

Biblioteka Główna
Politechniki Łódzkiej

49/41

[Redacted]				
Ge- sehen:				
An Herrn				
"				
"				
Beantw.		Z. d. Akt.		

T. B. Posen	11. OKT. 1941
Ge- sehen:	
An Herrn	
"	
"	
Beantw.	

A E G

Mitteilungen

HEFT 7/8 • JULI/AUGUST

B E R L I N 1 9 4 1



HAUSMITTEILUNG DER AEG
SONDERHEFT DREHSTROM IN DER INDUSTRIE

INHALTSVERZEICHNIS

Der Drehstrom in Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft. Ein Rückblick gelegentlich der 50. Wiederkehr des Jahres der Ausstellung Frankfurt a. M. Von L. Riefstahl, Abteilung Industrie	189
Die Entwicklung des Drehstromkranes. Von C. Schiebeler, Abteilung Industrie	192
Drehstromsteuerungen für Lokomotiv- und Wagenhebekrane. Von Dipl.-Ing. H. Hootz, Abteilung Industrie	195
Die elektrische Welle. Von W. Stoll, Abteilung Industrie	197
Die Bedeutung des Drehstromes für die Energieversorgung und den Antrieb der Abbaugeräte im Braunkohlentagebau. Von Dipl.-Ing. F. Schwender, Abteilung Industrie	201
Der Drehstrom für die Hilfsantriebe in Hüttenwerken. Von H. Wickler, Abteilung Industrie	204
Drehstrom-Asynchronantriebe und die Lösung der Reglungsfra ge in Druckluftanlagen. Von K. Kochanke, Abteilung Industrie	209
Aus der Geschichte des Drehstromantriebes in der Textilindustrie. Von H. Stein, Abteilung Industrie	213
Der Drehstromantrieb im Werkzeugmaschinenbau. Von W. Stäffel, Abteilung Industrie	217
Die Verwendung von Drehstrom für Ofenanlagen großer Stromstärken. Von Dipl.-Ing. A. Driller, Abteilung Industrie	222
Beilage:	
Nachtrag zu dem Aufsatz über Transformatorenschaltungen und ihre Eigenschaften. Von Dr.-Ing. R. Mangold.	
Neue Tafel zur Berechnung der Gasstrahlung in Berührungsheizflächen.	

Die Hausmitteilung erscheint nach Bedarf, zur Zeit alle zwei Monate. Der Bezugspreis beträgt 6,— RM jährlich, 3,— RM halbjährlich. Das Einzelheft kostet 1,— RM.

Nachdruck des Textes mit genauer Quellenangabe wird gern gestattet, doch ist in jedem Falle vorher die Genehmigung der Pressestelle der AEG einzuholen. Alle sonstigen den Inhalt betreffenden Mitteilungen sind an die Technisch-Literarische Abteilung der AEG, Berlin NW 40, Friedrich-Karl-Ufer 2...4 zu richten.

AEG

Mitteilungen

Der Drehstrom in Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft. Ein Rückblick gelegentlich der 50. Wiederkehr des Jahres der Ausstellung Frankfurt a. M.

Von L. Riefstahl, Abteilung Industrie.

DK 621.3.025.3

Der Drehstrommotor weist gegenüber dem Gleichstrommotor gewisse Vorzüge auf, besonders durch den Wegfall des Kommutators. Auch ist das Anlaßverfahren wesentlich einfacher, da bei der Ausführung des Motors mit Kurzschlußläufer ein Anlaßwiderstand nicht erforderlich ist und das Einschalten mit einem einfachen Schalter oder mit einem Sterndreieckschalter erfolgen kann.

Es gelang deshalb dem Drehstrommotor verhältnismäßig leicht, in den Verbraucherkreisen, zunächst in gewerblichen Betrieben, rasch Eingang zu finden, so daß auch die städtischen Elektrizitätswerke bald zur Anlage und zum Ausbau von Drehstromnetzen schritten.

Noch deutlicher verlief die Entwicklung des motorischen Betriebes in der Landwirtschaft zugunsten des Drehstroms.

Wenn im Anfang auf größeren Gütern kleine, mit Gleichstrom arbeitende Eigenkraftwerke entstanden, so zwangen doch sehr bald die großen zu versorgenden Räume zur Anwendung höherer Spannungen, wie sie der Drehstrom ermöglicht. So entstanden sehr bald die sich immer weiter ausbreitenden und verdichtenden Überlandnetze, die dann neben der bequemen Versorgung mit Kraft durch den Drehstrommotor auch zur Ausbreitung des elektrischen Lichtes auf dem Lande führten.

Einen neuen Auftrieb erhielt die Verwendung des Drehstrommotors und damit des Elektromotors überhaupt in dem Augenblick, als die Elektroindustrie zu Ausführungsformen des Käfigläufermotors überging, die seine Anlaufverhältnisse wesentlich verbesserten. Die Anschlußmöglichkeit dieser einfachsten aller Motorarten wurde damit erweitert, und seine Billigkeit und Widerstandsfähigkeit sowie seine einfache Bedienung verschafften dem elektromotorischen Betrieb zahlreiche neue Freunde.

Etwas anders verlief die Entwicklung in der In-

dustrie, besonders in den Werken, die ihre elektrische Energie selbst erzeugten. Bei den ursprünglich für Gleichstrom ausgebauten Anlagen hielt sich diese Stromart oft so lange, bis die zunehmenden Leistungen die Anwendung höherer Spannungen verlangten, wodurch dann der Übergang auf Drehstrom erforderlich wurde. Hierzu kam vielfach das Bedürfnis, den Energiebedarf ganz oder teilweise den öffentlichen Werken zu entnehmen, in bestimmten Fällen auch der Wunsch, das eigene Kraftwerk mit der öffentlichen Versorgung zu koppeln.

Die durch den Wegfall des Kommutators gegebene größere Einfachheit des Drehstrommotors spielte zudem in der Mehrzahl der Fälle eine ausschlaggebende Rolle, besonders nachdem es durch

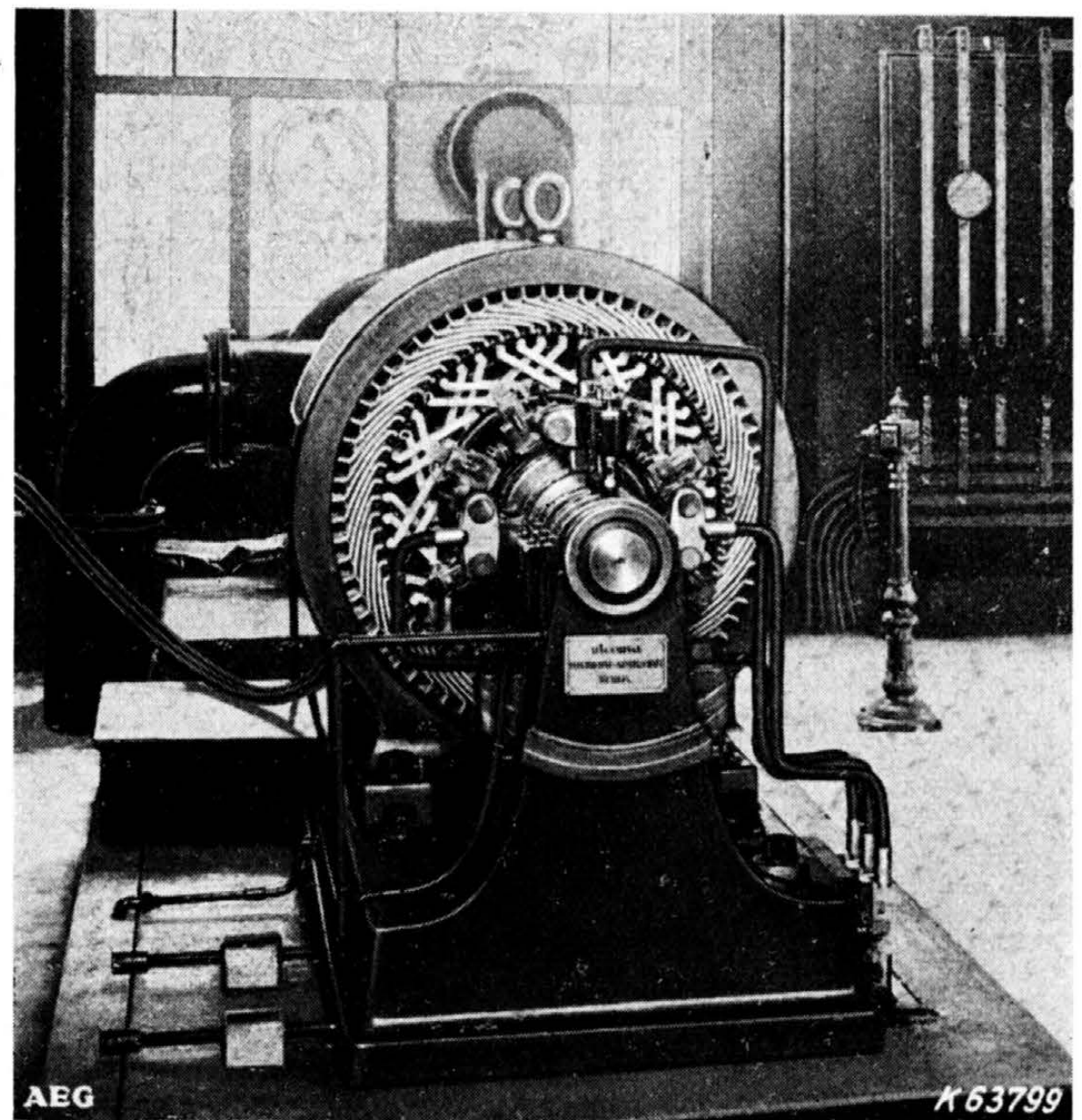


Bild 1. 100-PS-Drehstrommotor der AEG zum Antrieb einer Pumpe auf der Frankfurter Ausstellung 1891.

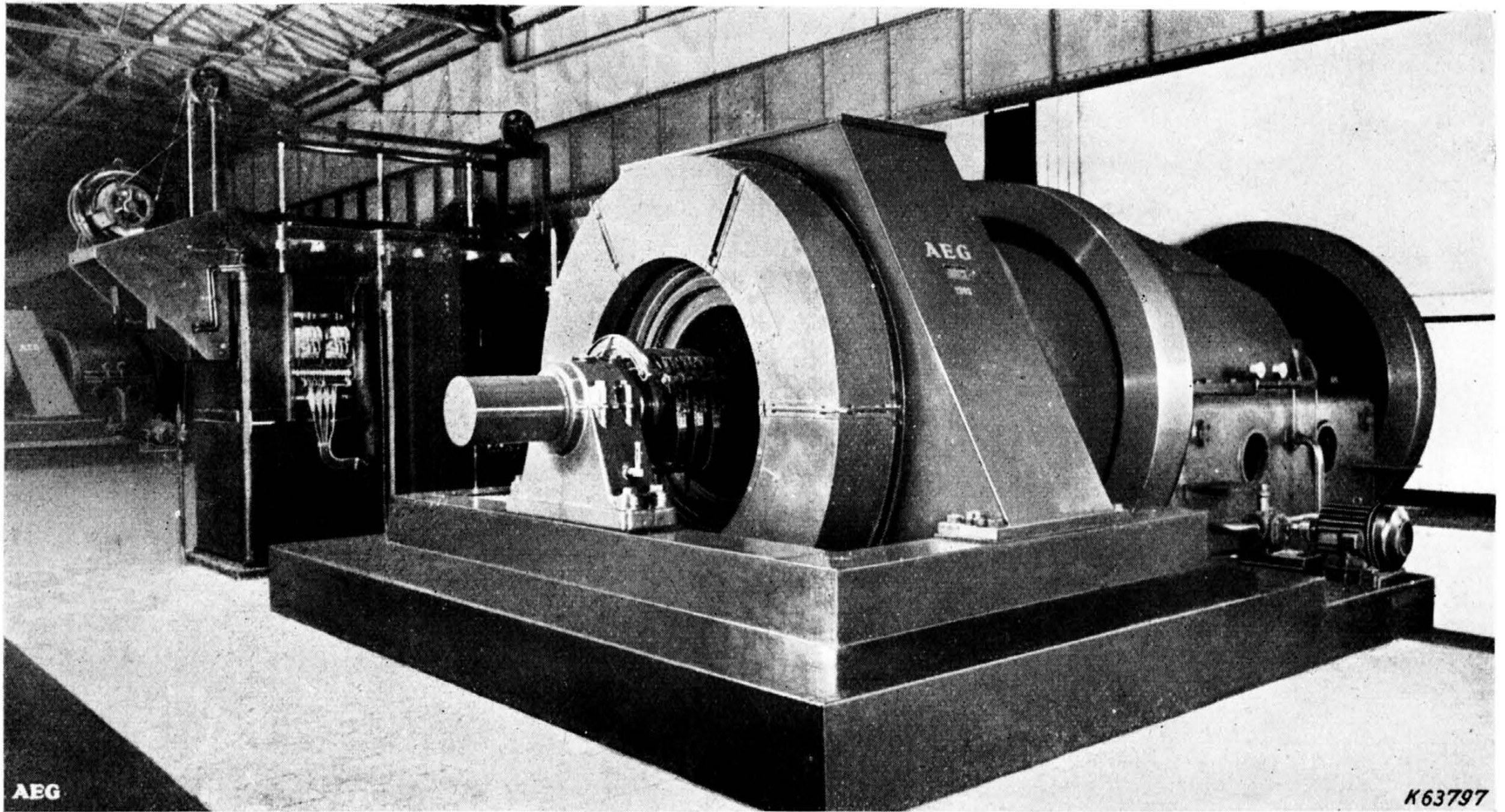


Bild 2. Drehstrom-Walzmotoren von je 5000 PS Höchstleistung, 428 U/min, 10 kV, mit selbsttätigen Schlupfreglern zum Antrieb einer kontinuierlichen Vorstraße für ein Breitbandwalzwerk.

Verwendung des Stromverdrängungsläufers gelungen war, die Anlaufströme auch größerer Kurzschlußläufermotoren so weit herabzusetzen, daß unter Berücksichtigung der steigenden Leistungsfähigkeit der Kraftwerke, sowohl der eigenen als auch der öffentlichen, auch die großen Motoren unmittelbar eingeschaltet werden konnten.

Bedenken gegen den geringen Luftspalt des Asynchronmotors wurden wesentlich gemildert durch Verwendung der Wälzlager auch für Motoren

größerer Leistung und für besondere Verwendungszwecke.

Für große Leistungen erhielt auch der Synchronmotor wieder erhöhte Bedeutung, nachdem es gelungen war, das Anlaßverfahren durch Verwendung des asynchronen Anlaufes zu verbessern. Wenn er auch wegen der erforderlichen Erregermaschine nicht ganz so einfach im Betrieb ist wie der Asynchronmotor, weist der Synchronmotor andererseits diesem gegenüber wesentliche Vorteile auf.

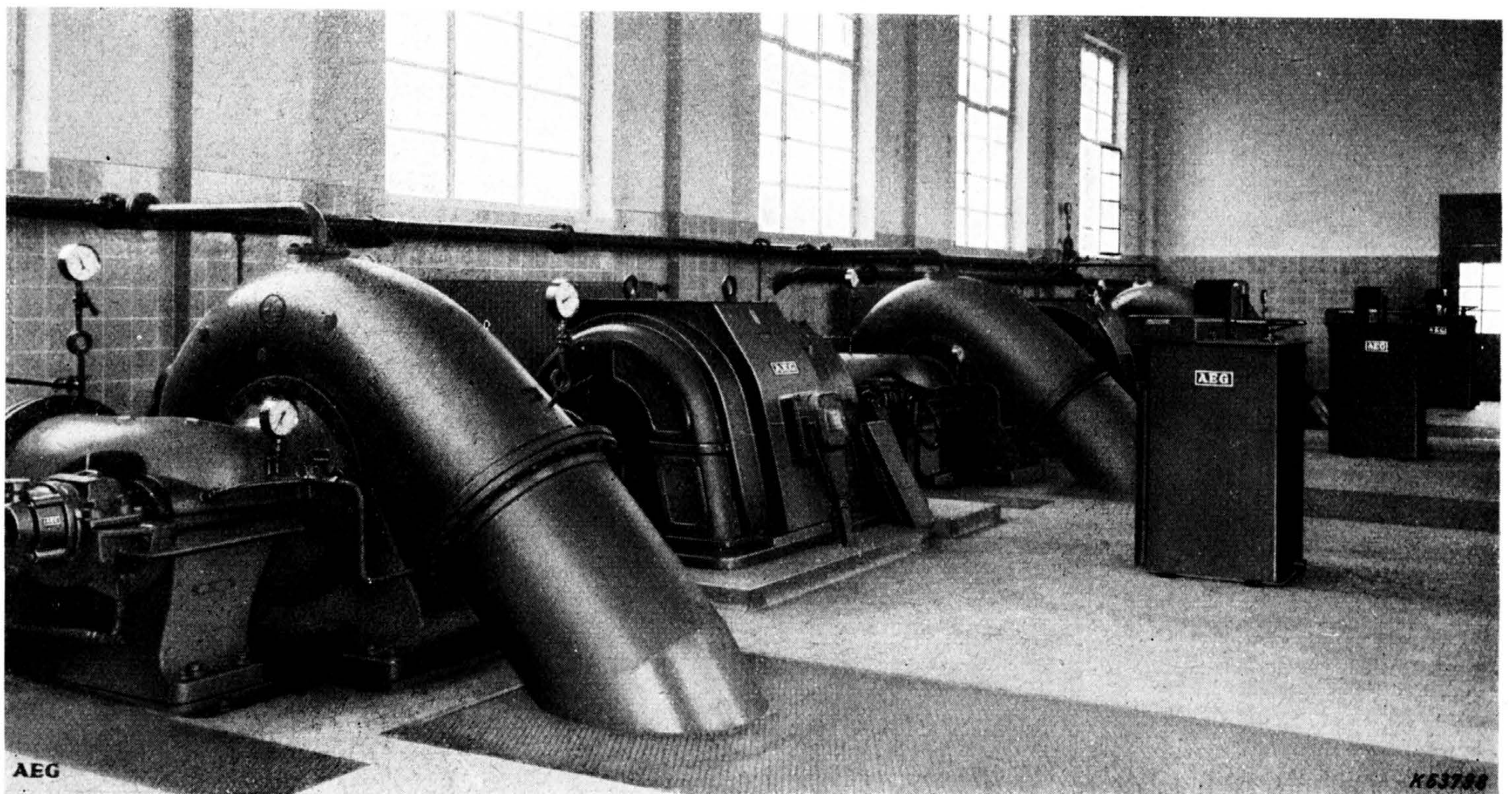


Bild 3. Drehstrommotoren von je 1500 PS, 1000 U/min, 6 kV, geschlossen, mit Eigenbelüftung durch das Fundament, zum Antrieb von Kreiselpumpen für ein Industriewasserwerk.

Er hat einen größeren Luftspalt, was bei den für große Motoren stets erforderlichen Gleitlagern (z. B. Ölspüllagern) wesentlich ist. Er hat ferner

Die Bilder 2...6 zeigen als Gegenstück hierzu einige Anwendungsbeispiele großer Drehstromsynchron- und Asynchronmotoren in Industrieanlagen.

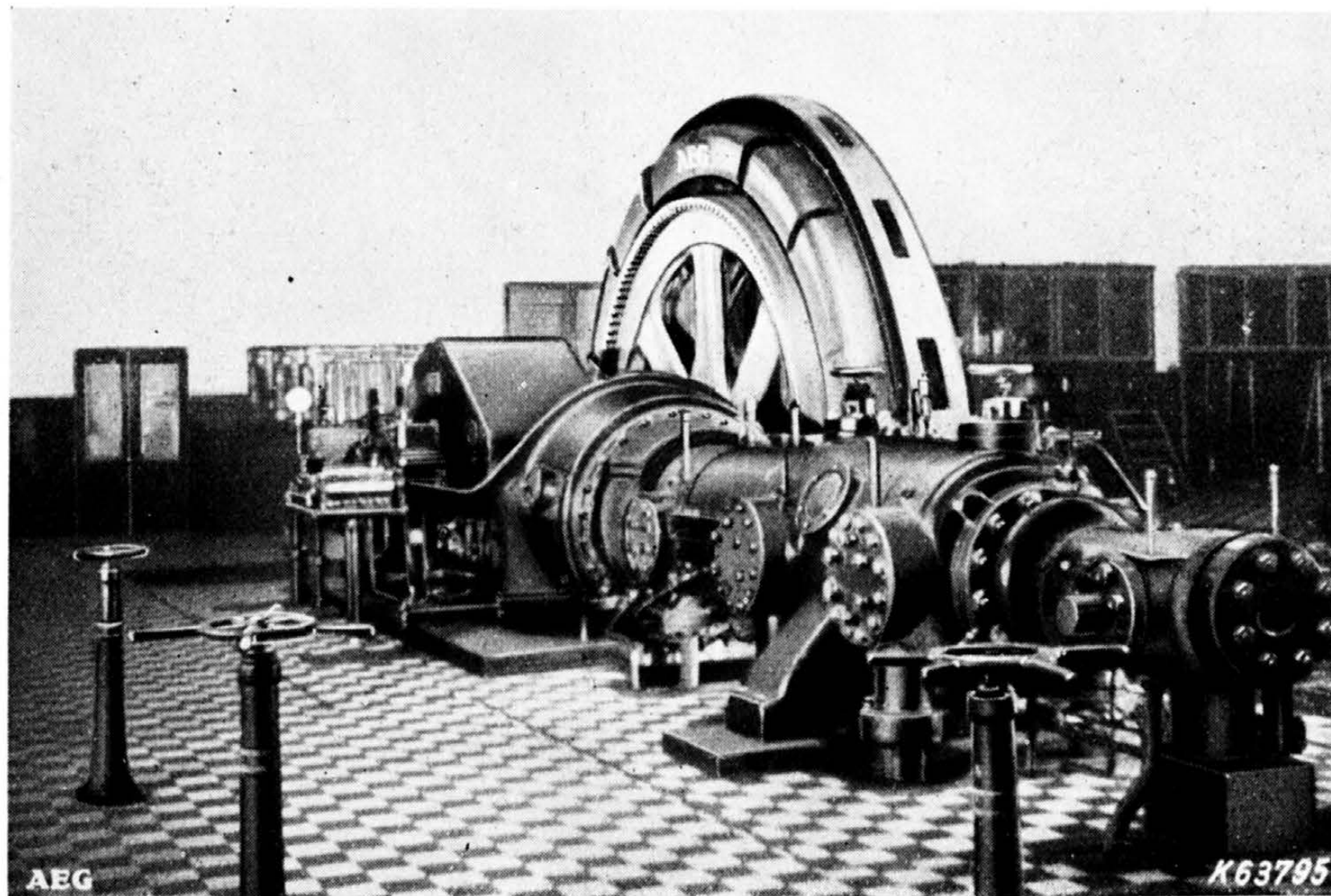


Bild 4. Drehstrom-Synchronmotor 1200 kW, 125 U/min, 5 kV, $\cos \varphi = 1$, zum Antrieb eines Hochdruck-Mischgasverdichters.

einen besseren Wirkungsgrad, einen günstigeren Leistungsfaktor ($\cos \varphi = 1$) und kann darüber hinaus zur Phasenverbesserung des Netzes herangezogen werden.

Für die Anpassungsfähigkeit des Drehstrommotors an die Bedingungen bestimmter industrieller Antriebe bieten die Aufsätze in diesem Heft einige Beispiele.

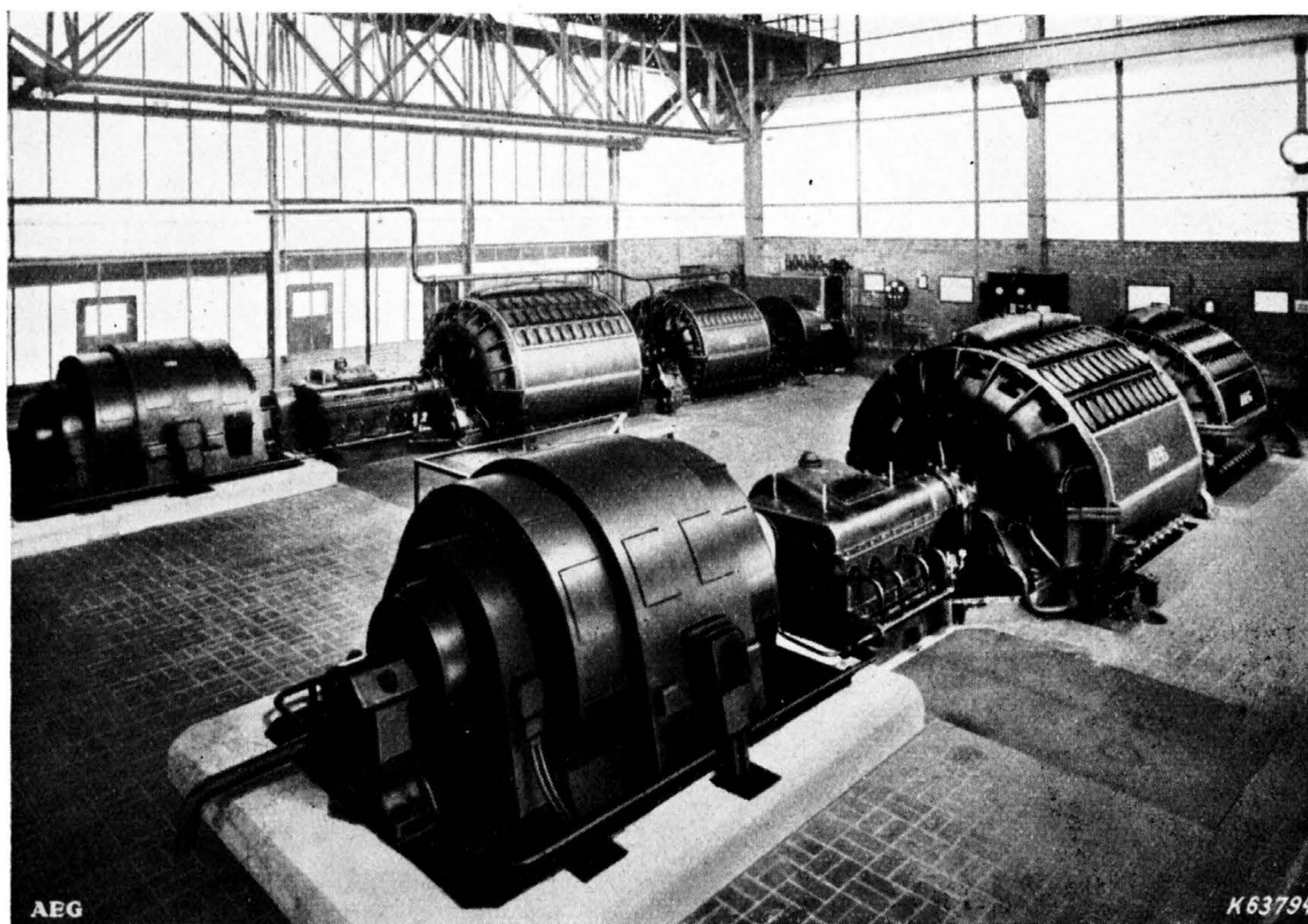


Bild 5. Drehstrom-Synchronmotoren von je 5200 kW, 1500 U/min, 6 kV, $\cos \varphi = 1$, mit asynchronem Selbstanlauf für den Antrieb von Kreiselkompressoren zur Verdichtung von Synthesegas.

Bild 1 zeigt den 100-PS-Drehstrom-Schleifringmotor, der auf der Ausstellung in Frankfurt a. M. im Jahre 1891 die Ausstellungspumpe antrieb¹⁾.

¹⁾ s. AEG-Mitt. (1941) 5/6, 121.

Gleichstrommotoren werden grundsätzlich nur noch dort verwendet, wo an die Regelbedingungen erhöhte Anforderungen gestellt werden (Umkehrwalzwerke, Fördermaschinen, Hobelmaschinen und

dgl.). In manchen Fällen, die früher dem Gleichstromantrieb vorbehalten waren, wird der Drehstrommotor in der Ausführung als polumschaltbarer

strom bei den heute in der Industrie erforderlichen Energiemengen wegen der freien Wahl der Spannungen nicht nur die größten Möglichkeiten hinsicht-

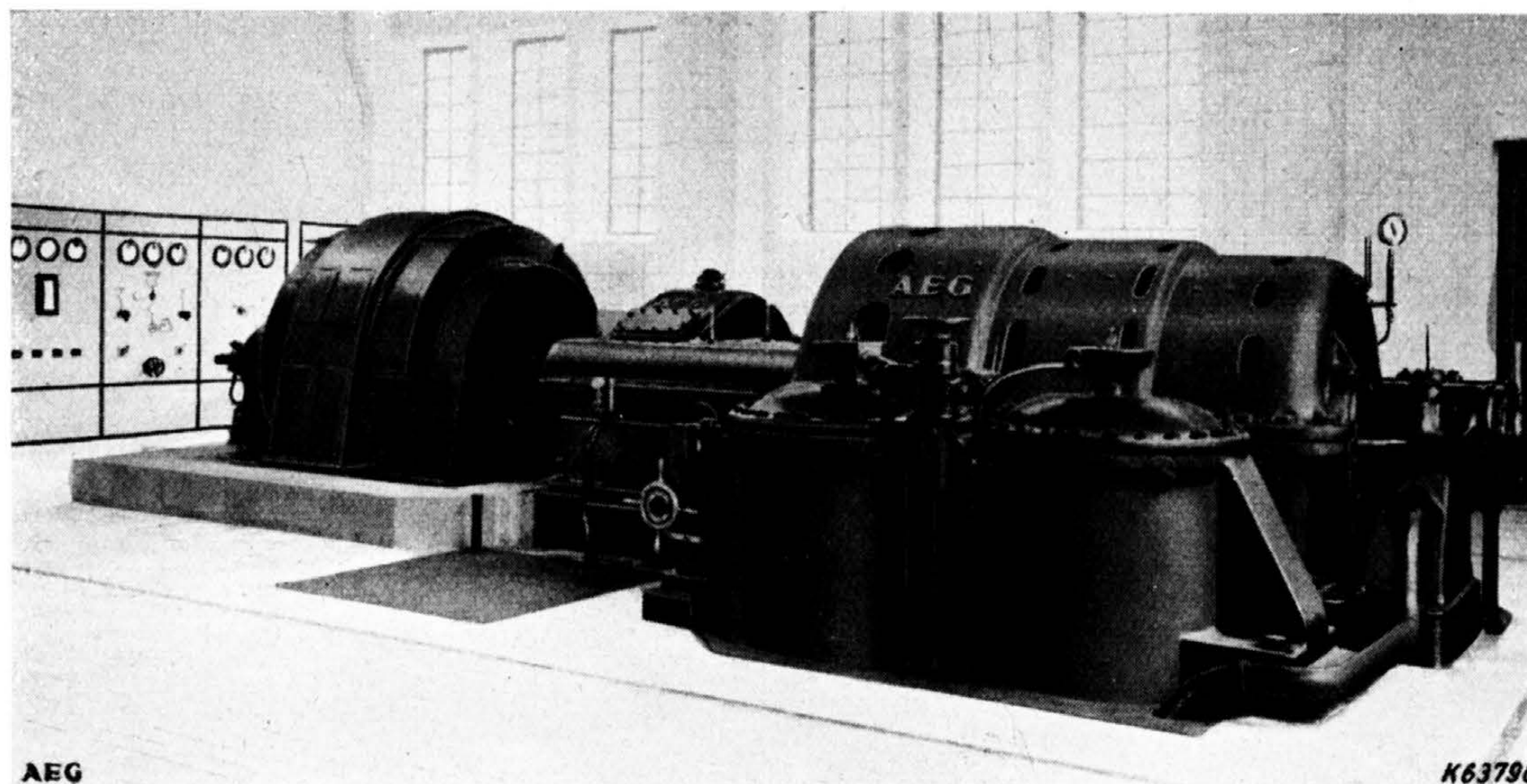


Bild 6. Drehstrom-Synchronmotor, 3200 kW, 1000 U/min, 6 kV, $\cos \varphi = 1$, zum Antrieb eines Elektro-Turbokompressors.

Motor oder Kommutatormotor den Bedingungen ebenfalls gerecht.

Nicht vergessen werden darf, daß der Dreh-

lich der Heranführung dieser Energien an den Verbraucher aufweist, sondern ebenso in ihrer schalttechnischen Behandlung.

Die Entwicklung des Drehstromkranes.

Von C. Schiebeler, Abt. Industrie.

DK 621.873:621.3.025.3

Der Gleichstrom-Reihenschlußmotor wurde mit Recht als der „geborene“ Hebezeugmotor bezeichnet, weil er die vorteilhafte Eigenschaft aufweist, bei Entlastung schneller zu laufen und den leeren Haken etwa doppelt so schnell zu heben wie die volle Last. Das Reihenschlußverhalten ergab auch bei der Massenbeschleunigung eine Beschränkung der Stromaufnahme. So ist es erklärlich, daß bis zum Weltkrieg etwa zwei Drittel aller Krane mit Gleichstrommotoren ausgerüstet wurden. Die Entwicklung der Großkraftwerke drängte den Gleichstrom immer mehr zurück, so daß heute 85...90% aller Krane Drehstromantrieb erhalten.

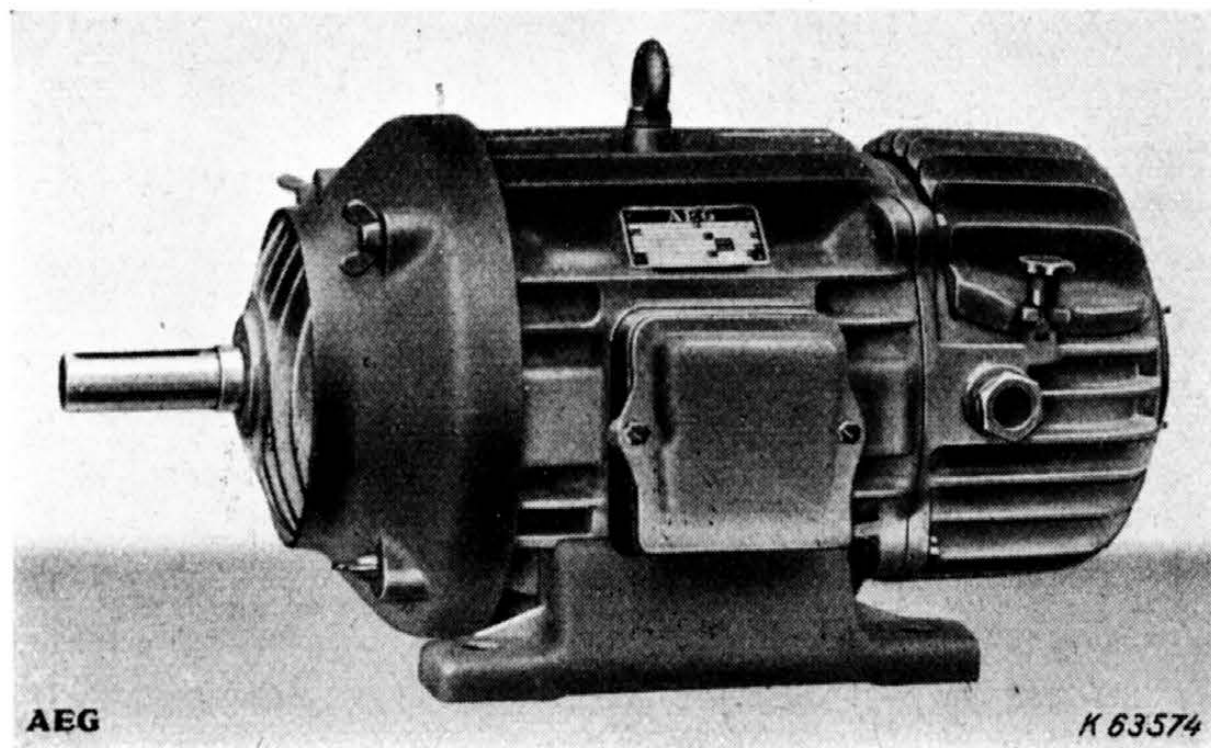


Bild 1. Drehstrommotor, Typ AMK, Form B3, mit Schleifringläufer.

Daß sich Drehstrom auch bei den Hebezeugen durchsetzte, wurde durch die technischen Fortschritte im Bau der Kranmotoren und ihrer Steuerung ermöglicht. So ist der Nachteil des kleinen Luftspaltes, der besonders bei schwerem Hüttenbetrieb die Betriebsicherheit und Lebensdauer des Kranmotors stark gefährdete, durch Einführung der Wälzlager beseitigt worden. Ein Schleifen des Läufers an den Ständerblechen, das bei den früher benutzten Gleitlagern die Ursache zahlreicher Störungen war, tritt bei Wälzlagern nicht mehr auf. Durch Rippengehäuse und Oberflächenbelüftung (Bild 1) ist es gelungen, Gewicht und Preis des Motors herabzusetzen und die Abmessungen zugunsten einer leichteren Krankonstruktion zu beschränken. Die einfachste Bauart, der Käfigläufermotor, fand allerdings im Kranbau nur für kleinere Leistungen, insbesondere bei Elektrozügen, Eingang; in überwiegender Zahl werden Schleifringläufer-Motoren verwendet, um die notwendige Geschwindigkeitsreglung zu ermöglichen. Die für stetige Reglung viel ausgeführten Drehstrom-Kollektormotoren sind dagegen im Kranbau von der AEG nicht benutzt worden. Reihenschluß-Kollektormotoren ergeben wegen ihrer großen Ankerschwungmomente bei den Förderwegen des Kranbetriebes keine wesentliche Steigerung der mittleren Geschwindigkeit bei leichteren Lasten, so daß

sich der beträchtliche Mehraufwand nicht lohnt. Die Steigerung der Fördergeschwindigkeit bei leichteren Lasten wird besser durch Polumschaltung mit einem sogenannten Doppel-Kranmotor erzielt. Dieser stellt eine Vereinigung eines Schleifring-

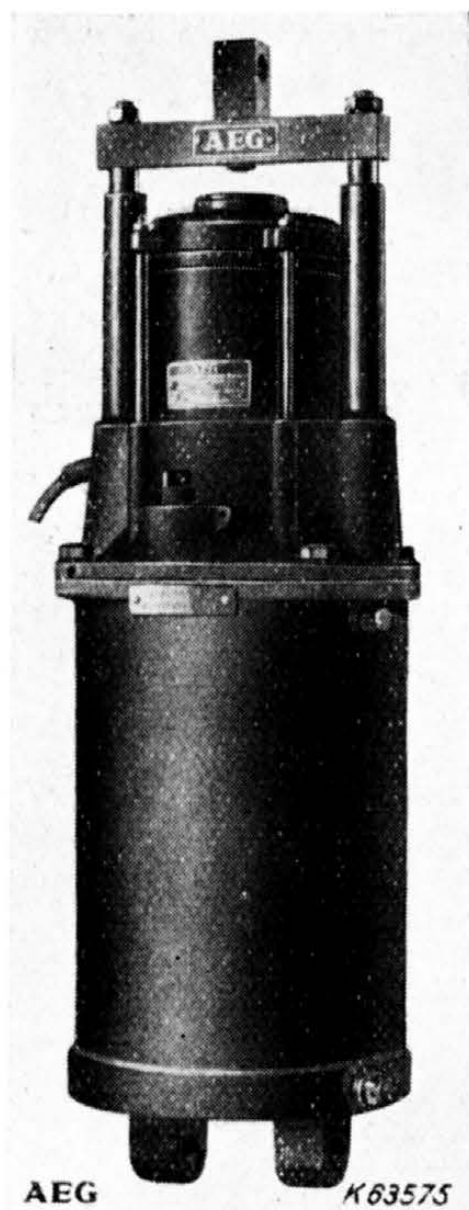
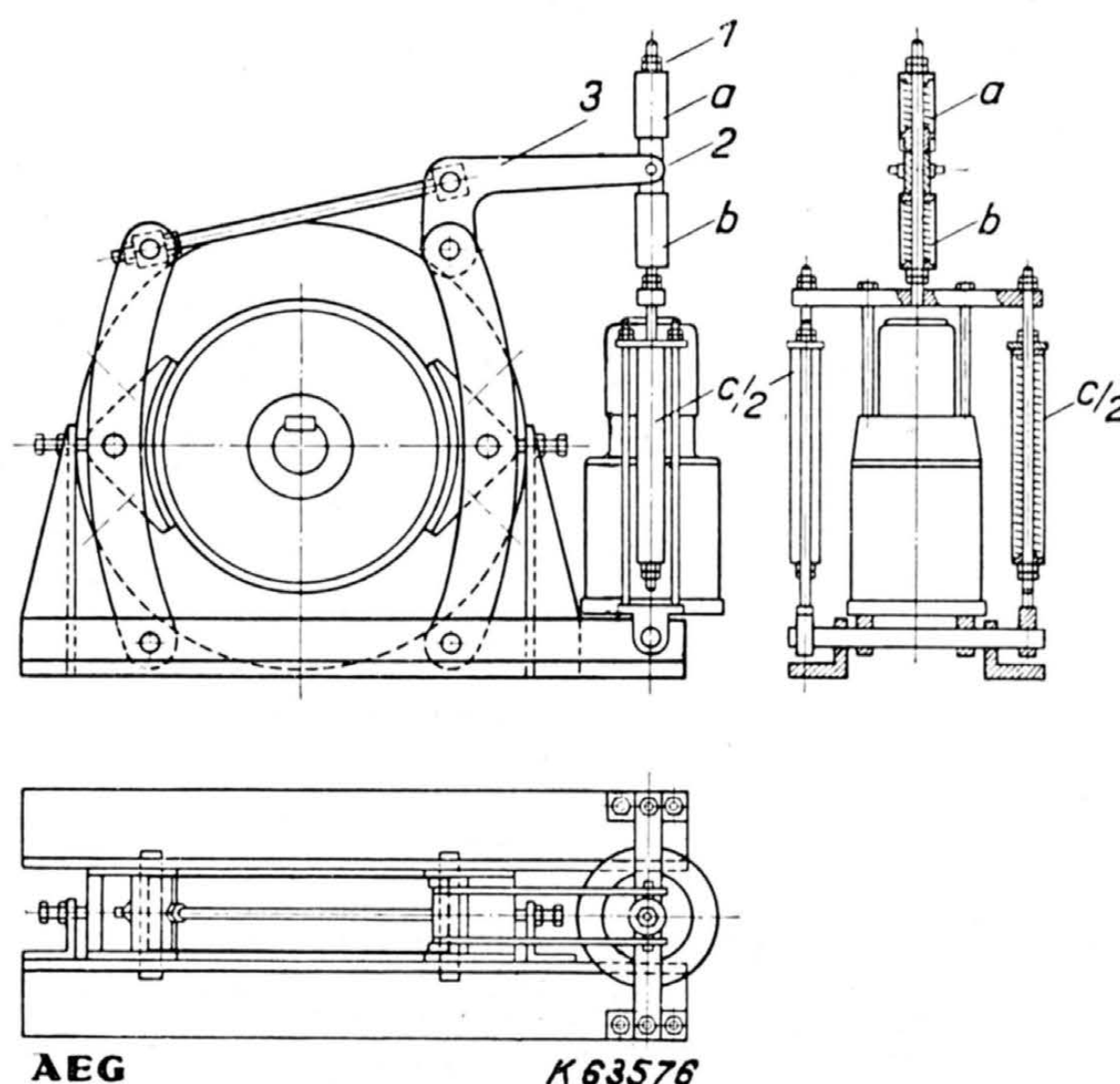


Bild 2. Eldrogerät.

motors für volle Belastung mit einem Kurzschlußmotor für gesteigerte Drehzahl bei geringerer Last dar.

Bei Hebezeugen bildet die Bremsung den wichtigsten Teil der Steuerung. Zur Betätigung der Stoppbremse stehen bei Gleichstrom Bremslüftmagnete einfacher, betriebsicherer Bauart zur Verfügung. Durch konische Ausbildung des Ankerkernes wird der Schlag beim Aufeinanderprallen der Polflächen gedämpft. Dagegen arbeitet der Drehstrom-Bremslüftmagnet mit geblätternen Polen und geraden Polflächen bei hohem Einschaltstrom mit hartem Schlag, der nur durch Luft- oder Öldämpfung gemildert werden kann. Der hohe Einschaltstrom der Drehstrom-Bremslüftmagnete setzt bei den großen Schalthäufigkeiten der Hüttenkrane die Lebensdauer der Spulen herab. Alle diese Nachteile wurden jedoch durch Einführung eines elektrohydraulisch betätigten Lüfters, des Eldrogerätes (Bild 2), beseitigt. Hier treibt ein kleiner, zwei-poliger Käfigläufermotor von weniger als 1 PS Leistung eine Flügelrad-Ölpumpe an und bewirkt durch Heben eines Kolbens mit daran befestigten Stoßstangen die Lüftung der Bremse. Durch die Öldämpfung arbeitet das Gerät völlig stoßfrei. Der Eldrolüfter schuf aber auch die Möglichkeit, durch Änderung der seinem Motor zugeführten Frequenz dessen Drehzahl und damit die auf die Bremse wirkende Lüftkraft zu regeln. Hiervon wird bei der Eldrobremsteuerung zur Geschwindigkeitsreglung Gebrauch gemacht.

Die Forderung des Kranbetriebes nach einer guten Geschwindigkeitsreglung bei leichten und schweren Lasten, insbesondere beim Senken, konnte bei Gleichstrom durch Generatorbremsschaltung oder bei der sogenannten Senkkraftschaltung durch Widerstände, die parallel zum Anker geschaltet wurden, gut erfüllt werden. Bei Drehstrom verwandelt sich der Asynchronmotor beim Überschreiten seiner synchronen Drehzahl in einen Generator, so daß alle durchziehenden Lasten übersynchron gesenkt werden; man konnte jedoch nicht auf kleinere untersynchrone Geschwindigkeiten herunterregeln. Dies war zunächst nur mit Hilfe einer sogenannten „Lastdruckbremse“ möglich, die jedoch nicht einfach und wenig betriebsicher war. Man verzichtete bald auf diese und nahm es in Kauf, daß mit der einfachen Umkehrschaltung nur übersynchron gebremst werden konnte. Kleinere Wege legte man durch kurzes Ein- und Ausschalten des Steuergerätes (Stromspritzergeben — Tippschaltung) zurück. Die spätere Einführung untersynchroner Motorbremsschaltungen ergab zwar eine Verbesserung der Geschwindigkeitsreglung, es blieb jedoch in jedem Fall der Nachteil, daß schwere Lasten langsam nur mit Gegenstrom gesenkt werden konnten, auf der Gegenstromstellung jedoch leichte Lasten nicht gesenkt, sondern unbeabsichtigt gehoben wurden. Es erwies sich ferner als Nachteil, daß bei leichten Lasten erst die Bremsstellungen überschaltet werden mußten, um auf den Kraftstellungen eine Senkbewegung hervorzurufen, die



AEG

K 63576

- | | |
|-----------------|----------------------|
| 1 = Bolzen, | a = Schließfeder, |
| 2 = Kreuzkopf, | b = Lüftfeder, |
| 3 = Bremshebel, | c/2 = Rückzugfedern. |

Bild 3. Aufbau der Elektroregelbremse.

dann mit einer allzu großen Beschleunigung vor sich ging.

In den letzten Jahren ist es nun gelungen, mit der Eldrobremsteuerung eine Steuerung zu schaffen, der die Nachteile der untersynchronen

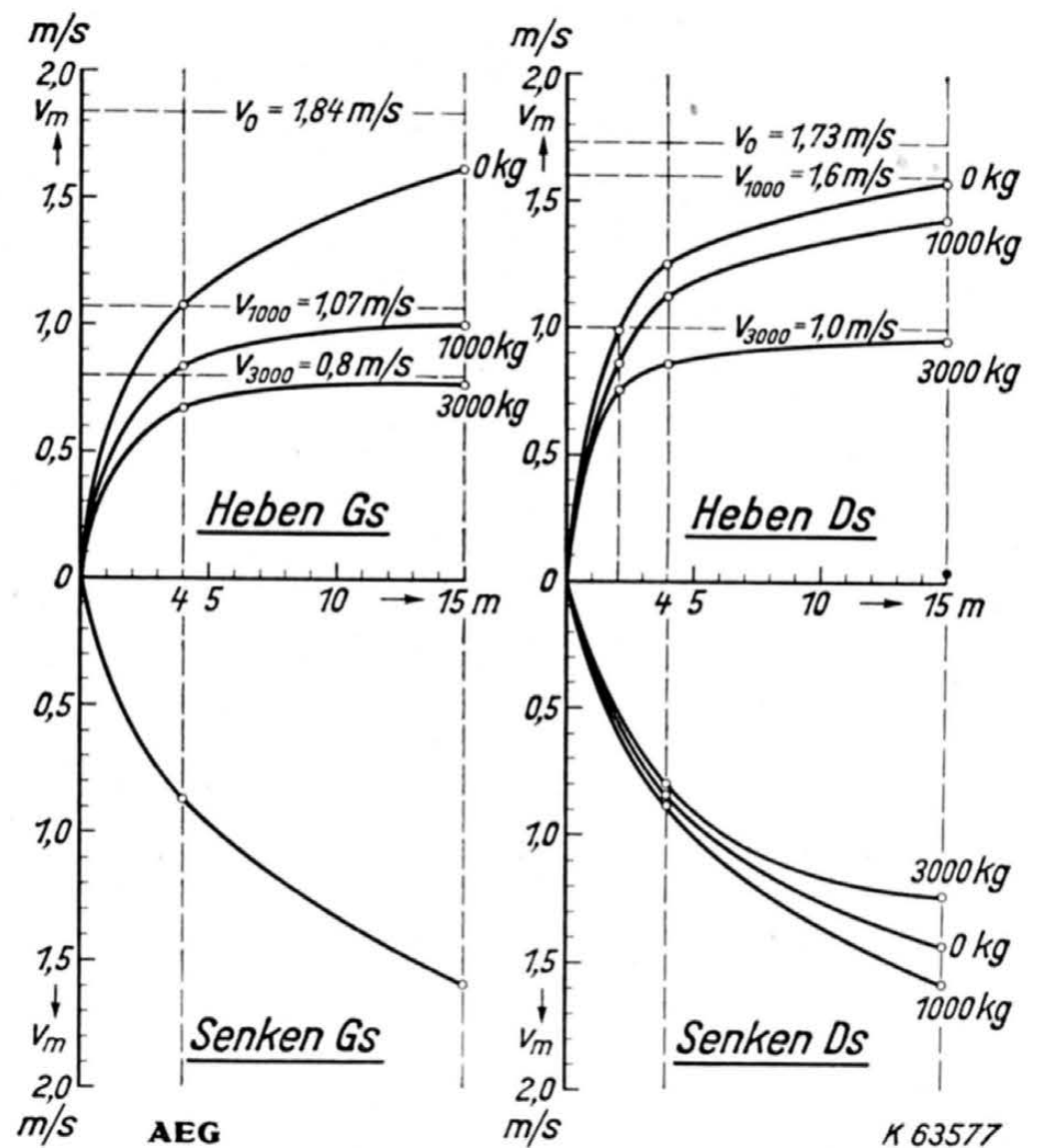
Motorbremsschaltungen nicht anhaften. Bei der Eldrobremmssteuerung schleift die Bremse auf der ersten Senk- und Hubstellung. Der Bremsdruck wird selbsttätig durch eine einfache Schaltung der Lastgröße angepaßt und bei allen Lasten eine Regelung auf etwa 20% der vollen Geschwindigkeit erzielt. Damit wurde also der bei der Lastdruckbremse zugrunde liegende Gedanke wieder aufgegriffen, den Motor durch mechanische Bremsung zu regeln. An Stelle der in ihrer Bauart nicht einfachen Lastdruckbremse wird jedoch die ohnehin erforderliche Stoppbremse zur Geschwindigkeitsregelung benutzt. Sie wurde zu diesem Zweck als „Eldroregelbremse“ (Bild 3) ausgebildet, wobei die sonst übliche Gewichtsbelastung durch Anordnung von Federn ersetzt wurde; dadurch ist man in der Lage, den Bremsdruck mit Veränderung des Lüfterhubes der Lastgröße anzupassen. Durch Beschränkung der Regelung auf die erste Hub- und Senkstellung, die nur 20% der Hubgeschwindigkeit entstehen läßt, wurde der Verschleiß der Bremse beim Regeln klein gehalten. Auch der Energieverbrauch bleibt gering, weil man auf der ersten Senkstellung nur mit einem kleinen Einschaltstrom zum Anlauf des leeren Hakens zu rechnen hat. Durch eine kleine Schleifringmaschine, den Frequenzgeber, kann die Geschwindigkeit auf $\frac{1}{10}$ und weniger heruntergeregelt werden.

Die Eldrobremmssteuerung ergibt eine praktisch lastunabhängige Feinregelung der Geschwindigkeit, so daß auch bei Kranen für Feinmontage die Umstellung auf Drehstrom ermöglicht wurde.

Während die Laufkrane in Werkstätten und Gießereien, Werften und Hüttenwerken, wenigstens in Deutschland, schon längere Zeit fast ausschließlich mit Drehstrom betrieben werden und dies auch für die Drehkrane und Verladebrücken in Binnenhäfen gilt, hat sich Gleichstrom in großen Seehäfen des In- und Auslandes zum Teil noch behauptet. Bei dem üblichen 3-t-Stückgutkran dieser Häfen erweist sich der Reihenschlußmotor als besonders vorteilhaft, weil die Durchschnittslast meist nur 1000 kg beträgt, so daß die Vorteile der beim Reihenschlußmotor sich ergebenden Geschwindigkeitssteigerung besonders ins Gewicht fallen.

Wird die Frage gestellt, ob die Umformung von Drehstrom in Gleichstrom für Seehafenkrane auch heute noch notwendig oder zweckmäßig ist, so muß zunächst festgestellt werden, ob die heutigen Anforderungen an den Stückgutkran, das wichtigste Gerät des Seehafens, bei Drehstrom ebenso gut oder gar noch besser erfüllt werden können als bei Gleichstrom. Einphasen- oder Drehstrom-Kollektormotoren mit Reihenschlußverhalten ergeben ihres großen Ankerschwungmomentes wegen eine zu lange Beschleunigungszeit, insbesondere beim Senken, das bei Stückgut-Hafenkranen stromlos mit der Handbremse geschieht.

Die Größe der Beschleunigungszeit ist deshalb von Wichtigkeit, weil nicht die Beharrungsgeschwindigkeit, sondern die auf dem jeweiligen Förderweg erzielte mittlere Geschwindigkeit (Bild 4) maßgebend für die Förderleistung ist. Die Beharrungsgeschwindigkeit, welche die Motorleistung bestimmt, ist also nicht maßgebend für die Förderleistung des Kranes. Der Grad der Ausnutzung der vollen Geschwindigkeit, das Verhältnis der mittleren, auf dem jeweiligen Förderweg erreichten Geschwindigkeit zur vollen, kann man als „Wirkungsgrad der Geschwindigkeit“ bezeichnen. Dieser sinkt bei gegebener Vollast-Geschwindigkeit



Last kg	Weg m	Zeit für Löschen		Zeit für Laden			
		Bewg.	Gs	Ds	Bewg.	Gs	Ds
1000	15	H	15,2"	10,5"	S	9,4"	9 5"
1000	4	S	4,8"	4,6"	H	5,0"	3,6"
0	4	H	4,0"	3,2"	S	4,4"	4,7"
0	15	S	9,5"	10,5"	H	9,0"	9,5"
		Gesamtzeit	33,5"	28,8"	Gesamtzeit	27,8"	27,3"

v_m = Mittlere Geschwindigkeit,
 v_0, v_{1000}, v_{3000} = Beharrungsgeschwindigkeit bei 0, 1000 und 3000 kg Nutzlast.

Bild 4. Mittlere Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Weg bei einem Hafen-Stückgutkran-Hubwerk mit Gleichstrom-Reihenschlußmotor und mit Drehstrom-Doppelkranmotor.

keit mit Abnahme des Förderweges und bei gleichem Förderweg mit steigender Geschwindigkeit. Wenn man hohe Geschwindigkeiten wählt, muß man für kleine Beschleunigungszeiten, d. h. große Beschleunigungsmomente, und kleine Schwungmomente des Ankers und der Bremsscheibe sorgen.

Da in Seehäfen die Frage des Stromsystems noch umstritten ist, möge noch ein kurzer Vergleich gezogen werden. Für die Untersuchung der bei Drehstrombetrieb erforderlichen Geschwindigkeiten sei von einem Gleichstrom-Hubwerk ausgegangen, bei dem eine Durchschnittslast von 1000 kg über einen Förderweg von 15 m gehoben und 4 m gesenkt wird. Bei einem Reihenschlußmotor von 36 PS ergibt sich bei 3000 kg Nutzlast die Hub-

geschwindigkeit von 0,80 m/s, bei 1000 kg das etwa 1,34fache dieses Wertes = 1,07 m/s und beim leeren Haken etwa $2,3 \times 0,8 = 1,84$ m/s.

Geht man bei Drehstrom von den gleichen Förderwegen wie bei Gleichstrom aus und benutzt man den polumschaltbaren Doppel-Kranmotor mit Schleifringläufer, 600 U/min, für das Heben der Vollast und mit Kurzschlußläufer, 1000 U/min, für gesteigerte Geschwindigkeit bei Teillasten, so ist eine Vollast-Hubgeschwindigkeit von 0,9 m/s, eine Geschwindigkeit von rd. 1,44 m/s bei 1000 kg und eine Geschwindigkeit von 1,56 m/s beim leeren Haken erforderlich, um im Durchschnitt des Löschens und Ladens die gleiche Förderzeit mit dem Drehstrom-Doppelkranmotor von 41 PS wie beim Gleichstrom-Reihenschlußmotor von 36 PS zu erzielen. Diese Steigerung der Leistung muß beim Übergang auf Drehstrom in Kauf genommen werden. Der Mehraufwand hierfür wird jedoch durch den geringeren Preis der Motoren für die übrigen Bewegungen ausgeglichen. Da auch der Energieverbrauch der Drehstromkrane nicht un-

günstiger ist als derjenige bei Gleichstrom, steht nichts im Wege, auch in Seehäfen auf Drehstrom überzugehen.

Bei Greiferkranen wird ebenfalls ein polumschaltbarer Motor als sogenannter „Zweifach-Kranmotor“ benutzt. Bei diesem wird im Gegensatz zum Doppelkranmotor die Schleifringwicklung für die größte Drehzahl, z. B. 750 U/min, und die Kurzschlußwicklung für eine kleinere, z. B. 500 U/min, ausgeführt, um den Greifer auch mit etwa $\frac{2}{3}$ Hubgeschwindigkeit senken zu können und außerdem bei der Stoppbremsung von der größten Geschwindigkeit aus die mechanische Bremse zu entlasten. Dieser Zweifach-Kranmotor in Verbindung mit der Eldro- und Nutzbremsteuerung ermöglicht eine nicht unbedeutende Rückgewinnung von Energie beim Senken. Energieverbrauch und Anlagekosten sind bei Drehstrom-Greiferkranen und Verladebrücken geringer als bei Gleichstrombetrieb. Somit kann abschließend gesagt werden, daß auch für den Seehafen in Zukunft der Drehstromkran sich durchsetzen wird.

Drehstromsteuerungen für Lokomotiv- und Wagenhebekrane.

Von Dipl.-Ing. H. Hootz, Abteilung Industrie.

DK 621.874:621.316.718.025.3

Während sich der Drehstrom für die Energieversorgung der Industriewerke bereits seit vielen Jahren durchgesetzt hat, begegnete man sogar in Fachkreisen der Auffassung, daß es nur mit

gleiche Regel- und Steuerfähigkeit erreicht werden kann wie mit dem Gleichstrommotor, sondern daß dieser sogar in mancher Hinsicht vom Drehstrommotor übertroffen wird.

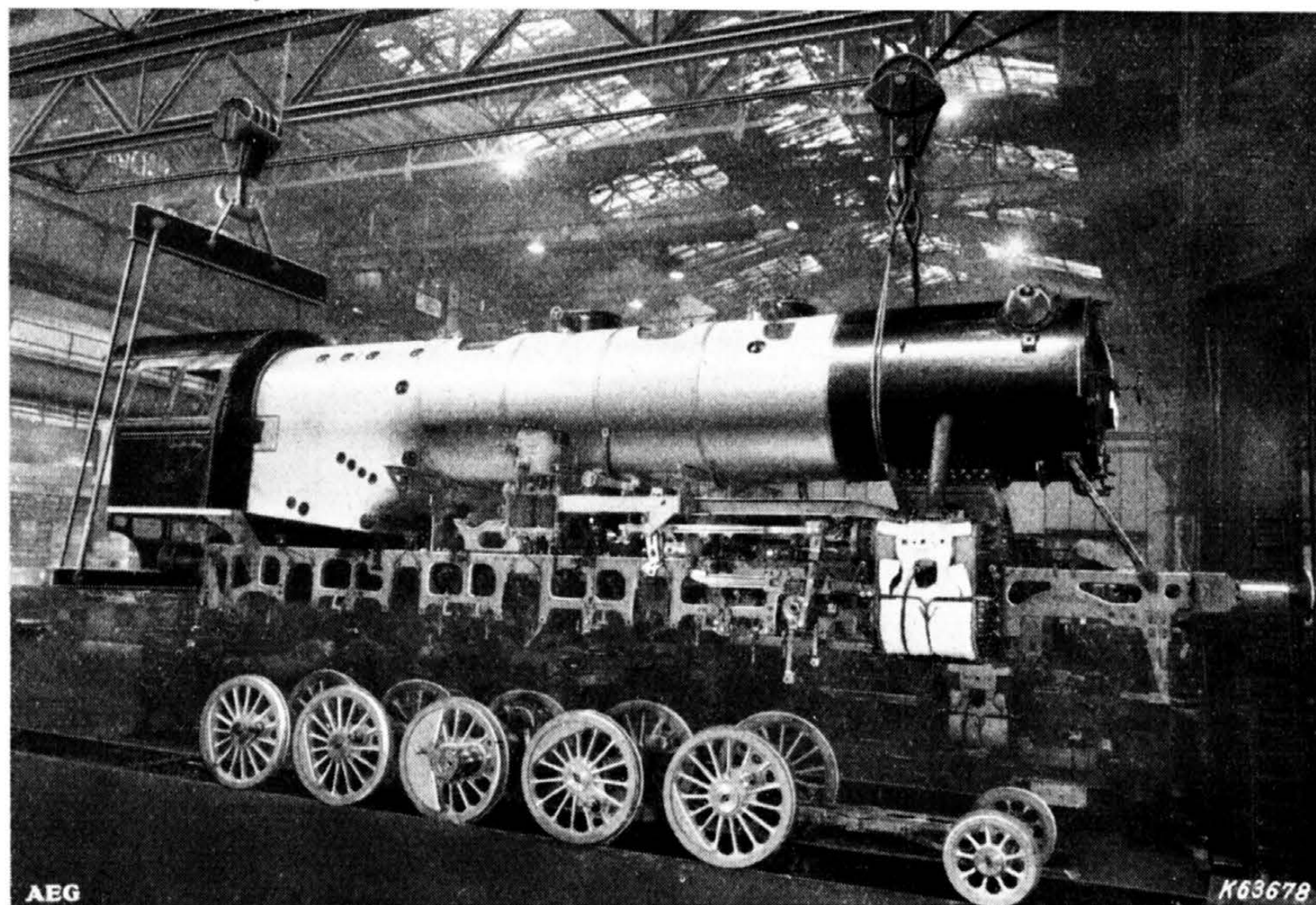


Bild 1. Lokomotivkran mit zwei Katzen.

dem Gleichstrom-Reihenschluß- oder Nebenschlußmotor möglich sei, die schwierigen Regelaufgaben, die bei Schwerlast-Montagekranen auftreten, einwandfrei zu lösen. Die Entwicklung der Steuertechnik in den letzten Jahren hat aber gezeigt, daß mit dem Drehstrom-Asynchronmotor nicht nur die

In den Ausbesserungswerken der Deutschen Reichsbahn unterscheidet man drei Arten von Lokomotiv- und Wagenhebekranen. Je nachdem, ob die Werkstätten mit L ä n g s - oder Q u e r s t ä n d e n ausgerüstet sind, werden zum Heben von Lokomotiven oder Wagen entweder zwei Krane mit

je einer Katze oder ein Kran mit zwei Katzen (Bild 1) oder zwei Krane mit je zwei Katzen verwendet. Während die letztgenannten beim gemeinsamen Arbeiten über Querständen mechanisch gekuppelt und daher auch elektrisch durch Steckvorrichtungen

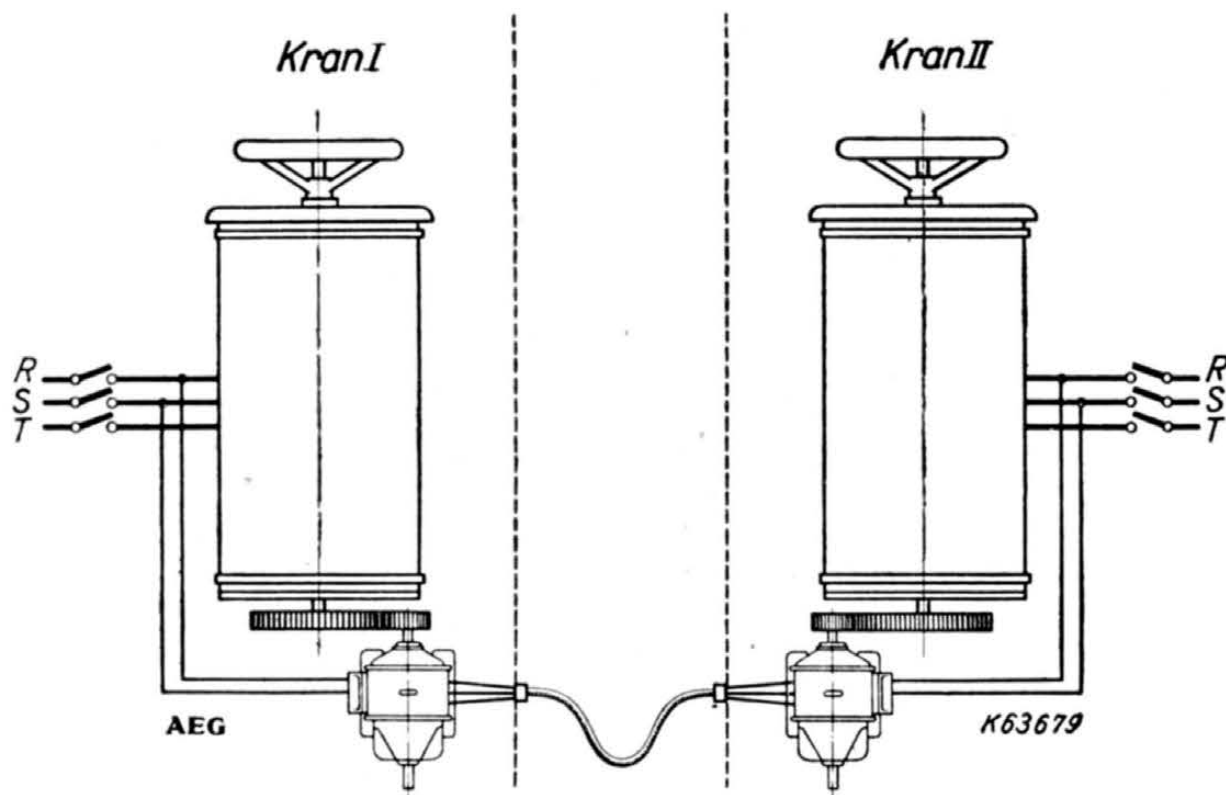


Bild 2. Wirkungsweise der AEG-Gleichstellsteuerung.

verbunden werden können, ist der Abstand der beiden Krane in Werkstätten mit Längsständen je nach der Länge der Lokomotiven oder Wagen verschieden und deshalb eine mechanische Verbindung nicht ausführbar. In allen Fällen ist die Aufgabe gestellt, die zwei oder vier Motoren der gemeinsam arbeitenden Triebwerke gleichzeitig und möglichst von einem Führerstand aus zu steuern, sie im Gleichlauf zu halten und so zu regeln, daß auch die schwerste Lokomotive sanft und stoßfrei auf die Radsätze abgesetzt werden kann. Diese Forderungen können nur mit Drehstrom in befriedigender Weise erfüllt werden. Die AEG hat hierfür Drehstromsteuerungen entwickelt, die den Anforderungen an Feinfühligkeit, Betriebsicherheit und Einfachheit voll gerecht werden.

Zur gemeinsamen Steuerung von zwei Hub- oder zwei Katzfahrmotoren eines Kranes in Werkstätten mit Querständen benutzt man zweckmäßig zwei mechanisch gekuppelte Steuerwalzen mit einer Doppel-Handrad- oder Doppel-Hebelsteuerung, mit der die Bewegungen einzeln oder gemeinsam ausgeführt werden können. Sind zwei Krane mit je zwei Katzen zum Heben einer Lokomotive vorgesehen, so müssen vier Hub- bzw. vier Katzfahrmotoren gleichzeitig und einzeln gesteuert werden können. In diesem Fall bildet man zweckmäßig den einen Kran als sogenannten Steuerkran, den anderen als Normalkran aus. Der Führerstand des Normalkranes enthält nur die Steuergeräte für die eigenen Motoren, während im Führerstand des Steuerkranes Einrichtungen zum Steuern der eigenen und der Motoren des Normalkranes vorgesehen werden müssen. Im Führerstand des Steuerkranes ist ferner eine Wähler-Schalteneinrichtung angeordnet, die es ermöglicht, jeden Motor allein oder mit dem zweiten des eigenen Kranes oder den Motoren des anderen Kranes zusammen einzuschalten. Bei Längsständen sind stets zwei

Krane mit je einer oder zwei Katzen zum Heben einer Lokomotive oder eines Wagens erforderlich. Die Krane wurden bisher fast ausnahmslos mit normalen Steuergeräten versehen, und bei den gemeinsam auszuführenden Bewegungen verständigten sich die beiden Kranführer durch Zurufe und Zeichen. Wenn dies Verfahren beim Heben und Senken einer Lokomotive schon gefährlich erschien, so war die Möglichkeit eines Unfalles beim Quer- oder gar Längstransport besonders groß.

Die AEG hat daher vor einigen Jahren die in Bild 2 grundsätzlich dargestellte Gleichstellsteuerung entwickelt und dadurch wesentlich zur Erhöhung der Betriebsicherheit dieser Krane beigetragen. Die in den Steuerständen befindlichen Steuerwalzen werden über ein kleines Vorgelege mit je einem Gleichstellmotor — einem kleinen Schleifringmotor — verbunden, deren Schleifringe durch eine Gummischlauchleitung oder über Schleifleitungen miteinander verbunden werden, während die Ständerwicklungen an das Netz angeschlossen sind. Die Steuerwalzen sind also durch eine elektrische Welle verbunden, die sie stets auf gleichen Stellungen hält. Wird die Steuerwalze auf Kran I aus ihrer Nullstellung in die Hubstellung I verstellt, so bewegt sich auch die Steuerwalze auf Kran II von Stellung 0 nach Heben I. Hat dagegen der Kranführer auf Kran II die bessere Übersicht über die Last und die auszuführenden Bewegungen, so kann dieser die Steuerbewegungen ausführen. Diese Art der Steuerung, die ein völlig betriebssicheres Arbeiten der beiden räumlich getrennten Krane ermöglicht, kann nur bei Vorhandensein eines Drehstromnetzes ausgeführt werden.

Nachstehend sollen nun die Schaltungen beschrieben werden, mit denen die Erfüllung der oben aufgestellten Forderungen möglich ist.

Für die Hubwerke genügt im allgemeinen ein angenäherter Gleichlauf, der durch die Verbindung

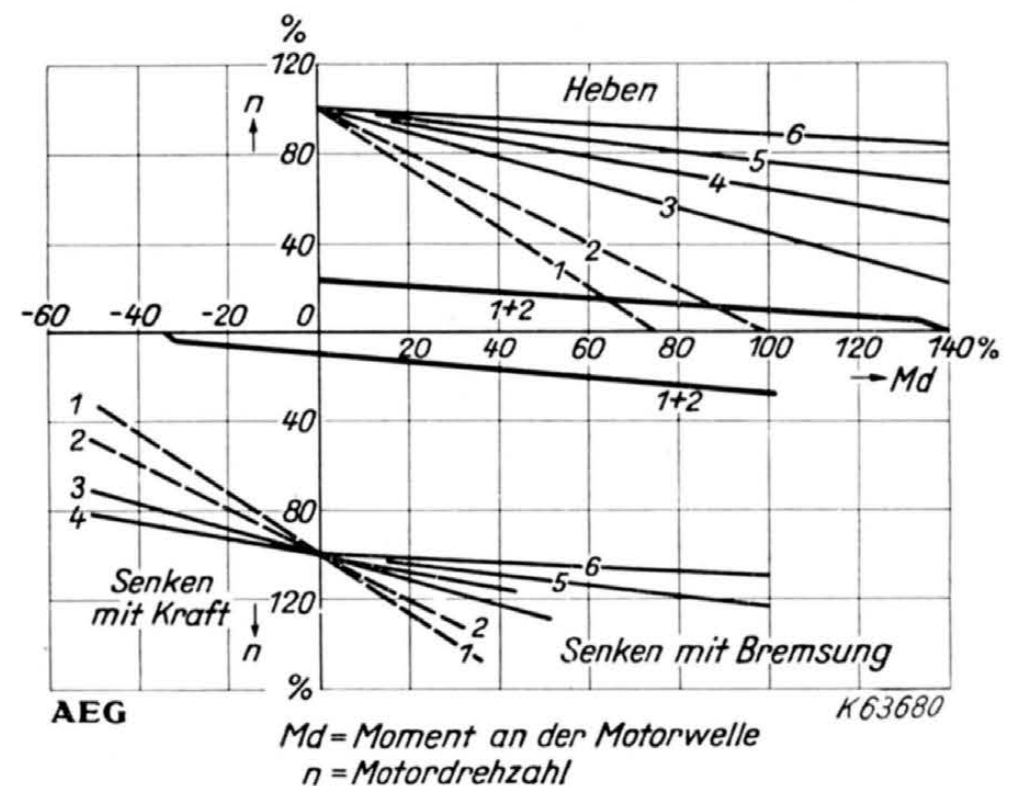


Bild 3. Kennlinien der Eldrobremsteuerung.

der Schleifringe der gemeinsam arbeitenden Hubmotoren erzwungen wird. Die synchronisierende Kraft, welche die Motoren in Gleichlauf zu halten sucht, ist bei kleiner Drehzahl, also auf den ersten Stellungen des Steuergerätes, am größten, nimmt

mit wachsender Geschwindigkeit ab und verschwindet bei Synchronismus völlig. Da aber bei kurzgeschlossenen Anlaßwiderständen nur noch geringe Drehzahlunterschiede auch bei stark unterschiedlicher Belastung auftreten, genügt diese Schaltung für Hubwerke, wie die Erfahrung gezeigt hat. Für die Regelung der Geschwindigkeit und das stoßfreie Absetzen der Last empfiehlt die AEG die bekannte *Eldrobremsteuerung*, die eine Regelung auf etwa 20%, auf Wunsch auch auf 10%, der vollen Geschwindigkeit praktisch unabhängig von der Größe der Last und der Richtung des Drehmomentes gestattet (Bild 3). Das Anheben und Senken jeder Last, von der kleinsten bis zur schwersten, ist praktisch mit der gleichen kleinen Regelgeschwindigkeit auf der ersten Steuerwalzenstellung ausführbar und ermöglicht so eine sehr genaue Montage. Die Schaltung erlaubt im Gegensatz zu den üblichen Motorbremsschaltungen des Drehstrom-Asynchronmotors die Zurücklegung aller kleinsten Hub- und Senkwege, da sich bereits auf der ersten Hub- und ersten Senkstellung jede Last in Bewegung setzt. Ein Lastsacken — das unerwünschte Nachsenken der schweren Last nach dem Abschalten des Motors und während des Schließvorganges der Bremse — wird bei der Eldrobremsteuerung mit Sicherheit vermieden, da bereits auf

der ersten Hub- und Senkstellung die Bremsbacken an der Bremstrommel schleifen.

Beim Verfahren der *Katzen* mit Hilfe der Eldroregelbremsung ist nicht nur ein sehr sanftes Anfahren möglich, sondern sie gewährleistet auch, daß alle gleichzeitig gesteuerten Katzfahrwerke selbst bei verschiedener Belastung, wie sie beim Heben von Lokomotiven häufig vorkommt, auf der ersten Steuerwalzenstellung sicher anlaufen und dadurch ein Abrutschen der wertvollen Last von der Traverse durch das Zurückbleiben einer Katze ausgeschlossen ist. Eine besondere Gleichlaufschaltung wird hierdurch entbehrlich.

Die *Kranfahrwerke* der zwei nicht kuppelbaren Lokomotiv-Hebekrane in Werkstätten mit Längsständen müssen beim Längstransport einer Lokomotive dagegen im vollkommenen Gleichlauf gehalten werden, damit der Abstand der beiden Krane voneinander während der Fahrt unverändert bleibt. Hierzu sind besondere Gleichlaufmaschinen erforderlich¹⁾, die mit den Fahrmotoren mechanisch gekuppelt und deren Schleifringe miteinander verbunden werden. Die Verbindung von einem Kran zum andern erfolgt hierbei entweder durch eine Gummischlauchleitung oder durch besondere Schleifleitungen.

¹⁾ s. folgenden Aufsatz.

Die elektrische Welle.

Von W. Stoll, Abteilung Industrie.

DK 621 — 83:621.3.062.12

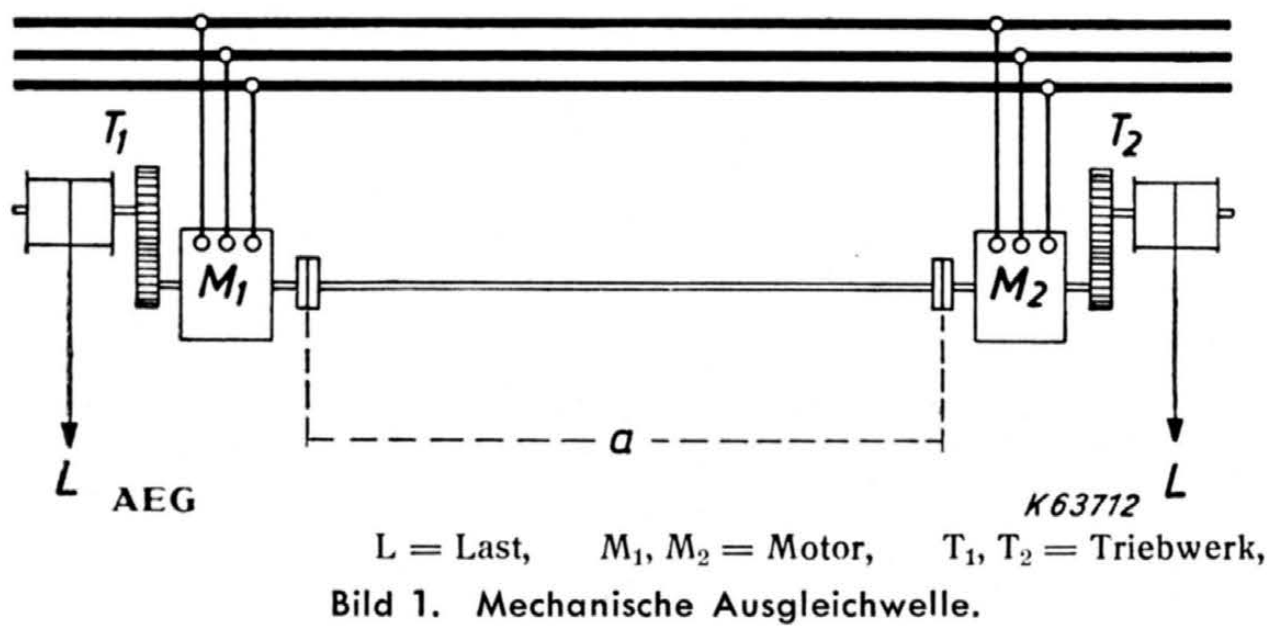
In den letzten zwei Jahrzehnten hat sich der Mehrmotorenantrieb bei Arbeitsmaschinen ein ausgedehntes Anwendungsgebiet gesichert. Die in ihren Abmessungen größer und in ihrem Aufgabebereich vielseitiger werdenden Arbeitsmaschinen zwangen den Konstrukteur aus wirtschaftlichen und technischen Gründen zu einer Verselbständigung einzelner Maschinenglieder oder zusammenarbeitender Maschinengruppen, sei es, um eine Verringerung des Maschinengewichtes und damit der Kosten oder einen besseren Gesamtwirkungsgrad zu erzielen oder um einzelne Maschinenglieder unabhängig von den anderen regeln zu können. Diese konstruktive Entwicklung der Arbeitsmaschinen führte notwendigerweise zum Mehrmotorenantrieb. In neuerer Zeit wurde außerdem durch das gesteigerte Verlangen nach landschaftsverbundener Architektur technischer Bauten, z. B. der Eisenwasserbauten, die oben aufgezeigte Entwicklung zum Mehrmotorenantrieb gefördert. Um die Voraussetzung für das Vordringen der Mehrmotorenantriebe zu schaffen, mußten vom Elektriker eine Reihe neuer Aufgaben gelöst werden. Zu diesen Aufgaben zählte der Ersatz der mechanischen Verbindungswelle zwischen zwei und mehr

zusammenarbeitenden Maschinengliedern oder Triebwerken durch eine gleichwertige elektrische Verbindung, d. h. durch die elektrische Welle. Die Lösung dieser Aufgabe brachte für den Konstrukteur neue Möglichkeiten und Anregungen zur besseren und wirtschaftlichen Gestaltung des Bauwerkes und der Maschine.

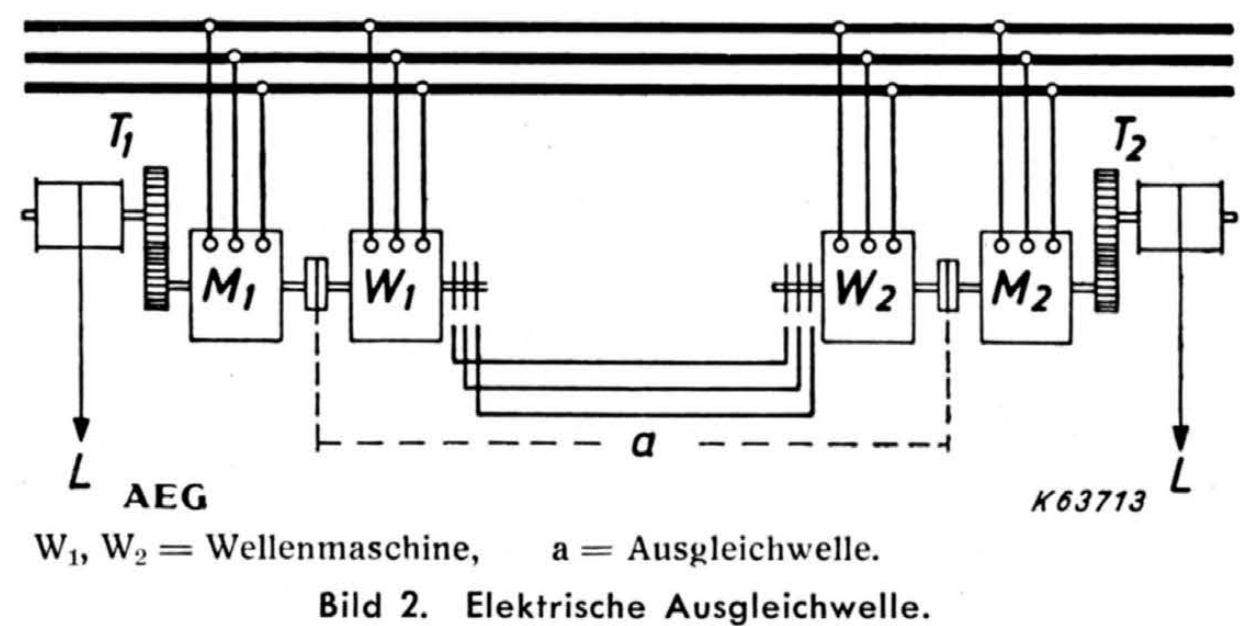
Die elektrische Welle wird angewendet, wenn zwei und mehr Maschinenglieder oder Triebwerke mit gleicher Drehzahl oder gleichbleibendem Drehzahlverhältnis, d. h. im Gleichlauf, zusammenarbeiten müssen und die räumliche Trennung der Triebwerke oder ein dazwischen liegendes Hindernis (z. B. Wasserlauf) die Anordnung einer mechanischen Verbindungswelle unwirtschaftlich macht oder verbietet. Grundlegend für die Wirkungsweise der elektrischen Welle ist die Verwendung von *Drehstrom-Asynchronmaschinen* mit Schleifringläufer als Übertragungsglieder.

Man unterscheidet zwei Ausführungsarten der elektrischen Welle, die ihr Gegenbild in den entsprechenden Ausführungsarten der mechanischen Welle haben. Diese seien deshalb bei der Betrachtung der Merkmale beider Arten der elektrischen Welle zum Vergleich herangezogen.

Die mechanische und die elektrische Ausgleichswelle (Bilder 1 und 2). Jedes Triebwerk wird von einem Motor (M_1, M_2) angetrieben. Zur Aufrechterhaltung des Gleichlaufes werden beim System der mechanischen Ausgleichswelle (Bild 1) die Motoren beider Triebwerke T_1, T_2 durch eine mechanische Welle a starr verbunden. Weisen beide Motoren gleiche Drehzahlkennlinien auf und sind beide Triebwerke gleich belastet, dann hat die Verbindungswelle kein Drehmoment zu übertragen. Dieser Zustand ändert sich, wenn das eine Triebwerk stärker belastet wird als das andere; in diesem Fall wird die mechanische Welle mit einem Ausgleichdrehmoment gleich der Hälfte der Lastmomentdifferenz beansprucht. Durch diese Beanspruchung werden die Enden der mechanischen Welle gegeneinander verdreht, d. h. die



Laststrom. Ähnlich der mechanischen Welle wird auch die elektrische Welle bei einer Drehmomentbeanspruchung verdreht, d. h. die stärker belastete Seite bleibt gegenüber der schwächer belasteten Seite um einen Verdrehungswinkel α_e zurück, dessen Größe bei gegebenen Maschinen verhältnismäßig der Größe des zu übertragenden Drehmomentes ist. Der Verdrehungswinkel α_e der elektrischen Welle wird in elektrischen Graden gemessen (180 elektrische Grade = 1 Polteilung). Mit dem mechanischen oder räumlichen Verdrehungswinkel α_r ist er durch die Beziehung $\alpha_e = \frac{\alpha_r \cdot 2p}{2}$ verbunden, worin $2p$ die Zahl der Pole bedeutet. Je nach Größe und Polzahl der Wellenmaschinen und der Höhe des zu übertragenden Ausgleichmomentes kann in roher Annäherung mit einem räumlichen



stärker belastete Seite bleibt gegenüber der schwächer belasteten Seite um einen räumlichen Verdrehungswinkel zurück, dessen Größe bei gegebenen Wellenwerten verhältnismäßig der Größe des zu übertragenden Ausgleich-Drehmomentes ist. Wird dieses Drehmoment gleich Null, dann verschwindet unter der Wirkung der Elastizität auch der Verdrehungswinkel wieder.

Bei der elektrischen Ausgleichswelle (Bild 2) werden als Übertragungsglieder für die Ausgleichdrehmomente Drehstrom-Asynchronmaschinen mit Schleifringläufer benutzt. Jeder Antriebsmotor M_1, M_2 ist mit einer Drehstrom-Asynchronmaschine (Wellenmaschine, Gleichlaufmaschine) W_1, W_2 mechanisch starr gekuppelt. Die Ständerwicklungen aller Wellenmaschinen sind phasengleich an ein gemeinsames Netz angeschlossen, die Läuferwicklungen phasengleich miteinander verbunden. Derartig angeschlossene und verbundene Asynchronmotoren arbeiten so zusammen, als ob sie durch eine mechanische Welle gekuppelt sind. Bei gleicher Belastung beider Triebwerke wird die elektrische Welle nicht beansprucht. Die Wellenmaschinen entnehmen dem Netz nur ihren Magnetisierungsstrom; die Läuferverbindungsleitungen sind stromlos. Bei ungleicher Belastung der Triebwerke überträgt die elektrische Welle die Ausgleichdrehmomente von der einen zur anderen Seite. In diesem Fall fließt in den Ständer- und Läuferwicklungen der Wellenmaschinen ein

Verdrehungswinkel α_r der elektrischen Welle von $0 \dots 15^\circ$ gerechnet werden.

Obwohl es sich in der Praxis meist um den Gleichlauf von zwei bis vier Triebwerken handelt, ist die Zahl der an die elektrische Ausgleichswelle kuppelbaren Triebwerke nicht begrenzt; es können wie bei der mechanischen Ausgleichswelle beliebig viele Triebwerke angeschlossen werden. Jedes Triebwerk erhält eine Wellenmaschine als Übertragungsglied. Die Art der Antriebsmotoren der Triebwerke hat keinen Einfluß auf die elektrische Welle; die Triebwerke können sowohl durch Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfig- oder Schleifringläufer, als auch durch Gleichstrommotoren o. a. angetrieben werden. Wichtig ist, daß die Motoren gleichzeitig geschaltet werden und gleiche Drehzahlkennlinien haben, damit die Ausgleichdrehmomente bei verschiedener Belastung der Triebwerke nicht zu groß werden. Zur Speisung der Wellenmaschinen muß selbstverständlich ein Drehstromnetz zur Verfügung stehen.

Die Größe der Wellenmaschinen richtet sich nach der Größe der zu übertragenden Ausgleichdrehmomente. Vielfach wird es nicht möglich sein, diese im voraus genügend genau zu bestimmen; man wählt deshalb die Wellenmaschinen näherungsweise in der gleichen Größe wie die Motoren der Triebwerke und erhält damit eine ausreichende Sicherheit gegen das Reißen der Welle, d. h. das Außertrittfallen der Wellenmaschinen bei auftretenden Be-

lastungsstößen, die auf das Vielfache der für gewöhnlich zu übertragenden Ausgleichdrehmomente ansteigen.

Das Anwendungsgebiet der elektrischen Ausgleichswelle erstreckt sich auf Förderanlagen aller Art, insbesondere auf Krane und Verlade-

artige Gleichlaufanordnung, welche die Merkmale der elektrischen Ausgleichswelle aufweist, zeigt Bild 4. Sie wird als „vereinfachte elektrische Ausgleichswelle“ oder auch als „Läuferkupplung“ bezeichnet. Die Wellenmaschinen als Drehstrom-Asynchronmaschinen mit Schleifringläufer, die zur

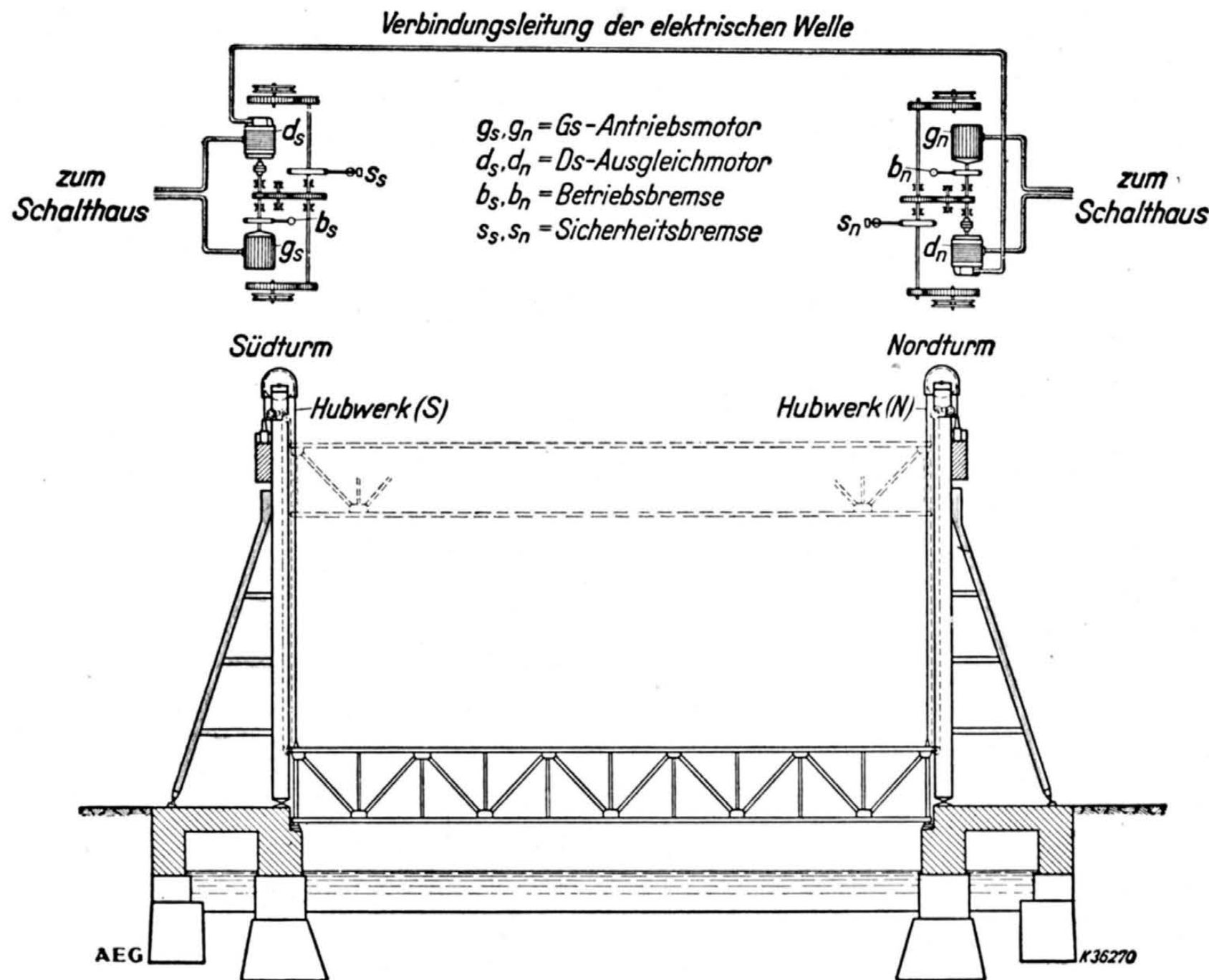


Bild 3. Hubbrücke mit elektrischer Ausgleichswelle über eine Hafenzufahrt in Norddeutschland (MAN).

brücken, Hebebühnen, Hebeböcke, ferner auf Wehranlagen, Klappbrücken, Hubbrücken, Werkzeugmaschinen u. a. m. Ein treffendes Beispiel für die Anwendung der elektrischen Ausgleichswelle bei Eisenwasserbauten zeigt der Antrieb der Hubbrücke über eine Hafenzufahrt in Norddeutschland (Bild 3).

Der bewegliche Überbau mit einer Stützweite von 73 m wird über Gelenkzahnstangen durch zwei Windwerke gehoben und gesenkt, von denen jedes auf einem 50 m hohen Turm aufgestellt ist. Der Antrieb erfolgt durch Gleichstrom-Nebenschlußmotoren in Leonardschaltung mit AEG-Dämpfungs- und Kompensationsmaschinen. Damit die waagerechte Lage der Brücke während des Bewegens stets gesichert ist, müssen die beiden Motoren im starren Gleichlauf zusammenarbeiten. Aus wirtschaftlichen und architektonischen Gründen war die Verbindung beider Windwerke durch eine mechanische Ausgleichswelle nicht möglich. Der Gleichlauf wurde deshalb durch Anwendung der elektrischen Ausgleichswelle hergestellt, die allen Forderungen gerecht wurde. Als Wellenmaschinen (Ausgleichsmotoren) dienen zwei Drehstrom-Asynchronmaschinen mit Schleifringläufer.

Unter gewissen Voraussetzungen oder Betriebsverhältnissen läßt sich der Gleichlauf von zwei und mehr Triebwerken auch mit geringerem Aufwand an elektrischen Maschinen erzwingen. Eine der-

Aufrechterhaltung des Gleichlaufes dienen, übernehmen gleichzeitig die Aufgabe der Antriebsmotoren zum Bewegen der Triebwerke. Zur Erzeugung des asynchronen Motormomentes wird den Läuferwicklungen ein gemeinsamer Widerstand als Schlupf-widerstand parallel geschaltet, der so bemessen sein muß, daß die Maschinen mit einem Schlupf von mindestens 25%, d. h. mit höchstens 75% ihrer Nenndrehzahl, laufen. Bei kurzgeschlossenem

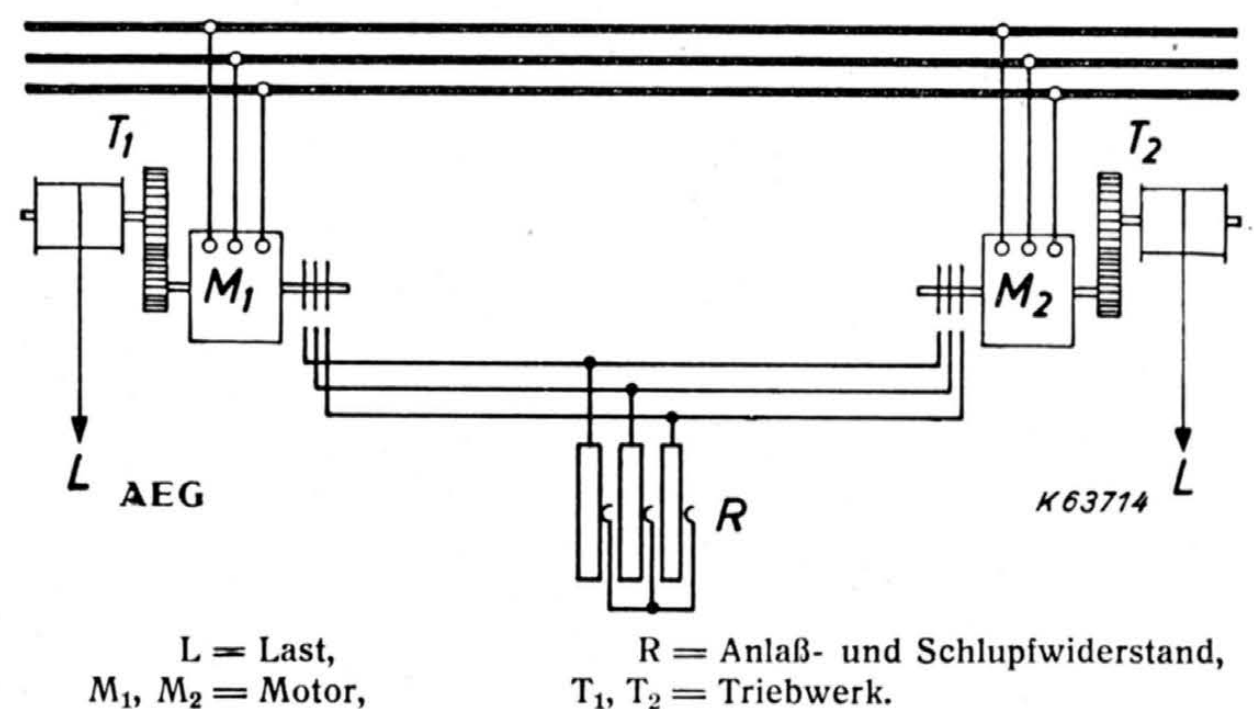
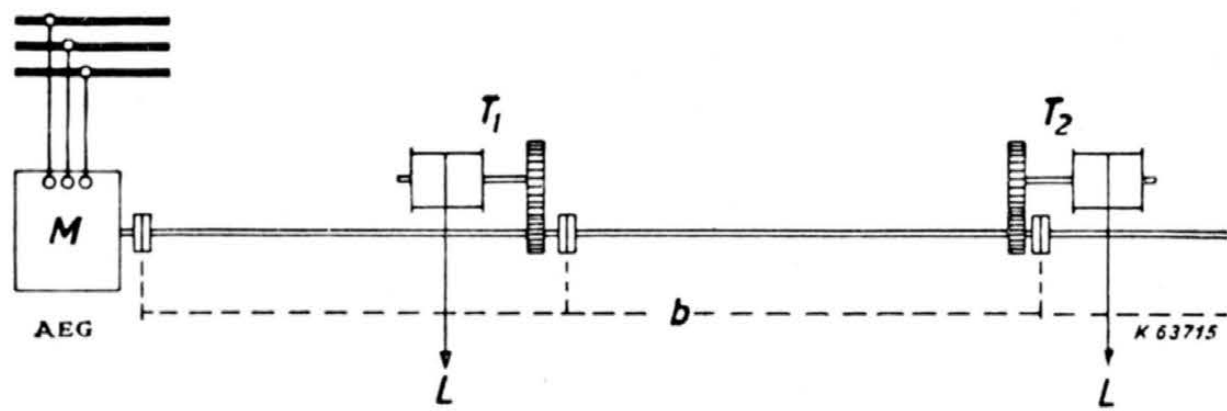


Bild 4. Vereinfachte elektrische Ausgleichswelle.

Widerstand ist kein Ausgleichdrehmoment mehr vorhanden, und jede Maschine läuft dann als unabhängiger Asynchronmotor ohne Gleichlaufzwang. Um den zur Erzeugung eines ausreichenden Ausgleichdrehmomentes nötigen Schlupf zu erhalten, müssen die Maschinen belastet sein. Die Anwen-

derung der vereinfachten elektrischen Ausgleichswelle zur Erzwingung des Gleichlaufes ist deshalb auf solche Antriebe beschränkt, die stets und zwar mit einem möglichst konstanten Lastmoment beansprucht sind und bei denen keine allzu großen Lastmomentunterschiede zwischen den einzelnen Trieb-

mit einem Triebwerk mechanisch gekuppelt sein kann. Die mechanische Arbeitswelle (Bild 5) verbindet den Motor mit sämtlichen Triebwerken und überträgt an diese das volle zum Bewegen der Last erforderliche Drehmoment.



L = Last, M = Motor, M₁, M₂ = Wellenmaschine, T₁, T₂ = Triebwerk, W = Wellenleitmaschine, b = Arbeitswelle.

Bild 5. Mechanische Arbeitswelle.

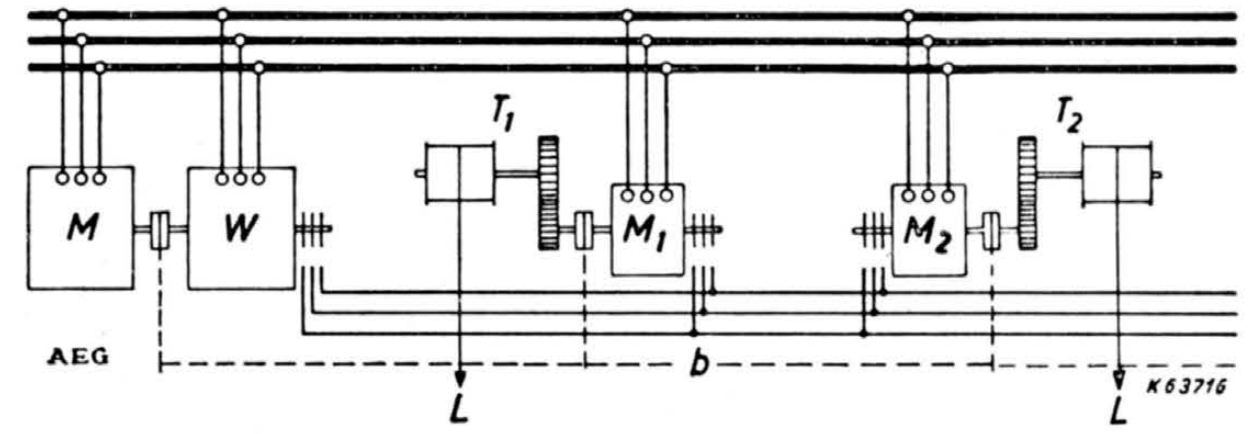


Bild 6. Elektrische Arbeitswelle.

werken auftreten können. Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der vereinfachten elektrischen Ausgleichswelle muß als Nachteil gegenüber der elektrischen Ausgleichswelle der im Schlupfverlust entstehende Stromwärmeverlust gebucht werden, der sich insbesondere bei Dauerbetrieben ungünstig auf die Betriebskosten auswirken kann. Trotzdem wird diese Gleichlaufanordnung wegen ihres einfachen Aufbaues und geringen Aufwandes an elektrischem Material bei vielen geeigneten Antrieben angewendet, z. B. Krempelsatzantrieben in Textilfabriken, Werkzeugmaschinen, selbst bei Förderanlagen und Kranen.

Die mechanische und die elektrische Arbeitswelle (Bilder 5 und 6). Im Gegensatz zur Ausgleichswelle werden bei der Arbeitswelle die Triebwerke von einem gemeinsamen Motor angetrieben, der entweder getrennt aufgestellt ist, oder auch

Als Übertragungsglieder der elektrischen Arbeitswelle (Bild 6) werden wiederum Drehstrom-Asynchronmaschinen mit Schleifringläufer verwendet. Die Wellenmaschinen M₁, M₂ sind mit den Triebwerken, die Wellenleitmaschine W mit dem gemeinsamen Antriebsmotor M mechanisch starr gekuppelt. Wellenleitmaschine und Antriebsmotor bilden das „Leitaggregat“. Die Maschinen sind ständerseitig an das Drehstromnetz angeschlossen und läuferseitig phasengleich miteinander verbunden. Auch bei der elektrischen Arbeitswelle unterliegt die Zahl der im Gleichlauf zu haltenden Triebwerke keiner Beschränkung. Nur ist zu beachten, daß die Wellenleitmaschine als Generator für die Summe der Leistungen der angeschlossenen Wellenmaschinen zu bemessen ist; bei zwei gleichen Wellenmaschinen wird die Leitmaschine also etwa doppelt so groß wie eine Wellenmaschine.

Die Größe des Antriebsmotors (Asynchronmotor mit Käfig- oder Schleifringläufer, Drehstrom-Kommutatormotor oder Gleichstrommotor) richtet sich nach der Größe der Wellenleitmaschine. Im übrigen sind für die Auslegung der Maschinen der elektrischen Arbeitswelle besondere Gesichtspunkte maßgebend, die zu erläutern den Rahmen dieses Aufsatzes überschreitet. Was über den Verdrehungswinkel bei der elektrischen Ausgleichswelle gesagt wurde, gilt sinngemäß auch für die elektrische Arbeitswelle.

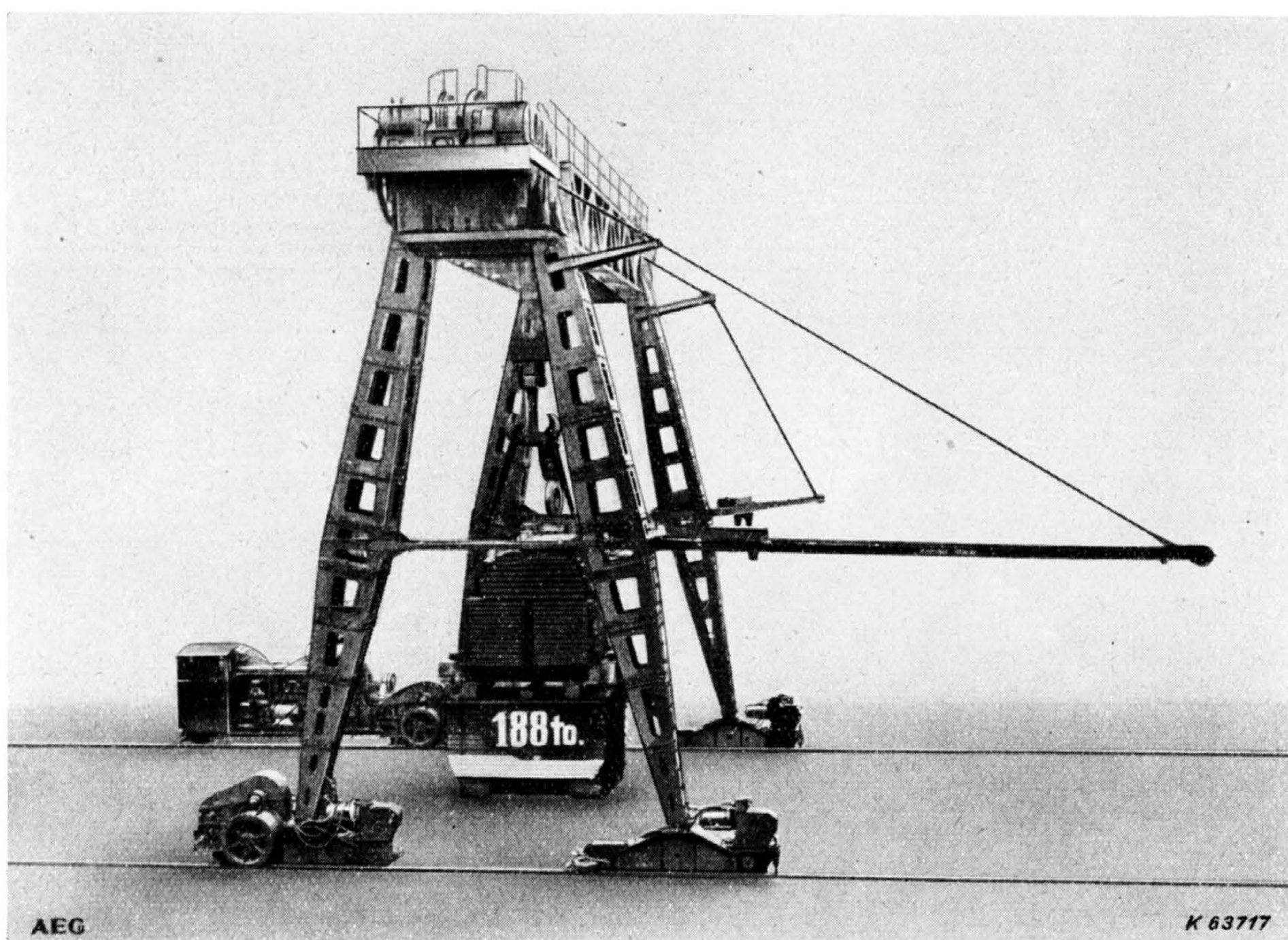


Bild 7. Bockkran mit 150 t Tragfähigkeit (Ardelt). Fahrwerke durch elektrische Arbeitswelle verbunden.

Bei der elektrischen Arbeitswelle ist jedes Triebwerk nur mit einer elektrischen Maschine verbunden. Das Leitaggregat kann getrennt an einem dafür geeigneten Platz aufgestellt werden. Bei beschränkten räumlichen Verhältnissen an den Triebwerken, welche die Anwendung der elektrischen Ausgleichwelle nicht erlauben, bringt die Arbeitswelle die ideale Lösung der Gleichlauffrage. Ein weiterer Vorzug, den die Arbeitswelle gegenüber der Ausgleichwelle aufweist, ist darin zu erblicken, daß bei mehreren im Gleichlauf zu haltenden Triebwerken, deren Drehzahl betriebsmäßig geregelt werden muß, lediglich der Antriebsmotor des Leitaggregates als Regelmotor auszubilden ist (Eldroregelbremse).

Die elektrische Arbeitswelle konnte sich in den letzten Jahren bei vielen Antrieben erfolgreich durchsetzen, so bei Fahrwerken von Kranen, bei Hebeböcken, Werkzeugmaschinen u. a. m. Als Beispiel für die Anwendung der elektrischen Arbeitswelle bei Kranen sei der in Bild 7 dargestellte fahrbare Bockkran mit 150 t Tragfähigkeit genannt.

Dieser Bockkran, der für den Versand zerlegt werden kann, ruht auf vier Stützen. Um den Gleichlauf der vier Fahrwerke zu sichern, wird jedes Fahrwerk von einer Wellenmaschine angetrieben. Die Wellenmaschinen sind durch Gummischlauchleitungen mit dem Leitaggregat verbunden. Dieses ist, zusammen mit der Stromerzeugungsanlage (Dieselmotor-Generator) und dem Steuerstand, auf einem Wagen untergebracht, der mit der einen Kranstütze verbunden ist und beim Fahren von dieser mitgezogen wird.

Der Anwendungsbereich der elektrischen Arbeitswelle ist jedoch nicht auf Antriebe von Arbeitsmaschinen beschränkt. Bei elektrischen Fernzeiger- und Kommandoübermittlungsanlagen, Fernstellsteuerungen, Gleichlaufüberwachungseinrichtungen, wird die elektrische Arbeitswelle seit Jahrzehnten mit Erfolg benutzt. Bei derartigen Gleichlaufbetrieben wird die Leitmaschine als „Geber“ von Hand oder mechanisch angetrieben und die Wellenmaschine als „Empfänger“ folgt den Bewegungen des Gebers im Gleichlauf.

Die Bedeutung des Drehstromes für die Energieversorgung und den Antrieb der Abbaugeräte im Braunkohlentagebau.

Von Dipl.-Ing. F. Schwender, Abteilung Industrie.

DK 621.3.025.3:622.332

Die Abbaugeräte zur Gewinnung der Braunkohle im Tagebau, wie Bagger, Absetzer und Abraumförderbrücken, haben heute Größen und Abmessungen erreicht, die erst durch Einführung des elektrischen Antriebes, insbesondere des Einzelantriebes, ermöglicht wurden. Die Entwicklung ist ferner gekennzeichnet durch Auflösung der einzelnen Arbeitsbewegungen und Hilfsantriebe in eine Vielzahl von Einzelantrieben, selbst bei kleineren Geräten, in Verbindung mit einer weitgehend durchgeführten Fernsteuerung von einem oder mehreren Steuerständen aus.

Die ersten kleineren Baggergeräte wurden vielfach an das vorhandene Netz für den elektrischen Zugbetrieb, also Gleichstrom von 550 V, oder bei ausgedehnterem Tagebaubetrieb Gleichstrom von 1000–1200 V angeschlossen. Man hatte so die Möglichkeit, die Energie für Bagger oder Absetzer von der am Bagger vorbeiführenden Lokomotivfahrleitung abzunehmen; eine besondere Stromzuführung erübrigte sich.

Mit zunehmender Verbesserung und Weiterentwicklung der Geräte wuchs jedoch die Zahl der Einzelantriebe; neben einigen Antrieben größerer Leistung ist heute meist eine größere Anzahl von Motoren kleinerer Leistung erforderlich. Hierbei wirkt sich die Verwendung einer Gleichstromspannung von 1000 V — diese Spannung kommt für den Zugbetrieb bei der heutigen Ausdehnung der Tage-

bauanlagen in den meisten Fällen in Frage — sehr ungünstig aus. Mit Rücksicht auf Stromwendung und Isolation kann man auch bei kleinen Leistungen nicht unter eine gewisse Modellgröße heruntergehen, so daß man also für diese kleinen Leistungen große, schwere und wenig ausgenutzte, deshalb auch teurere Motoren erhält. Außerdem erfordert die Fernsteuerung umfangreiche und ebenfalls kostspielige Schalteinrichtungen, die — insbesondere bei kleineren Geräten — meist schwierig unterzubringen sind.

Eine weitere Schwierigkeit ergab sich in der Stromzuführung bei Anschluß an Gleichstrom von 1000 V infolge der zunehmenden Größe und damit auch des steigenden Leistungsbedarfes der Abbaugeräte. Die in Frage kommenden Leistungen — es sind heute Anlagen mit mehr als 4000 kW Anschlußleistung in Betrieb bzw. im Bau — können mit 1000 V nicht mehr wirtschaftlich übertragen werden. Erschwerend wirkt sich hierbei gleichzeitig die Vergrößerung der Abbaufrenten aus, die heute Längen von 1–2 km und mehr erreicht haben.

Die vorstehend aufgeführten Nachteile des Gleichstromsystems führten sehr bald zur Einführung des Drehstromsystems für die Stromversorgung der Geräte.

Die Anwendung des Drehstromes ergibt einfache, betriebsichere Motoren und erlaubt insbesondere die weitgehende Anwendung von Motoren mit

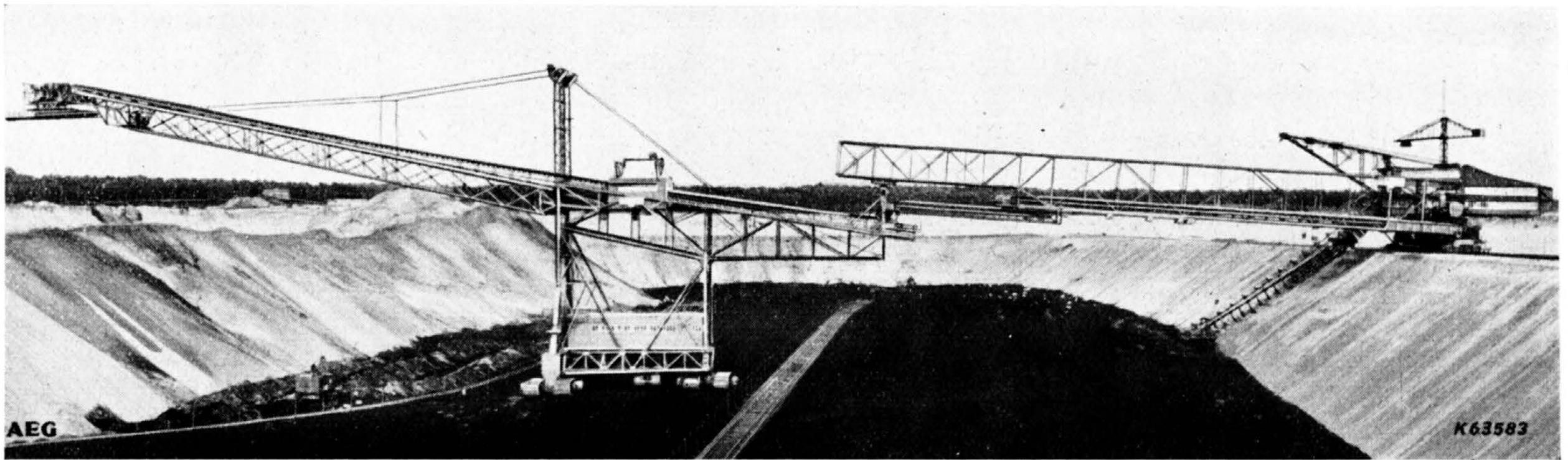


Bild 1. Abraumförderbrücke in Zusammenarbeit mit einem Schwenkbagger. (Mechan. Teil: Mitteldeutsche Stahlwerke AG., Lauchhammer und Fried. Krupp AG.)

Stromverdrängungsläufer, soweit nicht durch die Arbeitsbedingungen des Antriebes Motoren mit Schleifringläufer erforderlich werden bzw. in Sonderfällen, z. B. bei Fahrwerksantrieben, Leonardsteuerung. Der Motor mit Stromverdrängungsläufer kann jedoch gerade bei den vielen kleinen Hilfsantrieben der Geräte Verwendung finden; er ist einfach, betriebsicher und billig und ermöglicht eine einfache Fernsteuerung, die wenig Platz beansprucht im Vergleich zu einer Fernsteuerung für einen Gleichstrommotor gleicher Leistung. Deshalb ist die Anwendung des Drehstroms gerade auch für die kleinen Abraumgeräte mit einer Vielzahl von Antrieben besonders günstig. Aber auch bei größeren Geräten kann die Anwendung des Drehstromes wirtschaftliche Vorteile bringen, selbst wenn für die Stromversorgung des Baggers aus betrieblichen Gründen nur Gleichstrom von 1000 V zur Verfügung gestellt werden kann. Man stellt in solchen Fällen auf den Baggern einen besonderen Gleichstrom-Drehstrom-Umformer auf, der die Versorgung der Baggerantriebe übernimmt. Es sind bereits mehrfach derartige Anlagen ausgeführt unter weitgehender Verwendung von Motoren mit Stromverdrängungsläufer für die einzelnen Antriebe des Baggers. Die ursprünglich gehegten Befürchtungen bezüglich der Spannungshaltung des Drehstromgenerators beim Einschalten der Motoren mit Kurzschlußläufer haben sich bei zweckmäßiger Planung des Umformers und der Regeleinrichtungen als unbegründet erwiesen¹⁾.

Bis zu welchen Baggergrößen derartige Einrichtungen mit Gleichstrom-Drehstrom-Umformer möglich sind, zeigen die Daten einer für einen Schaufelradbagger ausgeführten Anlage. Dieser Bagger arbeitet mit einer Abraumförderbrücke zusammen und hat insgesamt neun Antriebsmotoren mit einer Gesamtleistung von 355 kW, darunter mehrere Motoren mit Käfigläufer und Einzelleistungen bis 80 kW. Der Anschluß dieser Motoren erfolgt an einen auf dem Bagger aufgestellten Gleichstrom-Drehstrom-Umformer mit Antriebsmotor für Gleichstrom von 1000 V. Die Käfigläufermotoren werden unmittel-

bar eingeschaltet. Schwierigkeiten haben sich hierdurch im mehrjährigen Betrieb nicht ergeben.

Besondere Vorteile bietet die Anwendung des Drehstromes vor allem auch mit Rücksicht auf die Stromzuführung zu den Geräten. Es wurde bereits erwähnt, daß sich heute Anlagen in Betrieb oder im Bau befinden, bei denen mit Anschlußleistungen von mehreren tausend kVA gerechnet werden muß. Man hat bei Anwendung des Drehstromes die Möglichkeit, dem Gerät die Energie mit hoher Spannung zuzuführen und damit wirtschaftlich vertretbare Zuleitungsquerschnitte zu erhalten. Auf dem Gerät selbst wird dann die Spannung in Transformatoren herabgesetzt. Die Höhe der Zuleitungsspannung ist im allgemeinen festgelegt durch die vorhandene Oberspannung. Sofern die Anschlußspannung des Baggers den Wert von 6000 V nicht überschreitet, wird man im allgemeinen

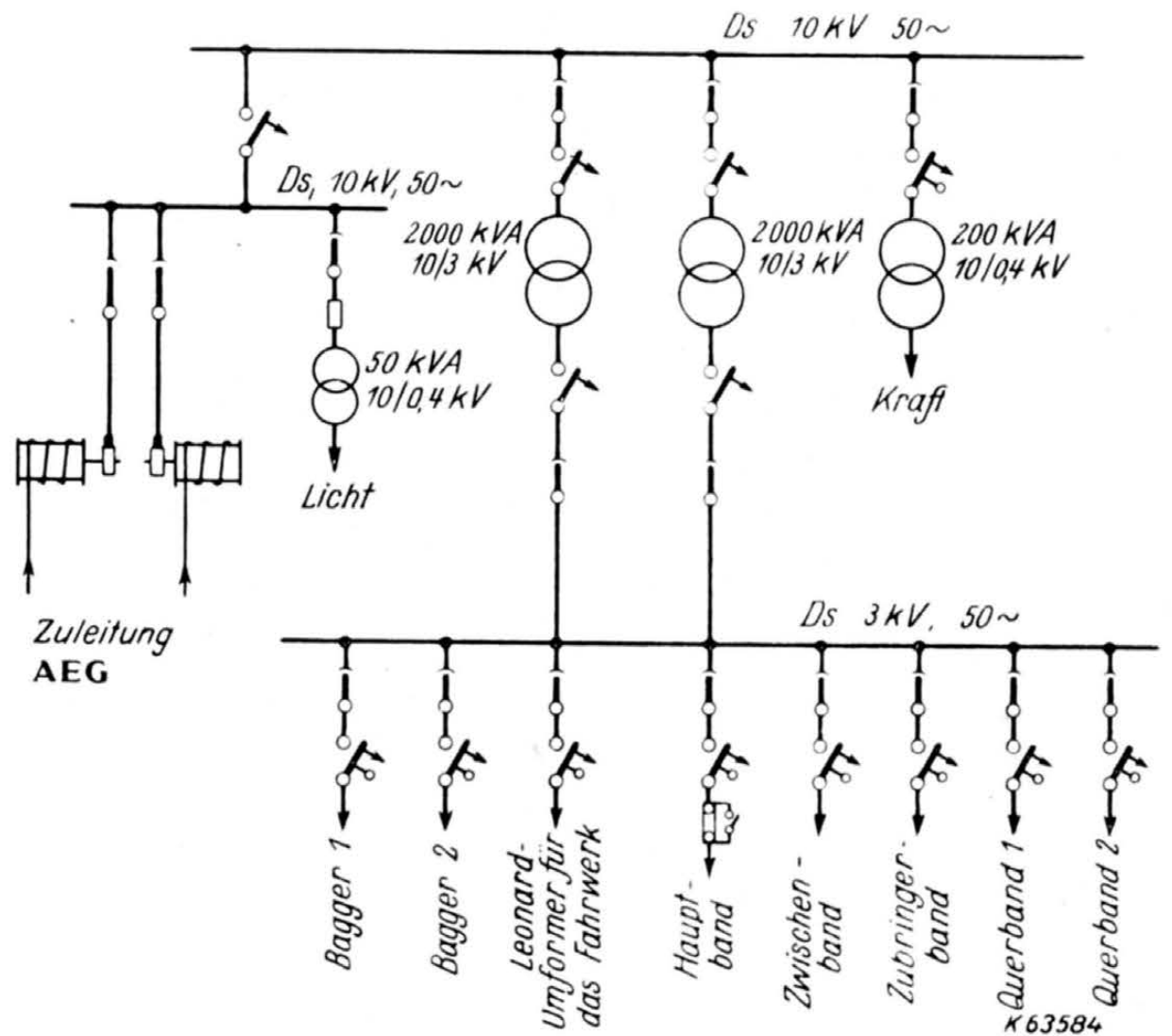


Bild 2. Grundschriftbild der Hochspannungs-Schaltanlage einer Abraumförderbrücke.

auf dem Abraumgerät die größeren Antriebsmotoren, also insbesondere Eimerketten-Antriebsmotoren und Bandmotoren für unmittelbaren Anschluß an Hochspannung ausführen. Dies ist bei den heutigen Leistungen derartiger Antriebs-

¹⁾ AEG-Mitt. (1934) 11, 339.

motoren, die Werte von 1000 kW und mehr bereits erreicht haben, unbedingt erforderlich, da eine Ausführung für Niederspannung zu außerordentlich hohen und schaltungstechnisch schwierig zu beherrschenden Stromstärken führen und außerdem unwirtschaftlich sein würde. Es wird in einem solchen Fall also nur für die kleineren Antriebsmotoren eine Umspannung auf Niederspannung auf dem Gerät vorgenommen.

Sofern mit Rücksicht auf die zu übertragende Leistung die Spannung von 6 kV zu niedrig oder eine höhere Spannung bereits vorhanden ist, wird es notwendig, auf den Geräten selbst eine Abspannung für Hoch- und Niederspannungsverbraucher vorzunehmen, und zwar sollte für die großen Motoren bei Neuanlagen die genormte Zwischen-spannung von 6 kV angestrebt werden. Die Hochspannungsschaltanlagen für derartige Geräte nehmen dabei bereits einen beträchtlichen Umfang an; dies sei an Hand einer ausgeführten Anlage kurz erläutert.

Bild 2 zeigt das Grundsichtbild der Hochspannungs-Schaltanlage einer Abraumförderbrücke, die im endgültigen Ausbau mit zwei Baggern zusammenarbeitet. Die Abraumförderbrücke selbst ist in Bild 1 dargestellt, die Hochspannungs-Schaltanlage ist im Schalthaus über dem Raupenfahrwerk der Brücke untergebracht.

Der Anlage wird die Energie über zwei parallele, je 800 m lange Gummischleppkabel mit einer Spannung von 10 kV zugeführt. Auf dem Gerät selbst erfolgt in zwei Transformatoren von je 2000 kVA die Umspannung auf 3000 V als Zwischenspannung für die größeren Hochspannungsmotoren sowie in einem weiteren Transformator von 200 kVA die Umspannung auf 400 V zum Anschluß der kleineren Motoren. Die Beleuchtung ist an einen besonderen Transformator von 50 kVA, 10/0,4 kV angeschlossen.

Die Schaltanlage ist dadurch besonders bemerkenswert, daß erstmalig in größerem Umfang auf einem Abraumgerät Druckgasschalter angewandt wurden. Die eingebauten Schalter haben eine Ausschaltleistung von 100 MVA bei 10 kV. Im endgültigen Ausbau sind 15 derartiger Schalter vorhanden.

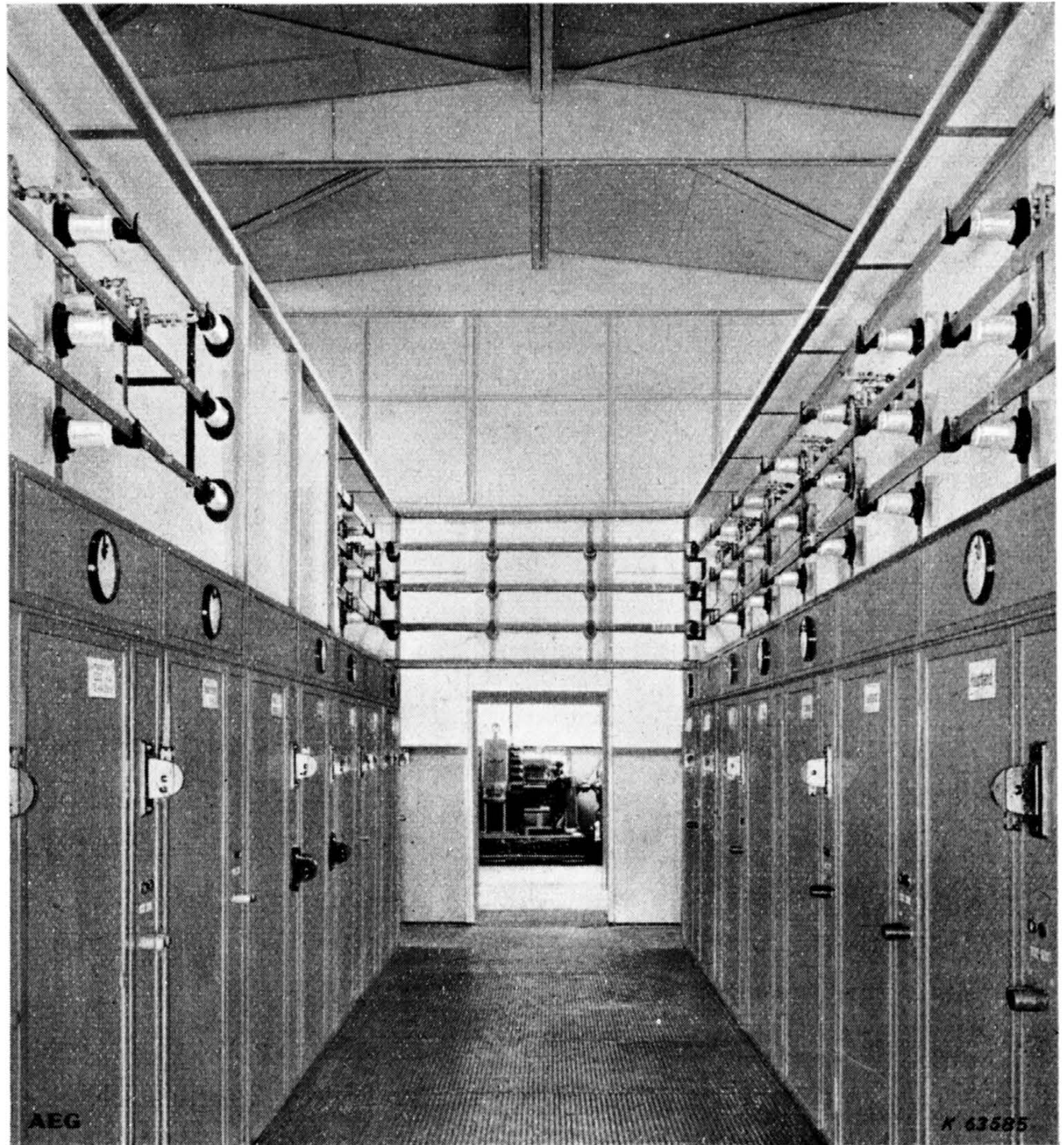


Bild 3. Hochspannungs-Schaltanlage 10/3 kV einer Abraumförderbrücke (im Hintergrund Leonardumformer für das Raupenfahrwerk).

Die einzelnen Schaltzellen sind in Anlehnung an die Regelbauweise durch isolierende Trennwände gegeneinander und gegenüber den Sammelschienen durch Isoliertrennwände und Durchführungen abgeschirmt. Ein Wandern des Lichtbogens in Nachbarzellen oder zu den Sammelschienen bei versehentlichem Schalten eines Trennschalters unter Last oder bei ähnlichen Störungsursachen ist also nicht möglich. Die Anordnung wurde weiterhin im Gegensatz zu dem bisherigen Schaltanlagenbau auf derartigen Abraumgeräten so gewählt, daß die Betätigungs- und Signalgeräte, Betätigungsleitungen, Anschlußklemmen und Relais in einer besonderen Niederspannungszelle, die durch Isolierwände von dem Hochspannungsraum abgetrennt ist, untergebracht sind. Es ergibt sich hierdurch eine vom Bedienungsgang aus gut sichtbare Anordnung der Meß- und Signalgeräte sowie leichte Zugänglichkeit zu den Relais und Anschlußklemmen und gefahrlose Überprüfung im Betrieb.

Bild 3 zeigt die Schaltanlage, vom Bedienungsgang aus gesehen. Die Anlage ist seit etwa zwei Jahren in Betrieb und hat sich auch bei strengstem Frost bewährt.

Der Drehstrom für die Hilfsantriebe in Hüttenwerken.

Von H. Wickler, Abteilung Industrie.

DK 621.3.025.3:669.18

Die älteren Hüttenwerke weisen in der Wahl der Stromart, besonders bei den elektrischen Ausrüstungen für die Walzwerk-Hilfsantriebe, im Gegensatz zu den neu errichteten Werken einen grundsätzlichen Unterschied auf. Diese Anlagen, die z. T. noch ihre alten Ausrüstungen haben, verfügen meistens über eine eigene Hüttenzentrale, die Gleichstrom liefert. Die elektrischen Antriebe waren noch nicht in der Anzahl und vor allem nicht in den großen Leistungen vorhanden, wie dies heute der Fall ist. Ergänzungen und Erweiterungen solcher Hüttenwerke legen der Leistungsfähigkeit dieser Hüttenzentralen eine Einschränkung auf, und in vielen Fällen wird bei Neuplanungen die verfügbare Gleichstromenergie als begrenzt angegeben.

Im Laufe der Jahre hat sich in Deutschland und auch in vielen anderen europäischen Ländern der Drehstrom als die für Walzwerk-Hilfsantriebe vorherrschende Stromart durchgesetzt. Wird ausnahmsweise bei einigen feinregelbaren Antrieben die Aufstellung eines Gleichstrommotors in Erwägung gezogen, so wird Gleichstrom durch Umformer, entweder durch Leonardsätze oder durch Gleichrichter, beschafft.

Im Gegensatz zu Amerika wurde in Deutschland den Drehstromantrieben die größte Aufmerksamkeit gewidmet. Schon durch die wirtschaftliche Lage sah man sich in Deutschland veranlaßt, den billigeren Drehstrom auszunutzen und die Umformung in Gleichstrom zu erparen. Drehstrommotoren und Drehstromsteuerungen wurden für den bei den Walzwerk-Hilfsantrieben vorliegenden schweren Umkehrbetrieb vollkommen durchgebildet, den vielseitigen Forderungen der verschiedenartigen Antriebe angepaßt und neu entwickelt. In den Vereinigten Staaten werden heute noch Gleichstrom-Ausrüstungen auch bei den neu errichteten Anlagen vorgesehen, und es wird dann meistens 220 V zugrundegelegt. In Amerika ist die gesamte Industrie auf diese Stromart eingestellt. Trotzdem hat man auch dort neuerdings die Vorteile des Drehstromes erkannt und verschiedentlich über die damit zusammenhängende notwendige Umstellung berichtet. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang der Aufsatz in der Zeitschrift "Electrical World" vom 12. September 1931, wonach die Ford-Motor Co. in ihren Werken 27 000 Gleichstrommotoren von 0,25-900 kW für 250 V gegen Drehstrommotoren austauschte. Durch Fortfall der Umformerverluste in den Motorgeneratoren mit einer Gesamtleistung von 82 000 kW und die dadurch mögliche Vereinfachung ergaben sich für den Gesamtbetrieb wesentliche Ersparnisse.

Bei der rauhen Arbeitsweise der Walzwerk-Hilfsantriebe bot der Gleichstrommotor mit seinem verhältnismäßig großen Luftspalt zwischen Anker und Polen einen Vorteil, der bei der Planung häufig ausschlaggebend war und die Nachteile des Kommutators mit seinen empfindlichen Eigenschaften zurücktreten ließ. Motoren dieser Antriebe mit ihren starken stoßweisen Beanspruchungen sind Erschütterungen ganz besonders ausgesetzt und erhielten aus diesen Gründen Gleitlager. Mit Rücksicht auf die Gefahr des Auslaufens dieser Lager bot der große Luftspalt eine wesentliche Erhöhung der Betriebsicherheit, denn die Gefahr des Ankerschleifens war damit soweit wie irgend möglich herabgesetzt.

Nachdem die Ausführbarkeit der Kugel- bzw. Wälzlager auch für diese umsteuerbaren, ruckartig arbeitenden Motoren mit Sicherheit erwiesen war, konnte der Luftspalt erheblich kleiner gehalten werden, ohne daß man ein Schleifen des Ankers befürchten mußte. Von diesem Augenblick an trat der Drehstrommotor mit seinem bedeutend einfacheren Aufbau und seinen erheblich geringeren Ansprüchen an die Wartung in überlegenen Wettbewerb mit der Gleichstrommaschine. Der bei dem Drehstrommotor aus bekannten Gründen notwendige kleine Luftspalt war für die Verwendung dieser Motoren bei den Walzwerk-Hilfsantrieben kein erschwerendes Hindernis mehr. Hinzu kommt, daß eine ganze Reihe neuer Hüttenwerke, vor allem Walzwerke, erstanden, welche die benötigte elektrische Energie fremdbezogen. Die Verfeinerung der Bearbeitung und die Steigerung der Fertigung erhöhten sowohl die Einzelleistung der Antriebsmotoren als auch die Zahl der Einzelantriebe selbst. Die in einer neueren Block- und Fertigstraße eingebaute Nennleistung der Motoren allein bei den Walzwerk-Hilfsantrieben liegt heute im Mittel bei etwa 3000 kW. Um diesen gesteigerten Energiebedarf mit möglichst wenig Leitungsaufwand zu verteilen, hat es sich als wirtschaftlicher erwiesen, Drehstrom höherer Spannung von Elektrizitätswerken zu beziehen, so daß sich also zwangsläufig auch aus der Lieferung des billigeren Drehstromes eine Umstellung der Hüttenwerke von Gleichstrom auf Drehstrom ergab.

Der Drehstrommotor ist bei den Walzwerk-Hilfsantrieben heute zu einer Selbstverständlichkeit geworden; selbst bei den schwersten und schwierigsten Antriebsfragen wird vor allem die Verwendbarkeit einer Drehstromausrüstung geprüft. Die an die elektrischen Teile der Hilfsantriebe gestellten Forderungen können heute mit Drehstrom voll erfüllt werden. Die verwendeten Drehstrom-

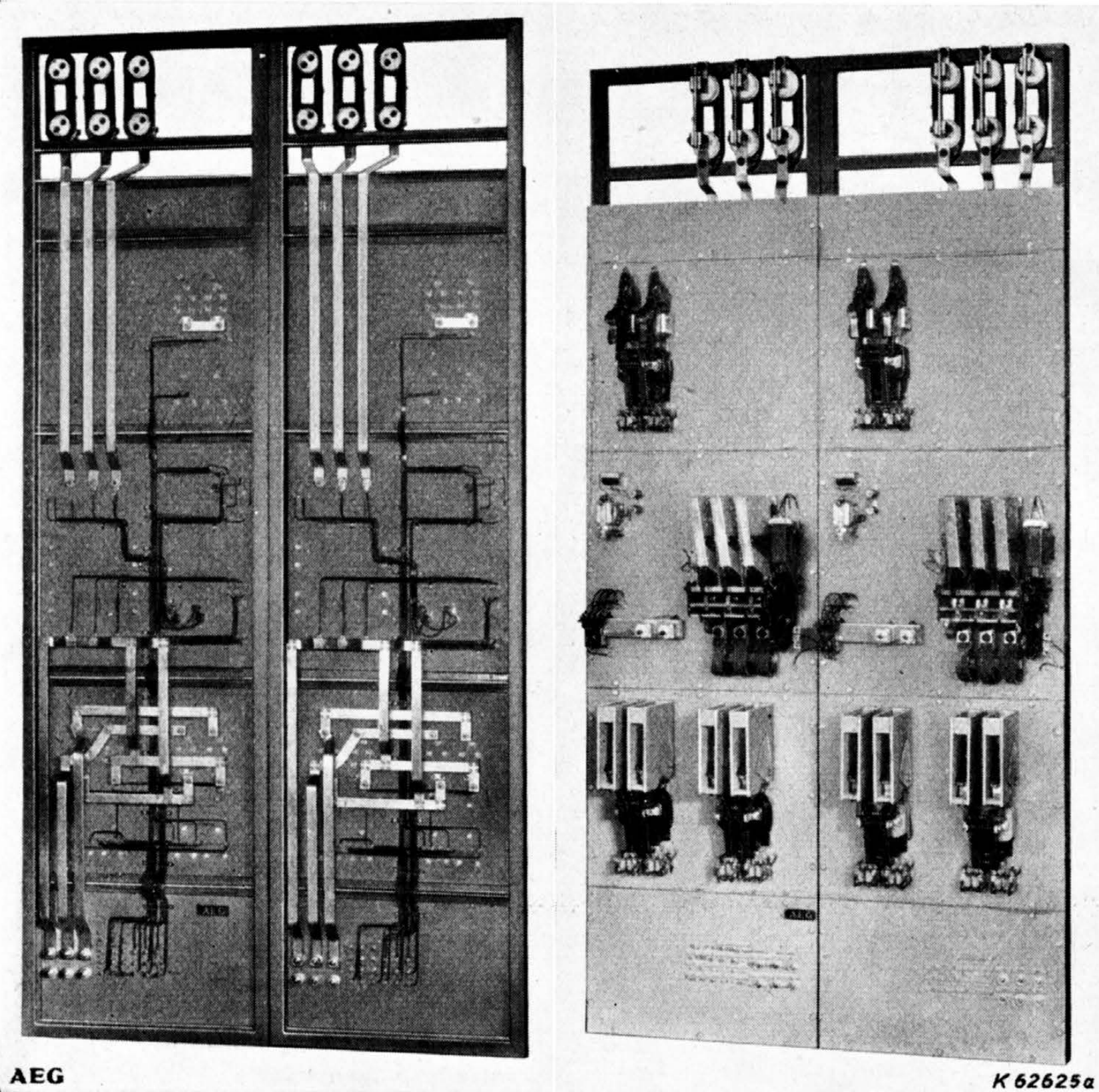


Bild 1. Vorder- und Rückansicht zweier einfacher Drehstrom-Schützensteuerungen für zwei Arbeitsrollgänge. Jede Steuerung auf einem Feld zusammengebaut.

Umkehrvorgang ein; der Ablauf erfolgt dann selbsttätig in Abhängigkeit von Anlauf- und Bremswächtern. Die Betätigungsgeräte führen also lediglich Steuerströme zur Erregung der Schützspulen und können klein und leicht bedienbar sein. Die feldweise aufgebauten Schützensteuerungen (Bild 1) werden in geschlossenen Steueranlagen vereint mit Niederspannungs-Verteilungen zusammengefaßt und sind für die leichte Überwachung übersichtlich angeordnet¹⁾.

Hohe Schalzhäufigkeit, kurze Beschleunigungszeiten und trotzdem große Steuergenauigkeit sind die hauptsächlichsten Forderungen, die von den Drehstromausrüstungen für die Walzwerk-Hilfsantriebe erfüllt werden müssen.

Bei den Anstellvorrichtungen, denen die Aufgabe zufällt, den Walzspalt zwischen den das Walzgut verformenden Arbeitswalzen des Walzgerüsts einzustellen, treten die eben genannten Forderungen in vollem Maße auf. Als

motoren, deren betriebsicherer Aufbau sich nun schon lange bewährt hat, erhalten heute Wicklungen, die gegen Überlast durch wärmebeständige Isolation zusätzlich geschützt sind. Neben dem Drehstrommotor sind in gleichem Maße die Drehstromsteuerungen für die weitgehende Einführung der Drehstromausrüstungen bei den Walzwerk-Hilfsantrieben beteiligt. Mit Rücksicht auf die vielen, von nur wenigen Steuerleuten zu bedienenden Antriebe und mit Rücksicht auf die leichte Bedienbarkeit der Steuergeräte selbst wurden an Stelle der schweren Controller, die sich nur für geringe Schalzhäufigkeit eignen, nur noch Drehstrom-Schützensteuerungen verwendet. Die einzelnen Steuergeräte, wie Meisterwalzen, Schütze, Anlaufwächter, Bremslüfter usw. müssen bei dem heute erreichten Fertigungsverfahren bis zu 3000 Schaltungen je Stunde sicher ausführen können. Diese Schützensteuerungen sind überwiegend halb selbsttätig, d. h. der Steuermann leitet lediglich den Anlaß-, Brems- oder

schon bei den übrigen Hilfseinrichtungen, wie Roll-

¹⁾ s. AEG-Mitt. (1940) 3/4, 79.

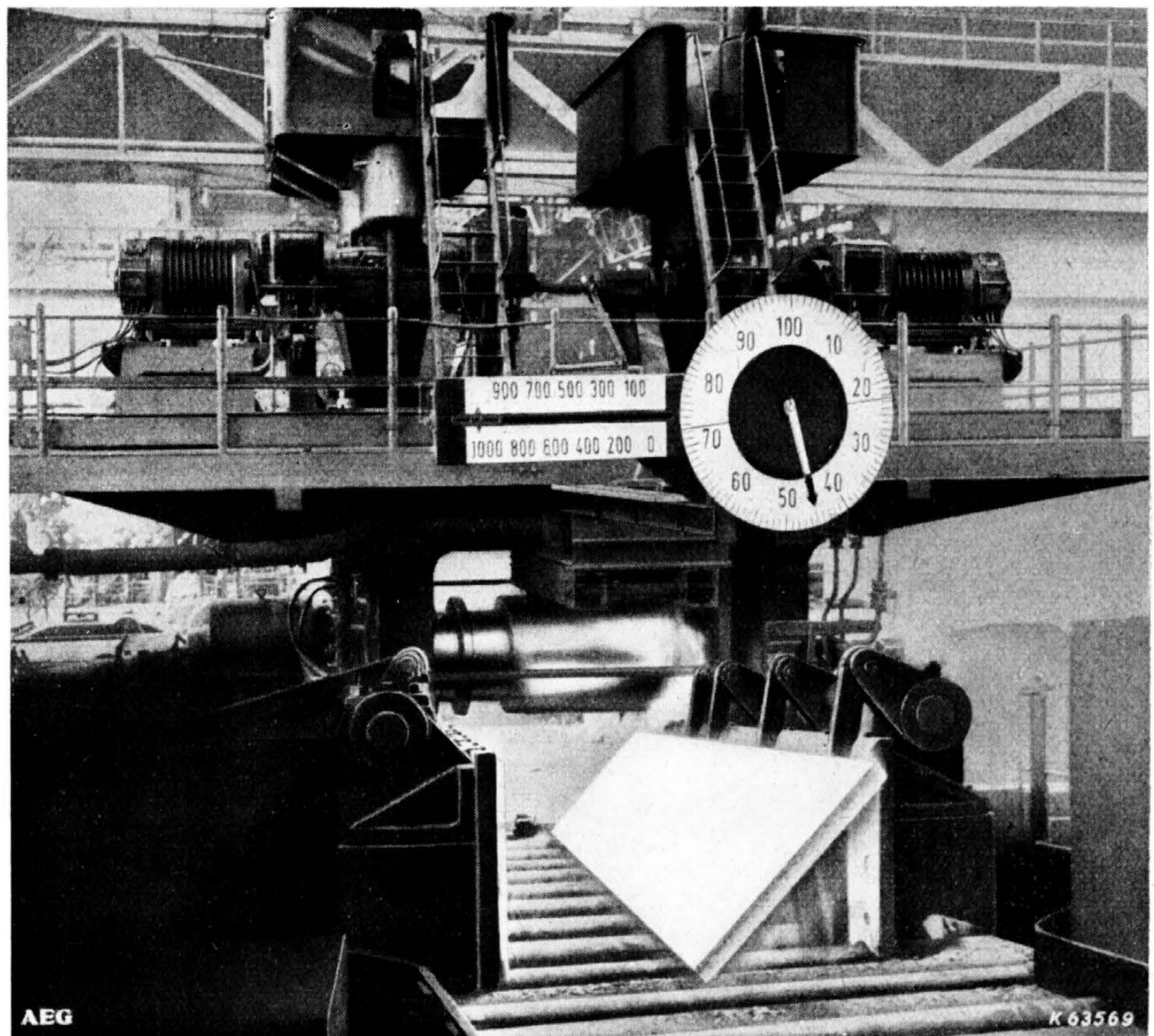


Bild 2. Walzenanstellvorrichtung für eine 1150er Block- und Brammenstraße mit zwei Drehstrommotoren von je 150 kW, 40% ED, 750 U/min, geschlossen, mit Regelschleifringläufer.

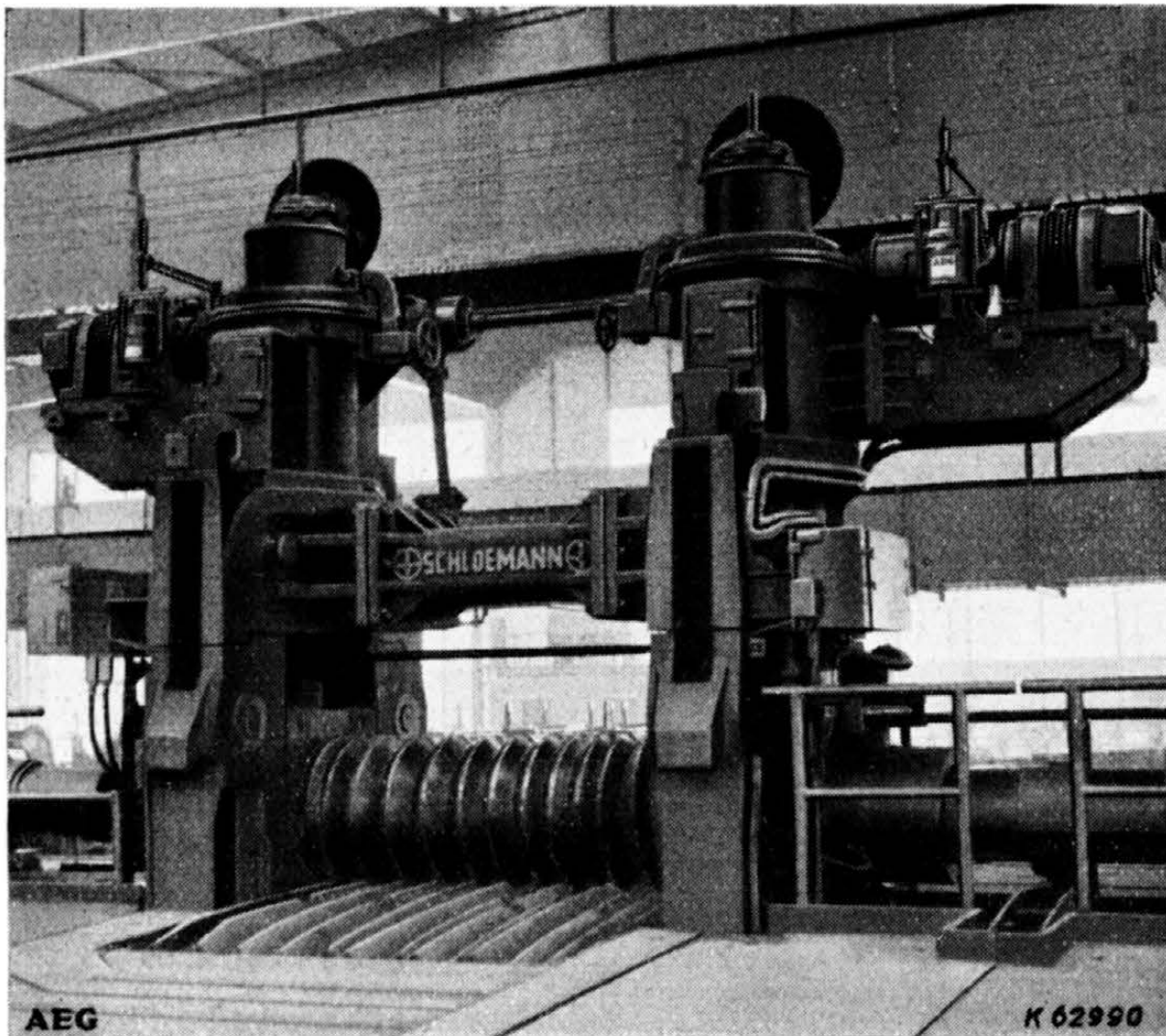


Bild 3. Walzenanstellvorrichtung mit zwei Drehstrommotoren für lastunabhängige Drehzahl-einstellung durch Eldroregelbremse für Feineinstellung.

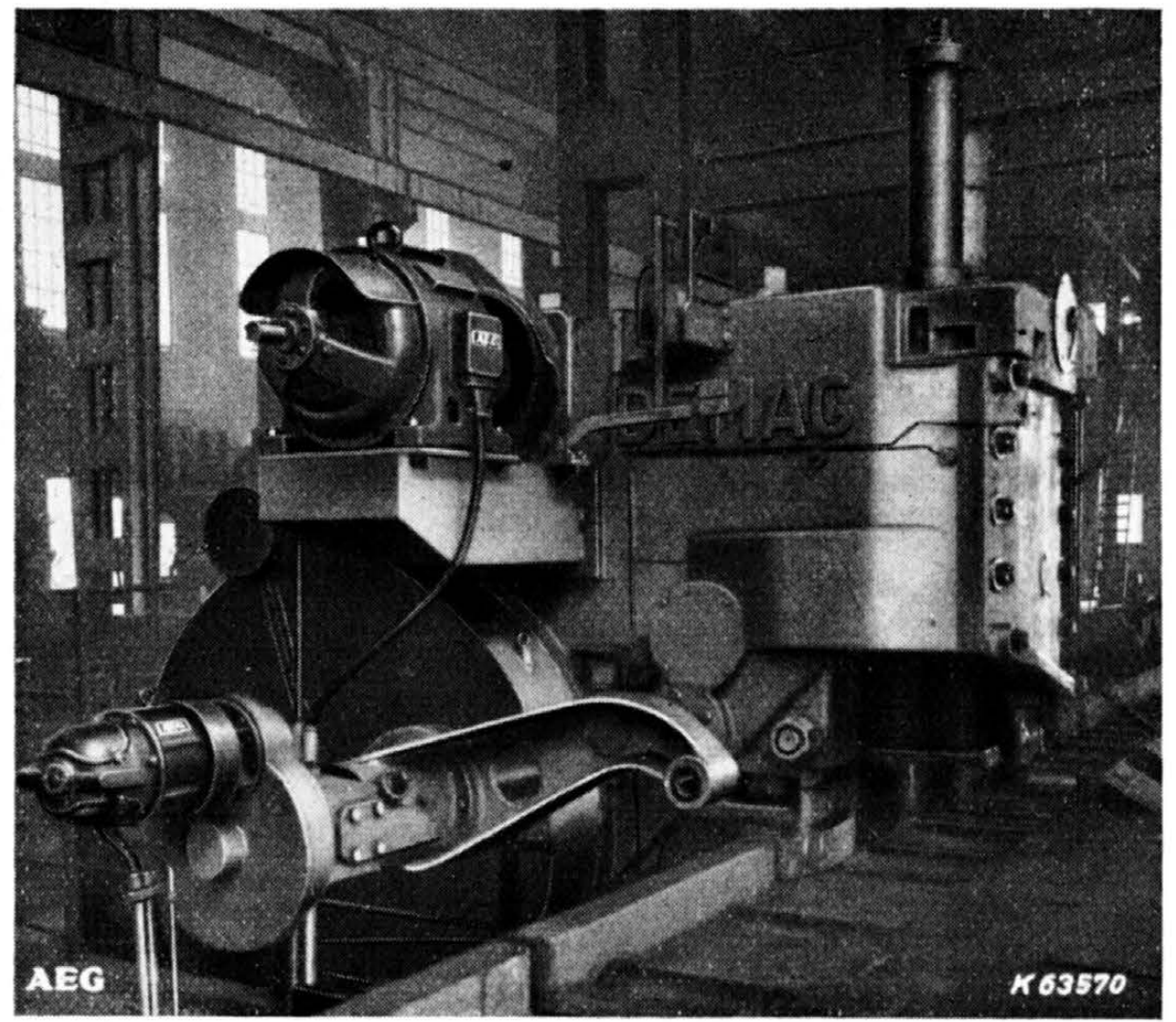


Bild 5. Blockschere für 800000 kg Scherdruck mit zwei Drehstrommotoren für 750 U/min und je 300 kgm Normalmoment.

gängen, Verschiebern, Schleppern, Blockdrücken usw., die Drehstromausrüstung als üblich angesehen wurde, verwendete man bei den Anstellvorrichtungen vielfach noch leonardgesteuerte Gleichstrommotoren. Wenn auch der Antriebsmotor des Leonardumformers bereits eine Drehstrommaschine war, so ist man heute auch von dieser Zwischenumformung der Stromart abgegangen und sieht jetzt auch hier Drehstrommotoren für den Antrieb der Spindeln vor.

Der Walzspalt muß zwischen den einzelnen Stichen schnell, und besonders bei den letzten Stichen auch genau eingestellt werden können. Hochgesättigte Drehstrommotoren mit großem Be-

schleunigungsmoment sind bei diesen aussetzend arbeitenden Antrieben vorgesehen. Die Motoren erreichen selten ihre Nenndrehzahl und sind in Verbindung mit der Eldro-Regelbremssteuerung (DRP.) den leonardgesteuerten Gleichstrommotoren in der Erfüllung der gestellten Forderungen gleichwertig, ihre Anschaffungskosten jedoch wesentlich niedriger. Der bei der Leonardsteuerung verfügbare große Regelbereich wird meistens nicht ausgenutzt, denn der größte Teil des Anstellweges muß mit möglichst hoher Geschwindigkeit zurückgelegt werden, und erst kurz vor dem Sollwert der Spaltweite wird die Drehzahl herabgesetzt und mit niedriger Geschwindigkeit die jeweilige Endstellung

angesteuert. Man kann durch Tipp-schaltung die Genauigkeit der Einstellung erreichen, wodurch aber die Schalthäufigkeit erheblich gesteigert wird. Eine bessere Lösung bietet die Eldroregelbremse, die es ermöglicht, bei einem Drehstrommotor die Drehzahl auf einfache Weise lastunabhängig auf etwa 20% der Nenndrehzahl herabzusetzen. Die von der AEG mit dieser Einrichtung versehenen Drehstrom - Anstellvorrichtungen haben sich bei den unterschiedlichsten Walzgerüsten in vollem Maße bewährt. Drehstrommotoren mit 300-400 kgm Nennmoment sind bei diesen Antrieben keine Seltenheit. Die gebräuchlichsten Drehzahlen für diese geschlossenen Motoren sind 600 oder 750 U/min. Bild 2 zeigt eine Anstellvorrichtung für eine Block- oder Brammenstraße mit

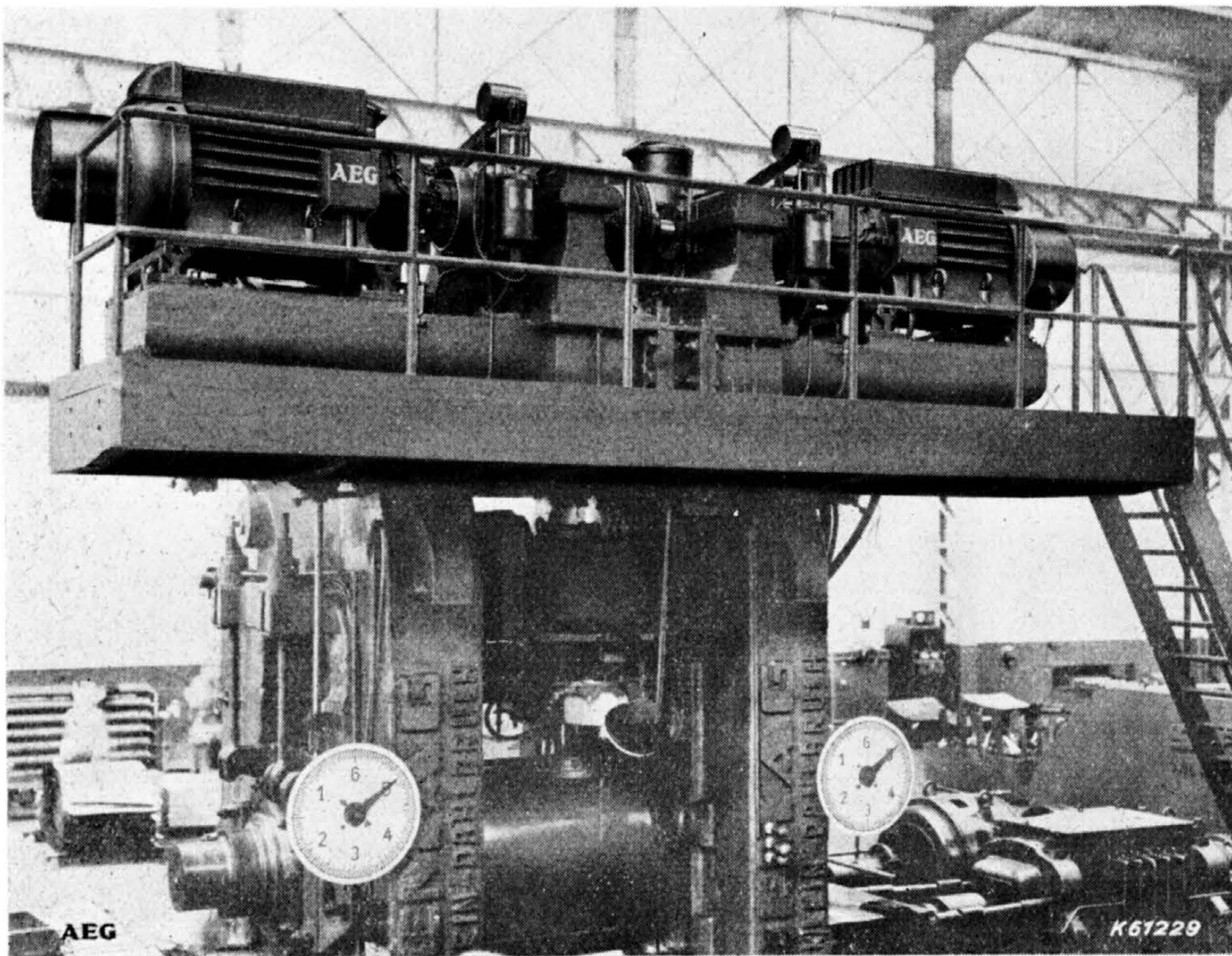


Bild 4. Walzenanstellvorrichtung für ein Vierwalzen-Kaltwalzgerüst mit zwei polumschaltbaren Drehstrommotoren 375/1500 U/min mit drehzahlunabhängiger Außenbelüftung.

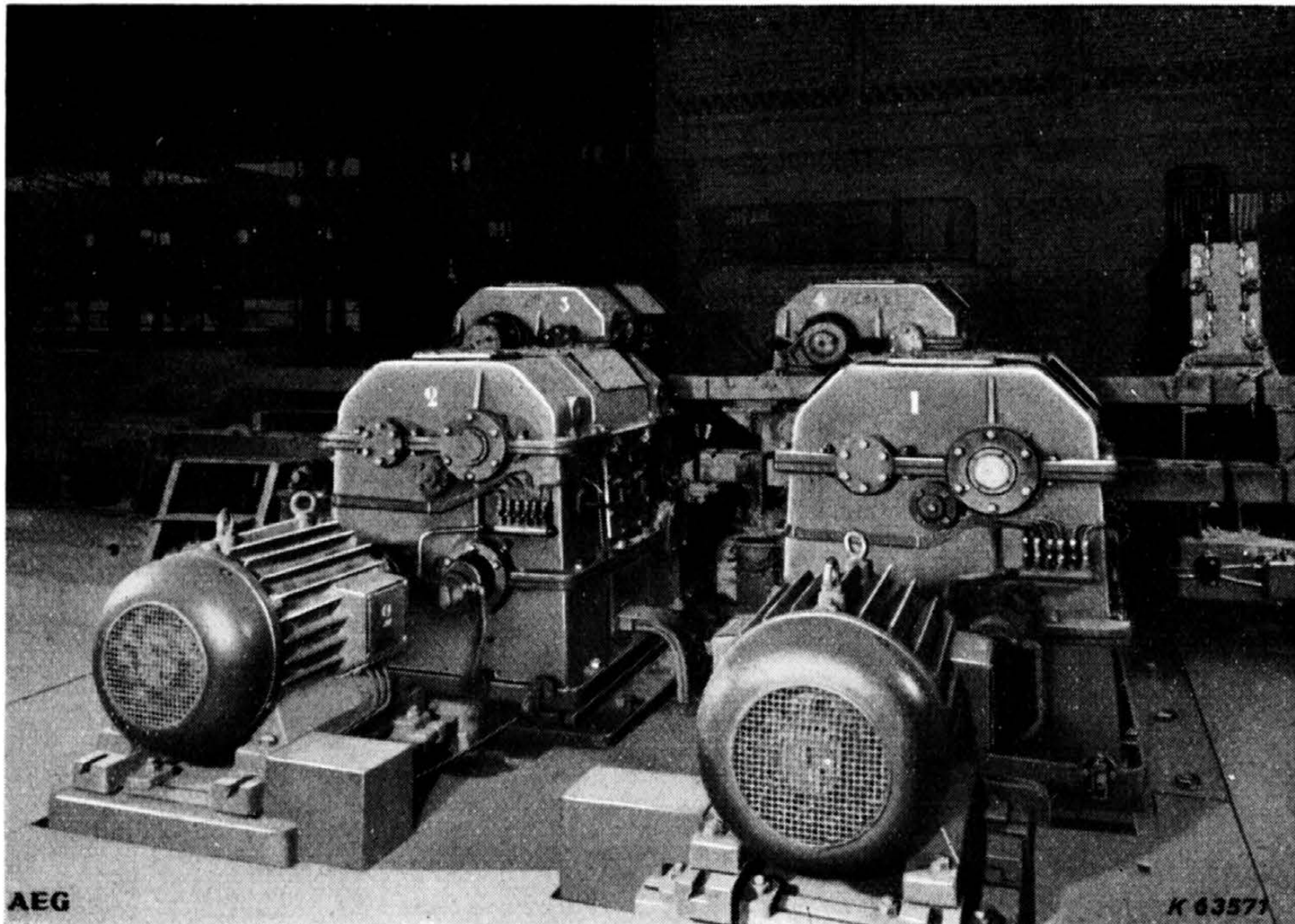


Bild 6. Umlaufende Scheren mit Drehstrom-Käfigläufermotoren mit Sonderwicklung für DAB-Betrieb geschlossen mit Außenbelüftung.

zwei Drehstrommotoren von je 150 kW, 40% ED, 750 U/min synchron. In Bild 3 ist bei einem Fertigerüst mit zwei Drehstrommotoren bei jedem Motor die angebaute Eldroregelbremse zu erkennen. Ein Beispiel für eine Anstellvorrichtung mit zwei polumschaltbaren Motoren zeigt Bild 4. Diese beiden Drehstrommotoren arbeiten bei der höheren Polzahl mit 375 U/min und Schleifringläufer, bei der niederen Polzahl mit 1500 U/min und Kurzschlußläufer. Der polumschaltbare Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer bei beiden Drehzahlen ist bei Anstellvorrichtungen für Kaltwalzgerüste ebenfalls bereits in vielen Fällen ausgeführt.

Ein weiteres Beispiel für einen bisher mit Leonardsteuerung ausgerüsteten Walzwerk - Hilfsantrieb ist die Blockschere. Bild 5 zeigt eine Blockschere für 800 000 kg Scherdruck, die durch Drehstrommotoren angetrieben wird. Für den Schnitt werden an der Kurbelwelle ungefähr 250 000 kgm benötigt. Die Schere arbeitet mit etwa fünf Schnitten je Minute, zum Antrieb dienen zwei Drehstrommotoren mit je 300 kgm Nennmoment bei 750 U/min. Die angegebenen Zahlen dienen lediglich als Anhalt für die Größenordnung, bilden aber keine Grenzleistungen.

Das Antriebsmittel für die umlaufenden Scheren ist heute ausschließlich der Drehstrommotor, der für diese meist durchlaufende, mit aussetzender Belastung arbei-

tende Maschine geschlossen mit Außenbelüftung und Käfigläufer mit erhöhtem Kippschlupf ausgeführt wird. Der in den Läufer eingebaute erhöhte Kippschlupf erzielt ein weiches Arbeiten des Motors und macht ihn gegen die beim Schneiden auftretenden Stöße unempfindlicher. Die in Bild 6 wiedergegebenen beiden Antriebe für umlaufende Scheren arbeiten in diesem Falle noch in Verbindung mit einer Gleichlaufeinrichtung. Durch diese Einrichtung wird erreicht, daß bei einem beliebig einstellbaren Längenwert stets gleich lange Knüppel geschnitten werden; es werden also gleiche Geschwindigkeiten zwischen Walzgut und Scherenmesser aufrechterhalten.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel von Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motoren für Walzwerk-Hilfsantriebe ist in Bild 7 gegeben. Hier werden Drahtspindel durch Drehstrom-Senkrechtmotoren angetrieben, und besondere Drehstrom-Senkrechtmotoren betätigen den Öffnungsantrieb für das Herausfallen der fertigen Drahtbunde. Auch diese Motoren arbeiten meistens mit einer Gleichlaufeinrichtung zusammen, die bei diesen Antrieben dafür sorgen soll, daß durch den Haspel kein Zug auf den Draht ausgeübt und ein sauberer Drahtbund aufgehaspelt wird.

Fast alle Kurzschlußläufer-Motoren für Walzwerk-Hilfsantriebe werden mit Schlupfläufer ausgeführt. Die Momentenlinie des Motors wird da-

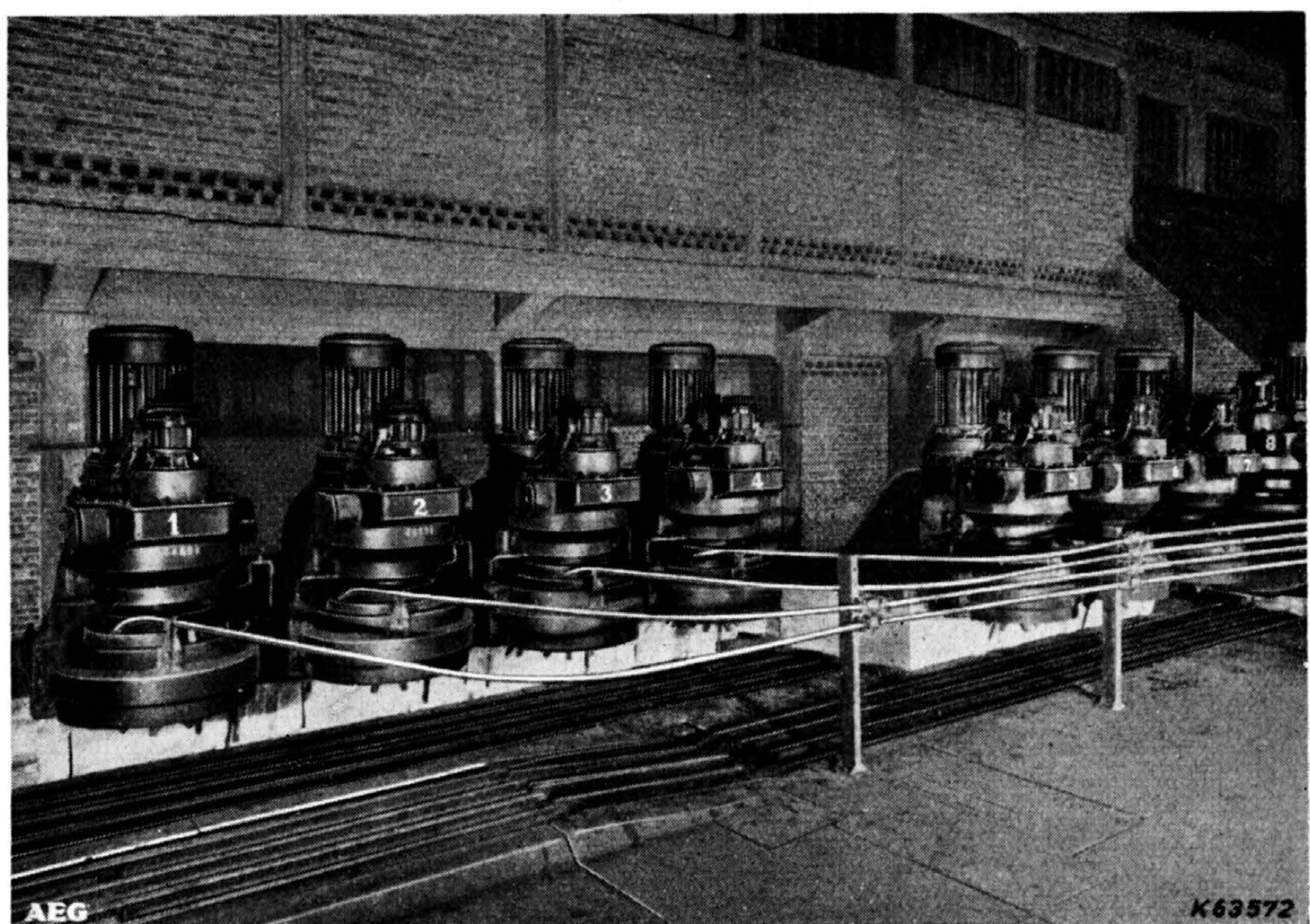


Bild 7. Drahtspindel, angetrieben durch Drehstrom-Käfigläufermotoren, geschlossen, mit senkrechter Welle.

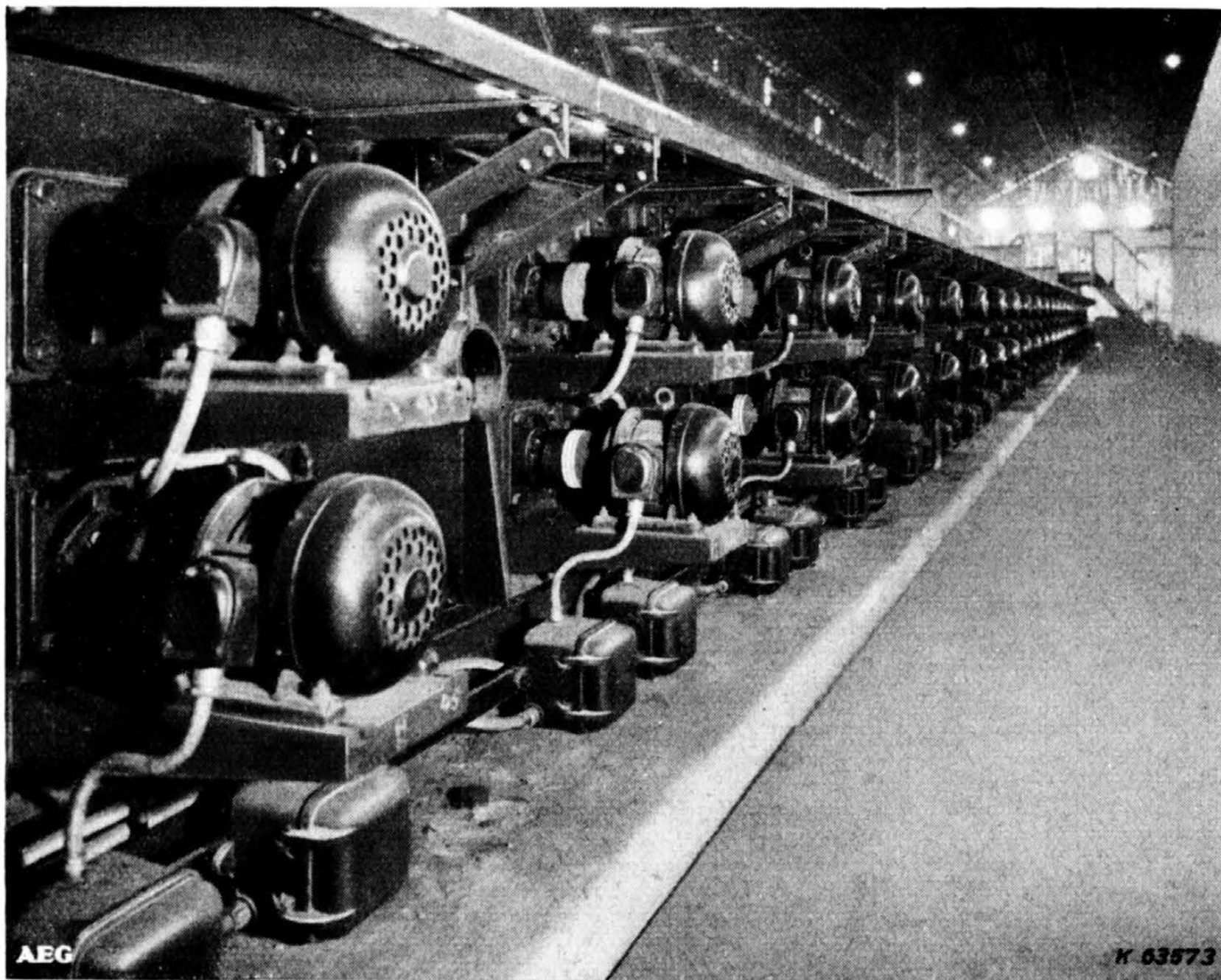


Bild 8. 145 Drehstrom-Rollgangmotoren mit Käfigläufer für Einzelantrieb von Kühlbettrollen.

durch derart verschoben, daß der Kippunkt bei einer niedrigeren Drehzahl liegt. Für gewöhnlich liegt der Kippunkt bei etwa 10% Schlupf und wird bei den Schlupfläufermotoren bei etwa 70% der Nenndrehzahl sein. Es ist natürlich ohne weiteres möglich, den Läuferwiderstand so weit zu erhöhen, daß der Kippschlupf 100% oder noch mehr beträgt. Derartige Kurzschlußläufermotoren haben eine abfallende Drehmomentenlinie und können bis zum Stillstand abgebremst werden, ohne daß der Motor kippt.

Diese Forderung tritt an die Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer heran, die zum Antrieb der Einzelrollen bei einem Arbeitsverlängerungs- oder Förderrollgang dienen. Wenn durch vorübergehende Störungen, z. B. Klemmen von Zunder zwischen Rollenmantel und Abdeckplatte, ein Festbremsen der Rolle eintritt, darf der Antriebsmotor nicht kippen, sondern muß, sobald dieses Hindernis beseitigt ist, sofort wieder anfahren können. Die Auslegung dieser Motoren erfolgt ebenfalls nach % ED, wobei noch hinzukommt, daß durch längeres Festbremsen innerhalb der ED keine schädliche Erwärmung des Motors eintreten darf. Die Größe dieser Motoren kann nicht nach kW bestimmt werden, sondern richtet sich nach ihrer Beschleunigungsfähigkeit und ihrer Erwärmungsgrenze. Je größer die

zu beschleunigende Schwungmasse ist, um so länger wird bei einem Motortyp die Anlaufzeit, und damit steigt die Erwärmung. Je häufiger ein solcher Motor geschaltet wird, um so wärmer wird er. Das Produkt aus Schaltzahl je Stunde und der zu beschleunigenden Schwungmasse ist ein Wert für die Erwärmung und damit für die vereinfachte und sichere Auswahl derartiger Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motoren. Dieses Produkt, als Beschleunigungskonstante B in kgm^2/h ausgedrückt²⁾, wird neben dem Kippmoment und dem Kippschlupf für einen solchen Motor auf dem Leistungsschild angegeben.

Der einfache Bau, die geringe Wartung und die hohe Betriebssicherheit haben diesen Rollgang-Motoren eine rasche Einführung und Überlegenheit ge-

sichert. Bild 8 zeigt eine Reihe solcher Motoren zum Antrieb von Förderrollen am Kühlbett einer Stabstraße, während nach Bild 9 der Einzel-Rollenantrieb mit vielpoligen Drehstrommotoren für den Arbeits-Verlängerungsrollgang einer Grobstraße durchgeführt wurde. Die Weiterentwicklung führte bei diesen Motoren zur Ausführung des Motorgehäuses mit Kreisrippen, bei den vielpoligen Motoren (Bild 10) zur Vergrößerung der Oberfläche und damit erhöhter Wärmeabgabefähigkeit bei möglichst kleinem Gehäusedurchmesser und ent-

²⁾ s. AEG-Mitt. (1938) 10, 482.

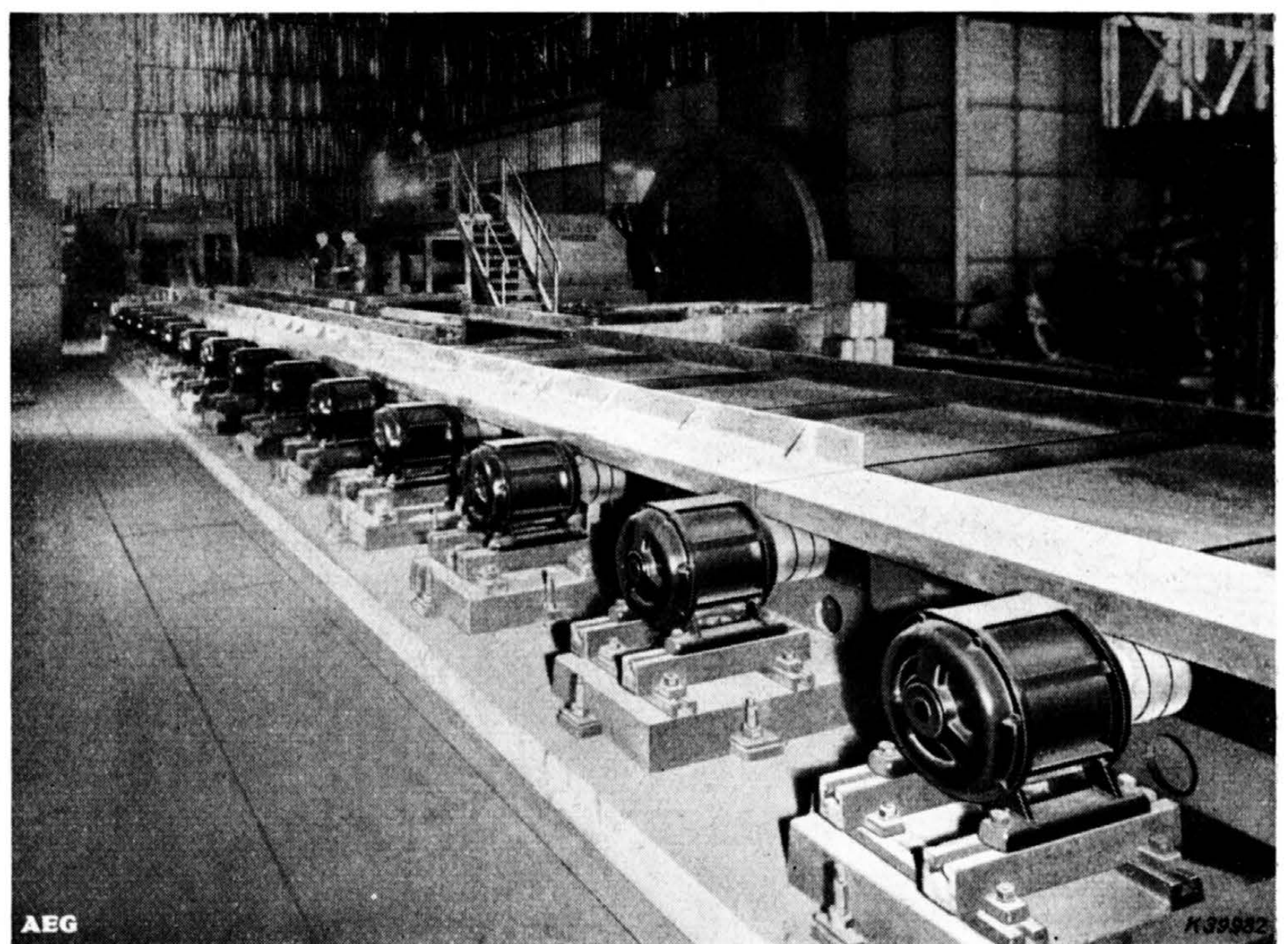


Bild 9. Arbeits-Verlängerungsrollgang einer Grobstraße. Rollen-Einzelantrieb mit vielpoligen Motoren, direkte Kupplung von Motor und Rolle.

sprechend vergrößerter Eisenbreite. Bei schnelllaufenden Motoren mit Drehzahlen von 500 U/min und darüber, die über Getriebe die Einzelrollen antreiben, ist außerdem eine Außenbelüftung vorgesehen; die Gehäuse erhalten in diesem Falle Längsrippen.

Bei den übrigen Walzwerk-Hilfsantrieben wie Blockdrückern, Gruppenantrieben von Arbeits-Rollgängen, Verschiebern, Kantern, Schleppern, Wippischen, Richtmaschinen u. a. werden fast ausschließlich Drehstrom-Schleifringläufermotoren für aussetzenden Betrieb vorgesehen und durch entsprechende Drehstrom-Schützensteuerungen angelassen, mit Gegenstrom abgebremst und umgesteuert.

Alle diese Drehstromausrüstungen haben trotz der sehr schweren Arbeitsbedingungen ihre Be-

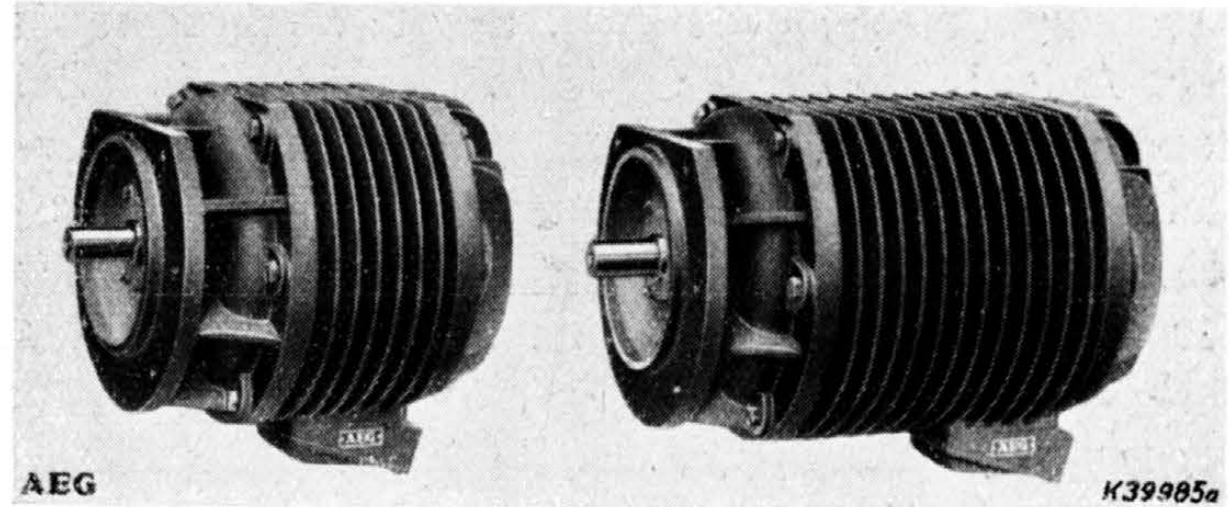


Bild 10. Sonder-Rollgangmotoren mit Käfigläufer, geschlossen, für 7,5 und 20 kgm Anfahrmoment für Rollen-Einzelantrieb in 30 poliger Ausführung, Gehäuse mit Kreisrippen, für Rollenantriebe mit sehr großer Schalthäufigkeit.

triebsicherheit bei den Walzwerk-Hilfsantrieben voll bewiesen, so daß die Gleichstromausrüstungen bei diesen Antrieben nur noch als Ausnahme angesehen werden können.

Drehstrom-Asynchronantriebe und die Lösung der Reglungsfrage in Druckluftanlagen.

Von K. Kochanke, Abteilung Industrie.

DK 621.3.025.3:621.51

In vielen Werkstätten werden heute Druckluftanlagen zum Betriebe der verschiedenen Werkzeuge und Druckluftmaschinen gebraucht. Zur Erzeugung der Druckluft kommen kleine und mittlere Kolben- und Rotationskompressoren in Betracht, die von jeher durch Drehstrommotoren angetrieben wurden. Während früher der Drehstrom-Schleifringmotor im Vordergrund stand, wird heute mehr und mehr der Kurzschlußmotor bevorzugt. Er ist billiger, und seine Bedienung ist einfacher. Für die Verwendung des Asynchronmotors sind nun zwei Punkte von Bedeutung: richtige Bemessung und Auswahl des Motors sowie seine Regelung.

Zur richtigen Auswahl des Asynchronmotors ist es unbedingt notwendig, genau über den Leistungs- und Momentenbedarf der anzutreibenden Verdichter unterrichtet zu sein. Bisher war es üblich, den Motor in der Leistung 10...20% größer zu wählen, als der Kraftbedarf von der Verdichterrfirma angegeben wurde. Diese Auswahl führte oft dazu, den Motor so reichlich zu wählen, daß er später im Betrieb nur teilbelastet war. Hierbei wurden ein schlechter Wirkungsgrad und Leistungsfaktor in Kauf genommen.

Ist nun der höchste im Betriebe auftretende Leistungsbedarf des Verdichters genau bekannt, so genügt tatsächlich eine Leistungsreserve von nur 5% bei direkter Kupplung und von etwa 8% bei Riemenantrieben. Der Motor ist meist nur aussetzend belastet und muß trotzdem, schon um den Bestimmungen des VDE zu genügen, eine 1,5fache Überlastung während 2 min in betriebswarmem Zustand ohne weiteres hergeben. Kurze Laststöße, die keine Übererwärmung erzeugen, werden bis

zum Kippmoment (1,6...2faches Nennmoment) vom Motor durchgezogen.

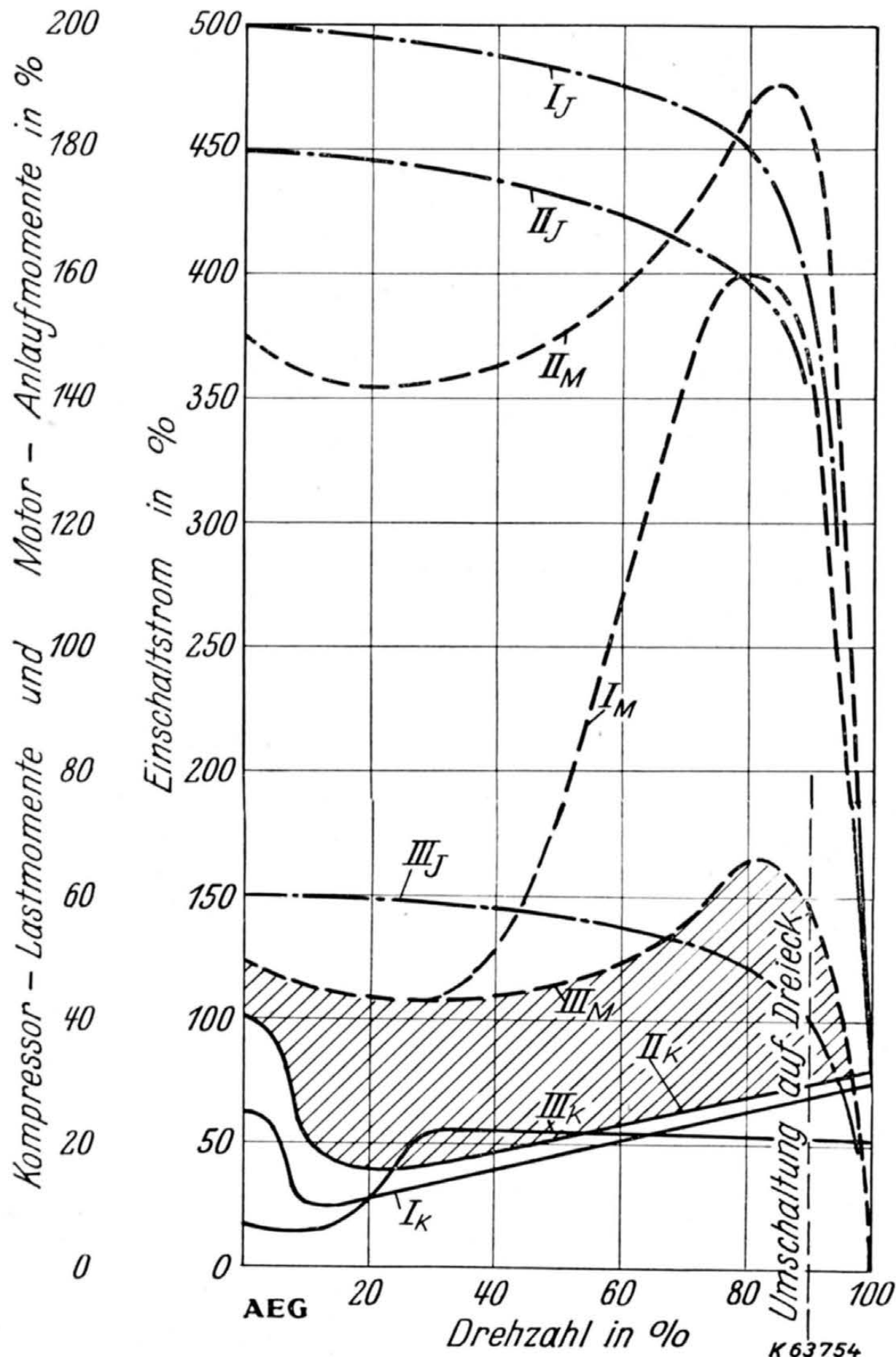
Alle neuzeitlichen Verdichter haben eine Leerlaufeinrichtung, die den entlasteten Anlauf gestatten. Bild 1 zeigt den Verlauf der Motor-Anlaufmomente. Schleifringmotoren erfüllen stets die Anlaufbedingungen, und es genügt in den meisten Fällen ein Halblastanlasser.

Bei der Auswahl der Kurzschlußmotoren genügen im allgemeinen zwei Läufer Typen, der Kurzschlußanker (Einfachkäfig) und der Doppelnutanker (Doppelkäfig). Unter Berücksichtigung der direkten und Stern dreiecks einschaltung ergeben sich dann folgende Anlaufverhältnisse:

- direkte Einschaltung eines Kurzschlußmotors,
 - Anlaufmoment etwa 0,5fach,
 - Einschaltstrom etwa 5fach;
- direkte Einschaltung eines Doppelnutmotors,
 - Anlaufmoment etwa 1,5fach,
 - Einschaltstrom etwa 4,5fach;
- Stern dreiecks einschaltung eines Doppelnutmotors,
 - Anlaufmoment etwa 0,5fach,
 - Einschaltstrom etwa 1,6fach.

Den Momenten- und Stromverlauf dieser drei Fälle während der Hochlaufzeit zeigt ebenfalls Bild 1. Für die meisten Verdichter reichen diese Momente aus. Es ist nur darauf zu achten, daß stets ein genügend großes Beschleunigungsmoment für den Hochlauf des Antriebes zur Verfügung steht. Bei Verdichtern mit kleiner Schwungmasse und direkter Kupplung genügt ein geringes Überschußmoment (schraffierte Fläche), während bei Verdichtern mit großen Schwungmassen oder hohen Übersetzungen ein größeres Überschußmoment zur

Beschleunigung erforderlich ist. Eine Nachrechnung der Anlaufzeit ist hier stets erforderlich. Bei Zellenradverdichtern ist meistens von der Herstellerfirma eine bestimmte Anlaufzeit vorgeschrieben, die mit Rücksicht auf die Lebensdauer der umlaufenden Teile nicht unterschritten werden



- Kompressor-Lastmomente,
- - - - - Einschaltströme,
- — — — — Motor-Anlaufmomente,
- I_K = Leerlaufmoment des Kolbenverdichters mit abgehobenen Saugventilen,
- II_K = Leerlaufmoment des Kolbenverdichters bei abgeschlossener Saugleitung,
- III_K = Leerlaufmoment des Zellenverdichters mit Umlaufentlastung,
- I_M = Anlaufmoment bei direkter Einschaltung eines Kurzschlußmotors,
- II_M = Anlaufmoment bei direkter Einschaltung eines Doppelnutmotors,
- III_M = Anlaufmoment bei Stern-dreieck-Einschaltung eines Doppelnutmotors,
- I_J = Anlaufstrom bei direkter Einschaltung eines Kurzschlußmotors,
- II_J = Anlaufstrom bei direkter Einschaltung eines Doppelnutmotors,
- III_J = Anlaufstrom bei Stern-dreieck-Einschaltung eines Doppelnutmotors.

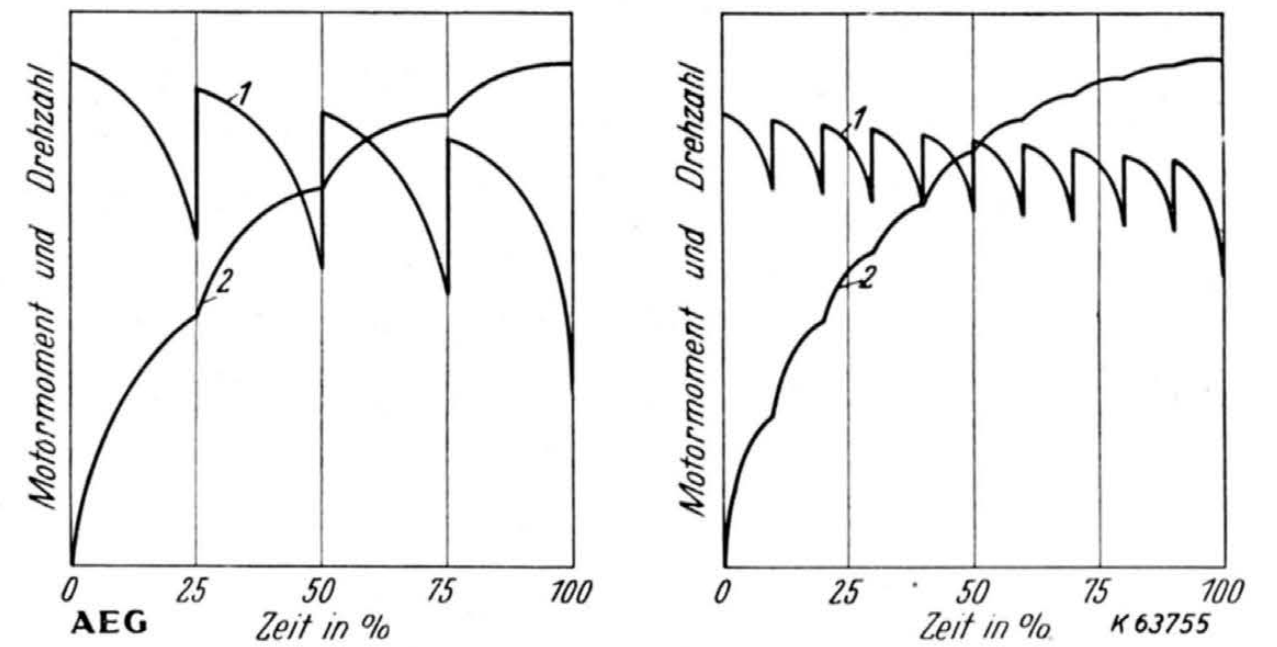
Bild 1. Strom- und Momentenverlauf.

soll. Hierbei ist es auch erstrebenswert, daß die Beschleunigung während des ganzen Hochlaufes möglichst konstant bleibt, um unerwünschte Stöße zu vermeiden (Sanftanlauf).

Während beim Anlassen von Hand der Anlaßvorgang (Anlasser und Stern-dreieckschalter) von

der Willkür des Bedienenden abhängig ist, muß bei einer Fernsteuerung oder selbsttätigen Regelung die Anlaßzeit (bei Stern-dreieck-Einschaltung die Umschaltzeit) genauestens den Anlaufbedingungen des Verdichters angepaßt werden. Bei Verdichterantrieben verwendet man im allgemeinen eine zeitabhängige Steuerung.

Für das selbsttätige Anlassen von Schleifringmotoren verwendet man Schützenselbstanlasser



a) Mit Schützenselbstanlasser, 1 = Motor-Anlaufmoment, 2 = Motor-Drehzahl.
b) Mit motorischem Selbstanlasser, 1 = Motor-Anlaufmoment, 2 = Motor-Drehzahl.
Bild 2. Zeitabhängige Einschaltung eines Schleifringmotors.

oder Schaltwalzenanlasser mit aufgebauten Drehmoantrieben. Bild 2 zeigt die zeitabhängige Einschaltung eines Schleifringmotors mit Schützenselbstanlasser und mit motorischem Selbstanlasser. Während der Schützenselbstanlasser mit Rücksicht auf seine Preiswürdigkeit nur wenig Stufen aufweist, hat der motorische Selbstanlasser, der aus zwei reihenmäßig hergestellten Teilen besteht (Schaltwalze und Drehmoantrieb), bedeutend mehr Stufen. Dies wirkt sich natürlich auf den Verlauf des Anlaufstromes günstig aus.

Die Stern-dreieck-Einschaltung erfolgt durch Luft- oder Ölschütze. Die letztgenannten werden mit einer Motorschutzeinrichtung versehen und ersparen daher einen besonderen Motorschutzschalter. Bei größeren Leistungen verwendet man ebenfalls normale Schaltwalzen-Stern-dreieckschalter mit aufgebautem Drehmoantrieb. Da diese auch eine Nullstellung haben und die Kontakte unter Öl liegen, können mit diesem Schalter auch die betriebsmäßigen Abschaltungen vorgenommen werden (Bild 3).

Bei der direkten Einschaltung wer-

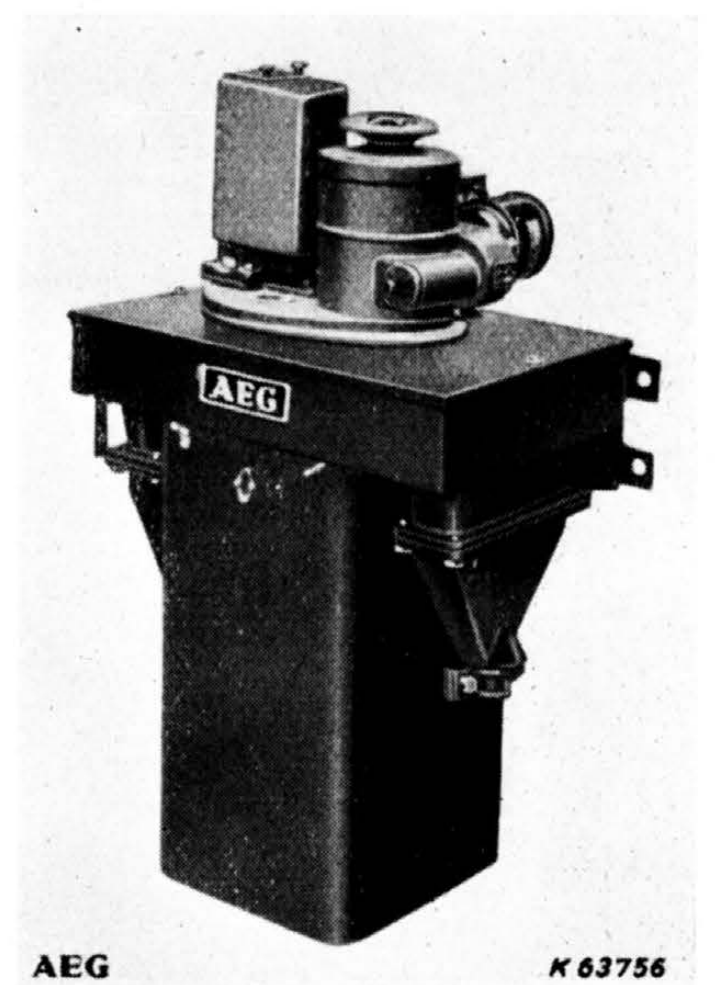


Bild 3. Schaltwalzen-Stern-dreieckschalter.

den Luft- oder Ölschütze verwendet. In Hochspannungsanlagen verwendet man mit Rücksicht auf die Schalthäufigkeit (etwa sechs je Stunde) Druckgas-schalter, die sich hier gut bewährt haben.

Die stark aussetzende Arbeitsweise der meisten Druckluftwerkzeuge und -Maschinen bringt es mit sich, daß der Druckluftbedarf in den weitesten Grenzen schwankt. Es ist hier also eine weitgehende Regelung der erzeugten Druckluftmenge erwünscht. Eine Drehzahlregelung scheidet beim Asynchronmotor aus wirtschaftlichen Gründen aus, da die in Frage kommenden Kolben- oder Rotationsverdichter ein stets gleichbleibendes Moment verlangen. Außerdem ließen die Verdichter auch aus mechanischen Gründen nur eine geringe Drehzahlregelung zu. Die Mindestdrehzahl ist bei Drehkolbenverdichtern durch die zum betriebsicheren Lauf der Arbeitsschieber notwendige Umfangsgeschwindigkeit (Fliehkraft) und bei Kolbenverdichtern durch das im Schwungrad zum Begrenzen des Ungleichförmigkeitsgrades zur Verfügung stehende Schwungmoment gegeben.

Die rein mechanische Leerlaufregelung, wie sie von den Verdichtern angewandt wird, bringt einen absatzweisen Leerlauf-Vollastantrieb. Der Verdichter selbst läuft dauernd mit voller Drehzahl durch. Voraussetzung für diese Regelung ist, daß ein genügend großer Windkessel als Luftspeicher zwischen Erzeuger und Verbraucher geschaltet ist, der bei geringem Verbrauch die überschüssige Förderung aufnimmt und bei größerem Verbrauch Druckluft zusätzlich abgibt. Der Leerlauf wird dadurch erreicht, daß die Saugventile durch Greifer abgehoben werden oder daß ein Umlauf zwischen Druck- und Saugseite hergestellt wird. Diese Leerlaufeinrichtungen werden durch Steuerluft betätigt, die dem Windkessel über ein

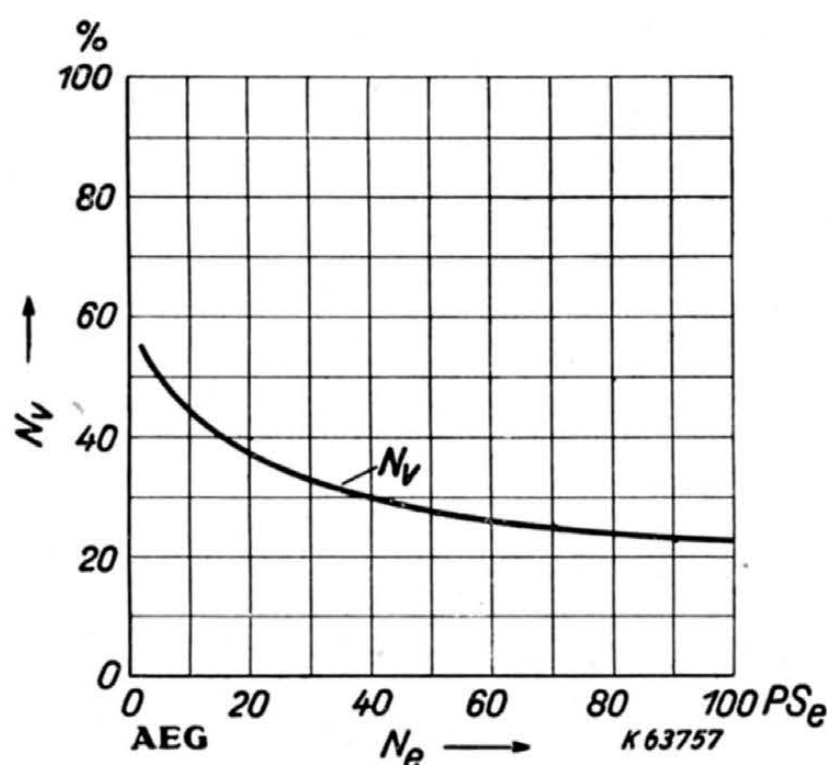
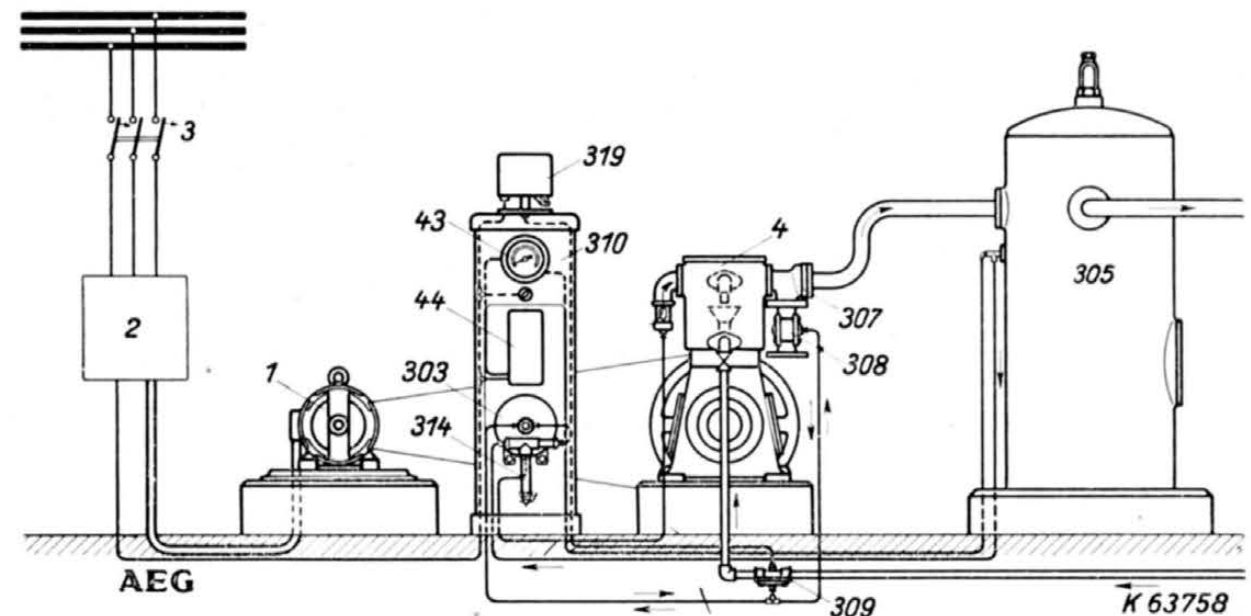


Bild 4. Verlustleistung bei mechanischer Leerlaufregelung.

feder- oder gewichtsbelastetes Vorsteuerventil (Regler) entnommen wird. Das Vorsteuerventil wird durch Druckluft vom Windkessel gesteuert. Diese Regelung ist zwar einfach, hat aber den Nachteil, daß während des Leerlaufs Motor und Verdichter leer durchlaufen und Verluste verursachen, die je nach Größe der Anlage 25÷50% der Vollastleistung betragen (Bild 4). Hinzu kommt der sehr schlechte Leistungsfaktor während des Leerlaufes, der die Phasenlage des Netzes ungünstig beeinflusst. Ferner ist im Leerlauf der

Kühlwasser- und Ölverbrauch der gleiche wie bei Vollast.

Außer dieser gibt es noch verschiedene mechanische Regeleinrichtungen, bei denen z. B. die Saugventile je nach Luftbedarf nur während eines bestimmten Teiles des Kolbenhubes offengehalten



- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1 = Motor, | 305 = Druckluftspeicher, |
| 2 = Ständerschütz, | 307 = Rückschlagventil, |
| 3 = Motorschutzschalter, | 308 = Pneumaventil, |
| 4 = Kompressor, | 309 = Kühlwasser-Absperrventil, |
| 43 = Kontaktmanometer, | 310 = Reglersäule, |
| 44 = Hilfsrelais für 43, | 314 = Steuerluft-KleinfILTER, |
| 303 = Membranentlaster, | 319 = Kühlwasser-Sicherheitsschalter. |

Bild 5. Grundsätzliche Anordnung des AEG-Elektro-Aussetzreglers.

werden (Mengen- oder Füllungsregelung), oder bei denen verschiedene Zylinderhälften zu- oder abgeschaltet werden (Stufenregelung). Diese Regelungen sind günstiger, kommen jedoch erst für größere Einheiten in Frage.

Um nun die Nachteile der erwähnten mechanischen Aussetzerregelung zu vermeiden, hat die AEG die sogenannte Elektro-Aussetzerregelung entwickelt, bei der der antreibende Elektromotor mit zu- und abgeschaltet wird. Diese Regelung vermeidet die Verluste des bei der mechanischen Regelung durchlaufenden Motors und Verdichters. Gleichzeitig werden das Kühlwasser und die Schmierung mit abgestellt, so daß auch diese Verluste fortfallen. Der Motor läuft also stets voll belastet und hat hier seinen besten Wirkungsgrad und Leistungsfaktor, oder er ist vollkommen abgeschaltet. Bedingung für diese Regelung ist ebenfalls ein genügend großer Windkessel als Speicher, der zwischen Erzeuger und Verbraucher geschaltet ist. Der Windkesselinhalt muß so bemessen sein, daß die Anlage wirtschaftlich arbeitet und die Schalthäufigkeit nicht zu groß wird. Für die Bemessung des Windkessels gilt folgende Formel:

$$J = 0,275 \cdot \frac{V}{z \cdot \Delta p} \text{ worin}$$

J = Windkesselinhalt in m^3 ,

V = angesaugte Luftmenge des Verdichters in m^3/h ,

z = Schalthäufigkeit je Stunde,

Δp = Druckunterschied in at.

Die Druckluftwerkzeuge arbeiten am günstigsten bei einem mittleren Druck von 6 atü. Die obere Grenze für die Wirtschaftlichkeit ist 7 atü und die untere 5 atü. Hiermit ist also der Druck-

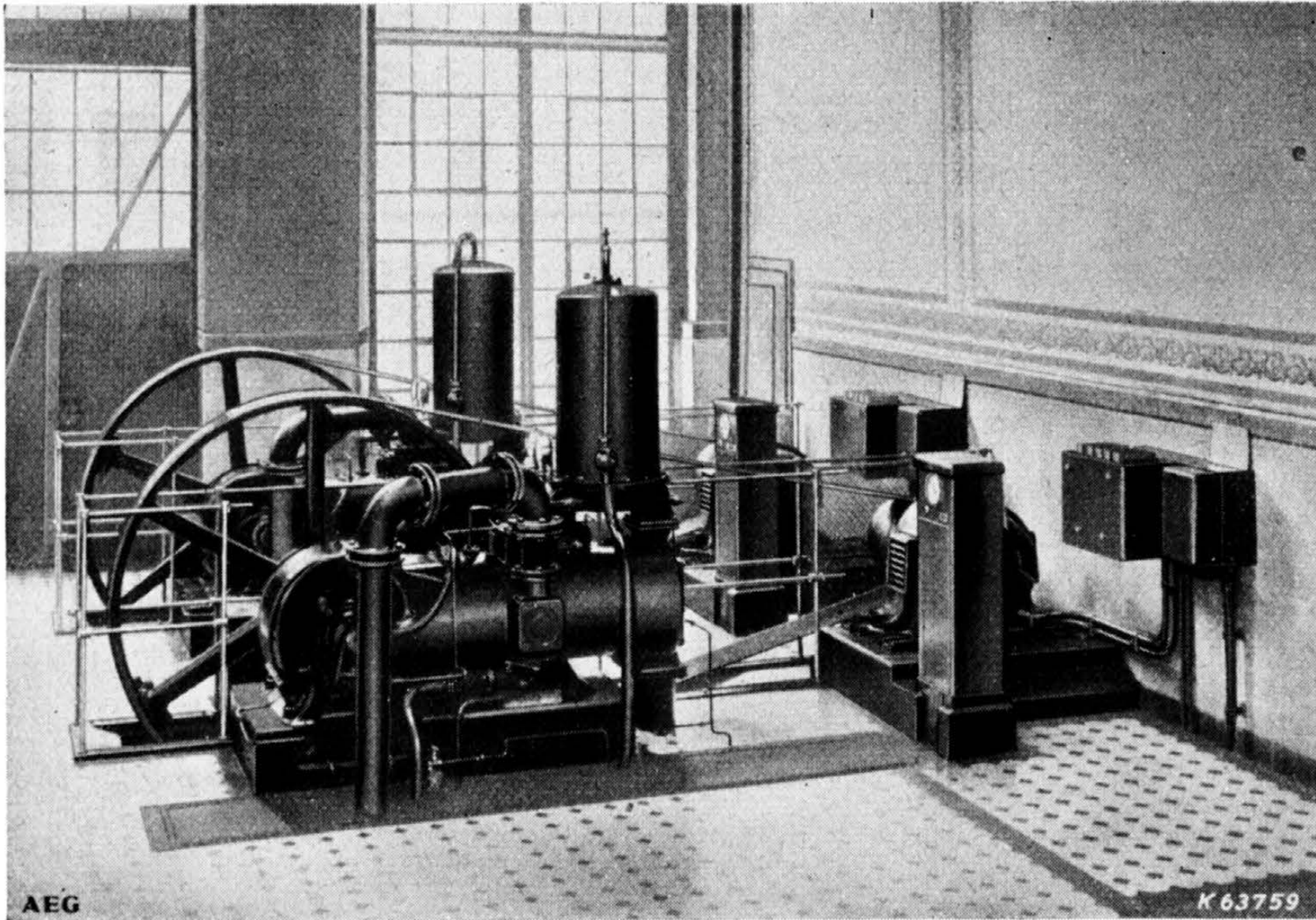


Bild 6. Zwei Kompressoren in einer Automobilfabrik, angetrieben durch Kurzschlußmotoren von je 150 PS.

unterschied zu 2 at festgelegt. Die Schalthäufigkeit wählt man, wie die Praxis zeigt, zu 8 je Stunde. Hieraus ergibt sich folgende vereinfachte Formel:

$$J = 0,017 \cdot V, \text{ oder wenn man statt } V \text{ in m}^3/\text{h, } v \text{ in m}^3/\text{min} \text{ einsetzt,}$$

$$J = v \text{ (m}^3/\text{min)}, \text{ d. h. der Windkesselinhalt muß gleich der minutlichen Ansaugleistung des Verdichters sein.}$$

Mit Rücksicht auf das öftere Anlassen und Einschalten der Elektro-Aussetzerreglung ist es außerordentlich wichtig, daß zur Schonung der Triebwerksteile sowie zwecks leichteren Anlaufens der Verdichter vollkommen entlastet anlauft, d. h. die an jedem Verdichter vorhandene Leerlaufeinrichtung muß vor jedem Einschalten selbsttätig mitbetätigt werden. Bei umlaufenden Maschinen (Zellenradverdichtern) ist auch ein entlasteter Auslauf zu fordern, da diese Maschinen im Gegensatz zu Kolbenmaschinen nur geringe Schwungmassen haben und beim Abschalten den Gegendruck nicht überwinden können, daher zu plötzlich zum Stillstand kommen oder sogar rückwärts laufen.

Bild 5 zeigt die grundsätzliche Anordnung des Elektro-Aussetzreglers für eine Anlage mit Doppelnutmotor bei direkter Einschaltung. Die Reglersäule *e* enthält alle nur Steuerstrom führenden Steuerungsgeräte und die mechanischen und elektrischen Verbindungsleitungen. Hierdurch wird die Montage am Auf-

stellungsort vereinfacht und verbilligt.

In Bild 6 sieht man zwei ausgeführte Anlagen in einer mittel-deutschen Automobilfabrik. Die liegenden Verdichter (je $19 \text{ m}^3/\text{min}$ Ansaugleistung bei 8 atü Enddruck) werden durch Sonderriemen von Kurzschlußmotoren für Stern-dreieckschaltung, je 150 PS Leistung, angetrieben. Die Motorschutzschalter und die Schützen - Stern-dreieckschalter sind an der rechten Wand angeordnet. Die Reglersäulen, die alle notwendigen Steuergeräte enthalten, sind davor auf kleinen Fundamentsockeln aufgestellt. In der Reglersäule sind eingebaut: ein Manometer zum Ablesen des jeweiligen Druckes, ein Druckschalter, der die Anlage selbsttätig

ein- und ausschaltet, ein Handbetätigungsschalter zum Ein- und Ausschalten der Anlage von Hand, ein Kühlwasser-Sicherheitsschalter, der die Anlage bei Unterschreiten des erforderlichen Kühlwasserdruckes abschaltet, ein Magnetentlaster mit Steuerluftfilter, der die Ent- und Belastung des Verdichters einleitet, und die Steuerstromsicherungen. Der Schützen - Stern-dreieckschalter enthält: ein dreipoliges Dreieckschütz, ein zweipoliges Sternschütz und ein einstellbares Zeitrelais. Dieses Zeitrelais, das die Umschaltung von Stern auf Dreieck bewirkt, kann entsprechend den Anlaufbedingungen des Verdichters eingestellt werden. Der Motorschutzschalter hat thermische Auslöser zum Schutze gegen Überlastungen, magnetische Schnellauslöser für den Kurzschlußschutz und Unterspannungsauslösung. Er ist für Handbetätigung gewählt, da er im regelmäßigen Betrieb immer eingeschaltet bleibt

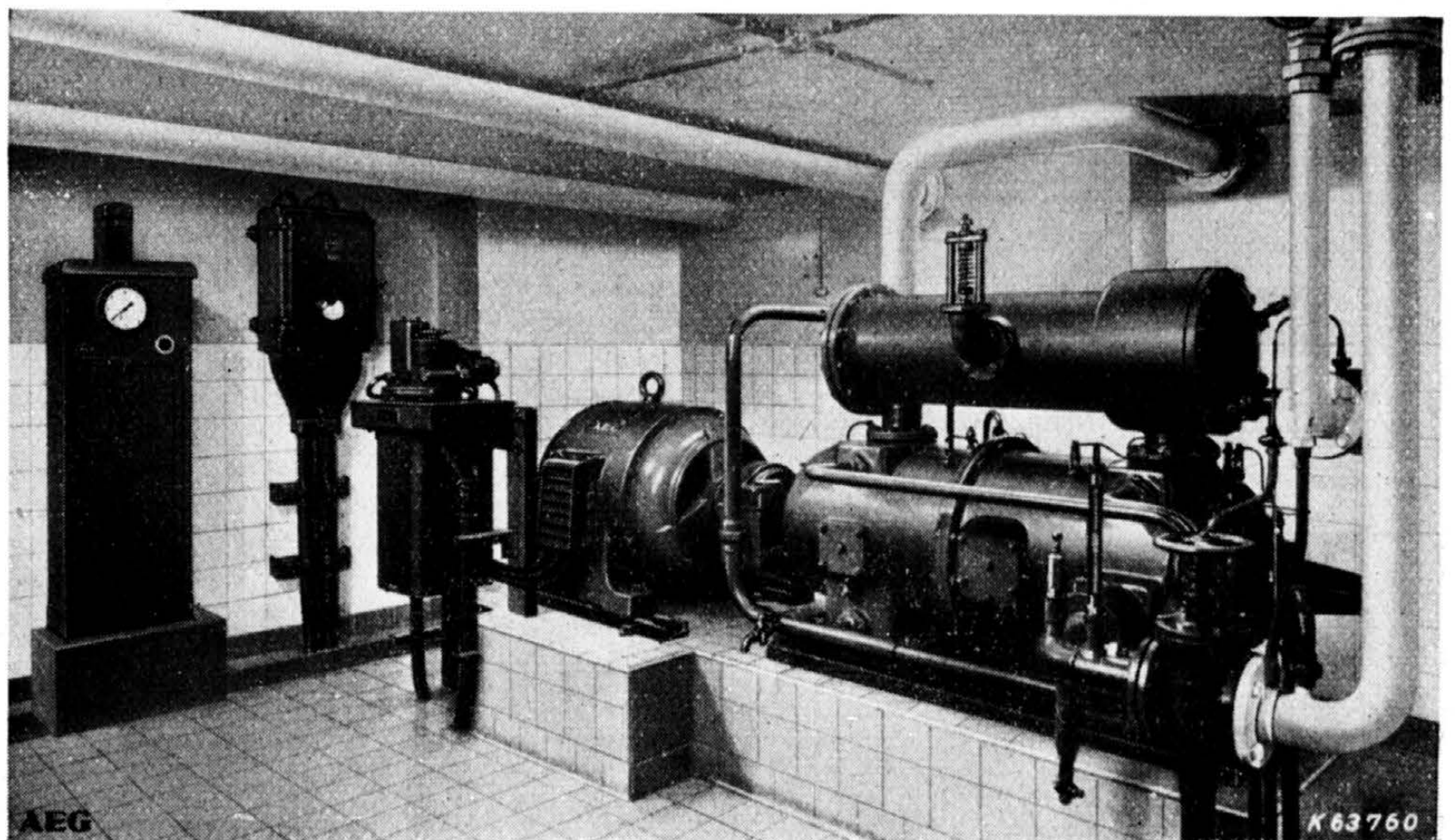


Bild 7. Zellenradverdichter, angetrieben durch Doppelnutmotor für Stern-dreieck-Einschaltung, 80 kW.

und nur bei längeren Betriebspausen oder in Störungsfällen ausgeschaltet wird. Alle Leitungen sind soweit wie möglich in Kanälen im Fußboden verlegt, so daß hier eine sehr übersichtliche Anlage geschaffen wurde.

Aus Bild 7 ist eine Anlage mit einem zwei-stufigen Zellenradverdichter zu ersehen. Der Ver-

dichter hat eine Ansaugleistung von $15 \text{ m}^3/\text{min}$ bei einem Enddruck von 7 atü. Der direkt gekuppelte Doppelnutmotor für Sterndreieckschaltung hat eine Leistung von 80 kW bei 960 U/min. Neben dem Motor steht der selbsttätige Sterndreieckschalter, der aus einer gewöhnlichen Schaltwalze mit aufgebautem Drehmoantrieb besteht (s. Bild 3).

Aus der Geschichte des Drehstromantriebes in der Textilindustrie.

Von H. Stein, Abteilung Industrie.

DK 621.3.025.3:677.02.(091)

Die Aufstellung von Textilmaschinen erfordert im allgemeinen große Arbeitssäle. Insbesondere bei Shedbauten erreichen schon mittlere Betriebe recht beträchtliche Ausmaße. Für die Verlegung von Transmissionseinrichtungen — Seiltrieben, langen Wellensträngen — ergeben sich deshalb gewisse Schwierigkeiten. Diese wurden früher dadurch zu umgehen versucht, daß bei ausgedehnten Anlagen mehrere verteilt angeordnete Kesselanlagen mit zugehörigen Dampfmaschinen aufgestellt wurden. Schon frühzeitig wurden von der Textilindustrie die Vorteile der elektrischen Kraftübertragung erkannt. Nicht nur als Gruppenantriebe, sondern auch als Einzelantriebe wurden in älteren Anlagen bereits Gleichstrommotoren benutzt. Wegen der Vorteile, die der Drehstrom-Asynchronmotor bietet, hat sich schon bald nach Bekanntwerden der ersten Drehstromausrüstungen auch für die Elektrifizierung von textilindustriellen Betrieben der Drehstrom eingeführt. Seine Vorzüge wurden schon frühzeitig erkannt. So wird beispielsweise in einer Druckschrift „Elektrische Kraftübertragung und Kraftverteilung“ der AEG Berlin (Verlag Julius Springer) vom Jahre 1894 unter Abschnitt „Elektrisch betriebene Zentrifugen“ ausgeführt:

„So gut wie unbrauchbar erwies sich für den Antrieb von Zentrifugen der Gleichstrommotor. Alle diesem anhaftende Übelstände fallen bei dem AEG-Drehstrommotor weg, da er, wie schon erwähnt, weder Kommutator noch Bürstenapparat besitzt. Er erfüllt vielmehr infolge dieses Umstandes und infolge seiner übrigen günstigen Eigenschaften alle Bedingungen für einen sicheren und zweckmäßigen Zentrifugenbetrieb.“

Bei den vielfach recht kleinen Antriebsleistungen der Arbeitsmaschinen konnte man dabei meist den Käfigläufermotor anwenden, der sich insbesondere beim Webstuhl-Einzelantrieb bewährte, da hiermit den vorliegenden Betriebsbedingungen am besten entsprochen werden kann.

Die Firma C. C. Bang, Nachf., Rheydt/Rhld., brachte zur Feier ihres 50jährigen Geschäftsjubiläums im Jahre 1900 eine Druckschrift heraus, der die nachfolgenden Einzelheiten entnommen sind:

Bild 1 zeigt die Kraftanlage mit einem Drehstromgenerator von 72 kW, 120 V, 430 U/min. Bild 2 bringt einen Websaal mit elektrisch betriebenen Webstühlen.

Im dazugehörigen Text wird u. a. folgendes ausgeführt:

„Der Antrieb der mechanischen Webstühle erfolgte zunächst durch Transmissionen, die, von einer Dampfmaschine angetrieben, mehrere Webstühle gruppenweise betätigten. Wenngleich diese Transmissionen natürlich im Laufe der Jahre mancherlei Verbesserungen und Vereinfachungen erfuhren, so lag es doch nahe, die Elektrizität, nachdem dieselbe auf zahlreichen anderen Gebieten epochemachende Umwälzungen bewirkt hatte, auch in Webereien einzuführen. Die großen Vorzüge des elektrischen Lichtes gaben zunächst Veranlassung, diese neue Beleuchtungsart anzuwenden. Die Versuche aber, die Elektrizität auch zum Betrieb des Webstuhles nutzbar zu machen, blieben längere Zeit ohne Erfolg und erst vor kurzer Zeit ist es der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin gelungen, einen neuen Elektromotor speziell für Webstuhlbetrieb zu konstruieren, welcher mittels Drehstromes angetrieben die Aufgabe, jeden Webstuhl mit seinem eigenen Motor zu versehen, in endgültig zufriedenstellender Weise gelöst hat.“

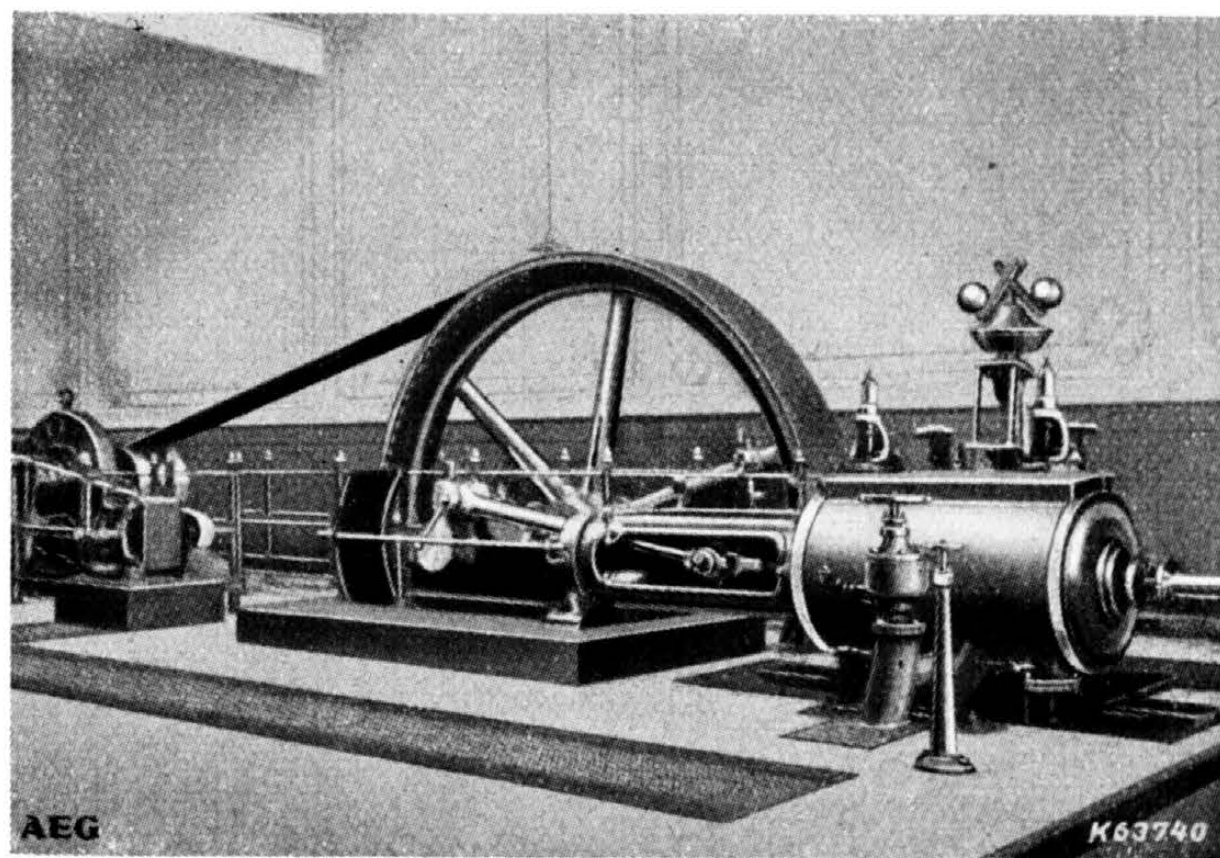


Bild 1. Kraftanlage der Weberei C. C. Bang Nachf., Rheydt/Rhld., aus dem Jahre 1900, bestehend aus Dampfmaschine und Drehstromerzeuger.

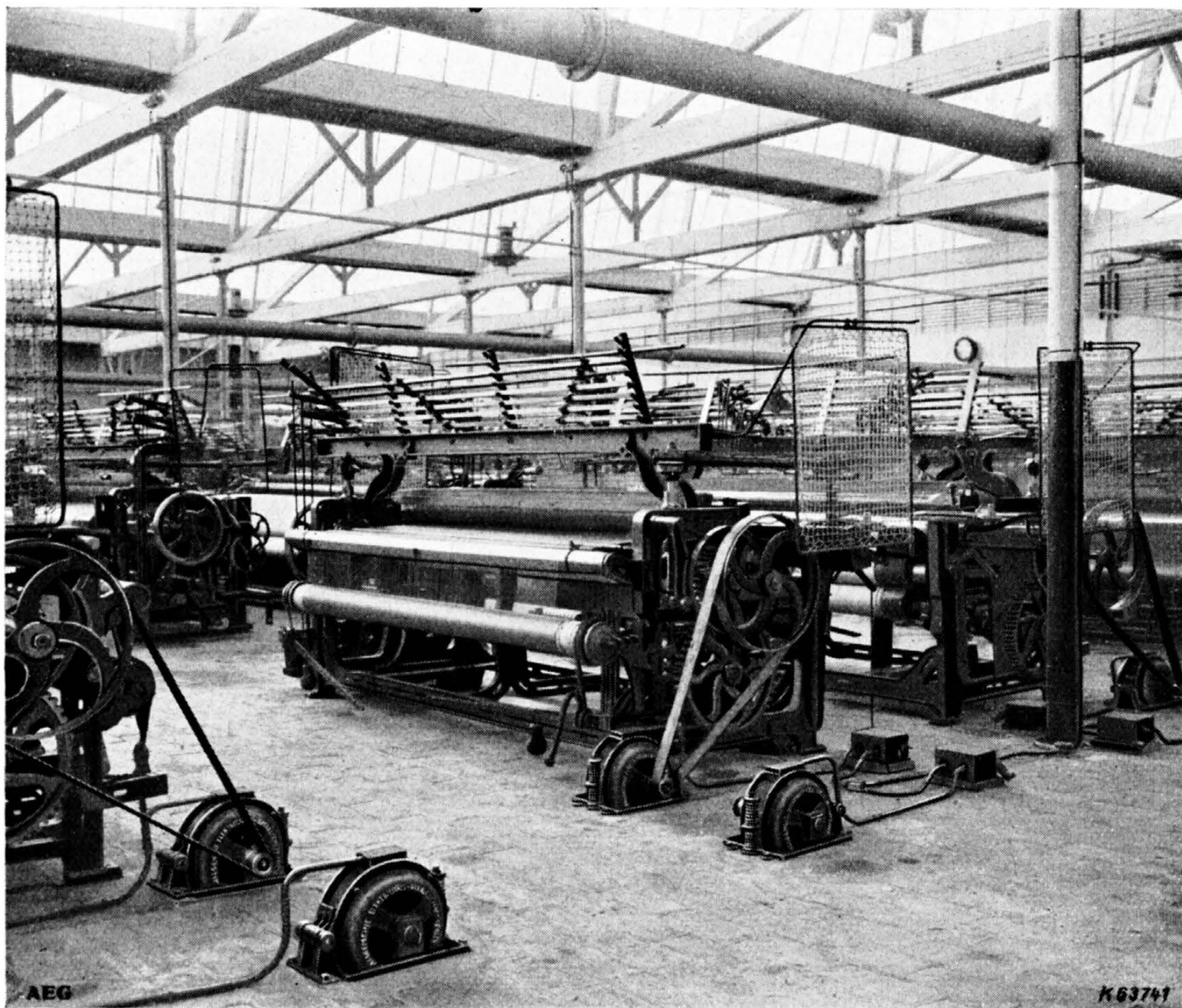


Bild 2. Websaal der Firma C. C. Bang Nachf., Rheydt/Rhld., mit elektrisch betriebenen Webstühlen.

Der früher ausschließlich verwendete Gleichstrommotor besitzt in seinem aus vielen einzelnen voneinander isolierten Segmenten zusammengesetzten Kommutator einen empfindlichen, dauernder Wartung bedürftigen Maschinenteil. Bei einer großen Anzahl von Motoren würde aber die Instandhaltung dieses Apparates einen unverhältnismäßig hohen Arbeitsaufwand erfordern. Aus diesem Grunde ließ sich mit Gleichstrom der Einzelantrieb in Webereien nicht durchführen.“

Auch für die Ausrüstungsmaschinen wurde bei der Einrichtung der Firma C. C. Bang mit Drehstrom elektrischer Einzelantrieb gewählt. Bild 3 bringt die Antriebsanordnung für eine Scheermaschine.

Nicht ohne Reiz ist es, an Hand alter Druckschriften die Fortentwicklung der Webstuhlantriebe zu verfolgen. Auf das Jahr 1901 gehen Vorschläge zurück, den Webstuhlmotor pendelnd aufzuhängen und durch Federpufferung dem Motorgehäuse bei Laständerungen die Möglichkeit zu geben, auszuschwingen. Hierdurch wird eine Dämpfung der auf den Mo-

torläufer übertragenen Drehmomente und damit ein günstigeres energie-wirtschaftliches Arbeiten der Antriebsanordnungen erreicht. Bild 4 zeigt einen solchen Pendelantrieb an einem Webstuhl mit Jacquardvorrichtung.

Ehe die Webstühle selbst für den Anbau der Motoren durch entsprechende Ausbildung der Webstuhlwand bzw. dazugehöriger Konsole geeignet gemacht wurden, fanden insbesondere für die Umänderung vorhandener Stühle in großer Zahl „Bockantriebe“ Anwendung. Bild 5 zeigt einen solchen ersten Bockantrieb, bei dem bereits, wie auch heute üblich, die Kurbelwelle durch ein besonderes Lager

gestützt und dadurch starrer Zahneingriff von Zahnrad und Ritzel gewährleistet wird.

Einer Druckschrift vom April 1899 ist Bild 6 entnommen. Der betreffende Textilbetrieb, die Berliner Bleicherei, Färberei und Druckerei Oberspree AG, bezog von dem Elektrizitätswerk Oberspree Dreh-

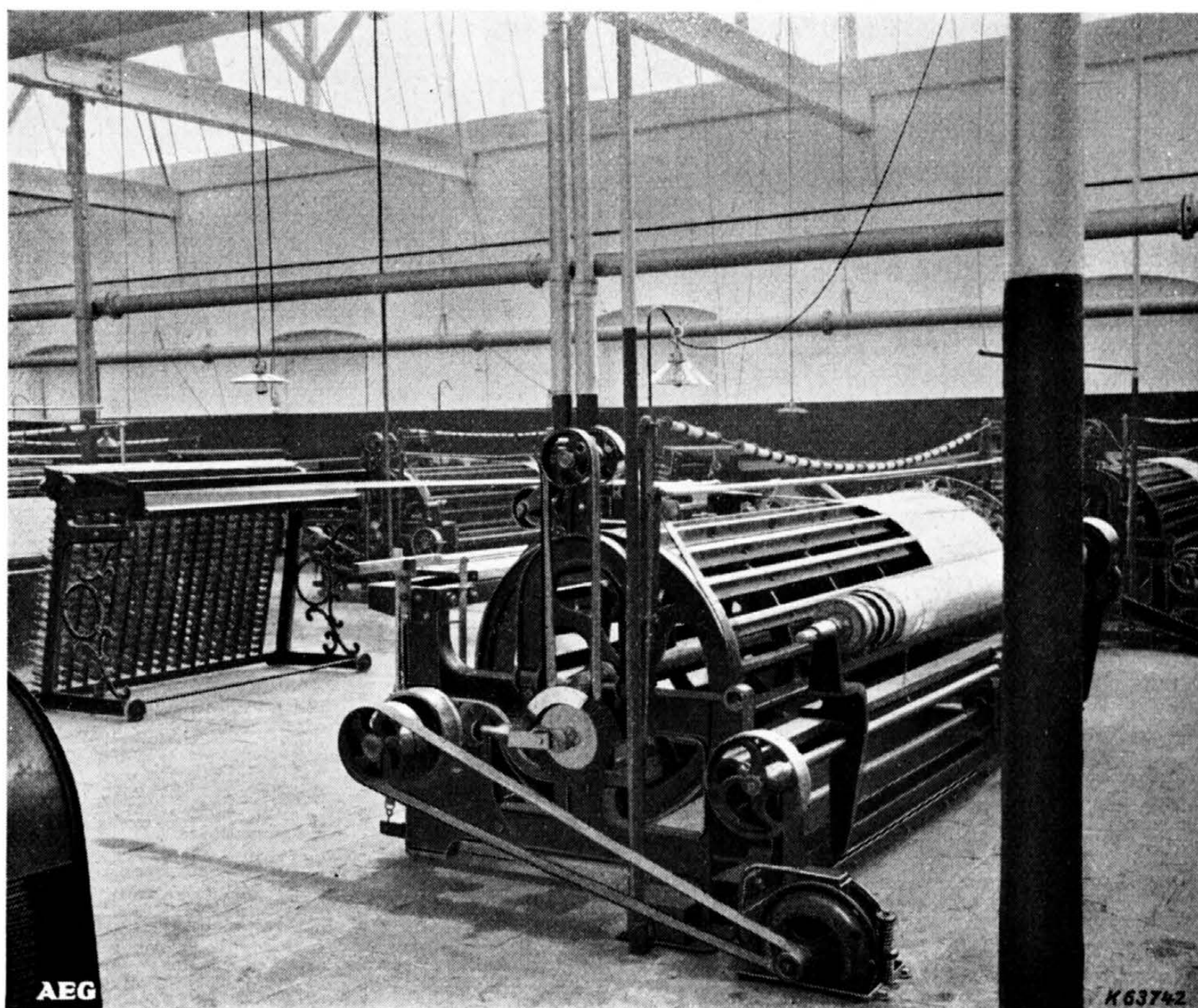


Bild 3. Elektrischer Antrieb einer Scheermaschine in der Weberei C. C. Bang Nachf., Rheydt/Rhld.

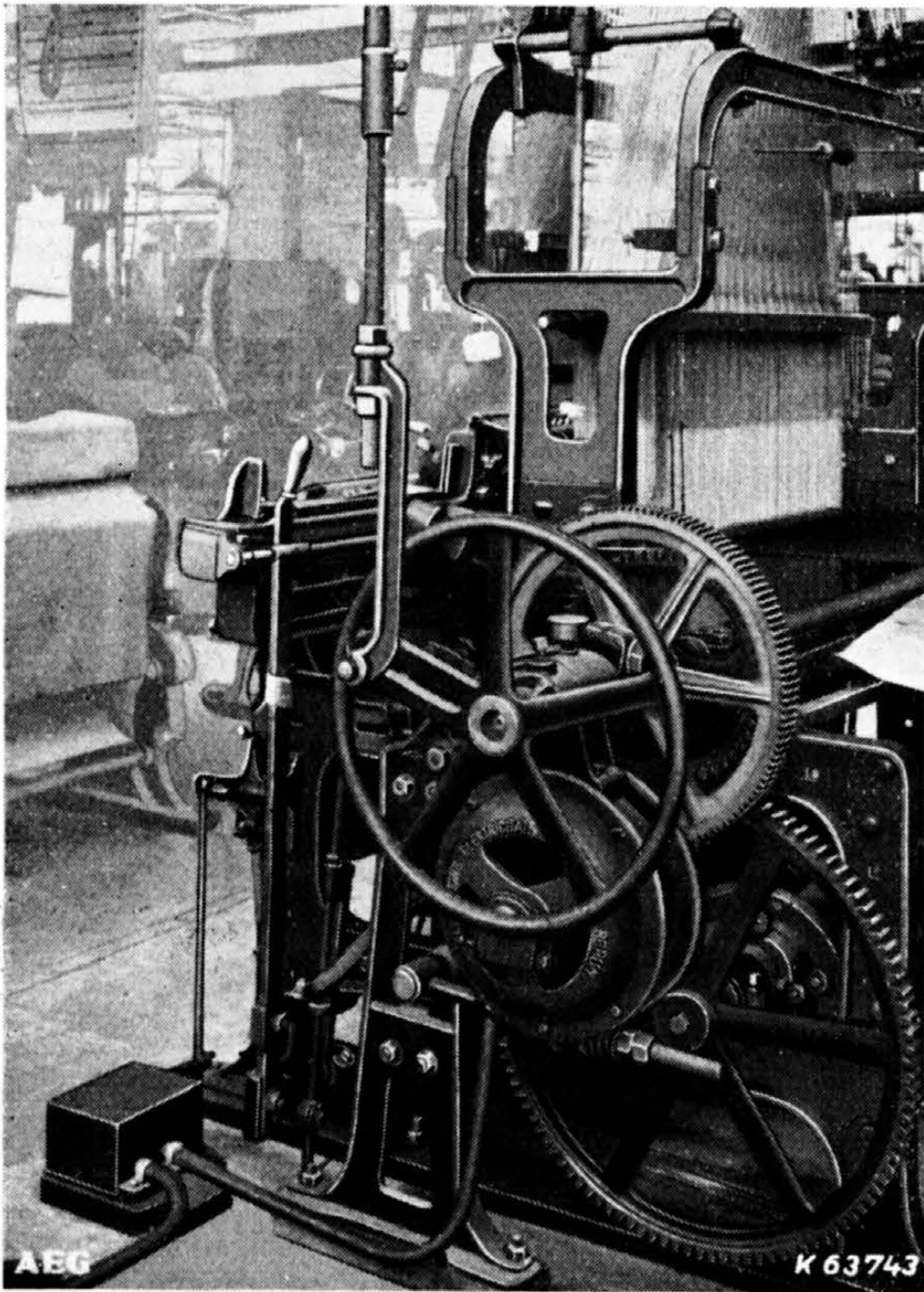


Bild 4. Pendelantrieb an einem Webstuhl mit Jacquard-Vorrichtung.

und wesentliche Vereinfachung des Betriebes bei billigem Tarif des den Strom liefernden Elektrizitätswerkes von RM 0,10 für die Kilowattstunde, durch den eine gute Wirtschaftlichkeit gesichert war. Außerdem liefert das Elektrizitätswerk Oberspreewald Drehstrom und sind gerade die Drehstrom-

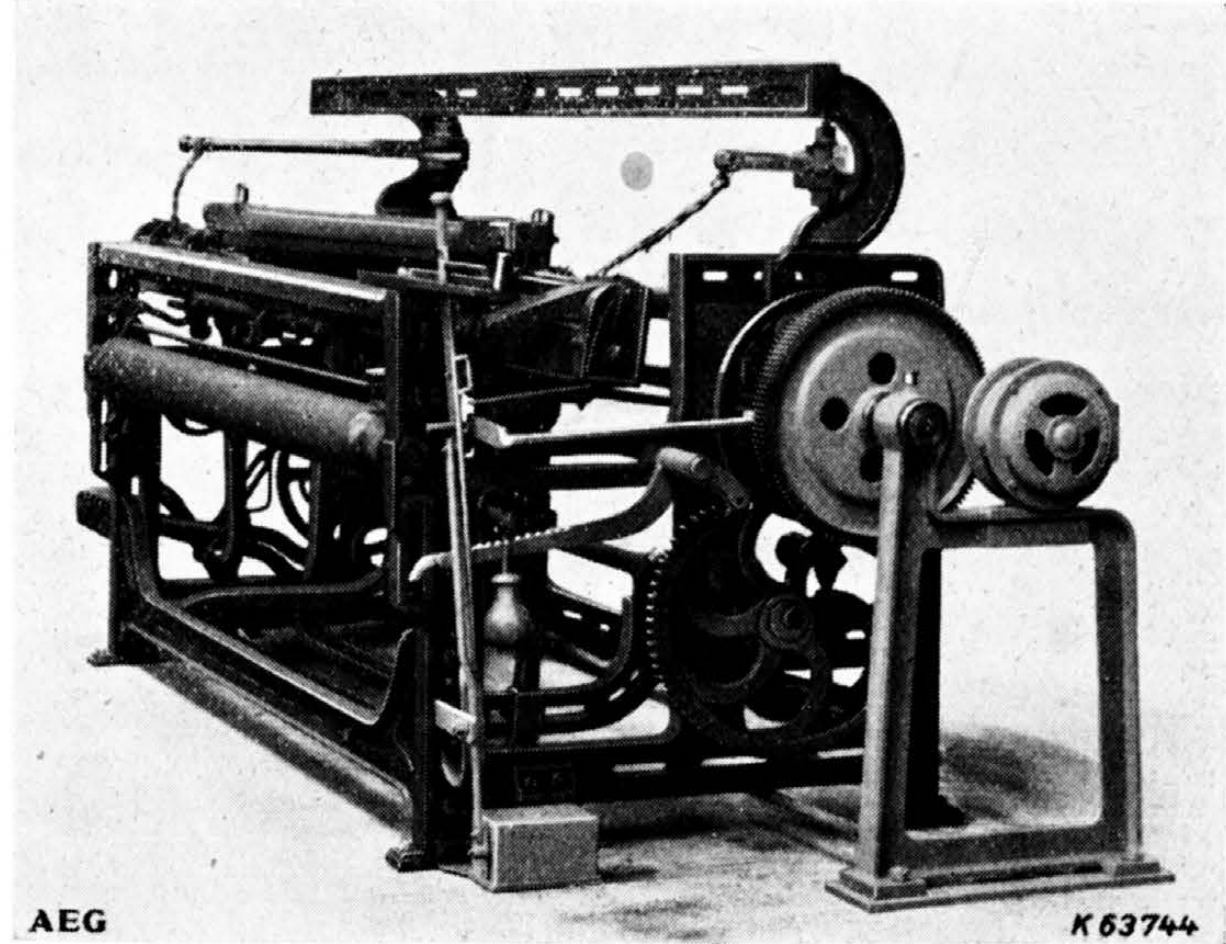


Bild 5. „Bockantrieb“ eines Webstuhls.

strom von 6000 V, der von den im Werk aufgestellten Transformatoren auf 500 V für die größeren und 110 V für die kleineren Motoren unter 15 PS umge-

motoren infolge ihrer großen Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit, Nässe und Schmutz ganz besonders für den vorliegenden Betrieb geeignet.“

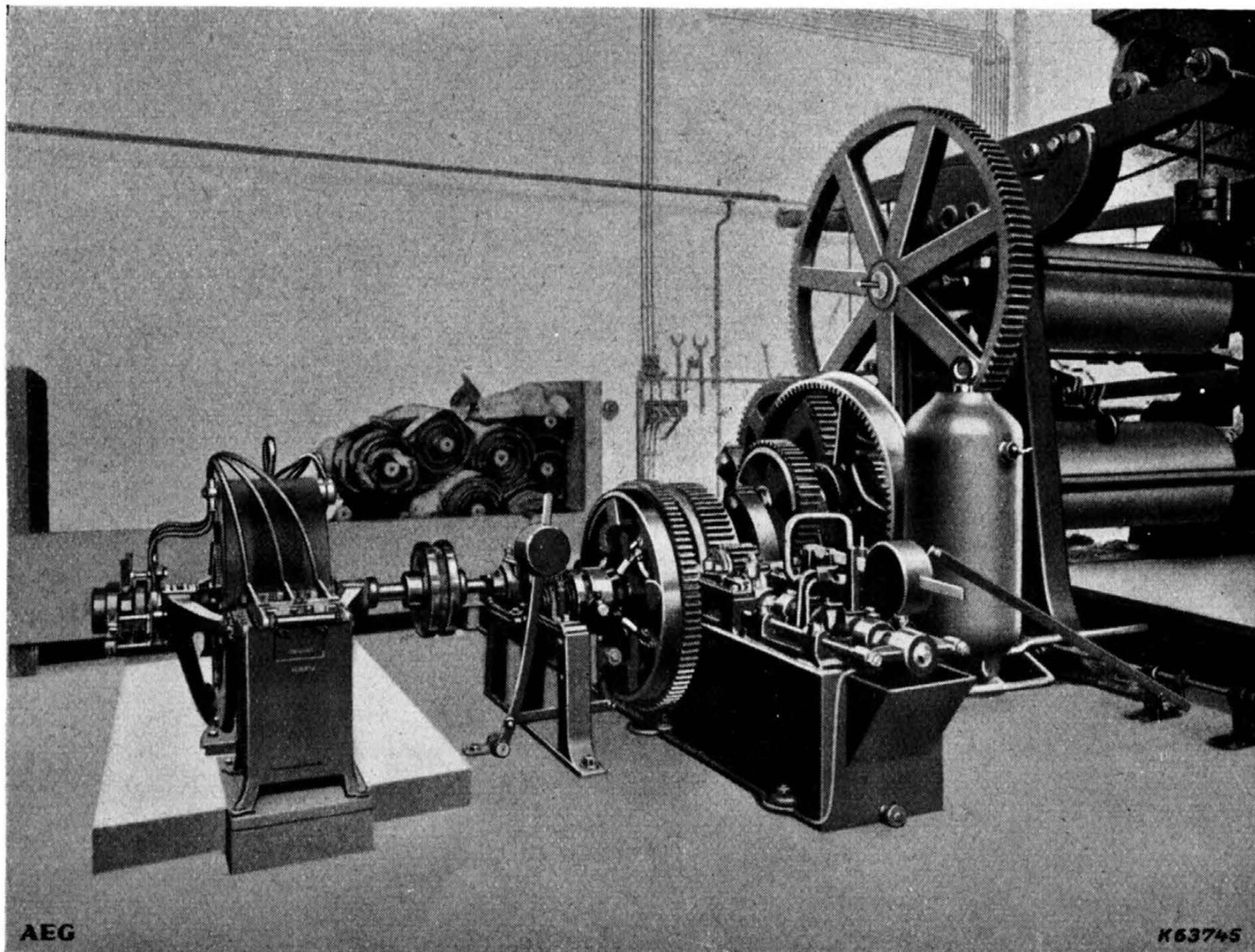


Bild 6. Antrieb einer hydraulischen Mangel durch Drehstrommotor.

formt wurde. Die hierfür maßgebenden Gründe waren:

„Erhebliche Platzersparnis durch den Fortfall der Kesselanlage, nebst Dampfmaschine und Dynamos

Zu dem Antrieb der auf dem Bild gezeigten hydraulischen Mangel wird angegeben:

„Bei der hydraulischen Mangel ist der Elektromotor direkt mit der Hauptwelle der Maschine ge-

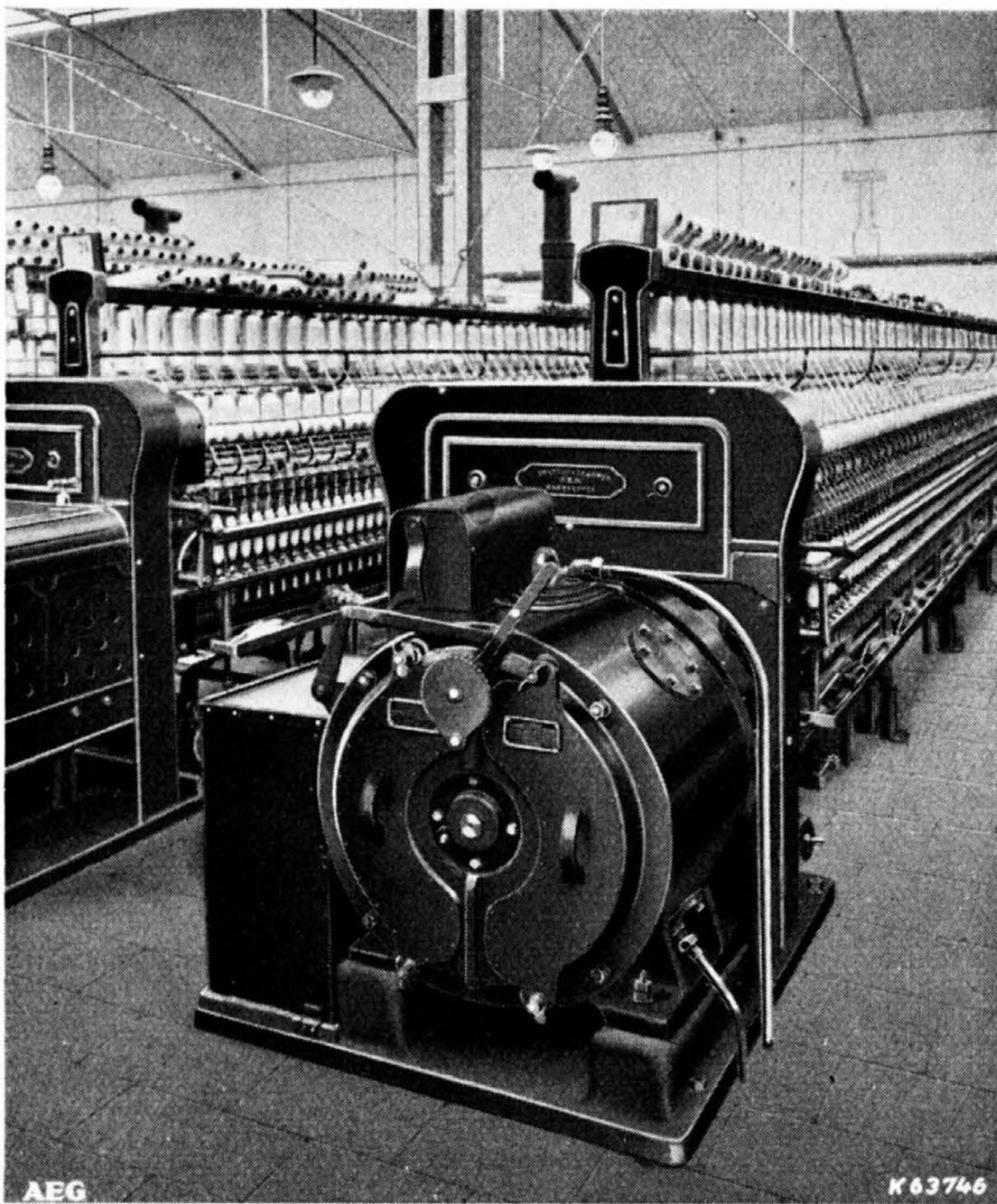


Bild 7. Wassergekühlter Drehstrom-Regelmotor an einer Ringspinnmaschine.

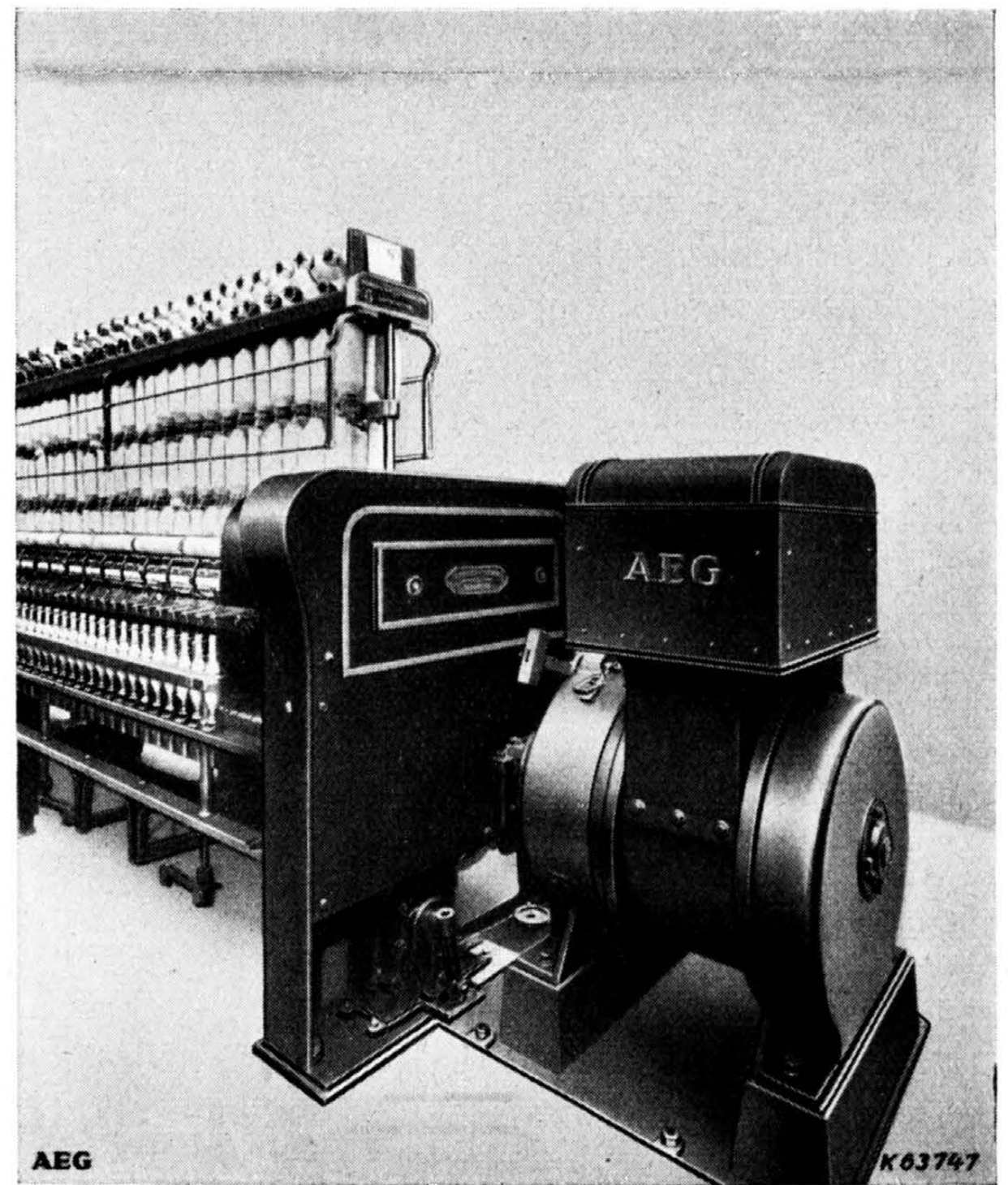


Bild 8. Durchzugbelüfteter Drehstrom-Regelmotor für Anschluß an Frisch- und Abluftkanäle.

kuppelt und bewirkt sowohl die Umdrehung der Walzen als auch die Betätigung einer Druckpumpe, durch deren Durchmesser die Walzen fortlaufend

maschinen, Kalandr und eine Zeugdruckmaschine verwendet. Mit Hilfe von Regelwiderständen wurde dabei auch eine Drehzahlreglung bewirkt und die

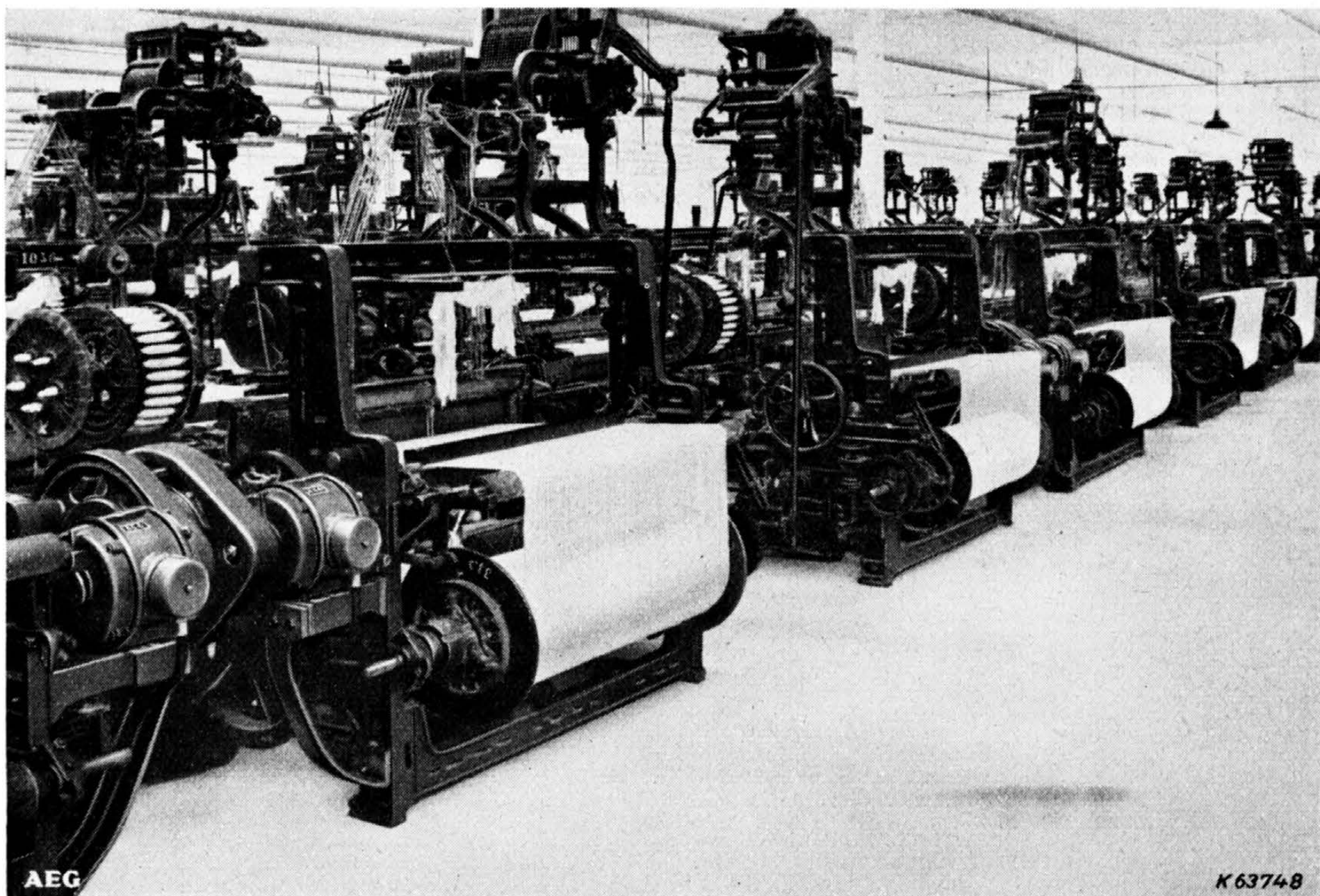


Bild 9. Webstuhl-Anbauantriebe.

gegeneinander gedrückt werden. Das Anlassen erfolgt mittels Flüssigkeitsanlaßwiderstand.“

In dem gleichen Betrieb wurden Drehstrom-Schleifringläufer-Motoren auch für Zylindertrocken-

für die jeweils verarbeitete Ware günstigste Geschwindigkeit eingestellt bzw. eine tiefliegende Einziehgeschwindigkeit zum Einführen der Ware erzielt.

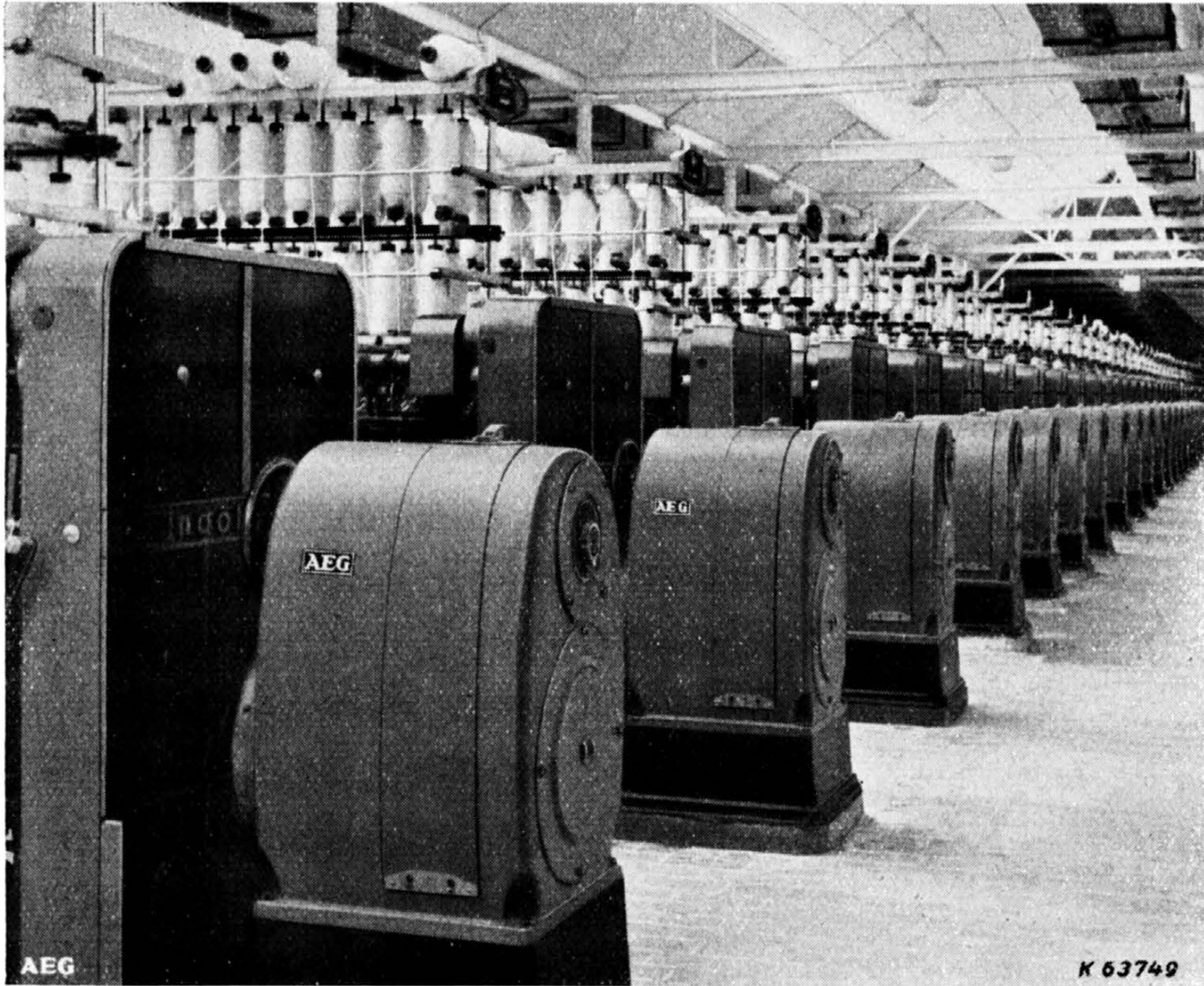


Bild 10. Drehstrom-Regelmotoren mit Nebenschlußverhalten für den Antrieb von Ringspinnmaschinen.

Viele Maschinen in der Textilindustrie stellen hinsichtlich der Drehzahlregelung besondere Aufgaben. Man hat sich früher bei Transmissionsantrieb durch Verwendung mechanischer Regelgetriebe insbesondere Stufenscheibengetriebe, Kegeliementriebe oder Reibradgetriebe geholfen. Mit der Einführung des elektrischen Einzelantriebes wurde natürlich nach Möglichkeit von der Regelbarkeit bestimmter Motortypen Gebrauch gemacht. Da die Gleichstrommotoren durch Nebenschlußregelung praktisch verlustlos zu regeln sind, wurde zunächst bei Umstellung auf Drehstrom vielfach für bestimmte Arbeitsmaschinen Gleichstromantrieb beibehalten. Frühzeitig war man aber schon bestrebt, Drehstrom-Regelmotoren zu schaffen, für die eine Verlustregelung wie beim Schleifringläufermotor nicht in Frage kommt. Es entstanden einphasige Kom-

mutatormotoren, die an zwei Leitungen des Drehstromnetzes angeschlossen wurden. Aus dem Jahre 1911 stammen die mit den Bildern 7 und 8 gezeigten Drehstrom-Regelmotoren; es ist der Typ WED 150 für Wasserkühlung (W) und für Durchzugsbelüftung bei Anschluß an Frisch- und Abluftkanäle (L).

Mit ihren vielen verschiedenartigen Arbeitsmaschinen ist die Textilindustrie ein Großabnehmer für die Elektromotoren-Industrie. Bei der Gelegenheit bliebe darauf hinzuweisen, daß nach den vorliegenden Statistiken in den Jahren vor dem Kriege in der Textilindustrie und den ihr angegliederten Betrieben gegenüber anderen Industriezweigen die größte Zahl von Arbeitern und Angestellten beschäftigt wurde.

Bei der Entwicklung neuerer Motortypen wurde vielfach auf die Belange der Textilindustrie Rücksicht genommen. Insbesondere die Entwicklung geschlossener, außenbelüfteter oder durchzugsbelüfteter Typen geht auf die Forderung zurück, in den staubigen, oft feuchtwarmen Betriebsräumen, in denen die Motoren zusätzlich Faserflug oder auch chemischen Gasen oder Dämpfen ausgesetzt sind, eine möglichst hohe Lebensdauer bei geringstmöglicher Wartung zu erreichen. Wie weit der elektrische Einzelantrieb dabei das Gesamtbild der Anlage beeinflußt, die durch keinerlei störende Transmissionsstränge beeinträchtigt und verdunkelt wird, ist aus den Bildern 9 und 10 ersichtlich, die aus neu eingerichteten oder umgestellten Betrieben einen Websaal und einen Saal mit Ringspinnmaschinen, angetrieben durch Drehstrom-Nebenschluß-Kommutator-Motoren, zeigen.

Der Drehstromantrieb im Werkzeugmaschinenbau.

Von W. Staffel, Abt. Industrie.

DK 621.3.025.3:621.9

Wie in vielen anderen Industriezweigen, so hat der Drehstromantriebsmotor und damit die gesamte elektrische Drehstromausrüstung einschließlich der Schalt- und Schutzgeräte auch einen wesentlichen Anteil an der gewaltigen Leistungssteigerung, der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und der Gestaltung des formschönen Aufbaues neuerzeitlicher Werkzeugmaschinen. Während im Großwerkzeugmaschinenbau der Gleichstromregelmotor und der Leonardantrieb vor allem für den Haupt-

antrieb vorherrschend geblieben sind, haben sich im Laufe der Entwicklung bei mittleren und kleineren Werkzeugmaschinen die Drehstrommotoren allgemein durchgesetzt. Daß die fortgesetzte Verbesserung der einzelnen elektrischen Bauelemente, die bei Werkzeugmaschinen Anwendung finden, Schritt für Schritt eine Erhöhung der Betriebsicherheit und schließlich eine Gütesteigerung der Werkzeugmaschinen selbst zur Folge hatten, kann man erkennen, wenn man die allgemeine Entwicklung der

Werkzeugmaschinen betrachtet. Bei einer solchen Betrachtung fallen besonders die Änderung des Gesamtaufbaues bei vielen Werkzeugmaschinenarten und die ganz allgemein durch die Einführung des Elektroantriebes erreichte Vereinfachung der Bedienung auf. Diese Merkmale und außerdem die ge-

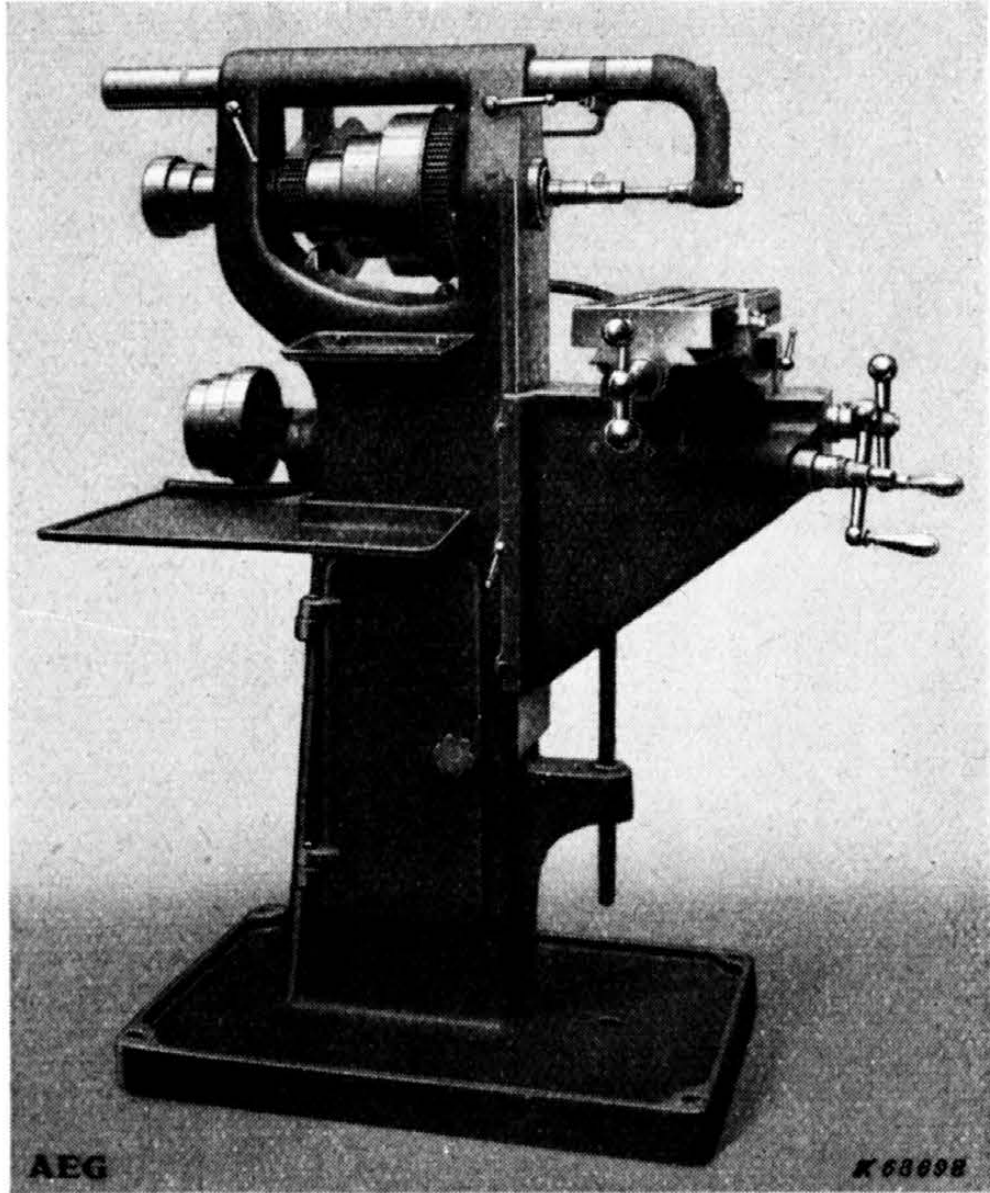


Bild 1. Fräsmaschine älterer Bauart mit Stufenscheibenantrieb. Die Drehzahländerung der Frässpindel sowie die Änderung der Tischgeschwindigkeit wurde bei dieser Maschine durch Umlegen der Riemen erreicht.

waltige Leistungssteigerung sind besonders nach Einführung des Einzel- und Mehrmotorenantriebes in Erscheinung getreten.

Die Werkzeugmaschine, in ihrer Urform von Hand oder Fuß angetrieben, hat im Laufe der Zeit, durch die Einführung des Kraftantriebes beeinflusst, manche Wandlungen in ihrem Aufbau erfahren. Eine besonders auffallende Beeinflussung der Anwendung und Ausführung der Werkzeugmaschine trat zunächst durch die Erfindung der Dampfmaschine ein. Ein weiterer entscheidender Entwicklungsanstöß erfolgte, als der Elektromotor als Antriebsmittel auftrat. In den ersten Fabrikationswerkstätten war die Anzahl der Werkzeugmaschinen gering. Aus diesem Grunde genügte zum Antrieb aller Werkzeugmaschinen eines solchen Betriebes eine Kraft-erzeugungsmaschine, die durch Transmission und Deckenvorgelege unter Zwischenschaltung von Riemen die Antriebskraft übertrug. Diese Antriebe sind unter dem Namen **Transmissionsantrieb** bekannt, für den eine Dampfmaschine, ein Verbrennungsmotor und später fast ausschließlich ein Elektromotor die Arbeitsleistung herzugeben hatte. Zunächst benutzte man, entsprechend dem Entwicklungsstand der Elektrotechnik, den Gleichstrommotor als Kraftquelle für solche Antriebe; später, vor etwa 40 Jahren, trat dann der von Dolivo-Dobrowolsky entwickelte Mehrphasenmotor

mit dem Gleichstrommotor in starken Wettbewerb und setzte sich im Laufe der Zeit mehr und mehr durch. — Den Aufbau einer Werkzeugmaschine, wie sie in der Zeit der Transmissionsantriebe Anwendung fand, zeigt Bild 1.

Für die inzwischen größer gewordenen Werkstätten und Industrieanlagen brachte der Mehrphasenstrom bekanntlich vor allem den Vorteil, daß man die Energie wirtschaftlicher an die einzelnen Verbrauchsstellen leiten konnte. Besonders die umfangreicheren Industrieunternehmungen machten sich diese Vorteile des Drehstromes zunutze; sie verwendeten zum Antrieb ihrer Transmissionen Drehstrommotoren. Neben den Schleifringläufermotoren wurden für Transmissionsantriebe bereits um die Jahrhundertwende vereinzelt Kurzschlußläufermotoren angewendet. Bild 2 zeigt einen solchen Motor, wie er etwa um 1900/1902 für einen Werkzeugmaschinen-Transmissionsantrieb benutzt wurde.

In der weiteren Entwicklung zeigt sich dann der Übergang vom Transmissions- auf den **Gruppenantrieb**, nachdem sich die Nachteile des Transmissionsantriebes in bezug auf die Aufteilung der



Bild 2. Antrieb einer Transmissionswelle durch einen Drehstrom-Asynchronmotor mit Kurzschlußläufer.

Werkstatt und auf die Wirtschaftlichkeit eines solchen Antriebes bemerkbar gemacht haben. Einzelne Werkzeugmaschinen, nach Möglichkeit solche, die gleichzeitig in Betrieb sein mußten, wurden zu Maschinengruppen zusammengefaßt, und diese Gruppen erhielten einen besonderen Antriebs-

motor. Da eine Regelung der Antriebsdrehzahl sowohl bei dem Transmissions- als auch bei dem Gruppenantrieb nicht erforderlich ist, hätte eigentlich überall ein starker Einsatz des Kurzschlußläufer-Motors erwartet werden müssen. Man gab jedoch seinerzeit den Drehstrom-Schleifringläufer-Motoren den Vorzug. Daß der Kurzschlußläufer-Motor zu dieser Zeit noch nicht den Vorzug hatte, lag vor allem daran, daß sich die Elektrizitätswerke infolge der noch nicht genügend ausgebauten Netze gezwungen sahen, besondere Vorschriften für den Anschluß der Kurzschlußläufermotoren zu erlassen. Diese Vorschriften waren es, die lange hemmend auf die Einführung des einfachen und unverwüstlichen Kurzschlußläufermotors wirkten. Die der Einführung entgegengesetzten Schwierigkeiten wurden zum großen Teil dadurch überwunden, daß die Bemühungen der Elektroindustrie die Verbesserung der Anlaufcharakteristik und die Herabsetzung der Einschaltströme zur Folge hatten.

Der Übergang zum Gruppenantrieb, dem noch die meisten Nachteile des eingangs beschriebenen Transmissionsantriebes anhafteten, über die seinerzeit viel geschrieben und gestritten wurde, erfolgte vor etwa 30 Jahren. In die gleiche Zeit fallen auch die Versuche mit dem sogenannten Einzelantrieb, bei dem, wie schon der Name andeutet, jede Werkzeugmaschine mit einem eigenen Antriebsmotor ausgerüstet wurde. Es lag sehr nahe, hierbei die feinstufige Regelmöglichkeit des Gleichstrommotors auszunutzen, und so findet man aus dieser Zeit auch

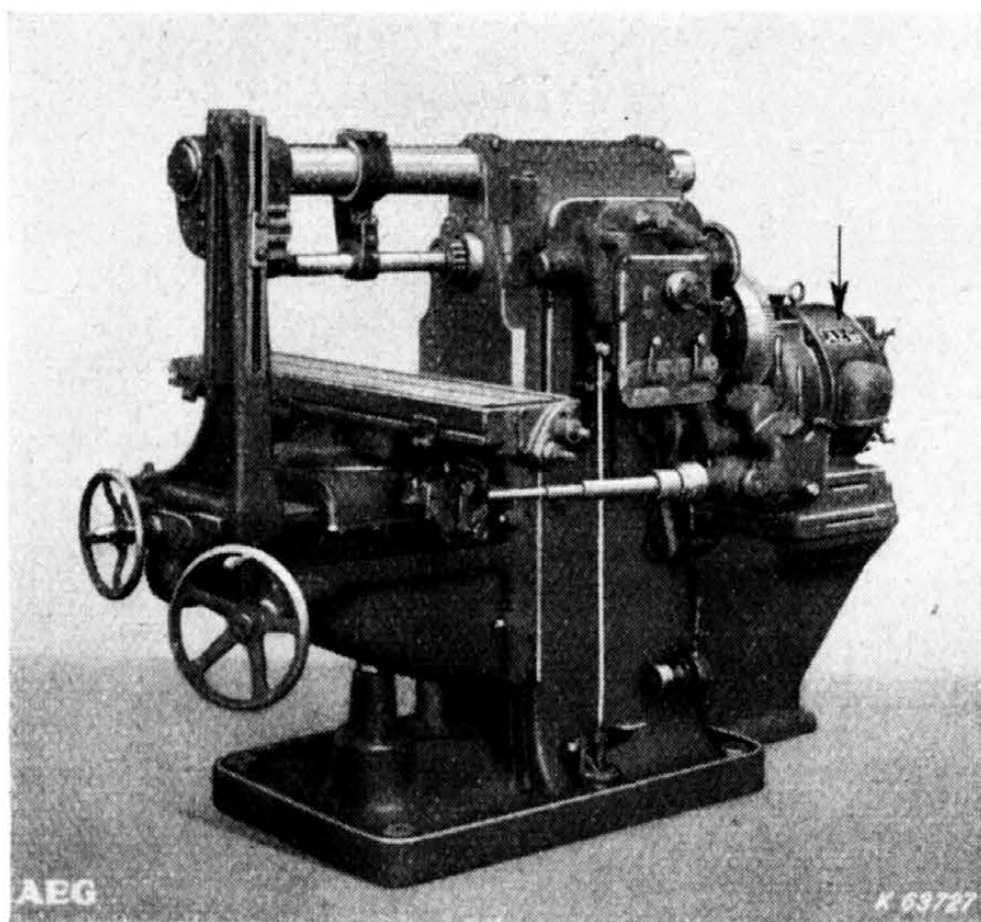


Bild 3. Einmotorenantrieb einer Waagrecht-Fräsmaschine. Der Elektromotor ist an der Rückseite der Maschine auf einer Konsole befestigt. Frässpindel, Frästisch und Kühlmittelpumpe werden gemeinsam unter Zwischenschaltung mechanischer Bauelemente von dem Elektromotor angetrieben.

heute noch Gleichstromantriebe. Die Möglichkeit, solche verhältnismäßig umfangreichen elektrischen Steuerungen, die für das Anlassen der Gleichstrommotoren notwendig sind, zu vereinfachen und die Erkenntnis, daß für viele Werkzeugmaschinen Antriebsmotoren mit fester Drehzahl genügen, waren maßgebend für die Einführung der

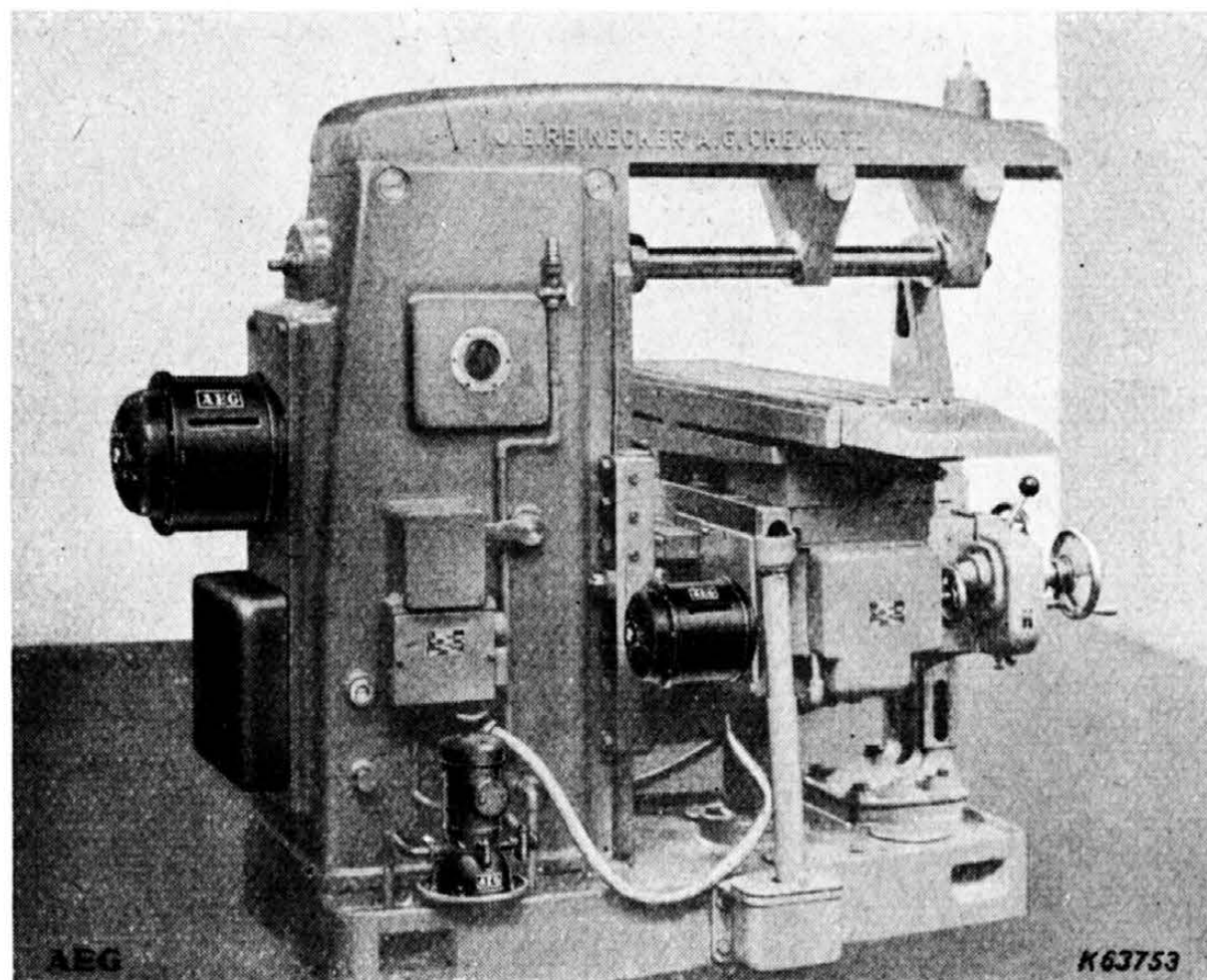


Bild 4. Mehrmotorenantrieb einer Waagrecht-Fräsmaschine mit vollelektrischer Steuerung; für den Frässpindeltrieb, den Tischantrieb und die Kühlmittelpumpe sind besondere Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motoren vorgesehen.

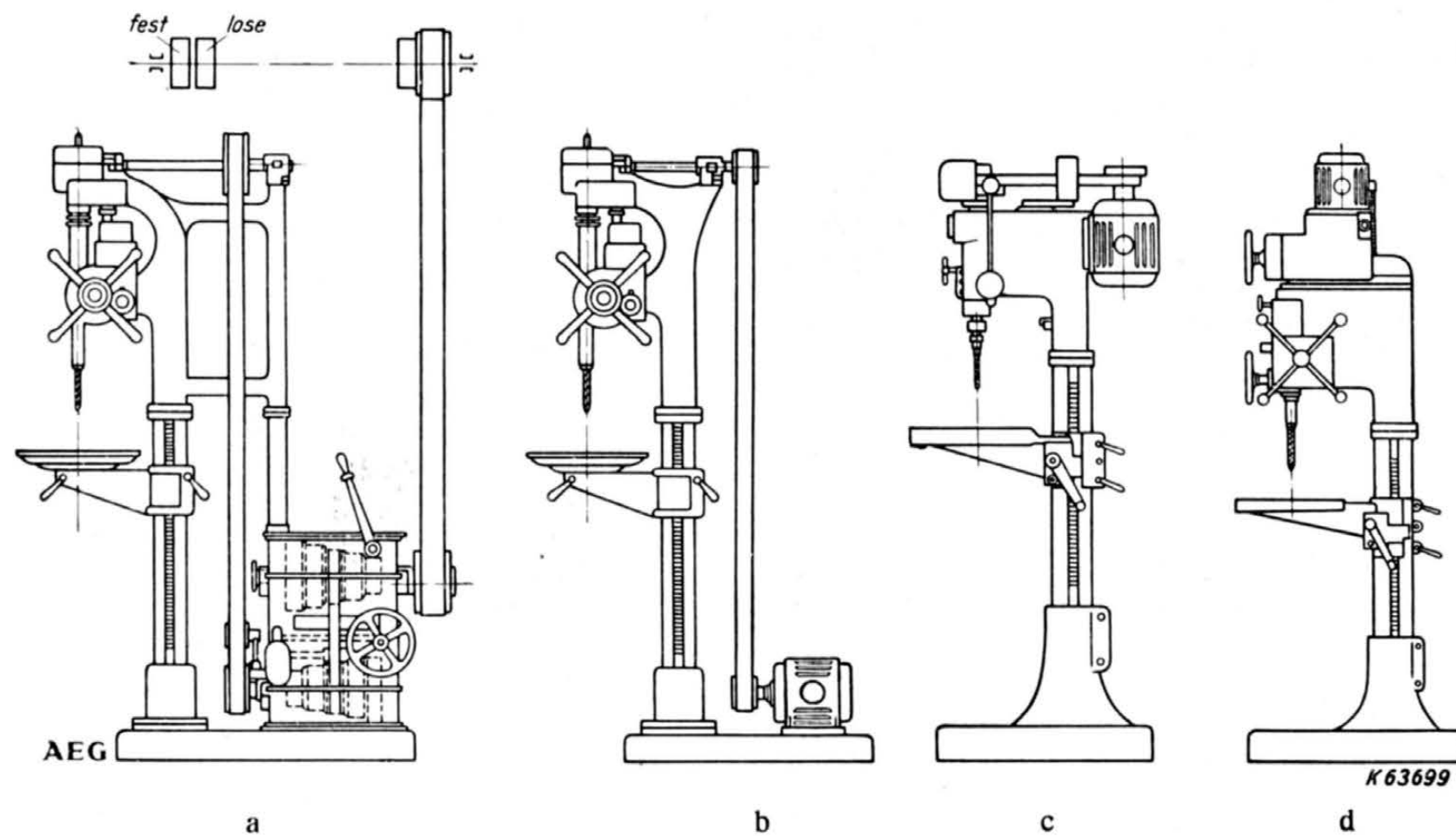
Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motoren bei Maschinen mit Einmotorenantrieb. Die verhältnismäßig einfache Ein-, Aus- und Umschaltmöglichkeit dieser Motoren, die mit einfachen Schaltgeräten durchgeführt werden kann, und die durch die Praxis bestätigte Betriebsicherheit gaben schließlich im Mittel- und Kleinwerkzeugmaschinenbau dem Drehstromantrieb den Vorzug. — Bild 3 zeigt eine Fräsmaschine mit Einzelantrieb, bei der die Frässpindel und der Tischvorschub von einem vierpoligen Drehstrommotor, 6 PS bei 1500 U/min, angetrieben werden. Die Ableitung des Tischantriebes erfolgt über Stirnräder und Antriebswelle, wobei die Vorschubgeschwindigkeiten durch einen zwischengebauten Schalträdernkasten verändert werden können. — In der weiteren Entwicklung nutzte man die einfache Umschalt- und Bremsmöglichkeit der Drehstrommotoren aus und kam durch Aufteilung der Antriebskraft zum sogenannten Mehrmotorenantrieb, der sich inzwischen im gesamten Bereich der Industrie bei Arbeitsmaschinen durchgesetzt hat. — Im Bild 4 ist eine Fräsmaschine mit Mehrmotorenantrieb dargestellt, bei der sowohl der Fräser als auch der Tischantrieb einen besonderen Antriebsmotor hat, der den technologischen Bedingungen der Maschine entsprechend durch Auslegung der elektrischen Steuerung unabhängig und folgerichtig gesteuert werden kann.

In welcher Weise sich die Bauform der Werkzeugmaschine durch die bessere Anpassung der Motoren geändert hat, zeigt Bild 5, in dem die baulichen Veränderungen einer Bohrmaschine dargestellt sind. Maschinen mit einem Aufbau nach Bild 1a fand man zur Zeit, als der Gruppenantrieb vorherrschend war. Bohrmaschinen nach Bild 1b entstanden in der Umstellungszeit auf Einmotorenantriebe. Die Bilder 1c und 1d veranschaulichen die noch bessere Formgebung der gesamten Maschine durch Einfüh-

rung von Flanschmotoren, die infolge ihrer baulichen Anpassung immer näher an die Arbeits-spindeln herangebracht wurden.

triebes Schritt gehalten hat. Während früher der Elektromotor nur zum Antrieb Verwendung fand, nutzt man heute die leichte Anpassungsfähigkeit an

den technologischen Arbeitsablauf einer Werkzeugmaschine aus; damit ist der früher getrennt angeordnete Antriebsmotor nunmehr ein Konstruktionselement des Werkzeugmaschinenbauers geworden. Durch die zweckmäßige Einfügung des elektrischen Antriebes können Aufgaben, die rein mechanisch nur sehr schwierig und umständlich zu lösen wären, auf einfache Weise gemeistert werden. Von den vielen Beispielen sei hier die Verwendung der elektrischen Ausgleichswelle bei Drehbänken mit verhältnismäßig langem Bett erwähnt. Bei Drehstrommotoren, die bekanntlich durch Polzahl und Frequenz an eine Drehzahl gebunden sind, wird die Drehzahländerung durch Polumschaltung häufig angewendet. Daneben



a = Bohrmaschine, eingerichtet für Transmissions- bzw. Riemenantrieb, b = Bohrmaschine mit eigenem Elektroantriebsmotor (Form B 3), auf dem Maschinenfuß neben der Säule befestigt, c = Bohrmaschine mit Einzelantrieb. Motor in Form V 6, oben an der Säule angebaut, d = Neuzeitliche Bohrmaschine, angetrieben durch einen Drehstrom-Flanschmotor, Form V 10.
Bild 5. Die baulichen Veränderungen, die sich durch die Einführung des Elektroantriebes ergaben, dargestellt an einer Bohrmaschine.

Die vorherrschende Stellung, die der Einzel- und Mehrmotorenantrieb im Werkzeugmaschinenbau heute einnimmt, wäre ohne die Schaffung ent-

findet besonders bei Schleif- und Holzbearbeitungsmaschinen die Änderung der Drehzahl durch Frequenzerhöhung Anwendung. Die Anlaufverhältnisse werden, bei Werkzeugmaschinen mit Antrieb durch Käfigläufermotoren, vollkommen beherrscht. Einfachkäfig-, Doppelnutläufer- und Wirbelstromläufer, die sich durch ihren Moment- und Stromverlauf unterscheiden, kommen zur Anwendung.

Besonders ausgelegte Motoren (Schlupfläufermotoren), die für mehrere 100 Schaltungen/h geeignet sind, werden im Drehbankbau und als Vorschubmotoren verwendet. Eine Verkleinerung des Anlaufmomentes ist auf einfache Weise bei Kurzschlußläufermotoren durch Einbau eines Widerstandes in einer Phase zu erzielen (Kusa-Schaltung).

Ebenso wie die Motoren sind auch die elektrischen Schalt- und Schutzgeräte dem Stand der Entwicklung angepaßt, wobei vor allem den Schützen für hohe Schalthäufigkeit in neuerer Zeit eine besondere Beachtung zukommt. Durch Schaffung eines günstigen Steuerungssystems hat

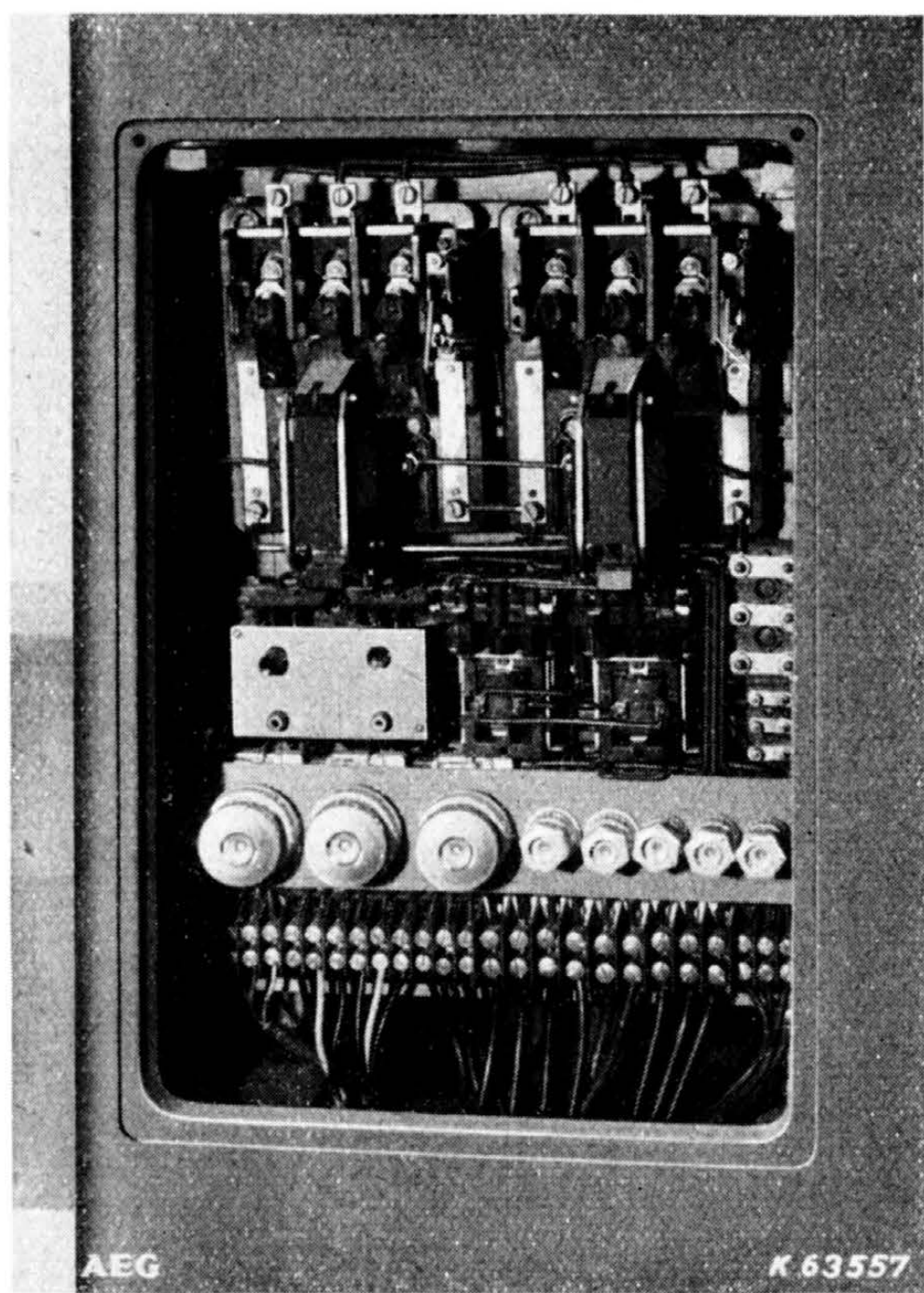


Bild 6. AEG-Industrie-Kleinsteuerung in Einsatzform, eingebaut in einen Hohlraum eines Maschinenkörpers, Abschlußdeckel geöffnet.

sprechender Motoren, Schalt- und Steuergeräte unmöglich gewesen. Die Elektroindustrie hat dafür gesorgt, daß die Entwicklung dieser Bauteile mit der Einführung und Aufteilung des elektrischen An-

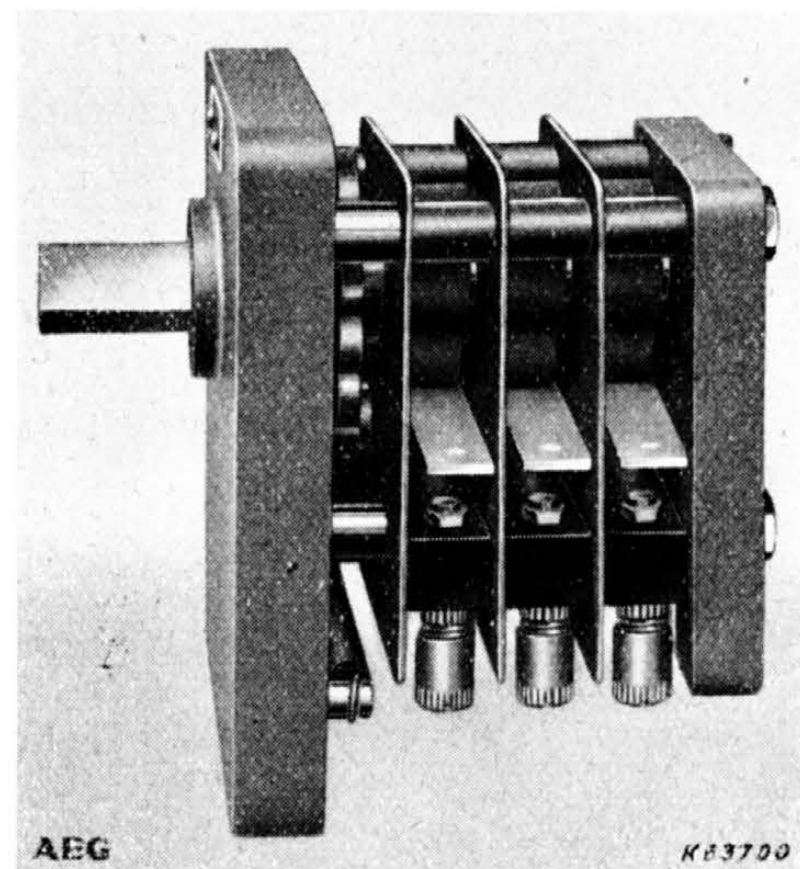


Bild 7. Betätigungsschalter für hohe Schalthäufigkeit, Bauart EKN 40,3 (Einbau-Kammer-Nockenschalter, Größe 40 mit 3 Schaltkammern).

trieb durch die Schaffung eines günstigen Steuerungssystems hat

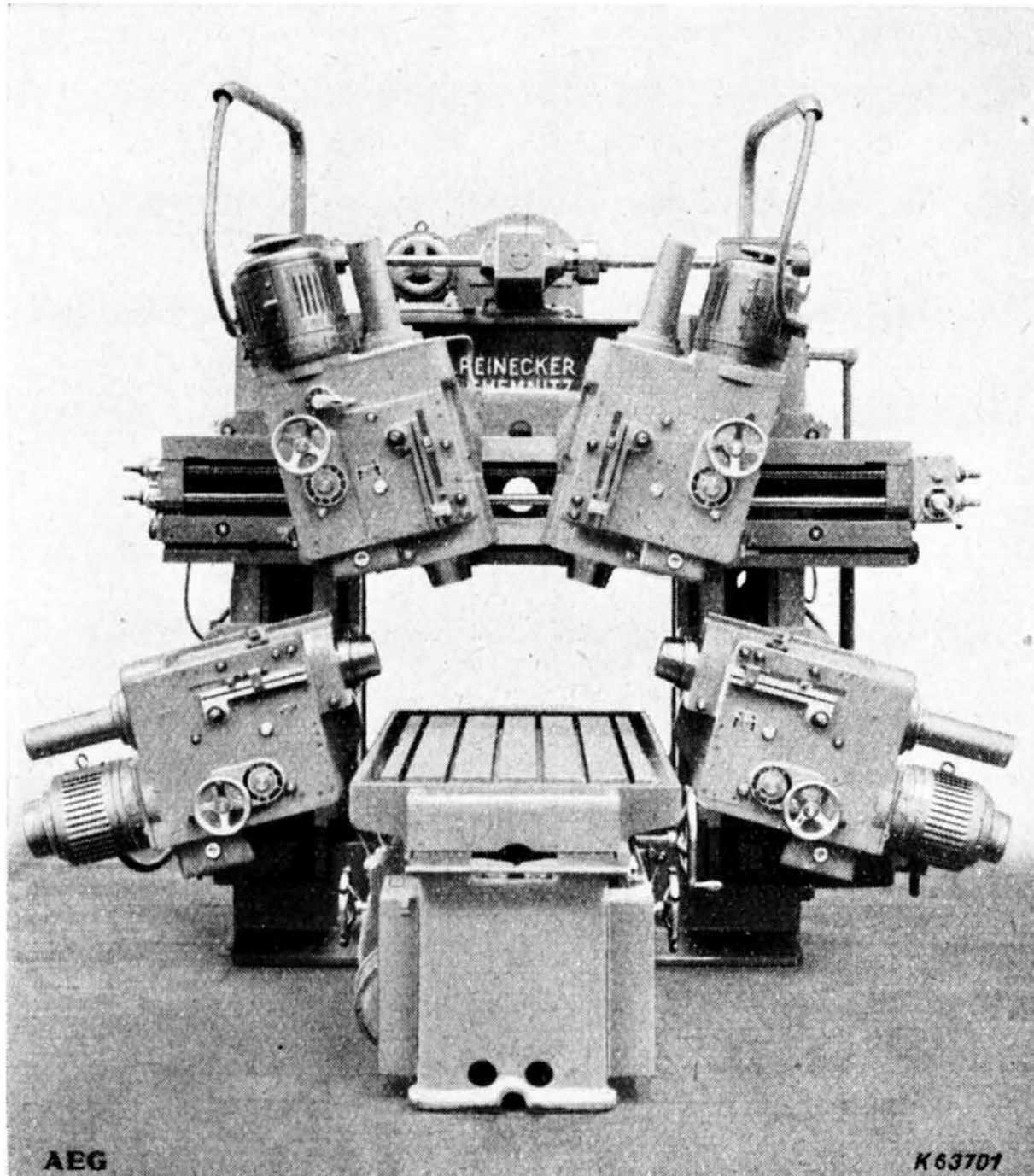


Bild 8. Langfräsmaschine mit Mehrmotorenantrieb. Die einzelnen Frässpindeln sowie der Frästisch und der Querbalken werden durch je einen Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motor angetrieben.

die AEG den Werkzeugmaschinenfabriken bessere Möglichkeiten zur Unterbringung der elektrischen Steuerung eröffnet. Bild 6 zeigt eine Einsatzsteuerung, die sämtliche Schalt- und Schutzgeräte einschließlich Hauptschalter und Anschlußklemmen zu einem Bauelement vereinigt. Außer den Motoren und Fernschaltern stehen auch Betätigungsschalter zur Verfügung, die den neuesten Forschungen in bezug auf Griffsicherheit und Unfallsicherheit entsprechen. Auch diese sind in den letzten Jahren konstruktiv so verbessert worden, daß sie den hohen Schalthäufigkeiten gewachsen sind. Ein Beispiel für den hohen Entwicklungsstand solcher Geräte ist der von der AEG hergestellte Kammernockenschalter (Bild 7).

Bild 8 zeigt eine Langfräsmaschine, bei der die Gesamtantriebsleistung von etwa 60 PS in acht Einzelantriebe aufgeteilt ist. Die vier Frässpindeln werden durch je einen Kurzschlußläufermotor, der im Dauerbetrieb eine Leistung von 12 PS abgibt, angetrieben. Für den Tisch, für die Hubverstellung und für die Vorschubbewegung der Frässpindel sowie auch für die Kühlmittelpumpe sind besondere Elektromotoren vorgesehen. Sämtliche Motoren werden bei dieser Maschine, wie das allgemein üblich

ist, durch fernbetätigte Luftschütze ein- und aus- bzw. in ihrer Drehrichtung umgeschaltet. Diese Luftschütze sowie die zur selbsttätigen Steuerung erforderlichen Schalt- und Schutzgeräte sind in einem getrennten Werkzeugmaschinen-Schalt-schrank untergebracht. — Als weiteres Beispiel zeigt Bild 9 eine Kurbelwellenschleifmaschine, bei welcher der Antrieb ebenfalls weitgehend aufgeteilt ist. Für die Schleifscheibe sowie für das Werkstück, den Vorschubantrieb und die Kühlmittelpumpe sind besondere geschlossene Drehstrommotoren vorgesehen. Bei dieser Maschine ist das Bestreben des Werkzeugmaschinenbauers zu erkennen, die Motoren in den Hohlräumen des Maschinenbettes unterzubringen. Die Schalt- und Schutzgeräte sind zu einer Anbausteuerung zusammengefaßt, die rückwärts im Bett untergebracht ist.

Bild 10 zeigt eine neuzeitliche elektrisch gesteuerte Drehbank, die mit drei Antriebsmotoren ausgerüstet ist. Der Hauptantriebsmotor ist für eine Dauerleistung von 10 PS ausgelegt und für etwa 350 Schaltungen/h bei zurückgesetzter Leistung geeignet. Für den Kühlmittelpumpenantrieb und für den Antrieb der Regelverstellereinrichtung sind besondere Kurzschlußläufer-Motoren vorgesehen. Ein-, Aus- und Umschaltung dieser Motoren werden durch fernbetätigte Luftschütze, die ihrerseits Steuerimpulse von den Handhebeln erhalten, vorgenommen. Als Hauptschalter dient ein dreipoliger Drehstrom-U-Walzenschalter.

Diese Drehbank ist ein Beispiel dafür, daß auch bei verhältnismäßig einfachen Maschinen der Mehrmotorenantrieb und die fernbetätigte Steuerung immer mehr Fuß fassen, wobei die Drehstromausrüstungen sehr stark überwiegen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die

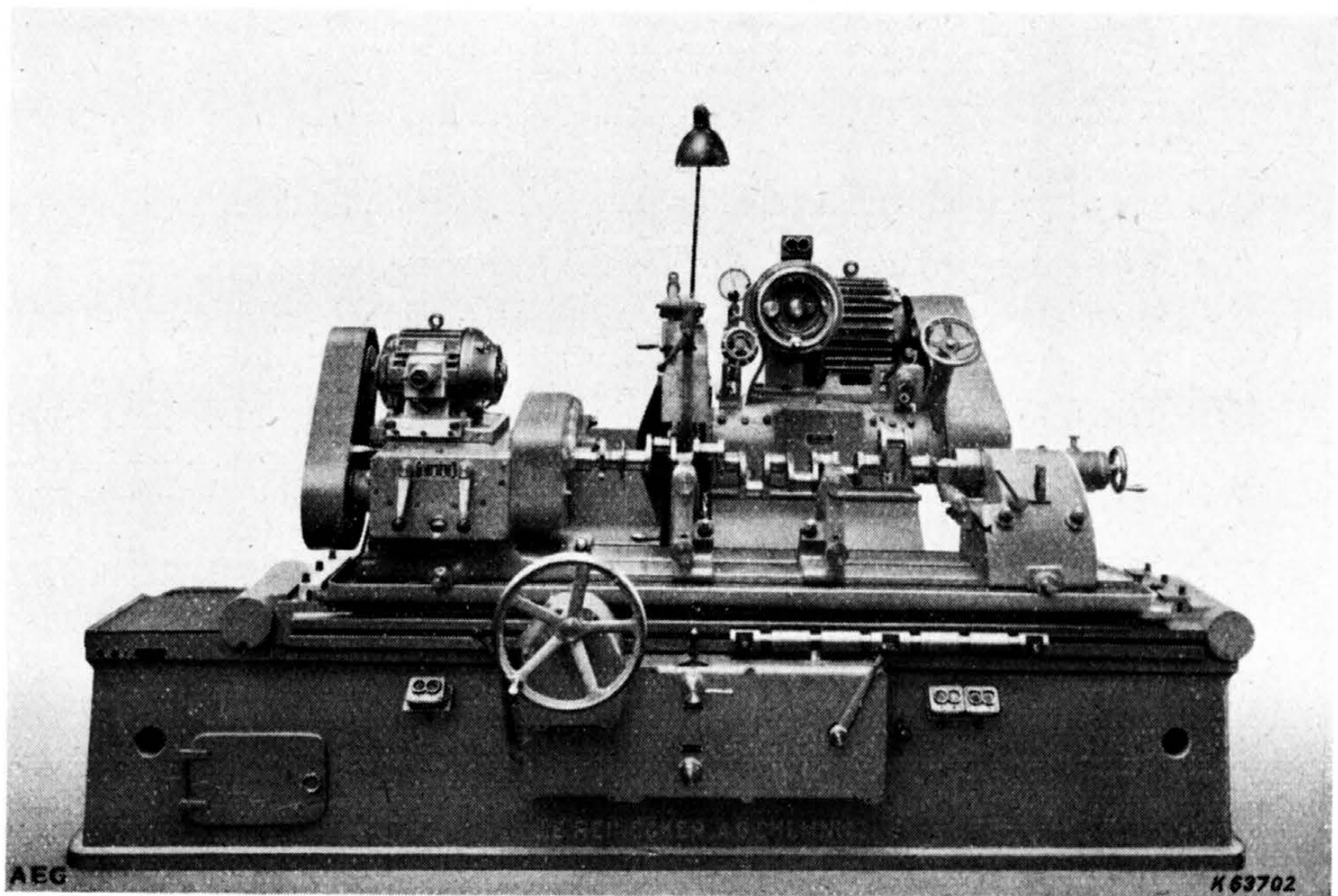


Bild 9. Kurbelwellen-Schleifmaschine, elektro-hydraulisch gesteuert, mit Elektro-Mehrmotorenantrieb durch vier Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motoren; zwei Motoren im Maschinenkörper eingebaut.

besonderen Vorteile der Drehstrommotoren und insbesondere der Kurzschlußläufer dazu geführt haben, daß heute etwa 80% aller Werkzeugmaschinen, zumindest im Mittel- und Kleinmaschinenbau, Drehstromausrüstungen haben. Die besonderen Vorteile des Kurzschlußläufermotors werden sowohl von den Konstrukteuren der Werkzeugmaschinen als auch von den Betriebsleitern immer wieder anerkannt, da solche Motoren fast keiner Wartung bedürfen, in ihrem Aufbau verhältnismäßig klein sind und keine dem Verschleiß unterworfenen elektrischen Bauelemente aufweisen. — Die weitere Entwicklung der elektrischen Antriebe erstreckt sich in neuerer Zeit auf die noch bessere Anpassung des Elektromotors und die gute Einfügung und Anpassung der elektrischen Steuerung in bzw. an die Werkzeugmaschine. — An Stelle der mechanischen oder elektromechanischen Bremsen durch Magnetbremslüfter verwendet man in steigendem Maße die Gegenstrombremsung, nachdem die AEG für diese Bremsart den Alnico-Bremswächter auf den Markt gebracht hat. Man ist überall bestrebt, die Auslaufzeiten schnelllaufender Arbeitsspindeln durch Gegenstrombremsschaltungen zu kürzen, und man benutzt den Alnico-Bremswächter gleichzeitig mit Erfolg als Verriegelungsgerät zwischen verschiedenen Antrieben. Anlauf- und Bremsmomente werden durch verschiedene Kunstschaltungen und durch

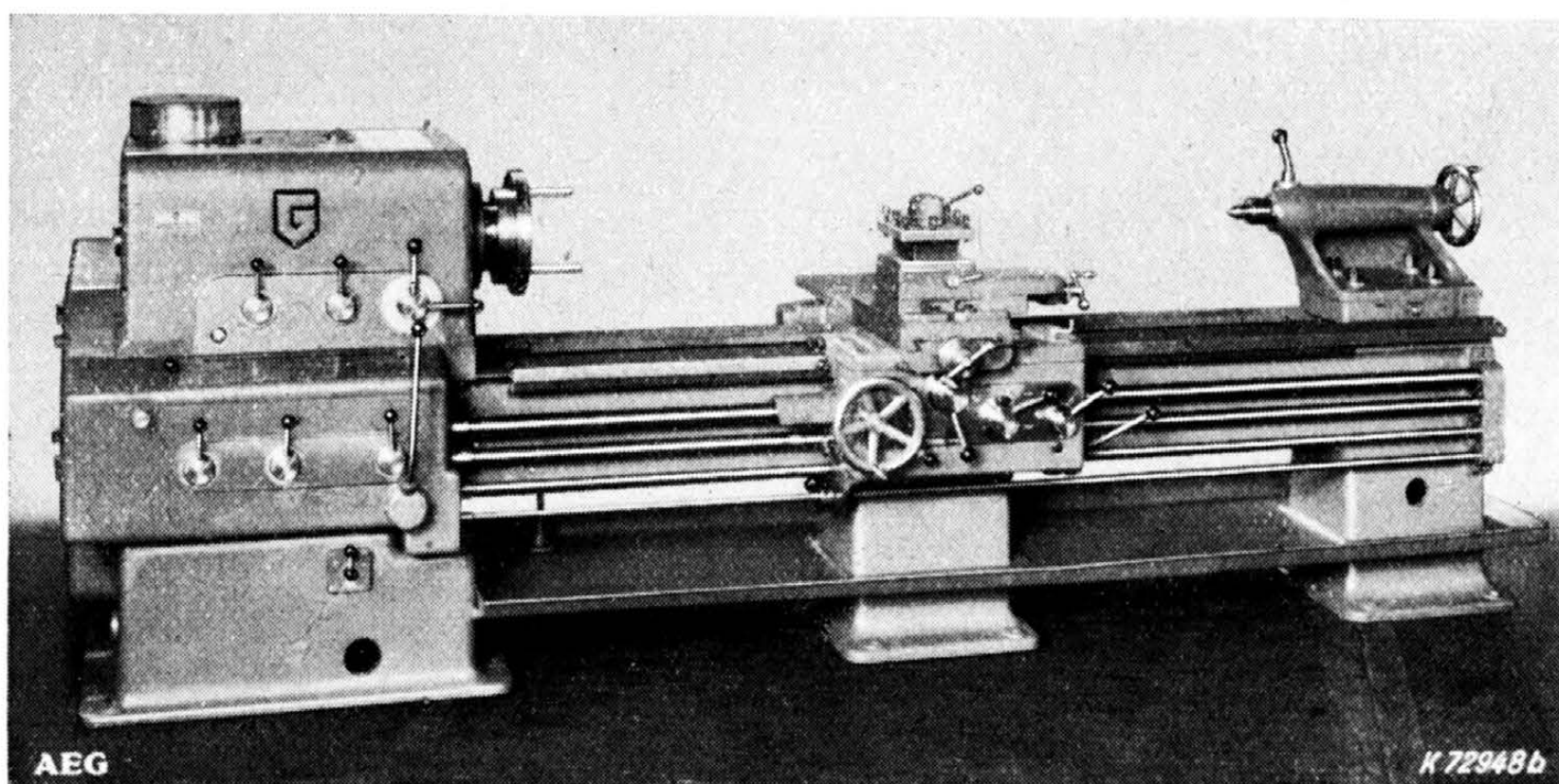


Bild 10. Elektrisch gesteuerte Drehbank, (Gustloff-Werke, Meuselwitz, ausgerüstet mit drei Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motoren, von denen einer für den Hauptantrieb, einer für den Verstellmotor und einer zum Antrieb der Kühlmittelpumpe dient.

Verwendung von Kusa-Widerständen in den erforderlichen Grenzen beherrscht. Auch die schwierigen Antriebsfragen werden im Werkzeugmaschinenbau heute durch den Drehstromantrieb gelöst.

Nachdem, wie aus vorstehenden Ausführungen hervorgeht, die Mehrzahl der Aufgaben, die dem elektrischen Antrieb im Werkzeugmaschinenbau gestellt sind, mit Drehstromausrüstungen ohne weiteres gelöst werden kann, kommt auch für größere Betriebe eine zentrale Umformung des vom Elektrizitätswerk gelieferten Drehstroms auf Gleichstrom selten in Frage. Für die Sonderfälle, in denen also eine feinstufige Regelung durch Gleichstromantrieb oder Leonardantrieb erforderlich ist, zum Beispiel bei Hobelmaschinen und Großwerkzeugmaschinen, wählt man dann einen aus Drehstrommotor und Leonardgenerator bestehenden Maschinensatz.

Die Verwendung von Drehstrom für Ofenanlagen großer Stromstärken.

Von Dipl.-Ing. A. Driller, Abteilung Industrie.

DK 621.3 025.3:621.36.52

Unter Ofenanlagen großer Stromstärken sollen hier Lichtbogenöfen und sogenannte direkte Widerstandsöfen mit Stromstärken von mindestens mehreren tausend Ampere verstanden werden. Diese Anlagen nehmen in der stromverwendenden Industrie eine ganz besondere Stellung ein, und es lohnt sich daher, sie einmal vom Standpunkt der verwendeten Stromart, d. h. hinsichtlich der Benutzung von Gleichstrom oder Wechselstrom bzw. Drehstrom zu betrachten. Durch die sehr hohen Stromstärken bis zu einigen hunderttausend Ampere ergeben sich Verhältnisse, die sich grundsätzlich von denen bei normalen Nieder- und Hochspannungsanlagen unterscheiden.

Schon früh in der Geschichte der Elektrotechnik verwendete man den elektrischen Strom zum Schmelzen von Eisen und anderen schwer

schmelzbaren Metallen sowie zur Aufschließung von Metalloxyden und Erzen, insbesondere zur Herstellung von Ferro-Legierungen und Calciumkarbid. Es handelt sich dabei zumeist um rein elektrothermische Vorgänge. In diesen Öfen dient die Lichtbogenhitze entweder zum Schmelzen oder zur Erzeugung der erforderlichen Reduktionstemperatur, während zugesetzte Kohle den Sauerstoff bindet. Gleichzeitig mit der Errichtung solcher rein elektrothermischer Ofenanlagen erfolgte der Ausbau der großen Drehstrom-Versorgungsanlagen, so daß Drehstrom für diese Ofenanlagen in steigendem Maße benutzt wurde. Damit traten dann, insbesondere mit dem Größerwerden der Öfen, gewisse Unbequemlichkeiten auf, die jedoch im allgemeinen leicht zu beheben waren, denen gegenüber aber die großen Vorteile überwiegen,

welche die Verwendung des Drehstromes auch für diese Ofenanlagen mit sich bringt. Wollte man Stahlschmelzöfen, Karbidöfen usw. mit Leistungen von 10 000...30 000 kVA und mehr mit Gleichstromgeneratoren betreiben, so müßten die Kraftwerke in unmittelbarer Nähe der Öfen liegen, eine unerläßliche Forderung mit Rücksicht auf die großen Stromstärken, die man nicht über große Entfernungen leiten kann. Die starke Staubentwicklung würde besondere Maßnahmen zum Schutze der empfindlichen, umlaufenden Maschinen erforderlich machen. Da die Spannung, mit der die Ofenanlagen betrieben werden, in weiten Grenzen regelbar sein muß, müßte jeder Ofen daher mit einem eigenen Generator betrieben werden, damit durch Ände-

Verwendung des Gleichstromes für große Elektrolyse-Anlagen. Diese Elektrolyse-Öfen (Bild 1) arbeiten mit 10 000...50 000 A und mehr bei etwa 5...6 V. Es ist augenscheinlich, daß bei den hohen Stromstärken die kleine Spannung des einzelnen Ofens für die Stromerzeugung nicht angenehm ist. Der Betrieb der Aluminium-Elektrolyse gestattet es jedoch, eine große Anzahl derartiger Öfen in Reihe zu schalten, wodurch man bei den Stromerzeugern zu normalen Spannungen gelangte. Auch für diese Öfen, die natürlich mit Rücksicht auf die notwendige Elektrolysewirkung mit Gleichstrom betrieben werden müssen, bietet der Drehstrom den großen Vorteil der leichten Übertragung und der leichten Umformung der Energie in Gleichstrom durch umlaufende Umformer oder Queck-



Bild 1. Aluminium-Elektrolyse-Öfen.

rung der Erregung eine leichte Regelbarkeit der Ofenspannung möglich ist. Man kann also nicht die Leistung einer Sammelschiene entnehmen, deren Spannung deshalb konstant gehalten werden muß, damit auch andere Abnehmer angeschlossen werden können. Der Ofentransformator der Drehstromanlage dagegen ist ein ruhendes Gerät, unempfindlich gegen Staub. Er kann unmittelbar an den Ofen gestellt werden, wobei die Hochstromzuleitungen mit ihren großen Stromwärmeverlusten denkbar kurz gehalten werden können (Bild 2). Die Spannungsänderung läßt sich in beliebigen Grenzen in kleinen oder großen Stufen spannungslos oder mit den sehr betriebsicher arbeitenden Lastschaltern unter Last durchführen.

Es wäre an sich nicht unmöglich gewesen, die großen Leistungen für die Ofenanlagen, deren größte heute bis 40 MVA haben, auch in Gleichstromgeneratoren zu erzeugen. Das beweist die

silberdampf-Gleichrichter, die heute bei neuen Anlagen fast ausschließlich verwendet werden.

Bei Gleichstrom wirkt nur der ohmsche Widerstand kurzschlußbegrenzend. Die Generatoren werden daher zumeist durch Schnellschalter geschützt, da länger dauernde Kurzschlüsse leicht zur Zerstörung der Maschinen führen. Die Schnellschalter für die hohen Stromstärken der Ofenanlagen sind natürlich keine angenehme Beigabe, weil sie schwer unterzubringen sind. Man hat daher bei derartigen Anlagen auch vielfach darauf verzichtet und schaltet Kurzschlüsse bzw. Überströme durch Schnellentregung der Generatoren ab, ohne daß sich dadurch besondere Schwierigkeiten ergeben haben.

Bei Drehstromöfen bringt man die Schalter auf der Oberspannungsseite an. Kurzschlüsse auf der Sekundärseite, auch Klemmenkurzschlüsse, führen nicht zur Zerstörung des Transformators, da der Überstrom nicht nur durch den ohmschen Wider-

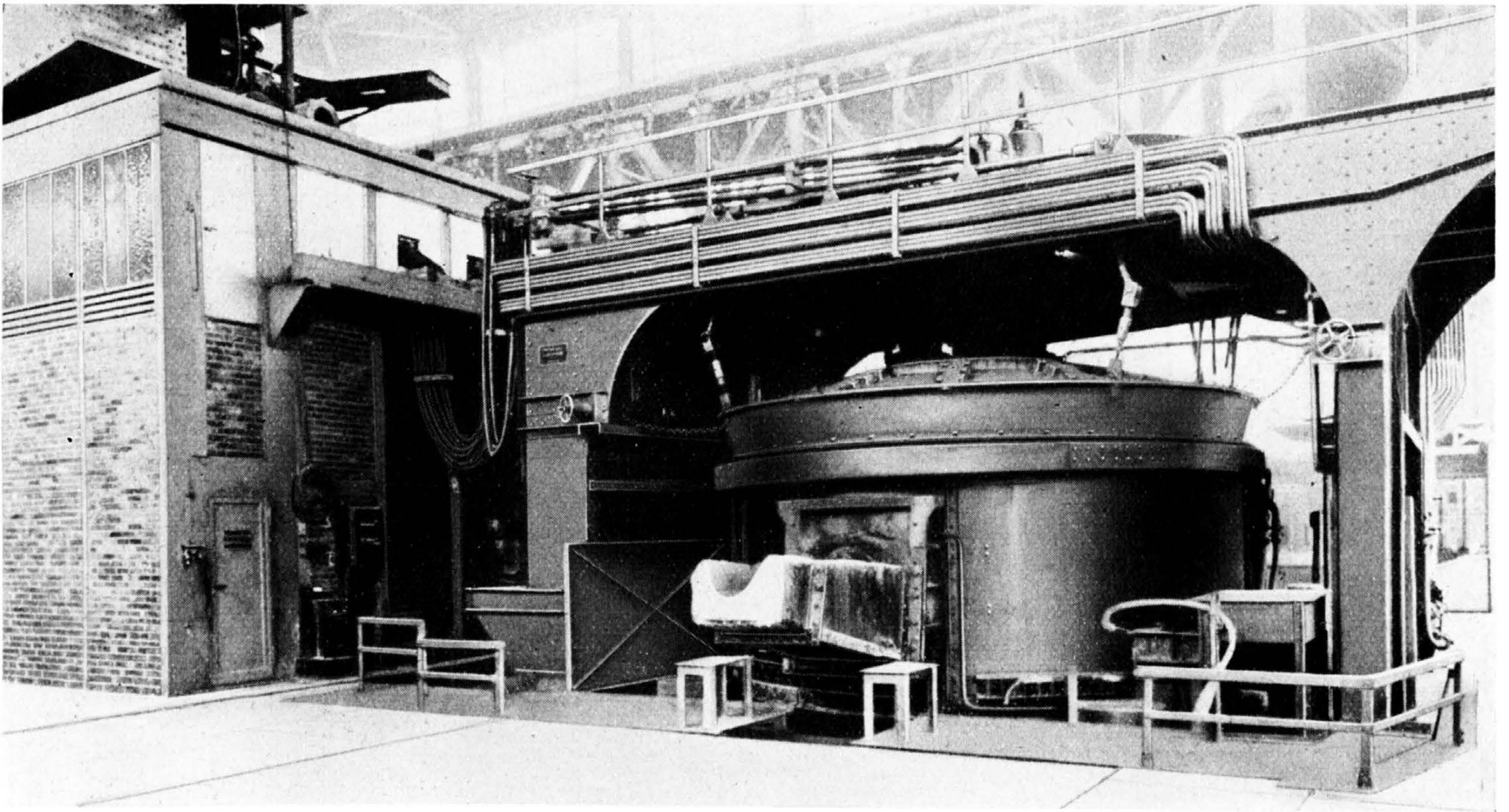


Bild 2. 40-t-Lichtbogen-Stahlschmelzofen mit Transformatorhaus.

stand, sondern in der Hauptsache durch den um ein Vielfaches höheren induktiven Widerstand begrenzt wird.

Die beim Stahlofen laufend durch Aufstoßen der Elektroden auf das Schmelzgut (Schrott usw.) auftretenden Kurzschlüsse im Ofen werden durch den fast verlustfreien induktiven Widerstand der Anlage so begrenzt, daß sie dem Transformator und den übrigen Teilen der elektrischen Ausrüstung nicht schaden. Schon die Hochstromzuleitungen des Stahlschmelzofens haben eine Reaktanz zwischen 10 und 40% und mehr, je nach Größe der Ofenanlage. Dazu kommt die Reaktanz des Transformators mit 7-12%. Im allgemeinen läßt man Stromstöße bis zum 1,8-2fachen des Nennstromes zu. Genügt die natürliche Reaktanz für die Dämpfung auf diesen Stromwert noch nicht, so wird noch eine zusätzliche Reaktanz in Form einer Hochspannungs-Drosselspule vorgeschaltet.

Die geschilderten Vorteile des Wechselstromes oder Drehstromes für Ofenanlagen haben daher auch nie den Gedanken aufkommen lassen, die großen Öfen mit Gleichstrom zu betreiben, abgesehen von Sonderfällen. Die mit Wechselstrom- bzw. Drehstrom betriebenen Ofenanlagen geben für den rein thermischen Prozeß die Gewähr, daß unerwünschte elektrolytische Erscheinungen nicht auftreten.

Die bisher genannten Vorteile liegen im Wesen des Wechselstromes an sich begründet, jedoch ergibt die Verwendung von Drehstrom noch besondere Vorzüge. — Die Leistung verteilt sich auf drei Elektroden. Im Gegensatz zum Gleich- oder Wechselstrom benötigt dieses Dreiphasensystem bekanntlich keine Rückleitung, da die Ströme der drei

Phasen im Sternpunkt Null werden. Dadurch ergibt sich eine erhebliche Ersparnis an Leitungsmaterial und Verringerung der Verluste.

Bei Öfen mit flüssigem Bad, z. B. Stahlschmelzöfen, übt der Drehstrom eine umrührende Wirkung auf die Schmelze aus und sorgt so für eine Durchmischung und schnellere Temperaturverteilung.

Es soll nun auf einige für den Bau und Betrieb der Öfen wichtige Fragen eingegangen werden, die durch die Eigenart des Drehstromes bedingt sind. Die Verwendung von Drehstrom brachte, insbesondere bei Größerwerden der Ofenanlagen, eine Reihe zunächst unbekannter Erscheinungen mit sich, die einige Schwierigkeiten bereiteten bzw. auch heute noch bereiten.

Bei einem kreisförmigen stromdurchflossenen Leiter nimmt die magnetische Feldstärke von der Mitte des Leiterquerschnittes nach der Oberfläche gleichmäßig ab. Die einzelnen Stromfäden des Leiters sind demnach von innen nach außen mit abnehmend starkem Kraftlinienfeld umgeben. Es wird daher auch der Selbstinduktionskoeffizient und damit der induktive Widerstand von innen nach außen kleiner. Der Strom wird nun dahin gedrängt, wo der kleine Widerstand ist, also nach außen. Während bei Durchgang von Gleichstrom der ganze Querschnitt gleichmäßig vom Strom durchflossen ist, ergibt sich bei Wechselstrom keine gleichmäßige Stromverteilung. Diese Stromverdrängung wirkt sich umso stärker aus, je größer der Leiterquerschnitt und die Wechselzahl sind, außerdem je größer die elektrische und magnetische Leitfähigkeit ist. Um ein Bild über die Größe der Stromverdrängung zu geben, ist in den Kurven Bild 3 die Vergrößerung des Wechselstromwiderstandes R_w im Vergleich

zum Gleichstromwiderstand R_g für verschiedene Durchmesser von runden Leitern angegeben.

Bei einem Durchmesser des Leiters von 20 cm ist bereits der fünffache Widerstand gegenüber dem Gleichstromwiderstand vorhanden. Zum Vergleich ist die Stromverdrängung bei Aluminium und Magnesium angegeben, die entsprechend der geringeren Leitfähigkeit auch etwas kleiner ist.

Bei der Verlegung der Hochstromschienen eines Ofens sind die Verhältnisse der Stromverdrängung nicht so einfach zu übersehen. Bei den oben betrachteten runden Leitern war angenommen, daß das magnetische Feld unbeeinflußt von anderen Feldern ist. In Wirklichkeit ist dies jedoch nicht der Fall, da die Felder der einzelnen Phasen sich gegenseitig beeinflussen oder sich durch benachbarte Eisenteile die Felder verändern, wodurch die Stromverdrängung unübersichtlicher wird. Um nun diese Stromverdrängung klein zu gestalten, verlegt man die Leiter so, daß dort, wo der geringere induktive Widerstand ist, ein größerer Leiterquerschnitt besteht, oder man versucht, die magnetischen Felder selbst zu verkleinern oder zu unterdrücken. Bekanntlich heben sich die Felder entgegengesetzter Stromrichtung gegenseitig auf. Man verlegt daher die Leiter so, daß immer Schienen verschiedener Stromrichtung möglichst dicht nebeneinander liegen, wie man sagt, bifilar verlegt sind (Bild 4). Eine Verringerung der magnetischen Felder erzielt man auch durch eine Formung des Leiterquerschnittes derart, daß das umschließende Feld einen möglichst großen Luftwiderstand findet. Der Leiter wird also nicht kreisförmig oder quadratisch, sondern rechteckig ausgeführt (Bild 5).

Es wurde bereits erwähnt, daß der zusätzliche induktive Widerstand bei Drehstromöfen ein Vorteil sei, da er auf Stromstöße bzw. Kurzschlüsse

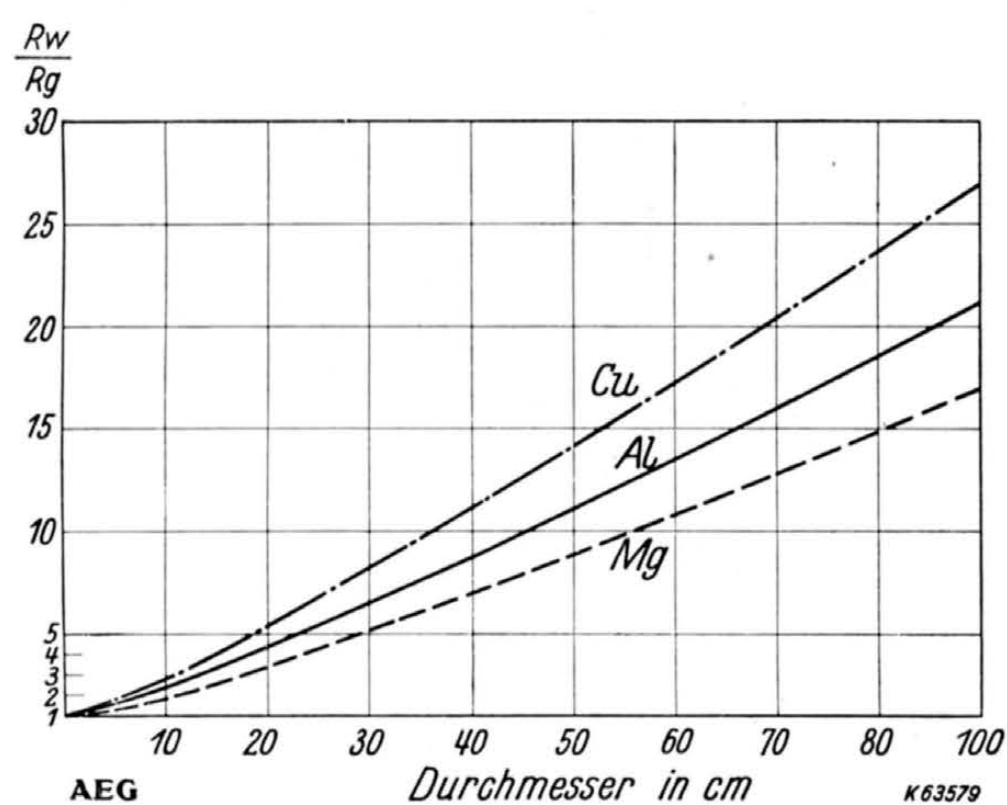


Bild 3. Stromverdrängung in einem runden Leiter, (nach Rein-Wirtz).

dämpfend wirkt. Diesen Vorteil nutzt man besonders bei Schmelzöfen aus, die eine unruhige Stromaufnahme haben und deren betriebsmäßig auftretende Stromschwankungen mit Rücksicht auf die Sicherheit der Anlage und die Rückwirkung auf das Netz

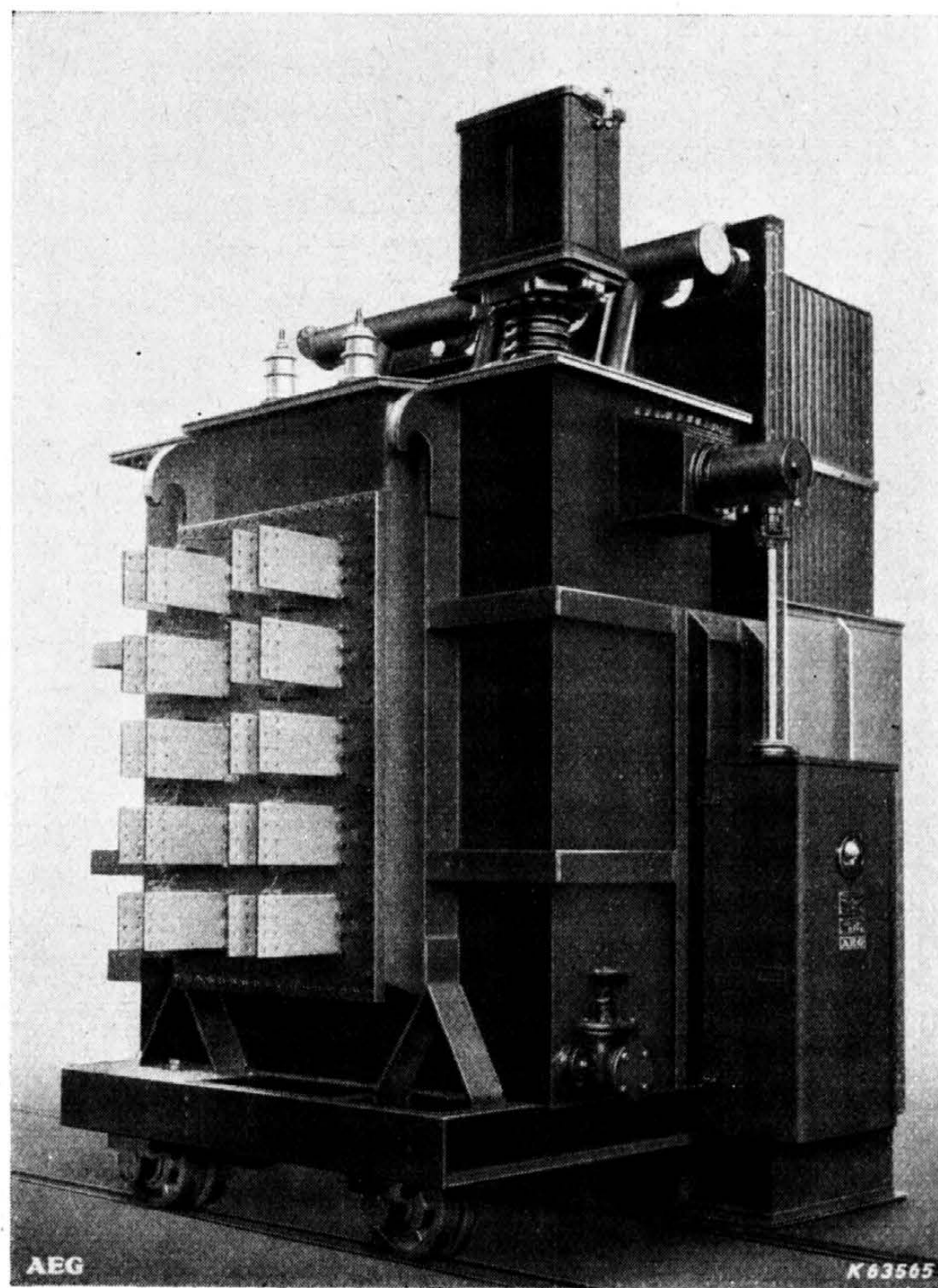


Bild 4. Einphasen-Ofentransformator 3000 kVA, 50000 A mit Schienenausführungen für verschachtelte Schienenverlegung.

eine bestimmte Höhe nicht überschreiten sollen. Bei Öfen mit gleichmäßiger Leistungsaufnahme ist dies jedoch nicht notwendig; man muß vielmehr dann bestrebt sein, den induktiven Widerstand zu verkleinern, da dieser bekanntlich die Ausnutzung der Anlage durch Herabsetzen des Leistungsfaktors ($\cos \varphi$) verschlechtert. Durch bifilar verschachtelte Verlegung der Stromschienen versucht man bei diesen Öfen die magnetischen Felder weitgehend zu unterdrücken. Je größer die Öfen und die Stromstärken, desto sorgfältiger Überlegung bedarf die verschachtelte, kompensierte Schienenverlegung, da es sonst vorkommen kann, daß der Leistungsfaktor so schlecht wird, daß nicht genügend Leistung in den Ofen gebracht wird.

Bei der Verlegung der Hochstromleitungen wird sorgfältig darauf geachtet, daß sie besonders bei unkomensierter Verlegung nicht nahe an größeren Eisenteilen vorbeigeführt werden, da Eisen die magnetischen Felder an sich zieht und verstärkt, wodurch zusätzliche ohmsche Verluste durch Wirbelströme entstehen. Ist das nicht zu vermeiden, so müssen die Bauteile aus nichtmagnetischen Metallen hergestellt werden. Bei diesen sind bei der normalerweise für die Ofenanlagen in Frage kommenden Frequenz von 50 Per/s die Wirbelstromverluste zu vernachlässigen. Wirbelströme können Eisen in der Nähe der Hochstromschienen zum Glühen bringen. Man hat derartige Erfahrungen oft bei der Inbetrieb-

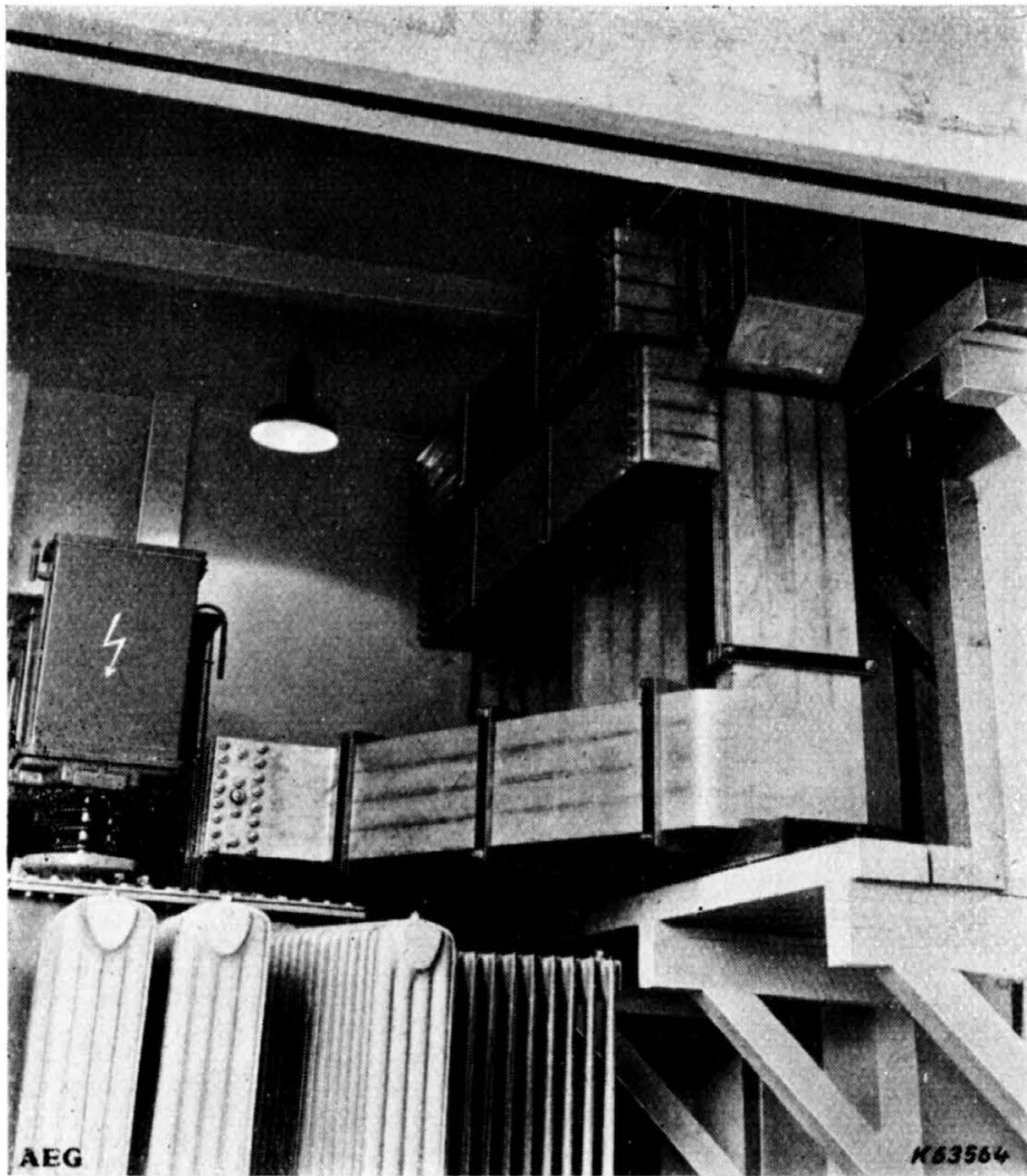


Bild 5. Schienenverlegung am 9000-kVA-Transformator eines 40-t-Lichtbogen-Stahllofens.

setzung von Ofenanlagen machen müssen, bei denen diese Gesichtspunkte nicht beachtet wurden.

Die den induktiven Widerstand erzeugenden magnetischen Wechselfelder der einzelnen Phasen eines Drehstromsystems beeinflussen sich gegenseitig. Liegen die drei Phasen räumlich symmetrisch zueinander, so beeinflussen sie sich alle drei gleichmäßig; liegen sie jedoch unsymmetrisch zueinander, so ergibt sich dadurch auch eine Unsymmetrie in den induktiven Widerständen der einzelnen Phasen. Diese Verhältnisse sind an sich nicht unbekannt, da sie auch in großen unsymmetrischen Drehstromnetzen auftreten. Bei Ofenanlagen mit Stromstärken bis 100000 A und mehr können die Unsymmetrien jedoch so groß werden, daß sie sich nachteilig für den Ofenbetrieb auswirken. Sie führen zu der Erscheinung der sogenannten „toten“ und sogenannten „wilden“ Phase, die besonders größere, ältere Reduzieröfen aufweisen, bei denen die Elektroden nicht symmetrisch im Dreieck stehen, sondern nebeneinander angeordnet sind. Betrachtet man das Schema einer derartigen Ofenanlage (Bild 6), so ist es augenscheinlich, daß die gegenseitigen Induktivitäten verschieden sein müssen, da nur der Abstand zwischen den äußeren Elektroden und der mittleren Elektrode gleich groß ist, während der Abstand der beiden äußeren doppelt so groß ausfällt. Die Induktivität der mittleren Phase erfährt sichtlich durch ihre günstige Lage zwischen den beiden anderen Elektroden eine Verminderung gegenüber den Induktivitäten der äußeren Phasen. Es ist jedoch nun nicht so, daß diese Elektrode eine erhöhte Leistung übernimmt. Betrachtet man einen derarti-

gen unsymmetrisch gebauten Ofen im Betrieb, so sieht man, daß die mittlere Elektrode normal brennt, während sich bei den beiden Außenelektroden mehr oder weniger starke Abweichungen zeigen. Die eine Elektrode zeigt stärkere Flammen, während die andere dazu im Gegensatz weniger stark brennt. Man nennt daher diese beiden Elektroden die „wilde“ und die „tote“ Phase. Die Unsymmetrien können unter Umständen so stark sein, daß der Betrieb des Ofens sehr erschwert wird oder sogar gefährdet ist. Diese eigenartigen Verhältnisse werden klar, wenn man sich vektoriell die Spannungen und Spannungsabfälle eines derartigen Ofens aufzeichnet (Bild 7). Man sieht dann, daß eine Leistungsverchiebung eintreten muß, da die mittlere Elektrode S normale Spannung und Spannungsabfälle hat, während die eine Außenelektrode geringere Spannung und die andere erhöhte aufweist. Dementsprechend ist dann auch die Leistungsaufnahme der einzelnen Elektroden verschieden.

Es ist angenommen, daß der Strom in allen drei Phasen durch die Elektrodenreglung gleich groß gehalten wird. Phase S ist die mittlere Elektrode, Phase R und T sind die Außenelektroden; U ist die verkettete Spannung am Transformator. JX_R , JX_{RT} und JX_{RS} sind die induktiven Spannungsabfälle, die jeweils um 90° voreilend zu den zugehörigen Strömen aufgetragen sind. Das gleiche gilt für die entsprechenden Spannungsabfälle der übrigen Phasen. Parallel zu den Strömen liegen die ohmschen Spannungsabfälle $J \cdot R_R$, $J \cdot R_S$, $J \cdot R_T$, die in der Hauptsache durch den ohmschen Widerstand der Lichtbögen bedingt sind.

Das Diagramm zeigt, daß in Phase R der ohmsche Abfall ($J \cdot R_R$) am größten, in Phase T ($J \cdot R_T$) am kleinsten ist. Die entsprechenden Phasenspannungen U_R , U_S , U_T unterscheiden sich in

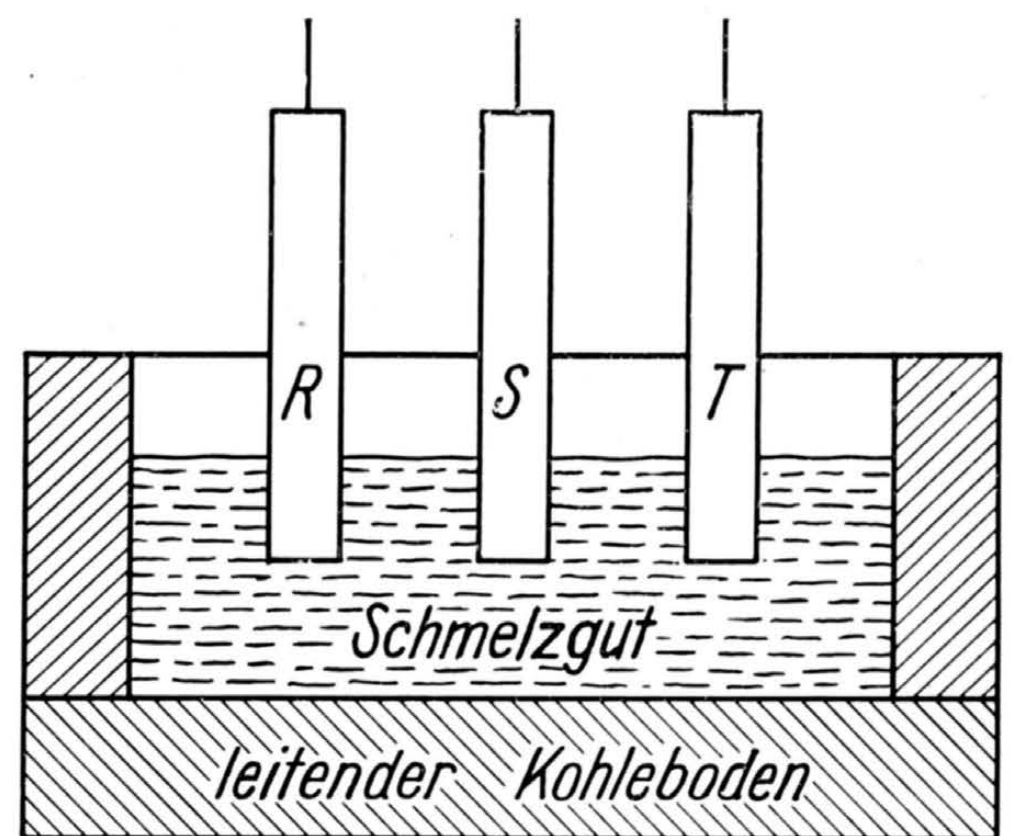


Bild 6. Schema eines unsymmetrischen Drehstromofens.

gleicher Weise voneinander. Da nun der elektrische Widerstand des Beschickungsgutes in dem Ofeninnern als gleichmäßig angesehen werden kann, so muß notgedrungen die Elektrode R hoch in der Schmelze stehen, die Elektrode T tief, während die

mittlere Elektrode normal eintaucht. Dann haben die einzelnen Phasen entsprechend ihren Phasenspannungen auch die ihnen zustehenden Widerstände im Ofen, so daß sich die entsprechenden Spannungsabfälle ergeben. Wenn man einen derartigen Ofen im Betrieb betrachtet, so sieht man dann auch, daß die eine äußere Elektrode mit heller Flamme oben auf der Beschickung brennt, während die andere äußere Elektrode tief eintaucht und daher ihr Lichtbogen nur wenig sichtbar ist. Dementsprechend ist auch die Wärmewirkung der einen äußeren, also der wilden Phase, erheblich größer als die der anderen äußeren, der toten Phase. Hierbei ergibt sich auch eine Verschiebung des Nullpunktes $0'$ gegen den symmetrischen Nullpunkt 0 , wie aus dem Diagramm zu ersehen ist.

Es besteht nun ein zwangsläufiger Zusammenhang zwischen Drehrichtung des Drehstromsystems und Lage der wilden bzw. toten Phase. Die tote Phase folgt immer der wilden in der Drehrichtung. Es muß also möglich sein, durch Vertauschen der Drehrichtung auch die tote und wilde Phase von einer auf die andere, jedoch immer äußere Phase zu verlegen, was sich auch durch den Versuch bestätigen läßt.

Es gibt verschiedene Mittel, um dieser Erscheinung des unsymmetrischen Drehstromofens Herr zu werden. Das beste Mittel ist, den Ofen symmetrisch zu bauen und die Elektroden in Dreieck zu stellen. Dies allein genügt jedoch auch nicht immer. Es muß auch dafür gesorgt werden, daß die Hochstromleitungen so verlegt sind, daß sich nicht zu große Unterschiede in den Induktivitäten ergeben. Der runde Ofen mit den in Dreieck stehenden Elektroden ist jedoch betriebsmäßig, was Beschickung, Abstich usw. betrifft, nicht in allen Fällen günstig, so daß man immer noch gern Öfen mit in Reihe stehenden Elektroden ausführt. Man kann dann die Unregelmäßigkeiten dadurch verbessern, daß man z. B. die Schienen der mittleren Phase mit dem geringeren induktiven Spannungsabfall weniger kompensiert als die der äußeren, d. h. also deren induktiven Widerstand erhöht. Dies ist in dem Diagramm (Bild 7) durch das dünngezeichnete Dreieck erläutert. Man sieht, wie diese Vergrößerung des induktiven Widerstandes der mittleren Phase S das Dreieck der verketteten Spannungen verlagert. Wenn man sich an die Ecken dieses neuen Dreiecks wiederum die Spannungsabfälle angesetzt denkt, sieht man, wie die Spannungsabfälle und die Phasenspannungen sich angleichen. Man sieht aber auch, wie die Vergrößerung der Induktivität bei dieser mittleren Phase verschlechternd auf den $\cos \varphi$ wirkt. Die Größe der erforderlichen Widerstandserhöhung der mittleren Phase ist abhängig von der Größe der Unsymmetrie.

Ein weiteres Mittel gibt der Ofentransformator an die Hand. Durch verschiedene Stufeneinstellung am Transformatorumschalter führt man den Elek-

troden verschiedene Spannungen zu. Zu dem Zwecke muß die Spannung des Transformators in jeder Phase getrennt regelbar sein. Dadurch wird allerdings nicht die unsymmetrische Belastung des Netzes behoben. Auch durch etwas verschiedene

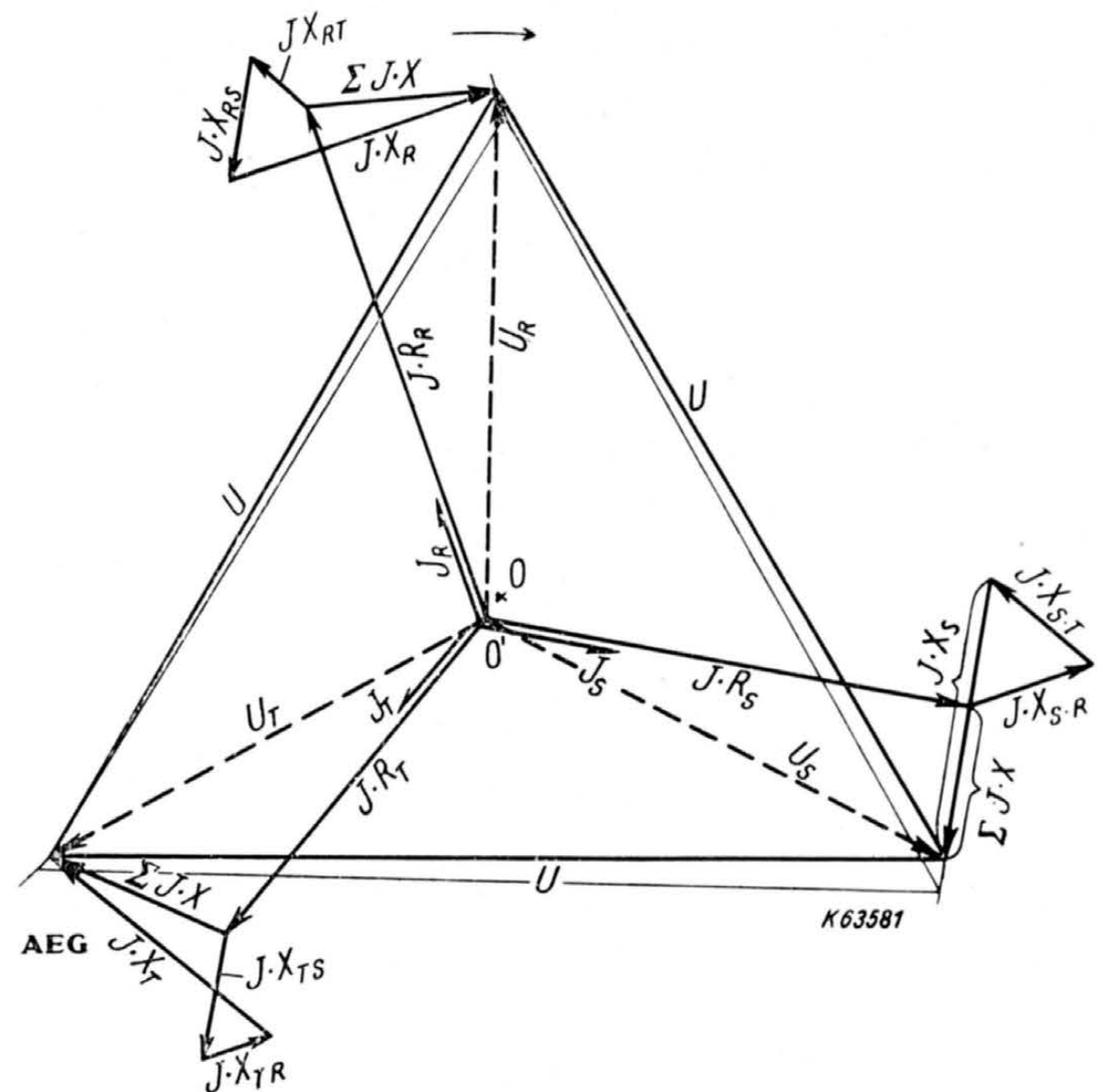


Bild 7. Vektordiagramm eines unsymmetrischen Drehstromofens.

Stromeinstellung kann man bis zu einem gewissen Grade der Unregelmäßigkeit begegnen, eine Maßnahme, die man aus dem gleichen Grunde allerdings nur ungern vornimmt. Das beste Mittel bleibt, den Ofen im Aufbau so symmetrisch auszuführen, daß derartige Erscheinungen nicht auftreten. — Merkbar fällt diese Erscheinung der wilden und toten Phase im allgemeinen erst bei größeren Öfen ins Gewicht, d. h. bei Reduzieröfen mit Stromstärken über 25–30 000 A. Bei den Stahlschmelzöfen, deren Stromstärke z. Z. 22 000 A nicht überschreitet, sind diese Verhältnisse weniger merklich.

Auch bei ungleicher Strombelastung des Drehstromofens tritt in gleicher Weise wie bei dem unsymmetrisch aufgebauten Ofen eine Nullpunktverlagerung auf. Würde man den Nullpunkt des Ofentransformators erden, so ergäbe sich dann infolge der Spannungsdifferenz ein Ausgleichstrom über Erde. Normalerweise erdet man jedoch den Nullpunkt des Ofentransformators nicht. Die durch Nullpunktverlagerung entstehenden Unregelmäßigkeiten sind im allgemeinen in der Wirkung auf das Netz zu vernachlässigen. Sind mehrere Ofenanlagen in Betrieb, so können im allgemeinen die unsymmetrischen Lasten so auf die einzelnen Phasen verteilt werden, daß sie sich annähernd ausgleichen.

Zu den Elektroöfen großer Stromstärken sind insbesondere auch die sogenannten direkten Widerstandsöfen zu rechnen, die eine besondere Stellung einnehmen, da sie als Einphasenöfen betrieben werden. In diesen Öfen wird durch direkten Stromdurchgang das Beschickungsgut auf Temperatur ge-

bracht. Hierher gehören z. B. die Grafitierungs- und Karborundumöfen. Im erstgenannten wird Kohle unter Stromdurchgang auf hohe Temperatur gebracht, wodurch sie in die kristallinische Form Grafit übergeht; in dem zweiterwähnten wird aus

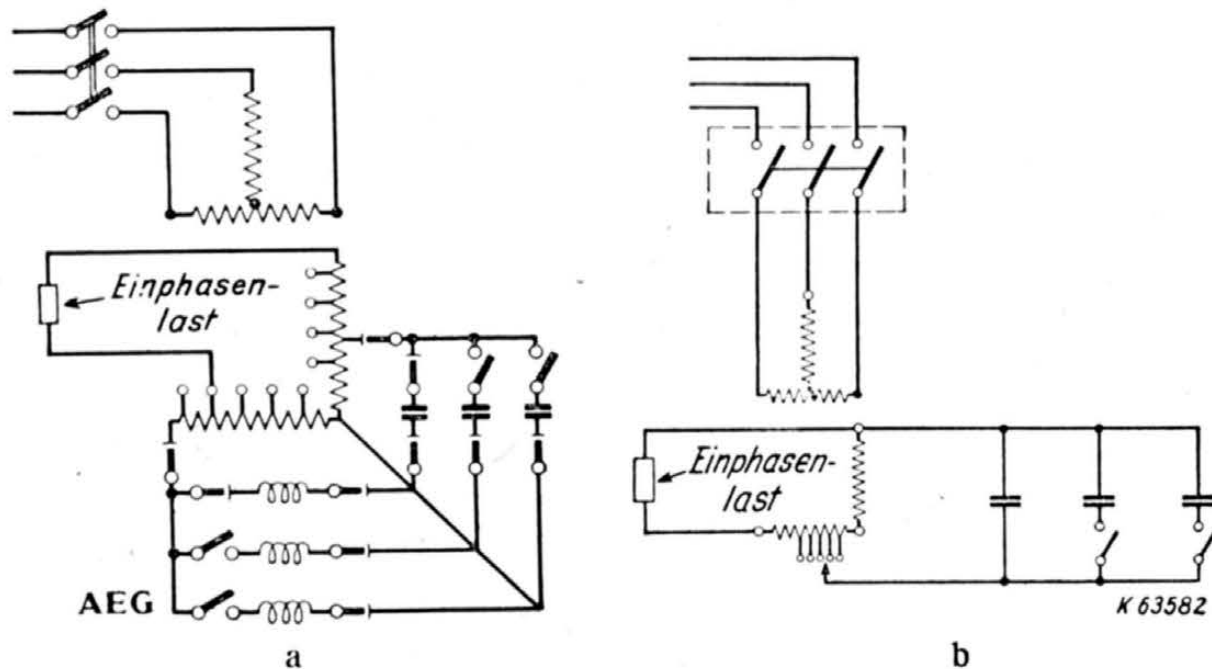


Bild 8. Schaltungen für Symmetrierung einer Einphasenlast.

Quarz und Kohle Siliciumkarbid, ein Schleifmittel, erzeugt. Diese Einphasenöfen arbeiten je nach Größe mit Stromstärken, die 50 000 A und mehr betragen können. Die Spannung muß in weiteren Grenzen geändert werden, um die wechselnden Widerstände des Beschickungsgutes ausgleichen zu können. Obwohl für derartige Einphasenöfen der Gleichstrom gewisse Vorteile hat (d. s. keine induktiven Widerstände, keine Stromverdrängung, leichte Regelbarkeit der Spannung), vermeidet man ihn auch hier — abgesehen von wirtschaftlichen Gesichtspunkten — insbesondere wegen des Einflusses der großen Staubentwicklung in derartigen Betrieben auf die Gleichstrom-Maschinen mit ihren Kommutatoren. Man könnte natürlich einen derartigen Ofen mit Gleichstrom über gittergesteuerte Gleichrichter betreiben. Die Anlage würde jedoch durch den großen erforderlichen Regelbereich kostspielig werden. Man nimmt daher gewisse Unbequemlichkeiten des Wechselstromes in Kauf, die gerade hier beim Einphasenofen durch die Stromverdrängung und den induktiven Widerstand gegeben sind. Die Stromverdrängung steigt, wie oben schon erwähnt, mit dem Durchmesser des Leiters. Da derartige Öfen 1–2 m im Durchmesser haben können, ist naturgemäß die Stromverdrängung in dem Ofengut besonders groß. Da der Prozeß jedoch langsam, d. h. über einige Tage verläuft, gleicht sich die Temperatur in dem Ofengut langsam aus, so daß sich dadurch keine Nachteile ergeben. Um den induktiven Widerstand herabzusetzen und damit den Leistungsfaktor zu verbessern, bedarf es sorgfältig überlegter Leitungsverlegung. Alte Ofenanlagen,

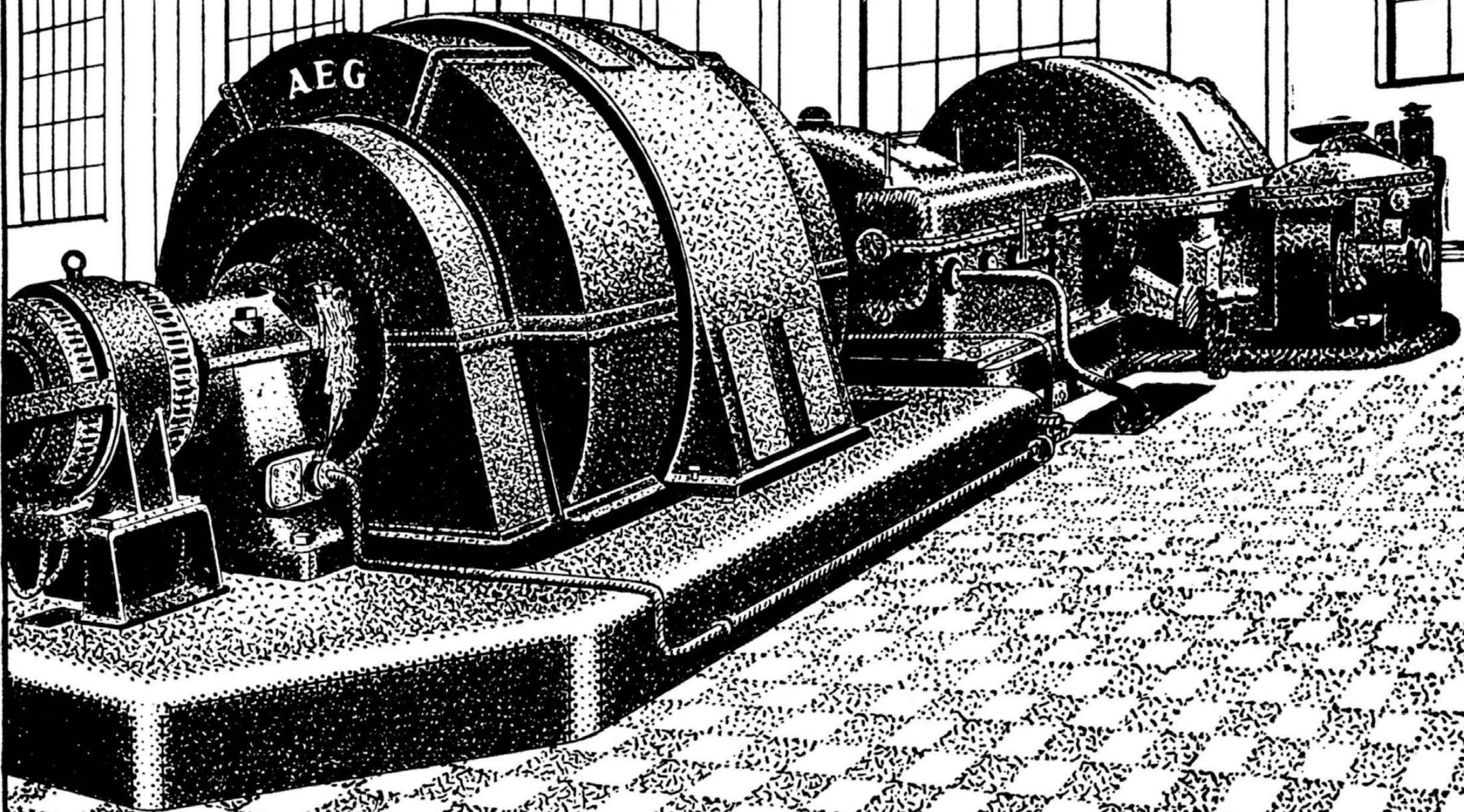
bei denen dies nicht beachtet wurde, haben unter Umständen einen $\cos \varphi$, der bei 0,4–0,5 liegt, während man heute auch bei großen Öfen 0,8 und mehr erreichen kann.

Aus Gründen der Spannungsreglung wurden die Öfen früher direkt von einem Einphasen-Generator oder durch Transformatoren und Drehregler betrieben; heute verwendet man unter Last feinstufig regelbare Ofentransformatoren.

Die Einphasenlasten dieser Ofenanlagen sind den stromliefernden Netzen im allgemeinen höchst unerwünscht. Nun ist es rein schaltungstechnisch, d. h. durch bestimmte Transformatorschaltungen nicht möglich, eine Einphasenlast in eine Drehstromlast zu verwandeln. Dazu sind vielmehr zum Energieausgleich rotierende Umformer erforderlich. Vor einigen Jahren wurde jedoch zum erstenmal von der AEG eine derartige Einphasen-Ofenanlage erbaut, bei der ohne einen solchen Umformer die sekundäre Einphasenlast des Ofens primär in eine symmetrische Drehstromlast umgewandelt wurde. An Stelle mechanischer Energiespeicher wurden elektrische bzw. magnetische Speicher verwendet. — Kurz gesagt, handelt es sich dabei darum, die unbelasteten Phasen des durch den Ofen einphasig belasteten Drehstrom-Transformators durch induktive und kapazitive Blindwiderstände zum Ausgleich zu belasten, wie Bild 8a zeigt. Hier wurde nicht ein normaler Drehstrom-Transformator, sondern ein Scott-Transformator verwendet, bei dem diese Schaltung sich einfacher durchführen läßt. Da der Ofen selbst infolge der großen Stromstärke eine starke induktive Belastung darstellt, konnte man auf die in Bild 8a noch vorgesehene induktive Zusatzlast des einen Umspannerschenkels verzichten und den Ausgleich durch kapazitive Belastung gemäß Bild 8b durchführen. Dies hat den Vorzug einfacherer Schaltung und einer Verbesserung des Leistungsfaktors, der je nach Größe der Einphasenlast im allgemeinen voreilend zwischen $\cos \varphi = 1 \dots \cos \varphi = 0,8$ liegt. Die Belastung des Einphasenofens wechselt zeitlich langsam. Entsprechend dieser Laständerung müssen zur Erhaltung der symmetrischen Drehstromlast Ausgleichslasten, also hier Kondensatoren, zu- oder abgeschaltet werden. Selbstverständlich wird dadurch der Drehstromausgleich nur stufenförmig durchgeführt. Das genügt auch, da eine kleine Unsymmetrie für die Belastung des Netzes ohne weiteres zulässig ist.

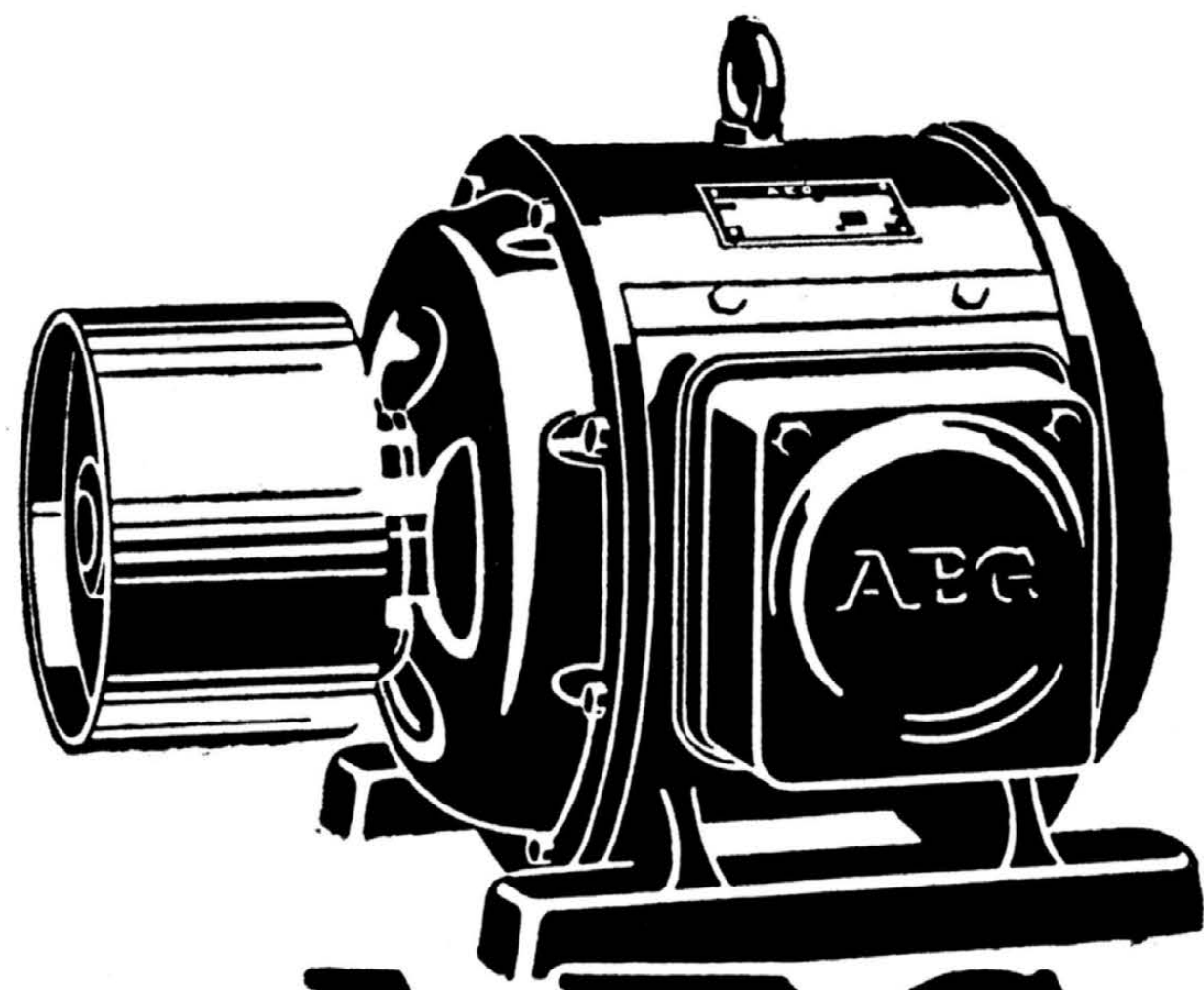
AEG

Drehstrommotoren großer Leistung



Drehstrom-Synchronmotor für 3000 kW,
1000 U/min, 10 kV, $\cos\varphi = 0,9$ v, über ein
Vorgelege mit einem Kreiselkompressor
für 30 000 m³/h, 6 atü gekuppelt

ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS - GESELLSCHAFT



AEG

Nachtrag

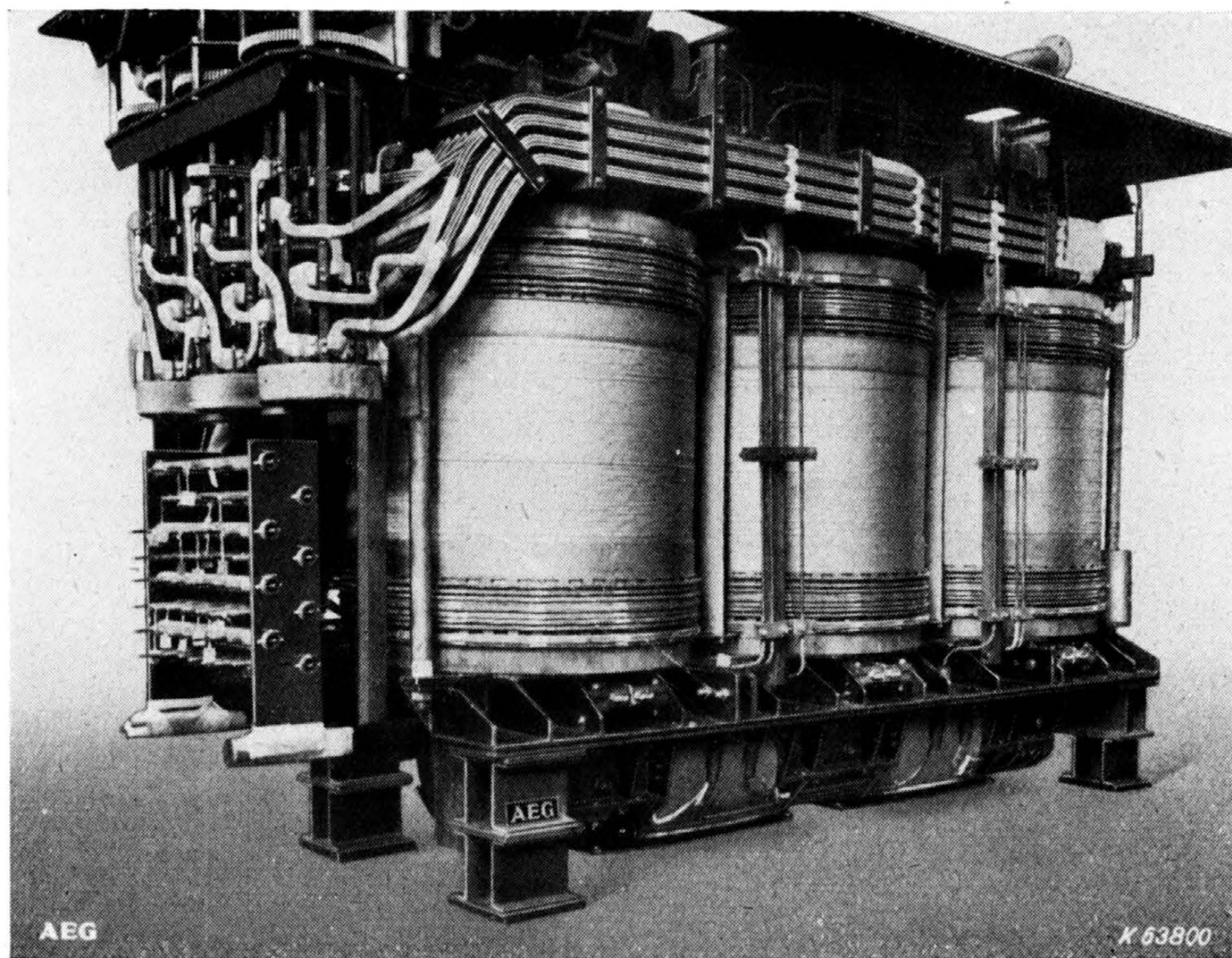
zu dem Aufsatz über Transformatorenschaltungen und ihre Eigenschaften.

Von Dr.-Ing. R. Mangold.

DK 621.314.2:621.316.3

Der in Heft 1/2 der AEG-Mitteilungen 1941 erschienene Aufsatz über Transformatorenschaltungen und ihre Eigenschaften sollte den Leser mit den Haupteigenschaften der einzelnen Schaltungen bekanntmachen, ohne Berücksichtigung ihrer praktischen Bedeutung. Es ist dabei zunächst ein Versehen richtigzustellen. Da beim Einphasentrans-

det sich von dem des Einphasentransformators durch das Fehlen aller durch 3 teilbaren Oberwellen, da diese in allen drei Phasen gleiche Größe und Richtung haben und nur über den Nullpunkt fließen können. Dieser ist aber üblicherweise nicht starr geerdet oder direkt verlegt. Das Fehlen der 3. Harmonischen im Magnetisierungsstrom ruft eine



Symmetrischer und oberwellenfreier Drehstrom-Regeltransformator,
Leistung 30000 kVA, Spannung $104 \pm 23,64 \times 5,85$ kV.

formator eine Kompensation der Oberwellen nicht möglich ist, muß das Bild 13 durch das nebenstehende Bild eines symmetrischen und oberwellen kompensierten Drehstromtransformators ersetzt werden, ebenso ist mit Ausnahme des ersten Satzes der erste Absatz auf Seite 4 zu streichen.

In dem Aufsatz wurde, wie üblich, die Magnetisierungswicklung als Primärwicklung bezeichnet. Sie ist bei Aufwärtstransformatoren die Unterspannungswicklung und bei Abwärtstransformatoren die Oberspannungswicklung.

Der Magnetisierungsstrom eines magnetisch symmetrischen Drehstromtransformators unterscheidet

sich von dem des Einphasentransformators durch das Fehlen aller durch 3 teilbaren Oberwellen, da diese in allen drei Phasen gleiche Größe und Richtung haben und nur über den Nullpunkt fließen können. Dieser ist aber üblicherweise nicht starr geerdet oder direkt verlegt. Das Fehlen der 3. Harmonischen im Magnetisierungsstrom ruft eine entsprechende Flußharmonische und damit eine Verzerrung der Phasenspannung hervor, wenn die magnetischen Sternpunkte der Joche durch einen vierten und fünften Schenkel verbunden sind. Bei Dreischenkelkernen kann sich eine 3. Flußharmonische wegen des hohen magnetischen Widerstandes des Luftweges von Joch zu Joch nur als schwacher Streufluß ausbilden. Gibt man dem Transformator eine primäre, sekundäre oder tertiäre Dreieckwicklung, so tritt die im Magnetisierungsstrom fehlende 3. Harmonische als Kreisstrom im Dreieck auf. Damit ist die Möglichkeit der Ausbildung einer 3. Flußoberwelle für jede Art der

Kernaussführung unterbunden. In der gleichen Weise wirkt sich natürlich eine starre Nullpunkt-erdung aus.

Die 5., 7., 11., 13. Harmonischen treten im Magnetisierungsstrom des Drehstromsystems im gleichen Betrag wie im Einphasensystem auf. Praktisch fließt meist auch noch eine restliche 3. Harmonische, die durch die Unsymmetrie der magnetischen Wege im Drehstromtransformator hervorgerufen wird.

Man kann also in allen diesen Fällen nicht von einem sinusförmigen Magnetisierungsstrom sprechen, da die 5. Harmonische, die am häufigsten zu Störungen Anlaß gibt, und ebenso die 7. Harmonische noch in vollem Umfang vorhanden sind. Bei Resonanz des Netzes für die 5. oder

7. Harmonische, die häufig genug auftritt, sind die Rückwirkungen des Magnetisierungsstromes auf die Netzspannungskurve besonders störend. Ein völlig oberwellenfreies Netz erhält man nur bei Verwendung von symmetrierten und oberwellenfreien Transformatoren.

Von allen bisher entwickelten Verfahren zur Oberwellenkompensation haben nur zwei praktische Bedeutung erlangt: Das Kompensationsverfahren von Buch und Hueter, das vor allem für kleinere Transformatoren geeignet ist, und die magnetische Stern-Dreieckschaltung der AEG. Beide Verfahren erfordern zu ihrer Verwirklichung keinen nennenswerten konstruktiven Mehraufwand; oberwellenfreie Transformatoren werden daher in großem Umfang ausgeführt.

Neue Tafel zur Berechnung der Gasstrahlung in Berührungsheizflächen.

Unter diesem Titel ist ein Sonderdruck¹⁾ der Abteilung für Wärmetechnik erschienen, dessen Rechentafel die Tafel 11 des Buches „Dampfkraft“²⁾ ersetzt, wie dies bereits mit Tafel 1, 2³⁾ „Zugverluste in rauchgasbeheizten Rohrbündeln“ und Tafel 8⁴⁾ „Wärmeübergangszahlen in rauchgasberührten Rohrbündeln“ geschehen ist. Der Sonderdruck wird Interessenten gerne auf Anforderung zugestellt.

Der Hauptteil der Arbeit behandelt die rasche Ermittlung der durch Gasstrahlung übertragenen Wärmemenge an Hand eines Beispiels, während in einem Anhang der Aufbau der Tafel, die Errechnung der genauen Temperaturen und der Gas-

anteile sowie ihre Anwendung auf Sonderfälle erörtert wird. Auf Grund der neuen Tafelwerte werden für Braunkohle und Steinkohle bei verschiedenen Rohranordnungen die Wärmeübergangszahlen sowohl durch Berührung bei verschiedenen Gasgeschwindigkeiten als auch durch Strahlung in Abhängigkeit von der mittleren Gastemperatur dargestellt und damit Anhaltswerte für überschlägige Untersuchungen und ein guter Überblick über die Größenordnung der die gesamte Wärmeübertragung hauptsächlich beeinflussenden Größen gegeben.

¹⁾ Sonderdruck Wt 1027.

²⁾ Münzinger, Dampfkraft, Berlin 1933.

³⁾ Das Kraftwerk 1938, Heft 1.

⁴⁾ Sonderdruck Wt 1025.