

Die graphische Darstellung der Abflussmengen zeigt ferner mit erschreckender Deutlichkeit die starken Variationen innert eines Jahres und die grossen und lang andauernden Lücken, die sowohl im Sommer als auch im Winter entstehen. Es drängt sich daher zum Vorhinein und ohne weitere Ueberlegung die Notwendigkeit auf, durch Anlage von Staubecken die Schwankungen nach Möglichkeit auszugleichen, wobei es aber die gegebenen Verhältnisse ausschliessen, selbst in den wasserärmsten Jahren einen Jahresausgleich erreichen und den mittleren Jahreszufluss ausnützen zu können, da die nötigen Dimensionen der Ausgleichbecken nicht geschaffen werden können. Wie später noch auseinandergesetzt werden soll, ergibt sich bei den in Betracht fallenden kleinern Staubecken eine Ausnützung von nur 20—30 % des mittleren Abflusses aller betrachteten Jahre, bedingt durch die viel zu geringen Inhalte derselben. Erst bei grössern Becken wäre eine Steigerung bis auf 57 % möglich.

Nun ist es ganz und gar unzulässig, mit dem totalen Beckeninhalte zu rechnen, wie dies Herr Müller tut. Stets wird man einen gewissen Schutzraum für die eintretende Verschotterung und Verschlammung übrig lassen müssen, auf dessen minimale Grösse wir später zurückkommen werden. Auch darf bei den für die Projekte Müller in Betracht kommenden, stellenweise sehr geringen Gefällen die Schwankung der letztern bei weitem nicht so stark angenommen werden, dass dieselben gegen das Ende der Niederwasserperiode beinahe auf Null hinuntersinken. Wir halten eine Variation von über 25—30 % des totalen Gefälles für unzulässig.

Mit diesen Bemerkungen wollten wir nur nachweisen, dass keine Rede davon sein kann, je den ganzen mittlern Jahreszufluss, selbst nicht in den trockensten Jahren, ausnützen zu können, da weder in der Thur noch in der Sitter so grosse Becken geschaffen werden können.

Die Schwankungen der Wassermenge verteilen sich folgendermassen auf die betrachteten Jahre:

	Necker	Lichtensteig	Andelfingen
Unter Mittel	1904, 1906, 1907, 1908, 1909, 1911, 1913, 1917.	1904, 1908, 1911, 1913, 1916, 1917.	1904, 1906, 1907, 1908, 1911, 1913, 1917.
Ueber Mittel	1905, 1910, 1912, 1914, 1915, 1916.	1905, 1906, 1907 1909, 1910, 1912, 1914, 1915.	1905, 1909, 1910, 1912, 1914, 1915, 1916.

Ausgesprochen wasserreiche Jahre waren demnach die Jahre 1910—1916 mit Ausnahme von 1911; als wasserarm zeigt sich die Periode von 1904—1908 und dann besonders das Jahr 1911.

Nun stützen sich die Berechnungen des Herrn Ingenieur Müller gerade auf die letzten Jahre (1912—1915), was natürlicherweise zu bedeutenden Ueberschätzungen führen musste.

Abflussmengen für die verschiedenen Staustellen und Festsetzung der Verbrauchskurve.

Die Resultate der direkt beobachteten und durch Vergleichung berechneten spez. Abflussmengen der Pegelstationen können nun durch Umrechnung auf die bezüglichen Einzugsgebiete für jeden beliebigen Punkt des Flusslaufes, also für jedes beliebige Staubecken, übertragen werden. So haben wir die *wirklichen* spez. Abflussmengen bestimmt:

- für den Stausee Müller am Necker aus den Resultaten der Pegelstation Necker 1904—1917;
- für den Stausee Müller an der Thur bei Lütisburg folgendermassen:

Da die Station Lichtensteig trotz des dreimal grössern Einzugsgebietes (264 km²) grössere spez. Abflussmengen aufweist als die Station Necker (85 km²), und die Abflussverhältnisse des Gebietes zwischen Lütisburg und Lichtensteig (55 km²) denjenigen des Neckergebietes (124 km²)

besser entsprechen, wurde zur Berechnung der Abflussmengen der Thur inkl. Necker bei Lütisburg (443 km^2) die spez. Abflussmenge bei Lichtensteig mit 264 km^2 und diejenige des Neckers mit $124 + 55 = 179 \text{ km}^2$ berücksichtigt.

- c) Stausee Schwarzenbach und }
 Stausee Mühlau } Spez. Abflussmenge von Lütisburg.
- d) Stausee Bischofszell: Zu den Abflussmengen bei Lütisburg kommt diejenige des Gebietes zwischen Lütisburg und Bischofszell (298 km^2) hinzu, wofür die spez. Abflussmengen von Andelfingen eingesetzt wurden. (Das Gebiet Lütisburg-Bischofszell weist mittlere Verhältnisse des totalen Einzugsgebietes von Andelfingen auf.)
- e) Stauseen an der Sitter: Abflussmengen der Pegelstationen Bischofszell und List. Die für Thürlewang berechneten Abflussmengen können auch für die oberen Staubecken zu Grunde gelegt werden.

Die auf diese Weise berechneten spez. Abflussmengen wurden graphisch aufgetragen und die berechneten Mittel der hydrologischen Jahre (1. Juli bis 30. Juni) sowie der ganzen Periode tabellarisch zusammengestellt. Wir werden auf diese Darstellung bei der Besprechung jedes einzelnen Projektes zurückkommen und möchten an dieser Stelle nur darauf aufmerksam machen, dass wir bei der Berechnung des möglichen Wasserverbrauchs nicht von einem mittleren konstanten Verbrauch ausgingen, sondern eine solche Verteilung des verbrauchten Stromes bzw. der Wassermenge über das ganze Jahr annahmen, wie sie nach den heutigen Erfahrungen bei grösseren Werken tatsächlich stattfindet. Näheres hierüber in einem späteren Abschnitt (Seite 15 ff.).

Im Weiteren ist bei der Berechnung des benötigten Stauraumes auch die Gefällsverminderung berücksichtigt worden, die sich durch zunehmenden Wasserverbrauch und daher stets steigende Inanspruchnahme des Wasservorrates in sehr empfindlicher Weise bemerkbar macht, sofern nicht eine wesentliche Einschränkung der Stromabgabe vorgesehen ist, was bei allen Werken, welche die Stromabgabe im Grossen betreiben, ganz ausgeschlossen ist.

4. Verschotterung und Verschlammung der Staubecken.

Ueber die Grösse der Geschiebe- und Schlammtransporte der Flüsse liegen zur Zeit noch ausserordentlich wenig zuverlässige Angaben vor. Direkte Erhebungen und Messungen hierüber wären umso wichtiger und notwendiger, als offenbar irgendwelche Gesetzmässigkeit niemals konstatiert werden kann und die abgeführten Mengen nicht nur vom Sohlengefälle und der mittleren oder maximalen Wassermenge, sondern in noch viel höherem Masse vom geologischen Charakter der durchzogenen Gegend abhängig sind. Es ist daher sozusagen unmöglich, die bekannten Resultate eines Flusses ohne weiteres auf einen andern zu übertragen, sofern nicht alle Verhältnisse ungefähr gleich sind. Leider verfügen wir in der Schweiz noch über sehr wenig praktische Erfahrungen, obschon es an Gelegenheit zu direkten Beobachtungen nicht fehlt, wie z. B. bei Einmündungen von Flüssen in natürliche Seen (Delta), bei künstlichen Stauweihern und Seen (Lac de Pérolles, Freiburg, Sammelweiher des Kanderwerks, des Kubelwerks, des Sihlwerks, des Elektrizitätswerks Andelsbuch). Zwar sind an verschiedenen Orten, besonders bei künstlichen Stauseen, Beobachtungen und Berechnungen im Gang, aber noch nicht durchgeführt; auch lassen sich künstliche Stauseen, die ausserhalb des Flussbettes liegen und nur trübes Wasser und feinen Schlamm, aber kein Gerölle aufnehmen, nicht mit Stauseen in Flussbetten vergleichen, in welche die Flüsse mit ihrer Schlamm- und Geschiebeführung direkt einmünden.

In neuester Zeit hat die Abteilung für Wasserwirtschaft des Schweiz. Departements des Innern sich in sehr verdankenswerter Weise mit dieser eminent wichtigen Frage beschäftigt und Studien sowie direkte Messungen über die Geschiebe- und Schlammablagerung im Staugebiet des Elektrizitätswerks Kallnach an der Aare durchgeführt. Das Resultat ergab in *einem* Jahre (Januar 1914 bis Januar 1915) eine gemessene Ablagerung von 194290 m^3 oder für das gesamte massgebende Einzugsgebiet von 1354 km^2 eine spezifische Ablagerung von 143 m^3 pro km^2 Einzugsgebiet und Jahr. Da aber unmittelbar oberhalb des Staugebietes des Elektrizitätswerks Kallnach die Saane in die Aare mündet, welche letztere infolge ihrer Reinigung im Thunersee weit weniger Schlamm und Kies liefert als die Saane, so ist dieser Mittelwert für das Gebiet der Aare viel zu hoch, für die Saane viel zu niedrig.

Die Aare legt, wie gesagt, ihren Schlamm im Thunersee ab, und es kommt für die Berechnung nur das Gebiet vom Ausfluss des letztern bis zur Saanemündung in Betracht, mit einer Fläche von 733 km^2 . Die Geschiebe der Saane selbst werden im obern Teil aufgenommen durch die Stauanlagen in Freiburg (Lac de Pérolles), sodass das Gebiet oberhalb dieses Sees ebenfalls nicht in Betracht fällt. Die Grösse des Gebietes unterhalb des Lac de Pérolles bis zur Mündung in die Aare, worin das ganze Gebiet der Sense inbegriffen ist, beträgt 621 km^2 . Wir taxieren nun den spezifischen Geschiebe- und Schlammtransport der Aare auf allerhöchstens 30 % desjenigen der Saane, weil ihr Gefälle viel kleiner ist und weil an geschiebeführenden Zuflüssen nur die Gürbe und Zulg in Betracht kommen, während die Aare selbst erfahrungsgemäss ausserordentlich wenig Geschiebe und Schlamm führt und selten grosse Hochwasser aufweist.

Wir erhalten somit: $733 \times 0,3 x + 621 \times x = 194000 \text{ m}^3$.

Hieraus $\frac{194000}{841} = 230 \text{ m}^3$ per km^2 und Jahr.

Nun ändert sich aber die Geschiebeführung von Jahr zu Jahr sehr stark; sie hängt weniger von der mittleren Jahresabflussmenge und den Niederschlägen als von der Häufigkeit grösserer Hochwasser ab. Es kann also Jahre mit weit grösserem, aber auch solche mit kleinerem Geschiebetransport geben. Das beobachtete Jahr 1914/15 war nun eher ein wasserreiches, aber ohne sehr grosse Hochwasser; wir gehen somit kaum zu hoch, wenn wir die beobachteten Resultate dieses Jahres als Mittel in Rechnung ziehen.

Die Resultate von Kallnach stützen sich auf die sorgfältigsten aller bis jetzt ausgeführten Messungen; sie umfassen nicht nur die bei einem Delta konstatierten Auflandungen, die meistens in Kies und Sand bestehen, sondern auch die Schlammablagerungen in ganzen *Staubecken*. Nach verschiedenen Berechnungen verhalten sich erstere zu letzteren wie 1:1 bis 1,45 (Arve). Wenn daher bei Deltamessungen am Einlauf der Linth in den Wallensee (Annalen der Schweiz. Landeshydrographie 1916) eine Ablagerung im Betrage von $119 \text{ m}^3/\text{km}^2$, im Fussachdelta (Rheindurchstich) eine solche von 95 m^3 , beim Aaredelta im Bielersee von 112 m^3 gemessen worden ist, so müssen noch die bedeutenden Mengen der verschiedenen Sinkstoffe hinzugeschlagen werden, die erst im Seebecken zur Ablagerung gelangen und, wie oben gesagt, mindestens ebenso gross sind, als die eigentlichen Geschiebe. Unsere Annahme einer totalen Ablagerung von $220-250 \text{ m}^3$ per Jahr und km^2 , wonach man die Zeit, in welcher das Staubecken oder der verfügbare Schutzraum aufgefüllt wird, berechnen kann, dürfte daher ziemlich genau zutreffen.

Erwähnt sei noch der geplante Stausee an der Rhone unterhalb Genf bei Génissiat mit 50 Millionen m^3 , wofür Lugeon eine jährliche Ablagerung von 200000 m^3 Schlamm und 112000 m^3 Schotter, total also $312000 \text{ m}^3 = 150 \text{ m}^3$ per km^2 und Jahr berechnet hat. Für diesen See stammen ca. 1400 km^2 von der Arve, 600 km^2 betreffen das Gebiet unterhalb deren Einmündung. Rechnet man für das letztere einen Anteil von rund 30 %, so ergibt sich für die Arve allein eine Ablation von 220 m^3 , was mit unserer Annahme wieder ungefähr übereinstimmt.

Als Beispiel für eine aussergewöhnliche Ablagerung im Delta kann die *Kander* erwähnt werden, wofür bei der Einmündung in den Thunersee im Zeitraum von 1714—1866 eine mittlere jährliche Ablagerung von 319 m^3 per km^2 berechnet wurde (Einzugsgebiet 1125 km^2). Erheblich ist auch die Vergrösserung des Reussdeltas im Vierwaldstättersee, wofür eine Menge von 175 m^3 per Jahr und km^2 berechnet worden ist.

Da das Gebiet der Saane und Sense einen durchaus ähnlichen Charakter wie die Thur (Molasse) und auch nicht stark verschiedene Gefällsverhältnisse aufweist (Thur 4‰ , Saane im Unterlauf $2,4\text{‰}$, Sense $7,5\text{‰}$), so dürfen wir die Resultate ohne weiteres auf die Thur übertragen.

Für die Sitter dürften dagegen die Verhältnisse nicht unwesentlich günstiger liegen. Ein Begehung des Sitterlaufes zeigt deutlich, dass die Schotterführung unterhalb Bruggen viel geringer ist als weiter oben. Dies rührt daher, dass das Gestein im Unterlauf der Sitter viel weicher ist und beinahe keine Nagelfluhblöcke mehr aufweist, sondern in der Hauptsache aus ganz weichem Mergel und Sandstein besteht, die rascher abwittern und sozusagen nur Schlamm, aber kein Geröll produzieren. Selten sieht man auf dieser Strecke Kiesbänke, und unterhalb des Stauwehres der Brauerei Schützengarten bei Erlenholz hören sie beinahe ganz auf, während oberhalb des Wehres im Sittertobel (Sittertal) mächtige Lager angetroffen werden.

Wir dürfen daher für die Staubecken an der Sitter unterhalb Bruggen eine wesentlich geringere Geschiebe-, dafür aber eine etwas grössere Schlammablagerung annehmen. Die Geschiebe werden auch künftig in den oberhalb liegenden Stauhaltungen (vom Kubelwerk bis zur Anlage Frischknecht in Sittertal) liegen bleiben; auch werden durch den früher oder später zweifellos einmal zur Ausführung kommenden Stausee im Lank weitere 100 km^2 in Wegfall kommen.

Aus allen diesen Gründen glauben wir daher für die Sitter mit einem um 100 km^2 gekürzten Einzugsgebiet und mit einer mittleren Geschiebe- und Schlammablagerung von nur $180 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ rechnen zu müssen.

In nachstehender Tabelle sind die für einige der betrachteten Stauseen vorgesehenen Schutzräume, sowie die für deren vollständige Auffüllung beanspruchten Zeiträume berechnet:

Stausee	Einzugsgebiet km^2	Totaler Inhalt	Nutzbarer Inhalt	Schutz- raum	Auffüllung per km^2 und Jahr m^3	Aufgefüllt in Jahren
Millionen Kubikmeter						
Necker	124	6,8	5,0	1,8	230	63
Lütisburg	319	8,4	3,2	5,2	230	70
Mühlau-H. 585,0	484	55,0	35,0	20,0	230	180
Niederbüren	230	14,5	10,3	4,2	150	120
Erlenholz	185	9,6	5,2	4,4	180	130
Thürlewang (Experten)						
20 m Abs.	207	91,0	58,0	33,0	180	900
25 m Abs.	207	91,0	67,0	24,0	180	650

Obige Zusammenstellung zeigt deutlich, dass die kleinern Staubecken in relativ kurzer Zeit bis zur Höhe der vorgesehenen Entnahmestellen aufgefüllt sein werden, bei welchem Zeitpunkt die Gefahr der vollständigen Auffüllung und der rapiden Abnahme des verfügbaren Inhalts beginnt. Mit der Ausnützung des ganzen Staubecken-Inhalts zu rechnen, ist daher ebensowenig zulässig wie die Anordnung der Entnahmeröhre in geringer Höhe über der Flusssohle. Zwar wird sich die Schotterablagerung in der Hauptsache beim Stauende als Delta ausbilden, weniger gegen die tiefern Stellen der Becken, wo es bei Vorhandensein eines Grundablasses immer möglich sein wird, einen gewissen Raum frei zu halten, der jedoch kaum wesentlich grösser werden kann, als sich mit einer höchstens 2—3 füssigen Böschung von der Ebene des Grundablasses erzielen lässt, also gegenüber dem ganzen Staauraum sehr klein ausfällt.

Wo sich der neue Stauspiegel dem Unterwasserspiegel bestehender Kraftwerke nähert, wird sich die Flusssohle nach oben sehr rasch und stetig erhöhen, sodass man überall da, wo nicht beträchtliche Höhendifferenzen zwischen dem Unterwasserspiegel der vorhandenen Kraftwerke und dem höchsten Stauspiegel vorhanden sind, in wenig Jahren Anstände mit den betreffenden Wasserwerksbesitzern haben wird, welchen man durch ständige Baggerung, durch Ersatz des verminderten Gefälles in elektrischem Strom oder durch Ankauf der Werke begegnen kann.

Diese stetige Erhöhung der Flusssohle vom Stauende gegen oben kann unter Umständen schwerwiegendere Folgen haben, als die Verschlammung der Becken, da sie sich schon bei Beginn des Staubeckenbetriebes einstellt und nicht erst nach Dezennien.

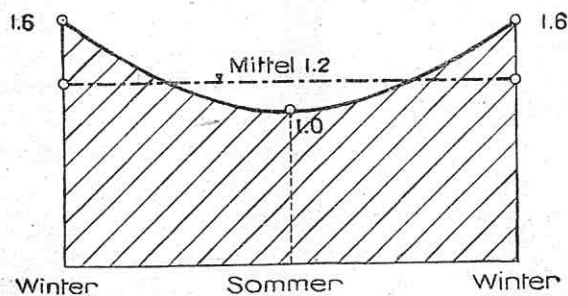
Tritt bei abgesenktem Staubecken im Frühjahr Hochwasser ein, so wird das bei gefülltem See an der Staugrenze liegen gebliebene Geschiebe infolge der vergrösserten Wassergeschwindigkeit abgeschwemmt und gegen die Mitte des Beckens transportiert, sodass eine möglichst grosse Absenkung der Becken vorteilhaft erscheint.

5. Erläuterungen zu den Leistungsplänen und der graphischen Darstellung des Wasserhaushaltes.

a) Leistungspläne.

Zur Festsetzung der *mutmasslichen* Leistung der zu betrachtenden Werke wurde für jedes derselben ein graphischer Leistungsplan aufgestellt. Diesem liegen zu Grunde und waren als gegeben zu betrachten:

1. Die natürlichen Abflussmengen an den Staustellen während der Jahre 1904—1917.
2. Die Staubeckeninhalte für jede beliebige Stauhöhe mit Beckeninhaltskurve.
3. Die maximale statische Druckhöhe, resultierend aus der Höhendifferenz zwischen dem geplanten Stauspiegel und dem Unterwasser.



Herauszufinden war nun die mit Hülfe der Staubecken verfügbare Wassermenge bzw. Leistung in einem ungünstigen sowie in einem mittleren Jahr. Zu diesem Zwecke musste eine Jahreskonsum- bzw. Belastungskurve zu Grunde gelegt werden, wie sie im praktischen Betrieb erfahrungsgemäss zu verlaufen pflegt. Diese Belastungskurve nimmt im allgemeinen ungefähr die Form einer Parabel an, mit einem Minimum = 1 im Sommer, einem Maximum = 1,6 im Dezember und einem Mittel = 1,2 (siehe obenstehende Skizze). Setzt man das Maximum mit 1, so ergibt sich für das Minimum 0,63 und für das Mittel 0,75; als maximalen Tageseffekt (Spitzen) haben wir den doppelten mittleren Wocheneffekt angenommen.

Ueber die Verteilung der Leistung während der 24 Tagesstunden hat auch Herr Dr. Ing. Ludin interessante Studien veröffentlicht. Die von ihm aufgestellten Diagramme nehmen den Verlauf, wie er in der Beilage aufgezeichnet ist.

Auch dieser Autor kommt bezüglich des Verlaufs der Tages- und Jahreskurven zu ganz ähnlichen Verhältnissen, nämlich:

Sommer	Mittel	Winter
26,6 ‰	32,5 ‰	41,5 ‰

wenn der gesamte Wasserbedarf für die Spitze eines Wintertages = 100 gesetzt wird, woraus ein Verhältnis zwischen Maximum, Mittel und Minimum von 1:0,8:0,64 resultiert.

Aus dem betreffenden Diagramm eines Wintertages geht ferner hervor, dass das Belastungsmaximum zirka 2,5 mal so gross ist als der Tagesdurchschnitt und zirka 2,75 mal grösser als der Wochendurchschnitt. Die grössten Spitzen werden aber nur dann erreicht, wenn der Beleuchtungsstrom stark in Betracht fällt; bei grössern gemischten Werken, wie z. B. beim Kubelwerk, erreichen die Tagesspitzen im Winter gerade knapp das Doppelte des Wochenmittels, beim Elektrizitätswerk der Stadt Zürich zirka das 1,7 bis 1,8 fache. Zu beachten ist auch, dass die kleinern Belastungen des Samstags und Sonntags sich bezüglich der für die Werkstage verfügbaren Wassermengen günstig äussern, sobald es sich um eine Aufspeicherungsmöglichkeit handelt, sodass der Werktagsverbrauch gegenüber dem mittlern Wochenverbrauch um volle 12 ‰ steigen kann.

Die Lösung der Aufgabe erfolgte auf rein graphischem Wege in ungefähr folgender Weise:

1. Bestimmung der Jahresarbeit auf Grund des ungünstigsten Jahres.

Vorerst wurde näherungsweise der nutzbare Inhalt der Staubecken bestimmt, und zwar für eine Absenkung von nicht über 20 ‰ des maximalen statischen Druckes. Damit konnte die Zeit des grössten Wassermangels, d. h. der *ungünstigste Winter* ermittelt werden. Die Wasserverbrauchslinie hat bei vollem Becken denselben Verlauf wie die Belastungskurve. Bei Absenkung müssen die Wassermengen entsprechend dem Druckhöhenverlust erhöht werden und die Wasserverbrauchskurve verliert von dem Moment des Absenkungsbeginns an ihren regelmässigen Parallelverlauf. Als ungünstigster Winter stellte sich derjenige des hydrologischen Jahres 1908/09 heraus, und zwar für alle Becken, da dieser Winter andauernd tiefe Wasserstände aufweist.

Hierauf konnte die *günstigste maximale Absenkung* ermittelt werden, d. h. der *nutzbare Inhalt*. Der mittlere Jahreseffekt nimmt nämlich mit dem nutzbaren Inhalt zu, bis zu einem gewissen Punkt, wo er das Maximum erreicht und alsdann wieder abnimmt. Diese Relation zwischen dem mittleren Jahreseffekt und der maximal zulässigen Absenkung (dem nutzbaren Inhalt) wird dargestellt durch die Kurve A der Leistungspläne. Bei dem nämlichen Becken und der nämlichen maximalen statischen Druckhöhe ist die günstigste maximale Absenkung um so kleiner, je grösser der Zufluss ist. Das muss in jedem Fall berücksichtigt werden. Die maximale Absenkung wird aber noch durch andere Faktoren beeinflusst, wie Nutzeffekt der Turbinen, Einfluss auf unten liegende Wehre, Geschiebeführung usw. Ersterer spricht für geringe, letztere für grosse Absenkung, doch können natürlich noch andere Punkte massgebend sein.

Nachdem die maximale Absenkung bestimmt ist, kann man die entsprechende Wasserverbrauchslinie und Wasserspiegelschwankung durch Probieren konstruieren. Aus der Wasserverbrauchsmenge und der um den mittleren Druckverlust in der Zuleitung reduzierten Druckhöhe ergibt sich die Leistungskurve mit dem angenommenen Verlauf. Der Wasserverbrauch und die Druckhöhe ändern bei gleicher Leistung jedes Jahr, in nassen Jahren nimmt die mittlere Druckhöhe zu, weil sich der Wasserspiegel weniger absenkt, die mittlere Wassermenge nimmt ab. Es muss davon abgesehen

werden, diese Zahlen für jedes Jahr zu ermitteln; um aber immerhin den mittleren Wasserverbrauch und die mittlere Druckhöhe für die ganze Periode 1904—1917 und ein Bild der Wasserspiegelschwankungen annähernd zu bekommen, wurde der Wasserverbrauch und die Wasserspiegelschwankung ausser für das ungünstigste Jahr 1908/1909 auch für das mittlere Jahr 1911/1912 und für das günstigste Jahr 1915/16 dargestellt. Das günstigste Jahr wurde im Allgemeinen nicht aufgeführt, da schon das mittlere Jahr keine wesentlichen Schwankungen mehr aufweist. Für einige Werke wurde der Wasserhaushalt für die ganze Periode 1904/1917 dargestellt; die diesbezüglichen Bemerkungen folgen unter b. In den Tabellen der Leistungspläne wurden jeweils die Resultate zusammengestellt und das Mittel gebildet für die ganze Periode.

An Hand des Leistungsplanes des Kraftwerks Lütisburg (Necker) sei der Vorgang noch erläutert:

Aus der Kurve A ergibt sich, dass die theoretisch günstigste Absenkung zirka 10 m betragen würde. Mit Rücksicht auf die weiter unten zu erstellenden Werke (Projekte Müller 2, 3, 4) und die Geschiebeführung wurde dieselbe aber zu 13 m angenommen, was 30% der maximalen statischen Druckhöhe ausmacht. Bei dieser Absenkung kann im Jahr 1908/09 ein mittlerer Jahreseffekt von 605 PS erzeugt werden, bei einem mittleren Wasserverbrauch von $1,50 \text{ m}^3/\text{Sek.}$ und einer mittleren Druckhöhe von 40,30 m. Für das Jahr 1911/12 ergibt sich für die gleiche Leistung $1,44 \text{ m}^3/\text{Sek.}$, bei 42,70 m, und für das Jahr 1915/16 ebenfalls $1,44 \text{ m}^3/\text{Sek.}$, bei 42,70 m, somit als Mittel der ganzen Periode $1,45 \text{ m}^3/\text{Sek.}$. Die Resultate für 1911/12 und 1915/16 sind gleich, weil schon 1911/12 keine wesentliche Aenderung mehr eintritt.

Die Jahresarbeit, die noch im ungünstigsten Jahr geleistet werden kann, wurde für alle Projekte (Müller und Experten) ermittelt, da sie für die Rentabilitätsberechnung massgebend ist.

2. Bestimmung der Jahresarbeit des mittleren Jahres.

Wenn nur das ungünstigste Jahr ausgenützt wird, geht in allen andern Jahren natürlich viel Arbeit verloren. Da wir aber voraussetzen, dass die Arbeitsfläche für alle Jahre dieselbe bleibe, müssen wir, falls wir auch bessere Jahre ausnützen wollen, für die schlechten Jahre Hilfskraft herbeiziehen. Wie weit man mit der Ausbeutung gehen kann, hängt davon ab, ob und in welchem Mass und zu welchem Preis Hilfskraft bezogen werden kann. Wir haben nun für das mittlere Jahr 1911/1912 (d. h. für das Jahr, für welches die Jahresarbeit zirka das Mittel der ausnützbaren Arbeit sämtlicher Jahre ist) die Jahresarbeit bestimmt und dann ermittelt, wieviel Hilfskraft in den ungünstigsten Jahren geleistet werden muss. Der Kürze halber haben wir im Allgemeinen nur die Hilfsarbeit im ungünstigsten Jahr bestimmt. Die mittlere Hilfsarbeit der ganzen Periode ist dann der vierte Teil hiervon. Für einige Projekte (siehe unter b) wurde die Hilfsarbeit für alle Mangeljahre bestimmt und eine gute Uebereinstimmung mit dieser Näherungsrechnung gefunden. Bei unserer am nächsten liegenden Annahme, dass die Hilfskraft erst bei maximal zulässiger Absenkung in Anspruch genommen werde, ist die gesamte Hilfsarbeit ein Minimum, der maximale Effekt der Hilfskraft dagegen ein Maximum. Die Hilfskraft vor Eintritt der zulässigen Absenkung einzusetzen, ist immer mit dem Risiko verbunden, unnützerweise Hilfskraft leisten zu müssen. Welche Betriebsweise die vorteilhafteste ist, hängt von den speziellen Verhältnissen der Hilfskraft ab und ist, da man die Abflussmengen nie zum voraus kennt, nie zuverlässig zu bestimmen.

Beispiel Necker (Müller, Projekt 1).

Es sei hier noch bemerkt, dass bei Ausnützung des mittleren Jahres wieder die günstigste maximale Absenkung zu bestimmen wäre und dass diese gegenüber dem ungünstigsten Jahr kleiner ist (kleinerer nutzbarer Inhalt), da das Verhältnis von Zuflussmenge zu Speicherinhalt grösser ist. Das ist aber nicht von wesentlichem Einfluss, und es wurde daher der Einfachheit halber dieselbe Absenkung angenommen.

Der Wasserverbrauch, die Wasserspiegelschwankungen und die Leistungen bei Ausnützung des mittleren Jahres 1911/12 sind durch gestrichelte Linien dargestellt. Der mittlere Jahreseffekt beträgt 980 PS, die mittlere Nettodruckhöhe, = mittlere statische Druckhöhe abzüglich Gefällsverlust der mittleren Wassermenge, ist für das Jahr 1911/12 = 40,50 m, die mittlere Wassermenge = 2,42 m³/Sek. Im günstigsten Jahr 1915/16 findet keine Absenkung statt. Der mittlere Wasserverbrauch beträgt dort 2,28 m³/Sek. und das mittlere Nettogefälle 42,70. Im ungünstigsten Jahr 1908/09 ist die maximale zulässige Absenkung schon Ende Oktober erreicht. Vom 1. November bis Ende Februar arbeitet das Werk nur mit dem zufließenden Wasser und der minimalen mittlern Druckhöhe von 30,0 — 0,30 = 29,70 m. Erst anfangs März wird der Zufluss grösser als der Verbrauch und der Wasserspiegel hebt sich. In diesem Jahr sind die mittlere Druckhöhe und der mittlere Wasserverbrauch je Minima und folglich auch die Arbeit. Die durch Hilfskraft zu deckende Arbeit ergibt sich aus der Fläche zwischen der Belastungskurve und der Linie der Wasserkraftleistungen und beträgt 1,40 Millionen kWh, d. h. 24,5% der totalen Jahresarbeit von 5,72 Millionen kWh. Als Mittel der ganzen Periode ergibt sich $\frac{1,40}{4} = 0,35$ Millionen kWh jährlich, oder 6,10 % der totalen Arbeit.

Es wird wohl ausgeschlossen sein, dass man weiter gehen wird, als bis zur Ausnützung des mittleren Jahres. Um aber für eine beliebig hohe Jahresarbeit zwischen derjenigen des ungünstigsten und derjenigen des mittleren Jahres die notwendige mittlere Hilfskraft und deren Elemente zu kennen, wurden die Resultate der Tabelle auf dem Leistungsplan noch graphisch zusammengestellt. Aus drei Werten, dem Nullpunkt, den Grössen bei Ausnützung des ungünstigsten Jahres und denjenigen bei Ausnützung des mittleren Jahres kann man die erforderlichen Linien konstruieren, mit Hilfe deren man zu einem bestimmten, zu erzeugenden mittleren Jahreseffekt die totale Jahresarbeit, die mittlere Hilfsarbeit, den mittleren Wasserverbrauch und die mittlere Netto-Druckhöhe abgreifen kann. (Dieses Mittel entspricht also der ganzen Periode.) Diese Berechnung und Darstellung wurde für alle Projekte von Ingenieur Müller und für die Hauptprojekte der Experten durchgeführt. Beispielsweise müsste das Kraftwerk Lütisburg (Necker), um 900 PS mittleren Jahreseffekt = 5,25 Mill. kWh Jahresarbeit abgeben zu können, 0,25 Mill. kWh Hilfskraft beziehen oder 5%. Der mittlere Effekt der Hilfskraft beträgt dann 43 PS, der mittlere Wasserverbrauch 2,20 m³/Sek. und die mittlere Netto-Druckhöhe 40,80 m.

Inbezug auf die Müller'schen Projekte ist noch zu sagen, dass bei der Berechnung die Voraussetzung gemacht wurde, dass jeweils die obern Werke zuerst in Betrieb gesetzt werden. Ferner wurde bei der Berechnung der Arbeit mit Hilfskraft jeweils angenommen, dass die obern Werke ohne Hilfskraft arbeiten, einmal um die Berechnungsarbeit nicht zu sehr auszudehnen und zweitens, weil es jedenfalls der Wirklichkeit entspricht, da die obern Werke auch die Aufgabe des Wasserausgleiches für die untern übernehmen.

Um ein Bild von der weitem Zunahme der Hilfsarbeit bei noch grösserer Ausnützung zu bekommen, wurde für Lütisburg (Necker) und Thürlewang-Bodensee die Jahresarbeit bei Ausnützung des günstigsten Jahres 1915/16 und die entsprechende Hilfsarbeit in den andern Jahren der Zeit von 1904—1917 auf nun bekannte Art bestimmt. Die entsprechenden Linien sind strichpunktiert. Die Hilfsarbeit wurde auch in diesem Falle nicht für alle, sondern nur für das mittlere und das ungünstigste Jahr bestimmt und hieraus die Mittel der ganzen Periode berechnet.

Es ergibt sich z. B. für Lütisburg (Necker):

Mittlerer Jahreseffekt	1630 PS
Mittlere Netto-Druckhöhe für 1915/16	41,80 m
Mittlerer Wasserverbrauch für 1915/16	3,90 m ³ /Sek.

Im mittleren Jahre 1911/12 (das anderseits ganz speziellen Charakter aufweist) ist das Becken schon Ende Juli abgesenkt und der Wasserspiegel beginnt erst im Februar wieder zu steigen. (Würde man die Zuflussverhältnisse zum voraus kennen, so würde man in diesem Falle anfangs Juli die Hilfskraft einsetzen und erst anfangs November mit der Absenkung beginnen, um nicht drei Monate lang mit der kleinen Druckhöhe arbeiten zu müssen.) Die entsprechenden Werte sind in der Tabelle enthalten. Die Hilfsarbeit beträgt im Jahr 1908/09 = 3,50 Mill. kWh, im Jahr 1911/12 2,25 Mill. kWh, im Mittel 2,08 Mill. kWh jährlich, oder 22,0%. Mit Hilfe dieser Zahlen konnten in der graphischen Zusammenstellung die Kurven der Jahresarbeit, des Wasserverbrauchs etc. verlängert werden, sodass man auch für Effekte zwischen 1000 und 1700 PS alle notwendigen Angaben herausgreifen kann.

b) Wasserhaushalt und Abfallarbeit.

Den Leistungsplänen wurden die zur Ermittlung der notwendigen Werte massgebenden Jahre zu Grunde gelegt. Um aber auch ein Bild zu erhalten von den Wasserverhältnissen und Wasserständen im Staubecken für die ganze Periode 1904/1917, wurde für die Kraftwerke

Thürlewang-Roggwil	(Projekt b der Experten)
Mühlau-Henau	(" 1 a " ")
und Lütisburg (Necker)	(" 1 von Müller)

der Wasserhaushalt aller dieser Jahre dargestellt, und zwar für beide Fälle (ohne und mit Hilfskraft). Hieraus ist ersichtlich, dass, wenn nur das ungünstigste Jahr ausgenützt wird, in der Hälfte der Winter gar keine oder nur geringe Absenkung stattfindet. Der tiefst zulässige Wasserspiegel wird nur im Winter 1908/09, bei Lütisburg auch im Winter 1907/08, erreicht.

Wird hingegen das mittlere Jahr 1911/12 ausgenützt, sodass also in diesem Jahr gerade der tiefst zulässige Wasserspiegel in dem Moment erreicht wird, wo der Zufluss mindestens dem Verbrauch gleich ist und somit noch keine Hilfskraft benötigt wird, so erreicht der Seewasserspiegel in zirka der Hälfte der Jahre den tiefst zulässigen Stand und es muss Hilfskraft bezogen werden, und zwar bei:

	Thürlewang-Roggwil	Mühlau-Henau	Lütisburg (Necker)
	Tage	Tage	Tage
In den Jahren 1904/1917 total	297	549	378
Durchschnittlich pro Jahr . .	21	39	27
Im Maximum " " . .	90	140	120

Natürlich ist diese Hilfsleistung nicht konstant, sondern vom Zufluss abhängig. Die Arbeitsflächen der Hilfskraft, d. h. die Hilfsarbeit in den einzelnen Jahren, sind im Leistungsdiagramm dargestellt. Die auf diese Art ermittelte totale Hilfsarbeit der Periode 1904/1917, aus welcher sich die mittlere jährliche Hilfsarbeit ergibt, stimmt ziemlich gut mit der im Leistungsplan nur mit Hilfe des ungünstigsten Jahres ermittelten überein. Im Uebrigen kann auf die Erläuterungen zu den Leistungsplänen verwiesen werden.

An Hand des Wasserhaushaltes kann auch die Grösse der *Abfallarbeit* bestimmt werden, d. h. die Arbeit, welche mit dem überschüssigen, zur Deckung unseres Jahresarbeitsdiagrammes nicht benötigten Wasser geleistet werden kann. Der Wert dieser Arbeit hängt natürlich von deren Gleichmässigkeit und Grösse ab. Der Preis der Arbeitseinheit wächst mit der Gleichmässigkeit und der Dauer der Leistung. Anderseits wird die Grösse der Leistung eingeschränkt durch den Ausbau der

Anlage. Beides spricht für eine möglichst lang andauernde und konstante Leistung. Wir setzen also voraus:

1. dass der totale tägliche Wasserverbrauch (für Jahres- und Saisonleistung) für die Dauer der Abfall-Leistung konstant bleibe.
2. dass die Abfall-Leistung 24stündig konstant arbeite.

Da die Belastungskurve der Jahresarbeit vom Sommer gegen Frühjahr und Herbst ansteigt, so nimmt die Abfall-Leistung entsprechend ab. Diese Schwankung beträgt aber höchstens 30 % und wird den wirklichen Bedürfnissen gut entsprechen, da die Saisonbetriebe nicht mit der vollen Belastung beginnen und schliessen werden. Der unter diesen Voraussetzungen für die Abfallarbeit verfügbare Wasserverbrauch ist im „Wasserhaushalt“ durch eine Fläche dargestellt, die durch eine gestrichelte Linie und die Jahreswasserverbrauchskurve begrenzt wird und stark gelb angelegt ist.

Es wurde ferner angenommen, dass im Frühjahr die Abgabe beginne, sobald eine gewisse Reserve im Becken vorhanden ist, immerhin nicht vor dem 1. März, und dass mässige Absenkungen im Sommer gestattet seien.

Der Wasserhaushalt, d. h. Verbrauch, Entnahme, Auffüllung, Wasserspiegelschwankungen, erleidet durch die Abgabe von Abfallarbeit unter diesen Voraussetzungen natürlich eine entsprechende Modifikation, die aber in den Plänen nicht berücksichtigt wurde, um den durch die Jahresarbeit allein bedingten Wasserhaushalt nicht unklar zu gestalten. Die Resultate für die dieser Untersuchung unterzogenen Werke sind in Beilage tabellarisch zusammengestellt.

6. Allgemeine Bemerkungen zur Schätzung der Bau- und Betriebskosten.

Eine annähernd richtige Beurteilung und Vergleichung der in Betracht fallenden Projekte kann nur auf Grund von angenäherten Bau- und Betriebsrechnungen erfolgen. Die Kenntnis der Baukosten allein genügt nicht, ebenso wichtig ist die Ermittlung der *Gestehungskosten* der erzeugten Strom-einheit, wobei die im ungünstigsten Fall im Jahresbetrieb überhaupt mögliche und verkaufbare Arbeit zu berücksichtigen ist. Die so erhaltenen Gestehungskosten der Stromeinheit beziehen sich somit auf den Ausbau, wie er für die Ausnützung der wasserärmsten Jahre mit konstanter Kraftleistung ohne Beiziehung der Hilfskraft erforderlich ist, und müssen für die ersten Betriebsjahre, solange der volle Stromabsatz nicht vorhanden ist, wesentlich höher werden, was bei Beurteilung der Werke ebenfalls zu berücksichtigen ist.

a) Die Baukostenberechnung.

Es ist heute ausserordentlich schwierig, für Zukunftsprojekte, deren Verwirklichung erst längere Zeit nach Beendigung des Krieges anzunehmen ist, auch nur einigermaßen zuverlässige Berechnungen der Baukosten aufzustellen. Zu dieser Schwierigkeit gesellt sich noch das Fehlen von detaillierten Plänen, deren Anfertigung nicht zu unserer Aufgabe gehört und viel zu weit geführt hätte. Diese Mängel machen sich jedoch hier weniger stark geltend, da es sich nur um Vergleichszahlen handeln kann und nur um diejenigen Objekte, welche die Kosten in der Hauptsache bestimmen, wie die Expropriationen, Staumauerkubaturen, Länge und Dimensionen der Stollen und Druckleitungen, über die auf Grund unserer generellen Projekte genügend Aufschluss gegeben ist.

Bezüglich der eingesetzten Preise verweisen wir auf die speziellen Kostenvoranschläge und bemerken hier nur, dass wir für Tiefbauten im Allgemeinen einen Zuschlag von 50 % zu den früheren Preisen, für Röhren einen Preis von 1200 Fr. per Tonne, für die kompletten