

Zeitschrift: Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schifffahrt
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 16 (1924)
Heft: 5

Artikel: Durchlaufspeicherung in Kraftstaffelflächen
Autor: Ludis, Adolf
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-920096>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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

Inhaltsverzeichnis:

Durchlaufspeicherung in Kraftstaffelfläüssen — Elektrizitätswerk Küblis der A.-G. Bündner Kraftwerke, Chur — Elektrizitätswerk Klosters der A.-G. Bündner Kraftwerke, Chur (im Bau) — Elektrizitätswerk Undervelier-Bassecourt der Gesellschaft der L. von Roll'schen Eisenwerke, Gerlafingen — Brummachwerk Linthal der A.-G. der Spinnereien von H. Kunz, Windisch — Elektrizitätswerk Illsee-Turtmann der Illsee-Turtmann A.-G. (im Bau) — Kraftwerk Etzel der S. B. B. (Projekt) — Elektrizitätswerke Oberhasli der Bernischen Kraftwerke A.-G. (Projekt) — Ueber die Normalisierung und andere Elektrizitätsversorgungsfragen — Schweiz. Energie-Konsumenten-Verband — Eidg. Kommission für elektrische Anlagen — Mitteilungen der Rhein-Zentralkommission — Mitteilungen der Kommission für Abdichtungen des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes — Ausfuhr elektrischer Energie ins Ausland — Schweizer. Wasserwirtschaftsverband — Wasserkraftausnutzung — Wasserbau und Flusskorrekturen — Schifffahrt und Kanalbauten — Geschäftliche Mitteilungen — Wasserwirtschaftliche Literatur — Kohlen- und Oelpreise.

Durchlaufspeicherung in Kraftstaffelfläüssen.

Von Prof. Dr. Ing. Adolf Ludin, Charlottenburg.

Bei der „Durchlaufspeicherung“ wird in einer Reihe hintereinanderliegender Stauhaltungen nur die oberste als Speicher im eigentlichen Sinne ausgebaut und benützt, d. h. entsprechend den Belastungswechseln aller unten liegenden Kraftwerke abwechselnd stark abgesenkt und aufgestaut; alle übrigen Haltungen dagegen behalten ihre mittlere Spiegelhöhe annähernd bei. Sie erfahren nur eine Vermehrung oder Verminderung ihres Spiegelgefälles nach Massgabe der Aenderung der zu befördernden Aufschlagwassermenge der Kraftwerke. Am unteren Ende der Kraftstaffelreihe ist je nach den wasserwirtschaftlichen Bedürfnissen der unten anschliessenden Flusstrecke eine Ausgleich-Speicherhaltung zur Herstellung gleichmässigen Abflusses nötig oder auch entbehrlich. Durch einheitliche Leitung des Betriebs aller in der Kraftstaffel liegenden Werke muss erreicht werden, dass der Wasserverbrauch der einzelnen Werke in jedem Augenblick annähernd gleich gross ist, was bei durchweg elektrischem Betrieb am leichtesten durch Zusammenschalten aller Werke auf eine gemeinsame Hochspannungsleitung („Sammelschne“¹⁾) sichergestellt werden kann.

In der eben kurz skizzierten Form wurde der Gedanke der Durchlauf-Speicherung erstmals vom Verfasser dieses Aufsatzes im Jahre 1913 der Fachwelt im Zusammenhang mit der Beschreibung einer Teilstrecke der Neckarkanalisation unterbreitet.¹⁾

Seither ist im Zusammenhang mit der zunehmenden Intensivierung der Ausnutzung der Wasserkräfte unserer grossen Flüsse der Gedanke mehrfach in Projekten oder wasserwirtschaftlichen Vorschlägen aufgegriffen und auch weiter ausgestaltet worden, so vor allem von dem zu früh

verstorbenen Direktor Boehmler der Tiefbauunternehmung Grün und Bilfinger Akt. Ges. in Mannheim, der in eine von ihm aufgestellte Projektvariante für den Grosseiffahrtsweg auf dem Neckar von Mannheim bis Plochingen auch die Durchlaufspeicherung aufgenommen hat. Da die

Wasserführung des Neckars auf der angegebenen Strecke von oben nach unten durch Eintritt starker Nebenflüsse fortlaufend bedeutend gesteigert wird, so hat Boehmler ausser dem oberen „Hauptspeicher“ bei Pfauhausen verschiedene „Zwischenspeicher“ in den wichtigsten Nebenflüssen oder in den diese aufnehmenden Haltungen des Hauptflusses selbst vorgesehen. Diese Zwischenspeicher sollen die neuhinzukommende Wassermenge des Nebenflusses dem schwankenden Bedarf anpassen in gleicher Weise, wie es das obere Hauptbecken für den Stammfluss tut.

Der Verfasser dieses Aufsatzes hat Gelegenheit gehabt, anlässlich einer ausgedehnten Kontroverse über die Zweckmässigkeit des Boehmlerschen Vorschlages sich als Gutachter erneut eingehend mit der Frage der technischen Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit des Durchlaufspeicherbetriebes zu befassen. Dabei ergaben sich neue, bisher noch nicht gewürdigte Gesichtspunkte, die für die Beurteilung der praktischen Seite der Frage von sehr grosser Bedeutung sind. Dies und die Tatsache, dass mit der wachsenden Ausnutzung unserer Flussgefälle die Möglichkeit zur Durchführung der neuartigen Betriebsweise an zahlreichen anderen Wasserläufen sich von selbst in absehbarer Zeit einstellen wird, (Aare, Oberrhein) lassen es im allgemeinen Interesse gelegen erscheinen, wenn in Anlehnung an das erwähnte Gutachten „Ueber den Nutzen der Tages-speicherung an den Staustufen der Neckarkanalisation nach dem Entwurf der Firma Grün & Bilfinger in Mannheim“ die Hauptergebnisse der durchgeführten Studie in grossen Zügen hier mitgeteilt werden.

Zunächst seien kurz die Grundzüge des Kanalisierungsprojektes nach dem Entwurf der Firma Grün & Bilfinger (der zwar der Ausführung nicht zugrunde gelegt werden wird, hier aber zum Verständnis der nachfolgenden Ausführungen herangezogen werden muss) wiedergegeben:

Oberhalb Plochingen ist bei Pfauhausen (vgl. Abb. 1) durch ein besonderes, nicht mehr zur Schiffbarmachung dienendes Stauwehr ein Hauptspeicher von 950,000 m³ Nutzraum geschaffen. Die zur Ausnutzung dieses Stauraumes erforderliche Absenkung beträgt 1,75 m.

Die Zwischenspeicher bei Lauffen, Offenau, Neckarzimmern und Binau sollten 410,000,

¹⁾ Vergl. Ludin „Die Wasserkräfte“ S. 525.

116,000, 200,000 und 365,000 m³ Inhalt haben bei Absenkungen von bezw. 50, 25, 25 und 40 cm.

Die ganze Staffelflusstrecke enthält 24 Kraftstufen. Von diesen fallen zwölf auf die Strecke

fenau-Neckarzimmern-Binau mit je einem Kraftwerk liegen unmittelbar hintereinander. Unterhalb des vierten Zwischenspeichers (Binau) liegen noch fünf Kraftwerke. Insgesamt liegen die Hal-



Abb. 1. Neckar-Kanalisation. Uebersichts-Lageplan. Maßstab 1 : 500 000.

zwischen dem Hauptspeicher Pfauhausen und dem ersten Zwischenspeicher (Lauffen), vier liegen zwischen dem ersten und zweiten Zwischenspeicher (Lauffen-Offenau); die Zwischenspeicher Of-

tungen zum grössten Teil vollkommen im Flussbett, nur zum kleineren Teil sind es gemischte Stau- und Kanalhaltungen.

Die 180tägige Wasserführung des Neckars ist

der Abbildung 1 zu entnehmen. Sie steigt von rund 30 m³/sek. bei Pfauhausen auf 90 m³/sek. bei Heidelberg. Die (Ausbau-) Vollwassermengen sind in den einzelnen Varianten verschieden, aber immer grösser als die 180tägigen Mengen angenommen.

Das gesamte mittlere Nutzgefälle vom Oberwasser des Speichers Pfauhausen bis zum Rhein bei Mannheim beträgt rund 167 m.

Ausgehend von der Erwägung, dass durch die Tagesspeicher die Nutzbarkeit der verfügbaren Wassermenge bei schwankendem Bedarf erhöht wird, sah der Entwurf von Grün & Bilfinger einen ausserordentlich hohen Ausbau der Turbinenanlagen und Werkkanäle vor. Er wollte etwa auf das 1,5fache der 24stündig durchlaufenden 100- bzw. 120- und 150tägigen natürlichen Wassermengen gehen, womit auszubauende Vollwassermengen gleich der 50- bis 80tägig verfügbaren Wassermenge herauskamen. Die Untersuchung des Verfassers hat ergeben, dass es wahrscheinlich nicht wirtschaftlich sein würde, so hoch zu gehen, aus Gründen, die weiter unten dargelegt werden sollen.

Die gegen den Vorschlag der Durchlaufspeicherung in Kraftstaffelfläüssen vorgebrachten Bedenken¹⁾, gingen von grundsätzlich verschiedenen Gesichtspunkten aus. Es wurden nämlich einmal die physikalische (hydraulische) Möglichkeit und die betriebstechnische Durchführbarkeit der Durchlaufspeicherung bezweifelt, zum andern Teil das wasser- und kraftwirtschaftliche Bedürfnis nach Speichermöglichkeit des Kraftwassers der grossen Flusslaufwerke überhaupt bestritten, in der Annahme, dass eine sehr hohe Nutzbarkeit der verfügbaren Wasserarbeit auch im reinen Laufbetrieb (24stündig) durch entsprechende Beeinflussung der Bedarfsgestaltung — erhöhten Beizug von Nachtstromabnehmern, Ausdehnung des Versorgungsnetzes — ohne erheblichen energie- und geldwirtschaftlichen Nachteil zu erzielen sei. Endlich wurde die Wirtschaftlichkeit der für die Durchführung der Durchlaufspeicherung notwendigen besonderen Anlagen (Ober- und Unterspeicher, Zwischenspeicher) und der Einrichtungen für einheitliche Betriebsleitung bestritten.

Im Folgenden sollen die physikalisch-technischen, die energie- und wasserwirtschaftlichen und die finanziellen Beurteilungsmomente getrennt betrachtet und in Anlehnung an die Zahlenergebnisse des Gutachtens klargestellt werden.

¹⁾ Vergl. auch den Aufsatz von Baurat Block in E. T. Z. 1920 Seite 756.

I. Betriebstechnisches.

1. Die rein hydraulische Seite der Frage der Durchlaufspeicherung bezieht sich auf die Möglichkeit, an allen Zwischenstufen einer Kraftflusstafel unterhalb eines Hauptspeichers gleichzeitig oder annähernd gleichzeitig den Wasserdurchlass schnell und stark zu ändern, ohne dass unzulässige Absenkungen und Aufschwallungen oder unangenehme Wanderwellengeschwindigkeiten in den Schiffahrtaltungen und Kanälen auftreten. Diese Frage kann zweifellos endgültig erst durch den Grossversuch in der Natur entschieden werden. Zu derartigen Grossversuchen, für die in der Schweiz ein verheissungsvolles Vorbild durch die im Einvernehmen des Amtes für Wasserwirtschaft in Bern und der beteiligten Kraftwerke durchgeführte „Beobachtung einer künstlich erzeugten Hochwasserwelle in der Aare am 6. Februar 1920“ und deren dankenswerte Veröffentlichung durch das Wasserwirtschaftsamt gegeben wurde, anzuregen, ist für den Verfasser wesentlich mit die Veranlassung zur Veröffentlichung dieser Studie gewesen.

Ein erster, der besonderen, hier behandelten Frage gewidmeter Grossversuch an einer 1200 m langen Kanalstrecke des Kraftwerkes Poppenweiler a. Neckar wurde von Oberbaurat Dr. Ing. E. Maier und Regierungsbaumeister D. Ing. H. Späth in Stuttgart angestellt. Die Ergebnisse¹⁾ berechtigen allen Ernstes zu der Hoffnung, dass selbst in erheblich längeren Seitenkanalstrecken die Durchlaufspeicherung ohne nennenswerte Störungen oder Belästigungen für den Werkbetrieb und die Schiffahrt möglich sein wird. Noch viel mehr ist das für die breiten und tiefen Haltungen im offenen Fluss zu erwarten, wo die Strömungsgeschwindigkeiten und deren Änderungen bei Belastungswechsel gegenüber den Verhältnissen im geschlossenen Seitenkanal bedeutend kleiner, daher auch die Ansprüche an Gefälle d. h.: Wasserstandswechsel geringer sein werden.

Auch die Beobachtungen von Senkungen und Wanderwellen im Schiffahrt-Seitenkanal der Moldaukanalisierung bei Wranan (vergl. die Jahresberichte der Kommission für die Kanalisierung des Moldau- und Elbeflusses und Ludin „Die Wasserkraft“ Seite 925) dürfen in gleichem Sinne hier erwähnt werden.

Wenn somit an der hydraulischen Möglichkeit der Durchlaufspeicherung schon jetzt kaum noch ein Zweifel bleiben kann, so ist für die betriebstechnische Durchführbarkeit dieser Betriebsweise wohl anzuerkennen, dass die Aufgabe, den Betrieb der zahlreichen hin-

¹⁾ Veröffentlicht im Zentralblatt d. Bauverwaltg. 28. VIII. 20, Vereinsmitteilg. d. süddeutschen Kanalvereins Nr. 5 vom Febr. 1920 u. Schw. Bauztg. v. 23. April 1921.

tereinander folgenden Kraftwerke einheitlich zusammenzufassen und zu leiten, gewisse praktische Schwierigkeiten bieten wird. Als unüberwindlich können aber diese Schwierigkeiten keinesfalls bezeichnet werden. Wenn es einmal gelungen ist, sämtliche Werkleitungen von dem Nutzen der Durchlaufspeicherung für sie selbst zu überzeugen, so wird schon das Eigeninteresse sie veranlassen, den Betrieb so zu führen, dass ein gleichmässiger Durchlass in grösstmöglicher Vollkommenheit erzielt wird. Wesentlich erleichtert würde natürlich die Vereinheitlichung der Betriebsleitung noch dadurch werden, dass sämtliche Werke parallel auf eine gemeinsame Hochspannungsleitung (Sammelschiene) arbeiten. Diese — jedoch durchaus nicht unbedingte — Forderung liegt indessen auch durchaus in der allgemeinen Entwicklungsrichtung der Energiewirtschaft in allen Ländern.

Bei allmählich und ohne umfassenden Ausbauplan entstandenen Kraftflusstufen bildet die historisch gegebene Verschiedenheit der Ausbaugrösse der einzelnen Werke wohl auch noch eine gewisse Schwierigkeit. Denn es ist nötig, dass die wesentlich zu klein ausgebauten Werke im Interesse der höher ausgebauten das Schwallwasser (Zuschusswasser) teilweise unter Tags durch den Leerlauf oder das Wehr durchlassen, wobei sie natürlich bei einer gewissen Anzahl von Wasserständen Verluste an nutzbarem Wasser erleiden werden, da sie das tagsüber durch den Leerschuss gelassene Wasser bei 24stündigem Durchlaufbetrieb nächtlicherweise, wenigstens zum Teil, hätten in den Turbinen ausnutzen können.

Dieser Misstand — übrigens durch Stromtausch über die Sammelschiene oder Geldverrechnung unschwer auszugleichen — kann für neu auszubauende Kraftflusstrecken nicht als Einwand gegen die Durchführung der Durchlaufspeicherung gelten gelassen werden. Hier wird nach heute doch allgemein anerkannten Grundsätzen ein einheitlicher Ausbau auf möglichst hohe Gefälls- und Wassermengennutzung auf Grund eines von vornherein festgelegten Ausbauplanes für die ganze Gefällsstrecke vorzusehen sein, der die vollkommenste Grundlage zur Einführung der Durchlaufspeicherung bietet.

Die Regelung der Turbinensätze der einzelnen Werke auf die jeweils gewollte und bei Beginn und Ende des Speicherbetriebes in verhältnismässig kurzer Zeit ($\frac{1}{4}$ bis 2 Stunden) stark zur verändernde Wassermenge dürfte praktisch gleichfalls keine irgendwie erheblichen Schwierigkeiten bereiten, zumal man aus Betriebssicherheitsgründen auf die Verwendung selbsttätiger Drehzahlregler bei den grossen wertvollen elektrischen Einheiten, die heute in Frage kommen, doch

keinesfalls verzichten wird. Indessen wäre für die Durchführung der Durchlaufspeicherung die Anwendung selbsttätiger Drehzahlregler nicht einmal Bedingung. Denn es ist nicht nötig, dass die Turbinen der Stufenwerke sich allen kleinsten, minutlichen oder viertelstündlichen Aenderungen der Netzbelastung anpassen. Vielmehr wird es in der Regel vollkommen genügen, eine grobe und sprungweise Anpassung in längeren ($\frac{1}{2}$ bis 2-stündigen) Zeitabständen vorzusehen. (Vergl. Abb. 2.) Diese Anpassung kann durchgeführt

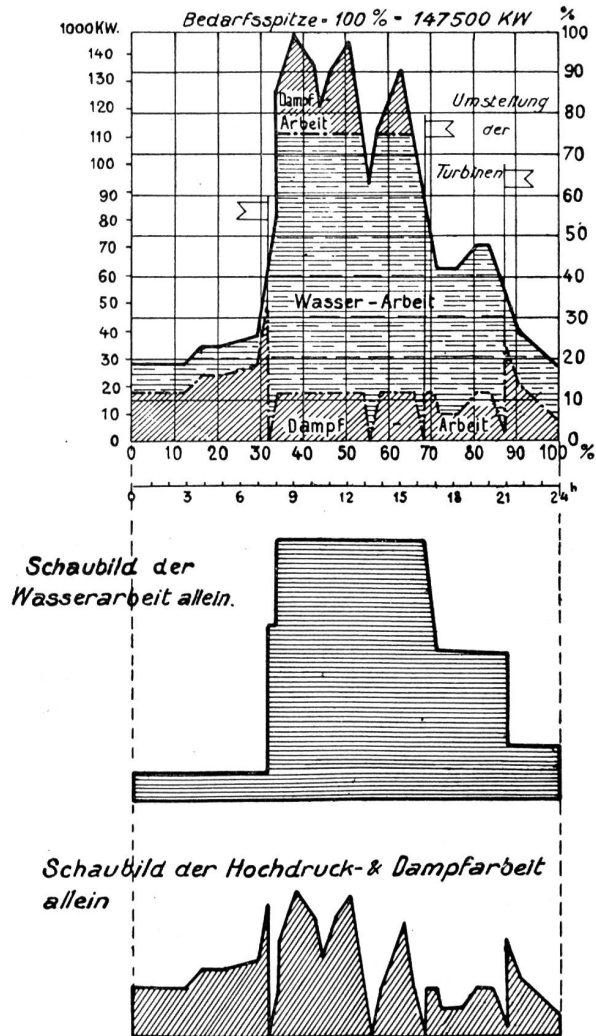


Abb. 2. Schaubild der Gesamtbelastungsverteilung.

werden — anhand von empirisch festgelegten Zahlenlisten für die gleichwertigen Wassermengen und Leistungen der einzelnen Werke — durch Betätigung der Reguliertriebe oder der Schwimmernullstellung etwa vorhandener Wasserstandsregler nach durchgegebenen Fernsprechbefehlen. (Möglicherweise wird sogar einmal bei durchgängiger Anwendung von Wasserstandsreglern eine Fernsteuerung sämtlicher Werke von zentraler Kommandoanlage aus durch einfache Veränderung der Schwimmernullstellung der einzelnen Wasserstandsregler sich als durchführbar herausstellen.)

Nennenswerte Wasserverluste sind bei nicht allzu ungleichmässig ausgebauten Werken bei dieser Betriebsführung nicht zu befürchten.

Wie Abb. 2 veranschaulicht, nimmt das Belastungsdiagramm der Wasserkraftanlagen eine stufenförmige Gestalt an. Die bei Untervollwasser — der gegebenen Zeit der Anwendung der Durchlaufspeicherung in den Niederdruckwerken — in der Regel zu Ergänzung herangezogenen Hochdruckspeicher oder Wärmekraftwerke übernehmen den Ausgleich der feineren Schwankungen und die Anpassung an das Gesamtbelastungsdiagramm ohne weiteres.

Besondere Schwierigkeiten durch die Aenderung der Wasserführung an der Einmündung von stärkeren Nebenflüssen sind infolge des Vorhandenseins von Zwischenspeichern nicht zu befürchten. Unregelmässigkeiten, wie sie durch eine nur teilweise oder ungleichmässige Ueberregnung des Einzugsgebietes bedingt werden können, werden zwar hin und wieder zu Wasserverlusten führen können, doch wird wachsende Erfahrung der Oberleitung und Schulung der einzelnen Werksleiter auch in diesen — an sich als Ausnahmefall zu bezeichnenden — Punkten wesentliche Besserungen bringen.

Weder in hydraulischer noch in betriebstechnischer Hinsicht werden daher, um zusammenzufassen, unüberwindliche Schwierigkeiten der Einführung der Durchlaufspeicherung entgegenstehen.

II. Wirtschaftliches.

In energiewirtschaftlicher Hinsicht ist zu sagen:

1. Die Grösse des nutzbaren Gefälles und damit der Umfang der theoretisch verfügbaren Wassernutzbarkeit wird beim Speicherbetrieb naturgemäss etwas kleiner sein, als beim 24stündigen Durchlaufbetrieb. Denn erstens ist etwa die halbe nutzbare Speichertiefe der Hauptspeicher und der Zwischenspeicher als verloren abzuziehen, zweitens treten an jeder Einzelstufe bei der gegenüber 24stündigem Betrieb durch Speicherung erhöhten Tagesbeaufschlagung Gefällsvermindierungen infolge der Absenkung des Oberwassers und der Aufschwallung des Unterwassers, entsprechend dem vergrösserten Fliessgefälle der Haltungen ein. Für die offenen Flusshaltungen mit ihren grossen Oberflächen und Querschnitten werden diese Gefällsverluste indessen ausserordentlich klein sein. Auch für die Kanäle werden sie keinesfalls so gross sein, dass sie den Nutzen der Umwandlung von Nachtkraft in hochwertige Tageskraft wesentlich zu beeinträchtigen vermögen.

2. Der gelegentlich, z. B. auch in der Erörterung über die Durchlaufspeicherung bei der Neckarkanalisierung gemachte Einwand, dass die Einführung der Tagesspeicherung die Verbindungsleitungen zwischen den Kraftwerken verteuere, weil grössere Leistungen zu transportieren seien, trifft das Wesen der Durchlaufspeicherung an sich nicht, sondern nur eine an sich zu hohe Bemessung der Ausbaugrösse der Werke und Verbindungsleitungen. Die Frage der Verstärkung der Ausbaugrösse der Werke und Leitungen muss gesondert von derjenigen der Einführung des Durchlaufbetriebes bearbeitet und beurteilt werden, wenn schon theoretisch eingewisser innerer Zusammenhang besteht.

3. Der Einwand, die Durchlaufspeicherung sei keineswegs nötig, um das Nachtwasser der Niederdruckwerke voll auszunutzen, hiez zu genüge erfahrungsgemäss eine entsprechende Kupplung mit regulierfähigen Hochdruckwasser- und Dampfkraftwerken bei gleichzeitig entsprechend weitgetriebener Ausdehnung des Absatzgebietes, liegt an sich nahe. Ihm ist aber entgegenzuhalten, dass man dazu beträchtliche Mengen Nachtstrom auf weite Entfernungen übertragen und dazu auf Höchstspannung bringen müsste, was einschliesslich der Fortleitung erhebliche Arbeitsverluste von 15 — 18 % bedingen würde. Gleichzeitig müsste man in erhöhtem Masse Hochdruckspeicherwasserkraft oder Wärmekraft zu reiner Tagesarbeit heranziehen. Bei der Wärmekraft würde dies wegen der nächtlichen Durchheizverluste eine Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit des Betriebs der Wärmekraftanlagen bedingen, was gemäss der Zahlentafel Nr. 1 eine ganz wesentliche Verteuernng des Netzstrompreises (Niederdruckwasserkraft einschliesslich Aushilfswärme-kraft) ergeben würde.

4. Aber auch bei Ergänzung durch Hochdruckspeicherwasserkräfte anstatt durch Dampfkraft ergäbe sich ein Nachteil, wenn die niederwasserzeitliche Nachtkraft nicht auf den Tag verlegt würde: die Grösse und Zahl der benötigten Aushilfskraftwerke ist abhängig von dem Höchstwert der Gesamtbelastung in kW und dem gleichzeitigen Kleinstwert der Gesamtleistung der Niederdruckwasserkräfte des Netzes.

Dieser Kleinstwert betrug im Falle der Neckarkanalisierung nach dem staatlichen Vorschlag nur 12,000 kW. Bei einem in den Unterlagen des Gutachtens angenommenen Netzausbau von

148,000 kW (bei dem ohne die Tagesspeicherung trotz des hohen Ausbaues noch viel Nachtwasser verloren ging) sind also 136,000 kW Aushilfsleistung erforderlich. Wird dagegen die Durchlaufspeicherung in der vom Verfasser vorgeschlagenen Weise ohne Ausbaurhöhung der Wasserkraftwerke lediglich zur Leistungserhöhung bei Untervollwasser benutzt, so ist auch noch bei Wasserklemme des Neckars über Tag eine Wasserturbinenleistung von 63,000 kW einsetzbar und damit sinkt die erforderliche Aushilfsmaschinenleistung auf 85,000 kW. Es werden also z. B. 51,000 kW Aushilfsmaschinenleistung (Hochdruckwasser- oder Wärmekraftspitzen) gespart!

Speicherwirtschaft, zweckmässig ausgeübt, gestattet also tatsächlich eine sehr erhebliche und wirtschaftlich schwer ins Gewicht fallende Einsparung an Aushilfskraftwerken. Es trifft daher durchaus nicht zu, dass die Speicherwirtschaft bei Niederwasser keinen Zweck habe, wie es u. a. auch gegen die Vorschläge eingewandt wurde.

Der weiter gemachte Einwand, dass diese Ausführungen und Rechnungen erfahrungsgemäss

fast wertlos seien, weil sich die Grundlagen in dem langen Zeitraum bis zur Inbetriebnahme der Kraftwerke sehr verschieben werden und die Neckarwasserkraft nicht mit einzelnen, sondern sehr vielen bestehenden und noch zu errichtenden Kraftwerken in Baden, Hessen und Württemberg zusammenarbeiten würden, ist nicht stichhaltig. Denn wie sich auch die Verhältnisse gegen die heutigen Annahmen des Belastungsverlaufes usw. ändern mögen, das Bedürfnis nach möglichstster Ausnutzung einmal eingebauter Wassergeneratoren wird immer vorhanden sein. Ebenso wird die Einsparung an Aushilfsleistungsbedarf, die durch dahinwirkende Betriebsführung ermöglicht wird, immer hier oder dort, so oder so zur Geltung gelangen und als volkswirtschaftlich höchst nützlich gewertet werden müssen.

Zur zahlenmässigen Klarstellung der wirtschaftlichen Vorteile der Durchlaufspeicherung wurden in dem mehrfach erwähnten Gutachten unter der Voraussetzung der Lieferung des Ergänzungsstromes durch grosse Wärmekraftwerke Vergleichsrechnungen für die verschiedenen Möglichkeiten der Ausbaugrösse und unter Anwendung der Speicherung aufgestellt, deren Ergebnis das eben in allgemeiner Beziehung Ausgeführte vollkommen bestätigte. Folgende Fälle waren dabei zugrundegelegt:

Fall-Bezeichnung	Netzausbau	Spitze	Turbinenausbau	Betriebsform	Belastungsverteilung
1a	„Klein“	147 500 kW	„Klein“ 91 400 kW	Laufwerk (kein Speicher)	Wasser in Grundkraft
1b	„Klein“	147 500 kW	„Klein“ 91 400 kW	Speicher	Wasser in Grundkraft
1c	„Klein“	147 500 kW	91 400 kW	Speicher	Wasser in Tages- und Spitzenkraft
2a	„Gross“	222 000 kW	„Klein“ 91 400 kW	Laufwerk	Wasser in Grundkraft
2b	„Noch grösser“	348 000 kW	„Klein“ 91 400 kW	Speicher	Wasser in Grundkraft
1d	„Klein“	147 500 kW	„Gross“ 136 800 kW (Entwurf von Grün und Billfinger)	Speicher	Wasser in Grundkraft und bis hoch hinauf in die Spitzen

Erläuterungen:

„Turbinenausbau klein“ heisst: Vollwassermenge der Kanäle und Turbinenanlagen bei den oben schon genannten Werksgruppen der natürlichen 100-, 120- und 150-tägigen verfügbaren Wassermenge entsprechend.

„Turbinenausbau gross“ heisst: Turbinen und Kanäle ausgebaut für das 1½fache der 100-, 120- und 150-tägigen verfügbaren Wassermenge entsprechend Grün & Billfinger.

„Netz klein“ heisst: Netz und Anschlussgrösse wie im Entwurf Grün & Billfinger vorgesehen mit einer Höchstleistung (Diagrammspitze) von 147,500 kW für die gesamte Netzbelastung (Neckar und Fremdstrom zusammen).

„Netz gross“ oder „noch grösser“ heisst: das Netz ist grösser angenommen. Die Höchstleistung wird

fallweise so bestimmt, dass die dauernde Grundkraft hoch genug wird, um die gewünschte Ausnutzung der Neckarwasserkraft zu ermöglichen.

Bei der Rechnung wurden die Kostenanschlagssummen des Grün & Billfingerschen Projektes und 8 % Gesamtjahresziffer zugrundegelegt.

Die Kosten der Dampfarbeit wurden teilweise nach Klingenbergs „Bau grosser Elektrizitätswerke“ und die Durchheizkosten bei ruhender Maschine nach eigenen Aufstellungen des Verfassers auf Grund von Betriebserfahrungen des Elektrizitätswerkes der Stadt Karlsruhe ermittelt und in den Leistungsplänen Abb. 3 mit dargestellt. Es wurden Turbineneinheiten mit 10,000 kW und Kesseleinheiten von je 1000 kW Leistung zugrunde gelegt. Als Friedenskohlenpreis (7500 WE/kg) — wurden 18 Mark/t eingesetzt.

Tabelle 1

Uebersichts-

Fall		Werk- gruppe (Ausbau)	Gesamt-Netz			Wasser					
Bezeichnung	Besondere Anordnung		Bedarfs- spitze E _{max} kW	Arbeitsbedarf		Turbinen- Ausbau kW	Wasser- arbeit kWh/Jahr	Speicher- arbeit kWh / Jahr	Kleinste Wasser- leistung bei Was- serklemme kW	Unständige Nachtarbeit	
				49,6% von E _{max} kW/Jahr	kWh/Jahr					kWh / Jahr	Anschluß- größe kW
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1a	Kleiner Turbinenausbau	100 tägig	79 700	39 500	346 000 000	49 400	221 568 000		8 000	67 300 000	
	Kleiner Netzausbau	120 tägig	47 300	23 500	206 000 000	29 300	136 032 000		6 500	40 400 000	
	Rheinau		20 500	10 200	89 000 000	12 700	55 776 000		2 500	15 300 000	
	Laufwerk (kein Speicher)	zusammen	147 500	73 200	641 000 000	91 400	413 376 000		17 000	123 000 000	65 000
1b	Kleiner Turbinenausbau	100 tägig					238 528 000	16 960 000		50 340 000	
	Kleiner Netzausbau	120 tägig	wie bei 1a	wie bei 1a	wie bei 1a	wie bei 1a	145 194 000	9 162 000	wie bei 1a	31 238 000	
	Rheinau						61 220 000	5 444 000		9 856 000	
	Speicherwerk (Wasser in Grundkraft)	zusammen	147 500	73 200	641 000 000	91 400	444 942 000	31 566 000	17 000	91 434 000	65 000
1c	Kleiner Turbinenausbau	100 tägig							35 100		
	Kleiner Netzausbau	120 tägig	wie bei 1a	wie bei 1a	wie bei 1a	wie bei 1a	wie bei 1b	wie bei 1b	20 800	wie bei 1b	
	Rheinau								9 100		
	Speicherwerk (Wasser in Spitzen)	zusammen	147 500	73 200	641 000 000	91 400	444 942 000	31 566 000	65 000	91 434 000	65 000
1d	Großer Turbinenausbau	100 tägig		39 000	341 640 000	73 935	263 040 000	41 472 000		25 828 000	
	Kleiner Netzausbau	120 tägig	wie bei 1a	23 100	202 356 000	43 845	163 868 000	27 836 000	wie bei 1a	12 564 000	
	Rheinau			10 000	87 600 000	19 000	67 680 000	11 904 000		3 396 000	
	Speicherwerk (Entw. Grün u. Bilfinger)	zusammen	147 500	73 200	631 616 000	136 780	494 588 000	81 212 000	17 000	41 788 000	65 000
2b	Kleiner Turbinenausbau	100 tägig	120 000	59 500	521 500 000		251 000 000			35 300 000	
	Großer Netzausbau	120 tägig	71 200	35 300	309 200 000	wie bei 1a	154 800 000		wie bei 1a	22 800 000	
	Rheinau		30 800	15 300	133 800 000		62 200 000			8 860 000	
	Laufwerk (kein Speicher)	zusammen	222 000	110 100	964 500 000	91 400	468 000 000		17 000	66 960 000	51 000
		Fortleitungs- verlust:					—28 300 000		—1 000		
		Verfügbar im Verteilungs- netz					439 700 000		16 000		
2a	Kleiner Turbinenausbau	100 tägig				wie bei 1a					
	Großer Netzausbau (größer als bei 2a)	120 tägig									
	Rheinau										
	Speicherwerk	zusammen				91 400	539 100 000		17 000		
		Fortleitungs- verlust:					—59 800 000		—1 900		
		Verfügbar im Verteilungs- netz	384 000	190 500	1 667 000 000		479 300 000		15 100	6 300 000	

Tafel

Dampf		Jahres - Kosten und kWh - Kosten										Baukosten (ohne Neg)		
Dampfarbeit kWh/Jahr	Größte Dampf- leistung kW	Wasserarbeit		Speicherarbeit		Dampfarbeit				Gesamtarbeit		Wasser- kraft	Dampf- kraft	Wasser- u. Dampfkraft
		Jahres- kosten Mk./Jahr	Pfig./kWh	Jahres- kosten Mk./Jahr	Pfig./kWh	Reine Koh- lenkosten Mk./Jahr	Übrige Kosten Mk./Jahr	Gesamte Jahreskosten Mk./Jahr	Pfig./kWh	Jahres- kosten Mk./Jahr	Pfig./kWh	Millionen Mk.	Millionen Mk.	Millionen Mk.
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
124 432 000	71 700					2 335 000								
69 968 000	40 400					1 275 000								
33 224 000	18 800					645 000								
227 624 000	130 500	6 660 000	1,61			4 355 000	3 705 000	8 060 000	3,54	14 720 000	2,30	78,8	32,6	111,4
107 472 000	wie bei 1a					2 110 000								
60 806 000						1 124 000								
27 780 000						537 000								
196 058 000	130 500	6 720 000	1,51	30 000	0,190	3 771 000	3 705 000	7 476 000	3,81	14 196 000	2,21	79,7	32,6	112,3
wie bei 1b	44 600					1 875 000								
	26 500					1 027 000								
	11 400					487 000								
196 058 000	82 500	6 720 000	1,51	30 000	0,190	3 389 000	2 350 000	5 739 000	2,93	12 459 000	1,94	79,7	20,6	100,3
78 600 000	wie bei 1a					1 544 000								
38 488 000						728 000								
19 920 000						386 000								
137 008 000	130 500	8 200 000	1,66	1 540 000	1,90	2 658 000	3 705 000	6 363 000	4,64	14 563 000	2,31	92,7	32,6	125,3
270 500 000	112 000					4 686 000								
154 400 000	64 700					2 721 000								
71 600 000	28 300					1 230 000								
496 500 000	205 000					8 637 000								
+ 28 300 000	+ 1000					490 000								
524 800 000	206 000	6 660 000	1,52			9 127 000	5 870 000	14 997 000	2,86	21 657 000	2,25	78,8	51,5	130,3
1 187 700 000	368 900	6 720 000	1,40	30 000	2,79	20 650 000	10 500 000	31 150 000	2,62	37 870 000	2,27	79,7	92,2	171,9

Die Hauptzahlenergebnisse sind in der Tabelle Nr. 1 zusammengestellt, hier folgen die wichtigsten Ergebnisse (vgl. dazu noch Abb. 3).

ehrende Wasserkräfte, deren Mitarbeit zur Einschränkung des Wärmekraftverbrauches an sich sehr erwünscht ist, in die Tagesschichten gedrängt

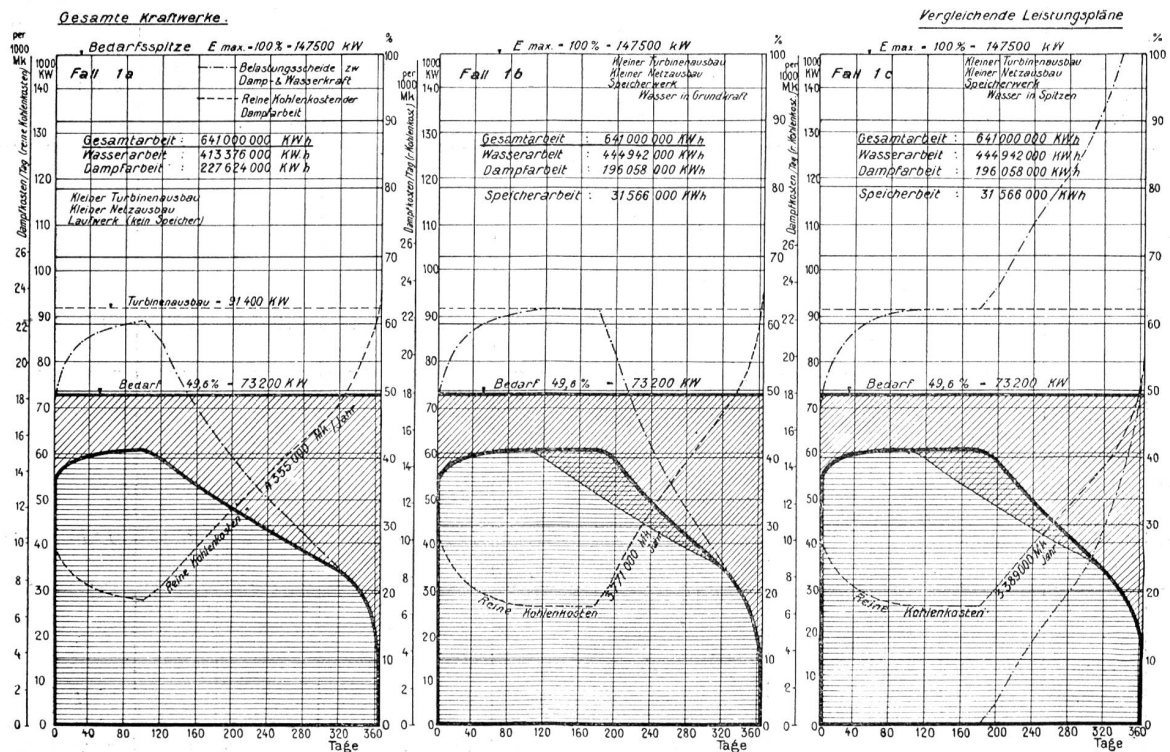


Abb. 3. Vergleichende Leistungspläne.

Die Ausbeute an Gesamtwasserarbeit. (Spalten 8 der Uebersichtstafel)

Sie ist im Falle 1 b und 1 c (Speicher, kl. Turbinenausbau) um rund 32,000,000 kWh Speicherarbeit grösser als im Falle 1 a (Laufwerk, kleiner Turbinenausbau, kleines Netz).

Im Falle 2 a (Laufwerk, kleiner Turbinenausbau, grosser Netzausbau) ist sie nur um rund 26,000,000 kWh grösser als im Falle 1 a, obwohl die Netzgrösse (Lastbildspitze Spalte 4) von 147 500 auf 222,000 kW gesteigert ist.

Im Falle 2 b (wie 2 a, aber noch grösserer Netzausbau) ist die Ausbeute um rund 66,000,000 kWh grösser als im Falle 1 a; dabei muss aber eine Netzausdehnung entsprechend einer Spitze von 384,000 kW und einem Jahresarbeitsbedarf von insgesamt 1,667,000,000 kWh angenommen werden, was schon über den Rahmen der Absatzländer Württemberg, Baden und Hessen hinausgehen dürfte, so dass sehr grosse Uebertragungsentfernungen inbetracht kommen und Verwendung der Neckarkraft in Landesteilen und Belastungsschichten nötig würden, die wirtschaftlich richtiger an den Flusswasserkraften (Oberrhein, Donau usw.) zuzuweisen wären. M. a. W.: wenn man durch überaus grosse Netzausdehnung gewaltsam eine Vollaussnutzung der Neckarkräfte in Grundkraft zu erreichen sucht, so müssen unvermeidlich andere, noch weniger leicht zu spei-

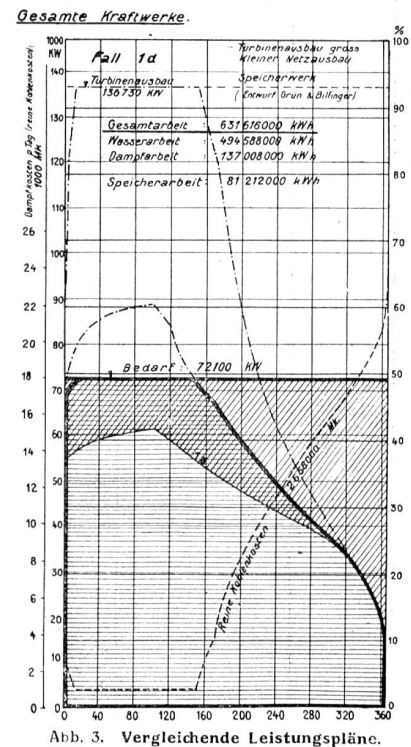


Abb. 3. Vergleichende Leistungspläne.

und dadurch deren Ausnutzbarkeit verschlechtert werden.

Die höchste Ausbeute erzielt (bei kleinem Netzausbau) der Fall 1 d (grosser Turbinenausbau, Speicher) nach dem Entwurf von Grün & Bilfinger mit rund 495,000,000 kWh oder rund 80,000,000 kWh mehr als Fall 1 a. Dafür ist der

Turbinenausbau sehr hoch, und es bleiben immer noch 42,000,000 kWh unständig verfügbare Nachtarbeit übrig.

Die erforderliche „Dampfarbeit“ (Spalte 13) allgemeiner: Ergänzungsarbeit, ist im Falle 1d naturgemäss am kleinsten von allen Fällen.

Die Anlage- und Jahreskosten der Wasserkraftanlagen werden dagegen entsprechend dem hohen Ausbau am grössten, und auch die insgesamt erzeugte kWh stellt sich am teuersten, wenn auch die Unterschiede hierin zwischen Fall 1a, 1d, 2a und 2b verschwindend gering sind (2,30, 2,31, 2,25, 2,27 Pfg.). Auch Fall 1b (Speicher, Turbinen klein) hat kaum niedrigeren Arbeitspreis (2,21), während Fall 1c (wie 1b, aber Wasserkraft bei Untervollwasser ganz in den Tagesbetrieb verlegt) durch auffallend niedrige Kosten (1,94 Pfg. kWh) ausgezeichnet ist.

Dies ist dadurch bedingt, dass nach Ausweis der Uebersichtstafel (Spalte 14) die erforderliche Aushilfsmaschinenleistung im Falle 1c nur 82,500 kW gegen 130,500 im Falle 1a, 1b, 1d zu sein braucht, weil die speicherfähigen Niederdruckwerke bei N. W. auf die Spitzen, statt auf die Grundkraft angesetzt werden, vergl. die vergleichenden Leistungspläne, Abb. 3.

Wenn dagegen eingewendet würde, dass die Ergänzungsarbeit zum Teil von anderen speicherfähigen Wasserkraften und zum Teil vielleicht noch von schon abbeschriebenen Dampfanlagen übernommen werden kann, so ist dem entgegenzuhalten, dass doch in einen oder andern Falle die Einsparung von z. B. $130,500 - 82,500 = 48,000$ kW Maschinenleistung volkswirtschaftlich als ein grosser Vorzug des Speicherbetriebes nach Fall 1c zu bewerten ist. Die „ersparte“ Maschinenleistung kann eben entweder tatsächlich bei Neuanlagen gespart werden, oder, wenn sie vorhanden sein sollte, irgendwie anders nutzbringend verwendet werden. Infolgedessen erhält man jedenfalls einen ganz zutreffenden Bewertungsmaassstab, wenn man die Kapitalkosten der Maschinenleistung so, wie es geschehen ist, einsetzt.

Selbstverständlich kann auch der Fall 1d noch in ähnlicher Weise günstiger gestaltet werden, indem man die Wasserarbeit durch die Speicher voll auf den Tag verlegt. Die Rechnung ist nicht durchgeführt, weil das Ergebnis „x“ zu der Zahl 2,31 des Feldes 1d etwa im selben Verhältnis stehen würde, wie die Zahl 1,94 von Fall 1c zu der Zahl 2,21 von Fall 1b und somit annähernd abzuschätzen ist.

Abschliessend kann man sagen, dass die Fälle mit Speicherung (1d und 1c) bezüglich des kWh-Preises annähernd gleichwertig, dass Fall 1d bezüglich der Gesamtausbeute überlegen ist, dafür

aber rund 13 Millionen Mark Friedenspreis Anlagekapital mehr erfordern würde als Fall 1c, der seinerseits gegenüber 1a, 2a, 2b nur rund 0,9 Millionen höhere Baukosten der Wasseranlagen erfordert. Nochmals sei betont, dass der Hauptvorteil der Speicherung neben der „Veredelung“ der Nachtarbeit in der Möglichkeit der erheblichen Beschränkung des Bedarfs an Aushilfsleistung liegt! —

Die Ausführungen und Rechnungen, wenn auch auf ein besonderes Beispiel zugeschnitten, dürfen für die Verhältnisse der oberrheinischen Kraftversorgungsgebiete, wo als Ergänzung der Niederdrucklaufwasserkraften zunächst weniger Dampfkraft als Hochdruckspeicherwasserkraft in Frage kommen wird, doch grundsätzlich volle Geltung beanspruchen. Sie weisen darauf hin, wie bedeutungsvoll für den Ausbau der Energiewirtschaft die Durchführung der Durchlaufspeicherung in Kraftflusstaffeln sein würde, da sie eine erhebliche Beschränkung des Spitzenausbaues dieser Ergänzungswerke ermöglichen würde.

Möge es bald dazu kommen, dass durch weitere, grösser angelegte Versuche, für die besonders in der Aare die Vorbedingungen günstig sein dürften, die wichtige Frage vom praktischen Standpunkte aus weiter abgeklärt wird!



Elektrizitätswerk Küblis der A.-G. Bündner Kraftwerke, Chur.*)

Allgemeines.

Das Kraftwerk Küblis nützt die Landquart aus auf eine Flußlänge von 10,0 km mit einem Ausgleichbecken von 90,000 m³ Inhalt bei Klosters. Der Zufluß erfolgt aus dem Schlappinbach bei Klosters-Dörfli. Ferner gelangt der Schanielabach auf 4,5 km Flußlänge zur Ausnutzung. Die maximale Stauhöhe in der Landquart beträgt 1181,50 m ü. M., das Bruttogefälle 361 m, das mittlere Nettogefälle 330 m. Im ersten Ausbau wird eine Wassermenge von 10 m³/sek. ausgenutzt, die später bis zu 14,5 m³/sek. vergrößert wird. Vorläufig sind 35,000 PS installiert und 1 Umformergruppe von 3200 kVA. Die tiefbauliche Anlage wurde ausgebaut für eine maximale Installierung von 55,000 PS. Mit dem Bau wurde 1919 begonnen. Projektverfasser ist Ingenieur R. Moor, die Bauleitung besorgten Ing. R. Moor, Zürich, und Ing. E. Frei, Davos.

Lieferanten und Unternehmer.

Wasserfassung in Klosters und Druckkanal (Eisenbetonrohr, meist in offener Baugrube)

*) Beschreibung dieses und der folgenden Werke nach der Sonderausgabe des „Führers durch die schweizerische Wasserwirtschaft“, Ausgabe 1924, im Druck.