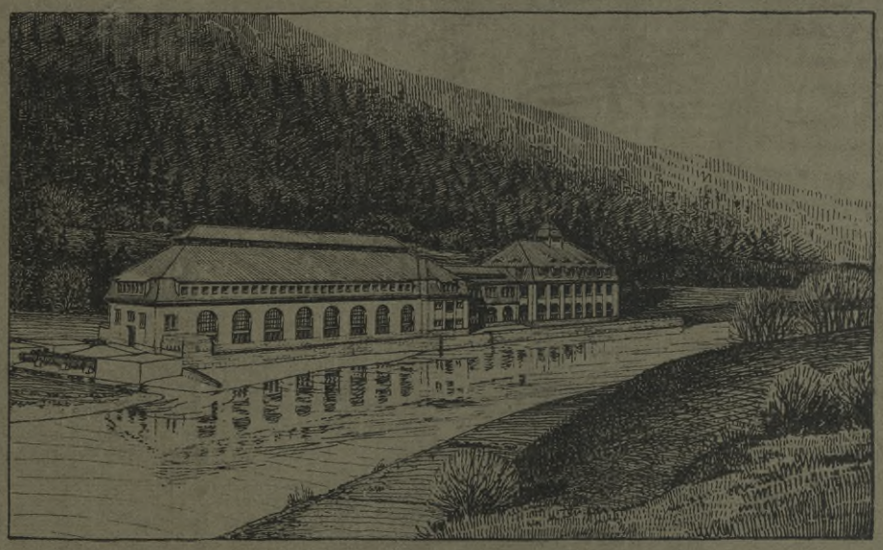
Die

Wasserkraftanlage im Murgtal

oberhalb Forbach.



Bearbeitet von der Gr. Generaldirektion
der Badischen Staatseisenbahnen

1910.

DIE WASSERKRAFTANLAGE IM MURGTAL

oberhalb Forbach

Festschrift von der

Generaldirektion der Badischen Staatseisenbahnen

1910.

DIE

WASSERKRAFTANLAGE IM MURGTAL

oberhalb Forbach.

Bearbeitet von der

Grofsh. Generaldirektion der Badischen Staatseisenbahnen

1910.

Karlsruhe.
C. F. Müllersche Hofbuchdruckerei.
1910.

Inhaltsangabe.

I. Allgemeine Verhältnisse.

1. Einleitung.

Die Dampfkraft hat das neunzehnte Jahrhundert beherrscht. Unter ihrem Einfluß entwickelte sich die Industrie zu großer Blüte, Handel und Verkehr nahmen einen mächtigen Aufschwung. Bei den großen und vielseitigen Anforderungen, die dabei an die Dampfmaschine gestellt wurden, erhielt diese eine weitgehende Vervollkommnung; sie ermöglichte infolgedessen eine sichere Betriebsweise und außerdem eine verhältnismäßig gute Ausnützung des Brennmaterials.

Diesem glänzenden Erfolg der Dampfmaschine gegenüber vermochte sich der Wassermotor nur langsam zu entwickeln. Zwar wurden die einfachen Wasserräder mit ihrer geringen Leistung und dem niederen Wirkungsgrad allmählich vervollkommnet, auch wurden schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts große Turbinenanlagen zur Ausnützung von Wasserkräften ausgeführt. Eine vielseitige Verwendung der Wassermotoren mußte aber so lange als ausgeschlossen betrachtet werden, als zur Übertragung der erzeugten Kräfte auf größere Entfernungen nur ungenügende Hilfsmittel, wie z. B. Drahtseiltransmission, zur Verfügung standen; denn unter solchen Verhältnissen konnte die Ausnützung einer Wasserkraft nur an Ort und Stelle erfolgen, die Möglichkeit der Fernübertragung der erzeugten Energie bestand nicht. Es blieben deshalb vielfach große Wasserkräfte, die sich abseits von Verkehrswegen und Ansiedelungen befanden, brach liegen, wenn die betreffenden Gegenden keine genügende Grundlage für einen erfolgreichen Fabrikbetrieb boten. In Städten, die an Wasserkräften mit günstigem Gefälle lagen, sowie in deren näheren Umgebung wurden die leicht erreichbaren Wasserkräfte seit Jahrhunderten ausgenützt; um große Leistungen handelte es sich dabei allerdings nicht.

Die rasche Entwicklung der Elektrotechnik Ende des vorigen Jahrhunderts brachte aber in kurzer Zeit in dieser Hinsicht eine vollkommene Wandlung hervor. Infolge der Möglichkeit, den elektrischen Strom mit einfachen Hilfsmitteln auf große Entfernungen ohne erheblichen Verlust und unter günstigen Verhältnissen auch mit bedeutendem wirtschaftlichem Erfolg fortleiten zu können, wurden neue Möglichkeiten für die Ausnützung der Wasserkräfte geschaffen, denn es konnte deren Verwertung nunmehr nach entfernten Orten verlegt werden, wo die Verkehrs- und Arbeiterverhältnisse für die Entwicklung einer gewerblichen Unternehmung günstig waren. Die Wassermotoren waren damit in die Lage versetzt, mit den Dampfmaschinen entfernter Industriebezirke mit Erfolg in Wettbewerb zu treten. Zwar war für den Turbinenbau noch manche Aufgabe zu lösen, bis die Turbine allen Anforderungen, die der elektrische Stromerzeuger hinsichtlich der Regulierfähigkeit an diese stellt, zu entsprechen vermochte, Schwierigkeiten, die jedoch jetzt als überwunden zu betrachten sind. Die heutigen Turbinen zeigen auch bei den größten Leistungen eine Vollkommenheit der Durchbildung, die der der Dampfmaschine nicht nachsteht.

Die Übertragung der elektrischen Kraft hat allerdings auch ihre Grenzen, die jedoch weniger durch die technischen Schwierigkeiten, als durch die Verteuerung gezogen sind, die der elektrische Strom bei der Übertragung erleidet. Um einen wirtschaftlichen Erfolg hierbei zu sichern, ist es nicht allein erforderlich, den in der Fernleitung auftretenden Verlust möglichst nieder zu halten, sondern es muß außerdem auch der jährlich aufzuwendende Betrag für Verzinsung, Erneuerung und Unterhaltung der Fernleitung in einem angemessenen Verhältnis zu der Gesamtmenge der jährlich zu übertragenden Energie stehen. So bietet es beispielsweise keine Schwierigkeiten, den elektrischen Strom auf 250 km Entfernung und mehr, etwa von Rheinfelden nach Karlsruhe, mit dem geringen Verlust von 5 % zu leiten, so daß dadurch die Stromkosten, die am Ort der Erzeugung etwa 3 ₰ für 1 Kilowatt-Stunde betragen mögen, kaum merklich beeinflußt werden. Dagegen werden sich die Anlagekosten der 250 km langen Fernleitung, die beispielsweise für die zeitweise auftretende Höchstbelastung von etwa 1000 Kilowatt bemessen sein möge, im Betrage von etwa 2 500 000 ℳ beim Strompreis bemerkbar machen. Es wären nämlich hiervon etwa 10 %, d. i. 250 000 ℳ jährlich für Verzinsung, Erneuerung und Instandhaltung aufzubringen. Nimmt man die Gesamtmenge der jährlich für Beleuchtungs- und Kraftzwecke nach Karlsruhe zu übertragenden elektrischen Energie zu 2 Millionen Kilowatt-Stunden an, was wohl dem derzeitigen Verbrauch der Stadt entspricht, so entfällt von den Kosten der Stromzuführung auf die Kilowatt-Stunde ein Betrag von $\frac{25\,000\,000}{2\,000\,000} = 12{,}5$ ₰. Da ferner der jährlich aufzuwendende Betrag für die Verteilung des Stromes im Verbrauchsgebiet selbst bei einem Anlagekapital der verlegten Kabel von rund 1 300 000 ℳ etwa 100 000 ℳ beträgt, so ergibt sich damit eine weitere Belastung der Kilowatt-Stunde von

$\frac{10\,000\,000}{2\,000\,000} = 5{,}0$ ₰. Damit berechnen sich die Selbstkosten für die Kilowatt-Stunde übertragenen Stromes zu $3 + 12{,}5 + 5 = 20{,}5$ ₰, wobei in diesem Preis die Verwaltungskosten noch nicht berücksichtigt sind.

Dieses nicht besonders günstige Ergebnis würde sich aber bessern, wenn anstatt 2 Millionen Kilowatt-Stunden durch gleichmäßige Belastung der Leitung während der einzelnen Tages- und Nachtstunden eine Energiemenge von $1000 \cdot 24 \cdot 365 = 8\,760\,000$ Kilowatt-Stunden jährlich übertragen würde, da dann die Kosten der Übertragung sich von 12,5 auf $\frac{25\,000\,000}{8\,760\,000} = 2{,}8$ ₰ für eine Kilowatt-Stunde ermäßigen würden. In gleicher Weise würden sich die Kosten der Verteilung des Stromes zu $\frac{10\,000\,000}{8\,760\,000} = 1{,}15$ ₰ berechnen. Als Gesamtpreis der Kilowatt-Stunde ergäbe sich alsdann ein Betrag von $3 + 2{,}8 + 1{,}15 = 6{,}95$ ₰.

Dieses Beispiel läßt erkennen, daß nur dann ein wirtschaftlicher Erfolg bei Übertragung größerer Energiemengen erreicht werden kann, wenn die Fernleitung entsprechend ausgenützt wird. Wo dies nicht zutrifft, wird der Erfolg immer zweifelhaft sein.

Ungünstige Ergebnisse zeigen ferner die Übertragungen auf kleinere Entfernungen, bei denen es sich um Versorgungsgebiete mit geringem Bedarf handelt. So ist es der Eisenbahnverwaltung bis jetzt nicht möglich gewesen, von Offenburg aus den 34 km entfernten Bahnhof Hausach elektrisch zu beleuchten, da die Kosten der Stromzuführung für die zu übertragende verhältnismäßig geringe Energiemenge noch so hoch sind, daß andere gleichwertige Beleuchtungsarten den Wettbewerb aufzunehmen vermögen.

Änliche Verhältnisse bestehen in schwach bevölkerten Gebirgsgegenden. Hier können die Stromkosten auch bei kurzer Hauptzuleitung durch den Aufwand für die Verteilungsleitungen allein schon eine derartige Höhe erreichen, daß auf die Verwendung des elektrischen Stromes verzichtet werden muß.

Die Übertragung elektrischer Energie für die Versorgung eines ausgedehnten Gebietes erfordert somit in jedem einzelnen Falle eine eingehende Prüfung der vorliegenden Verhältnisse.

Die wirtschaftliche Ausnützung einer Wasserkraft bedingt die Zusammenlegung des vorhandenen Gefälles, damit das Nutzwasser den Wasserkraftmaschinen mit möglichst hohem Druck zugeführt wird. Im allgemeinen können die Wasserkraftanlagen in zwei Hauptgruppen geteilt werden:

in Hochdruckanlagen, bei denen das Gefälle eines Gebirgsflusses, und

in Niederdruckanlagen, bei denen das Gefälle eines Flusses in der Niederung unmittelbar ausgenützt wird.

Bei den Hochdruckanlagen, wie sie sich im badischen Schwarzwald vereinzelt vorfinden, wird das Kraftwasser in einem Stollen oder auch offenen Kanal mit geringem Gefälle einem möglichst weit vorgeschobenen und hochgelegenen Wasserschloß zugeführt, von dem es durch stark geneigte eiserne Druckrohre den Turbinen des Kraftwerkes zufließt.

Bei derartigen Anlagen handelt es sich im allgemeinen um größere Gefälle, denen gegenüber die vorhandenen Wassermengen verhältnismäßig klein sind. Damit ergibt sich insofern ein gewisser Vorteil, als die durch die Verhältnisse bedingten raschlaufenden Turbinen mit den unmittelbar gekuppelten Dynamomaschinen sowie die Druckrohre usw. unter sonst gleichen Verhältnissen geringere Abmessungen erhalten, wodurch sich wiederum geringere Anlage- und Betriebskosten ergeben.

Bei den Niederdruckanlagen, die an den badischen Flußläufen der Niederung vielfach vorkommen, ist das Gefälle durch Wehr- und Kanalbauten, die beispielsweise am Rhein sehr umfangreiche und kostspielige Anlagen bilden, an einer geeigneten Stelle zusammenzufassen, um es in einer Kraftanlage ausnützen zu können. Zu den bedeutendsten derartigen Werken gehören das im Jahr 1896 in Betrieb genommene Rheinkraftwerk bei Rheinfelden, in dem bei einem Gefälle von 7 m 16000 PS gewonnen werden, und die im Bau befindlichen Rheinkraftwerke bei Augst-Wyhlen und bei Laufenburg. Die Niederdruckanlagen haben gemeinsam, daß das Gefälle gering ist, während die Wassermengen um so größer sind. Die Kraftanlage fällt deshalb auch im Gegensatz zu den Hochdruckanlagen in ihren Abmessungen reichlicher aus, auch werden die Anlagekosten und damit auch die Betriebskosten höher sein als bei den Hochdruckanlagen.

Die Möglichkeit der Ausnützung von Niederdruckanlagen steht im engen Zusammenhang mit dem Zweck, dem sie dienen sollen. Haben sie elektrische Energie für eine Fabrik mit Dauerbetrieb, z. B. für chemische Industrie, zu liefern, so können sie ständig voll belastet werden, die jährliche Kraftlieferung erreicht deshalb das Höchstmaß. Beträgt die Leistung der angetriebenen Stromerzeuger z. B. 1000 Kilowatt, so ergibt sich damit eine Jahreserzeugung von $1000 \cdot 24 \cdot 365 = 8\,760\,000$ Kilowatt-Stunden. Das vorhandene Nutzwasser wird somit in den Turbinen vollständig verarbeitet.

Dient jedoch die Niederdruckanlage zum Betrieb einer Fabrik ohne Dauerbetrieb, bei dem im allgemeinen nur mit einer 10stündigen Arbeitszeit zu rechnen ist, so findet nur während dieses Zeitraumes und zwar nur an Wochentagen das zufließende Wasser nutzbare Verwendung. Die Ausnützung des Wassers sinkt damit auf etwa $^1/_3$ der Jahreslieferung, so daß sich damit nur $\frac{8\,760\,000}{3} = 2\,920\,000$ Kilowatt-Stunden gewinnen lassen. Es fließen somit $^2/_3$ der vorhandenen Wassermenge ab, ohne überhaupt Arbeit geleistet zu haben.

Noch ungünstiger gestaltet sich der Betrieb einer derartigen Wasserkraftanlage, wenn es sich um die Er-

zeugung elektrischer Energie für Beleuchtungszwecke handelt, da die Belastungsverhältnisse hierbei sehr ungünstig sind. Dies zeigt die Belastungslinie eines städtischen Elektrizitätswerkes für den Monat Dezember, das hauptsächlich Beleuchtungsstrom zu liefern hat. Charakteristisch ist hierbei die in der Zeit von 4 bis 7 Uhr abends auftretende Spitze (vgl. Blatt 17 der Zeichnungen), während welcher der Bedarf auf das mehrfache der normalen Leistung steigen kann. Dieser Spitze steht eine solche in der Zeit von 7 bis 9 Uhr vormittags gegenüber, die jedoch niedriger ist. In den Sommermonaten verschieben sich die Spitzen zeitlich und flachen auch ganz erheblich ab. Der geringere Bedarf an elektrischer Energie in dieser Jahreszeit findet darin seinen Ausdruck. Ein Vergleich der tatsächlichen Tageslieferung eines derartig belasteten Werkes mit der gesamten zur Verfügung stehenden Kraft ergibt, daß zur Zeit der stärksten Inanspruchnahme des Werkes günstigstenfalls nicht einmal die Hälfte der täglich zur Verfügung stehenden Kraft ausgenützt wird, ja in den Sommermonaten nicht einmal der zehnte Teil.

Diese ungünstigen Verhältnisse lassen sich auch dadurch nur wenig bessern, daß die Werke neben der Erzeugung von Beleuchtungsstrom auch noch zur Kraftlieferung herangezogen werden; denn die Spitzen der Belastungslinien werden sich auch dabei noch in den Wintermonaten ungünstig bemerkbar machen, weil in den Nachmittagsstunden von 4 bis 7 Uhr neben dem Beleuchtungsstrom gleichzeitig noch Kraftstrom abgegeben wird. In den Sommermonaten werden aber die Betriebsverhältnisse günstiger, da der Bedarf an Beleuchtungsstrom erst nach Schluß der gewerblichen Betriebe zu decken ist.

Tatsächlich ist die Ausnützung der städtischen Elektrizitätswerke, falls sie nicht in erheblichem Maße Strom für Straßenbahnen liefern, eine sehr geringe; sie beträgt nur unter günstigen Verhältnissen $^1/_5$ der vollen Erzeugungsmöglichkeit. Die nachteilige Wirkung des Zusammenfallens des Kraft- und Lichtbetriebes hat man durch entsprechende Tarifbildung zu mildern gesucht, indem man den Preis für den Tagesstrom ermäßigte. Der Erfolg war aber nicht immer ein befriedigender.

Nur durch Aufspeicherung, sei es elektrischer, sei es mechanischer Energie, lassen sich die Belastungsverhältnisse der Kraftwerke günstiger gestalten. Bei der elektrischen Aufspeicherung wird der zu Zeiten geringer Belastung überschüssige Strom zum Laden einer Batterie benützt, die dann beim Auftreten der Belastungsspitze zur Energielieferung beigezogen wird.

In ähnlicher Weise kann auch die zeitweise überschüssige Energie eines Kraftwerkes, wenn die örtlichen Verhältnisse hierfür günstig sind, dazu benützt werden, Wasser in einen hochgelegenen Weiher zu pumpen, das dann zur Zeit höheren Kraftbedarfs wieder zum Betrieb eines Stromerzeugers mittels Hochdruckturbinen Verwendung finden kann. Eine mustergültige derartige Anlage steht in Verbindung mit der Wasserkraftanlage in Olten-Aarburg, bei der das täglich aufgespeicherte Wasser hinreicht, die Spitzen der Belastungskurve zu brechen. Der Erfolg, der durch diese Art der Betriebsführung erzielt wird, geht daraus hervor, daß die Anlage, die über 10 Turbinen von je 300 PS, somit insgesamt über eine Leistung von 3000 PS verfügt, nunmehr fast voll ausgenützt werden kann, während dies vor dem Bau der Pumpanlage nur in wesentlich geringerem Maße der Fall war.

Die hier vorgeführten Arten der Aufspeicherung der Energie leiden aber an dem Fehler, daß der Wirkungsgrad ein verhältnismäßig geringer ist; auch können die Anlagekosten derartig hoch ausfallen, daß sie nur einen bescheidenen wirtschaftlichen Erfolg ermöglichen.

Die Verhältnisse gestalten sich aber wesentlich günstiger, wenn die ganze Wassermenge oder ein Teil derselben in einem Staubecken aufgespeichert wird, von dem aus die Speisung der Maschinen des Kraftwerkes den gesteigerten Anforderungen des Betriebes entsprechend erfolgen kann.

Das Wasser fließt in diesem Falle zunächst dem Becken zu, aus dem immer nur soviel Wasser entnommen wird, als der jeweiligen Belastung des Werkes entspricht. Überschüssiges Wasser wird im Becken zurückgehalten und aus diesem geschöpft, wenn der Verbrauch ein größerer ist als der jeweilige Zufluß. Dieser Ausgleich kann — je nach der Größe des Beckens — nur ein täglicher sein oder sich auf Wochen, Monate oder Jahre erstrecken. Außergewöhnliche Beanspruchungen des Kraftwerkes sind unter diesen Verhältnissen ohne weiteres zulässig, wenn, wie dies auch bei einer den gleichen Zwecken dienenden Dampfkraftzentrale erforderlich ist, die Leistung der Maschinenanlage dem zeitweise auftretenden Höchstbedarf an Energie entspricht.

Dieser Höchstbedarf beträgt nach den Betriebsergebnissen der Elektrizitätswerke, die der Erzeugung von elektrischer Energie für Kraft- und Lichtzwecke dienen, ein Mehrfaches des durchschnittlichen Bedarfs. Auch bei dem elektrischen Eisenbahnbetrieb darf mit den gleichen Verhältnissen gerechnet werden.

Auf Grund umfangreicher Erhebungen bei zahlreichen, im Betriebe befindlichen Elektrizitätswerken mit den verschiedenartigsten Belastungsverhältnissen wurde festgestellt, daß etwa mit einer Belastungsschwankung von 3:1 zu rechnen ist, d. h., daß die größte Belastung des Werkes das Dreifache der mittleren Jahresleistung beträgt.

Um die vielseitigen Eigenschaften der Staubecken für die Kraftgewinnung beurteilen zu können, genügt somit die Feststellung der dem durchschnittlichen Wasserzufluß entsprechenden Leistungen nicht; hierfür eignet sich nur die Angabe der gesamten Energiemenge, die aus einer Stauanlage jährlich gewonnen und die auch in weitgehendem Maße dem jeweiligen Bedarf angepaßt werden kann.

Man kann also bei der Beurteilung der Ergiebigkeit an Kraft bei Staubecken, die der Kraftlieferung dienen, nicht schlechtweg von Pferdestärken oder

Kilowatt sprechen, sondern wird Pferdestärken-Stunden oder Kilowatt-Stunden in Betracht ziehen müssen. Die ersteren kommen nur für die momentane Höchstleistung in Frage.

Die Staubecken haben auch den Vorzug, daß sich kein Grundeis bildet, während in den Flußläufen bei Eintritt des Frostes Grundeis auftritt, das den Betrieb und die Leistungsfähigkeit eines Werkes unter Umständen empfindlich beeinträchtigen kann.

Die Verbindung einer Stauanlage mit einem Dampfkraftwerk kann gegebenenfalls von großem Nutzen sein, namentlich dann, wenn es sich darum handelt, die unständigen, nur zeitweise vorhandenen höheren Wasserstände nach Möglichkeit auszunützen und hierdurch die Energielieferung zu steigern, und wenn auf Sicherung des Betriebs großer Wert gelegt werden muß. Während sonst die jederzeit mögliche Kraftlieferung in langen wasserarmen Zeiträumen durch die Aufspeicherungsfähigkeit der Staubecken bestimmt begrenzt ist, kann durch Beiziehung einer Dampfkraft diese Kraftlieferung und damit die Durchschnittsleistung des Werks bedeutend gesteigert werden, ohne daß Aufwendungen für die Vergrößerung der Stauräume erforderlich werden. Auch kann die Dampfkraftanlage unter diesen Verhältnissen außerordentlich günstig arbeiten, da ihr die Deckung des Grundstockes der Belastung zugewiesen werden kann, so daß sie möglichst gleichmäßig und vollbelastet ist und deshalb auch mit gutem Wirkungsgrad arbeitet, während der schwankende Kraftverbrauch aus der Wasserkraft und zwar in erster Linie durch das fließende Wasser, sodann aus dem Vorrat der Staubecken gedeckt wird. Dabei ist es nicht erforderlich, daß die Dampfkraftanlage beim Wasserwerk selbst liegt, was namentlich deshalb von großer Bedeutung ist, weil vorhandene Dampfzentralen unter Umständen vorteilhaft an ein Wasserkraftwerk angeschlossen und beide hierdurch leistungsfähiger gemacht werden können.

Bei Anlagen, die nur mit ungestautem Wasser arbeiten, liegen die Verhältnisse in dieser Hinsicht viel ungünstiger. Die Dampfzentrale muß in diesem Fall die Spitzenarbeit übernehmen und arbeitet infolgedessen mit einer sehr wechselnden Belastung, wodurch die Betriebskosten wesentlich erhöht werden. Außerdem ist die Dampfkraftanlage für eine größere Leistung vorzusehen.

Die Abflußmengen in den Flußläufen des badischen Schwarzwaldes sind, wie die des Mittelgebirges überhaupt, während der Wintermonate im allgemeinen reichlich, während in den Sommermonaten Wassermangel eintritt, der oft längere Zeit andauern kann. Ähnliche Schwankungen zeigen auch während des Jahres die Belastungsverhältnisse der Elektrizitätswerke, die der Erzeugung von elektrischer Energie für Beleuchtungs- und Kraftzwecke dienen. Denn auch bei diesen macht sich infolge des gesteigerten Lichtbedürfnisses eine erhöhte Beanspruchung in den Wintermonaten bemerkbar, die in der Regel auch mit dem größeren Wasserzufluß der Flüsse zusammenfällt.

Im allgemeinen sind somit diese Verhältnisse für die Krafterzeugung günstig und es liegt der Gedanke nahe, das ungestaute Wasser der Flüsse unmittelbar ohne Aufspeicherung zu verwerten. Ein vollständiges Zusammentreffen des gesteigerten Energiebedarfs mit dem erhöhten Wasserzufluß findet jedoch nicht statt; dies gilt häufig schon für den Monat Oktober, wo bereits infolge des vermehrten Lichtstromverbrauchs die Belastung des Werkes ganz erheblich gestiegen ist, während der Wasserzufluß häufig noch ein sehr geringer sein kann. Eine gute Ausnützung der Kräfte des ungestauten Wassers ist also auch im Schwarzwald trotz dieser günstigen Verhältnisse bei der Erzeugung von Kraft- und Beleuchtungsstrom nur zu erreichen, wenn das ungestaute Wasser in Verbindung mit Staubecken gebracht wird. Außerdem werden die folgenden Darlegungen zeigen, daß für den Betrieb einer Wasserkraftanlage im Murgtal auch die Verbindung mit Dampfkraftwerken Vorteile bietet.

Wasserkraftanlagen im Mittelgebirge, wie z. B. im badischen Schwarzwald, lassen sich in ihrer Wirkung noch außerordentlich steigern, wenn es möglich ist, sie mit einem Fluß zu verbinden, der von einem fremden Niederschlagsgebiet mit andern Abflußverhältnissen gespeist wird, da dann beide Anlagen sich vorteilhaft ergänzen können. Bei Anlagen im badischen Schwarzwalde wird der Zufluß zum Staubecken sich in gleicher Weise ändern wie der Zufluß des Flusses des Mittelgebirges. Infolgedessen muß das Staubecken meist schon vom Monat Juli ab oft bis zum Dezember Wasser zuschießen.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn der Flußlauf nicht durch die Niederschläge des Mittelgebirges, sondern durch die Gletscher des Hochgebirges gespeist wird. In diesem Falle ist auch während der Monate Juli und August, wie die Verhältnisse am Rhein erkennen lassen, noch genügender Wasserzufluß vorhanden, so daß der Wasservorrat des Staubeckens erst zu einer wesentlich späteren Zeit in Anspruch genommen zu werden braucht. Allerdings ist in dem vom Gletscher gespeisten Fluß der Wasserzufluß im Winter ein geringer, doch kann dies für die Betriebsführung nicht von Nachteil sein, da die reichlichen Niederschläge im Mittelgebirge während der kälteren Jahreszeit ein rasches Füllen der Staubecken ermöglichen.

Die Vorzüge einer derartigen Verbindung von Werken mit gestautem und ungestautem Wasser, wie sie für Baden in Betracht kommen können, dürfen nicht unterschätzt werden. Sie bestehen, wie angestellte Untersuchungen gezeigt haben, hauptsächlich in der Möglichkeit, die Kraftlieferung erheblich zu steigern. Für die Ausnützung der Wasserkräfte des Schwarzwaldes kann nur eine Verbindung mit größeren Kraftwerken des Rheins in Frage kommen.

2. Beschreibung des Murggebietes.

Der nördliche Schwarzwald wird von zwei mächtigen und nahe beieinander liegenden Gebirgsstöcken, der Hornisgrinde und dem Kniebis, beherrscht. Die beiden, durch eine Kammlinie verbundenen Gebirge trennen die Flußgebiete der Rench und Acher im Süden und Westen von dem Flußgebiete der Murg.

Die Bodengestaltung des Gebietes ist von den beiden Hauptgesteinsarten, aus denen es zusammengesetzt ist, dem tieferliegenden Granit und dem übergelagerten Buntsandstein, derart bedingt, daß in voller Übereinstimmung mit dem inneren Gebirgsaufbau äußerlich zwei deutlich wahrnehmbare Stufen zu erkennen sind. Wo das Grundgebirge zutage tritt, zeigt es die für diese Gesteine bezeichnenden Geländeformen, gerundete, aber scharf umrissene Kuppen oder steil aufragende Felsterrassen, in ausgezeichneter Weise. Sonst sind die dem Buntsandstein eigenen Hochflächen bemerkbar, die durch die wetterfesten Gesteine des mittleren Buntsandsteines, hauptsächlich aber durch das oft verkieselte Hauptkonglomerat erhalten geblieben sind.

Wesentlich beeinflußt ist die äußere Form durch die energische Erosion der Gewässer.

Aus diesem Gebiete auf der Ostseite der Grinden und der Nordseite des Kniebis entstammen die Quell- und Nebenflüsse der Murg.

Die Murg entsteht durch Vereinigung der beiden, zwischen Ruhstein und Kniebis entspringenden Bäche Rotmurg und Rechtmurg, die bald nach ihrer Vereinigung in östlichem Laufe die gegenstehende Gneisbarre, den sogenannten Rauhfelsen, durchbrechen. Gleich unterhalb nach Aufnahme des vom Kniebis herabfließenden Forbaches bei Baiersbronn schwenkt der Fluß in eine ausgesprochene nördliche Richtung. Weiterhin fließt er nach Verstärkung durch den wasserreichen, von Westen kommenden Tonbach in mäßigem Gefälle in einem breiten, 13 km langen Wiesental der badisch-württembergischen Grenze zu. Zuvor nimmt er noch einen beträchtlichen Nebenfluß, die im Wildsee entspringende Schönmünzach, auf.

Von hier ab bietet sich ein völlig verändertes Landschaftsbild. An Stelle der breiten, sanft geneigten Wiesentäler treten steile Granithänge mit oft schön geformten Felsenmassen und dichtem Wald, der fast durchweg bis zum Flusse herabreicht. Das Flußbett ist nicht mehr mit Kies und Sand, sondern mit Geröllstücken und Felsblöcken bis zu beträchtlichem Umfange dicht besät.

Auch die Flußsohle, die oberhalb der Landesgrenze verhältnismäßig schwach geneigt ist, fällt von hier ab ganz erheblich. Viele und scharfe Krümmungen des Laufes geben Zeugnis von dem großen Widerstand, den der Fluß beim Abtragen der gewaltigen Bergzüge zu überwinden hatte. Das ungestüme Tosen des Wassers in dem unregelmäßigen Flußbett gewährt einen Begriff von der ungeheuren Kraft, die in ihm ruht.

Die Zuflüsse sind auf dieser wilden Flußstrecke unbedeutend bis auf die Raumünzach, die etwa 3 km unterhalb der Landesgrenze von links her die Murg verstärkt. Zwei Quellbäche, der Hundsbach und die Biberach, von der Hornisgrinde und deren Ausläufern kommend, vereinigen ihr Wasser bei der Ansiedelung Hundsbach zur Raumünzach. Dieser Bach wird weiterhin durch viele schwächere und stärkere Zuflüsse vom Ochsenkopf und der Langen Grinde gespeist und stürzt nach der Talerweiterung bei Erbersbronn rasch zur Murg ab. Kurz vor der Mündung nimmt die Raumünzach noch den von Herrenwies herkommenden Schwarzenbach bei den bekannten Wasserfällen auf.

Nach Durchdringung des Granitgebirges abwärts von Weisenbach bildet das weichere Rotliegende Sohle und Gehänge. Die Geländeformen werden wieder milder. Das Gefälle der Murg ist von hier ab wesentlich schwächer. Der Fluß wendet sich von Gernsbach ab in breitem Tale nach Nordwesten, betritt bei Kuppenheim das Rheintal und mündet eine Stunde unterhalb Rastatt in den Rhein.

Der größte Teil der Gegend ist mit Ausnahme der Talniederungen von dichtem Wald, in der Hauptsache aus Nadelhölzern bestehend, bedeckt. Die durch die großen Niederschlagsmengen erzeugte Luftfeuchtigkeit ist für das Wachstum der gewaltigen Waldbestände von großer Wichtigkeit.

Die Landwirtschaft ist in dem Tale von Gernsbach aufwärts unbedeutend. Sie beschränkt sich auf die Wiesenflächen der Talgründe und auf geringe Ackerflächen an den unteren Gehängen.

Die Besiedelung ist erheblich in den breiten, wenig fallenden Wiesentälern, wo zwischen dem Buntsandstein und Granit zahlreiche Quellen zutage treten, und dann wieder vom Beginn der Talerweiterung von Weisenbach an. Diese Strecke hat Verkehrsverbindungen mit dem Rheintale und ausgedehnte Ländereien, die zur Bewirtschaftung geeignet sind.

Im oberen Murggebiete liegen die württembergischen Ortschaften Baiersbronn, Kloster-Reichenbach, Hesselbach, Röt, Schönegründ, Huzenbach, Schwarzenberg und Schönmünzach. Im unteren Siedelgebiete die badischen Orte Weisenbach, Hilpertsau, Obertsrot, Gernsbach, Hörden, Ottenau, Gaggenau, Bischweier, Kuppenheim und Rastatt. Dagegen gibt es an der mittleren schluchtartigen Flußstrecke nur wenige Stellen in den kesselartigen Talerweiterungen bei der Einmündung von Seitentälern, die Ansiedelungen zulassen. In diesem schwach bevölkerten Teile liegen die badischen Orte Forbach, Gausbach, Langenbrand und Au.

3. Ausnützung der Wasserkräfte des badischen Murggebietes.

a) Rückblick über die bisherige Wasserverwertung.

Schon im frühen Mittelalter erhalten wir mit der Kunde über die ersten Ansiedelungen im Murgtal auch Nachricht über die Flößerei, die auf der Murg betrieben wurde. Bei den spärlichen und sehr mangelhaften Wegverbindungen war es natürlich, daß die Bewohner

des Tales ihr Augenmerk auf die Wasserstraße — die Murg mit ihren Nebenflüssen — richteten, um die Holzbestände aus den ausgedehnten und sehr ergiebigen Waldungen entweder nach den Sägewerken im Tal oder weiterhin in den Handel zu bringen.

Das Wasser der Murg fand also schon von alters her eine zweifache Verwendung; einerseits als Floßstraße, anderseits als Triebwasser für die zahlreichen Sägemühlen, deren schon 26 zu Anfang des 16. Jahrhunderts genannt werden. Die Flößerei und die Sägemühlen wurden von den sogen. Schiffern betrieben, die auch einen ausgedehnten Holzhandel rheinabwärts bis nach Holland unterhielten.

In Erbersbronn war die Raumünzach in der Nähe des jetzigen Wirtshauses ehedem mit einem Verbau gestaut, so daß sich hier ein See bildete, der als Einbindestelle für die sogen. Holländerstämme zu Flößen diente. Die Murg war in ihrem ganzen Laufe innerhalb des badischen Gebietes vollständig floßbar, bis das gewaltige Hochwasser von 1824 — die größte bekannte Hochflut der Murg — große Verheerungen angerichtet hat. Das obere Murgbett wurde damals tief ausgefressen, große Steine und Felsblöcke in diesem angeschwemmt und die Floßstraße fast vollständig zerstört. Das Flößen mit gebundenen Flößen fand hiermit sein Ende und man ging zur Wildflößerei über. Nur von Weisenbach abwärts wurde auch späterhin die Flößerei mit gebundenen Hölzern noch betrieben.

Da die Wildflößerei nur bei starken Anschwellungen im Frühjahr möglich war, so wurden künstliche Stauungen, sogen. Schwallungen, in den Seitenbächen der Murg, in den Tälern des Hundsbaches, der Biberach, des Schwarzenbaches und der Schönmünzach angelegt. Durch zeitweises plötzliches Ablassen wurde eine Flut erzeugt, die imstande war, das in das Flußbett geworfene Holz fortzutragen. Auch der Schurmsee und der Herrenwiesersee wurden zu diesem Zwecke benützt.

Diese Flößerei unterstand der Murgschifferschaft in Gernsbach. Die Werk- und Mühlenbesitzer an der Murg waren gehalten, in ihren Wehren einen Floßdurchlaß anzubringen. Geflößt wurden Scheitholz und Klötze bis zu 4,50 m Länge. Auf einer Insel unterhalb Gernsbach war ein Holzfang (Trift), sogen. Esel, errichtet. Nach Vollendung der Straße von Weisenbach nach Forbach hörte im Jahre 1865 die Wildflößerei auf und das Holz wurde dann auf Wagen befördert; nur von Weisenbach ab wurde, wie erwähnt, die Flößerei noch aufrecht erhalten. Nach Fortsetzung der Murgtalbahn bis Weisenbach hörte im Jahre 1894 auch diese Flößerei auf.

Bis zum Jahre 1878 waren von dem großen Gefälle der Murg von der Landesgrenze bis Rastatt von beiläufig 335 m nur 70 m ausgenützt und zwar größtenteils für Sägewerke; nur wenige Mahl- und Ölmühlen waren vorhanden. Zur Wiesenwässerung ist die Murg von Forbach bis hinauf zur Landesgrenze auch heute noch nicht verwertet. Mit der Zunahme des Holzwertes und der vielfältigen Verwendung des Holzes entwickelten sich aber die vorhandenen Sägemühlen immer mehr; fast alle wurden weiter ausgebaut und gingen neben der Sägerei zur Holzschleiferei und zur Holzverarbeitung über.

Auch sind verschiedene größere neue Werke entstanden, so daß im Jahre 1901 an der badischen Murg etwa 1500—1600 Pferdestärken bei einem benützten Gefälle von ungefähr 110 m verwertet waren. Inzwischen ist ein weiteres großes Werk entstanden, das das ganze Gefälle der Murg zwischen Gausbach und Langenbrand mit 44 m ausnützt. Das Wasser der Murg wird hierbei in einem 1,5 km langen Stollen dem Werke zugeleitet.

b) Projekte über die weitere Ausnützung der Murgwasserkräfte.

Die Murg ist von der Landesgrenze bis nach Forbach noch vollständig unausgenützt. Nachdem die Fortsetzung der Murgtalbahn von Weisenbach bis zur badisch-württembergischen Landesgrenze beschlossen und in die Wege geleitet war, wurde aber von verschiedenen Seiten das Augenmerk auch auf diese Murgstrecke gerichtet und versucht, durch Geländekäufe längs der Murg sich Anrechte auf das Murgwasser zu verschaffen. Verschiedene Projekte wurden bearbeitetet und in der Folge dem Großh. Bezirksamt Rastatt zur Genehmigung vorgelegt.

So wurde von der Firma Wielandt & Weber in Obertsrot im November 1904 ein Gesuch um Ausnützung des Murggefälles vom Sasbach bis zur Heiligensäge und von Fabrikant C. Katz in Gernsbach ein solches im Februar 1905 für die Murgstrecke von der Raumünzach bis zum Sasbach bei Großh. Bezirksamt Rastatt eingereicht. Diesem folgte im Dezember 1906 die Firma E. Holtzmann & Cie. in Weisenbachfabrik mit einem Gesuche um Verwertung des Gefälles der Murg von der Landesgrenze bis zur Raumünzach. Das Murgwasser sollte nach den eingereichten Projekten der Firma Wielandt & Weber und E. Holtzmann & Cie. in je einer, nach dem Entwurfe von C. Katz in zwei, zusammen also in 4 Gefällstufen ausgenützt werden. Die Wasserfassung, die Zuleitung und Verwertung in den 4 Kraftwerken sollte in ähnlicher Weise stattfinden, wie dies bei dem neuen Holtzmannschen Werke „Wolfsheck“ geschehen ist. Über die Verwendung der gewonnenen Kraftmenge waren keine bestimmten Angaben gemacht.

Oberbaurat Professor Rehbock an der Technischen Hochschule in Karlsruhe hatte nach seinen Angaben schon im Juni 1905 der Metallurgischen Gesellschaft A.G. in Frankfurt a. M. einen generellen Entwurf nebst Kostenanschlägen über die Ausnützung der Murg von der Landesgrenze bis Forbach vorgelegt. Diese Gesellschaft hat es jedoch abgelehnt, das Projekt, dem bis dahin jede rechtliche Grundlage fehlte, zu erwerben und weiter zu verfolgen.

Im Juni 1906 trat sodann Ingenieur Fischer-Reinau aus Zürich mit einem generellen Projekte nebst Kosten- und Rentabilitätsberechnung über die Ausnützung der Wasserkräfte im Gebiete der Murg unter Hinweis auf die Möglichkeit gleichartiger Anlagen in den Flußgebieten der Kinzig und der Elz und auf eine

zweckmäßige Verbindung dieser Werke mit den Rheinwasserkräften an die Eisenbahnverwaltung und andere badische Staatsbehörden heran. Bezüglich des Murggebietes lag diesem Projekt der Gedanke zugrunde, das Wasser in zwei großen Staubecken mit gleich hoch liegendem Wasserspiegel auf + 600 m, die durch Talsperren bei Zwickgabel und Erbersbronn gebildet und durch einen Stollen miteinander verbunden werden sollten, zu fassen und mittels Druckstollen und Druckrohren nach einem einzigen Kraftwerke am Sersbach unterhalb Forbach zu leiten; auch auf die Zuleitung von weiteren Wassermengen aus dem württembergischen Murggebiete war Rücksicht genommen. Dieser Entwurf ging aber nicht in das Eigentum der Staatsverwaltung über.

Ohne von etwaigen Vorarbeiten oder Absichten anderer Kenntnis zu haben, hat der Vorstand der Großh. Bahnbauinspektion Gernsbach, Oberingenieur Lehn, schon im Jahr 1905 den Gedanken aufgegriffen, die Wasserkraft der Murg für die Eisenbahnverwaltung nutzbar zu machen, und im August 1906 eine diesbezügliche Anregung unter Beifügung von Lageplan und Längenprofil bei Großh. Generaldirektion gegeben.*) Im November und Dezember 1906 fanden sodann bei der Generaldirektion Beratungen über den Ausbau der Murgwasserkräfte und die Errichtung einer Talsperre bei Erbersbronn statt, wobei der Vorschlag der Bahnbauinspektion Gernsbach eine wesentliche Änderung dadurch erfahren hat, daß zur Erzielung eines einfachen und sicheren Betriebes an Stelle zweier Kraftwerke — eines im Raumünzachtal und eines oberhalb Forbach — nur ein Kraftwerk am Haulerberg gewählt wurde, dem das Wasser des Staubeckens in einem Druckstollen zugeführt werden sollte.

Hiernach war nunmehr geplant, das gesamte auszunützende Wasser in einem einzigen Kraftwerk am Haulerberg, Gewann Oberau — an der gleichen Stelle wie im endgültigen Entwurfe — zu verarbeiten. Das Wasser der Murg sollte durch ein Wehr an der Landesgrenze gefaßt und durch einen Stollen ohne Druck dem Kraftwerk zugeleitet werden. Das Wasser der Raumünzach sollte in einem Becken bei Erbersbronn angesammelt und in einem Druckstollen, in den auch das Wasser des Schwarzenbaches eingeleitet werden sollte, dem gleichen Kraftwerk zugeführt werden. Ein Ausgleichbecken in der Murg bei der Heiligensäge diente dazu, die Abwasser aufzunehmen und geregelt den Unterliegern zuzuführen. Mitte Dezember 1906 wurde das in Frage kommende Gebiet der Murg und der Raumünzach von Mitgliedern der Generaldirektion bereist und in einer Besprechung, die im Februar 1907 zwischen Vertretern des Ministeriums des Innern, des Eisenbahnministeriums, der Oberdirektion und der Generaldirektion stattfand, das weitere Vorgehen in der Sache beraten.

*) Auch über die Verwertung der Wasserkräfte im Wutachgebiet liegen eingehende Studien vor und ein allgemeiner Entwurf samt hydraulischen Berechnungen und Voranschlägen über Bau- und Betriebskosten, bearbeitet von dem Vorstand der Großh. Bahnbauinspektion Neustadt, Oberingenieur K. Rümmele.

Ferner wurden genaue Erhebungen über die Anliegerrechte an der Murg zwischen Forbach und der Landesgrenze und die Eigentumsverhältnisse im Raumünzachtale angestellt. Auf Grund dieser und unter Hinweisung auf die größere Wirtschaftlichkeit der staatlicherseits geplanten Anlagen hat die Eisenbahnverwaltung gegen die erwähnten Konzessionsgesuche von Wielandt & Weber und C. Katz und sodann auch gegen das Gesuch von E. Holtzmann & Cie. Einsprache erhoben, was zur Folge hatte, daß diese Gesuche abschlägig beschieden wurden. Der Weg für die rationelle Ausnützung der Wasserkräfte des ganzen oberen badischen Murggebietes wurde hierdurch von der Eisenbahnverwaltung geebnet und die Gefahr der Zersplitterung der noch verfügbaren Wasserkräfte, die durch Genehmigung der Gesuche der genannten Firma eingetreten wäre, beseitigt.

Im April 1907 hat sodann Oberbaurat Professor Rehbock einen ausgearbeiteten Entwurf über die Verwertung der Wasserkräfte des Murggebietes, den er im Auftrag der Firma E. Holtzmann & Cie. gefertigt hatte, der Eisenbahnverwaltung im Einverständnis mit der genannten Firma zunächst mündlich und hierauf am 30. April 1907 auch schriftlich angeboten.

Der Eisenbahnverwaltung war bis dahin unbekannt, daß sich auch Professor Rehbock mit einem derartigen Kraftwerke beschäftige. Es ist deshalb auch jeder Einfluß des Professor Rehbock auf die Entschließungen und das Vorgehen der Staatsverwaltung bis dahin vollständig ausgeschlossen.

Der von Professor Rehbock zuerst angebotene Entwurf sah ein Wehr in der Murg an der Landesgrenze vor, an das sich ein Stollen ohne Druck anschloß, der bei der Kreuzung mit der Raumünzach auch diese aufnahm und bis zum Wasserschloß am Haulerberg sich hinzog, von wo Druckrohrleitungen nach einem Kraftwerk am Fuße des Haulerberges hinführten. Außerdem waren auf badischem Gebiet zwei Staubecken vorgesehen, eines im Raumünzachtal bei Hundsbach und eines im Schwarzenbachtale. Diese Becken lagen ungleich hoch und waren nicht miteinander verbunden. Das Wasser des Raumünzach beckens sollte zunächst in einem Kraftwerke am Fuße der Talsperre und zwar in Turbinen, die je nach dem Wasserstande im Becken parallel oder hintereinander geschaltet werden sollten, ausgenützt und dann in einem Kanal, der teils offen, teils als Stollen ohne Druck geplant war, und in anschließender Rohrleitung einem zweiten Kraftwerk in der Höhe des Murgstollens zugeführt und verarbeitet und sodann durch den Murgstollen dem Kraftwerk am Haulerberg zur nochmaligen Ausnützung zugeleitet werden. Das Wasser des Schwarzenbachbeckens sollte mittels Druckstollen und Rohrleitung dem Kraftwerke am Haulerberg unmittelbar zugeführt werden. Es waren hiernach drei getrennte, aber elektrisch miteinander verbundene Kraftwerke vorgesehen. Ein viertes Kraftwerk war bei Gausbach geplant, um

das Wasser des Ausgleichbeckens und das Gefälle bis zum Holtzmannschen Wehr bei Gausbach zu verwerten. Die Abschlußmauer für das Ausgleichbecken war unmittelbar oberhalb der Forsthäuser in Forbach angenommen.

Zur besseren Ausnützung des Murgwassers war ein Pumpwerk vorgesehen, das überschüssiges Wasser in die Staubecken hinaufpumpt.

Dieser Entwurf wurde in der Folge von Professor Rehbock als Variante I bezeichnet. Professor Rehbock gibt an, daß er diesen schon in den Jahren 1905 und 1906 generell aufgestellt habe.

Auf Anregung der Vertreter der Generaldirektion hat Professor Rehbock sodann seinen ursprünglichen Entwurf dahin abgeändert, daß er die beiden ungleich hoch liegenden und voneinander unabhängigen Staubecken im Raumünzach- und Schwarzenbachtal auf gleiche Höhe gelegt und durch einen Stollen unter sich und mit dem Kraftwerk am Haulerberg verbunden hat. Die beiden Kraftwerke im Raumünzachtale kamen hiermit in Wegfall, wodurch die Zahl der Kraftwerke von 3 auf 1 Kraftwerk vermindert und der Betrieb der ganzen Anlage einheitlich, einfach und übersichtlich gestaltet wurde. So entstand der Entwurf, den Professor Rehbock als Variante II bezeichnet.

Als Grundlage der hydraulischen Berechnungen dienten neben den staatlichen Niederschlagsbeobachtungen noch die Abflußmessungen, die die Firma E. Holtzmann & Cie. in ihrer Fabrik Schlechtau bei Weisenbach in den Jahren 1893 bis 1906 vorgenommen hat

Der von Professor Rehbock für die Firma E. Holtzmann & Cie. ausgearbeitete Entwurf wurde mit deren Zustimmung von der Eisenbahnverwaltung durch Vertrag vom 15./17./20. Juni 1907 erworben.

Die Eisenbahnverwaltung hat hiernach das Recht, über den Entwurf und seine Unterlagen zu verfügen und ihn weiter zu verfolgen.

Der Ankauf bezweckte die Erwerbung der Wassermessungen der Firma E. Holtzmann & Cie. als Grundlage für die hydraulischen Berechnungen und die Verwertung des Projektes im ganzen oder in einzelnen Teilen für den zu fertigenden Bauentwurf der Eisenbahnverwaltung.

Die Eisenbahnverwaltung ist alsbald, obschon die Ablieferung der Unterlagen des Rehbockschen Entwurfes erst nach und nach bis September 1907 erfolgte, in eine nähere Prüfung des Entwurfes eingetreten und hierbei in verschiedenen Punkten zu anderen Ergebnissen gelangt. Es ist aber selbstverständlich, daß die beiderseitigen Projekte eine gewisse Übereinstimmung zeigen, nachdem beide von vornherein die Ausnützung des fließenden Wassers der badischen Murgstrecke in Verbindung mit Staubecken vorgesehen und für beide die Holtzmannschen Wassermessungen als Grundlage gedient haben, und nachdem in jedes Gedanken des andern übernommen wurden, nämlich in das Projekt der Eisenbahnverwaltung die als eine wesentliche Verbesserung anzuerkennenden hochgelegenen Staubecken im Raumünzach- und Schwarzenbachtal an Stelle des Staubeckens bei Erbersbronn, und in das Projekt des Oberbaurat Professor Rehbock die zu bevorzugende Wasserführung und die weit zweckmäßigere Anlage eines einzigen, alles zusammenfassenden Kraftwerkes.

Der von der Eisenbahnverwaltung zur Ausführung empfohlene Entwurf ist im II. Teile näher erläutert.

4. Rechtsverhältnisse.

Das badische Wassergesetz unterscheidet zwischen öffentlichen und nichtöffentlichen Gewässern.

Es räumt bei öffentlichen Gewässern dem Staate die Verfügung über ihre Ausnützung in vollem Umfange ein, überläßt dagegen bei den nichtöffentlichen Gewässern den An- und Hinterliegern an der Flußstrecke unter Beachtung der maßgebenden wasserpolizeilichen Vorschriften ein Anrecht auf die Verwertung des Wassers zu häuslichen und wirtschaftlichen Zwecken. Das Gesetz vom 2. September 1908 über die Benützung der natürlichen, nichtöffentlichen Wasserläufe gibt aber die Möglichkeit, auch bei diesen Gewässern die Genehmigung zu einer Wassernutzungsanlage zu versagen, wenn dadurch einem anderen Unternehmen, das in erheblich höherem Maße den öffentlichen oder gemeinwirtschaftlichen Interessen dienen würde, wesentliche Hindernisse bereitet werden.

In den letzten Jahrzehnten war man im Zweifel, welcher von beiden Gewässerarten der obere Teil der Murg von der württembergisch-badischen Grenze abwärts bis zur Einmündung des Latschigbächles bei Weisenbach zugehöre.

Bei dem geringen wirtschaftlichen Interesse, das diese Strecke des Flußes nach Aufhebung der Flößerei bis in die neueste Zeit bot, lag kein Anlaß vor, diese Frage zu entscheiden. Die große Nachfrage nach guten Wasserkräften, die sich in den letzten Jahren mit der Vervollkommnung der Technik wie überall so auch bei der Murg bemerkbar machte, hat auch auf die Bedeutung der bis jetzt technisch für minderwertig gehaltenen Flußstrecke hingewiesen.

Dadurch war natürlich die Klarstellung der Rechtslage geboten.

Das Großh. Ministerium des Innern hat auf Anregung der Eisenbahnverwaltung nach eingehender Prüfung ermittelt, daß die Murg auf ihrem ganzen Laufe von der württembergisch-badischen Grenze bis zu ihrer Mündung in den Rhein als ein öffentliches, also der Verfügung des Staates unterstehendes Gewässer zu betrachten ist. Die Anliegerschaft gewährt demnach kein Anrecht auf die Verwendung des Wassers.

Die Entscheidung des Großh. Ministeriums des Innern Nr. 21218 vom 4. Mai 1907, die diesen Gegenstand behandelt, möge hier wiedergegeben werden, soweit sie sich mit den für den Entwurf wichtigen Verhältnissen befaßt:

„Aus den Akten der Regierung des Mittelrheinkreises vom Jahre 1853/54 über den Anspruch der Gemeinden Weisenbach und Au auf das Recht der Fischerei in der Murg innerhalb ihrer Gemarkungen

von der Sägemühle oberhalb des Dorfes Weisenbach ist zu entnehmen, daß diese Regierung unter dem 28. März 1854 auf Grund des § 1 Absatz 3 der Verordnung vom 26. März 1853, den Vollzug des Fischereigesetzes vom 29. März 1852 betreffend, die Murg ohne Einschränkung auf einzelne Strecken für floßbar erklärt hat. Diese Entscheidung beruht auf einem Gutachten der damaligen Großh. Wasser- und Straßenbauinspektion Baden vom 21. Dezember 1853 Nr. 1560, das in Übereinstimmung mit einer Äußerung der Großh. Bezirksforstei Kaltenbronn feststellt, daß die Murg, die früher und zwar bis etwa 1805 oder 1806 stets mit gebundenen Flößen (Langholz) aus dem Württembergischen herab befahren wurde, wenn sie auch in ihrem gegenwärtigen Zustande für gebundene Flöße nicht fahrbar sei, doch mit verhältnismäßig geringen Mitteln als Floßstraße wieder geöffnet werden könne.

Auf Grund dieses Erkenntnisses hat das Großh. Domänenärar das Fischereirecht in der Murg auch oberhalb Weisenbach bis zur Landesgrenze für sich beansprucht und bis zum heutigen Tage durch Verpachtung ausgeübt.

Die Entscheidung der Regierung des Mittelrheinkreises vom 28. März 1854 ist zweifellos als eine Erklärung der zuständigen Behörde im Sinne des Artikels 3 Absatz 1 des Wassergesetzes vom 25. August 1876 anzusehen und es war demnach bei Inkrafttreten dieses Gesetzes die Murg in ihrem ganzen Laufe als öffentliches Gewässer zu betrachten.

In diesem Gesetz ist zwar die Murg oberhalb des Latschigbächles nicht mehr als öffentliches Gewässer aufgezählt und auch in dem Erlasse des Großh. Handelsministeriums vom 13. April 1878 Nr. 2808 über den Vollzug des Wassergesetzes vom Jahre 1876 ebenfalls nicht erwähnt. Es macht indessen dieser Erlaß auch nicht Anspruch auf erschöpfende Aufzählung der Gewässer, denn er bemerkt ausdrücklich:

„Sofern sich nachträglich ergeben sollte, daß noch andere Gewässer, bezw. einzelne Strecken derselben öffentlich sind, oder daß bei einzelnen der genannten die Voraussetzungen des Artikels 3 des Wassergesetzes nicht zutreffen, so bleibt die Abänderung des Verzeichnisses vorbehalten."

Die Floßordnungen vom 1. Oktober 1864 und 27. November 1875 bestimmen zwar, daß die Murg erst von Weisenbach ab für gebundene Hölzer floßbar sei, aber sie sollten und konnten nicht die Wirkung haben, daß durch sie die erwähnte Entscheidung der Regierung des Mittelrheinkreises außer Kraft gesetzt worden wäre. Denn Artikel 3 Absatz 1 des Wassergesetzes vom Jahre 1876 will gerade auch solche Gewässer für öffentlich erklären, die zur Zeit der Erlassung des Gesetzes nicht mehr der Flößerei mit gebundenen Hölzern dienten.

Auch ist die Floßordnung auf Grund der §§ 148 bezw. 130/1 des Badischen Polizeistrafgesetzbuches vom 31. Januar 1863 lediglich zu dem Zwecke erlassen worden, um den Verkehr mit Flößen zu regeln; sie konnte also nur die tatsächlichen Verhältnisse berücksichtigen. Daß nicht beabsichtigt war, durch § 10 der Floßordnung vom Jahre 1864 die Entscheidung der Regierung des Mittelrheinkreises vom Jahre 1864 aufzuheben, ergibt sich aus dem Umstande, daß dieselbe Bestimmung schon in der vor jener Entscheidung von derselben Regierung erlassenen Floßordnung vom Jahre 1852 stand.

Eine rechtliche Möglichkeit, den nach Artikel 3 Absatz 1 des Wassergesetzes vom Jahre 1876 als öffentlich zu betrachtenden Gewässern diese Eigenschaft abzuerkennen, bestand nach diesem Gesetze überhaupt nicht; nach Absatz 3 des angeführten Artikels sollten die öffentlichen Gewässer vielmehr diese Eigenschaft behalten, auch wenn sie nicht mehr zu Schiff- und Floßfahrt benützt wurden.

Nachdem somit feststeht, daß die obere Murg unter der Herrschaft des Wassergesetzes vom Jahre 1876 als öffentliches Gewässer zu betrachten war und diese Eigenschaft nach Artikel 3 Absatz 3 dieses Gesetzes nicht verlieren konnte, hat sie gemäß § 1 Absatz 3 Satz 2 des Wassergesetzes vom Jahre 1899 auch künftig als öffentliches Gewässer zu gelten."

Dagegen sind die Seitenbäche der Murg, die im Bereiche des Kraftwerkes sich befinden, ja zum Teil unmittelbar in die Anlagen einbezogen werden, nämlich die Raumünzach, der Schwarzenbach, der Hundsbach und die Biberach, nichtöffentliche Gewässer.

Was die Grundeigentumsverhältnisse der Gegend im allgemeinen betrifft, so sind die Waldgebiete, die überwiegend vorherrschen, Eigentum des Staates, der Gemeinde, der Murgschifferschaft — einer Waldgenossenschaft mit abgesonderter Gemarkung — und des Heiligenfonds in Forbach. Das wenige Wiesengelände längs der Murg und in der Nähe des Herrenwieser Sees ist in geteiltem Einzelbesitz, dasjenige in den hochgelegenen Flußtälern der Raumünzach und des Schwarzenbaches Eigentum des Staates. Es ruht aber auf diesen Grundstücken eine Art Erbbaurecht, die sogenannte Überbesserung, die den von dem Staate zur Bewirtschaftung seiner Wälder beigezogenen Ansiedlern zugestanden wurde. Diese und deren Nachkommen sind hiernach befugt, auf dem ihnen überwiesenen Gelände die zum Wohnen und Unterbringen des Viehes nötigen Gebäulichkeiten, die ihr Eigentum verbleiben, zu errichten und den Boden zu bewirtschaften, ohne daß sie, wie es früher der Fall war, gehalten sind, während eines Teiles des Jahres dem Staate in seinen Waldungen Dienste zu leisten. Jetzt ist vielmehr jeder unbeschränkt in der Wahl und Ausübung seines Berufes und hat lediglich ein jährliches Entgelt in bar für den ihm eingeräumten Genuß der Überbesserung zu entrichten. Beide Teile sind berechtigt, das Verhältnis unter gewissen Bedingungen zu lösen.

Das Gelände, das zu der geplanten Wasserkraftanlage anzukaufen ist, setzt sich in mäßigem Umfang aus Wiesen, in weitaus überwiegendem Maße aber aus Wald zusammen, der zum größten Teile Eigentum des Staates und des Heiligenfonds in Forbach ist und zum kleinen Teil noch der Gemeinde Forbach und der Murg-

schifferschaft gehört. Auch ein Teil der überbesserten Grundstücke fällt in die Stauanlagen.

Nur zwei kleine Wasserkraftanlagen müssen voraussichtlich angekauft werden.

Abgesehen von dem Fischereirecht des Landesfiskus — Domänenverwaltung — sind sonstige Wasserrechte nicht abzulösen.

Bei diesen Eigentumsverhältnissen ist zu hoffen, daß der Geländeerwerb nicht teuer und auch nicht schwierig sein wird.

Der Vollständigkeit halber soll noch die Anliegerschaft längs der Murg von der Landesgrenze bis zum unteren Ende des Ausgleichbeckens bei der Heiligensäge oberhalb Forbach angegeben werden:

Eigentümer	Anliegerstrecken auf dem linken Ufer m	Anliegerstrecken auf dem rechten Ufer m	Zusammen m
Staat	1 425	3 600	5 025
Gemeinden	2 520	730	3 250
Murgschifferschaft .	3 070	3 270	6 340
Private	2 400	1 290	3 690
	9 415	8 890	18 305

Der Längenunterschied zwischen dem rechten und linken Ufer erklärt sich daraus, daß die Landesgrenze auf etwa 500 m in der Mitte des Flusses verläuft und daher nur die eine Uferseite auf dieser Strecke badischer Besitz ist.

5. Geologische Verhältnisse.

Über die geologischen Verhältnisse des in Frage kommenden Murggebietes entnehmen wir dem hierüber erstatteten geologischen Gutachten der Großh. Badischen Geologischen Landesanstalt folgendes:

Das Staubecken im Raumünzachtal ist dadurch begünstigt, daß der Buntsandstein an beiden Seiten des Tales nicht unter 700 m herunterkommt. Zwischen Granit und Buntsandstein liegt an mehreren Stellen, z. B. zu beiden Seiten von Erbersbronn, dann bei Hundsbach und weiter talaufwärts am Aschenplatz, eine schmale Zone von rotliegenden Arkosen. Diese bilden eine kleine Terrasse oder einen Absatz und sammeln daher auf sich den Schutt des Buntsandsteines. Man tut gut, hier mit dem Wasserspiegel unter diesen rotliegenden Schichten zu bleiben, damit der höhere Schutt nicht ins Rutschen gerät. Am Pandurenbrunnen, wo die Sperre angebracht werden soll, findet sich zwar zu beiden Seiten fest anstehendes Gestein, das auch in Form von einzelnen Klippen gegen den Bach vorspringt, aber diese Klippen entsprechen sich nicht rechtwinklig zum Flusse, sondern stehen schräg. Eine Anlehnung an diese ist daher vielleicht nicht ohne weiteres möglich. An der Sperrstelle zieht ferner ein Granitporphyrgang hindurch, etwa SSW — NNO, und parallel mit ihm haben wir eine Klüftung. Es wird wohl keine Schwierigkeit haben, in dem Bachbette selbst auf diesen Granitporphyren und den daneben liegenden porphyrartigen Graniten die Staumauer zu gründen; dagegen wird möglicherweise auf dem Talboden das feste Gestein ziemlich tief liegen und wieder unter mächtigen Rollblöcken und Granitgrus verdeckt sein. In das Becken hinein tritt ein kleiner Sprung, der zwischen Schurmsee und hintere Langeck vom Schönmünzachtal in nordwestlicher Richtung hindurchsetzt. Seine Sprunghöhe ist etwa 30 m. Den Granit hat er sicher etwas verklüftet; wenn man aber mit der Stauung unterhalb der Höhe 700 m bleibt, dann wird dieser Sprung für Ableitung des Wassers kaum in Betracht kommen. Die Granitporphyrgänge, die oberhalb der Talgabelung in nordnordöstlicher Richtung die beiden Talfurchen durchsetzen, sind kein Hindernis, da sie schräg laufen und das Wasser schwerlich auf größeren Strecken trotz der benachbarten Verklüftung wegzuführen vermögen. Es würde auch außerdem das etwa im Hundsbachtale an ihnen verschwindende Wasser nur im Schönmünzachtale wieder zutage treten können und damit schließlich der Murg wieder zufließen.

An der Stelle des Staubeckens im Schwarzenbachtal geht nach den Aufnahmen der Granit an der fraglichen Stelle im Norden bis zu 715—720 m Höhe hinauf, ist auf der Südseite sicher bis zu 720 m nachweisbar und an beiden Rändern an seiner oberen Grenze gekennzeichnet durch einen deutlichen Quellhorizont. Bis zu dieser Höhe dürfte höchstens das Wasser gestaut werden. Es wäre aber besser, wenn man mit der Stauung unterhalb dieser Linie bliebe, weil der Buntsandstein dort beginnt und es viel praktischer ist, den Buntsandstein gar nicht mehr, auch nicht mit seinem Schutt, in die Staubecken hineinzubekommen. Die eine Verwerfung, die den Näglis-kopf an seiner Ostseite durchsetzt, könnte vielleicht noch in das Becken und zwar in den Bereich der Staumauer hineinfallen. Dann wäre es natürlich besser, unterhalb oder oberhalb der Verwerfung zu bauen, weil ja jeder kleine Sprung mit einer Verklüftung der kristallinen Gesteine verbunden ist. Der Granit ist im Schwarzenbachtal ziemlich stark verklüftet und an der Stelle, wo die Versuchsschürfe gemacht worden sind, tief hinunter vergrust. Diese Vergrusung und die damit in Zusammenhang stehende Schuttbildung ist weniger stark gegen die Höhe, als vor allem im Tal. Man müßte im Tal, was ja auch die Versuchsgrabungen gezeigt haben, zweifellos bis über 7 m hinabgehen, ehe man das gesunde Gestein antrifft. Weiter gegen die Höhe vermindert sich dieser Betrag, und was an Ort und Stelle dort zu sehen war, beweist, daß man etwa in 4—5 m Tiefe schon den festen Fels erreichen kann.

Ein gewisses Bedenken, aber nicht schwerwiegende Natur, liegt in den sehr starken Schuttmassen, die die Gehänge der genannten Täler bedecken. Es ist ja klar, daß diese durch den Auf- und den Abtrieb nach und nach in Bewegung geraten werden, daß die feinen Sand- und Grusmassen mit dem wechselnden Wasserstande allmählich in die Tiefe hinuntergleiten und damit den großen Blöcken den Halt entziehen werden. Da der

Granit zu Bergstürzen neigt, werden aller Wahrscheinlichkeit nach derartige größere Bergschlipfe und Bergrutsche nicht ausbleiben, sobald in gewissen Tal-Abschnitten die ganzen Wasserverhältnisse verändert werden. Es werden sich also die Becken mit dem Gehängeschutt auffüllen und dadurch an Fassungsraum für das Wasser einbüßen. Andererseits wird an den Gehängen dementsprechend Platz geschaffen. Das geht aber nur solange, als nicht die oben gelegenen, über dem Wasserspiegel befindlichen Schuttmassen ebenfalls ins Rutschen geraten; denn für diese ist dann in dem Becken kein entsprechender Raum frei geworden. Aus diesem Grunde muß die Stauung an all den verschiedenen Stellen derart gehandhabt werden, daß sie immer unter der Kante bleibt, die in der Regel Granit und Sandstein voneinander scheidet. Diese vielfach von Moor bedeckte Stufe ist im großen und ganzen deutlich ausgeprägt. Sie hält den Buntsandsteinschutt, der auf ihr langsam verwittert und einsinkt. Dieses Moor muß geschont werden und darf nicht ins Rutschen geraten.

Der Druckstollen, der die beiden Staubecken miteinander verbinden soll, wird nach dem, was sich bis jetzt über die Zusammensetzung dieses Gebietes ergeben hat, ausschließlich im kristallinen Gestein verlaufen. Es wäre nur denkbar, was aber nicht recht wahrscheinlich ist, daß der Granit nicht sehr mächtig wäre und daß seine Unterlage (karbonische Sandsteine, Schiefer und Konglomerate) angeschnitten würde. Dann wären diese Schichten jedenfalls durch die Wärme des Granits umgewandelt und außerordentlich gehärtet (Knotenschiefer, Hornfelse etc.). Da aber der Granit im Raumünzachtale ein recht grobes Korn aufweist, da er ferner keinerlei Bruchstücke von solchen karbonischen Schiefern einschließt, sondern nur Gneise enthält, so ist anzunehmen, daß auch nicht derartige Sedimente unter ihm liegen. Wenn etwas angefahren wird, sind es aller Wahrscheinlichkeit nach Gneise, und diese können ja als kristalline Gesteine technisch ebenso behandelt werden wie die Granite. Der Druckstollen vom Raumünzach- nach dem Schwarzenbachtal wird die Längsverwerfung des Nägliskopfes durchqueren, deren Sprunghöhe wohl 30 bis 40 m betragen wird; vielleicht wird noch ein kleiner Quersprung beim Jägerbrunnen angetroffen werden. Mit jedem derartigen Sprunge ist ein Kluftsystem verbunden und daher in der Nähe dieser Risse auch eine stärkere Zerspaltung der kristallinen Gesteine zu erwarten. Wahrscheinlich werden Ruschelzonen durchfahren werden, die dann auf ihre Erstreckung hin sorgfältig auszumauern wären. Der Stollen vom Schwarzenbachbecken nach dem Kraftwerk in der Oberau oberhalb Forbach hat zu rechnen mit den kleinen Brüchen an der Ostseite des Nägliskopfes, wo das Rotliegende nach verschiedenen Richtungen hin zerspalten und abgesunken erscheint. Auch kommt ferner in der Nähe des Murgtals eine sehr starke Zerklüftung in Betracht, die im allgemeinen in der Richtung des Murgtals verläuft. Wie diese Klüftung sich in der Tiefe des Berges verhält, läßt sich nicht sagen; daß sie aber gegen die Gehänge des Murgtales hin sehr zunehmen wird, ist vollständig klar, und es werden die letzten Teile des Stollens — vielleicht 400 m — voraussichtlich in stark zerspaltenes und daher wasserdurchlässiges Gestein zu liegen kommen. Aus diesem Grunde könnte auch der Druckstollen für das Murgwasser, der von der Landesgrenze nach dem Wasserfall im Raumünzachtale und von dort nach dem Kraftwerk in der Oberau oberhalb Forbach das Wasser führen soll, Schwierigkeiten bereiten; denn er läuft anfangs nahezu in der Klüftung oder nur in einem kleinen Winkel dazu, dann nachher etwas schräger, schließlich aber beinahe ganz in der Klüftung. Daß er auf dem Plane tiefer in den Berg hineingelegt ist, kann nur von Vorteil sein. Dementsprechend empfiehlt es sich möglicherweise, seinen oberen Abschnitt etwas zu krümmen und gleich mehr in das Gebirge hineinzuführen.

Dann sei noch darauf hingewiesen, daß das Murgtal nicht ganz frei ist von schwachen Erdbebenstößen. Die Zentren dieser Erscheinungen liegen allerdings nicht im Murgtale selbst, sondern außerhalb in der Rheinebene, in der Gegend von Karlsruhe, so daß die Stöße bis jetzt immer nur abgeschwächt in das Gebirge eingetreten sind; oder es sind schwache Wellenbewegungen, die aus der Freudenstadter Gegend herüberkommen. Im allgemeinen leitet ein gleichmäßiges Gestein, wie es der Granit und der Gneis sind, die Wellenbewegung sehr gut und ist daher geeigneter, größere, stark fundamentierte Baulichkeiten zu tragen als irgend welche lockere Sedimente. Nach den bis jetzt bekannten Erdbeben besteht infolgedessen keine große Gefahr für die ganz auf und in Granit angelegten Stauwerke. Wie sich in einem Erdbebengebiet Druckstollen verhalten, darüber fehlt jegliche Erfahrung.

Endlich sei erwähnt, daß die Verklüftung des Granits selbstverständlich eine gewisse Menge von Wasser immer abfließen lassen wird, und daß im Murgtale oder auch an anderen Stellen neue Quellen entstehen werden. Da aber über die Wasserleitung des Granites in der Tiefe kein Urteil gefällt werden kann, so läßt sich weder Menge noch Richtung des etwa weggehenden Wassers angeben.

6. Meteorologische und hydrographische Verhältnisse.

Die Regenhöhen des Schwarzwaldes gehören nach den staatlichen Beobachtungen zu den höchsten im ganzen Deutschen Reiche. Im Schwarzwald fallen die größten Regenmengen in drei eng begrenzten Gebieten nieder und zwar:

im südlichen Schwarzwald um die Kuppen des Feldberges und Belchens,

im mittleren Schwarzwald in den höchsten Erhebungen zwischen Dreisam und Kinzig,

im nördlichen Schwarzwald in den Gebirgsstöcken der Hornisgrinde und des Kniebis.

Der südliche Schwarzwald empfängt zwar die größten Niederschläge, doch steht der nördliche Schwarzwald nicht wesentlich nach, ja er weist in den Monaten

Januar, Mai und Dezember im Mittel sogar höhere Niederschläge auf.

Die langjährigen Beobachtungen lassen erkennen, daß die Niederschläge in drei Perioden des Jahres, im März, im Juni oder Juli und im November, sich häufen und in den dazwischen liegenden Zeiten, besonders in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar, dann im April und August abflauen.

Wie dies auch sonst bestätigt wird, steigt mit der Bodenhöhe auch die Niederschlagshöhe. Die Linien gleicher Niederschlagshöhe sind, von örtlichen Unregelmäßigkeiten abgesehen, den zugehörigen Höhenkurven ziemlich ähnlich. Die westlich gelegenen Geländestriche sind regenreicher, weil die Westseite von den Wolken stärker beaufschlagt wird. Der große Niederschlagsreichtum auch auf der Ostseite, aus dem die Wasserkraftanlage versorgt werden wird, ist dem günstigen Zufall zu verdanken, daß sich das Gelände östlich der Kammlinie nur allmählich absenkt.

Der periodische Verlauf der Niederschläge ist von Vorteil für die Bemessung der Größe der Staubecken, weil dadurch eine bessere Ausnützung derselben ermöglicht wird und deshalb kleinere Becken ausreichen.

Die Beobachtungen, die für das Murggebiet zu Gebote standen, sind in verschiedener Hinsicht lückenhaft. In dem ganzen Einzugsgebiete der Kraftanlage waren bisher nur an 7 Stellen Meßapparate für die Niederschlagsmengen aufgestellt und beobachtet und zwar mit einer einzigen Ausnahme nur auf den Höhen und an den Rändern des Gebietes. Die Regenaufzeichnungen sind demnach weder erschöpfend, noch in Übereinstimmung mit den für das Murgkraftwerk in Frage kommenden Teilgebieten. Die Eisenbahnverwaltung hat deshalb an geeigneten Stellen im Jahre 1908 noch 7 Regenmeßstationen und 1909 noch eine weitere eingerichtet und beobachten lassen. Die Abflußmengen sind nur oberhalb Weisenbach im Werke Schlechtau der Firma Holtzmann & Cie. — also außerhalb des Einzugsgebietes der Kraftanlage — nach der Beaufschlagung der Turbinen bestimmt. Die Zahlenwerte geben also nur die verarbeiteten, nicht aber die gesamten Abflußmengen an; auch umfassen diese die höheren Wasserstände nicht. Letztere mußten deshalb aus dem vorhandenen sonstigen Material berechnet werden. Die gemessenen und berechneten Zahlen geben somit kein genaues Bild der tatsächlichen Abflußmengen. Um diese für die einzelnen Gebiete des Kraftwerkes zu erhalten, hat deshalb die Eisenbahnverwaltung in den Jahren 1907 und 1908 drei Meßwehre gebaut; eines in der Murg unweit der Landesgrenze und je eines in der Raumünzach und im Schwarzenbach an den Stellen der geplanten Talsperren; hier werden regelmäßig unmittelbare Messungen vorgenommen.

II. Erläuterung des von der Eisenbahnverwaltung empfohlenen Entwurfes.

1. Allgemeines.

Für eine Wasserkraftanlage zur Ausnützung des badischen Murggebietes oberhalb Forbach kommt die Murg mit ihren beiderseitigen Zuflüssen von der Landesgrenze unterhalb Schönmünzach bis zu dem Wehr der Firma J. F. Dorn in Forbach in Betracht. Dabei ist vor allem zu entscheiden, ob die Kraftgewinnung

ausschließlich auf natürlich abfließendes Wasser,
ausschließlich auf gestautes Wasser oder
auf eine Vereinigung beider,

gestützt werden soll.

Die Murg hat einen sehr wechselnden Wasserstand; er sinkt bei Wasserklemme an der Landesgrenze auf etwa 1 cbm/sec herab und steigt bei außergewöhnlichen Hochwassern auf etwa 500 cbm/sec — nach württembergischen Angaben sogar auf 626 cbm/sec. Ohne sonstige Hilfsmittel kann deshalb das fließende Wasser der Murg nur innerhalb enger Grenzen (die vorhandenen Werke unterhalb Forbach nützen die Murg nur bis zu 10 bis 12 cbm/sec aus) und nur für Betriebe verwertet werden, die sich einer schwankenden Kraftlieferung anzupassen vermögen. Die jederzeit verfügbare Kraftleistung richtet sich nach dem Niederwasser. Es ist aber nicht zu verkennen, daß die Murg, die von der Landesgrenze bis zum Dornschen Wehre ein Gefälle von 161 m besitzt, eine ganz bedeutende Kraft zu leisten imstande ist, wenn es gelingt, Mittel und Wege zu finden, um auch bei Niederwasser eine bestimmte Kraftlieferung zu sichern.

Ein großes Staubecken zur Aufspeicherung des sonst ungenützt abfließenden Wassers der Murg für wasserarme Zeiten läßt sich auf badischem Gebiet nicht anlegen. Auf dieses naheliegende Hilfsmittel muß deshalb von vornherein verzichtet werden. Die eingehenden Untersuchungen haben aber ergeben, daß sich eine über die Leistung des Niederwassers weit hinausgehende jederzeit verfügbare Kraft erzielen läßt, wenn eine Dampfreserve angeschlossen wird, die bei Niederwasser

die fehlende Kraft zu liefern vermag, und wenn außerdem ein kleines Sammelbecken gebaut werden kann, das imstande ist, den Tagesausgleich des zufließenden Wassers zu vermitteln und die über die zusätzliche Dampfkraft hinausgehende Spitzenarbeit zu leisten. Während die Murg bei Wasserklemme nur etwa 1500 PS zu leisten vermag, zeigt die Berechnung, daß mit einer Dampfreserve von 6500 PS und einem Tagesausgleichbecken eine mittlere Jahresleistung von 6000 PS und eine Höchstleistung von 18 000 PS erzielt und diese Leistung dem schwankenden Bedarf an Energie für Beleuchtungs- und Kraftzwecke angepaßt werden kann.

Die Ausnützung der Murg kann aber noch weiter gesteigert werden, wenn sie in Verbindung mit Staubecken, die über große Zeiträume einen Wasserausgleich schaffen, gebracht werden kann.

Hierfür finden sich im Raumünzach- und Schwarzenbachgebiet geeignete Stellen und zwar im Raumünzachtal zunächst unter- oder oberhalb des Zinkens Erbersbronn mit Rückstau bis gegen Juristenbronn und bei Hundsbach etwa 1 km unterhalb der Vereinigung der Biberach und des Hundsbaches zur Raumünzach; im Schwarzenbachtal unterhalb der Blockhütte in der Schäfersgrüb mit Rückstau bis kurz über die Einmündung des Seebaches. Gegen diese drei Staubecken bestehen weder geologische noch technische Bedenken. Die beiden Staubecken bei Hundsbach und in der Schäfersgrüb, die von Oberbaurat Prof. Rehbock in Vorschlag gebracht wurden, verdienen den Vorzug vor einer Talsperre bei Erbersbronn, weil sie, wie die nachstehende Tabelle zeigt, bei gleichem Kostenaufwand mehr Wasser fassen und zudem eine größere Druckhöhe besitzen. Die Gründungstiefe ist bei allen drei Talsperren zu 5 m angenommen.

Schwarzenbachbecken.

Stauhöhe		Stauraum	Mauerinhalt	Verhältnis von Stauraum zu Mauerinhalt
Meereshöhe über N.N.	über Talsohle m	cbm	cbm	
630	14	388 000	12 300	37,7
640	24	2 245 000	28 300	79,3
650	34	5 623 000	62 300	90,2
660	44	10 373 000	115 400	89,9
670	54	16 784 000	175 000	96,0

Raumünzachbecken.

Stauhöhe		Stauraum	Mauerinhalt	Verhältnis von Stauraum zu Mauerinhalt
Meereshöhe über N.N.	über Talsohle m	cbm	cbm	
620	15,5	220 000	8 400	26,2
630	25,5	1 256 000	23 500	53,4
640	35,5	4 258 000	51 000	83,5
650	45,5	8 954 000	97 000	92,3
660	55,5	15 228 000	160 800	94,7
665	60,5	20 630 000	195 000	105,8

Erbersbronner Becken.

Stauhöhe		Stauraum	Mauerinhalt	Verhältnis von Stauraum zu Mauerinhalt
Meereshöhe über N.N.	über Talsohle m	cbm	cbm	
520	21	420 000	13 700	30,7
530	31	1 680 000	34 000	49,4
540	41	3 820 000	68 400	55,8
550	51	7 048 000	121 500	58,1
560	61	11 505 000	200 000	57,5
575	76	21 116 000	362 000	58,3

Obschon das Niederschlagsgebiet dieser beiden Staubecken zusammen nur 51 qkm beträgt, so ist bei den hohen Niederschlägen dieser Gegend der Wasserzufluß doch ein bedeutender, so daß bei dem hohen Gefälle, das von diesen Becken aus erzielt werden kann, sich eine große Kraftleistung ergibt. Es ist zweifellos, daß auch mit den Staubecken allein ein bedeutendes, lebensfähiges Werk geschaffen werden könnte. Eine gemeinsame Ausnützung des Wassers der Staubecken mit dem fließenden Wasser der Murg unter Zuziehung einer Dampfreserve in einem beide Wasserquellen zusammenfassenden Werke ergibt aber eine ganz bedeutende Kraftsteigerung und zwar dadurch, daß einerseits das Wasser der Murg entsprechend der erhöhten mittleren Leistung des Gesamtwerkes in weit höherem Maße verarbeitet werden kann und daß anderseits die sogenannten unständigen Wasserkräfte der Staubecken in viel höherem Maße nutzbar gemacht werden können, als dies sonst der Fall wäre. Während bisher mit dem Murgwasser und der Dampfreserve im Jahresmittel nur 6000 PS und mit den beiden Staubecken allein nur 5180 PS hätten geleistet werden können, steigt diese Leistung bei der Verarbeitung des Wassers der Murg und der Staubecken in einem gemeinsamen Werke unter Zuziehung der gleichen Dampfreserve wie für die Murg auf 15 000 PS; hierbei kann die größte Kraftleistung des Werkes auf 45 000 PS gesteigert werden, was einer Belastungsschwankung von 3 : 1 entspricht. Es zeigt sich hieraus, wie außerordentlich vorteilhaft es ist, das Wasser der Murg in Vereinigung mit gestautem Wasser auszunützen. Die zu erbauende Wasserkraftanlage gestaltet sich daher in ihren Grundzügen nach Zeichnung Blatt 1 und 2 folgendermaßen:

Unweit der Landesgrenze bei der Einmündung des Schwarzwässerles in die Murg wird diese durch ein Wehr bis auf + 452,00 m gestaut und hierdurch ein kleines Sammelbecken von 228 000 cbm gesamtem und 190 000 cbm nutzbarem Stauinhalt geschaffen, das dazu bestimmt ist, den Tagesausgleich zwischen Wasserzufluß und Bedarf zu regeln und namentlich das für die Spitzen der Tagesbelastungskurven nötige Wasser in Vorrat zu halten. Das Wasser tritt vom Sammelbecken in ein Klärbecken und von hier in einen Stollen, der das Raumünzachtal unterhalb des Wasserfalles kreuzt und dort das ebenfalls in einer Kläranlage gereinigte Wasser der

Raumünzach aufnimmt. Von hier zieht der Stollen nach einem Wasserschloß an der Lindenhalde oberhalb Forbach, von wo das Wasser in zwei Druckrohren nach dem Kraftwerke in der Oberau geleitet wird. Außerdem wird unterhalb Hundsbach im Raumünzachtal und bei Schäfersgrüb im Schwarzenbachtal je eine Talsperre gebaut. Die hierdurch gebildeten Staubecken mit einem höchsten Wasserspiegel auf + 660,5 m werden durch einen Stollen untereinander und mit einem zweiten Wasserschlosse an der Lindenhalde, das höher liegt als das oben genannte, verbunden. Von hier führen ebenfalls zwei Druckrohre nach dem erwähnten Kraftwerke.

Es wird hiernach in ein und demselben Werke das Wasser von zwei Druckstufen verarbeitet. Die untere Druckstufe, die im wesentlichen durch das Murgwasser aus dem württembergischen Gebiet gespeist wird, umfaßt das Gefälle der Murg von der Landesgrenze bis zum Kraftwerk, die obere wird durch die Staubecken versorgt und umfaßt das Gefälle von diesen bis zum Kraftwerk.

An das Kraftwerk schließt ein Ausgleichbecken von 204 000 cbm Fassungsraum bei einem Wasserspiegel auf + 300 m zur Regelung des Wasserabflusses für die Unterlieger an. Um das Gefälle zwischen dem Ausgleichbecken und dem Dornschen Wehre noch ausnützen zu können, erfolgt der Abfluß aus dem Becken durch eine Turbinenanlage am Fuße der Abschlußmauer, die die erzeugte Kraft ebenfalls an das Hauptkraftwerk abgibt. Von dem Beckeninhalt können 164 000 cbm in den Turbinen ausgenützt werden.

Um die Wasserführung der Murg und die unständigen — nicht jedes Jahr vorhandenen — Wasserkräfte der Staubecken noch soweit auszunützen, als dies zweckmäßig und wirtschaftlich erscheint, und um anderseits die vorhandenen bahneigenen Dampfzentralen auch fernerhin nutzbringend zu verwerten, werden die der Eisenbahnverwaltung gehörigen Dampfzentralen in Mannheim, Karlsruhe und Offenburg an das Murgkraftwerk angeschlossen.

Bei der gewählten Anordnung des ganzen Werkes ist es möglich, der nur allmählich anwachsenden Nachfrage nach Kraft dadurch Rechnung zu tragen, daß das Werk in einzelnen, nach und nach ausführbaren Teilanlagen gebaut und in Betrieb genommen werden kann. Dabei ist in erster Reihe zu entscheiden, ob mit dem Bau der unteren Druckstufe — der Verwertung des Murgwassers — oder mit dem der oberen Druckstufe — den Staubecken — begonnen werden soll. Vergleichende Berechnungen haben ergeben, daß es sich empfiehlt, zuerst das fließende Wasser der Murg unter Zuziehung der vorhandenen Dampfzentralen zu bauen und in Betrieb zu nehmen, und erst bei weiterem Bedarf zu der Herstellung der großen Staubecken überzugehen. Auch der Umstand, daß für die Staubecken zuverlässige hydraulische Grundlagen zurzeit noch fehlen, spricht hierfür.

2. Anteil der Eisenbahnverwaltung und des Oberbaurat Professor Rehbock an dem zur Ausführung empfohlenen Entwurf.

Der Entwurf, der im Abschnitt 4 näher erläutert wird, umfaßt folgende Anlagen:

a) für die Wasserfassung:
- ein Sammelbecken und eine Kläranlage für die Murg an der Landesgrenze,
- ein Wehr und ein Klärbecken im Raumünzachtal und die Einführung des Wassers in den Murgstollen,
- je ein Staubecken im Raumünzach- und im Schwarzenbachtal;

b) für die Wasserzuleitung:
- einen Druckstollen vom Sammelbecken bis zum unteren Wasserschloß an der Lindenhalde und die Druckrohrleitung von da nach dem Kraftwerk in der Oberau,
- einen Verbindungsstollen zwischen dem Raumünzach- und dem Schwarzenbachbecken, einen Druckstollen vom Schwarzenbachbecken nach dem oberen Wasserschloß an der Lindenhalde und die Druckrohrleitung von da zum Kraftwerk;

c) für die Kraftgewinnung:
- ein Kraftwerk und ein Schalt- und Transformatorenhaus in der Oberau oberhalb Forbach und die Ausgleichturbinen;

d) für die Wasserableitung:
- ein Ausgleichbecken mit Sperrmauer bei der Heiligensäge und die genannten Ausgleichturbinen;

e) hierzu kommt die Zuziehung der vorhandenen Dampfzentralen in Mannheim, Karlsruhe und Offenburg.

Die Wahl der beiden hochgelegenen Staubecken im Raumünzachtal und im Schwarzenbachtal sind dem ursprünglichen Rehbockschen Entwurf entnommen.

Diese Becken mit einem Stollen zu verbinden und das Wasser derselben und das der Murg in einem Kraftwerk auszunützen, wurde von der Eisenbahnverwaltung angeregt und auf deren Veranlassung von Oberbaurat Professor Rehbock auch in seinen Entwurf aufgenommen.

Die Benützung des fließenden Wassers der Murg, die Führung des Murgstollens, die Einleitung des ungestauten Wassers der Raumünzach in diesen, die Lage des Kraftwerkes und des anschließenden Ausgleichbeckens waren schon von der Eisenbahnverwaltung in allgemeinen Zügen festgelegt, bevor sie Kenntnis von den Arbeiten des Oberbaurat Professor Rehbock erhielt.

Der Entwurf des Oberbaurat Professor Rehbock sieht ebenfalls die Benützung des fließenden Wassers der Murg und des ungestauten Wassers der Raumünzach und ein Ausgleichbecken im Anschluß an das Kraftwerk vor. An Stelle des Wehres an der Landesgrenze mit anschließendem Stollen ohne Druck ist im Entwurf

der Eisenbahnverwaltung aber ein Sammelbecken mit Kläranlage und anschließendem Druckstollen und an Stelle des hohlen Wehres im Raumünzachtal ist ein massives Wehr mit anschließendem Klärbecken gewählt. Die beiden Wasserschlösser liegen im Entwurf der Eisenbahnverwaltung nicht am Haulerberg, sondern — um eine geeignetere Lage und eine geringere Länge der Rohrleitung zu erhalten — an der Lindenhalde, und die Sperrmauer des Ausgleichbeckens nicht bei den Forsthäusern, sondern bei der Heiligensäge. Die Anordnung und Ausgestaltung des Kraftwerkes und des Schalt- und Transformatorenhauses ist von der des Oberbaurat Professor Rehbock wesentlich verschieden.

An Stelle des von letzterem projektierten Gausbachwerkes treten drei Ausgleichturbinen am Fuße des Wehres für das Ausgleichbecken.

Die Ausführung des von Oberbaurat Professor Rehbock empfohlenen Pumpwerkes, das überschüssiges Wasser aus dem Murgstollen in das Schwarzenbachbecken pumpen sollte, ist von der Eisenbahnverwaltung nicht in Aussicht genommen; dagegen empfiehlt die Eisenbahnverwaltung die Zuziehung vorhandener Dampfzentralen zur Kraftsteigerung und besseren Ausnützung der unständigen Wasserkräfte.

Als Grundlage für die hydraulischen Berechnungen hat die Eisenbahnverwaltung neben den eigenen unmittelbaren Messungen zunächst die von Oberbaurat Professor Rehbock ergänzten Wassermessungen der Firma E. Holtzmann & Cie. benützt, bis zuverlässigere Beobachtungen vorliegen.

3. Hydraulische Grundlagen.

a) Niederschlags- und Abflußmengen.

Das Einzugsgebiet für das Werk Schlechtau, von dem Wassermessungen vorliegen, umfaßt 352,3 qkm und zerfällt nach Blatt 1 in:

das Einzugsgebiet I und II der beiden geplanten Staubecken im Raumünzach- und Schwarzenbachtal mit 28,0 + 23,0 = 51,0 qkm Flächeninhalt,

das Einzugsgebiet III des ungestauten Teiles der Raumünzach bis zum Raumünzachwehr, 12,3 qkm umfassend,

das Einzugsgebiet IV der Murg oberhalb des Sammelbeckens an der Landesgrenze mit einem Flächeninhalt von 231,7 qkm,

das Einzugsgebiet V der Murg unterhalb des Sammelbeckens bis zum Ausgleichbecken und von da bis zum Wehr der Fabrik Schlechtau mit 33,3 + 24,0 = 57,3 qkm Flächeninhalt.

Auf Grund der Niederschläge, die in den meteorologischen Stationen der einzelnen Gebiete beobachtet wurden, berechnet sich der Anteil an dem Abfluß bei Schlechtau für das Einzugsgebiet I und II zu 16,9 %, für III zu 4,1 %, für IV zu 65,0 % und für V zu 14,0 %.

In den folgenden Tabellen sind die jährlichen Abflußmengen bei Schlechtau in den Jahren 1893 bis 1907 angegeben und hieraus der Anteil der Murg an der Landesgrenze und der beiden Staubeckengebiete berechnet. Die Niederschlagsmengen sind nach den in Frage kommenden Meßstationen bestimmt und aus dem Unterschied zwischen Niederschlags- und Abflußmenge der Verlust in Kubikmeter, in Prozent der Niederschlagsmenge und die Verdunstungshöhe in Millimeter angegeben. Diesen Zahlen sind die durch unmittelbare Messungen gewonnenen Ergebnisse des Jahres 1909 zum Vergleich gegenüber gestellt.

Das Ergebnis ist wesentlich ungünstiger als dasjenige, das bei den Ruhr- und Wuppersperren sowie bei der Urfttalsperre an der Hand langjähriger und gründlicher Messungen gewonnen und von dem verstorbenen Geheimrat Professor Intze allgemein für die neueren Talsperrenentwürfe benützt wurde, und zwar insofern, als die Verdunstungshöhe zu durchschnittlich 660 mm für das ganze Einzugsgebiet berechnet wurde, während sonst nur 300—350 mm angenommen werden. Die auf Grund umfangreicherer Beobachtungen für das Jahr 1909 bestimmte Verdunstungshöhe von 470 mm nähert sich den von Intze angegebenen Zahlen mehr. Die genauen Beobachtungen und Messungen sind jedoch noch von zu kurzer Dauer, um hieraus zuverlässige Schlüsse ziehen zu können. Soviel kann aber jetzt schon gesagt werden, daß die Abflußmengen größer und die Verdunstungshöhen tatsächlich kleiner sein werden, als die aus den Holtzmannschen Messungen berechneten. Es ist dies hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß nur das verarbeitete und nicht das gesamte abfließende Wasser durch die Ablesung der jeweiligen Beaufschlagung der Turbinen in Schlechtau gemessen wurde und daß die Wasserverluste unberücksichtigt geblieben sind. Diese Messungen haben deshalb den Wert nicht, den man ihnen ursprünglich beimessen zu sollen glaubte.

Wenn gleichwohl zunächst mit diesen Angaben gerechnet wurde, so geschah es, um keinenfalls zu günstige Annahmen zu machen, und weil die genaueren Daten für den in Aussicht genommenen ersten Ausbau, für den nur das fließende Wasser der Murg und der Raumünzach in Frage kommt, von keiner ausschlaggebenden Bedeutung sind. Wenn, was anzunehmen ist, die Murg und Raumünzach innerhalb der auszunützenden 14 cbm/sec mehr Wasser führen, als in die Rechnung eingesetzt wurde, so wird hierdurch die zusätzliche Leistung der Dampfreserve und damit der Einheitspreis der elektrischen Energie ermäßigt, was nur erwünscht sein kann. Auf den Umfang und die Gestaltung der Anlage bleibt dies aber ohne Einfluß, da eine weitere Ausnützung des fließenden Wassers über 14 cbm/sec hinaus nicht in Frage kommen wird.

Anders verhält es sich mit dem zweiten Ausbau, bei dem die Staubecken gebaut werden müssen. Hier ist eine möglichst genaue Kenntnis des Zuflusses für die Bestimmung der Größe der Becken von großem Werte; auch die mögliche Leistung der Murg und des ungestauten Wassers der Raumünzach sind hierfür von Bedeutung. Deshalb ist es im Interesse einer zuverlässigen und sicheren Bestimmung des nötigen Stauinhalts der Becken sehr erwünscht, daß noch genaue Niederschlags-

Murggebiet
oberhalb der Landesgrenze = 231,7 qkm.

Jahr	Abfluß in Schlechtau in 1000 cbm	Anteil der Murg an der Landesgrenze 65 % in 1000 cbm	Niederschlag im Murggebiet oberhalb der Landesgrenze in 1000 cbm	Niederschlagshöhe mm	Verlustmengen 1000 cbm	Abfluß in % der Niederschlagsmengen	Verlust in % der Niederschlagsmengen	Verdunstungshöhe mm
1893	234 600	152 500	285 500	1232	133 000	53,4	46,6	575
1894	277 900	180 600	345 700	1492	165 100	52,2	47,8	713
1895	375 300	243 900	369 400	1594	125 500	66,0	34,0	542
1896	398 200	258 800	362 300	1564	103 500	71,4	28,6	447
1897	353 700	229 900	345 300	1491	115 400	66,6	33,4	497
1898	270 200	175 600	311 300	1344	135 700	56,4	43,6	584
1899	318 700	207 200	371 400	1608	164 200	55,8	44,2	710
1900	363 700	236 400	391 400	1689	155 000	64,0	36,0	670
1901	304 700	198 100	353 400	1525	155 300	56,0	44,0	671
1902	366 500	238 200	383 600	1657	145 400	62,1	37,9	627
1903	338 500	220 000	368 400	1590	148 400	59,7	40,3	640
1904	324 700	211 100	385 200	1662	174 100	54,8	45,2	752
1905	287 500	186 900	392 300	1693	205 400	47,6	52,4	887
1906	340 900	221 600	403 800	1743	182 200	54,9	45,1	786
1907	365 200	237 400	328 400	1417	91 000	72,3	27,7	392
Mittel: 1893—1907	328 000	213 200	359 800	1553	146 613	59,6	40,4	633
Ergebnis der eingehenden Beobachtungen und Messungen für das Jahr 1909:								
1909	.	294 010	404 450	1745	110 440	72,7	27,3	476

Gebiet des Raumünzach- und Schwarzenbachbeckens
zusammen = 51,0 qkm.

Jahr	Abfluß in Schlechtau in 1000 cbm	Anteil der Sperren am Abfluß 16,9 % in 1000 cbm	Niederschlagsmengen im Gebiet der zwei Talsperren in 1000 cbm	Niederschlagshöhe mm	Verlustmengen 1000 cbm	Abfluß in % der Niederschlagsmengen	Verlust in % der Niederschlagsmengen	Verdunstungshöhe mm
1893	234 600	39 600	73 900	1449	34 300	53,6	46,4	672
1894	277 900	46 900	88 300	1731	41 400	53,1	46,9	812
1895	375 300	63 400	103 300	2026	39 900	61,4	38,6	782
1896	398 200	67 300	109 200	2141	41 900	61,6	38,4	822
1897	353 700	59 700	99 200	1945	39 500	60,2	39,8	775
1898	270 200	45 700	91 200	1788	45 500	50,1	49,9	873
1899	318 700	53 900	89 000	1745	35 100	60,6	39,4	688
1900	363 700	61 400	95 000	1871	34 000	64,4	35,6	666
1901	304 700	51 500	86 600	1698	35 100	59,5	40,5	688
1902	366 500	61 900	102 300	2006	40 400	60,5	39,5	793
1903	338 500	57 200	107 300	2104	50 100	53,2	46,8	932
1904	324 700	54 800	97 800	1918	43 000	56,2	43,8	843
1905	287 500	48 600	94 000	1843	45 400	51,7	48,3	890
1906	340 900	57 600	108 100*	2122*	50 500*	53,2*	46,8*	991*
					* interpolierte Werte.			
1907	365 200	61 700	86 500	1696	24 800	71,3	28,7	486
Mittel: 1893—1907	328 000	55 400	95 400	1872	40 000	58,0	42,0	785
Ergebnis der eingehenden Beobachtungen und Messungen für das Jahr 1909:								
1909	.	82 860	105 670	2072	22 810	78,4	21,6	447

Jahresmittel für das ganze Einzugsgebiet

von 231,7 + 51,0 = 282,7 qkm für	1893—1907	für 1909
Niederschlagshöhe	1612 mm	1802 mm
Verdunstungshöhe	660 „	470 „
Abfluß in % des Niederschlags	59,1 %	73,9 %

und Abflußmessungen vorgenommen werden können, bevor die Größe der Staubecken endgültig bestimmt und an die Ausführung geschritten wird.

Die Größe der Abflußmengen für das gesamte Einzugsgebiet des Kraftwerkes, nämlich für die Gebiete I, II, III und IV mit 86,0 % des gesamten Abflusses bei Schlechtau ist in den angeschlossenen Zeichnungen Blatt 18 bis 35 aufgezeichnet und am Maßstabe I zu messen. Die gleichen Kurven geben am Maßstabe II gemessen die Größe der Abflußmengen der Gebiete III und IV, nämlich der Murg an der Landesgrenze und der ungestauten Raumünzach mit zusammen 69,1 % des Abflusses bei Schlechtau.

Die Häufigkeitskurven sind für den Abfluß des ganzen Einzugsgebietes des Kraftwerkes — die Gebiete I, II, III und IV umfassend — aufgetragen.

Da es für die Bestimmung der Leistung der Staubecken von Bedeutung ist, zu wissen, ob und wieviel Wasser aus den Jahren 1890/91 und 1892 in den Staubecken zu Anfang des Trockenjahres 1893 vorhanden war, so wurden für diese drei Jahre die monatlichen Abflußmengen aus den bekannten Niederschlagshöhen berechnet. Die angegebenen Abflußmengen in den Jahren 1893 bis mit 1907 stützen sich auf die ergänzten Holtzmannschen Messungen.

Für 1908 wurden, soweit schon unmittelbare Messungen vorlagen, diese angegeben und die fehlenden Daten nach den sonstigen Beobachtungen ergänzt.

Die Angaben für 1909 sind unmittelbar gemessene Abflußmengen.

b) Gefällshöhen.

Für die Ermittelung der Kraftleistung ist außer der Wassermenge die Gefällshöhe zu bestimmen. Für die geplante Wasserkraftanlage kommen zwei Gefällshöhen in Frage, eine für das Gebiet des ungestauten Wassers der Murg und der Raumünzach, die andere für die beiden Staubecken im Raumünzach- und im Schwarzenbachtal, die auf gleicher Höhe liegen und miteinander verbunden sind.

Das mittlere Rohgefälle des Gebietes des ungestauten Wassers ist durch den Höhenunterschied des Schwerpunktes des nutzbaren Fassungsraumes des Sammelbeckens unterhalb der Landesgrenze und des Unterwasserspiegels der Ausgleichturbinen, dasjenige der Staubecken durch den Unterschied des Schwerpunktes des nutzbaren Stauraumes der beiden Becken und der Axen der Peltonräder zuzüglich des mittleren Gefälles des Wassers vom Ausgleichbecken bis zum Unterwasser der Ausgleichturbinen gegeben. Der Schwerpunkt der Becken wurde zeichnerisch bestimmt.

Die beiden Rohgefälle betragen:

für das Gebiet des ungestauten Wassers 158,3 m
für das Gebiet des Schwarzenbach- und Raumünzachbeckens . . . . . 351,7 m.

An der Krafterzeugung wirkt aber nicht das ganze Gefälle, sondern ein etwas kleinerer Betrag mit, weil beim Zufluß ein Teil durch die Widerstände der Reibung u. a. vernichtet wird. Die dadurch eintretenden Gefällsverluste betragen für das Schwarzenbachbecken bei voller Belastung des Werkes und 7 cbm/sec Wasserentnahme 11,0 m. Die durchschnittliche Entnahme ist jedoch wesentlich kleiner und wird der sehr reichlich bemessene Betrag zu 5,0 cbm/sec angenommen. Der Gesamtgefällsverlust beträgt hierfür 6,70 m, so daß sich ein Nutzgefälle von 351,70 — 6,70 = 345,00 m ergibt, das der Berechnung der Kraftleistung zugrunde gelegt wurde.

Für das Murgwasser betragen die Gefällsverluste bei 14 cbm/sec Wasserverbrauch 10,30 m, so daß ein Nutzgefälle von 158,30 — 10,30 = 148,00 m verbleibt, womit die Kraftleistung berechnet wurde. Die tatsächlichen Gefällsverluste werden im Jahresmittel geringer, somit die Nutzgefälle höher sein.

Die Gefällsverluste zwischen dem Raumünzach- und dem Schwarzenbachbecken können außer Betracht bleiben, weil für den Betrieb nur die Gefällsverluste zwischen dem Schwarzenbachbecken und dem Kraftwerke in Frage kommen und der Ausgleich zwischen den beiden Becken sich im Laufe des Tages leicht vollzieht, ohne daß nennenswerte Höhenunterschiede in den Stauspiegeln eintreten.

4. Beschreibung der Anlage.

Aus der als Anlage B angeschlossenen Äußerung der Generaldirektion zu den im Obergutachten angeregten Projektänderungen ist ersichtlich, inwieweit diesen Vorschlägen im vorliegenden Entwurfe Rechnung getragen ist.

a) Sammelbecken und Kläranlage für die Murg an der Landesgrenze.

Zeichnung Blatt 3 und 4.

Das Murgwehr wird ungefähr 550 m unterhalb der Landesgrenze in der Nähe der Einmündung des Schwarzwässerles im Anschluß an den Felsvorsprung daselbst errichtet. Die Ufer treten hier etwas näher an den Fluß heran und bieten dadurch eine günstige Baustelle dar. Durch das Wehr wird die Murg auf die Höhe von 452 m aufgestaut und hierdurch ein Sammelbecken von 228 000 cbm Gesamtinhalt geschaffen. Das Wehr hat 2 Öffnungen von 15 m Breite, die durch je 2 übereinanderliegende Schützen verschlossen werden, einen Überlauf und einen Grundablaß von je 4 m Breite. Von diesen Schützen hat die untere 7,50 m und die obere 2,50 m Höhe. Die untere Schütze kann um 5,15 m gehoben werden. Bei einem Hochwasser von 500 cbm/sec beträgt die Stauhöhe über der festen Wehrschwelle 3,85 m. Es kann somit die Schützenunterkante 1,30 m über den höchsten Hochwasserspiegel gehoben werden. Die obere Schütze kann um 2,00 m gesenkt werden und zur Regelung des Wasserspiegels bei Anschwellungen bis zu etwa 200 cbm/sec dienen.

Die Aufzugsvorrichtung der Schützen soll in der Regel elektrisch, im Notfalle durch Hand betrieben werden. Die Winden befinden sich in den über den

Pfeilern angeordneten Massivbauten, die unter sich durch einen bedeckten Bedienungssteg verbunden sind.

Das im Sammelbecken aufgestaute Wasser durchfließt vor seinem Eintritt in den Murgstollen ein Klärbecken, das oberhalb des Murgwehrs auf der linken Talseite angelegt ist. Von hier gelangt es in eine Einlaufkammer und von dort in den Stollen. Um das Klärbecken während des Betriebs leeren und reinigen zu können, wird die sonst geschlossene unmittelbare Verbindung der Einlaufkammer mit dem Sammelbecken geöffnet, die Verbindung mit dem Klärbecken und der Einlauf am oberen Ende dieses Beckens geschlossen und das Klärbecken sodann durch eine nach der Talseite des Wehres führende Spülöffnung entleert. Das Klärbecken darf natürlich nur ausgeschaltet werden, wenn die Murg wenig Wasser und infolgedessen keine Sinkstoffe führt. Die wichtigsten Abmessungen des Wehres, Sammelbeckens und Klärbeckens sind:

Gewöhnlicher Stauspiegel	452,00	m
Durchflußweite des beweglichen Wehres . . . . . 2 × 15 =	30,0	„
Gesamthöhe der beiden Schützen .	10,0	„
Abflußmenge durch die Schützenöffnungen	500	cbm/sec
Höhe der Einlaufschwelle zum Klärbecken	445,00	m
Fassungsraum des Sammelbeckens .	228 000	cbm
Nutzinhalt desselben	190 000	„
Klärbecken:		
Inhalt	7 500	„
Mittl. Querschnitt	125	qm
Durchflußmenge	14,0	cbm/sec
Durchflußgeschwindigkeit	0,11	m/sec.

Sind 80 000 cbm aus dem Sammelbecken entnommen, so sinkt die Wasserhöhe auf 450,00 m, der mittlere nutzbare Querschnitt beträgt dann 97 qm. Bei 14 cbm/sec Durchflußmenge steigt sodann die Geschwindigkeit auf 0,14 m/sec. Dies ist zur Klärung des Wassers ausreichend.

Durch die Anlage des Sammelbeckens wird die Hebung der Murgtalstraße auf eine Höhe von mindestens 453,0 m und damit ihre Verlegung auf etwa 900 m erforderlich.

b) Murgstollen und Einleitung der Raumünzach in diesen.

Zeichnung Blatt 5.

Der Stollen ist für eine Wasserführung von 14 cbm/sec bestimmt. Er erhält einen Querschnitt von 8,20 qm, ein Gefälle von 1 : 1500 und steht unter dem Wasserdruck des Sammelbeckens. Bei voller Belastung des Werkes mit 21 000 PS durchfließt das Wasser den Stollen mit einer Geschwindigkeit von 1,71 m. Der Stollen wird auf seine ganze Länge mit einem Betonmantel, der, wo das Gebirge es verlangt, durch Eiseneinlagen verstärkt wird, ausgekleidet und durch eingepreßte Zementflüssigkeit gedichtet.

Da der Granit in der Richtung des Murgtales nach dem geologischen Gutachten stark zerklüftet ist, so wurde der Stollen möglichst in den Berg hineinverlegt, obgleich hierdurch auf Zwischenangriffstellen verzichtet werden mußte.

An der Kreuzung mit dem Raumünzachtal unterhalb der Wasserfälle wird der Stollen mit genügender Überdeckung unter der Sohle der Raumünzach hindurchgeführt. Am rechten Raumünzachufer wird auf Straßenhöhe ein Fensterstollen angeordnet, der während des Baues zur Herausbeförderung der Ausbruchmassen zu dienen hat. Dieser Fensterstollen wird gegen den Murgstollen mit einer eisernen wasserdichten Türe mit Spülschütze in ihrem unteren Teile abgeschlossen, um von hier aus eine Besichtigung des Stollens jederzeit leicht vornehmen zu können. Vom Raumünzachtal bis zum unteren Wasserschloß an der Lindenhalde verläuft der Stollen gerade. Im Holderbachtälchen liegt er noch 30 m im Gebirge. Um namentlich bei Wasserständen in der Murg unter 14 cbm/sec auch das Wasser der Raumünzach für das Kraftwerk ausnützen zu können, wird nach Zeichnung Blatt 5 bei der Kreuzungsstelle des Murgstollens mit der Raumünzach in letztere ein festes Wehr eingebaut, dessen Krone nach dem rechten Ufer zu von 453,90 bis 454,20 m steigt. An das Wehr schließt ein Klärbecken an, von wo das Wasser durch einen Einfallschacht dem Murgstollen zugeführt wird. Die Abmessungen des Klärbeckens sind:

Inhalt	1 370	cbm
Mittlerer Querschnitt	27,4	qm
Durchflußmenge	3,4	cbm/sec
Geschwindigkeit	0,12	m/sec.

Am Einlauf ist ein Grobrechen, vor dem Einfallschacht ein Feinrechen angebracht. Zunächst steht das ganze Wasser der Raumünzach zur Verfügung, nach dem Bau der beiden Talsperren nur noch das unterhalb dieser aus dem 12,3 qkm großen Gebiete III abfließende Wasser.

c) Schwarzenbachbecken.

Zeichnung Blatt 8.

Die Abschlußmauer für das Staubecken im Schwarzenbachtal wird unterhalb der Blockhütte in der Schäfersgrüb errichtet. Die gewählte Stelle ist für die Mauer sehr günstig, weil dort eine geeignete Taleinschnürung vorhanden ist, und größtenteils schon etwa 3 m unter dem Boden gesunder und fester Granit zur Gründung ansteht.

Die wichtigsten Abmessungen, die bei der Einzelbearbeitung noch Änderungen erfahren können, sind:

Höchster Stauspiegel	660,50	m ü. N. N.
Stauinhalt bei gefülltem Becken	10 700 000	cbm,
hiervon nutzbar	10 600 000	„
Größte Länge des Staubeckens	1 800	m
„ Breite „ „	400	„
Oberfläche bei gefülltem Becken	56,0	ha
Einzugsgebiet des Beckens . .	23,0	qkm
Höhenlage der Mauerkrone . .	662,50	m ü. N. N.
Länge „ „ . .	350,0	„
Breite „ „ . .	5,0	„
Krümmungshalbmesser der Mauerkrone	240,0	„

Größte Mauerhöhe über Gründungssohle	49,5	m
Größte Mauerdicke am Fuß .	44,0	„
Inhalt der Mauer	129 300	cbm.

Bei gefülltem Becken erstreckt sich der Stauspiegel noch über die Einmündung des Seebaches in den Schwarzenbach hinaus. Dem künstlichen See fallen außer drei kleineren Häusern und Wiesenflächen von unbedeutender Ausdehnung nur Waldstreifen zu beiden Seiten des Schwarzenbaches zum Opfer.

Bei der Festigkeitsuntersuchung der Mauer sind erschwerende Voraussetzungen gewählt worden, die wohl nie, auch nicht beim Zusammentreffen der ungünstigsten Verhältnisse, zutreffen werden. So wird ein Wasserstau bis auf + 662,5 in Rechnung gesetzt, das Mauereinheitsgewicht zu 2300 kg/cbm angenommen, obwohl diese Zahl für Granitgestein zu nieder ist und die Widerstandsfähigkeit der Mauer nicht voll zum Ausdruck bringt. Ferner wird die Sperrmauer so gestaltet, daß Zugspannungen im Mauerwerk vermieden werden, weil sie die Lagerfugen leicht öffnen und so eine Zerstörung der Mauer durch Eindringen des Wassers bewirken können; endlich wird die Krümmung der Mauer, die bei der endgültigen Bearbeitung noch wird ermäßigt werden können, bei der Untersuchung nicht in Rechnung gezogen, obgleich sie die Standfestigkeit der Mauer ganz wesentlich erhöht und die ungünstigen Beanspruchungen und Rißbildungen verhütet, die durch die Änderung der Luft- und Wasserwärme eintreten würden.

Der Auftrieb blieb außer Betracht, da bei der Gründung der Mauer auf festen Felsen das Eindringen von Wasser unter die Mauersohle nicht zu gewärtigen ist.

Im Gegensatz zu den norddeutschen Talsperren konnte die obere Grenze des Bodendruckes und der Beanspruchung des Mauerwerkes unbedenklich auf 12,50 kg/qcm (anstatt 8,0 kg/qcm) heraufgesetzt werden, weil das Granitgebirge des Murgtales dem rheinisch-westfälischen Schiefergebirge an Festigkeit und Struktur weit überlegen ist.

Nach den vorstehenden Grundsätzen sind die Abmessungen des Mauerquerschnittes in zeichnerischer Weise für die beiden ungünstigsten Belastungsfälle, nämlich für gefülltes und für leeres Becken auf Blatt 6 ermittelt. Bei beiden Belastungsarten verläuft die Drucklinie im inneren Drittel, womit der Beweis geliefert ist, daß nur Druckkräfte das Mauerwerk angreifen.

Die Beton- und Schutzverkleidung auf der Wasserseite wurde bei der Prüfung der Mauerfestigkeit vernachlässigt, obwohl sie einen günstigen Einfluß ausübt.

Beim Bau der Sperrmauer ist auf die Gründung, die Wahl der Baumaterialien, namentlich der Steine und des Mörtels, sowie auf die Art der Ausführung die größte Sorgfalt zu verwenden.

Um das Eintreten des Wassers in die Mauer zu verhindern, ist ihre Wasserseite mit einem starken, möglichst wasserdichten Mantel bis zur Talsohle zu verwahren und dessen Oberfläche noch besonders sorgfältig zu dichten. Überdies ist diese Verkleidung, die bald über, bald unter Wasser sich befindet, gegen die schädlichen Einflüsse von Luft und Wasser bei den verschiedenen Temperaturen durch eine vorgetragene Schicht Mauerwerk zu schützen. Die Dichtungskörper sind unter sich und mit der Mauer mittels schwalbenschwanzförmiger senkrechter Nuten in genügender Zahl zu verbinden.

Hinter diesem Mantel werden Entwässerungsschächte angelegt, die das Wasser, das trotzdem in die Mauer eindringt, aufnehmen und durch den gemeinsamen Abflußstrang nach dem Grundablaß und von da ins Freie leiten. Weiter vordringendes Wasser sammelt sich in Sickerschlitzen, die im Innern der Mauer vorgesehen sind, und fällt entweder unmittelbar nach dem Grundablaß oder nach den beiden Nachschaugängen ab, die für den weiteren Abzug sorgen. Letztere sind sowohl von dem Grundablaß als auch von der Luftseite aus zugänglich und durchziehen die Mauer in zwei Stockwerken in ganzer Länge, damit deren Zustand jederzeit geprüft und beobachtet werden kann.

Dem Abfluß aus dem Staubecken dienen der Überlauf, der Grundablaß und der Stollen zum Kraftwerk. Der Überlauf soll das bei gefülltem Becken zufließende und für den Betrieb nicht nötige Wasser seitlich nach dem alten Bachbett über einen ausbetonierten und abgetreppten Absturz ableiten. Er erhält eine solche Länge, daß er die größte zu erwartende Hochflut von 2,0 cbm/sec/qkm, also von 45 cbm/sec nach einer Aufstauung des Beckens um einen Meter über den gewöhnlichen höchsten Stand gefahrlos abführen kann. Nähere Untersuchungen darüber, ob statt des abgetreppten Absturzes sich ein Überfall des Wassers über die Staumauer in ein Sturzbett empfiehlt, wie dies namentlich in neuerer Zeit vielfach zur Ausführung kommt, bleibt für die endgültige Bearbeitung der Staumauer vorbehalten.

Der Grundablaß ist am tiefsten Punkte des Beckens zu dessen völliger Entleerung angeordnet. Er besteht aus einem gußeisernen Rohre von 800 mm lichtem Durchmesser mit einem Rechen beim Einlauf und besitzt zur Erzielung größerer Sicherheit zwei Absperrschieber. In der Mauer ist das Rohr in der üblichen Weise durch einen nach außen sich verjüngenden Betonpfropfen und durch Ankerrippen, die in den Beton eingreifen, befestigt. In gleicher Weise sind die nötigen Rohrleitungen auch an den anderen Stellen in die Stollen eingebaut. Im übrigen liegt der Grundablaß in einem von außen zugänglichen Gewölbe, das in der Mauer bis zum Betonpfropfen vordringt und auch das Sammelrohr für die Mauerentwässerung aufnimmt.

Die Leitung nach dem Kraftwerk — der Entnahmestollen — liegt 3,5 m über dem Grundablaß, um Ablagerungsstoffe in dem tiefer liegenden Sumpf zurückzuhalten.

In der Nähe der Staumauer sind in den Entnahmestollen zwei gußeiserne Rohrleitungen von je 1,50 m lichtem Durchmesser zur Sicherheit mit je zwei Absperrschiebern eingebaut, damit das Staubecken gegen das Kraftwerk ganz oder teilweise abgeschlossen werden kann. Um diese Schieber zugänglich zu machen und

um sie leicht einstellen zu können, ist über ihnen ein Schacht vorgesehen, der über den höchsten Stauspiegel reicht und durch ein Schieberhaus mit den Bewegungsvorrichtungen abgeschlossen ist.

Der Druckstollen, der in gerader Richtung nach dem Wasserschloß führt, hat eine Länge von 1400 m und einen Querschnitt von 4,15 qm in angenäherter Kreisform, damit der benetzte Umfang und infolgedessen die Reibungsfläche möglichst klein bleiben.

Der Stollenquerschnitt ist so bestimmt, daß bei normaler voller Belastung der Turbinen (6·4000 PS) die Geschwindigkeit des Wassers 1,68 m/sec beträgt. Um die Reibungswiderstände und hiermit den Stollenquerschnitt möglichst zu verringern, werden die Wandungen des Druckstollens mit einem Betonmantel verkleidet, der an Stellen, wo das Gebirg es verlangt, noch Eiseneinlagen erhält. Zur Ausfüllung der verbleibenden kleinen Hohlräume zwischen Mauerwerk und Fels und der Poren im Beton wird Zementflüssigkeit unter Druck eingepreßt. Die gewählte Geschwindigkeit ist ohne Gefahr für den Bestand des Betons.

Der Druckstollen erhält eine kleine Steigung von 1 : 1500 gegen das Wasserschloß zu, so daß er gegen das Schwarzenbachtal hin völlig entleert werden kann.

d) Raumünzachbecken.

Zeichnung Blatt 7.

Die Raumünzachtalsperre liegt unterhalb des Zusammenflusses der Biberach und des Hundsbaches etwa 1 km abwärts von der Säge am Schneiderplatz.

Die Verhältnisse sind ähnlich wie bei der Schwarzenbachsperre.

Nachstehend folgen die wichtigsten Abmessungen, die bei der Einzelbearbeitung noch Änderungen erfahren können:

Höchster Stauspiegel (wie beim Schwarzenbachbecken) . .	660,50	m ü. N.N.
Stauinhalt bei gefülltem Becken	15 540 000	cbm,
hiervon nutzbar	15 000 000	„
Größte Länge des Staubeckens	1 800	m
„ Breite „ „	750	„
Oberfläche bei gefülltem Becken	74,0	ha
Einzugsgebiet des Beckens . .	28,0	qkm
Höhenlage der Mauerkrone . .	+ 662,50	m ü. N.N.
Länge „ „ . .	365,0	m
Breite „ „ . .	5,0	„
Krümmungshalbmesser der Mauerkrone	240,0	„
Größte Mauerhöhe über Gründungssohle	62,0	„
Größte Mauerdicke am Fuß .	50,0	„
Inhalt der Mauer	181 300	cbm

Das gefüllte Staubecken reicht nur wenig in das Biberachtal, dehnt sich aber längs des Hundsbaches bis in die Nähe der Brücke bei der oberen Säge aus. Der künftige Seegrund besteht zurzeit zum geringeren Teile aus Wiesen, in der Hauptsache aus Wald. Zwei Anwesen fallen in das Staugebiet.

Das für die Erstellung der Schwarzenbachsperre Gesagte ist auch für die Raumünzachsperre maßgebend, weshalb es einer eingehenden Beschreibung der Sperrmauer und der Abflußeinrichtungen nicht bedarf.

Der Verbindungsstollen zwischen dem Raumünzach- und dem Schwarzenbachbecken bildet die Fortsetzung des Druckstollens vom Schwarzenbachbecken nach dem Wasserschloß und ist durch den Entnahmestollen mit dem Schwarzenbachbecken verbunden. Obgleich er im wesentlichen nur als Ausgleichstollen zu dienen hat, soll er doch den Querschnitt des Hauptstollens erhalten und wie dieser ausbetoniert werden, damit das Raumünzachbecken bei Außerbetriebsetzung des Schwarzenbachbeckens ausnahmsweise zur Krafterzeugung unmittelbar herangezogen werden kann. Da in diesem Falle bei einer Höchstleistung von 7 cbm/sec zwischen dem Raumünzach- und Schwarzenbachbecken ein weiterer Druckhöhenverlust von 7,40 m eintreten wird, darf bei Ausschaltung des Schwarzenbachbeckens das Raumünzachbecken nur bis auf + 632,4 m abgearbeitet werden, weil sonst der Wasserspiegel im Wasserschloß unter das zulässige Maß sinken könnte.

Nach den angestellten Berechnungen vollzieht sich der Wasserausgleich in den beiden Becken täglich leicht, ohne daß je ein erheblicher Unterschied in der Höhe der beiden Wasserspiegel eintritt.

Im Bedarfsfalle ist es aber jederzeit möglich, durch Stellung der Schieber in den Entnahmeschächten den Wasserzufluß aus den beiden Becken zu regeln.

Vor der Schwarzenbachsperre muß der Druckstollen wegen der ungenügenden Überlagerung, die dem starken Wasserdruck nicht gewachsen ist, unterbrochen und durch zwei gußeiserne Rohre von 1,50 m Lichtweite auf die ganze Breite der Talsohle ersetzt werden. Diese Rohre sind, wie oben beschrieben, mittels Betonpfropfen an die Druckstollen angeschlossen und in einem Schieberhäuschen durch Schieber leicht zu versperren. Da der Verbindungsstollen und der Stollen zum Wasserschloß nach diesem Punkte hin fallen, ist hier auch eine Leerlaufleitung angeschlossen.

Es ist somit möglich, die Becken miteinander in unmittelbare Verbindung zu bringen oder gegeneinander und gegen den Druckstollen auszuschalten oder auch die hintere Strecke des Druckstollens gegen die vordere durch Schieber abzusperren, so daß Ausbesserungen an den einzelnen Teilen des Werkes ohne Störung des Betriebs in weitem Maße gesichert sind. Nur wenn der Druckstollen vom Schwarzenbachbecken nach dem Wasserschloß untersucht werden soll, müssen beide Becken ausgeschaltet und die ganze Kraftlieferung von der Murg und der Dampfzentrale übernommen werden.

e) Oberes und unteres Wasserschloß.

Zeichnung Blatt 9 und 10.

Die Wasserschlösser dienen zum Ausgleich der beim Öffnen und Schließen der Turbinen auftretenden Druckschwankungen und sollen dadurch Stöße in den Rohrleitungen und Turbinen verhindern. Um eine mög-

lichst kurze und sichere Lage der Rohrleitungen zu erhalten, wurden beide Wasserschlösser in der Lindenhalde angeordnet.

Das obere Wasserschloß liegt am Übergang des Schwarzenbachstollens in die Druckrohrleitungen.

Es besteht aus einem in den Fels gesprengten senkrechten Schacht von kreisförmigem Querschnitt.

Die Berechnung wurde für eine plötzliche 50 %ige Belastung bei tiefster Lage des Wasserspiegels, sowie für eine plötzliche 100 %ige Entlastung bei höchster Lage des Wasserspiegels durchgeführt und ergab folgende Abmessungen:

Der Boden des Wasserschlosses an der Einmündungsstelle des Schwarzenbachstollens liegt auf + 615,00 m.

Der kreisförmige Schacht hat bis auf halbe Höhe einen Durchmesser von 8,0 m, von da einen solchen von 9,0 m bis auf die Höhe von + 661,50 m, der Überlaufhöhe der Staubecken bei den größten Hochwasserständen. Der Absatz ist vorgesehen, um die Ausführung zu erleichtern.

Von hier an ist das Wasserschloß über den Boden geführt und besitzt einen Durchmesser von 12,0 m.

Die tiefste Lage des Wasserspiegels im Wasserschloß ist + 619,84 m bei plötzlicher 50 %iger Belastung des Werks von 15 000 auf 30 000 PS, die höchste + 664,25 m bei plötzlicher 100 %iger Entlastung des Werks von 30 000 PS auf 0.

Der Schacht ist mit einer Auskleidung von Beton versehen.

Der obere Teil des Wasserschlosses wird in Eisenbeton ausgeführt. Oberhalb des höchsten Wasserspiegels ist ein Abschlußboden eingebaut, der mit einem Lüftungsrohr versehen ist. Dort findet auch ein selbstzeichnender Pegel Aufstellung. Die Sohle des Wasserschlosses ist etwas vertieft und wird durch ein Rohr von 0,30 m l. W. entwässert. Der Übergang in die Druckrohrleitungen wird durch einen ausbetonierten Stollen vermittelt, der an seinem Eingang trompetenförmig erweitert ist und dort einen kleinen Fußrechen besitzt, durch den etwa herabgefallene Körper am Eindringen in die Rohrleitung verhindert werden. Vor dem Einlauf in die beiden Druckrohre verzweigt sich der Stollen hosenartig.

Das untere Wasserschloß liegt am Ende des Murgstollens vor dem Übergang in die Druckrohrleitungen.

Es besteht wie das obere Wasserschloß aus einem senkrechten Schacht von kreisförmigem Querschnitt.

Die Berechnung wurde nach den gleichen Grundsätzen wie beim oberen Wasserschloß durchgeführt und ergab folgende Abmessungen:

Der Boden des Wasserschlosses an der Einmündungsstelle des Murgstollens liegt auf + 432,50 m.

Der kreisförmige Schacht hat einen Durchmesser von 12,0 m bis auf die Höhe von + 452,00 m, dem höchsten Wasserspiegel im Sammelbecken. Von hier aus ist das Wasserschloß mit einem Durchmesser von 15,0 m über den Boden geführt.

Die tiefste Lage des Wasserspiegels im Wasserschloß ist + 437,91 m bei plötzlicher 50 %iger Belastung des Werkes von 10 500 auf 21 000 PS, die höchste + 455,19 m bei plötzlicher 100 %iger Entlastung des Werkes von 21 000 PS auf 0.

Infolge der tiefen Lage der Sohle des Wasserschlosses mußte der Murgstollen vor dem Wasserschloß auf eine Länge von 300 m mit einem Gefälle von 1 : 55 gesenkt werden.

Der Gefällsbruch liegt da, wo der beabsichtigte Querschlag am Holderbach in den Murgstollen einmündet.

Auch beim unteren Wasserschloß soll der Schacht mit einem Betonmantel ausgekleidet werden, während der obere freistehende Teil in Eisenbeton hergestellt wird.

Die vertiefte Sohle wird auch hier durch eine besondere Rohrleitung entwässert.

Der Übergang vom Wasserschloß in die Druckrohre ist wie beim oberen Wasserschloß ausgebildet.

f) Druckrohrleitungen.

Zeichnungen Blatt 11 und 12.

Für die beiden Druckstufen sind je zwei Rohrleitungen vorgesehen, die das Wasser vom Wasserschloß den Turbinen des Kraftwerkes zuführen. Die Anordnung wurde so getroffen, daß die Druckrohrleitungen möglichst kurz ausfallen und möglichst steil dem Maschinenhaus zugeführt werden.

Die einzelnen mit Verbindungsmuffen versehenen Leitungen werden aus 6 m langen Stücken, die unter sich vernietet sind, zusammengesetzt. Als Material dient Siemens-Martin Flußeisen, das eine Festigkeit von 3400 bis 4000 kg und eine Dehnung von 25 % besitzt.

Die Rohre der unteren Stufe haben eine lichte Weite von 2200/1900 mm, die in 3 Zonen auf eine Rohrweite von 1500 mm übergeht. Die Rohre der oberen Stufe haben eine lichte Weite von 1500/1300 mm, die sich in 3 Zonen allmählich auf 1000 mm verringert. Der Anschluß der Rohrleitungen an das Wasserschloß wird in der aus den Zeichnungen Blatt 9 und 10 ersichtlichen Weise bewirkt. Im weiteren Verlauf folgen die Leitungen tunlichst der Bodengestaltung, wobei an den Stellen, wo eine Richtungsänderung eintritt, Festpunkte geschaffen werden. Es sind dies Verankerungsblöcke, in denen die mit aufgenieteten Winkelringen versehenen Krümmer gelagert werden. Im Grundriß verlaufen die Rohrleitungen bis zum Kraftwerk geradlinig. Am Kraftwerk machen die Rohre einen Bogen, um den Turbinen der einzelnen Druckstufen seitlich der Längswände in abgedecktem Kanal zugeführt zu werden.

Zwischen den einzelnen Festpunkten ruhen die Rohrstränge in Abständen von je 6 m (Rohrlänge) mittels Gleitsätteln auf Betonsockeln. Um den durch die Temperaturschwankungen hervorgerufenen Längendehnungen Rechnung zu tragen, wird unmittelbar unter den Festpunkten in jede Leitung ein Expansionsstück eingeschaltet, das aus einer Stopfbüchse mit Stahlgehäuse und geschweißtem Degenrohr besteht.

Zur Erzielung einer sicheren Lagerung wird der die Rohrstränge tragende Unterbau auf der ganzen Breite der Leitungsstraße durchgeführt; außerdem er-

hält diese eine Abdeckung mit einer Betonschicht, um einem Unterwaschen der Betonsockel vorzubeugen. Eine Überdachung der Rohrleitung ist, soweit nötig, in Aussicht genommen.

Zum leichteren Begehen der Leitungsstraße werden seitlich Stufen angebracht.

Das bei dem Wasserschloß der einzelnen Gefällstufen vorgesehene Apparatenhaus enthält die erforderlichen Absperrorgane für die Rohrleitungen sowie die Einrichtung für die Spülung, Füllung und Entlüftung der Rohrleitungen. Alle diese Teile sind mit doppelten Absperrorganen ausgerüstet. Zum Abschluß der Druckleitungen dienen je 2 Drosselklappen, von denen die obere nur von Hand, die untere aber außerdem noch mittels Elektromotor betätigt werden kann. Der Elektromotor wird dabei selbsttätig bei Überschreitung einer gewissen Wassergeschwindigkeit in den Rohrleitungen zur Wirkung kommen. Das Schließen der Drosselklappen kann auch vom Kraftwerk aus erfolgen, das Öffnen darf dagegen nur im Apparatenhaus selbst eingeleitet werden mit Rücksicht auf die beim Füllen der Rohrleitungen zu beobachtende besondere Vorsicht. Da den Drosselklappen für die Sicherheit des Betriebes eine hohe Bedeutung zukommt, werden sie ganz aus Stahlguß hergestellt.

Bei den Drosselklappen kann mit einem absolut dichten Abschluß nicht gerechnet werden. Es wird deshalb hinter jeder der unteren Drosselklappen eine Ablaßleitung vorgesehen, die bei geschlossenen Klappen das etwaige Sickerwasser in einen Querkanal abführt, so daß damit die vollständige Trockenlegung eines Rohrstrangs zum Zwecke einer etwa nötigen Untersuchung ermöglicht wird.

Zum Füllen der Rohrleitungen wird im Apparatenraum eine mit Schieber versehene Umlaufleitung um die Abschlußorgane angebracht.

Für die Lüftung der Leitungen im Falle eines raschen Abschlusses der Drosselklappen wird vor der unteren Drosselklappe eine besondere Leitung angeschlossen, die in 1 m Tiefe am Bergabhang bis zum Wasserschloß geführt wird und hier oberhalb des Wasserspiegels ausmündet.

Die Entleerung der Wasserschlösser erfolgt, falls eine solche behufs Untersuchung nötig fällt, teils durch die Turbinen, teils durch eine besondere Entleerungseinrichtung, die beim Kraftwerk in die Hauptleitungen eingebaut ist und auch zur Entleerung der einzelnen Rohrstränge verwendet wird.

Diese Einrichtung ist für jede der beiden Druckstufen in einem Anbau des Kraftwerkes untergebracht und besteht aus einem mittels Schieber abschließbaren Abzweigstück von 250 mm lichter Weite. Hier zweigen auch von den Druckrohren 100 mm weite Leitungen ab, die zu Manometern in der Maschinenhalle führen, die jederzeit die Druckhöhe im Wasserschloß angeben.

Für die Untersuchung der einzelnen Rohrstränge werden Mannlöcher angeordnet und zwar oberhalb der Drosselklappen im Apparatenhaus, an der unteren horizontalen Strecke der Rohrleitung beim Kraftwerk und dazwischen in Abständen vom 150 bis 200 m. Im übrigen wird bezüglich der Einzelheiten der Druckrohrleitungen auf die Zeichnungen Blatt 9, 10 und 14 verwiesen.

Die Montage der Rohrleitungen erfolgt stets von den Festpunkten aus aufwärts. Zur Erleichterung der Zufuhr der einzelnen Rohrstücke wird schon beim ersten Ausbau eine Seilbahn angelegt, die auch nach Inbetriebnahme des Werkes bestehen bleibt. Die Antriebsvorrichtung hierfür wird in einem besonderen Raum neben der Apparatenkammer der unteren Druckstufe untergebracht; sie kann sowohl von der Apparatenkammer aus als auch vom Kraftwerk aus betätigt werden.

Zur Verlegung der Druckrohre für die obere Gefällstufe wird die Seilbahn bis zum oberen Apparatenhaus verlängert und die Antriebvorrichtung dorthin verlegt.

Da die in den Apparatenhäusern unterzubringenden Gehäuse der Drosselklappen ein großes Gewicht haben, so wird hier zur Erleichterung der Montage ein von Hand angetriebener fahrbarer Kran aufgestellt, der die ganze Länge des Raumes bestreicht.

g) Kraftwerk.

Zeichnungen Blatt 13, 14, 15 und 40.

In dem in der Oberau am Fuße des Haulerberges zu errichtenden Kraftwerk werden die Turbogeneratoren der beiden Druckstufen in 2 Reihen derart nebeneinander aufgestellt, daß die Generatoren dem gemeinschaftlichen Mittelgang zugekehrt sind (Blatt 14). Für jede Druckstufe sind 6 Einheiten vorgesehen, und zwar betragen die Höchstleistungen der Turbinen der unteren Stufe 4400 PS und die der oberen 5000 PS bei je 500 Umdrehungen in der Minute. Durch die Errichtung des Sammelbeckens an der Landesgrenze ist die Murg auch bei Niederwasser imstande, Spitzenleistungen bis zu 21000 PS zu übernehmen, die sonst die Hochdruckanlage hätte leisten müssen. Die Turbinenanlage der Hochdruckstufe kann infolgedessen um 15000 bis 20000 PS schwächer gewählt werden, als es ohne Errichtung des Sammelbeckens möglich gewesen wäre.

Es sind bei beiden Druckstufen je 3 Turbinen mittels besonderer, abschließbarer Zweigleitungen an die einzelnen Druckleitungen angeschlossen. Die in diese Zweigleitungen eingebauten, mit Entlastungsleitungen versehenen Schieber werden hydraulisch betätigt. Für die untere Druckstufe werden Spiral-Francisturbinen verwendet, die für ein mittleres Nutzgefälle von 148 m gebaut sind. Die Turbinen sind einfach; sie erhalten also nur ein Gehäuse und ein Saugrohr, wobei der auftretende Achsialdruck durch geeignete Vorkehrungen aufgehoben wird.

Die Regulatoren der Turbinen arbeiten mit Preßöl. Jede Turbine ist mit einer eigenen Ölpumpe versehen. Außerdem sind alle Pumpen durch ein gemeinschaftliches Rohrnetz verbunden. Da ihre Abmessungen sehr reich-

lich bemessen sind, so hat die Ausschaltung einer Pumpe bei eingetretener Schadhaftigkeit keinen Einfluß auf den Betrieb der zugehörigen Turbine.

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß die Turbinen mit Druckregulatoren versehen sind, die Wasserstöße in der Rohrleitung verhindern und selbst bei Entlastung sämtlicher Einheiten höchstens eine 10 %ige Drucksteigerung zulassen. Die Saugrohre der Turbinen, deren Länge so bemessen ist, daß sie auch bei niedrigstem Unterwasserspiegel (Höhe 295,5) noch zuverlässig eintauchen, münden in einen Unterwasserkanal, dessen Anordnung aus Blatt 15 zu ersehen ist.

Für die obere Druckstufe sind Peltonturbinen für ein mittleres Nutzgefälle von 345 m in Aussicht genommen. Das Laufrad derselben ist von einer gußeisernen Haube umschlossen und wird durch zwei runde Düsen, die durch Nadeln automatisch reguliert werden, beaufschlagt.

Die Laufradscheibe ist aus Stahlguß und erhält angeschraubte Stahlschaufeln, die sorgfältig geschliffen und poliert sind. Das bei den Francisturbinen bezüglich der Anordnung der automatischen Regulierung, der Ölpumpen, der Schieber und der Druckregulatoren Gesagte findet auch bei den Peltonturbinen volle Berücksichtigung. Bemerkt sei noch, daß die Fundamentgruben der Peltonturbinen mit Blechplatten bekleidet sind, die ein Auswaschen der Betonwände verhindern.

Die beiden Unterwasserkanäle sind getrennt in das Ausgleichbecken geführt, so daß jeder für sich ausgeschaltet werden kann.

Für die Erregung der Drehstrommaschinen wird für jede Druckstufe eine Peltonturbine von 600 PS vorgesehen. Die Turbine der oberen Stufe erhält zwei Düsen, die der unteren Stufe nur eine. Jede Turbine ist an die beiden Rohrleitungen der betreffenden Druckstufe angeschlossen.

Für die automatische Regulierung der Erregerturbinen werden selbständige hydraulische Regulatoren, die Regulator, Servomotor und Pumpe in einer Maschine vereinigen, verwendet. Da die Schwungmassen der Erregerdynamos nur unbedeutend sind, müssen noch besondere Schwungräder zur Unterstützung angeordnet werden.

Auch bei diesen kleinen Turbinen schützen Druckregulatoren die Rohrleitungen vor Wasserstößen.

Die Turbinen der beiden Druckstufen sind unmittelbar mit Drehstrommaschinen gekuppelt. Diese haben eine Höchstleistung von 3300 Kilowatt bei der oberen und 3000 Kilowatt bei der unteren Druckstufe.

Die Stromerzeuger halten diese Höchstbelastung dauernd aus, ohne daß die Erwärmung die zulässige Grenze überschreitet.

Erregermaschinen sind 4 vorhanden, die je 400 Kilowatt leisten können und Gleichstrom von 220 Volt Spannung liefern. Hiervon sind 2 durch eine elastische Bandkuppelung mit den Erregerturbinen verbunden, für den Antrieb der beiden anderen sind Drehstrommotoren vorgesehen. Unterstützt werden die Erregermaschinen noch durch eine Akkumulatorenbatterie von 1000 Ampère-Stunden Kapazität, die auch gleichzeitig zu Zwecken der Notbeleuchtung des Kraftwerkes Verwendung findet. Die Spannung der Erregermaschinen läßt sich auf die zum Laden der Batterie nötige Höhe steigern.

Die Batterie ist in einem Anbau des Kraftwerkes untergebracht, in dem sich auch im oberen Geschoß der zentrale Bedienungsraum befindet.

Die Anordnung der Turbinen mit den Drehstrommaschinen in zwei Reihen bedingt eine Maschinenhalle von $65 \cdot 23 = 1500$ qm Fläche, die durch einen Mittelgang in zwei Hälften getrennt wird. Die Hälfte gegen die Murg dient der unteren, die andere der oberen Druckstufe.

Die Halle wird schon beim ersten Ausbau in vollem Umfange erstellt.

Die Turbinen der einzelnen Druckstufen werden durch die in der Mitte der Halle aufgestellten Erregermaschinen in zwei Gruppen geteilt.

Die Zuführung der einzelnen Maschinenteile erfolgt auf einem Gleis in das nördliche Ende der Halle, wo sie von einem Kran, der die ganze Halle bestreicht, aufgenommen werden. Bei der Einzelbearbeitung wird versucht werden, das Transportgleis von der Giebelseite her in die Maschinenhalle einzuführen, was sich durch Verschiebung des Schalthauses gegen die Murg wird ermöglichen lassen. Das Quergleis und die Drehscheibe können dann erspart werden.

h) Schaltanlage.

Das Zu- und Abschalten der Stromerzeuger und Erregermaschinen, das Regeln der Erregung, sowie das Ein- und Ausschalten der Fernleitungen geschieht von einem hochgelegenen Bedienungsraume aus, der einen Überblick über den ganzen Maschinenraum gestattet und die Betätigung der einzelnen Schalter von übersichtlich angeordneten Schaltpulten aus ermöglicht.

Die Sammelschienen, Schalter und Schutzapparate für den von den Drehstrommaschinen des Krafthauses und der Ausgleichturbinen gelieferten Strom von 10000 Volt Spannung befinden sich in dem Schalthaus I, das sich an den Bedienungsraum anschließt und an das sich ein Transformatoren- und Schalthaus II für die Spannungsstufe von 70000 Volt angliedert.

Aus beiden Häusern gehen Speiseleitungen ab; aus Schalthaus I für die nächste Umgebung, aus Schalthaus II für die entfernteren Versorgungsgebiete.

Die Sammelschienen für den Maschinenstrom im Schalthaus I sind als unterteilbare Ringleitung ausgebildet, an die die Drehstrommaschinen der Hoch- und Niederdruckstufe sowie der Ausgleichturbinen einerseits und die Unterspannungen der Transformatoren der hohen Stromverteilungsspannung in dem Schalthaus II andererseits angeschlossen sind. Auch die Schalter dieses letzteren werden vom obengenannten Bedienungsraum aus betätigt. Die Unterteilung der Sammelschienen für den Maschinenstrom hat sowohl den Zweck der Erhöhung der Sicherheit, als auch den der Möglichkeit getrennter Regulierung der verschiedenen Spannungsstufen.

Für die Fernleitungen, die Maschinen und Transformatoren enthält jedes der Schalthäuser die vollkommensten Schutzeinrichtungen gegen Überspannungen, die durch innere oder äußere Einflüsse hervorgerufen werden könnten. Auch ist in weitgehendem Maße dafür gesorgt, daß eine Störung irgend eines Teiles der Gesamtanlage auf diesen beschränkt bleibt, so daß der Betrieb im übrigen ungestört weitergeführt werden kann.

i) Ausgleichbecken und Murgwehr bei Forbach.

Zeichnung Blatt 13, 16 und 41.

Das Ausgleichbecken zur Regelung des Wasserabflusses reiht sich unmittelbar unterhalb an das Kraftwerk an und ist durch ein gemischtes Wehr abgeschlossen. Die drei je 15 m breiten, mit Schützen verschlossenen Hauptöffnungen sind so groß bemessen, daß durch sie das ganze Hochwasser abgeführt werden kann. Links von diesen Öffnungen ist ein 4 m breiter Grundablaß, rechts ein freier Überfall von 47,0 m Länge angeordnet. Über diesen und die Schützen können Hochwasser bis zu 65 cbm ohne Gefahr abgeführt werden. Der Stau beträgt in diesem Fall 50 cm. Unterhalb des Wehres ist ein Sturzbecken aus Beton und Mauerwerk vorgesehen zur Beruhigung des über den Wehrkörper fallenden Wassers und zur Vermeidung von Auskolkungen. Über den Pfeilern befinden sich massive Aufbauten, welche die Aufzugsvorrichtungen für die Schützen enthalten und durch einen Bedienungssteg in Verbindung stehen. Die Schützen sind 4,0 m hoch und oben mit einer 1,0 m hohen, nach vorn zu öffnenden Eisklappe versehen. Die Bedienung der Aufzugsvorrichtungen geschieht in der Regel elektrisch, im Notfall von Hand.

Die wichtigsten Abmessungen des Ausgleichbeckens und des Wehres sind:

Höchster Stauspiegel	300,50 m ü. N.N.
Gewöhnlicher Stauspiegel	300,00 m ü. N.N.
Nutzinhalt des Beckens	204 000 cbm
Kronenhöhe des festen Überfallwehres	300,00 m ü. N.N.
Länge desselben	47,0 m
Durchflußweite des beweglichen Wehres 3 · 15,0	45,0 „
Höhe der Schützen	4,0 „
Abflußmenge durch die Schützenöffnungen bei Hochwasserhöhe von 300,00 m	765 cbm/sec.

An die links der Murg gelegene Staumauer des Wehres ist ein kleines Turbinenhaus angebaut, in dem drei für die Verwertung des aus dem Ausgleichbecken ausfließenden Wassers bestimmte Niederdruckturbinen vorhanden sind.

Auf der linken Seite des Ausgleichbeckens ist auf der Höhe von 302,5 m eine 4,0 m breite Straße angelegt, die unterhalb des Wehres in die Murgtalstraße mündet und den Zugang zum Niederdruckturbinenhaus und dem Kraftwerk vermittelt.

k) Ausgleichturbinen.

Zeichnung Blatt 16.

Die Ausgleichturbinen werden für ein veränderliches Gefälle gebaut, das zwischen 4,5 und 9 m schwankt und sich ergibt, wenn hierbei der Stand des Oberwasserspiegels zu 300,5 und 295,50 m ü. N.N. und der Unterwasserspiegel zu 291,05 m ü. N.N. angenommen wird. Die auszunützende Höchstwassermenge beträgt 14 cbm/sec, doch können die Turbinen auch noch bei 2,5 bis 3 cbm/sec mit verhältnismäßig gutem Nutzeffekt arbeiten.

Für den endgültigen Ausbau werden 3 Turbinen, und zwar für ein mittleres Gefälle von 7,5 m vorgesehen; die Umdrehungszahl in der Minute beträgt 250. Die Anordnung der Turbinen läßt Zeichnung Blatt 16 erkennen. Es sind horizontale Zwillings-Francisturbinen, die eine Höchstleistung von 1410 PS haben und mit den Generatoren mittels Flanschenkuppelung unmittelbar verbunden sind. Gegen das Maschinenhaus sind die Turbinenkammern durch Stirndeckel abgesperrt.

Die Turbinen sind mit automatischen Öldruckregulatoren versehen, die eine elektrische Stellvorrichtung erhalten, so daß ihre Umdrehungszahl vom Bedienungsraum des Kraftwerkes aus nach Belieben geändert werden kann, von dem auch die ganze Bedienung der Turbinen überhaupt erfolgt. Die an die Turbinen angeschlossenen Generatoren arbeiten auf im Schalthaus befindliche Sammelschienen.

5. Grundzüge des Betriebes.

a) Berechnung der Kraftmengen.

Aus den sekundlichen Abflußmengen (Q) und aus den berechneten Nutzgefällen (h) ergibt sich die zu erzielende Kraftmenge (K) aus der Gleichung

$$K = Q \cdot 1000\ h \text{ kgm}$$

oder in Pferdestärken ausgedrückt

$$K = Q \cdot \frac{1000\ h}{75}.$$

Von dieser Kraft können aber an der Turbinenwelle wegen Reibungsverlusten in den Maschinen nur 75 bis 80 % gewonnen werden. Die Nutzleistung berechnet sich somit in Pferdestärken zu

$$K_1 = \frac{Q \cdot 1000\ h}{75} \cdot 0{,}75 = 10\ Q \cdot h.$$

b) Leistungsfähigkeit der Anlage.

Zeichnung Blatt 17 bis 37.

Zur Ermittelung der Leistungsfähigkeit ist man in hohem Grade auf Annahmen und Voraussetzungen über die Art und Weise angewiesen, in der sich der künftige Betrieb und im Zusammenhang damit der Kraftverbrauch gestalten wird. Eine weitere Grundlage bilden die angestellten hydraulischen Berechnungen und endlich der zeichnerische Vergleich zwischen dem Vorrat und Bedarf an Energie in Anbetracht der steten Schwankungen, denen beide unterworfen sind.

Die Aufgabe ist in exakter Weise nicht zu lösen, weil es sich nicht um feststehende oder nach genauen

Gesetzen veränderliche Größen handelt. An der Hand von Versuchsreihen und Vergleichen ist vielmehr diejenige Energiemenge als die größtmögliche ständige Leistung zu bezeichnen, die die Kraftquelle während der gewählten Versuchszeit in den ungünstigsten Fällen gerade erschöpft, ohne daß der eiserne Bestand an Kraftvorrat, der für Notfälle aufgespeichert bleiben muß, angegriffen wird.

Eine wichtige Frage ist die Wahl des den Untersuchungen zugrunde gelegten Zeitabschnittes. Im allgemeinen begnügt man sich mit dem Jahr, das nach den Beobachtungen die geringste Niederschlagshöhe in Verbindung mit einer ausgedehnten Trockenzeit aufweist. Diese kurze Zeitspanne gewährt aber keinen zuverlässigen Einblick in die Abwickelung des Betriebes mit all den Zwischenfällen, die im Laufe der Zeit sich ereignen können, besonders auch dann nicht, wenn mehrere Trockenjahre aufeinander folgen. Aus diesem Grund wurde diese Methode nicht angewendet, sondern ein Zeitraum von 20 aufeinanderfolgenden Jahren zur Aufstellung der Betriebspläne ausgewählt und zwar der Zeitraum von 1890 bis 1909, der besonders in seinem Anfange unter dem Zeichen ausgeprägter Trockenheit stand. Für diesen Zeitraum konnten, wie schon angegeben, die Abflußmengen der Murg, der Raumünzach und des Schwarzenbachs teils aus vorhandenen Messungen, teils aus den Niederschlagsbeobachtungen annähernd ermittelt werden.

Über die voraussichtliche Gestaltung des Betriebes des Gesamtkraftwerkes der Murg lassen sich bestimmte Angaben zum voraus nicht machen, da Werke von ähnlicher Größe und Betriebsweise nicht vorhanden sind. Insbesondere müssen über die Schwankungen der Kraftleistung und ihr Verhältnis zu der größten und durchschnittlichen Leistung Annahmen gemacht werden.

Zu diesem Zweck wurden die Arbeitskurven der bahneigenen Elektrizitätswerke in Mannheim, Karlsruhe und Offenburg, sowie die einiger städtischen Zentralen und Überlandzentralen zusammengestellt und auf diese Weise Arbeitspläne bestimmt, die einer mittleren Jahresleistung von 6000 PS entsprechen. Durch proportionale Vergrößerung wurden ähnliche Arbeitspläne für die mittlere Jahresleistung von 11 000 PS und 15 000 PS gewonnen.

Auf Blatt 17 sind für eine mittlere Jahresleistung von 15 000 PS die Kurve der mittleren Tagesleistungen innerhalb eines Jahres und die Tagesarbeitskurven für die durchschnittliche mittlere Tagesleistung eines jeden Monats aufgetragen. Man ersieht hieraus, daß die mittlere Tagesleistung am größten in den Herbst- und Wintermonaten, besonders im Dezember ist. In diesen Monaten treten auch die größten Schwankungen der Kraftleistung während des Tages auf. Es erscheint morgens und abends je eine durch den Lichtbedarf hervorgerufene Spitze. Im Dezember steigt die Abendspitze bis zur Höchstleistung, die dem dreifachen Betrag der mittleren Jahresleistung gleichkommt.

Durch die Bemessung des Murgstollens auf 14 cbm/sec höchste Wasserführung ist jedoch die Murg nicht in der Lage, eine Spitzenarbeit über rund 21 000 PS zu leisten. In den Monaten mit größerer Höchstleistung müssen deshalb auch bei reichlicher Wasserführung der Murg andere Kraftquellen (Staubecken, Dampfreserve) in Benützung genommen werden.

Andererseits ist es möglich, durch das Sammelbecken die Schwankungen der täglichen Kraftleistung auszugleichen und dadurch die tägliche Murgwassermenge bis zu 14 cbm/sec vollständig auszunützen, soweit Verwendung für die Kraft vorhanden ist. Unter Grundlegung der Dezemberkurve und bei der Verarbeitung von höchstens 14 cbm/sec ist für den Tagesausgleich ein Vorrat von 68 000 cbm erforderlich. Da der nutzbare Inhalt des Sammelbeckens 190 000 cbm beträgt, könnte der Mehrbetrag für den Ausgleich des Bedarfs während mehrerer Tage Verwendung finden; auch kann das Sammelbecken zur teilweisen Aufspeicherung der überschüssigen Sonntagswasser benützt werden. In den folgenden Untersuchungen sind jedoch diese Möglichkeiten, die günstig auf das Ergebnis einwirken, zur Vereinfachung der Rechnung außer Betracht gelassen.

Die Betriebsweise des Werkes wurde für drei Annahmen untersucht:

α) für die erste Ausbaustufe mit Dampfreserve; mittlere Jahresleistung = 6000 PS,

β) für den Voll-Ausbau mit Dampfreserve; mittlere Jahresleistung = 15 000 PS,

γ) für den Voll-Ausbau ohne Dampfreserve; mittlere Jahresleistung = 11 000 PS.

α) Solange die Staubecken nicht erbaut sind, fließt das Wasser der Raumünzach und des Schwarzenbachs dem Murgstollen zu und wird mit dem Murgwasser mitverwertet. Die Abflußmengen betragen dann etwa 86 % der in Schlechtau gemessenen Wassermengen. Sie sind in den Zeichnungen Blatt 18 bis 35 in cbm/sec für die Tage der Jahre 1890 bis 1909 als Ordinaten aufgetragen. Die nicht mehr ausnützbaren Wassermengen über 14 cbm/sec sind nicht angegeben. In demselben Maßstab sind die einer mittleren Jahresleistung von 6000 PS entsprechenden, in Kubikmeter Wasser ausgedrückten Tagesleistungen aufgetragen (Kurve I). Die Unterschiede zwischen diesen Größen und den Abflußmengen stellen, falls der Abfluß größer als die geforderte Leistung ist, die ungenützt abfließende Wassermenge, im andern Falle den von der Dampfzentrale zu leistenden Kraftzuschuß dar. In der folgenden Tabelle sind die auf diese Weise ermittelten Jahresleistungen des durch den Murgstollen zugeführten Wassers und der Dampfreserve in den Jahren 1893 bis 1909 sowie die erforderlichen Höchstleistungen der Dampfreserve zusammengestellt.

Jährliche Kraftleistung.

I. Ausbaustufe.

6000 PS = 52,56 Millionen PS-Stunden im Jahr.

Jahr	Leistung in Millionen PS-Stunden: der Murg	der Dampfzentralen	Höchstleistung der Dampfzentralen PS
1893	42,97	9,59	5100
1894	50,46	2,10	5000
1895	47,34	5,22	4200
1896	50,52	2,04	3600
1897	47,14	5,42	4800
1898	45,61	6,95	4000
1899	48,69	3,87	4100
1900	49,58	2,98	3600
1901	50,00	2,56	2600
1902	49,67	2,89	3900
1903	52,09	0,47	1700
1904	47,78	4,78	3500
1905	49,11	3,45	6500
1906	46,37	6,19	4800
1907	42,91	9,65	5300
1908	52,12	0,44	1400
1909	52,54	0,02	500
Summe:	824,90	68,62	
Mittel:	48,52	4,04	

Das Höchstmaß der von der Dampfreserve zu übernehmenden Kraftleistung schwankt demnach zwischen 4000 PS und 6500 PS. Diese Arbeitsmengen können von den Dampfzentralen in Mannheim (Höchstleistung = 4600 PS) und Karlsruhe (Höchstleistung = 2100 PS) geliefert werden, während die Zentrale in Offenburg (Höchstleistung = 1100 PS) als Reserve für unerwartete Fälle, Betriebsstörungen usw. dienen soll.

Auf den Blättern 18 bis 35 ist noch für das jeweilige Jahr die sogenannte Häufigkeitskurve aufgezeichnet, aus der zu ersehen ist, an wievielen Tagen eine Wassermenge von bestimmter Größe zur Verfügung stand.

β) Sobald die Staubecken erbaut sind, fließt nur das unterhalb dieser Becken sich sammelnde Wasser der Raumünzach und des Schwarzenbachs dem Murgstollen zu; das oberhalb zugehende Wasser wird in den Becken zurückgehalten. Der Wasserzufluß des Murgstollens beträgt infolgedessen nur etwa 69,1 % der Abflußmenge in Schlechtau. Um auch für diesen Fall die Darstellungen in den Blättern 18 bis 35 benützen zu können, ist es erforderlich, die Abflußordinaten nach einem entsprechend veränderten Maßstab (II) abzugreifen. In demselben Maßstab ist die Kurve der einer mittleren Jahresleistung von 15000 PS gleichkommenden Kraftleistungen (II) aufgetragen. Wie oben angegeben, stellt der Unterschied der beiden Linien die ungenützte Wassermenge der Murg, oder wenn das fließende Wasser zur Krafterzeugung nicht ausreicht, den erforderlichen Kraftzuschuß dar, der von den Staubecken oder von der Dampfreserve zu leisten ist.

Auf Blatt 36 sind die monatlichen Zuflüsse beider Staubecken (etwa 16,9 % der Abflußmengen in Schlechtau) aufgetragen und auf derselben Abszisse die monatlichen Beträge des vorhin erwähnten Kraftzuschusses. Der Unterschied beider Ordinaten bezeichnet die im Laufe des Monats eintretende Vermehrung oder Verminderung des Beckeninhalts, wenigstens solange die Dampfreserve nicht mitarbeitet.

Durch algebraische Addition dieser Werte erhält man die Kurve der Staubeckenfüllung. Diese Addition kann jeweils so lange fortgesetzt werden, bis die nutzbare Beckenfüllung ihren Höchstwert (25,6 Mill. cbm) oder den Wert 0 erreicht; dann tritt, so lange das Vorzeichen der Posten das gleiche bleibt, ein Überlaufen oder ein Versagen der Staubecken ein. Die Untersuchung zeigte, daß bei einer mittleren Leistung von 15000 PS die Staubecken allein nicht den erforderlichen Kraftzuschuß leisten können und darum die Dampfreserve zu Hilfe genommen werden muß.

Die Leistungen der Dampfreserve sind für die Aufzeichnung der Staubeckenfüllung gleichsam als weitere Zuflüsse zu den Staubecken in Rechnung zu ziehen. Es ist dabei eine PS-Stunde $= \frac{1 \cdot 60 \cdot 60}{345 \cdot 10} = 1{,}04$ cbm/sec.

Die Betriebsweise der Dampfreserve ist so angenommen, daß die Dampfzentrale in Mannheim mit ihrer vollen Leistung von 4600 PS in Betrieb gesetzt wird, sobald $^1/_3$ der Beckenfüllung aufgebraucht ist. Die Dampfzentrale in Karlsruhe mit einer Leistung von 2100 PS wird eingeschaltet, sobald $^2/_3$ der Füllung verzehrt sind, und ausgeschaltet, sobald der Wasserspiegel des Beckens wieder zu steigen beginnt. Bei steigendem Wasserstand wird auch die Mannheimer Zentrale ausgeschaltet, wenn die Füllung den Betrag von $^1/_3$ erreicht hat und ein weiteres Ansteigen des Wasserspiegels zu erwarten ist.

Auf Blatt 36 ist nach diesen Grundsätzen die Leistung der Dampfreserve und die Füllung der Staubecken für die Jahre 1890 bis 1909 ermittelt und dargestellt. Man ersieht aus dieser Darstellung, daß die Staubecken selten und dann nur kurze Zeit überlaufen, also gut ausgenützt werden. Die Dampfzentrale in Mannheim muß in der Regel in den Herbstmonaten September bis November eingeschaltet und bis Februar oder März in Betrieb gehalten werden. Die Zentrale in Karlsruhe ist nur während kurzer Zeit in den Herbst- oder Wintermonaten besonders trockener Jahre in Benützung zu nehmen; die Zentrale in Offenburg dient im allgemeinen als Reserve.

In der folgenden Tabelle sind die Jahresleistungen der Murg, der Staubecken und der Dampfreserve für die Jahre 1890 bis 1909 zusammengestellt:

Jährliche Kraftleistung.
Voll-Ausbau.
15 000 PS = 131,40 Millionen PS-Stunden im Jahr.

Jahr	Leistung in Millionen PS-Stunden			Höchstleistung der Dampfzentralen PS
	der Murg	der Staubecken	der Dampfzentralen	
1890	73,70	53,90	3,80	4600
1891	64,20	45,45	21,75	6700
1892	66,50	48,20	16,70	6700
1893	54,40	41,75	35,25	6700
1894	65,80	34,85	30,75	6700
1895	67,20	51,80	12,40	4600
1896	70,00	56,20	5,20	4600
1897	71,00	50,90	9,50	4600
1898	61,70	50,45	19,25	6700
1899	67,20	49,50	14,70	4600
1900	69,00	48,50	13,90	6700
1901	67,60	50,80	13,00	4600
1902	76,40	46,90	8,10	4600
1903	77,90	50,25	3,25	4600
1904	67,90	49,00	14,50	4600
1905	65,40	40,85	25,15	6700
1906	67,90	49,55	13,95	6700
1907	62,60	44,10	24,70	6700
1908	84,10	38,30	9,00	4600
1909	86,90	44,50	—	—
Summe	1387,40	945,75	294,85	
Mittel	69,37	47,29	14,74	

γ) Es war noch zu untersuchen, welche mittlere Leistung das vollständig ausgebaute Murgwerk ohne Dampfreserve zu liefern vermag. Diese Untersuchung kann, wie aus den Darstellungen der Beckenzuflüsse auf Blatt 36 ohne weiteres zu ersehen ist, auf die ungünstigsten Jahre 1890 bis 1895 und 1906, 1907 beschränkt werden. Für eine mittlere Leistung von 11 000 PS wurde der durch die Becken zu leistende Zuschuß in gleicher Weise, wie oben angegeben, auf Blatt 37 ermittelt und hierauf die Linie der Staubeckenfüllung aufgezeichnet. Es zeigt sich, daß die Staubecken nur einmal, im Anfang des Jahres 1894, vollständig leer werden, aber auch zu dieser Zeit noch gerade ausreichen. Über einen Betrag von 11 000 PS kann aber die mittlere Leistung des Murgwerkes ohne Zuziehung einer Dampfreserve oder anderer Kraftquellen nicht gesteigert werden.

c) Betriebsführung der Anlage.

Die sämtlichen Zuflüsse zu dem Kraftwerke von den beiden Staubecken und dem Sammelbecken sind im allgemeinen offen. Beim gewöhnlichen Betrieb fließt also das Druckwasser ohne weitere Wartung bis vor die Turbinen, die nach Bedarf in Betrieb gesetzt werden und sodann das zuströmende Wasser verarbeiten.

Doch sind zur Überwachung der Talsperren und des Sammelbeckens an der Landesgrenze Wärter in Aussicht genommen, die bei besonderen Anlässen die Verstellung der Schieber und Schützen zu besorgen haben. Zur Verständigung des Bedienungspersonals werden Fernsprechverbindungen erstellt.

Die Bedienung des Wehrs an der Landesgrenze wird sich in folgender Weise gestalten. So lange die Wasserführung der Murg gering ist und der Wasserspiegel im Sammelbecken nicht über die Höhe 452,30 m steigt, bleiben die Schützen vollständig geschlossen. Bei höheren Anschwellungen ist der Wasserstand durch das Senken der oberen Schützen entsprechend zu regeln und nur bei sehr starken Hochwassern, bei denen diese Art der Regelung nicht ausreicht, werden die unteren Schützen und der Grundablaß gezogen.

In dem Kraftwerk fließt das Druckwasser in besonderen Leitungen durch die Turbinen, die es nach verrichteter Arbeit durch den zugehörigen Unterwassergraben an das Ausgleichbecken abgeben. Von hier gelangt es entweder durch die Ausgleichturbinen oder unmittelbar über das Wehr nach der Murg zurück. Die Ausgleichturbinen müssen so arbeiten, daß der Abfluß in die talseitige Murgstrecke möglichst gleichförmig und den Interessen der untenliegenden Werkbesitzer entsprechend ist. Die von den Ausgleichturbinen zu liefernde verhältnismäßig geringe Leistung von höchstens 1410 PS wird also für die Betriebsführung als Grundkraft in Rechnung zu stellen sein, während die weit bedeutenderen Spitzenleistungen durch die übrigen Turbinen übernommen werden müssen.

Das Wehr des Ausgleichbeckens ist bei geringem Wasserstand der Murg ganz geschlossen. Bei zunehmender Wasserführung müssen der Grundablaß und die großen Schützen in dem Maße geöffnet werden, als die Ausgleichturbinen nicht in der Lage sind, das Wasser zu verarbeiten.

Das Ausgleichbecken kann durch den Grundablaß bis auf die Höhe 292,0 entleert werden. Der nutzbare Inhalt beträgt in diesem Fall 204 000 cbm.

Es ist nun noch zu untersuchen, ob dieser Inhalt genügt, um die durch das Kraftwerk verursachten Schwankungen im Wasserabfluß der Murg auszugleichen. Aus der Dezemberkurve (Blatt 17) ergibt sich der hierfür nötige Fassungsraum für den ersten Ausbau (6000 PS) zu 54 000 cbm, für den Vollausbau (15 000 PS) zu 90 000 cbm. Der gewählte Fassungsraum genügt also reichlich.

Eine weitere Frage ist, ob das für den Tagesausgleich nicht benötigte Wasser zur weiteren Verbesserung der Wasserverhältnisse der Murg im Interesse der unterhalb des Werkes liegenden Wasserkraftanlagen nutzbar gemacht, insbesondere, ob durch eine Aufspeicherung des Sonntagswassers die Wasserführung während der Woche erheblich günstiger gestaltet werden kann.

Es wird angenommen, daß die Sonntags ruhenden Werke von 6 Uhr morgens bis 6 Uhr abends außer Betrieb sind. Bei der Aufspeicherung des am Sonntag entbehrlichen Triebwassers muß selbstverständlich auf

den Betrieb der unmittelbar unterhalb Forbach anschließenden Werke ebenso wie auf die größeren Werke zwischen Gaggenau und Rastatt Rücksicht genommen werden. Von den letztgenannten kommen die Eisenwerke Gaggenau (Bedarf 12 cbm/sec) und die Werke I und II Kuppenheim am Oberndorfer Gewerbekanal (4 cbm/sec) in Betracht.

Die für die Aufspeicherung verfügbare Zeit beträgt also 12 Stunden, abzüglich des Zeitraums, den das Wasser braucht, um von dem Ausgleichbecken bis zu dem am weitesten entfernten Werk zu gelangen. Die Entfernung von dem Ausgleichbecken bis zu den Werken in Kuppenheim beträgt etwa 25 km.

Der in den Kuppenheimer Werken erforderlichen Wassermenge von 4 cbm/sec entspricht ein Abfluß von 3 cbm/sec aus dem Ausgleichbecken bei Forbach. Diese Wassermenge braucht aber etwa 12 Stunden, um den Weg Forbach-Kuppenheim zurückzulegen. Bei einer 12 stündigen Sonntagspause der Werke darf also bis zu einem Abfluß von 3 cbm/sec kein Wasser im Ausgleichbecken zurückgehalten werden; auch müssen bei höheren Wasserständen ständig 3 cbm/sec aus dem Ausgleichbecken abfließen. Dabei wird die bei höheren Wasserständen im allgemeinen eintretende erhöhte Vermehrung der Wasserführung der Murg bis Kuppenheim vernachlässigt.

In der folgenden Tabelle ist:

Q = der Abfluß aus dem Ausgleichbecken in cbm/sec, wenn keine Aufspeicherung stattfindet,

Z = die Zeit, die diese Wassermenge vom Ausgleichbecken bis zu den Eisenwerken Gaggenau braucht, in Stunden,

Q_1 = die Wassermenge in cbm/sec, die im Ausgleichbecken aufgespeichert werden kann, $= Q - 3$ cbm,

Z_1 = die Zeit, während der diese Wassermenge aufgespeichert werden kann, in Stunden, $= 12 - Z$,

V = die gesamte aufgespeicherte Wassermenge in cbm $= Q_1 \cdot Z_1 \cdot 3600$,

a = die durch die Aufspeicherung erzielte Vergrößerung des Murgabflusses in der Woche in cbm/sec $= \frac{V}{(12 + 6 \cdot 24) \cdot 3600}$,

p = der Prozentsatz dieser Vergrößerung,

J = der zur Aufspeicherung erforderliche Stauraum in cbm $= V + 90000$.

Q	Z	Q1	Z1	V	a	p	J
4,0	6,0	1,0	6,0	22 000	0,039	1,0	112 000
5,0	5,6	2,0	6,4	46 000	0,082	1,6	136 000
6,0	5,3	3,0	6,7	72 000	0,128	2,1	162 000
7,0	5,0	4,0	7,0	101 000	0,180	2,6	191 000
8,0	4,8	5,0	7,2	130 000	0,232	2,9	220 000
9,0	4,6	6,0	7,4	160 000	0,285	3,2	250 000
10,0	4,5	7,0	7,5	189 000	0,336	3,4	279 000

Wie aus der Tabelle ersichtlich, ist bei dem vorhandenen Fassungsraum des Ausgleichbeckens eine Aufspeicherung nur möglich bis zu einer Wasserführung der Murg von 7,5 cbm/sec. Der Nutzen, den die verschiedenen Werke davon hätten, wäre, soweit sie überhaupt auf so große Wassermengen eingerichtet sind, ziemlich gering.

III. Wirtschaftliche Grundlagen.

1. Baukosten.

a) Die Baukosten der Wasserkraftanlage ohne Fernleitung betragen für die erste Ausbaustufe:

A. Grunderwerb.

Bodenankauf und Entschädigungen . .	135 000 ℳ

B. Tiefbauten.

Murgwehr für das Sammelbecken an der Landesgrenze mit Schützen, Dienststeg und allen Einrichtungen, nebst Kläranlagen und Stolleneinlauf	590 000 „
Übertrag . .	590 000 ℳ
Übertrag . .	590 000 ℳ
Druckstollen vom Murgwehr bis zum unteren Wasserschloß	2 410 000 „
Wehr im Raumünzachtal mit Klärbecken und Stolleneinlauf	74 000 „
Unteres Wasserschloß	95 000 „
Murgwehr für das Ausgleichbecken bei Forbach mit Schützen, Dienststeg und allen Einrichtungen	440 000 „
Verlegung von Straßen und Wegen am Sammelbecken, im Lauf der Druckrohrleitung und am Krafthaus . . .	45 000 „
Zusammen . .	3 654 000 ℳ

C. Druckrohrleitungen.

Druckrohrleitung vom unteren Wasserschloß bis zum Kraftwerk mit Aushub, Auflagerung und Verankerung . . .	330 000 ℳ
Schieber, Armaturen, Apparate usw. . .	53 000 „
Seilbahn	30 000 „
Zusammen . .	413 000 ℳ

D. Gebäude.

Krafthaus	624 000 ℳ
Schalthaus	421 000 „
Niederdruckturbinenhaus	110 000 „
Apparatenhaus	30 000 „
Zusammen . .	1 185 000 ℳ

E. Maschinen.

6 Francisturbinen für die untere Druckstufe mit Generatoren, 1 Erregerturbine mit Generatoren und Erregerumformer im Krafthaus	830 000 ℳ
3 Niederdruck-Francisturbinen mit Generatoren	105 000 „
Erregerbatterie, Schaltanlage u. Leitungen	298 000 „
Transformatoren	170 000 „
Kranen, Beleuchtung	42 000 „
Ergänzung der inneren Einrichtung der vorhandenen Dampfzentralen	90 000 „
Zusammen . .	1 535 000 ℳ

Zusammenstellung.

A. Grunderwerb	135 000 ℳ
B. Tiefbauten	3 654 000 „
C. Rohrleitungen	413 000 „
D. Gebäude	1 185 000 „
E. Maschinen	1 535 000 „
Zusammen . .	6 922 000 ℳ
Unvorhergesehenes (10 %)	692 000 „
Zusammen . .	7 614 000 ℳ
Verwaltungsaufwand (4½ %)	343 000 „
Gesamtbaukosten . .	7 957 000 ℳ
Hierzu für Kapitalbeschaffung und Verzinsung des Baukapitales bis zur Inbetriebnahme des Werkes	643 000 „
Im Ganzen . .	8 600 000 ℳ

Die Kosten der zweiten Ausbaustufe betragen:

A. Grunderwerb.

Bodenankauf und Entschädigungen . .	331 000 ℳ

B. Tiefbauten.

Untergrundschürfungen	60 000 ℳ
Talsperre im Raumünzachtal mit Aushub, Entnahmevorrichtung usw.	4 170 000 „
Talsperre im Schwarzenbachtal mit Aushub, Entnahmevorrichtung usw. . . .	2 974 000 „
Druckstollen vom Raumünzachbecken bis zum oberen Wasserschloß	1 590 000 ℳ
Übertrag . .	8 794 000 ℳ
Oberes Wasserschloß	96 000 „
Verlegung und Neubau der Straßen bei den Talsperren und den Druckrohrleitungen	75 000 „
Zusammen . .	8 965 000 ℳ

C. Druckrohrleitungen.

Druckrohrleitung im Schwarzenbachtal .	115 000 ℳ
Druckrohrleitung vom oberen Wasserschloß bis zum Kraftwerk mit Aushub, Auflagerung und Verankerung . . .	585 000 „
Schieber, Armaturen, Apparate usw. .	60 000 „
Verlängerung der Seilbahn	20 000 „
Zusammen . .	780 000 ℳ

D. Gebäude.

1 Schieber- und 1 Apparatenhaus . .	40 000 ℳ

E. Maschinen.

6 Peltonturbinen für die obere Druckstufe und 1 Erregerturbine, mit Generatoren	702 000 ℳ
Schaltanlage und Leitungen	217 000 „
Transformatoren	100 000 „
Kranen, Beleuchtung	31 000 „
Zusammen . .	1 050 000 ℳ

Zusammenstellung.

A. Grunderwerb	331 000 ℳ
B. Tiefbauten	8 965 000 „
C. Druckrohrleitungen	780 000 „
D. Gebäude	40 000 „
E. Maschinen	1 050 000 „
Zusammen . .	11 166 000 ℳ
Unvorhergesehenes (10 %)	1 117 000 „
Zusammen . .	12 283 000 ℳ
Verwaltungsaufwand (4½ %)	553 000 „
Gesamtbaukosten . .	12 836 000 ℳ
Hierzu für Kapitalbeschaffung und Verzinsung des Baukapitals bis zur Inbetriebnahme des II. Ausbaues	1 064 000 „
Im ganzen . .	13 900 000 ℳ

b) Die Kosten der Fernleitung betragen:

Für die erste Ausbaustufe:

56 km Doppelleitung	710 000 ℳ
234 km einfache Leitung	2 130 000 „
8 Schalt- und Transformatorenhäuser .	1 450 000 „
Zusammen . .	4 290 000 ℳ
Unvorhergesehenes (10 %).	429 000 „
Zusammen . .	4 719 000 ℳ
Verwaltungsaufwand (4½ %).	212 000 „
Gesamtbaukosten . .	4 931 000 ℳ

Übertrag . .	4931000 ℳ
Hierzu für Kapitalbeschaffung und Verzinsung des Baukapitals bis zur Inbetriebnahme der I. Ausbaustufe . . .	199000 „
Im ganzen . .	5130000 ℳ

Für die zweite Ausbaustufe:

Ergänzung der inneren Einrichtung der Schalt- und Transformatorenhäuser .	922000 ℳ
Unvorhergesehenes	92000 „
Zusammen . .	1014000 ℳ
Verwaltungsaufwand (4 1/2 %)	46000 „
Gesamtbaukosten . .	1060000 ℳ
Für Kapitalbeschaffung und Bauzinsen .	50000 „
Im Ganzen . .	1110000 ℳ
Gesamtaufwand für die Fernleitung . .	6240000 „

Die Kosten des voll ausgebauten Werkes belaufen sich hiernach auf:

A. Grunderwerb	1. Ausbau	135000 ℳ	466000 ℳ
	2. „	331000 „	
B. Tiefbauten .	1. „	3654000 „	12619000 „
	2. „	8965000 „	
C. Druckrohrleitungen .	1. „	413000 „	1193000 „
	2. „	780000 „	
D. Gebäude .	1. „	1185000 „	1225000 „
	2. „	40000 „	
E. Maschinen .	1. „	1535000 „	2585000 „
	2. „	1050000 „	
			18088000 ℳ
Unvorhergesehenes . .	1. „	692000 „	1809000 „
	2. „	1117000 „	
		Zusammen	19897000 ℳ
Verwaltungsaufwand . . .	1. „	343000 „	896000 „
	2. „	553000 „	
Gesamtbaukosten der voll ausgebauten Wasserkraftanlage			20793000 ℳ
Hierzu Gesamtbaukosten der Fernleitung	1. Ausbau	4931000 ℳ	5991000 „
	2. „	1060000 „	
Gesamtbauaufwand der Wasserkraftanlage und der Fernleitung			26784000 ℳ
Hierzu für Kapitalbeschaffung und Bauzinsen			
	1. Ausbau	643000+199000= 842000	1956000 „
	2. „	1064000+ 50000=1114000	
Gesamtaufwand . .			28740000 ℳ

2. Verwertung der elektrischen Energie.

Zeichnung Blatt 39.

Das Kraftwerk soll von der Eisenbahnverwaltung erbaut, unterhalten und betrieben werden. Der im Kraftwerk erzeugte elektrische Strom wird in erster Reihe von der Eisenbahnverwaltung verwendet, namentlich für die Beleuchtung und den Betrieb der maschinellen Einrichtungen in den Bahnhöfen, den Werkstätten und den staatlichen Hafenanlagen in Mannheim. Eine Verwendung der gewonnenen Energie für den Betrieb von Bahnen ist zunächst nicht in Aussicht genommen, da noch das Ergebnis der Versuche auf der Wiesentalbahn abzuwarten ist und auch die Militärverwaltung sich gegen die Einführung des elektrischen Betriebes auf Hauptstrecken zurzeit noch ablehnend verhält. Auf Nebenlinien, insbesondere Stichbahnen, bietet der elektrische Betrieb nur unter besonders günstigen Verhältnissen, die bei der Murgtalbahn zurzeit nicht vorliegen, wirtschaftliche Vorteile. Tritt später zugunsten des elektrischen Betriebes der Bahnen eine Änderung ein, so wird beim weiteren Ausbau des Kraftwerkes in eine erneute Prüfung dieser Frage eingetreten werden. Da durch den derzeitigen Bedarf der Eisenbahnverwaltung die Leistung des Murgkraftwerkes nur zum Teil ausgenützt wird, soll der übrige Strom zu gemeinnützigen Zwecken verwendet und an Private auf langfristige Verträge abgegeben werden. Dabei sollen in erster Reihe Städte, Kreise, Genossenschaften sowie auch bestehende Überlandzentralen Berücksichtigung finden. Diesen Großabnehmern wäre es zu überlassen, die Stromverteilung in ihrem Verbrauchsgebiet zu regeln. Die Eisenbahnverwaltung selbst befaßt sich nicht mit der Stromabgabe an Kleinabnehmer. Die Verteilung des Stromes erfolgt vom Kraftwerk aus unmittelbar mit der Maschinenspannung von 10000 Volt in die nächste Umgebung. Für die entfernteren Verbrauchsgebiete wird eine besondere Hochspannungsfernleitung erstellt, die Strom von 70000 Volt Spannung führt und deren Ausdehnung aus Blatt 39 zu ersehen ist. In diese sollen die Hauptspeisepunkte Offenburg, Rastatt, Karlsruhe, Mannheim und Heidelberg eingeschaltet werden; auch ist ein Anschluß in Wiesloch, Bruchsal und Achern vorgesehen. In den Speisepunkten, in denen die Spannung vom Kraftwerk aus reguliert wird, erfolgt für die weitere Verteilung eine Umformung des Stromes von 70000 Volt auf eine mittlere Spannung, die im allgemeinen 16000 Volt beträgt, wenn nicht der Anschluß bestehender Anlagen eine andere Spannung bedingt.

Die Eisenbahnverwaltung führt das gesamte Fernleitungsnetz mit den in dasselbe eingeschalteten Blitzschutz- und Transformatorenhäusern auf ihre Kosten aus und unterhält auch diese Anlagen. Dagegen ist es Sache des Stromabnehmers, das Verteilungsnetz zu erstellen und den Anschluß an die einzelnen Verteilungspunkte zu bewirken. Die Messung des Mittelspannungsstromes erfolgt hinter dem Transformator des Speisepunktes.

Der Strompreis soll unter Berücksichtigung der Verluste in der Fernleitung derart bemessen werden, daß damit nicht nur die eigentlichen Betriebskosten, die Kosten der Unterhaltung der Anlage sowie die Verzinsung und allmähliche Tilgung des Anlagekapitals gedeckt werden, sondern auch noch ein Reservefond gebildet werden kann, der bei außergewöhnlichen Vorkommnissen in Anspruch zu nehmen wäre, und daß außerdem noch ein angemessener mäßiger Reingewinn für die Verwaltung verbleibt. Da die Großabnehmer

den Strom an den Verteilungspunkten der Fernleitung mit der Niederspannung übernehmen und hier auch die Messung erfolgt, so sind in dem Strompreis auch die Kosten für die Fernleitung des Stromes einzurechnen. Für die Verteilung des Stromes in die nähere Umgebung des Kraftwerkes kommen diese Kosten, soweit die Abnahme unmittelbar mit der Mittelspannung von der Sammelschiene des Werkes aus erfolgt, nicht in Rechnung.

3. Ertragsberechnung.

Zur Bestimmung des Ertrages des Werkes muß zunächst der jährliche Aufwand berechnet werden und zwar für die Verzinsung des Baukapitals, für dessen Tilgung und für die Unterhaltung und Bedienung des Werkes. Die Einheitssätze für die verschiedenen Teile des Werkes sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Gesamte Betriebskosten in % der Anlagekosten.

Gegenstand	Verzinsung %	Tilgung %	Unterhaltung %	Bedienung %	Gesamtsumme %
Gelände	4,0	0,5	.	.	4,5
Tiefbauten	4,0	0,5	0,3	0,2	5,0
Druckrohrleitungen .	4,0	3,0	0,5	.	7,5
Gebäude	4,0	1,5	1,5	.	7,0
Maschinen	4,0	6,0	2,5	1,5	14,0
Fernleitung	4,0	1,5	2,0	0,5	8,0
Unvorhergesehenes, Verwaltungsaufwand und Bauzinsen	4,0	0,5	.	.	4,5

Unter diesen Annahmen ergeben sich folgende Betriebskosten:

Für die erste Ausbaustufe:

Gegenstand	Baukosten ℳ	%	Betriebskosten ℳ
A. Grunderwerb . .	135 000	4,5	6 100
B. Tiefbauten . . .	3 654 000	5,0	182 700
C. Druckrohre . . .	413 000	7,5	31 000
D. Gebäude	1 185 000	7,0	83 000
E. Maschinen . . .	1 535 000	14,0	214 900
Unvorhergesehenes .	692 000	4,5	31 100
Verwaltungsaufwand .	343 000	4,5	15 400
Zusammen .	7 957 000	.	564 200
Bauzinsen	643 000	4,5	28 900
Im ganzen .	8 600 000	.	593 100
Fernleitung	4 290 000	8,0	343 200
Unvorhergesehenes, Verwaltungsaufwand und Bauzinsen . .	840 000	4,5	37 800
Im ganzen .	5 130 000	.	381 000

Für den Voll-Ausbau:

Gegenstand	Baukosten ℳ	%	Betriebskosten ℳ
A. Grunderwerb . . .	466 000	4,5	21 000
B. Tiefbauten	12 619 000	5,0	631 000
C. Druckrohre	1 193 000	7,5	89 500
D. Gebäude	1 225 000	7,0	85 800
E. Maschinen	2 585 000	14,0	361 900
Unvorhergesehenes .	1 809 000	4,5	81 400
Verwaltungsaufwand .	896 000	4,5	40 300
Zusammen . .	20 793 000	.	1 310 900
Bauzinsen	1 707 000	4,5	76 800
Im Ganzen . .	22 500 000	.	1 387 700
Fernleitung	5 212 000	8,0	417 000
Unvorhergesehenes, Verwaltungsaufwand und Bauzinsen	1 028 000	4,5	46 300
Im Ganzen . .	6 240 000	.	463 300

Für die Ertragsberechnung sind außer den Betriebskosten des Murgwerkes noch die Kosten der Dampfreserve in Rechnung zu ziehen, die während der ersten Ausbaustufe und beim Voll-Ausbau dann, wenn die jährliche Durchschnittsleistung auf 15 000 PS gesteigert werden soll, zu Hilfe genommen werden muß.

Für die Dampfzentralen in Mannheim, Karlsruhe und Offenburg sind für die Unterhaltung, die Verzinsung und Tilgung des Baukapitals im Jahr 220 000 ℳ und für die Kraftlieferung für je 1 Kilowatt-Stunde 3,5 ₰ oder für 1 PS-Stunde 2,33 ₰ in Rechnung gestellt.

Mit Rücksicht auf die Kraftverluste in den elektrischen Maschinen und Apparaten ist in diesen Untersuchungen 1 Kilowatt-Stunde = 1,5 PS-Stunde gesetzt.

In den Tabellen im Abschnitt II 5 b sind die bei der ersten Ausbaustufe (6000 PS) und beim Voll-Ausbau (15 000 PS) erforderlichen Leistungen der Dampfzentralen in PS-Stunden zusammengestellt. Diese Leistungen und hiermit die Kosten der Dampfreserve betragen für die Jahre 1890—1909 im Mittel

für die 1. Ausbaustufe (6000 PS):

Leistung = 4 040 000 PS-Stunden,
Kosten = 4 040 000 · 0,0233 + 220 000
= 314 100 ℳ;

für den Voll-Ausbau:

Leistung = 14 740 000 PS-Stunden,
Kosten = 14 740 000 · 0,0233 + 220 000
= 563 400 ℳ.

Auf dieser Grundlage sind im folgenden die Kosten der PS-Stunde und der Kilowatt-Stunde, gemessen an der Schalttafel im Krafthaus, berechnet. Diese betragen — ohne Fernleitung —

für die erste Ausbaustufe mit Dampfreserve:

Leistung = 6000 PS = 52,56 Millionen PS-Stunden.

Jährlicher Aufwand für die Wasserkraftanlage	593 100 ℳ
der Dampfreserve	314 100 „
Im ganzen	907 200 ℳ
für die PS-Stunde	1,73 ₰
für die Kilowatt-Stunde	2,60 „

für den Voll-Ausbau mit Dampfreserve:

Leistung = 15 000 PS = 131,4 Millionen PS-Stunden.

Jährlicher Aufwand für die Wasserkraftanlage	1 387 700 ℳ
der Dampfreserve	563 400 „
Im ganzen	1 951 100 ℳ
für die PS-Stunde	1,48 ₰
für die Kilowatt-Stunde	2,23 „

für den Voll-Ausbau ohne Dampfreserve:

Leistung = 11 000 PS = 96,4 Millionen PS-Stunden.

Jährlicher Aufwand für die Wasserkraftanlage im ganzen	1 387 700 ℳ
für die PS-Stunde	1,44 ₰
für die Kilowatt-Stunde	2,16 „

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, daß durch die Verbindung der Murgkraftanlage mit den vorhandenen Dampfzentralen zwar die Kraftausbeute gesteigert, aber auch der Kraftpreis erhöht wird. Dieser stellt sich am höchsten bei der ersten Ausbaustufe. Dennoch ist die Zuziehung der Dampfzentralen vorteilhaft, weil hierdurch ein allmählicher Ausbau des Werkes und eine bessere Anpassung der Kraftlieferung an das vorhandene Bedürfnis ermöglicht wird. Außerdem ist zu bedenken, daß diese Anlagen vorhanden sind und jedenfalls verzinst und amortisiert werden müssen.

Andere Werte ergeben sich, wenn man dieser Rechnung nicht den Zeitraum der 20 Jahre 1890 bis 1909, sondern das ungünstigste (trockenste) oder günstigste (wasserreichste) Jahr zugrunde legt, in dem der Bedarf an Dampfkraft einen Höchstwert oder Mindestwert erreicht hätte. Hierfür ergeben sich die Kosten der Kilowatt-Stunde

für die erste Ausbaustufe mit Dampfreserve:

Jahr 1893 K = 2,97 ₰,
„ 1909 „ = 2,33 „

für den Vollausbau mit Dampfreserve:

Jahr 1893 K = 2,77 ₰,
„ 1909 „ = 1,83 „

Der jährliche Aufwand für die Fernleitung beträgt

für die erste Ausbaustufe im ganzen 381 000 ℳ
für 1 PS-Stunde = 0,73 ₰,
für 1 Kilowatt-Stunde = 1,09 „

für den Voll-Ausbau für 15000 PS im ganzen 463 300 ℳ
für 1 PS-Stunde = 0,35 ₰,
für 1 Kilowatt-Stunde = 0,53 „

für den Voll-Ausbau für 11000 PS (ohne Dampfreserve) im ganzen 463 300 ℳ
für 1 PS-Stunde = 0,48 ₰,
für 1 Kilowatt-Stunde = 0,72 „

Die gesamten Selbstkosten einschließlich der Fernleitung betragen demnach im Durchschnitt der 20 Jahre:

für die erste Ausbaustufe:
für 1 PS-Stunde = 1,73 + 0,73 = 2,46 ₰,
für 1 Kilowatt-Stunde = 2,60 + 1,09 = 3,69 „

für den Voll-Ausbau für 15 000 PS:
für 1 PS-Stunde = 1,48 + 0,35 = 1,83 ₰,
für 1 Kilowatt-Stunde = 2,23 + 0,53 = 2,76 „

für den Voll-Ausbau für 11 000 PS:
für 1 PS-Stunde = 1,44 + 0,48 = 1,92 ₰,
für 1 Kilowatt-Stunde = 2,16 + 0,72 = 2,88 „

Vielfach ist es noch gebräuchlich, die geleistete Kraft nicht in summierter Form für das ganze Jahr, sondern in den sekundlich leistbaren Pferdestärken zu bezeichnen und auf diese Einheit, auf die sogenannte vollausgebaute Pferdestärke, den Geldaufwand umzulegen. Wenn man im vorliegenden Fall von dieser Berechnungsweise Gebrauch machen will, so gelangt man für das vollausgebaute Werk zu folgenden Zahlen:

Baukosten in ℳ	Leistung in PS	Kosten der vollausgebauten PS
20 793 000	11,000	1890 ℳ

Für Betrieb mit feststehenden Maschinen und für Beleuchtungszwecke gilt eine Wasserkraftanlage in unserer Gegend noch als bauwürdig, wenn die Pferdestärke auf 1100 bis 1200 ℳ, als gut, wenn die Pferdestärke auf 600 bis 800 ℳ zu stehen kommt. Bei Einbeziehung von Verkehrsanlagen, die mit dem Dampf in Wettbewerb treten müssen, ist ein noch niederer Preis für die Pferdestärke erforderlich. Vergleicht man diese Zahlen mit den oben für das Jahresmittel 1890 bis 1909 berechneten, so könnte die Wirtschaftlichkeit des Werkes zweifelhaft erscheinen.

Doch trifft dieses wegen der verschiedenen Berechnungsart der Leistungsfähigkeit nicht zu. Im vorliegenden Fall sind die Kosten auf die mittlere, d. h. ständig das ganze Jahr über erzeugbare Kraft umgelegt worden.

Im allgemeinen, also auch bei den zum Vergleich beigezogenen Zahlen, nimmt man aber die größtmögliche Kraftentfaltung an und berechnet hiermit den Einheitssatz, der naturgemäß dann nieder erscheint.

Wird diese Übung hierher übertragen und die größte Kraft, also der dreifache Betrag des Jahresmittels, eingesetzt, so kommt die ausgebaute Pferdekraft auf $\frac{1890}{3} = 630$ ℳ, somit auf einen recht günstigen Satz zu stehen.

Es sei noch umgekehrt an einem Beispiel eine Umrechnung auf die Mittelleistung durchgeführt.

Die Veltlinbahn an dem Ostufer des Comersees und im Veltlin bis nach Sondrio wird auf eine Länge von 105 km durch eine Wasserkraftzentrale an der Adda, in der bis zu 6000 PS erzeugt werden können, elektrisch betrieben. Die Anlage gilt als außerordentlich billig und rentabel, da die ausgebaute Pferdekraft einen Kostenaufwand von nur 300 ℳ, also die ganze

Anlage einen solchen von 1 800 000 ℳ verursachte und die Einnahmen in recht günstigen Verhältnissen zu den Ausgaben stehen. Mit den 6000 PS ließen sich im Jahre 35 000 000 Kilowatt-Stunden erzeugen, während tatsächlich nur 3 420 000 Kilowatt-Stunden verbraucht werden, die mit Weglassung der Umsetzungsverluste einer mittleren jährlichen Krafterzeugung von 530 PS entsprechen.

Auf diese mittlere Leistung umgerechnet betragen aber die Kosten der vollausgebauten Pferdekraft 3500 ℳ gegen 1890 ℳ der badischen Anlage.

Es liegt daher kein Grund zur Annahme vor, daß die Kraftausbeute außer Verhältnis zu den Betriebskosten steht. Im Gegenteil muß die gewonnene Kraft als billig anerkannt werden.

4. Vergleich zwischen Sammelbecken und Pumpwerk.

Zeichnung Blatt 38.

Über die Frage, ob das von Oberbaurat Professor Rehbock vorgeschlagene Pumpwerk vor dem im vorliegenden Entwurf vorgesehenen Sammelbecken an der Landesgrenze den Vorzug verdient, sind von der Eisenbahnverwaltung eingehende Untersuchungen angestellt worden. Deren Ergebnisse sollen hier kurz niedergelegt werden.

Beide Anlagen haben den Zweck, das in den Tagesstunden mit schwachem Kraftbedarf sonst ungenützt über das Wehr abfließende Murgwasser aufzuspeichern, um es während der Stunden mit hohem Kraftbedarf verwerten zu können und dadurch die Leistungsfähigkeit der Murg zu steigern.

Das Sammelbecken erfüllt diesen Zweck unmittelbar durch Aufstau des unbenützten Wassers und muß imstande sein, die bei 15 000 PS Jahresdurchschnittsleistung im Monat Dezember auftretenden größten Tagesschwankungen vollständig auszugleichen. Dazu würde ein Fassungsraum von 68 000 cbm genügen. Da der nutzbare Fassungsraum des Sammelbeckens 190 000 cbm beträgt, so vermag das Becken auch einen geringen Kraftvorrat für mehrere Tage aufzuspeichern. Auch kann es bei geeigneter Betriebsführung zur Aufspeicherung von überschüssigem Sonntagswasser benützt werden. Diese Umstände sind in den folgenden Berechnungen zur Vereinfachung und zur Erhöhung der Sicherheit der ganzen Vergleichsrechnung nicht berücksichtigt.

Das im Entwurf des Oberbaurat Professor Rehbock beim unteren Wasserschloß aufgestellte Pumpwerk hebt durch die Kraft des sonst ungenützt abfließenden Murgwassers einen Teil dieses Wassers und zwar etwa ein Viertel in die hochgelegenen Staubecken, von wo dieses Wasser dann in der oberen Druckstufe des Kraftwerkes verarbeitet wird. Der Nutzeffekt des Pumpwerks wird von Oberbaurat Professor Rehbock zu rund 60 % angegeben.

Die von ihm vorgesehenen 2 Pumpen fördern 1,0 + 0,5 = 1,5 cbm Wasser, gestatten also die Ausnützung des überschüssigen Murgwassers bis zu 6 cbm/sec.

Beim Vergleich zwischen dem Wert des Sammelbeckens und des Pumpwerkes sind die Leistungsfähigkeiten beider Anlagen, die Bau- und Betriebskosten und die Möglichkeit einer einfachen und sicheren Betriebsführung in Betracht zu ziehen.

Beim Vergleich der Leistungsfähigkeit müssen die folgenden drei Fälle unterschieden werden:

a) Solange die Kraftleistung des Murgwassers kleiner als der Mindestbedarf des Werkes ist, tritt weder das Pumpwerk noch das Sammelbecken in Tätigkeit.

b) Bei steigender Wasserführung der Murg arbeitet zunächst das Sammelbecken günstiger, da es die ganze überschüssige Kraft, das Pumpwerk nur 60 % hiervon, aufspeichern kann. Die Leistung beider Anlagen ist gleich, sobald der 0,6fache Betrag der überschüssigen Kraft gerade ausreicht, um die Tagesspitzen zu decken.

c) Bei noch höheren Wasserständen arbeitet das Pumpwerk günstiger als das Sammelbecken, da es mehr Wasser in die Becken hebt, als für den Tagesausgleich erforderlich ist, und dadurch den Wasservorrat der Staubecken vermehrt.

Auf Grund der monatlichen Betriebspläne wurde für jede Wasserführung der Murg der Betrag ermittelt, der einer Mehr- oder Minderleistung des Pumpwerkes gegenüber dem Sammelbecken entspricht. Dieser für die einzelnen Tage ermittelte Kraftbetrag ist entweder den Staubecken zu entnehmen oder kommt diesen zu gut. Der so den Staubecken zukommende Vorrat ist jedoch nur dann von Wert, wenn er wirtschaftlich verwendbar ist. Ein Urteil hierüber gestattet die Durchführung der Vergleichsrechnung für eine mittlere Jahresleistung von mehr als 11 000 PS mit Zuziehung von Dampfreserve, da hierbei zu ersehen ist, ob durch den Einfluß des Pumpwerkes der Bedarf an Dampfkraft vermehrt oder vermindert wird.

Diese Untersuchung ist in der angeschlossenen Zeichnung Blatt 38 für eine mittlere Jahresleistung von 15 000 PS und die Jahre 1893 bis 1909 durchgeführt; für die Jahre 1890 bis 1893 ist dies nicht möglich, da die täglichen Abflußmengen nicht bekannt sind.

Es zeigt sich hierbei, daß durch das Pumpwerk den Staubecken in mehreren Monaten ein Mehrbetrag von Kraft zugeführt werden kann, der aber nur zum kleinen Teil wirtschaftlich von Wert ist, weil hiermit vielfach nur das ungenützt abfließende Wasser der Staubecken vermehrt wird. Immerhin beträgt die hierdurch erzielte Ersparnis an Dampfkraft in den Jahren 1893 bis 1909 im ganzen 9 000 000 PS-Stunden, somit in einem Jahr durchschnittlich 530 000 PS-Stunden, was jedoch nur 61 ständigen Pferdestärken entspricht. Die PS-Stunde zu 2,33 ₰ berechnet, ergibt sich ein Betrag von 12 400 ℳ jährlich.

Dieser Ersparnis stehen aber die durch Bau, Betrieb und Wartung des Pumpwerkes entstehenden Mehrkosten gegenüber. Hierzu kommt noch folgendes: Ohne Sammelbecken kann die Murg bei den niedersten Wasserständen nur eine Arbeit von etwa 1,0 · 1480 = 1480 PS leisten. Die übrige Leistung bis zum Höchst-

betrag von 45000 PS muß die obere Druckstufe übernehmen können, wozu gegenüber dem Entwurf der Eisenbahnverwaltung die Aufstellung von 3 weiteren Einheiten von je 5000 PS erforderlich würde, wobei eine Reserve jedoch noch nicht einmal berücksichtigt ist. Die Mehrkosten hierfür betragen für Maschinen 360000 ℳ und für Gebäude 160000 ℳ, im ganzen also 520000 ℳ.

Die Baukosten und die jährlichen Aufwendungen für das Pumpwerk sind nachstehend zusammengestellt:

	Baukosten	%	Jährliche Aufwendungen
Tiefbauten	20000 ℳ	5,0	1000 ℳ
Gebäude	70000 „	7,0	4900 „
Maschinen	145000 „	14,0	20300 „
Leitungen	5000 „	10,0	500 „
Dazu mehr:			
Gebäude	160000 „	7,0	11200 „
Maschinen	360000 „	14,0	54000 „
	760000 ℳ		91900 ℳ
10 % Unvorherges., 4½ % Verw.-Aufwand	110000 ℳ	4,5	5000 ℳ
Im ganzen . .	870000 ℳ		96900 ℳ
1 Wärter für das Pumpwerk			2000 „
Zusammen . .			98900 ℳ

Für das Sammelbecken ergeben sich die

	Baukosten	%	jährliche Aufwendungen
Tiefbauten	350000 ℳ	5,0	17500 ℳ
Zuschlag wie oben .	51000 „	4,5	2300 „
Im ganzen . .	401000 ℳ		19800 ℳ.

Als jährliche Aufwendungen sind demnach in Rechnung zu setzen für das

Pumpwerk	98900 ℳ
Sammelbecken	19800 „
somit mehr für das Pumpwerk	79100 ℳ
Wird die Ersparnis an Dampfkraft abgegezogen mit	12400 „
so bleibt ein jährlicher Mehraufwand für das Pumpwerk von	66700 ℳ.

Die Anlage des Sammelbeckens ist also der des Pumpwerkes wirtschaftlich überlegen.

Die Leistungsfähigkeit des Pumpwerkes könnte noch dadurch etwas erhöht werden, daß außer den von Oberbaurat Professor Rehbock vorgesehenen 2 Pumpen noch 1 oder 2 weitere aufgestellt und hierdurch mehr als 6,0 cbm des überfließenden Murgwassers ausgenützt würden. Ferner würde es sich zur Vereinfachung der Bedienung empfehlen, die Pumpen nicht beim unteren Wasserschloß, sondern im Krafthaus selbst aufzustellen und mit den Turbinen der unteren Druckstufe zu kuppeln. Durch diese Änderung würde indessen das Endergebnis der vorstehenden Kostenberechnung nicht wesentlich geändert.

Das Sammelbecken ermöglicht außerdem eine einfachere und sicherere Betriebsführung als das Pumpwerk, da die elektrische Kraftübertragung zwischen dem Hauptkraftwerk und Pumpwerk, das Ein- und Ausschalten der Pumpen sowie die für den Betrieb weniger übersichtliche Verwertung des Murgwassers in 2 Druckstufen wegfällt.

Die Ergebnisse würden sich noch ungünstiger gestalten, wenn außer dem Sammelbecken noch ein Pumpwerk erbaut würde.

IV. Schluſs.

Mit den vorstehenden Untersuchungen war eine Prüfung darüber beabsichtigt, ob das Murggebiet oberhalb Forbach geeignete Grundlagen für ein ausgedehntes staatliches Kraftwerk darbietet.

Nach den Ergebnissen der Untersuchung muß die Frage der Bauwürdigkeit bejaht werden, da der berechnete Einheitspreis der Kraft ein verhältnismäßig niederer ist.

Die Triebwerkbesitzer des Murgtales werden von der Anlage eine günstige Wirkung verspüren, da ihre Werke des geregelten Wasserzuflusses wegen leistungsfähiger werden.

Ein weiterer Vorteil für die Allgemeinheit ist die Verringerung der Hochwassergefahr durch die Zurückhaltung der Wassermassen in den Staubecken.

Das Landschaftsbild des Murgtales wird von der Anlage selbst nicht beeinträchtigt, wohl aber dadurch, daß die Wasserführung der Murg vermindert, ja für längere Zeiträume fast ganz aufgehoben wird. Die Hochbauten und die Wehranlagen sollen, wie die Schaubilder Blatt 40 und 41 zeigen, möglichst der sie umgebenden Schwarwaldlandschaft angepaßt werden. Eine Naturschönheit, die Raumünzacher Wasserfälle, wird verschwinden.

Aber es werden auch Gegenwerte geschaffen.

Die beiden künstlichen Seen tragen zur Verschönerung der Landschaft bei und sichern der ganzen Gegend neuen Verkehr und wirtschaftlichen Aufschwung.

Die große volkswirtschaftliche Bedeutung der Anlage selbst bedarf keiner weiteren Erwähnung. Die neugebildeten Werte werden die abgängigen weit übersteigen.

Möge das große Werk die erwarteten Hoffnungen rechtfertigen und bald zum Segen des Landes wertvolle Kraft spenden.

Karlsruhe, im Mai 1910.

Großh. Generaldirektion der Badischen Staatseisenbahnen.

Anlage A.

OBERGUTACHTEN,

die Ausnützung der Murgwasserkräfte im Grofsherzogtum Baden oberhalb Forbach betreffend,

erstattet von

Geh. Baurat Professor **Pfarr**, Darmstadt,
Geh. Oberbaurat **Schmick**, München,
Direktor **H. Peter**, Ingenieur, Zürich.

Das vorliegende Obergutachten wurde auf Grund eingehender örtlicher Besichtigung, Einzelbearbeitung, wiederholter gemeinsamer Beratungen sowie einer Konferenz mit Vertretern der Großh. Regierung, der Großh. Generaldirektion der Staatsbahnen und Herrn Oberbaurat Professor Rehbock ausgearbeitet.

Als unmittelbare Grundlagen dienten:

1. die Denkschrift der Großh. Generaldirektion zum Projekt einer Wasserkraftanlage im Murggebiet oberhalb Forbach vom Februar 1910 nebst Beilagenheft und Projektzeichnungen sowie Kostenanschlag und Ergänzungen;

2. die zeichnerische Ausführung des 1907 von der Großh. Generaldirektion angekauften Rehbockschen Entwurfes mit begleitendem Text;

3. die Veröffentlichung des Herrn Oberbaurat Professor Rehbock: Entwurf eines Wasserkraftwerkes im Gebiet der Murg oberhalb Forbach, Ausgaben 1909 und 1910.

Der Entwurf der Generaldirektion[1]) sieht die Ausnützung der oberhalb Forbach und noch innerhalb des Großherzogtums Baden gelegenen Murgwasserkräfte vor. Durch die Verbindung des Murgstollenwerkes mit dem unmittelbar an der württembergischen Grenze gelegenen Sammelbecken und den beiden hoch gelegenen Talsperren, dem Raumünzach- und Schwarzenbachbecken, wird dieses Ziel in nahezu vollkommener Weise erreicht.

Die Entwürfe von Professor Rehbock[2]) gehen weiter, da er sich nicht auf Baden beschränkt sondern über die Grenze hinübergreift und auch die Murgwasserkräfte auf württembergischem Gebiet in seine Bearbeitung einschließt. Die generellen Berechnungen der Gutachter haben jedoch ergeben, daß wirtschaftliche Vorteile für Baden durch die gemeinsame Ausnützung der Kräfte nicht zu erwarten sind, da die Gestehungskosten für die Einheit der Kraftleistung bei gemeinsamer Anlage erheblich größer werden, als dies nach dem Projekt der Generaldirektion für Baden allein zu erwarten ist.

Der Beweis ist heute noch nicht erbracht, ob durch andere Projektierung für das Zusammenlegen der Gefälle im badischen und württembergischen Bereiche Vorteile in technischer und wirtschaftlicher Beziehung zu erzielen wären. Zu solcher Zusammenlegung wäre außerdem der Abschluß eines Staatsvertrages zwischen dem Großherzogtum Baden und dem Königreich Württemberg über die Aufteilung der Lasten und des Nutzens aus den erzielten Wasserkraftleistungen notwendig. Ob es gelingt, eine solche Vereinbarung in absehbarer Zeit herbeizuführen, und ob es möglich sein würde, die allgemein wirtschaftlichen Interessen mit den Einzelinteressen der beiden Staaten zur allgemeinen Zufriedenheit auszugleichen, läßt sich sehr schwer voraussagen.

Der badische Staat hat aber den vom wirtschaftlichen Standpunkt durchaus gerechtfertigten Wunsch, alsbald mit dem Ausbau wenigstens eines Teils der Murgwasserkräfte vorzugehen. Es ist daher richtig, wenn sich der Entwurf der Generaldirektion auf das badische Murggebiet beschränkt, und zwar um so mehr, als die Gestaltung des Entwurfes einen allmählichen Ausbau zuläßt und dem allfallsigen gemeinsamen Ausbau nicht vorgreift.

Das eigentliche Murgkraftwerk mit dem dazugehörigen, unterhalb der Landesgrenze gelegenen Sammelbecken ist in erster Linie auszuführen. Hierdurch wird eine erhebliche Wasserkraft gewonnen, die bei sach-

[1]) In der Folge kurz als Projekt „G“ bezeichnet.
[2]) Im Weiteren als Projekt „R“ aufgeführt.

gemäßer Handhabung des Betriebes in Verbindung mit den bestehenden Dampfzentralen für die nächsten Jahre ausreichen dürfte. Wird während dieser Zeit zwischen Baden und Württemberg eine Vereinbarung über die Gesamtausnützung der Wasserkräfte herbeigeführt, so wären voraussichtlich die beiden Staubecken an der Raumünzach und dem Schwarzenbach den erweiterten Verhältnissen in einigem anzupassen.

Gelingt diese nicht, so bleibt der Entwurf der Generaldirektion auch für diese Talsperren bestehen.

Ein Hinausschieben des endgültigen Beschlusses über die Ausführung der beiden Talsperren erscheint auch mit Rücksicht auf den Umstand gerechtfertigt, daß die seither vorgenommenen Abflußmessungen in der Raumünzach und dem Schwarzenbach nach Ansicht der Gutachter noch nicht vollständig ausreichen, um die wirtschaftlich richtige Größe der beiden Talsperren zweifelsfrei zu bestimmen.

Das Obergutachten beantwortet in nachstehendem die vom Großh. Ministerium des Großh. Hauses und der auswärtigen Angelegenheiten an die Gutachter mit Schreiben vom 10. März 1910 gestellten Fragen, wobei sich Gelegenheit bieten wird, die einschlägigen Verhältnisse in der erforderlich scheinenden Ausführlichkeit zu besprechen.

Frage 1. Ist die Anlage eines Sammelbeckens an der Landesgrenze mit anschließendem Klärbecken zu empfehlen, oder ist zur besseren Ausnützung des Murgwassers ein Pumpwerk vorzuziehen?

Es ist richtig, daß das Aufsparen der bei gutem Wasserstand tagsüber überschüssigen Wassermengen der Murg in dem projektierten Sammelbecken von 190 000 cbm nutzbarem Inhalt an der Landesgrenze möglich ist, wodurch abends zur Leistung der sogen. Lichtspitze für mehrere Stunden 14 cbm/sec oder 21 000 PS zur Verfügung stehen.

Die Anlage dieses Sammelbeckens muß als ein sehr glücklicher Gedanke bezeichnet werden; es wird auch gegenüber den Tagesunregelmäßigkeiten der Wasserführung ausgleichend wirken und dient an sich schon der Klärung des Betriebswassers.

Die durch das Sammelbecken ermöglichte Tagesaufspeicherung ist der Dauer-Akkumulierung durch ein Pumpwerk aus wirtschaftlichen und Betriebsrücksichten wesentlich überlegen.

Gründe hierfür:

a) Das Arbeitsvermögen der im Sammelbecken Projekt „G“ aufgespeicherten Wassermengen kommt, natürlich dem Nutzeffekt der Turbinen entsprechend, sonst aber in unverminderter Weise für die Stromerzeugung in Betracht, während bei der Aufspeicherung mit Pumpwerk im günstigsten Falle (Projekt „R“ 1910, Pumpwerk im Turbinenhaus selbst, direkt angetrieben) nur etwa 60 % dieses Turbinen-Arbeitsvermögens, bei der Aufstellung nach Projekt „R“ 1909 (Pumpwerk beim Wasserschloß, elektrisch betrieben) aber höchstens 52 % für die Stromerzeugung verfügbar sind. Hierbei ist als bleibender Wirkungsgrad der Hochdruck-Zentrifugalpumpen 65 % angenommen.

Der abendliche Zuschuß zur Spitzenleistung könnte also bei Anwendung eines Pumpwerkes nur 52 bis 60 % derjenigen Betriebskraft betragen, die bei unmittelbarer Aufspeicherung durch das Sammelbecken an den Turbinenwellen zur Verfügung steht, und das Fehlende müßte aus dem sonstigen Talsperrenvorrat gedeckt werden.

b) Die Anlage- und Betriebskosten des Sammelbeckens stellen sich wesentlich niedriger als diejenigen der Aufspeicherung durch Hochpumpen, besonders auch deshalb, weil die Maschineneinheiten des Murgstollenwerkes für die Leistung bei besseren Wasserständen (14 cbm/sec) ohnehin vorhanden sein müssen, also für die Überwindung der Lichtspitze mit Sammelbeckenzuschuß bei kleineren Wasserständen schon zur Verfügung sind, während für das hochgepumpte Wasser besondere (Zusatz-) Einheiten für das Talsperrengefälle erforderlich würden.

c) Die Bedienung und Benützung des Sammelbeckens verlangt gar keine besonderen Betriebsmaßnahmen; die Turbinen des Murgstollenwerkes entnehmen vermöge ihrer Regulatoren aus dem Sammelbecken immer selbsttätig so viel Wasser, als sie benötigen, während die stetige Beobachtung und Notwendigkeit der Entscheidung über das In- und Außerbetriebsetzen der Pumpwerke usw. den Betrieb wesentlich umständlicher macht.

d) Das Sammelbecken an der Landesgrenze ist mit Beendigung der ersten Ausbaustufe ebenfalls fertiggestellt und sofort verwendbar, während das Pumpwerk ohne die als Aufspeicherungsbehälter dienenden Talsperren wertlos ist. Das Pumpwerk könnte also erst nach beendigtem Voll-Ausbau des Werkes in Tätigkeit treten, und die erste Ausbaustufe wäre dadurch gegenüber dem Sammelbeckenbetrieb ganz wesentlich in ihrer Leistungsfähigkeit herabgedrückt.

Das den Gutachtern Mitte April 1910 zugegangene, den Vertretern des Großh. Ministeriums und der Großh. Generaldirektion erstmals am 26. April vorgelegte Projekt „R“ 1910 schlägt ein Ausgleichbecken bei der Raumünzach-Einmündung vor, eine Einrichtung, die im Grundgedanken durch das im Projekt „G“ dargestellte Sammelbecken an der Landesgrenze vorweggenommen ist. Letzteres ist bei annähernd gleichem Nutzinhalt zweifellos billiger herzustellen und wird sich auch leichter von abgesetztem Geschiebe freihalten lassen als das im Projekt „R“ vorgeschlagene.

Frage 2. Ist die Wasserfassung in der Raumünzach unter gleichzeitiger Verwendung des Wehrkörpers für die Durchführung des Murgwassers (hohles Wehr) nach dem Entwurf des Professors Rehbock dem festen Wehr mit anschließendem Klärbecken und der getrennten Durchführung des Murgstollens nach dem Entwurf der Eisenbahnverwaltung vorzuziehen?

Die Verwendung eines hohlen Wehrkörpers zur Durchführung von Wasser, aus dem die Sinkstoffe bereits ausgeschieden sind, durch den Fluß hindurch kann an und für sich zweckmäßig erscheinen. In dem vorliegenden Falle glauben die Gutachter jedoch von einem solchen hohlen Wehr abraten zu sollen und empfehlen die Durchführung des Stollens nach dem Entwurf der Eisenbahnverwaltung. Maßgebend hierfür sind folgende Gesichtspunkte:

Der vom Murgwehr herkommende Stollen steht unter Druck; es erscheint daher geboten, ihn möglichst im Felsen weiterzuführen und Übergänge in eine andere Konstruktion zu vermeiden. Der im Felsen sorgfältig hergestellte Stollen kann den inneren Wasserdruck sehr viel leichter aufnehmen als ein hohles Wehr, und die Kosten seiner Herstellung sind zweifellos geringer als die des hohlen Wehres, da der Betrieb des Stollenbaues ohnehin eingerichtet ist und somit die Vergrößerung der Stollenlänge um etwa 30 m keine erheblichen Mehrkosten verursacht. Demgegenüber würde die Ausführung des hohlen Wehres in Eisenbeton eine neue Bauweise bedingen, die sich auch wegen des geringen Umfanges dieser Arbeit verhältnismäßig teuer stellen würde.

Gegen das hohle Wehr spricht aus Gründen der Betriebssicherheit auch der Vorteil einer gleichmäßigen Durchführung der einen Stollenkonstruktion, wodurch der Übergang von dem Stollen in das hohle Wehr und damit die besonders sorgfältig zu dichtenden Stöße zwischen den beiden Konstruktionen vermieden werden.

Die Gutachter würden jedoch raten, in Abänderung des Projektes „G“ das gesamte Einlaßbauwerk in der Raumünzach eine Strecke weit flußaufwärts zu verschieben und den Murgstollen etwa in der Mitte der gesamten Anlage zu unterführen, damit die Überdeckung des Stollens unter dem Flußbett größer wird, als sie gegenwärtig angenommen ist. Dadurch würde es sich ermöglichen lassen, den Stollen auch unter dem Flußbett hindurch in bergmännischem Betrieb auszuführen, und seine Freilegung mit der sich anschließenden Wiederabdeckung nach dem Flußbett würde vermieden.

An Stelle der in dem Projekt „G“ vorgesehenen Zuführung des Raumünzachwassers in den Murgwasserstollen durch einen Schacht empfehlen die Gutachter eine allmähliche Überleitung durch einen in den Murgstollen in der Fließrichtung einmündenden Kanal mit starkem Gefälle nach Art der Zusammenführung zweier städtischer Kanäle, um Rückstau und Wirbelbildung in dem Stollen nach Möglichkeit zu vermeiden. An dieser Zusammenführung könnte ein Fensterstollen nach dem Hang angeordnet werden, der bei dem Bau zum Herausfördern der Ausbruchmassen zu dienen hätte, der aber auch für den Betrieb beizubehalten wäre, um jederzeit leicht eine Besichtigung des Stollens vornehmen zu können. Dieser Fensterstollen müßte von dem Vereinigungsbauwerk der beiden Kanäle durch eine eiserne, wasserdichte Tür abgeschlossen werden, die an ihrem unteren Teil als Spülschütze dienen könnte.

Frage 3. Ist die Verbindung der beiden Staubecken und die Anlage eines Kraftwerkes dem früher bestandenen Projekt, die beiden Staubecken nicht zu verbinden und im Raumünzachtale für das Wasser des Raumünzachbeckens zwei weitere Kraftwerke zu bauen, vorzuziehen?

In der Variante I des Projektes „R“ 1909 will Professor Rehbock ein erstes Kraftwerk am Fuße der Talsperre an der Raumünzach herstellen, um das Gefälle zwischen dem jeweiligen Wasserstande innerhalb der Talsperre und dem Fuße der Staumauer auszunützen. Von diesem ersten Kraftwerk geht ein teilweise offener Kanal längs der Berglehne bis zum Wasserschlosse des zweiten Kraftwerkes, das in unmittelbarer Nähe des Stollens für das Murgwerk gebaut werden soll. Das nützliche Gefälle des ersten Kraftwerkes schwankt von 10,7 bis 41,7 m, das zweite Kraftwerk soll ein effektives Gefälle von 165,9 m ausnützen. Die Leistung des oberen Kraftwerkes schwankt zwischen 0 und 1750 PS, diejenige des unteren soll im Maximum 7963 PS betragen. Die erzeugte Kraft soll auf elektrischem Wege nach der Kraftzentrale bei Forbach geleitet und dort mit der Hauptkraft weitergeführt werden.

Diese Anordnung erheischt den Bau und Betrieb von zwei selbständigen Kraftwerken neben der Zentrale bei Forbach, während im Gegensatz hierzu das Projekt „G“ die ganze Wasserkraft des badischen Murggebietes an einer Stelle ausnützt. Irgendwelche nennenswerten Vorteile können die Gutachter in der von Professor Rehbock getroffenen Anordnung nicht erblicken. Es wird nicht nur an den Baukosten keine Ersparnis erzielt, sondern es werden auch die Betriebskosten gegenüber Projekt „G“ ganz wesentlich größer. Die Bedienung der beiden Kraftwerke erheischt besonderes Personal, für das auch besondere Wohnhäuser zu erstellen sind. Es muß mit dreischichtigem Betriebe gerechnet werden, dazu mit einer vierten Schicht für Ablösung. Jede Schicht in jedem Werke besteht mindestens aus 3 Mann. Die Vermehrung der Betriebskosten ist auf mindestens 30000 ℳ pro Jahr zu schätzen, die bei Projekt „G“ vollständig erspart werden, da keine Personalvermehrung in der Zentrale Forbach notwendig ist, wenn das Wasser des Raumünzachbeckens gleichzeitig mit dem des Schwarzenbachbeckens ausgenützt wird. Man erreicht bei Projekt „G“ den Zweck durch Wahl entsprechend stärkerer Maschineneinheiten, die keine vermehrte Bedienung erfordern.

Das Projekt „R“ hat den Nachteil, daß das stark veränderliche Gefälle des ersten Kraftwerkes an der Staumauer nicht mit Vorteil ausgenützt werden kann. Der Wirkungsgrad der Turbinen wird ein sehr ungünstiger werden. Auch beim zweiten Kraftwerk wird eine richtige Ausnützung des Gefälles nicht zu erzielen sein, sofern das Murgstollenwerk mit Tagesausgleichung erstellt wird, denn der Unterwasserspiegel des unteren Werkes würde um 5 bis 7 m schwanken, welches Gefälle zeitweise verloren geht. Nach Projekt „R“ 1909 wird allerdings diese Schwankung geringer sein, dafür würde die Leistung des Murgkraftwerkes auch bedeutend

kleiner ausfallen. Ungünstig ist im weiteren die isolierte Lage der Maschinenhäuser, die nicht so leicht wie eine große Zentrale überwacht werden können. Gewisse Schwierigkeiten verursacht sodann beim Projekt „R“ die Regulierung des Wasserabflusses durch die Turbinen der beiden Raumünzachwerke. Es läßt sich diese Regulierung nur von Hand vollziehen, nicht aber automatisch dem Bedürfnisse und gleichzeitig dem Wasserwirtschaftsplane anpassen. Eine technische Unmöglichkeit des Parallelbetriebes der verschiedenen Kraftwerke besteht nicht, unter der Voraussetzung, daß eine zuverlässige Verbindung derselben mit Fernsprech-, Telegraphen- und elektrischen Registrierapparaten hergestellt wird, wohl aber eine Umständlichkeit, die vermieden werden sollte. Gegen den von Professor Rehbock vorgeschlagenen offenen Hangkanal haben die Gutachter ernsthafte Bedenken wegen Vereisung im Winter. Ein ausgemauerter Stollen ist viel betriebssicherer, und es ist ganz unbedenklich, die beiden Staubecken durch einen Druckstollen zu verbinden. Professor Rehbock will diesen Druckstollen beim Raumünzachwerke vermeiden, ist aber doch gezwungen, denselben beim Schwarzenbachwerke anzuwenden, offenbar aus der Erkenntnis, daß eine rationelle Ausnützung des Wassers des Staubeckens nur mit Druckstollen denkbar ist.

Im Sinne der vorstehenden Ausführungen ist auf Frage 3 zu antworten: Die Verbindung der beiden Staubecken unter Vermeidung der Nebenwerke zentralisiert den Betrieb in bester Weise, bringt deshalb wesentliche Ersparnisse in den Kosten für Anlage und Wartung, vereinfacht die Betriebsleitung und fördert die Übersichtlichkeit des Ganzen in höchstem Maße.

Frage 4. Sind nach den derzeitigen Grundlagen und vom Gesichtspunkte der Wirtschaftlichkeit aus die beiden Staubecken in ihrer Größe richtig bestimmt, oder sollten sie größer oder kleiner sein?

Die beiden Staubecken erhalten zusammen einen nutzbaren Wasserinhalt von 25 600 000 cbm. Im Mittel der Jahre 1893 bis 1907 betrug die jährliche Abflußmenge 55 400 000 cbm. Aus den graphischen Darstellungen über die Leistungen der Staubecken und der Dampfzentralen bei Voll-Ausbau des Werkes ergibt sich, daß im Zeitraume der Jahre 1890 bis 1909 eine Wassermenge von 141 300 000 cbm ungenützt geblieben wäre, das sind 7 065 000 cbm pro Jahr.

Würde der Stauinhalt der beiden Talsperren um 5 000 000 cbm vergrößert, so ergäbe sich aus der gleichen graphischen Darstellung eine Vermehrung der nutzbaren Wassermenge um 51 800 000 cbm in 20 Jahren, gleich jährlich 2 590 000 cbm, und ein Leistungsgewinn von 2 500 000 PS-Stunden pro Jahr. Beträgt die Vergrößerung des Stauraumes nur 2 600 000 cbm, so könnten im Mittel pro Jahr 1 520 000 cbm Wasser mehr ausgenützt und 1 450 000 PS-Stunden gewonnen werden. Aus den Kostenberechnungen ergibt sich, daß der Stauraum im Mittel einen Kapitalaufwand von 28 ₰ pro Kubikmeter erfordert. Diese Kosten sind bei den in Betracht gezogenen Vergrößerungen der Staubecken ziemlich konstant, wie den graphischen Darstellungen von Professor Rehbock zu entnehmen ist. Hieraus ergibt sich folgendes:

a) Kosten der Vergrößerung des Stauraumes um 5 000 000 cbm . . . . . ℳ 1 400 000.—

Zins und Amortisation dieses Kapitals mit 5 % jährlicher Aufwendung . . . . . ℳ 70 000.—

Kosten der durch vergrößerten Fassungsraum gewonnenen Kraft:

$$\frac{70\,000 \cdot 100}{2\,500\,000} \; . \; . \; . = 2{,}8 \text{ ₰ pro PS-Stunde.}$$

b) Kosten der Vergrößerung des Stauraumes um 2 600 000 cbm . . . . . ℳ 728 000.—

Zins und Amortisation dieses Kapitals mit 5 % jährlicher Ausgabe . . . . . ℳ 36 400.—

Kosten der durch vermehrten Fassungsraum gewonnenen Kraft:

$$\frac{36\,400 \cdot 100}{1\,450\,000} \; . \; . \; . = 2{,}5 \text{ ₰ pro PS-Stunde.}$$

Aus dieser Berechnung ergibt sich, daß die durch Vergrößerung des Stauraumes gewonnene Kraft 2,8 ₰ bezw. 2,5 ₰ pro PS-Stunde kostet, also mehr, als die mittleren Gestehungskosten der Kraft des ganzen Werkes betragen.

Die gewählte Größe des Stauraumes mit rund 46 % des Jahresabflusses genügt vollständig zur Ausgleichung der Jahres-Verbrauchsschwankungen. Es zeigt sich auch, daß der Stauinhalt nach dem Wasserhaushaltsplane zur Ausgleichung des Wechsels im Kraftbedarf des Murgstollenwerkes hinreicht, sofern die bereits vorhandenen Dampfzentralen mitbenützt werden.

Die Berechnung stützt sich auf die in den Beilagen zum Berichte der Generaldirektion enthaltenen Angaben über die Wassermenge der Einzugsgebiete. Direkte Messungen finden erst seit etwa einem Jahre statt, die angegebenen Ziffern sind größtenteils aus der beobachteten Regenmenge abgeleitet. Es ist nicht ausgeschlossen, daß diese Ziffern durch längere Beobachtungen bis zur Ausführung der Bauwerke noch geändert werden und daß sich in der Folge noch kleine Abweichungen bezüglich der Größe des wünschbaren Stauraumes daraus ableiten werden. Mit Sicherheit ist jedoch zu sagen, daß die gewählten Dimensionen den Verhältnissen annähernd richtig entsprechen und daß große Veränderungen wohl ausgeschlossen sind, da solche in wirtschaftlicher Beziehung einen nachteiligen Einfluß ausüben würden.

Die endgültige Entscheidung über die Größe der Stauräume wird erst nach Inbetriebsetzung des Murgstollenwerkes zu treffen sein. Bis dahin sind genügend Erfahrungen über die Mengen des zur Verfügung stehenden Wassers und über die für die elektrische Energie zu erzielenden Preise gesammelt. Sind letztere gleich groß oder größer als 2,5 bezw. 2,8 ₰ für die PS-Stunde, an Turbinenwelle verstanden, so sollten die Stauräume entsprechend vergrößert werden. Dabei sind auch die Kosten für die Erzeugung dieser mehrgewonnenen Kraft,

wenn durch Dampfreserven erfolgend, in Betracht zu ziehen.

Frage 5. Kann nach dem Vorschlage der Eisenbahnverwaltung auf die Anlage eines Reservestollens zwischen dem Schwarzenbachbecken und dem oberen Wasserschloß verzichtet werden?

Der Hauptstollen zwischen dem Schwarzenbachbecken und dem oberen Wasserschloß liegt ganz im Granitgebirge, dessen Standfestigkeit nicht zweifelhaft ist. Der Stollen wird ausgemauert (ausbetoniert) und verputzt: er kommt unter einen inneren Wasserdruck von 47 m Höhe zu stehen. Dieser große Druck erheischt eine äußerst sorgfältige Ausführung, insbesondere auch das Einpressen von Zementflüssigkeit unter Druck (Zementinjektion) zwischen Mauerwerk und Fels zur Ausfüllung der kleinen Hohlräume sowie der Poren im Beton, die bei der Mauerung nicht vollständig vermieden werden können und die ohne diese Maßnahmen zu Rißbildungen Anlaß geben würden. Die sorgfältige Ausführung dieser Arbeiten vorausgesetzt, haben die Gutachter keine Bedenken gegen die Anwendung des Druckstollens; die Erfahrungen, die anderorts gemacht worden sind, lassen diese überwinden. Es sei auf die Druckstollen der Wasserwerke an der Urft, am Löntsch und an der Albula verwiesen, die in ungünstigerem Gebirge ausgeführt werden mußten und sich bewährt haben. Reparaturen an diesem Stollen sind nur ausnahmsweise zu gewärtigen, etwa das Abfallen kleiner Stücke des Verputzes bei zu raschem Wechsel des Wasserstandes; sie verursachen indes keine Schwierigkeiten und können zu einer Zeit ausgeführt werden, wo das Murgstollenwerk den Betrieb allein übernimmt und der Schwarzenbachstollen abgestellt werden kann.

Die Gutachter erklären die Ausführung eines Reservestollens nicht für notwendig und auf alle Fälle für zweckmäßiger, einen Hauptstollen anzuordnen und dessen Ausführung die größte Aufmerksamkeit zu widmen.

Frage 6. Ist die Lage der Wasserschlösser und die Führung und Anordnung der Rohrleitungen der von Professor Rehbock vorgeschlagenen vorzuziehen?

Das Projekt „R" 1909 und 1910 sieht die Enden der Stollen am Haulerberg und das Krafthaus links der Murg etwa 100 m unterhalb der rechtwinkeligen Krümmung des Flusses vor, dieses an gleicher Stelle wie das Projekt „G". Das letztere wählt aber für die Wasserschlösser und die Führung der Rohrleitungen die bewaldete Anhöhe Lindenhalde. Die Führung der Stollen gibt bei beiden Projekten keinen Anlaß zu Bedenken, ebenso nicht die gewählten Orte für die Wasserschlösser. Für das Murgstollenwerk wird der Stollen bei Projekt „R" um 400 m kürzer, dagegen die Rohrleitung, gemessen bis obere Giebelseite des Krafthauses, etwa 70 m länger. Ausschlaggebend für den Wert des einen oder anderen Projektes ist lediglich die Sicherheit für die Lage der Rohrleitung, und diese Sicherheit erscheint den Gutachtern beim Projekte „G" erheblich größer zu sein als beim anderen Projekt. Wenn auch das Gebiet oberhalb der Staatsstraße bei beiden Anlagen ungefähr gleichgestaltet ist, so ist dies nicht mehr der Fall unterhalb der Staatsstraße.

Professor Rehbock muß die Hauptleitungen längs des linken Ufers der Murg auf etwa 100 m Länge am Ufer parallel führen; es ist dort eine sichere Fundierung der Rohrleitungen sehr schwierig und deshalb teuer. Die Gefahr eines Uferangriffes durch die Murg liegt nahe, und dieser Gefahr kann nur durch eine sehr kräftige Ufersicherung begegnet werden. Die Anordnung der Druckrohrleitungen in 2 Höhenlagen übereinander, Projekt „R" 1909, kann nicht befürwortet werden. Es ist nicht nur die Ausführung schwierig, sondern auch der spätere Unterhalt der Rohrleitungen. Sollen die Druckrohre auf gleicher Höhe parallel geführt werden, so sind große Erdbewegungen zur Herstellung einer ebenen Rohrlagerung erforderlich.

Die Mehrkosten des etwas längeren Stollens für das Murgstollenwerk nach Projekt „G" mit etwa 200000 ℳ gegenüber Projekt „R" werden größtenteils durch Ersparnisse bei den Rohrleitungen ausgeglichen, sie kommen außerdem gegenüber den Mehrkosten der Herstellung einer guten und sicheren Rohrführung, wie sie das Projekt „R" verlangt, nicht in Betracht. Dazu kommt noch die größere Betriebssicherheit bei der Anordnung der Generaldirektion. In weiterem ist bei Projekt „R" in Betracht zu ziehen, daß die Ausführung einer Leerlaufkaskade für das Murgstollenwerk sehr große Kosten verursacht, die beim Projekt „G" wegen der Druckstollen ganz wegfallen. Die Lage des Wasserschlosses beim Murgstollenwerk im Innern des Berges nach Projekt „G" ist wesentlich sicherer als die an der äußeren Halde beim Projekt „R" 1909 und 1910.

Es ist auch die Frage in Erwägung gezogen worden, ob vielleicht unter Anlehnung an die Stollenführung des Projektes „R" das Krafthaus auf das rechte Ufer der Murg gestellt werden könne mit Überschreitung des Flusses durch die Rohrleitungen. Eine solche Anordnung hätte den Vorteil, daß das Haus gegen allfällige Rohrbrüche gut geschützt wäre, ebenso gegen die Hochwasser der Murg; leider fehlt aber der benötigte Raum.

Bezüglich der Anordnung der Rohrleitungen ist folgendes auszuführen:

a) Murgstollenwerk.

Professor Rehbock plant 3 Druckrohre von 1,8 bezw. 1,7 m Lichtweite, hergestellt aus geschweißten Röhren mit Flanschverbindungen und Verankerungen in Abständen von etwa 200 m. Die Generaldirektion hat in ihrem Projekt 2 Rohrstränge, die oben eine Lichtweite von 2,2 m und unten eine solche von 1,5 m erhalten, angenommen. Durch die Verjüngung der Rohrleitungen nach unten wird eine wesentliche Gewichtsersparnis erzielt. Die Ausführung von nur 2 Strängen gegenüber dreien ist aus wirtschaftlichen Gründen vorzuziehen, das Material wird besser ausgenützt. Die Wassergeschwindigkeit in diesen Rohrsträngen erreicht zuoberst 1,85 m/sec, zuunterst ein Höchstmaß von 3,9 m/sec, welche Geschwindigkeiten etwas hoch, aber noch zu-

lässig sind. Die Anordnung der Rohrleitungen im Projekte „G“ ist richtig, die Gutachter empfehlen jedoch im Interesse der Erzielung von Ersparnissen, die einzelnen Rohrstücke nicht mit Flanschen zu verbinden, sondern durch Nieten unter Anwendung von Rundlaschen. Über die Fixpunkte und Rohrlagerungen liegen keine Einzelheiten vor; es ist wohl selbstverständlich, daß über jedes einzelne dieser Bauwerke ein Kräfteplan hergestellt wird. Bezüglich der Anordnung der Rohrleitungen beim Krafthaus empfehlen die Gutachter einen starken Fixpunkt in der Krümmung der Rohrleitungen anzulegen und von dort aus die Stränge in der Wagrechten fliegend herzustellen, am unteren Ende also nicht abzustützen. Wenn hier auch ganz große Kräfte durch Flanschen übertragen werden müssen, so hat dies doch keine Bedenken, die Anordnung hat sich anderorts gut bewährt.

b) Hochdruckanlage.

Professor Rehbock hat in seinem ersten Erläuterungsbericht zu Projekt I vom Juli 1907, wo das Schwarzenbachwerk noch für sich allein bestand und die Raumünzach in 2 gesonderten Kraftwerken ausgenützt werden sollte, eine einzige Rohrleitung von 1,5 m Lichtweite für 5 cbm Wasser pro Sekunde projektiert, eventuell 2 Stränge von 1,1 m Durchmesser. Für Projekt II, Raumünzach und Schwarzenbach vereinigt, werden im September 1908 3 Rohrstränge (Durchmesser oben 1,25 m, unten 1,1 m) vorgeschlagen, nach dem gedruckten Bericht vom Jahre 1909 5 Stränge desselben Kalibers. Die Generaldirektion schlägt 2 Rohrstränge vor von 1,5 m Durchmesser im oberen und 1,0 m Durchmesser im unteren Teile. Die Gutachter sind im allgemeinen mit der Disposition nach Projekt „G“ einverstanden, verweisen jedoch bezüglich der Konstruktion der Rohrleitungen und deren Auflagerung auf das unter a) Gesagte.

Die gedrungenere Anordnung des Krafthauses nach Projekt „G“ ist auch wegen der an sich wesentlich kürzeren Rohrlängen dem Projekt „R“ vorzuziehen.

Seitens der Gutachter sind die Schwankungen und wechselnden Druckhöhen in den Wasserschlössern, die bei plötzlichen Veränderungen in der Kraftentnahme eintreten werden, untersucht worden. Die für mancherlei Betriebswechsel erhaltenen Rechnungsergebnisse finden sich in den Beilagen 1 bis 6 zeichnerisch aufgetragen und erweisen die den Betriebsanforderungen richtig angepaßte Größenbemessung der Wasserschlösser.

Die Gutachter erklären sich aus all diesen Gründen mit der von der Generaldirektion gewählten Lage und Größe der Wasserschlösser sowie der Führung und Anordnung der Rohrleitungen einverstanden.

Frage 7. Ist der Fassungsraum des Sammelbeckens und des Ausgleichbeckens zweckentsprechend gewählt?

Das Sammelbecken erhält einen Inhalt von 228 000 cbm, wovon 190 000 cbm nutzbar sind. Am Tage der stärksten Inanspruchnahme des Murgstollenwerkes (Dezember) beträgt die größte Kraftleistung 19 320 PS. Aus dem Diagramm geht hervor, daß für die sogen. Beleuchtungsspitze eine Kraftmenge von 30 000 PS-Stunden angesammelt sein muß; bei den vorhandenen Gefällsverhältnissen entspricht dies einer Wassermenge von etwa 70 000 cbm. Vom nutzbaren Inhalte des Sammelbeckens wären demzufolge noch 120 000 cbm anderweit verfügbar. Dieser Raum kann zur Aufspeicherung des Sonntagswassers, das wegen des beschränkten Betriebes der Gewerbe und der verminderten Inanspruchnahme des Kraftwerkes sonst nutzlos abfließen würde, verwendet werden. Rechnet man beispielsweise mit einer Wasserführung der Murg von 4 cbm/sec und einem Sonntagsverbrauch zur Krafterzeugung gleich der Hälfte dieser Zuflußmenge, so sind noch 172 800 cbm zur Verfügung. Es kann damit ein zu Ende der Woche ganz entleertes Sammelbecken über Sonntag wieder aufgefüllt werden.

Mit einer über Sonntag angesammelten Wassermenge von 120 000 cbm können 50 000 PS-Stunden erzeugt werden, auf 6 Tage verteilt pro Tag also 8833 PS-Stunden, eine ziemlich erhebliche Kraftleistung, die im Wasserhaushaltsplane bisher nicht berücksichtigt wurde.

Die Berechnung ergibt, daß das Sammelbecken bei den in Betracht zu ziehenden kleineren bis mittleren Wasserständen vollständig groß genug ist zur Ausgleichung der Verbrauchsschwankungen, und zwar nicht allein der täglichen, sondern auch der wöchentlichen.

Es ist sodann die Frage zu prüfen, ob es sich lohnen würde, ein wesentlich größeres Sammelbecken anzulegen, um größere Schwankungen des Wasserzuflusses und des Verbrauches auf längere Zeit hin auszugleichen. Die örtlichen Verhältnisse sind hierzu nicht gerade günstig. Die Murg hat ein Gefälle von 2 %; wird die größte Höhe einer allenfalls zu erstellenden Talsperre auf 60 m angenommen, so wird die Länge eines Staubeckens nur 3 000 m. Aus den Übersichtskarten wurde von den Gutachtern berechnet, daß der Inhalt eines solchen Staubeckens höchstens 8 600 000 cbm betragen würde, wovon vielleicht 8 000 000 cbm ausgenützt werden könnten. Zur weiteren Untersuchung wurde die nebenstehende Tabelle über die monatlichen Abflußmengen der Murg an der badischen Landesgrenze im Zeitraume 1893 bis 1906 aufgestellt (nach den Aufzeichnungen im Berichte von Professor Rehbock).

Im Zeitraume von 14 Jahren beträgt die mittlere zur Verfügung stehende Wassermenge 216 900 000 cbm. Aus der zeichnerischen Darstellung über die Verteilung dieser Zuflußmenge und nach dem Wasserverbrauch für die Krafterzeugung während eines Jahres ergibt sich, daß zur Ausgleichung der Jahresverbrauchsschwankung ein Staubecken in der Murg von 31 000 000 cbm Inhalt erforderlich wäre, das ist weit mehr, als ausführbar ist.

Bei Anwendung eines Murgstaubeckens von 60 m Tiefe würde ein Teil des Gefälles verloren gehen, es könnte statt mit 150 m nur noch mit einem mittleren Gefälle von 130 m gerechnet werden.

Monatliche Abflußmengen der Murg in Mill. cbm an der badisch-württembergischen Landesgrenze nach Professor Rehbock (Gebiet I, II, III).

Jahr	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	Oktbr.	Novbr.	Dezbr.	Summe	Monatsmittel
1893 . .	6,68	25,75	37,65	10,11	5,82	4,82	5,05	3,78	4,75	17,51	19,09	12,02	153,03	12,75
1894 . .	8,50	21,59	22,92	8,80	10,24	14,63	8,75	15,22	15,91	31,33	17,31	9,19	184,39	15,37
1895 . .	18,62	7,78	32,79	39,91	19,54	23,94	10,50	9,11	4,31	8,18	35,12	40,60	250,40	20,87
1896 . .	27,38	7,20	81,84	32,29	10,09	9,64	17,62	8,50	27,92	16,23	10,81	10,39	259,91	21,74
1897 . .	8,20	67,63	30,68	18,29	15,30	11,69	9,18	13,52	32,03	9,67	5,49	17,23	238,91	19,91
1898 . .	7,75	12,53	17,67	21,99	36,59	18,22	15,66	13,35	4,88	9,89	7,00	10,65	176,18	14,68
1899 . .	45,16	18,73	7,91	37,22	25,29	9,62	28,63	8,92	10,45	9,41	13,11	8,70	223,15	18,60
1900 . .	58,35	35,80	24,22	18,41	10,92	7,12	16,10	9,54	6,14	7,69	10,22	38,22	242,73	20,23
1901 . .	15,45	11,17	20,35	53,40	10,98	7,32	6,04	14,07	19,23	21,35	10,74	20,25	210,35	17,53
1902 . .	23,30	22,42	25,46	23,54	38,75	20,67	8,93	11,64	6,98	12,57	8,73	37,27	240,26	20,02
1903 . .	36,84	9,27	12,88	21,23	17,28	7,61	10,73	21,42	10,12	26,18	25,67	20,54	219,77	18,31
1904 . .	19,25	45,77	23,96	39,09	17,74	12,65	6,41	5,26	9,10	9,39	20,70	19,17	228,49	19,04
1905 . .	11,44	9,76	36,70	27,04	12,19	8,34	5,29	5,31	9,01	26,76	19,59	14,38	185,81	15,48
1906 . .	32,86	16,83	53,24	16,70	27,29	23,27	12,32	10,13	6,36	4,65	7,43	12,31	223,39	18,62
Summe .	319,78	312,23	428,27	368,02	258,02	179,54	161,21	149,77	167,19	210,81	211,01	270,92		253,15
Monatsmittel	22,84	22,30	30,59	26,29	18,43	12,82	11,44	10,70	11,94	15,06	15,07	19,35		
addiert .	22,84	45,14	75,73	102,02	120,45	133,27	144,71	155,41	167,35	182,41	197,48	216,83		
Bedarf . .	12,1	10,6	9,5	8,6	8,0	7,8	8,3	9,2	10,3	11,5	12,6	13,1		
addiert .	12,1	22,7	32,2	40,8	48,8	56,6	64,9	74,1	84,4	95,9	108,5	121,6		
	21,7	40,6	57,5	73,0	87,5	101,0	116,0	132,0	151,0	172,0	194,0	217,0		

Durchschnittliches Monatsmittel $\frac{253,15}{14} = \frac{216,83}{12} = 18,08.$

Mit einem Murgstaubecken von 8 000 000 cbm nutzbarem Inhalt ergeben sich für ein Durchschnittsjahr folgende Kraftmengen:

a) Im ersten Ausbau:

Die mögliche Mehrverwendung von Wasser gegenüber der Bedarfskurve für 6000 PS, im Jahre 28 500 000 cbm, ergibt

$$\frac{28\,500\,000 \cdot 130 \cdot 0,75}{270} = 10\,300\,000 \text{ PS-Stunden.}$$

Nach Bericht werden ausgenützt . . . . . 48 520 000 „

Also Gesamtausnützung mit dem Murgstaubecken . . 58 820 000 PS-Stunden.

b) im Vollausbau.

Die mögliche Mehrausnützung an Wasser gegenüber der Bedarfskurve für 15 000 PS, im Jahre 17 000 000 cbm, ergibt

$$\frac{17\,000\,000 \cdot 130 \cdot 0,75}{270} = 6\,200\,000 \text{ PS-Stunden.}$$

Nach Bericht werden ausgenützt . . . . . 69 370 000 „

Gesamtbetrag mit dem Murgstaubecken . . . . . 75 570 000 PS-Stunden.

Rechnet man die Baukosten für die fragliche Murgtalsperre von 60 m Höhe und 245 m Kronenbreite auf 4 000 000 ℳ und hiervon für Zins und Amortisation 200 000 ℳ pro Jahr, so ergeben sich folgende Kosten für die zusätzlich gewonnene Kraft:

a) Erster Ausbau:

$$\frac{200\,000 \cdot 100}{10\,300\,000} = 1,94 \text{ ₰ für die PS-Stunde.}$$

b) Voll-Ausbau:

$$\frac{200\,000 \cdot 100}{6\,200\,000} = 3,23 \text{ ₰ für die PS-Stunde.}$$

Aus dieser Berechnung ergibt sich, daß die Wirtschaftlichkeit der Anlage durch Errichtung einer großen Talsperre im Murgtale selbst nicht erhöht wird, die zusätzliche gewonnene Kraft käme gegenüber der Ausführung nach Projekt „G“ teurer zu stehen, als der mittlere Kraftpreis beträgt.

Die Ausführung einer so großen Talsperre ist übrigens auch deshalb nicht zu empfehlen, weil die Murg doch ein geschiebeführender Fluß ist und sich ein derartiges Staubecken mit der Zeit, wenn auch nur innerhalb sehr langer Frist, auflanden würde. Eine spätere Abführung der Geschiebe wäre kaum mehr möglich. In zweiter Linie ist die Ausführung des Murgbeckens nicht zu empfehlen, weil die Frage der Errichtung eines großen Staubeckens auf württembergischem Gebiet noch offen ist. Wird früher oder später ein solches Werk ausgeführt, so wäre die Murgtalsperre für das badische Murgwerk überflüssig.

Bezüglich der Größe des unteren Ausgleichbeckens ist zu sagen, daß der Stauinhalt nach Projekt „G“ 204 000 cbm beträgt, wovon für den Voll-Ausbau 90 000 cbm erforderlich sind. Die Gutachter sind mit dem Projekt „G“ einverstanden. Die Mehrkosten der Errichtung des theoretisch etwas zu großen Ausgleichbeckens sind gegenüber dem Notwendigen nicht bedeutend, sie werden aufgewogen durch die besseren Verhältnisse des Kraftwerkes, das aus diesem Ausgleich betrieben wird, besonders auch durch die Möglichkeit, zu gewöhnlichen Zeiten nur den oberen Teil des Ausgleichraumes zu benützen, wodurch die Einhaltung eines konstanteren Gefälles für die Ausgleichturbinen geschaffen wird.

Frage 8. Werden die Kläranlagen als ausreichend und zweckdienlich erachtet?

a) Kläranlage beim Sammelbecken an der Landesgrenze, Blatt 4, Projekt „G“.

Die in den Berechnungen über die Klärbeckenmaße angenommene Durchflußgeschwindigkeit im Becken, 0,14 m/sec, ist für das Absetzen von Sand usw. geeignet gewählt, sie ist aber nur bei ganz gefülltem Sammelbecken tatsächlich vorhanden und wächst mit abnehmender Füllung des Sammelbeckens. Wenn diesem 80 000 cbm entnommen sind, so mag der Wasserspiegel schätzungsweise um 3 m, der Klärbeckenquerschnitt um 40 qm gesunken sein; dann ist die Geschwindigkeit im Klärbecken bei 14 cbm/sec Entnahme auf etwa $\frac{14}{100 \cdot 40} = \frac{14}{60} = 0{,}23$ m/sec gestiegen, wobei kein Sand mehr abgesetzt werden kann. Ist dazu dann die Klärbeckensohle schon mit einer starken Ablagerungsschicht bedeckt, so kann die erhöhte Durchflußgeschwindigkeit geradezu Teile dieser Ablagerungen mit in den Stollen fortführen. Es ist also notwendig, die Klärbeckensohle wesentlich tiefer zu legen, was bei der viel tieferen Lage der Murgsohle und angesichts der angenommenen Tieflage der Fundamentsohle (ungefähr 437 m + N. N.) ohne wesentliche Mehrkosten für Ausschachtung erfolgen kann.

Das Sammelbecken soll einen nutzbaren Inhalt von 190 000 cbm besitzen; der Ausnützung dieses Sammelraumes entspricht laut Denkschrift ein tiefster Wasserstand von der Höhenlage 445 m + N. N. gegenüber 452 m bei gefülltem Becken.

Bei dieser Wasserspiegelhöhe ist dann aber kein für 14 cbm/sec hinreichender Auslaufquerschnitt, Geschwindigkeit 1,4 m/sec, mehr vorhanden (vergl. Projekt „G“). Die Schützenschwelle des Auslaufs nach dem Stollen sollte also tiefer, d. h. auf 445 — 2,5 = 442,5 m gelegt werden. Hieraus folgt als erwünschte Sohlenhöhe im Klärbecken etwa 440,5 m, was das Spülen nach der freien Murg (Murgsohle etwa 437 m + N. N.) noch gut erlaubt.

Für den seltenen Ausnahmefall, daß 14 cbm/sec fast bis zur Erschöpfung des Sammelbeckeninhaltes entnommen werden, ergibt sich dann bei leerer Klärbeckensohle und einem Wasserstande im Sammelbecken auf Höhe 445,5 noch ein Durchflußquerschnitt im Klärbecken von etwa $12 \cdot 3{,}5 = 42$ qm, also eine Geschwindigkeit von $\frac{14}{42} = 0{,}33$ m/sec. Das Tieferlegen der Klärbeckensohle schafft aber auch die nötige Reserve, damit allenfalls durch Hochwasser verursachte stärkere Ablagerungen den Durchflußquerschnitt im Becken später nicht zu sehr beeinträchtigen. Auch dieser Ablagerungen halber ist es von der größten Wichtigkeit, die Einlaufschwelle nach dem Stollen so hoch über der Klärbeckensohle anzuordnen, daß ein Mitreißen der bereits abgelagerten Geschiebe vermieden wird. Die Auslaufschwelle sollte daher mindestens 2 m über der Sohle liegen (442,5 gegenüber 440,5 m, wie schon oben ausgeführt), und sie müßte nach der linken Klärbeckenwand in einer konkaven Linie verlaufen, damit bei geöffnetem Leerlauf die vor ihr abgelagerten Geschiebe möglichst vollständig abgeführt werden und nicht in dem jetzt vorhandenen rechten Winkel liegen bleiben. Erst nach dem Tieferlegen der Klärbeckensohle und des Auslaufes wird diese Kläranlage ausreichend und zweckdienlich sein.

Die Standfestigkeit der Trennungsmauer zwischen Sammel- und Klärbecken ist für den Wasserdruck bei ganz gefülltem Sammelbecken und völlig entleertem Klärbecken zu berechnen.

Unter Bezugnahme auf das Vorhergesagte und an sich schon erscheint eine größere Entwicklung der Feinrechenfläche am Ende des Klärbeckens angezeigt. Überhaupt sollten sämtliche Feinrechen reichlich größer als projektiert gemacht werden. Sie sind normalerweise fast alle im Betriebe unter Wasser, also unzugänglich, und müssen deshalb die Reserve für Verstopfung in ihrer unverhältnismäßig großen Fläche besitzen. Auch die Anzapfstellen der Talsperren sind mit großen Feinrechenflächen zu versehen.

Die Schützenschwelle für direkten Wassereinlauf zum Stollen (Umgehung des Klärbeckens) behält natürlich die projektierte Höhenlage bei. Die Wände der Einlaufmauer lassen sich mit leichter Mühe durch schlankes Überführen beider Einlässe nach der Stollenrichtung so gestalten, daß störende Wirbelungen des durchfließenden Wassers infolge toter Ecken und scharfer Ablenkungen fast ganz vermieden werden.

b) Kläranlage am Raumünzachwehr, Blatt 5, Projekt „G“.

Für das Einleiten der angenommenen 2 cbm/sec sind die Querschnitte des Klärbeckens und dessen Inhalt ganz denen des Klärbeckens am Murgstolleneinlauf gleich, also ausreichend (0,14 m/sec) bemessen. Da aber im späteren Vollbetrieb der Anlage meist viel weniger als 2 cbm zur Einleitung kommen, so ist das Klärbecken dann auch noch bei Kiesablagerung als zweckdienlich anzusprechen. Dagegen ist die Lage des Raumünzachwehrs zum Klärbeckeneinlauf nicht gut gewählt, weil das von oben kommende Geschiebe sehr leicht in das Klärbecken hineinfinden kann. Das Wehr sollte gegenüber dem Klärbecken um etwa 15 m fluß-

abwärts gerückt werden, damit vom Klärbeckeneinlauf bis an das das Geschiebe zurückhaltende Wehr eine reichliche Ablagerungsstelle für Geschiebe freibleibt und so der Klärbeckeneinlauf vom Geschiebe entlastet wird. Schräglegen des Wehres mit Steigung der festen Krone gegen das rechte Ufer und möglichst tief liegender Schwelle der linksseitig anzubringenden Spülschütze dürfte sich empfehlen.

Zur Anordnung des Klärbeckens ist noch folgendes zu sagen: Auf der Überfallkante des Einlaufschachts, Höhenlage 452 m + N. N. sollte eine Absperrschütze angebracht und diese mit ihrem Zugang und Getriebe sowie das umgebende Schachtgemäuer über den höchstbekannten Wasserstand der Raumünzach hinausgeführt werden, derart, daß der Murgstollen jederzeit, wenn nötig, vom Raumünzach-Hochwasser absolut sicher abgesperrt werden kann. Die Überfallkante (Schützenschwelle) wäre beidseitig in großem Radius überzuleiten.

Der Feinrechen sollte, um eine größere Rechenfläche zu erzielen, über die ganze Klärbeckenbreite, 6 m, geführt, dabei der Klärbeckenablaß entsprechend aufwärts verschoben werden, und erst hinter dem Rechen sollte die Zusammenziehung auf Schützenbreite beginnen. Der Feinrechen kann mit Rücksicht auf die einsame Lage desselben eigentlich nicht zu groß genommen werden, damit das Putzen nur jeden Tag einmal nötig ist. Die große Rechenfläche empfiehlt sich auch deshalb, weil der Murgstollen durch rasches Schließen der Turbinen im Kraftwerk Druckanschwellungen ausgesetzt ist, die sich ähnlich wie im Wasserschloß auch hier im Einlaufschacht betätigen werden. Während nun das Wasserschloß durch Hochführen großer Querschnitte gegen Überlaufen gesichert ist, wird bei ganz gefülltem Sammelbecken an der Landesgrenze ein vorübergehendes Rückwärtsaustreten des Murgstollenwassers durch den Einlaufschacht zu gewärtigen sein, und hierfür ist die große Rechenfläche ebenfalls sehr am Platze.

Nach den Ausführungen der Denkschrift ist die Murg ab Schönmünzach mit 65 %, die obere Raumünzach und Schwarzenbach mit 16,9 %, letztere beiden ab Talsperren mit 4,1 %, zusammen mit 86 %, an der Gesamtwasserführung der Murg gegen Forbach hin beteiligt.

Wenn einmal die Talsperren erbaut und im Betriebe sind, kommen die vorgenannten 16,9 % als Anteil der oberen Raumünzach mit Schwarzenbach nicht mehr in Betracht. Solange dies aber noch nicht erfolgt ist, kann der Fall eintreten, daß die im Murgstollenwerk erforderlichen 14 cbm/sec gerade aus der Murg und dem ganzen Raumünzachgebiet bestritten werden sollen. Den vorgenannten Zahlen gemäß entfallen dabei auf

Murg selbst $14 \cdot \frac{65}{86}$ . . . . = 10,6 cbm,

Raumünzach und Schwarzenbach

insgesamt $14 \cdot \frac{21}{86}$ . . . . = 3,4 „

14,0 cbm.

Mithin wäre es empfehlenswert, zu überlegen, wie der Einlaß am Raumünzachwehr ohne wesentliche Mehrkosten für diesen vorübergehenden Zweck entsprechend reichlicher gestaltet werden könnte.

Frage 9. Sind im vorliegenden Falle Schützenwehre den Walzenwehren überlegen?

Die feste Wehrschwelle am Murgwehr liegt nach Projekt „G" auf der Höhe 444 m + N. N., die Stauhöhe dagegen auf 452 m + N. N., so daß über dem festen Wehrrücken noch eine Höhe von 8 m durch Schützen abzuschließen ist. Nach dem Entwurf „G" soll dies durch eine untere Schütze von 6,32 m und eine obere von 2 m Gesamthöhe, bei 1,7 m Nutzhöhe, geschehen. Hierdurch wird der Vorteil erreicht, daß die untere Schütze bei einem starken Hochwasser je nach Bedarf gehoben und sowohl das Wasser als auch die vor dem Wehr etwa abgelagerten Geschiebe durchgelassen werden können. Die obere Schütze dagegen soll durch Senken oder Heben zur Regelung des Wasserspiegels bei kleineren Anschwellungen dienen. Diese Anordnung ist zweckmäßig, und die Gutachter geben ihr in dem vorliegenden Falle den Vorzug vor einem Walzenwehr.

Bei der Ausführung würde zu erwägen sein, ob nicht die obere, kleinere Schütze zweckentsprechender stromaufwärts und die untere, größere stromabwärts anzuordnen wäre. Auf diese Weise ließe sich wahrscheinlich der Wasserverlust an der Fuge zwischen beiden Schützenteilen erheblich verringern.

Die Gutachter empfehlen außerdem, den festen Wehrrücken auf 442 m + N. N. zu erniedrigen unter entsprechender Erhöhung der beweglichen Schützenunterteile. Der feste Wehrkörper sollte mindestens 1 m in den gesunden Fels gegründet werden. Dies vorausgesetzt, erscheint beim Murgwehr sowohl als auch beim Wehr in der Raumünzach die Anordnung besonderer Sturzbette unnötig, da der hier vorhandene gewachsene Fels den Angriffen des abstürzenden Wassers größeren Widerstand leistet als der künstlich aufgebrachte Beton.

Frage 10. Können Francisturbinen für die untere Druckstufe empfohlen werden?

Die Frage ist unbedingt zu bejahen. Durch die Kläranlagen ist für Abfangen des Sandes hinreichend gesorgt, und die Größenmaße der Laufräder zeigen für die angenommene Umdrehungszahl von 500 in der Minute noch keine unguten Verhältnisse, so daß mit Recht hohe Wirkungsgrade (0,82, 0,84) erwartet werden dürfen. Für jeden Turbinenfachmann ist klar, daß, solange Spiralturbinen der Umdrehungszahl wegen möglich sind, solche und keine Peltonräder ausgeführt werden. Im Gegensatz zu den Peltonrädern des Projektes „R" bestehen weitere Vorzüge der Francis-Spiralturbinen in folgendem:

a) Jederzeitige Ausnützung des vollen Gefälles zwischen Wasserschloß und Wasserspiegel im Ausgleichbecken gegenüber Verlusten bei den Peltonrädern bis zu 7 m Höhe (Saugrohre bei letzteren haben sich auf die Dauer nicht bewährt).

b) Die Gehäuse der Spiralturbinen bieten durch ihre schlanken und glatten Formen gegenüber den

vielen winkligen Zuleitungs- und Seitenanschluß-Stutzen der zweifachen, mehrdüsigen Peltonräder neben besserem Aussehen auch eine größere Sicherheit gegen Brüche infolge inneren Druckes.

c) Die Reguliergetriebe der Spiralturbinen sind wesentlich einfacher und übersichtlicher als die Getriebe der im Entwurf „R" projektiert gewesenen 4 Düsen der Peltonräder.

Frage 11. Ist die Aufstellung der Turbinen in 2 Reihen der Anordnung in einer Reihe vorzuziehen?

Die Frage ist entschieden zu bejahen; die Rohrleitungen sind auf diese Weise sehr geschickt angeordnet und das Krafthaus gewinnt gegenüber der bei einreihiger Aufstellung nötigen Länge ganz wesentlich an Zugänglichkeit und Übersichtlichkeit.

Die Frage 11 bietet zu den nachstehenden Bemerkungen Anlaß.

An sich ist anzuerkennen, daß der Entwurf „G" auch bei der Anlage des Krafthauses auf den stufenweisen Ausbau des Werkes Rücksicht genommen hat und die halbseitige Ausführung vorschlägt, die durch eine mittlere Säulenreihe ermöglicht wird. Da aber nach einstimmiger Ansicht der Gutachter der Gesamtausbau mit Gewißheit in Bälde kommen wird, so empfehlen diese entschieden die sofortige vollständige bauliche Ausführung des Krafthauses. Hierdurch wird die mittlere Säulenflucht entbehrlich, die beiden Reihen von Generatoren können einander wesentlich näher rücken und trotzdem wird der nunmehr engere, aber nicht mehr durch die Säulenstellung versperrte Mittelgang eine viel bessere Zugänglichkeit für alle Einheiten sichern. Die Gesamtanordnung übt dann eine ganz andere Wirkung aus und die Übersichtlichkeit ist dadurch noch wesentlich verbessert. Die Konstruktion eines freitragenden Daches macht für die volle Hausbreite keine Schwierigkeiten, und durch einen, die ganze Hausfläche bestreichenden Laufkran sind die Transportverhältnisse im Innern des Hauses ganz wesentlich vereinfacht. Es genügt dann irgendwo, z. B. an der gegen abwärts gelegenen Giebelseite, eine kurze Zufahrt ins Hausinnere unter die vom Laufkran bestrichene Fläche für den ganzen großen Transport der zu montierenden Maschinen; das seither unabweislich gewesene Längs- und Quergeleise mit Drehscheibe ist unnötig geworden.

Im einzelnen kann das Krafthaus erst nach Vergebung der hydraulischen und elektrischen Maschinenlieferungen im Zusammenarbeiten mit den betreffenden Firmen in seinen Abmessungen genauer festgelegt werden.

Ein gemeinsamer Unterwasserkanal in Hausmitte mit schräg liegenden Stichkanälen nach den Turbinenausläufen, ferner ein begehbarer, ausreichend bemessener Kabelkanal sind anzustreben. Letzterer kann zweifellos unmittelbar über dem mittleren Unterwasserkanal eine vorzügliche Stelle finden, doch muß er, der vorkommenden hohen Unterwasserstände (Ausgleichbecken) wegen, in seinen unteren Teilen mit Sicherheit wasserdicht ausgeführt sein, was keine Schwierigkeiten macht.

Die Anordnung des mittleren Unterwasserkanals gestattet auch die allfallsige Aufstellung von Verbundturbinen für das Hochgefälle, die sich wahrscheinlich bis zu dessen Ausbau so weit entwickelt haben werden, daß sie erfolgreich mit vieldüsigen Peltonrädern in Wettbewerb treten können.

Frage 12. Ist der Anschluß der vorhandenen Dampfzentralen zu empfehlen?

Die Großh. Badische Eisenbahnverwaltung verfügt bereits über 3 Dampfzentralen, wovon Mannheim 4600, Karlsruhe 2100 und Offenburg 1100 PS leistet, zusammen 7800 PS. Aus den mitgeteilten Berechnungen geht hervor, daß das Anlagekapital für das ganze Werk mit einer mittleren Jahresleistung von 15 000 PS bei einer größten Belastung von 45 000 PS 21 620 000 ℳ beträgt.*) Das Anlagekapital bleibt sich gleich, wenn auf Benützung der Dampfmaschinen verzichtet wird, die verwertbare Leistung sinkt jedoch dabei auf 11 000 PS im Jahresmittel, oder 33 000 PS bei der Maximalbelastung. Im ersteren Falle beträgt beim Vollausbau die Jahresleistung für die

Murg	69 370 000	PS-Stunden,
Staubecken	47 290 000	„ „
Dampfzentralen . . .	14 740 000	„ „
zusammen . .	131 400 000	PS-Stunden.

Die Betriebskosten belaufen sich auf 1 903 000 ℳ im Jahre, worin 220 000 ℳ für Zins und Amortisation des Anlagekapitals der Dampfmaschinen und 2,33 ₰ pro PS-Stunde der mit Dampf erzeugten Kraft eingerechnet sind. Hieraus folgen die mittleren Betriebskosten bei Voll-Ausbau mit Dampfzentralen 1,45 ₰ pro 1 PS-Stunde.

Im Voll-Ausbau ohne Dampfreserve beträgt die Jahresleistung der Wasserwerke 96 400 000 PS-Stunden, die gesamten Betriebskosten stellen sich auf 1 339 000 ℳ pro Jahr und die Kosten der PS-Stunde auf 1,40 ₰. Demzufolge kommt im Voll-Ausbau die Kraft mit Dampfreserve annähernd gleich hoch zu stehen wie ohne Dampfreserve. Der Preis von 1,40 ₰ pro PS-Stunde ist jedoch so billig, daß darauf bei Verteilung der Kraft mit Sicherheit ein Gewinn zu erzielen ist. Dieser Gewinn steigt mit dem Kraftabsatze. Es kommt nun besonders in Betracht, daß für eine große elektrische Zentrale unter allen Umständen eine Reserve erforderlich ist, die anderorts auf $^1/_3$ bis $^1/_2$ der Leistung des Kraftwerkes bemessen wird. Diese Reserve ist notwendig, weil Störungen im Betriebe des Wasserwerkes sowohl als auch im Betriebe der Fernleitung vorkommen können; es ist dabei wichtig, daß derartige Störungen sich nicht auf das ganze Netz ausdehnen sollen und daß bis zur Behebung derselben mindestens die dringendsten Anforderungen befriedigt werden können. Man errichtet demzufolge die großen Dampfreserven nicht bei dem Wasserkraftwerke, sondern in der Nähe der Verbrauchszentren.

*) Anm. der Generaldirektion.

Die im Obergutachten wiedergegebenen Bau- und Betriebskosten beziehen sich auf eine frühere Berechnung mit zweistufigem Ausbau des Krafthauses und ohne Berücksichtigung der Bauzinsen.

Die Gutachter würden sie für die Murgwasserkräfte für notwendig finden an denjenigen Orten, wo sie heute schon vorhanden sind, nämlich in den elektrischen Zentralen der Generaldirektion zu Karlsruhe, Mannheim und Offenburg, wozu allenfalls auch noch die vorhandenen Dampfzentralen der sich an das Murgwerk anschließenden Städte zu rechnen sein werden.

Die Benützung der vorhandenen, der Generaldirektion gehörigen Dampfzentralen als Reserven gestattet zunächst mit einem verhältnismäßig kleinen Anlagekapital den ersten Ausbau der Murgwasserkraftanlage, des Murgstollenwerkes, da diese zur Zeit kleiner Wasserstände und großer Beanspruchung auf einfachem und billigem Wege die benötigte Zusatzkraft liefern. Erst bei steigendem Bedarf kommen die verhältnismäßig kostspieligeren Talsperrenwerke zur Ausführung; aber auch dann sind die Dampfzentralen als allgemeine Reserve für Betriebsstörungen usw. unentbehrlich.

Die Gutachter sprechen sich dahin aus, daß der Anschluß der vorhandenen Dampfzentralen sowohl vom wirtschaftlichen als auch vom betriebstechnischen Standpunkt aus zu empfehlen ist.

Der Anregung der Großh. Oberdirektion des Wasser- und Straßenbaues, die Höchstleistung des Werkes auf 14 000 PS zu bemessen, statt auf 15 000 PS, können sich die Gutachter nicht anschließen, weil die Steigerung der Gestehungskosten der Kraft bei 14 000 resp. 15 000 PS von 1,38 auf 1,45 ₰ pro PS-Stunde eine außerordentlich kleine ist. An den Baukosten ließe sich nur sehr wenig sparen, wenigstens würde es nicht rationell sein, eine Verringerung der Zahl der Maschinen in Aussicht zu nehmen, Zins und Amortisation machen aber den größten Teil der Betriebskosten bei Wasserkraftwerken aus. Die Dampfanlage verursacht erst dann Ausgaben, wenn der Kraftabsatz eine gewisse Höhe erreicht hat. Ist es möglich, 15 000 ständige PS zu guten Preisen zu verkaufen, so wird man seinerzeit gewiß nicht mit Erzeugung der Reservekraft durch Dampf bei 14 000 PS einhalten. Im weiteren sei darauf hingewiesen, daß sich die Murgwasserkräfte vorzüglich für Kraftabgabe mit veränderlicher Belastung eignen, wie z. B. für Licht, für Industriemotoren, für Straßenbahnen, für Eisenbahnbetrieb u. dgl. Für die elektrochemische Industrie ist die Kraft zu teuer, es kommen die großen Vorteile der vorzüglichen Regulierung des Abflusses der zur Verfügung stehenden Wassermengen bei der letzteren Art der Kraftverwendung nicht zur Geltung. Die Gutachter glauben nicht, daß später einmal billigere Reservekraft von einem Niederdruckwerk am Rheine gewonnen werden könnte. Ein solches Niederdruckwerk leidet früher unter Wasserklemme, als die Murgwerke leiden werden, dazu noch unter Hochwasser, es bedarf in weit höherem Maße der Dampfreserve, als die Murgwasserwerke. Damit soll nicht gesagt sein, daß nicht in letzter Linie doch eine Kombination von Niederdruckwerken am Rheine mit den Murgwasserwerken möglich wäre, es muß aber heute schon betont werden, daß dies nur mit verstärkter Inanspruchnahme großer Dampfzentralen möglich sein wird. Die Frage ist übrigens nicht jetzt zu entscheiden, sondern erst nach einer längeren Betriebsperiode, wie bereits weiter oben angedeutet wurde.

Frage 13. Sind weitere Verbesserungen oder Abänderungen, insbesondere behufs Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, in Vorschlag zu bringen, und welche?

Bezüglich der allgemeinen Disposition des Projektes „G“ haben die Gutachter keine Abänderungen vorzuschlagen. Die Anordnung erscheint als die wirtschaftlich beste Lösung zur Ausnützung der badischen Murgwasserkräfte.

In der Beantwortung der vorhergehenden Fragen sind schon einige Verbesserungsvorschläge enthalten, denen nachstehend noch eine Anzahl kleinerer und größerer Äußerungen folgen soll.

a) Größte Wasserführung des Murgstollens.

Die „normale Maximalbelastung“ des Murgstollenwerkes ist zu 21 000 PS entsprechend einer Wasserführung von 14 cbm/sec angegeben; hierzu sind 5 Turbinen zu je 4400 PS erforderlich, die sechste steht in Reserve. In der Denkschrift ist aber auch von einer gleichzeitigen Leistung aller 6 Murgstollen-Turbineneinheiten von 6 . 4400 = 26 400 PS die Rede. Dieser allergrößten Leistung würde ein Wasserverbrauch von 17,8 cbm/sec, eine Wassergeschwindigkeit von 2,17 m im Stollen und ein Gefälleverlust von rund etwa 17 m entsprechen, gegenüber 10,7 bei 21 000 PS-Leistung. Ein solcher Betrieb erscheint nicht mehr wirtschaftlich, außerdem müßte diesem bei der Anlage und Größenbemessung des Wasserschlosses notwendig Rechnung getragen werden. Das Wasserschloß nach Blatt 10 Projekt „G“ würde für das rasch erfolgende Anzapfen aufs Doppelte (von 8,9 cbm auf 17,8 cbm) versagen, andererseits bei plötzlichem Schließen aller Turbinen (Kurzschluß) zum Überlaufen kommen und dadurch großes Unheil anrichten. Das gleichzeitige Betreiben aller 6 Murgstollenturbinen mit voller Öffnung muß durch Stellmechanismen an den Regulatoren verhindert werden. Bei diesem Anlaß sei auch darauf hingewiesen, daß die Annahme des Verhältnisses der größten Belastung des Werkes zur Durchschnitts-Jahresleistung wie 3 : 1 zum voraus nicht ganz sicher erscheint und erst im Verlaufe des Betriebes vom Murgstollenwerk ermittelt werden kann. Diese Ziffer ist auch dann noch Schwankungen unterworfen, weil die zukünftige Verwendung der abgegebenen Kräfte hierauf Einfluß nimmt. Bei anderen, städtischen Zentralen wurde das Verhältnis als 3,5 : 1 bis 4 : 1 beobachtet, und es müßte im Anschluß daran die höchste Leistungsfähigkeit von Wasser und Dampf auf 52 500 bis 60 000 PS bemessen werden, dazu noch 10 bis 20 % in Reserve.

Da eine weitere Vergrößerung des Murgstollenwerkes nicht zweckmäßig erscheint, so ist seinerzeit bei der Anlage der Talsperren und der Größenbemessung der Stollen, Rohrleitungen sowie der Turbinen auf das oben Gesagte Rücksicht zu nehmen.

b) Verbindungsstollen Raumünzach-Schwarzenbachbecken.

Es möge darauf hingewiesen werden, daß die Möglichkeit, unter vollständigem Ausschalten des Schwarzenbachbeckens unmittelbar aus dem Raumünzachbecken zu arbeiten, offengehalten werden muß und umgekehrt; eine Erwähnung dieses Umstandes findet sich in der Denkschrift.

Die Rechnung zeigt, daß ein Betrieb lediglich aus dem Raumünzachbecken bei nahezu entleerter Talsperre keinen größeren Wasserverbrauch als etwa 5,4 cbm = 18000 PS verträgt, weil sonst das Wasserschloß nicht mehr hinreichend gefüllt ist.

c) Rohrleitungen.

Die Krümmungen der Zuleitungsrohre beim Hausgebiet sollten wesentlich schlanker ausgeführt werden. Für jede Leitung empfiehlt sich die Anwendung eines eigenen Entleerungsschiebers mit besonderer Auslaufleitung, außerdem je ein Mannloch zum Befahren der Leitung.

d) Ausgleichturbinen.

Diese sollten in nach oben offenen Schächten untergebracht sein, die von einem gemeinschaftlichen Laufkran bestrichen werden. Die Erstellung der Schächte in Verbindung mit den unverändert bleibenden Einlaßschützen macht keine Schwierigkeiten, sichert aber dafür die volle Zugänglichkeit der Turbinen, die nach dem Projekt, Blatt 16, nur unvollkommen gewahrt ist. Sehr empfohlen wird die Vereinigung der drei geteilten Feinrechenfelder zu einem schräg gestellten, durchlaufenden Felde, das dann ohne weiteres die erwünschte vermehrte Größe erhält; Durchfluß und Wartung sind dadurch wesentlich erleichtert. Zurückziehen des rechtsseitigen Pfeilers bis hinter die schräg ansetzende Rechenfläche, damit sich bei Hochwasser und Eisgang keine Treibkörper vor der Rechenfläche ansetzen können.

Die Regulatoren der Ausgleichturbinen werden zweckmäßig mit besonderen Einstellvorrichtungen versehen, damit der Wasserverbrauch dem Betriebsplan des Ausgleichbeckens entsprechend eingestellt werden kann und die Regulatoren nur zur Sicherheit gegen Durchgehen bei Kurzschluß dienen.

Die Wasserbauten zur Aufnahme der Ausgleichturbinen werden natürlich zweckmäßig gleichzeitig mit dem Wehr des Ausgleichbehälters erstellt; der Einbau derselben aber nebst elektrischer Installation erfolgt am besten erst bei entsprechend gesteigertem Kraftabsatz.

Frage 14. Empfiehlt es sich, als ersten Ausbau die untere Druckstufe unter Zuziehung der vorhandenen Dampfzentralen zu wählen?

Nach den Kostenberechnungen erfordert der Ausbau der ersten Stufe ein Baukapital von 7590000 ℳ. Die Leistung beträgt im Jahresmittel einschl. Dampfreserve 6000 PS, es kostet demzufolge 1 PS Durchschnittsleistung 1265 ℳ Anlagekapital. Beim Voll-Ausbau erreicht das Baukapital die Höhe von 21620000 ℳ für 15000 PS und dies ergibt pro PS-Durchschnittsleistung 1441 ℳ. Das Anlagekapital der ersten Stufe ist demzufolge niedriger als das des Voll-Ausbaues. Die Gestehungskosten der Kraft beim ersten Ausbau sind mit 1,61 ₰ nur unwesentlich höher als beim Voll-Ausbau mit Dampfreserve (1,45 ₰) und jedenfalls niedriger, als wenn etwa statt des Murgstollenwerkes das Schwarzenbachwerk allein erstellt werden sollte. Ein Vorteil bei Ausführung des Murgstollenwerkes als erste Ausbaustufe besteht im ferneren darin, daß die definitive Entscheidung über die Höhe der Talsperren und über die Größe des Stauraumes der beiden Staubecken für einige Zeit noch vorbehalten bleibt, innerhalb welcher, wie schon erwähnt, genaue Wasserstandsbeobachtungen ausgeführt werden können, und sich die Verhältnisse über den späteren Kraftabsatz abklären werden. Es bleibt auch noch die Entscheidung über die Mitverwendung der württembergischen Wasserkräfte offen. Sollte später auf württembergischem Gebiete ein großes Staubecken ausgeführt werden, so liegt dies nur im Interesse einer besonderen Ausnützung des Murgstollenwerkes, das aber auf alle Fälle wirtschaftlich richtig arbeiten wird, es mögen die württembergischen Staubecken so oder anders ausgeführt werden.

Frage 15. Steht die Bauwürdigkeit sowohl des vorgeschlagenen ersten Teilausbaues wie des Voll-Ausbaues außer allem Zweifel?

Die Frage nach der Bauwürdigkeit sowohl des Teil- wie des Voll-Ausbaues des projektierten Werkes ist in drei Teile zu zerlegen:

a) Ist die Baukosten- und Rentabilitätsrechnung richtig?
b) Wie stellen sich die Gestehungskosten der Kraft zu den Kosten anderweitiger Krafterzeugung und wie im Vergleiche mit anderen Kraftzentralen?
c) Welche volkswirtschaftliche Bedeutung ist der neuen Unternehmung beizulegen?

Zu a.

Was zunächst die vorgelegten Berechnungen über Bau- und Betriebskosten des Werkes anbetrifft, so haben die Gutachter die Überzeugung, daß die Kostenvoranschläge ausreichend bemessen sind und den heutigen Arbeitslöhnen entsprechen, dagegen können sie nicht umhin, den Vorbehalt zu machen, daß Kostenerhöhungen bevorstehen würden, wenn die Ausführung des Werkes noch längere Zeit auf sich warten ließe, zufolge der steigenden Tendenz der Arbeitslöhne.

Die Ansätze in der Betriebsrechnung sind ebenfalls ausreichend. Der Staat wird jedenfalls nicht mehr als 4 % Kapitalzinsen rechnen müssen. Die Tilgungsquote von 0,5 % für die Tiefbauten entspricht einer Amortisation der Bauschuld in 56 Jahren bei einem Zinsfuß von 4 %, und es erscheint nicht notwendig, auf einen kürzeren Termin bereits die Bauschuld abzutragen, weil in dieser Zeit das Werk, gute Unterhaltung vorausgesetzt, nicht wertlos geworden ist, sondern wahrscheinlich dann, zumal zufolge der Wertverminderung des Geldes, einen höheren Kapitalwert darstellen wird als unmittelbar nach der Vollendung.

Zu b.

Bei Vergleichung der Gestehungskosten der Kraft mit den Kosten anderweitiger Krafterzeugung kann nur eine große Dampfzentrale in Betracht gezogen werden.

Diese arbeitet mindestens ebenso ökonomisch wie die billigsten Dieselmotoren, hat aber den Vorzug, daß größere Maschineneinheiten gebaut werden können als bei Dieselmotoren. Es ist nun richtig, daß bei dem in Betracht fallenden badischen Absatzgebiete Dampfkraft verhältnismäßig billig zu stehen kommt; trotzdem sind die Gestehungskosten der Kraft höher als beim Wasserwerke. Aus den Betriebsergebnissen großer Dampfzentralen ist zu entnehmen, daß für die Kilowatt-Stunde im Mittel 1,8 kg Kohlen erforderlich sind. Die Anlagekosten für Dampfturbinen und Dampfkessel mit Gebäude betragen etwa 240 ℳ pro Kilowatt. Für eine Betriebszeit von 2000 Stunden im Jahr kommen die Gutachter zu folgender Kostenberechnung der jährlich erforderlichen Aufwendungen:

Zins und Amortisation des Kapitals, 10 % von 240.— ℳ	ℳ 24.—
Kohlenbedarf 3600 kg à 1,8 ₰	„ 64.80
Bedienung usw.	„ 5.20
zusammen jährlich . .	ℳ 94.—

oder für die Kilowatt-Stunde 4,7 ₰.

Die Gestehungskosten der Wasserkraft betragen für die erste Ausbaustufe mit Dampfreserve, in Umrechnung der Preise für die PS-Stunde, im Mittel 2,42 ₰ für die Kilowatt-Stunde, im Voll-Ausbau 2,17 ₰. Hierbei sind allerdings die Kosten für die Fernleitung von Forbach nach den Verbrauchsstellen nicht inbegriffen, der Betrag dieser letzteren hängt ab von der Länge der Fernleitung und von der Größe der zu übertragenden Kraft. Zur Übertragung von 10 000 Kilowatt nach Mannheim ist mit einer Ausgabe von 2 000 000 ℳ für die Fernleitung zu rechnen; bei einem Ansatze von 10 % für Zins, Amortisation und Betrieb ergäbe dies zusätzlich 1,0 ₰ pro Kilowatt-Stunde bei im Mittel 2000 Betriebsstunden.

Aus dieser Berechnung geht hervor, daß die Kraft des Wasserwerkes an der Peripherie der Hauptverbrauchsstellen wesentlich weniger kostet als Dampfkraft, demzufolge es die Konkurrenz aufzunehmen vermag.

Bei Vergleichung der Gestehungskosten der Kraft mit anderen ausgebauten oder in Ausführung begriffenen Werken sei zunächst das neue Werk am Rheine bei Augst-Wyhlen erwähnt. Die Stadt Basel rechnet in ihren Kostenanschlägen mit einer Ausgabe von 8 200 000 Fr. = 6 560 000 ℳ für 15 000 hydraulische PS. Es ergibt dies einen Einheitspreis von 547 Fr. = 437.60 ℳ für eine eff. PS an der Turbinenwelle, oder 727 Fr. = 581.60 ℳ für eine elektrische PS an der Schalttafel, ohne die Fernleitung. Die Betriebskosten ergeben Preise von 84.90 Fr. = 67.92 ℳ für eine elektrische PS pro Jahr im Anfang und 74.10 Fr. = 59.28 ℳ pro elektrische PS nach 10 Jahren bei voller Ausnützung des Werkes. In diesem Preise sind die Kosten der Dampfreserve und der Fernleitung nach Basel nicht eingeschlossen. Die Vergleichung fällt zugunsten der Murgkräfte aus. Diese erfordern ein Anlagekapital von 480 ℳ für die installierte Wasserpferdestärke. Bei Vergleichung der Beträge ist zu beachten, daß die Murgwasserkräfte gut ausreguliert sind und nur einer verhältnismäßig schwachen Dampfreserve bedürfen, was bei den Rheinkräften von Augst-Wyhlen weniger der Fall ist.

Mit dem durch die Stadt Zürich ausgeführten Albulawerke lassen sich die Preise nicht ohne weiteres vergleichen, weil die Verhältnisse total verschieden sind. Das Albulawerk kostet für 20 000 Wasserpferdestärken einschließlich Fernleitung nach Zürich 12 000 000 Fr. = 9 600 000 ℳ also rund 600 Fr. = 480 ℳ pro PS. Die Gestehungskosten der Kraft an der Stadtgrenze in Zürich betrugen nach den städtischen Berechnungen pro Jahr und Kilowatt bei 3000 Betriebsstunden 89 Fr. = 71.20 ℳ, oder rund 3 Cts. = 2,3 ₰ pro Kilowatt-Stunde. Die Stadt Zürich hat einen Teil der von ihr nicht selbst benötigten Kraft des Albulawerkes an verschiedene Großabnehmer verpachtet um den Betrag von 4 Cts. = 3,2 ₰ pro Kilowatt-Stunde. Sie kommt damit auf ihre Kosten, zwar ohne erheblichen Gewinn, hat jedoch den Vorteil, von Anfang an die vorhandene Kraft voll auszunützen und für späteren Selbstgebrauch größere Kraftmengen zu reservieren.

Zu c.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß das Gebiet der Murg außerordentlich günstig ist für die Anlage von Kraftwerken, günstig insbesondere in hydraulischer Beziehung bezüglich der zur Verfügung stehenden Wassermengen und Gefälle als auch bezüglich der Lage zu den hauptsächlich in Betracht kommenden badischen Absatzgebieten. Die Verbindung eines Mitteldruckwerkes (Murgstollenwerk) mit einem Hochdruckwerke (Raumünzach und Schwarzenbach) ergibt eine sehr vorteilhafte Wasserwirtschaft zufolge der Möglichkeit des allmählichen Ausbaues, auch die Möglichkeit einer stetigen Entwicklung des Unternehmens aus kleineren Anfängen zum großen Betriebe. Die Disposition ist wesentlich vorteilhafter als die Ausnützung der Wasserkräfte des Rheins, wo eine Aufspeicherung der Energie nur durch künstliche und sehr teuere Mittel möglich ist, während diese das Murggebiet auf direktem und billigem Wege gestattet.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Unternehmens liegt vornehmlich in dem Umstande, daß die Gestehungskosten für anderweitige Deckung der Kraftbedürfnisse heute schon bedeutend größer sind (und stetsfort im Steigen sich befinden) als beim Wasserwerke, das zufolge der fortschreitenden Amortisation des Anlagekapitals in späteren Jahren eher billiger wird und seinerzeit nach durchgeführter Schuldentilgung ganz außerordentliche wirtschaftliche Vorteile verspricht. Bezüglich der Dampfkraft geben nicht nur die stetig steigenden Arbeitslöhne und damit die Kohlenpreise Anlaß zum Bedenken, sondern auch die zu baldige Erschöpfung der Kohlenvorräte. Das für den Bau des Wasserwerkes ausgegebene Kapital bleibt größtenteils im Lande und dient zur Befruchtung der eigenen Industrie. Volkswirtschaftlich wichtig ist auch der Umstand, daß eine im badischen Lande gelegene Kraft möglichst bald ausgenützt werde und nicht mehr lange brachliege

Es wäre sogar nationalökonomisch noch richtig, das Werk zu erstellen, wenn die Kraft gleich teuer zu stehen käme wie Dampf- und Gaskraft.

In Wettbewerb mit den Dampfmaschinen treten bei großen Fabrikanlagen vielfach Dieselmotoren, die bei gleichmäßiger Beanspruchung während möglichst langer Zeit verhältnismäßig billig arbeiten. Nachteilig bei Dieselmotoren ist der Umstand, daß das nötige Rohöl vom Auslande bezogen werden muß; die Preise sind heute allerdings niedrig, es ist jedoch nicht abzusehen, wie lange sie sich auf dieser Höhe halten, und anzunehmen, daß bei steigendem Bedarf die Preise später wesentlich höher sein werden. Die neue Unternehmung wird voraussichtlich in ihrem Absatzgebiete den Konkurrenzkampf gegen Dieselmotoren und Dampfmaschinen aufzunehmen haben. Sie vermag ihn jedoch zufolge der verhältnismäßig niedrigen Gestehungskosten der Wasserkraft mit Erfolg zu führen, sofern sie eine praktische Tarifpolitik betreibt. Es ist durchaus nicht unrationell, Großabnehmer billig zu bedienen, sogar mit dem Preise bis auf die mittleren Gestehungskosten der Kraft zurückzugehen, trotzdem kleinere Abnehmer höhere Preise bezahlen und namentlich auch ein höherer Preis für Lichtstrom erzielt werden kann. Die Möglichkeit der Beschaffung billiger Betriebskraft ist für viele Industrien eine Lebensfrage. Sie werden sich nur bei befriedigender Lösung der Aufgabe ansiedeln und kräftig entwickeln können. Als Beispiel dieser Art sei die Stadt Mailand mit Umgebung erwähnt, die im Zeitraume von kaum 20 Jahren aus kleinen Anfängen heraus zu einem Kraftverbrauche von 300000 PS gekommen ist, dank der Zuleitung dieser Kraft aus größerer Entfernung aus dem Gebirge und den Vorteilen der Kraftverteilung auf elektrischem Wege. Die Konkurrenzfähigkeit bestehender Industrien hängt häufig mit der Frage der Kraftbeschaffung zusammen. Für die Entwicklung der Industrie ist es von großem Vorteil, wenn nicht mehr große Kapitalien für die Anlage von Kraftmaschinen aufgewendet werden müssen, sondern nur noch die jährliche Ausgabe für Kraftmiete zu bezahlen ist; es ist dies in den meisten Fällen der Hauptvorteil der elektrischen Zentrale im Konkurrenzkampf gegen Dampfmaschine und Dieselmotor.

Die Gutachter fassen ihre Ansicht darin zusammen, daß die Bauwürdigkeit sowohl des ersten Teilausbaues als auch des Voll-Ausbaues außer Zweifel steht, und daß sie die Überzeugung haben, daß in ganz kurzer Zeit nach der Erstellung des Murgstollenwerkes die Ausführung der beiden großen Staubecken im Raumünzach- und Schwarzenbachtale folgen werde.

Frage 16. Ist, unter Berücksichtigung der in der Denkschrift geschilderten Entstehungsgeschichte, durch den Ankauf und die Benützung des Rehbockschen Entwurfs, insbesondere durch die Übernahme der hoch gelegenen Staubecken, ein Anspruch Rehbocks auf die Urheberschaft des von der Großh. Generaldirektion vorgelegten Entwurfes und auf seine Mitwirkung bei Änderungen begründet?

Die Beantwortung dieser Frage verlangt die genaue Anführung dessen, was nachgewiesenermaßen Herrn Oberbaurat Professor Rehbock zuzuschreiben ist und was dem Entwurf der Großh. Generaldirektion eigentümlich zukommt. Zu dieser Gegenüberstellung sind benützt:

1. die Denkschrift der Generaldirektion im allgemeinen;
2. die Seiten 10 bis 12 und 18 bis 19 im besonderen;
3. die Rehbocksche Veröffentlichung „Entwurf eines Wasserkraftwerkes im Gebiet der Murg oberhalb Forbach“ von 1909 und 1910;
4. die von der Generaldirektion übergebenen Pläne des Rehbockschen Entwurfes von 1907;
5. der Vertrag vom 15./17./20. Juni 1907. (Ob und in wieweit Herrn Oberbaurat Professor Rehbock über den vorliegenden Vertrag hinausgehende, rechtsverbindliche Zusicherungen gemacht worden sind, das zu entscheiden sind die Gutachter nicht in der Lage.)

Für den Begriff der Urheberschaft ist auch die zeitliche Entwicklung des Ganzen von Wichtigkeit.

Die geistige Urheberschaft, die allgemeine Idee eines großzügigen Ausbaues der Murgwasserkräfte, wird wohl niemandem mit einiger Sicherheit als dem ersten zugeschrieben werden können. Derartige Pläne drängen sich dem Sachverständigen ja ohne weiteres auf und das beweist ja auch folgendes:

a) Oberbaurat Professor Rehbock legte im Juni 1905 einen generellen Entwurf nebst Kostenanschlag der Metallurgischen Gesellschaft in Frankfurt a. M. vor.

b) Ingenieur Fischer-Rheinau trat mit einem generellen Entwurf, Kostenanschlag und Rentabilitätsberechnung Juni 1906 an die Generaldirektion heran.

c) Die Großh. Generaldirektion beschäftigte sich ihrerseits im November 1906 mit Projekten und faßte damals schon das Kraftwerk am jetzigen Platze ins Auge; sie ließ die Örtlichkeit im Dezember 1906 bereisen.

d) Oberbaurat Professor Rehbock bot April 1907 sein im Auftrag von E. Holtzmann & Co. aufgestelltes, fertiges Projekt im Einverständnis mit jener Firma der Generaldirektion an.

Die Großh. Generaldirektion erklärt, daß es ihr bis dahin unbekannt gewesen sei, daß Herr Oberbaurat Professor Rehbock sich ebenfalls mit umfangreichen Projekten beschäftigt habe.

Hieraus ist ersichtlich, daß die in der Luft liegende Idee des Ausbaues der Murgwasserkräfte von den verschiedensten Seiten nahezu gleichzeitig in Angriff genommen und verfolgt worden war. Zu entscheiden, wem die Priorität der Idee zustehe, das wird wohl unmöglich sein.

Über den Grad der Ausarbeitung des Projektes von Fischer-Rheinau sind die Gutachter weder genau unterrichtet, noch auch um ihre Ansicht über dieses Projekt gefragt.

Sicher dürfte dagegen sein, daß Herr Professor Rehbock früher als die Großh. Generaldirektion ein greifbares Projekt zeichnerisch vollendet hatte. Dieses brachte die Großh. Generaldirektion durch Kaufvertrag vom 15./17./20. Juni 1907 in ihren Besitz, der auch die Rechte von E. Holtzmann & Co. berücksichtigt. Dasselbe zeigt in manchem gleiche Grundzüge wie das der Generaldirektion.

Gleichmäßig in den beiden Entwürfen finden sich das Murgwehr bei Schönmünzach, die beiden Talsperren Raumünzach und Schwarzenbach, die Einleitung von Raumünzachwasser in den Murgstollen, die Lage des Krafthauses, das Ausgleichbecken unterhalb desselben, also wesentliche Punkte.

Dagegen unterscheidet sich das im April 1907 angebotene und im Juni 1907 gekaufte Projekt „R" 1909 von dem Entwurf der Generaldirektion auch in ebenso wesentlichen Punkten.

Das Projekt „R" 1909 sah kein Sammelbecken am Murgwehr bei Schönmünzach vor, dagegen die hydraulische Aufspeicherung der augenblicklich überschüssigen Kraft durch ein elektrisch betriebenes Pumpwerk. Der Murgstollen lag nicht unter Druck. Die Talsperren waren nach Projekt „R" nicht auf gleicher Höhe angeordnet, ohne Verbindungsstollen, dazu mit zweistufiger Ausnützung des Raumünzachwassers bis zum Oberwasser des Murgstollens. Das Projekt „R" hatte eine andere Lage der Wasserschlösser, andere Rohrführungen und andere Turbinenanordnungen im Krafthause.

Die Gutachter halten die hiervon abweichenden Anordnungen im Entwurf „G" der Generaldirektion für wesentlich besser. Es erscheint auch zweckmäßig, daß die Generaldirektion die Erstellung des Rehbockschen Gausbachwerkes einstweilen ganz außer Betracht gelassen hat, eines Baues, der später jederzeit noch ausführbar ist und dessen vorläufiges Wegbleiben die Sachlage vereinfacht.

Die Gutachter sind nach alledem der Ansicht, daß die Urheberschaft eines Teiles des jetzigen Projektes, nämlich die Lage der beiden Talsperren, Herrn Oberbaurat Professor Rehbock, die des anderen Teiles, Sammelbecken, Verbindung beider Talsperren, jetzige Lage der Wasserschlösser und Rohrführungen, die Zentralisierung des Betriebes, Anordnung des Krafthauses, unteres Ausgleichbecken mit anschließendem Kraftwerk bei der Heiligensäge, der Großh. Generaldirektion zuzusprechen ist (die sogen. Variante II, Verbindungsstollen Raumünzach-Schwarzenbach mit Wegfall der Nebenkraftwerke im Raumünzachtal, ist von der Generaldirektion angegeben und in deren Auftrag von Professor Rehbock ausgearbeitet).

Auf Grund des vorliegenden Vertrages vom 15./17./20. Juni 1907 können die Gutachter keinen Anspruch des Herrn Oberbaurat Professor Rehbock auf Mitwirkung bei Änderungen anerkennen, und zwar weder auf tatsächliche, zeichnerische usw. Mitwirkung noch auf maßgebende Stimme gegenüber weiteren, von der Großh. Generaldirektion durchgeführten oder beabsichtigten Änderungen, da Herr Professor Rehbock seine Rechte am Projekt verkauft hat, über die Kaufsumme auch kein Streit vorliegt.

Mai 1910.

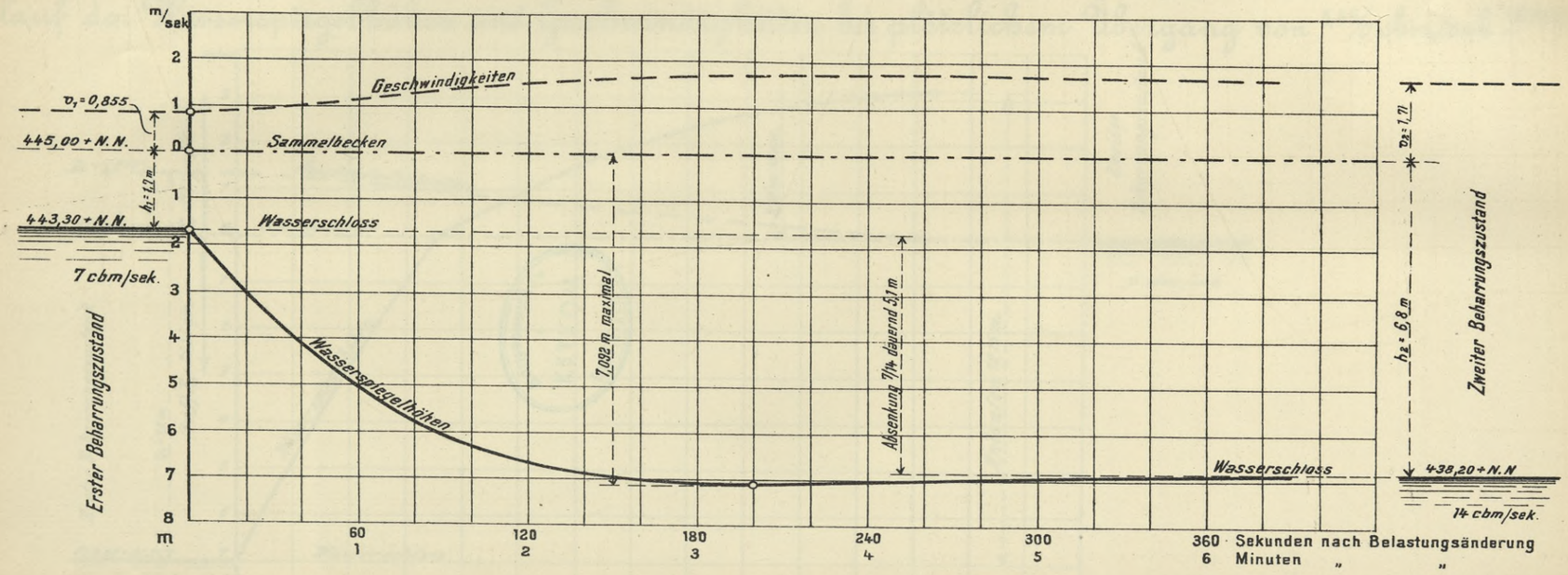
Darmstadt.	München.	Zürich.
(gez.) **Pfarr.**	(gez.) **Schmick.**	(gez.) **Peter.**

Murgstollenwerk.

Stollenquerschnitt: $F_s = 8,2$ qm
Stollenlänge von Raumünzach-Wehr bis Schloss: $l = 3150$ m
Wasserschlossquerschnitt (12 m ⌀): $F_w = 113,1$ qm

Beilage 1.

Verlauf der Wasserspiegelhöhen und Geschwindigkeiten bei plötzlichem Übergang von 7/14 cbm/sek = 10500/21000 P.S.e.

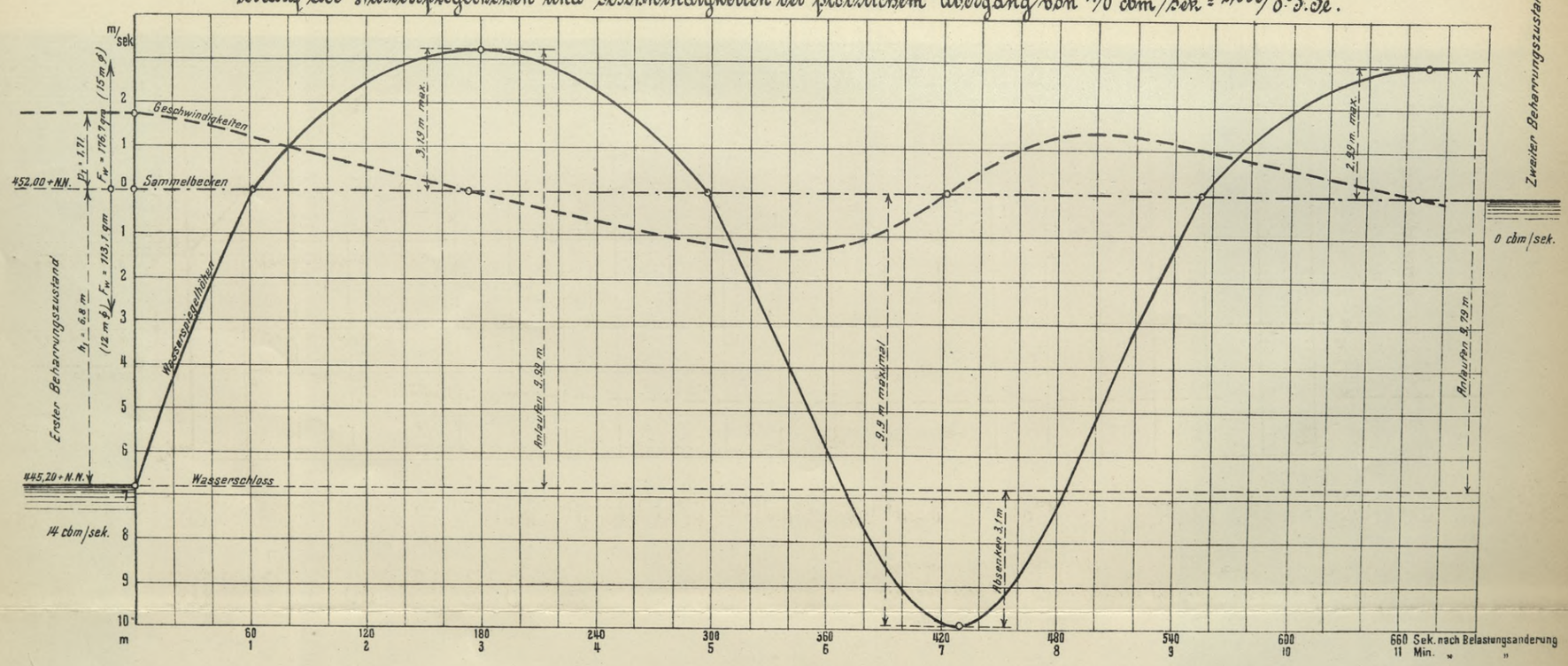


Murgstollenwerk.

Stollenquerschnitt: $F_s = 8,2$ qm
Stollenlänge von Raumünzach-Wehr bis Schloss: $l = 3150$ m
Wasserschlossquerschnitte: (12 m ⌀) $F_w = 113,1$ qm (15 m ⌀) $F_w = 176,7$ qm.

Beilage 2.

Verlauf der Wasserspiegelhöhen und Geschwindigkeiten bei plötzlichem Übergang von 14/0 cbm/sek = 21000/0 P.S.e.

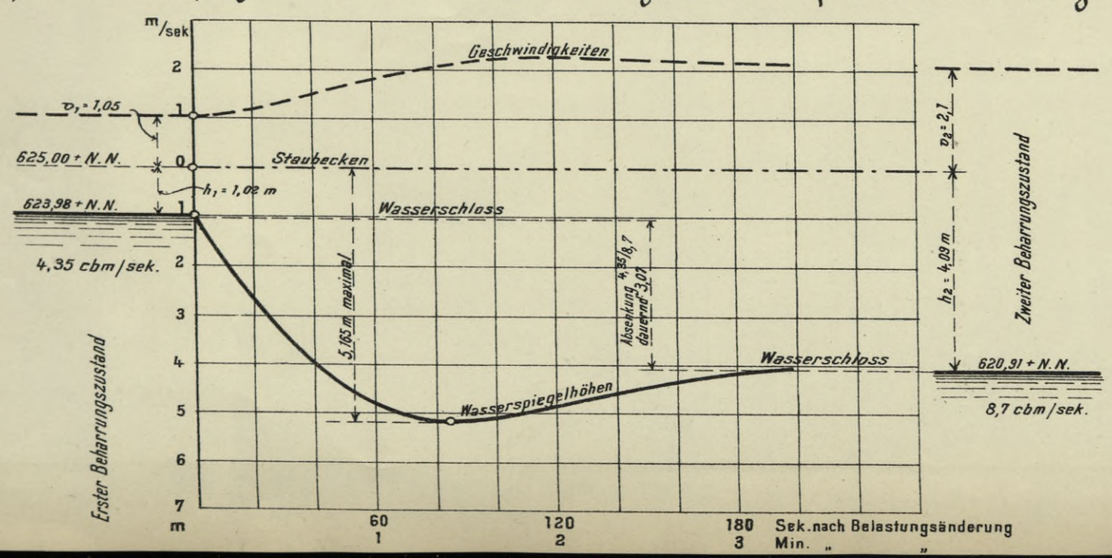


Schwarzenbachstollen.

Stollenquerschnitt: $F_s = 4,15$ qm
Stollenlänge: $l = 1400$ m
Wasserschlossquerschnitt (8 m ⌀): $F_w = 50,26$ qm

Beilage 3.

Verlauf der Wasserspiegelhöhen und Geschwindigkeiten bei plötzlichem Übergang von 4,35/8,7 cbm/sek = 15000/30000 P.S.e.

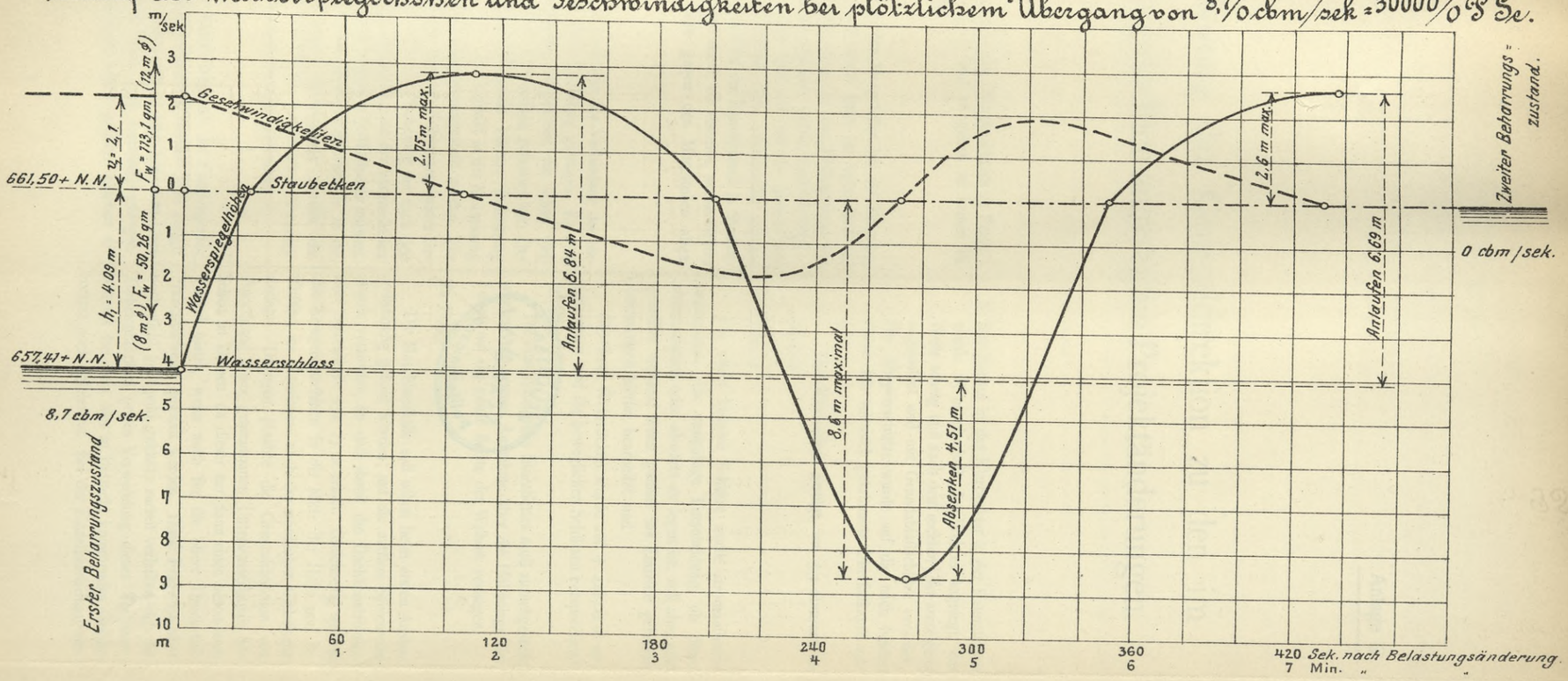


Schwarzenbachstollen.

Stollenquerschnitt: F_s = 4,15 qm
Stollenlänge: l = 1400 m
Wasserschlossquerschnitte: (8 m ⌀) F_w = 50,26 qm; (12 m ⌀) F_w = 113,1 qm

Beilage 4.

Verlauf der Wasserspiegelhöhen und Geschwindigkeiten bei plötzlichem Übergang von 8,7 % cbm/sek = 30000 % PSe.

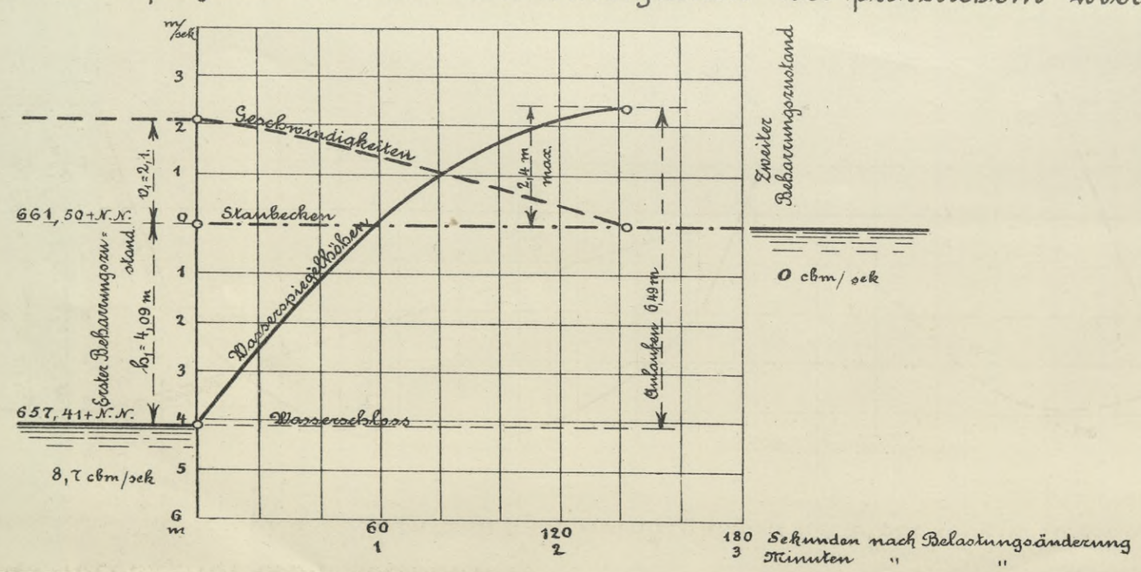


Schwarzenbachstollen.

Stollenquerschnitt: F_s = 4,15 qm
Stollenlänge: l = 1400 m.
Wasserschlossquerschnitt (12 m ⌀ durchweg) F_w = 113,1 qm durchweg.

Beilage 5.

Verlauf der Wasserspiegelhöhen und Geschwindigkeiten bei plötzlichem Übergang von 8,7 % cbm/sek = 30000 % PSe

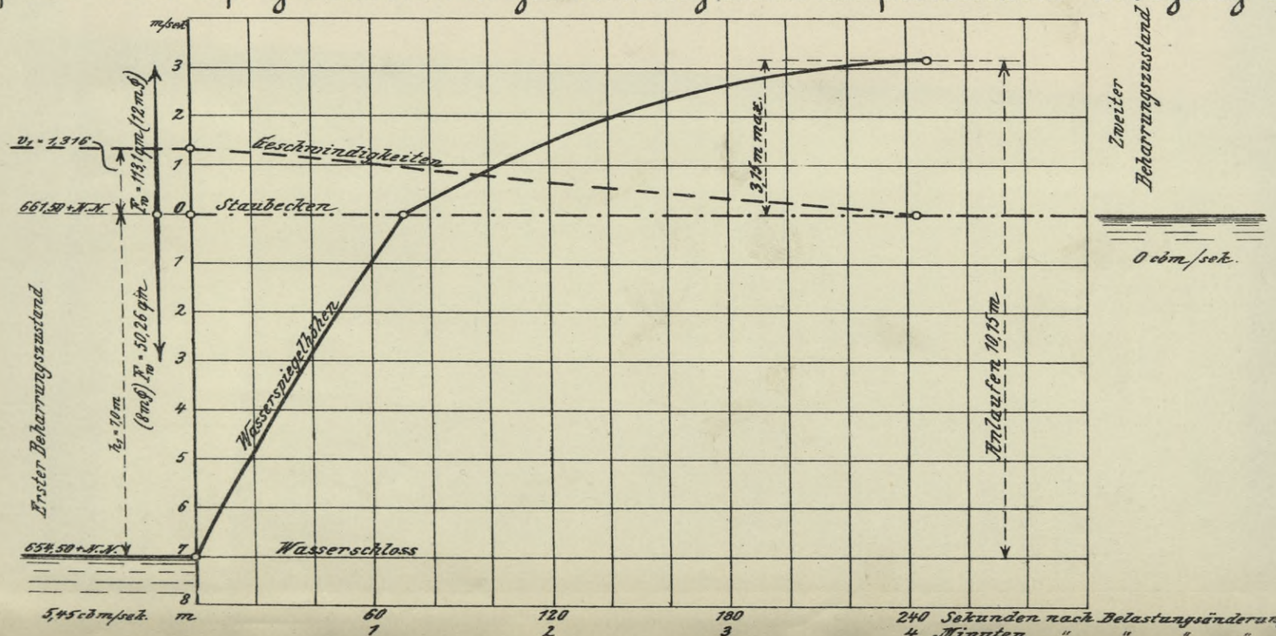


Raumünzachstollen allein.

Stollenquerschnitt: F_s = 4,15 qm
Stollenlänge. l = 6095 m
Wasserschlossquerschnitte: (8 m ⌀) F_w = 50,26 qm; (12 m ⌀) F_w = 113,1 qm.

Beilage 6

Verlauf der Wasserspiegelhöhen und Geschwindigkeiten bei plötzlichem Übergang von 5,45 % cbm/sek = 18000 % PSe



Anlage B.

Äuſserung der Generaldirektion zu den im Obergutachten angeregten Projektänderungen.

Die Ausführungen des Obergutachtens zu Frage 1, 3, 4, 5, 7, 10, 12, 15 und 16 geben zu keinen Bemerkungen Anlaß.

Zu Frage 2.

Der Vorschlag, den Murgstollen bei der Kreuzung mit der Raumünzach etwas tiefer zu legen, und den Einfallschacht durch einen in der Flußrichtung einmündenden Kanal zu ersetzen, wurde berücksichtigt.

Ein Fensterstollen läßt sich bei der Einmündung des Kanals in den Stollen nicht zweckmäßig anlegen. Dieser ist am rechten Ufer der Raumünzach in Straßenhöhe vorgesehen und durch ein eisernes, wasserdichtes Tor mit Spülschütze gegen den Murgstollen abgeschlossen.

Zu Frage 6.

Der angeregten Änderung der Verbindung der einzelnen Rohrstücke wurde Rechnung getragen. Es wird eine Muffennietverbindung vorgesehen, die schon vielfach mit gutem Erfolge Verwendung gefunden hat. Der dem Krafthaus zunächstliegende kürzere Rohrstrang beider Gefällstufen soll vom Fixpunkt in der Krümmung aus in der Wagrechten fliegend hergestellt werden. Für den äußeren, wesentlich längeren Rohrstrang beider Gefällstufen glauben wir aber zur Sicherung der nach den Turbinen abgehenden Rohrstutzen an der vorgesehenen Verankerung am unteren Rohrende festhalten zu müssen. Durch Einschaltung einer Kompensationsmuffe in die Mitte der beiden langen Rohrstränge werden die Flanschen der nach den Turbinen führenden Abzweige gegen schädliche Beanspruchungen geschützt.

Zu Frage 8.

a) Die Sohle des Klärbeckens an der Landesgrenze und die Spülschütze desselben wurden tiefer gelegt. Die Auslaufschwelle wurde in einer konkaven Linie gegen die Spülschütze (den Leerlauf) gezogen. Sämtliche Feinrechen haben größere Flächen erhalten.

b) Der Einlauf in das Klärbecken in der Raumünzach wurde 15 m oberhalb des Wehres angelegt, das Wehr schräg und nach dem rechten Ufer ansteigend angeordnet und mit Grundablaßschütze versehen. Die Absperrschütze wurde auf die nach beiden Seiten hin schwach gekrümmte Überfallkante verlegt.

Das Klärbecken genügt, um 3,4 cbm/sec zu reinigen.

Zu Frage 9.

Die obere kleinere Schütze wurde stromaufwärts angeordnet. Die endgültige Entscheidung, ob diese stromaufwärts oder -abwärts zu legen ist, soll aber erst getroffen werden, wenn genaue ins Einzelne gehende Zeichnungen hierfür bearbeitet sind.

Der feste Wehrrücken wurde auf + 442,00 m angenommen und die beweglichen Schützen entsprechend erhöht.

Die Ausbildung des Sturzbettes muß zurückgestellt werden, bis genaue Aufnahme über die Höhenlage der Felsen auf die ganze Breite des Wehres vorliegen.

Zu Frage 11.

Die Maschinenhalle soll schon beim ersten Ausbau vollständig gebaut werden; auf die mittlere Säulenreihe wurde verzichtet, so daß damit die Dachkonstruktion eine Spannweite von 23 m erhält. Gleichzeitig wurden die Erregermaschinen in die Mitte der Halle und die Zufahrt ins Hausinnere nach der nördlichen Giebelseite verlegt. Dagegen glaubte die Generaldirektion von Anordnung eines gemeinsamen Unterwasserkanals absehen zu können, da dieser nur dann einen besonderen Vorteil bietet, wenn auch für die obere Druckstufe Francisturbinen gewählt werden. Diese Frage ist aber noch nicht genügend geklärt; zurzeit verhalten sich die Turbinenfabriken gegen Verwendung dieses Turbinensystems bei dem hier in Betracht kommenden Gefälle vorerst noch ablehnend. Bei der Einzelbearbeitung des

Projektes wird aber diese Frage nochmals eingehend geprüft; auch wird versucht werden, das Transportgleis von der Giebelseite her in die Maschinenhalle einzuführen, was sich durch Verschiebung des Schalthauses gegen die Murg wird ermöglichen lassen. Das Quergleis und die Drehscheibe können dann erspart werden.

Durch die Anlage zweier getrennter Unterwasserkanäle für die beiden Gefällstufen bleibt die Möglichkeit gewahrt, den einen zur Vornahme von Untersuchungen und etwaigen Ausbesserungen ausschalten zu können, während der andere in Betrieb bleiben kann. Es muß also nicht das ganze Werk still gelegt werden, was bei einem gemeinsamen Unterwasserkanal der Fall wäre. Auch hat die angestellte Untersuchung gezeigt, daß durch einen gemeinsamen Unterwasserkanal keine oder wenigstens keine nennenswerte Kostenersparnis eintritt.

Zu Frage 13.

Größte Wasserführung des Murgstollens:

Das gleichzeitige Betreiben aller 6 Murgstollenturbinen mit voller Öffnung wird durch Stellmaschinen an den Regulatoren verhindert werden.

Rohrleitung:

Die Krümmung der Zuleitungsrohre am oberen Ende der Maschinenhalle wurde ermäßigt. Außerdem wurde in jedes Rohr ein Entleerungsschieber eingebaut.

An geeigneten Stellen waren auch bisher schon Mannlöcher vorgesehen.

Ausgleichbecken:

Der Schacht über den Ausgleichturbinen wurde erweitert und darüber ein Laufkran angebracht. Die Rechenanlage wurde nach Vorschlag geändert. Die Regulatoren der Ausgleichturbinen erhalten besondere Einstellvorrichtungen, so daß die Regulatoren nur zur Sicherheit gegen Durchgehen bei Kurzschluß dienen.

Zu Frage 14.

Den Baukosten wurden nachträglich noch die Bauzinsen zugeschlagen und im ersten Ausbau schon die Ausführung des ganzen Maschinenhauses vorgesehen. Die Baukosten und der Einheitspreis der elektrischen Energie hat hierdurch eine Änderung erfahren.

Karlsruhe, im Mai 1910.

Großh. Generaldirektion der Badischen Staatseisenbahnen.

Karten und Zeichnungen.

Gr. Bad. Staatseisenbahnen.

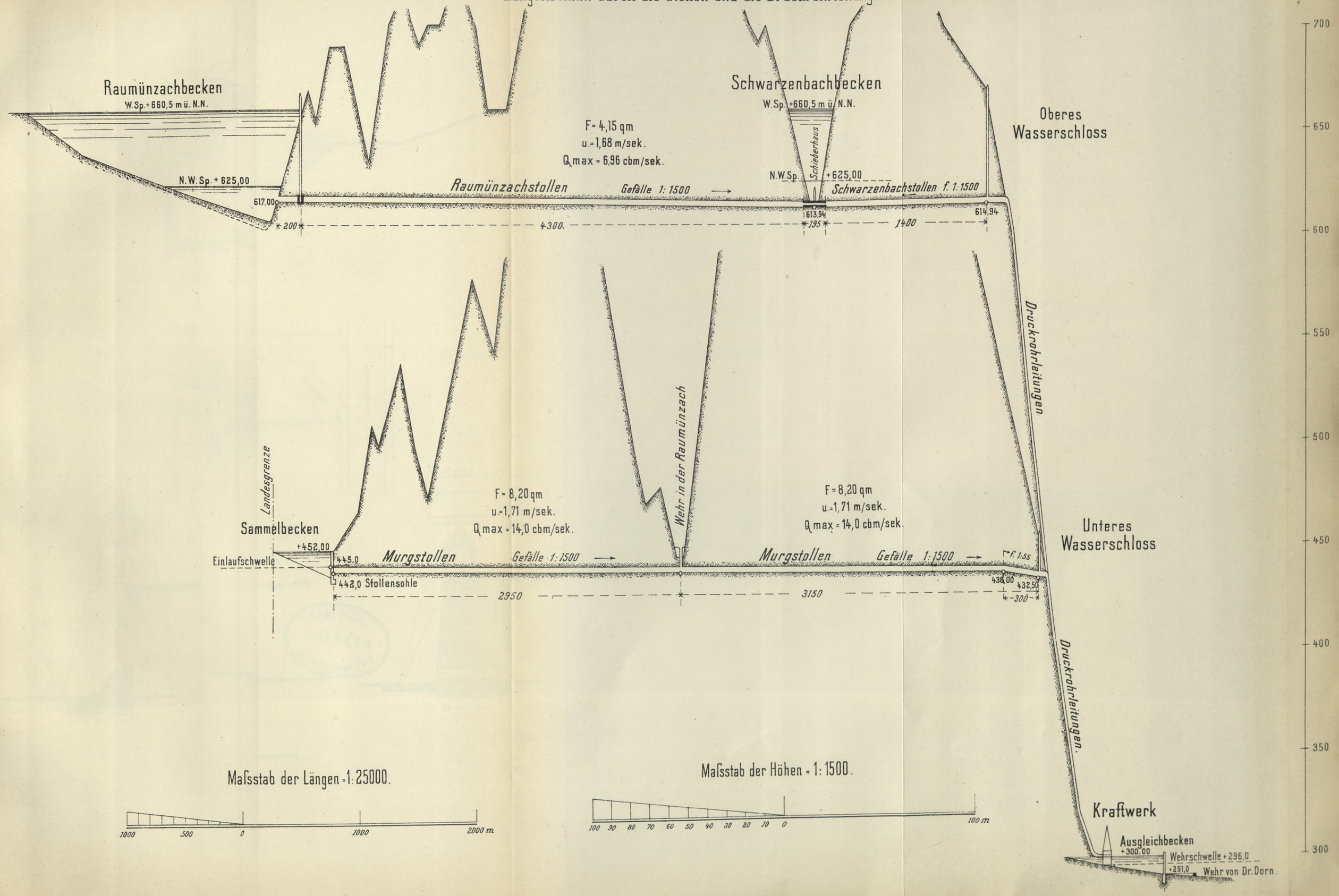
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Lageplan 1:25000 ● Regenmeßstation, ▬ Meßwehre.

Blatt I.

Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

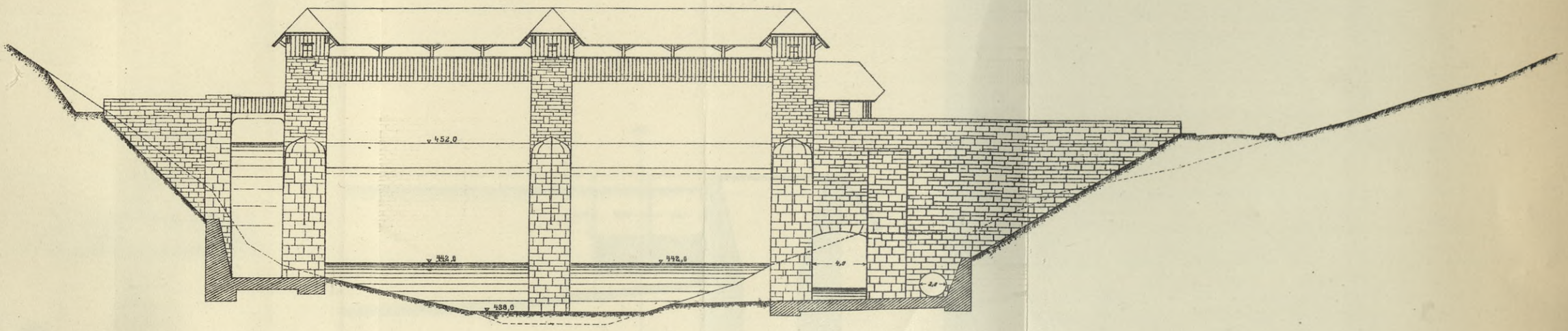
Längenschnitt durch die Stollen und die Druckrohrleitungen.

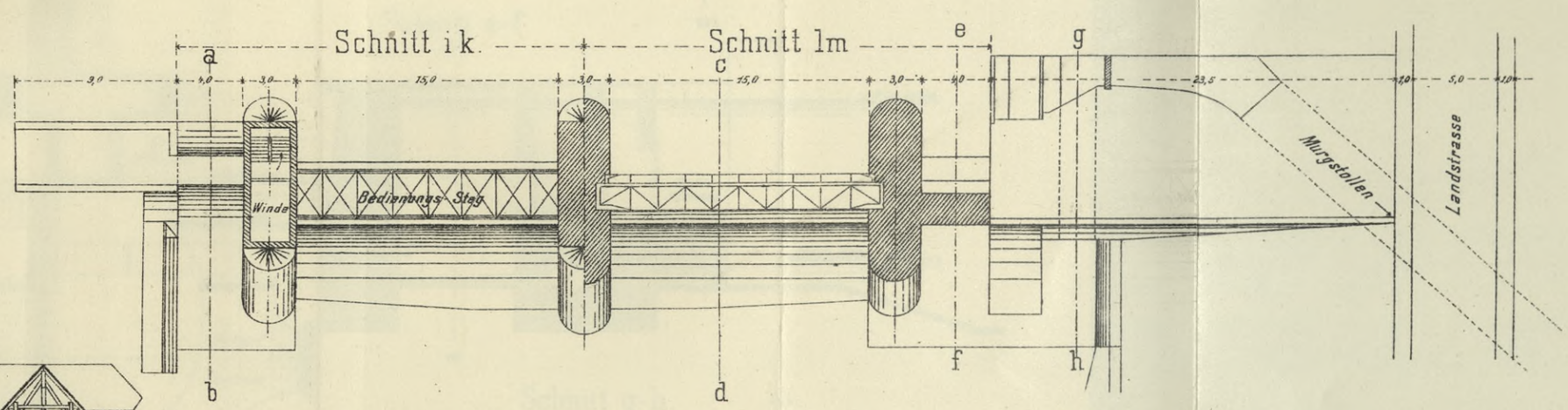


Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

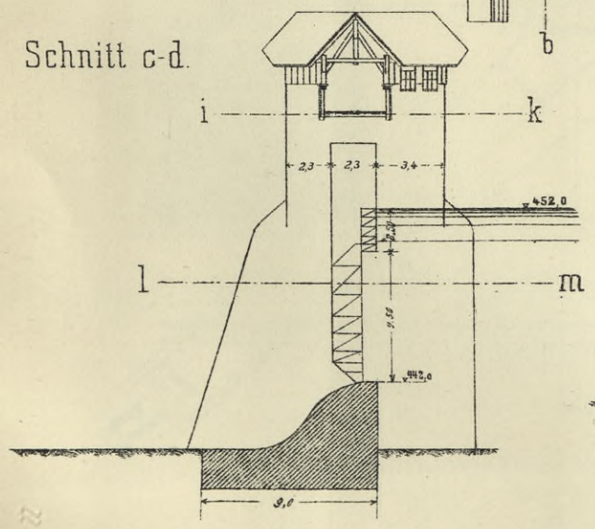
Murgwehr an der Landesgrenze.

Ansicht.

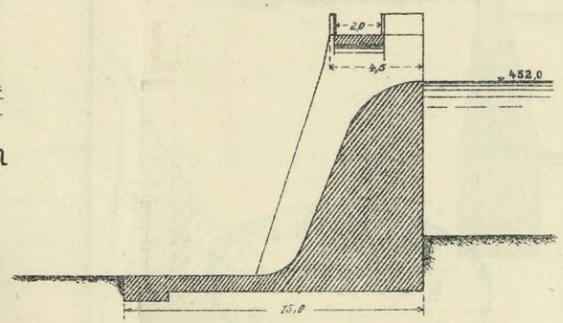




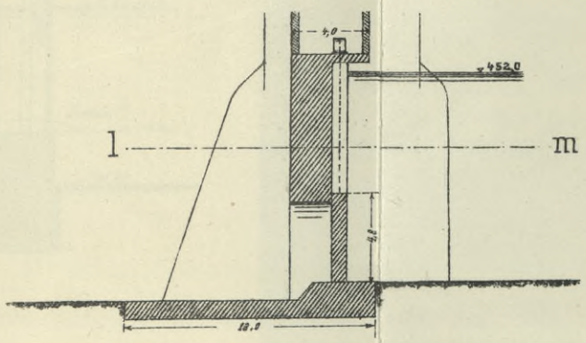
Schnitt c-d.



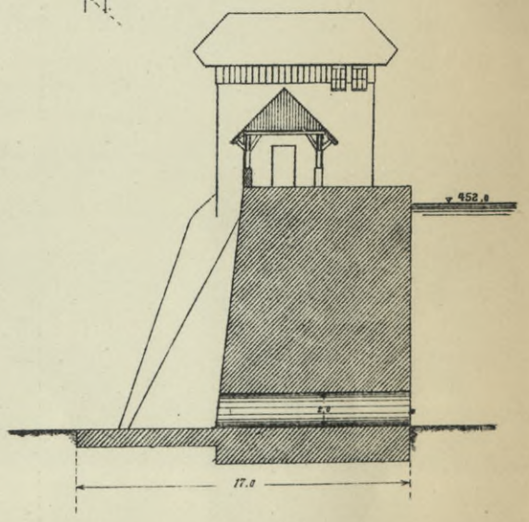
Schnitt a-b



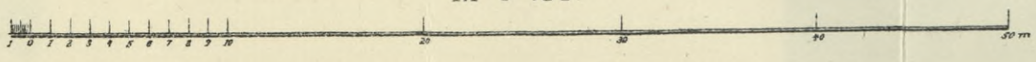
Schnitt e-f.



Schnitt g-h

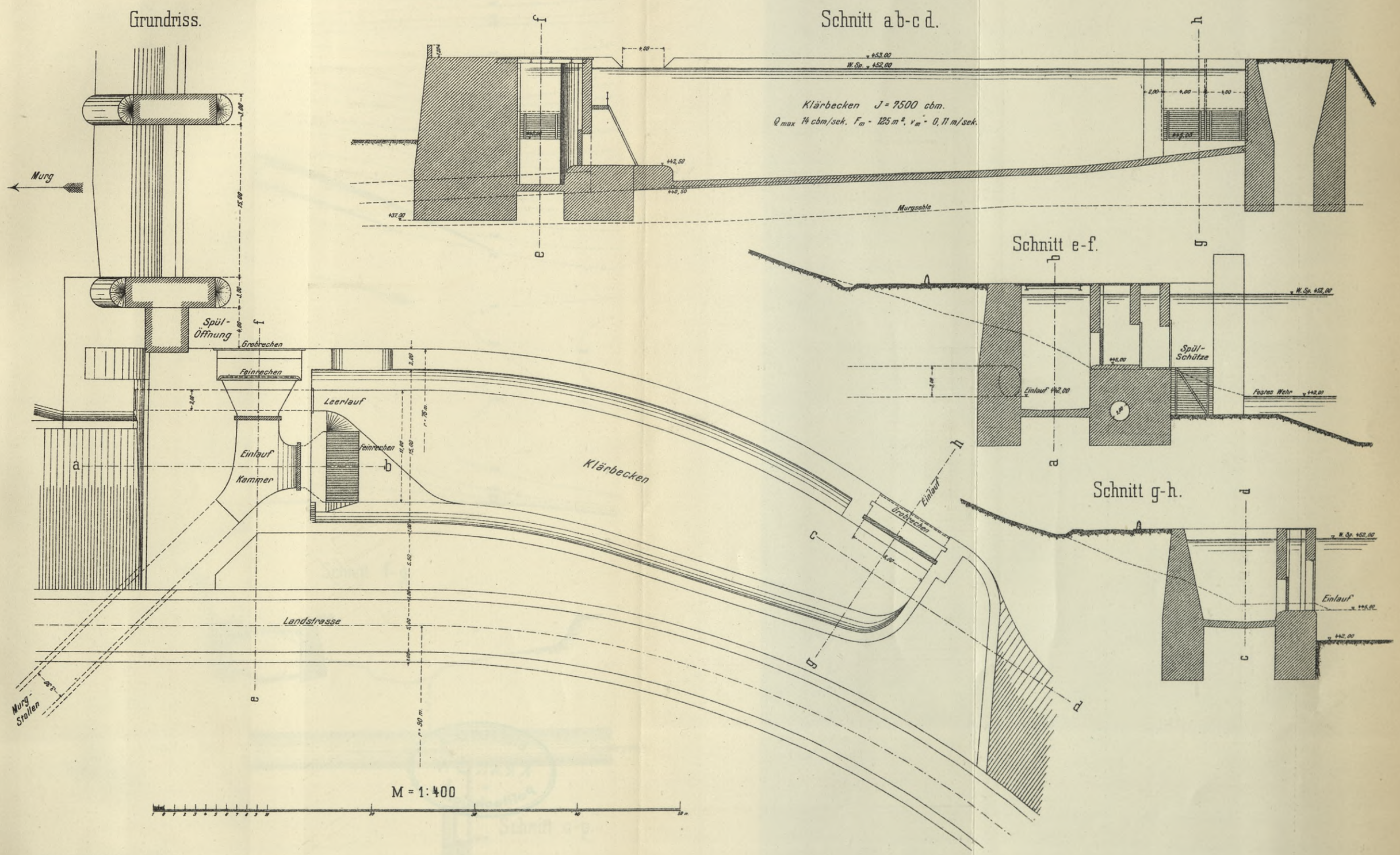


M = 1:400



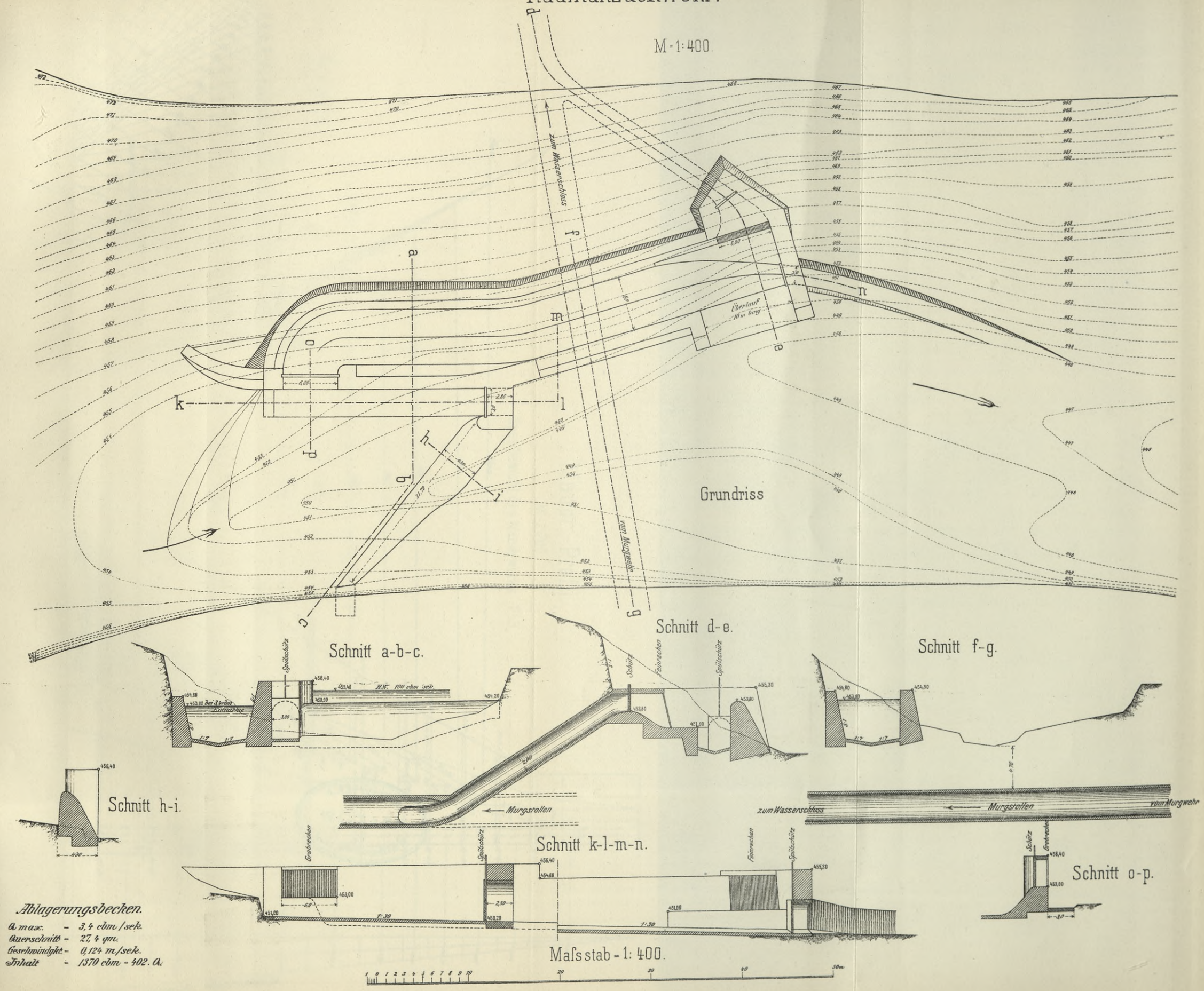
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach

Klärbecken und Stolleneinlauf beim Murgwehr an der Landesgrenze.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

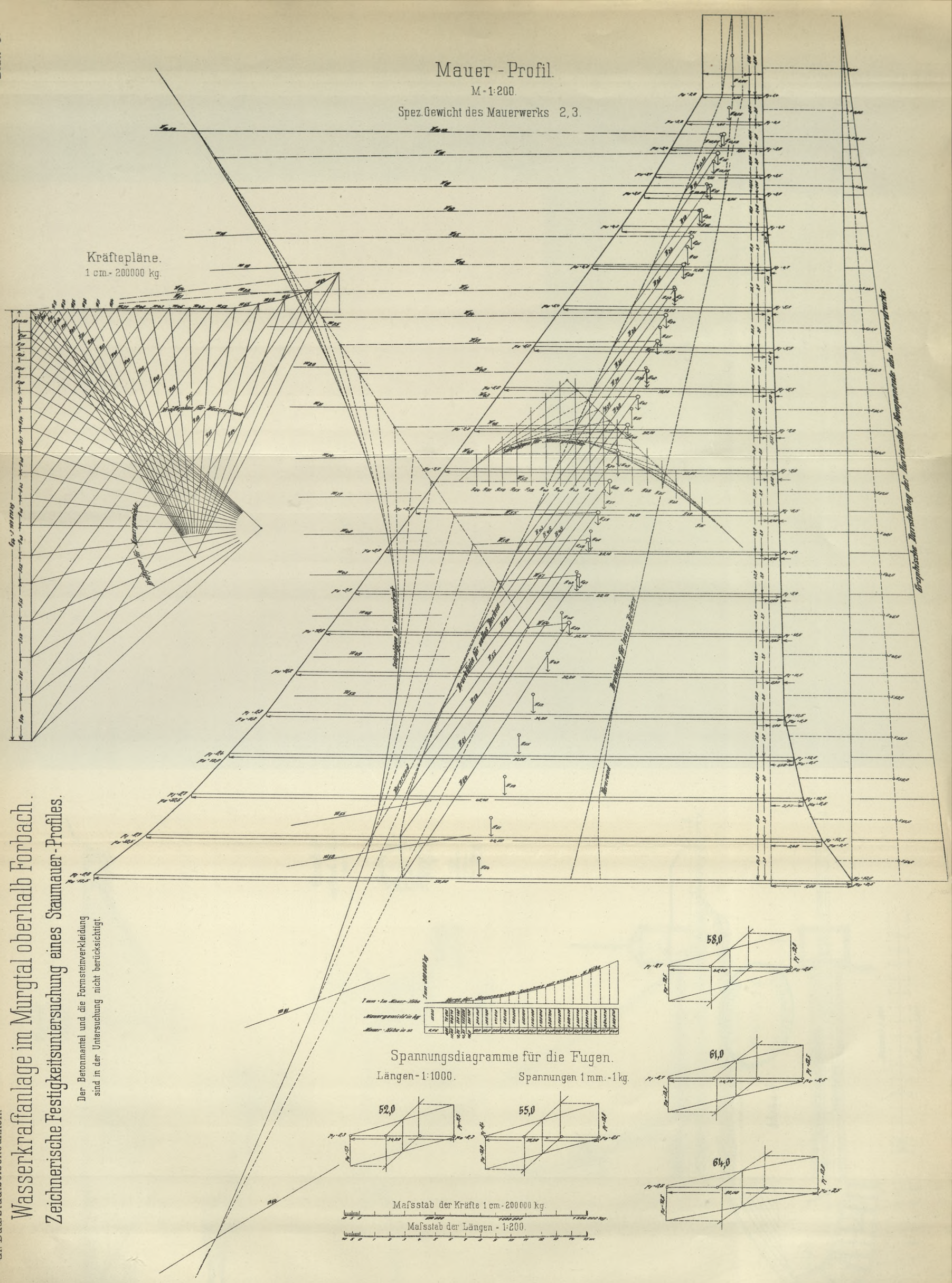
Raumünzachwehr.



Ablagerungsbecken.

Q max.	=	3,4 cbm/sek.
Querschnitt	=	27,4 qm.
Geschwindigkt.	=	0,124 m/sek.
Inhalt	=	1370 cbm = 402. Q.

Blatt 6.



Der Betonmantel und die Formsteinverkleidung sind in der Untersuchung nicht berücksichtigt.

Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

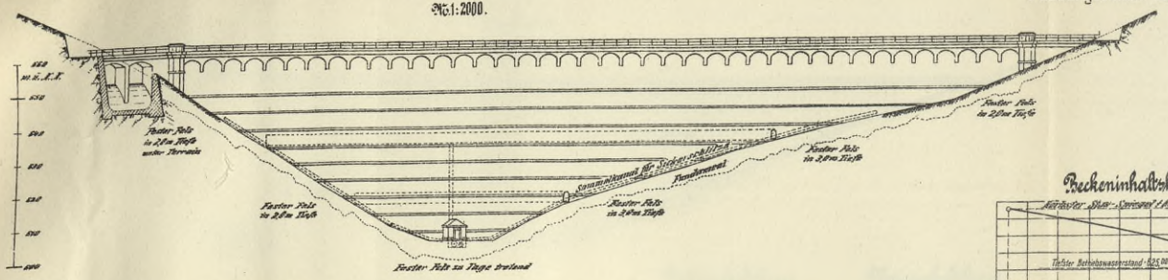
Zeichnerische Festigkeitsuntersuchung eines Staumauer-Profiles.

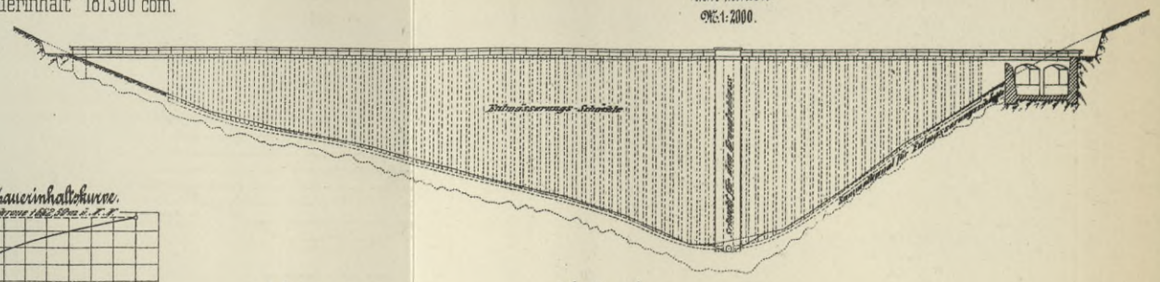
Gr. Bad. Staatseisenbahnen.

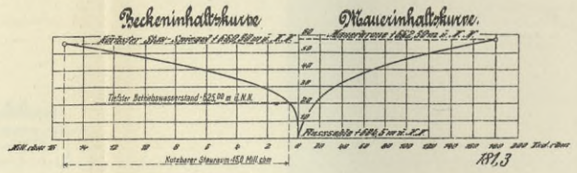
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

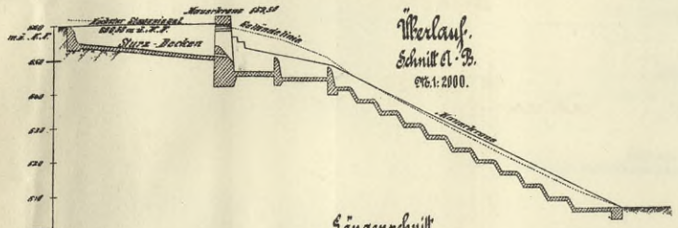
Sperrmauer im Raumünzachtal.

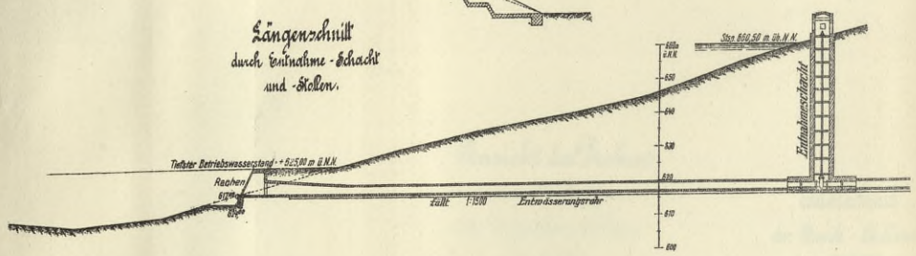
Fassungsraum 15,0 Mill. cbm. Mauerinhalt 181300 cbm.

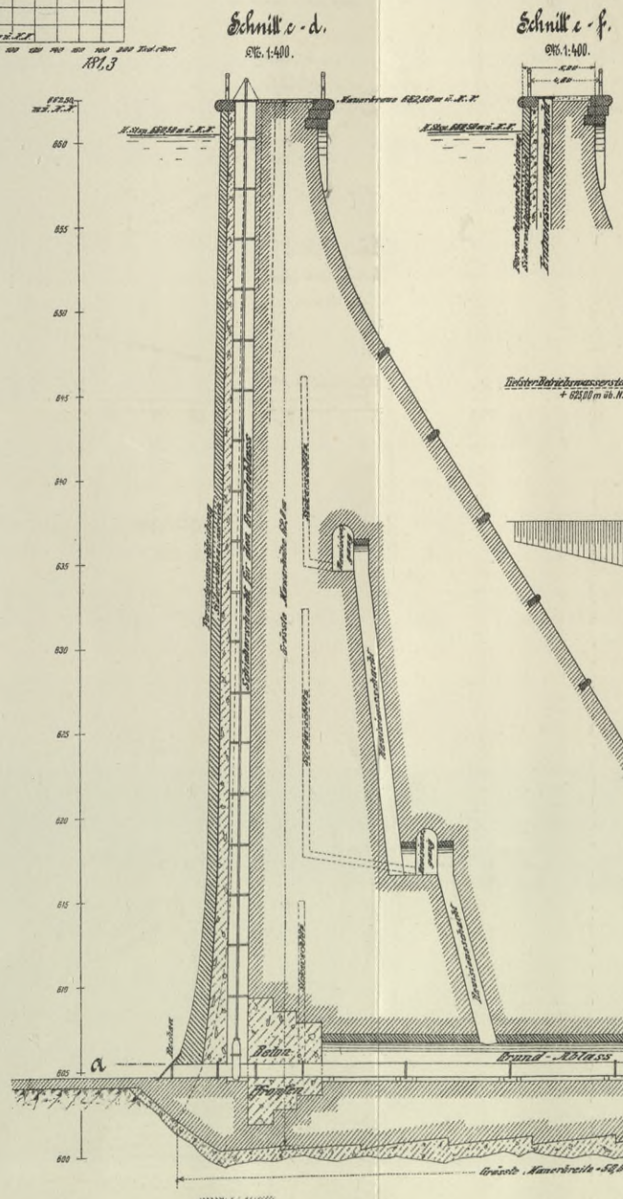


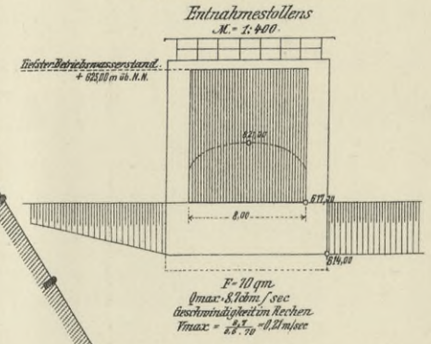


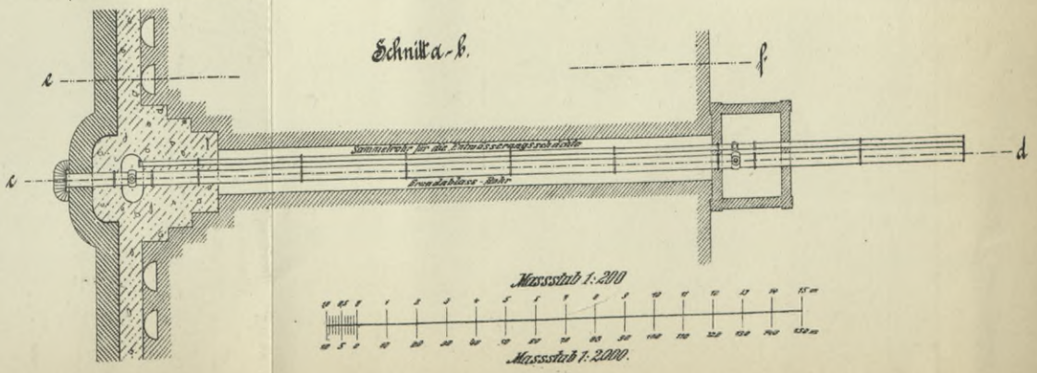


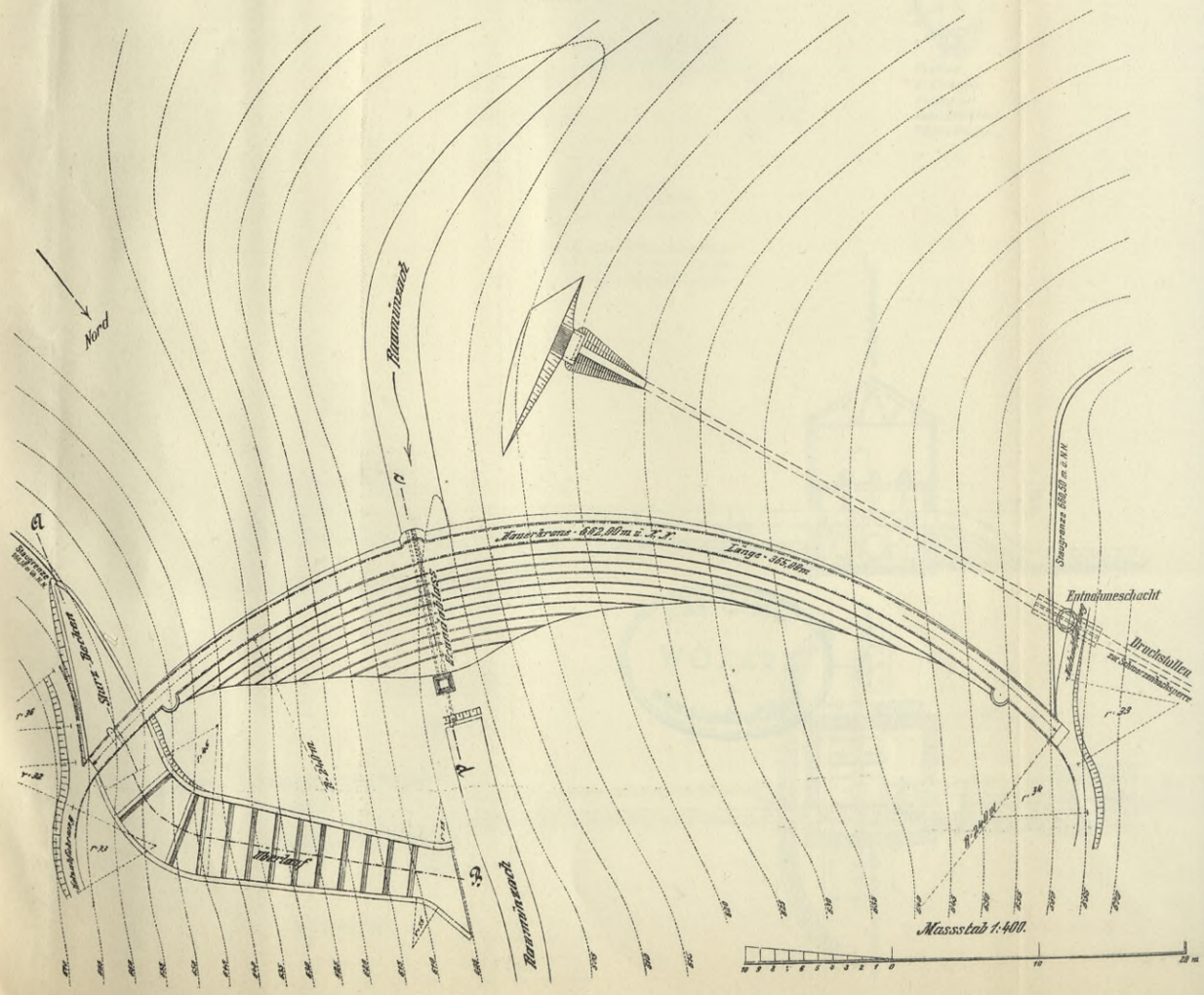








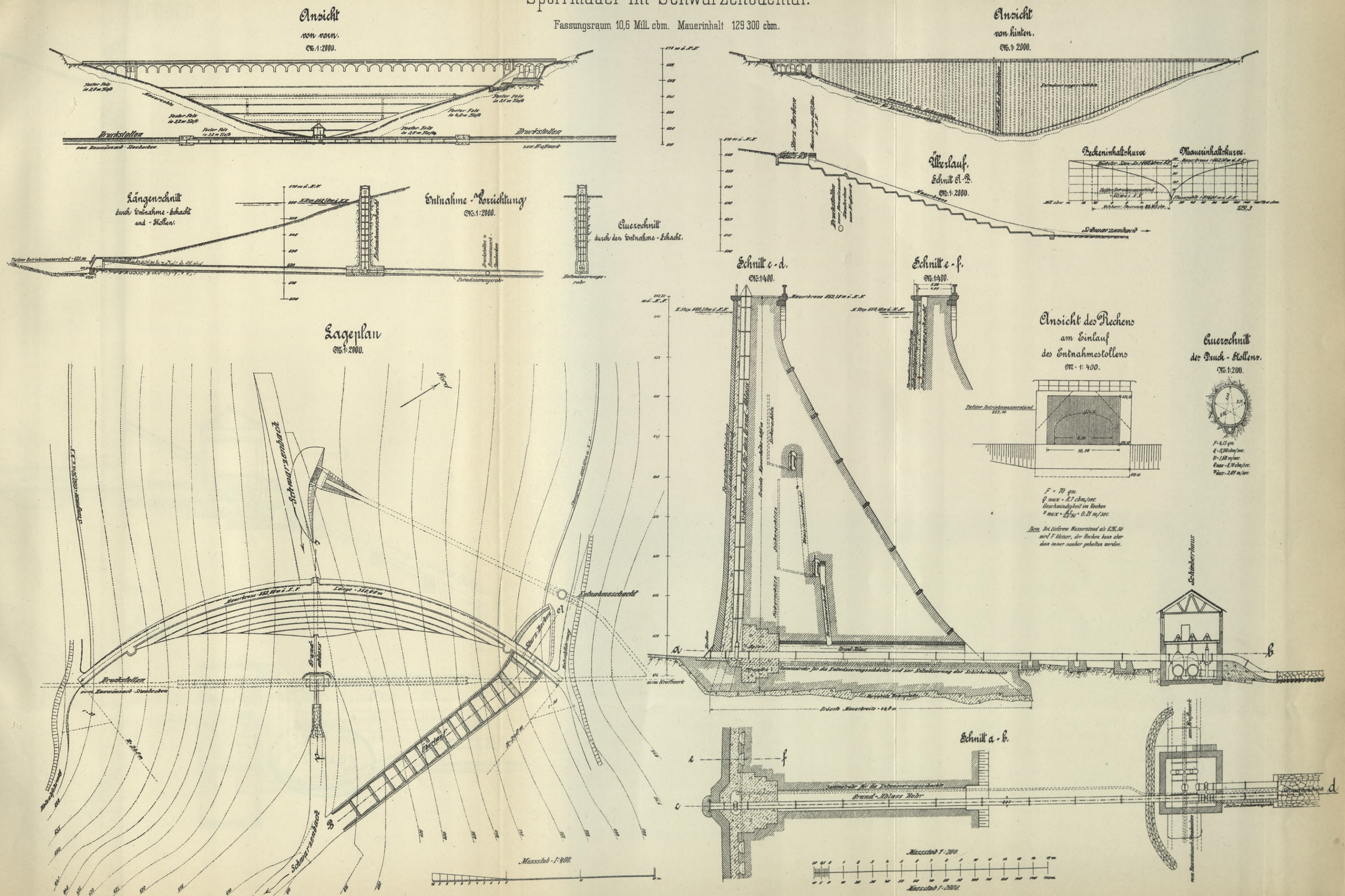




Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Sperrmauer im Schwarzenbachtal.

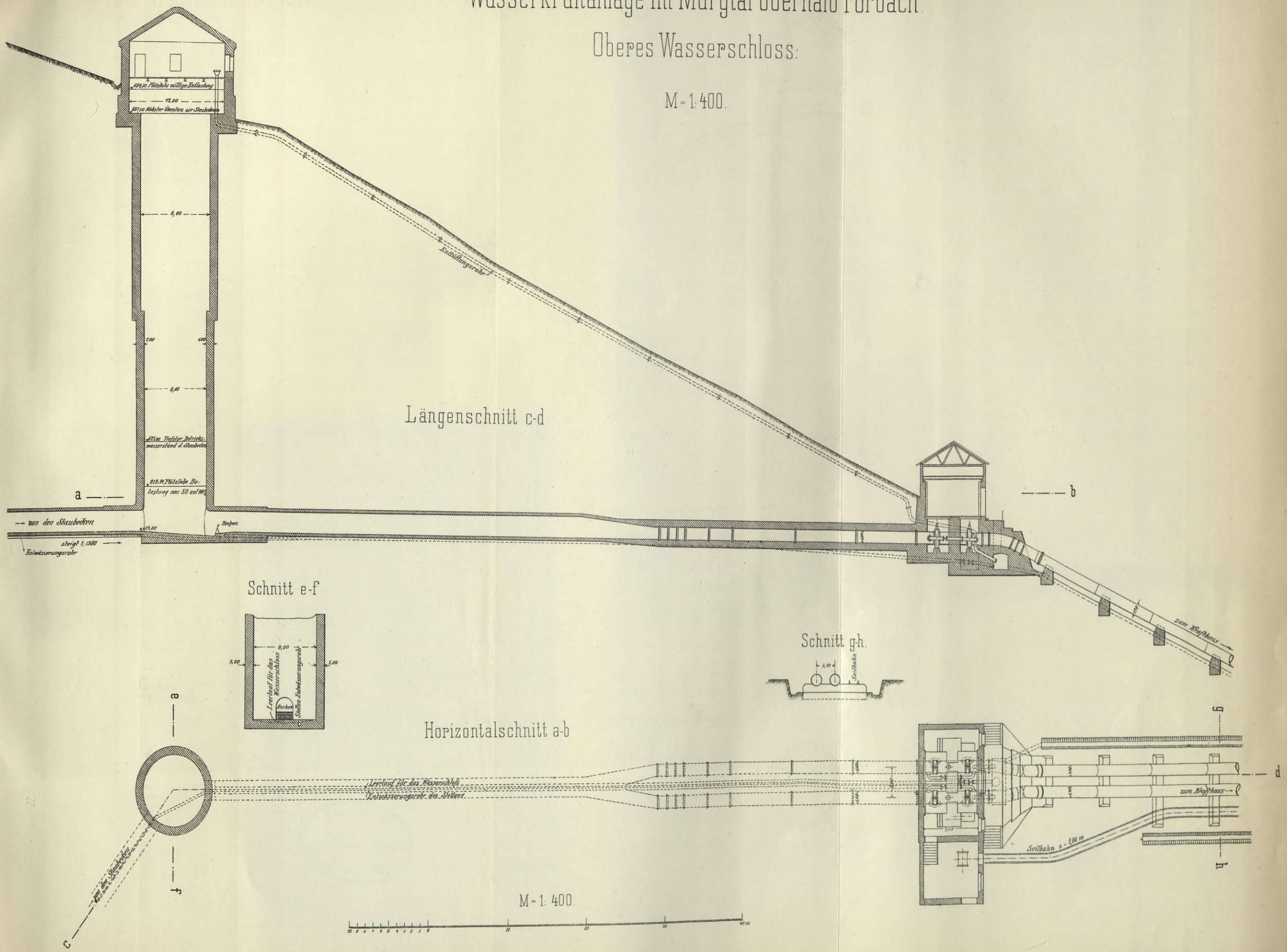
Fassungsraum 10,6 Mill. cbm. Mauerinhalt 129 300 cbm.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Oberes Wasserschloss:

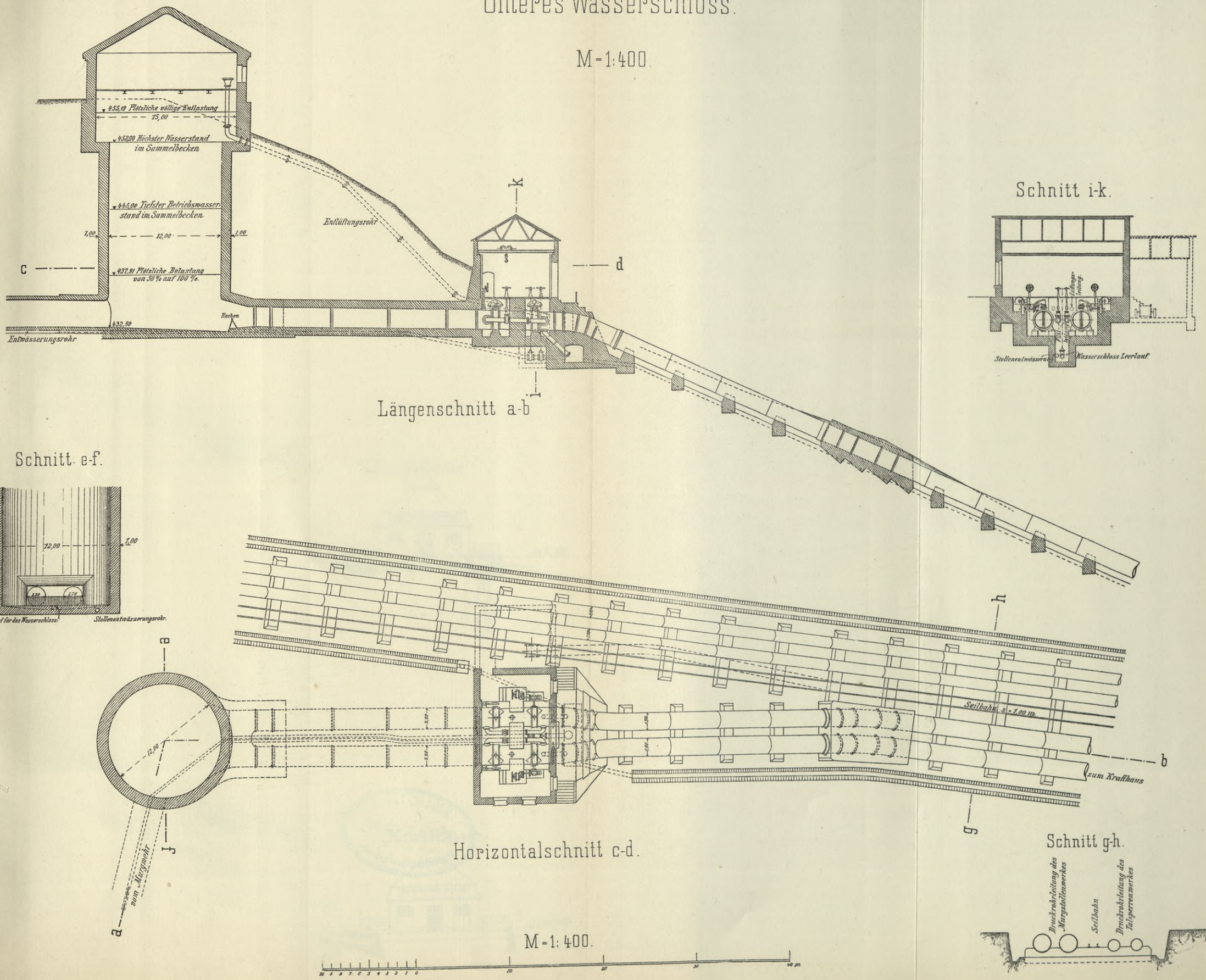
M = 1:400.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Unteres Wasserschloss.

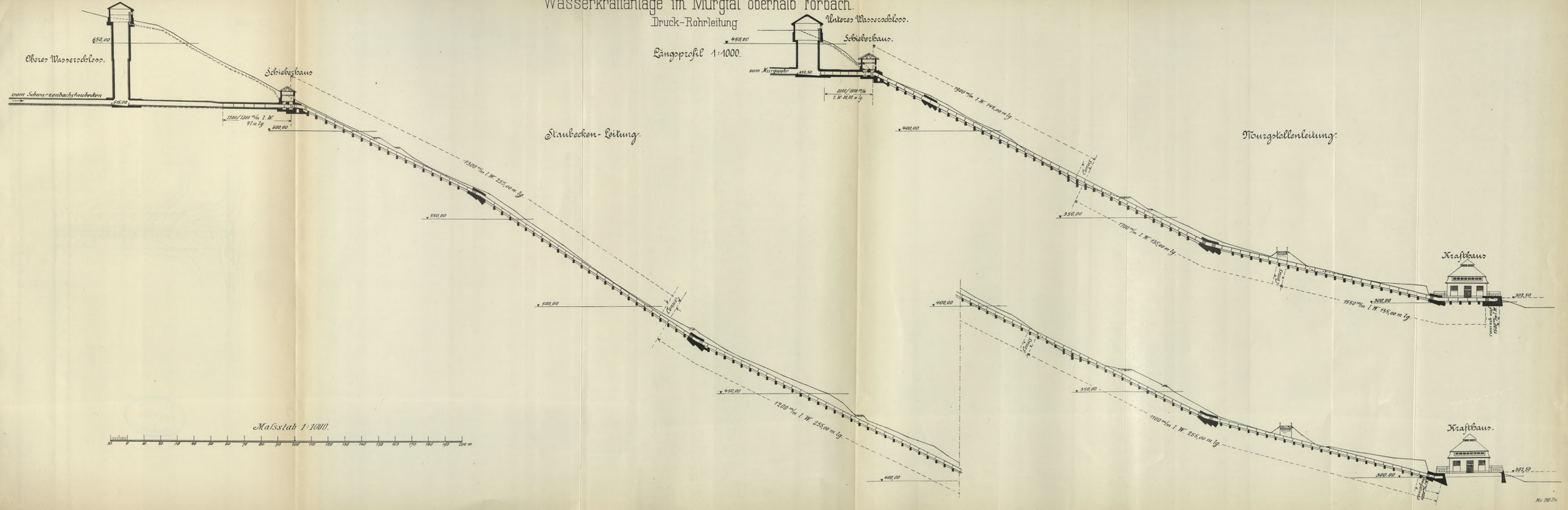
M = 1:400.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Druck-Rohrleitung

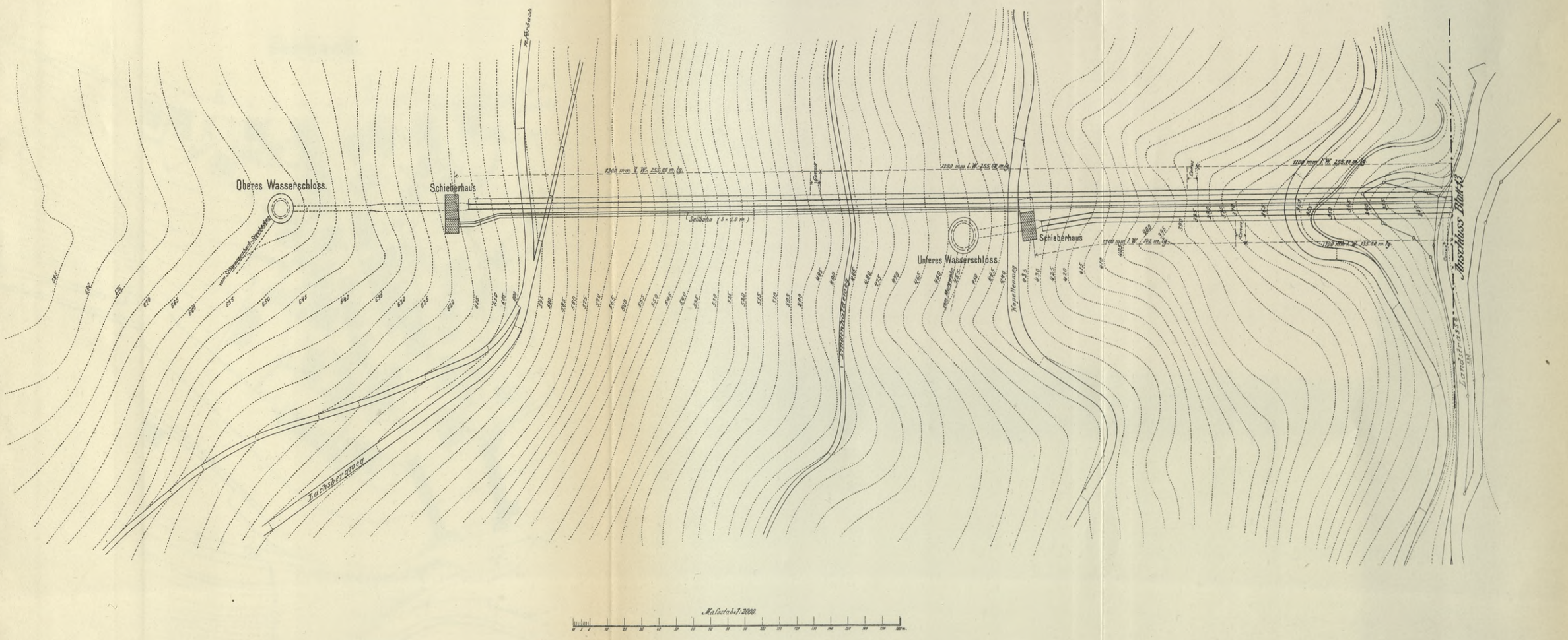
Längsprofil 1:1000.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

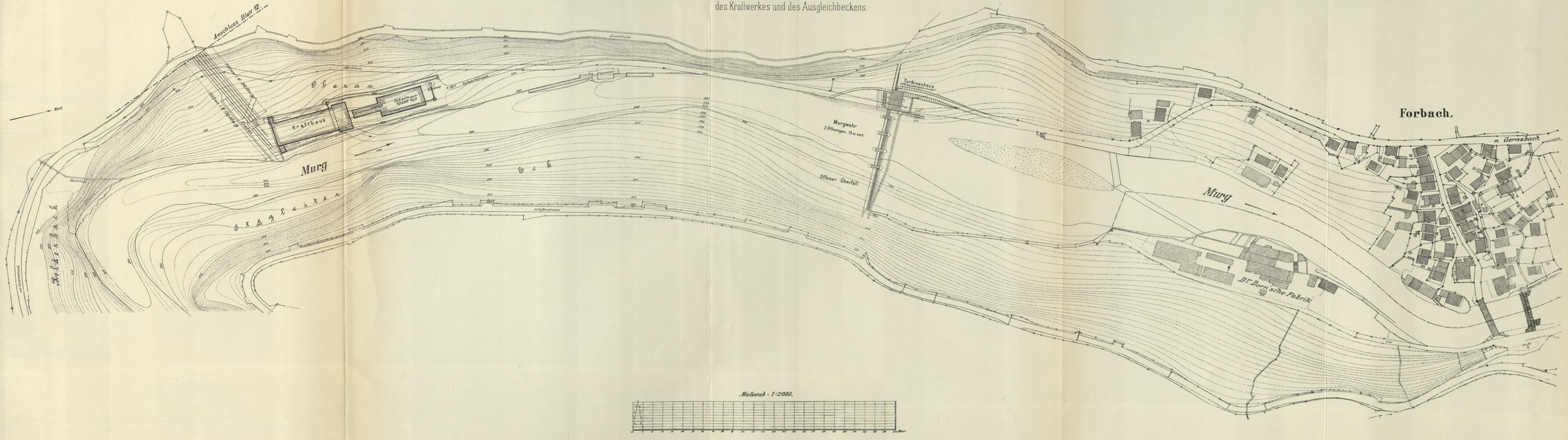
Druck-Rohrleitung.

Lageplan.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

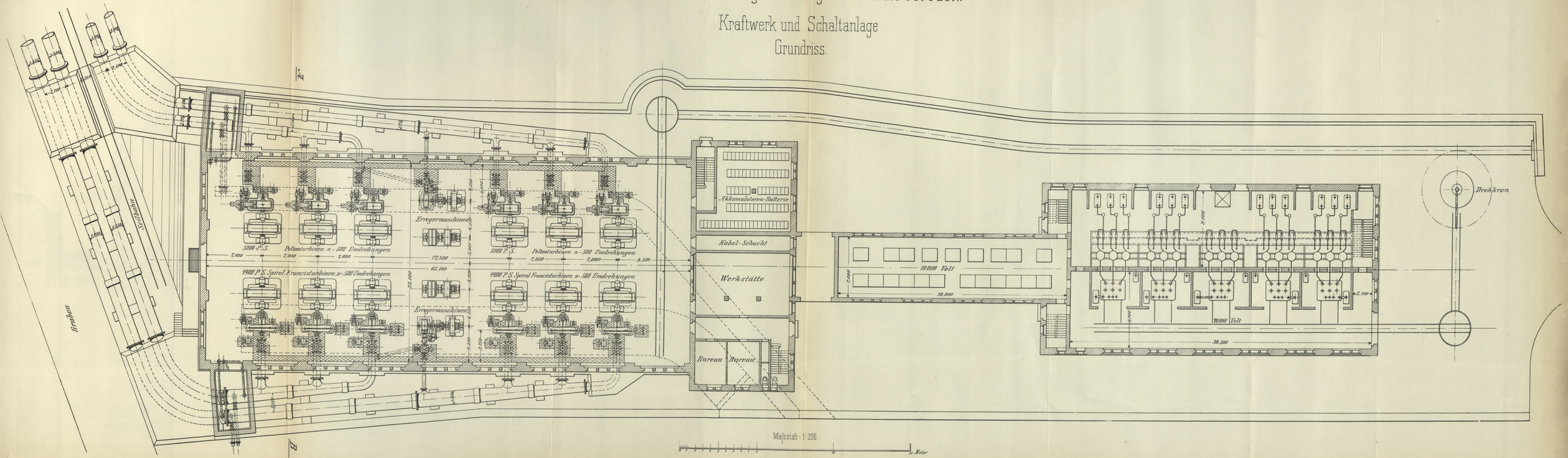
Lageplan
des Kraftwerkes und des Ausgleichbeckens.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

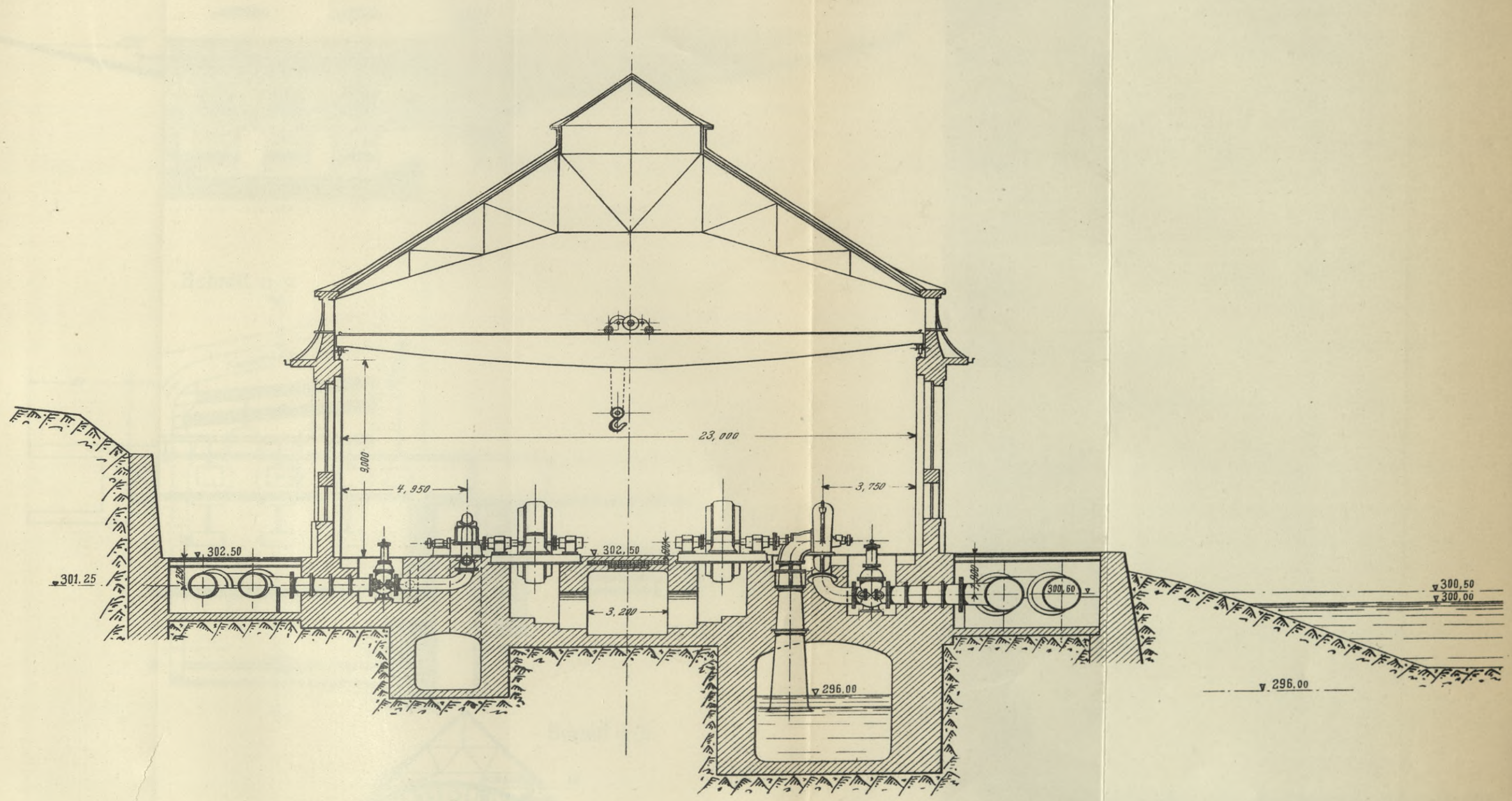
Kraftwerk und Schaltanlage

Grundriss.

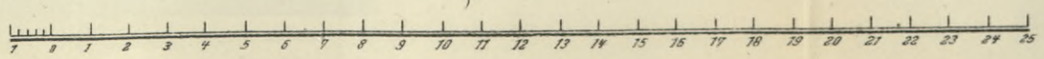


Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach

Kraftwerk
Querschnitt A-B



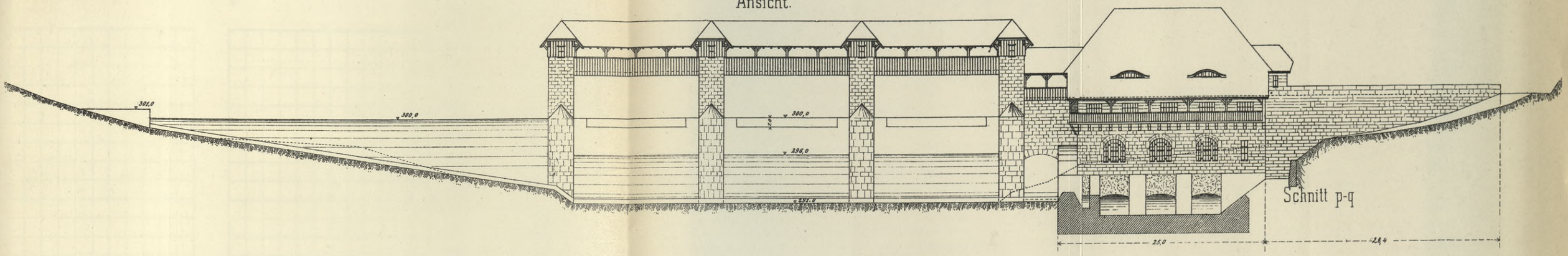
Maßstab - 1:200



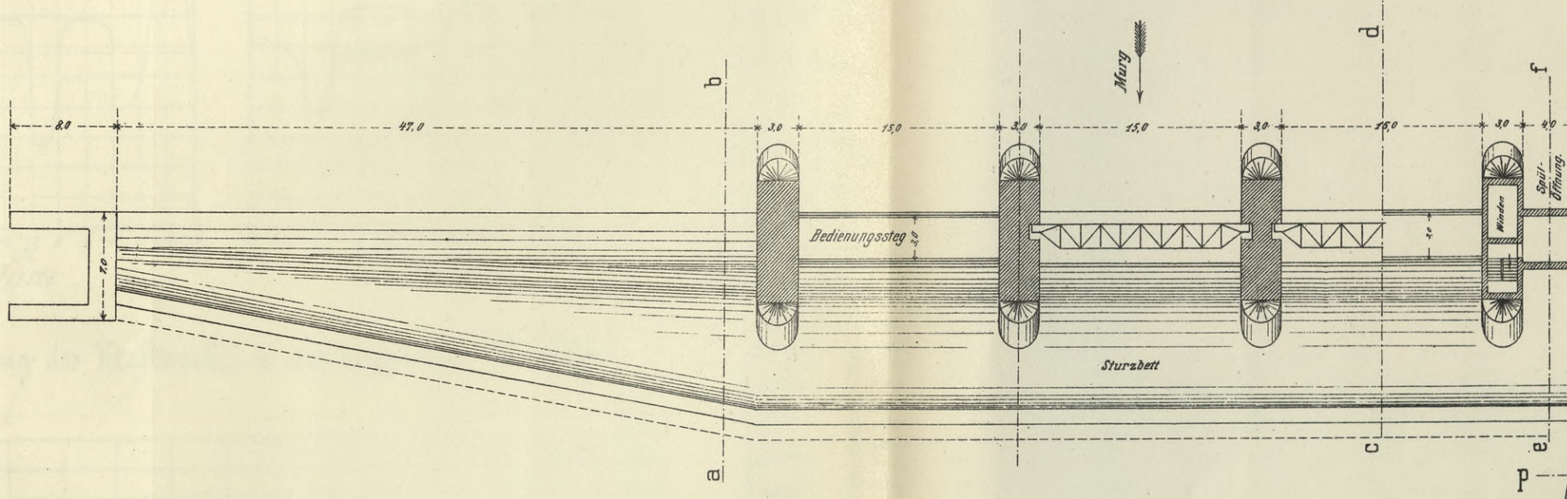
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Murgwehr bei Forbach.

Ansicht.

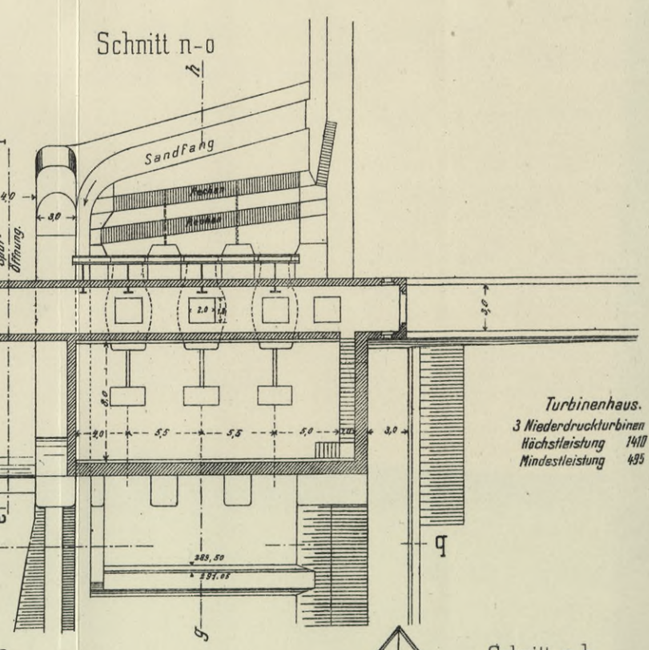


Schnitt i-k



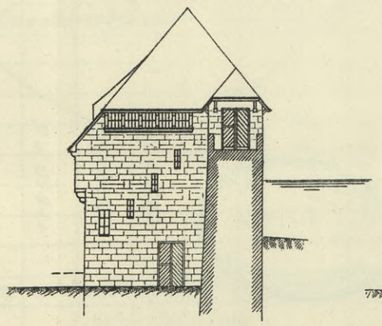
Schnitt l-m

Schnitt n-o

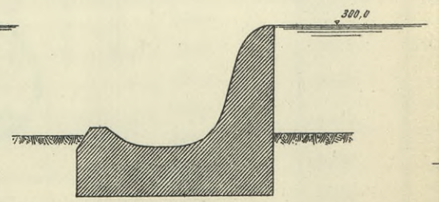


Turbinenhaus.
3 Niederdruckturbinen
Höchstleistung 1410 P.S. (bei 9,0 m)
Mindestleistung 495 „ („ 5,0 m)

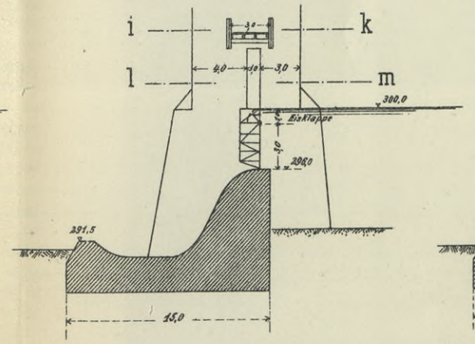
Ansicht des Turbinenhauses von der Uferseite



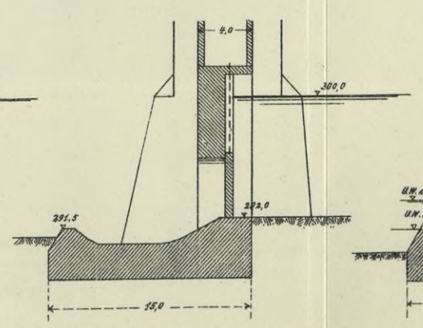
Schnitt a-b



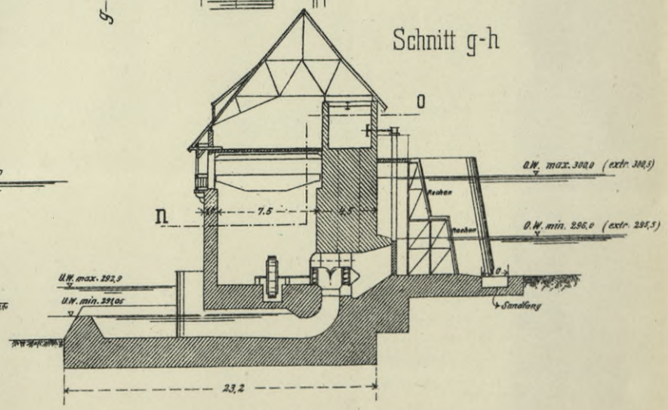
Schnitt c-d



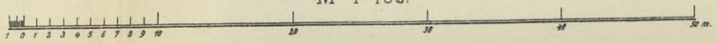
Schnitt e-f



Schnitt g-h

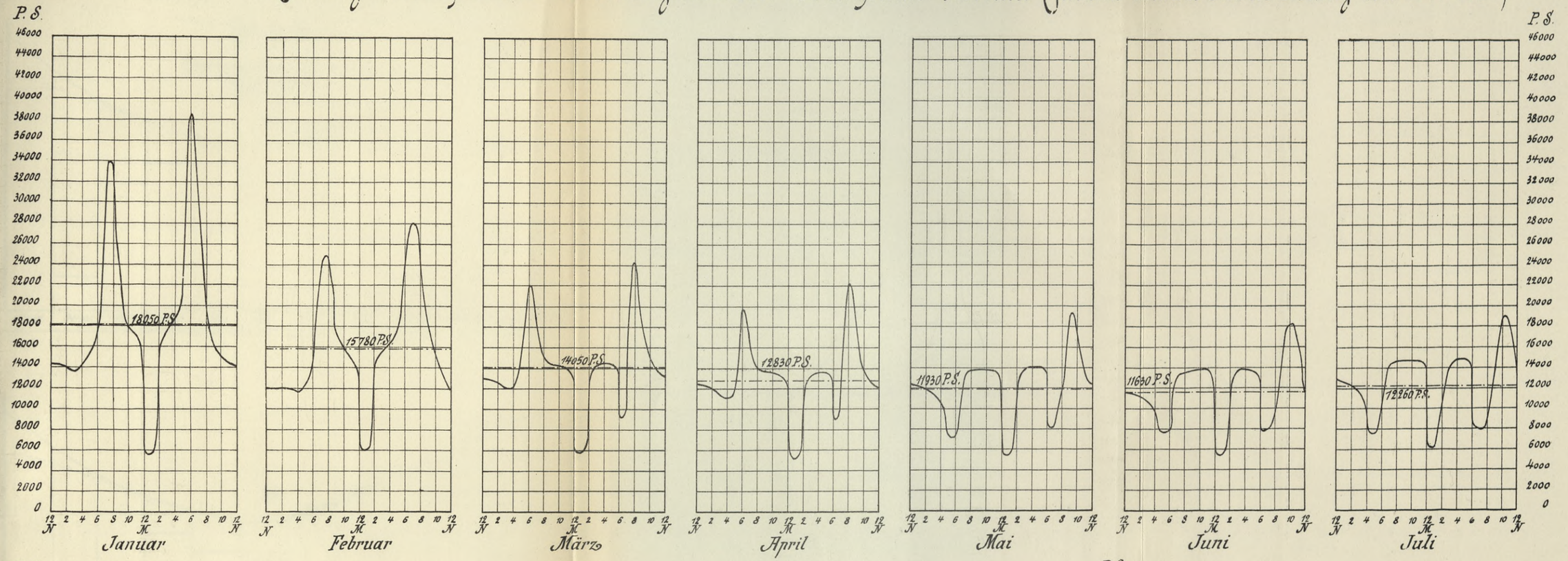


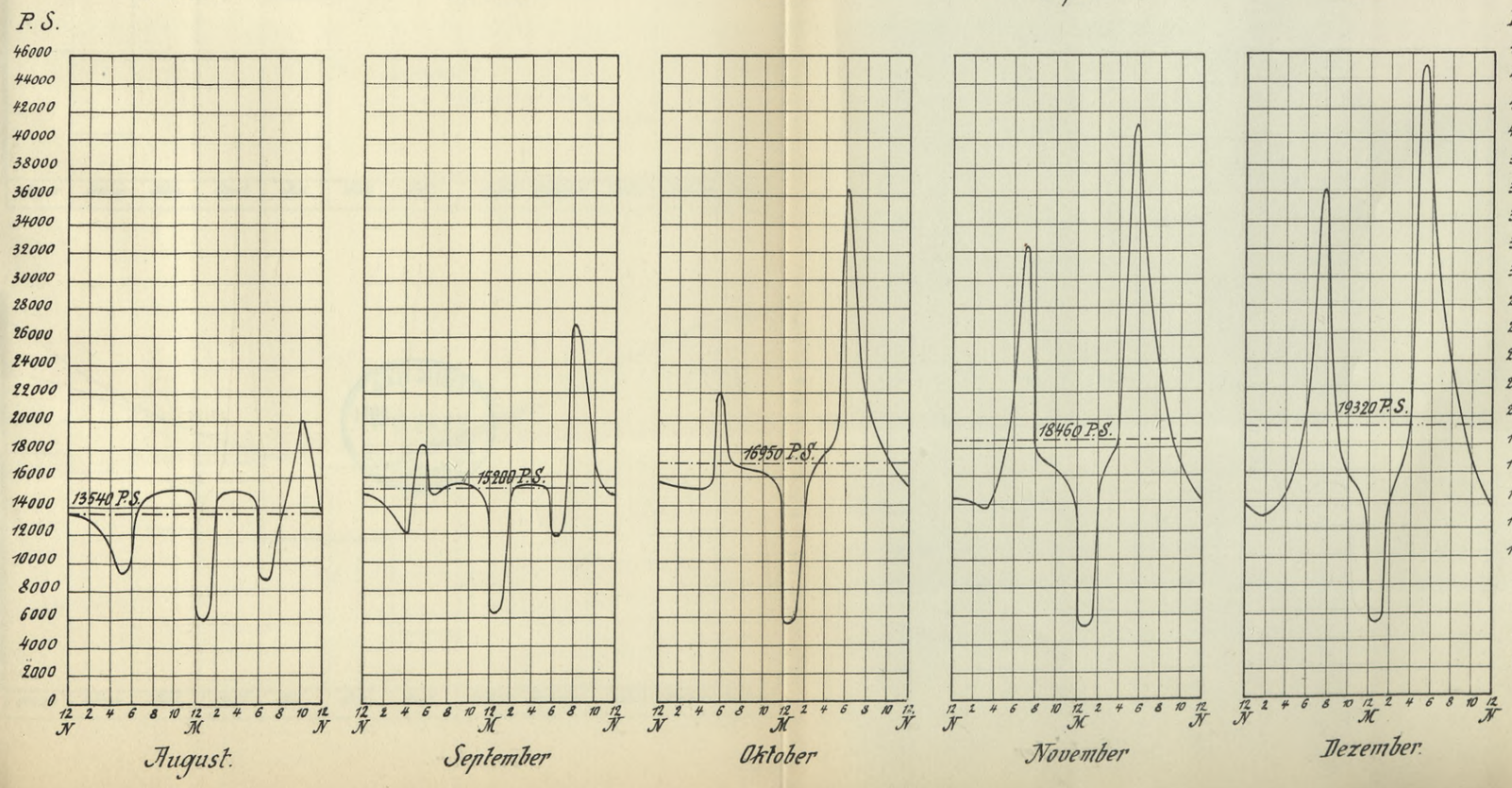
M-1:400.



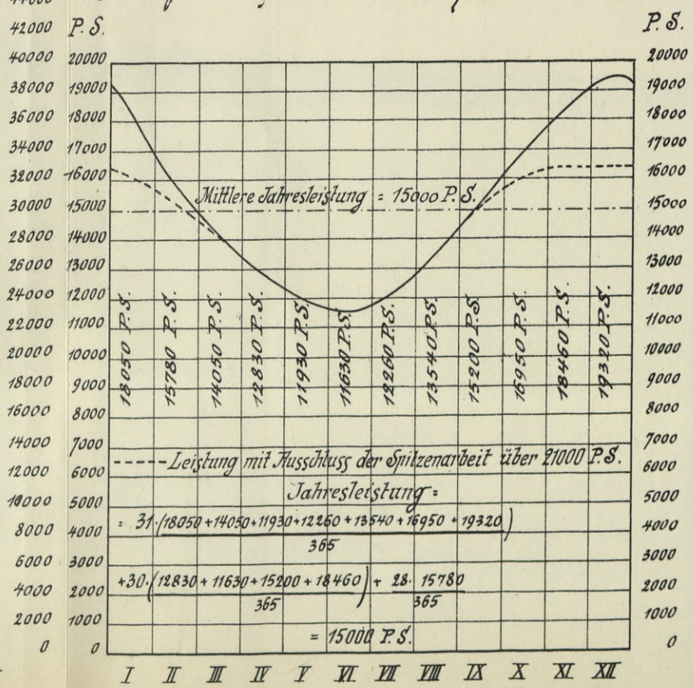
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Leistung des Kraftwerkes in den Tagesstunden der einzelnen Monate (für eine mittlere Jahresleistung von 15000 P. S.)





Leistung des Kraftwerkes in den einzelnen Monaten.

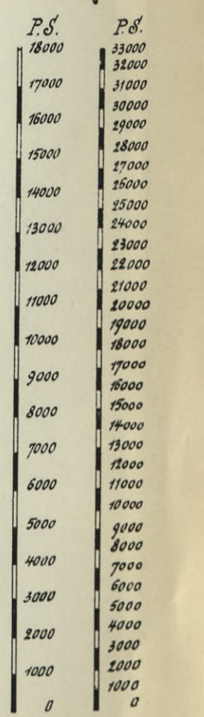


Jahresleistung =

$$= 31 \cdot \frac{(18050 + 14050 + 11930 + 12260 + 13540 + 16950 + 19320)}{365}$$

$$+ 30 \cdot \frac{(12830 + 11630 + 15200 + 18460)}{365} + 28 \cdot \frac{15780}{365}$$

$$= 15000 \text{ P.S.}$$



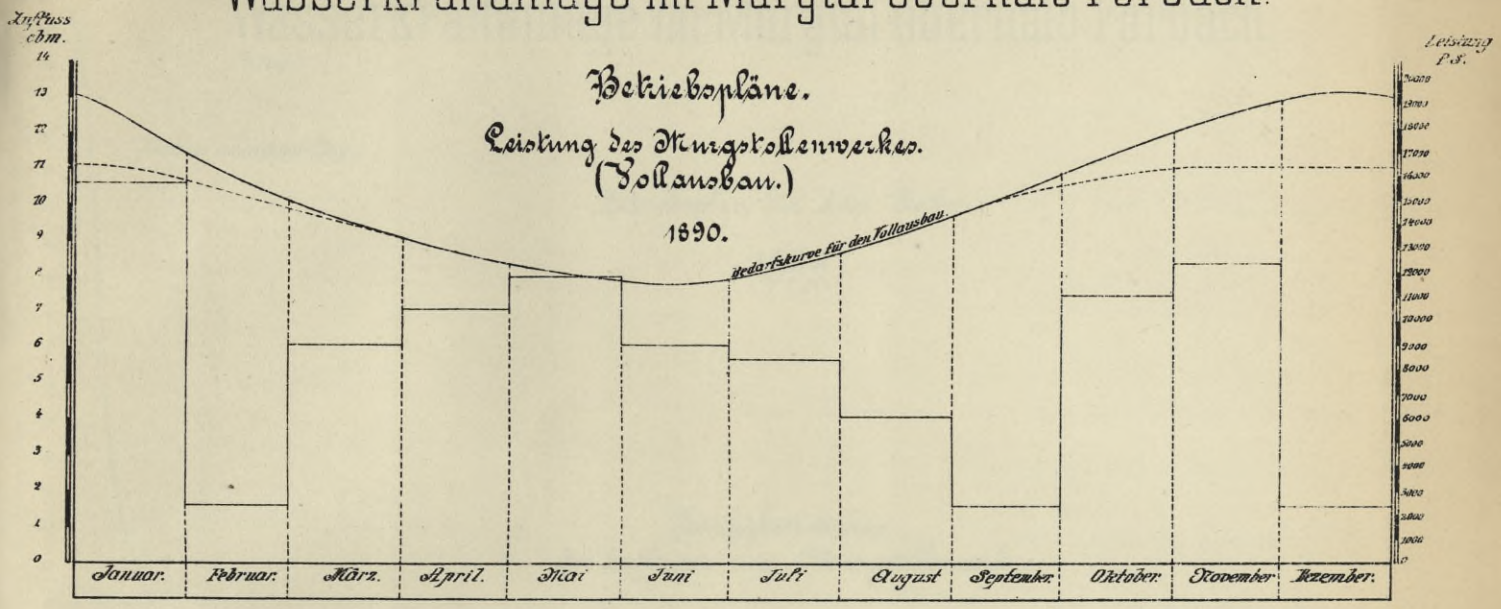
Maßstab für die Tageskurve bei einer mittleren Jahresleistung von 6000 P. S.

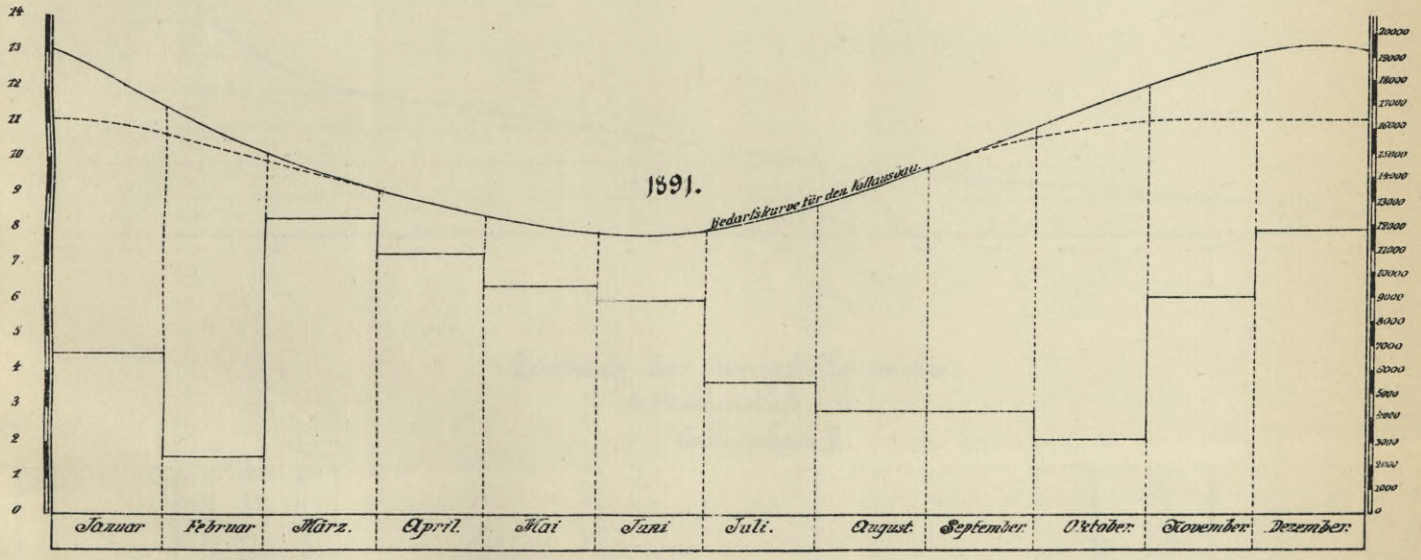
Maßstab für die Tageskurve bei einer mittleren Jahresleistung von 11000 P. S.

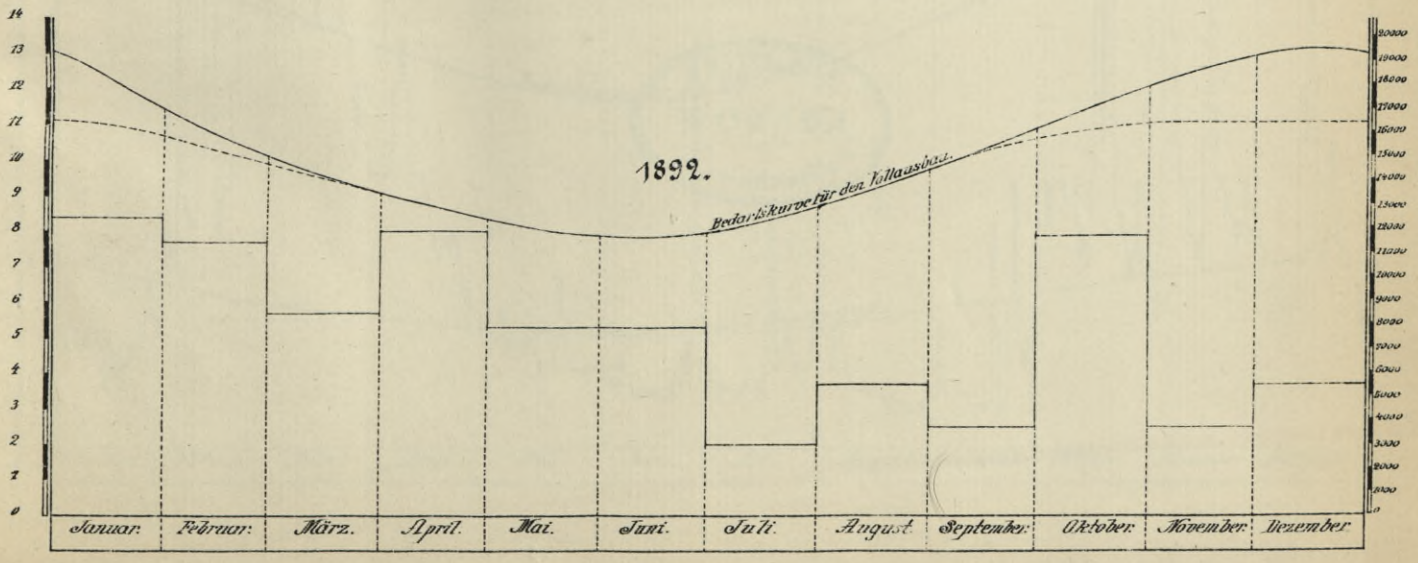
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebspläne.

Leistung des Murgkraftwerkes. (Vollausbau.)





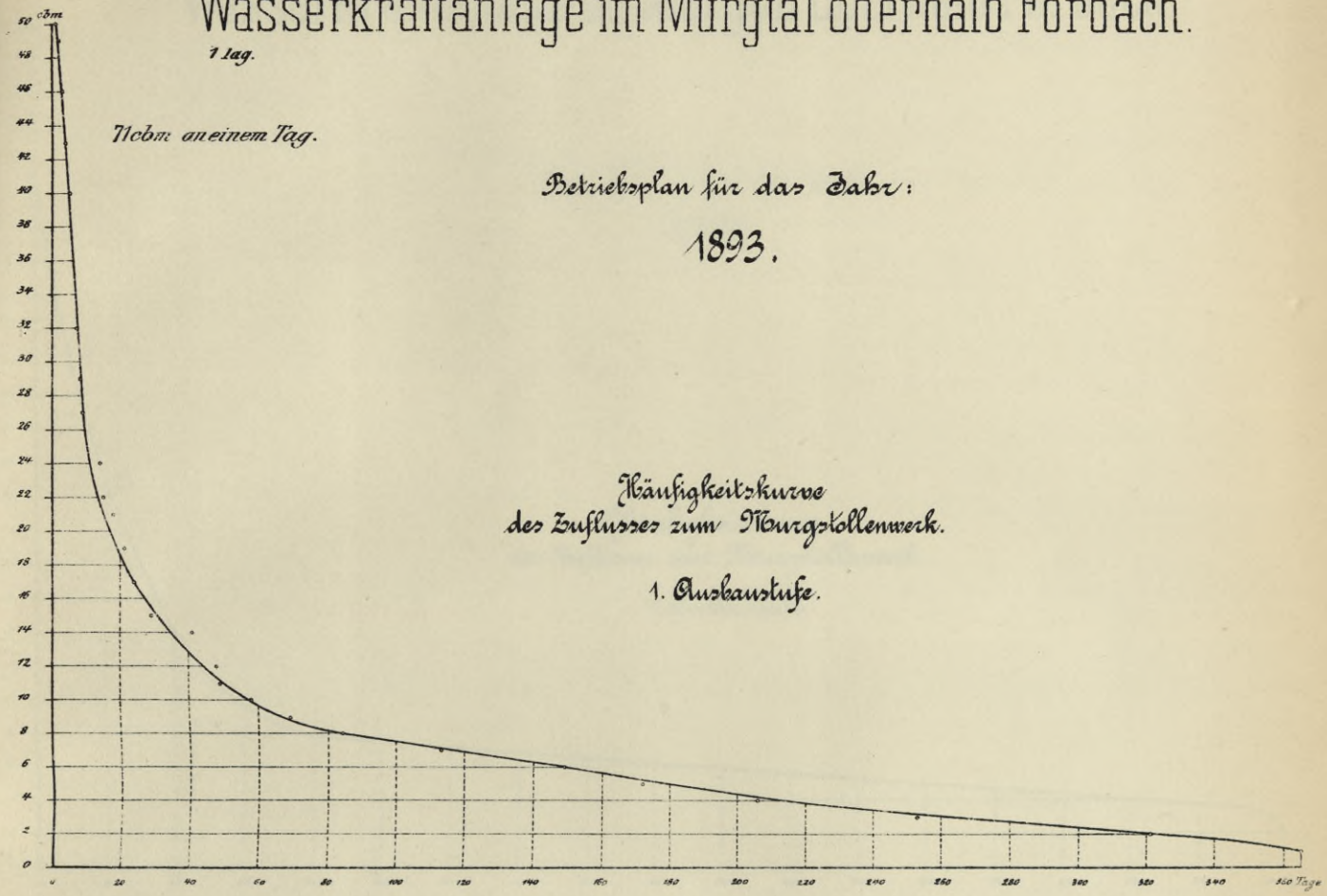


Mai 1910.

Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr:

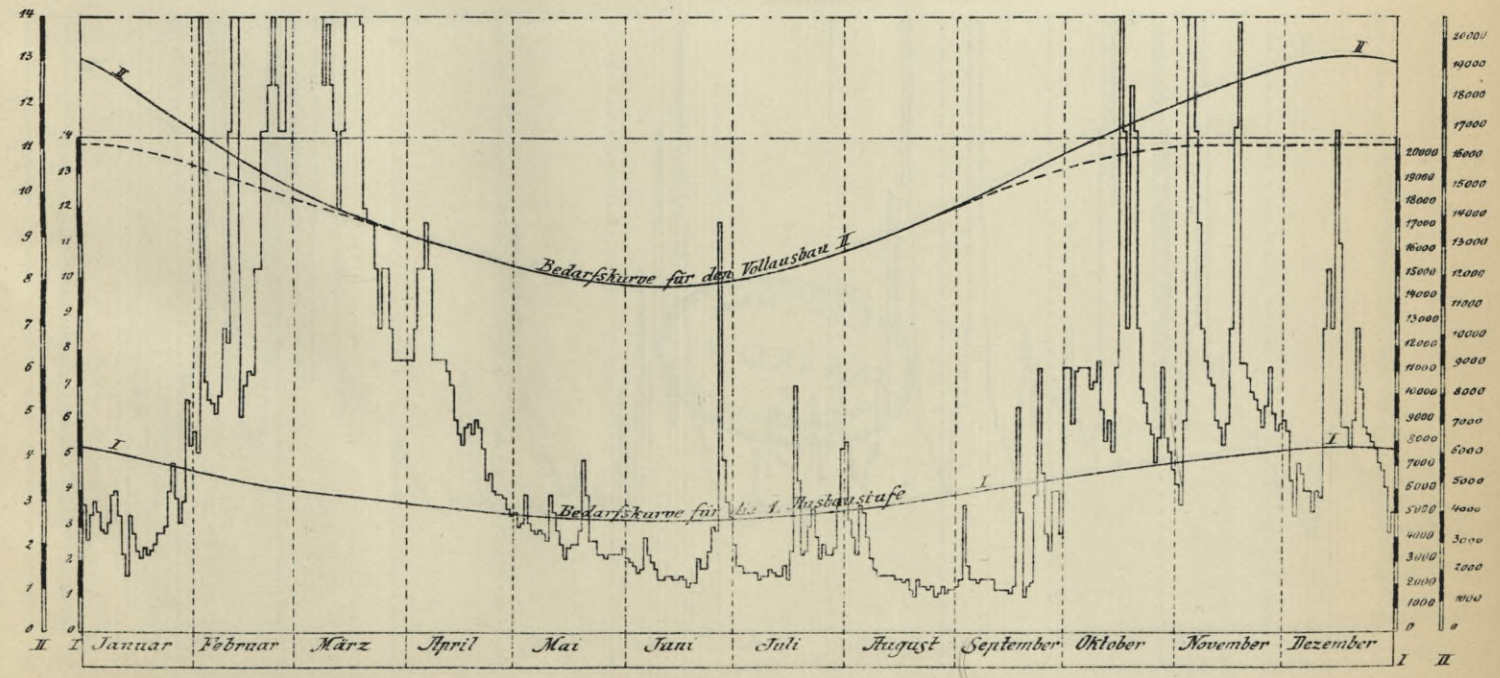
1893.



Häufigkeitskurve
des Zuflusses zum Murgstollenwerk.

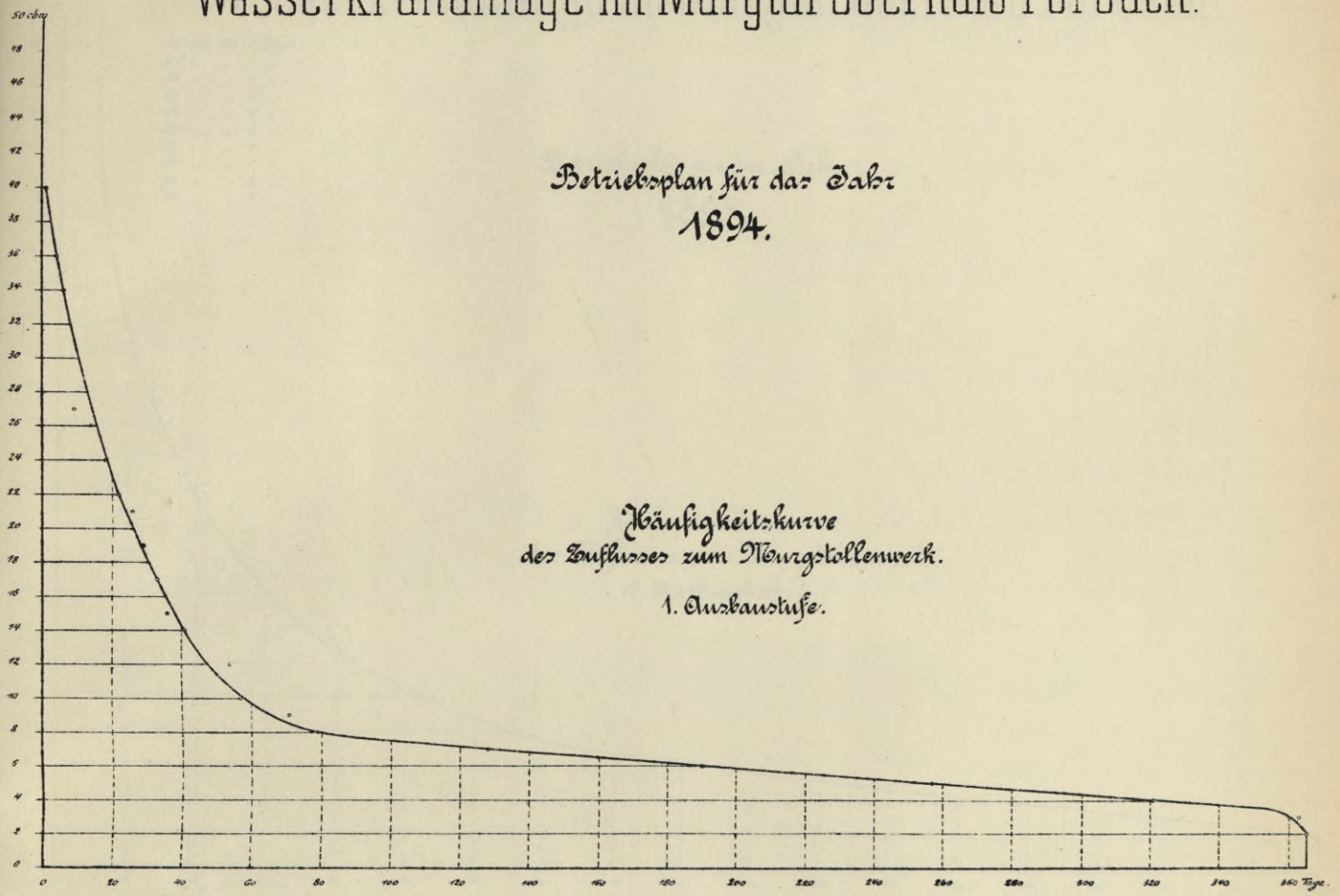
1. Ausbaustufe.

Leistung des Murgstollenwerkes.
1. Ausbaustufe: I
Vollausbau II.



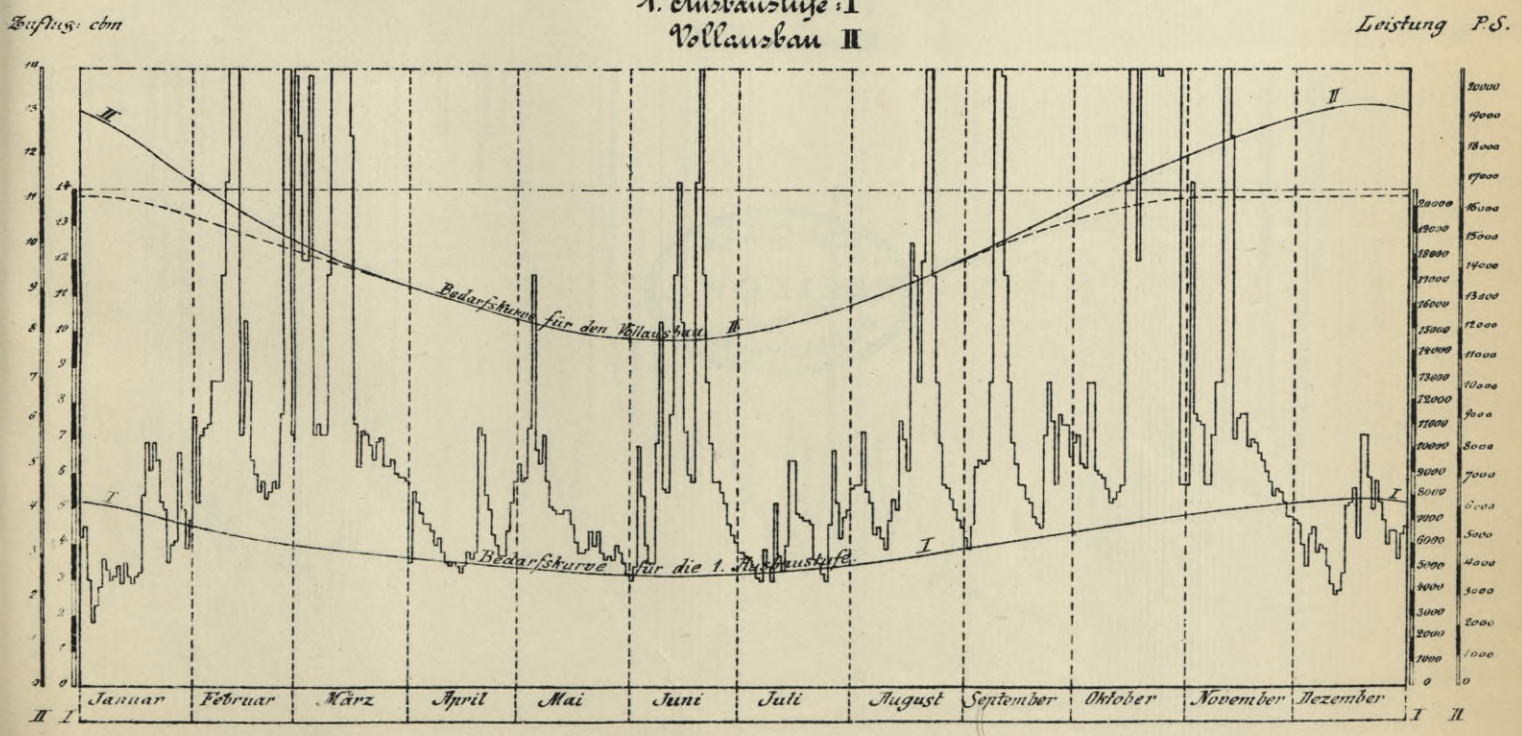
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr 1894.



Leistung des Murgstollenwerkes.

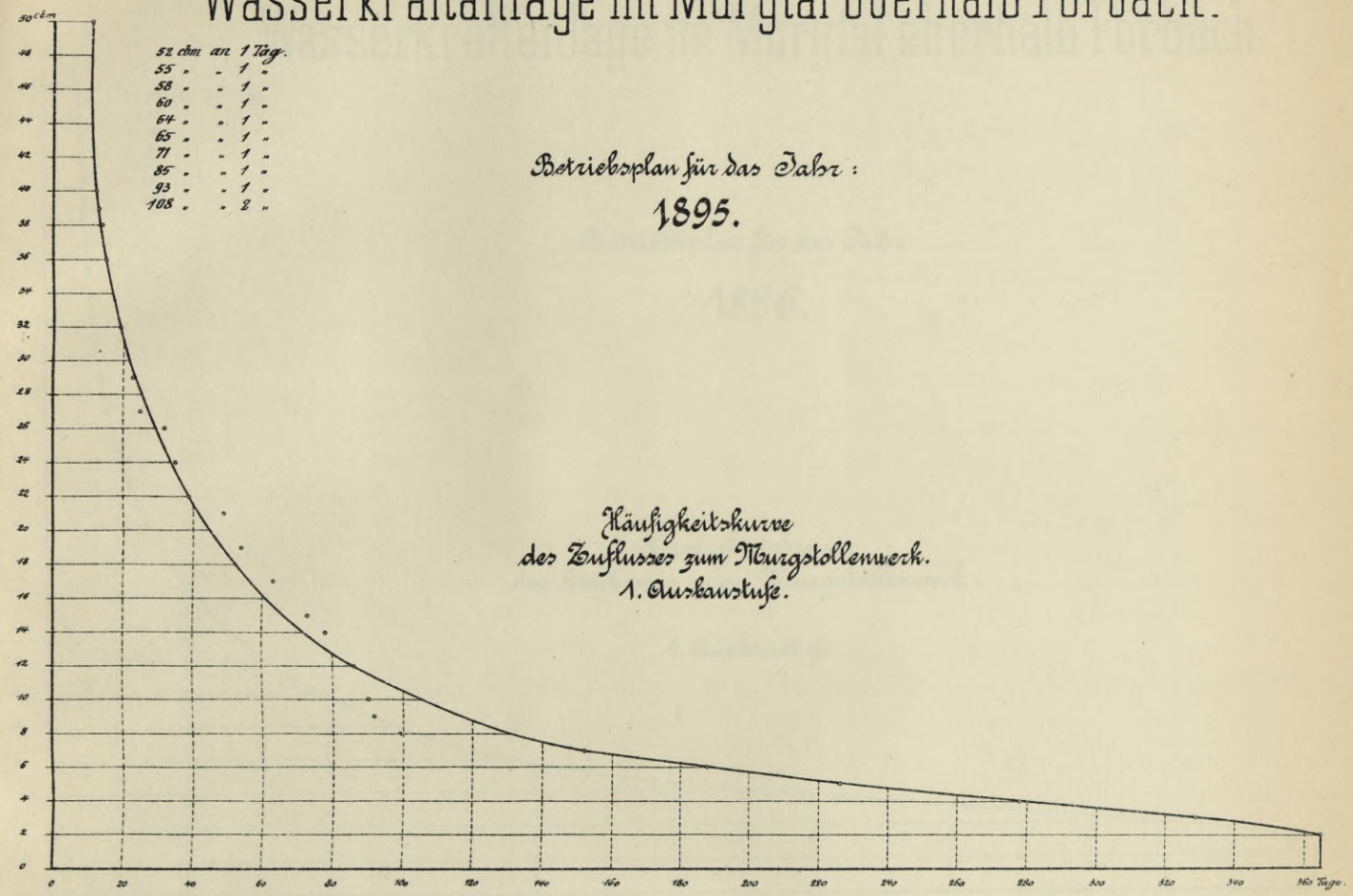
1. Ausbaustufe: I
Vollausbau II



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr:

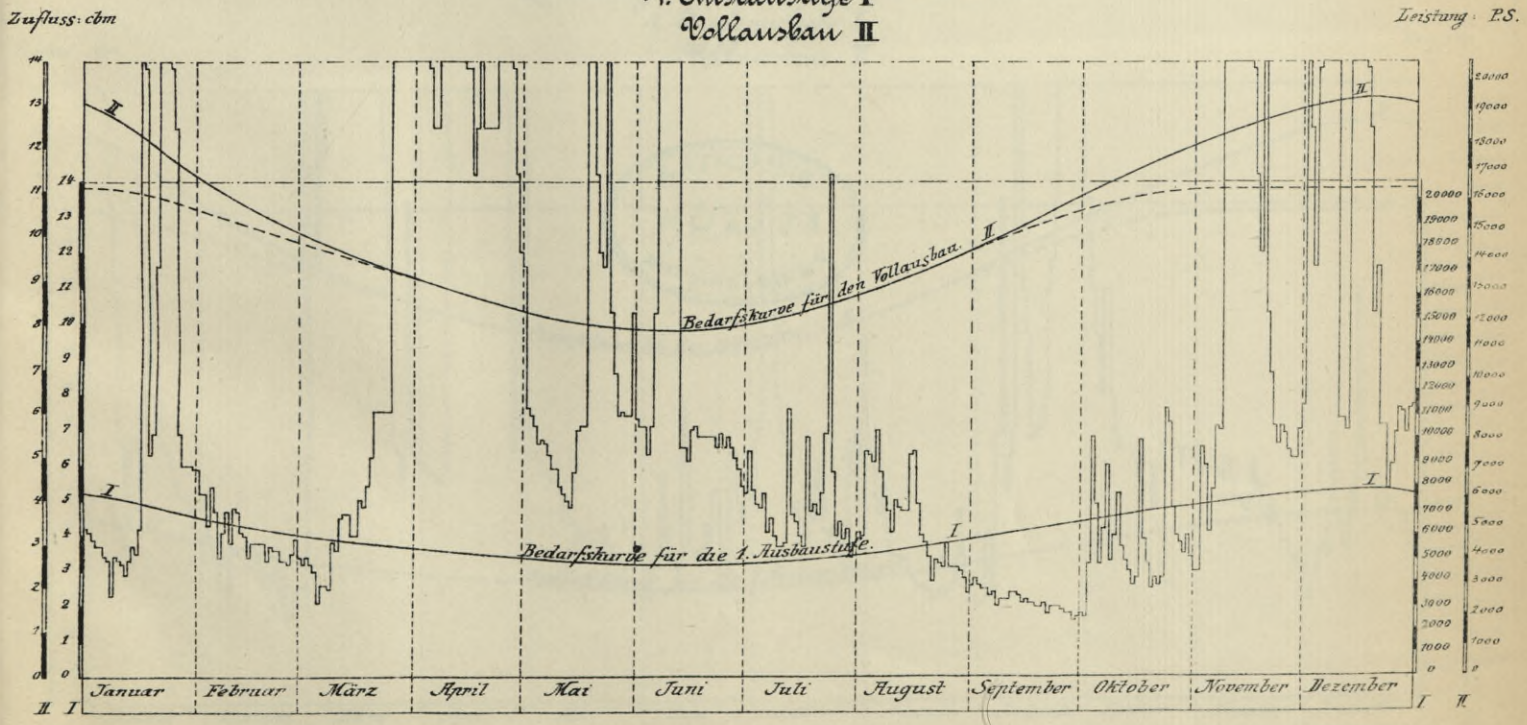
1895.



Häufigkeitskurve
des Zuflusses zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.

Leistung des Murgstollenwerkes.

1. Ausbaustufe I
Vollausbau II



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

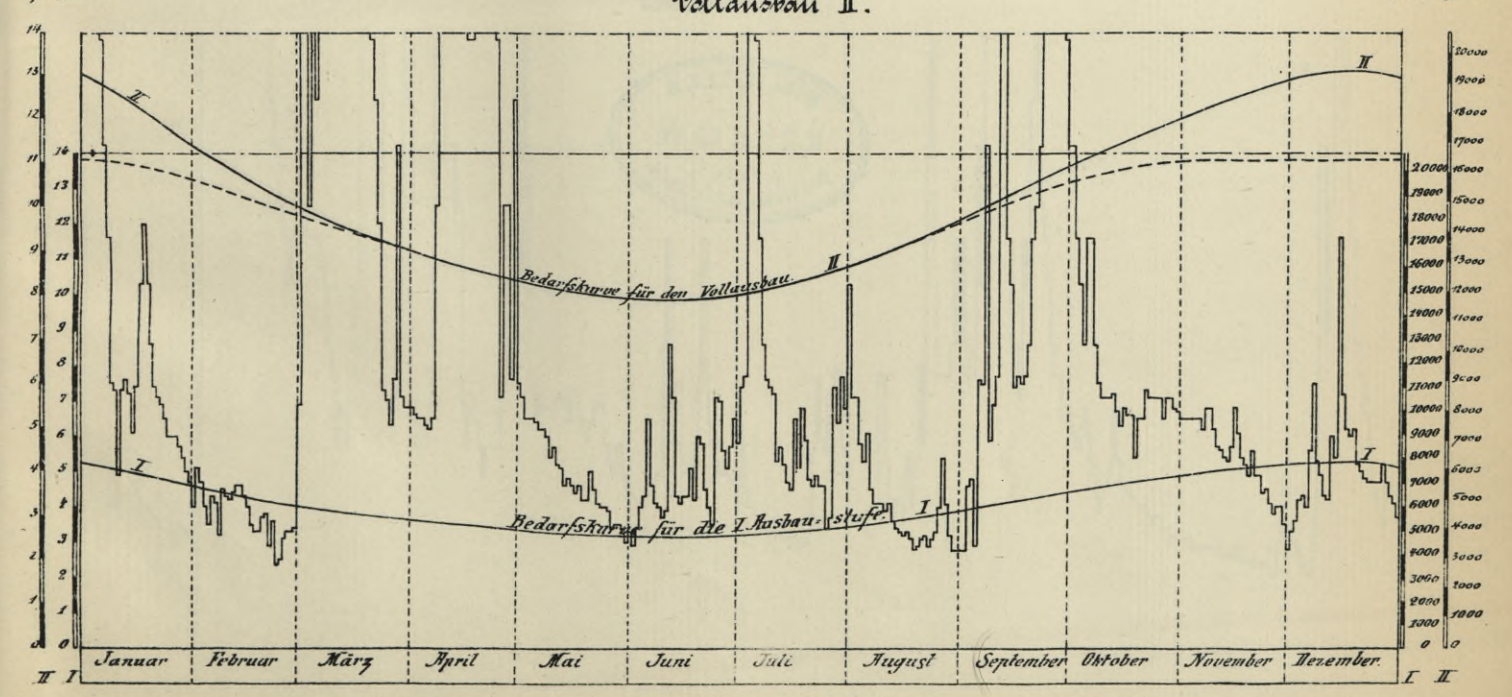
53 cbm. an 1 Tag
55 " " 1 "
58 " " 2 "
85 " " 1 "
93 " " 1 "
126 " " 1 "
134 " " 1 "
297 " " 1 "

Betriebsplan für das Jahr

1896.

Häufigkeitskurve
des Zuflusses zum Murgstollenwerk.

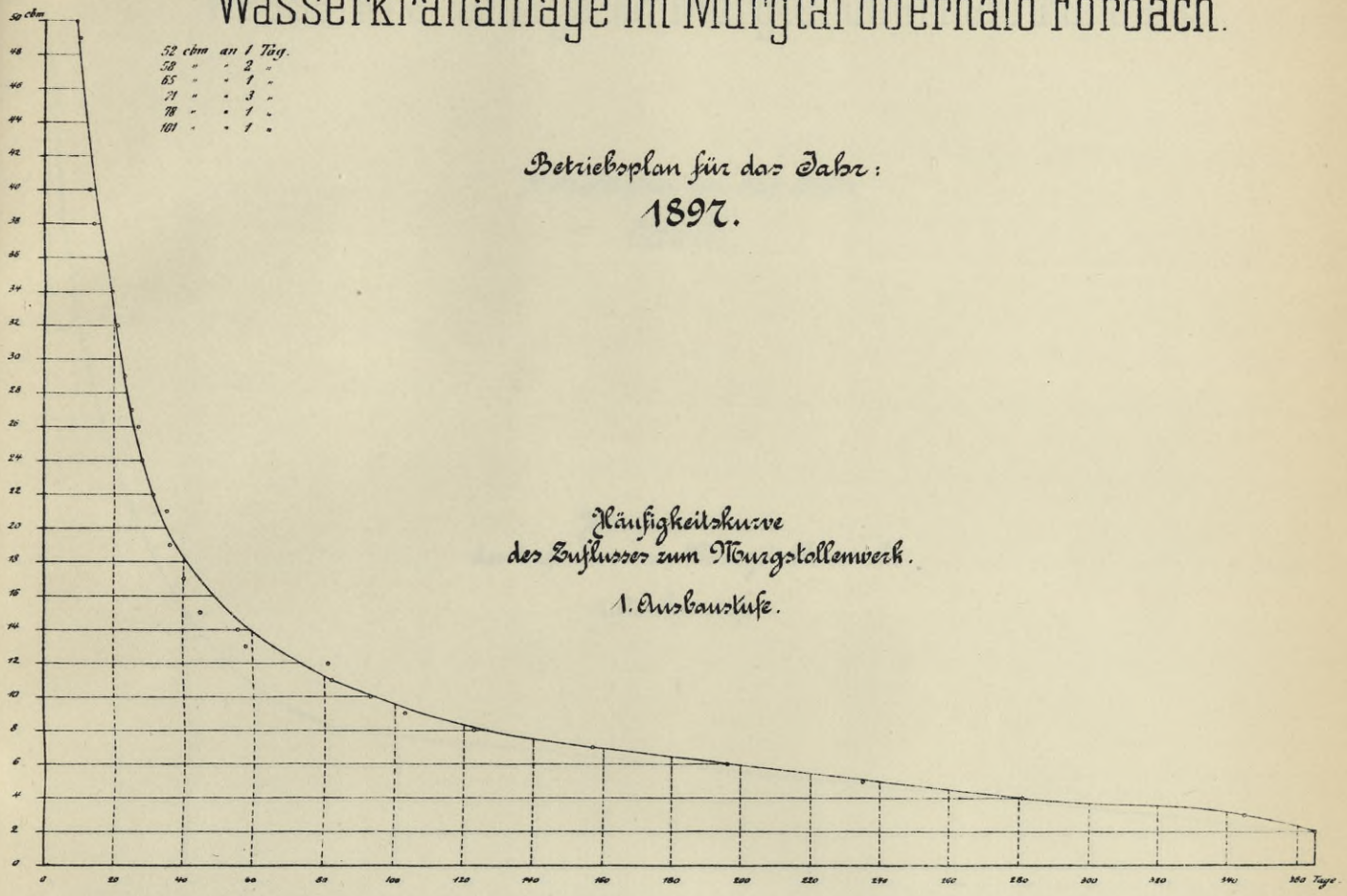
1. Ausbaustufe.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr:

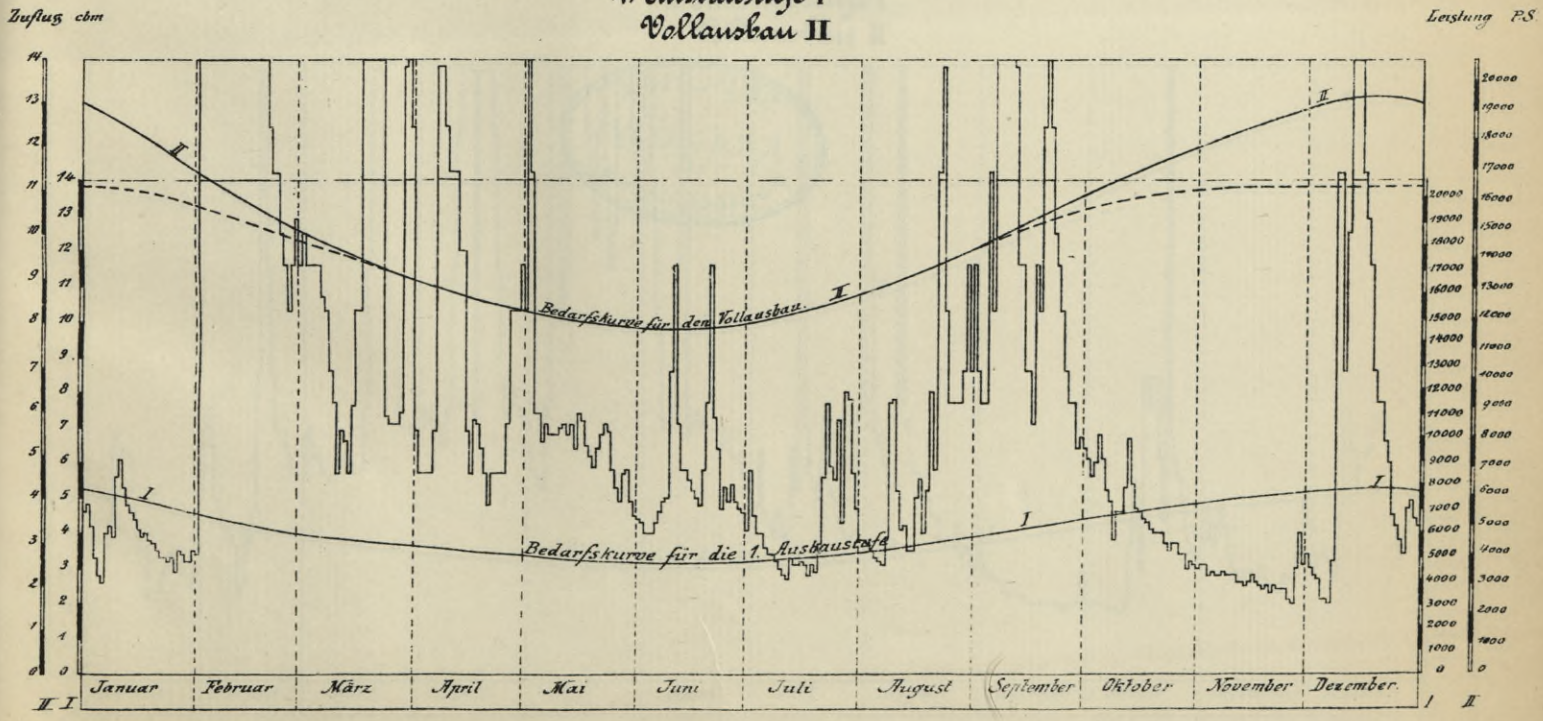
1897.



Häufigkeitskurve
des Zuflusses zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.

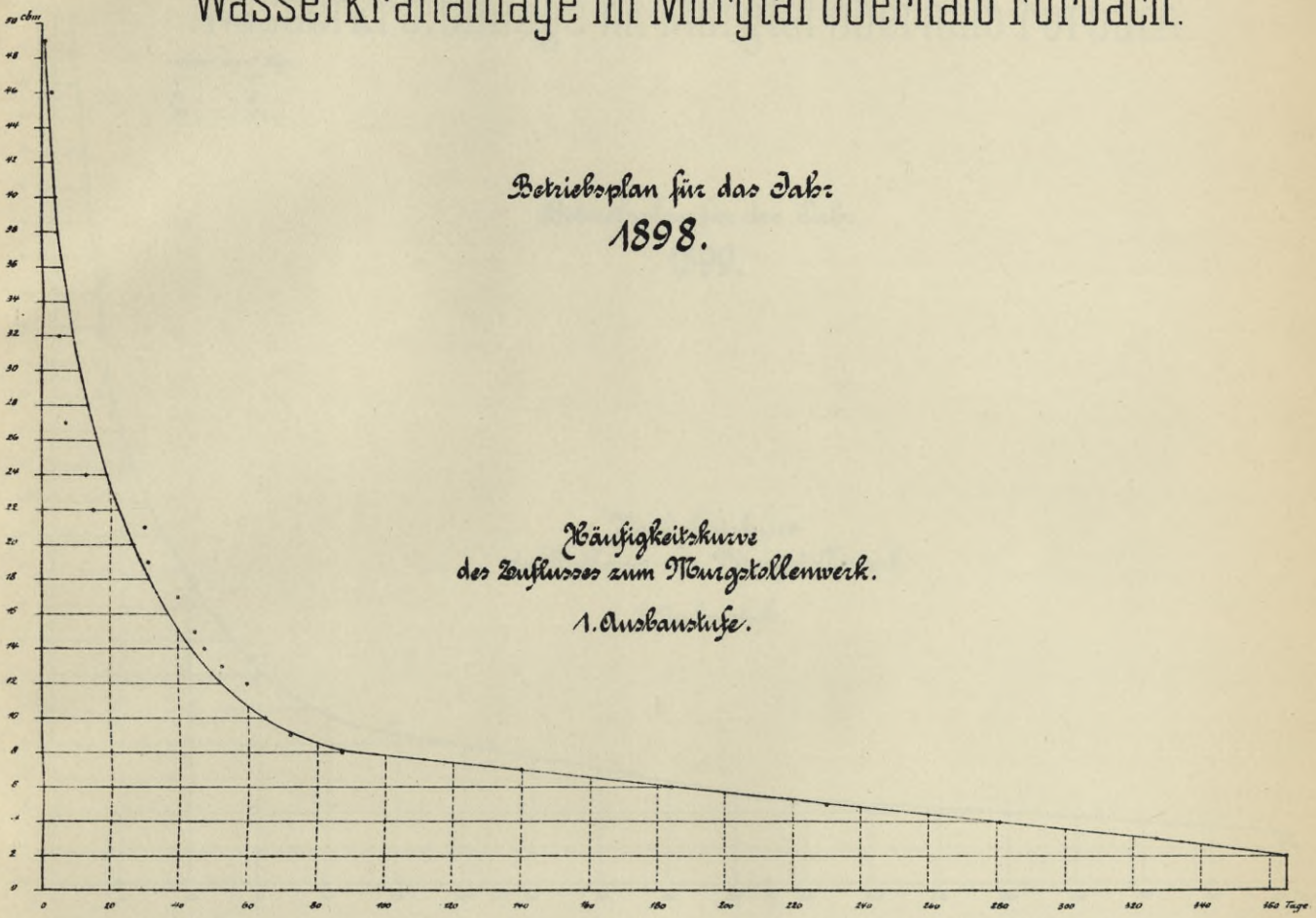
Leistung des Murgstollenwerkes.

1. Ausbaustufe I
Vollausbau II



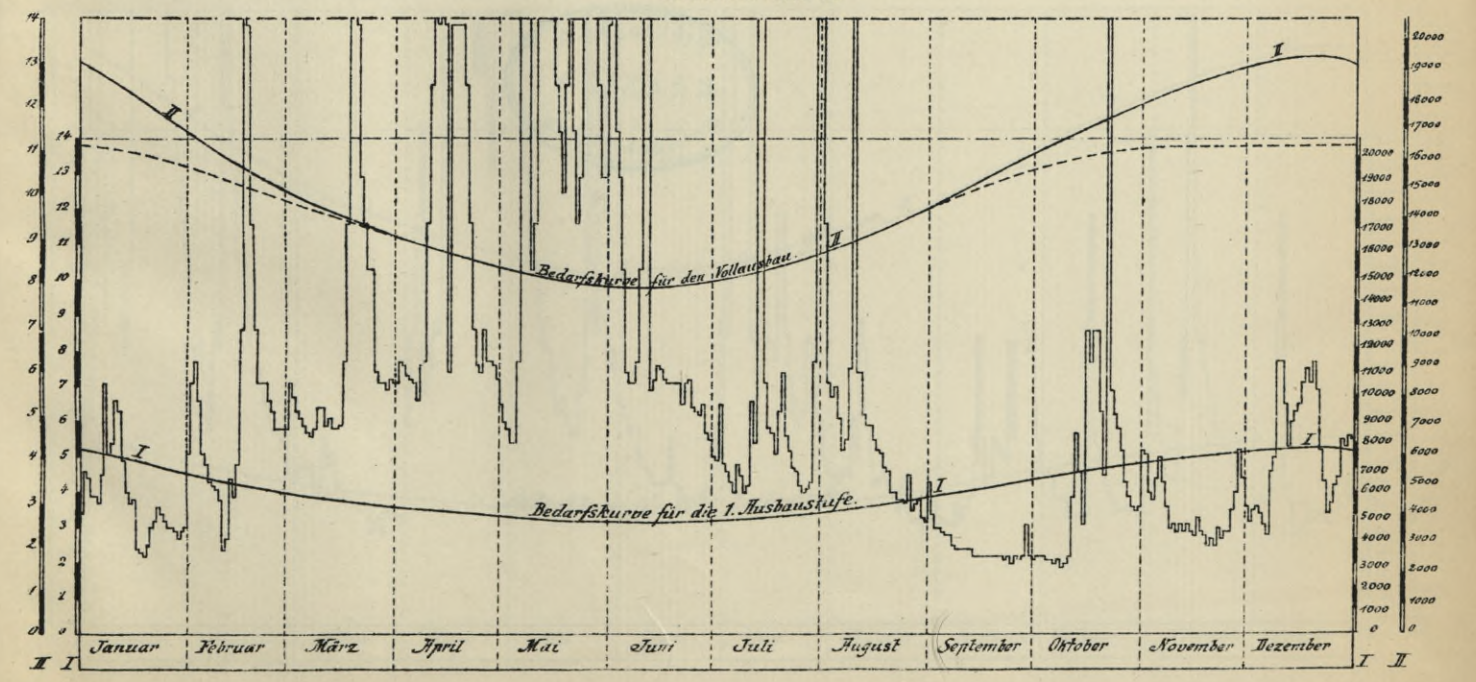
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr
1898.



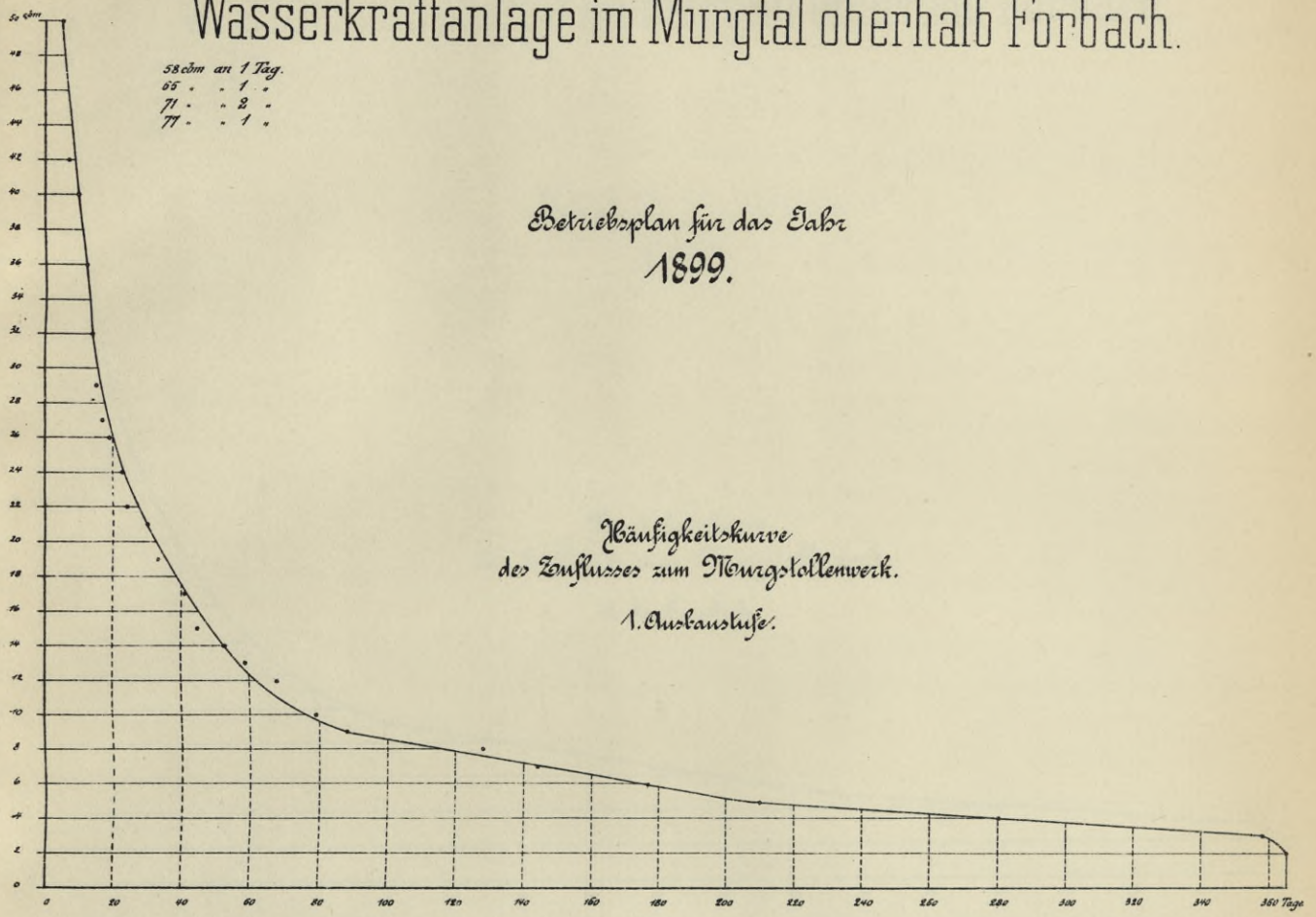
Häufigkeitskurve
der Zuflüsse zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.

Leistung des Murgstollenwerkes.
1. Ausbaustufe I
Vollausbau II



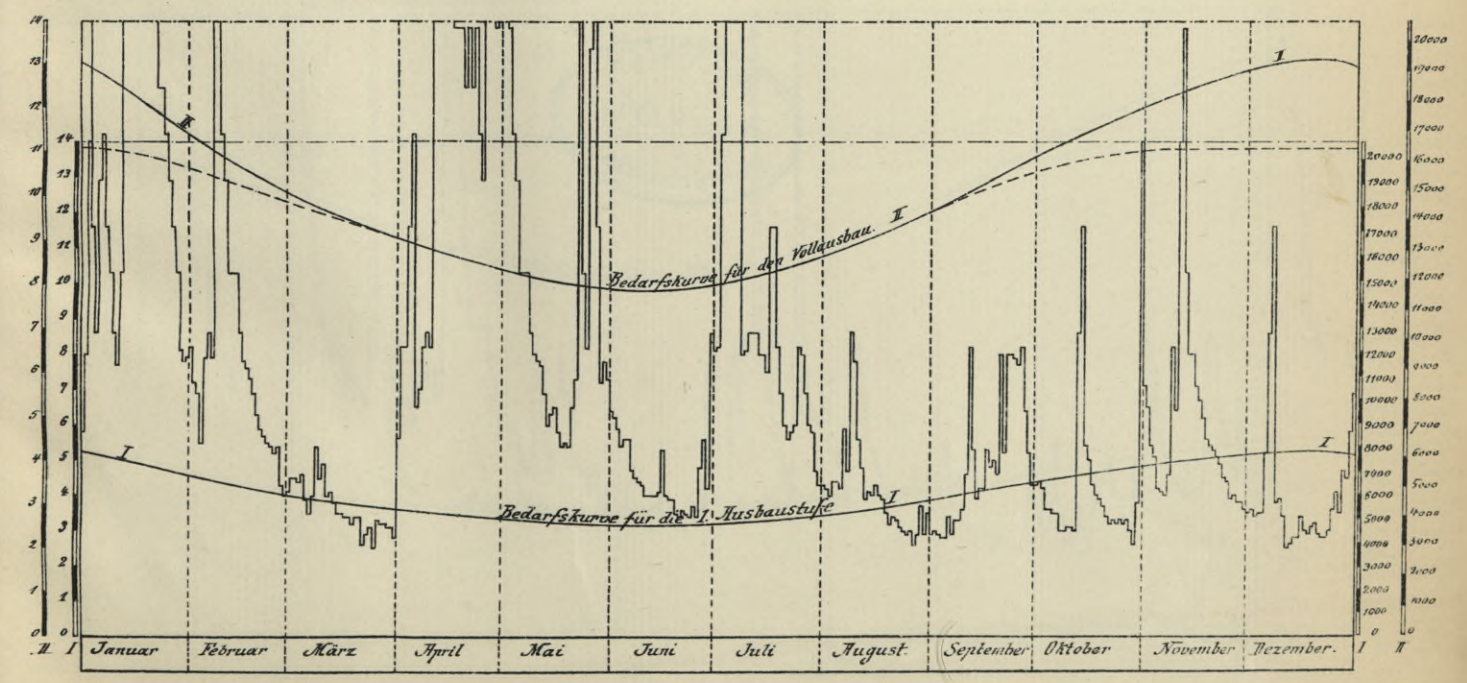
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr
1899.



Häufigkeitskurve
der Zuflusses zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.

Leistung des Murgstollenwerkes.
1. Ausbaustufe I
Vollausbau II.

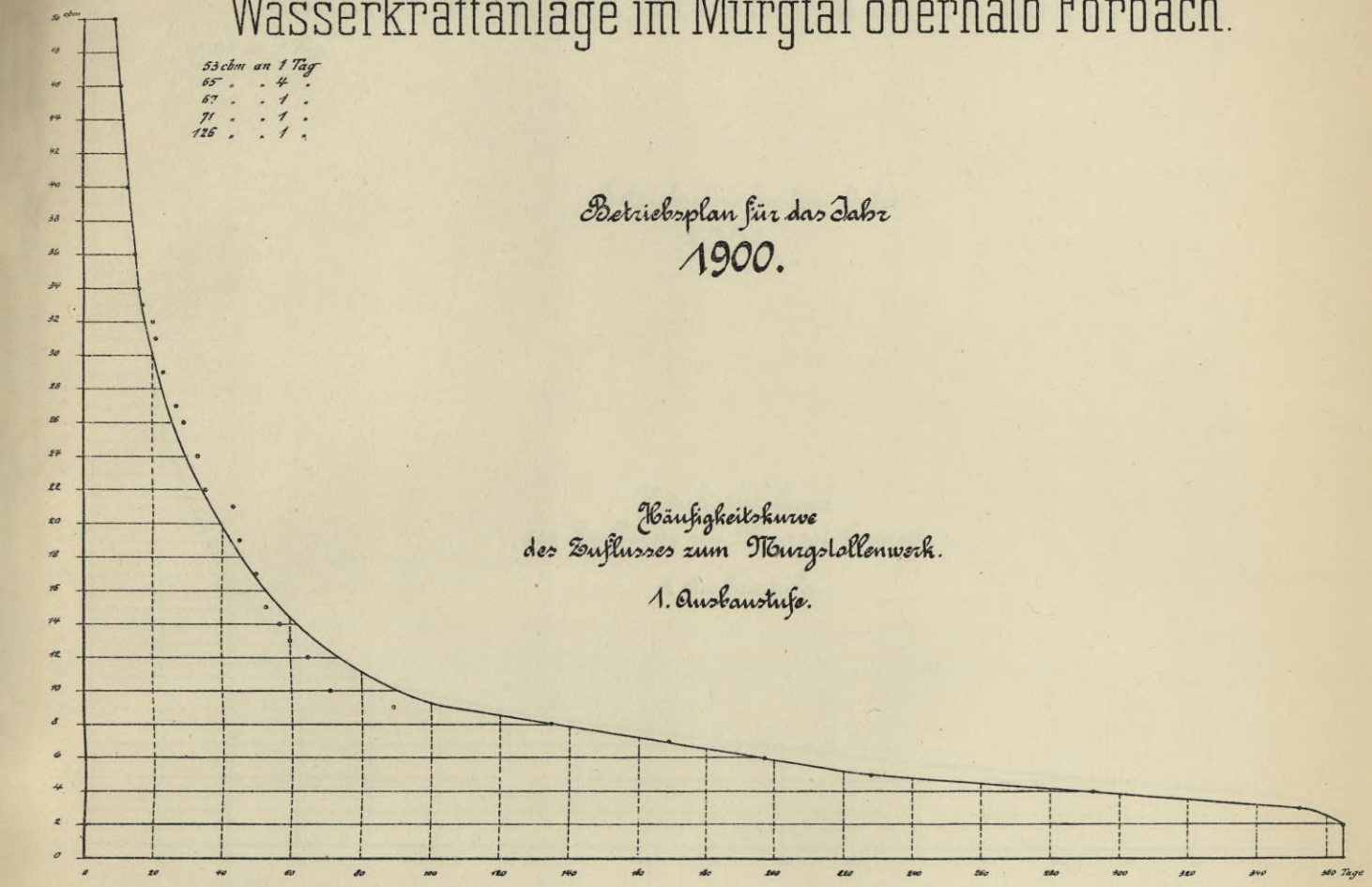


Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

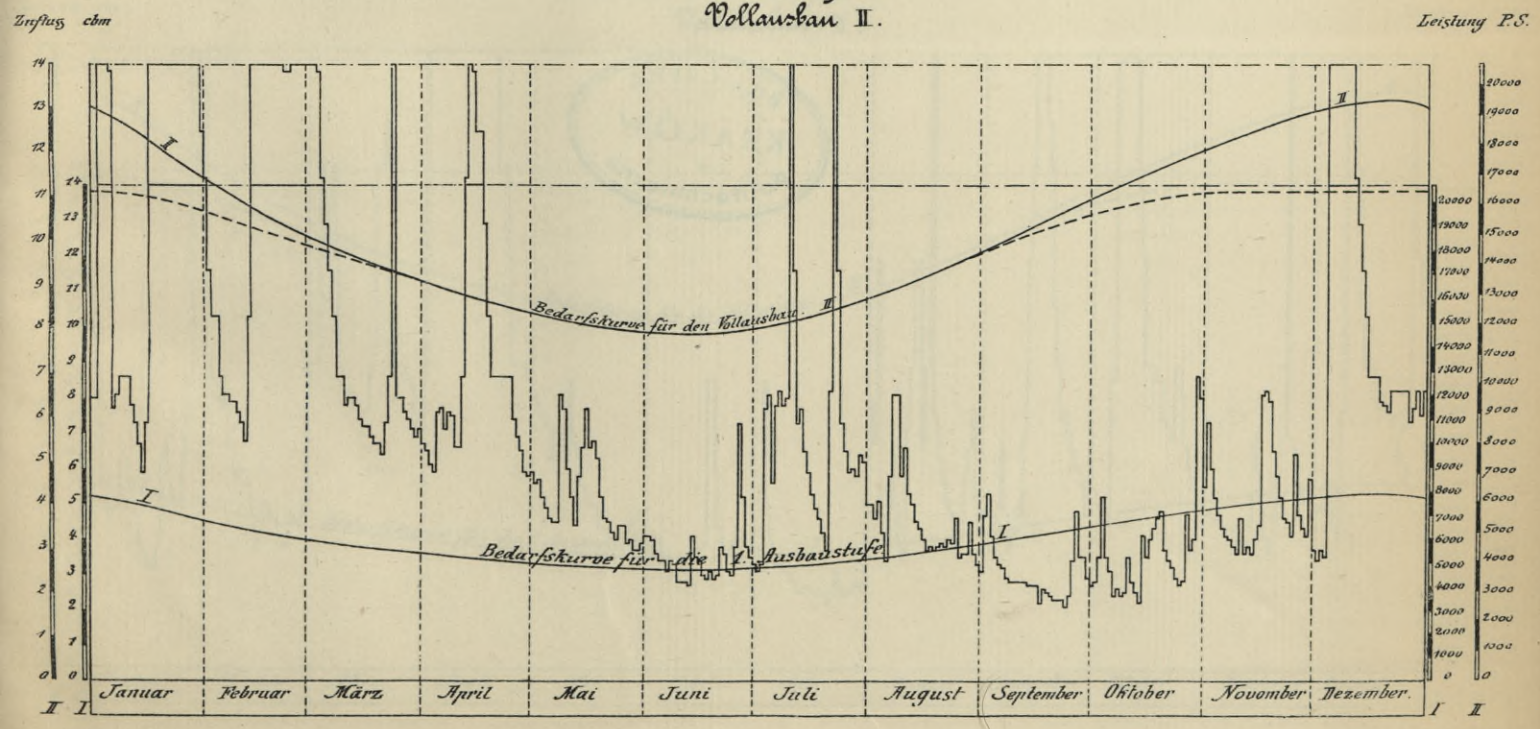
Betriebsplan für das Jahr
1900.

53 cbm an 1 Tag
65 „ „ 4 „
67 „ „ 1 „
71 „ „ 1 „
126 „ „ 1 „

Häufigkeitskurve
des Zuflusses zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.



Leistung des Murgstollenwerkes
1. Ausbaustufe I.
Vollausbau II.

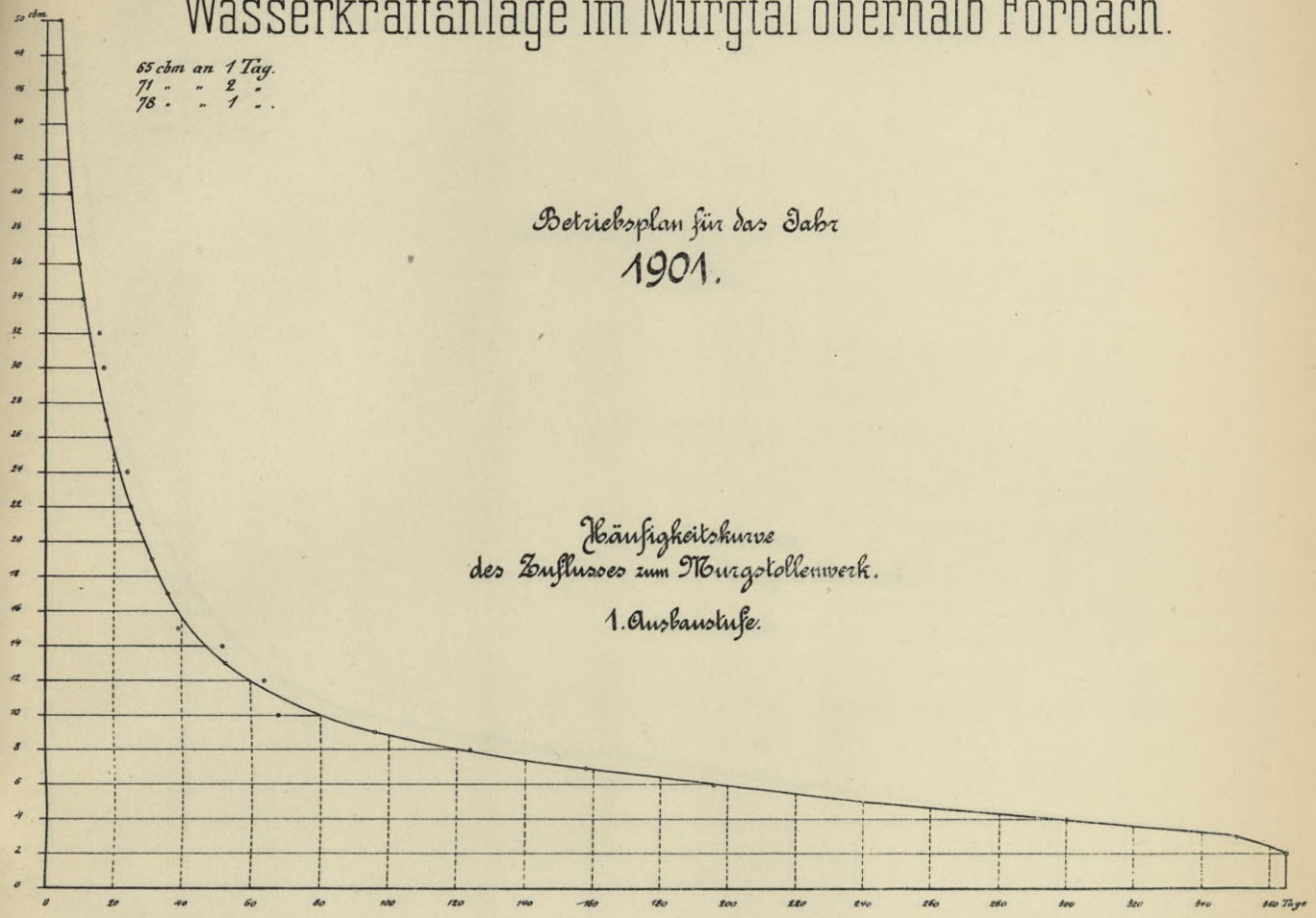


Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

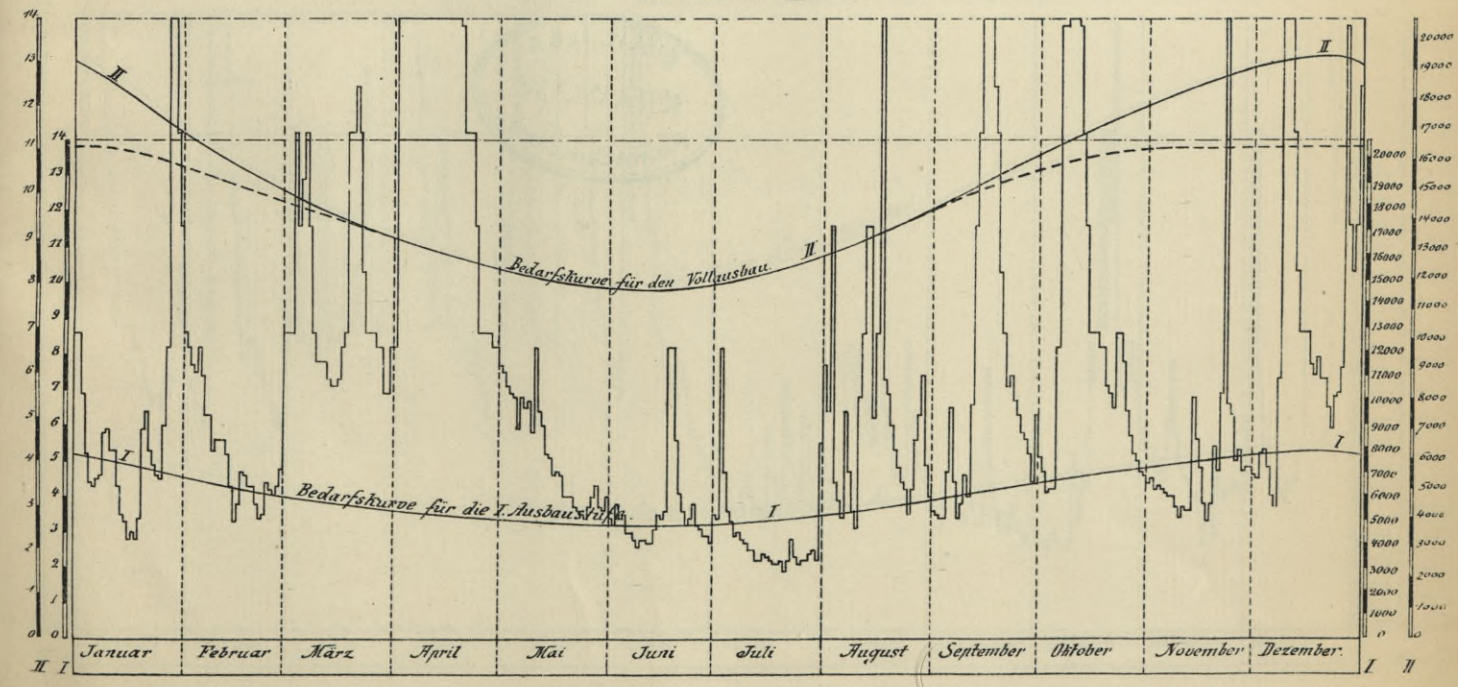
65 cbm an 1 Tag.
71 " " 2 "
78 " " 1 " .

Betriebsplan für das Jahr
1901.

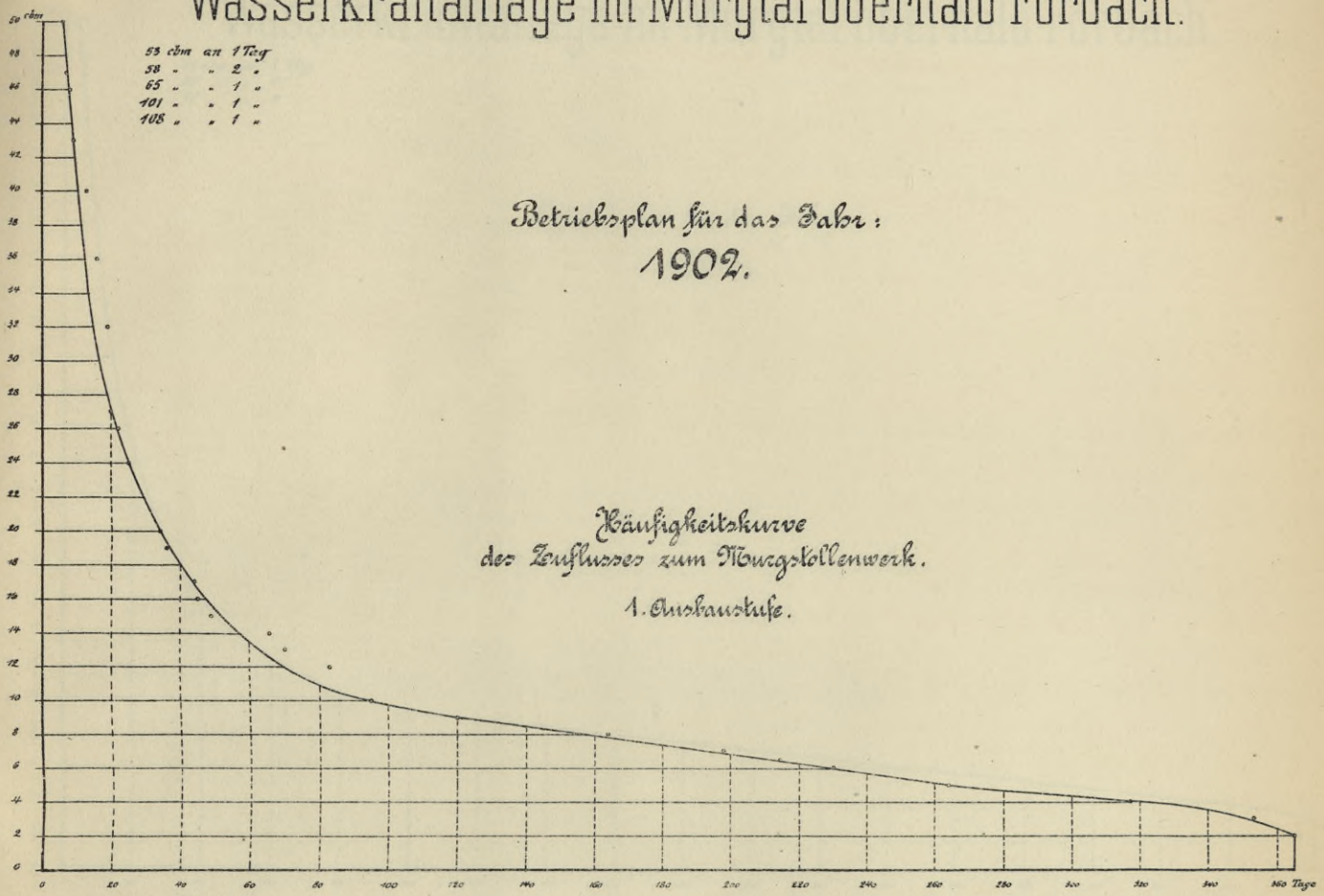
Häufigkeitskurve
des Zuflusses zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.

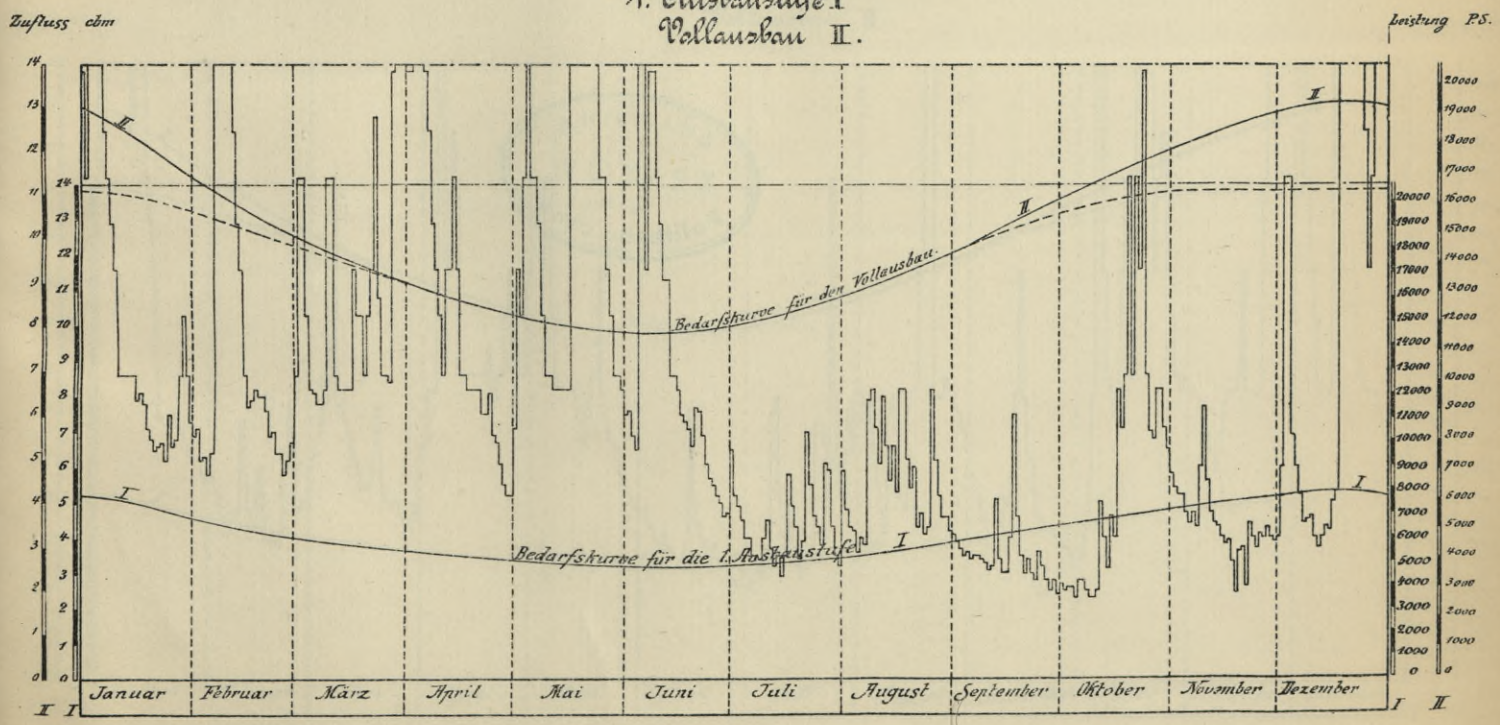


Leistung des Murgstollenwerkes.
1. Ausbaustufe I
Vollausbau II.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

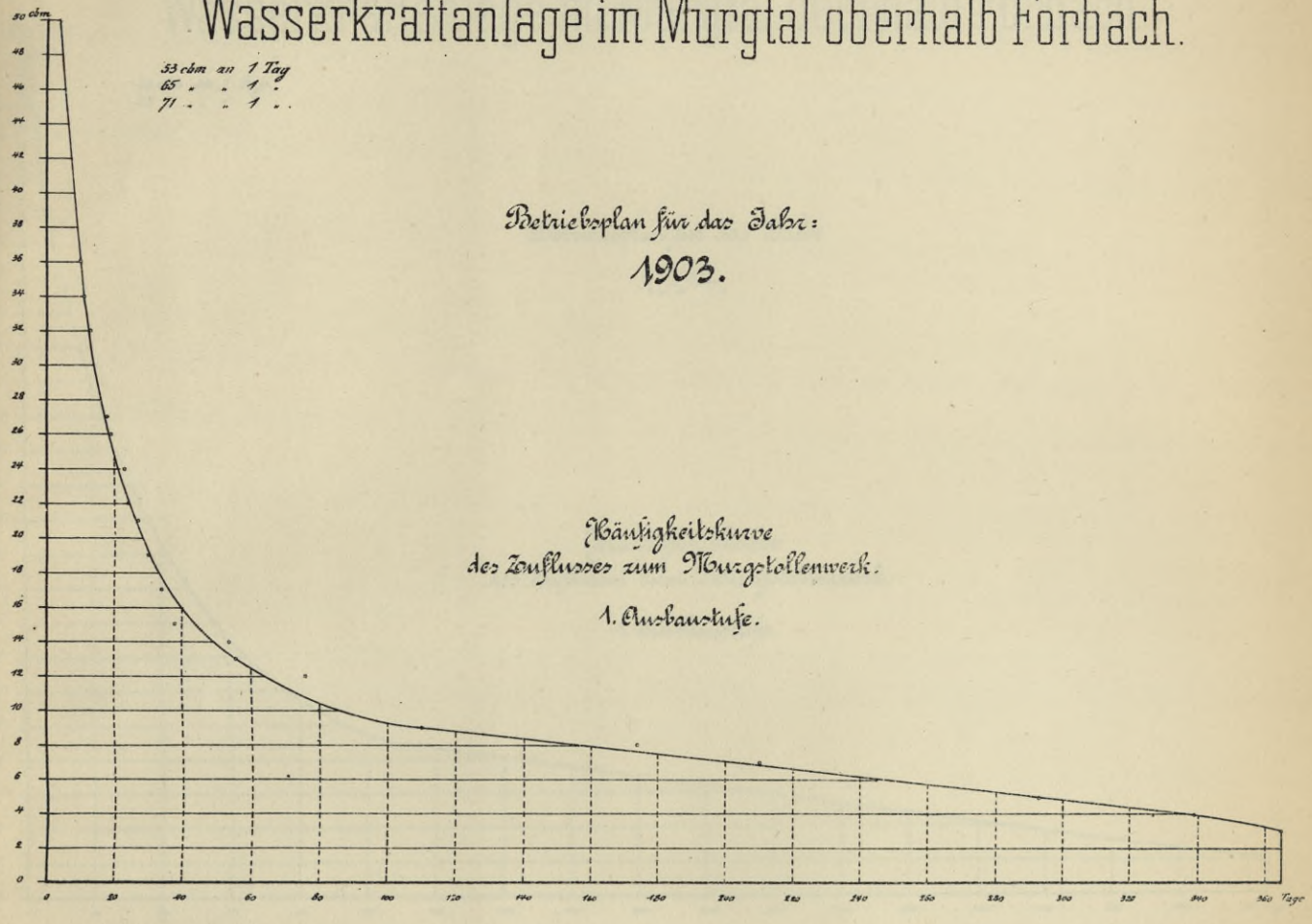




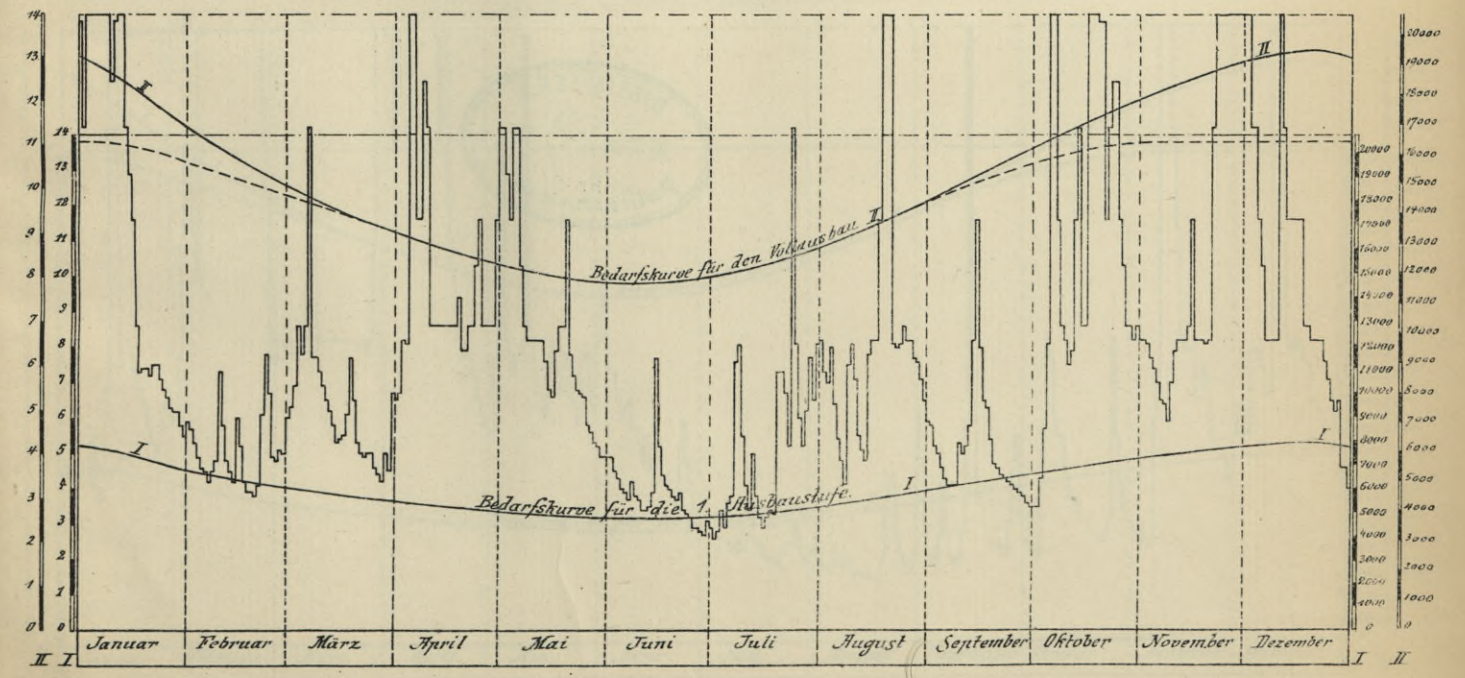
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr:

1903.



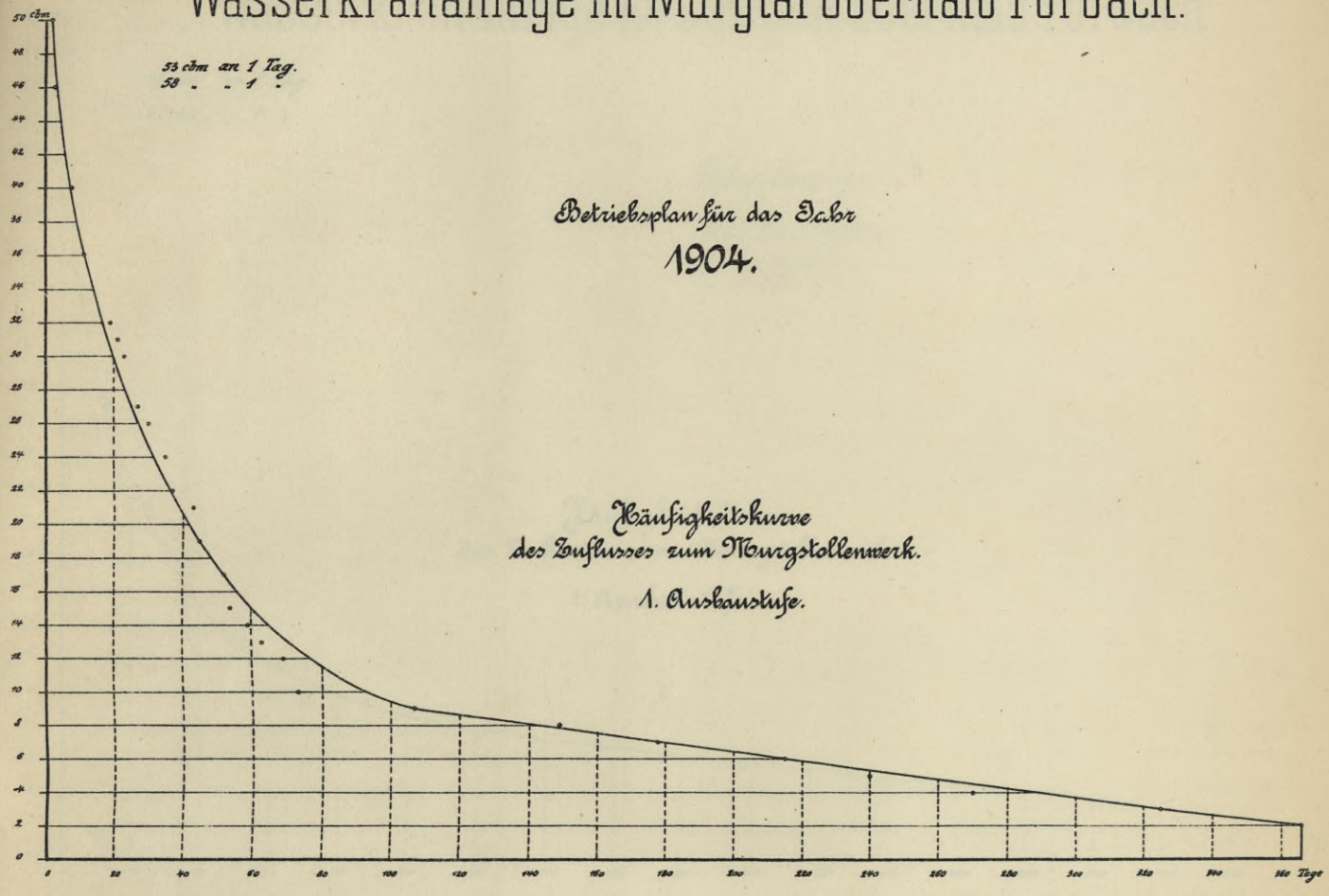
Leistung des Murgstollenwerkes.
1. Ausbaustufe I
Vollausbau II.



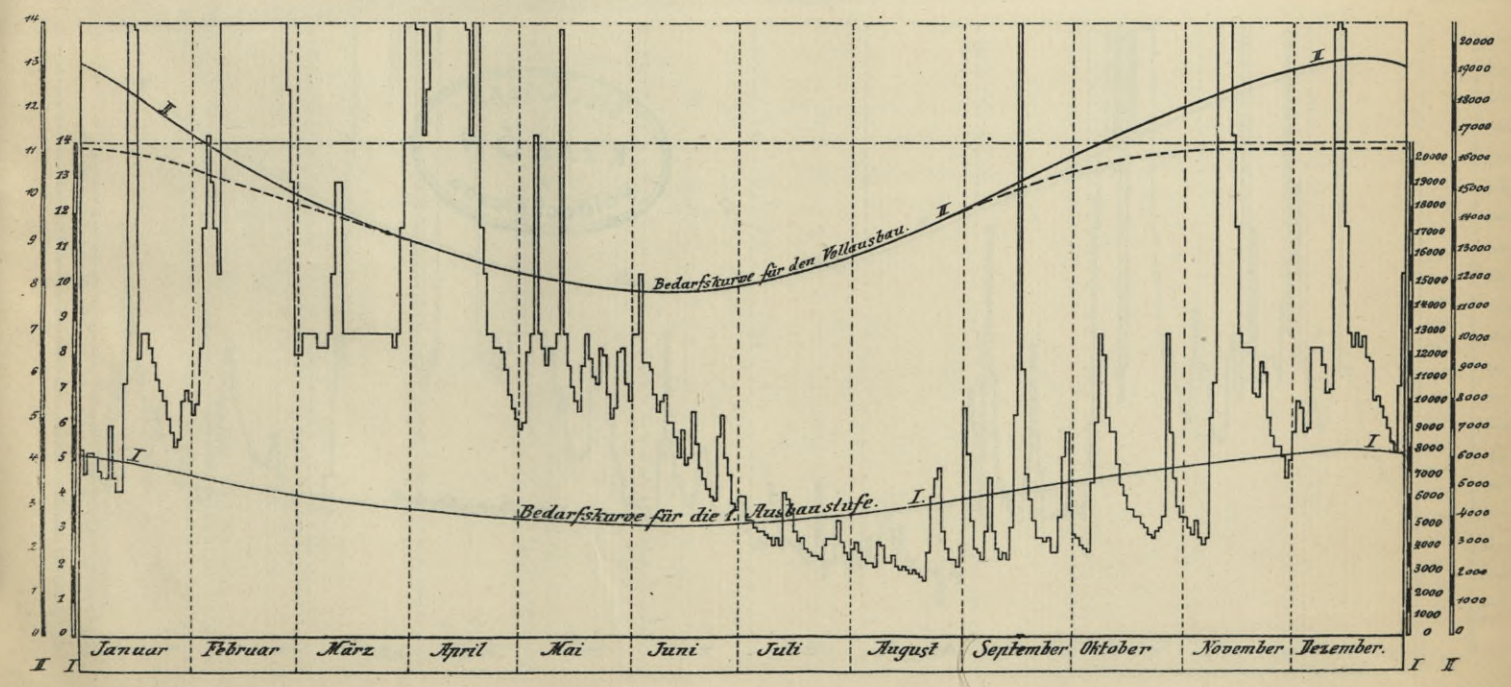
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr
1904.

Häufigkeitskurve
des Zuflusses zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.

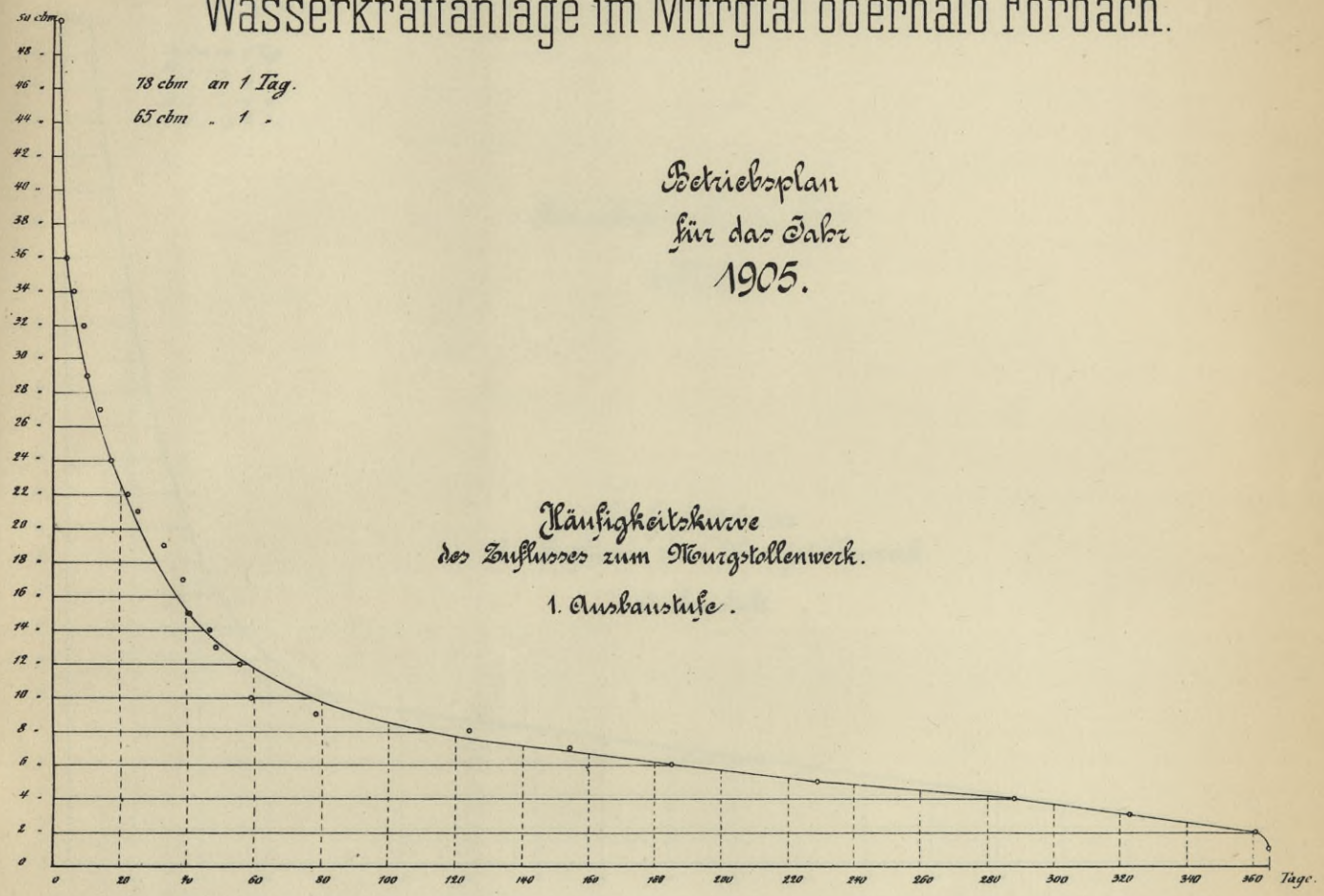


Leistung des Murgstollenwerkes.
1. Ausbaustufe I
Vollausbau II

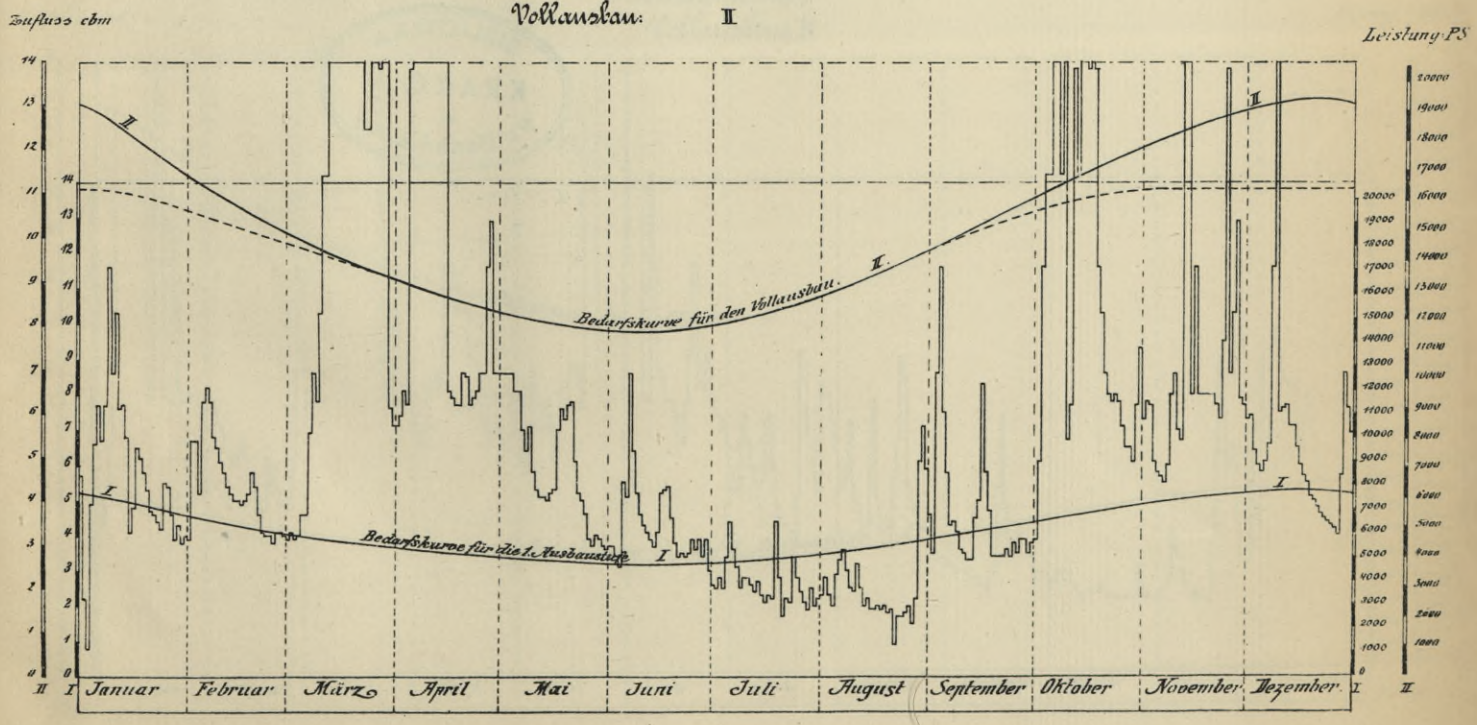


Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

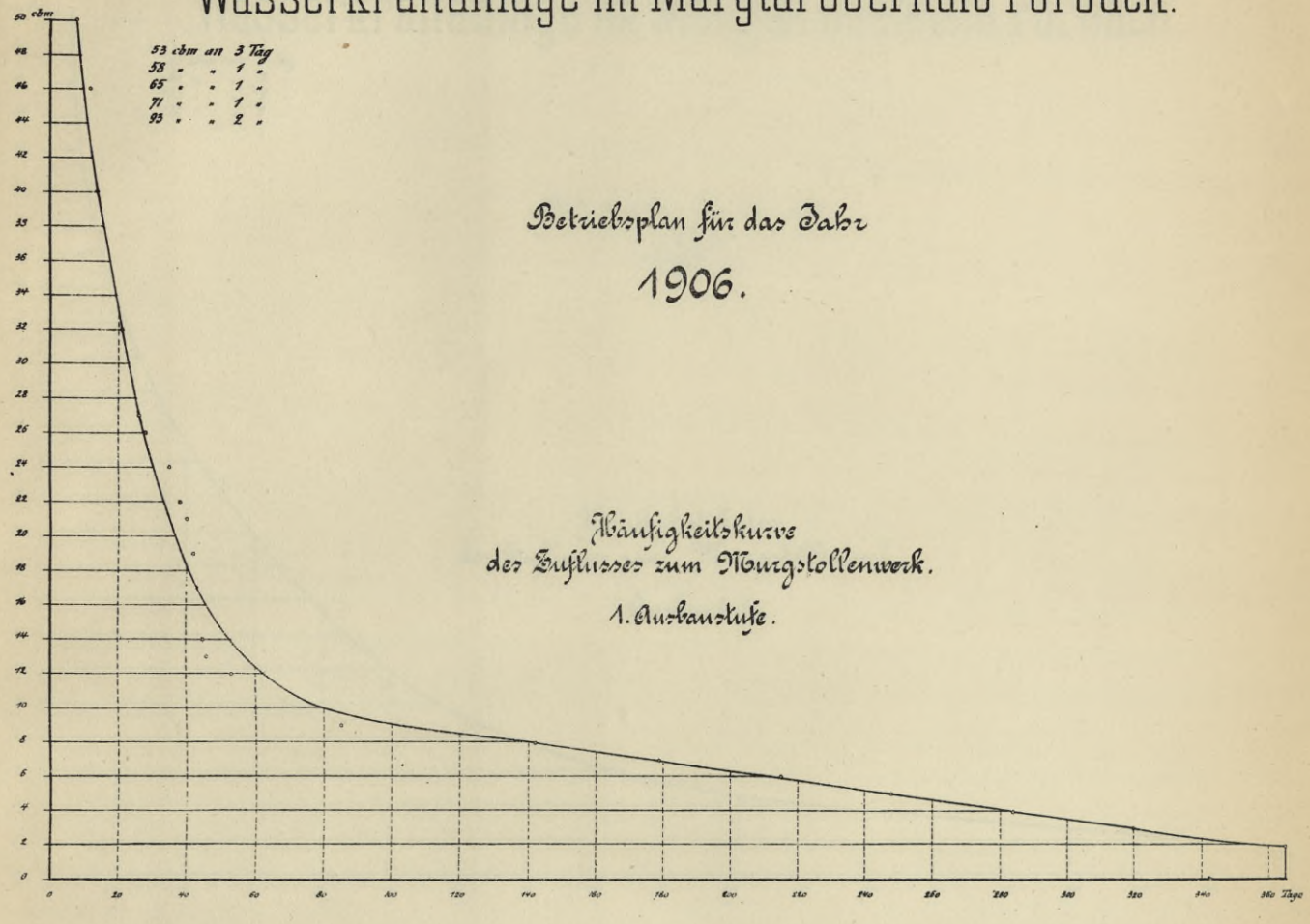
Betriebsplan
für das Jahr
1905.



Leistung des Murgstollenwerkes.
1. Ausbaustufe: I
Vollausbau: II



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

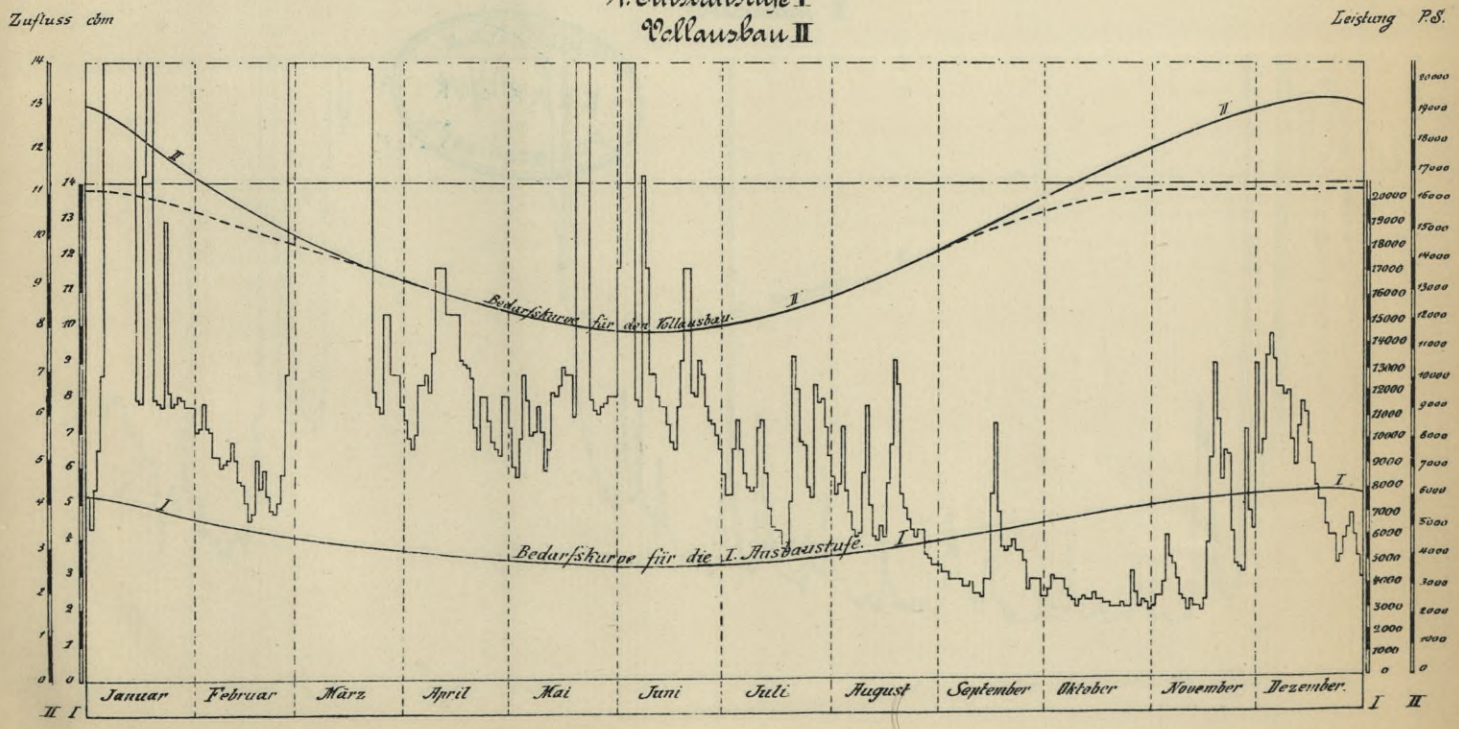


Betriebsplan für das Jahr

1906.

Häufigkeitskurve
der Zuflüsse zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.

Leistung des Murgstollenwerkes.
1. Ausbaustufe I.
Vollausbau II.



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr
1907.

53 cbm an 2 Tag
66 „ „ 2 „
115 „ „ 1 „
138 „ „ 1 „

Häufigkeitskurve
der Zuflüsse zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.

Leistung des Murgstollenwerkes.
1. Ausbaustufe I
Vollausbau II.

Zufluss cbm

Leistung P.S.

Bedarfskurve für den Vollausbau

Bedarfskurve für die I. Ausbaustufe

Januar. Februar März April Mai Juni Juli August September Oktober November Dezember.

Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Betriebsplan für das Jahr

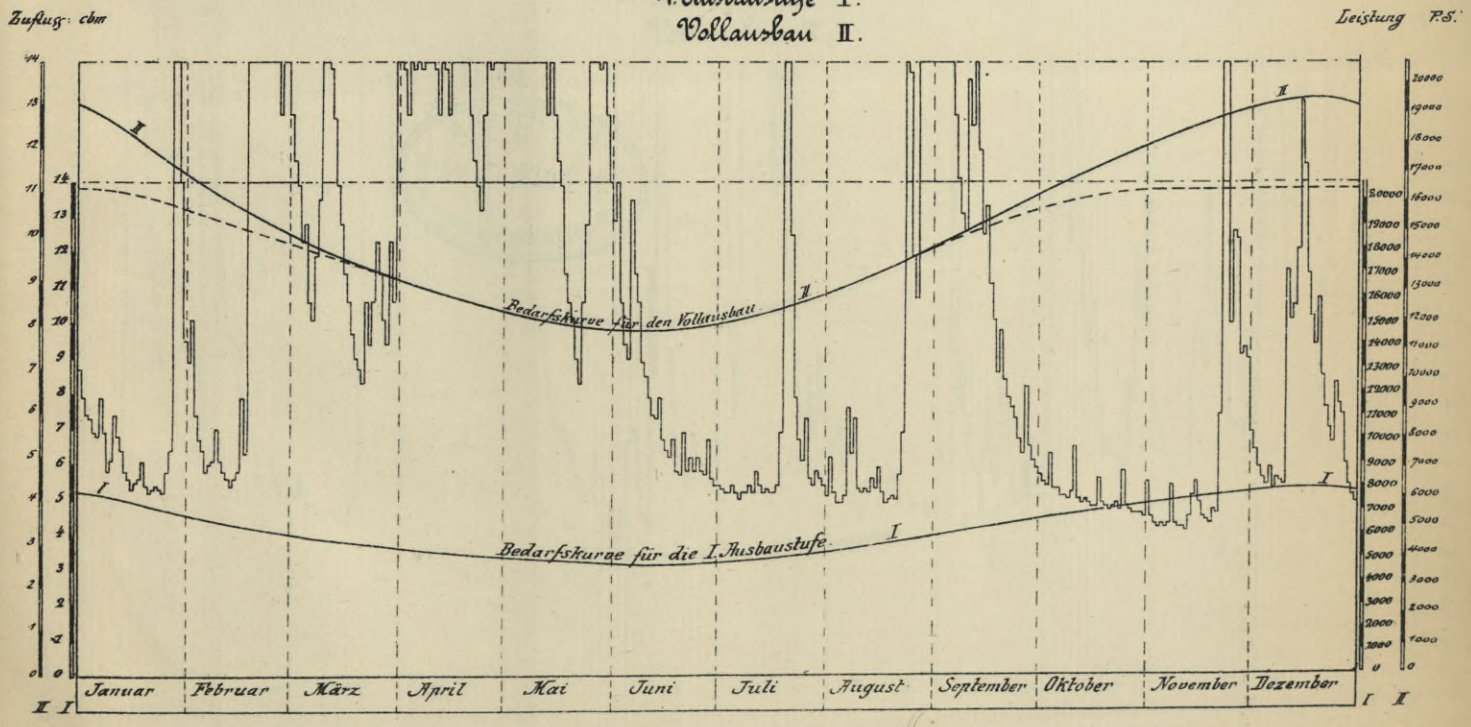
1908.

53 cbm an 1 Tag
56 " " 1 "
66 " " 1 "
78 " " 1 "
112 " " 1 "

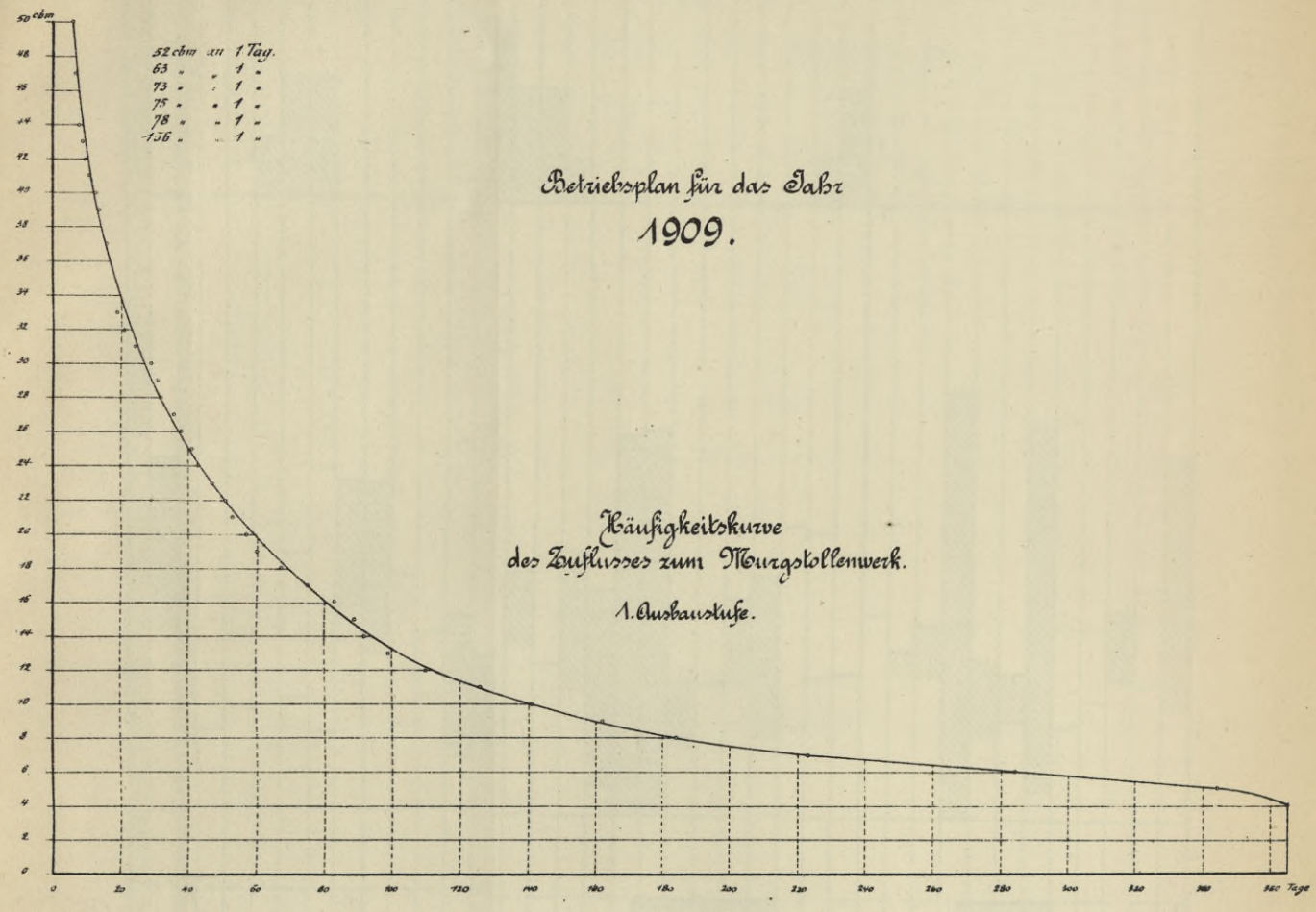
Häufigkeitskurve
des Zuflusses zum Murgstollenwerk.
1. Ausbaustufe.

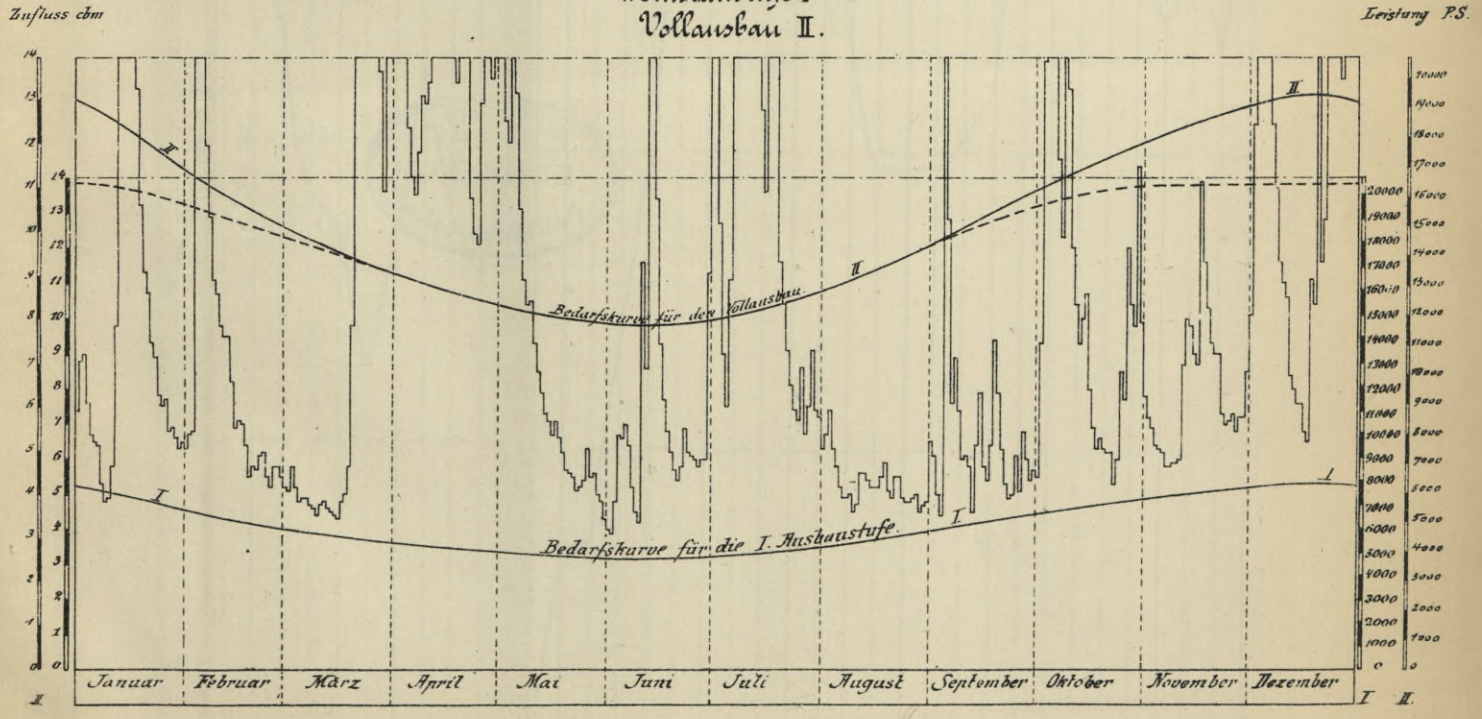
Leistung des Murgstollenwerkes.

1. Ausbaustufe I.
Vollausbau II.



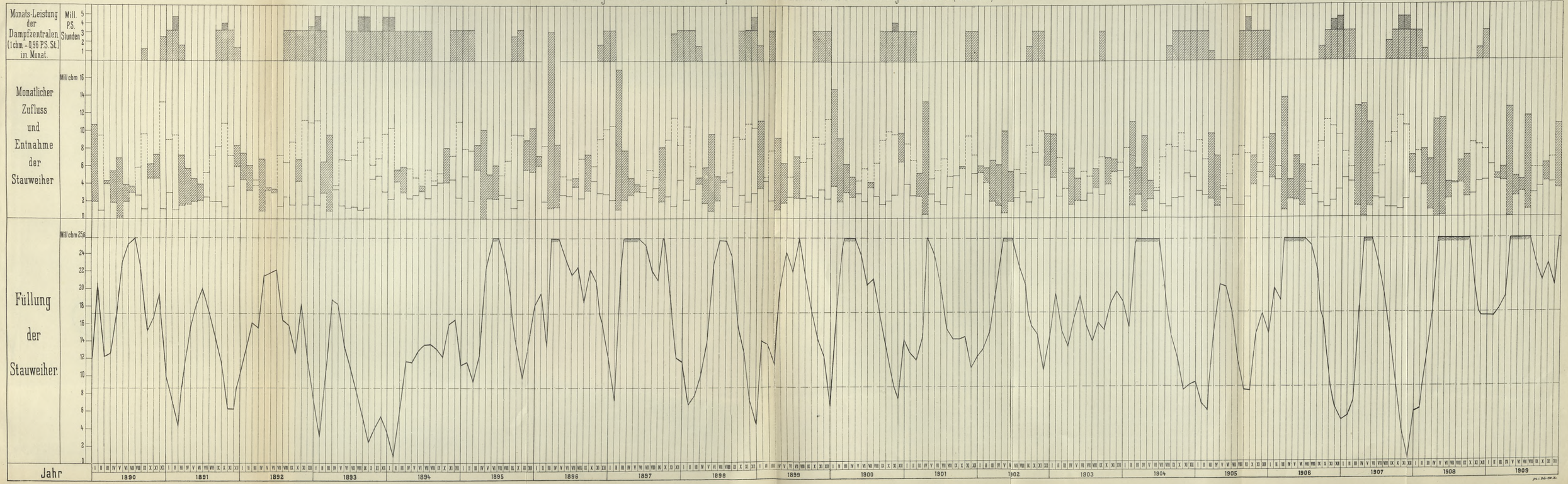
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.





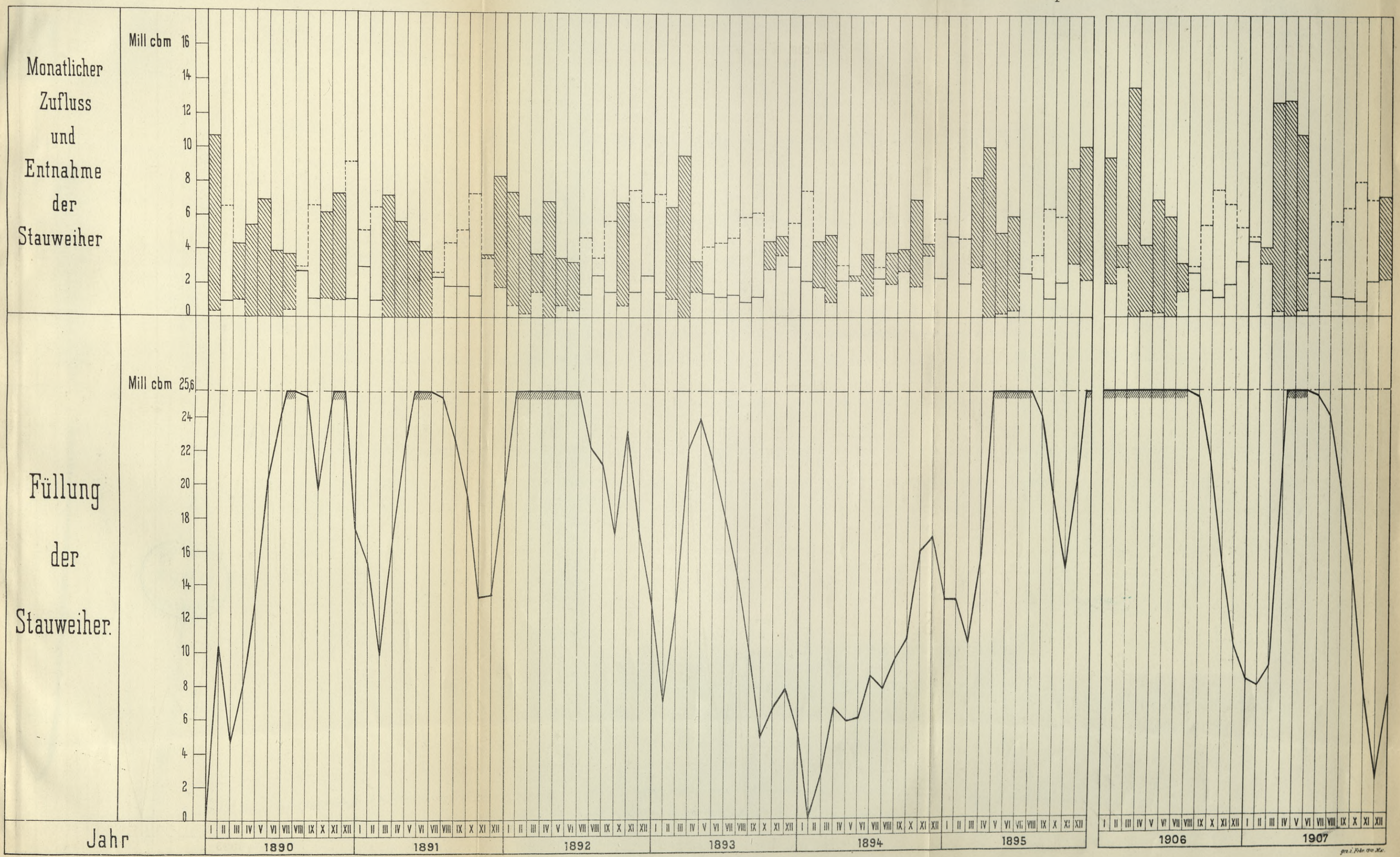
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Leistungen der Staubecken und der Dampfzentralen bei einer mittleren Jahresleistung von 15000 P.S. (Vollausbau)



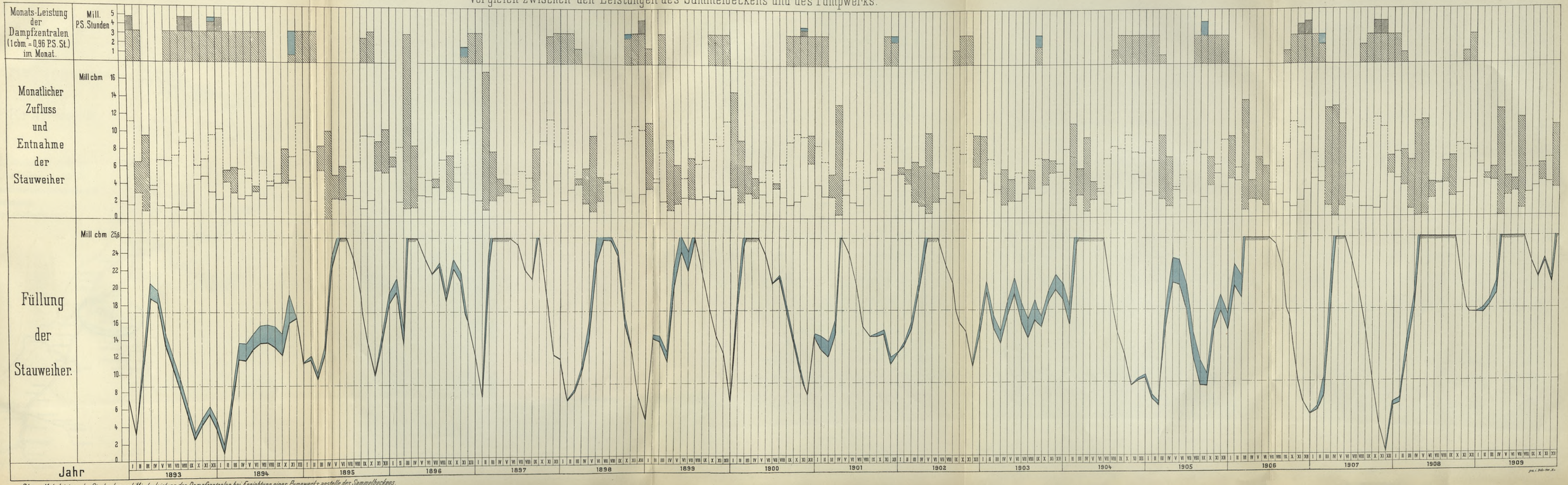
Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Leistungen der Staubecken bei einer mittleren Jahresleistung von 11000 P.S. (Vollausbau ohne Dampfreserve.)



Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Vergleich zwischen den Leistungen des Sammelbeckens und des Pumpwerks.



Blau – Mehrleistung der Staubecken und Minderleistung der Dampfzentralen bei Errichtung eines Pumpwerks anstelle des Sammelbeckens.

Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

Verteilungsnetz für das Kraftwerk.

Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

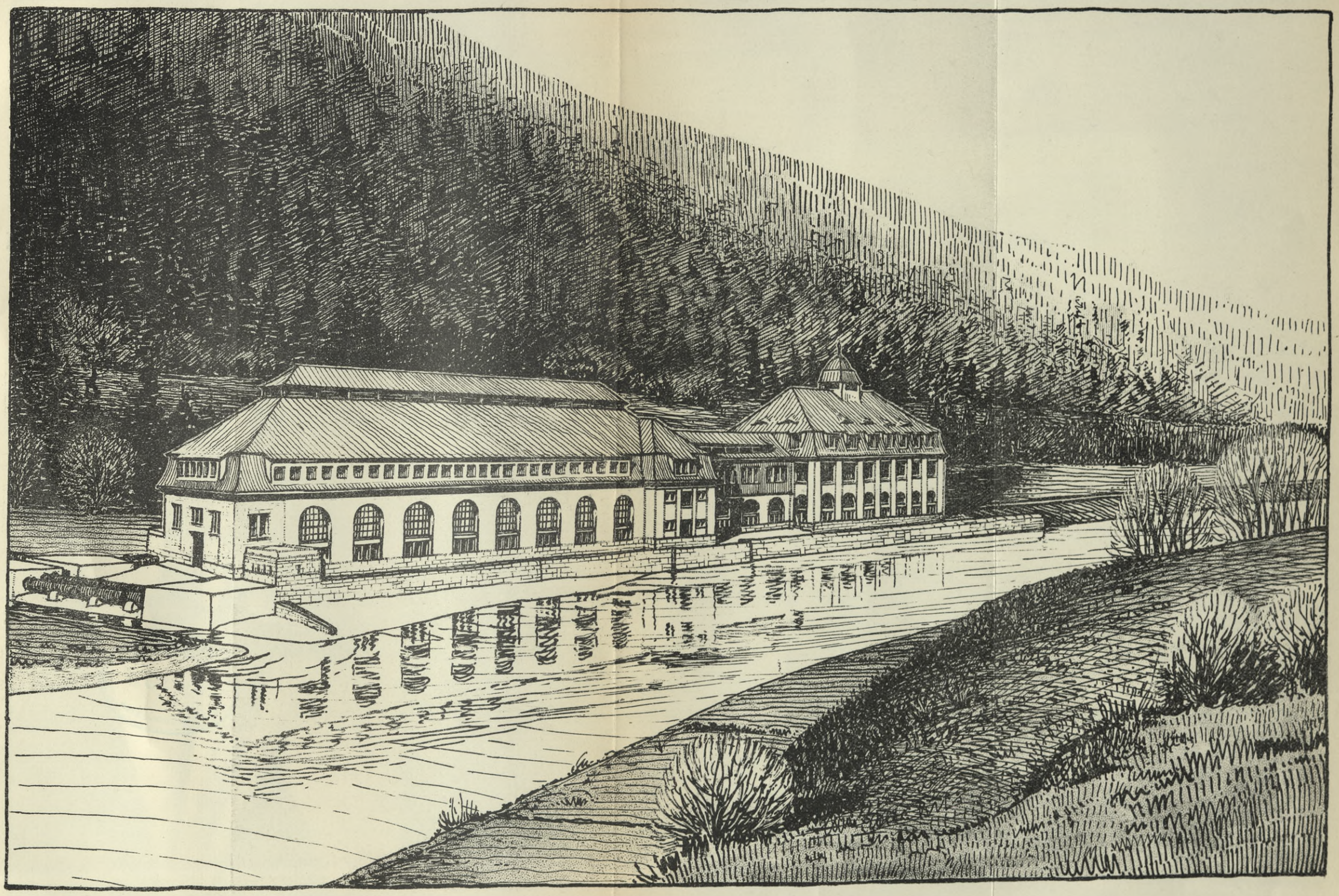


Schaubild des Kraftwerkes.

Wasserkraftanlage im Murgtal oberhalb Forbach.

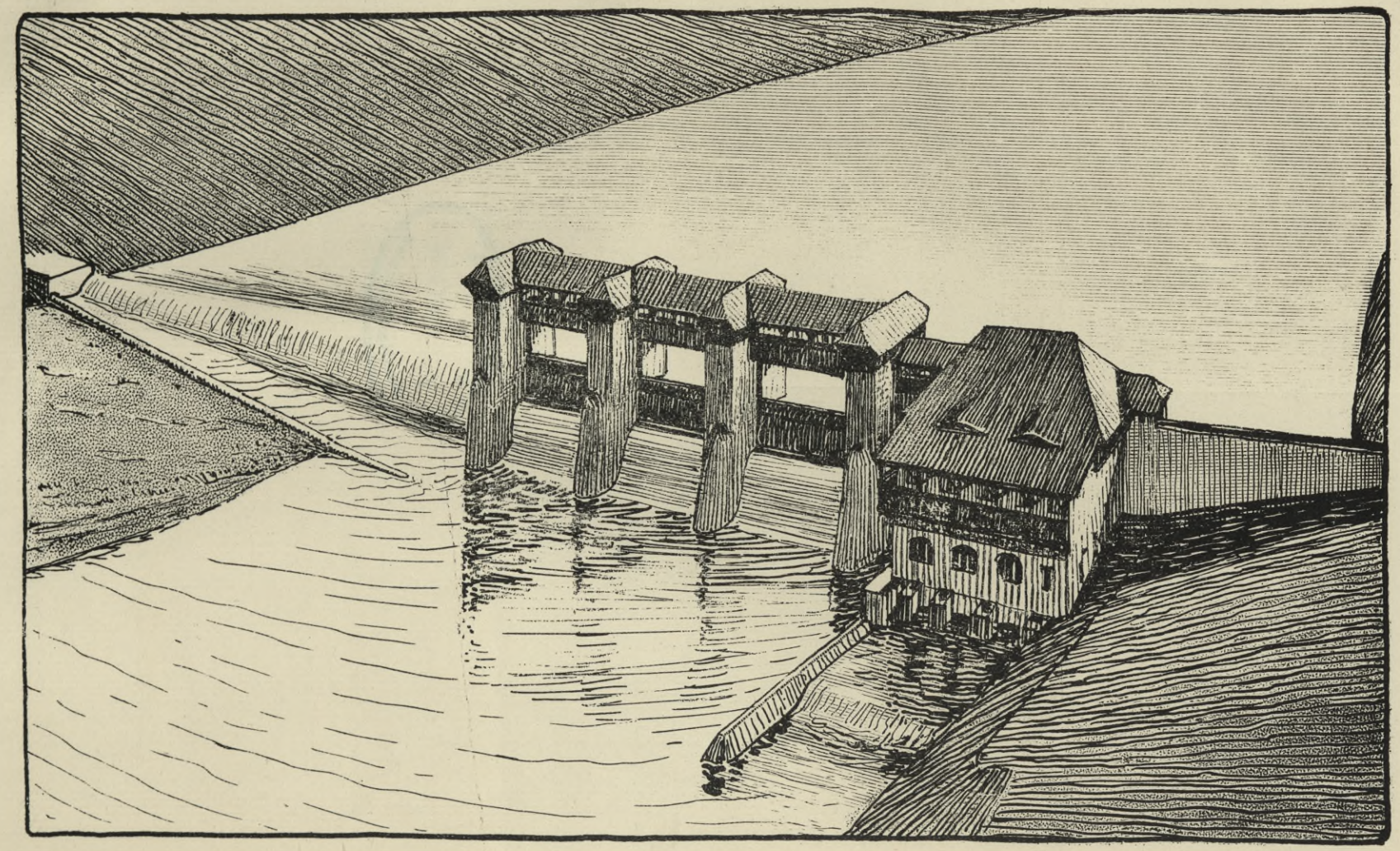


Schaubild des Murgwehrs bei Forbach.