Gewidmet

von

Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft.

Die

Kraftübertragungs-Werke Rheinfelden.

Die

Kraftübertragungs-Werke Rheinfelden.

Technische und wirthschaftliche Darstellung

der

Ausnützung der Wasserkräfte des Rheins bei Rheinfelden.

Herausgegeben von der

Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft.

BERLIN

Druck von H. S. Hermann

1896.

I.

Allgemeines zur geschichtlichen Entwickelung des Unternehmens.

Die Frankfurter Internationale elektrotechnische Ausstellung vom Jahre 1891 markirt einen bedeutsamen Wendepunkt in der Entwickelung der Elektrotechnik, speziell der Starkstromtechnik. Während vordem die Erzeugung elektrischen Lichtes, der Bau von elektrischen Beleuchtungscentralen als die Hauptaufgabe der Elektrotechnik erschienen war, die Vertheilung der Elektricität zu motorischen Zwecken aber nur eine untergeordnete Bedeutung hatte, änderten sich die Ziele und Probleme der Starkstromtechnik mit einem Schlag nach dem glänzenden Gelingen des von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft und der Maschinenfabrik Oerlikon unternommenen Experimentes, eine erhebliche Energiemenge auf grosse Entfernung zu übertragen. Die Kraftübertragungsversuche Lauffen-Frankfurt a. M. werden desshalb für immer eine der bedeutsamsten Erscheinungen in der Geschichte der Elektrotechnik bleiben.

Das Problem der elektrischen Kraftübertragung war ja schon vordem theoretisch längst gelöst, und in durchaus nicht beschränktem Maasse hatte die elektrische Kraftübertragung in einzelnen industriellen Etablissements, zum Betriebe von Trambahnen, zum Betriebe von Kleinmotoren von den Lichtcentralen aus Eingang in die Praxis gefunden. Aber die praktische Verwendung der elektrischen Kraftübertragung im grossen Stile scheiterte doch an der damals noch unüberwindlichen Schwierigkeit, starke Ströme auf grosse Entfernungen ohne solche Verluste zu übertragen, dass der Elektromotor die Concurrenz mit anderen Betriebsmotoren hätte aufnehmen können. — Bei den berühmt gewordenen Kraftübertragungsversuchen von Marcel Deprez, die im Jahre 1886 zwischen Creil und Paris stattgefunden hatten, wurden 116 P.-S. auf eine Entfernung von ca. 15 km mit ca. 45 % mechanischem Güteverhältniss übertragen. Das Resultat erschien damals so glänzend, dass der Akademie der Wissenschaften darüber ein besonderer Bericht abgestattet wurde, obwohl es in praktischer Hinsicht geradezu entmuthigend genannt werden musste; denn im Grunde genommen war damit die Unmöglichkeit erwiesen, mittelst des elektrischen Stromes Energie auf grössere

Entfernungen so billig fortzuleiten, dass der Elektromotor mit anderen Motoren hätte concurriren können. Der Grund hierfür lag darin, dass damals nur der Gleichstrommotor als Elektromotor praktisch in Betracht kam und dass man bei Gleichstrom an relativ niedrige Spannungen gebunden ist, die eine wirthschaftliche Energievertheilung über etwa 3 km hinaus nicht gestatten.

In die Zeit zwischen den Versuchen von Marcel Deprez und der Frankfurter Elektricitätsausstellung aber fällt die genauere Erforschung des Wechselstromes, fällt die Construction betriebsfähiger Wechselstrommotoren und fällt vor allem die Erfindung der mehrphasigen Wechselströme, durch die allein das Problem der elektrischen Energievertheilung auf praktisch unbegrenzte Entfernungen ermöglicht wird.

Die breitere Oeffentlichkeit bekam von diesem Riesenfortschritt der Elektrotechnik erst durch die Kraftübertragungs-Versuche Lauffen-Frankfurt a. M. Kenntniss.

Die Lauffen-Frankfurter Anlage sollte feststellen, ob es möglich sei, Effekte von der Höhe einiger Hundert P.-S. mittelst Wechselstromes von relativ niedriger Periodenzahl und hoher Spannung über eine Distanz von 170 km mit einem Wirkungsgrade fortzuleiten, der eine wirthschaftliche Verwerthung einer solchen Anlage zulasse.

Die sehr eingehenden Messungen an dieser Anlage, die sich vom 11. bis 27. Oktober 1891 erstreckten,*) ergaben, dass die mit einer Hochspannung von 25 000 Volt (14 000 bis 15 000 Volt Spannungsdifferenz eines Leiters gegen Erde) und einer Periodenzahl von 24 in der Sekunde betriebene Energieübertragung bei einer Nutzleistung von 180 P.-S. einen Wirkungsgrad von ca. 75 % besass. Damit war die wirthschaftliche Verwendbarkeit der elektrischen Energieübertragung über grössere Bezirke dargethan, damit aber war zugleich der Elektrotechnik das neue Problem gestellt worden, mit Hülfe der Elektrotechnik der Industrie und damit auch der gesammten kulturellen Entwickelung die unerschöpflichen Energievorräthe der Natur zu erschliessen, die heute erst zu einem verschwindenden Bruchtheile ausgenutzt werden und die vordem nicht ausgenutzt werden konnten, weil kein Mittel vorhanden war, sie vortheilhaft an die Consumstätten zu vertheilen.

Noch ehe aber die Versuche der elektrischen Kraftübertragung auf grosse Entfernungen in dem glänzenden Experiment der Kraftübertragung Lauffen a. N.-Frankfurt a. M. ihren endgiltigen Abschluss gefunden hatten, war bereits der Plan

*) Offizieller Bericht über die Internationale elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt a. M. 1891. Bd. II, pag. 319 ff., Frankfurt a. M. 1894, Sauerländer und E. T. Z. 1891 pag. 708.

aufgetaucht, die Wasserkräfte des Rheines an ihrer günstigsten Stelle, nämlich bei Rheinfelden in grossartigem Maasse der Industrie nutzbar zu machen. Anfänglich hatte man dabei noch nicht die Verwendung der Elektricität im Sinne; als aber die Maschinenfabrik Oerlikon dem Plane näher trat und durch diese der Generaldirektor der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft, Herr Rathenau interessirt wurde — bei Gelegenheit von Berathungen über die in Neuhausen zu errichtenden Aluminiumwerke —, drang allmählich der Gedanke siegreich durch, hier endlich einmal die elektrische Kraftübertragung im Grossen aus- und durchzuführen. Bereits im Jahre 1889 (20. März) wurde von den Firmen *Escher Wyss & Co.* in Zürich, *Maschinenfabrik Oerlikon* in Oerlikon und *Zschokke & Co.* in Aarau auf Grundlage ihrer umfassenden technischen Vorarbeiten den Regierungen vom Grossherzogthum Baden und Canton Aargau, das Concessionsgesuch für Nutzbarmachung der Wasserkräfte des Rheines bei Rheinfelden mit Bauanlage auf dem rechten badischen Ufer eingereicht. Im Wesentlichen wurde hier auf den Absatz elektrischen Stromes an elektrochemische Fabriken, speziell die Neuhauser Aluminiumwerke, die sich in „bei Rheinfelden" auf dem badischen Ufer ansiedeln sollten, gerechnet.

Im Juli 1889 wurde sodann von der

Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft zu Berlin
in Verbindung mit
Escher Wyss & Co. in Zürich,
Zschokke & Co. in Aarau und der
Maschinenfabrik Oerlikon in Oerlikon

eine Vorbereitungsgesellschaft in das Leben gerufen, deren Zweck es war,

die bisherigen Vorarbeiten für die Wasserwerksanlagen zu vollenden, um den Erfolg der Unternehmung in Bezug auf Kosten, Absatz und Verwerthung der erzeugten Kraft zu ermitteln, sämmtliche erforderlichen Conzessionen zu erwerben,
durch Gründung einer Betriebsgesellschaft die Kapitalien zur Ausführung des Unternehmens zu beschaffen.

Der leitende Ausschuss dieser Vorbereitungsgesellschaft, der aus den Herren

Oberst *Huber* in Zürich,
Ingenieur *G. Naville* in Zürich,
Generaldirektor *Rathenau* in Berlin,
Oberst *Olivier Zschokke* in Aarau,
Ingenieur *E. Bürgin* in Basel

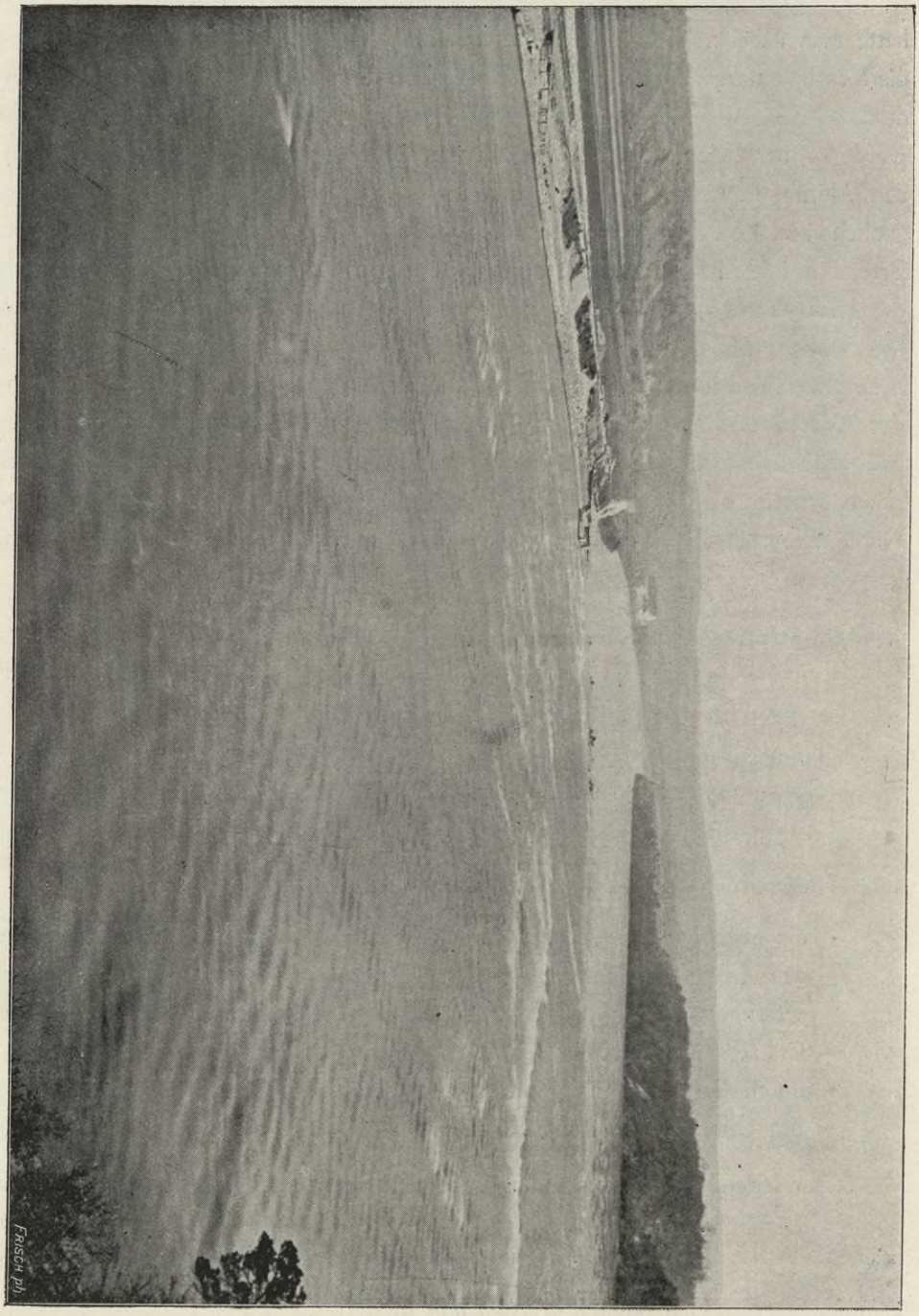

Fig. 1. **Der Beugger-See und die ersten Stromschnellen des Rheines.**

bestand, nahm die erforderlichen technischen Arbeiten und Concessionsbemühungen in die Hand. Bereits am 20. Dezember 1889 war es ihm gelungen, in Rheinfelden den Zusammentritt von Delegirten der betheiligten Uferstaaten mit Vertretern der Vorbereitungsgesellschaft zu einer Conferenz zu bewirken, als deren Resultat sich in erster Linie die Geneigtheit der betheiligten Uferstaaten ergab, der Vorbereitungsgesellschaft auf Grundlage ihrer technischen Vorarbeiten die gewünschte Concession zu ertheilen und das Unternehmen selbst durch Verleihung des Enteignungsrechtes nach Möglichkeit zu fördern.

Trotz dieses prinzipiellen Entgegenkommens der Uferstaaten bereiteten die Concessionsverhandlungen doch erhebliche Schwierigkeiten, da einmal den verschiedenartigen Rechtsverhältnissen in der Schweiz und in Baden und andererseits auch verschiedenen Gerechtsamen der Adjacenten Rechnung getragen werden musste.

Für das Grossherzogthum Baden war in erster Linie die Verordnung des Handelsministers vom 24. Dezember 1876, betreffend Verfahren bei Vollzug des Gesetzes vom 25. August 1876 über Benutzung und Instandhaltung der Gewässer maassgebend; für den Canton Aargau: das Gesetz über Benutzung der Gewässer vom 28. Hornung (Februar) 1836. Ueberdies waren mitbestimmend: die bestehenden Staatsverträge zwischen der Schweiz und dem Grossherzogthum Baden:

1. betreffend Festsetzung gleichartiger Bestimmungen für die Fischerei im Rhein und seinen Zuflüssen, einschliesslich des Bodensees, vom 25. März 1876,
2. betreffend den Wasserverkehr auf dem Rhein von Neuhausen bis unterhalb Basel vom 10. Mai 1879,
3. die in beiden Uferstaaten giltigen weiteren gesetzlichen Bestimmungen über Fischerei und Flösserei.

Es ist klar, dass bei der mannigfachen Divergenz der einschlägigen gesetzlichen Bestimmungen und der verschiedenartigen Interessen gewissermaassen nur ein Compromissprojekt zu Stande kommen konnte, das in Bezug auf die technische und commerzielle Ausnutzung der vorhandenen Wasserkräfte durchaus nicht das erreichbare Maximum darstellt.

Unter diesem Gesichtspunkte muss auch das erste von Oberst *O. Zschokke* ausgearbeitete Projekt, auf dessen technischen Theil wir im nächsten Abschnitte eingehen werden, beurtheilt werden.

Nach ausgedehnten technischen Erhebungen konnte das erste Zschokkesche Projekt am 24. März 1890 mit den nöthigen Unterlagen an Plänen und Zeich-

nungen den zuständigen Behörden vorgelegt werden. Nach technischer Prüfung seitens der bevollmächtigten Beamten der Regierungen des Grossherzogthums Baden, der Eidgenossenschaft und des Cantons Aargau fand die gesetzliche Ausschreibung der Wasserwerksanlagen im Canton Aargau vom 6. Juli bis 4. August 1890, im Grossherzogthum Baden vom 3. bis 16. August 1890 statt. Die meisten der gestellten Einsprachen wurden dabei durch gütliche Reversvereinbarungen erledigt.

Obwohl nun bereits am 3. Oktober 1890 unter Theilnahme des Arbeitsausschusses der Vorbereitungsgesellschaft eine Conferenz der technischen Delegirten und Specialexperten der Staaten in Rheinfelden stattgefunden hatte, bei der alle Fragen des Wasserverkehrs und der Fischerei grundsätzlich erledigt worden waren, kam die erste Concession, die vom 20. Dezember 1890 datirt ist, doch erst am 4. März 1891 officiell in den Besitz der Vorbereitungsgesellschaft.

Von Interesse sind an dieser Stelle wesentlich nur die grundsätzlichen Bestimmungen des Uebereinkommens der betheiligten Uferstaaten.

Danach erklärten sich die Bevollmächtigten der Regierungen darüber einverstanden, dass die Aktiengesellschaft, der die Concession zur Ausnutzung der Wasserkräfte des Rheines bei Rheinfelden ertheilt wird, nach den Bestimmungen der deutschen Aktiengesetzgebung mit dem Sitz im Grossherzogthum Baden errichtet werden soll, und dass sie zum Zwecke der Vertretung gegenüber den schweizerischen Behörden und den Betheiligten auf schweizerischem Gebiete daneben noch einen Sitz im Canton Aargau nach den bezüglichen schweizerischen Gesetzesbestimmungen zu nehmen habe.

Des weiteren erhob jede der beiden Regierungen einen Anspruch darauf, dass auf ihrem Staatsgebiete die Hälfte derjenigen Wasserkraft verwendet werde, die von den Unternehmern durch die Wasserwerksanlagen nutzbar gemacht wird; dagegen erklärten die Regierungen, eine gleichartige Behandlung auch anderen Unternehmungen zu Theil werden zu lassen, die eventuell an anderen Stellen des Rheines, gleichviel ob auf badischer oder schweizerischer Seite, errichtet würden; unter anderem würde die Conzessionsbedingung, im Rheinbett eine Wassermenge von 50 m^3 sekundlich zu belassen, auch anderen Concessionsersuchern vorgeschrieben werden.

Weiterhin erklärten sich die Bevollmächtigten der beiden Regierungen damit einverstanden, dass die Unternehmung zur Nutzbarmachung der Wasserkräfte des Rheines dem öffentlichen Interesse diene und ihr daher das Recht der eventuellen Zwangsenteignung ertheilt werden solle.

Von Wichtigkeit ist schliesslich das Uebereinkommen bezüglich der beiderseitigen Besteuerung der Wasserwerke. Im Canton Aargau wird dafür eine Concessionsgebühr erhoben, während im Grossherzogthum Baden die Unternehmer nach der badischen Gewerbe- und Einkommensteuer-Gesetzgebung besteuert werden sollen; im Falle jedoch die an den Canton Aargau zu zahlende Concessionsgebühr einen wesentlich höheren Betrag ergeben würde, als die Steuer an das Grossherzogthum Baden ausmacht, solle die aargauische Regierung auf Verlangen der badischen Regierung diese Gebühr eventuell bis auf den gesetzlichen Minimalbetrag herabsetzen.

Nachdem auf diese Weise für die weitere Wirksamkeit der Vorbereitungsgesellschaft eine feste Basis geschaffen worden war, ging diese sofort daran, das Unternehmen finanziell zu sichern. Aber diese Bemühungen fielen gerade in eine Zeit geschäftlicher Stagnation, wo selbst für äusserst aussichtsvolle industrielle Unternehmungen Kapital nur schwer aufzutreiben war.

Von grossem Interesse für die Entwickelung der Kraftübertragungswerke Rheinfelden, aber darüber hinaus auch für die allgemeine wirthschaftliche Lage Anfang der neunziger Jahre, ist hier ein Bericht an die Generalversammlung der Vorbereitungsgesellschaft vom 8. April 1893, der von Oberst Zschokke erstattet worden war. Nach diesem Bericht waren die Aussichten für die Realisirung des projektirten Unternehmens nichts weniger als rosig, denn die Bemühungen zur Finanzirung der Unternehmung waren sämmtlich gescheitert. In London war man zunächst an elektrotechnische Firmen herangetreten, aber man begegnete nur freundlichem Wohlwollen und so horrenden Provisionsforderungen, dass die Rentabilität der Anlage geradezu in Frage gestellt worden wäre. Günstiger waren ursprünglich die Aussichten in Paris. Die Banque internationale de Paris, Baron Hirsch interessirten sich lebhaft für das Projekt, aber die Verhandlungen zerschlugen sich bereits im April 1892, bei dem Eintritt der Deroute auf dem französischen Geldmarkte. Ebenso wenig führten Verhandlungen mit der Firma Thomson Houston in Paris und London zum Erfolge, da diese Firma nur Interesse an der Ausführung der elektrischen Installation, nicht aber an der Finanzirung nahm.

Wenn sich im Auslande wenigstens Sympathien für das Unternehmen zeigten, fand sich im Inlande zunächst nicht einmal dieses platonische Interesse! so erklärte beispielsweise die Rheinische Creditbank in Mannheim, mit der im Mai 1892 Verhandlungen angeknüpft wurden, nicht in der Lage zu sein, dortiges Kapital für das Unternehmen interessiren zu können.

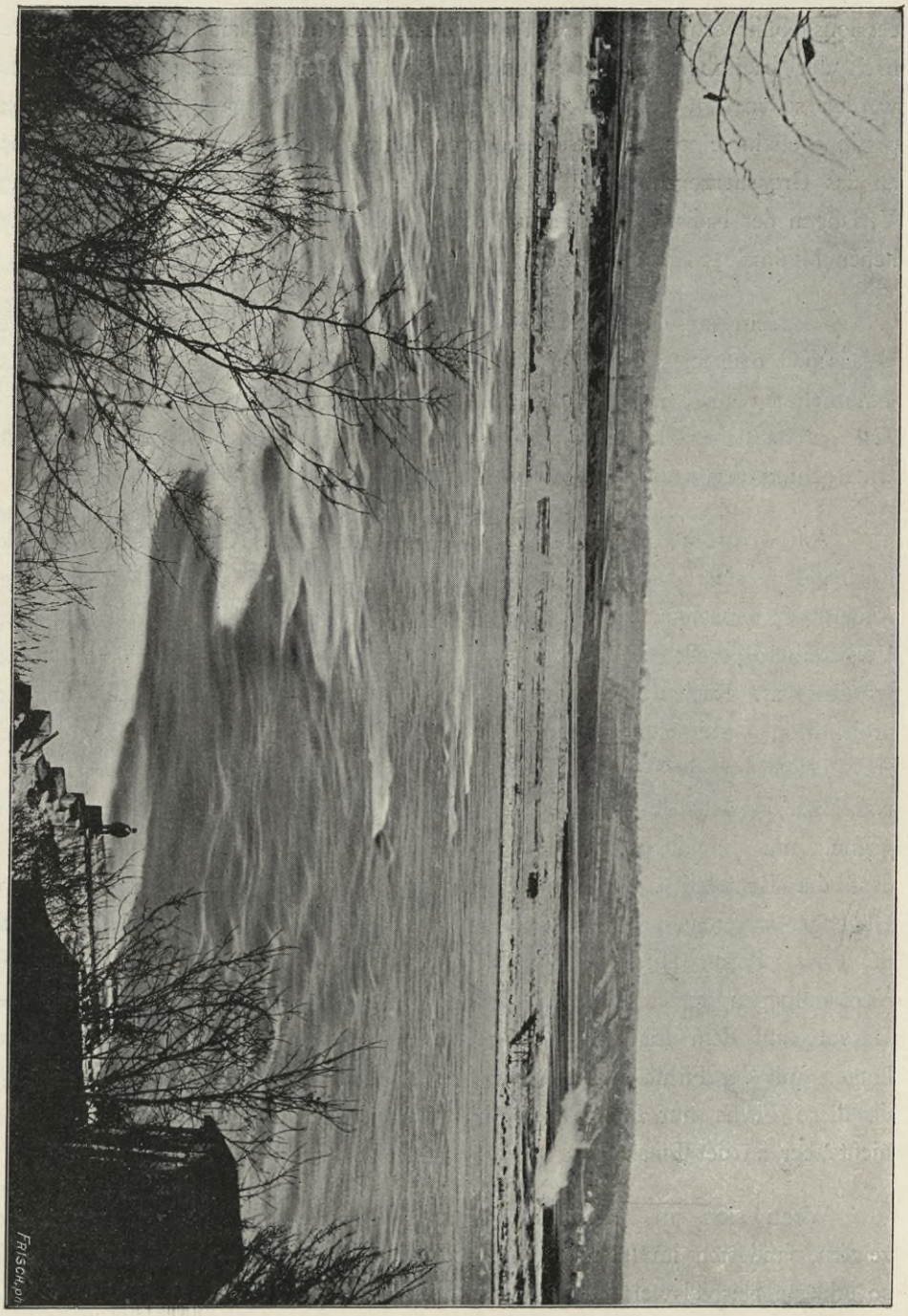

Fig. 2. Der Rhein bei Rheinfelden.

Nach diesen Misserfolgen auf der ganzen Linie wandte sich die Vorbereitungsgesellschaft sogar an schweizerische Private, aber auch hier fand sie trotz grossen Interesses nur zugeknöpfte Taschen.

Auf diese Weise verfloss ungenutzt die kostbarste Zeit, und die von den Regierungen gesetzte Frist zur Inangriffnahme der Arbeiten verstrich, noch ehe ein Spatenstich gemacht werden konnte.

Um nicht durch die Interesselosigkeit des Kapitals an dem Unternehmen der bereits aufgewandten Mühe und Arbeit verlustig zu gehen und in richtiger Erkenntniss der grossen volkswirthschaftlichen Bedeutung des Unternehmens beantragte desshalb die Vorbereitungsgesellschaft am 10. Mai 1893 zunächst eine Verlängerung der Concession unter gleichzeitiger Abänderung des ersten Projektes.

Während nämlich ursprünglich die Gewinnung der ganzen Wasserkraft vom Beugger-See bis zur Rheinbrücke (Fig. 4) in Aussicht genommen worden war, was 12 000 000 Frcs. Kosten verursacht hätte, beschränkte man sich jetzt auf den Ausbau der Strecke vom Beugger-See bis Theodorhof, der auf nur 6 100 000 Frcs. veranschlagt wurde, zumal ein vollständiger Ausbau der ganzen Strecke in einer zweiten Bauperiode an Stelle von 5 900 000 Frcs. nur 300 000 Frcs. mehr, also 6 200 000 Frcs. gekostet hätte; die auf dieser Strecke zu gewinnende Kraft wurde auf rund 15 000 P. S. veranschlagt.

Die betheiligten Regierungen hatten keine principiellen Bedenken gegen diese Abänderung des ersten Projektes und beschlossen am 7. September 1893 generell die Verlängerung der Concession.

Noch ehe diese Concession aber ertheilt worden war, hatte der Arbeitsausschuss der Vorbereitungsgesellschaft confidentiell bei den Regierungen anfragen lassen, wie sie sich zu der Theilung des Projektes bezw. Verlängerung der Concession stellen würden. Die Antwort ging in der Hauptsache dahin, dass eine Verlängerung über den Oktober 1893 nicht stattfinden würde, falls nicht bis dahin das Unternehmen finanziell gesichert sei.

In der Generalversammlung vom 8. April 1893 wurde desshalb auch das Schwergewicht auf die finanzielle Fundirung des Unternehmens gelegt, und die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft verstand es, ihr nahestehende deutsche Bank-Firmen für das Projekt zu interessiren.

Nachdem festgestellt worden war, dass zur Durchführung des Projektes ein Kapital von 6 Millionen Francs erforderlich sei, beschloss man, eine deutsche Gesellschaft zu bilden, die $^2/_3$ dieses Kapitals in Aktien, $^1/_3$ in Obligationen ausgeben sollte. Zu der Aufbringung des Kapitals verpflichteten sich im Wesentlichen, ausser der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft, die Deutsche Bank, die Berliner Handelsgesellschaft, Delbrück Leo & Co., die Nationalbank für Deutschland, Jakob Landau und Gebr. Sulzbach. Als Voraussetzung dieser Gründung wurde jedoch neben gewissen Bedingungen bezüglich der Bauausführung der Abschluss eines Pachtvertrages mit der Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft Neuhausen festgelegt. Die Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft sollte sich auf 15 Jahre verpflichten, 10 000 P.-S. zum Einheitspreise von 45 M. per Jahr abzunehmen, mit der Maassgabe jedoch, dass bei einer präsumtiven Vertheilung der restlichen 5000 P.-S. an andere Konsumenten, diesen die 5000 P.-S. immer gesichert bleiben sollten, auch wenn vorübergehend einmal die vollen 15 000 P.-S. nicht vorhanden sein sollten.

Während sich vordem bei den Behörden eine Zeitlang eine Art Missbehagen und Abneigung kund gegeben hatte, das Projekt in seiner modifizirten Form zu concessioniren, bezw. die erste Concession auf das zweite Projekt zu übertragen, trat nach den Entschliessungen der Generalversammlung vom 8. April wieder eine entgegenkommende und wohlwollende Stimmung ein. Dieses Wohlwollen gab sich insbesondere darin kund, dass man die Frist der öffentlichen Ausschreibung, die für das modificirte Projekt wieder erforderlich wurde, von vier Wochen auf vierzehn Tage reducirte und insbesondere nur auf diejenigen Punkte erstreckte, die bei der früheren Ausschreibung nicht in Frage gekommen waren.

Auf diese nochmalige öffentliche Ausschreibung erfolgten nur Einsprüche der Rheinfischer und Flösser, die aber gütlich erledigt wurden.

Aus den langwierigen Concessionsverhandlungen und nach einem diplomatischen Notenaustausch zwischen der grossherzoglich badischen Regierung und dem schweizerischen Bundesrath ging als Resultat die Concessionirung des modifizirten Projektes, das nur den oberen Theil der Anlage umfasste, hervor. Die Concessionäre wurden nicht dazu verpflichtet, behielten aber das Recht, später die ganze Anlage auszubauen, indem einem Dritten der Ausbau des unteren Werkes nur dann gestattet werden soll, wenn die Gesellschaft zur Ausnutzung der Wasserkräfte bei Rheinfelden von ihren Prioritätsrechten keinen Gebrauch machen wolle.

Die am 21. April 1894 vom Canton Aargau, am 5. Mai 1895 vom Grossherzogthum Baden definitiv und gleichlautend ertheilte Concessionsurkunde hat in den hier interessirenden Punkten folgenden Wortlaut:

§ 1.

Die Genehmigung erstreckt sich auf die Ausnützung des Gefälles und der Wassermenge des Rheins in der Strecke zwischen dem sogenannten Beugger See und dem Theodorshof mit der Einschränkung, dass

1. im natürlichen Strombett eine Wassermenge von mindestens 50 cbm in der Sekunde auch beim niedrigsten Wasserstand erhalten und
2. eine Wassermenge von 20 cbm in der Sekunde mit Rücksicht auf die von der Grossh. Regierung in Aussicht genommene Abzweigung eines Kanals am rechten Ufer zur Verfügung bleiben muss.

§ 2.

Den Unternehmern wird gestattet, behufs Ausnützung der Wasserkraft folgende Bauwerke auszuführen:

1. ein festes Stauwehr durch den Rhein am unteren Ende des Beugger Sees,
2. eine Turbinenanlage am rechten Ufer im Rheinfeld bei Beuggen,
3. einen Zuleitungs- (Oberwasser-) Kanal von dem Stauwehr bis zur Turbinenanlage,
4. einen Ablauf- (Unterwasser-) Kanal von der Turbinenanlage bis gegenüber dem Theodorshof.

§ 3.

Zur Wahrung der Interessen des Wasserschutzes, des Wasserverkehrs und der Fischerei sind von den Unternehmern folgende Herstellungen und Arbeiten zu bewirken:

1. ein Floss- und Fischdurchlass im Stauwehr,
2. eine Schutzgitteranlage vor dem Einlauf des Oberwasserkanales,
3. ein Floss- und Fischweg im offenen Rhein von dem Stauwehr abwärts bis 200 m unterhalb der Ausmündung des Unterwasserkanales,
4. eine Kahnschleuse bei der Turbinenanlage,
5. eine künstliche Fischtreppe ebenda.

Auch in Zukunft haben die Unternehmer alle vom Gesichtspunkt der obengedachten Interessen erforderlichen Einrichtungen und Maassnahmen auf Aufforderung der zuständigen Behörde zu treffen.

§ 9.

Der Durchlass im Stauwehr erhält eine lichte Weite von 20 m. Die Sohle muss mindestens 2 m unter der Wehrkrone liegen und als Fischtreppe ausgebildet sein.

Wird im Wehrdurchlass eine Verschlussvorrichtung angebracht, so muss dieselbe so beschaffen sein, dass die Oeffnung des Durchlasses bei allen Wasserständen leicht und sicher ganz frei gemacht werden kann.

§ 10.

In dem Durchlass im Stauwehr ist für den Durchzug der Fische stets eine Lücke von mindestens 6 m Breite ganz offen zu halten.

Jederzeit bei Annäherung eines Flosses, sowie immer, wenn das Stauwehr 1,0 m hoch oder mehr überfluthet ist, muss der Durchlass vollständig geöffnet sein.

§ 11.

Entsprechend den nachträglich unterm 19. September 1893 eingereichten Plänen*) dürfen am Stauwehr, abweichend vom ursprünglichen Plan und der auf die Sohle des Wehrdurchlasses bezüglichen Bestimmungen des § 9 folgende Aenderungen vorgenommen werden:

1. eine Erhöhung des Stauwehres um 15 cm,
2. eine Verschiebung des Wehrdurchlasses um 20 m gegen die Rheinmitte,
3. eine Erhöhung der Sohle des Wehrdurchlasses bis höchstens 1,35 m unter der erhöhten Wehrkrone.

Wird die Sohle des Wehrdurchlasses gegenüber dem ursprünglichen Plan erhöht (Ziff. 3), so muss der Durchlass ständig offen gehalten werden und es finden alsdann die Vorschriften des § 10 keine Anwendung.

Zur Erleichterung des Aufsteigens der Fische sind entweder, wie in dem Plan vom 19. September 1893 angegeben, im Wehrdurchlass beiderseits Fischtreppen anzulegen oder es ist neben dem Wehrdurchlass und getrennt von diesem eine 3 m breite Fischtreppe herzustellen.

§ 12.

Für die Schifffahrtsschleuse bei der Turbinenanlage genügt eine lichte Weite von 3 m und eine Länge der Kammer zwischen dem Ober- und Unterthor von 15 m. Ober- und Unterhaupt der Schleuse müssen so beschaffen sein, dass sie bis über Hochwasser vollständig geöffnet werden können. Im oberen Theil des Unterwasserkanales ist dem Kanaldamm entlang eine Einrichtung — Seilleitung oder Schwimmbalken — herzustellen, um das Heranschaffen der Fahrzeuge in das Unterhaupt der Schleuse thunlichst zu erleichtern.

§ 14.

Durch die zwischen dem Stauwehr und dem Theodorshof das Strombett durchquerenden Felsriffe ist ein Fisch- und Flossweg herzustellen, dessen Lage und Ausdehnung, Breite und Tiefe von der zuständigen technischen Staatsbehörde nach Einvernahme der betheiligten Flössereitreibenden des Näheren bestimmt werden.

Noch ehe die definitive Concession dem Ausschusse der Gesellschaft für Nutzbarmachung der Wasserkräfte des Rheines ertheilt worden war, hatten sich jedoch die an der Vorbereitungsgesellschaft betheiligten Berliner Finanz-Institute an Professor Intze in Aachen gewandt, um von diesem das definitive Zschokkesche Projekt überprüfen zu lassen.

---

*) Vergl. die Abbildungen des nächsten Kapitels.

Das eingehende Gutachten von Professor Intze gab dann in Verbindung mit dem Fortfallen der Antheilnahme der Aluminium-Industriegesellschaft Veranlassung zur theilweisen Modification des Zschokkeschen und zur Annahme des von Professor Intze modifizirten Projektes.

Indem wir bezüglich der Unterschiede dieser beiden Projecte in technischer Hinsicht auf das nächste Capitel verweisen, heben wir hier nur hervor, dass nach dem Intzeschen Projekt die Motorenanlage nicht mehr am Ufer, sondern quer über den Kanal angelegt werden sollte.

Die Unterbringung der Motorenanlage direkt am Ufer war nur mit Rücksicht auf die Grossabnahme elektrischen Stromes durch die Aluminiumindustrie-Aktiengesellschaft geplant worden, hätte aber schwierige und nicht für alle Fälle betriebssichere Wasserbauten erfordert. Da inzwischen die Aluminiumindustrie-Aktiengesellschaft ihre Dispositionen geändert hat, und als Hauptabnehmerin elektrischen Stromes nicht mehr in Frage kam, weil sie ihre Anlagen in Neuhausen errichtet hatte, überdies auch die Elektrotechnik so bedeutende Fortschritte gemacht hatte, dass für die elektrische Kraftübertragung Differenzen in der Entfernung von 1 km und mehr gar keine Rolle mehr spielen, erschien die Ausführung der Motorenanlage quer durch den Kanal als die natürlichste Disposition, da sie nicht nur eine wesentlich günstigere Ausnutzung der vorhandenen Wasserkräfte gestattete, sondern sich auch wesentlich billiger stellte als die Anlage nach dem Zschokkeschen Projekte. Während nämlich nach Zschokkes Projekt die Baukosten, ausschliesslich der Elektricitätsgeneratoren, 5 750 000 Frcs. betragen hätten, reduzirten sich diese Kosten nach Intzes Vorschlägen um 141 400 Frcs. bei einem gleichzeitigen mittleren Gewinn von ca. 1000 Nutzpferden per Arbeitstag (geschätzt aus dem Mittel der Wassermengen der 11 Jahre von 1883 bis 1893).

Das Gutachten von Professor Intze hatte für das Zustandekommen des Projektes noch andere als rein technische Interessen; denn nachdem sich auf Grund seiner eingehenden Berechnung herausgestellt hatte, dass der Werth einer Nutzpferdestärke an der Turbinenwelle auf nur 326 Frcs. zu stehen kommen werde, stand die wirthschaftliche Rentabilität der ganzen Anlage ausser Frage und die bei der Vorbereitungsgesellschaft betheiligten Firmen entschlossen sich zur Finanzirung des Unternehmens in der Form einer Aktiengesellschaft, die am 31. Oktober 1894 unter der Firma *„Kraftübertragungswerke Rheinfelden“* mit einem Grundkapital von 4 Millionen Mark in Berlin gegründet wurde. Schon vorher aber wurden von der Vorbereitungsgesellschaft definitive Verträge mit

den Firmen Escher Wyss & Co., sowie Zschokke & Co. betreffend die Bauausführung des hydraulischen Theiles der Anlage abgeschlossen. Die wasserbautechnischen Arbeiten und die Turbinenanlage wurden dabei für die Summe von 3 920 000 Mark (4 900 000 Frcs.) an die genannten Firmen, die Professor *Conradin Zschokke* in Aarau als bauleitender Ingenieur vertritt, vergeben, während die Ueberwachung der vertragsmässigen Ausführung aller Arbeiten Professor *Intze* in Aachen übertragen wurde. — Die Ausführung des elektrischen Theiles hatten sich die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft und die Maschinenfabrik Oerlikon von vornherein vorbehalten.

Mit der Bauausführung sollte sofort nach diesen, am 18./30. August 1894 getroffenen Vereinbarungen begonnen werden. Aber neue Schwierigkeiten traten wieder in den Weg, weil die von Professor Intze vorgeschlagenen Modifikationen des bereits concessionirten Projektes eine neue Genehmigung durch die Uferstaaten erforderlich machte.

Diese Genehmigung wurde unter dem 8. Januar 1895 von der Aktiengesellschaft „Kraftübertragungswerke Rheinfelden“ nachgesucht.

Die zuständigen Behörden ertheilten zunächst die Erlaubniss für die Inangriffnahme des Wehrbaues und des Baues des Oberkanals bis zu der bisher vorgesehenen Abschlussvorrichtung des Kanals bei Profil 4^{+40} (Fig. 5) oberhalb der Turbinenanlage, auf welche Theile sich die Abänderungen des Projektes nicht erstreckten.

Was die Konzessionirung der Projectänderung anbetrifft, so wurden wiederum schwierige Verhandlungen mit den verschiedenen Behörden der Uferstaaten erforderlich. Im Wesentlichen fanden diese Verhandlungen in einer am 22. März 1895 von Delegirten der badischen und schweizerischen Regierungen unter Zuziehung von Professor Intze in Rheinfelden abgehaltenen Conferenz ihre Erledigung.

Nach eingehenden Erörterungen der in Betracht kommenden Fragen kam man überein, dass die Genehmigung des Gesuches in Vorschlag zu bringen sei, in der Meinung, dass so weit diese Bedingungen nichts anderes festsetzen, die Bestimmungen der Genehmigung vom 2. Mai 1894 bezw. Bewilligung vom 21. April 1894 maassgebend sein sollten. Erledigt wurden hierbei gleichzeitig die sachlichen Vorschläge des Fischerei-Sachverständigen bezüglich der Lage der Fischtreppe. Nach Meinung des Sachverständigen würden durch die Fischtreppe nur kleinere Fische aufsteigen, so dass es nothwendig sei, bei Anlage der Floss-

gasse darauf Bedacht zu nehmen, dass sie dem Aufstieg der grossen Fische möglichste Erleichterung böte.

Am 10. April 1895 wurde endlich die definitive Genehmigung von Seiten der badischen Regierung ertheilt, nachdem schon vorher die aargauische Regierung die vorgeschlagenen Aenderungen ohne Widerspruch genehmigt hatte. Im Wesentlichen weicht die neue Genehmigung von der alten nur in Folgendem ab: Die Auslaufstrecke des Unterwassers gegenüber dem vorgelegten Plane vom 22. November 1894 ist in der Weise zu ändern, dass am Ende der Kanalmauer in deren Verlängerung ein Leitbau, ca. 50 m lang, auf Mittelwasser abfallend, erstellt und auf der rechten Seite des Auslaufes eine Erweiterung in genau fixirter Ausdehnung bis auf die Tiefe der Rheinsohle vorgenommen wird. Die im § 26 Absatz I der Genehmigung vom 2. Mai / 21. April 1894 mit 265,27 angegebene Cote des Niedrigwasserspiegels unterhalb der Turbinenanlage wird zugleich als Staugrenze für ein bei der Turbinenanlage s. Z. anzulegendes zweites Wasserwerk nunmehr auf 264,62, bezogen auf den Horizont des Längenprofiles vom 22. November 1894 (Fig. 4), festgesetzt.

Damit waren die technischen, administrativen und wirthschaftlichen Vorarbeiten für die Anlage erledigt und die Aktiengesellschaft „Kraftübertragungswerke Rheinfelden“ konnte mit voller Energie den Bau des Werkes in Angriff nehmen.

II.

Die Wasserkräfte des Rheins und ihre Nutzbarmachung.

Die Projekte zur Ausnützung der Wasserkräfte des Rheins. Seit geraumen Zeiten schon haben sich die Blicke von Industriellen und Technikern auf die gewaltigen und unerschöpflichen Kräfte gelenkt, die der Rhein besonders in seinem Oberlaufe besitzt. Während anderswo zur Erzeugung motorischer Kraft die Kohlen erst mühsam aus der Erde gegraben werden müssen, lagen hier die Kräfte offen zu Tage und erheischten nur ihrer Fassung und ihrer zweckmässigsten Verwendung. Diese zweckmässigste Verwendung bot aber seine bedeutenden Schwierigkeiten, so lange nicht andere als rein mechanische Mittel zur Vertheilung an industrielle Etablissements vorhanden waren.

Auch hier war es erst die Elektrotechnik und besonders ihre Entwickelung in diesem Jahrzehnt, die den Projekten zur Ausnützung der Wasserkräfte des Rheins eine festere Basis verliehen.

In Betracht kommen die Rheinkräfte von Reichenau bis Basel. Aber wenn auch die Gefällsverhältnisse des Rheins in seinem obersten Laufe von Reichenau bis zur Einmündung in den Bodensee ausserordentlich günstig sind (Fig. 3) und zum Theil auch die Wasserkräfte auf dieser Strecke von Mühlen, Textilfabriken etc. bereits technisch ausgenützt werden, so sind doch einerseits die lokalen Verhältnisse für die Ansiedelung einer grossen Industrie in dem engen oberen Rheinthale wenig günstig und andererseits sind auch die sekundlich verfügbaren Wassermassen an sich sehr klein und ausserdem noch ausserordentlich schwankend. Für die grosse Industrie kommen die Rheinkräfte eigentlich erst von Schafthausen an in Betracht. Hier besitzt der Rhein ein sehr bedeutendes Gefälle; und wenn auch die verfügbaren Wasserkräfte zeitweilig sehr geringfügig sind und ihre vollständige Ausnützung sich schon aus ästhetischen Rücksichten verbietet, weil sie die Vernichtung des Rheinfalles von Schaffhausen zur Folge haben würde, so ist doch thatsächlich dieser Punkt der erste des ganzen Oberlaufes des Rheins, wo eine nennbare Ausnutzung durch die Neuhauser Aluminiumwerke stattfindet.

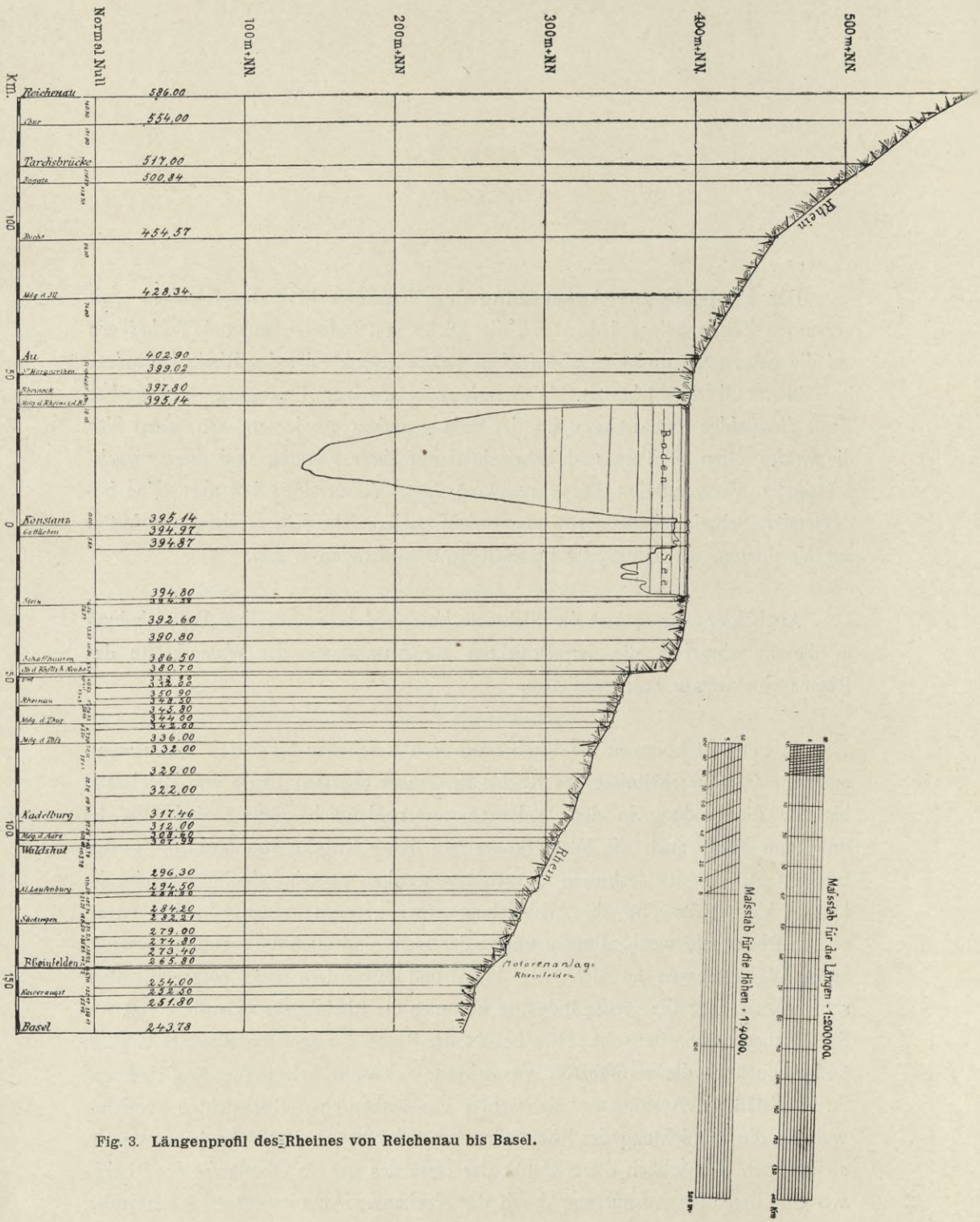

Fig. 3. **Längenprofil des Rheines von Reichenau bis Basel.**

Für die Verwerthung der Wasserkräfte des Rheins im grossen Stile kommt eigentlich erst der Rheinlauf von der Einmündung der Aare an in Betracht.

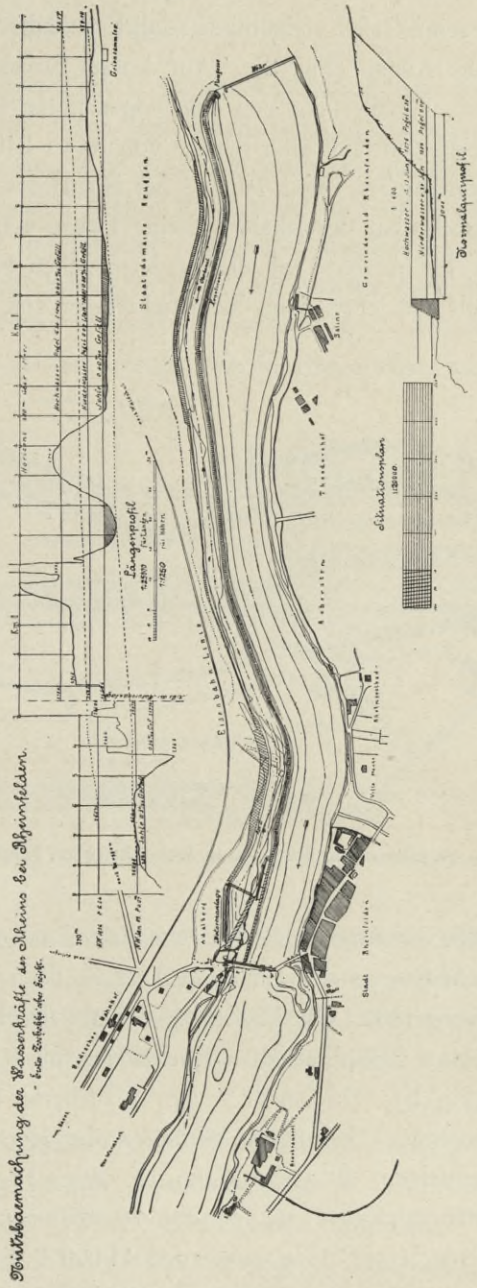

Fig. 4. **Nutzbarmachung der Wasserkräfte des Rheines bei Rheinfelden.** (Erstes Zschokke'sches Projekt.)

Von hier an sind die vom Rheine geführten Wassermassen sehr erheblich, da sie im Mittel mehr als 350 cbm per Sekunde betragen, und sind gleich-

zeitig auch recht constant. Ausserdem aber erweitert sich von hier an das Rheinthal, so dass auch die lokalen Schwierigkeiten für die industrielle Entwickelung erheblich zurücktreten. Wenn man sich die Karte des Rheins ansieht und gleichzeitig seine Gefällsverhältnisse studirt, so fällt vor allem die Gegend von Rheinfelden in die Augen (Fig. 3). Auf kurzer Strecke besitzt der Rhein hier ein relativ grosses Gefälle, das von dem sogenannten Beugger See bis zur Rheinbrücke bei Rheinfelden auf eine Länge von etwa 2400 m bei niedrigem Wasser in drei Stromschnellen rund $7^1/_2$ m, bei Hochwasser noch etwa 6,6 m beträgt. In dieser Strecke hat der Rhein auf eine Länge von etwa 1000 m vom Beugger See abwärts im oberen Theil der Stromschnellen bei niedrigem Wasser ein Wasserspiegelgefälle von etwa 5 m, bei Hochwasser von etwa 3 m.

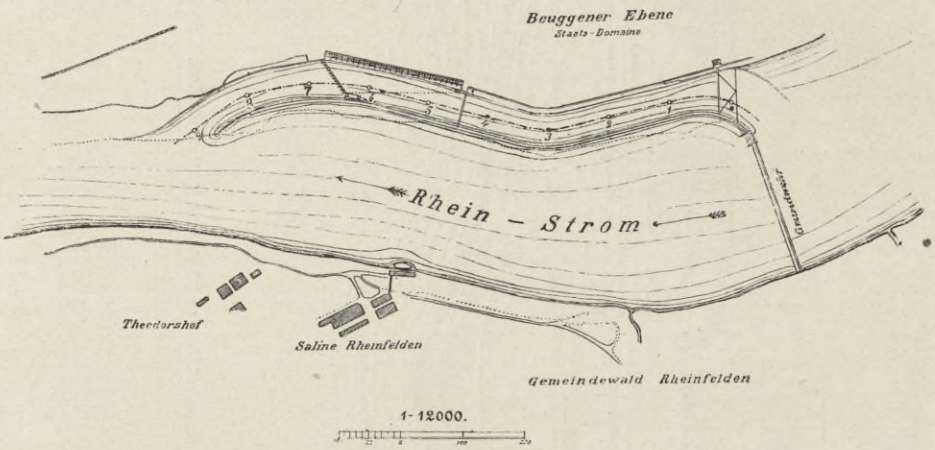

Fig. 5. **Situationsplan des zweiten Zschokke'schen Projektes.**

Das erste Projekt, die Rheinkräfte bei Rheinfelden in grossem Stile nutzbar zu machen, ist das bereits in der Einleitung besprochene Projekt von Oberst Zschokke aus dem Jahre 1889. Oberst Zschokke beabsichtigte, das ganze Gefälle vom Beugger See bis zur Rheinbrücke bei Rheinfelden mit rund 7,5 m Gesammtgefälle auszunutzen (Fig. 5). Da jedoch wegen mancherlei Schwierigkeiten und erschwerenden Bedingungen, besonders bezüglich der Herstellung einer neuen Rheinbrücke bei Rheinfelden, die Gesammtkosten dieses Projektes einschliesslich der elektrischen Kraftübertragung auf nahezu 10 Millionen Mark veranschlagt waren, denen nur eine Nutzleistung von rund 11 000 P.-S. am Verbrauchsorte gegenüberstand, so ging die „Vorbereitungsgesellschaft für die Nutzbarmachung der Wasserkräfte des Rheins bei Rheinfelden" sehr bald dazu über, nur einen Theil des Gefälles im Rhein nutzbar machen zu wollen, der auf etwa 1 km Länge

vom Beugger See abwärts geboten ist. Auf dieser Grundlage wurde das in den Figuren 5—9 dargestellte Projekt von Zschokke & Cie. in Aarau bearbeitet und der ersten grundsätzlichen Genehmigung der Uferstaaten, wie bereits im I. Kapitel berichtet wurde, zu Grunde gelegt.

Nach diesem Zschokke'schen Projekt sollte durch ein Wehr, das am unteren Ende des Beugger Sees durch den Rhein hindurchzulegen war (vergl. Fig. 5), der Beugger See um etwa 0,6 m bei Niederwasser aufgestaut werden. Durch eine Flossgasse in diesem Wehre wäre dabei die dem Rhein zu erhaltende kleinste Wassermenge von 50 cbm sekundlich zugeführt worden, während die übrige Wassermenge des Rheins in einem am rechten, badischen Rheinufer anzulegenden Oberwasserkanal fortgeleitet worden wäre. Dieser Oberwasserkanal sollte in der Weise ausgeführt werden, dass im Rheinstrom, parallel zum badischen

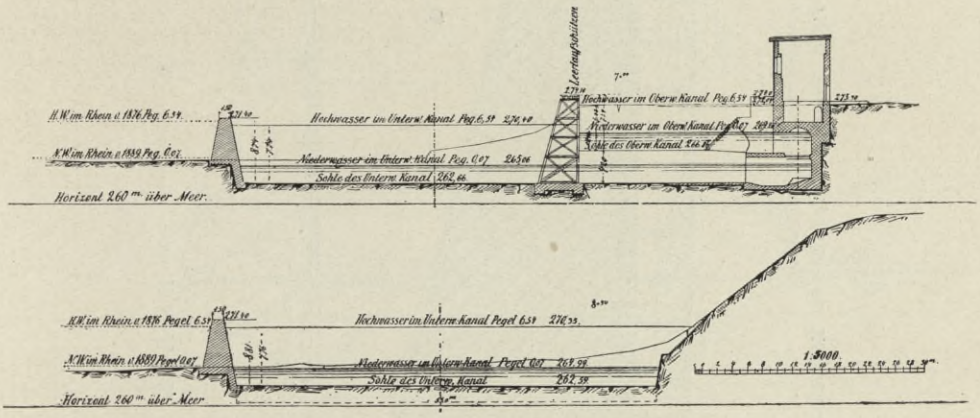

Fig. 6 und 7. **Querprofile des Zschokke'schen Projektes.**

Ufer, eine Kanalmauer den Rhein von dem Kanal trennen sollte. — Am unteren Ende des Oberwasserkanals, beim Beginn des Unterwasserkanals, sollte das aufgestaute Oberwasser durch ein Abschlusswerk mit Leerlaufeinrichtung, wie es in Fig. 9 dargestellt ist, zurückgehalten bezw. nach Bedarf in das Unterwasser abgelassen werden.

Aus dem Oberwasserkanal wollte man das Triebwasser für 50 am rechten, badischen Ufer untergebrachte Turbinen zuleiten (vergl. Fig. 6 u. Fig. 8) und aus dem oberen Theile der daselbst angelegten Turbinenkammern in den überwölbten, mit dem Unterwasserkanal in Verbindung stehenden Raum führen, welcher Raum also unter der Sohle des Oberwasserkanals daselbst anzulegen gewesen wäre und durch 626 gusseiserne Säulen und Träger mit Gewölben die Sohle des Oberwasserkanals und die darüber stehenden Wasser-

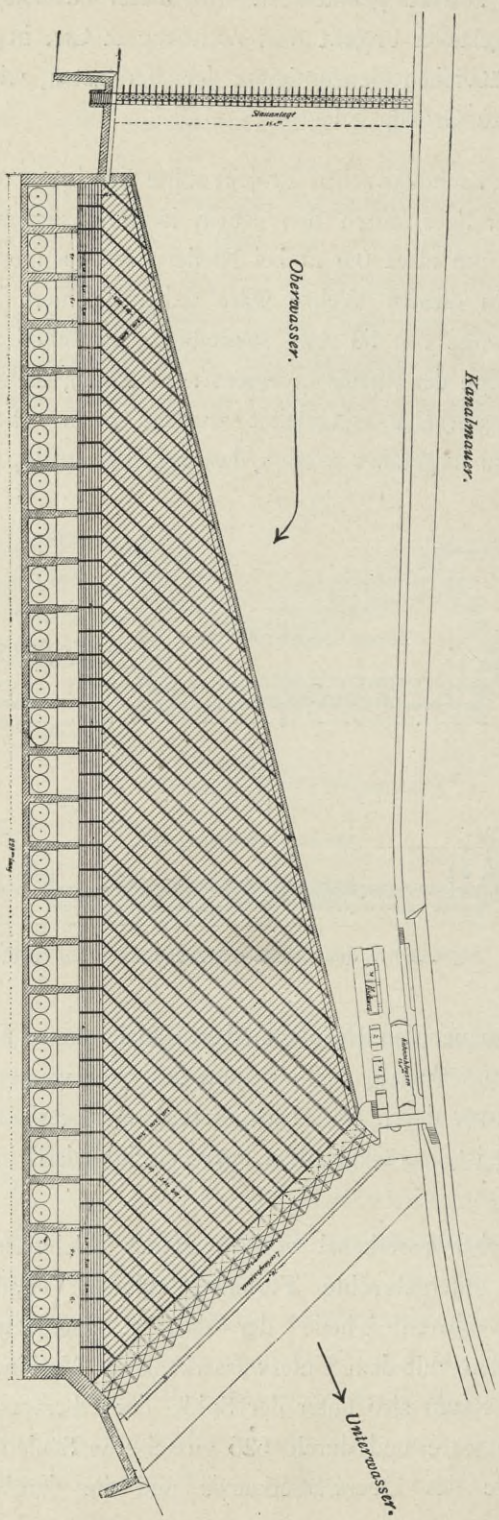

Fig. 8. **Zschokkes Disposition der Motorenanlage.**

massen zu stützen gehabt hätte. Diese Anordnung war aus dem Wunsche hervorgegangen, die Motorenanlage am Ufer in unmittelbarer Nähe der daselbst geplanten Fabrikanlagen zu haben.

Sowohl im Wehr des Rheines neben der Flossgasse, als auch zwischen Ober- und Unterkanal waren Fischpässe vorgesehen; ferner zwischen Ober- und Unterwasserkanal eine Kahnschleuse. Aus dem Unterwasserkanal, der auf 400 m Länge in den Felsen hätte eingesprengt werden müssen, sollte dann das Unterwasser dem Rheinbette wieder zugeführt werden.

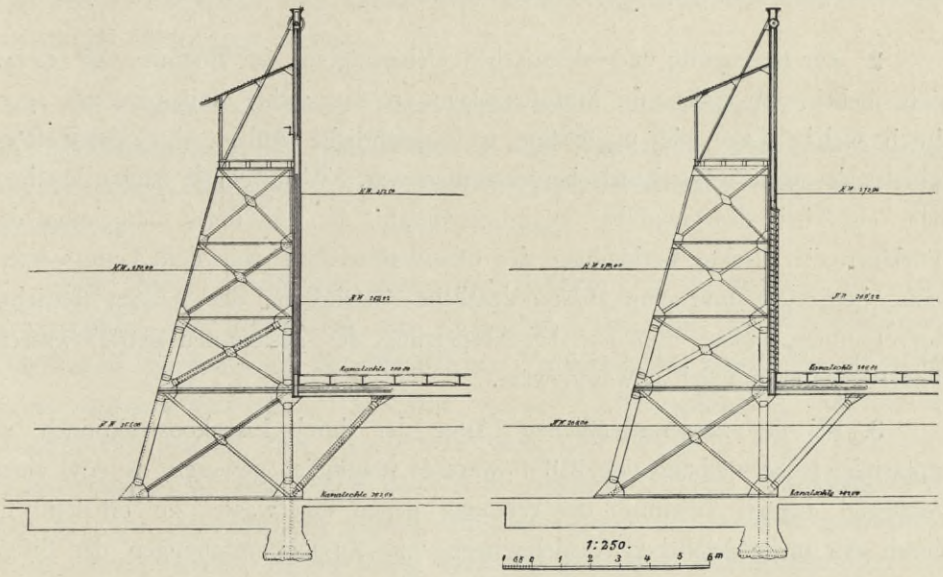

Fig. 9. **Leerlaufschütze unterhalb der Motoren-Anlage.** (Zweites Zschokke'sches Projekt.)

Von den Turbinen sollten immer je zwei durch Zahnräder gekuppelt und mit der Welle einer Dynamomaschine durch Zahnradtransmission verbunden werden, um eine grössere Tourenzahl der Dynamowelle zu erzielen.

Bei der Begutachtung dieses Projektes empfahl Professor Intze in Aachen die nachstehenden Modificationen:

1. Da es auf eine möglichst vortheilhafte Ausnutzung der kleinsten Wassermenge ankam, so war es erforderlich, dass bei einem Stau des Rheines bis zur Oberkante des Stauwehrs am Beugger-See die bei Niedrigwasser verfügbare Nutzwassermenge von mindestens 240 bis 325 cbm sekundlich der Motoren-

anlage durch den Kanal zugeführt werden könnte, ohne einerseits eine Ueberfluthung des Rheinwehrs zu veranlassen, oder andererseits eine zu starke Wasserspiegelsenkung im Oberkanal an der Motorenanlage nothwendig zu machen, da in dem einen Falle ein Verlust an Wasser, im andern Falle ein Verlust an Gefälle die Folge gewesen wäre; mithin in beiden Fällen von der zur Verfügung stehenden Wasserkraft des Rheines ein erheblicher Theil ungenutzt geblieben wäre.

Eingehende Berechnungen zeigten, dass eine wesentliche Verminderung des im Oberkanal verloren zu gebenden Wasserspiegelgefälles durch eine verhältnissmässig geringe Vertiefung des Kanals zu erzielen war, wie dies bei dem im Bau begriffenen Projekt auch angewandt ist.

2. Zur Erzeugung und elektrischen Uebertragung der Energie war es an sich nicht nothwendig, die Motorenanlage an das rechte Kanalufer zu legen, durch welche Lage die ungünstige und gefährliche Anlage des überwölbten Theiles des Unterwasserkanals hervorgerufen war. Wenn einige Säulen brachen, oder ein Theil des Gewölbes zusammenstürzte, so war unter Umgehung der Turbinen die direkte Verbindung des Oberwasserkanals mit dem Unterwasserkanal hergestellt und eine ausserordentliche Gefährdung des ganzen Betriebes hervorgerufen, indem nun nur bei Absperrung des gesammten Betriebswassers eine Reparatur möglich gewesen wäre.

3. Bei der ausserordentlichen Länge der durch Eisenkonstruktionen zu stützenden Ueberwölbung von 228 m wäre es unmöglich gewesen, dauernd einen genügend dichten Abschluss der Wölbung gegen Oberwasser zu erhalten, da durch die unausbleiblichen Ausdehnungen und Zusammenziehungen der Eisenkonstruktionen die Wölbung jedenfalls hätte Risse erhalten müssen.

4. Der Abschluss des Oberwasserkanals gegen den Unterwasserkanal durch die grosse Zahl der Leerlaufschützen und die für dieselben vorgesehenen zahlreichen Klappen wäre nicht dauernd genügend dicht zu halten gewesen.

5. Die einzelnen Motorenkammern wären nur äusserst schwierig abzustellen gewesen, wenn etwaige Reparaturen im Unterwasser vorzunehmen waren.

6. Die ganze Anlage wäre durch den sehr langen Unterwasserkanal, durch die Ueberwölbung eines Theiles desselben, durch die zahlreichen Turbinen mit den Getrieben und durch die Disposition im Allgemeinen unverhältnissmässig theuer geworden, während andererseits in Folge der grossen Verluste in den Zahnrad-Transmissionen die verbleibende, elektrisch zu übertragende Nutzleistung wesentlich geschmälert worden wäre. —

Weitere Projekte zur Nutzbarmachung der Rheinkräfte. Neben dem Projekte der Ausnutzung der Wasserkräfte des Rheines bei Rheinfelden tauchten in der letzten Zeit noch eine ganze Reihe anderer Projekte auf, von denen allerdings nur die folgenden beachtliche Bedeutung haben.

Das Projekt Schwaderloch. Auf der ganzen Strecke von Waldshut bis Klein-Laufenburg (vergl. das Längenprofil des Rheines Fig. 3) hat der Rhein auf ca. 10 km ein Gefälle von etwa 10 m; ungefähr halbwegs, in der Nähe von Schwaderloch ist eine, allerdings nur unbedeutende, Stromschnelle, die ohne erhebliche Wasserbauten die Gewinnung von ca. 4000 P. S. ermöglichen würde. Das Projekt hat jedoch noch keine festere Gestalt angenommen, kann also hier vollständig übergangen werden.

Die Projekte Laufenburg. Weit mehr studirt sind dagegen zwei Projekte zur Nutzbarmachung der Rheinkräfte bei den Wasserfällen von Laufenburg. Die äusseren Bedingungen für die Ausnutzung der Laufenburger Fälle sind recht günstig.

Der Rhein durchbricht hier einen Rücken von Urgebirge, der vom Schwarzwald aus gegen den Jura vorgeschoben ist, die widerstandsfähigeren Gneisfelsen haben hier bei der allmählichen Vertiefung des Flussbettes ein natürliches Stauwehr geschaffen. Die Stelle, wo der Absturz stattfindet, liegt bei der Rheinbrücke, und auf einer Strecke von wenig über 100 m ist hier je nach dem Wasserstande ein Gefälle von 2 bis 3 m concentrirt (vergl. das Längenprofil Fig. 3). Die Abflussmengen können annähernd gleich den bei Basel gemessenen angenommen werden, da der Rhein bis Basel nur noch unbedeutende Zuflüsse hat. — Das Gefälle kann durch Anlage eines Wehres oberhalb der Brücke noch erheblich vermehrt werden.

Das Projekt der Schweizer Druckluft- & Elektrizitätswerke in Bern, das von dem Ingenieur A. Trautweiler in Strassburg eingehend bearbeitet worden ist, sieht die Anlage von 11 Turbinen zu je 750 P. S. also die Gewinnung von rund 8000 P. S. vor. Diese Kraft soll so weit als möglich an Ort und Stelle zu Fabrikationszwecken und in zweiter Linie zur Abgabe an auswärtige Industrielle und eventuell zu Beleuchtungszwecken benutzt werden. Für die Kraftübertragung ist die Anwendung hochgespannten Drehstromes vorgesehen.

Das Motorgebäude soll in der grossen Uferbucht, der sog. „Badstube“ hinter dem Gasthause zum „Wilden Mann“ angelegt werden.

Ein Tunnel soll das Oberwasser beim Hotel Soolbad aufnehmen und unter dem Städtchen hindurch zur Turbinenanlage führen. Der Einlauf dieses Tunnels steht in Verbindung mit einem Stauwehr und einem vertieften Vorbassin mit Schützen für die Geschiebeabspülung. Vor dem Tunneleinlauf ist ein Rechen vorgesehen und der Einlauf selbst soll durch Schützen verschliessbar gemacht werden.

Das Stauwehr soll nach einer gebrochenen Linie angelegt werden. Die Flusssohle hat in dieser Linie durchschnittlich die Höhencote 291, während die Wehroberkante auf Cote 297 liegt. Die mittlere Höhe des Wehres beträgt somit 6 m. Bei Niederwasser wirkt es als Ueberfallwehr, bei höheren Wasserständen als Grundwehr.

Durch Erweiterung des Abflussquerschnittes in der sog. Enge unterhalb Laufenburg soll eine Senkung des Unterwasserspiegels beim Turbinengebäude bewirkt werden. Diese Senkung wird bei Hochwasser auch auf das Oberwasser von Einfluss sein und die Stosswirkung des Wehres ausgleichen.

Concessionirung hat diese Anlage noch nicht gefunden und es steht dahin, ob eine solche überhaupt ertheilt werden wird. So lange das bereits concessionirte Werk Rheinfelden noch nicht voll ausgenützt ist, kann von den Interessenten des Laufenburger Projekts die Bedürfnissfrage nicht bewiesen werden, und die Uferstaaten dürften deshalb ein reines Concurrenzunternehmen gegen die Anlage Rheinfelden vorerst nicht zulassen. Andererseits ist aber die weitere Stauung des Rheines bei Laufenburg nicht ohne Bedenken. Bei der Brücke ist das Rheinbett so stark eingeengt, dass bei eintretendem Hochwasser durch das natürliche Wehr eine Stauung eintritt, die sich bis Waldshut erstreckt. Eine weitere Erhöhung des Wehrs könnte deshalb bei grösserem Hochwasser zu einer direkten Gefahr für die oberhalb Laufenburgs belegenen Ortschaften werden.

Die gleichen Bedenken dürften auch gegen das zweite Laufenburger Projekt geltend gemacht werden, das von Feranti ausgeht. Nach diesem Projekte soll einfach unterhalb der Rheinfälle ein grosser Betonklotz zum Stauen des Rheines in das Flussbett eingebaut werden, so dass die Rheinfälle verschwinden. In diesen Betonwall würden die Turbinen eingesetzt werden, die zur Erzeugung von Wechselstrom dienen.

Von den Projekten zur Ausnutzung der Wasserkraft des Rheines zwischen der Aare-Mündung und Basel ist neben dem Rheinfelder Projekte das von Vicarino herrührende *Projekt Kaiseraugst* wohl am meisten durchgearbeitet.

Bei Augst selbst hat der Rhein allerdings nur ein sehr geringes Gefälle, aber Vicarino plante eine kombinirte Anlage, in der bei Kaiseraugst das Rheingefälle für sein volles Wasser und bei Birsfelden das Gefälle von Augst bis Birsfelden mit einem reducirten Wasserquantum des Rheines ausgenutzt werden sollte. (Vergl. Fig. 10.)

Oberhalb der Stromschnellen bei Kaiseraugst sollte sowohl im Haupt- als im Nebenarme des Rheines ein Stauwehr errichtet und eine Wassermenge von 230 bis 300 cbm sekundlich auf schweizerischer Seite durch einen ca. 1400 m langen Kanal geleitet und einem am Rheinufer gelegenen Turbinen- und Pumpenhause zugeführt werden. — Etwa 200 bis 300 cbm sekundlich sollen hiervon mit einem Nutzgefälle von 2 bis 3 m durch Turbinen eine Kraftleistung von 5600 P.-S. erzielen und soll deren Leistung zunächst dazu verwendet werden, etwa 29 bis

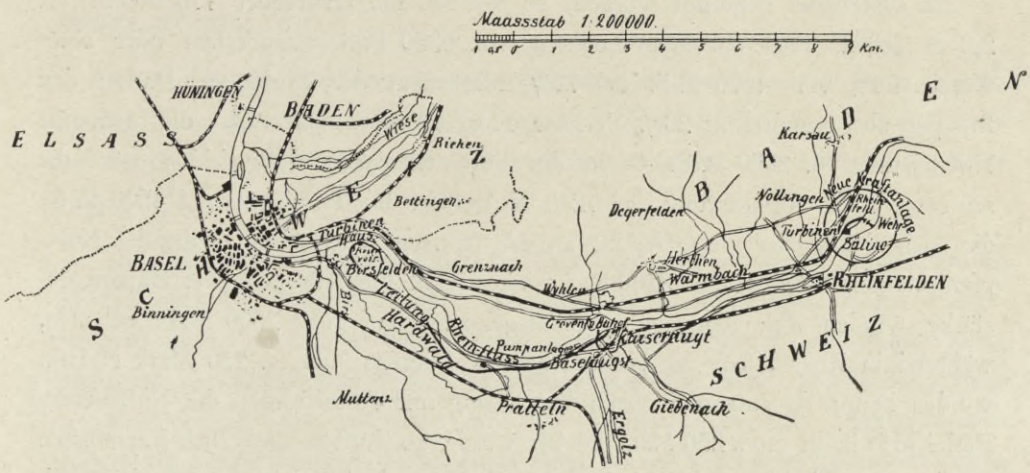

Fig. 10. **Das Kraftübertragungs-Project Augst-Birsfelden von Vicarino.**

35 cbm sekundlich durch Centrifugalpumpen um 7 bis 9 m in einen Oberkanal zu heben, durch den diese Wassermenge nach Birsfelden geleitet wird, um dort mit einem Gesammtgefälle von etwa 13 bis 16 m bis zum Rhein in der Kraftstation nutzbar gemacht zu werden. Von hier aus sollen nach dem Projekt zunächst etwa 4500 verbleibende Nutz-Pferdestärken elektrisch nach Basel hin übertragen werden.

Zum Ausgleich der Schwankungen des Kraftbedarfes während 24 Stunden sieht das Projekt bei Birsfelden ein grosses Sammelbassin von 1 200 000 cbm Nutzinhalt vor.

Gegen das Projekt von Vicarino sprechen eine Reihe von technischen und wirthschaftlichen Bedenken.

Die ganze sehr umfangreiche und in Folge dessen sehr kostspielige Anlage, die nach Schätzung einer zuverlässigen Baufirma der Schweiz mehr als 7 Millionen Mark und einschliesslich des elektrischen Theiles mehr als 8 Millionen Mark kosten würde, ist zudem für die Sicherheit der Gegend um Birsfelden durchaus nicht ohne Bedenken. Insbesondere erscheint der projektirte Stauweiher, der 16 m über dem Rheinbett zu liegen kommen und 5 m hohe Dämme erhalten würde, als eine latente Gefahr für die ganze Umgegend von Birsfelden; eine durchbrechende Wassermasse von 1 200 000 cbm würde in der That Verheerungen und Verwüstungen anrichten, an die das Unglück von Bouzey kaum heranreicht. — Mit den Schwierigkeiten und Kosten der Bauanlage steht der erreichbare Effekt aber in einem starken Missverhältniss.

Wenn ca. 200 m^3 Wasser in den Kanal ausfliessen, und davon rund 30 m^3 in den Oberkanal gepumpt würden, so würden die restirenden 170 m^3 bei ca. 2,8 m Gefälle einer absoluten Leistung von 6350 P.-S. entsprechen oder einer Nutzleistung von 4570 P.-S. bei 72 % Nutzeffekt der Turbinen. Da an den Pumpen aber mindestens 20 % Verluste eintreten würden, so wäre die restirende Nutzleistung ca. 3650 P.-S. — In der Turbinenanlage bei Birsfelden wäre die zu erwartende Nutzleistung bei 72 % Nutzeffekt der Turbinen rund 4500 P.-S., die nach elektrischer Uebertragung an den Konsumstellen übrig bleibenden Nutzpferdestärken würden aber 3200 P.-S. sicher nicht überschreiten. Per Nutzpferdestärke würden sich demnach die Anlagekosten auf rund 2500 Mark belaufen, während in Rheinfelden die Nutzpferdestärke bereits mit ca. 250 Mark erzeugt werden kann; da ausserdem nach Verzinsung und Amortisation die Nutzpferdestärke loco Basel etwa 250 Mark kosten würde, so dürften schwerlich Kapitalisten geneigt sein, eine so theure Anlage zu schaffen. Andererseits könnte aber auch hier, ebensowenig wie bei Laufenburg, für den gegenwärtigen Zeitpunkt die Bedürfnissfrage nachgewiesen werden, so dass auch kaum eine Concessionirung der Anlage zu erwarten steht.

Neuerdings ist das Projekt von Vicarino durch Professor Turettini, Stadtpräsident von Genf und Direktor der Genfer Elektricitätswerke, einer eingehenden Kritik und Ueberarbeitung unterzogen worden, so dass der Preis erheblich reduzirt, die Nutzleistung aber bedeutend erhöht erscheint. Aber auch für das modificirte Projekt Augst-Birsfelden ist aus den angeführten Gründen für die nächste Zeit kaum eine Concessionirung durch die Uferstaaten zu erwarten. — Für den Augenblick kommt demnach nur das *Projekt Rheinfelden* in Betracht.

Die Wasserführung des Rheines bei Rheinfelden zu den verschiedenen Jahreszeiten. Nachdem einmal die Stromschnellen bei Rheinfelden als

der günstigste Punkt zur Gewinnung der Rheinkraft erkannt worden waren, mussten natürlich, ehe an eine greifbare Ausgestaltung des Projektes bezw. Umgestaltung der älteren Zschokke'schen Projekte herangegangen werden konnte, die Wasserverhältnisse des Rheines eingehend studirt werden. Eingehende Vorarbeiten hierzu waren bereits von der „Vorbereitungsgesellschaft" geleistet worden, ihre Vollendung erhielten sie aber erst durch Professor Intze in Aachen.

Für die Untersuchung bezüglich der zu erzielenden Nutzleistung aus den bei Rheinfelden verfügbaren Wassermengen und dem daselbst zu erzielenden Gefälle war es zunächst von grosser Bedeutung, zu erfahren, innerhalb welcher Grenzen die Wassermengen des Rheines schwanken, weil sowohl von dem Minimum an den trockensten Tagen, als auch von der Zeitdauer, während der dieses Minimum in einem Jahre zu erwarten steht, der Werth der Wasserkraft ganz besonders abhängig ist.

Die umfangreichen internationalen Rheinstrom-Messungen bei Basel und die fast seit einem Jahrhundert durchgeführten Wasserstandsbeobachtungen des Rheines am Pegel bei Basel boten eine vorzügliche Unterlage zur Erörterung dieser Frage.

Im Allgemeinen zeigt der Rhein bei Basel und, hiervon kaum verschieden im Werthe, auch bei Rheinfelden nicht so erhebliche Schwankungen in den Wassermengen, als sie bei anderen Wasserläufen vorkommen. Sowohl die grossen Seen, aus denen der Rhein und seine Nebenflüsse oberhalb Basels bzw. Rheinfeldens gespeist werden, und die im Laufe der letzten Jahrzehnte vorgenommene Regulirung der Abflüsse aus vielen dieser Seen, als auch die ausgleichende Wirkung der bemerkenswerthen Gletschermassen in dem genannten Gebiete veranlassen zunächst, dass die Niedrigwassermenge im Verhältniss zum Niederschlagsgebiet sehr gross ist, so dass die kleinste Wassermenge bei Basel nicht unter 290 cbm sekundlich gesunken ist, und dass im Mittel der elfjährigen Periode von 1883 bis einschliesslich 1893 die kleinste sekundliche Abflussmenge bei Basel 375 cbm betrug; ferner dass im Mittel dieser Periode nur an 20 Tagen jährlich die Wassermenge unter 410 cbm sekundlich sank. Nach den auf persönliche Anregung von Oberst Zschokke von dem schweizerischen Oberbauinspektorat bei dem äusserst niedrigen Wasserstande im Januar 1889 vorgenommenen Messungen der in Basel durchfliessenden Wassermenge des Rheines ergab sich ein Minimalbetrag von 299,93 (rund 300) cbm per Sekunde. Auf diesen tiefsten Wasserstand (0,06 am Rheinpegel) in Basel ist der Rhein in diesem Jahrhundert nur einmal vorübergehend, nämlich im Winter 1857/58 herabgesunken.

Nach den Zahlenangaben in dem Werke „Der Rhein und seine wichtigsten Nebenflüsse“, bearbeitet vom Oberbaudirektor Honsell in Karlsruhe, beträgt für das Niederschlagsgebiet des Rheines bei Basel die Gletscherfläche etwa 2,2%, die Oberfläche aller Seen nahezu 4% dieses Niederschlagsgebietes, woraus der

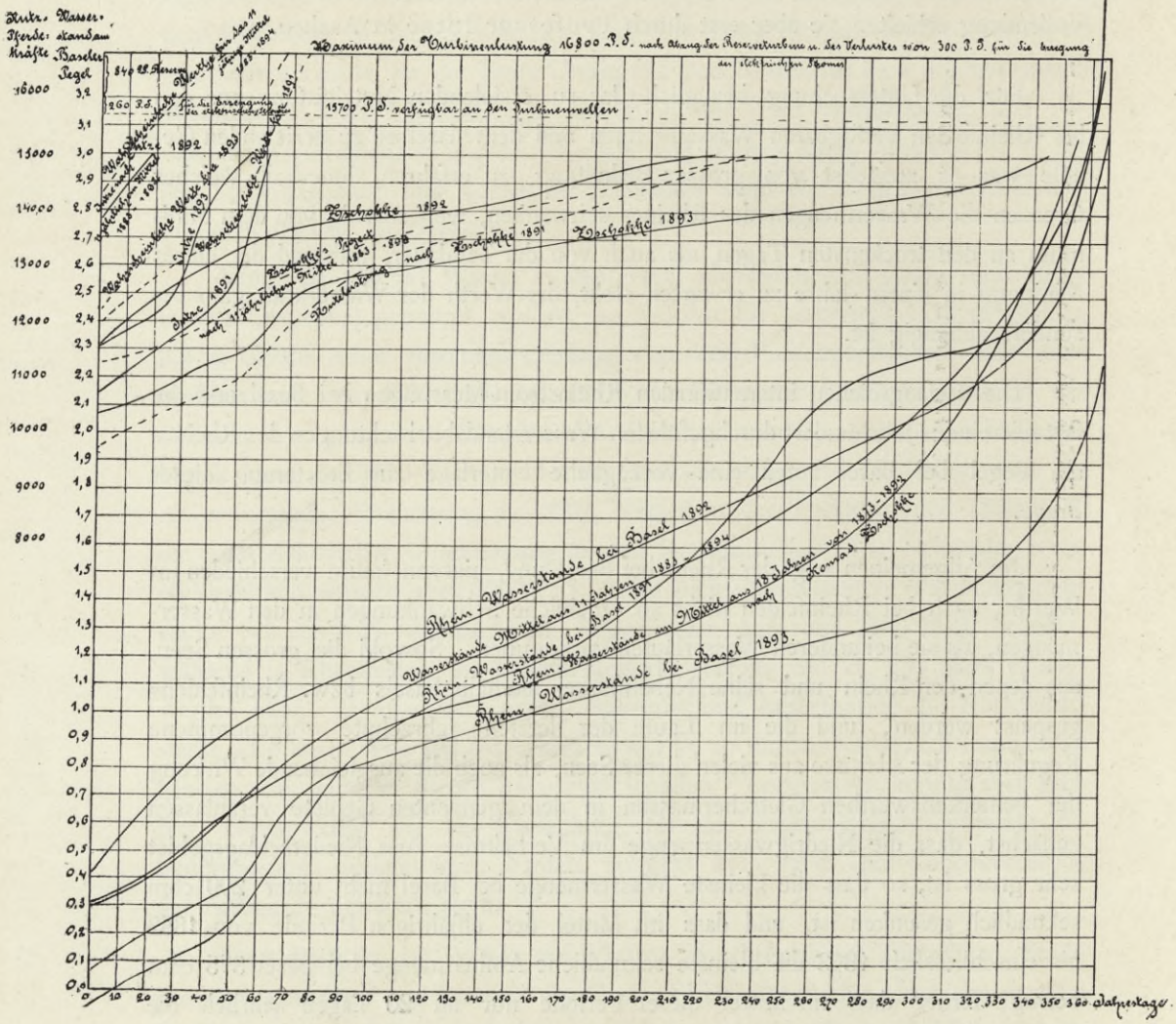

Fig. 11. Graphische Darstellungen der Leistungen der Wasserkraftanlage bei Rheinfelden nach Zschokkes Project und Intzes Abänderungen.

bedeutende Einfluss dieser beiden Faktoren auf gleichmässigen Abfluss herzuleiten ist. Das Fassungsvermögen von etwas weniger als 30% der genannten Seen beträgt zwischen den äussersten Wasserständen rund 620 Millionen cbm, wovon bei einzelnen Anschwellungen durch Hochfluthen in 24 Stunden rund 160 Millionen cbm in Anspruch genommen worden sind, so dass ein erheblicher

Ausgleich der den Seen zugeflossenen Wassermengen bezüglich der Ausflussmengen aus denselben bewirkt worden ist.

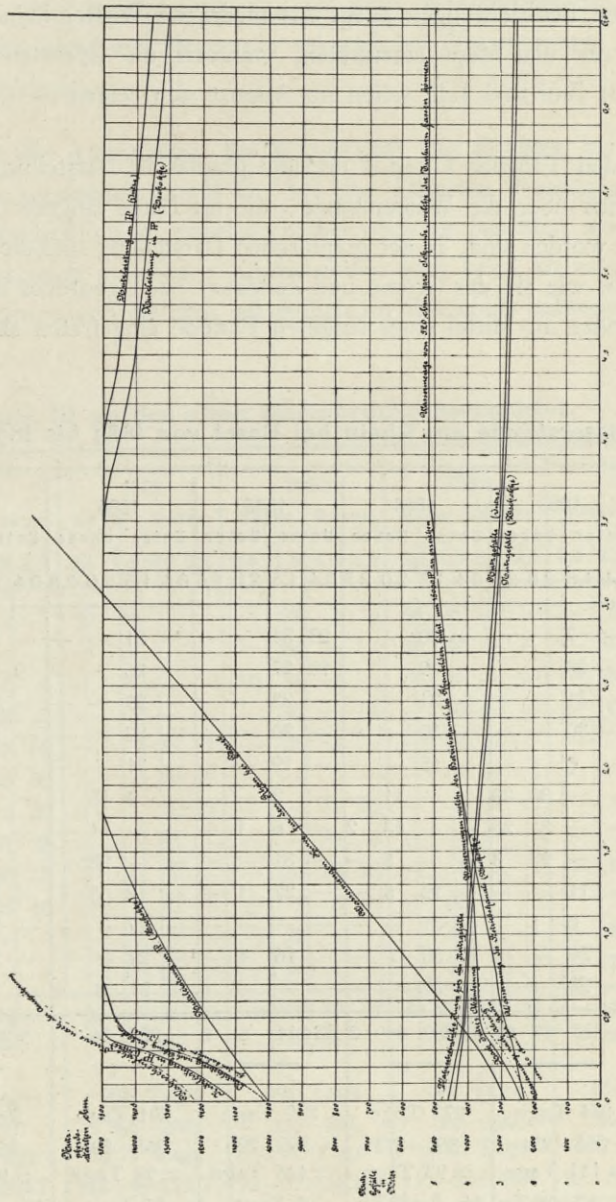

Fig. 12. **Graphische Darstellung der Wassermengen im Rhein und im Oberkanal, der Gefälle zwischen Ober- und Unterwasser an der Turbinenanlage und der Leistung der Kraft in Nutzpferden in Bezug auf den Wasserstand des Rheins am Pegel III in Basel.**

Die grösste sekundliche Wassermenge des Rheines ist bei Basel auf 3700 cbm geschätzt worden. Für das Niederschlagsgebiet des Rheines bei Basel von rund 36 400 qkm ergiebt sich hiernach als kleinste beobachtete Ab-

flussmenge 8 Sekundenliter per Quadratkilometer und rund 100 Sekundenliter per Quadratkilometer als grösste Wassermenge. Diese Zahlen müssen gegenüber denen für andere Wasserläufe als ausserordentlich günstig bezeichnet werden.

Nach jahrelangen Beobachtungen pflegt das niedrigste Wasser in einem der Monate Januar, Februar und März einzutreten, während die höchsten Wasserstände gewöhnlich im Juni und Juli, selten im August sich zeigen.

Die nachstehenden Tabellen I und II und die graphische Darstellung Fig. 11 geben einen Ueberblick über die Wasserstände, die im Laufe längerer Perioden bei Basel beobachtet worden sind. In der graphischen Darstellung sind die Wasserstände so eingetragen, wie sie der Grösse und Zeitdauer nach geordnet im Laufe der einzelnen Jahre oder im Mittel einer längeren Periode eingetreten sind.

I. Wasserstände am Rhein bei Basel von 1883 bis 1893 incl.

Monat	1883				1884				1885				1886				1887			
	Unter		Ueber		Unter		Ueber		Unter		Ueber		Unter		Ueber		Unter		Ueber	
	0,4	1,5	2,0	2,5	0,4	1,5	2,0	2,5	0,4	1,5	2,0	2,5	0,4	1,5	2,0	2,5	0,4	1,5	2,0	2,5
Januar	—	7	—	—	—	30	—	—	23	31	—	—	—	31	—	—	—	31	—	—
Februar	—	28	—	—	—	29	—	—	10	27	—	—	—	26	—	—	9	28	—	—
März	—	31	—	—	—	31	—	—	—	25	—	—	—	29	—	—	—	23	2	—
April	—	30	—	—	—	30	—	—	—	30	—	—	—	27	—	—	—	30	—	—
Mai	—	6	1	—	—	15	—	—	—	19	—	—	—	31	—	—	—	4	7	—
Juni	—	—	30	29	—	—	11	—	—	2	—	—	—	4	15	—	—	—	24	1
Juli	—	—	31	25	—	—	13	2	—	6	1	—	—	—	11	—	—	—	3	—
August	—	—	23	3	—	—	5	—	—	31	—	—	—	—	22	—	—	4	2	—
September	—	11	—	—	—	12	5	—	—	27	1	—	—	12	5	—	—	26	—	—
Oktober	—	6	1	—	—	31	—	—	—	—	—	—	—	27	—	—	—	31	—	—
November	—	20	—	—	13	30	—	—	—	16	4	—	—	29	—	—	—	30	—	—
Dezember	—	28	1	—	4	31	—	—	—	—	—	6	—	21	1	—	—	20	4	—
Summa . . .	—	167	87	57	17	239	34	2	33	214	6	6	—	237	54	—	9	227	42	1
Unter 1,5 m und über 2,0 m . . .	254 Tage				273 Tage				220 Tage				291 Tage				269 Tage			
Daher zwischen 1,5 und 2,0 m . . .	365—254 = 111 Tage				366—273 = 93 Tage				365—220 = 145 Tage				365—291 = 74 Tage				365—269 = 96 Tage			
Von 2,0 bis 2,5 m .	87—57=30 Tg.				34—2=32 Tg.				0 Tage				54 Tage				42—1=41 Tg.			
Maximum	3,64 m				2,73 m				3,26 m				2,88 m				3,05 m			
Minimum	+ 0,79 m				+ 0,25 m				+ 0,14 m				+ 0,57 m				+ 0,37 m			
Zahl der Tage über 3,3 m	5 Tage				—				—				—				—			

Die Beziehungen zwischen dem Wasserstande am Baseler Pegel No. III und den sekundlichen Wassermengen des Rheines daselbst, sind nach den zahlreichen Wassermengen-Bestimmungen des Rheines daselbst, die auf Zuverlässigkeit Anspruch machen dürfen, in der Darstellung Fig. 12 wiedergegeben, so dass man in der Lage ist, für jeden Wasserstand des Rheines am Baseler Pegel sehr leicht und sicher die sekundliche Wassermenge, die der Rhein dort führt, abzulesen.

Für die Ausnutzung der Wasserkraft des Rheines bei Rheinfelden kam es nun ganz wesentlich darauf an, bei der kleinsten Wassermenge eine möglichst grosse Nutzleistung zu erzielen, wobei noch zu beachten war, dass nach den von den Uferstaaten gegebenen Konzessionen auch beim kleinsten Wasserstande eine Wassermenge von 50 cbm sekundlich im Rheinbett belassen werden sollte, also

am Pegel III an der alten Rheinbrücke beobachtet.

1888				1889				1890				1891				1892				1893			
Unter		Ueber		Unter		Ueber		Unter		Ueber		Unter		Ueber		Unter		Ueber		Unter		Ueber	
0,4	1,5	2,0	2,5	0,4	1,5	2,0	2,5	0,4	1,5	2,0	2,5	0,4	1,5	2,0	2,5	0,4	1,5	2,0	2,5	0,4	1,5	2,0	2,5
—	31	—	—	17	31	—	—	—	25	2	—	30	31	—	—	—	23	1	1	31	31	—	—
8	21	—	—	1	28	—	—	—	28	—	—	28	28	—	—	—	23	1	1	2	28	—	—
9	7	7	1	—	31	—	—	10	31	—	—	3	31	—	—	—	31	—	—	—	28	—	—
—	—	12	5	—	13	—	—	—	30	—	—	—	26	—	—	—	12	—	—	—	30	—	—
—	—	31	16	—	—	26	7	—	26	3	—	—	2	22	—	—	—	1	—	—	31	—	—
—	—	30	30	—	—	30	27	—	—	1	—	—	—	23	3	—	—	30	23	—	26	—	—
—	—	31	20	—	—	31	12	—	—	31	16	—	—	31	15	—	—	31	6	—	15	3	—
—	—	31	25	—	—	22	—	—	—	30	6	—	—	27	—	—	8	10	1	—	18	3	—
—	—	30	18	—	10	1	—	—	—	22	15	—	4	8	2	—	16	1	—	—	30	—	—
—	—	25	18	—	5	10	3	—	9	3	—	—	30	—	—	—	3	5	—	—	29	—	—
—	20	—	—	—	18	1	—	—	22	—	—	—	30	—	—	—	26	—	—	—	30	—	—
—	31	—	—	—	31	—	—	—	31	—	—	—	27	2	1	—	31	—	—	24	31	—	—
17	110	197	133	18	167	121	49	10	202	92	37	61	209	113	21	—	172	82	32	57	327	6	—
307 Tage				288 Tage				294 Tage				322 Tage				254 Tage				333 Tage			
366—307				365—288				365—294				365—322				366—254				365—333			
= 59 Tage				= 77 Tage				= 71 Tage				= 43 Tage				= 112 Tage				= 32 Tage			
197—133=64T.				121—49=72 T.				92—37=55Tg.				113—21=92 T.				82—32=50Tg.				6 Tage			
4,40 m				3,10 m				4,33 m				3,85 m				3,08 m				2,25 m			
+ 0,35 m				+ 0,08 m				+ 0,35 m				— 0,05 m				+ 0,44 m				+ 0,08 m			
12 Tage				—				7 Tage				3 Tage				—				—			

II. Zusammenstellung der Resultate der täglichen Wasserstandsbeobachtungen des Rheins bei Basel von 1883 bis 1893 und der jährlichen mittleren Regenhöhen im Niederschlagsgebiete des Rheins bis Basel.

Im Jahre	Minimum m	Unter 0,4 m Tage	Unter 1,5 m Tage	Von 1,5 m bis 2,0 m Tage	Ueber 2,0 m Tage	Von 2,0 m bis 2,5 m Tage	Ueber 2,5 m Tage	Maximum m	Zahl der Tage über 3,3 m	Regenhöhen im Mittel für das Niederschlagsgebiet, nach den Mittheilungen von R. Billwiller mm	Normale Regenhöhe des ganzen Gebietes mm
1883	+ 0,79	—	167	111	87	30	57	3,64	5	985	1095
1884	+ 0,25	17	239	93	34	32	2	2,73	—	814	1095
1885	+ 0,14	33	214	145	6	—	6	3,26	—	1 006	1095
1886	+ 0,57	—	237	74	54	54	—	2,88	—	1 071	1095
1887	+ 0,37	9	227	96	42	41	1	3,05	—	872	1095
1888	+ 0,35	17	110	59	197	64	133	4,40	12	1 178	1095
1889	+ 0,08	18	167	77	121	72	49	3,10	—	1 065	1095
1890	+ 0,35	10	202	71	92	55	37	4,33	7	1 022	1095
1891	— 0,05	61	209	43	113	92	21	3,85	3	1 072	1095
1892	+ 0,44	—	172	112	82	50	32	3,08	—	942	1095
1893	+ 0,08	57	327	32	6	6	—	2,25	—	1 128	1095
Summa	3,37	222	2271	913	834	496	338	36,57	27	11 425	—
Mittel	0,31	20,2	206,5	83	75,8	45	31,7	3,33	2,5	1 039	1095

nicht für die Wasserkraft benutzt werden kann. Man hatte daher im vorliegenden Falle mit einer kleinsten verfügbaren Wassermenge von etwa 240 cbm als Minimum, im Mittel einer elfjährigen Periode mit einem solchen Minimum von 325 cbm sekundlich für die Ableitung aus dem Rhein und für die Erzeugung einer Wasserkraft zu rechnen. Diese Wasserverhältnisse müssen im vorliegenden Falle als besonders günstig bezeichnet werden und gestatten daher, wegen ihrer Grösse und Gleichmässigkeit, selbst bei nicht besonders grossem Gefälle, eine bedeutende Kraftleistung zu erzielen, sobald alle technischen Mittel angewandt werden, um aus dem vorhandenen Brutto-Gefälle ein möglichst grosses Nutzgefälle zu schaffen.

Die günstigste Lage für die Wasserkraft und das in Ausführung begriffene Projekt. Nach den im ersten Abschnitte dieses Kapitels gegebenen Erläuterungen erschien es am gerathensten, den Grundgedanken des Zschokkeschen Projektes, d. h. die vorläufige Ausnutzung des in den oberen Stromschnellen vom Beugger-See ab auf etwa 1 km Länge gebotenen Niedrigwasser-Gefälles von nahezu 5 m beizubehalten, da für diese Strecke die Anlagekosten verhältnissmässig am geringsten waren und immerhin die Möglichkeit blieb, das weiter unterhalb vorhandene Gefälle später noch nutzbar zu machen. (Fig. 14.)

Professor Intze hat die auf Fig. 13 u. Fig. 14 im Grundriss und in den Fig. 15—19 in den Längs- und Querprofilen dargestellte und nunmehr in Ausführung begriffene Abänderung des Zschokkeschen Projekts in Vorschlag gebracht.

Dieses Intzesche Projekt zeigt:

1. ein erweitertes Profil des Oberkanals zur besseren Zuleitung des Betriebswassers bei Verminderung des Gefälleverlustes bis zur Motorenanlage;

2. einen längeren Ober- und einen kürzeren Unterkanal zur wesentlichen Verminderung der Kosten.

3. die Vermeidung der als gefährlich und theuer bezeichneten Ueberwölbung eines Theiles des Unterwasserkanales durch Anordnung der Motorenanlage schräg durch den Kanal zwischen Ober- und Unterwasserkanal;

4. eine Verminderung der Zahl der Turbinen auf 20 gegenüber 50 des Zschokke'schen Projektes, wodurch die Länge der Motorenanlage fast um die Hälfte vermindert und damit deren Unterbringung quer zum Kanal möglich gemacht wurde;

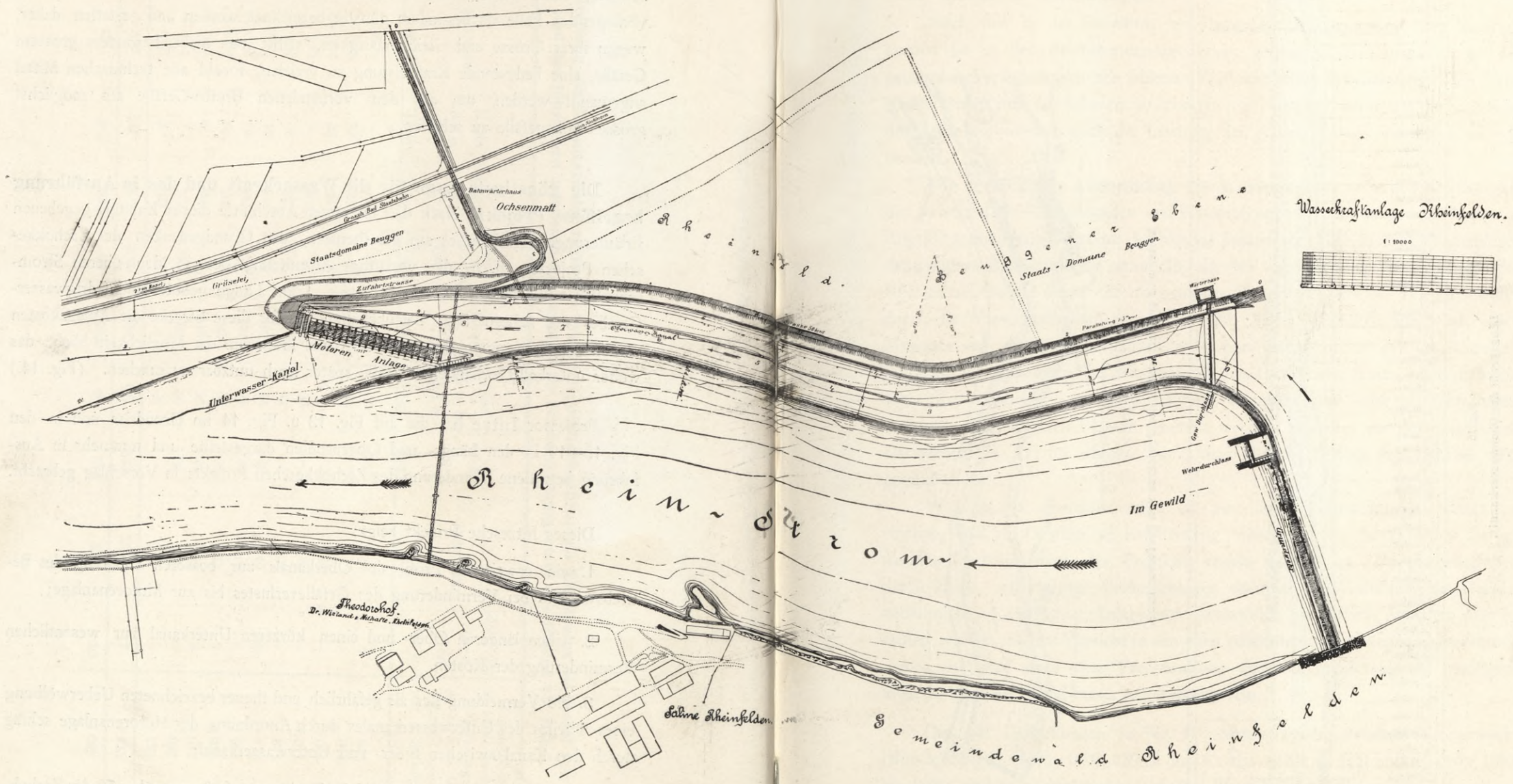
Wasserkraftanlage Rheinfelden.
1:10000
Ochsenmatt
Staatsdomaine Beuggen
Zufahrtsstrasse
Motoren-Anlage
Unterwasser-Kanal
Rhein-Strom
Rheinfelder Ebene
Staats-Domaine Beuggen
Wasserhaus
Wehrdurchlass
Im Gewild
Theodorshof
Saline Rheinfelden
Gemeindewald Rheinfelden

Fig. 13.

Fig. 13.

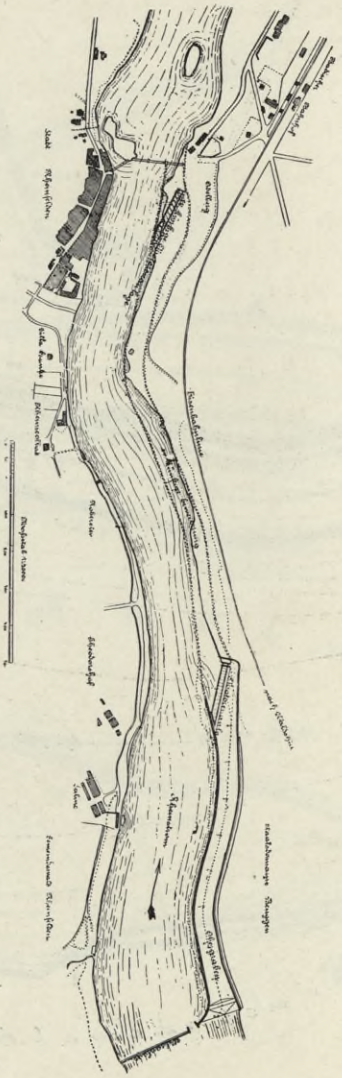

Fig. 14.

Erster und zweiter Ausbau des Projektes von Professor Intze.

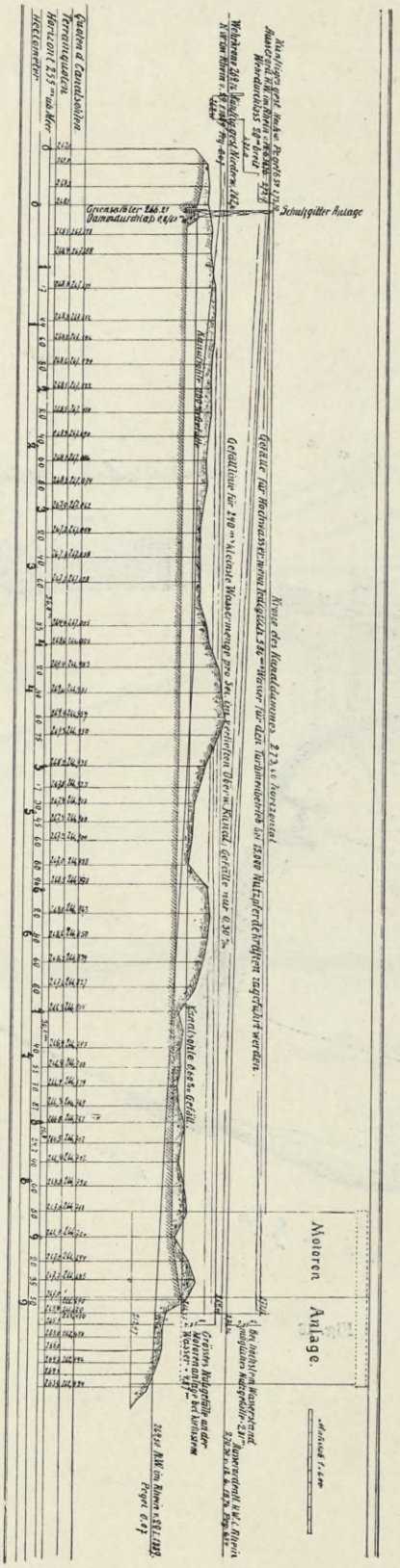

Fig. 15.

Längsprofil des Oberwasserkanals.

5. den Fortfall jeder Zahnradtransmission, um die erheblichen Verluste, die diese bedingen würde, zu vermeiden, sowie die Gefahren des Betriebes zu beseitigen. Bei der gewählten Anordnung ist es leicht möglich, jede Turbinenkammer für sich abzustellen und trocken zu legen, ohne die Nachbarturbinen in ihrem Betriebe zu beeinträchtigen.

Nach den in der Einleitung erwähnten Verhandlungen mit den Nachbarstaaten ist es den Kraftübertragungswerken gelungen, die Concession zu den genannten Veränderungen des früheren Zschokke'schen Projektes von den Uferstaaten Baden und der Schweiz zu erlangen und hierdurch nicht nur die Sicherheit des Betriebes, sondern auch die Leistung der ganzen Anlage wesentlich zu verbessern.

Die erreichbare Ausnutzung der Wasserkräfte. Aus den Beziehungen, die zwischen den Wasserständen und Wassermengen auf der im *ersten Ausbau* in Angriff genommenen Strecke herrschen, liessen sich die in Fig. 11 graphisch dargestellten Kraftleistungen ermitteln, die bei verschiedenen Wasserständen des Rheines am Baseler Pegel für die genannte Strecke des Rheines bei Rheinfelden durch die Wasserkraftanlage zu erzielen sind. Hieraus konnten nun wieder nach Massgabe der durch die fortlaufenden Wasserstandsbeobachtungen am Rhein ermittelten Schwankungen des Wasserstandes im Laufe eines Jahres, oder mehrerer Jahre die möglichen Leistungen während einzelner Jahre oder als Jahresmittel während einer längeren Periode ermittelt werden, wie dies aus der graphischen Darstellung (Fig. 11) für einzelne Jahre, bezw. für die Periode von 1883 bis 1893 geschehen ist.

Wie Fig. 11 ebenfalls zeigt, ist aus diesen Darstellungen weiter zu ersehen, welcher Gewinn an Kraftleistung während eines Jahres durch die genannten Verbesserungen des Projektes erzielt worden ist. Da voraussichtlich durch kleine, anderweitige Verbesserungen während der Ausführung die Gefällsverhältnisse an der Motorenanlage sich vermuthlich noch etwas günstiger herausstellen werden, als zur Vorsicht in den oben genannten Darstellungen angenommen wurde, so wird noch eine Vergrösserung der Minimalleistung bei niedrigem Wasser, oder bei Mittelwasser zu erwarten sein.

Die den Darstellungen in Fig. 11 entsprechenden Resultate für einzelne Jahresleistungen (1891, 1892, 1893) und für das elfjährige Jahresmittel (von 1883 bis 1893) sind in nachfolgenden Tabellen III und IV enthalten.

Hiernach würde als Mittel aus elfjährigen Beobachtungen die kleinste Leistung 13 800 P.-S. betragen haben, während, wie früher angenommen, die Maximalleistung sämmtlicher Turbinen 15 000 P.-S betragen hätte.

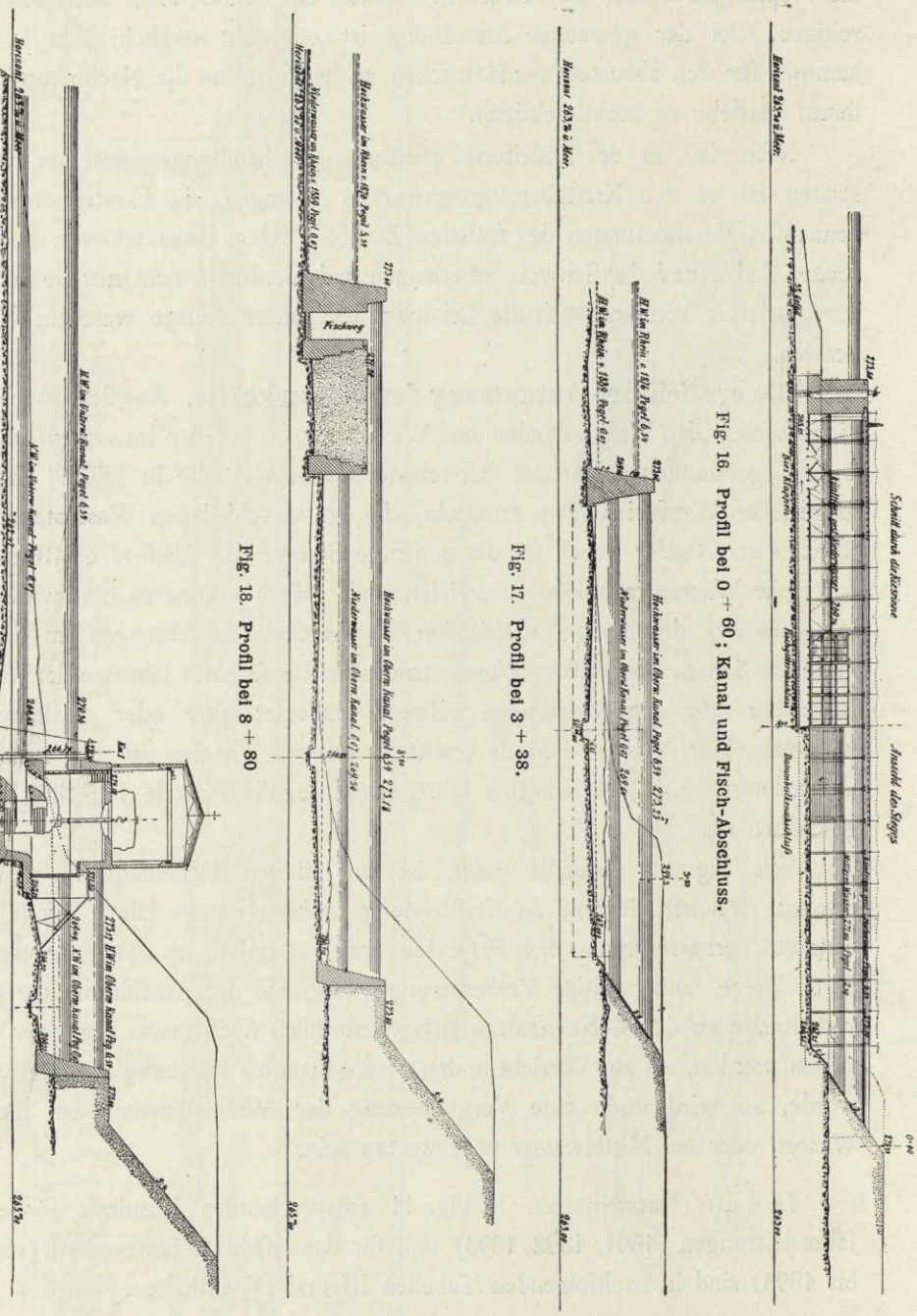

Fig. 16. Profil bei 0 + 60; Kanal und Fisch-Abschluss.

Fig. 17. Profil bei 3 + 38.

Fig. 18. Profil bei 8 + 80

Fig. 19. Profil bei Km. I. Motoren-Anlage.

Der Ausführung sind gegenwärtig 20 Turbinen von je 840 Nutz-Pferdestärken Maximalleistung zu Grunde gelegt, so dass eine ausreichende Reserve über die genannten 15 000 P.-S. hinaus jedenfalls vorhanden ist, sobald der Rhein das erforderliche Nutzwasser führt.

Im weiteren Ausbau wird demnächst auf Grund einer weiter nachzusuchenden Concession, die, wie erwähnt bereits bei der gegenwärtigen Concessionsertheilung ins Auge gefasst ist, auch noch das Gefälle von etwa 2,5 m ausgenutzt, das von der jetzt in Ausführung begriffenen Motorenanlage bis zur Rheinbrücke bei Rheinfelden gewonnen werden kann. Es werden dann für die mittlere Leistung der vorhin genannten elfjährigen Periode noch weiter etwa 7000 P.-S. zur Verfügung stehen.

Zur Ausnutzung des unteren Gefälles bedarf es nur der aus Fig. 14 (vergl. auch Fig. 4) ersichtlichen Verlängerung des Unterwasserkanals bis zur Rheinbrücke bei Rheinfelden und der Anlage einer zweiten Motorenbatterie in der Nähe dieser Brücke, deren rechtsufrige Oeffnung ein in Felsen so tief eingeschnittenes Profil besitzt, dass durch dasselbe bei niedrigem Wasser fast sämmtliches Wasser des Rheines hindurchgeht.

Die Herstellung dieses Kanals würde in derselben Weise zu geschehen haben, wie dies bei der gegenwärtigen Anlage stattfindet. Das aus der jetzt in Ausführung begriffenen Motorenanlage demnächst abfliessende Wasser würde der unteren Motorenanlage direkt zugeführt werden, so dass demnächst noch in der oberen Motorenanlage, die dem direkten Stau des Rheines bei Verlängerung des Kanals entzogen sein würde, während des Hochwassers mit einem grösseren Gefälle und mit etwas weniger Betriebswasser, als dies vorläufig erforderlich sein wird, gearbeitet werden könnte. Als günstige Nebenwirkung würden sich daraus geringere Schwankungen der Aufschlagwassermengen ergeben. Hierdurch würde aber auch der unteren Motorenanlage ein Vortheil erwachsen, da dieselbe nach den örtlichen Verhältnissen mit kleineren Gefällsschwankungen bei Niedrig- bezw. Hochwasser zu rechnen hat, als dies bei der oberen Motorenanlage der Fall ist.

Die wasserbautechnischen Arbeiten. *Das Stauwehr.* Die Lage des Wehres quer durch den Rhein hindurch ist durch die in Fig. 20 dargestellte Lage des festen Felsens angegeben, bis in welchen hinein die feste und dichte Mauerung des in Fig. 20 im Profile dargestellten Wehres auszuführen ist. Nach den Sondirungen ist die Lage dieses Wehres am unteren Ende des Beugger-Sees und am Anfange der oberen Stromschnellen bestimmt worden. Das Wehr liegt mit seiner Oberkante 269,76 m über N. N. und erhält einen Wehrdurchlass von

III. Leistung der Wasserkraftanlage bei Rheinfelden a. Rh.

Jahr	Minimum des Wasserstandes am Baseler Pegel III (m)	Minimum der sekundlichen Abflussmenge Q_1 (cbm)	Jahrestage (Sonn- und Alltage): Zahl der (n_1) Tage, an denen das Wasser unter 0,40 m am Baseler Pegel stand	Jahrestage (Sonn- und Alltage): Zahl der (n_2) Tage, an denen das Wasser unter 1,5 m am Baseler Pegel stand	Jahrestage (Sonn- und Alltage): Zahl der (n_3) Tage, an denen das Wasser über 3,3 m am Baseler Pegel stand	Maximum des Wasserstandes am Baseler Pegel (m)	Minimum der Leistung in Nutzpferdestärken am trockensten Tage	Minimum der Leistung in Nutzpferdestärken bei höchstem Wasserstand	Zahl der Arbeitstage (n_4), an denen das Wasser 0,4 m am Baseler Pegel stand $n_4 = n_1 \cdot \frac{300}{365}$	Zahl der Arbeitstage (n_5), an denen das Wasser über 3,3 m am Baseler Pegel stand	Abzug an Nutzpferdetagen für Niedrigwasser	Abzug an Nutzpferdetagen für Hochwasser	Verbleibende Jahresnutzleistung in Pferdetagen	Verlust an Leistung in % durch Hochwasser und Niedrigwasser im Jahre	Eventueller Abzug für 30 cbm Wasserentnahme aus dem Rhein durch den Badischen Bew.-Kanal: Zahl der Arbeitstage in Nutzpferden per Tag	Eventueller Abzug für 30 cbm Wasserentnahme aus dem Rhein durch den Badischen Bew.-Kanal: Mittlerer Abzug in Nutzpferden per Tag	Eventueller Abzug für 30 cbm Wasserentnahme aus dem Rhein durch den Badischen Bew.-Kanal: Abzug in Nutzpferdetagen im Jahre	Verlust in %	Verbleibende Minimalleistung in Nutzpferden am trockensten Tage
a) Nach den von Professor Intze vorgeschlagenen Verbesserungen des Kanalprofils.																			
1891	— 0,05	285	62	209	3	3,85	10 750	15 000	51	2½	140 000	0	4 360 000	3,2	74	800	59 200	1,3	9 370
1892	+ 0,44	385	0	172	0	3,08	15 000	15 000	0	0	0	0	4 500 000	0	26	600	15 600	0,35	14 100
1893	+ 0,08	292	57	327	0	2,25	11 600	15 000	47	0	88 000	0	4 412 000	2	76	800	60 800	1,35	10 300
Mittel v. 1883 bis 1893 incl.	+ 0,31	375	20	207	2½	3,33	13 800	15 000	16	2	10 800	0	4 489 200	0,24	62	800	49 600	1,1	12 500
b) Nach dem Projekte der Herren Zschokke & Co. vom Januar 1894.																			
1891	— 0,05	285	62	209	3	3,85	9 750	14 600	51	2½	298 000	400	4 202 000	6,6	97	800	77 600	1,73	8 430
1892	+ 0,44	385	0	172	0	3,08	11 600	15 000	0	0	218 000	0	4 282 000	4,9	51	800	40 800	0,91	10 400
1893	+ 0,08	292	57	327	0	2,25	10 300	15 000	47	0	532 000	0	3 968 000	11,8	132	800	105 600	2,34	9 000
Mittel v. 1883 bis 1893 incl.	+ 0,31	375	20	207	2½	3,33	11 200	15 000	16	2	321 000	0	4 179 000	7,1	80	800	64 000	1,45	9 940

IV. Resultate.

Nach Zschokke's Projekt:

Jahr	Zahl der Arbeitstage im Jahre	Leistung in Nutzpferdekräften	Mittlere Leistung im Jahre in Nutzpferdekräften
1891	An 200 trockenen Tagen	von 9750 bis 15 000	14 000
	An 99 Tagen	15 000	
	An 1 Hochwassertage	von 15 000 bis 14 600	
1892	An 183 trockenen Tagen	von 11 600 bis 15 000	14 270
	An 117 Tagen	15 000	
1893	An 283 trockenen Tagen	von 10 300 bis 15 000	13 230
	An 17 Tagen	15 000	
Im Mittel der 11 Jahre 1883 bis 1893 incl.	An 200 trockenen Tagen	von 11 200 bis 15 000	13 930
	An 100 Tagen	15 000	

Nach Intze's Verbesserungsvorschlägen:

Jahr	Zahl der Arbeitstage im Jahre	Leistung in Nutzpferdekräften	Mittlere Tagesleistung im Jahre in Nutzpferdekräften	Mittlerer Gewinn pro Arbeitstag an Nutzpferden
1891	An 51 trockenen Tagen	von 10 750 bis 15 000	14 530	530
	An 249 Tagen	15 000		
1892	An 300 Tagen	15 000	15 000	730
1893	An 45 trockenen Tagen	von 11 600 bis 15 000	14 710	1480
	An 255 Tagen	15 000		
Im Mittel der 11 Jahre v. 1883 bis 1893 incl.	An 15 trockenen Tagen	von 13 800 bis 15 000	14 960	1030
	An 285 Tagen	15 000		

20 m Breite, dessen Sohle im höchsten Punkte 1,35 m unter der Wehrkrone liegt, und der stets offen gehalten werden soll, um der Flösserei zu dienen und die nach der Concession selbst bei niedrigstem Wasser dem Rhein zu belassende Wassermenge von 50 cbm per Sekunde dann abzuführen, wenn das niedrigste Wasser genau bis zur Wehrkrone aufgestaut ist. Neben der Flossrinne wird ein Fischweg von 3 m lichter Weite angelegt. Das Wehr soll nach dem in Fig. 20 gezeichneten Profil mit einer Kronenbreite von 2,0 m und einer sanft ansteigenden Vorderfläche, dagegen mit stärker abfallender hinterer Böschung aufgeführt werden. Die Oberfläche wird mit einer sorgfältig in Cementmörtel versetzten Pflasterung aus frostbeständigen, harten natürlichen Steinen ausgeführt, während der Kern dieser bedeutenden Mauermasse aus Beton bzw. aus Bruchsteinen in hydraulischem Kalk hergestellt werden wird. Die ganze Ausführung soll auf das sorgfältigste geschehen und sich in gesunde, feste Felsschichten des Untergrundes setzen. An das linke, schweizerische Ufer, das aus nachrutschenden Bodenmassen besteht, wird das Wehr mit einer besonderen Ufersicherung angeschlossen werden, um eine Unterspülung desselben sicher zu verhindern. Der Wehrdurchlass, der als Flossrinne zu benutzen ist, wird nach der Darstellung in Fig. 21—24 in 20 m Weite ebenfalls aus sorgfältig herzustellendem Mauerwerk in der Sohle gebildet. Der Fischweg wird nach der aus denselben Abbildungen ersichtlichen Zeichnung in der für derartige Ausführungen üblichen Weise für die allerdings bedeutende Breite von 3 m mit 80 cm Wassertiefe hergestellt, um den Fischen einen bequemen Weg darzubieten. Die Stufenhöhe der einzelnen, 3 m langen Abtheilungen ist auf 30 cm bei Niedrigwasser bemessen.

An das rechte Widerlager des Wehres schliesst sich ein im Grundriss bogenförmig ausgeführter Wehrtheil in Mauerwerk an, der allmählich in treppenförmigen Absätzen, wie aus Fig. 20 zu ersehen ist, in die Kanalmauer übergeht und in ähnlicher Weise wie jene ausgeführt wird.

Der Rheinkanal hat im Allgemeinen eine Breite von 50 m in der Sohle gemessen. Er wird, wie aus den Zeichnungen Fig. 16—19 im Querprofile angegeben ist, mit einer verkehrt gewölbten Sohle und in der Mitte mit einer Sammelrinne ausgeführt, die bei einer etwaigen Reinigung den Schlamm abführen soll.

Nach dem Rhein wird dieser Kanal durch die in den genannten Profilen dargestellte Mauer abgeschlossen, die theils in Cementbeton, theils in Mauerwerk mit hydraulischem Kalk in besonders vorsichtiger Weise hergestellt worden ist. Das Profil ist derart bemessen, dass es gegen alle ungünstigen Einwirkungen vom Rheine oder vom Kanale her die erforderliche Sicherheit und Dichtigkeit

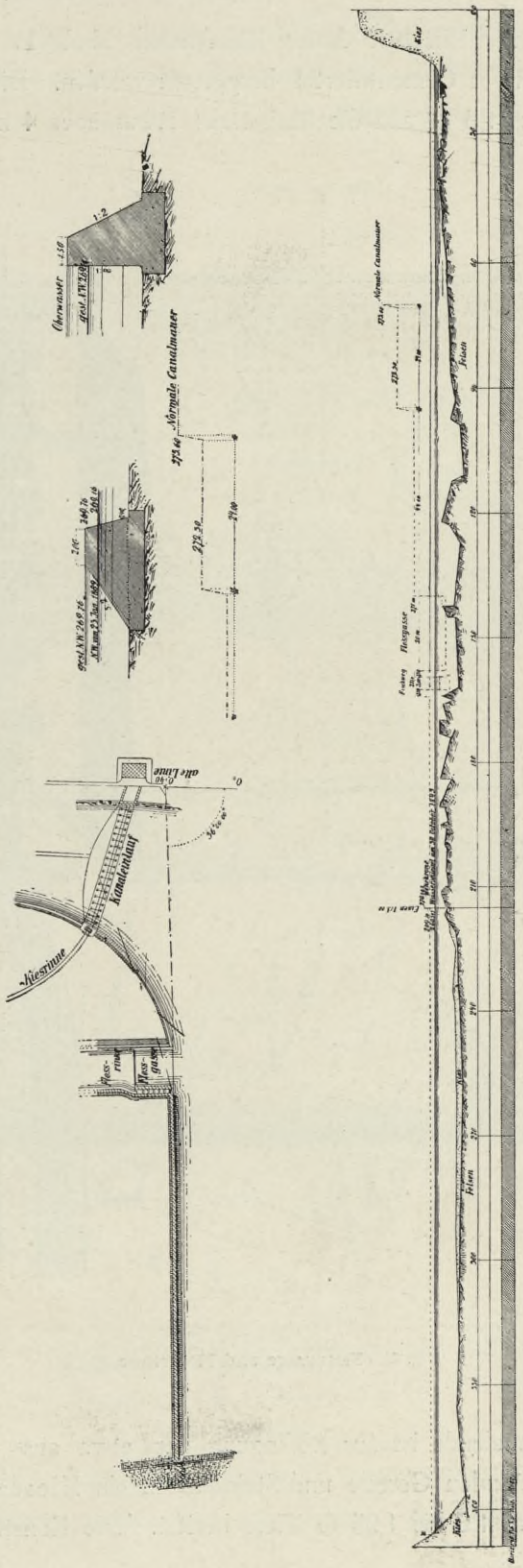

Fig. 20. **Construction des Stauwehrs.** Längsprofil des Wehrs, zugleich Querprofil des Rheins bei 0 + 40 alt.

bietet. — Alle Ansichtsflächen dieser Kanalmauer sind in frostbeständigen, geschichteten Steinen in Cementmörtel hergestellt worden. Die Kronbreite der Kanalmauer beträgt 1,5 m und die Basisstärke etwas über 4 m bei 7 m Höhe.

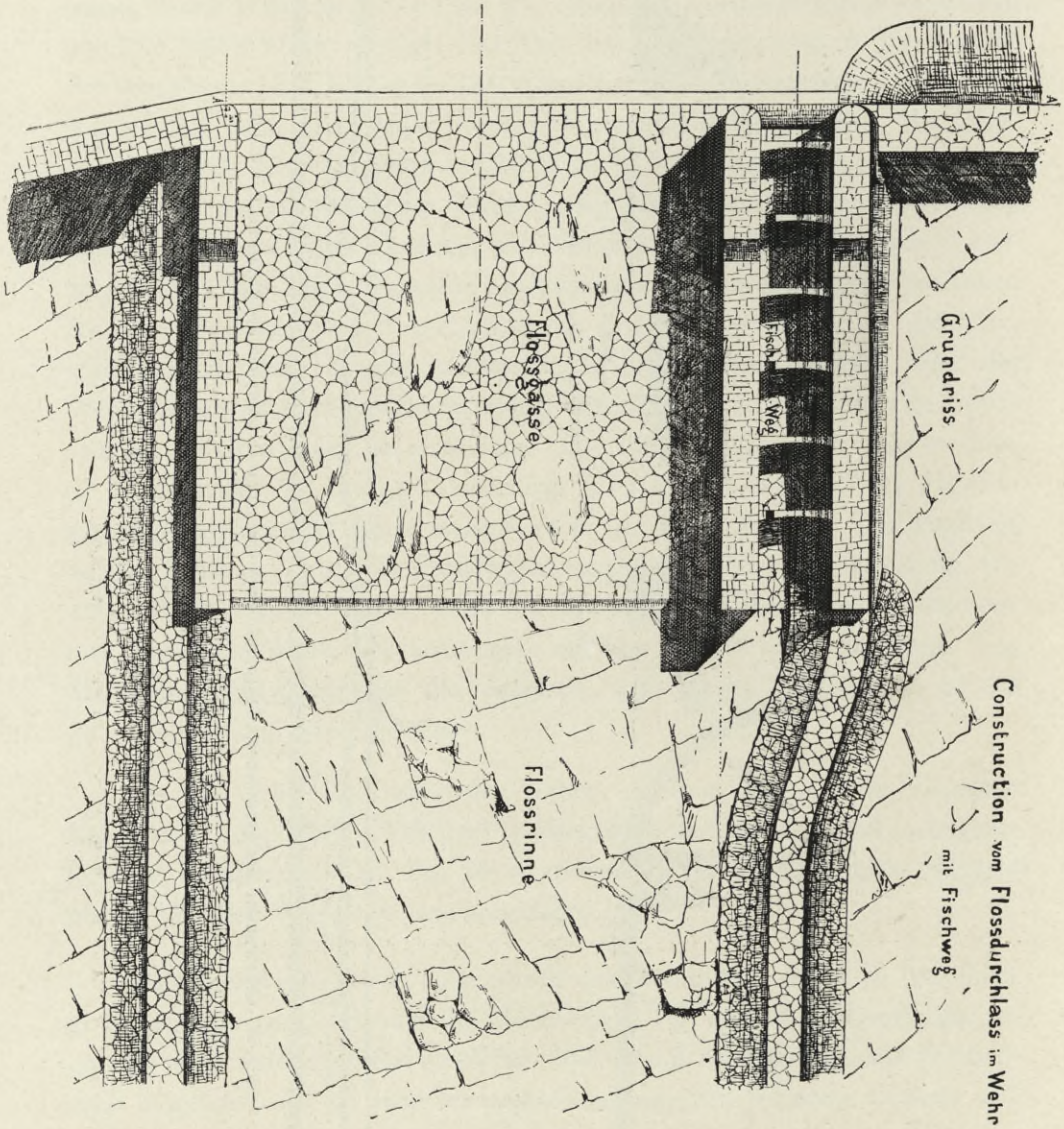

Fig. 21. **Flossgasse und Flossrinne.**

Am oberen Kanalende ist zur Abfangung der etwa aus dem Beugger-See in den Kanal eintretenden Gerölle und Steinmassen ein Kiessammler angelegt, der 2,5 m Breite und 1,0 bis 1,25 m Tiefe besitzt. Die Konstruktion des Kies-

sammlers ist aus Fig. 25 u. 26 ersichtlich. Er erhält in der Kanalmauer eine Oeffnung, die durch eine Schütztafel für gewöhnlich verschlossen ist.

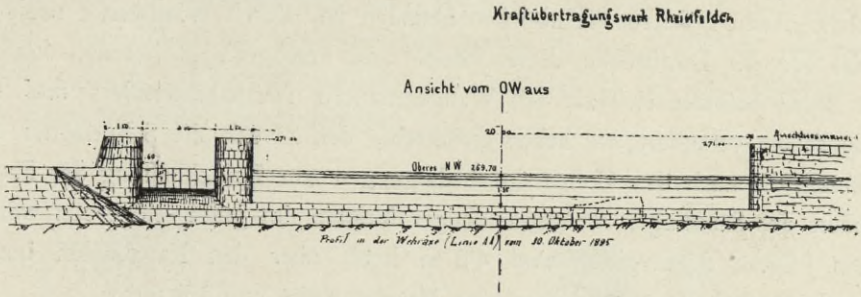

Fig. 22.

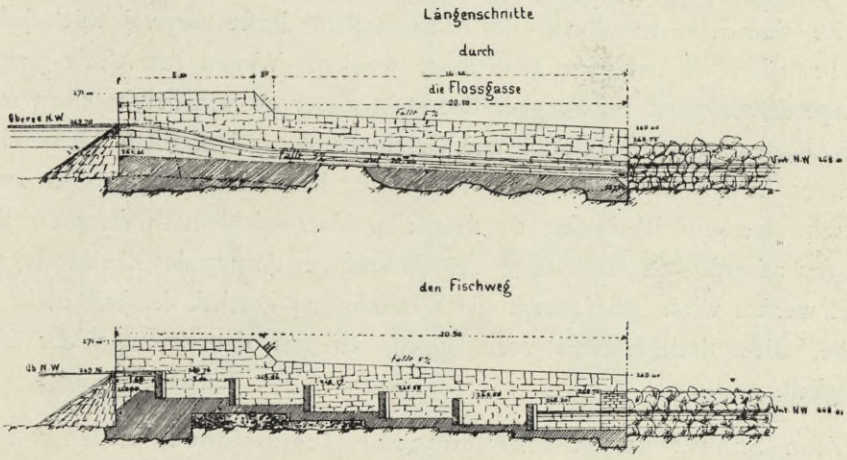

Fig 23.

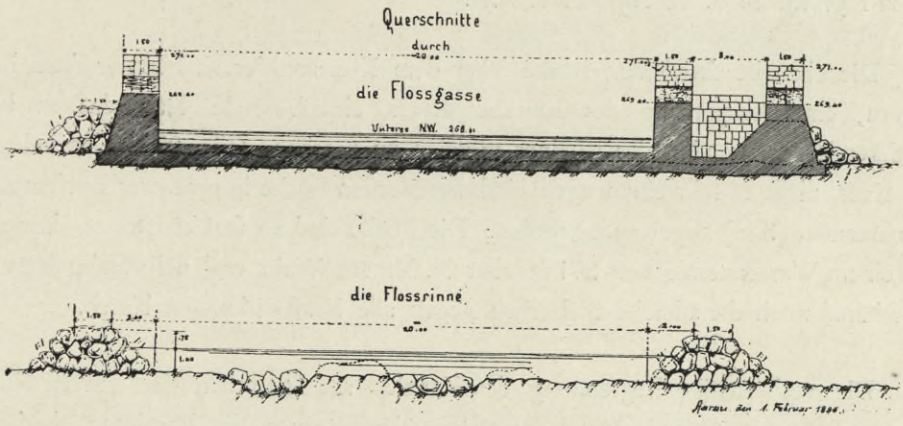

Fig. 24.

Durch Oeffnen dieser Schütztafel werden die in dem Kiessammler abgelagerten Massen in den Rhein gespült. Um die Spülkraft des Wassers auf die ganze

Länge des Kiessammlers sicher auszudehnen, wird derselbe von der Schützöffnung beginnend, nach und nach durch eiserne Tafeln abgedeckt, die sich zwischen eisernen, festen Wehrböcken befinden und durch Windwerke nach Bedürfniss von der Laufbrücke dieser Böcke aus herabgeklappt werden können. Diese Böcke befinden sich auf den Wangenmauern des Kiessammlers und sind mit denselben verankert; sie haben gleichzeitig den Zweck, die Schutzgitter aufzunehmen, die nach den Concessionsbedingungen zur Zurückhaltung der Fische, besonders der Sälmlinge, während einiger Monate im Jahre eingesetzt werden müssen. Diese Schutzgitter sind 4,5 m hoch über den Kanalboden hinaufreichend auszuführen und erhalten eine Maschenweite von 1,5 mm.

Die sinnreiche Anordnung des Kiessammlers dürfte voraussichtlich jedoch nicht besonders in Anspruch genommen werden. Wegen der relativ geringen Wassergeschwindigkeit im Beugger-See stellt dieser an sich bereits einen natürlichen Ablagerungsort für Geröll und Geschiebe dar. Ausserdem aber schlägt der Strom infolge des Rheinkniees unmittelbar hinter dem Beugger-See an das linke schweizerische Rheinufer, so dass aller Voraussicht nach der wesentliche Theil des mitgeführten Gerölles an dem linksufrigen Ansatz des Rheinwehres abgesetzt werden wird. Die Anlage des Kiessammlers geschah desshalb mehr zum Zwecke, allen Eventualitäten vorzubeugen, als aus dem Zwange der Nothwendigkeit.

Zum Schutz gegen schwimmende Gegenstände werden vor den Böcken des Kiessammlers am oberen Kanalende Schwimmbalken angebracht, wie sie in Fig. 13, 14 u. 16 angedeutet sind.

Die eben beschriebenen Böcke über dem Kiessammler sind ferner dazu bestimmt, eine Absperrung des Kanales durch einzulassende Dammbalken bei mittleren Wasserständen des Rheines möglich zu machen. (Fig. 25.) Um jedoch den Kanal nicht zu sehr einzuengen, sind die eisernen Böcke in grösserer Entfernung von einander (5 m) angewandt worden. Die Böcke sind so fest konstruirt, dass sie bei einem Wasserstande von 271 m über N. N. am Wehr und vollständig leerem Oberkanal noch die übliche Sicherheit gegen alle Kraftwirkungen bieten.

Die rechtsseitige Begrenzung des Kanales am badischen Ufer ist in einer 20 cm dicken, in Cementmörtel versetzten Abpflasterung der Böschung oberhalb des festen Felsens ausgeführt, die bis zum gestauten Hochwasser hinaufgeht und eine Neigung von 1,5 m horizontal zu 1,0 m vertikal besitzt. Am unteren Ende des Oberkanals ist zur Einschränkung der bedeutenden Erdarbeiten und zur Her-

stellung eines Fahrweges, wie aus den Querprofilen bei 8 + 80 und bei km 1, 18 u. 19 hervorgeht, eine Stützmauer ausgeführt, die ebenfalls theils in Cementmörtel, theils in hydraulischem Kalk mit festen natürlichen Steinen hergestellt wurde. Zum Theil hat der Oberkanal bereits in den Kalkfelsen eingesprengt werden müssen; bei km 0,90 schliesst der Oberkanal an die den Oberkanal vom Unterkanal trennende Motorenanlage.

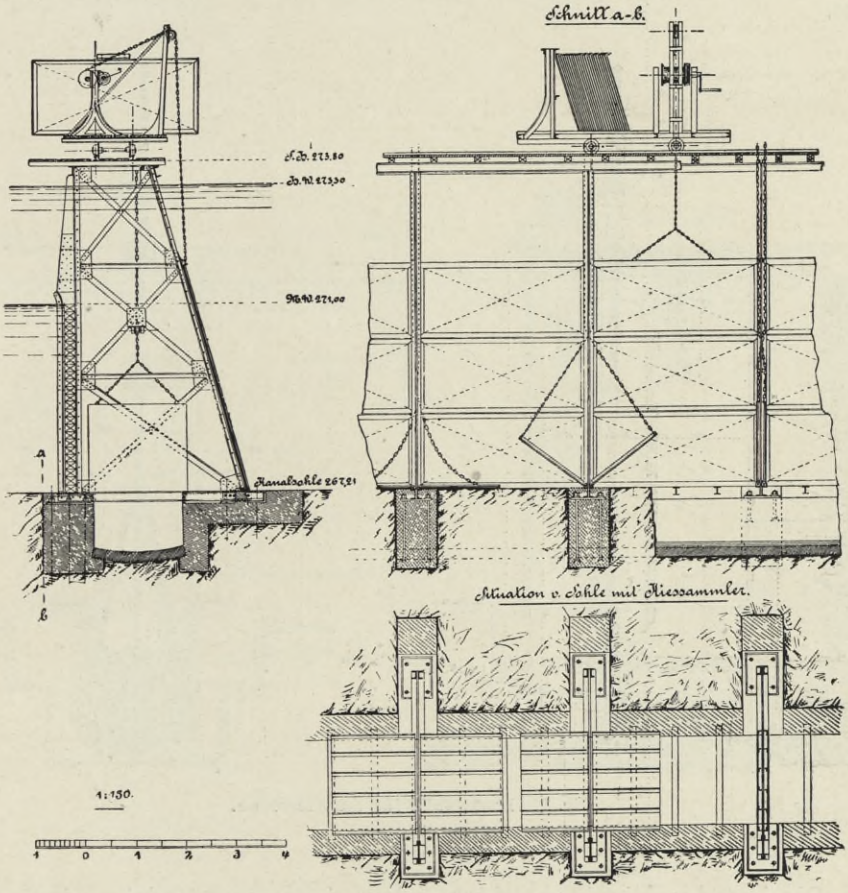

Fig. 25. **Construction des Kiessammlers.**

Sowohl zur Beseitigung von Eis, das sich etwa vor den Schutzgittern der Turbinenkammern im Kanal ansammeln könnte, als auch zum Ablassen des Wassers aus dem Oberkanal und zur Ableitung des in der Mittelrinne des Oberkanals sich sammelnden Schlammes und der sonstigen Sinkstoffe ist ein besonderer Leerlauf von 6 m Weite am rechten Kanalufer, unmittelbar neben der Motorenanlage ausgeführt und mit fünf Rollschützen versehen, wie sie in Fig. 25 dargestellt sind.

Neben diesem Leerlauf befindet sich eine Kahnschleuse, die einfache Thore mit vertikaler Drehachse erhält und für eine Lichtbreite von 3 m und eine lichte Länge zwischen beiden Thoren von 15,75 m ausgeführt wird.

Am linken Ufer des unteren Endes des Oberkanals bezw. zwischen der Kanalmauer daselbst und der Motorenanlage ist nach Vorschrift der Behörden ebenfalls ein Fischweg angelegt, der ähnliche Details wie der im Rheinwehr aufweist.

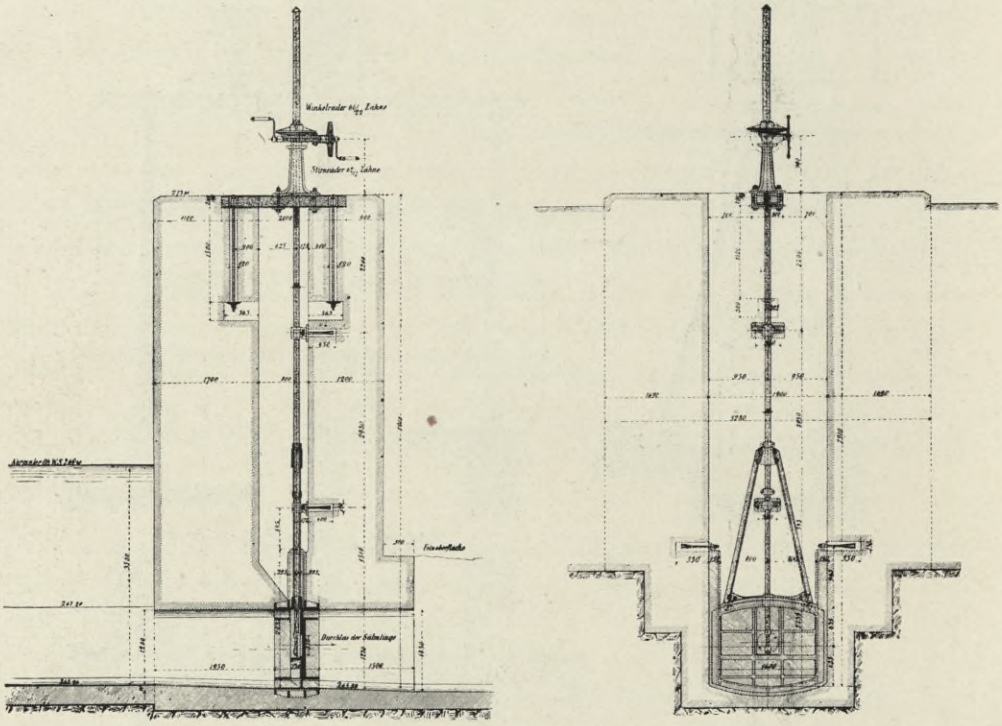

Fig. 26. **Doppelfalle für die Kiesrinne.**

Der Unterkanal ist in den festen Felsen eingesprengt und hat Abmessungen erhalten, die aus der Zeichnung Fig. 13 zu ersehen sind. Profil und Richtung des Unterkanals gegen den Rheinstrom sind für die möglichst günstige Abführung des Betriebswassers angelegt worden, wobei auch bei den Uferstaaten auf möglichst geringe Ablenkung der im Rheinbett an der Mündung des Unterkanals vorbeitreibenden Flösse Rücksicht genommen wurde.

Zur Verhinderung der Schädigung des schweizerischen Rheinufers bei Theodorhof durch den aus der gegenüberliegenden Mündung des Unterwasserkanals aus-

tretenden Strom wird auf entsprechende Länge das genannte Ufer künstlich gesichert.

Die Ausführung der Wasserbauten vollzog bezw. vollzieht sich mit zum Theil recht erheblichen Schwierigkeiten.

Zunächst wurde die Kanalmauer in einzelnen Abschnitten in Angriff genommen. Zu ihrem Bau wurden eiserne Pfähle in zwei parallelen Reihen in den Felsboden eingeschlagen, an die starke Bohlen angelehnt wurden. Der Zwischen-

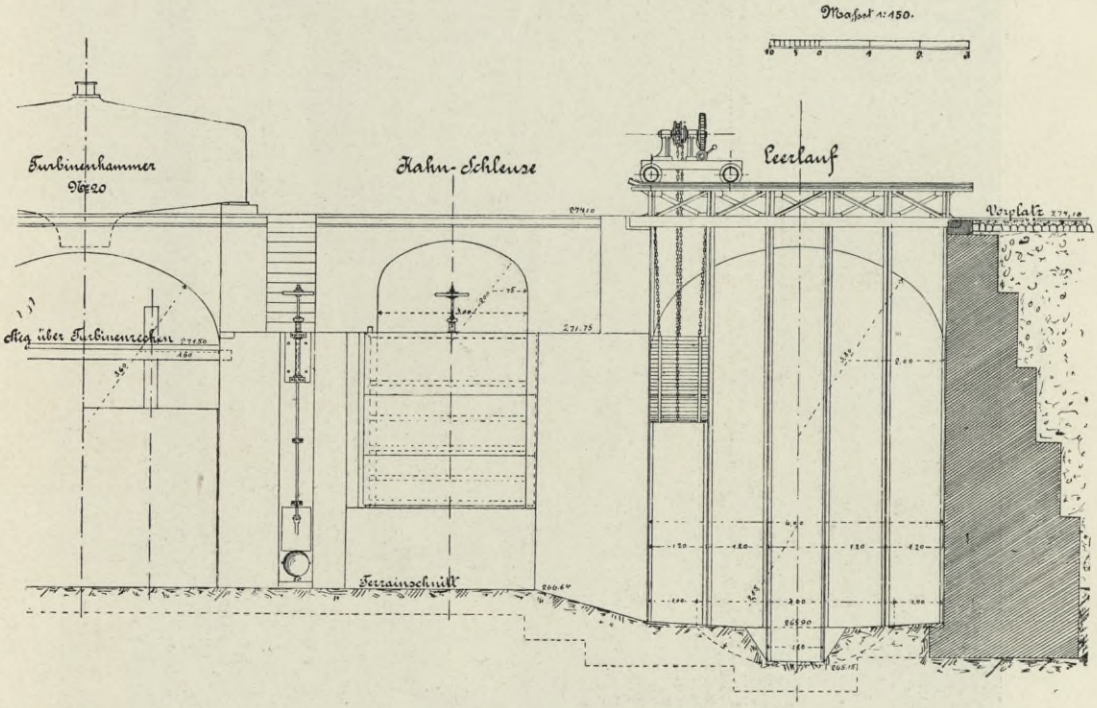

Fig. 27. **Kahnschleuse und Leerlauf.**

raum dieser Fangdämme wurde sodann mit Lehm ausgefüllt. Im Schutze dieser Fangdämme wurde stückweise die Kanalmauer fundirt. Ebenso wurde etwas stromaufwärts vor der Stelle, an der die Kiesrinne ihren Platz findet, ein ebenso konstruirter provisorischer Fangdamm angebracht, an dessen Stelle jetzt, zur länger anhaltenden Sperrung des Kanaleinlaufes ein massiver Betonwall getreten ist; ein gleicher Betondamm schliesst jetzt den Kanal auch nach unten gegen Hochwasser des Rheins ab. Fig. 28 u. 29. Das Wasser wurde aus dem unteren Kanalraume ausgepumpt, um mit der Fundirung der Kanalmauer zu beginnen. Der Untergrund besteht aus gelockertem Kalkfelsen mit parallelen Zwischenlagen

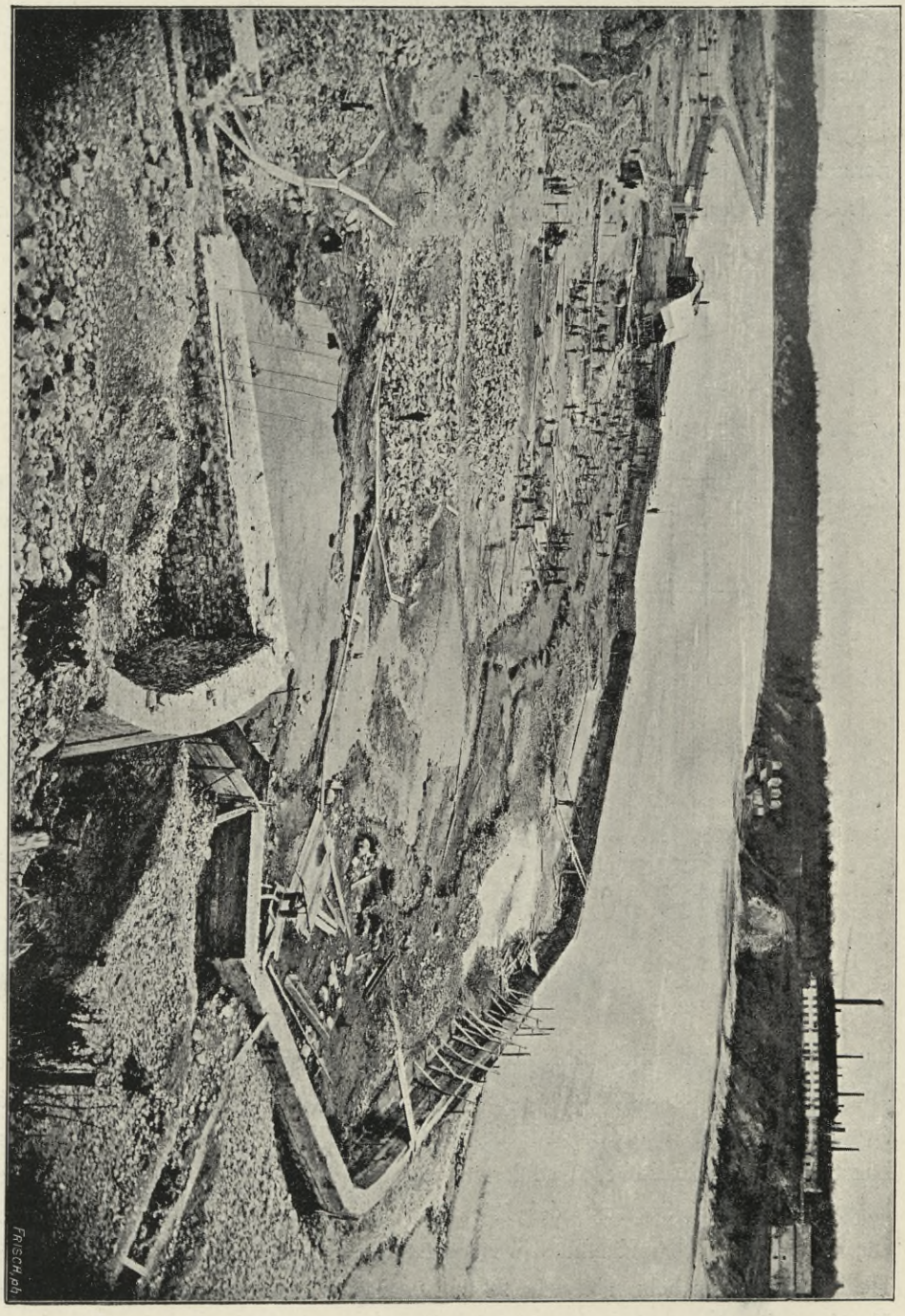

Fig. 28. Bau der Motorenanlage.

von Thon, der zum Theil vom Rhein ausgewaschen ist, so dass der Untergrund in horizontaler Richtung sehr wasserdurchlässig ist. Es musste desshalb der lockere Fels auf wechselnder Tiefe weggesprengt werden, ehe man auf soliden felsigen Untergrund kam. — Die Wasserverhältnisse boten weitere Schwierigkeiten. Als mit dem Bau der Kanalmauer im September 1895 begonnen wurde, stand zwar der Rhein ziemlich niedrig. Als aber die normalen Niedrigwasser erwartet wurden, die gewöhnlich in den Wintermonaten eintreten, hatte man relativ viel Wasser, so im November, Dezember und Januar sogar mehr als starkes Mittelwasser. Dafür aber waren die Witterungsverhältnisse relativ günstig, und die Arbeiten konnten desshalb, besonders auch in dem in Bezug auf die Wasserverhältnisse sehr günstigen Februar 1896, so gefördert werden, dass man mit der Krone der Kanalmauer schon über den Mittelwasserstand hinaus war, als das ausserordentlich starke und für diese Jahreszeit unerwartete Hochwasser im März eintrat.

Dank der ausserordentlich sorgfältigen Arbeit und vor allem Dank des sehr festen Beton-Dammes am Kanaleinlauf widerstanden die bereits vollendeten Bauten mit Leichtigkeit dem Ansturm der Wasser.

Einen wirklichen Schaden richtete das Hochwasser nur an den eben vollendeten leichten Fangdämmen zum Bau der Flossgasse an, indem es diese Fangdämme fast vollständig vernichtete. Das Hochwasser, obwohl telegraphisch avisirt, war so ausserordentlich plötzlich eingetreten, dass kaum noch die Brücke gerettet werden konnte, die von der Kanalmauer zu den neuen Fangdämmen führte. Die am Kanaleinlauf postirte Lokomobile, die zum Auspumpen des Kanales diente, konnte gleichfalls nicht mehr rechtzeitig entfernt werden, und man musste sich damit begnügen, sie mit Stricken festzubinden und sie sonst ihrem Schicksale zu überlassen.

Die Struktur des felsigen Untergrundes erschwerte besonders die Fundirung des Turbinenhauses und man musste hier mit den Fundamenten bis auf 6 m Tiefe gehen, um einen soliden Bau zu ermöglichen. Fig. 29. Um die Sohle der Motorenkammern dicht zu bekommen, muss dieselbe etwa 1 m stark in Cementbeton ausgeführt werden.

In Folge der Zerstörung der Fangdämme für die Flossgasse durch das Hochwasser mussten hier die Bauten zunächst eingestellt werden, weil durch den Bau die Flösserei nicht behindert werden darf. Sie werden erst im Herbst wieder aufgenommen werden. An Stelle des Baues mit Hilfe von Fangdämmen beabsichtigt Professor Conradin Zschokke das Wehr nun unter Zuhilfenahme von

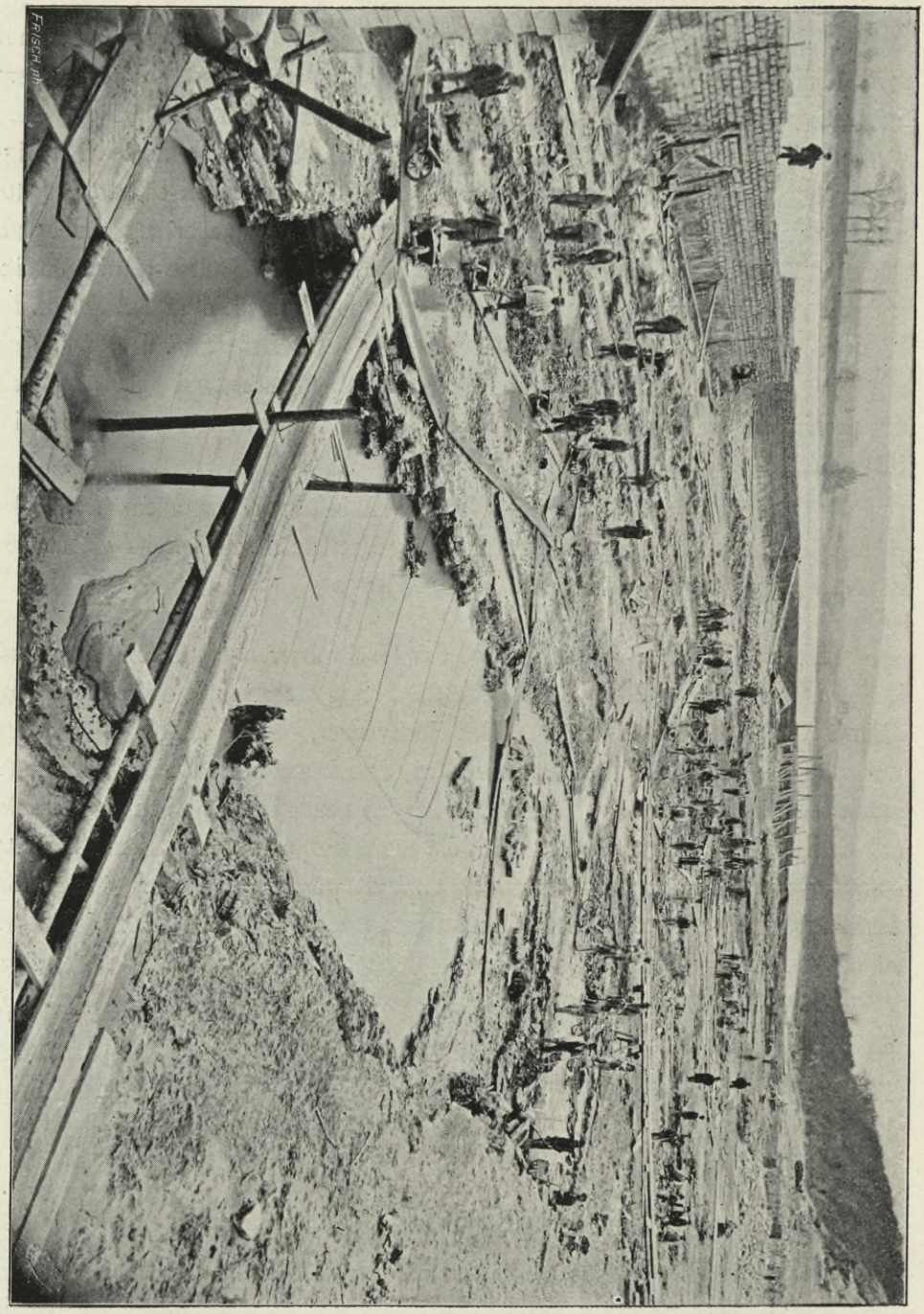

Fig. 29. **Baugrube des Turbinenhauses.**

Caissons auszubauen. Prof. Zschokke will zu diesem Zwecke eine Bockbrücke quer durch den Rhein schlagen, an der T-Träger aufgehängt werden; an diesen T-Trägern wird ein fahrbarer Hängestuhl entlang geführt, der mit Flaschenzügen einen Caisson trägt. Zur Erleichterung des Auftriebes sollen diese Caissons aus Holz konstruirt werden; werden die Caissons herunter gelassen, so müssen sie natürlich belastet werden. Das Wehr wird dann etappenweise ausgebaut und mit dem Fortschreiten des Baues werden die Caissons einfach der Brücke entlang geführt, die selbst nur in dem Maasse weitergeführt zu werden braucht, als der Bau des Wehres fortschreitet.

Dieselben Caissons sollen dann später auch zur Demolirung der Fangdämme am Kanaleinlauf und -auslauf verwandt werden.

Die Motorenanlage. Wie bereits erwähnt, ist die Motorenanlage unmittelbar am unteren Ende des Oberkanals angeordnet. Ihre Lage ist aus dem Grundriss Fig. 13 zu ersehen. Die Construction der Motorenanlage und ihre Raumdisposition ergiebt sich aus den Figg. 30—33 auf beigehefteter Tafel, aus denen auch der Zusammenhang der Motorenkammer mit der maschinellen Einrichtung, d. h. mit den Turbinen und Dynamos hervorgeht.

Die Motorenanlage besteht aus 20 Kammern von je 5,5 m lichter Weite und 10 m lichter Länge, die von einander durch Mauern getrennt sind. Die Stärke der Mauern, die ebenso wie sämmtliche Fundirungen und Ueberwölbungen der Motorenkammern in Cement-Beton hergestellt sind, beträgt 1,25 m.

Die Fundirung musste, wie erwähnt in den Felsen eingesprengt werden und ist so stark bemessen, dass sie den höchsten Druck des Wassers gegen die Sohle bei leerer Kammer und bei höchstem Aussenwasserstande mit voller Sicherheit aufnehmen kann. Diese Bedingung musste gestellt werden, weil der klüftige Felsen es möglich erscheinen liess, dass durch die Klüfte der volle Wasserdruck gegen sämmtliche Theile der Umschliessung der Motorenkammern zur Wirkung kommen könnte.

Die Schwankungen des Niedrigwasserspiegels im Oberkanal und im Unterkanal liegen etwa auf 269,5 m N. N. bei Niedrigwasser und 273 m bei Hochwasser im Oberkanal, bzw. 264,6 m N. N. bei Niedrigwasser und 270 m N. N. bei Hochwasser im Unterkanal, während der tiefste Punkt der Sohle der Motorenkammer auf 259,55 m über N. N. liegt.

Der Fussboden des über der Motorenkammer zu errichtenden Dynamogebäudes ist auf 274,1 m über N. N. angelegt. Das Dynamogebäude wird im

Lichten eine Weite von 10 m und eine Höhe von etwa 8 m bis zum Dachbinder erhalten, so dass hiernach eine Motorenkammer vom Fundament bis zum Fussboden des Dynamogebäudes nahezu 15 m Höhe besitzt; einschliesslich des Dynamogebäudes beträgt die Höhe vom Fundament bis zum Dachfirst rund 24 m.

Da während des Betriebes jede Motorenkammer zur Ausführung einer Reparatur oder zum Einsetzen einer neuen Turbine wird leer gepumpt werden müssen, so waren die Umschliessungen jeder Motorenkammer gegen den Ueberdruck des Wassers und zwar beim mittleren Wasserstande im Oberkanal mit vollkommener Sicherheit zu construiren, was durch eine besondere statische Untersuchung nachgewiesen wurde.

Zum Abschützen der Turbinenkammern gegen den Oberwasserkanal dient für jede Kammer ein Paar vertikal gelagerter *Drehthore* von je 2,75 m Breite und 5 m Höhe, die ganz aus Walzeisen konstruirt sind. Da diese Drehthore bei geschlossenem Zustande einen Wasserdruck von 70 000 kg auszuhalten haben, musste auf die Zapfenlagerung ganz besondere Sorgfalt gelegt werden. Die unteren Stützzapfen sind in Folge dessen mit einem die ganze Breite der Turbinenkammer durchlaufenden schmiedeeisernen Träger kombinirt worden, der gehörig in den Beton verankert ist, da der Beton allein den enormen Druck auch durch eine sehr grosse Fundamentplatte vertheilt nicht ausgehalten hätte.

Die Bewegung der Drehthore geschieht von der Hand und zwar von dem Handrad der Bedienungsgallerie in der Maschinenhalle aus. Die Drehthore werden für gewöhnlich einen ziemlich dichten Abschluss bilden, jedoch genügt derselbe nicht, wenn man im Falle einer Reparatur an der Turbine etc. eine Turbinenkammer gänzlich entwässern will. In diesem Falle werden in Dammfalze der Trennungsmauern oberhalb und unterhalb der Turbinenkammern *Dammbalken* eingelassen. Diese Dammfalze sind zwischen den Trennungsmauern zweier Turbinenkammern für 5,5 m lichte Weite oberhalb der oben genannten Drehthore in einer solchen Entfernung von denselben eingelassen, dass die Drehthore noch geöffnet werden können; hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, im Schutze der Dammbalken die Drehthore aus- und einzubringen.

Der Abschluss des Unterwassers von der Motorenkammer wird allein durch Dammbalken bewirkt, die gleichfalls in Dammfalze der Trennungsmauern zwischen zwei benachbarten Kammern eingelassen werden können.

Das in der Motorenkammer verbleibende Wasser wird entweder mit Wasserstrahl-Ejektoren nach Fig. 34 oder mit einer elektrisch betriebenen Centrifugal-

pumpe (Fig. 35) entfernt. Zu diesem Zwecke ist in jeder Kammer ein Saugrohr eingemauert, an das eine transportable Pumpe leicht angeschlossen werden kann.

In der unteren Stirnwand der Motorenkammer sind Oeffnungen angebracht und durch Korbbögen von 1,2 m Breite nach oben abgeschlossen, um die untere Langwand des darüber befindlichen Theiles der Motorenkammer und des Dynamogebäudes zu tragen. Die obere Langwand der Motorenkammer stützt sich in 1,2 m Stärke auf gewalzte Träger, die die Durchlassöffnung hinter den Dreh-

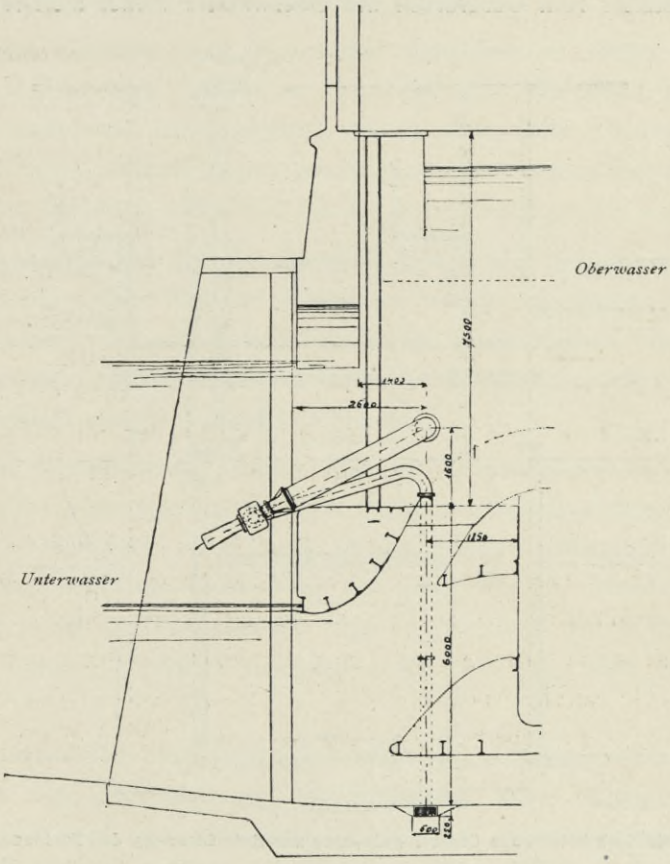

Fig. 34. **Wasserstrahl-Ejektor zur Entwässerung der Turbinenkammer.**

thoren abdecken und die 800 mm starke Aufmauerung der Motorenkammer, sowie die obere Langwand des Dynamogebäudes tragen. Der Abschluss der Motorenkammer nach unten, der nach den Concessionsbedingungen den höchsten Wasserstand des Oberkanals in der Motorenkammer überragen muss, wird in 10 der vorhandenen Kammern durch Schützen oder Fallen aus Schmiedeeisen-Construktion für 5,5 m lichte Weite bewirkt, die durch den Laufkrahn vom Dynamohause aus bedient werden sollen.

Die 10 übrigen unteren Oeffnungen der Motorenkammern sollen nur durch Dammbalken verschlossen bleiben.

Wenn es bei besonders hohen Wasserständen nothwendig erscheinen sollte, das Hochwasser aus dem Kanal direkt durch die Turbinenkammern in den Unterkanal treten zu lassen, um den Hochwasserspiegel im Kanal und damit auch den oberhalb des Rheinwehres zu senken, so sollen die genannten 10 eisernen Schütztafeln nach Bedarf gezogen werden, nachdem zur Entlastung dieser Schütztafeln vom Ueberdruck des Oberwassers vorher die Drehthore nach

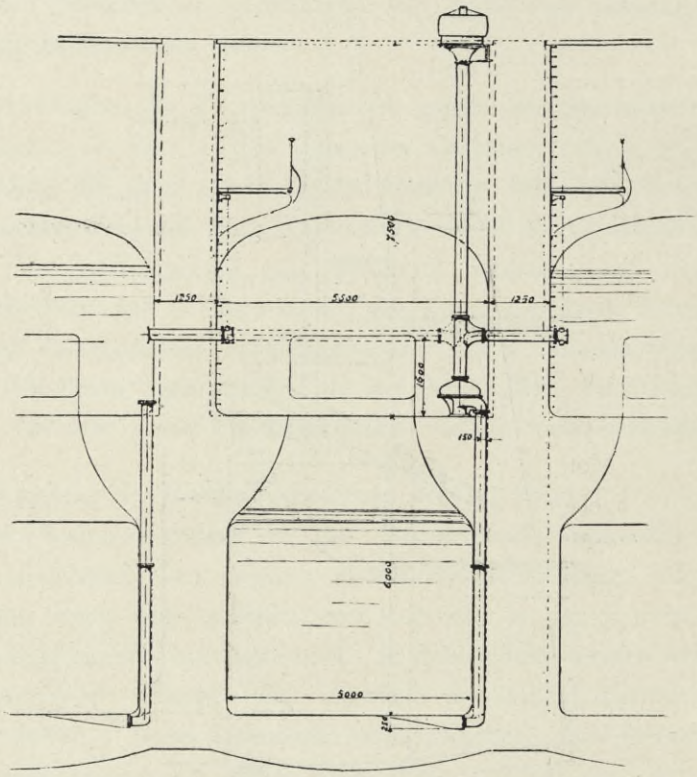

Fig. 35. **Elektrisch betriebene Centrifugalpumpe zur Entwässerung der Turbinenkammern.**

dem Oberkanal hin geschlossen worden sind. Sind die unteren Schütztafeln gezogen und hat der Wasserspiegel in der Kammer sich gesenkt, so können trotz des Ueberdruckes des Oberwassers gegen die hierfür sicher konstruirten Drehthore, diese doch leicht geöffnet und damit das Wasser durchgelassen werden. Soll die Motorenkammer wieder in Dienst gesetzt werden, so werden die Drehthore trotz der Strömung des Wassers geschlossen, die Schütztafeln an der unteren Langwand wieder herabgelassen und dann die Drehthore wieder geöffnet.

Zur Aufnahme der Kraftwirkungen, die einerseits gegen eine leer gepumpte Kammer durch den äusseren Wasserdruck stattfindet, andererseits durch die bedeutende Belastung der festen und beweglichen Theile der Dynamoanlage, sowie der in den oberen Spurlagern hängenden Turbinenconstruction auf die Betongewölbe, bezw. durch die Betongewölbe auf die Trennungsmauern zwischen zwei benachbarten Kammern wirken werden, sind noch zwei in Höhe der unteren Bühne liegende Abstützungen der genannten Wände durch 2 Steifen aus Quadranteisen zur Anwendung gebracht worden.

Das obere Gewölbe und die unteren Abschlüsse in Beton und Eisenconstruction sind in allen Theilen so construirt, dass die ganze Turbine mit allen Theilen nach oben herausgehoben werden kann. Die Stützung der Turbinenwelle auf einem unteren Zapfen geschieht nur provisorisch für die Montage und tritt ausser Funktion, sobald die Turbine bezw. Dynamowelle sich dreht.

Da die sämmtlichen auf das Gewölbe kommenden Belastungen der Turbinen und Dynamos jeder Kammer 118 000 kg betragen, so musste gegen diese gewaltige Belastung die erforderliche Sicherheit durch statische Berechnungen genau nachgewiesen werden. Die sich drehenden Theile haben ein Gewicht von 70 000 kg Gewicht und 55 Touren per Minute.

Für den gewöhnlichen Betrieb sind im Cementmauerwerk, bezw. im Cementboden der Motorenkammern keine grösseren Druckspannungen als 8 bis 10 kg per qcm zugelassen. Der Druck auf den felsigen Untergrund beträgt in diesem Fall nicht mehr als 4 bis 5 kg per qcm. Für die Ausnahmefälle der Beanspruchung wird im Cementbeton eine Zugspannung von 1 kg per qcm, als grösster Druck auf den Untergrund 7 kg per qcm nicht überschritten werden.

Die Betongewölbe über jeder Motorenkammer erhalten im Scheitel eine Minimalstärke von 750 mm; die Durchbrechung jedes Betongewölbes hat 3500 m Durchmesser, um sämmtliche Theile der darunterliegenden Turbine durch diese Oeffnung heraufziehen zu können. Diese Oeffnung ist durch einen festen gusseisernen Kranz eingefasst, um das radiale feste Armsystem für das Spurlager der sich drehenden vertikalen Turbinen- und Dynamowelle zu stützen. Im Dynamogebäude sind für die Montage der sehr schweren Turbinen und Dynamos zwei Laufkrähne von je 20 t Tragfähigkeit vorgesehen.

Entsprechend der Zuführung und Ableitung des Wassers zu und von den Turbinen sind die in Fig. 30 angegebenen Querkonstruktionen in Beton und Eisen angeordnet und so geformt, dass Wirbelungen der in drei getrennten Strahlen austretenden Wassermassen bei ihrer Vereinigung bezw. bei ihrem Ein-

tritt in den Unterwasserkanal möglichst vollkommen verhindert werden, um dadurch den Nutzeffekt der Motoren möglichst gross zu gestalten.

Die beschriebenen Betongewölbe trennen die Motorenkammern vollständig von dem darüber liegenden Dynamogebäude; um aber doch den zeitweiligen Zugang vom Dynamogebäude zur Turbinenkammer zu ermöglichen, sind Oeffnungen im Fussboden und Steigeisen in den Mauern angebracht (vergl. Fig. 30).

Zum *Schutz der Turbinen und Turbinenkammern* gegen treibende Gegenstände ist vor den Turbinenkammern ein Schutzrechen angebracht, der sich vor dem ganzen Turbinenhause entlang zieht. Der Rechen besteht aus einer Anzahl von Stabbündeln von je 7,6 m Länge und 33 mm Lichtweite, die in schräger Richtung unter etwa 45° gegen das einströmende Wasser gelegt sind. Die ganze Fläche des Rechens beträgt demnach 135×7,6 m². Zur Lagerung dieser Stäbe ist einerseits eine der ganzen Länge nach durchgehende Gusseisenschiene im Boden eingelassen, andererseits ein Stütz-Rost durch drei, der ganzen Länge nach durchlaufende mit entsprechenden Stabwerken gestützte T-Träger gebildet (vergl. Fig. 30). Der Rechen reicht bis auf 271,5 m über N. N., d. h. bis zur Laufbühne oberhalb, bezw. ausserhalb der Motorenkammer.

Das *Dynamogebäude* wird sich über sämmtliche 20 Turbinenkammern, über die Kahnschleuse und den Leerlauf erstrecken und daher bei 10 m Lichtbreite und 8 m Minimallichthöhe eine lichte Länge von 146 m erhalten, so dass noch eine Werkstatt in dem verlängerten Dynamogebäude Platz finden wird.

Von dem Dynamogebäude führt ein Fahrweg zu den Landstrassen am rechten badischen Ufer hinauf; eine Ueberbrückung des Rheines Fig. 13 und des Kanales wird in der Nähe des Turbinenhauses die Verbindung zwischen dem badischen und dem schweizerischen Ufer schaffen, an welchen Punkten die Gesellschaft grosse Terrains für industrielle Unternehmungen erworben hat.

Die *Ausführungen sämmtlicher Wasserbauten* sind der Bauunternehmung Zschokke & Co. in Aarau und der Aktiengesellschaft Escher Wyss & Co. in Zürich in Generalunternehmung übertragen. Als Bevollmächtigter der genannten Firmen fungirt Professor Conradin Zschokke in Aarau, während die obere Bauleitung dem Professor O. Intze in Aachen übertragen ist, für den als stellvertretender Ingenieur in Rheinfelden der Ingenieur A. Müller die beständige Kontrolle ausübt.

Die Ausführungen sind im April 1895 begonnen und so energisch gefördert worden, dass die betriebsfähige Ablieferung wenigstens eines Theiles des ersten Ausbaues der Anlage bis zum Mai 1897 gesichert erscheint.

III.

Die Turbinen-Anlage.

Auswahl der zu verwendenden Wassermotoren. Nach dem ersten Projekt des Oberst Zschokke waren Turbinen System Jonval in einer durch Fig. 36 u. 37 dargestellten Anordnung in Aussicht genommen worden.

Jede dieser Jonvalturbinen sollte bei 44 Touren 330 P.-S. leisten. Da nach dem älteren Projekt Elektricitätsgeneratoren von 660 P.-S. angenommen waren, hätten immer zwei Turbinen gleichzeitig mit Zahnrädern auf die Generatoraxe gewirkt. Als Axenabstand für die Generatoren waren 9 m angenommen worden (Fig. 36.)

In Bezug auf die Wassermotoren wäre das Projekt des Oberst Zschokke wohl das weitaus billigste gewesen, aber wie bereits erwähnt, war dieses ganze Projekt bereits im vorbereitenden Stadium definitiv aufgegeben worden.

Bei den späteren Entwürfen der Motorenanlage kam für den Turbinenconstructeur nur noch die durch das Gutachten und die Vorschläge von Professor Intze geschaffenen Grundlage in Betracht. Für den Betrieb sollte danach die Zahnradtransmission, wenn irgend möglich, vermieden werden, und es war andererseits zur Verminderung der Kosten und der Einfachheit des Betriebes erwünscht, die Zahl der Motoren möglichst einzuschränken. Es wurde desshalb die Zahl auf 20 festgesetzt gegenüber den im Zschokkeschen Projekt enthaltenen 50 Einheiten. Die Grösse jedes Motors sollte dabei nicht unter die Leistung von 800 P.-S. heruntergehen.

Da nun leider das zu erwartende Gefälle an der Motorenanlage bei Hochwasser des Rheines nur $2^1/_2$ bis 3 m betragen wird, indem für den Abfluss des Hochwassers unterhalb des Unterkanales im Rhein bis zur Rheinbrücke bei

Rheinfelden die nöthige Vorfluth für die grössten Wassermengen fehlt, und da andererseits bei Niedrigwasser das Nutzgefälle an der Motorenanlage nahezu 5 m betragen wird, so mussten die Turbinen für diese wechselnden Gefälle auch entsprechend wechselnde Wassermengen erhalten. Wegen der Grösse dieser Wassermengen, die etwa zwischen 17 und 25 cbm sekundlich wechseln, konnten diese Turbinen nur mit grossem Durchmesser und entsprechend kleiner Tourenzahl entworfen werden. Aber auch in Bezug auf den Turbinendurchmesser war der Constructeur durch die Concessionsbedingung, wonach der Achsenabstand der

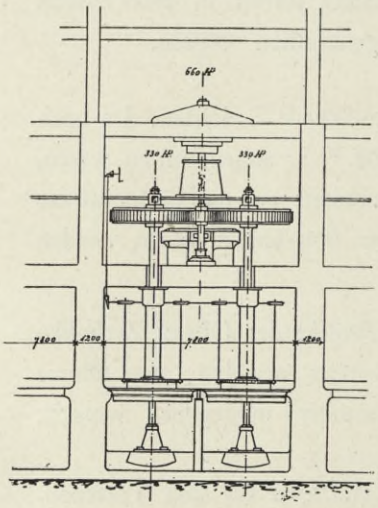

Fig. 36.

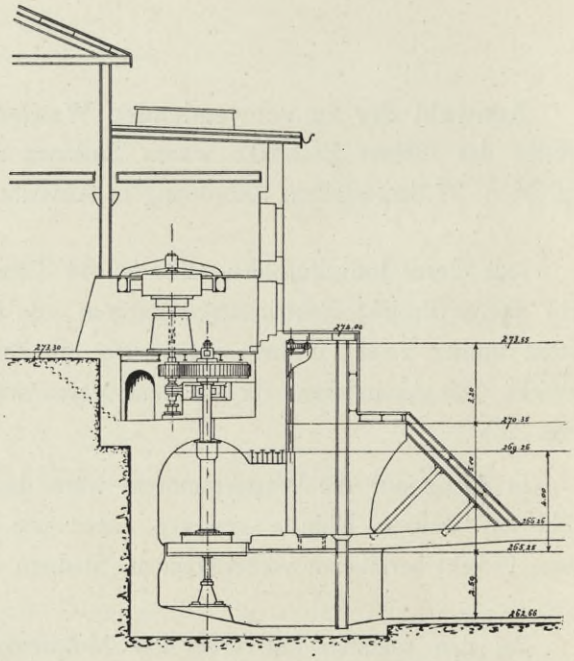

Fig. 37.

Elektricitätsgeneratoren 6,75 betragen sollte, an eine bestimmte obere Grenze gebunden. Die Schwierigkeiten, die der Constructeur dabei zu überwinden hatte, waren desshalb nicht gering und es dürfte von nicht geringem Interesse sein, einen Blick auf die verschiedenen Vorschläge der Firma Escher Wyss & Co. zu werfen, durch die diese Firma allen in Betracht kommenden Verhältnissen und vor allem den Ansprüchen der Elektrotechniker gerecht zu werden suchte.

In ihrem Constructionsprojekt vom 22. Mai 1894 fassten Escher Wyss & Co. zunächst Conus-Turbinen von 5 m Durchmesser ins Auge, deren jede bei

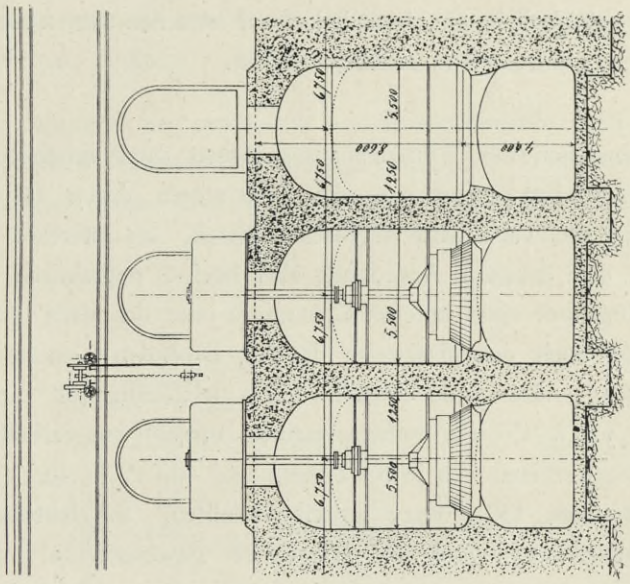

Fig. 39.

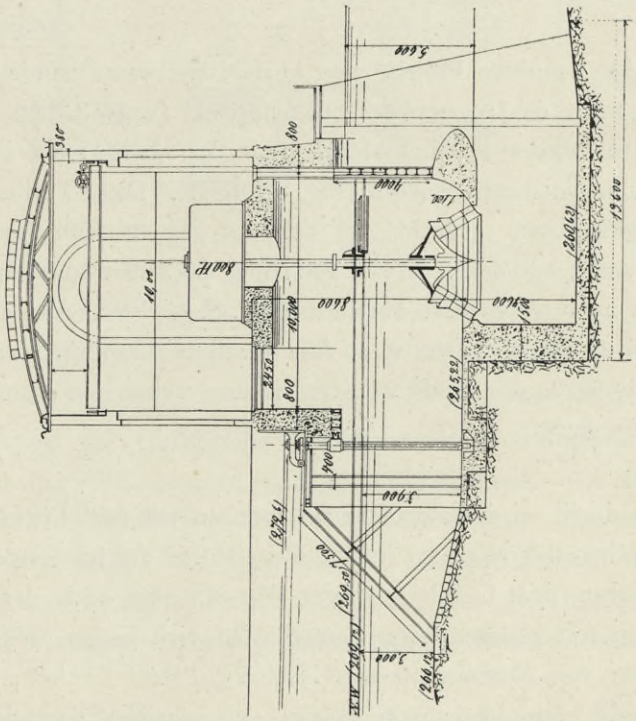

Fig. 38.

34 Touren 800 P.-S. geleistet hätte (Fig. 38 u. 39). — Um bei dieser niedrigen Tourenzahl die erforderliche Geschwindigkeit zu erreichen, hätten die Generatoren einen Durchmesser von ca. 8 m erhalten müssen.

Die Dimensionen des Turbinenhauses hätten dann erheblich vergrössert werden müssen, selbst wenn man die Generatoren durch Höherstellen der einen Hälfte sich theilweise hätte überdecken lassen. Im Interesse der Betriebssicherheit wäre eine derartige Anordnung aber höchst unpraktisch gewesen, da man bei der Reparatur eines unteren Generators oder der dazu gehörigen Turbine gleichzeitig auch den theilweise darüber liegenden Generator hätte demontiren müssen. — Es wurde deshalb auch gleichzeitig mit diesem Projekte von Escher, Wyss & Co. ein zweites variirtes Projekt ausgearbeitet, nach dem immer zwei Kegelturbinen von je 53 Touren und 400 P.-S. durch Stirnräder je einen Generator von 150 Touren antreiben sollten. In elektrischer Hinsicht wäre diese Anordnung wohl die bequemste gewesen, da man dann mit relativ kleinen Generatoren ausgekommen wäre. Aber da dieses Projekt in Bezug auf den hydraulischen Theil der Maschinenanlage das weitaus theuerste gewesen wäre, wurde es ebenfalls bald fallen gelassen.

Bevor das definitive Projekt zur Ausführung kam, wurde von Escher, Wyss & Co. noch ein sogenanntes Studienprojekt (vom 3. Mai 1895) ausgearbeitet, bei dem wieder Jonval-Turbinen nach der Modifikation Patent Escher, Wyss & Co. angenommen wurden (Fig. 40 u. 41). Diese Turbinen waren als Reaktions-Doppelturbinen gedacht, bei der auf gemeinschaftlicher Welle zwei Turbinenräder sitzen, von denen das eine von unten, das andere von oben beaufschlagt wird. Bei 40 Touren hätten diese Turbinen 800 P.-S. geleistet. Aber auch hier wäre die Tourenzahl zu niedrig gewesen, so dass dieselben unleidlichen Schwierigkeiten in der Raumdisposition der Elektricitäts-Generatoren entstanden wären, die bereits erwähnt worden sind.

Nachdem durch wiederholentliche Berathungen mit dem Chef-Elektriker der A. E. G. die Minimal-Tourenzahl für die Generatoren auf 55 festgelegt worden war, und da neben dem Gefälle und der Wassermenge auch der Axialabstand der Generatoren fest bestimmt war, entschieden sich Escher, Wyss & Co. für die Anwendung von *Reaktions-Francis-Turbinen*, Patent Escher, Wyss & Co. und zwar in der Anordnung von je zwei übereinander liegenden Turbinensystemen. Jede Turbine besitzt zwei Lauf- und zwei Leiträder, aber insofern

die Ausströmung des Wassers aus den Laufrädern jedesmal nach zwei Richtungen erfolgt, könnte man die gewählten Turbinen mit grösserer Berechtigung vierfache Turbinen nennen.

Man gelangte zu der gewählten Anordnung deshalb, weil man unter den gegebenen lokalen Verhältnissen mit gewöhnlichen Doppelturbinen höchstens 40 Touren erreicht hätte. Die Tourenzahl einer Turbine ist bekanntlich proportional

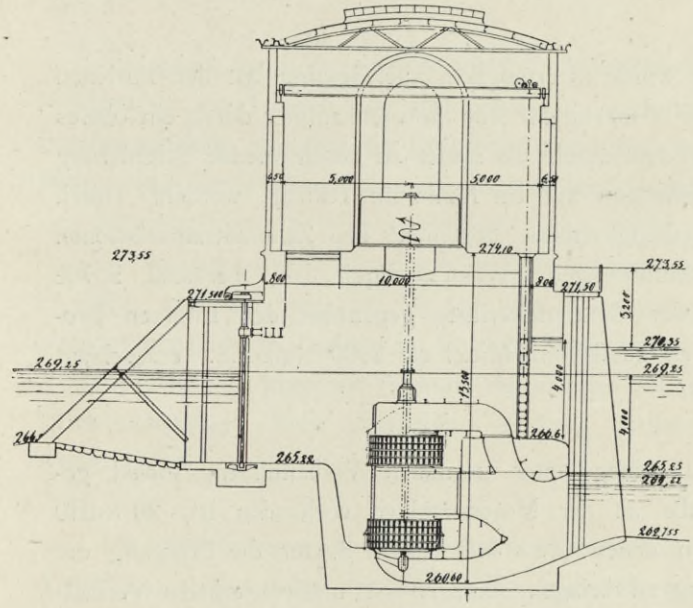

Fig. 40.

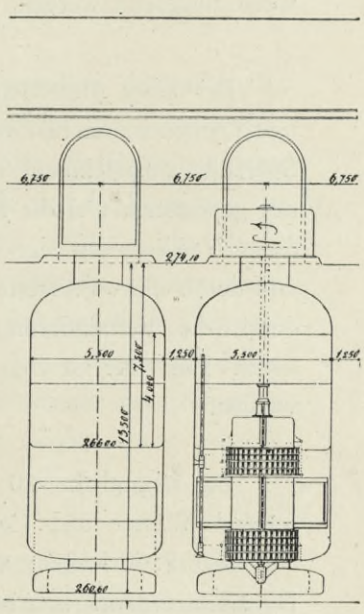

Fig. 41.

der Wurzel aus der Gefällshöhe — hier 4 m bei mittlerem Gefälle — und proportional der Wassermenge und dem Durchmesser. Da die beiden ersten Grössen durch die ganze Disposition fest bestimmt waren, war also nur noch der Durchmesser variabel. Bei gewöhnlichen Doppelturbinen wäre man aber zu Durchmessern gelangt, die die Aufstellung der gewünschten Krafteinheiten auf dem zur Verfügung stehenden Raume nicht gestattet hätten.

Die Zahl der Turbinen war überdies durch das ganze Programm der Anlage gegeben, wonach 20 Einheiten à 800 P. S. zu schaffen waren.

Im Laufe der Verhandlungen hatte sich weiter noch die Nothwendigkeit herausgestellt, eine Reserve von ebenfalls ca. 800 P. S. zu schaffen. Um dies zu erreichen, wurde die Leistungsfähigkeit jeder Turbine um 5% erhöht, so dass jede Turbine nunmehr 840 P. S. zu leisten vermag. Danach geben bereits 19 Turbinen etwas mehr als die Normalleistung, von der bei der Anlage überhaupt ausgegangen wurde, so dass selbst bei voller Belastung des Werkes immer eine Turbine zur Reserve stehen kann.

Die Dynamos konnten bei Wahl dieser Turbinen direkt auf die Turbinenwelle aufgesetzt werden.

Bei dieser Anordnung wurde es ermöglicht, die Gesammtlast der Turbinen und Dynamomaschinen von 70 000 kg für jede Motorenkammer durch ein oberes Spurlager aufzunehmen, in dem durch die später zu beschreibende Schmierung mit gepresstem Oel die Reibungen auf ein Minimum reduzirt werden. Durch diese Verringerung der Reibungsverluste gegenüber den Zahnradtransmissionen und durch die verbesserte Zuführung des Wassers durch den Oberkanal, sowie durch die Verminderung der Gesammtverluste gegenüber den früheren Projekten kann der Gewinn an Energie im Mittel auf 2000 Nutz-P.S. veranschlagt werden.

Da sämmtliche 20 Turbinen unter normalen Verhältnissen, sobald genügend Wasser und Gefälle an der Motorenanlage vorhanden ist, $20 \times 840 = 16\,800$ P. S. leisten, von denen etwa 500 Nutz-P.S. für die Erregung der Dynamomaschinen in Abzug zu bringen sind, so ist unter normalen Verhältnissen eine ausreichende Reserve über die bei der Gesammtanlage in Aussicht genommene Leistung von 15 000 Nutz-P. S. geboten.

In Fig. 11 ist die graphische Darstellung der den verschiedenen Wasserständen des Rheines in einer Reihe von Jahren entsprechenden, an der Turbinenwelle gemessenen wahrscheinlichen Nutzleistungen gegeben, aus denen leicht abzulesen ist, wie gering die Wahrscheinlichkeit ist, dass die erforderliche Minimalleistung nicht erreicht wird.

Es verdient jedoch hervorgehoben zu werden, dass bei der gewählten Construction der Turbinen, die durch die Wasserverhältnisse und die übrigen feststehenden Bedingungen geboten war, der Maximal-Nutzeffekt natürlich nur bei

hohem oder mittlerem Gefälle erwartet werden kann, während bei den geringeren Gefällshöhen, die bei Hochwasser eintreten, der etwas grössere Wasserverbrauch ohnehin keine Rolle spielt.

Die Disposition der Turbinenanlage und deren Ausführung. Wie aus den Zeichnungen Fig. 30—31 und Fig. 13 ersichtlich ist, kann das aus dem Oberkanal entnommene Betriebswasser in derselben Richtung, in der es aus den Motoren strömt, auch die Motorenkammer wieder verlassen, und jede Turbinenkammer ist, wie bereits erwähnt, für sich abstellbar und bedienbar.

Es wurde durch diese Disposition die Möglichkeit gegeben, zeitweilig das Hochwasser direkt durch jede Motorenkammer nach Abstellung der Turbine hindurchzuschicken, nachdem die Drehthore und Fallen an der oberen und unteren Begrenzung der Turbinenkammern entsprechend bedient sind. Da es nur in den seltensten Ausnahmefällen erforderlich sein dürfte, zur Ableitung des Hochwassers auf diese Weise einzelne Turbinenkammern dem Betriebe zu entziehen, so kann man die einer solchen für das Hochwasser freigemachten Motorenkammer benachbarte Turbine im Betriebe lassen, indem das Unterwasser dieser Turbine durch die saugende Wirkung der aus der Nachbarkammer ausströmenden Hochwassermasse nicht bemerkbar gehoben, vielleicht sogar etwas gesenkt werden wird.

Die definitiv gewählte Disposition der Turbinenkammern gestattet die leichte Ausschaltung einer jeden derselben, daher auch sehr leicht die etwa erforderliche Reparatur einer Turbine oder den Einbau einer neuen, nachdem durch einfache Wasserschöpfvorrichtungen, nach Absperrung des Ober- und Unterwassers durch die Drehthore und Dammbalken, die Turbinenkammer trocken gelegt worden ist.

Die Sohle der Turbinenkammer und die sämmtlichen Umschliessungen der Motorenkammer sind gegen die denkbar ungünstigsten Wirkungen der Wassermassen vollkommen ausreichend dicht und fest konstruirt worden. Die Fundamente der Turbinenkammer liegen im festen Felsen, in den die ganze Anlage eingesprengt werden muss.

Nach dem Vertrage mit den Firmen Zschokke & Co. in Aarau und Escher, Wyss & Co. in Zürich ist in Aussicht genommen, vorläufig 10 Turbinen ein-

zubauen, während sämmtliche Motorenkammern mit sämmtlichem Zubehör sofort fertig gestellt werden.

Die Disposition der Turbinenanlage gestattet es nun, ohne Störung des Betriebes, die fehlenden Turbinen nach Bedürfniss einzubauen.

Beschreibung der Turbineneinheit. Die Francis-Turbinen sind *äussere Radialturbinen,* bei denen also die Wasserzuführung von aussen erfolgt, und zwar sind sie als *Vollturbinen* gebaut. Jede Turbine besteht zum Zweck günstigster Ausnützung der variablen Wasserverhältnisse aus zwei Paaren vollkommen gleicher Turbinenräder von 2350 mm Spaltdurchmesser und 1240 mm Höhe. Die einzelnen Räder sind vierkränzig. Jedes Laufrad ist mit einer vollen Nabe versehen, so dass immer zwei Kränze nach oben und zwei nach unten ausgiessen müssen (Fig. 42).

Die Turbinen sind auf *Reaktion* (Ueberdruck) geschaufelt und zwar enthält jeder Kranz der Laufräder 32 und jeder der Leiträder 36 Zellen.

Der Mittelabstand der beiden über einander stehenden Turbinen beträgt 3370 mm.

Das untere Leitrad sitzt auf einem Tragringe auf, der fest in Beton eingegossen ist. Dieser Tragring führt gleichzeitig das Aufschlagwasser des untersten Turbinenkranzes in den Ablaufkanal, der in Betonbau hergestellt ist.

Auf dem eben erwähnten Leitrade sitzt ein Kessel aus Schmiedeeisen-Construction, der einerseits seitlich an den Betonbau angeschlossen ist, andererseits mit dem oberen Leitrade verbunden ist. Dieser Kessel nimmt das Aufschlagwasser der oberen Hälfte der unteren und der unteren Hälfte der oberen Turbine auf und führt es in den Ablaufkanal.

Auf dem oberen Leitrade sitzt ein zweiter Kessel aus Schmiedeeisen, der das aus dem oberen Leitrade nach oben ausströmende Aufschlagwasser abführt.

Die beiden Turbinenlaufräder sitzen auf einer Stahlwelle von 300 mm Durchmesser, die ihre Lagerung in drei Lagern findet. Das unterste sitzt auf der Sohle der Turbinenkammer auf und bildet gleichzeitig eine provisorische Stütze

des ganzen Turbinenbaues bei der Montage und bei der Demontage im Falle von Reparaturen. Das zweite Lager befindet sich im mittleren Kessel und das obere ist auf dem oberen Kessel angeordnet. Die Lagerhöhe beträgt jeweils 600 mm. Die Lager bestehen aus Pockholz (Guajakholz), das wegen seiner

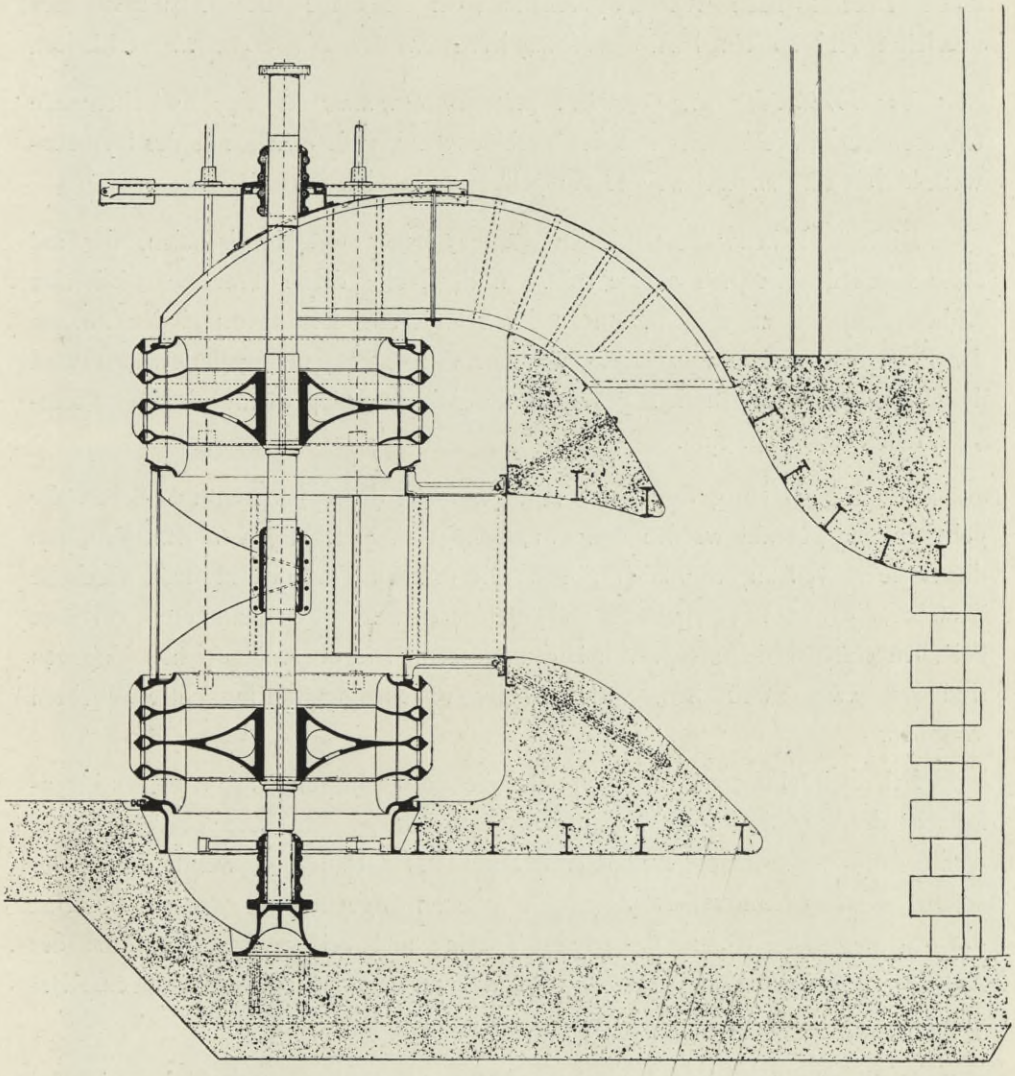

Fig. 42.

ungemeinen Härte und seines hohen Harzgehaltes — bis 20% — für Turbinenlager besonders geeignet ist.

Das gewählte Turbinensystem macht besondere Vorkehrungen zur Entlastung überflüssig; ausser dem Eigengewicht erleidet das ganze System keinerlei Druck weder in vertikaler noch in seitlicher Richtung.

Um Wasserstauungen im mittleren Kessel, wo das ausströmende Aufschlagwasser der unteren und der oberen Turbine zusammentrifft, und damit den Nutzeffekt beeinträchtigende Rückstösse zu vermeiden, ist in diesem Kessel ein entsprechend geformter Doppelsporn eingebaut, der die Richtung des den Turbinen entströmenden Wassers allmählich in diejenige des Ausflusskanales überleitet und so ein hartes Aufeinandertreffen der Wassermassen verhindert.

Zur *Verbindung der Turbinen mit den Dynamos* ist eine Zwischenwelle eingeschaltet, die einerseits mit der Turbinenwelle, andererseits mit der Dynamowelle durch eine angeschweisste Kuppelung verbunden ist.

Diese Zwischenwelle erhält ein kräftiges Lager mit Metallschalen, das auf einer schmiedeeisernen Traverse ruht. In der Höhe dieser Traverse wird eine Bedienungsgalerie angebracht, um zu der Schmierung der Lager und den Theilen des Regulirmechanismus gelangen zu können. Die Bedienungsgalerie selbst wird durch Steigeisen zugänglich gemacht, die in die Hauptwände der Turbinenkammern eingelassen sind.

Die Regulirung der Turbinen geschieht durch Ring-Gitterschieber, die gehoben und gesenkt werden und zwar genügt eine Hebung von 150 mm, um die Schieber voll zu eröffnen (Fig. 42). Die unteren Turbinen besitzen vierfache Schieber, die im Ganzen geöffnet und geschlossen werden, da die unteren Turbinen bei allen Gefällsverhältnissen voll laufen müssen. Die oberen Turbinen hingegen sind mit zwei zweifachen, von einander unabhängigen Ring-Gitterschiebern versehen.

Bei relativ höherem Gefälle reicht die Beaufschlagung der vier Turbinenkränze der unteren Turbine zum Betriebe völlig aus. Die obere Turbine bleibt dann vollständig geschlossen. Sinkt das Gefälle — wenn der Rhein wächst — und nimmt demzufolge die Wassermenge zu, so werden zunächst die beiden unteren Kränze der oberen Turbine und bei weiterer Abnahme des Gefälles auch die beiden oberen Turbinenkränze geöffnet, so dass dann eine Beaufschlagung des ganzen Turbinensystems erfolgt.

Die Bewegung, bezw. das Heben und Senken der Ringgitterschieber, also das Oeffnen und Schliessen der Turbinenkränze, geschieht mittelst vier Zugstangen, die mit dem unteren Schieber unverrückbar verbunden sind, die bei ihrer Bewegung jedoch die oberen Schieber je nachdem geschlossen lassen oder einen oder beide heben oder senken. Die Stangen gehen nämlich durch Mitnehmer, die an den oberen Schiebern angebracht sind. Bei Verdrehung der Zugstangen kommen in gewissen Stellungen an den Stangen angebrachte Nasen zum Eingriff.

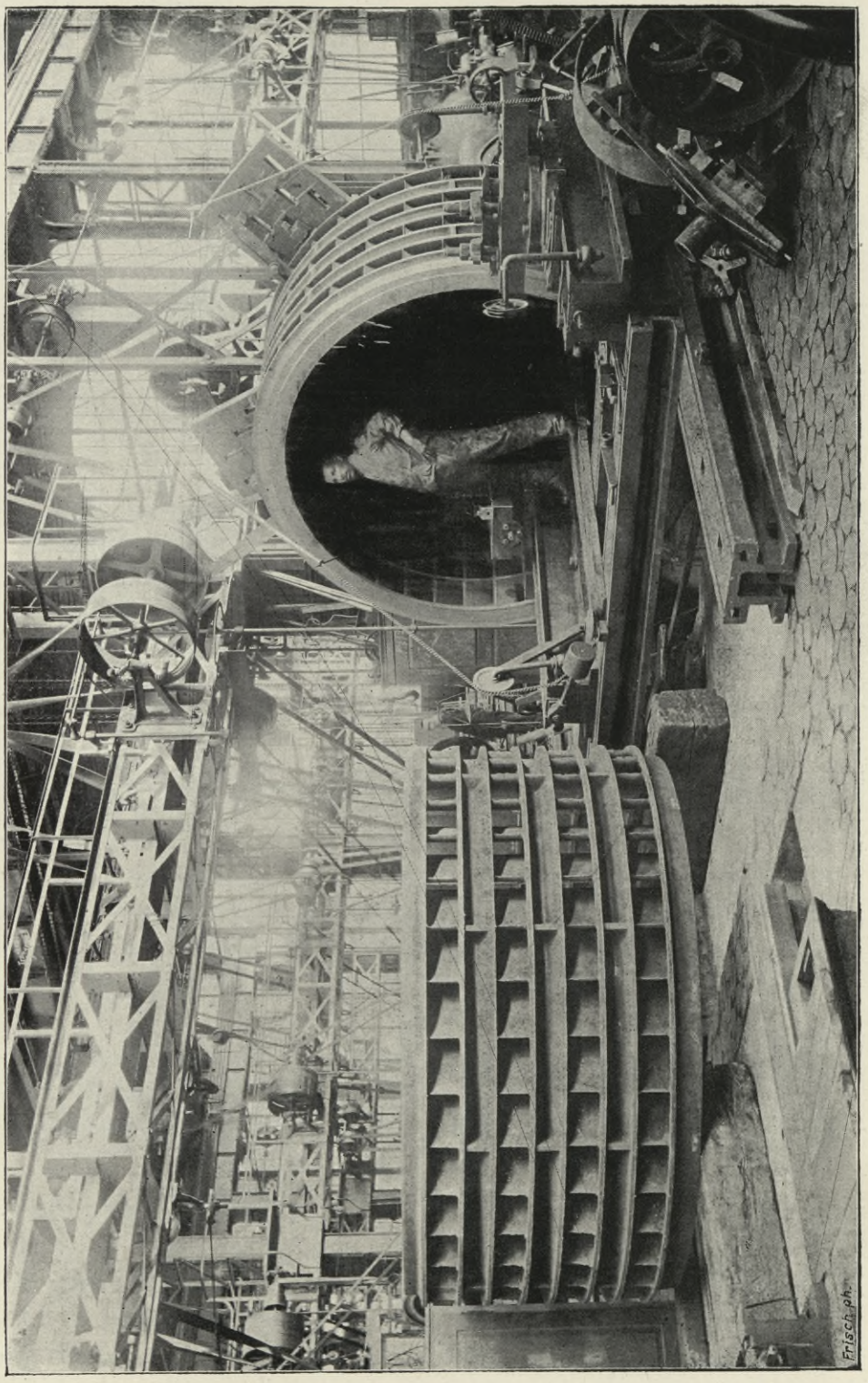

Fig. 42a. Turbinenräder nach dem Guss.

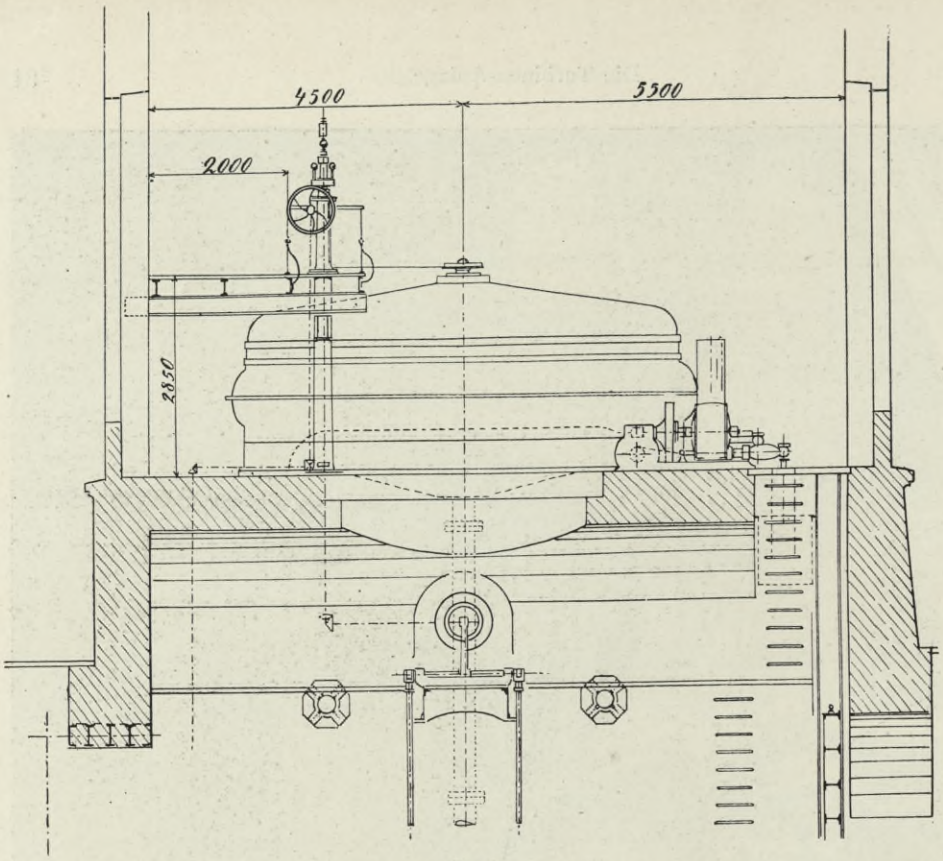

Fig. 43.

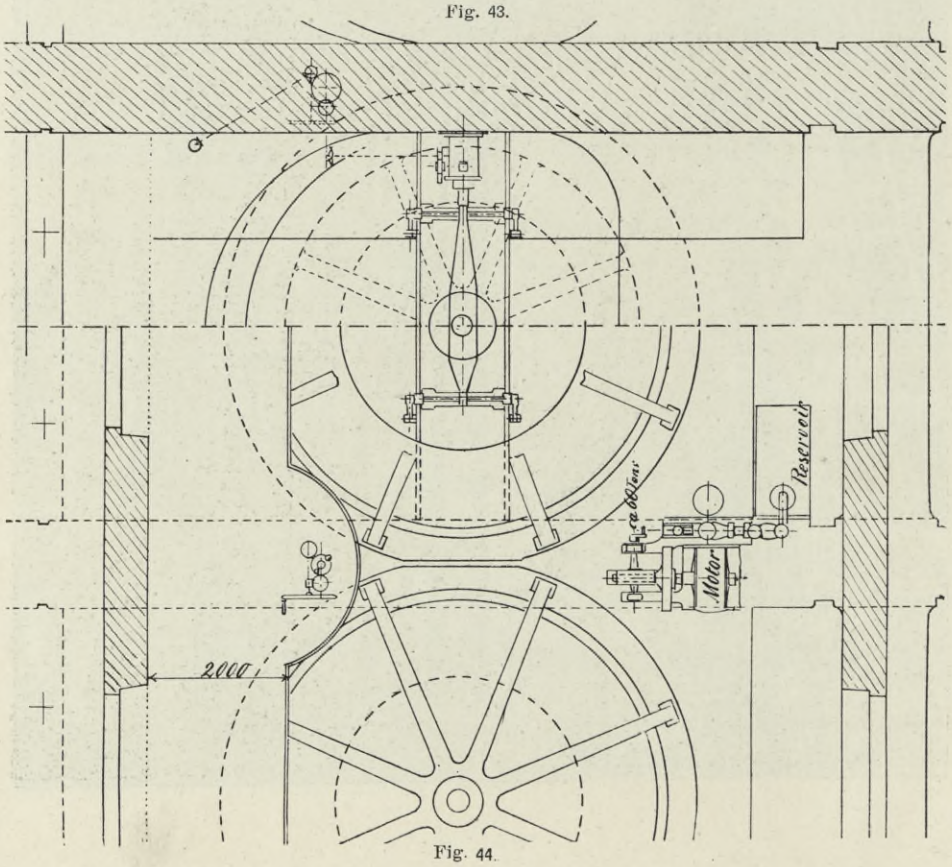

Fig. 44.

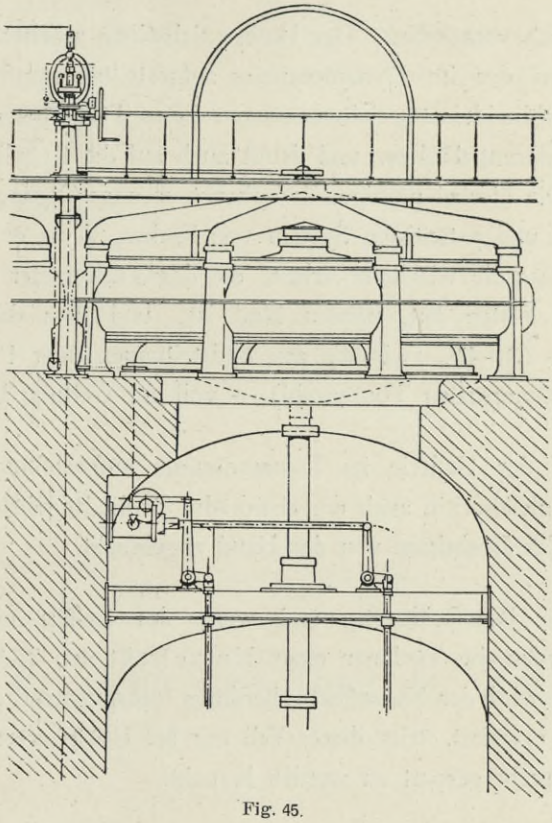

Fig. 45.

Die senkrechte Bewegung dieser Zugstangen einschliesslich der Schieber erfolgt in erster Linie von der Hand durch ein einfaches Getriebe, das von der Bedienungsgallerie des Maschinenhauses aus zu bedienen ist. Das Drehen der Zugstangen dagegen, um die verschiedenen Schieber zu bethätigen, was nur innerhalb grösserer Zeit-Intervalle beim Wechsel der Gefällsverhältnisse zu geschehen braucht, wird von der Bedienungsgallerie im Turbinenraume aus bewirkt.

Neben der Regulirung von der Hand, die im Allgemeinen ausreichen dürfte, kommt noch eine automatische, hydraulische Regulirung in Anwendung, indem das obige Hubgetriebe durch mit Oeldruck betriebene Differentialkolben bethätigt wird. Die Steuerung dieser Kolben geschieht mittelst sehr empfindlicher Centrifugalregulatoren (Fig. 43, 44, 45).

Um den Oeldruck sowohl für die Regulatoren, als auch für die Oeldruckzapfen der Generatoren zu erzeugen, ist für jede Turbine eine elektrisch angetriebene Pumpe mit entsprechenden Windkesseln zum Ausgleich bei momentan

grösserem Verbrauch vorgesehen. Der Differentialkolben arbeitet als Servomotor unter dem Einfluss des im Dynamoraumes aufgestellten empfindlichen Tachometers derart, dass die kleinsten Schwankungen dieses Tachometers nahezu gleichzeitig auf den Differentialkolben und damit auch auf die Regulierschieber übertragen werden. Die hierbei nöthigen Zwischensteuerungs-Organe sind nach dem bestens bewährten und patentirten System von Escher, Wyss & Co. derart construirt worden, dass die wirkliche Arbeit, die das Tachometer zur Bethätigung des Getriebes zu leisten hat, nahezu Null ist, und dass daher seine hohe Empfindlichkeit — (3—4% zwischen den Endstellungen oder $1^1/_2$—2% von der Mittelstellung resp. normalen Tourenzahl) — voll zur Geltung kommt.

An den auf der Gallerie im Dynamoraume aufgestellten Säulen für die Tachometer sind gleichzeitig auch die Handräder für die Regulirung der Turbinen und Bethätigung der Drehthore von der Hand angebracht.

Bei normaler Beaufschlagung und wenn das Gefälle nicht unter 4 m heruntersinkt, werden die Turbinen einen Nutzeffekt von 75 % besitzen. Bei kleinerem Gefälle wird der Nutzeffekt allerdings entsprechend geringer werden, aber wie bereits erwähnt, tritt dieser Fall nur bei Hochwasser ein, wenn also mit dem Wasser nicht gespart zu werden braucht.

Um die **Abnützung der Turbinen** nach Möglichkeit hintenanzuhalten, sind im Wasser möglichst wenige bewegliche Theile angeordnet. Bei dem relativ geringen Gefälle sind auch keine gefährlichen Corrosionen zu erwarten, die gefährlicher bei partieller Beaufschlagung werden könnten. Nach dem hier gewählten System werden die Turbinen aber immer gleichmässig beaufschlagt, so dass in den Laufrädern die verhängnissvollen Wirbelbewegungen des Wassers nicht entstehen können, die sonst leicht Corrosionen des Eisens bewirken. Eher als Corrosionen dürfte vielmehr eine leichte Kalkablagerung in den Turbinen eintreten, die eine Querschnittverengung zur Folge haben würde. Aber diese Kalkablagerungen sind erfahrungsmässig auch im Wasser des Oberrheines so gering, dass sie selbst nach Jahrzehnten einen kaum merklichen Einfluss ausüben werden.

IV.

Der elektrische Theil der Anlage.

Die Wahl des Stromsystems. Da das Elektricitätswerk Rheinfelden von vornherein unter dem Gesichtspunkte der *Kraftvertheilung* an zahlreiche grosse und kleine Consumenten innerhalb eines ausgedehnten Versorgungsgebietes projektirt worden ist, verlangte vor allem der elektrische Theil der Anlage ein sehr sorgfältiges Studium. Es musste die Aufgabe gelöst werden, ein relativ grosses Quantum elektrischer Energie auf bedeutende Entfernungen mit möglichst geringen Verlusten in einem rationell angelegten und möglichst billigen Leitungsnetz zu vertheilen; es musste ferner eine völlige Unabhängigkeit der einzelnen Consumstellen von einander gewährleistet sein, und es musste schliesslich ein solches Stromsystem gewählt werden, das eine möglichst vielseitige und vortheilhafte Verwendungsweise der Elektricität, also gleichzeitig für Beleuchtung, Heizzwecke, Elektrolyse und ganz besonders für Kraftzwecke gestattet.

Ein derartiges, ideales Stromsystem, das gleichzeitig allen hier aufgestellten Forderungen zu genügen vermag, ist derzeit noch nicht vorhanden, so dass man von den in Frage kommenden Systemen, dem Gleichstrom-, dem einphasigen Wechselstrom- und dem Mehrphasen- bezw. Drehstrom-System nach den jeweiligen lokalen Verhältnissen dasjenige auswählen muss, das nur zum Verzicht auf die weniger belangreichen Forderungen zwingt.

Hat man in erster Linie Beleuchtungszwecke im Auge und kommen nur kleinere Entfernungen (bis zu etwa 2 Kilometer) vor, so kommt eigentlich nur das *Gleichstromsystem* in Betracht. Die Möglichkeit der allseitigen direkten Verwendung des Gleichstromes wiegt in vielen Fällen die höheren Kosten des Gleichstromnetzes zum grössten Theile auf. Und da Beleuchtungscentralen, bei denen der Betrieb von Elektromotoren gewissermaassen nur accessorisch hinzutritt, am Tage nur gering belastet sind, so ist in diesen Fällen die gleichzeitige Anwendung von Akkumulatoren möglich, wodurch einerseits die Grösse der Maschinenanlage erheblich herabgedrückt und andererseits eine möglichst ökonomische Ausnützung der Anlage durch ihre gleichmässige Belastung erzielt werden kann. Bei Gleich-

stromcentralen kommt dann als weiterer, nicht zu unterschätzender Vortheil die gleichmässigere Vertheilung des Lichtstromes (flux) der Bogenlampen in Betracht, die zur gleich intensiven Beleuchtung eine geringere Zahl von Gleichstrombogenlampen erforderlich macht, als Wechselstrombogenlampen erforderlich wären. Auch der Gleichstrommotor besitzt so zahlreiche ausgezeichnete Eigenschaften, dass die geringe Wartung der Bürsten und der Kollektoren kaum in Betracht kommt. Die Leitungsnetze schliesslich zeichnen sich beim Gleichstromsystem, wenn nicht grössere Entfernungen in Betracht kommen, durch Einfachheit der Berechnung und der Verlegung aus, und eine gleichmässige Spannung kann an allen Punkten des Leitungsnetzes ohne Mühe erhalten werden.

Wachsen die Entfernungen der Consumstellen von der Centrale und der Umfang der Elektricitätsanlage, so treten die Vorzüge des Gleichstromsystems immer mehr zurück. Schon bei Entfernungen über einen halben Kilometer — oft noch darunter — ist man gezwungen, im Interesse der Kupfersparniss die Einfachheit des Leitungssystems zu opfern und das sogenannte Dreileitersystem zu verwenden. Dabei hat man schon Rücksicht auf eine gleichmässige Belastung der beiden zusammengehörigen Stromkreise zu nehmen, was sich in der Praxis durchaus nicht einfach gestaltet, wenn noch keine lokalen Erfahrungen über die jeweilige Ausnützung der angeschlossenen Lampen, Motoren, Apparate u. dergl. vorliegen. Ferner erwächst in Folge des Spannungsabfalles im neutralen Leiter eine nicht unbedeutende Schwierigkeit, eine Homogenität der Spannung in grösseren Netzen zu erhalten.

Trotzdem ist das Dreileitersystem mit Gleichstrom noch immer die beste Methode der Stromversorgung von Städten mässigen Umfanges, wenn das Elektricitätswerk eine möglichst centrale Lage zu seinem Versorgungsgebiete haben kann. Bei grösseren Versorgungsgebieten — wie es etwa Berlin darstellt — ist man aber schon zur Anlage mehrerer Centralen gezwungen, die im ganzen Versorgungsgebiete gleichmässig vertheilt werden müssen, man muss eventuell für die Consumenten an der Peripherie des Versorgungsgebietes Akkumulatoren-Unterstationen errichten u. a. m. Mit einem Worte, die Schwierigkeiten werden mit der Ausdehnung des Versorgungsgebietes so gross, dass die Anlagekosten in etwa quadratischem Verhältnisse zur Leitungslänge wachsen, und dass schliesslich bei einer gewissen Entfernung die ganze Anlage aufhört rentabel zu sein. Nimmt man Akkumulatoren-Unterstationen zu Hilfe, die während der Zeit geringen Consums direkt von den Centralen aus geladen werden und spielt der Motorenbetrieb bezw. die Benutzung der Elektricität in gewerblichen Anlagen

nur eine relativ geringe Rolle, so erscheint eine Entfernung von ca. 3 km als die äusserste Grenze für die Versorgung mit Gleichstrom. Die Akkumulatoren-Unterstationen erfüllen aber ihren Zweck: die Rentabilität der Anlage zu erhöhen, nicht mehr, wenn das Bedürfniss nach billigem Strom für gewerbliche Anlagen steigt, weil an sich schon bei der Aufspeicherung der Elektricität Verluste von 25—30 % entstehen und weil beim Wachsen des Tageskonsums, der mit der Ausdehnung der gewerblichen Verwendung der Elektricität steigt, ein ökonomisches, langsames Laden der Akkumulatoren (mit dünnen Leitungen) nicht mehr möglich ist.

Bei wachsenden Entfernungen ist man gezwungen, zu höheren Spannungen seine Zuflucht zu nehmen. Da man an den Consumstellen aber nur niedrige Spannungen gebrauchen kann, die Transformirung hochgespannten Gleichstroms durch rotirende Gleichstrom-Transformatoren aber unökonomisch ist, so kann für Entfernungen über 3 km nur noch das Wechselstromsystem in Betracht kommen.

Beim *Wechselstromsystem* kann man ohne nennenswerthe Schwierigkeiten beliebig hohe Spannungen wählen, die man in ökonomischen, stillstehenden Transformatoren auf die erforderliche niedrige Spannung (Lampenspannung) herunter transformiren kann. Mit Wechselströmen kann man dann ganz bedeutende Energiemengen in dünnen Drähten fortleiten, so dass die Leitungskosten fast auf die Kosten der Masten und Isolatorenglocken einschliesslich der Montage herabgedrückt werden. In der That sind bei Wechselstromleitungen die Rücksichten auf die mechanische Festigkeit der Drähte, ihre Widerstandsfähigkeit gegen Belastung mit Schnee- und Eismassen von grösserer Bedeutung als die Rücksicht auf die Spannungs-Verluste.

Dafür aber treten beim Wechselstromsystem bedeutende Schwierigkeiten anderer Art ein, die unter gewissen Bedingungen auch die Verwendung des Wechselstromes, wenigstens des einphasigen, ausschliessen.

Die Rücksicht auf die unvortheilhafte Vertheilung des Lichtstromes der Wechselstrom-Bogenlampen tritt dabei allerdings mehr zurück, zumal man bei grösserer Billigkeit des Stromes an den Consumstellen für dieselben Kosten wie bei Gleichstrom-Bogenlampen eine grössere Anzahl von Wechselstrom-Bogenlampen bezw. solche höheren Stromverbrauches anwenden kann. Bei rationell gebauten und den speziellen Verhältnissen angepassten Wechselstrom-Bogenlampen beträgt bei gleicher Beleuchtung der Unterschied im Verbrauche an

elektrischer Energie nicht über 10 % gegenüber den Gleichstrom-Bogenlampen.*)

Ein grösserer Nachtheil ist dagegen die Lebensgefährlichkeit hoch gespannter Wechselströme gegenüber dem meist niedrig gespannten Gleichstrom. Während man bei Gleichstrom selten über 500 Volt (elektrische Bahnen) hinausgeht, benutzt man Wechselströme meist nicht unter 2000 Volt. Diese Spannung gilt aber bereits für tödtlich, wenn man blanke, stromführende Leitungen berührt. Mit diesem Nachtheil hat sich die Technik abzufinden und hat sich auch bereits abgefunden, indem sie Einrichtungen schuf, bei denen jede zufällige Berührung von Leitungstheilen ausgeschlossen ist, und indem den Consumstellen nur transformirte Ströme von niedriger und ungefährlicher Spannung zugeführt werden.

Auch in den Erzeugungsstätten können die Gefahren des Wechselstromes völlig beseitigt werden. Wechselstrom-Generatoren bedürfen keiner anderen Wartung als der Lager-Schmierung, und die Stations-Apparate und Schaltungs-Vorrichtungen sind leicht so anzubringen, dass nur die mit ihrer Bedienung vertrauten und sachverständigen Personen sie handhaben können. Die Gefahren sind damit auf dasjenige Mass herabgedrückt, das von keinem technischen Betriebe zu trennen ist.

Der grösste Nachtheil des einfachen Wechselstromes jedoch, der ihn für grössere Kraftübertragungsanlagen völlig ungeeignet macht, ist die Schwierigkeit, mittelst Wechselstromes gute Elektromotoren zu betreiben. Die jahrelangen Versuche der bedeutendsten Fachleute sind hier fast ohne jedes befriedigende Resultat geblieben, wenn auch in den letzten 5—6 Jahren immerhin einige Fortschritte zu verzeichnen sind. Es giebt allerdings genug Orte, wo man Wechselstrom-Motoren im Betriebe sehen kann, aber die Ausnahmen bestätigen auch hier nur die Regel.

Die jetzigen Wechselstrom-Motoren leiden unter folgenden Grundfehlern:

1. Sie laufen sehr schlecht und nur unter sehr grossem Stromverbrauch an, und zwar meist auch nur, wenn sie gänzlich entlastet sind.

2. Sie vertragen keine nennenswerthe auch nur momentane Ueberlastung, indem sie bei jeder Ueberschreitung gewisser bremsender Kräfte sofort

---

*) Eine Gleichstrom-Bogenlampe für ca. 1000 Kerzen Intensität braucht ca. 12 A $\times$ 55 V = 660 Watt einschliesslich des Verbrauches im Vorschaltwiderstand, während eine Wechselstrom-Bogenlampe hierfür 20 A $\times$ 36 V = 720 Watt consumirt.

stehen bleiben, woraufhin der Strom sofort so hoch ansteigt, dass entweder die Schmelzsicherungen den Strom gänzlich unterbrechen oder der Motor Schaden leidet.

3. Die Wechselstrommotoren haben einen wesentlich geringeren Wirkungsgrad als alle anderen Elektromotoren-Arten.

4. Die Phasenverschiebung des Stromes gegen die Spannung, d. h. der scheinbare Wattverbrauch ist sehr gross, was zur Folge hat, dass bei gleichem Kraftbedarf die Strom-Generatoren, die Leitung und die Transformatoren — gleiche Spannung vorausgesetzt — etwa 25—30% mehr Strom zu erzeugen bzw. fortzuleiten haben als bei anderen Systemen.

Die verschiedenen Systeme und Typen von Wechselstrommotoren unterscheiden sich hauptsächlich nur dadurch von einander, dass bei den einen dieser, bei den anderen jener Fehler auf Kosten der anderen vermindert wird. — So haben die Synchronmotoren zwar einen genügend hohen Wirkungsgrad, dafür aber sind sie nur ungemein schwer in Gang zu bringen und das auch nur unter Zuhilfenahme gewisser, nicht sehr einfacher Vorrichtungen und Manipulationen. — Einige asynchrone Motoren laufen zwar leichter an, bedingen dafür aber einen zu grossen Stromconsum, und laufen leicht Gefahr zu stocken. Sowohl die Theorie als auch die Praxis der asynchronen Motoren, die heute die verbreitetsten Wechselstrommotoren sind, zeigen, dass man schon durch geringe Aenderungen in der Bauart und Wickelung oder selbst auch nur in der Wickelung allein die geschilderten Fehler beliebig vertheilen kann; aber, indem man den einen herabsetzt oder vermindert, steigen sofort die anderen wieder an, so dass gewissermaassen immer die Summe der Uebel constant bleibt. Befindet man sich in der Zwangslage, Wechselstrom benützen zu müssen, so kann man schliesslich die Fehler des Motors für jeden Anwendungszweck so combiniren, dass man ein Minimum der Nachtheile für jeden einzelnen Fall erreicht. So kann man z. B. zum Antriebe von Gleichstrommaschinen (etwa für galvanoplastische Zwecke) Synchronmotoren nehmen, oder asynchrone mit geringer Anlaufskraft; für Speise- oder sonstige kleine Aufzüge dagegen solche asynchrone Motoren, bei denen die Anlaufskraft auf Kosten der übrigen Eigenschaften verstärkt ist. — Für Werkzeugmaschinen verschiedener Art wiederum solche Motoren, bei denen alles für die Ueberlastungsfähigkeit geopfert ist etc. Es leuchtet ein, dass unter solchen Umständen der Wechselstrommotor beim besten Willen nicht als Universalmotor angesprochen werden kann. Der Werth eines Motors wird vollkommen illusorisch, wenn er immer einem jeweilig be-

stimmten Zwecke angepasst werden muss, zumal die Wahl eines solchen Motors immer nur von fachkundiger Hand geschehen kann. Für grössere Betriebe gar, wo ein Motor den verschiedenartigsten Zwecken dienen muss, ist der Wechselstrommotor überhaupt schlechthin unverwendbar.

Um zu zeigen, wie weitgehende Rücksichten auf praktische Bedürfnisse beim Projektiren der Rheinfelder Werke genommen werden mussten, seien hier noch einige Specialfälle aufgeführt, für die der Wechselstrommotor ungeeignet erscheint.

Eine der wichtigsten Anwendungen wird die elektrische Betriebskraft in mechanischen Werkstätten finden. Es ist bereits in zahlreichen Abhandlungen*) bewiesen worden, welche grossen Ersparnisse der Einzelantrieb von Werkzeugmaschinen mit sich bringen kann. Für den Einzelantrieb jeder Maschine ist aber erste Bedingung die bequeme, einfache Handhabung des Motors. Wenn ein Motor nicht durch einen einfachen Schalter oder Stromschlüssel ein- und ausgeschaltet werden kann, sondern im allgemeinen leer laufen und im Bedarfsfalle mechanisch eingerückt werden muss, so gehen durch die Leerlaufsarbeit während der Ruhepausen die Ersparnisse zum Theil wieder verloren, die durch den Einzelantrieb angestrebt worden waren. — Im Interesse flotter Arbeit darf weiterhin der Arbeiter nicht gezwungen sein, einen mit einer Werkzeugmaschine fest verbundenen Motor erst zu entlasten, ehe er ihn einschaltet. Derartige Manipulationen sind nicht blos umständlich, sondern behindern den Arbeiter ausserordentlich in seiner Arbeit. — Fast alle Werkzeugmaschinen arbeiten unter sehr variabler Belastung, aber eben desshalb muss der Elektromotor bei den verschiedenen Beanspruchungen einen constanten, hohen Wirkungsgrad und geringen Stromverbrauch haben. Manchmal hat er tagelang nur mit halber Belastung zu arbeiten, manchmal aber kommt ein schwer zu bearbeitendes Stück auf die Werkzeugmaschine, und dann muss der Motor ohne weiteres auch überlastet werden können.

Bei Mischwalzen, Holzhobeln, Drückbänken, Polirmaschinen u. a. m. kommen momentane Ueberlastungen bis zur dreifachen Normalstärke und darüber vor, die für gewöhnlich gar nicht in Betracht gezogen werden können. In solchen Fällen darf ein Motor nicht plötzlich versagen, um dann erst wieder regelrecht mittelst der Anlassapparate in Gang gesetzt werden zu müssen, wobei es immer noch fraglich bleibt, ob er beim zweiten Anlassen den kleinen harten Gegenstand, der in den Walzen stecken geblieben ist, zermalmt, ob er den Widerstand eines Astes etc. überwindet oder ob er wiederum streikt. Die volle Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit ist also beim Wechselstrommotor nicht erreichbar.

---

*) U. A. siehe E. Hartmann; Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure.

Pumpen, Wasserhaltungsmaschinen, Hebezeuge und Krähne, Lastenaufzüge oder gar Trambahnen sind ebenfalls mit Wechselstrommotoren nicht rationell zu betreiben, weil hier so grosse Energieaufwendungen beim Anlaufen erforderlich sind, dass sogar Motoren anderer Systeme verschiedener Hilfsvorrichtungen wie Anlasswiderstände etc. bedürfen. Wendet man aber nothgedrungen doch Wechselstrommotoren bei derartigen Maschinen etc. an, so kommt man zu solchen Complikationen, dass jeder Vortheil des elektrischen Betriebes wieder schwindet. Personenaufzüge mit Wechselstrommotoren werden z. B. in Frankfurt a. M. in der Weise betrieben, dass der Motor in einer gewissen Schaltung dauernd läuft. Zum Fahren wird durch das Zugseil zunächst eine Umschaltung des Motors vorgenommen, so dass er mehr Arbeit leisten kann, dann erst wird eine mechanische Kuppelung zum Eingriff gebracht, wodurch der Aufzugmechanismus plötzlich vom Motor mitgerissen wird. Beim Anhalten ist dann wieder vom Motoraufzug abzukuppeln, zu bremsen und der Motor in die Leerlaufschaltung überzuführen. Dass dieser Mechanismus nicht immer richtig klappt und der Motor öfters zu früh eingerückt wird, so dass er stehen bleibt, war ebenso vorauszusehen, wie die ausserordentliche Höhe des Stromverbrauches, die das Vielfache des Stromverbrauches anderer elektrischer Fahrstühle beträgt.

Wesentlich anders stellen sich jedoch die Verhältnisse bei Anwendung von Mehrphasenstrom, besonders *Drehstrom.* Der Mehrphasenstrom theilt mit dem einphasigen Wechselstrom die Vortheile bei der Fernleitung und der Drehstrommotor ist nicht blos dem Wechselstrommotor, sondern selbst dem Gleichstrommotor weit überlegen.

Der Drehstrom wird bekanntlich aus einer gewissen Gruppirung mehrerer (meist dreier) Wechselströme mit zeitlicher Phasendifferenz gebildet. Wenngleich also der Drehstrom auch aus Wechselströmen besteht, und damit zunächst seine Vortheile besitzt, erhält er durch die Wechselbeziehung der einzelnen Ströme zu einander neue und werthvolle Eigenschaften. —

Der ganze Charakter und die Wirkungen des mehrfachen Strombündels sind so wesentlich anders als beim gewöhnlichen Wechselstrom, dass man wohl berechtigt war, diese Stromart mit einem besonderen Namen zu belegen. — An sich macht es keinen wesentlichen Unterschied, ob man zwei Wechselströme mit $^1/_4$ Phasendifferenz (90°) oder drei mit $^1/_3$ (120°) oder 5 mit $^1/_5$ Phasendifferenz mit einander kombinirt. Der Name Drehstrom hat sich aber allmählich mit dem dreiphasigen verketteten Wechselstrom identificirt, und zwar zunächst deshalb, weil bei ihm der Unterschied gegen die anderen Stromarten am markantesten in die Augen fällt, da die Stromvertheilung durch drei gleich-

werthige Leitungen seine spezielle Eigenthümlichkeit ist; weil dann weiter bei ihm die Vortheile der Phasendifferenz am wirksamsten werden, und weil, last not least, der Name Drehstrom von dem Elektrotechniker *) herrührt, dem das Verdienst der Entwickelung und praktischen Einführung des Dreiphasenstromes nicht bestritten werden wird.

Die wesentlichen Vorzüge des Drehstromes gegenüber dem Wechselstrom liegen in der höheren Leistung der Dynamomaschinen, der besseren Ausnützung der Leitung und in der ausserordentlich vortheilhaften Bauart und Wirkung der mit Drehstrom betriebenen Motoren.

Dieser letzte Punkt ist von entscheidender Bedeutung für die Wahl von Drehstrom bei allen Anlagen, bei denen motorische Kraft auf grössere Entfernungen übertragen werden soll. — Seitdem im Jahre 1891 zum ersten Male der Drehstrom durch A. E. G. und die Maschinenfabrik Oerlikon bei der Kraftübertragungsanlage Lauffen a. N.—Frankfurt a. M. der Oeffentlichkeit vorgeführt worden war, ist er nach und nach zum vorherrschenden System für Fernleitung und Fernvertheilung der Elektricität geworden. — Die Elektricitätswerke am Niagara leiten ebenfalls Dreiphasenstrom an die Konsumstellen. Um den Schein der Originalität zu wahren, erzeugten sie allerdings zunächst zweiphasige Maschinenströme, aber durch die Erfahrungen gezwungen, sahen sie sich genöthigt, mittelst geeigneter Transformatoren die zweiphasigen Maschinenströme in Dreiphasenstrom zu verwandeln, da Dreiphasenstrom ökonomischer fortgeleitet werden kann.

Der *Drehstrommotor* hat seit seiner Einführung in die Praxis keine wesentlichen Umgestaltungen erfahren — ein Beweis dafür, wie sehr durchdacht dieses System von Anfang an gewesen ist! — In der Hand verschiedener Firmen hat der Drehstrommotor allerdings eine ganze Reihe von Formen-Wandelungen durchgemacht, aber schliesslich kam man doch wieder auf die 1890—91 von Dobrowolsky geschaffenen Typen zurück: auf die Trommelwickelung des Magnetkranzes, und den Anker mit Kurzschluss-Ringen und massivem Eisen bei den kleineren Typen, auf den Phasenanker mit Schleifringen bei den grösseren Typen. Dagegen wurde die theoretische Seite der besten Proportionirung des Drehstrommotors im Laufe der wenigen Jahre so sehr vervollkommnet, dass der Drehstrom-Motor heute ganz ohne Rivalen dasteht.

Die Drehstrommotoren sind in ihrem Bau ausserordentlich einfach und daher betriebssicher. Zunächst fällt bei ihm der complicirte Collector mit seinen zahlreichen Isolationsstücken und Abzweigungen zum Ankerdraht gänzlich weg.

---

*) M. v. Dolivo-Dobrowolsky, Chef-Elektriker der Allg. Elektr.-Ges.

Im Gegensatz zu den der Wirkung der Centrifugalkraft ausgesetzten Windungen der Gleichstrom-Motoren sind beim Drehstrom-Motor die vom äusseren Strom durchflossenen Windungen ruhend und zwar eingebettet in Oeffnungen oder Löchern des Gehäuses, wo sie leicht gut und zuverlässig isolirt und festgehalten werden können. Diese Wickelung des Drehstrommotores besitzt keine Abzweigung zu blanken Theilen, die Windungen der einzelnen Spulen werden vielmehr nach dem Verlöthen sorgfältig isolirt, so dass keine einzige Stelle der Wickelung blank liegt. In Folge dessen vertragen die Drehstrommotoren ohne Schaden, Staub und Schmutz, und sie können selbst in feuchten und nassen Räumen Aufstellung finden, wo Gleichstrommotoren mit ihren vielen blanken, stromführenden Theilen bald versagen würden. Da die Stromzuführung zu drei feststehenden Enden der ruhenden Wickelung erfolgt, so ist auch hier die vollkommenste Sicherheit und

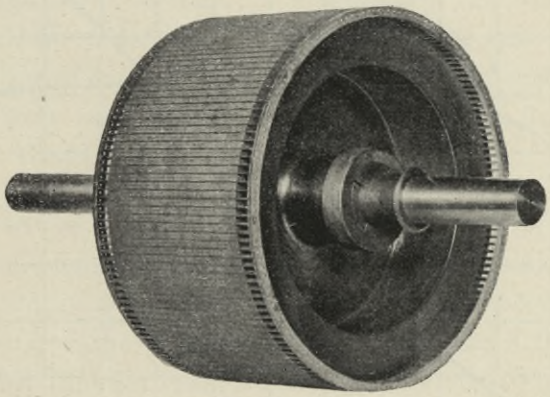

Fig. 46.

Kurzschluss-Anker mit massivem Eisen für Drehstrom-Motoren.

Isolation unschwer durchzuführen. Prinzipiell würde es deshalb keine Schwierigkeiten machen, einen Drehstrom-Motor so herzustellen, dass er ohne weitere Schutzhüllen sogar unter Wasser laufen könnte, während ein Gleichstrom-Motor im Betriebe nicht einmal eine kleine Wasserdouche verträgt.

Die Anker der Drehstrom-Motoren, d. h. ihre rotirende Theile werden im Allgemeinen in zwei Ausführungsformen hergestellt. Die kleineren Motoren bis 5 oder 6 Pferdestärken sind mit einem Gusseisen-Cylinder, etwa von der Gestalt einer dicken Riemenscheibe, armirt, der auf der Welle aufgekeilt ist. Dieser Eisencylinder enthält in seiner Oberfläche zahlreiche kleine Längsnuten, die nachträglich mit blanken Kupferstreifen oder Stäben ausgefüllt werden. Fig. 46. An den beiden Stirnseiten des Ankers sind diese Stäbe durch metallische Ringe sämmtlich unter einander elektrisch verbunden. Der Anker hat also eine

so elementar einfache Form, dass er an Einfachheit kaum noch übertroffen werden kann. Jegliche Isolation ist überflüssig, nur Metalle in solidester und stabilster Form sind bei ihm angewandt.

Die beschriebene Ankerform, die 1889 von v. Dobrowolsky angegeben worden ist, wurde wiederholt als angeblich unökonomisch und theoretisch unrichtig bekämpft, obwohl sie seitdem vielfach und mit Erfolg von der A. E. G.

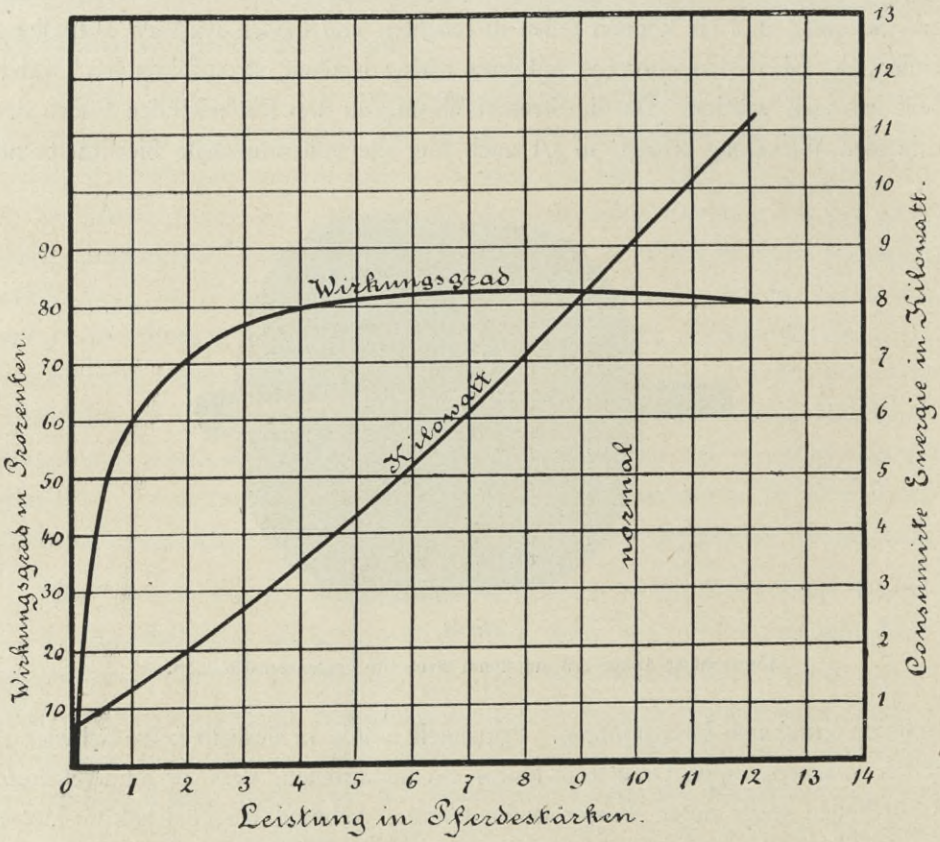

Fig. 47.

Messungsergebniss an einem zehnpferdigen Drehstrom-Motor.

verwendet worden ist. Wie sehr sich die betreffenden Kritiker irrten, erhellt aus den hier in Curven (Fig. 47) dargestellten, genauen Messungsergebnissen an einem 10pferdigen Motor dieser Art. Die Messungenergebnisse zeigen deutlich das ausserordentlich günstige Verhalten des Motors innerhalb der weitesten Grenzen der Belastung. Der Wirkungsgrad, d. h. das Verhältniss der geleisteten mechanischen Arbeit zur consumirten elektrischen Energie ist hoch, und, was die

Hauptsache ist, dieser Wirkungsgrad bleibt hoch und für die Anforderungen der Praxis der gleiche, ob der Motor nur zu $^1/_3$ der Normalleistung oder voll oder mit 20 % über die Normalleistung beansprucht wird. Die Versuche haben ergeben, dass die Anlaufskraft des Motors die normale Zugkraft um das Dreifache übersteigt, so dass der Motor mit jeder praktisch vorkommenden Belastung sofort anlaufen kann.

Bei den grösseren Motoren verwendet man, je nach den verschiedenen Anlaufsverhältnissen entweder ähnlich construirte Anker, oder sogenannte Schleifring-Anker, wenn es auf möglichst sparsames Anlaufen mit geringstem Stromverbrauch ankommt, wie dies beim Anschluss an ein Elektricitätswerk der Fall ist.

Die Schleifring-Anker erhalten im Allgemeinen eine Wickelung in Form von Stäben oder Drähten, die nach besonderem Schema mit einander zu drei Stromkreisen verbunden sind. Die Enden dieser Ankerwickelung führen zu drei glatten, von der Welle isolirten Bronceringen, auf denen bei ihrer Drehung feststehende federnde Contacte schleifen.

Diese Federcontacte leiten den im Anker inducirten Strom während des Anlaufens zu regulirbaren „Anlasswiderständen", wodurch ein sehr sanftes und beliebig langsames Angehen auch bei grosser Belastung möglicht wird. Diese Art des Anlassens grosser Motoren ist ebenfalls von der A. E. G. zuerst und zwar im Jahre 1891 auf der Frankfurter Ausstellung vorgeführt worden. Dem Schleifcontact wurde ursprünglich einiges Misstrauen entgegengebracht, aber es ist bald geschwunden, denn es handelt sich hier keineswegs um etwas ähnliches wie bei den Bürsten und dem Collector der Gleichstrommaschinen, die Ankerströme fliessen hier vielmehr ununterbrochen, stetig und direct durch die Schleifcontacte ab, so dass keinerlei Verstellung oder Regulirung derselben nöthig wird und Funkenbildung ausgeschlossen ist. Die Abnützung ist fast gleich Null, wenn durch zweckmässige Anordnung die Federung sanft erfolgt und und die glatten, ununterbrochenen Schleifringe aus hartem Material bestehen. Auch die Ankerwickelung ist beim Drehstrommotor bei weitem nicht so empfindlich wie beim Gleichstrommotor; da die Anker-Wickelung der Drehstrommotoren mit der Elektricitätsquelle in keinerlei Verbindung steht, so ist man bei derselben von der gewählten Spannung und Stromstärke gänzlich unabhängig. Man kann durchweg mit so niedrigen Spannungen arbeiten, dass selbst eine nur oberflächliche Isolation ausreichend ist. Da überdies diese niedrigen elektrischen Spannungen nur während des Anlaufens auftreten und bei voller Geschwindigkeit die

Wickelung „kurzgeschlossen“ ist, so vermögen selbst beträchtliche Isolationsfehler, wie z. B. das gänzliche Nasswerden des Ankers, keine schädigende Einwirkung auf das sichere und gute Funktioniren des Motors auszuüben.

Wenn der Elektromotor als Betriebskraft im Allgemeinen jedem anderen Motor in Bezug auf die Bequemlichkeit der Bedienung, der leichten Inbetriebsetzung und zahlreichen anderen Dingen weit überlegen ist, so ist innerhalb der Elektromotoren der Drehstrom-Motor allen anderen weit vorzuziehen.

Die stetig wachsende Anzahl von Einzelanlagen in Fabriken u. dgl., wo wegen kleiner Entfernungen keine hochgespannten Ströme nöthig sind, und man deshalb an Stelle des bis dahin üblichen Gleichstromes direkt niedrig gespannten Drehstrom erzeugt, der innerhalb des Werkes an die Motoren vertheilt wird, beweisen zur Genüge, welchen grossen Fortschritt die Drehstrom-Motoren repräsentiren. Um so mehr Veranlassung hat man deshalb, bei grossen Kraftvertheilungsanlagen, die ein ausgedehntes Versorgungsgebiet beherrschen sollen, ausschliesslich das Drehstromsystem zu wählen, das dank seiner leichten Transformirbarkeit von hoher auf niedrige Spannung für die Ueberwindung grosser Entfernungen so gut wie der einphasige Wechselstrom geeignet ist.

Aus den vorstehenden Darlegungen geht ohne weiteres hervor, dass für das Rheinfelder Werk nur die Erzeugung von Drehstrom in Frage kommen konnte, und es blieb nur noch zu discutiren, ob dem *zweiphasigen oder dem dreiphasigen Wechselstrom* der Vorzug zu geben sei. Beide Abarten sind für die Kraftabgabe ziemlich gleich gut geeignet. Da bei dem zweiphasigen Strome die Lampen in zwei Gruppen brennen und die Einzelregulirung nur durch die in den Hauptleitungen eingeschalteten Regulatoren zu bewirken ist, könnte man geneigt sein, dem zweiphasigen Strom den Vorzug zu geben; man bedarf nur zweier Regulatorkurbeln, während der Dreiphasenstrom deren drei bedarf.

In der Praxis spielt dieser Unterschied jedoch keine Rolle. Unter Rücksichtnahme auf die beste Ausnützung der Maschinen, Transformatoren und Leitungen muss man von vornherein die Lampen an die verschiedenen Stromphasen ziemlich gleichmässig vertheilen; und betragen selbst die Unterschiede in der Vertheilung der gleichzeitig brennenden Lampen etwa 10—20 %, so kommt wegen des geringen Spannungsabfalles moderner, rationell gebauter Dynamomaschinen jede Nothwendigkeit in Wegfall, die Einzelphasen zu reguliren. Um das Bedienungspersonal der Sorge um die Phasenregulirung zu entheben und um die Stationseinrichtung nicht durch eine Häufung von Regulationsvorrichtungen

zu compliciren, wird man es daher immer vorziehen, die verschiedenen Lampenconsumenten möglichst gleichmässig an die verschiedenen Stromphasen zu vertheilen, wie man es etwa bei dem gewöhnlichen Dreileitersystem gewohnt ist. Kommen aber die Regulatoren der Einzelphasen in Wegfall, so eliminirt sich der technische Vorrang des zweiphasigen Stromes vor dem dreiphasigen und als ausschlaggebendes Moment kommt nur die commerzielle Frage in Betracht, welches der beiden Systeme das billigere ist. Diese Frage aber ist gesondert zu diskutiren unter Rücksichtnahme auf die Generatoren, Leitungen, Transformatoren und Motoren.

Die genauere Theorie der Stromerzeuger vom Standpunkte der Ankerrückwirkung, der magnetischen Streuung, der Ankerkraftlinien zeigt, dass dem Dreiphasenstrom ein, wenn auch nicht sehr bedeutender, Vorzug vor dem zweiphasigen zukommt. Bei völlig gleichen magnetischen und elektrischen Verhältnissen, so wie bei gleichem Wirkungsgrad leistet ein dreiphasiger Drehstromgenerator einige Procent mehr elektrische Energie als ein zweiphasiger; so dass er für gleiche Leistung etwas kleiner und damit auch etwas billiger als ein Zweiphasengenerator ausfällt. Dieser Unterschied ist allerdings geringfügig, so dass er jedenfalls nicht allein von ausschlaggebender Bedeutung für die Auswahl sein kann.

Anders verhält es sich jedoch mit der Leitung. Bei dem Transport eines bestimmten Quantums Energie auf grössere Entfernungen zum Zwecke der Kraftübertragung, spielt in erster Linie die Höhe der anzuwendenden Spannung eine ausschlaggebende Rolle. Wenngleich es bei dem heutigen Stande der Technik nicht schwer ist, mit Sicherheit Spannungen von ungleich grösserer Höhe fortzuleiten als in der Praxis erforderlich ist und man heut gelernt hat mit Spannungen bis zu 30 000 Volt zu operiren, so resultiren doch aus der Verwendung so hoher Spannungen technische Schwierigkeiten, die stärker als die Spannung anwachsen. Man wird daher nicht muthwillig eine Spannungshöhe überschreiten, mit der man bei den jeweiligen Verhältnissen gerade noch gut auskommt. So wird man beispielsweise nicht 3000—5000 Volt Spannung in Anwendung bringen, wo man mit 2000 Volt auszukommen vermag, und jedenfalls nicht 20 000 Volt, wo schon 15 000 Volt ausreichend sind. Man wird deshalb die Leistungskosten verschiedener Stromsysteme nur unter Berücksichtigung gleich hoher Spannungen mit einander vergleichen dürfen. Dasjenige System ist billiger, bei dem, gleiche Spannungen und gleiche Verluste vorausgesetzt, die Kupfermengen kleiner, oder bei dem, gleiche Spannungen und gleiche Drähte vorausgesetzt, mehr Energie mit demselben Verlust übertragen werden kann, u. s. w.

Das Verhältniss der Drahtmengen bei gleicher Spannung *e*, gleicher Energie und gleichen Verlusten wird nun, unter Voraussetzung derselben Entfernungen durch folgendes Zahlenbeispiel illustrirt:

Einfacher Wechselstrom:
2 Drähte à 100 qmm = 200 qmm total.

Unverketteter Zweiphasenstrom:
4 Drähte à 50 qmm = 200 qmm total.

Zweiphasenstrom mit gemeinsamer Rückleitung:
2 Drähte à 100 qmm } zusammen = 340 qmm.
1 Draht à 140 qmm }

Verketteter Dreiphasenstrom:
3 Drähte à 50 qmm = 150 qmm total.

Auch auf die bedeutende Drahtersparniss bei dreiphasigem Drehstrom ist schon 1891 von v. Dobrowolsky in der Elektrotechnischen Zeitschrift hingewiesen worden; später hat G. Kapp genauere Vergleiche und Rechnungen angestellt, die zu obigen Resultaten führten. Diese bedeutende Oeconomie der Drahtleitungen haben, wie bereits erwähnt, auch bei dem Niagara-Werk dazu geführt, den Fernleitungsstrom von zwei auf drei Phasen zu transformiren. — Um so weniger Grund lag deshalb für die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft und die Maschinenfabrik Oerlikon ein Grund vor, bei der Kraftübertragungs-Anlage Rheinfelden von ihrem bewährten Drehstromsystem abzugehen.

Auch die Transformatoren sind bei drei Phasen wesentlich günstiger als zwei Phasen. Für letztere braucht man immer zwei einzelne Wechselstrom-Transformatoren (je einen für jede Phase), während bei dreiphasigem Drehstrom ein einziger Transformator mit drei magnetisch unter sich verbundenen Eisenkernen genügt. Bei letzterer Disposition ist naturgemäss eine geringere Eisenmasse erforderlich, weshalb auch die durch das continuirliche Ummagnetisiren bedingten Verluste verringert werden.

Der Unterschied zwischen Betrieb mit Zwei- und Dreiphasenstrom fällt bei den Motoren nicht sehr in das Gewicht. Bei gleicher magnetischer Beanspruchung tritt jedoch bei Zweiphasenstrom in Folge der etwas grösseren Windungszahl auch eine etwas grössere magnetische Streuung ein, die sowohl auf die Anlaufskraft, wie auf die Ueberlastungsfähigkeit des Motors von nachtheiligem Einfluss ist.

In ihrer Gesammtheit sind die hier dargestellten Vorzüge des Dreiphasenstromes ausschlaggebend gewesen, bei der Kraftübertragungs-Anlage Rheinfelden dreiphasigen Drehstrom anzuwenden.

Die günstigste Wechselzahl. Eine wichtige Frage, die eingehend studirt werden musste, war die *Auswahl der* für den speciellen Fall *günstigsten Wechselzahl des Stromes.* Die Lösung dieser Frage ist schon deshalb von so hohem Interesse, weil hier auf eine ganze Anzahl von einander widersprechenden Interessen Rücksicht zu nehmen war. Man konnte auch die Thatsache nicht unbeachtet lassen, dass, nachdem die Anlage Lauffen - Frankfurt a. M. mit cr. 80 Polwechseln (40 Perioden) betrieben worden war, bei dem Niagara-Werke durch Professor Forbes die Wechselzahl auf nur 50 (25 Perioden) festgesetzt worden ist, während die meisten Wechselstrom- bezw. Drehstrom-Centralen (die allerdings gegenüber dem Niagara-Werke und gegenüber Rheinfelden einen weit geringeren Umfang aufweisen) mit einer Wechselzahl von 100 (50 Perioden) betrieben werden.

Die Wechselzahl hat einen Einfluss auf die Bauart der Primärmaschinen und deren Kosten, auf den Wirkungsgrad und den Preis der Transformatoren, auf die Spannungs-Verluste in der Leitung, auf die Tourenzahl der Motoren und ihre dadurch bedingte mehr oder weniger leichte Anpassungsfähigkeit für verschiedene Betriebe und schliesslich auf die Qualität des Stromes in Bezug auf seine Verwendung für Beleuchtungszwecke. Die Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse bringt besondere Schwierigkeiten in sofern mit sich, als die Bauart der Maschinen, die Rücksicht auf die Spannungsverluste in den Leitungen und die Anpassungsfähigkeit der Motoren eine relativ niedrige Wechselzahl fordern, während andererseits die Rücksicht auf den Wirkungsgrad den Transformatoren und die Qualität des Lichtes zu möglichst hohen Wechselzahlen führen. — Von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist dann aber auch noch die Rücksichtnahme der Elektricitätswerke auf die Consumenten. Um diesen eine leichte und rasche Beschaffung von passenden Bogenlampen und Motoren, wie sie womöglich auf Lager zu finden sind, zu gestatten, muss sich ein Elektricitätswerk möglichst innerhalb derjenigen Normen halten, die auf dem Continent am meisten Eingang gefunden haben; aber um dem passendsten Grenzwerth der gesuchten Grösse zu gelangen, musste man zunächst erst die extremsten Fälle diskutiren. —

Die äusserst niedrige Tourenzahl der Turbinen von 55 liess für die direkt mit ihnen gekuppelten Dynamos eine möglichst niedrige Wechselzahl wünschenswerth erscheinen. Soll nämlich bei niedriger Tourenzahl eine hohe Wechselzahl erreicht werden, so muss die Polzahl der Maschine sehr gross werden, was

ein Anwachsen des Maschinen-Durchmessers bedingt, das sowohl aus mechanischen Gründen, so wie aus Rücksicht auf die speciellen Baulichkeiten bald seine Grenze findet. Weiter aber werden in einem solchen Falle die Pole sehr klein und in Bezug auf die elektrische Ausnutzung des Materials unvortheilhaft. Selbstverständlich aber sind verschiedene Maschinentypen verschieden gut für hohe bezw. niedrige Wechselzahl geeignet, so dass man sich durch sorgfältiges Studium der Gesammtdisposition innerhalb sehr weiter Grenzen einer sonst gewünschten Wechselzahl ziemlich leicht anzupassen vermag. Jedenfalls aber ist die Dynamomaschine der accomodationsfähigste Theil der ganzen Anlage, so dass die specielle Rücksichtnahme auf die Generatoren zunächst in den Hintergrund treten kann.

Weit wichtiger dagegen ist die Berücksichtigung der in den Leitungen auftretenden elektrischen Erscheinungen. Bei Verwendung von Wechselstrom und folglich auch bei Drehstrom treten in Folge der continuirlich wechselnden Stromstärke und Spannung in den Leitungen Erscheinungen auf, die bei Gleichstrom nicht beobachtet werden, nämlich die *Selbstinduktion der Leiter* und die *elektrostatische Capacität.* Die Selbstinduktion widersetzt sich bekanntlich jeder Aenderung der Stromstärke in einem Leiter in der Weise, dass in dem Drahte, je nach der speciellen Anordnung des Stromkreises eine grössere oder kleinere elektromotorische Gegenkraft von solcher Richtung und Phase entsteht, dass sie dem Bestreben der Stromänderung entgegenwirkt. Man kann dies etwa so ausdrücken, dass man sagt: Der Widerstand einer gegebenen Leitungen ist für Wechselstrom scheinbar grösser als für Gleichstrom. Da die erwähnte Gegenspannung der Selbstinduktion von der Schnelligkeit abhängt, mit der sich die Stromänderungen (also auch die Stromwechsel) vollziehen, so ist offenbar der scheinbare Widerstand einer Leitung um so höher, je grösser die Wechselzahl des Stromes ist. Bei sehr grossen Wechselzahlen von vielen Hunderttausenden in der Sekunde, wie z. B. bei den oscillatorischen Entladungen eines Condensators oder bei Blitzschlägen, verschwindet der eigentliche Wiederstand eines Leiters gegen die durch die Form des Leiters bedingte Selbstinduktion so gut wie vollständig. Es wählt desshalb der Blitz häufig seinen Weg lieber durch eine mehrere Meter starke Luftschicht, um zu einer Mauer überzuspringen, als dass er seinen Weg durch eine Ecke in der metallischen Leitung eines Blitzableiters nimmt.

Für die praktischen Verhältnisse reducirt sich die Frage der Selbstinduktion auf die Bestimmung des grösseren oder geringeren durch sie bedingten Spannungsabfalles.

Abgesehen von der Wechselzahl ist dieser zusätzliche oder „inductive“ Spannungsabfall abhängig.

1. von der Länge der Leitung
2. vom Abstande der Hin- und Rückleitung
3. von der Anordnung der benachbarten Drähte, die von derselben Stromquelle gespeisst werden
4. von der Stromstärke in der betreffenden Leitung.

Da man durch die Lage der Consumstellen an die Länge der Leitung gebunden ist und da sich, besonders bei Luftleitungen, der Abstand der Hin- und Rückleitung nicht beliebig vermindern lässt, so lassen sich die unter 1 und 2 aufgeführten Momente, die für die Grösse der Selbstinduktion bestimmend sind, nicht beliebig vermindern; wohl aber ist dies bei der Anordnung der Drähte und der Wahl der von ihnen geführten Stromstärke der Fall. Der Einfachheit wegen sei der Einfluss der Leitungsanordnung an dem gewöhnlichen Wechselstrom demonstrirt, da für Drehstrom die gleichen Grundsätze gelten.

Sind die Leitungen an einem Gestänge so angeordnet, wie es das folgende Schema zeigt, wo mit + die Hin- mit — die Rückleitungen angedeutet sind,

+ ● ● —
+ ● ● —
+ ● ● —
+ ● ● —

so hat die Selbstinduktion, und somit der Spannungsabfall einen relativ hohen Werth, weil die einzelnen Ströme hier gewissermassen ein Solenoid oder eine Spule bilden und im Zwischenraume zwischen den + und — Leitungen ein starkes magnetisches Wechselfeld entsteht. — Werden dagegen die Leitungen gemischt verlegt, etwa nach der folgenden Anordnung:

+ ● ● —
— ● ● +
+ ● ● —
— ● ● +

so heben sich zum grössten Theile die magnetischen Felder und mithin auch die Selbstinduktion auf, und der Spannungsabfall wird erheblich geringer.

Da die Grösse der Selbstinduktion von der Intensität des durch den Strom gebildeten Feldes abhängt, so muss dafür gesorgt werden, dass sie möglichst gering ausfällt. Die Intensität des magnetischen Feldes, das durch einen Strom gebildet wird, ist abhängig von der Stromstärke, also von der Ampèrezahl und von dem Wege, den die magnetischen Kraftlinien um den Draht herum durch-

laufen müssen. Hat man z. B. eine grosse Stromstärke zu leiten, so thut man gut anstatt einer ± Leitung, deren zwei oder drei zu nehmen, weil die Kraftlinien im letzteren Falle einerseits grössere Wege haben, andererseits auch um die einzelnen Drähte, die nur geringere Stromstärken führen, nicht so starke magnetische Felder bilden. Die Fig. 48 und 49 illustriren anschaulich die verschiedenen Verhältnisse. Noch vortheilhafter ist es natürlich hierbei, die gespaltenen Stromkreise in ihren Hin- und Rückleitungen in der eben angegebenen Weise zu vermischen.

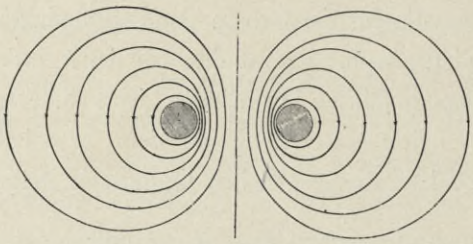

Fig. 48.

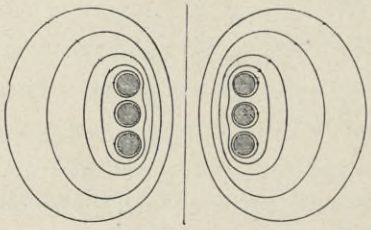

Fig. 49.

Das wirksamste Mittel gegen den induktiven Spannungsabfall aber ist die Wahl einer genügend hohen Betriebsspannung, weil hierdurch einerseits die den Abfall verursachende Stromstärke klein wird und andererseits dieser induktive Spannungsabfall nur einen entsprechend geringeren Procentsatz der Gesammtspannung ausmacht.

Unter Berücksichtigung der skizzirten Leitungs-Vermischung und unter Verwendung hoher Spannungen ist man im Stande, die Selbstinduktion so weit herabzusetzen, dass man ihretwillen nicht besonders auf die Reduktion der Wechselzahl Gewicht zu legen braucht.

Für die Anlage in Rheinfelden tritt noch der besondere Vortheil auf, dass der erzeugte Strom sofort nach dem Verlassen der Station nach mehreren Richtungen hin vertheilt wird, und nicht blos, wie bei einfachen Kraftübertragungen en bloc nach einer einzigen Stelle geleitet zu werden braucht. Grade bei Ver-

theilungsanlagen findet naturgemäss keine Aufhäufung grosser Stromstärken in einem langen Strange statt.

In der That ergab die auf die Erfahrung an existirenden Luftleitungen gestützte Rechnung, dass bei der in Aussicht genommenen Spannung von 3900 Volt zur Erde (ca. 6800 Volt zwischen zwei Leitungen) und bei 100 Stromwechseln in der Sekunde der induktive Spannungsabfall den aus dem einfachen Drahtwiderstande resultirenden Spannungsabfall nur unwesentlich erhöhen wird.

Die *elektrostatische Capacität,* d. h. die fortwährende Ladung und Entladung der Leitung, entsprechend den Wechselspannungen, ist von geringer Bedeutung. Der aus ihr resultirende „Ladestrom" ist bei Luftleitungen gering, ferner ist seine Phase um 90° gegen die Phase der Spannung verschoben, so dass der Ladestrom einen „wattlosen" Charakter annimmt, oder mit anderen Worten, dass zu seiner Erzeugung keine Energie aufgewandt zu werden braucht. Da hierbei die Phasenverschiebung nach entgegengesetzter Richtung erfolgt (Voreilung des Stromes) als bei Elektromotoren und elektrischen Apparaten (Verspätung des Stromes), so compensiren sich diese beiden zum Theil in Bezug auf die Stromquelle und es erfolgt eine kleine Entlastung in der Ampèrezahl. *) Da bei einer grösseren Zahl angeschlossener Motoren ihre wattlose Stromcomponente für die Ausnützung der Primärmaschinen von Nachtheil ist, so hat man allen Grund, die elektrostatische Capacität der Leitung durch Verwendung hoher Spannung und hoher Wechselzahl eher zu begünstigen als sie zu eliminiren. So war es z. B. während der Lauffener Kraftübertragung nicht uninteressant, das Ampèremeter der Primärstation zu beobachten. Wurde nämlich der hundertpferdige Motor in Frankfurt a. M. angelassen, so sank bei dessen Leerlauf die primäre Stromstärke in Lauffen, die soeben noch wegen des Ladestromes der Leitung einen bedeutenden Werth hatte.

Aus den combinirten Wirkungen des Leitungswiderstandes, der Selbstinduktion und Capacität können unter gewissen Verhältnissen jene eigenthümlichen Erscheinungen auftreten, die zum ersten Mal an der Kraftübertragung Lauffen-Frankfurt a. M. eingehend beobachtet worden sind und die v. Dobrowolsky beschrieben hat.**) Bei der Disposition der Rheinfelder Werke sind diese Erscheinung ebenso wenig wie das von Dobrowolsky sogenannte „Lauffener Phänomen" zu

---

*) Vergl. E. T. Z. 1891 Pag. 708.

**) Vergl. den Bericht von Dobrowolsky über die Lauffener Kraftübertragung. E. T. Z. 1891 Pag. 708 und Officieller Bericht über die international elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt a. M. Bd. II. Pag. 431.

befürchten, da hier die genannten Faktoren nicht in so unverhältnissmässigen Propositionen zu einander stehen werden wie bei der Versuchsanlage in Lauffen.

Zur Bestimmung der günstigsten Wechselzahl sind dann weiter die Rücksichten auf die Transformatoren massgebend.*) Bei einer so ausgedehnten und weitverzweigten Vertheilungsanlage, wie es die in Rheinfelden ist, spielen die zahlreichen, an verschiedenen Consumstellen installirten Transformatoren eine wichtige Rolle. Sowohl ihr Wirkungsgrad als auch ihre Grösse, die ihren Preis bestimmt, haben nicht unbedeutenden Einfluss auf die Rentabilität der Anlage und damit auch auf den Preis der Elektrizität an den Consumstellen.

Wenn man ein und denselben Transformator immer für dieselbe Leistung und die gleiche Spannung benutzt, aber die Wechselzahl variirt, so tritt die zunächst verblüffende Thatsache ein, dass die Temperatur des Eisenkernes um so höher ansteigt, je niedriger die Wechselzahl ist. Diese Thatsache versetzt um so mehr in Erstaunen, als man im allgemeinen geneigt ist, grade in dem Wechsel der Polarität die Ursache für die Eisenerwärmung zu erblicken. Die Erklärung für das auffallende Phänomen ist aber doch sehr einfach, denn die für die Ummagnetisirung zu leistende Energie hängt nicht blos von der Wechselzahl per Sekunde, sondern auch von dem Grade der magnetischen Sättigung des Eisens ab. Für gleiche Leistung bei seltnerem Polwechsel muss das Eisen proportial stark magnetisirt werden; nun steigt aber die Hysteresis, die innere Molekularreibung im Eisen, viel rascher als die magnetische Dichte, nämlich mit der 1,6 Potenz derselben. Die Folge davon ist, dass trotz der Herabsetzung der Zahl der sekundlichen Polwechsel das Eisen in Summe mehr Arbeit zur Ummagnetisirung braucht und sich daher auch stärker erwärmt. Wollte man den Transformator dadurch vor übermässiger Erhitzung schützen, dass man durch andere Wickelungsverhältnisse die Eisenbeanspruchung bei geringerer Wechselzahl etwas herabsetzt, so würde man auch entsprechend an Leistung und Oeconomie einbüssen.

Mit sinkender Wechselzahl sinkt die Leistung und der Wirkungsgrad der Transformatoren, so dass man bei einer niedrigen Wechselzahl zur Anwendung grösserer und weniger rationeller Transformatoren gezwungen wäre. Durch bessere Berechnung und bessere Construction ist hiergegen nichts auszurichten, denn wie Mordey treffend bemerkt, wird der beste, speciell für eine niedrige Wechselzahl gebaute Transformator, wenn man ihn ohne Weiteres an eine höhere Wechselzahl anschliesst, allein dadurch kühler, ökonomischer und leistungsfähiger, mit einem Worte also: besser.

---

*) E T. Z. 1891. Pag. 708.

Versteht man unter der Güte eines Transformators das Verhältniss des Preises, der Grösse, des Wirkungsgrades etc. zu einander, so steigt die Güte allerdings nicht ganz proportional mit der Wechselzahl des Stromes, sie bildet vielmehr eine Curve, die zwischen 80—100 Wechseln (40—50 Perioden) ein Knie besitzt, und jenseits dieser Stelle steigt die Güte nicht mehr so auffällig wie vor demselben. Eine Discussion der Curve zeigt also, dass es im Allgemeinen unrentabel ist, Transformatoren für weniger Wechsel als 80 zu construiren, dass aber bei 100 Wechseln ihr Güteverhältniss noch sehr günstig ist, dass man also nicht nöthig hat blos der Transformatoren wegen die Wechselzahl zu steigern, wenn nicht etwa noch andere, zwingende Gründe vorliegen.

Nicht so einfach wie bei den Transformatoren ist die Frage des Einflusses der Wechselzahl auf die Motoren zu beantworten, weil hier die Verhältnisse ungleich complicirter liegen. Eine eingehende Erörterung kann aber hier unterbleiben, weil die theoretischen Grundlagen der Drehstrommotoren heut als bekannt vorausgesetzt werden können. Es genügt, das Folgende hervorzuheben. Ein Drehstrommotor mit einem, nach irgend einer Methode kurz geschlossenen Anker kann in seiner Wirkungsweise als eine Combination so vieler Einzel-Transformatoren aufgefasst werden, als die Motoren-Wickelung Pole hat. Es würde nach den voraufgegangenen Auseinandersetzungen daraus folgen, dass ein und derselbe Motor eine um so grössere Leistung ergiebt, mit je höherer Wechselzahl er betrieben wird. Dies trifft auch vollkommen zu. Nun ist aber die Tourenzahl eines Motors gleich dem Quotienten aus der Wechselzahl und Polzahl der Motorenwickelung, so dass ein gegebener Motor bei steigender Wechselzahl eine höhere Tourenzahl annimmt. Hier wird aber bald eine natürliche Grenze erreicht, weil die Anpassungsfähigkeit des Motors an die von ihm zu betreibenden Maschinen im Allgemeinen eine ziemlich niedrige Tourenzahl bedingt, selbst wenn man von vorn herein auf eine bedeutende Geschwindigkeits-Uebersetzung Rücksicht nimmt. — Die gebräuchlichsten ökonomischen Uebersetzungsverhältnisse gestatten gegenwärtig bei kleineren Elektromotoren 1500 bis 1000 Touren, bei grösseren Elektromotoren dürfen dagegen 800—500 Touren nicht überschritten werden. Die Tendenz der combinirten Arbeit der Elektrotechniker und Maschinenbauer zielt auf ein möglichst einfaches Zusammenbauen des Motors mit der angetriebenen Maschine; der zwischen beiden liegende Mechanismus zur Geschwindigkeits-Reduktion soll entweder gänzlich vermieden oder möglichst vereinfacht werden, denn die Uebersetzung bedingt, besonders bei grossen Geschwindigkeits-Differenzen, Energieverluste, die unter Umständen die eigentlichen Verluste im Motor selbst weit übersteigen. Auch die Kosten und der Raumbedarf des Uebersetzungsmechanismus spielen eine erhebliche Rolle.

Sie können eventuell die durch höhere Tourenzahl ermöglichte Verbilligung des Motors fast vollständig wieder aufheben und selbst übertreffen. Es wäre also meist ein falscher Weg, wenn man durch Erhöhung der Tourenzahl auf eine Verbilligung des Motors abzielte. Man könnte nun zwar den Einfluss der Stromwechsel auf die Tourenzahl dadurch wieder ausgleichen, dass man dem Drehstrommotor eine grössere Zahl von Polen giebt; aber auch hier kommt man sehr bald an eine Grenze. Mit der Vermehrung der Pole nehmen deren Querschnitte und in noch rascherer Proportion deren Umfänge bezw. Oberflächen ab, so dass bei kleinen Polen die magnetische Streuung relativ sehr gross wird. Der Streuungscoefficient ist aber eine der wichtigsten Dimensionen des Motors, da durch ihn in erster Linie die Anlaufsfähigkeit und die Grenze für vorübergehende Ueberlastung bestimmt wird. Ein Motor mit grosser procentualer Streuung, mag sein Wirkungsgrad noch so hoch sein, bleibt für die meisten Anwendungen unbrauchbar. Andererseits aber ist ein vielpoliger Motor auch schon deshalb unvortheilhaft, weil die zu seiner Erregung nöthigen Windungen um die kleinen Pole zu viel Kupfer beanspruchen und demzufolge auch zu viel Raum im Motor wegnehmen.

Es bleibt sonach für die Erreichung einer möglichst niedrigen Tourenzahl nur die Wahl einer kleinen Wechselzahl übrig. Daneben aber bleibt für den Motor dasselbe Gesetz bestehen, das für den Transformator gilt, dass nämlich mit sinkender Wechselzahl die Leistung des Motors per kg und sein Wirkungsgrad abnimmt.

In der Praxis hat sich nun ergeben, dass in den meisten Verwendungsfällen für kleinere Motoren 60—100 Wechsel in der Sekunde (30—50 Perioden) am günstigsten sind, wenngleich auch für bestimmte Anwendungen, zum Antrieb von Holzbearbeitungs-Maschinen z. B., ca. 150 Wechsel erwünscht wären. Generell lässt sich die Frage nach der günstigsten Wechselzahl für Drehstrommotoren nicht beantworten, und selbst um diese beiden, doch recht weit auseinanderliegenden Grenzen bestimmen zu können, mussten erst beträchtliche Betriebserfahrungen gesammelt werden.

Bei der Verwendung von Strom zu Heizzwecken spielt die Wechselzahl eine völlig untergeordnete Rolle. Wesentlich anders liegt es dagegen bei der Verwendung von Drehstrom zu Beleuchtungszwecken.

Für elektrisches Glühlicht kann die Wechselzahl um so niedriger gehalten werden, je dicker der Kohlefaden, d. h. je niedriger die Gebrauchsspannung ist; denn wegen seiner grösseren Wärme-Capacität kühlt sich ein dicker Kohlefaden nicht so rasch ab wie ein dünner. Versuche haben ergeben,

dass bei 100 Volt Gebrauchsspannung zur Erzielung eines ruhigen Lichtes ohne merkbare Schwankungen der Temperatur des Kohlefadens mehr als 70 Wechsel (35 Perioden) nothwendig sind.

Lampen von geringerer Oeconomie, bei denen die Temperatur des Kohlefadens nicht sehr hoch getrieben ist, brennen sogar schon bei 60 Wechseln ohne merklich zu zucken. Da aber derartige Lampen für grössere Vertheilungsanlagen ebenso wenig in Betracht kommen als niedrig voltige Lampen (von etwa 65 V. und weniger), so erscheinen für elektrisches Glühlicht 70 Wechsel per Sekunde als die untere Grenze der Wechselzahl.

Bei Bogenlampen ist die Temperatur der Kohlenstifte ungleich höher als die des Glühlampenfadens. In Folge des bekannten Gesetzes rufen deshalb auch schon kleine Temperaturschwankungen in den Kohlen erhebliche Schwankungen in der Lichtintensität hervor. Trotzdem die Spitzen der Bogenlichtkohlen eine weit grössere Wärmecapacität haben als die Kohlefäden der Glühlampen, und trotzdem sie eine nur relativ kleine Abkühlungsfläche besitzen, reagirt deshalb eine Bogenlampe weit empfindlicher auf die Wechselzahl des Stromes als eine Glühlampe, und merkwürdiger Weise wird selbst bei relativ hohen Wechselzahlen die Schwankung der Lichtintensität dem Auge noch bemerkbar. Die unterste Grenze für Bogenlampen dürfte keinesfalls tiefer als 80 Wechsel per Sekunde sein, und selbst hierbei ist das Zucken des Lichtes noch so stark, dass man es lästig empfindet und dass es das Auge rasch ermüdet. Mit Wechselstrom von 80 Wechseln betriebene Bogenlampen sind deshalb nur für Strassenbeleuchtung und dort zu verwenden, wo die Lampe sehr hoch aufgehängt werden kann. Auch das Geräusch im Mechanismus der Lampe ist bei geringer Wechselzahl schwerer zu vermeiden als bei hoher Wechselzahl. Sogar ziemlich schwere Stücke des Mechanismus, so wie die meisten Befestigungsvorrichtungen folgen der geringen Wechselzahl und summen mit. Bei steigender Wechselzahl verschwinden diese Uebelstände in ziemlich rascher Progression. Die Abkühlung der Kohlen während des Stromrichtungswechsels wird geringer und die Lichtschwankungen vermindern sich in entsprechender Weise; die Augen vermögen den raschen Schwankungen nicht mehr zu folgen, und das Summen bezw. „Mitsummen“ ist leichter zu beseitigen. Bei 100 Wechseln in der Sekunde wird das Licht schon ganz erträglich und selbst für Bahnhofsbeleuchtung, für die Beleuchtung von Geschäftslokalen etc. gut verwendbar. Stellt man an das Bogenlicht aber die Forderung, dass man bei ihm ohne Ueberanstrengung der Augen lesen könne, so müsste die Wechselzahl noch über 120 per Sekunde hinausgebracht werden; erst bei 200 Wechseln wird es so vollständig ruhig, dass keinerlei

Vibration mehr bemerkbar wird. Diese letztere Wechselzahl ist allerdings für ausgedehnte Betriebe, besonders neben dem Elektromotorenbetrieb, unzulässig. Da nun schon bei 100 Wechseln das Bogenlicht relativ ruhig brennt und überdies für diejenigen Zwecke, wo es auf absolut ruhiges Licht ankommt, leicht durch Aufstellung von Drehstrom-Gleichstrom-Transformatoren Abhilfe geschaffen werden kann, so braucht man im Interesse des Bogenlampenbetriebes im allgemeinen über 100 Stromwechsel nicht wesentlich hinauszugehen. —

In Folgendem seien nun die Resultate der voraufgegangenen Erwägungen, die sich z. Th. auf allgemein giltige Prinzipien, z. Th. auf die speziellen Verhältnisse der Anlage Rheinfelden (Tourenzahl der Turbinen, Ausdehnung des Leitungsnetzes etc.) stützen, zusammengestellt.

	Niedrigste Wechselzahl	Mittlere Wechselzahl	Höchste Wechselzahl
Dynamomaschine .	50	80	120
Leitung	70	100	150
Transformatoren . .	80	100	150
Motoren	60	100	150
Glühlampen	70	beliebig	beliebig
Bogenlampen . . .	100	120	200

In der vorstehenden Tabelle ist unter der „niedrigsten Wechselzahl“ diejenige Grenze verstanden, unter der im gegebenen Falle die betreffenden Apparate etc. entweder nicht mehr rationell zu bauen sind, oder nicht gut funktioniren, oder wo, wie bei der Leitung, durch weitere Herabsetzung der Wechselzahl keine nennenswerthen Vortheile mehr erzielt werden können. Analog ist als obere Grenze die „höchste Wechselzahl“ dadurch gegeben, dass die betreffenden Apparate nicht mehr rationell ausfallen, oder aber bei weiterer Steigerung der Wechselzahl kein nennenswerther Gewinn mehr erzeugt wird. Unter mittlerer Wechselzahl endlich sei die Zahl gemeint, bei der man die divergirenden Forderungen der verschiedenen Faktoren so weit berücksichtigt hat, dass für den betreffenden Apparat oder Anlagetheil aus dieser Anschmiegung noch keine wesentliche Beeinträchtigung erwächst.

Ein Blick auf die Tabelle zeigt dann, dass die scheinbare Unverträglichkeit der Einzelforderungen nicht mehr so gross ist, und dass ihnen bei der Annahme

einer gemeinsamen Wechselzahl von 100 (50 Perioden per Sekunde) die weiteste Rechnung getragen ist.

Durch die Festsetzung dieser Wechselzahl ist gleichzeitig auch der Eingangs dieses Abschnittes erwähnte Vortheil sowohl für die Consumenten des Elektricitätswerkes als auch für dieses selbst gewahrt: nämlich der Vortheil der leichten und schnellen Beschaffung von Motoren, Bogenlampen und zum Theil auch von Transformatoren, da diese in den meisten europäischen Etablissements gerade für 100 Wechsel fabrikmässig hergestellt werden. Hätte man für das Rheinfelder Werk eine andere, nur diesem eigenthümliche Wechselzahl gewählt, so hätten die genannten Apparate etc. erst jedesmal besonders angefertigt, bezw. modificirt werden müssen, oder man hätte zur Etablirung eines besonderen Lagers seine Zuflucht nehmen müssen, was in wirthschaftlicher Hinsicht zweifelsohne kein Vortheil gewesen wäre.

Die Wahl der günstigsten Betriebsspannung. Zur Kennzeichnung der allgemeinen elektrischen Anordnung der Anlage gehört ausser der Wahl des Stromsystems (Drehstrom) und der Wechselzahl (100 Wechsel = 50 Perioden) noch die Höhe der Spannung. Auch hier konnte erst nach eingehenden Untersuchungen, die sich sowohl auf die technische Seite als auch auf die wirthschaftliche Rentabilität der Anlage hin erstrecken mussten, die für den gegebenen Fall günstigste Betriebsspannung ermittelt werden.

Zieht man in Erwägung, dass Eisenbahnlinien und Flussläufe den Sitz der Industrie verrathen, da diese sich nur da ansiedelt, wo einerseits eine billige Betriebskraft vorhanden ist und andererseits der Anschluss an den Weltmarkt ermöglicht wird, so lehrt schon ein Blick auf die Karte von Rheinfelden und Umgebung, dass hauptsächlich das Rheinthal zwischen Säckingen—Stein und Basel, das Wiesenthal bis hinauf nach Zell, das Birsthal bis nach Grellingen und endlich das Thal der Ergolz mit seinen Hauptpunkten Liestal, Sissach und Gelterkinden als Absatzgebiet für die elektrische Energie in Frage kommen, so dass sich das durch die Kraftübertragungs-Werke Rheinfelden zu versorgende Gebiet auf einen Umkreis von ca. 20 km um Rheinfelden herum erstreckt. Die an Ort und Stelle geschehenen Erhebungen hatten weiter zu dem Ergebnisse geführt, dass ca. $^1/_3$ des zu erwartenden Consumes dem Licht und ca. $^2/_3$ dem Kraftbetriebe zufallen dürften, dass also die Anlage in erster Linie eine Kraftvertheilungsanlage wird. In Folge der grossen Ausdehnung des Versorgungsgebietes konnte natürlich nur hochgespannter Strom in Frage kommen, der übrigens in getrennten Leitungen für Kraft- und Lichtbedarf gesondert fortgeleitet werden muss, um die Kraftver-

sorgung von den im Lichtbetriebe unvermeidlichen grösseren Schwankungen des Energieconsumes unabhängig zu machen.

Damit war bereits die eine Bedingung für die Bestimmung der günstigsten Betriebsspannung gegeben. Die anderen Momente aber sind durch die Kosten der Generatoren, Transformatoren, Mess-, Schalt- und Regulirapparate, der Schutzvorrichtungen etc. gegeben. Die Versuche bei der Kraftübertragungsanlage Lauffen—Frankfurt a. M. und andere seitdem gemachte Erfahrungen haben zwar ergeben, dass man mit Spannungen bis zu 30 000 Volt hinauf technisch noch vollständig sicher zu operiren vermag; aber mit steigender Spannung werden, wie schon erwähnt, die technischen Schwierigkeiten sehr erheblich. Beim Uebergang von einer Grössenordnung der Spannung zur nächsten — von 5 Volt auf 100, oder von 2000 Volt auf 5000 Volt etc. ändern viele Theile der Anlage vollständig ihre Physiognomie. Die Schalter müssen nach anderen Grundsätzen und vor allem voluminöser gebaut werden, die Sicherungen nehmen eine wesentlich andere Gestalt an u. s. f. Die Ersparnisse an Drahtmaterial bei einer höheren Spannung können oft durch Vertheuerung der Schaltapparate und durch den von diesen benöthigten grösseren Raum reichlicher compensirt werden. Etwas Analoges tritt bei den Dynamomaschinen und Transformatoren ein. Es ist allerdings heut kaum noch ein Kunststück eine grosse Dynamo für 10 000 Volt und darüber zu bauen, und noch viel weniger tritt diese Schwierigkeit bei der Construction von Transformatoren auf. Aber es unterliegt doch keinem Zweifel, dass mit der Nothwendigkeit besonders gut isolirende Materialien wählen zu müssen, mit der raffinirteren Disposition des Ganzen eine Reihe von Vertheuerungen beim Uebergang von einer Grössenordnung der Spannung zur anderen eintreten.

Für den hier in Betracht kommenden Generatoren-Typus von 840 P.-S. Leistungsfähigkeit bei 55 Touren, bei dem ausserdem die Dimensionen durch die örtlichen Verhältnisse fest bestimmt waren, erschien eine Spannung von 3900 Volt per Phase, d. h. von jeder Leitung zum Nullpunkt, so dass zwischen je zwei der 3 Leitungen eine sogenannte verkettete Spannung von $3900 \times 2 \sin 60^0 = 6800$ Volt entsteht, als die obere Grenze der erreichbaren Maschinenspannung. Eine höhere Betriebsspannung der Anlage könnte also nur durch Hinauftransformiren, d. h. mittelst Transformatoren, die in der Generatorstation ihren Platz fänden, erreicht werden.

Um nun zu der relativ günstigsten Betriebsspannung für die ganze Anlage zu gelangen, war zunächst die Frage der wirthschaftlichen Stromdichte zu discutiren.

Legt man für den Kraftbetrieb einen zehnstündigen Arbeitstag zu Grunde und zieht man in Betracht, dass der Lichtconsum sich zum Kraftconsum ungefähr wie 1 : 2 verhält, so dürfte die durchschnittliche Dauer der vollen Effectverluste im Jahre $T = 2500$ betragen. Nimmt man weiterhin den specifischen Leitungs-Widerstand des Kupfers zu $w = 0{,}0175$ an, setzt man ferner als Procentsatz für Verzinsung, Amortisation und Instandhaltung der Leitungsanlage $p_l = 0{,}135$; ferner den Procentsatz für Verzinsung, Amortisation und Instandhaltung der Betriebsanlage $p_b = 0{,}075$; ferner die Herstellungskosten von 1 Voltampère an den Klemmen der Dynamo $b = 0{,}53$; ferner den den Preis der Leitung beeinflussenden Werth $\alpha = 0{,}0114$ und endlich die per Voltampère erwachsenden jährlichen Betriebskosten $\beta = 30$ Milliontel, so ist die wirthschaftliche Stromdichte nach Hochenegg

$$D_w = \frac{\sqrt{p_l \cdot \frac{a}{w}}}{\sqrt{p_b \cdot b + \beta \cdot T}}$$

$$D_w = \frac{\sqrt{\frac{13{,}5}{100} \cdot \frac{0{,}0114}{0{,}0175}}}{\sqrt{\frac{7{,}5}{100} \cdot 0{,}53 + 0{,}000030 \cdot 2500}}$$

oder

$$D_w \sim \frac{0{,}3}{0{,}4} \sim 0{,}9$$

Es wäre also das Quadratmillimeter des Kupferquerschnittes der Leitungen mit 0,9 Ampère wirthschaftlich zu belasten.

Legt man nun bei der Dimensionirung des Netzes, das sich wie erwähnt in einem Umkreis von ca. 20 km um Rheinfelden herum erstreckt, die eben ermittelte Stromdichte zu Grunde, und zieht man gleichzeitig für verschiedene Betriebsspannungen die Anlagekosten des Netzes, die Mehr- oder Minderkosten der von der Spannung abhängigen Organe, wie der Generatoren, Transformatoren, der Mess-, Schalt- und Regulirapparate, der Schutzvorrichtungen etc. etc. in Berücksichtigung, so erhält man das in Fig. 50 dargestellte Diagramm.

In diesem Diagramm bezeichnet die gestrichelte Curve die Kosten für das complette primäre, oberirdische Vertheilungsnetz, die strichpunktirte Curve die Kosten der primären Hinauftransformation unter Berücksichtigung aller dabei entstehenden Mehr- oder Minderkosten für die Generatoren, für die sekundäre Hinabtransformation, für die Schalt-, Mess- und Regulirapparate etc. Beide Curven sind unter der Annahme einer wirthschaftlichen Stromdichte von 0,9 Ampère per Quadratmillimeter und einer Uebertragungsdistanz von 20 km construirt.

Combinirt man nun von der Maschinenspannung 6800 Volt ausgehend diese beiden Curven nach aufwärts, so stellt die ausgezogene resultirende Curve des Diagrammes die procentualen Gesammtkosten des Netzes für Spannungen zwischen 6000 und 20 000 Volt dar. Diese Curve zeigt, dass das Minimum für die Gesammtkosten des Netzes bei ca. 16 500 Volt liegt, dass also 16 500 Volt die

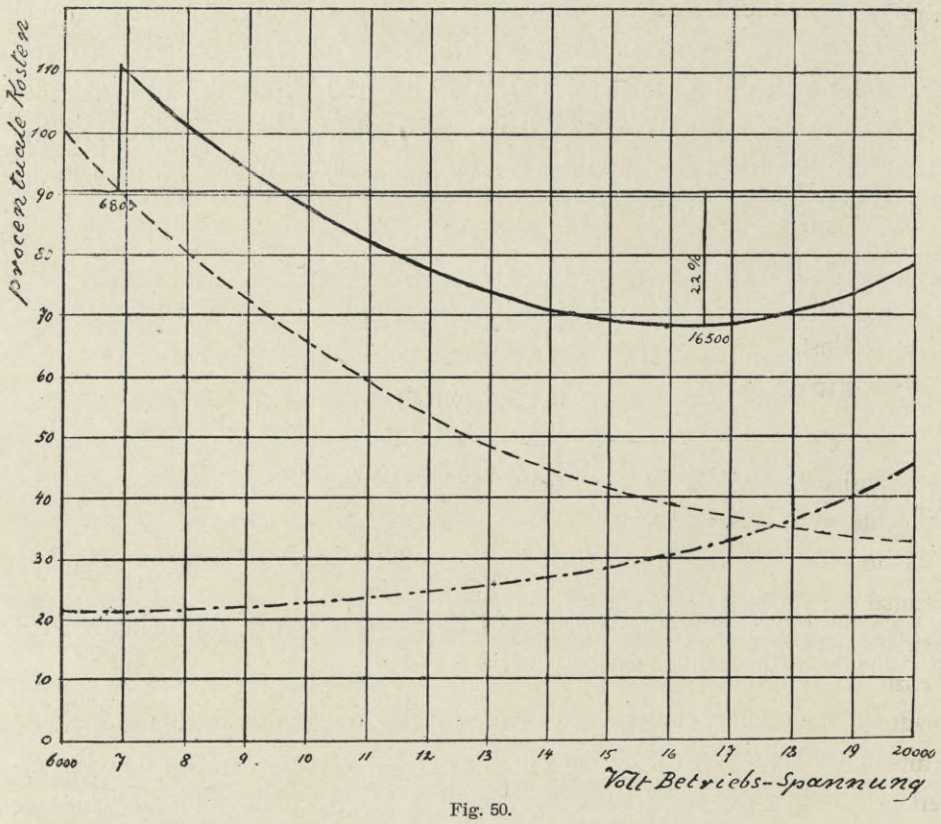

Fig. 50.

Ermittelung der günstigsten Betriebs-Spannung.

günstigste Betriebsspannung wäre. Andererseits aber ist aus diesem Diagramm zu ersehen, dass bei der Adoptirung einer maximalen Betriebsspannung von 6800 Volt, wie ihn die Generatoren direkt liefern, sich die Gesammtkosten des Leitungsnetzes um ca. 22%, gegenüber dem bei 16 500 Volt eintretenden Minimum erhöhen.

Berücksichtigt man aber, dass die Nachtrage nach elektrischer Energie sich erst nach und nach steigert, und dass zunächst der Consum unter einem Drittel der Maximal-Leistungsfähigkeit des Werkes bleiben wird, so erscheint es vorläufig vortheilhafter, zunächst nur mit der von den Generatoren direkt gelieferten

Spannung von 6800 Volt zu arbeiten. Uebersteigt dann später der wirkliche Consum ein Drittel der maximalen Leistungsfähigkeit des Werkes, so wird man sich zweckmässig an die für das Werk günstigste Betriebsspannung, die etwa bei 16 500 Volt liegt, anlehnen. Es genügt dann das für 6800 Volt und ein Drittel der gesammten, zu vergebenden Energie gebaute primäre Vertheilungs-Netz zur Transportirung der gesammten Energie bei gleicher Güte der Uebertragung bezüglich des Gesammt-Nutzeffectes.

In der Nähe von Rheinfelden wird die Ansiedelung einer bedeutenden elektro-chemischen Industrie erwartet; bei der Vorberathung des Projektes Rheinfelden wurde deshalb in Erwägung gezogen, ob nicht für diese Industrie die direkte Erzeugung von Gleichstrom vortheilhafter wäre, als die Erzeugung hochgespannten Drehstromes, der in den elektro-chemischen Fabriken erst auf Gleichstrom niedriger Spannung transformirt werden muss; auch hier kam man zu dem Resultate, dass bezüglich der Anlagekosten und der geringeren Energieverluste die Erzeugung von Drehstrom mit nochmaliger Transformation in Gleichstrom günstiger sei.

Die chemische Industrie, die sich zwar in unmittelbarer Nähe von Rheinfelden ansiedeln wird, dürfte, wie schon ein Blick auf die Karte Fig. 63 lehrt, kaum näher als einen Kilometer an das Kraftübertragungswerk herankommen können. Zieht man nun in Betracht, dass bei direktem Betrieb durch Gleichstrom eine maximale Betriebsspannung von nur ca. 120 Volt angewandt werden konnte und geht man bei Beanspruchung bis an die durch die Feuersicherheit gebotene Grenze, d. h. in Anbetracht der grossen Querschnitte bis auf 1,5 Ampère per Quadratmillimeter, so würde bei einem Kilometer-Uebertragungsdistanz in der Fernleitung ein Energieverlust von ca. 42,5% entstehen. Diesem horrenden Verluste steht jedoch nur ein Verlust von ca. 22,5% gegenüber, wenn man hochgespannten Drehstrom an der Verwendungsstätte in Gleichstrom transformirt; wovon ca. 2,5% auf die Fernleitung und ca. 20,0% auf die Transformirung entfallen. Der resultirende Gewinn von ca. 20% entspricht etwa 4000 Kilowatt, die der chemischen Industrie zu gute kommen. Bei 100 Mark jährlichen Betriebskosten per Kilowatt bedeutet das eine Ersparniss von ca. 80 000 Mark, oder bei 5% Verzinsung die Ersparniss eines Anlagekapitals von 1 600 000 Mark.

Die Kosten der Fernleitung zur Uebertragung von 1000 Kilowatt auf ein Kilometer würden sich bei Gleichstrom auf ca. 200 000 Mark, bei Drehstrom, einschliesslich der Umformung, auf ca. 150 000 Mark belaufen; zieht man dazu noch die erhebliche Ersparniss in den Betriebskosten in Betracht, so konnte es nicht zweifelhaft sein, dass man auch für die chemische Industrie nur Drehstrom

erzeugt, und zwar wegen der Einheitlichkeit der Modelle der Drehstromgeneratoren, Drehstrom von 6800 Volt Betriebsspannung.

Auch ein rein technisches Bedenken spricht noch gegen die direkte Erzeugung von Gleichstrom. Die chemische Industrie braucht Gleichstrom von ausserordentlich niedriger Spannung — von 2—5 Volt im Durchschnitt —. Stände ihr nur Strom von 100 Volt zur Verfügung, so müssten die elektrolytischen Bäder oder die Reduktionsöfen in grösseren Gruppen hinter einander geschaltet werden. Störungen in einem Bade oder einem elektrischen Ofen würden also sofort Störungen in der ganzen Gruppe zur Folge haben. Aber gerade in der elektrochemischen Industrie ist die vollkommene Unabhängigkeit der einzelnen Apparate von einander die Voraussetzung rationellen Betriebes. Da man aber unmöglich Gleichstrom von maximal 10 Volt an die chemische Industrie abgeben könnte und eventuell Gleichstromumformer hätte anwenden müssen, um die Hintereinanderschaltung der Apparate zu umgehen, so war natürlich auch schon von diesem Gesichtspunkte aus die Lieferung hochgespannten Drehstromes an die chemische Industrie das Vortheilhafteste.

Der Aufbau der Dynamomaschinen. Die durch die Wasserbauten etc. bedingten Dimensionen des Turbinen- und Maschinenhauses, die Tourenzahl der Turbinen und die gewünschte Wechselzahl bedingten ein eingehendes Studium der Bauart der Drehstrom-Generatoren. Als allgemeine Type wurde die von Dobrowolsky in der E. T. Z. 1894 beschriebene Drehstrommaschine mit ruhender Wickelung und rotirendem Polhörnerrade gewählt, weil die Maschinen dieses Typus eine weit grössere Anschmiegung an verschiedene zu berücksichtigende Verhältnisse gestatten, als viele andere Bauarten. Namentlich ermöglichten sie, was für Rheinfelden besonders wichtig war, die Unterbringung einer grossen Polzahl (165) auf einem mässigen Durchmesser und die Erregung der Pole ohne abnorm grosse Kupfermassen und mit geringem Erregerstrom.

Ihrer prinzipiellen Anordnung nach bestehen diese Maschinen aus zwei sogenannten Ankerringen *A* u. *A* (Fig. 51), die durch das aus Gusseisen oder Stahl gebildete Gehäuse G mechanisch und magnetisch fest mit einander verbunden sind. Die Ankerringe bestehen aus einzelnen, gestanzten Eisenblechen, die in den Löchern bezw. Nuthen *L* die inducirten oder Ankerspulen *a* tragen. Zwischen den beiden Ankern ist die mit dem Gehäuse fest verbundene grosse Magnetspule *M* gelagert. Der rotirende Theil *J* der Maschine bildet eine Art Schaufel oder Zahnrad und besteht im Wesentlichen aus mehreren prismatischen Stahlklötzen *N.S.*, die den magnetischen Kreislauf in der aus der Figur ersichtlichen Weise zwischen den Ankern schliessen. Die magnetische Strömung verläuft voll-

kommen homogen durch den Mantel G und die beiden Ankerringe A A^1, wenn sie durch die beweglichen Polstücke geschlossen wird; bei der Drehung des Polrades wandern die Stellen höchster magnetischer Dichte an der Oberfläche der beiden Anker entlang, so dass die Ankerspulen eine Induction erfahren. Die Versetzung der Spulen in Bezug auf die Pole ermöglicht die Abnahme von Mehrphasenstrom.

Die Dynamomaschinen sind unmittelbar über den Wasserkästen der Turbinen aufgestellt und ruhen auf einem Betonboden, der von einem die Wasserkästen

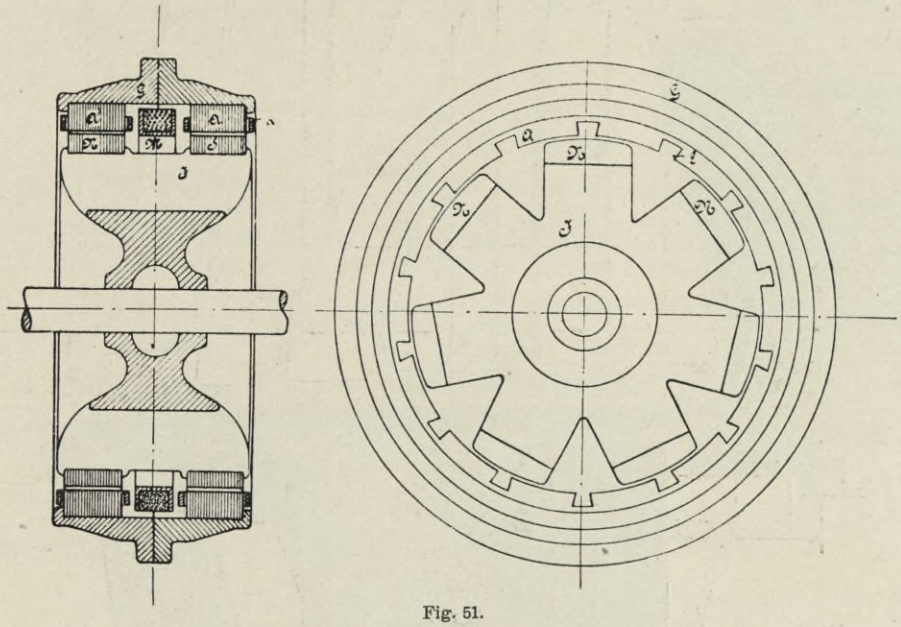

Fig. 51.
Schema des Dreiphasenstrom-Generators.

überspannenden Tonnengewölbe getragen wird. An die senkrechte Turbinenwelle ist mittelst aufgeschweisster Flanschenkuppelung die Dynamowelle angeschlossen. Die Dynamowelle wird von zwei Lagern geführt, von denen das eine unterhalb der Maschine befestigt ist, während das andere in der Nabe eines starken, gusseisernen Armkranzes über der Dynamo angebracht ist. Ziemlich genau in der Mitte hat die Dynamowelle eine verstärkte Stelle, auf der das Inductorrad sitzt.

Das gusseiserne Gehäuse, mit einem äussern Durchmesser von 6,840 Metern, das das Inductorrad ringförmig umgiebt und die beiden Ankerkränze enthält, besteht in seinem Umfange aus vier Bogenstücken, an die je zwei Füsse angegossen sind. Fig. 52 und 53. Die Füsse ruhen auf dem Betonboden des Maschinenhauses und sind in Cement vergossen.

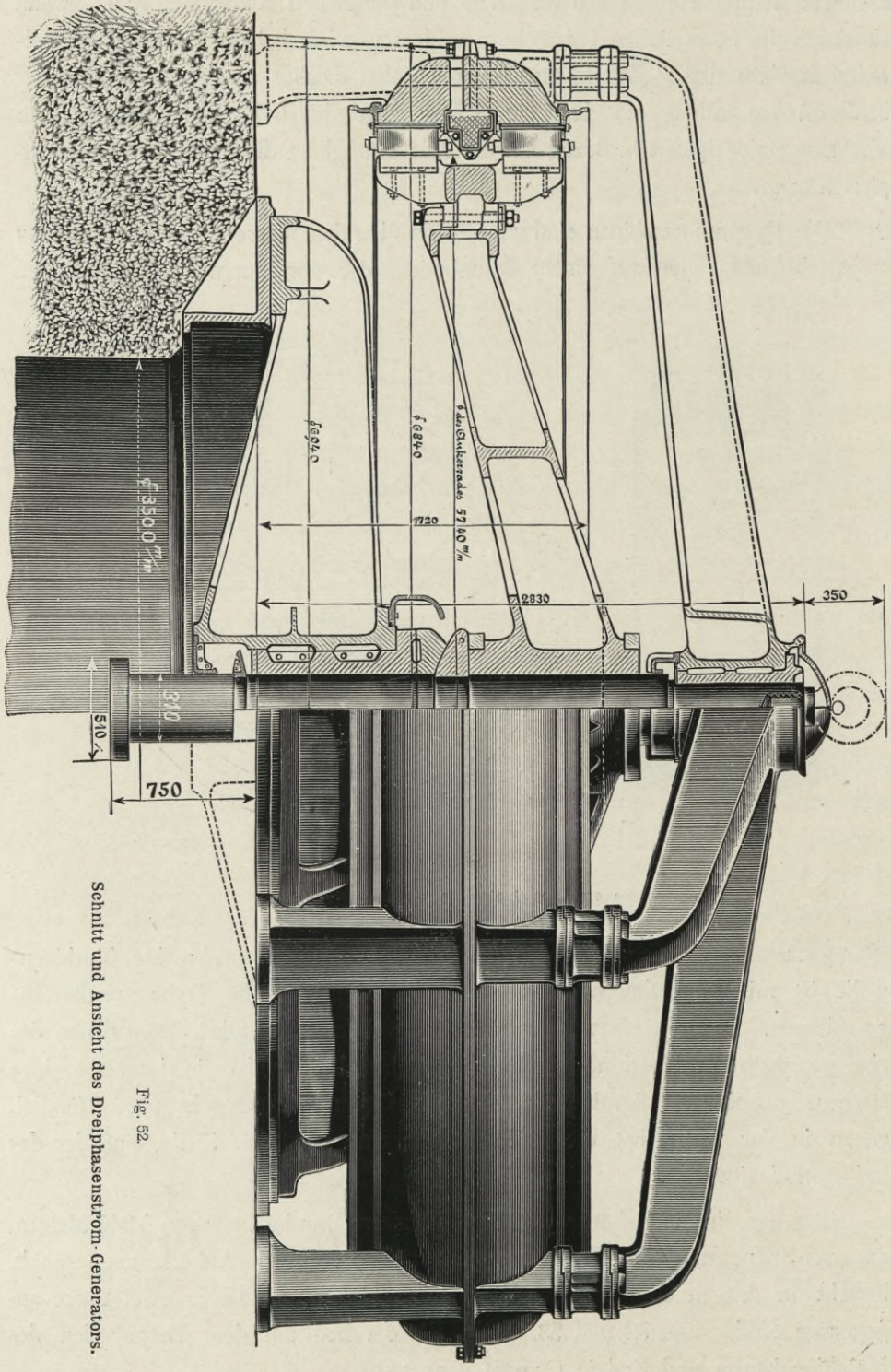

Fig. 52.

Schnitt und Ansicht des Dreiphasenstrom-Generators.

Ausserdem ist das Gehäuse nochmals horizontal in eine untere und eine obere Hälfte getheilt, die beide durch Schrauben am flanschartig ausgebildeten äusseren Umfange mit einander verbunden sind. Dieses ringförmige Gehäuse hat einen C-förmigen Querschnitt und enthält in seiner inneren, nach der Mitte zu offenen Höhlung die Erregerspule der Maschine, die so tief in der Höhlung des Gehäuses liegt, dass das Inductorrad von 5,740 Meter äusserem Durchmesser in der Richtung der Achse ungehindert durch das Gehäuse durchgezogen werden kann. Revisionen oder Reparaturen, die ein Ausheben des Ankerrades erfordern, können daher, ohne dass sonst weitgreifende Zerlegungen von Haupttheilen nothwendig werden, leicht vorgenommen werden.

Die Theilung des Maschinengehäuses geschah wesentlich zum Zweck des erleichterten Transportes. In magnetischer Hinsicht kann diese Theilung vielleicht zu Bedenken Anlass geben; aber die Erfahrung hat gelehrt, dass die durch eine derartige Theilung entstehenden Fugen im Eisen keinen nachtheiligen Einfluss auf das Funktioniren der Maschine ausüben, zumal gerade bei dieser Maschinentype der Verlauf der magnetischen Kraftlinien hauptsächlich in radialer und axialer Richtung und nur zum geringsten Theile parallel zur Bohrung erfolgt, das Letztere nämlich nur so lange, als die Kraftlinien, die in engen Büscheln in die Anker eintreten, sich hinter den Löchern ausbreiten. Die andere Fuge in der Gürtelzone, die durch die Theilung des Gehäuses in zwei einzelne Ringe bedingt ist, ist ganz ohne jeden Belang, da hier die magnetische Strömung ganz stetig verlaufen kann.

Die an das Gehäuse angegossenen Füsse halten es in einer Höhe von ca. 0,6 m über dem Fussboden, wodurch das Lager unter dem Induktorrade auch während des Betriebes zugänglich bleibt.

Die Schale dieser Lager ist aus zwei gusseisernen Hälften zusammengeschraubt, deren Inneres mit Weissmetall ausgegossen ist. Der obere Rand des Lagers ist flanschartig ausgebildet, und mit diesem hängt es in der Nabe eines gusseisernen Armkreuzes. Der äussere Umfang der Lagerschale ist mit hohen Rippen versehen, und dementsprechend ist auch die Nabenbohrung so weit gehalten, dass die Kupferflanschen der Dynamowelle unterhalb des Lagers, mit denen Dynamo- und Turbinenwelle untereinander verbunden sind, ungehindert durch die Nabe hindurchgehen können. Auf diese Weise wird es ermöglicht, die Welle einzusetzen oder auszuheben, ohne dass das untere Armkreuz entfernt zu werden braucht. Es können somit durch Hochziehen der Welle auch die beiden Turbinenräder aus ihren Leiträdern zum Zweck der Revision u. dergl. emporgehoben werden.

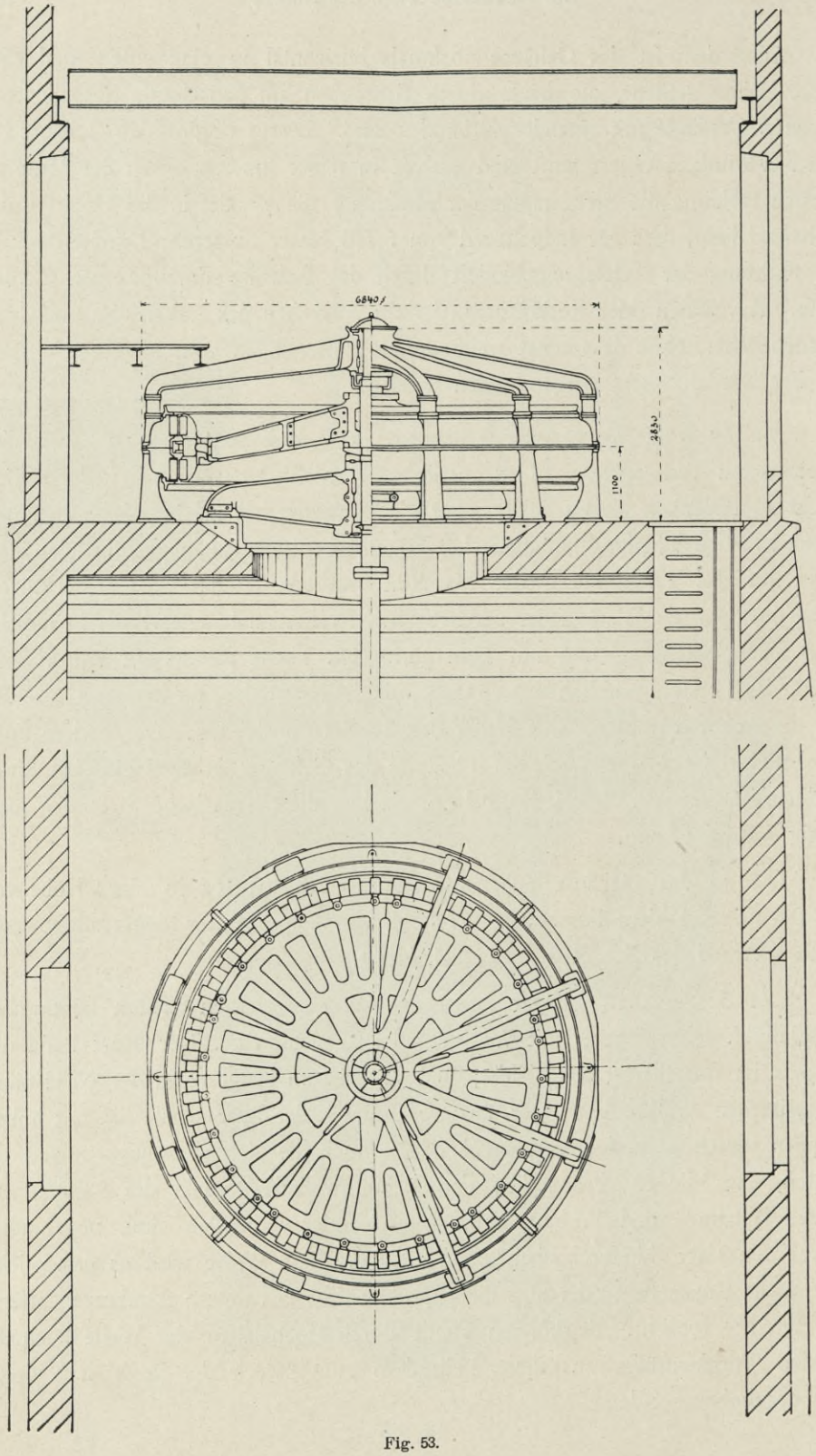

Fig. 53.

Zur Ermöglichung dieser Hantirungen sind in dem Maschinenhause zwei Laufkrähne von je 40 t Tragfähigkeit angebracht, die, mit Elektricität betrieben, den ganzen Maschinenraum bestreichen.

Das erwähnte, untere Armkreuz hat das Gewicht sämmtlicher laufenden Theile, also das der Welle, der beiden Turbinenräder und des Inductorrades zu tragen. Diese Belastung setzt sich zusammen aus dem Gewicht der beiden

Turbinenräder mit unterem Wellenstück	35 t
und dem Gewicht des Inductorrades mit oberem Wellenstück	20 t
zusammen	55 t

Entsprechend dieser hohen Belastung sind die Dimensionen des unteren Armkreuzes sehr reichlich bemessen. Es besteht aus Gusseisen und ist aus zwei halbkreisförmigen Hälften zusammengesetzt, um es bei seinem äusseren Durchmesser von 4,60 m leichter transportfähig zu machen.

Das Armkreuz ruht mit seinem äusseren Umfange auf einer ringförmigen, ebenfalls zweitheiligen, gusseisernen Unterlagsplatte, die in den Betonboden eingebettet und mit Cement vergossen ist. Ihre centrische Oeffnung dient gleichzeitig als abschliessende Einfassung der im Tonnengewölbe ausgeparten Oeffnung, die zum Einbringen der Turbinenräder freigelassen ist.

Die Last von 55 Tonnen ruht auf der ringförmigen Flanschfläche des unteren Lagers, das in dem Armkreuz hängt; diese Ringfläche würde zwar bei voller Auflage nur einen mässigen Flächendruck ergeben; vermöge ihrer Dimensionen und der dabei auftretenden Gleitgeschwindigkeit berechnet sich aber doch die Reibungsarbeit auf mehr als 100 P.-S. Um diese Energievergeudung zu eliminiren, ist eine Oeldruckentlastung vorgesehen, vermöge derer die Reibungsarbeit auf wenige P.-S. herabgemindert ist. Zu diesem Zwecke liegen die beiden ringförmigen Gleitflächen nur an ihren Endflächen in schmalen Streifen an einander auf (Fig. 52), während die zwischenliegende Fläche etwas vertieft ist und so einen Raum zur Aufnahme von Schmieröl bildet, das mittelst eines Pumpwerkes fortwährend mit einem Druck von 25 Atmosphären zugeführt wird. Hierbei ist das Oel im Stande, einer Belastung von ca. 60 t das Gleichgewicht zu halten. Es wird also die beiden Gleitflächen fortwährend in Schwebe halten und in feinem Strahl aus dem inneren und äusseren Rande austreten. Durch den inneren Strahl wird das Lager reichlich mit Oel versorgt, während das Oel des äusseren Strahles in einer ringförmigen Tropfrinne wiedergewonnen wird.

Zur Aufhängung der Welle auf der Gleitfläche ruht auf der oberen kugelförmig ausgehöhlten Gleitscheibe eine Gegenscheibe, die sich mit der Welle dreht

und ihre Unterlage durch Mitnehmerstifte mitnimmt. In der Bohrung dieser Unterlage sitzt ein zweitheiliger Ring, dessen innere Bohrung einen eingedrehten Hals an der Welle umschliesst und so den durch den Hals gebildeten Ansatz der Welle unterstützt, während er selbst durch treppenförmige Ansätze seines äusseren Umfanges getragen wird, die in ebenso gestaltete Bohrungen der Gegenscheibe

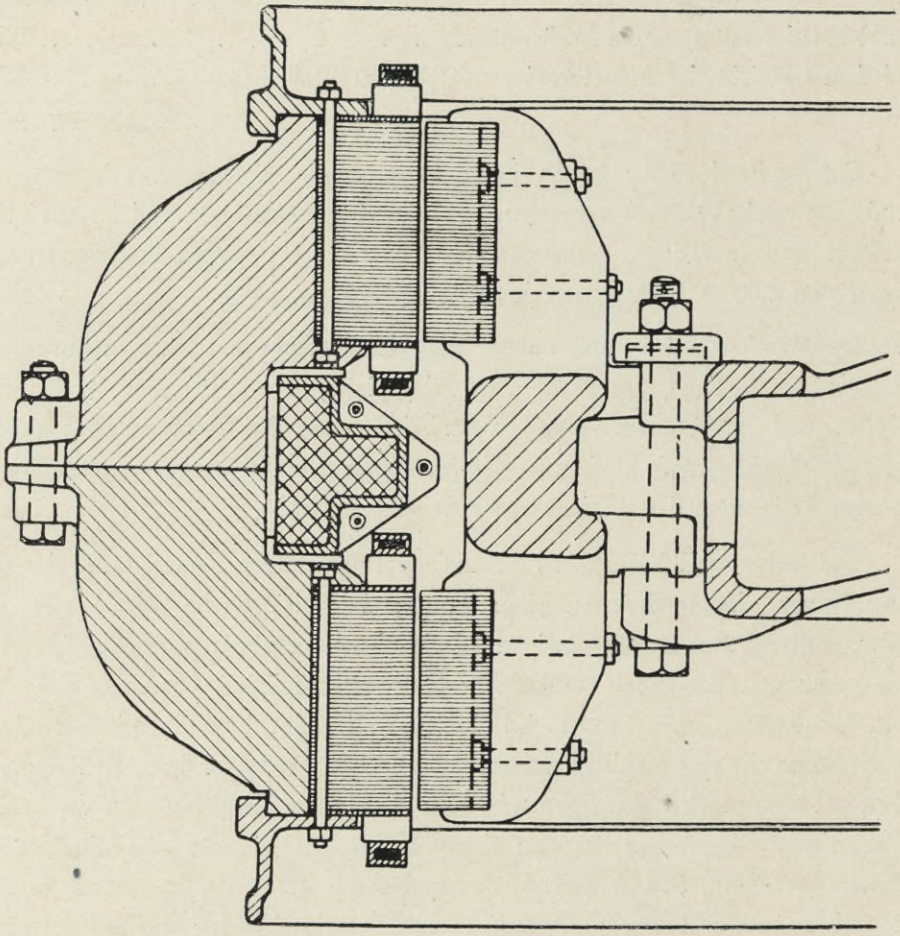

Fig. 54.

hineinpassen. Das Inductorrad ruht mit seiner Nabe auf der Gegenscheibe auf und wird dadurch in seiner Höhenlage gegenüber den Polen des Gehäuses genau fixirt.

Das über dem Inductorrad angeordnete Wellenlager wird ebenfalls von einem Armkreuz gehalten, das natürlich wesentlich schwächer gehalten ist als das untere, da es nur zur Führung der Welle, nicht aber zur Aufnahme einer bedeutenden Last bestimmt ist.

Um die Streuungen der magnetischen Linien zu verhüten, die von der Welle durch die beiden Lagerarmkreuze in das Gehäuse überzugehen streben, sind diese beiden Kreuze gegen das Gehäuse magnetisch isolirt und zwar das obere durch Einlagen von Bronze zwischen Gehäuse und Kreuz und das untere dadurch, dass die Füsse des Gehäuses nicht auch zugleich auf der Unterlagsplatte des unteren Armkreuzes, sondern ausserhalb desselben in einem entsprechend weiten Umkreis um dieselbe direct auf dem Cementboden stehen.

Das Inductorrad Fig. 54 erhält seine Verbindung mit der Welle durch ein gusseisernes Armkreuz, das aus 5 Sektoren zusammengesetzt ist. Fig. 55. An dem Umfange des Armkreuzes ist ein aus 5 Segmenten bestehender Kranz aus Stahlguss befestigt (Fig. 56). An jedem Segment sind in gleicher Theilung am Umfange 11 Joche ausgebildet, die den Polen im Gehäuse gegenüberstehen und an ihren Enden zusammengenietete Packete aus dünnem, weichem Eisenblech tragen.

Die Befestigung dieser Packete an den Enden der Joche geschieht durch eine im Rücken des Packetes schwalbenschwanzförmige, schmiedeeiserne Leiste, die mittelst Schrauben an das Joch angeschlossen wird. Fig. 54. Die Zertheilung der Polhörner hat den Zweck, Wirbelströme in denselben zu vermeiden, die sonst beim Vorbeigehen der Hörner vor den Ankerlöchern entstehen würden.

Die Befestigung des Armkreuzes im Kranz geschieht mittelst zweier Reihen von Augen, die einerseits an der Innenseite des Kranzes, andererseits am äusseren Umfange des Armkreuzes angegossen sind. Die untere Augenreihe des Kranzes liegt mit einem centrirenden Versatz auf der unteren Augenreihe des Armkreuzes auf. Die oberen Augenreihen berühren sich in vertikalen Cylinderflächen. Auf der oberen Seite sind die Augen zu schwach konisch angefraisten Köpfen derart ausgebildet, dass die Anlagefläche zwischen je einem Augenpaar in einem solchen Kopfe enthalten ist. Ueber den konischen Kopf ist, mit Anzug passend, eine Kappe gesetzt, die einer durch je ein oberes und ein unteres Augenpaar vertikal hindurchgehenden Befestigungsschraube als Unterlagsscheibe dient und so eine sehr solide Verbindung zwischen Kranz und Armkreuz bildet.

Die beiden Ankerringe bestehen ebenfalls aus auf einander gelegten, von einander isolirten segmentförmigen Eisenblechen, die mit versetzten Fugen im Kreise herum und stumpf aneinanderstossend auf einander gelegt sind. Mit ihrem Rücken stossen sie gegen die cylindrische Wand des Gehäuses und sind nach

oben und unten mit Messingplatten abgegrenzt. In der Nähe ihrer Rückseite sind sie mit 108 Eisenschrauben zusammengehalten, die einerseits noch durch

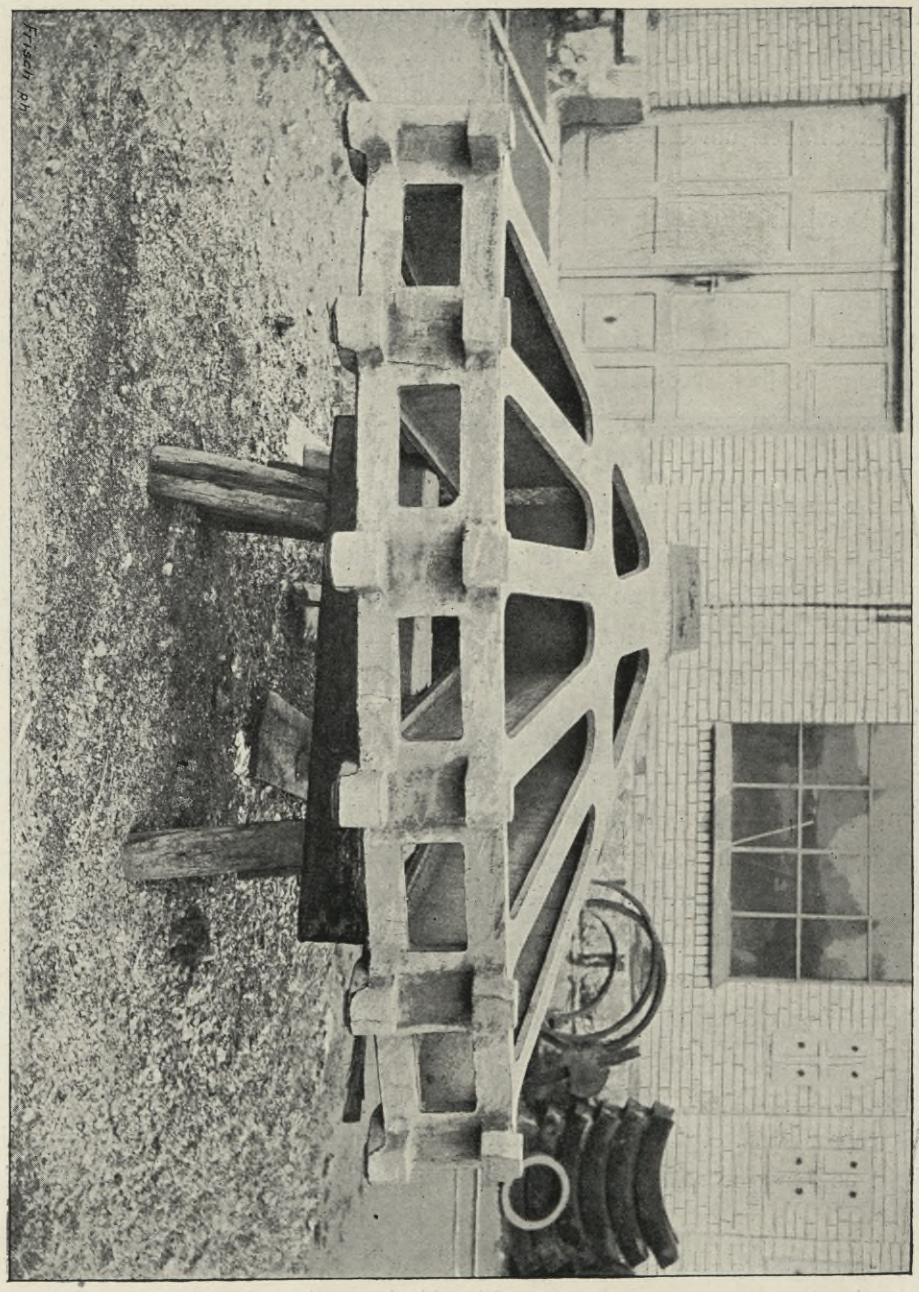

Fig. 55.

eine Flansche des Gehäuses, andererseits durch eine mehrfach getheilte, gusseiserne Deckflansche hindurchgehen.

Auf den über die Flanschen hervorstehenden Zacken der Ankerbleche sind die Spulen für die Wickelung aufgesteckt, und zwar 165 für jede Armatur. Die

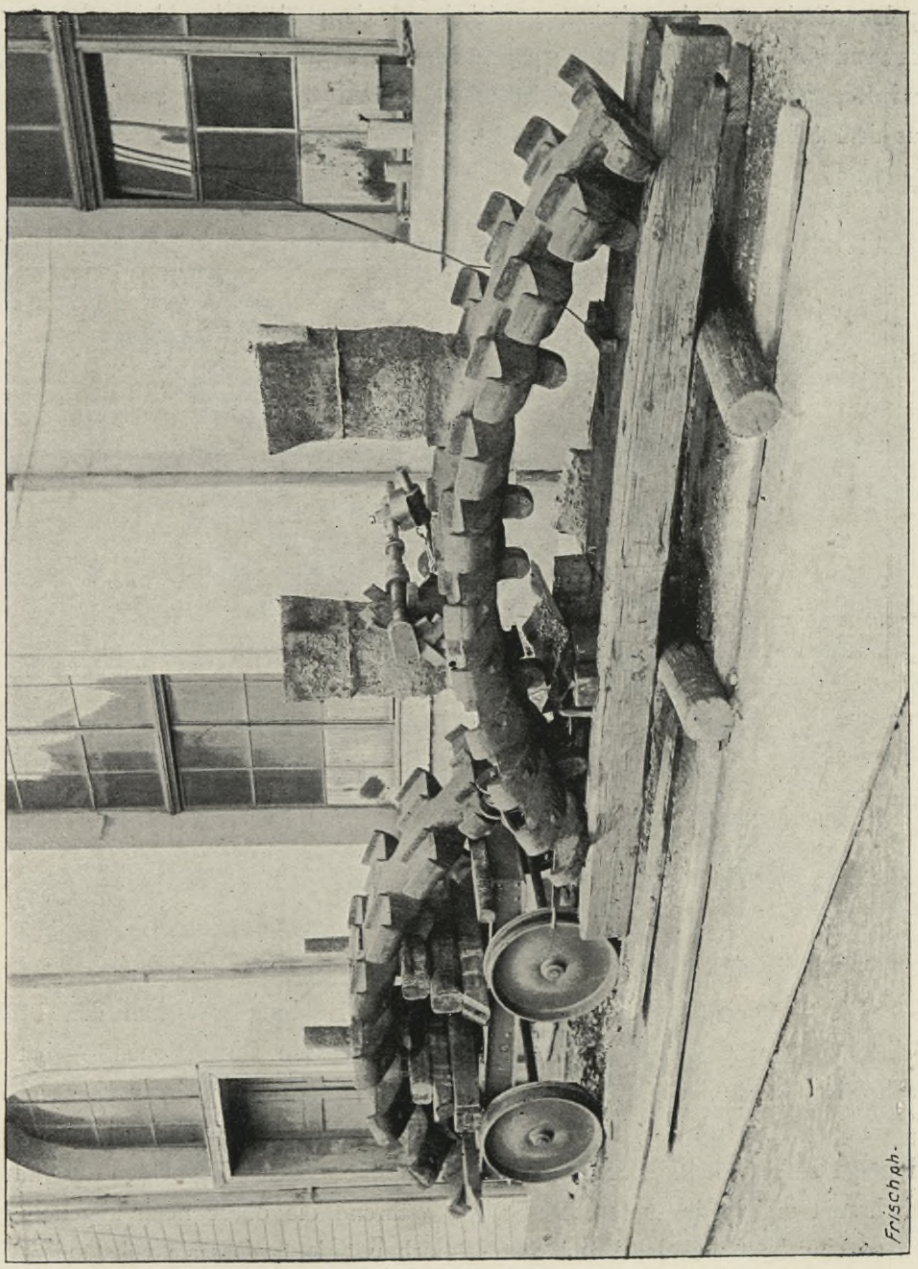

Fig. 56.

Spulen, deren Isolation wie bei hochvoltigen Maschinen heut allgemein üblich, aus reinstem Micanit besteht, sind so eingerichtet, dass sie in fertigem Zustande

aufgeschoben werden. Sie können somit, im Falle sie schadhaft werden, was allerdings sehr unwahrscheinlich ist, durch Reservespulen ersetzt werden. Diese Anordnung beansprucht allerdings einen etwas grösseren Raum, als wenn die Spulen direkt auf den Anker gewickelt werden; aber die kleine Raumverschwendung ist ohne Bedeutung gegenüber den Vorzügen der schnellen Montage und Reparatur. Die Wickelung ist mit übergreifenden Spulen ausgeführt, wie aus dem Schema Fig. 57 ersichtlich ist.

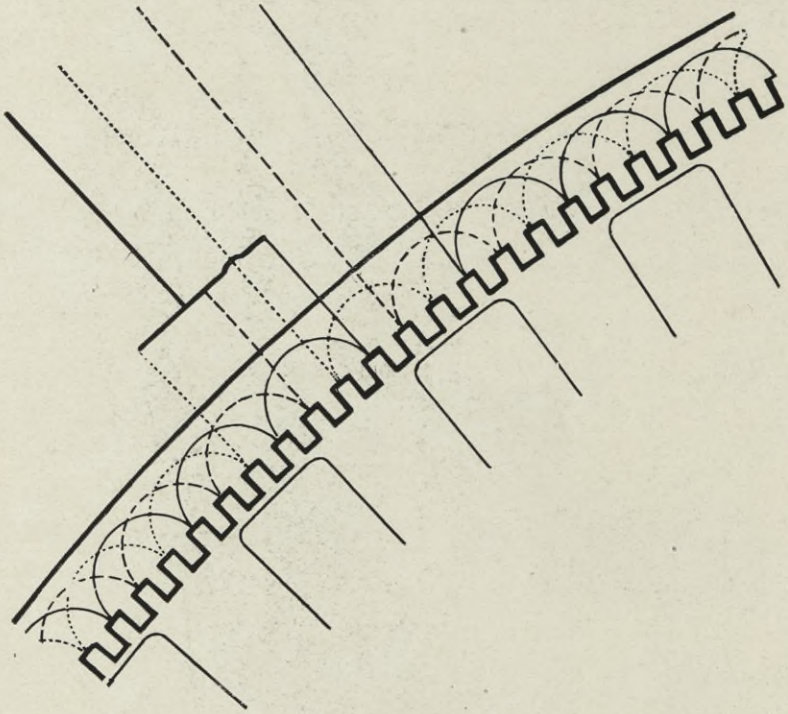

Fig. 57.

Die Erregerspule, die in die ringförmige Höhlung zwischen den beiden Polhörnerreihen eingelegt ist, kann bei ihren grossen Dimensionen — hat sie doch einen äusseren Durchmesser von 6,08 Metern — nicht vorher in der Fabrik gewickelt werden, sondern wird erst am Verwendungsort selbst bei der Montage aufgewickelt. Der broncene Spulenkörper ist aus Segmenten zusammengeschraubt und in die untere Ringhälfte, während die obere noch abgenommen ist, so eingebaut und dabei zunächst so hoch unterlegt, dass sie vollständig über den oberen Rand der unteren Gehäusehälfte hinausragt. In dieser Lage kann die Spule leicht gewickelt werden, was dadurch geschieht, dass der Wickler mit dem zu wickelnden Drahte die Spule im Kreise umgeht. Ist die Spule fertig

gewickelt, so wird sie nach Entfernung ihrer Unterlage an ihren richtigen Platz eingesenkt und die obere Gehäusehälfte sammt oberem Armkreuz aufgesetzt.

Was die elektrischen Verhältnisse der Rheinfelder Dynamos anbelangt, so sei nur bemerkt, dass die normale Leistung der Dynamos 61,5 Ampère bei 3900 Volt per Phase (Spannung zum neutralen Punkt) beträgt. Dies ergiebt eine Leistung von $3 \times 61{,}5 \times 3800 = 720$ Kilowatt. Unter Annahme einer durchschnittlichen Verschiebung der Stromphase durch die angeschlossenen Motoren etc. bis zum $\cos \varphi =$ ca. 0,8 würde die obige Leistung nur ca. 580 Kilowatt wirklicher Energie repräsentiren und somit an der Welle ca. 840 P.-S. per Maschine erfordern.

Der gesammte Wirkungsgrad der Dynamos beträgt trotz der ungünstigen Tourenzahl, einschliesslich des Energieaufwandes für die Erregung über 92 %.

Bei den äusserst geringen Verlusten in der Maschine sind besorgnisserregende Temperaturerhöhungen auch bei langem Betriebe nicht zu erwarten, zumal auch die Abkühlungsflächen der Maschinen sehr gross sind. Aber trotzdem ist durch zahlreiche Luftlöcher im Mantel, die den inneren Raum zwischen den beiden Ankern mit der Aussenluft verbinden, für reichliche Ventilation gesorgt. Die durch den rotirenden Induktor radial getriebene Luft wird gezwungen, den Raum zwischen den Ankerspulen und der Magnetspule zu passiren und kühlt sie dadurch in natürlichster und wirksamster Weise.

V.

Die Vertheilung der Elektricität.

Die Vertheilung und Regulirung der in der Kraftstation erzeugten Energie. Die Disposition für die Vertheilung der in dem ersten Ausbau des Werkes erzeugten Elektricität geht aus dem Schaltungsschema Fig. 58 hervor. Im Turbinenhause kommen 20 Drehstromgeneratoren gleichen Modells zur Aufstellung, von denen jeder gleiche Leistung und gleiche Spannung besitzt, wodurch eine relativ billige Anlage und ein überaus einfacher Betrieb ermöglicht wird. Die Betriebsspannung ist, wie im vorigen Kapitel begründet wurde, auf 6800 Volt festgesetzt, bei einer Leistung der Generatoren von 570 Kilowatt, 50 Perioden per Sekunde und 55 Touren per Minute, wobei für die x reine Kraftübertragung der Betrag der Phasenverschiebung mit $\cos \varphi = 0{,}8$ berücksichtigt ist. Den Generatoren werden von den Turbinen 840 effektive Pferdestärken zugeführt. Die mittlere jährliche Leistung der Wasserkraftanlage an den Turbinen bemisst sich auf 15000 effektive Pferdestärken. Bei ungünstigstem Wasserstande kann die Leistung aber bis auf 12000 Pferdestärken herabsinken. Im allgemeinen werden also von den 20 Generatoren 18 den Betrieb vollständig aufrecht erhalten können, so dass 2 Generatoren immer in Reserve stehen.

Da Licht- und Kraftlieferung aus den oben angeführten Gründen von einander zu trennen sind, so hat man von vornherein mit zwei geordneten Betrieben zu rechnen. Nach dem vorerst zu erwartenden Consum sollen von 18 Generatoren 4 dem Lichtbetriebe und 14 dem Kraftbetriebe dienen. Für jeden dieser beiden Betriebe steht immer je eine der beiden erwähnten Reserven in Bereitschaft.

Die 14 Generatoren des Kraftbetriebes sind in zwei gleiche Gruppen getheilt. Die eine Gruppe soll der Versorgung der chemischen Industrie dienen, während die andere Gruppe der Kraftübertragung des ganzen Versorgungsgebietes zugewiesen ist.

Die Vereinigung dieser 14 Generatoren zu einem gemeinsamen Betriebe hat, abgesehen von der überaus einfachen Handhabung der Regulirung noch den ungemeinen Vortheil, dass plötzlich auftretende grössere Schwankungen an den einzelnen Consumstellen sich leichter compensiren oder auf die ganze Reihe der Generatoren vertheilen können, so dass in der Kraftstation derartige Stromstösse kaum wahrzunehmen sein werden.

Für den Fall einer aussergewöhnlichen Steigerung des Kraftconsumes, zu deren Deckung die Reserve-Dynamo nicht mehr ausreicht, ist auch die Möglichkeit einer Vereinigung des Kraftbetriebes mit dem Lichtbetriebe vorgesehen; ein derartiges Zusammenschalten wird um so leichter angängig sein, als Kraftbedarf und Lichtbedarf sich nur theilweise zeitlich decken. Im allgemeinen wird das Maximum des Kraftbedarfes bereits zu Ende sein, wenn der Lichtbedarf eine merkliche Grösse anzunehmen beginnt.

Im Uebrigen werden die Schwankungen der Wasserkraft hauptsächlich von der elektro-chemischen Industrie aufgenommen werden, so dass der volle Betrieb zur Versorgung des in Aussicht genommenen Gebietes stets aufrecht erhalten werden kann. Zur ungünstigsten Zeit, während der wenigen Tage des niedrigsten Wasserstandes bleiben der elektrochemischen Industrie tagüber 6 Generatoren reservirt, welche Zahl für 2—3 Stunden — der Zeit des grössten Lichtbetriebes — eventuell bis auf 3 reduzirt wird. Nachtsüber können aber auch während dieser Zeit sämmtliche 7 Generatoren oder selbst der ganze Kraftbetrieb für die chemische Industrie in Anspruch genommen werden.

Sollte die Steigerung des Consums den Ausbau des unteren Werkes erforderlich machen, wodurch weitere 15 000 P.-S. mittlerer Leistung disponibel werden, so können die einzelnen Betriebe nach Bedarf leicht erweitert werden.

Das Zusammenarbeiten der beiden Werke auf gemeinschaftliches Netz wird durch entsprechende Verbindung der beiderseitigen Sammelschienen unter Berücksichtigung eines möglichst geringen ohmischen Widerstandes leicht ermöglicht.

Die zur Vertheilung und Regulirung der in der ersten Anlage erzeugten elektrischen Energie nöthigen Mess-, Schalt- und Regulirapparate sind auf einer erhöhten, von allen Seiten leicht zu überblickenden und leicht zugänglichen Schalttafel in übersichtlicher und zweckdienlicher Weise untergebracht. — Die Schaltwand selbst setzt sich aus einzelnen Marmortafeln, die an einem Eisengerüst befestigt werden, zu einem harmonischen Ganzen zusammen und findet

durch einen geschmackvollen Holzrahmen, sowie einen Aufsatz mit Uhr ihren Abschluss.

Diese Schalttafel findet in der Mitte der ca. $2^1/_2$ m breiten Galerie Platz, die an der einen Längswand des Maschinenhauses in der Höhe von 3 m vom Fussboden eine etwa $2^1/_2$ m breite Galerie entlang zieht.

Die Verbindungsleitungen zwischen Generatoren und Schalttafel werden dieser unterhalb der Galerie in einer solchen Höhe vom Fussboden des Maschinenraumes zugeführt, dass dieser Raum ohne Gefahr jederzeit begangen werden kann. Die Zuführungen für den Licht-, Kraft- und chemischen Betrieb gehen von den Sammelschienen der Schalttafel aus und ziehen sich auf Isolatorenträgern in einer entsprechenden Höhe über der Galerie der Längsmauer des Maschinenhauses in übersichtlicher Anordnung entlang und münden beim Austritt aus dem Maschinenhause in die entsprechenden Fernleitungsstränge ein. Jede dieser Zuleitungen ist mit einer ausschaltbaren Hochspannungssicherung versehen, die jeden Strang behufs Reparatur oder Revision vom Betriebe abzuschalten gestattet und die rechts und links von der Schalttafel in Manneshöhe über der Galerie angebracht sind.

Wenn bei weiterem Ausbau des Werkes eine Betriebsspannung von ca. 16 500 Volt in Anwendung gebracht werden wird, werden die dann nöthigen Primärtransformatoren in einem besonderen Raume Aufstellung finden, der sich längs des Maschinenhauses hinziehen wird. Die alsdann nöthige Schaltungsanordnung geht aus dem Leitungschema hervor.

Jeder Stromkreis der Drehstromgeneratoren ist mit einem Ampèremeter, Wattmeter und mit einem dreipoligen Hochspannungsausschalter versehen, ausserdem ist zur Messung der Spannung ein kleiner Wechselstromtransformator vorgesehen, der die dem Voltmeter zugeführte Spannung von 6800 Volt auf ca. 120 Volt herunter transformirt.

Das Ampèremeter gestattet es, den Generator vor Ueberschreitung der normalen Stromstärke zu schützen, während das Wattmeter die jeweilige Belastung anzeigt und beim Zusammenarbeiten der Generatoren die geforderte Leistung gleichmässig auf dieselben zu vertheilen gestattet. Jedes Wattmeter, dem ein bifilar gewickelter Vorschaltwiderstand für die Spannungsspule beigegeben ist, misst die jeweilige Arbeit einer Phase der Generatoren. Da bei reinem Kraftbetriebe die Arbeit in den drei Phasen gleich ist, so kann für jeden Generatorstromkreis mit einem einzigen Wattmeter ausgekommen werden.

Auch für den Lichtstromkreis ist es bei sachgemässer Vertheilung des Consums auf die drei Phasen nicht nothwendig, jeden Generatorstromkreis mit drei Ampèremetern auszustatten, und es kommt deshalb auch für den Lichtbetrieb immer nur je ein Wattmeter für einen Stromkreis zur Anwendung.

Die gleichmässige Vertheilung des Consums auf die drei Phasen fällt übrigens jeder Consumstelle, in der die Betriebsspannung auf die Gebrauchsspannung herunter transformirt wird, zur Last und wird jeweilen in der betreffenden Haupttransformatorstation vorgenommen werden.

Die dreipoligen Hochspannungs-Ausschalter gestatten das beliebige Zu- und Abschalten der Generatoren zu oder vom Betriebe, das in Verbindung mit dem Phasenindicator leicht bewerkstelligt werden kann. Es ist dabei die Einrichtung getroffen worden, dass zur leichteren Ausführung dieser Manipulation ausser an der Schalttafel auch durch den Turbinenwärter die Uebereinstimmung der Phasen erkannt werden kann, indem über den Generatoren Phasenlampen angebracht sind, durch deren schnelleres oder langsameres Aufleuchten oder Erlöschen der Turbinenwärter erkennen kann, ob er die Tourenzahl der betreffenden Turbine erhöhen oder vermindern muss.

Von Sicherungen im Generatoren-Stromkreis wurde ganz abgesehen, vor allem deshalb, weil Sicherungen für 6800 Volt zu grosse Dimensionen annehmen und bei dem ohnehin beschränkten Raume kaum noch unterzubringen gewesen wären.

Ueberhaupt sind Sicherungen in Stromkreisen von Wechsel- oder Drehstromgeneratoren kaum nöthig, da man es durch Anordnung des Baues in der Hand hat, bei eventuellem Kurzschluss den wattlosen Strom auf das höchstens Drei- bis Vierfache des Normalen anwachsen zu lassen, was vorübergehend, namentlich da dieser Strom eine nur ganz minimale Spannung besitzt, dem Generator und dessen Isolation nicht nachtheilig werden kann. Jedes Einfügen von sogenannten Sicherheitsorganen, die nicht dringend nothwendig sind, kann an Stelle der Sicherheit nur zu leicht direkte Nachtheile mit sich bringen.

Die Erregung der Generatoren erfolgt durch Gleichstrom.

Ursprünglich bestand die Absicht, den Erregerstrom durch Einbau von drei Erregerturbinen in eine der Turbinenkammern zu erzeugen. Diese Anordnung hätte aber in so fern ihre Nachtheile gehabt, als dadurch der ganzen Anlage die zwanzigste Turbine als Reserve entzogen worden wäre. Man entschloss sich

daher zur Aufstellung von drei Drehstrom-Gleichstrom-Transformatoren für je 150 P. S. Leistung, die direkt von den Sammelschienen des Kraftbetriebes mit 6800 Volt gespeist werden und die zugeführte Energie in Gleichstrom von 120 Volt umsetzen. Eines dieser drei Umformeraggregate steht stets in Rerserve.

Der so erzeugte Gleichstrom wird der Erregersammelschiene zugeführt und dient gleichzeitig noch zur Versorgung der Schalttafel, zur Beleuchtung des Maschinenhauses und des benachbarten Terrains, wofür etwa 300 Ampère bei 120 Volt Spannung reservirt sind. Die Inbetriebsetzung der Umformer erfolgt vermittelst Anlasser von den Sammelschienen der Erregung aus. Für den Fall eines Aussetzens des sonst ununterbrochenen Betriebes, während einiger Stunden des Sonntages z. B., liefert eine kleine Akkumulatorenbatterie für rasche Entladung den für die Erregung einer Drehstromdynamo erforderlichen Gleichstrom. Das Anlassen des ersten Umformers geschieht dann gleichzeitig mit der Inbetriebsetzung des ersten Drehstromgenerators direkt ohne Anlassvorrichtung.

Die Akkumulatorenbatterie kann mittelst Zusatzdynamo während einer beliebigen Zeit des Betriebes von den Sammelschienen der Erregung aus geladen werden.

Die Umformeraggregate, sowie die Zusatzdynamos finden auf der Galerie Aufstellung, während die Akkumulatorenbatterie in einem besonderen, für sich abgeschlossenen Raume untergebracht wird.

Von den Sammelschienen für die Erregung führen 20 Stromkreise nach den einzelnen Generatoren hin. In jeden dieser Stromkreise ist ein Ampèremeter und ein Hauptstromregulator mit Kurzschlusskontakt eingeschaltet. Bleisicherungen sind nicht vorgesehen worden, da im Falle eines plötzlichen Schmelzens derselben leicht in Folge der auftretenden Selbstinduktion die Isolation der Erregerspule durchgeschlagen werden kann. Die Hauptstromregulatoren der Erregerstromkreise sind sämmtlich mittelst Schnecke und Handrad für Einzel- und Gruppenantrieb eingerichtet, so erstreckt sich sowohl eine gemeinsame Welle über die Regulatoren des Lichtbetriebes als auch eine solche über diejenige des Kraftbetriebes.

Nach Einstellen der Generatoren in den Synchronismus mit den bereits im Betrieb befindlichen, werden die betreffenden Hauptstromregulatoren zum gemeinschaftlichen Antrieb durch die Wellen in den Schneckenantrieb eingeklinkt, und es erfolgt dann die Regulirung der Spannung der Generatoren für alle gemeinschaftlich lediglich durch Veränderung der Erreger-Stromstärke.

Die jeweilige Einstellung der Spannung der Generatoren richtet sich nach der jeweilig herrschenden Spannung an den Speisepunkten der sekundären Vertheilungsnetze. Diese Spannung wird zunächst durch die Sammelschienen der Messdrähte der sekundären Netze in den entsprechenden Haupttransformatorenstationen angezeigt und von da als mittlere Spannung der betreffenden Consumstelle durch besondere Messleitungen nach der Generatorenstation übertragen. Dort münden diese Messdrähte wieder in Sammelschienen ein, die die mittlere Spannung der ganzen Energie-Vertheilung herstellen.

Es ist selbstverständlich, dass in dieser Weise nur die Hauptschwerpunkte der Consumvertheilung bedacht werden, da die Vertheilung der Energie durch das primäre Vertheilungsnetz für sämmtliche Consumstellen unter kaum merklich verschiedener Spannung erfolgt und somit ein Reguliren der Spannung in den Hauptschwerpunkten einem Reguliren der Spannung für sämmtliche Consumstellen gleichkommt.

Die mittlere Spannung der ganzen Vertheilung wird in der Generatorenstation durch ein grosses Stationsvoltmeter, das an die Sammelschienen der Messleitungen angeschlossen ist, weithin sichtbar angezeigt und durch entsprechende Regulirung der Erregerstromstärke der Generatoren innerhalb der zulässigen Grenzen constant erhalten.

Die Handhabung des Betriebes für die ganze Anlage gestaltet sich demnach ausserordentlich einfach; nähere Details über die Disposition der Vertheilung der Energie in der Kraftstation ergeben sich ohne weiteres aus dem Schaltungsschema.

Die Transformatoren. Wie bereits erwähnt, findet in Rheinfelden, anders wie seinerzeit in Lauffen und auch im Gegensatz zu den Niagara-Anlagen zunächst nur eine einmalige Transformation des Stromes und zwar lediglich an Anfangspunkten der Sekundär-Netze bezw. an den Consumstellen statt. Es bedarf kaum noch der Erörterung, dass bei nur einmaliger Transformation die Energie-Verluste erheblich verringert werden.

Die für die Anlage Rheinfelden bestimmten Drehstrom-Transformatoren bestehen aus drei in einer Ebene liegenden und magnetisch unter einander verbundenen Eisenkernen, die hoch- und niedervoltige Spulen z. Th. konzentrisch zu einander, z. Th. in vermischt neben einander liegenden zahlreichen Abtheilungen tragen, Fig. 59.

Die Drehstrom-Transformatoren mit geschlossenen, verketteten magnetischen Kreisläufen sind im Jahre 1890 von Dobrowolsky erfunden worden.

Abgesehen von einigen ersten Ausführungen, wobei die drei Kerne zunächst radial, wie Speichen eines Rades angeordnet waren, werden solche Transformatoren meist aus Constructions-Rücksichten mit parallel stehenden Kernen ausgeführt.

Die nach Angaben der A. E. G. für die Lauffen-Frankfurter Kraftübertragung theils von ihr, theils von der Maschinen-Fabrik Oerlikon gebauten Transformatoren waren die ersten öffentlich vorgeführten Drehstrom-Transformatoren und hatten durch ihre bemerkenswerthe Grösse von 100—200 Kilowatt Leistungs-

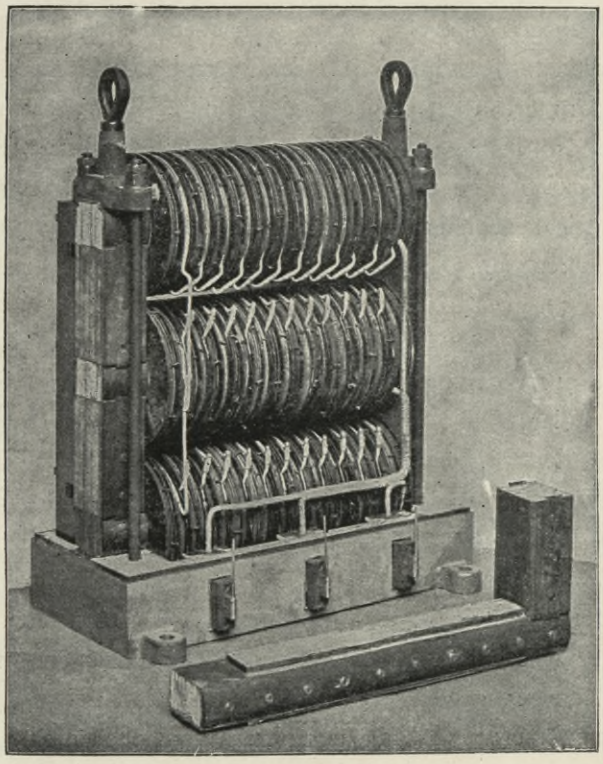

Fig. 58.

fähigkeit, sowie durch die hohe transformirte Spannung von 16 000 und selbst 25 000 Volt allgemeine Aufmerksamkeit erregt.

Während jedoch bei den Lauffener Transformatoren und den nach ihrem Muster gebauten Typen die drei Eisenkerne symmetrisch zu einander standen, etwa wie die Kanten eines Prismas, sind die neuesten Transformatoren, speziell die für Rheinfelden bestimmten, derart combinirt, dass die drei Kerne parallel zu einander in einer Ebene stehen. Diese Anordnung hat den Vorzug grösserer Compactheit und damit geringeren Raumbedarfes; ebenso sind sie leichter herzu-

stellen und aus einander zu nehmen. Durch Lösen der in Fig. 58 sichtbaren Schrauben an den Endseiten lässt sich ohne Weiteres ein Kern nach dem andern sammt den Spulen herausnehmen.

Ein besonderer Fortschritt für den Transformatoren-Bau entstand durch die Erfindung des aus Glimmerabfällen hergestellten Micanits oder Kunstglimmers, das ein ausgezeichnetes und sogar besseres Isolirmaterial als natürlicher Glimmer ist, der bisher als bestes Isolirmaterial galt, weil in dem Kunstglimmer die verschiedenen Glimmerschichten durcheinander liegen, so dass die in gewissen Stellen des natürlichen Glimmers etwa vorhandenen Metall-Adern u. dgl. ihre Continuität verlieren. Ausserdem hat das Micanit den Vorzug, dass sich aus ihm beliebig geformte Stücke, wie Cylinder, Rohre, Spulenkästen etc. herstellen lassen. Man ist so in die Lage gesetzt, sogar bei sehr hohen Spannungen die recht lästige Oelisolation zu umgehen. Transformatoren mit Oelisolation können sich nicht so leicht abkühlen wie solche mit Luftcirculation, und ausserdem gehören Reparaturen an Oelisolatoren durchaus nicht zu den angenehmsten Arbeiten.

Was die Proportionirung der Drehstrom-Transformatoren anbelangt, so ist es speziell bei Anlagen mit gleichzeitiger Stromabgabe für Motoren und Licht von Wichtigkeit, den sogenannten Spannungsabfall der Transformatoren niedrig zu halten. — Die Widerstände der Wickelung bedingen nur zum Theil den an den sekundären Klemmen auftretenden Spannungsabfall zwischen Leerlauf und Vollbelastung. Einen grösseren Einfluss übt vielmehr die magnetische Streuung im Transformator, die darin besteht, dass einige der durch die primären Windungen erzeugten Kraftlinien gewissermassen entschlüpfen und nicht durch die sekundären Windungen hindurchgehen. Der hierdurch bedingte Spannungs-Verlust tritt in grösserem Umfange bei phasenverschobenen Strömen mit angeschlossenen Motoren auf, als bei Belastung des gleichen Transformators mit Glühlampen. Durch eingehendes Studium aller in Betracht kommenden Verhältnisse gelang es den früheren bei Belastung mit Motorenstrom vorhandenen Spannungsabfall von 8—10 % auf nur 3—4 % herabzudrücken, ohne dass dabei eine nennenswerthe Vertheuerung oder Beeinträchtigung des Wirkungsgrades der Transformatoren eingetreten wäre. Was den Wirkungsgrad der Transformatoren anbelangt, so beträgt er bei mittleren und grösseren Transformatoren bis zu etwa 50 Kilowatt Leistung ca. 96 % und steigt mit der Grösse der Type bis zu etwa 97 %. Hierbei beträgt der constante Leerlaufverlust für die Ummagnetisirung des Eisens 2 bezw. $1^1/_2$ %. Bei Lichtanlagen ohne nennenswerthen

Anschluss von Motoren kann freilich die Leerlaufarbeit noch weiter herabgesetzt werden, wenn man während der kurzen Zeit der maximalen Abendbelastung etwas grössere Verluste in der Kupferwickelung zulässt.

Für Rheinfelden kommt aber eine derartige Proportionirung bezw. Vertheilung der Verluste nicht in Frage, da zur Zeit des geringen Consums das Wasser für die Turbinen doch in derselben Menge vorhanden ist, wie zur Zeit der Maximalbelastung. Der Leerlaufstrom der Transformatoren kostet somit hier so gut wie gar nichts, während es für die Ausnutzung der Centrale eher von Bedeutung ist, bei Vollbelastung einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu haben.

Die Vertheilungsnetze. *Allgemeines.* Von den Kraftübertragungswerken wird die Elektricität durch ein primäres Vertheilungsnetz zunächst an Haupttransformator-Stationen abgegeben. Die Haupttransformator-Stationen, die dem Werke Rheinfelden gegenüber als Unterstationen zu betrachten sind, werden nach Möglichkeit im Consum Schwerpunkte der einzelnen Absatzbezirke errichtet und speisen die sekundären Vertheilungsnetze. Die Betriebsspannung des primären Vertheilungsnetzes wird dabei auf die des sekundären Netzes heruntertransformirt und die Elektricität niedriger Spannung dann durch besondere Speiseleitungen den Speisepunkten des sekundären Netzes zugeführt. Je nach der Ausdehnung der engeren Consumbezirke kommen eine oder mehrere Haupttransformatorenstationen in Betracht. Bei sehr ausgedehnten Consumbezirken, beispielsweise bei der Versorgung grösserer Städte, hängen von den Haupttransformatoren-Stationen wieder Unterstationen ab, so dass man dann neben dem primären und dem sekundären Netze auch noch mit einem tertiären Netze zu rechnen hat. Die Elektricitäts-Lieferung für Licht- und Kraftzwecke erfolgt dabei, analog der Energie-Vertheilung von der Generatorstation aus, durch getrennte Primär- bezw. Sekundär-Transformatoren, d. h. durch zwei vollständig von einander unabhängige Betriebe.

Man erzielt daher nicht nur ein vollkommen ruhiges Licht, sondern ermöglicht auch eine ganz besonders einfache Regulirung der Gesammtanlage.

Für die primären Vertheilungsnetze ist, wie bereits erwähnt, eine Betriebsspannung von zunächst 6800 Volt gewählt worden.

Für die sekundären Lichtvertheilungs-Netze erfolgt die Energievertheilung unter Zugrundelegung einer Glühlampenspannung von 120 Volt. Zweckmässig finden an diese Netze auch die Motoren von 4 P.-S. abwärts, die für eine höhere Spannung als 120 Volt nicht mehr rationell gebaut werden

Schaltungsschema für die Kraftübertragungswerke Rheinfelden.

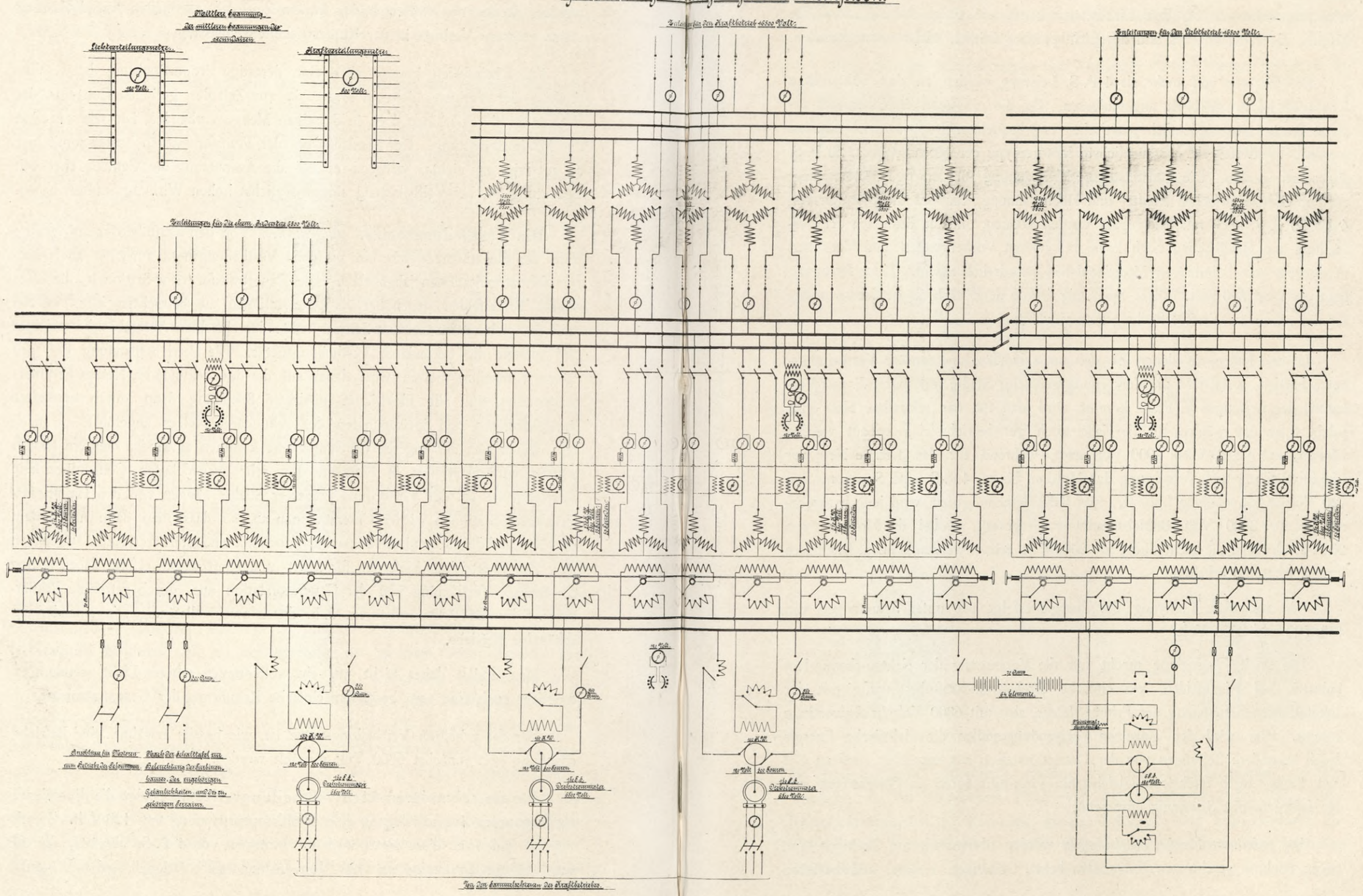

Fig. 9.

können, ihren Anschluss. Das Ein- und Ausschalten dieser kleineren Motoren wird Schwankungen für den Lichtbetrieb kaum zur Folge haben, zumal die Maxima des Kraftbetriebes und des Lichtbetriebes zeitlich nicht zusammenfallen.

Die Motoren von mehr als 4 P.-S. Leistung werden an das sekundäre Kraftvertheilungs-Netz angeschlossen. Da die grösseren Etablissements zumeist den so ausserordentlich praktischen und bequemen Gruppenantrieb erhalten werden, so dürfte als gebräuchlichste Motorentype der Motor von ca. 20 P.-S. angesehen werden. Die günstigste Betriebsspannung für derartige Motoren liegt auf der Grenze zwischen Nieder- und Hochspannung, für die die Motoren von 4 bis 20 P.-S. noch rationell gebaut werden können, und die bezüglich der Vertheilung und Handhabung noch keine besonderen Vorkehrungen und Vorsichtsmassregeln zum Schutz von Menschenleben erforderlich macht. Diese Spannung liegt etwa bei 500 Volt. Diese Spannung wurde denn auch als Betriebsspannung für das sekundäre Kraftvertheilungsnetz gewählt.

In den Fällen, in denen es sich um sekundäre und tertiäre Vertheilungsnetze handelt, wenn also die Versorgung grösserer Städte mit unterirdischer Verlegung der Leitungen in Frage kommt, wird man für das sekundäre Netz eine solche Spannung wählen, für die Kabel noch gut betriebssicher gebaut werden können, und die etwa bei 2000 Volt liegt, während für das tertiäre Netz zur Lichtvertheilung und Versorgung der Motoren bis zu 4 P.-S. eine Spannung von 120 Volt in Anwendung kommt. Das Kraftvertheilungsnetz wird jedoch zweckmässig für 2000 Volt Betriebsspannung ausgebaut, wobei die Motoren von 20 P.-S. abwärts, die nicht direct für 2000 Volt gebaut werden können, besondere Transformatoren erhalten.

Die sekundäre Lieferung der Energie erfolgt also unter Spannungen von 120, 500 und 2000 Volt.

Die einzige Ausnahme macht nur die Versorgung der elektro-chemischen Industrie bei Rheinfelden, wo einfache Drehstrom-Kraftübertragung mit der directen Betriebsspannung des Primär-Netzes, also mit 6800 Volt in Anwendung kommt. Hier wird den einzelnen Verwendungsstellen die elektrische Energie durch besondere Leitungen von der Generatorstation aus zugeführt, und an Ort und Stelle durch Drehstrom-Gleichstrom-Transformatoren in Gleichstrom von der erforderlichen Spannung umgesetzt.

Die *primären Vertheilungsleitungen* werden oberirdisch auf kräftigen, gut gegen Fäulniss geschützten Holzmasten bezw. Gestängen verlegt, und bestehen

aus blanken Kupferdrähten, die auf Dreifachglocken-Isolatoren ihren Halt finden. — Die Grösse dieser Isolatoren ist mit Rücksicht auf die spätere Betriebsspannung von 16 500 Volt bemessen worden.

Beim Bau der Netze kommen mit Ausnahme einiger weniger Strecken, für

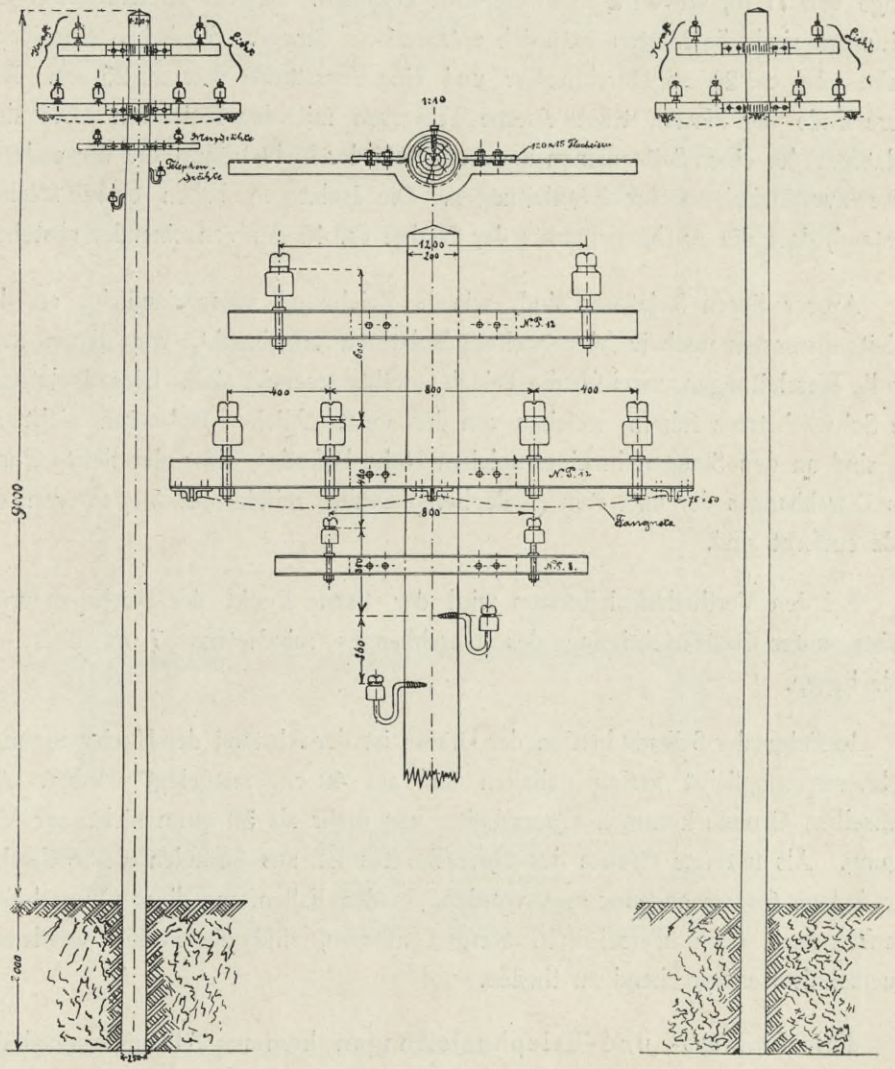

Fig. 60.

die Doppelgestänge nothwendig werden, durchweg einfache Masten zur Verwendung, die im allgemeinen 40 m von einander abstehen. Bei Weg- bezw. Bahnübergängen, bei der Kreuzung fremder Leitungen und beim Berühren belebter Punkte verringern sich natürlich diese Distancen je nach dem speciellen Erforderniss.

Die Dimensionirung und Ausrüstung der Masten ist aus Fig. 60 zu ersehen. Danach hat man mit zwei Typen zu rechnen, nämlich mit Masten zur Aufnahme von 6 Leitungen für die Vertheilungsleitungen und mit Masten zur Aufnahme von 10 Leitungen für die Zuleitungen. Die Masten haben im allgemeinen eine Länge von 11 m, wovon 2 m in die Erde kommen. Bei der Kreuzung fremder Leitungen sind die Masten natürlich entsprechend länger. Sie haben eine Zopfstärke von ca. 20 cm Durchmesser und eine Fussstärke von ca. 25 cm. Das obere Ende der Masten trägt eiserne Traversen mit den Isolatoren. Die drei Isolatoren der einen Seite dienen zur Aufnahme der Lichtstränge, die der anderen Seite zur Aufnahme der Kraftleitungen. Die Isolatoren haben einen solchen Abstand, dass die Aufhängepunkte der Drähte ca. 40 cm von einander abstehen.

Ausser diesen Isolatoren sind, wie die Zeichnung veranschaulicht, an den Zuleitungsmasten noch je vier weitere Isolatoren angebracht, von denen zwei für die Messleitungen, zwei für die Telephondrähte reservirt sind. Diese Isolatoren, die Schwachstrom führen, weichen von den sonst üblichen Isolatoren nicht ab. Sie sind an den Stangen in einer solchen Höhe befestigt, dass der tiefste Punkt des Durchhanges der untersten (Telephon-) Drähte mindestens $6^1/_2$ m von der Erde entfernt sind.

Bei den Vertheilungsleitungen wird der tiefste Punkt der Hochspannungsdrähte unter Berücksichtigung des Durchhanges mindestens 7 m über der Erde liegen.

In Folge der Selbstinduction der Drähte ist der Abstand der Hochspannungs-Isolatoren möglichst gering gehalten und auf 40 cm festgelegt worden. Aus demselben Grunde kommen Querschnitte von mehr als 50 qmm nicht zur Verlegung. Als unterste Grenze des Querschnittes ist aus Gründen der Sicherheit der Anlage 6 qmm angenommen worden. In den Fällen, wo diese Querschnittsgrenzen nach oben überschritten werden müssen, sind die nöthig werdenden Querschnitte entsprechend zu theilen.

Für die Mess- und Telephonleitungen kommen Siliciumbroncedrähte von geringem Querschnitt zur Anwendung. Die letztgenannten Leitungen verbinden die Hauptschwerpunkte des Versorgungsgebietes mit der Kraftstation und gestatten einerseits die Regulirung der ganzen Anlage, andererseits den directen Verkehr dieser Anlage mit der Centrale.

Zum Schutz der Netze gegen Blitzgefahr sind in die einzelnen Leitungen in Entfernungen von ca. 500 m Blitzschutzvorrichtungen eingeschaltet,

die einen etwaigen Blitzschlag auf vorgenannte Länge lokalisiren und für die Leitungen und das Gestänge unschädlich machen. Durch Anbringung dieser Blitzschutzvorrichtungen kurz vor Einmündung der Leitungen in die Generator- und Transformator-Stationen sind auch diese Gebäude gegen Blitzgefahr geschützt.

Weitere Sicherheitsvorkehrungen sind sodann getroffen worden, um Personen, fremde Leitungen etc. gegen etwaige herabfallende Hochspannungs-

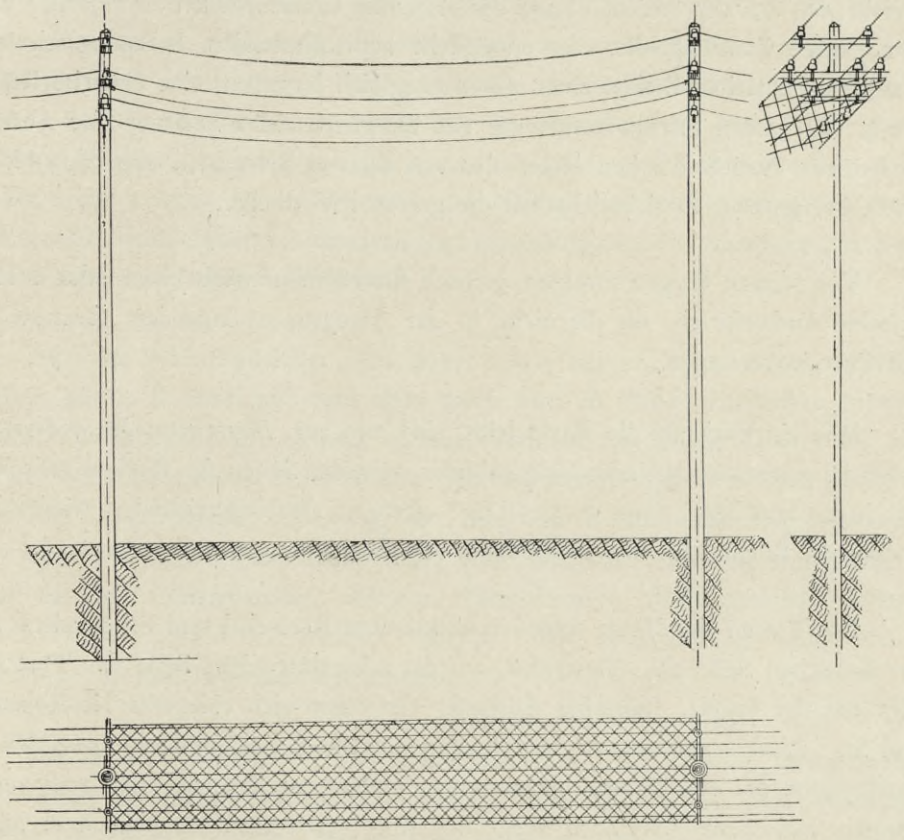

Fig. 61.

drähte zu schützen. Zu diesem Zwecke werden bei Weg- und Eisenbahnübergängen und an besonders frequenten Stellen unter den Hochspannungsleitungen Schutznetze aus leichtem Drahtgeflecht angebracht. Die Aufhängung dieser Schutznetze an den Masten und die ganze Anordnung geht aus den Zeichnungen Fig. 61 ohne weiteres hervor.

Die Tracen der primären Vertheilungsnetze laufen, wie aus der hier beigegebenen Karte zu ersehen ist, einerseits den Flussläufen, andererseits den

Eisenbahnlinien entlang. Zur Verlegung sind die Hauptstrassen in Aussicht genommen. Die Leitungen folgen dabei dem Zuge der noch nicht mit Telephon- bezw. Telegraphen-Linien besetzten freien Strassenseite.

Die zu versorgenden Consumstellen lassen sich am zweckmässigsten durch grosse, geschlossene Ringe untereinander verbinden, die durch Zuleitungen an den Hauptschwerpunkten des Consumes gespeist werden. Die Ringdisposition ergiebt sich aus der örtlichen Lage der einzelnen Consumstellen zu einander und zum ganzen Consumgebiet. Sie ermöglicht bei auftretenden Belastungsschwankungen an einzelnen Stellen einen guten Ausgleich derselben, eine einfache Regulirung der ganzen Energievertheilung und die gleichzeitige Speisung der Absatzstellen von zwei Seiten her, bietet also von allen in Betracht kommenden Netzarten, bei grösster Betriebssicherheit die grössten Vortheile.

Von diesen Ringen zweigen je nach Erforderniss nach innen oder aussen einzelne Ausläufer ab, die die nicht in der Haupttrace liegenden Absatzstellen mit Energie versorgen.

Wie ein Blick auf die Karte lehrt, sind nun zur Versorgung des vorerst in Aussicht genommenen Versorgungsgebietes zu beiden Seiten des Rheines zwischen Säckingen und Basel zwei grosse Ringe gezogen, die untereinander wieder bei Säckingen, Rheinfelden und Basel durch Ausgleichleitungen verbunden sind.

Die Tracen der Ringe folgen zunächst dem Rheinthal und beherrschen auf der badischen Seite das Wiesenthal, auf der schweizerischen Seite das Thal der Birs und der Ergolz. Einzelne Ausläufer erstrecken sich einerseits bis Rohmatt und St. Ludwig, andererseits bis Grellingen. Die Speiseleitungen dieser Ringe durchqueren das von diesen eingenommene Gebiet auf dem nächsten zum zugehörigen Speisepunkt führenden Wege und sind hierzu nach Möglichkeit ebenfalls Hauptstrassen benutzt.

Beide Ringe werden an je 6 Punkten gespeist und sind dazu für den rechtsrheinischen Ring die Städte Säckingen, badisch Rheinfelden, Rheinbasel, Lörrach, Steinen und Schopfheim ausersehen, während bei dem linksrheinischen Ringe die Punkte Rheinfelden, Stein-Säckingen, Gelterkinden, Liestal, Arlesheim und endlich Grossbasel in Betracht kommen.

Die genannten Punkte repräsentiren gleichzeitig die Hauptschwerpunkte der ganzen Consumvertheilung. Einer der Ausläufer, der Strang nach Zell hinauf,

wird in Folge des grossen auf dieser Strecke zu deckenden Consums durch eine besondere Zuleitung mit elektrischer Energie versorgt.

Die einzelnen Consumstellen, die im Zuge der Ringe liegen, theilen dieselben in einzelne Strecken; in den Haupttransformatorstationen, die diesen Consumstellen zur Speisung dienen, finden sie ihre Vereinigung zur Ringleitung. Jede dieser Strecken ist an den beiden Enden mit ausschaltbaren Hochspannungssicherungen versehen, die in den Haupttransformatorenstationen untergebracht sind. Desgleichen sind auch die Zuleitungen an beiden Enden gesichert. Die diesbezüglichen Vorrichtungen finden einerseits in der Generatorstation, andererseits in der Haupttransformator-Station der Speisepunkte ihren Platz. Diese Einrichtung gestattet ein beliebiges Abtrennen von Speise- und Vertheilungsleitungen behufs Untersuchung bezw. Reparatur des Netzes und bewirkt bei einem etwa auftretenden Kurzschluss die automatische Ausschaltung der diesbezüglichen Strecke ohne Störung des übrigen Betriebes.

Aus der Netzdisposition geht ferner noch hervor, dass einige wichtige Punkte, wie z. B. Basel und Säckingen durch zwei an beiden Rheinufern entlang geführte Zuleitungsstränge gespeist werden, wodurch eine grosse Gewähr für die stetige Versorgung dieser Absatzstellen geboten werden kann. Im Uebrigen erlaubt die entsprechende Bemessung der Zu- und Vertheilungsleitungen irgend eine dieser Strecken behufs Untersuchung oder Reparatur vom Netz abzuschalten, ohne dass die Consumstellen, die von dieser Leitung direkt gespeist werden, ausser Betrieb gesetzt zu werden brauchen. Die Energiezufuhr erfolgt dann durch die zunächst liegenden Zuleitungen.

Die Zuleitungsstränge für den rechtsrheinischen Ring und die Leitungen für den Betrieb der chemischen Industrie werden beim Austritt aus der Generator-Station von einem eisernen Doppelgestänge aufgenommen und längs der äusseren Kanalmauer dem badischen Rheinufer und den zugehörigen Leitungstracen zugeführt. Die den linksrheinischen Ring speisenden Zuleitungen müssen beim Verlassen des Maschinenhauses direkt über den Rhein geführt werden. Der Rhein besitzt hier eine Breite von 200 Meter; es erschien deshalb am zweckmässigsten die Ueberführung der Leitungsstränge durch einen Gittersteg zu bewirken, der das schweizerische Ufer direkt mit dem Turbinenhause verbindet und zugleich auch dem Personenverkehr dient. Dieser Steg ruht auf Pfeilern, die in das Rheinbett eingebaut sind und überbrückt den Rhein in Spannweiten von 50 zu 50 Metern. Die Zuleitungen spannen sich von Pfeiler zu Pfeiler auf

dort errichteten Eisengestängen. Auch hier finden die erforderlichen Mess- und Telephonleitungen sowie die bei Rheinfelden vorgesehenen Ausgleichsleitungen ihren Platz.

Die Verbindung der beiden Ringe bei Basel erfolgt längs der dortigen Verbindungsbahn, die von dem badischen Bahnhofe nach dem Centralbahnhofe führt. Die Ueberbrückung des Rheines bei Säckingen wird in einer Spannweite von 200 Meter bewerkstelligt. Die 6 Drähte für Licht und Kraft, die nur einen geringen Querschnitt haben, werden dazu an beiden Ufern von kräftigen Masten in Eisenconstruction gehalten.

Die Einrichtung der Haupttransformatoren-Stationen. In den Haupttransformatoren-Stationen, die nach Möglichkeit in den Consum-Schwerpunkten errichtet werden, und die direkt von dem Vertheilungsnetze mit 6800 Volt gespeist werden, finden die dem betreffenden Consumbezirke entsprechenden Transformatoren für Licht- und Kraftlieferung ihre Aufstellung; ebenso sind in diesen Stationen die Schalt- und Messapparate für die primäre und sekundäre Vertheilung untergebracht. Hier münden auch die Messleitungen der Speisepunkte des sekundären Vertheilungsnetzes ein und stellen an den Messdraht-Sammelschienen die mittlere Vertheilungsspannung des sekundären Netzes her. Von hier gehen sämmtliche Zuleitungen zur Speisung der sekundären Netze aus. Die mittlere Spannung der wichtigsten Consumstellen wird durch besondere Messleitungen der Generatorstation übermittelt, wo sie die mittlere Spannung des ganzen Vertheilungsnetzes darstellt. (Fig. 62.)

Die Haupttransformatoren-Stationen, wie sie für grössere Consumbezirke in Frage kommen, bestehen aus steinernen Häus'chen von 4 m Höhe, die mit Schiefer eingedeckt sind. Je nach der Grösse und Anzahl der darin untergebrachten Transformatoren kommen entweder solche mit 64 Quadratmeter oder solche mit 120 Quadratmeter Grundfläche in Betracht. Gegen den Zutritt von unberufenen Personen werden diese Häus'chen durch einen Zaun geschützt.

Die Lichtvertheilungsanlage. Legt man für die Zuleitungen des primären Vertheilungsnetzes die wirthschaftliche Stromdichte von 0,9 Ampère per Quadratmillimeter zu Grunde, so findet in demselben bei einer Betriebsspannung von 16 500 Volt — Hinauftransformation von der Maschinenspannung vorausgesetzt — ein Energieverlust von ca. 7 % statt. Lässt man ferner in den Vertheilungsleitungen einen Verlust von 1 % zu, so beträgt der Gesammtverlust des primären Netzes ca. 8 %. Die Haupttransformatoren, die in Grössen von 2 bis 5

200 Kilowatt in Anwendung kommen und deren mittlere Grösse etwa bei 50 Kilowatt liegt, erhöhen diesen Gesammtverlust um noch ca. 5%. Beträgt nun noch der Verlust in dem sekundären Netze, selbst wenn bei sehr ausge-

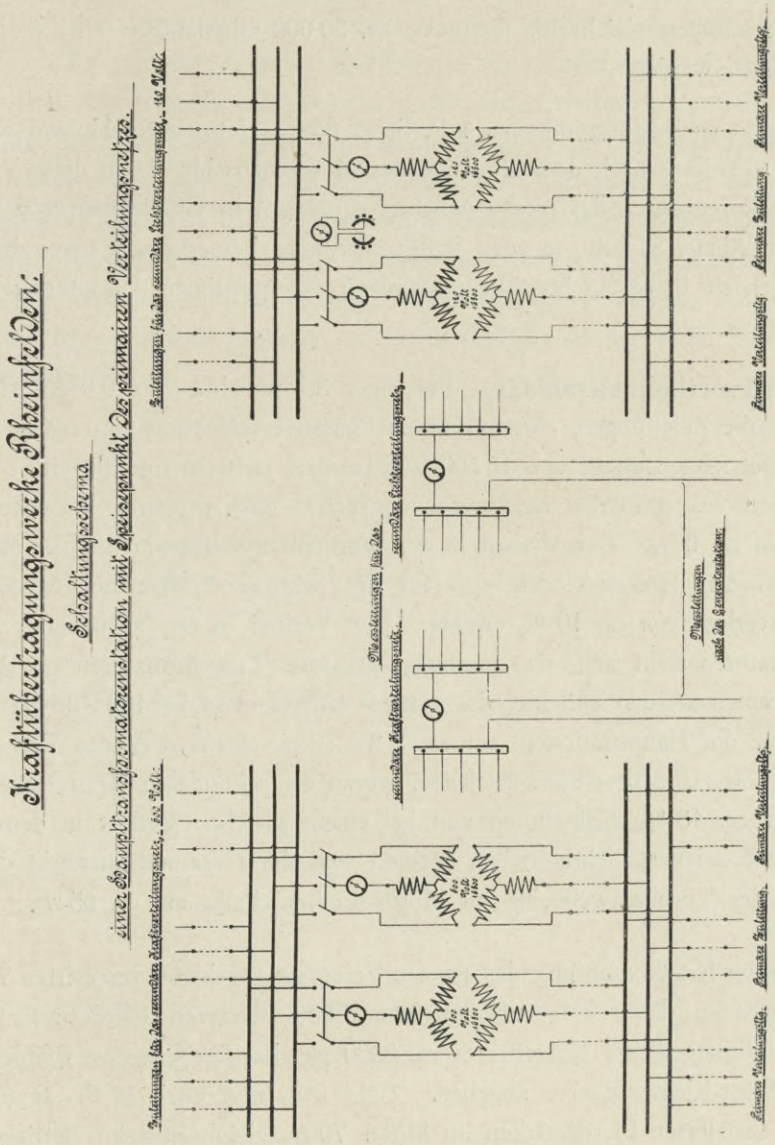

Fig. 62.

dehnten Consumbezirken sekundäre und tertiäre Netze mit Untertransformatoren in Frage kommen sollten 10% und der Verlust in den Generatoren 9%, so beziffert sich der Gesammteffect der Lichtlieferung ab Turbinenwelle zur Glühlampe auf ca. 71,5%.

Da vorerst für die Lichterzeugung 4 Generatoren reservirt werden, so können bei Aufwendung von primär 3360 effectiven Pferdestärken an der Turbinenwelle unter Berücksichtigung des eben ermittelten Nutzeffects ca. 35 400 gleichzeitig brennende Glühlampen à 16 N. K. und bei weiterer Annahme, dass ca. 70 % der installirten Lampen gleichzeitig brennen, ca. 50 000 Glühlampen an dieses Netz angeschlossen werden.

Da nun auch Motoren unter 4 P. S. an dieses Netz angeschlossen werden sollen, so würde je nach dem Umfange des Motorenanschlusses in diesem Netze für den Motorenbetrieb das diesbezügliche Aequivalent in Glühlampen von obiger Summe in Abzug zu bringen sein, wobei allerdings bemerkt sein mag, dass der Motorenbetrieb in der Lichtvertheilungsanlage die günstigste Ausnutzung dieser gestattet.

Kraftvertheilungsanlage. Bei einer Stromdichte von 0,9 Ampère per qmm für die Zuleitungen, einer primären Phasenverschiebung von cos $\varphi = 0{,}8$, und der Betriebsspannung von 16 500 Volt beziffert sich der Energieverlust in den Zuleitungen des primären Kraftvertheilungsnetzes incl. primärer Hinauftransformation auf ca. 8 %. Der Verlust in den Vertheilungsleitungen ist hier auf 2 % erhöht worden, so dass sich also für das primäre Kraftvertheilungsnetz ein Gesammtverlust von ca. 10 % ergiebt. Der Verlust in den sekundären Haupttransformatoren stellt sich, da durchweg grössere Transformatoren zur Anwendung kommen werden und hier die mittlere Grösse etwa bei 100 Kilowatt liegen dürfte, für die Hauptstationen auf ca. 3 %. Bei einem weiteren Verlust von ca. 18 % bis zur Motor-Riemenscheibe, woran die sekundären Kraftvertheilungsnetze mit ca. 13 % theilnehmen und bei einem gleichen Verlust in den Generatoren wie bei den Lichtbetrieben beziffert sich der Gesammtnutzeffekt der Anlage von der Turbinenwelle bis zur Motor-Riemenscheibe auf ca. 65 %.

Die zur Kraftversorgung des ganzen Versorgungsgebietes reservirten 7 Generatoren können daher bei Aufnahme von 5880 effectiven Pferdestärken unter Berücksichtigung dieses Nutzeffectes ca. 3800 gleichzeitige effective Pferdestärken an die Motor-Riemenscheibe abgeben. Zieht man nun noch in Erwägung, dass von den installirten Pferdestärken im Mittel 70 % gleichzeitig im Betriebe sind, so können an die Kraftübertragungsanlage obigen Umfanges Motoren mit einer Gesammtleistung von ca. 5500 effectiven Pferdestärken angeschlossen werden.

Die Kraftversorgung der elektrochemischen Industrie. Bei der Wahl einer Betriebsspannung von 6800 Volt in den Leitungssträngen zur

Bethätigung der Drehstrom-Gleichstrom-Transformatoren wird sich, wie früher nachgewiesen, ein Energieverlust von ca. 2,5 % ergeben, während durch die Umformer selbst ein Verlust von ca. 20 % entsteht. Es nominirt sich somit der Gesammtnutzeffect für diese Anlage, bei einem Verlust von ca. 9 % einschliesslich der Erregung in den Generatoren auf ca. 71 % ab Turbinenwelle bis zu den Klemmen der Gleichstromdynamos der Umformer. Es könnten also durch die 7 Generatoren, die der elektrochemischen Industrie reservirt sind, bei Aufnahme von ca. 5880 effectiven Pferdestärken, an den Klemmen der Gleichstromdynamos der Umformer ca. 4200 effective Pferdestärken oder ca. 3100 Kilowatt geleistet werden. Die Anlage könnte übrigens Nachts über, wenn der über das ganze Consumgebiet vertheilte Kraftbetrieb zum grössten Theile eingestellt ist, für die elektro-chemische Industrie besser ausgenutzt werden, was in Folge der durchwegs gleichen Modelle der Drehstromgeneratoren leicht bewerkstelligt werden kann.

VI.

Die commercielle Ausnützung der Kraftübertragungswerke.

Das Regulativ für die Abgabe elektrischen Stromes. Eine der schwierigsten Fragen für die Finanzirung eines Werkes von dem Umfange der Kraftübertragungswerke Rheinfelden ist die Aufstellung eines sachgemässen Tarifs, der einerseits die Lebensfähigkeit und Rentabilität des Werkes verbürgt und andererseits auch den verschiedenartigen Wünschen der Konsumenten nach Möglichkeit Rechnung trägt. — Die Hauptschwierigkeit beruht darin, dass man bei der Aufstellung des Tarifes nicht von vornherein mit Thatsachen zu rechnen vermag, sondern dass man immer nur einen muthmasslichen Absatz der elektrischen Energie zu Grunde legen kann. Erfahrungen an anderen Werken, Erhebungen an Ort und Stelle über das Bedürfniss von Licht und Kraft, sowie über den wahrscheinlichen Konsum müssen deshalb die Stelle des Thatsachenmaterials vertreten. Um für die Kraftübertragungswerke Rheinfelden zu Wahrscheinlichkeits-Werthen zu gelangen, die den späteren wirklichen Verhältnissen möglichst nahe kommen, sind deshalb schon von der Vorbereitungsgesellschaft für Nutzbarmachung der Rheinkräfte bei Rheinfelden eingehende statistische Erhebungen über den Umfang der Industrie in dem präsumptiven Kraftversorgungsgebiete angestellt worden. Hierbei ergab sich, dass Rheinfelden nicht blos in Bezug auf die Nutzbarmachung der Rheinkraft der günstigste Punkt zwischen der Aaremündung und Basel ist, sondern auch ziemlich in der Mitte eines Industriegebietes liegt, das das Rheinthal von Hüningen bis Säckingen, das Birsthal bis Grellingen, das Wiesenthal von Zell im Schwarzwald bis Lörrach, das Ergolzthal von Sissach bis Basel-Augst (Basel-Land) und Basel-Stadt umfasst. (Vergl. Karte.) Die grösste in Betracht kommende Entfernung ist dabei 22 km (bis Zell), die kleinste 2,0 km (bis Rheinfelden), die mittlere, wie oben angenommen wurde, etwa 20 km.

Die im Mai 1889 an der vorhandenen Industrie des ganzen Bezirkes aufgenommenen Erhebungen ergaben dabei folgendes Resultat:

Industriekreis	Ortschaften	Etablissements	Kraftbedarf P. S.	vorhandene Wasserkraft P. S.	vorhandene Dampfkraft P. S.	Dampf für Wassermangel Min. P. S.	Dampf für Wassermangel Max. P. S.	Beleuchtung Elektr. Lampen	Beleuchtung Gas- u. Oellampen	Kohlen Waggons
Wiesenthal	15	31	4 447	3 489	3 083	714	—	390	7 447	1 334
Rheinthal	3	11	393	140	323	—	—	2 426	G. 200	234
Elsass	2	10	279	—	279	—	—	425	1 010	267
Ct. Bern	2	3	990	990	300	15	330	—	1 370	120
Ct. Aargau	1	2	50	—	50	—	—	.	.	.
Basel-Stadt	1	114	2 828	315	2 701	24	205	Gas	50 000	1 367
Basel-Land	8	15	1 565	1 145	1 295	53	1 187	866	1 982	429
Zusammen . .	32	186	10 552	6 079	8 031	806	4 797	4 107	62 009	3 751

Dieser Tabelle sind zunächst noch folgende Bemerkungen anzufügen:

In der Rubrik „Kohlen" ist der Bedarf der Gasanstalt Basel mit 1432 Waggons nicht mit einbegriffen; ebenso sind einige Gasmotoren (17 P.-S.) nicht mit einbezogen; auch konnte das Kraftbedürfniss für Rheinfelden selbst nicht mit Sicherheit constatirt werden. Endlich ist festgestellt worden, dass die vorhandenen Wasserkräfte namentlich im Wiesen-, aber auch im Birs- und Ergolzthal sehr variabel sind, so dass fast während eines halben Jahres ein fühlbarer Wassermangel vorhanden ist. Um sich jedoch in der Taxirung der zu erwartenden Kraftabnahme keinen Enttäuschungen hinzugeben, wurde in die folgende Rechnung der Mittelwerth zwischen Minimum und Maximum obiger Tabelle — rund 2800 P.-S. per Jahr — in Rechnung gestellt, die als Dampf an Stelle der fehlenden Wasserkraft verbraucht werden müssen.

Aus der Tabelle selbst kann in runden Zahlen auf den gesammten Kraftbedarf geschlossen werden.

1. Kraft für den Industriebetrieb:

Die nominelle Wasserkraft von . . . . . ca. 6 000 P.-S.
wird nach Abzug des mittleren Mangels per Jahr mit . . . ca. 2 800 P.-S.
effectiv betragen: ca. 3 200 P.-S.
Der Kraftbedarf beträgt per Jahr . . . . . ca. 10 500 P.-S.
Der gesammte Ausfall der gegenwärtig durch Dampf zu erzeugen ist, beziffert sich daher auf . . . . . ca. 7 300 P.-S.
Vorhanden sind Dampfkräfte . . . . . ca. 8 000 P.-S.
Ueberschuss . . . . . ca. 700 P.-S.
die wahrscheinlich für anderweitige Industriezweige verwandt werden.

2. *Kraft für Beleuchtung:*

In erster Linie kommen hier die Beleuchtungsverhältnisse von Basel und des Wiesenthales in Betracht, und zwar mit Rücksicht auf die stetige Zunahme des Verbrauches von Gas. 1889 z. B. betrug allein für Basel die Zunahme gegen das Vorjahr 48 %. Die 16-Kerzen-Privatflamme stellt sich dabei auf 2,4 bis 3,3 Centimes per Brennstunde. Unter Zugrundelegung der üblichen Schätzungen kann man für die elektrische Beleuchtung bei ihrer fortschreitenden Entwickelung benöthigte Kraft auf ca. 6000 P.-S. veranschlagen; zusammen mit den 7300 P.-S. für Kraftbedarf würde das Kraftbedürfniss der ganzen Industriezone auf ca. 13 300 P.-S. zu veranschlagen sein. Soll dieser Kraftbedarf durch elektrische Energie gedeckt werden, so muss der elektrische Betrieb, trotz der mit ihm verbundenen Bequemlichkeiten erheblich billiger als jeder andere Betrieb sein. Er muss sogar um so viel billiger als beispielsweise der Dampfbetrieb sein, dass die durch ihn erzielten Ersparnisse gleichzeitig auch eine Amortisation der in der alten Betriebseinrichtung angelegten, bezw. noch nicht abgeschriebenen Kapitalsanlagen ermöglicht. Der Elektricitätstarif muss sich also zwischen den beiden Grenzen der Verzinsung der Kapitalsanlage der Elektricitätswerke einerseits und den Betriebskosten anderer Kraftanlagen andererseits bewegen.

Für die Elektricitätswerke in grossen Städten ist das bekanntlich eine sehr fatale Zwickmühle; und häufig ist es selbst sehr grossen Elektricitätswerken nicht möglich, die Concurrenz mit anderen Betriebskräften aufzunehmen, besonders dann nicht, wenn hauptsächlich Strom für Beleuchtungszwecke erzeugt wird, was bekanntlich die denkbar unökonomischeste Ausnützung der Maschinenanlage bedingt. Demgegenüber befinden sich Elektricitätswerke, die in erster Linie für Kraftübertragungszwecke angelegt sind, in einer weit günstigeren Situation. Die Consumcurve verläuft weit gleichmässiger innerhalb des Bereiches eines Tages und innerhalb grösserer Zeitabschnitte. Der Unterschied zwischen Maximal- und Minimalconsum bildet nur einen bescheidenen Bruchtheil der Maximalleistungsfähigkeit, so dass die Ausnützung von elektrischen Kraftcentralen ausserordentlich ökonomisch ist.

In der gleichen Lage würden sich auch die Kraftübertragungswerke Rheinfelden befinden. Diese Ansicht wird nicht blos durch die Zahlen der Tabelle auf Seite 154 bestätigt, die zeigen, welches erhebliche Kraftbedürfniss überhaupt zu decken ist, sondern vor allem durch eine Betrachtung der Industriezweige, die für die Kraftversorgung hauptsächlich in Betracht kommen.

In der nachstehenden Tabelle führen wir die nach Gewerbegruppen geordneten Daten auf, deren Werthe der ersten Tabelle entsprechen.

Gewerbegruppen	Kraft-bedarf P.-S.	Wasser-kraft P.-S.	Dampf-kraft P.-S.	Maximal-Dampfkraft für Wasser-mangel P.-S.
III. Bergbau, Hütten und Salinen	10	—	10	—
IV. Steine und Erden	136	25	136	25
Va. Metalle ausser Eisen	11	—	11	—
Vb. Eisen	47	30	37	20
VI. Maschinen, Instrumente . . .	284	60	238	15
VII. Chemische Industrie	440	—	440	—
VIII. Leuchtstoffe, Fette, Oele . . .	45	—	45	—
IX. Textilindustrie	7 621	5 195	5 583	4 092
Xa. Papier	520	440	238	180
Xb. Leder	106	94	77	70
XI. Holz	140	140	—	—
XII. Nahrungs- und Genussmittel .	671	135	605	70
XIII. Bekleidung und Reinigung . .	16	—	16	—
XIV. Baugewerbe	15	—	15	—
XV. Polygraphische Gewerbe . . .	358	50	358	320
XVI. Künstlerische Gewerbe . . .	2	—	2	—
XVII. Handelsgewerbe	26	—	26	—
XX. Beherbergung und Erquickung	4	—	4	—
Unbestimmt	100	50	50	—
Zusammen:	10 552	6 079	8 031	4 797

Grade auf Grund dieser Zusammenstellung ist der gedeihlichen Entwickelung der Kraftübertragungswerke Rheinfelden ein sehr günstiges Horoscop zu stellen. Von den in seinem Versorgungsgebiet angesiedelten Gewerbegruppen beansprucht die Textilindustrie mehr als drei Viertel des gesammten Kraftbedarfes. Fünf Achtel der gesammten Dampfkräfte, die für sich allein angewandt werden, und fast die ganze Dampfreserve entfallen auf dieselbe Gewerbegruppe. Die Maschinen der Textilindustrie zeigen im Gegensatz zu den meisten anderen Umformungs-Maschinen die geringsten Schwankungen im Energie - Konsum, sie haben als äusserst ökonomisch arbeitende Maschinen, entsprechend der ganzen Genesis ihrer Entwickelung, den relativ geringsten Leerlauf; sie nützen den Antriebsmotor also sehr vortheilhaft aus, indem sie ihn ziemlich gleichmässig belasten. Das sind Eigenschaften, die besonders dem elektrischen Betriebe und vor allem der Rentabilität eines Elektricitätswerkes zu Gute kommen.

Kann der Elektromotor auch nur mit der Dampfmaschine in Concurrenz treten, so werden fraglos die mit Dampf betriebenen Textilfabriken die stärksten

Elektricitäts-Consumenten werden. Da sich aus den angeführten Gründen aber auch der Wassermangel bei den Textilfabriken am stärksten fühlbar macht, weil in Folge Wassermangels sofort ganze Maschinensätze — Reisswölfe, Webestühle, Selfacters etc. — ausser Betrieb gesetzt werden müssen, so werden die Textilfabriken nicht verfehlen, sich von der für sie unzuverlässigen Wasserkraft zu emanzipiren und eine Betriebskraft anwenden, die ihnen permanenten und billigen Betrieb garantirt, zumal auch für die Textilfabriken des Versorgungsgebietes von Rheinfelden in erster Linie Dampfkraft und erst in zweiter Linie die direkte Wasserkraft in Frage kommt, deren Betriebskosten übrigens relativ gross sind, weil wegen ihrer geringfügigen Ausnutzung die Verzinsung des Anlagekapitals sehr hoch ist.

Unter diesen Gesichtspunkten hat der Tarif der Elektricitätswerke Rheinfelden auch eine nicht geringe wirthschaftliche Bedeutung.

Bei der Aufstellung der Tarifsätze mussten aber noch weitere und allgemeinere Gesichtspunkte in Betracht gezogen werden. Auf der einen Seite soll der Kleinindustrie nicht die Lebensader unterbunden werden, auf der anderen Seite sollen auch dem Grossconsumenten die Vortheile seines grösseren Betriebes nicht entzogen werden.

Von selbst versteht es sich, dass das Tarif-Regulativ jeder unnützen Weitschweifigkeit entbehren und so klar gefasst sein muss, dass der Consument jederzeit die Kostenberechnung für seinen Eigenbedarf selbst aufzustellen vermag.

Was nun die Preisfrage anbetrifft, so sind, wie es schon in der Natur der Sache liegt, getrennte Sätze für Licht- und Kraftlieferung aufzustellen, und zwar weil die Kraftlieferung eine ökonomischere Ausnutzung der Werke gestattet als die Lichtlieferung, billigere Sätze für Kraft als für Licht.

Bei der Aufstellung der Tarifskalen wurde von Einheitspreisen ausgegangen, die sich auf die Kilowattstunde stützen, und die, wegen der relativ billigen Wasserkraft so niedrig gehalten werden konnten, wie selbst nicht an anderen Stätten, wo bisher die Elektricität unter den günstigsten Umständen erzeugt worden war. War dabei doch auch der Gedanke bestimmend, selbst dem kleinen Mann die Vortheile des elektrischen Lichtes und des elektromotorischen Antriebes zu ermöglichen und selbst die Concurrenz mit der Petroleumbeleuchtung aufzunehmen.

Sofern die Grossindustrie als Consument elektrischer Energie in Betracht kommt, musste beachtet werden, dass diese zum grössten Theil mit bereits zur Hälfte verzinsten und amortisirten Dampfkräften arbeitet. Die Bequemlichkeit und Sicherheit des elektrischen Antriebes kann dann so lange nicht als ausschlag-

gebendes Moment in Betracht kommen, so lange nicht durch erheblich geringere Betriebskosten eine Ersparniss erzielt wird, die neben einem absoluten Reingewinn an Ersparnissen noch die Verzinsung und Amortisation der neubeschafften elektrischen Anlage ermöglicht und auch die Zinsen der nicht benutzten oder entfernten alten Dampfanlage deckt.

Die Skala des *Lichttarifes* beginnt mit 40 Pfennigen als Einheitspreis für die Kilowattstunde, was 2 Pfennigen Betriebskosten für die 16kerzige Lampenbrennstunde entspricht. Entsprechend der Benutzungszeit werden auf diesen Einheitspreis noch Rabatte bis zu 80% gewährt, welcher Fall bei ununterbrochener Benutzungszeit eintritt, so dass dann die Kilowattstunde nur auf 8 Pfennige, die 16kerzige Lampenbrennstunde also nur auf 0,4 Pfennige zu stehen kommen würde.

Um dem Kleinconsumenten gleichfalls den Vortheil eines sehr billigen Lichtpreises zu gewähren, wurde als Tarifgrundlage die Benützungszeit, d. h. die durchschnittliche tägliche Brenndauer der installirten Lampe, bezogen auf das ganze Jahr, eingeführt. Dieselbe wird durch den Elektricitätsmesser festgestellt und ist gleich dem Verhältniss der während des Kalenderjahres verbrauchten Kilowattstunden zur normalen Belastung, für die der Elektricitätsmesser der in Frage kommenden Anlage bezeichnet wird.

Der Kleinconsument geniesst also ebenfalls den Vortheil der Rabattskala und hat es in der Hand, mit wenigen installirten Lampen, aber grosser täglicher Brenndauer derselben einen sehr billigen Preis für seine Lampenbrennstunde zu erzielen.

In den Fällen, wo die Kleinheit der Anlage die Aufstellung eines Elektricitätszählers ausschliesst, wird der Preis für die bezogene Energie zu Lichtzwecken pauschaliter zu den im Tarif vermerkten Sätzen verrechnet.

Bei Aufstellung des *Krafttarifes* wurde ebenfalls von einem Einheitspreise für die Kilowattstunde ausgegangen und zwar wurden 7 Pfennige als Anfangspreis der Kraftskala adoptirt.

Bei dem Kraftbetriebe konnte man sich jedoch aus folgenden Gründen mit einer einfachen Rabattskala nicht begnügen. Die sehr niedrig gehaltenen Preise für die Kraftabgabe basiren auf einem 10stündigen Normalarbeitstag. Bei einer allgemeinen kürzeren täglichen Inanspruchnahme des Kraftstromes würden die Kraftübertragungswerke derartige Einbussen erleiden, dass deren Lebensfähigkeit in Frage gestellt werden könnte. Die Einnahmen durften sich deshalb nicht auf die Abgaben für die Stromentnahme beschränken, sondern es musste auch ein Modus gefunden werden, der das Werk wenigstens theilweise von Schwankungen in der Beanspruchung unabhängig macht und ihm von vornherein eine Einnahme

sichert, die den grössten Theil der Selbstkosten deckt, während der übrige Theil lediglich durch Stromeinnahmen seine Deckung findet. Es kommen also hier zwei Momente in Betracht; das eine würde sich unter Berücksichtigung der Aufnahmefähigkeit der Anlage als Einheitssatz oder Grundtaxe darstellen lassen, während das andere Moment die Einheit der Stromlieferung darstellt. Die Grundtaxe würde sich daher auf das installirte Kilowatt, die Stromlieferungstaxe auf die verbrauchte Kilowattstunde beziehen.

Da sich hier die durchschnittliche Benutzungszeit für Klein- und Grossindustrie deckt, so kann analog wie beim Lichtbetriebe nur hinsichtlich der Grösse des Consums der Einheitspreis Ermässigung erfahren, wie sie direkt durch die Aufnahmefähigkeit der Anlage charakterisirt ist. Die Ermässigungen können sich also nur auf die Grundtaxe für das installirte Kilowatt erstrecken, während der Einheitspreis für die verbrauchte Kilowattstunde für alle Abnehmer derselbe bleibt.

Hierbei tritt allerdings der Gegensatz zwischen Klein- und Grossindustrie schroff zu Tage, indem es nur der Grossindustrie ermöglicht wird, in Folge der Grösse ihrer Anlage, einen billigen Einheitspreis zu erzielen. Durch passend gewählte Ermässigungswerthe der Grundtaxe wurde diese Benachtheiligung der Kleinindustrie aber nach Möglichkeit abgeschwächt.

Legt man dem Krafttarif den oben genannten Preis von 7 Pfennig per Kilowattstunde zu Grunde und bemisst man die Normaltaxe für Stromlieferung per Kilowattstunde zu 1,6 Pfennig, so wird sich der Einheitspreis für die Grundtaxe unter Zugrundelegung eines 10stündigen Arbeitstages auf ca. 160 Mark per Jahr stellen.

Dieser Einheitspreis für die Jahresgrundtaxe erfährt nun in dem nachfolgenden Tarife unter Zugrundelegung der oben angeführten Principien eine Ermässigung je nach der Grösse der Anlage; die Rabatte steigen zunächst sehr rasch an und nähern sich allmählich immer weniger rasch ansteigend ihrem maximalen Endwerthe.

Regulativ

für die Abgabe elektrischen Stroms ab den Kraftübertragungswerken Rheinfelden.

§ 1.

Die Energie wird geliefert als Drehstrom in Spannungen von 120, 500 oder 2000 Volt zwischen den Leitungen und mit einer Wechselzahl von circa 50 Perioden pro Sekunde. Wo die Verhältnisse es gestatten, empfiehlt sich zu Zwecken der Beleuchtung der Anschluss an das von der Kraftvertheilungsanlage unabhängige Lichtleitungsnetz, für welches gesonderte Dynamos und Turbinen zur Verwendung kommen sollen.

§ 2.

Die Hochspannungsleitungen, sowie die jeder Ortschaft dienenden Primärtransformatoren werden für Rechnung der Gesellschaft von dieser hergestellt.

Die Herstellung der Zuleitungen dagegen von diesen Transformatoren bis zu den Elektricitätsmessern, sowie die Unterhaltung dieser Leitungen mit allen dazu gehörigen Apparaten erfolgt für Rechnung der Abnehmer ausschliesslich durch die Gesellschaft.

Wo eine Abzweigung von den Hauptleitungen nothwendig wird, bleibt besondere Vereinbarung vorbehalten.

Die Abnehmer elektrischer Energie gestatten der Gesellschaft die unentgeltliche Führung der nöthigen Leitungen nebst Zubehör über ihren Grund und Boden.

§ 3.

Die Herstellung der Installationen hinter den Elektricitätsmessern, sowie die Beschaffung aller Motoren, Apparate und Einrichtungen bleibt den Abnehmern unter Beobachtung der von der Gesellschaft ertheilten Vorschriften überlassen. Diese können den gewonnenen Erfahrungen entsprechend Seitens der Gesellschaft jederzeit ergänzt oder geändert werden. Auch steht der Gesellschaft das Recht zu, die Anlagen jederzeit zu prüfen.

Auf Wunsch der Consumenten können Aufträge auf vorgenannte Installationsarbeiten und Lieferungen auch durch die Gesellschaft vermittelt werden.

§ 4.

Die Preisberechnung für den Bezug elektrischer Energie zu Lichtzwecken erfolgt im Allgemeinen nach dem durch Elektricitätsmesser ermittelten Energieverbrauch. Als Einheit gilt die Kilowattstunde, und beträgt der Preis derselben

40 Pf. (50 Cts.). Auf vorstehenden Einheitspreis werden gemäss der Benutzungszeit nachstehende Rabatte gewährt und zwar bei jährlich längerer Benutzungszeit als:

500	Stunden	5	Procent;	600	Stunden	10	Procent;
700	»	15	»	800	»	20	»
900	»	25	»	1000	»	30	»
1500	»	40	»	2000	»	50	»
3000	»	60	»	4000	»	70	»
5000	»	76	»	6000	»	80	»

Als durchschnittliche Benutzungszeit gilt das Verhältniss der während des Kalenderjahres verbrauchten Kilowattstunden zur normalen Belastung, für welche der entsprechende Elektricitätsmesser Seitens der Gesellschaft bei der Abnahme der Anlage bezeichnet wird.

Der Preis der durch die Elektricitätsmesser ermittelten Energie für motorische Kraft und andere als Beleuchtungszwecke beträgt: 1,6 Pfennig, resp. 2 Centimes pro Kilowattstunde.

Ausserdem haben die Abnehmer pro installirtes Kilowatt jährlich eine Grundtaxe zu entrichten; diese beträgt für die Anlagen mit einer Aufnahmefähigkeit:

zwischen	0,1	bis	0,9	Kilow.	(ca.	0	bis	1	eff. PS.)	=	160 M.	(Frcs.	200.—	)
»	1	»	4	»	(»	1	»	5	»	) =	140 »	(»	175.—	)
»	5	»	20	»	(»	6	»	25	»	) =	128 »	(»	160.—	)
»	21	»	40	»	(»	26	»	50	»	) =	116 »	(»	145.—	)
»	41	»	80	»	(»	51	»	100	»	) =	104 »	(»	130.—	)
»	81	»	160	»	(»	101	»	200	»	) =	96 »	(»	120.—	)
»	161	»	300	»	(»	201	»	375	»	) =	84 »	(»	105.—	)
»	301	»	500	»	(»	376	»	625	»	) =	72 »	(»	90.—	)
»	501	»	800	»	(»	626	»	1000	»	) =	62 »	(»	77.50	)
»	801	»	1200	»	(»	1001	»	1500	»	) =	56 »	(»	70.—	)
		über	1200	»	(		über	1500	»	) =	52 »	(»	65.—	)

Jedes angefangene Zehntel-Kilowatt wird hierbei als volles Zehntel in Rechnung gebracht.

In jedem Fall hat ein Abnehmer an Grundtaxe und Abgabe für den Stromverbrauch zusammen per installirtes Kilowatt mindestens 100 M. pro Jahr zu bezahlen.

Die Aufnahmefähigkeit einer Anlage ist gleich der Summe der Aufnahmefähigkeiten der einzelnen Stromaufnehmer, welche gleichzeitig in Betrieb gesetzt werden können und deren Höhe bei Abnahme der neuinstallirten Anlage Seitens der Gesellschaft festgestellt wird.

Die Benutzung des Kraftstromes zu Beleuchtungszwecken ist nur in Ausnahmefällen mit besonderer Genehmigung der Gesellschaft gestattet.

§ 5.

Auf den Energiebezug für Kraftzwecke wird ein Rabatt von 10 Procent gewährt für diejenigen Abnehmer, deren Anlage in einer Entfernung von nicht mehr als drei Kilometer von der Centrale gelegen ist.

Dieser Rabatt erstreckt sich nur auf die Grundtaxe.

§ 6.

Die Gesellschaft behält sich das Recht vor, elektrische Energie sowohl für Beleuchtungs- als auch für andere Zwecke unter Umständen auch zu Pauschalpreisen abzugeben. Für solche Fälle gelten für Beleuchtungszwecke die folgenden Pauschalpreise:

Glühlampe à	bei kurzer Brenndauer				bei mittlerer Brenndauer				bei langer Brenndauer			
	M.	Pf.	Frcs.	Cts.	M.	Pf.	Frcs.	Cts.	M.	Pf.	Frcs.	Cts.
5 Normalkerzen . .	2	40	3	—	4	40	5	50	5	20	6	50
10 » . .	4	80	6	—	8	80	11	—	10	40	13	—
16 » . .	7	60	9	50	14	—	17	50	16	40	20	50
25 » . .	12	—	15	—	22	—	27	50	26	—	32	50
32 » . .	15	20	19	—	28	—	35	—	32	80	41	—

Die Festsetzung von Pauschalpreisen für andere Zwecke bleibt besonderer Vereinbarung von Fall zu Fall vorbehalten.

§ 7.

Die Messung der elektrischen Energie erfolgt durch solche Apparate, welche die Gesellschaft als geeignet erachtet. Dieselben werden den Abnehmern unentgeltlich zur Benutzung überlassen; auch trägt die Gesellschaft die Kosten ihrer Unterhaltung und etwaiger Reparaturen, sofern nicht die Beschädigung durch die Schuld des Abnehmers herbeigeführt worden ist, in welchem Falle dieser zur Rückerstattung der Kosten verpflichtet ist.

Der Gesellschaft allein steht die Entscheidung über die Grösse sowie die Art der Aufstellung der zur Benutzung erforderlichen Messer zu.

§ 8.

Die Abnehmer sind berechtigt, die benöthigte elektrische Energie zu jeder Tages- oder Nachtzeit regelmässig zu verlangen. Sollte die Gesellschaft jedoch durch Feuersgefahr, Wassernoth, Naturereignisse, Krieg, überhaupt durch Ursachen, deren Verhinderung nicht in ihrer Macht steht, in der Erzeugung elektrischer Energie und deren Fortleitung zu den Bezugsquellen der Abnehmer verhindert sein, so hört ihre Verpflichtung zur Lieferung derselben so lange auf, bis die Störung und deren Folgen beseitigt sind, und kann der Abnehmer in solchen Fällen keinerlei Entschädigung beanspruchen.

Ausserdem steht der Gesellschaft das Recht zu, zum Zweck der Unter-

haltung und erforderlichen Revision ihrer Anlagen, an Sonntagen den Betrieb in der Zeit von 9—12 Uhr Vormittags ganz oder theilweise einzustellen.

§ 9.

Die Bezahlung der Grundtaxen und Pauschalen erfolgt pränumerando am Ersten eines jedes Jahresquartales. Im Uebrigen erfolgt die Bezahlung der verbrauchten elektrischen Energie nach den Angaben der Messapparate zu den gleichen Zeitabschnitten postnumerando.

Die Abnehmer auf deutschem Gebiete haben ihre Zahlungen in Mark, diejenigen auf Schweizer Gebiet in Franken zu leisten.

§ 10.

Die Verträge über die Abgabe elektrischer Energie werden auf die Dauer von mindestens drei und höchstens zwanzig Jahren abgeschlossen.

Wird ein Vertrag nicht drei Monate vor Ablauf mittelst eingeschriebenen Briefes an die Gesellschaft gekündigt, so bleibt derselbe jeweilen wieder ein weiteres Jahr in Kraft.

Ausnahmsweise kann die Gesellschaft von einem abgeschlossenen Vertrage zurücktreten, wenn sie die nöthige behördliche Bewilligung für die Herstellung der Zuleitung gar nicht oder nur unter erschwerenden Bedingungen erhalten kann.

§ 11.

Die Abnehmer haben für gute Instandhaltung der der Gesellschaft gehörenden Einrichtungen Sorge zu tragen und sie gegen Brandschaden zu versichern.

Den Beamten der Gesellschaft steht das Recht zu, die Anlage jederzeit zu revidiren. Finden sich bei diesen Revisionen Abweichungen gegen die ursprünglichen Feststellungen zum Nachtheil der Gesellschaft, so ist diese berechtigt, Schadloshaltung für die ganze Zeit seit der letzten Revision, gleichviel ob die Abweichungen die ganze Zeit vorhanden waren oder nicht, zu verlangen.

§ 12.

Der Gesellschaft steht das Recht zu, falls ein Abnehmer ihren Beamten und Aufsehern den Zutritt zu den Leitungen, Maschinen und elektrischen Messapparaten verweigert, oder die in diesem Regulativ vorgesehenen Zahlungen nicht pünktlich leistet, ohne vorherige richterliche Entscheidung die Leitung absperren zu lassen und die fernere Lieferung elektrischer Energie einzustellen.

§ 13.

Die Gesellschaft behält sich das Recht vor, die in diesem Regulativ festgesetzten Preise später insbesondere für diejenigen Abnehmer, welche erst nach der Inbetriebsetzung der Anlage sich zum Bezug elektrischer Energie vertraglich verpflichten, zu erhöhen.

Rheinfelden, im Januar 1896.

Direktion der Kraftübertragungswerke Rheinfelden.

Der Tarif hat in zwei Richtungen besonderes Interesse für den Elektricitätsconsumenten, dessen erste Frage lautet, was kostet mich die elektrische Pferdekraft und was kostet mich die elektrische Beleuchtung im Vergleich zu anderen Betriebsmitteln.

Die Frage nach den wirklichen Jahreskosten der elektrischen Betriebskraft ist nicht so einfach zu beantworten, wie sie gestellt wird, denn für den elektromotorischen Antrieb kommen ganz andere Gesichtspunkte in Betracht als für die Dampfmaschine.

Wendet man Dampfkraft an, so kommt für jedes Etablissement im Allgemeinen nur eine einzige Dampfmaschine in Betracht, von der aus die Kraft an die verschiedenen Arbeitsmaschinen mechanisch vertheilt wird. Dabei ändern sich die Betriebskosten (Kohlenverbrauch) nicht wesentlich, ob wenige oder zahlreiche Arbeitsmaschinen leer laufen. Durchschnittlich stehen die Betriebskosten einer Dampfmaschine in einem bestimmten Verhältniss zu ihrer effectiven Leistungsfähigkeit und nicht zu ihrer jeweiligen Leistung.

Beim Elektromotor dagegen ist das Verhältniss ein total anderes. Der Elektromotor schmiegt sich in seinem Elektricitätsverbrauch fast vollkommen seiner Belastung an. Während die Dampfmaschine bezw. der Dampfkessel permanent, auch während der Arbeitspausen, unter Dampf gehalten werden muss, kann der Elektromotor jeden Augenblick in Betrieb und ausser Betrieb gesetzt werden und konsumirt in dem letzteren Falle natürlich überhaupt keine Elektricität. Am günstigsten gestaltet sich deshalb der Antrieb mit Elektromotoren auch dort, wo eine unmittelbare Verbindung mit der Arbeitsmaschine durchführbar ist. Nach den Erfahrungen, die bisher mit dem elektrischen Antriebe gemacht worden sind, konsumirt ein Elektromotor bis zu 10 P. S. im Jahresdurchschnitt nur etwa ein Drittel der Elektricitätsmenge, die er überhaupt aufnehmen könnte. Bei grösseren Elektromotoren, die Gruppen von Arbeitsmaschinen antreiben, erhöht sich die durchschnittliche Belastung auf nur ca. 50% der maximalen Aufnahmefähigkeit. Und selbst wenn man die Textilmaschinen mit in Betracht zieht, die wie erwähnt, einen ziemlich constanten Energieaufwand beanspruchen, wird man dem elektromotorischen Antrieb nicht zu Gunsten rechnen, wenn man für das Rheinfelder Versorgungsgebiet den wirklichen Elektricitätskonsum der Elektromotoren im Durchschnitt mit 70% seiner Aufnahmefähigkeit in Ansatz bringt.

In Folgendem sind nun die wirklichen Betriebskosten bei Benutzung von Dampfkraft und bei elektromotorischem Antriebe mit einander in Parallele gesetzt

worden und zwar dienten für die Kosten der Dampfkraft die an Ort und Stelle gemachten Erhebungen zur Grundlage, während für die elektrische Energie die Sätze des Tarifes in Anwendung kamen unter Voraussetzung einer durchschnittlichen Belastung von 70% ihrer Aufnahmefähigkeit.

Einen Ueberblick über diese Verhältnisse giebt zunächst das Diagramm (Fig. 63), bei dem zehnstündige Arbeitszeit zu Grunde gelegt worden ist.

Wie aus diesem Diagramm hervorgeht, bleibt die Curve der Kosten des elektrischen Betriebes selbst für die grössten Motortypen hinter der des Dampfbetriebes weit zurück. So kostet z. B. die effektive Pferdekraftstunde an der Arbeitsmaschine bei einer Dampfanlage mittlerer Grösse mit einer Betriebsdampfmaschine von 300 effektiven P. S. 7,4 Pfennig, während die effektive Pferdestärke bei elektrischem Antriebe nur auf 4,7 Pfennig zu stehen kommt.

Einer 300pferdigen Dampfmaschine kommt nämlich eine ca. 210pferdige elektrische Anlage gleich, bei der, unter Voraussetzung des Gruppenantriebes, die Energieverluste in den Haupttransmissionssträngen herausfallen. Zieht man dann noch in Betracht, dass für den elektrischen Antrieb nur 70% mittlerer Belastung — also nur ca. 150 Pferdestärken im Mittel — in Betracht kommen, und ein 10stündiger Betrieb während 300 Arbeitstagen im Jahre stattfinden soll, so ergiebt sich für die elektrische Pferdekraftstunde unter Annahme von 84% Nutzeffekt der Elektromotoren, laut Tarif der eben angeführte Preis, nämlich

$$\frac{180 \cdot 84 + 0{,}016 \cdot 3000 \cdot 126}{150 \cdot 3000} = 4{,}7 \text{ Pfennige.}$$

Es stellt sich also für vorliegenden Fall die effektive Pferdekraftstunde an der Arbeitsmaschine bei elektrischem Betrieb um 2,7 Pf. billiger als bei Dampfbetrieb, was einer jährlichen Ersparniss von

$$0{,}027 \cdot 150 \cdot 3000 = 12150 \text{ Mark}$$

an Betriebskosten entspricht.

Nimmt man nun an, dass die Herstellungskosten — der effektiven P. S. bei Errichtung der elektrischen Anlage incl. Netz und Zuleitung ca. 100 Mark betragen, so wäre für den vorliegenden Fall für den Bau der elektrischen Motoren-Anlage ein Kapital von

$$210 \cdot 100 = 21000 \text{ Mark}$$

aufzuwenden, wofür bei 10% Verzinsung und Amortisation jährlich 2100 Mk. ausgeworfen werden müssten; von der Bruttoersparniss abgezogen, ergiebt sich also eine Nettoersparniss an Betriebskosten von rund 10000 Mk.

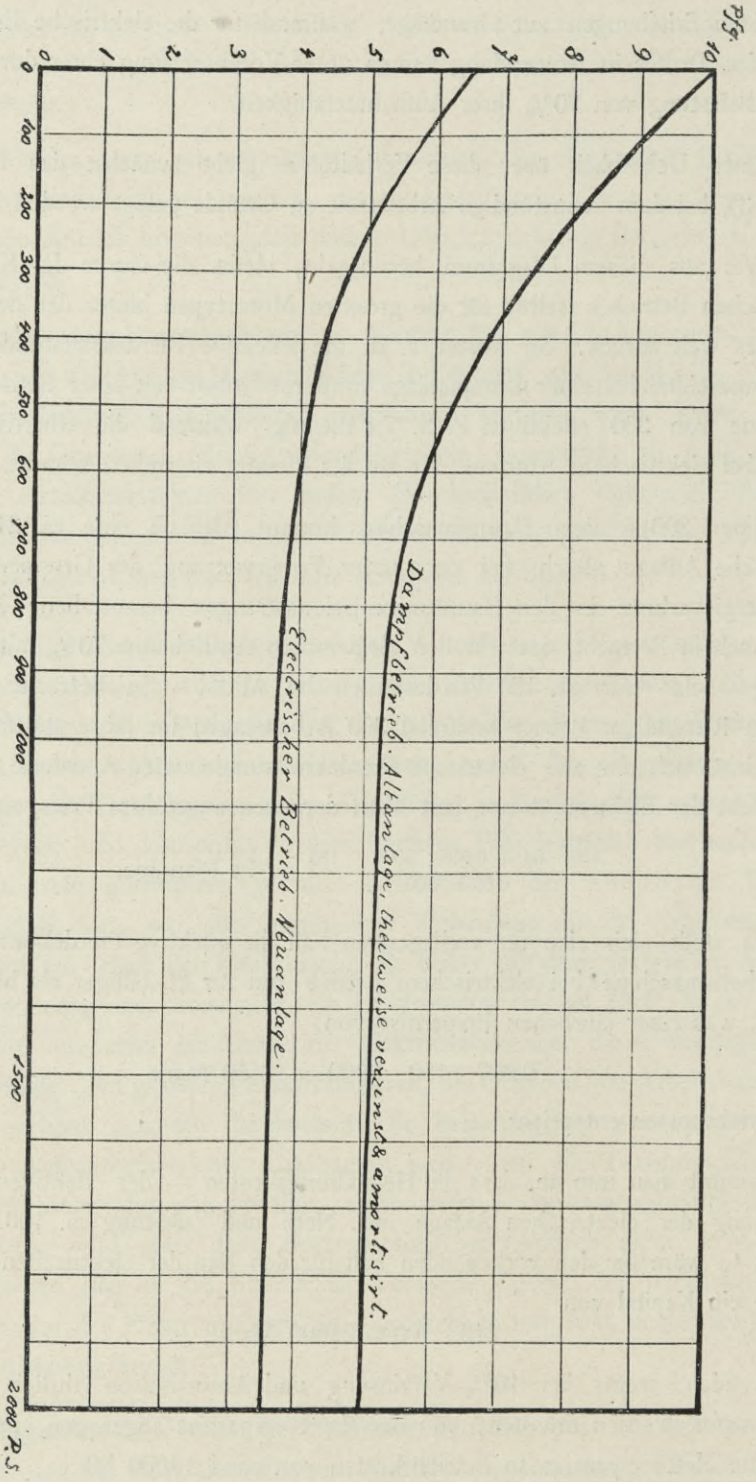

Fig. 63. Betriebskosten bei Dampfkraft und elektromotorischem Antrieb.

Andere Beispiele sind direkt aus dem Diagramm abzulesen.

Ein einziger Blick zeigt die ausserordentliche ökonomische Ueberlegenheit des elektromotorischen Betriebes über den Betrieb durch eigene Dampfkraft. Besonders auffallend sind diese Differenzen bei den kleinen Motoren, weniger stark bei den grösseren. Bei einem grösseren Energiebedarf werden aber naturgemäss auf Grund besonderer Vereinbarungen noch weitere, erhebliche Preisermässigungen eintreten, so dass das Werk Rheinfelden der Industrie Betriebskraft zu einem Preise liefern wird, wie man sie sich billiger auf keinen Fall selbst erzeugen kann. Damit aber ist auch die Rentabilität der Kraftübertragungswerke Rheinfelden von vornherein gewährleistet. In der That gehen denn auch aus allen Orten die Anmeldungen für Kraftabnahme zahlreich ein.

Die Zukunft des Werkes Rheinfelden. Es ist in hervorragender Weise das Verdienst der derzeitigen Direktion der Kraftübertragungswerke Rheinfelden, die Rentabilität des Rheinfelder Werkes ausser Frage gestellt zu haben, noch ehe es Strom zu liefern im Stande ist. Das Augenmerk ist dabei in erster Linie darauf gerichtet gewesen, für geschlossene Bezirke selbständige Tochter-Gesellschaften der Rheinfelder Werke zu bilden, die als Grossabnehmer in Betracht kommen, um so den Verwaltungsapparat der Mutter-Gesellschaft zu entlasten.

So ist am 13. April ds. Js. eine »Elektricitäts-Gesellschaft für Basel-Land« in das Leben gerufen worden, die in innigem Kontakt mit dem Rheinfelder Werke steht. Die Tochter-Gesellschaft mit dem Sitz in Liesthal erhält von Rheinfelden aus die elektrische Energie zu Engrospreisen, wobei die ersten zwei Jahre noch mit besonderen Vergünstigungen bedacht sind. Die Preise sind etwas höher als Selbstkostenpreise, der eigentliche Nutzen wird für das Rheinfelder Werk aus den 10% erwartet, die die Tochter-Gesellschaft von ihrem Reingewinn über ihre Unkosten und Kapitalverzinsung hinaus an Rheinfelden zu entrichten hat. Die Tochter-Gesellschaft besorgt also im Wesentlichen nur die Detailirung der elektrischen Energie und Vertheilung derselben an die Consumenten.

Grade die Gründung dieser Gesellschaft hat ein besonderes Interesse. In Liesthal besteht bereits ein Elektricitätswerk, das jedoch nicht recht prosperirt, weil es hauptsächlich unter den hohen Gestehungskonten zu laboriren hat. Aus diesem Elektricitätswerk ist die neue Elektricitätsgesellschaft herausgewachsen, die zu einem Theil die Anlagen des alten Elektricitätswerkes benutzen will, um nun nicht mehr Elektricität selbst zu erzeugen, sondern um sie — zum Theil mit den alten Maschinen in Gleichstrom transformirt — in den alten Leitungen

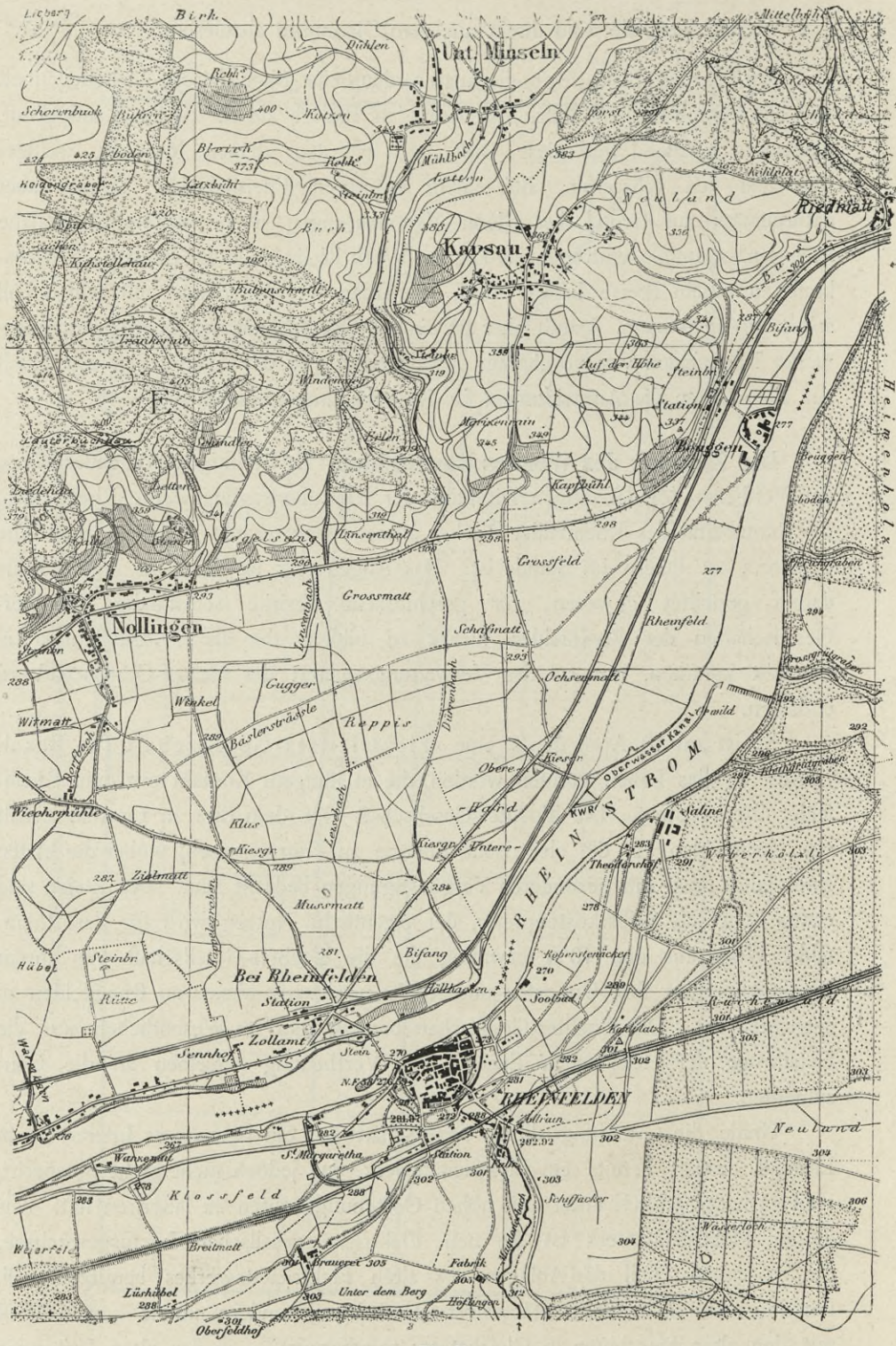
Unt. Minseln
Kaysau
Riedmatt
Nollingen
Grossmatt
Grossfeld
Rheinfeld
Schafmatt
Ochsenmatt
Gugger
Reppis
Wenkel
Wirmatt
Wiechsmühle
Klus
Kiesgr.
Zielmatt
Musermatt
Bifang
Steinbr.
Hübel
Rütze
Bei Rheinfelden
Station
Zollamt
Sennhof
RHEINFELDEN
Salinen
Theaterhof
Soolbad
Kohlplatz
Neuland
Wasserfeld
Klossfeld
Breitmatt
Brauerei
Fabrik
Unter dem Berg
Hofjungen
Lüshübel
Oberfeldhof
Schiffäcker
Heimenholz
RHEIN STROM
Obervasser Kanal
KWR

Fig. 64.

an die Consumenten billiger zu vertheilen, als es vordem bei der Selbsterzeugung möglich gewesen ist.

Die Gründung der genannten Gesellschaft ist deshalb ein gutes Zeichen für die voraussichtliche Prosperität des Rheinfelder Unternehmens.

Weiterhin aber steht mit Sicherheit zu erwarten, dass nicht blos bestehende industrielle Etablissements motorische Kraft aus den Rheinfelder Anlagen beziehen werden, sondern dass sich in Folge der durch die billige Lieferung von Energie erleichterten Concurrenz auch rasch neue Industrien in dem Versorgungsgebiete von Rheinfelden ansiedeln werden.

Wenn sonst auch noch die Industrie des Oberrheins ein still beschauliches Dasein pflegt, weil ihr der moderne Lebensnerv, die Kohle, fehlt, so wird sie doch bald in der Nähe von Rheinfelden, um ein natürliches Gravitationscentrum herum, in die lebhafte Bewegung der Weltindustrie mit hineingezogen werden. An die Stelle der Kohle tritt das modernste Lebenselement, die Elektricität, die der neuen Industrie frische Kräfte leiht. — Nach dem Ausbau des Werkes Rheinfelden werden in jener Gegend thatsächlich alle Vorbedingungen erfüllt sein, um das obere Rheinthal zu einem Industriecentrum allerersten Ranges zu machen; denn auch in lokaler Hinsicht ist alles da, was entwickelungsförderisch auf neue Industrien wirkt.

Die Umgebung von Rheinfelden ist fruchtbar und bietet somit die natürlichsten Hilfsquellen für die Ansiedelung und billige Ernährung einer zahlreichen Arbeiterbevölkerung. — Zwei Bahnlinien, Basel-Zürich und Basel-Constanz, gewähren der dort angesiedelten Industrie den unmittelbaren Anschluss an den Weltverkehr. — Das für zahlreiche Industrien benöthigte Wasser liefert der Rhein. — Für Bauzwecke liefert der badische Schwarzwald ein treffliches Steinmaterial und billiges Holz und die diluvialen Lehmlagerstätten begünstigen die Anlage von Ziegeleien etc.

Die Umgebung hat grosse landschaftliche Reize, die auch für den begüterten Industriellen verlockend sein können, sich an dem Rheinufer niederzulassen, zumal die Nähe von Basel und Zürich auch die Pflege des gesellschaftlichen Verkehrs erleichtert.

In der That sind denn auch bereits die ersten Ansätze gemacht worden, in und um Rheinfelden eine grosse Industrie zu concentriren. Seitens der Kraft-

übertragungswerke Rheinfelden sind sowohl auf dem badischen als auch auf dem schweizerischen Rheinufer grosse Landkomplexe erworben worden, die parzellirt und gleich als Baugrund hergerichtet, an die Industriellen, die sich dort niederlassen wollen, abgegeben werden können.

Die ganze Rheinterrasse von Beuggen bis Karsau und Nollingen (vergl. Fig. 64) befindet sich bereits im Besitz der Kraftübertragungswerke Rheinfelden und auf schweizerischer Seite das Grundstück »Theodorshof«.

Wenn die Rheinfelder Werke ausgebaut sein werden, kann in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft sofort eine grosse Industriestadt fast über Nacht entstehen. Die Strassenzüge, Anschlussgleise der Grundstücke an die bestehende Hauptbahn, Arbeiterhäuser, Trinkwasserversorgung und Kanalisation wurden bereits projektirt.

Die grossen Grundstückserwerbungen, die dem ganzen Unternehmen einen fast amerikanischen Charakter, den Charakter eines weitausschauenden Horizontes geben, sind ein weiteres Verdienst der derzeitigen Direktion der Kraftübertragungswerke. Sie geschahen in erster Linie zu dem Zwecke, den industriellen Unternehmungen sofort baufertiges und billiges Terrain zu sichern, indem durch die Ankäufe im Grossen der Spekulation von Bodenhaien das Handwerk gelegt wurde. Die Ankäufe von Terrain waren zum Theil mit grossen Schwierigkeiten verknüpft; abgesehen von dem Terrain, das früher zur Domäne Beuggen gehörte, und dessen Erwerb wir schon früher erwähnt hatten, ist das Land meist in kleine Bauernwirthschaften parzellirt, und wer die berüchtigte Bauernschlauheit kennt, wird die Schwierigkeiten des Landkaufs unter den gegebenen Verhältnissen zu würdigen wissen. Die Direktion half sich damit, dass Gemeindeversammlungen einberufen wurden, in denen die Vortheile des grossartigen Unternehmens auch für die Gemeinden selbst auseinandergesetzt und für den Landerwerb einheitliche, für alle Besitzer durchaus gleiche Bedingungen festgesetzt wurden. So gelang es, sämmtliche benöthigte Grundstücke zu erwerben mit Ausnahme von einigen wenigen, deren Besitzer noch immer glauben, dass sie später einen höheren Preis werden erzielen können, während doch ihr Land nach Belieben der Werke ganz ausser Connex mit den Vortheilen der Werke, insbesondere der Stromlieferung gesetzt werden kann.

Das Land für die neue Industriestadt ist also bereits da, und die Industrien werden bald kommen. Zwei grosse industrielle Etablissements, eine Filiale der Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft Neuhausen und eine Filiale der Calciumcarbidwerke in Bitterfeld, haben bereits mit Rheinfelden Verträge abgeschlossen,

die die Lieferung der Kraft von 10 Turbinen (8400 PS.), der ersten Etappe des Ausbaues der Kraftübertragungswerke Rheinfelden, umfassen. Mit ihrem Stamm von Arbeitern und ihrem Beamtenpersonal, mit den in ihrem Gefolge ziehenden Lehrern, Geschäftsleuten, Aerzten u. s. w. werden diese beiden Werke die erste Kolonie für die neue Industriestadt des Oberrheines bilden, andere Industrien werden sich in rascher Folge anschliessen; die Industriellen des Wiesenthales und der nächsten Umgebung von Rheinfelden bekunden bereits jetzt ihr lebhaftestes Interesse für den Bezug der elektrischen Energie; es werden immer neue Menschenmassen die aufstrebende Stadt bevölkern, und sie alle ziehen ihr Lebenselement aus der unversiegbaren Kraft des alten Vaters Rhein.


Kraftübertragungs-Werke
Rheinfelden.
Farben-Erklärung:
Flussläufe.
Netztracen.
Häg
Rohmatt
Mombach
Azenbach
Zell
Hausen
Haltest. Fahrnau
Fahrnau
Hasel
Langenau
Schopfenheim
Hauingen
Steinen
Haagen
Rötteln
Thomringen
Brombach
Hüsingen
Maulbg.
Eichen
Wiechs
Wehr
Klosterhof
Nordschwaben
Rossenbach
Enkendorf
Lörrach
Adelhsn.
Niedersassenbach
Unter Tüllingen
Ober
Weitenau
Stetten
Weidhof
Ober Eichsel
Mirsel
Unter
Nünlingen
St. Ludwig
Huningen
Burgfelden
Riehen
Inzlingen
Weder
Degerfelden
Christoph
Rührberg
Nollgn
Salme Burg
Öflingen
Wallbach
Säckingen
Obersäckingen
Ob. Wallb.
Mölin
Unter
Herthen
Warmbch.
Birsfelden
BASEL
Whylen
Sodatt
Kaiserst.
Rheinfelden
Ober
Nd. Mumpf
Leiningen
Sisseln
Binningen
Magden
Mutzrach
Ob. Mumpf
Münchwilen
Eiken
Zuzgen
Bottmingen
Mutten
Olsberg
Schinenbt.
Möhlin
Schupfer
Möhlinerb.
Bläus
Wegenstetten
Arlesheim
Frenkendf.
Füllingsdf.
Winterfingen
Heiniken
Reinach
Liestal
Gampen
Bornach
Lausen
Riekenbach
Ormeingen
Aesch
Nuglar
Sissach
Jüngen
Gelterkinden
Rothenfluh
Pfeffingen
Guggingen
Grellingen
1:300000.
1000 cm 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 km.

DISPOSITION DER MOTORENANLAGE

für die

KRAFTÜBERTRAGUNGSWERKE RHEINFELDEN.

Maassstab 1 : 100.

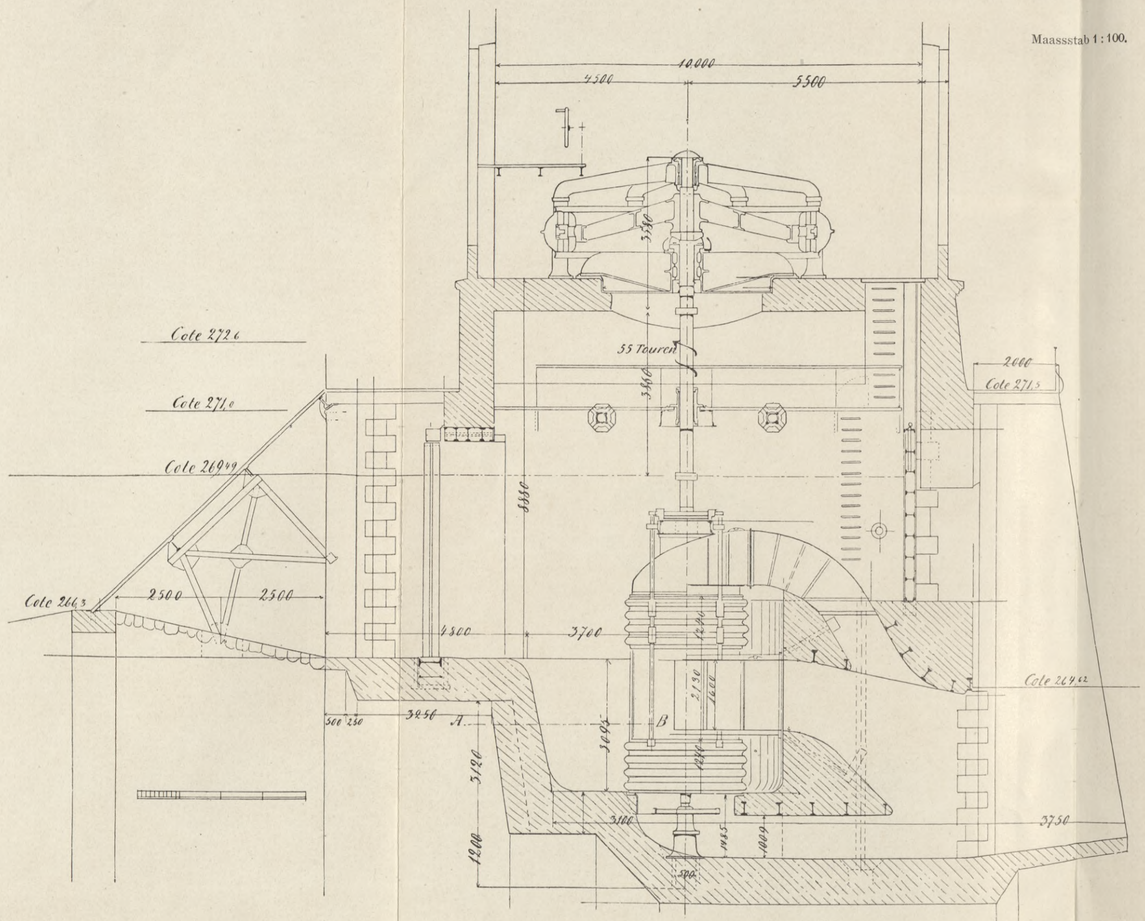

Fig. 30.

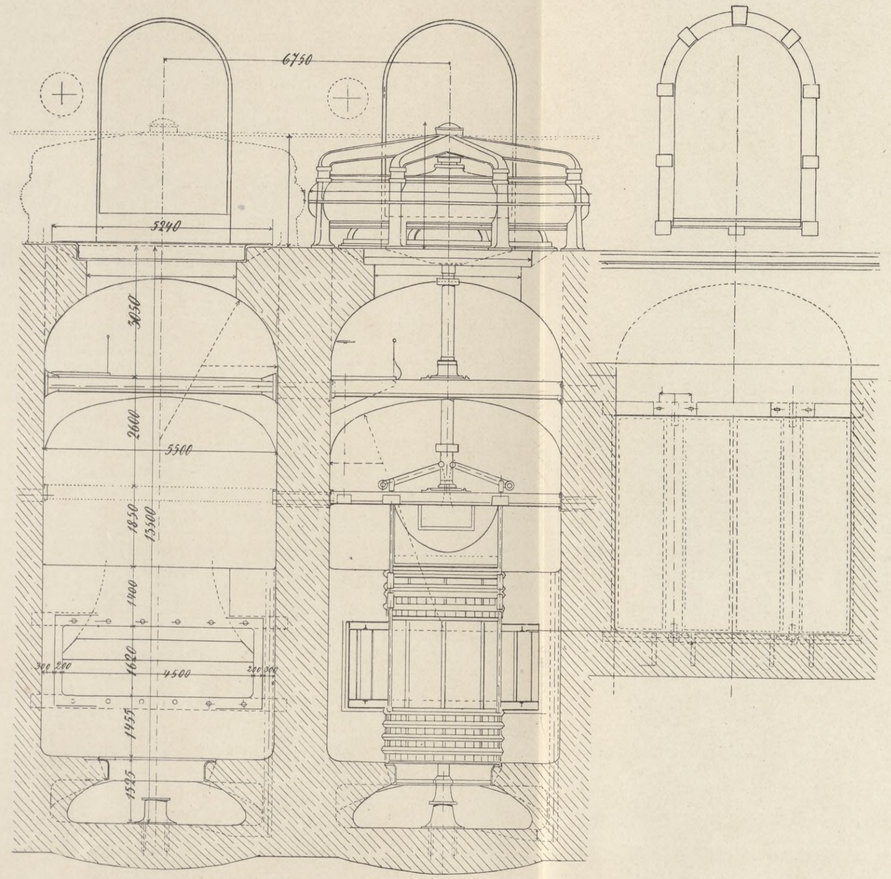

Fig. 32.

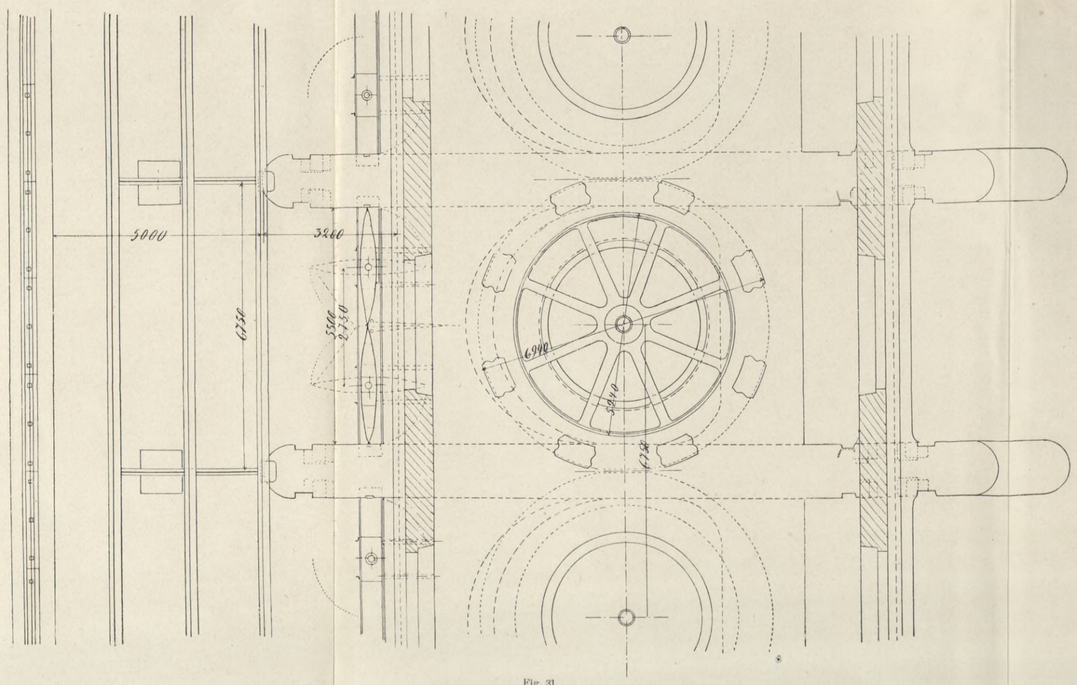

Fig. 31.

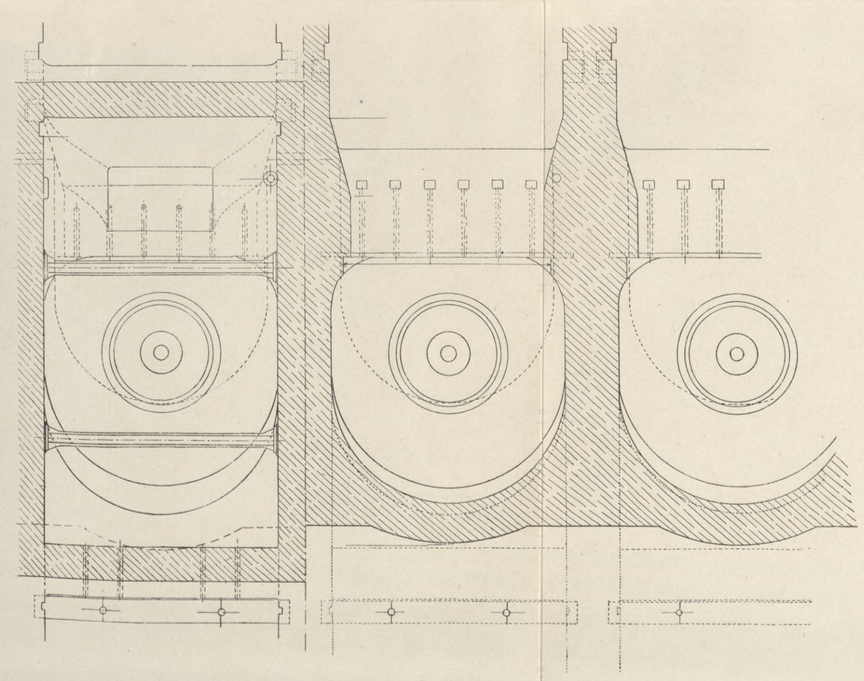

Fig. 33.