

# Kompoundierte Asynchronmaschinen für den elektromotorischen Antrieb und die Netzkupplung

Autor(en): **Kummer, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **89/90 (1927)**

Heft 4

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-41726>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Kompoundierte Asynchronmaschinen für den elektromotorischen Antrieb und die Netzkupplung. — Das Kraftwerk Eglisau der N. O. K. — Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft. — Wettbewerb für das Bezirksschul-Gebäude an der Burghalde in Baden. — Korrespondenz: Modellversuche für das Limmattwerk Wettingen. — Mitteilungen: Wasserstoff als Kühlmittel für elektrische Maschinen.

Frühhochfester Mörtel und Beton. Die Materialfrage im heutigen Dampfturbinenbau. Ein neues Wasserkraftwerk im Südtirol. Ein neues Einstampferverfahren für Geleisebettung. Starkstrom-Unfälle in der Schweiz. Vertikalachsige Freistrahlturbinen für die Anlage Handeck. Metallproduktion der Welt. — Nekrologie: A. Schucan, S. Bergmann. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Sektion Bern des S. I. A. S. T. S.

Band 90.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 4

## Kompoundierte Asynchronmaschinen für den elektromotorischen Antrieb und die Netzkupplung.

Von Prof. Dr. W. KUMMER, Ingenieur, Zürich.

In der gegenwärtigen Entwicklung der Starkstrom-Technik kann das Bestreben der Hochhaltung des Leistungsfaktors ( $\cos \varphi$ ) der Anlagen als hervortretendes Merkmal festgestellt werden. Im Sinne dieser Bestrebungen ist beispielsweise der sog. Synchron-Induktionsmotor entwickelt worden, d. h. der synchronisierte Asynchronmotor, der wohl selbst anläuft, aber im Betriebe sich sonst wie ein gewöhnlicher Synchronmotor verhält, insbesondere also keinerlei Drehzahl-Regelung zulässt, insofern wenigstens auf die übrigens nur wenige Stufen liefernde Polumschaltung oder Kaskadenschaltung verzichtet wird. Demgegenüber erlaubt die kompoundierte Asynchronmaschine eine weitgehende, stetige Drehzahlregelung und ermöglicht die Hochhaltung, bezw. Verbesserung des Leistungsfaktors einer Anlage ebenso gut, wie jede Synchronmaschine. Anstelle der Gleichstrom-Erregermaschine dieser letzten erhält die Asynchronmaschine eine mit einem Kommutator ausgerüstete Drehstromhilfsmaschine, die selbst etwa die Grösse einer Erregerdynamo hat und etwa ein oder auch zwei weitere Hilfsmaschinen nach sich zieht. In Abbildung 1 zeigen wir, in wie universeller Weise die mechanische Charakteristik der gewöhnlichen Asynchronmaschine, die im Gebiete kleiner Schlüpfungen bekanntlich<sup>1)</sup> durch die Gerade 1—1 dargestellt wird, durch das Mittel der Kompoundierung abgeändert werden kann. Die durch die sieben Geraden in Abbildung 1 veranschaulichten Charakteristiken laufen alle durch den Normalpunkt, dessen Abszisse die Nennleistung  $L_n$  und dessen Ordinate die Nennwinkelgeschwindigkeit  $\omega_n$  bedeuten.<sup>2)</sup> Die Ausgangscharakteristik 1—1 schneidet auf der  $\omega$ -Axe die der Polzahl und der Netzfrequenz entsprechende synchrone Winkelgeschwindigkeit  $\omega_0$  heraus. Es ist einleuchtend, dass mit einer derart veränderungsfähigen Motor-Charakteristik grundsätzlich jedes Antriebsproblem gelöst werden kann. Aber nicht nur der elektromotorische Antrieb, sondern auch die Kupplung von Kraftübertragungsnetzen besonders solcher von ungleicher Frequenz, wie z. B. eines Bahnnetzes von  $16\frac{2}{3}$  und eines Allgemenetzes von 50 Perioden, können von dieser, in ihrer Charakteristik so veränderungsfähigen

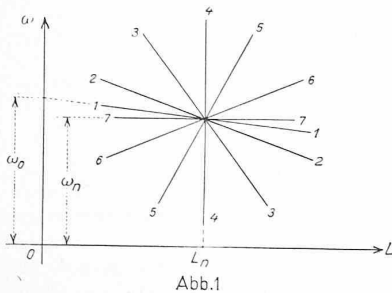


Abb. 1

komppoundierten Asynchronmaschine Nutzen ziehen, wenn diese nämlich, bei der Bildung eines Periodenumformers, als dessen eine Hälfte verwendet wird, während die andere Hälfte durch eine normale Synchronmaschine gebildet ist; ein solcher Umformer verhindert nämlich selbsttätig, dass die Periodenschwankung im einen Netz sich auch im andern geltend macht, wobei er z. B. bei der Wahl der Charakteristik 4—4 stets eine konstante Leistung vom einen Netz ins andere überträgt.

<sup>1)</sup> Wir verweisen auf unsern, diese Charakteristik als Drehmoment-Winkelgeschwindigkeit-Kurve darstellenden Aufsatz in Bd. 81, Seite 281.

<sup>2)</sup> Die Gerade 7—7, mit  $\omega_0 = \omega_n$ , stellt den Fall der synchronisierten Maschine dar.

Das System der Kompoundierung, mit dem in besonders einfacher Weise die angedeuteten wertvollen Wirkungen selbsttätig hervorgebracht werden können, ist als System der Frequenzregelung im Rotor einer Asynchronmaschine zu bezeichnen und ergibt für das Beispiel eines Drehstromnetzes ein grundsätzliches Schaltbild, das wir in

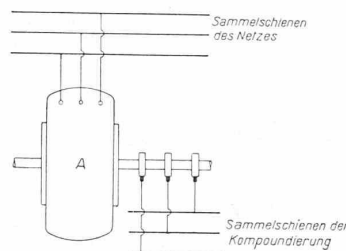


Abb. 2

Abb. 2 vorführen. Falls anstelle der Kompoundierungs-Sammelschienen dieses Schemas ein Anlasswiderstand, bezw. eine Kurzschluss-Vorrichtung angebracht wird, dann haben wir es mit dem gewöhnlichen, im Stator den Primärteil, im Rotor den Sekundärteil aufweisenden asynchronen Drehstrommotor zu tun. Für dessen Sekundärteil ist dann, wenn  $L$  die Leistung des, abgesehen von den Rotorkupferverlusten, als verlustlos betrachteten Motors an der Welle, in Watt, und  $s$  die Schlüpfung des Rotors bedeuten:

$$\frac{L}{1-s} = m_2 E_2 J_2 \cos \varphi_2$$

wobei auf der rechten Seite die Sekundärdaten, mit  $m_2 = \sqrt{3}$  für dreiphasige verkettete Wicklung bedeuten. Wie wir an anderer Stelle abgeleitet haben<sup>1)</sup>, gilt, mit  $r_2$  und  $x_2$  für Widerstand und Reaktanz im Sekundärteil:

$$J_2 = \frac{s E_2}{\sqrt{r_2^2 + (s x_2)^2}}$$

wofür auch, bei Einführung der meist bei 0,4 bis 0,5 liegenden Schlüpfung  $s_m = r_2/x_2$  im Abfallpunkt des Motors:

$$J_2 = \frac{s E_2}{r_2 \sqrt{1 + \frac{s^2}{s_m^2}}}$$

gesetzt werden kann. Weiter ist:

$$\cos \varphi_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{s^2}{s_m^2}}}$$

und folgt:  $m_2 E_2 J_2 \cos \varphi_2 = \frac{m_2 s E_2^2}{r_2 (1 + (\frac{s}{s_m})^2)}$

Es gilt also auch:

$$L = \frac{m_2 E_2^2}{r_2} \frac{s(1-s)}{1 + (\frac{s}{s_m})^2}$$

Bei kleinen Werten von  $s$  (diese Grösse ist etwa 0,02 im Normalpunkt) gilt genügend genau:

$$L = s \frac{m_2 E_2^2}{r_2}$$

was, für konstante Netzspannung, bei der Konstanz des Bruchs  $m_2 E_2^2/r_2$ , auf Proportionalität von  $L$  und  $s$ , bezw. auf die Charakteristik 1—1 der Abbildung 1 führt, da  $s = (\omega_0 - \omega) : \omega_0$  ist.

Wir greifen nochmals zur Beziehung:

$$J_2 \cos \varphi_2 = \frac{1}{r_2} \frac{s E_2}{1 + (\frac{s}{s_m})^2}$$

<sup>1)</sup> „S. B. Z.“ Band 50, Seite 112 (vom 3. August 1907), sowie Seite 38 der zweiten Auflage von Band I der vom Verfasser herausgegebenen „Maschinenlehre der elektrischen Zugförderung“.

und beachten, dass:

$$\frac{s E_s}{1 + \left(\frac{s}{s_m}\right)^2} = E_{rs}$$

eine Spannungsgrösse darstellt, die im Rotor selbst induziert wird. Sie kann durch eine, mittels der Kompoundierungs-Sammelschienen zugeführte gleiche, aber entgegengesetzte Spannungsgrösse  $E_{ks}$  aufgehoben werden; dann gilt:

$$J_2 \cos \varphi_2 = \frac{1}{r_2} (E_{rs} - E_{ks}) = 0$$

wobei nicht  $\cos \varphi_2$ , sondern  $J_2$  selbst zu null wird. Um mittels der Kompoundierung wieder einen Strom im Rotor,

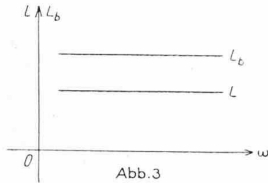


Abb. 3

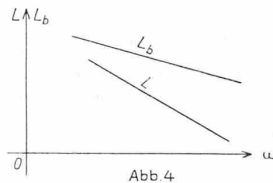


Abb. 4

und eine Leitung an der Motorwelle zu erhalten, muss an den Kompoundierungs-Sammelschienen noch eine weitere Spannung eingeführt werden, die eine konstante Grösse solcher Art sei, dass die Gleichung:

$$J_2 \cos \varphi_2 = \frac{1}{r_2} (E_{rs} - E_{ks} + E_h \cos \varphi_2) \quad (1)$$

bezw.

$$J_2 = \frac{E_h}{r_2}$$

erfüllt werde. Da nunmehr sowohl ( $J_2 \cos \varphi_2$ ) als auch  $J_2$ , sowie ( $J_2 \sin \varphi_2$ ) von  $s$  unabhängig sind, ergibt sich, gemäss Abbildung 3, eine Charakteristik der Leistung  $L$ , die unabhängig von  $\omega$  ist, welche Unabhängigkeit auch für die sog. Blindleistung

$$L_b = L \operatorname{tg} \varphi_2$$

gilt; diese letzte ist, nach gleichzeitig erfolgter Kompensation der Primärstreuung der Asynchronmaschine, verwendbar zur Deckung des weiteren wattlosen Strombedarfs im Betriebsnetze. Da die Grösse und die Phase von  $E_h$  frei wählbar sind, kann grundsätzlich stets die gewünschte „Phasenschiebung“ im Netz erzielt werden.

Eine Kompoundierung von allgemeinerer Art besteht dann, wenn an den bezüglichen Sammelschienen ausser den  $E_{ks}$  und  $E_h$  noch eine weitere, mit  $s$  proportionale Hilfsspannung derart eingeführt wird, dass die Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} J_2 \cos \varphi_2 &= \frac{1}{r_2} (E_{rs} - E_{ks} + E_h \cos \alpha + s E_{hh} \cos \beta) \\ J_2 \sin \varphi_2 &= \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{r_2} (E_h \cos \alpha + s E_{hh} \cos \beta) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

begründet sind. Mit ( $J_2 \cos \varphi_2$ ) wird  $L$ , und mit ( $J_2 \sin \varphi_2$ ) wird  $L_b$  zur allgemeinen linearen Funktion von  $s$ , und damit auch von  $\omega$ ; es besteht also die Möglichkeit der Herstellung einer jeden der in Abbildung 1 angedeuteten Charakteristiken. Dabei kann bei geeignetem Einheiten-Massstab die Abszissenaxe einmal zur Darstellung von  $L$ , das andere mal zur Darstellung von  $L_b$  in Betracht fallen. Zur Netzkupplung werden Charakteristiken nach 1—1, 2—2, 3—3, 4—4 in Betracht fallen, wobei wir für den Allgemeinfall in Abbildung 4 nochmals  $L$  und  $L_b$  über  $\omega$  darstellen. Es liegt auf der Hand, dass man durch passende Wahl der Grössen  $E_h$  und  $E_{hh}$ , sowie  $\alpha$  und  $\beta$ ,  $L$  parallel zur  $\omega$ -Achse machen kann, während die Lage von  $L_b$  eine geneigte bleibt, bezw.  $L_b$  parallel zur  $\omega$ -Achse bei geneigt bleibender Lage von  $L$  bestimmen kann, je nach den gerade vorliegenden Erfordernissen eines praktischen Betriebes.

Es sei noch bemerkt, dass die selbsttätige Kompoundierung nach Gleichungsgruppe (1), bezw. (2), sowohl für positive, als auch für negative Schlüpfungen  $s$ , d. h. sowohl für untersynchrone, als auch für übersynchrone Schlüpfung möglich ist. Im Prinzip ist die Kompoundierung von Asynchronmaschinen mittels Frequenzregelung im Rotor, sowie auch mittels Frequenzregelung im Stator, schon seit mehr als 20 Jahren bekannt<sup>1)</sup>; jedoch arbeiteten die ältern Kom-

<sup>1)</sup> Vergl. den Aufsatz des Verfassers „Ueber Regulierschaltungen für elektromotorische Antriebe“ im „Bulletin des S. E. V.“ vom Oktober 1912, sowie die Mitteilung in Bd 60, S. 285 (23. Nov. 1912), der „S. B. Z.“.

poundierungen nicht durchwegs selbsttätig, sondern es musste, um jede der in Abbildung 1 angedeuteten Charakteristiken zu erhalten, ein Regelorgan von Hand, oder mittels eines besonderen, automatischen Regulierapparates verstellt werden (Fall des gesteuerten Schlupfwiderstandes). Die automatische Kompoundierung für beliebige Charakteristiken durch, an die Kompoundierungs-Sammelschienen angeschlossene Hilfsmaschinen selbst, ist 1925 erstmals durch Ing. Dr. W. Seiz, mit Maschinen der A.-G. Brown Boveri & Cie., verwirklicht worden; anschliessend teilte er auch schon die massgebenden Zusammenhänge mit, allerdings in anderer Darstellung, als es hier geschah.<sup>1)</sup> Die von ihm verwendete, grundsätzliche Schaltung<sup>2)</sup> veranschaulichen wir in Abbildung 5, wobei A (wie in Abbildung 2) die zu kompoundierende Asynchronmaschine bedeutet. Die Hilfsmaschinengruppe B-C verwirklicht das seit langem von der A.-G. Brown Boveri & Cie. zur Kompoundierung benutzte „Scherbius-Aggregat“, dessen mehrphasige Kommutator-Maschine B von jeher die Schleifringe von A aus dem Kommutator speiste, während die Induktionsmaschine C ihre Drehzahl hielt.<sup>3)</sup> Neu ist nunmehr die Verwendung des mit A gekuppelten, über den einstellbaren Transformator T vom Netz aus gespeisten Frequenzumformers D, der mit seinem Kommutator an die einen Enden der Nebenschlusswicklung von B angeschlossen ist, während die andern Enden dieser Wicklung über den Widerstand R ebenfalls an die Schleifringe von A führen; falls im Widerstand R ein merkbarer Effektverlust auftritt, kann er durch Verwendung einer besonders kleinen Erregermaschine beseitigt werden. Es würde den Rahmen unserer, in erster Linie grundsätzlichen Betrachtung überschreiten, wenn wir die Einzelheiten der durch Abbildung 5 veranschaulichten Schaltung und die in gewissen Fällen angewendeten Änderungen dieser Schaltung näher erläutern wollten; hierzu sei auf die zitierte Originalabhandlung von W. Seiz verwiesen. Es genügt hier, festzustellen, dass durch die angewendeten Mittel das vorgesezte Ziel verhältnismässig einfach und durchaus zuverlässig erreicht wird. Wir verzichten auf die genauere Rücksichtnahme auf die Vorgänge

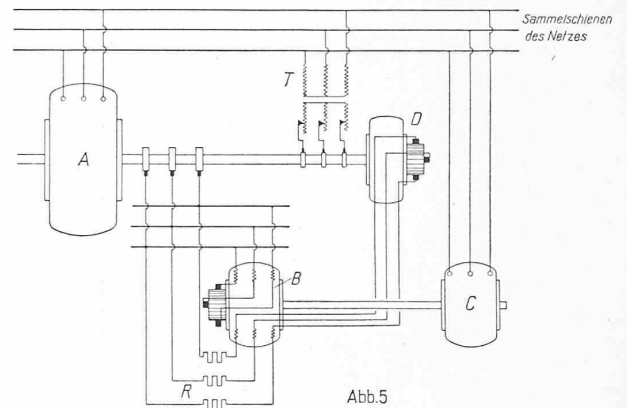


Abb. 5

im Stator der Asynchronmaschine, die nach unserer analytischen Erörterung der Vorgänge im Rotor ebenfalls analytisch zu erfolgen hätte. Mit dem Hinweis darauf, dass der Magnetisierungsstrom für das Hauptfeld und der Stator-Spannungsverlust die bedeutendsten weiter hinzutretenden Erscheinungen bilden und die von den normalen Asynchronmaschinen her wohlbekannten Wirkungen nach sich ziehen, die indessen durch die Anpassung der Kompoundierungseinrichtung unwirksam gemacht werden, dürften die Verhältnisse als hinlänglich beleuchtet gelten können.

Im gegenwärtigen Zeitpunkt des sich rasch entwickelnden Zusammenschlusses elektrischer Anlagen von grösster

<sup>1)</sup> Vergleiche Seite 121 und 150 von Band XIII der „BBC-Mitteilungen“ (Mai und Juni 1926).

<sup>2)</sup> Nach Abbildung 7 auf Seite 126 von Band XIII der „BBC-Mitteilungen“ (Mai 1926).

<sup>3)</sup> Setzt man B auf die Welle von A, was bei schnelllaufender Maschine A zweckmässig ist, so fällt die Maschine C weg.

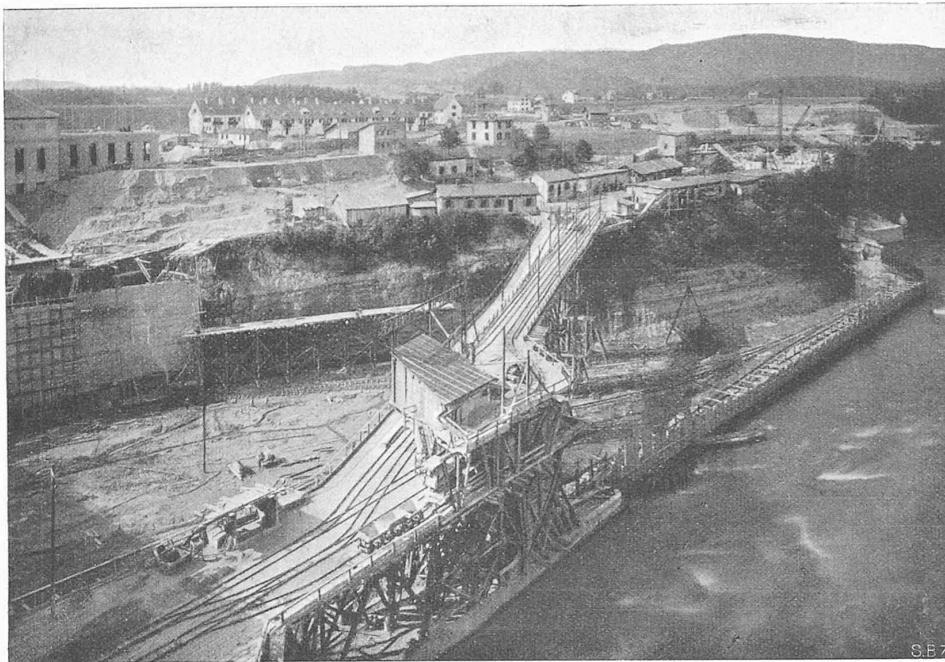


Abb. 13. Lagerplatz am linken Rheinufer, mit Gerüstbrücke und Betonieranlagen für das Stauwehr.

Ausdehnung muss den Problemen der Netzkupplung grösste Bedeutung beigemessen werden. Durch Netzkupplungs-Umformer, die eine nach der geschilderten verbesserten Compoundierungsart arbeitende Asynchronmaschine in sich einschliessen, kann ohne weiteres die programmässig beabsichtigte Zuteilung bestimmter Zentralen oder ihrer Teilleistungen zu bestimmten Netzteilen verwirklicht werden, ohne dass dabei, wie bisher, Netzteile mit ausgesprochen unruhiger Belastung, wie die elektrischen Bahnbetriebe, Walzwerkbetriebe usw., imstande sein können, das Verteilungsprogramm illusorisch zu machen.

## Das Kraftwerk Eglisau der N. O. K.

(Fortsetzung von Seite 31.)

### III. Installationen für die Kraftwerkbauten.

Von den für den Bau des Kraftwerkes erforderlichen Installationen sollen nachstehend die wichtigsten kurz beschrieben werden. In erster Linie ist hier das bereits erwähnte, von der Station Zweidlen der S. B. B. nach dem Schalthause führende Anschlussgeleise zu nennen, auf dem in der Hauptsache die Zufuhr der Baumaterialien und Maschinenteile erfolgte.

Von der Firma Locher & Cie. ist für den Bau des Stauwehrs ein Lagerplatz von rund 200 m Länge und 30 m

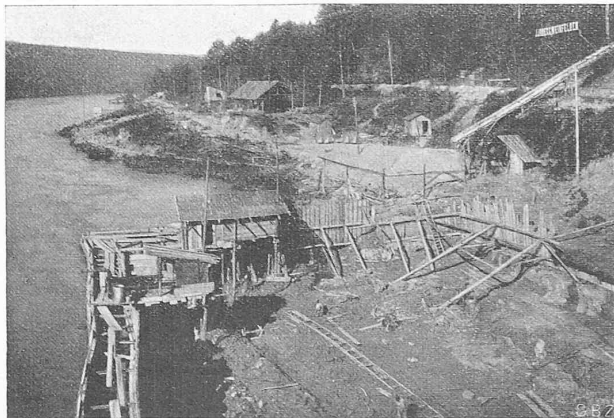


Abb. 15. Baugrube für die Schleuse am rechten Rheinufer.

mittlerer Breite angelegt worden, der mit dem obgenannten Anschlussgeleise durch eine provisorische Weichenanlage in direkter Verbindung stand. Auf diesem Platze befanden sich die erforderlichen Gebäude für Bureauzwecke, Lagerung von Baumaterial, Werkstätten und den Betrieb der Druckluftanlage für die pneumatische Foundation des Wehres. Die Verbindung dieses rund 16 m über dem Rheinwasserspiegel liegenden Lagerplatzes mit den Baustellen am Stauwehr erfolgte durch ein über den zu erstellenden Ablaufkanal führendes Transportgerüst mit horizontaler Fahrbahn (Abbildung 13).

Am rheinseitigen Ende des Gerüsts, auf dem Sporn zwischen Ablaufkanal und erster Wehröffnung, befand sich ein Kies- und Sandsilo, unter dem die Betonmaschinen Aufstellung gefunden hatten. Hier schlossen sich Schmalspurgeleise zu den beiden Dienstbrücken (Abb. 14,

Seite 44) an, von denen aus der Bau des Stauwehrs erfolgte.

Die Installationen der Firma J. J. Ruegg & Cie., die den Bau der Schiffschleuse übernommen hatte (Abbildung 15), erstreckten sich auf beide Ufer des Rheins. Ein Zugang von deutscher Seite konnte nicht erstellt werden, da während des Krieges auf Verlangen der deutschen Militärbehörden die Baustelle gegen das Innere des Landes durch einen Stacheldrahtzaun abgesperrt werden musste. Die Materialien für den Bau der Schiffschleuse mussten daher vom linken, schweizerischen Ufer aus mittels einer Fähre nach der Baustelle geschafft werden. Auf der linken Rheinseite schloss sich der Lagerplatz der Firma J. J. Ruegg in westlicher Richtung an den der Firma Locher an; er konnte mit dem gleichen Anschlussgeleise bedient werden. Die Verbindung mit der Fähre erfolgte durch einen Schrägaufzug von 14 m Förderhöhe. Am rechten Rheinufer wurden die mit der Fähre hinüber beförderten Materialien mittels Winden und Schrägaufzügen an den jeweiligen Bestimmungsort verbracht.

Der Firma Schafir & Müller war als Installationsplatz für die Ausführung des Einlaufbeckens, des Ablaufkanals und des Maschinenhauses das Gelände am östlichen Ende des Kraftwerkes zugewiesen worden. Es kamen hier in der Hauptsache Einrichtungen für Grossbaggerarbeiten zur Aufstellung.

Weitere Einzelheiten über von den Unternehmerfirmen ausgeführte Bauvorbereitungen werden bei der Beschreibung der einzelnen Objekte Erwähnung finden. Kies und Sand konnten auf beiden Seiten des Rheins in der Nähe der Baustellen gewonnen werden. Der Aushub, soweit er nicht für Bauzwecke Verwendung fand, wurde nach dem alten Glattbett verbracht, wo er teilweise für die Aufschüttung des bereits erwähnten Dammes, auf dem die verlegte Verbindungsstrasse Eglisau-Zweidlen das Glattal durchquert, Verwendung fand.

Die Versorgung der Baustelle mit elektrischer Energie erfolgte durch die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich.

### IV. Stauwehr.

WEHRPFELER UND SCHWELLEN.

Das Stauwehr (Abbildungen 16 bis 20) weist zwischen den Widerlagern eine lichte Breite von 114,5 m auf und ist durch fünf Zwischenpfeiler in sechs Oeffnungen von je 15,5 m lichte Weite geteilt. Die Zwischenpfeiler sind 23,25 m lang und im Fundament, d. h. bis auf Schwellen-