediglich der eine Gleichstrommotor des Einmotorenantriebes in mehrere kleinere Motoren gleicher Bauart aufgeteilt und die Zugeinstellung durch Feldänderung dieser Motoren vorgenommen wird. Zwecks Zugaufrechterhaltung kann dabei die Abhängigkeit der Drehzahl dieser Motoren von ihrer Belastung durch eine Gegenkompondierung eingeschränkt werden. Bezuglich Einfachheit sowohl in elektrischer wie in mechanischer Beziehung ist diese Anordnung ideal (vergl. Fig. 3: Grundschema des Mehrmotorenantriebs). Die Kegelscheibenübertragungen des Einmotorenantriebs sind ganz beseitigt, und es bleibt zwischen Einzelmotor und Maschine lediglich eine einfache Uebersetzung, am besten Räder-übersetzung, einzuschalten. Leider sind die Betriebsergebnisse schlecht. Es hat sich gezeigt, dass trotz Kompondierung die Empfindlichkeit der Drehzahl der Einzelmotoren gegenüber den im Betriebe auftretenden Laständerungen zu gross ist. Die Durchführung des praktischen Betriebes ist kaum möglich, da die Papierzüge sich zu sehr ändern und das Papier auch bei angestrengter Aufmerksamkeit des

¹⁾ Vergl. hierzu die Aufsätze des Verfassers: „Der elektrische Antrieb der Papiermaschine“ Z. d. V. D. J., 1920, S. 30 ff, und: „Papiermaschinenantriebe mit Schnellregelung“, Wochenblatt für Papierfabrikation, 1921, Heft 5 bis 8.

Maschinenpersonals oft reisst. Es ist eben hier zwar die Aufgabe der Zugeinstellung gut gelöst, dagegen die wichtigere Aufgabe der Zugaufrechterhaltung nur mangelhaft. Offenbar genügt es nicht, zwecks Zugaufrechterhaltung die Geschwindigkeit der Einzelmotoren in den sonst in der Gleichstromtechnik üblichen Grenzen

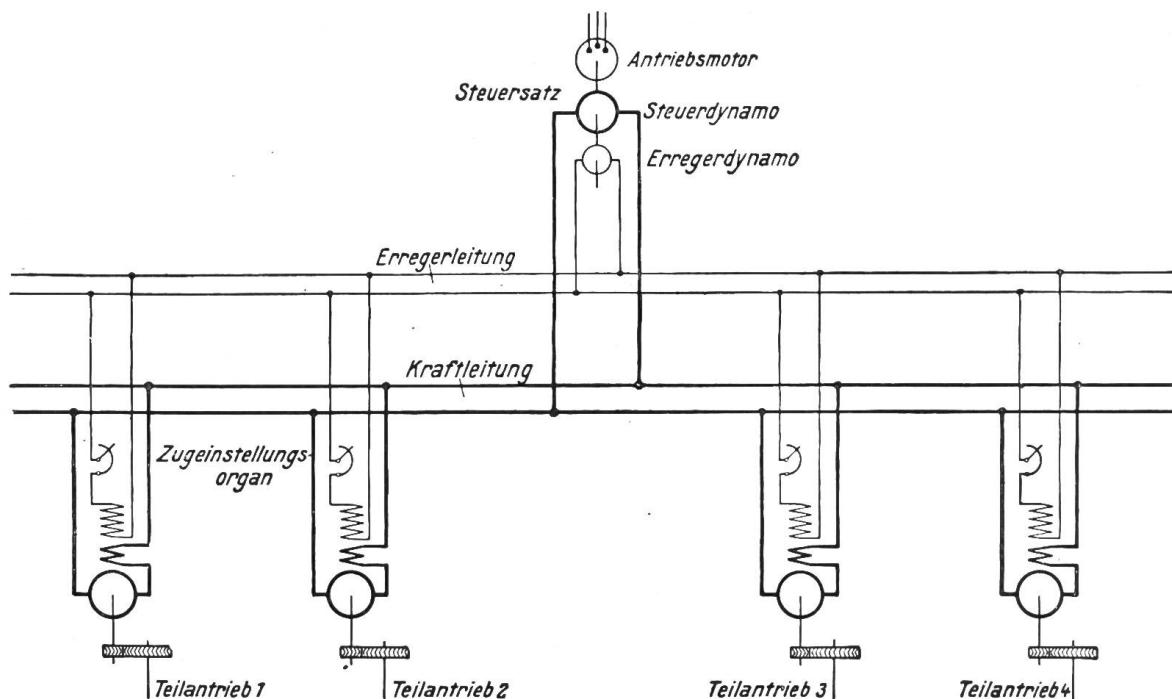


Fig. 3

Grundschema für den Mehrmotorenantrieb mit kompoundierten Gleichstrommotoren.

konstant zu halten, sondern es muss ein tatsächlicher Gleichlauf derselben erreicht werden. Man ist daher genötigt, besondere Hilfsmittel zu diesem Zwecke anzuwenden.

2. Mehrmotorenantrieb mit Synchronmotoren oder synchronisierten Gleichstrommotoren und mechanischer Zugeinstellung.

Die Bedingung der Gleichhaltung des Geschwindigkeitsverhältnisses führt zu der Forderung des unbedingt synchronen Laufes sämtlicher Einzelmotoren. Der Einzelantrieb lässt sich also mit Hilfe von Wechselstrom- oder Drehstrom-Synchronmotoren durchführen, wobei die Änderung der Gesamtgeschwindigkeit durch Veränderung der Frequenz des zugeführten Stromes herbeigeführt werden müsste. Da diese Regelung durch Zuführung veränderlicher Frequenz elektrisch unbequem ist, ist es zweckmässiger, die Motoren als Gleichstrommotoren, mit variabler Spannung mittels einer gemeinsamen Steuerdynamo in Leonard- oder Zu- und Gegenschaltung gespeist, auszuführen und dabei den Synchronismus durch eine besondere Einrichtung zu erzwingen. Diese besteht darin, dass die Anker der Gleichstrommotoren (welche in diesem Falle sämtlich für gleiche Ankerfrequenz ausgeführt werden müssen) mit Schleifringen versehen werden, welche mit bestimmten Punkten der Ankerwicklung verbunden werden. Dadurch herrscht an den Schleifringen eine Mehrphasenspannung, und es fließen, wenn die Schleifringe sämtlicher Motoren untereinander verbunden werden, in dieser Verbindungsleitung Ausgleichströme, welche die Motoren zu synchronem Lauf zwingen. Durch Feldregelung der Motoren kann Stromlosigkeit der Ausgleichleitung erreicht werden. Die Schaltung dieser Anordnung ist in Fig. 4 dargestellt.

Die Zugeinstellung muss hierbei, da eine Feldänderung hier auf das Geschwindigkeitsverhältnis einflusslos ist, auf mechanischem Wege erfolgen, indem zwischen

Einzelmotor und anzutreibenden Maschinenteil ein Kegelscheibenriementrieb eingeschaltet wird. Da sich dieser Kegelscheibentrieb nur für ein Uebersetzungsverhältnis, welches nicht weit von 1 : 1 verschieden ist, zweckmässig ausführen lässt, so ergeben sich, wenn nicht sehr teure langsamlaufende Motoren verwendet werden sollen, zwischen Einzelmotor und Papiermaschine *zwei* Uebersetzungen, nämlich einmal der Kegelscheibentrieb und sodann die eigentliche Geschwindigkeitsübersetzung, welche ebenfalls in Form eines Riementriebes, oder aber in Gestalt eines Rädertriebes ausgeführt werden kann (vergl. Fig. 4).

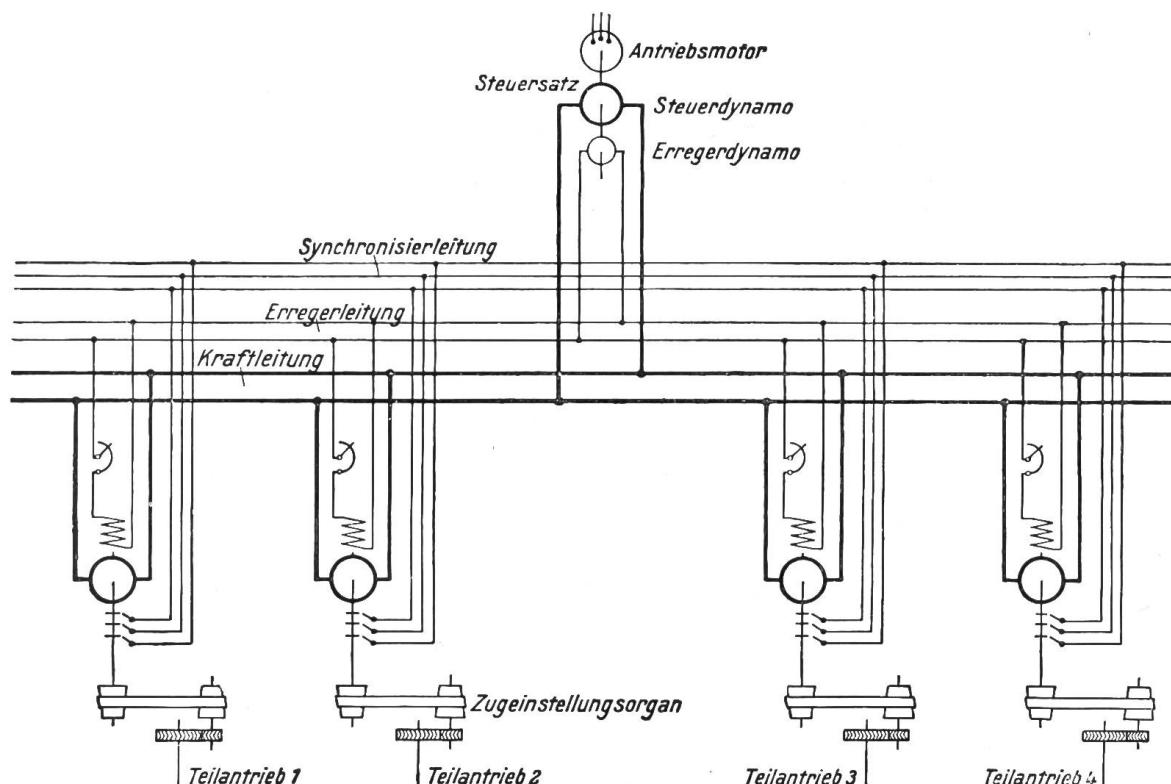


Fig. 4

Grundschema für den Mehrmotorenantrieb mit synchronisierten Gleichstrommotoren und Zugeinstellung mittelst Kegeltrieb für volle Motorleistung.

Es ist ersichtlich, dass bei dieser Anordnung gegenüber dem bisherigen Einmotorenantrieb mechanisch wenig gewonnen wird, da die wenig erwünschten Kegelscheibentriebe beibehalten sind. Es erscheint also die durch die Unterteilung des einen Motors in zahlreiche Einzelmotoren (zumal noch besonderer Bauart) herbeigeführte Verwicklung und Verteuerung des elektrischen Antriebes durch den geringen technischen Gewinn nicht gerechtfertigt.

3. Mehrmotorenantrieb mit Gleichstrommotoren und Synchronhilfsmotoren.

Die Nachteile der vorbeschriebenen Anordnung lassen sich zum Teil vermeiden, indem man sich die Erkenntnis zunutze macht, dass die betriebsmässigen Belastungsänderungen der Einzelmotoren nur etwa 20 bis 30 Prozent der Einzelmotorleistung ausmachen. Man ist dadurch in der Lage, diese von entsprechend bemessenen Hilfssynchronmotoren aufnehmen zu lassen, welche mit den als normale Gleichstrommotoren ausgeführten Einzelmotoren durch Kegelscheibentriebe verbunden sind. Es ergibt sich die Schaltung entsprechend Fig. 5, welche in ähnlicher Form von der General Electric Co. in Amerika verschiedentlich ausgeführt worden ist.¹⁾ Wie

¹⁾ Vergl. Cronkhite, Merrill und Rogers: „A new form of sectional drive for paper machines“. General Electric Review, Bd. 24, 1921, S. 68 ff.

ersichtlich, sind hier die Synchronhilfsmotoren sämtlich durch eine Synchronisierhilfsleitung miteinander verbunden und erfüllen denselben Zweck wie die unter 2 beschriebene Schleifringanordnung bei den Gleichstrommotoren. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass hier die Synchronmotoren nur als Hilfsorgane dienen, welche nur für einen Teil (etwa 20 %) der Leistung ihres zugehörigen Einzelmotors bemessen zu werden brauchen, da sie nur bei eintretenden Lastverschiebungen zwischen den Einzelmotoren sich beladen, während sie bei ordnungsmässigem Lauf der Papiermaschine unbelastet mitlaufen. Wie aus dem Schema erkennbar, werden die Synchronhilfsmotoren nicht von aussen gespeist, sondern hängen

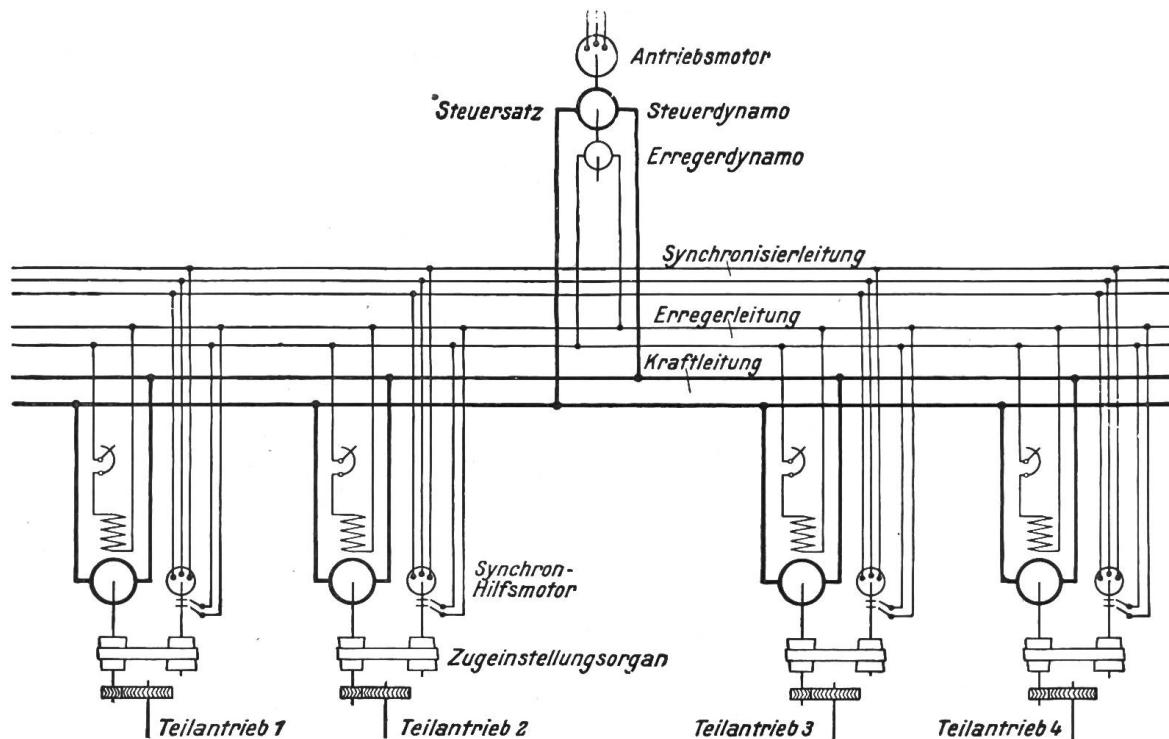


Fig. 5

Grundschematische Darstellung des Mehrmotorenantriebs mit Synchron-Hilfsmotoren und Zugeinstellung mittels Kegelantrieb zwischen Haupt- und Hilfsmotor.

lediglich an ihrer gemeinsamen Synchronisierleitung. Die Wirkungsweise ist grundsätzlich die gleiche wie im Falle 2: jede im Betriebe auftretende Mehr- oder Minderbelastung eines Teilantriebes wird nicht von dem Gleichstrommotor dieses Teilantriebes, sondern von seinem zugehörigen Synchronmotor abgegeben. Diese Leistung fließt ihm über die Synchronisierungsleitung von den andern Synchronmaschinen her zu, so dass auf diese Weise die Laständerung nicht von dem betreffenden Einzelantrieb allein aufgenommen, sondern auf die sämtlichen Motoren verteilt wird. Die Genauigkeit der Wirkung hängt hierbei wesentlich von dem guten Arbeiten der zwischengeschalteten Kegelscheibentriebe ab. Jeder Schlupf in diesen Trieben verhindert die vollkommene Uebertragung und Verteilung der Last auf die andern Teilantriebe. Da somit die Kegelscheibentriebe bei dieser Anordnung zur Lastübertragung befähigt sein müssen und gerade Kegelscheibentriebe hinsichtlich Schlupfes besonders empfindlich sind, so ergibt sich, dass diese Anordnung zwar eine Verbesserung der Anordnungen unter 1 und 2 darstellt, aber als eine vollkommene Lösung nicht angesprochen werden kann. Die Betriebsführung gestaltet sich bei dieser Anordnung wie folgt: Der Gleichtlauf der einzelnen Teilantriebe und die Einstellung der Züge wird durch Verschiebung des Riemens auf den Kegeltrieben der Synchronhilfsmotoren eingestellt, wodurch der Synchrongeschwindigkeit jedes Hilfsmotors eine wählbare Geschwindigkeit des zugehörigen

Gleichstrommotors zugeordnet wird. Durch entsprechende Einstellung der Feldregler der Gleichstrommotoren wird die Belastung der Hilfsmotoren auf Null eingestellt. Treten während des Betriebes Lastverschiebungen ein, so werden diese zunächst von den Synchronmaschinen übernommen. Die Wiederentlastung der Synchronmaschinen kann dann durch Neueinstellung der Feldregler von Hand vorgenommen werden. Es kann auch eine selbsttätige Einrichtung vorgesehen werden, durch welche dieser Feldregler in Abhängigkeit von einem Leistungsrelais, welches die Leistung des Synchronhilfsmotors misst, selbsttätig so verstellt wird, dass stets der Leerlauf sämtlicher Synchronhilfsmotoren wiederhergestellt wird.

4. Mehrmotorenantrieb mit Gleichstrommotoren und Zugaufrechterhaltung durch selbsttätige Hilfsregelungseinrichtungen.

Diese Ausführungsform vermeidet die Verwendung in sich selbst fest synchronisierter Motoren und damit auch die energieübertragender Kegelscheiben; sie

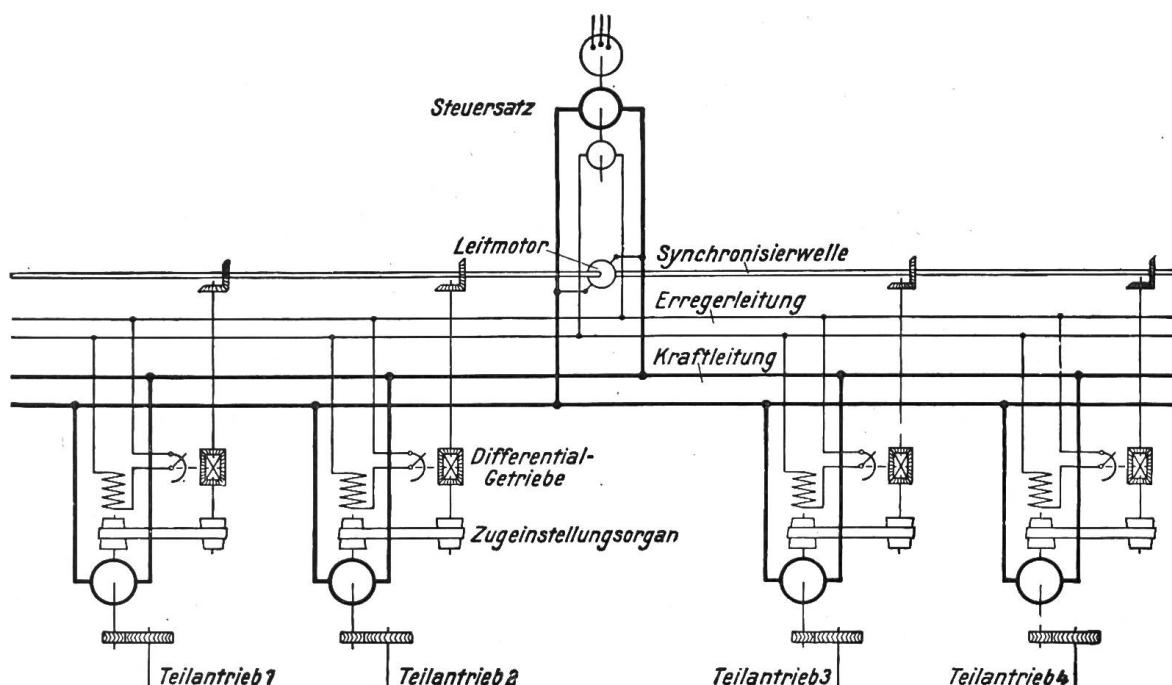


Fig. 6

Grundschema für den Mehrmotorenantrieb und Zugeinstellung durch selbsttätige mechanische Hilfsregelung mit Differentialgetriebe (Warburton-Harland); Zugeinstellung mittels Hilfskegeltriebs.

löst die Aufgabe der Zugaufrechterhaltung durch Anwendung selbsttätiger Regelorgane, und zwar entweder solcher mechanischer oder elektrischer Natur.

a) *Zugaufrechterhaltung auf mechanischem Wege.* Hierin gehört die Anordnung von Warburton nach dem englischen Patent 22897/1914, bekannt unter dem Namen „Harland Patent Speed Interlock“. Die Ausführung geht aus Fig. 6 hervor. Jeder einzelne Teilmotor besitzt einen kleinen Kegelscheibenriementrieb, welcher aber hier nicht zur Energieübertragung, sondern nur für die Betätigung der Regeleinrichtung dient, so dass er infolge der geringen zu übertragenden Leistung von Veränderungen des Riemenschlupfes fast unabhängig ist. Mittels dieses Triebes wird das eine Rad eines Differentialgetriebes angetrieben; das zweite Rad des Differentialgetriebes wird von einer Hilfswelle aus mit gleicher Geschwindigkeit im umgekehrten Sinne angetrieben, die von einem der Einzelmotoren, oder auch von einem gesonderten, den übrigen Teilmotoren parallel geschalteten Hilfsmotor (vergl. Fig. 6) angetrieben wird. Der bewegliche mittlere Teil des Differentialgetriebes ist mit der Schleifbürste eines Feldreglers verbunden, welcher in dem Erregerkreise

des zugehörigen Einzelmotors liegt. Solange das Verhältnis der Geschwindigkeit des Einzelmotors zu der Geschwindigkeit der Hilfswelle sich nicht ändert, steht der mittlere Teil des Differentialgetriebes und damit die Feldreglerbürste still. Sobald jedoch die Geschwindigkeit des Motors gegenüber der Hilfswelle sich ändert, bewegt sich der mittlere Teil des Differentialgetriebes und verstellt den Feldregler so, dass die ursprüngliche Geschwindigkeit des Motors wieder hergestellt wird. Auf diese Weise gleichen sich also alle Laständerungen der einzelnen Teile der Papiermaschine selbsttätig aus. Die Einstellung des gewünschten Geschwindigkeitsverhältnisses zum Zwecke der Zugregelung geschieht durch Verschiebung des kleinen Kegelscheibenriemens.

b) Zugaufrechterhaltung auf elektrischem Wege. Die mechanischen Zwischenglieder der vorbeschriebenen Lösung, namentlich die Steuerwelle nebst den Kegelrädern, lassen eine elektrische Lösung der Aufgabe erwünschter erscheinen. Eine

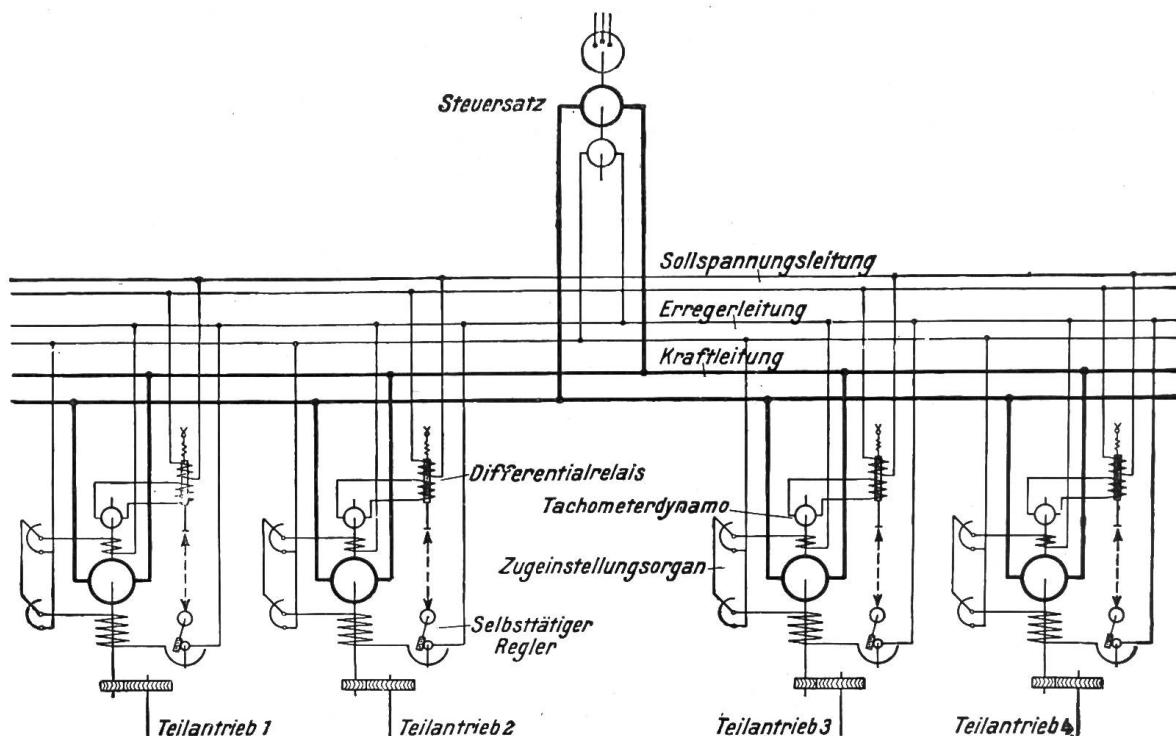


Fig. 7

Grundschema für den Mehrmotorenantrieb mit selbsttätiger elektrischer Hilfsregelung mit Tachometerdynamo und Differentialrelais.

solche ergibt sich grundsätzlich aus der Anordnung der Fig. 7. Hier ist für jeden Teilmotor eine Tachometerdynamo vorgesehen, welche auf ein Differentialrelais arbeitet, dessen zweite Wicklung von einer der Sollgeschwindigkeit entsprechenden Spannung gespeist wird. Bei der gezeichneten Anordnung wird diese Spannung durch die Steurdynamospannung selbst dargestellt. Das Differentialrelais beeinflusst den Feldregler des zugehörigen Einzelmotors so, dass das Verhältnis seiner Geschwindigkeit zu der Sollgeschwindigkeit selbsttätig konstant gehalten wird. Die Zugeinstellung erfolgt durch Feldänderung der Einzeltachometerdynamo, wobei gleichzeitig das Feld des Einzelmotors durch den mitbewegten Motorfeldregler bereits annähernd auf den neuen Wert eingestellt wird, so dass der vom Differentialrelais betätigte selbsttätige Regler nur den Restfehler auszugleichen braucht. Diese Einrichtung ist nur mit sehr empfindlichen Relais und schnellwirkenden selbsttätigen Reglern brauchbar; sie hat den grossen Vorteil, dass keinerlei Kegelriementriebe verwendet sind.

Werden statt der in Fig. 7 gezeichneten Gleichstrom-Tachometerdynamos Wechselstrom-Tachometerdynamos verwendet, so fällt die Möglichkeit der elektrischen Zugeinstellung fort. Für die Zugeinstellung müssen dann, wie bei dem Antrieb nach Warburton-Harland (Fig. 6) wieder kleine Kegelscheibentreibe verwendet werden, welche zwischen den Teilmotor und seine Tachometerdynamo zu schalten sind. Die Anordnung mit solchen Wechselstrom-Tachometerdynamos bietet die Möglichkeit, statt des gewöhnlichen Spannungs-Differentialrelais ein Frequenz-Differentialrelais zu verwenden. Ein solches wird z. B. durch einen gewöhnlichen Asynchronmotor dargestellt, dessen eine Wicklung durch die von der Haupt-Tachometerdynamo gelieferte Sollfrequenz und dessen andere Wicklung durch die von der Einzel-Tachometerdynamo gelieferte Einzelmotorfrequenz gespeist wird. Solange

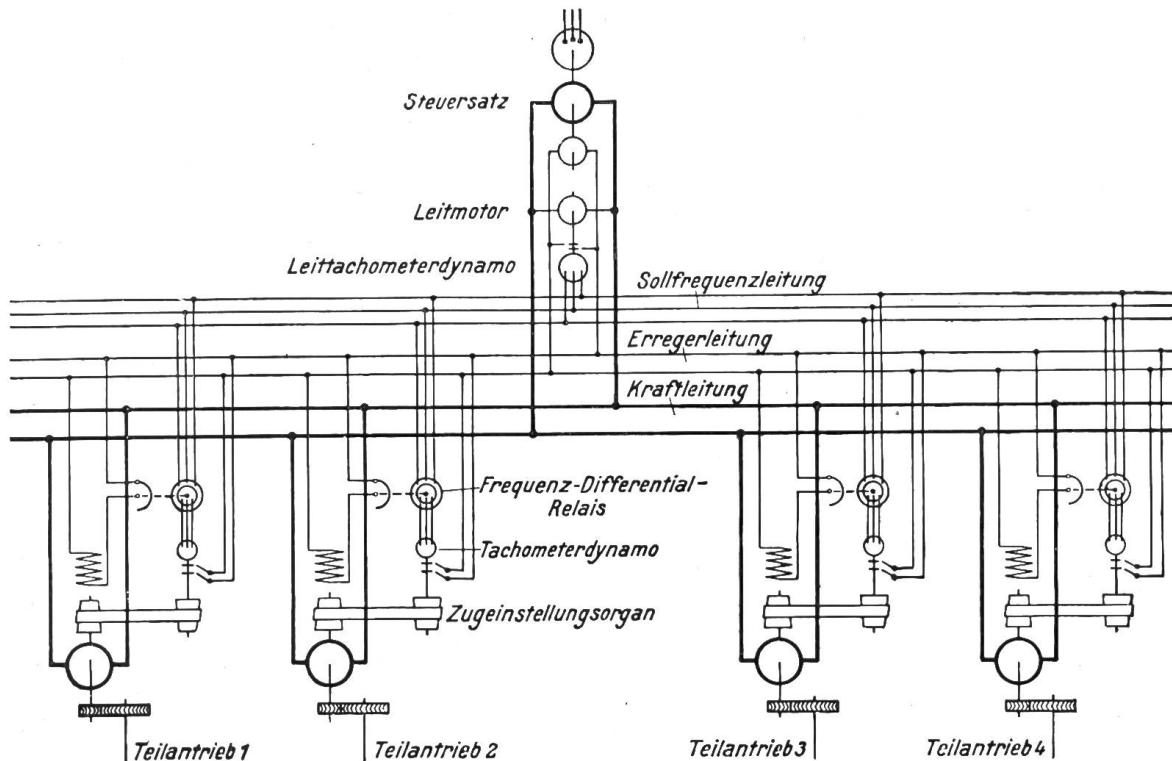


Fig. 8

Grundschema für den Mehrmotorenantrieb mit selbsttätiger elektrischer Hilfsregelung durch Wechselstrom-Tachometerdynamos und Frequenzdifferentialreläis.

die beiden Frequenzen gleich sind, bleibt der bewegliche Teil des Asynchronmotors in Ruhe; sobald ein Frequenzunterschied auftritt, setzt er sich mit einer dem Frequenzunterschied proportionalen Geschwindigkeit nach rechts oder links in Bewegung. Diese Bewegung, welche infolge des Synchronmotordarrikters dieses doppelt gespeisten Motors mit grosser Kraft erfolgt, kann zur unmittelbaren Betätigung des Feldreglers des Einzelmotors benutzt werden. Wenn auf geringe Grösse der Tachometerdynamo Wert gelegt wird, kann die Anlage auch mit motorisch angetriebenem Regler (ähnlich wie in Fig. 7), welcher von dem Frequenzrelais betätigt wird, ausgeführt werden. Die erstgenannte (bessere) Anordnung ist in Fig. 8 dargestellt. Statt der dort gezeichneten, mit Gleichstrom erregten Synchron-Tachometerdynamos können auch Tachometerdynamos mit Drehstromerregung angewendet werden. Dieselben erlangen dadurch die Gestalt gewöhnlicher Asynchronmotoren mit Schleifringanker. An der Wirkungsweise der ganzen Vorrichtung wird dadurch grundsätzlich nichts geändert, nur ist die von den Tachometerdynamos gelieferte Frequenz dann nicht der Geschwindigkeit direkt proportional, sondern je nach dem Umlaufsinne des erregenden Drehfeldes proportional der Summe oder Differenz von

Erregungsfrequenz und Drehzahlfrequenz. Ein Antrieb nach diesem System mit drehstromerregten Tachometerdynamos (Frequenzumformern) ist von der Westinghouse Electric Co. für die Goulds Paper Co. in Lyons Falls ausgeführt worden.

Eine andere Lösung, welche insofern eine Vereinfachung darstellt, als sie das Drehstrom-Frequenzrelais ganz vermeidet, ist die in Fig. 9 dargestellte, vom Verfasser angegebene Ausführungsform. Hier ist eine Tachometerdynamo verwendet, deren Stator und Rotor beide drehbar sind. Der eine dieser Teile wird wie bei der Anordnung in Fig. 8 mit Gleichstrom oder auch mit Drehstrom erregt und vom Teilmotor angetrieben. Der andere Teil wird mit der Leitfrequenz gespeist und steht still, solange die Leitfrequenz mit der Umlauffrequenz des angetriebenen Teiles übereinstimmt. Sobald diese Uebereinstimmung aufhört, setzt er sich je nach dem

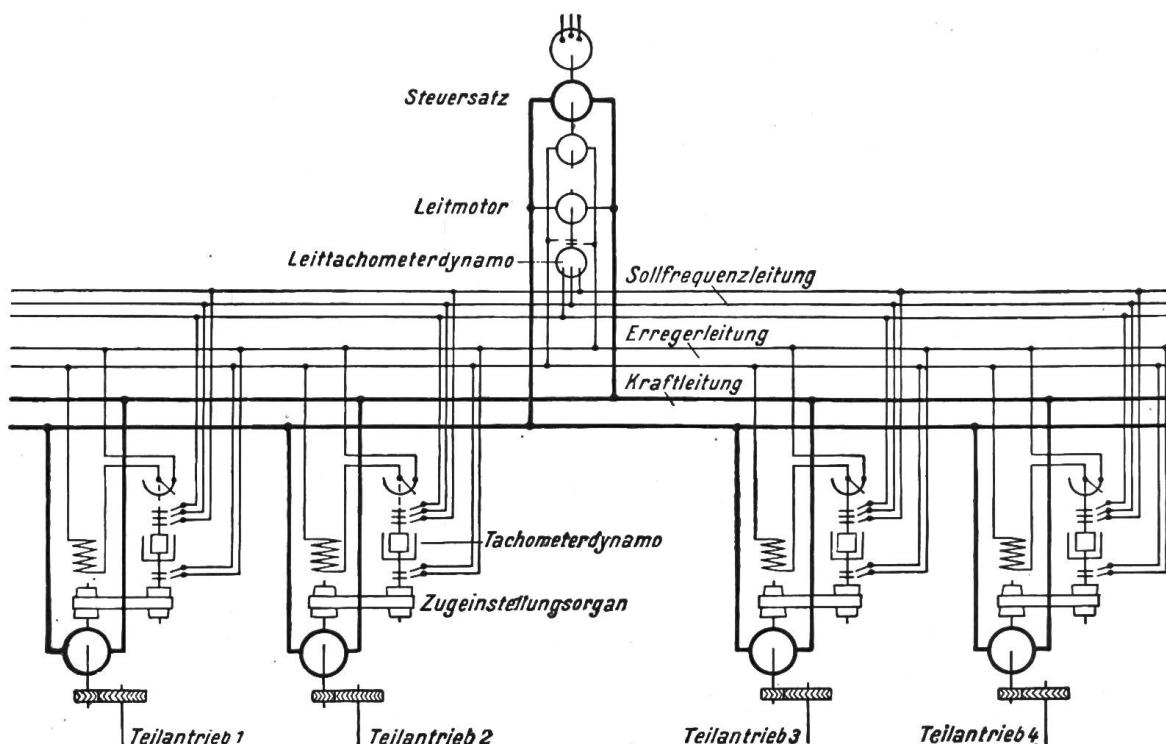


Fig. 9

Grundschema für den Mehrmotorenantrieb mit elektrischer Hilfsregelung durch ständer- und läuferbewegliche Tachometerdynamos.

Störungssinne nach rechts oder links in Bewegung und verstellt dadurch den Feldregler. Die Wirkungsweise dieser Anordnung ist also grundsätzlich die gleiche wie bei der Anordnung nach Fig. 8.

III. Antrieb des Aufrollapparates.

Die amerikanischen und englischen Mehrmotorenantriebe zeigen auch für den Antrieb des Rollapparates eine den übrigen Teilantrieben gleiche Ausführung. Dies erklärt sich in einigen Fällen dadurch, dass bei den betreffenden Maschinen Aufrollapparate nach dem System Pope vorhanden sind, bei welchem die Aufwickelwalze nicht an ihrer Achse angetrieben, sondern an ihrem Umfang durch Reibung mitgenommen wird, ähnlich wie bei den bekannten Rollmaschinen zur Herstellung hartgewickelter Rotationsdruckpapierrollen. Bei dieser Ausführungsform ist also eine Drehzahlanpassung an den allmählich steigenden Durchmesser der sich aufwickelnden Papierrolle nicht notwendig, so dass für diese Art des Rollapparates ein ebensolcher Teilantrieb wie für die übrigen Teile der Papiermaschine verwendet werden kann. Bei den übrigen Ausführungsformen des Rollapparates ist es jedoch zweckmässiger,

eine besondere regelbare Ausführung dieses Teilantriebes anzuwenden, da sich hierdurch infolge des Fortfallen der Energieverluste in den bisher durchweg zur Drehzahlregelung verwandten Reibungsrutschkupplungen wesentliche Energieersparnisse erzielen lassen. Dieser regelbare Antrieb des normalen Rollapparates bildet indes eine Aufgabe für sich, auf deren Einzelheiten an dieser Stelle nicht eingegangen werden soll. Es möge der Hinweis genügen, dass bei Mehrmotorenantrieben der Antrieb des Rollapparates, wenn dieser nicht nach System Pope ausgeführt ist, zweckmässig mit selbsttätiger elektrischer Leistungsregelung in Abhängigkeit von dem Fortschreiten des Aufrollvorgangs ausgeführt wird, wodurch sich dann für diesen Antrieb eine von den sämtlichen übrigen Teilen abweichende Ausführung ergibt.

IV. Mechanische Ausführung der Mehrmotorenantriebe.

Die Einzelmotoren können mit den einzelnen Antriebswellen der Papiermaschine direkt gekuppelt werden. Allerdings ergeben sich hierbei — selbst bei schnellaufenden Maschinen — recht niedrige Drehzahlen, wodurch die Motoren gross und teuer ausfallen und auch der Wirkungsgrad herabgedrückt wird. So sind beispielsweise bei einer Papiermaschine der Crown Willamette Paper Co. die 100 PS-Teilmotoren für Höchstdrehzahlen von etwa 140/min. ausgeführt. Die Zwischenschaltung guter Räder vorgelege (mit Winkelzähnen) dürfte daher, sowohl was Wirkungsgrad wie was Anlagekosten anbelangt, vorzuziehen sein.

Riementriebe empfehlen sich nicht, weil sie wesentliche Vorteile des Einzelmotorenantriebs — den der Riemen- und Platzersparnis — aufzugeben zwingen.

Die beim mechanischen Antrieb stets vorhandenen Reibungskupplungen können beim Mehrmotorenantrieb fortfallen, da jeder Teil für sich elektrisch angelassen werden kann. Die Motoren können unmittelbar neben der Papiermaschine auf gleicher Höhe mit dieser aufgestellt werden. Dabei nehmen dieselben in der Maschinenbreitenrichtung weniger Raum ein als die bisherigen Riemenübertragungen. Bei Neuanlagen kann daher entsprechend an Gebäudekosten gespart werden. Empfehlenswert ist es, die Motoren von der eigentlichen Papiermaschine durch eine Wand, durch welche lediglich die Antriebs- und Zugregelungswellen hindurchgeführt sind, abzuschliessen. Dadurch werden die Motoren vor Spritzwasser und vor der strahlenden Wärme der Trockenpartie geschützt. Sie können dann auch in gewöhnlicher offener Ausführung vorgesehen werden. Findet keine Abtrennung

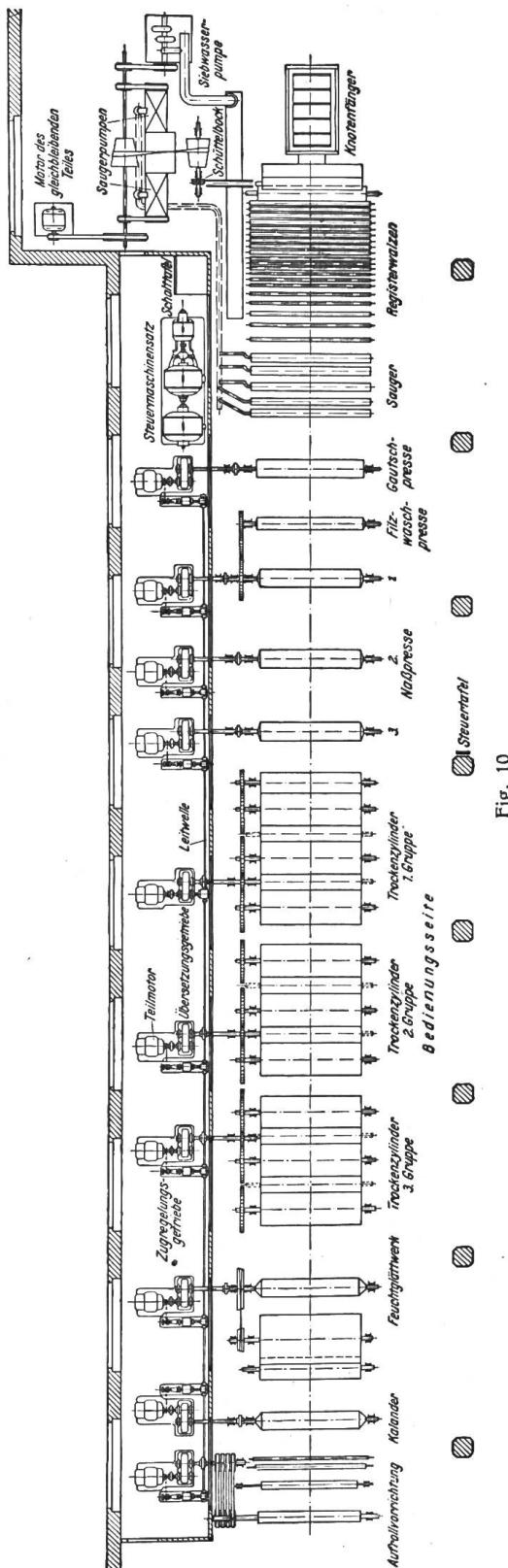


Fig. 10

durch eine Wand statt, so wird für die Teilmotoren der Nasspartie spritzwassergeschützte Ausführung, gegebenenfalls auch für alle Teilmotoren oder wenigstens für die der Trockenpartie, Fremdlüftung mittels Frischluftzuführung durch Kanäle in Betracht zu ziehen sein. Letztere Ausführung hat den Vorteil, dass die Motoren bei den niedrigen Papiergeschwindigkeiten besser gekühlt werden, so dass sie kleiner ausgeführt werden können; anderseits muss die durch die künstliche Kühlung herbeigeführte grössere Verwickeltheit der Anlage in Kauf genommen werden.

In Fig. 10 ist als Beispiel die in Fig. 2 dargestellte Papiermaschine masstabsgleich mit Einzelmotorenantrieb aufgezeichnet, so dass ein unmittelbarer Vergleich mit Fig. 2 möglich ist. Es ist hierbei angenommen, dass die Anlage neu erbaut wurde, so dass dadurch das Gebäude in seinen Abmessungen der Papiermaschine angepasst und die Trennwand zwischen der Maschine und den Antriebsmotoren eingebaut werden kann. Wie ersichtlich, ist die Entfernung zwischen Maschinenmitte und Gebäudeaußenwand etwas geringer und der beim Gruppenantrieb erforderliche Anbau für den Motor nebst Steuermaschinensatz fortgefallen.

V. Genauigkeit der Zugaufrechterhaltung bei den verschiedenen Systemen.

Die Genauigkeit der Zugaufrechterhaltung beim Einmotorenantrieb und ebenso beim Einzel-Synchronmotorenantrieb ist bedingt durch die Schlupfverhältnisse der Riementriebe, insbesondere der Kegelscheibentriebe. Es ist bekannt, dass bei vollbelasteten Riementrieben der elastische Schlupf, d. h. der Geschwindigkeitsunterschied zwischen getriebener und treibender Scheibe infolge der elastischen Dehnung bezw. Wiederzusammenziehung des Riemens beim Uebergang über die beiden Scheiben, etwa in der Größenordnung 1,0 bis 1,5% liegt. Hinzu kommt der Gleitschlupf, d. h. der Geschwindigkeitsverlust, welcher dadurch eintritt, dass der Riemen als Ganzes gegenüber den Scheiben schlüpft. Dieser Gleitschlupf ist, wie namentlich die Untersuchungen von Sawdon gezeigt haben, eine sehr unsichere und sich scheinbar fast willkürlich ändernde Grösse, wobei vor allen Dingen sehr kleine Veränderungen der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur eine grosse Rolle zu spielen scheinen. Laständerungen, wie sie beispielsweise bei Änderungen der Pressenbelastung auftreten, ergeben Änderungen des Schlupfes, welche mindestens proportional der Laständerung, in den meisten Fällen aber mehr als proportional sind. Die Papierbahn wirkt nun wie ein dem Antriebsriemen parallel geschalteter schwacher Papierriemen, und es ist ersichtlich, dass ihre Spannung sich dem gesamten Riemenschlupf anpassen, sich also sehr stark ändern muss. Nehmen wir an, die Spannung in der Papierbahn ergebe eine Dehnung von 1%, so entspricht dies einem elastischen Schlupf des Papiers von ebenfalls 1%. Ändert sich nun der Riemenschlupf von 1% auf 1,20%, so ändert sich die Dehnung des Papiers ebenfalls von 1% auf 1,20%. Durch diese Schlupfeinflüsse, welche sich bei mehreren hintereinandergeschalteten Riementrieben summieren, wird somit die Papierbahn mechanisch angestrengt, und die Folge ist, dass die Papierzüge oft nachgestellt werden müssen und trotzdem das Papier vielfach überanstrengt wird; oft führen diese Beanspruchungen nicht bis zum Reissen, üben aber auch dann einen nachteiligen Einfluss auf die Gleichmässigkeit und Güte des Papiers aus.

Der Mehrmotorenantrieb mit Synchronmotoren und Kegelscheiben ist hiernach dem Einmotorenantrieb nur insofern überlegen, als bei ihm nicht mehrere hintereinander geschaltete Riementriebe vorkommen.

Auch der Mehrmotorenantrieb mit Gleichstrommotoren und synchronen Hilfsmotoren ist nicht besser. Er kann grundsätzlich kaum günstiger arbeiten als der gewöhnliche Einmotorenantrieb, weil hier der zwischen Gleichstrom-Haupt- und Synchron-Hilfsmotor geschaltete Kegelscheibenriemen die *gesamten* Laständerungen, soweit sie nicht durch Nachgeben des Hauptmotors gedeckt werden, aufnehmen und dementsprechend zwischen Leerlauf und Vollast, also sehr stark, schlüpfen muss. Da diese Triebe hier nicht für die volle Leistung, sondern nur für einen Teil derselben auszuführen sind, so ist es zwar möglich, sie reichlich und vorsichtig zu

bemessen und dadurch die Nachteile des Schlupfes einzudämmen. Immerhin wird trotz alledem die Genauigkeit der Zugaufrechterhaltung schlechter sein, als beim Synchronmotoren-Mehrfachantrieb und sich von den Verhältnissen des gewöhnlichen Transmissionsantriebes nicht wesentlich unterscheiden.

Ebenso ungünstig, vielleicht noch ungünstiger, wird die Lage bei den Ausführungsformen des Mehrmotorenantriebes sein, welche für die Zugaufrechterhaltung motorisch angetriebene Hilfsregler verwenden, wenn diese nicht ausserordentlich schnellwirkend ausgeführt werden. Werden empfindliche Relais und Schnellregler verwendet, so wird die Wirkung besser, aber auch die Ausführung verwickelter.

Anders liegt dies bei den Anordnungen, welche mit direkt angetriebenem Synchronisierregler arbeiten. Hierhin gehört die mechanische Ausführungsform nach Fig. 6 und die elektrischen Ausführungsformen nach den Fig. 8 und 9. Die Wirkungsweise und demnach die Genauigkeit der Zugaufrechterhaltung ist bei diesen drei Anordnungen im wesentlichen die gleiche, doch haben die letzteren beiden den Vorteil, dass die selbsttätige Regelung leicht elektrisch abgeschaltet werden kann, während dies bei der mechanischen Anordnung nach Fig. 6 nur durch unbequemere mechanische Mittel erreichbar ist. Diese Abschaltung ist aber unbedingt notwendig beim Ab- und Anstellen einzelner Teilantriebe, da sonst die Teile (Reglerarm und Schleifbürste), welche beim normalen Betriebe stillstehen bzw. nur beim Regelvorgang selbst kurzzeitig mit Differenzgeschwindigkeit laufen, mit halber Höchstdrehzahl dauernd umlaufen. Bei dem System Warburton-Harland (nach Fig. 6) findet keine mechanische Abschaltung statt; hier werden die Regler so ausgeführt, dass sie den dauernden Umlauf mit halber Höchstdrehzahl aushalten.

Die Wirkungsweise dieser Anordnungen mit direkt angetriebenem Synchronisierregler ist besonders interessant. Es ist klar, dass die Schleifbürste des Reglers nur dann auf einem bestimmten Kontakt in Ruhe stehen bleiben kann, wenn diesem Kontakt *absolut genau* die richtige Motorgeschwindigkeit entspricht. Diese Motorgeschwindigkeit darf von der Sollgeschwindigkeit auch nicht um den kleinsten Betrag abweichen, da sonst in endlicher Zeit eine Differentialbewegung der Schleifbürste eintreten würde. Es ist klar, dass eine so feine Unterteilung des Feldreglerwiderstandes ganz unmöglich ist. Die bisherigen Erfahrungen haben nun gezeigt, dass man mit einer recht groben Stufeneinteilung auskommen kann; die Schleifbürste spielt dann dauernd am Rande eines Kontaktes um ganz geringe Beträge hin und her, wobei die Geschwindigkeit und der Weg eines Spieles mit blossem Auge kaum zu erkennen sind. Man hat es hier also mit einer Wirkungsweise wie bei den nach dem Schwingungsprinzip arbeitenden Schnellreglern zu tun, wobei das Kegelorgan dauernd zwischen zwei Werten spielt und dabei sein Taktverhältnis von selbst so einstellt, dass trotz grober Stufeneinteilung ganz genau der richtige Sollwert der Geschwindigkeit eintritt. Bei diesen Anordnungen wird also in der Tat eine genaue Synchronisierung der Einzelmotoren erzielt. Diese Systeme überragen durch diese Eigenschaft den bisherigen Transmissionsantrieb und auch alle mit belasteten Regeltrieben arbeitenden Mehrmotorenantriebe weitaus, und es ist zu erwarten, dass mit diesen Antrieben eine wesentliche Verbesserung und Erleichterung des Papiermaschinenbetriebes erreicht wird. Aus diesem Grunde dürfte es sich auch lohnen, diese neuen Antriebsformen nicht nur für die neueren grossen Schnelläufer, sondern auch für langsam laufende Papiermaschinen in Betracht zu ziehen.

Zweifelhaft erscheint, ob die bisher bei allen Mehrmotorenantrieben durchgeführte Parallelschaltung der Synchronisierregelungen der Teilantriebe das Richtige und Beste ist, da hierbei bei jeder Zugnachstellung eines Teilantriebes die in der Papierlaufrichtung folgenden Teilantriebe von Hand ebenfalls nachgestellt werden müssen. Es scheint möglich, dass eine Reihenschaltung der Regelungen günstiger ist, da dann die nachfolgenden Teilantriebe bei Verstellung eines Teilantriebes der neuen Einstellung *von selbst* folgen. Andererseits hat diese Reihenschaltungseinrichtung aber auch Nachteile, so u. a. den, dass es dabei nicht möglich ist, eine gleichzeitige Zugvergrösserung vor und Zugverminderung hinter einer Presse (oder umgekehrt) vor-

zunehmen, ein Vorgang, welcher mit parallel geschalteten Regelungen ohne weiteres beherrscht werden kann. Die Frage, ob die Vorteile der Parallelschaltung oder der Reihenschaltung überwiegen, kann meines Erachtens nicht theoretisch, sondern nur praktisch durch den Versuch entschieden werden. Diese Entscheidung steht heute noch aus, da elektrische Reihenschaltungen bisher noch nicht ausgeführt worden sind. Eine Möglichkeit ihrer Ausführung zeigt u. a. das englische Patent 154 644 von Thomson-Houston, das im übrigen jedoch bedeutungslos ist, da es als Motoren Wechselstrom-Kollektormotoren voraussetzt, deren Betriebssicherheit für Papiermaschineneinzelantriebe heute noch zweifelhaft erscheint.

VI. Vorteile des Mehrmotorenantriebes.

Die wesentlichsten Vorteile, welche der Mehrmotorenantrieb (in seinen im Vorstehenden gekennzeichneten besten Ausführungsformen) gegenüber dem bisherigen Einmotorentransmissionsantrieb zeigt, sind im Vorstehenden bereits gestreift. Wir wollen sie nochmals kurz zusammenfassen:

1. Bessere Genauigkeit der Zugaufrechterhaltung, dadurch Schonung des Papiers beim Durchlaufen der Maschine und infolgedessen Möglichkeit höherer Arbeitsgeschwindigkeit und entsprechender Produktionserhöhung, sowie Verminde-
rung des Ausschlusses.

2. Energieersparnis. Erfahrungsgemäß erfordert beim Transmissionsantrieb die Transmission, selbst bei bester Ausführung, mindestens etwa 20% der zum Betriebe der Maschine erforderlichen Gesamtenergie; bei ungünstigerer Anordnung, namentlich bei älteren Antrieben, geht dieser Wert bis auf 50% und selbst darüber hinaus. Vergleichen wir den Mehrmotorenantrieb mit einem Einmotorenantrieb, so ergibt die Aufteilung des einen grossen Motors in etwa 8 bis 12 Einzelmotoren einen Wirkungsgradunterschied zu ungunsten der Einzelmotoren in der Größenordnung von etwa 3%. Hierzu kommt noch der Verlust in den Rädervorgelegen in Höhe von etwa 3%, so dass, wenn ein Transmissionsverlust von 20 bis 25% vorausgesetzt wird, eine Energieersparnis von etwa 14 bis 19% zu erwarten ist. Von amerikanischer Seite werden noch erheblich grössere Ersparnisse behauptet¹⁾, doch stehe ich diesen Angaben zweifelnd gegenüber.

3. Fortfall der Riementriebe, insbesondere der Kegelscheibentriebe, infolgedessen wesentliche Ersparnis an Riemern und Wartung.

4. Raumersparnis, infolgedessen verminderter Anlagekapital sowie Möglichkeit anderweitiger Nutzbarmachung des Raumes unterhalb der Papiermaschine.

5. Bessere Zugänglichkeit und geringere Unfallgefahr auf der ganzen Antriebsseite der Papiermaschine.

6. Möglichkeit bequemer Ein- und Ausschaltung, sowie des Umsteuerns jedes Einzelteiles der Maschine (bei Unglücksfällen, bei Verstopfung, namentlich bei den Kalander).

7. Fortfall der Reibungskupplungen.

VII. Geschichtliche Entwicklung des Mehrmotorenantriebes.

Der Gedanke des Einzelmotorenantriebes für Papiermaschinen stammt von Aichele und ist zum erstenmal in dem D. R. P. 135 278 vom 6. VI. 1905 (Brown, Boveri, Mannheim, und J. M. Voith, Heidenheim) niedergelegt. Die ersten Ausführungen nach diesem Patent stammen aus den Jahren 1908/1909, und zwar wurden die ersten Antriebe mit unterteiltem Motor in der Papierfabrik Papyrus in Mannheim ausgeführt (1908). Hier wurde jedoch der Einzelantrieb nicht ganz durch-

¹⁾ So z. B. von Warburton, vergl. The Worlds Paper Trade Review, Bd. 77, Heft 7, 1922, S. 506–508. Hier ist jedoch der Energieverbrauch der mechanisch betriebenen Maschine mindestens 20% zu hoch angesetzt; ferner ist der Verbrauch der Warburtonmaschine in unzulässiger Weise nach unten umgerechnet. Bei richtiger Berechnung ergibt das Warburton'sche Beispiel einen Minderverbrauch von etwa 23%.

geführt, sondern für den variablen Teil lediglich je ein Motor für die Nasspartie und die Trockenpartie vorgesehen, deren Gleichlauf durch Synchronisierschleifringe gesichert wurde (nach Schaltung der Fig. 4). Die erste vollständig mit Einzelantrieb versehene Maschine war die 3300 mm breite Papiermaschine II der Papierfabrik Muldenstein in Sachsen. Dieser Antrieb bestand aus 11 Motoren von je 22 PS, welche durch Vermittelung von Doppelpfeilradgetrieben auf die einzelnen Antriebswellen arbeiteten. Als Einrichtung zur Zugaufrechterhaltung war hier lediglich Compoundierung der Motoren vorgesenen (also Anordnung nach System Fig. 5). Infolgedessen ergaben sich im Betriebe mit der Zugregelung Schwierigkeiten; die Betriebsleitung der Fabrik wurde ungeduldig, und der ganze Einzelmotorenantrieb wurde aus diesem Grunde bedauerlicherweise wieder entfernt, ohne dass ernstliche Versuche zum Einbau einer Hilfsregelung zur Zugaufrechterhaltung gemacht wurden.

Etwa zur gleichen Zeit (1909) wurde von der amerikanischen Lizenzträgerin des genannten Patentes (Crocker-Wheeler) ebenfalls ein Antrieb ausgeführt, und zwar für die Goulds Paper Co. in Lyons Falls, N. Y. Auch bei diesem Antrieb zeigten sich naturgemäß die gleichen Zugregelungsschwierigkeiten. Die Amerikaner waren jedoch anspruchsloser als die Herren in Muldenstein und hielten den Antrieb lange Jahre in seiner primitiven Form in Betrieb, bis im Jahre 1919 von Westinghouse eine Hilfsregelungseinrichtung mit Tachometerdynamos in Gestalt von Frequenzumformern (ähnlich Fig. 8) nachträglich eingebaut wurde, wodurch der Antrieb zum einwandfreien Arbeiten gebracht wurde.

Der ungünstige Ausgang in Muldenstein hat die deutschen Papierfabriken lange Zeit von allen weiteren Versuchen abgeschrägt. Dagegen wurde in Amerika und England weitergearbeitet, und es wurden während des Krieges und kurz danach mehrere Antriebe ausgeführt, so von der General Electric Co. in der Crown-Willamette-Paper Co. in West-Lynn, Oregon, mit Zugregelung durch Synchronhilfsmotoren (nach Fig. 5) und von der Harland Co. in der Laurentide Paper Co. in Grand Mere in Canada mit Zugregelung nach dem Warburton'schen System mit Synchronisierhilfswelle und Differentialgetrieben (nach Fig. 6). In Deutschland wurde auch auf diesem Gebiete der Krieg verhängnisvoll, da keine neuen Papiermaschinen aufgestellt wurden und so auch die Weiterentwicklung des Einzelmotorantriebes stockte. Die ausländischen Erfahrungen zeigen aber, dass in dem Mehrmotorenantrieb doch eine starke Quelle des Fortschritts ruht, so dass damit gerechnet werden muss, dass die Weiterentwicklung des Papiermaschinenantriebes zum wesentlichen Teile mit in der Richtung des Mehrmotorenantriebes liegen wird. Von besonderer Bedeutung scheint der Mehrmotorenantrieb zu sein im Hinblick auf die neuen Bestrebungen, Papiermaschinen grösster Breite und höchstgesteigerter Arbeitsgeschwindigkeit zu bauen. Bei den Breiten (5 m und darüber) und Geschwindigkeiten (300 bis 450 m pro Min.), welche für diese Maschinen neuerdings in Betracht gezogen werden, ergeben sich Antriebsleistungen für die Gesamtmaschine, welche bei Einmotorenbetrieb mit Transmissionsübertragung in der Größenordnung 1000 bis 1500 PS liegen. Bei diesen grossen Leistungen erscheint die Unterteilung in Einzelmotoren besonders lohnend, nicht nur mit Rücksicht auf die erzielbare Energieersparnis, sondern auch im Hinblick auf die Vereinfachung der ganzen Maschine.

So erscheint der elektrische Einzelmotorenantrieb für die Zukunftsentwicklung nicht allein des elektrischen Antriebes der Papiermaschine, sondern auch der Papiermaschine selbst von wesentlicher Bedeutung werden zu wollen. Damit würde die Entwicklung auch auf diesem Gebiete den Weg zur vollkommenen Verschmelzung von Arbeitsmaschine und Elektroantrieb zu einer neuen Einheit, hier der „Elektro-Papiermaschine“, gehen und mit dem bewussten weiteren Fortschritt auf diesem Wege vielleicht heute noch ungeahnte Möglichkeiten der Weitervervollkommnung der Papiermaschine und ihrer Arbeitweise erschliessen.