Zeitschrift: Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schiffahrt

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 10 (1917-1918)

Heft: 23-24

Rubrik: Mitteilungen des Linth-Limmatverbandes

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.07.2025

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

No 5. II. Jahrgang 10. September 1918

Mitteilungen des Linth-Limmatverbandes

Gruppe des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes

Sekretariat: Zürich, Peterstrasse 10. Telephon Selnau 3111. Sekretär: Ing. A. Härry.

Erscheinen nach Bedarf
Die Mitglieder des Linth-Limmatverbandes erhalten die Nummern der „Schweiz. Wasserwirtschaft" mit den „Mitteilungen" gratis

Verantwortlich für die Redaktion: Ing. A. HÄRRY, Sekretär des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, in ZÜRICH
Telephon Selnau 3111 .·. Telegramm-Adresse: Wasserverband Zürich
Verlag der Buchdruckerei zur Alten Universität, Zürich 1
Administration in Zürich 1, St. Peterstrasse 10
Telephon Selnau 224. Telegramm-Adresse: Wasserwirtschaft Zürich

Die Abflussverbesserung durch Seeregulierungen und ihr Nutzen für die Wasserwerke.

Von Ing. A. Härry,
Generalsekretär des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes.

Vorbemerkung. Der Verfasser hat vom Ausschuss des Verbandes der Aare-Rheinwerke den Auftrag erhalten, die Frage der Kostenverteilung aus Seeregulierungen zu prüfen. Die Frage ist aktuell geworden bei der in Aussicht genommenen Stauung des Walensees. Es schien uns daher gegeben, den Bericht den Mitteilungen des Linth-Limmatverbandes beizugeben

Allgemeines.

Die Regulierung von Seen verfolgt neben dem Schutze gegen Hochwasser fast immer den Zweck, das jedem See in mehr oder weniger grossem Masse innewohnende Retentionsvermögen zum Ausgleich des Abflusses und damit zur Verbesserung der Wasserführung der Gewässer auszunutzen.

Art und Weise der Regulierung sind naturgemäss abhängig vom Zweck, dem sie dienen soll und vom Regime der Gewässer. Wir befassen uns hier mit dem am häufigsten vorkommenden Fall, der Regulierung von Seen zugunsten der Kraftnutzung und im speziellen mit der Regulierung von zwei schweizerischen Randseen, dem Wallensee und Zürichsee.

Das Charakteristikum des Regimes der schweizerischen Randseen und der ihnen entströmenden schweizerischen Hauptgewässer ist: Reichliche Wasserführung in den Frühlings- und Sommermonaten, mittlere Wasserführung in den Herbstmonaten und geringe Wasserführung in den Wintermonaten, diese oft durch kurz andauernde Anschwellungen unterbrochen. Die schwankende Wasserführung ist einer wirtschaftlichen Ausnützung der Wasserkräfte natürlich hinderlich, um so mehr, da der Energiebedarf die umgekehrten Verhältnisse aufweist.

Die Wasserkraftwerke sind aus diesem Grunde an den Seeregulierungen in hohem Masse interessiert und grundsätzlich auch bereit, an die Kosten der für die Regulierung notwendigen technischen Einrichtungen und zur Tragung etwaigen Schadenersatzes nach Massgabe ihrer Interessen beizutragen. Es entsteht dann immer die Frage: Welche Verbesserungen im Abfluss lassen sich durch die Seeregulierung erzielen und wie verteilt sich der erzielte Nutzen auf die einzelnen Wasserwerke oder Wasserrechtsbesitzer?

Die Regulierung der schweizerischen Randseen ist im allgemeinen kein einfaches Problem. Zunächst sind die Interessen des Hochwasserschutzes zu berücksichtigen. Während der Zeit der starken Zuflüsse und der Hochwassergefahr müssen die Seen tief gehalten werden, damit für eintretendes Hochwasser ein möglichst grosser Schutzraum vorhanden ist. An eine Aufspeicherung der starken Zuflüsse während der Schneeschmelze im Hochgebirge ist daher nicht zu denken. Eine Möglichkeit der Aufspeicherung liegt erst vor nach Ablauf der gefährlichen Hochwasserperiode, d. h. von Mitte Juli an. Von diesem Zeitpunkt an können die Seen allmählich angestaut werden. Dabei ist in den meisten Fällen wiederum Rücksicht zu nehmen auf etwa eintretende Herbsthochwasser, ferner auf den Schutz der Kulturen. Die maximale Stauhöhe darf daher nicht zu früh, jedenfalls nicht vor Ende der Kulturperiode, d. h. Anfang bis Mitte Oktober, erreicht werden. Die Absenkung der Seen erfolgt mit der Abnahme der Zuflüsse gewöhnlich von Mitte Dezember bis Ende März und es soll Ende März der tiefste Seestand im allgemeinen erreicht werden.

Aus dieser Darstellung ergibt sich die wichtige Tatsache, dass eine Aufspeicherung und Verwertung der starken Frühjahrs- und Sommerzuflüsse während der Schmelzperiode in den schweizerischen Randseen im allgemeinen nicht möglich ist. Das für den Winter aufgespeicherte Wasser muss den bedeutend geringern Spätsommer- und Herbstzuflüssen entnommen werden, d. h. die grössere Abflussmenge im Winter wird erreicht auf Kosten der verhältnismässig geringen Spätsommer- und Herbstzuflüsse. Solange die Kraftwerke auf eine Wassermenge ausgebaut sind, die wesentlich unter der mittleren Jahreswassermenge liegt, hat dieser Umstand nichts Weiteres zu bedeuten. Das ändert sich von dem Moment an, wo Kraftwerke entstehen, die auch die Spätsommer- und Herbstwassermengen noch auszunützen imstande sind. Bei diesen Werken wird

durch die Regulierung kein quantitativer, sondern ein qualitativer Gewinn an Energie erzielt.

Durch die Regulierung wird nicht nur eine allgemeine Aufhöhung des Niederwasserabflusses erreicht, sondern es wird ein gewisser minimaler Abfluss garantiert. Diese Verbesserung der Konstanz des Abflusses ist für die Wasserkraftwerke naturgemäss von hohem Nutzen.

Bei den in Betracht kommenden schweizerischen Gewässern sind die Verhältnisse der Kraftnutzung im allgemeinen keine einfachen. Der Ausbau der bestehenden Kraftanlagen ist ein sehr verschiedenartiger. Neben Elektrizitätswerken bestehen industrielle Betriebe mit durchgehender oder normaler Fabrikarbeitszeit. Bei den meisten Werken liegt die Möglichkeit einer Erweiterung (Erhöhung des Gefälles oder der nutzbaren Wassermenge) vor. Einige Gefällsstufen sind konzessioniert, eine grössere Anzahl von Wasserrechten befindet sich noch im Besitze der Kantone.

Wir befassen uns im nachfolgenden nur mit den bestehenden Kraftwerken und werden in einem besondern Abschnitt auf die Verhältnisse der Konzessions- oder Wasserrechtsinhaber noch kurz eintreten.

Die Berechnung des Nutzens aus der Regulierung.

Die Feststellung der Veränderungen, die der Abfluss eines Sees durch die Regulierung erfährt, ist erste Aufgabe zur Bestimmung des Nutzens aus der Regulierung.

Es sind verschiedene Berechnungsarten möglich, deren Wahl von den Verhältnissen abhängig ist.

Die nächstliegende und am häufigsten angewendete Methode ist die, dass die durch die Regulierung aufgespeicherte Wassermenge berechnet wird. Es wird dann angenommen, dass diese Wassermenge im Verlaufe der Niederwasserperiode zum Abfluss gelangt und dass die, eine Mangelwassermenge aufweisenden Kraftwerke imstande seien, die Mehrwassermenge auszunutzen, wobei sich der Nutzen einfach im Produkt: Wassermenge × Gefälle ausdrückt. Ist Q die aufgespeicherte Wassermenge in l, h das Gefälle sämtlicher Werke, h_1 das Gefälle vom Werk 1, dann ist der theoretische Anteil am Kraftgewinn in % vom Werk 1:

$$A_1 = \frac{\frac{Q \times h_1}{75}}{\frac{Q \times h}{75}} = \frac{h_1}{h}$$

Bei Bestimmung der künstlich aufgespeicherten Wassermenge ist zu beachten, dass jeder See von Natur aus ein gewisses Retentionsvermögen besitzt. Man wird somit das Volumen der im Durchschnitt einer Anzahl Jahre vor Beginn der Niederwasserperiode vorhandenen Seeschicht von der aufgespeicherten Wassermenge in Abzug bringen müssen.

Ein Teil der aufgespeicherten Wassermenge wird bei den meisten Seeregulierungen nicht nur durch Aufstau, sondern auch durch Absenkung unter die normale Niederwassercote im Frühjahr gewonnen. Diese Seeschicht ist also ebenfalls in Rechnung zu ziehen.

Es ist ferner zu beachten, dass die aufgespeicherte Wassermenge (abzüglich der natürlichen Retention) nicht immer die maximale Speichermenge darstellt. Es kann der Fall eintreten, dass im Laufe der Absenkung durch aussergewöhnlich starke Zuflüsse der See nochmals vielleicht bis zur maximalen Stauhöhe gefüllt werden kann, und dass dann vermittelst der Regulierung diese neue aufgespeicherte Wassermenge zu einer noch grösseren Verbesserung des Niederwasserabflusses Verwendung finden kann. Wenn man somit mit einer einmaligen Füllung und Absenkung des Sees rechnet, so rechnet man jedenfalls nicht zu günstig.

Die vollständige Verwertung der aufgespeicherten Wassermenge in den unterliegenden Wasserwerken ist theoretisch möglich, sofern alle Wasserwerke imstande sind, vermittelst der Zuschusswassermengen die Leistung ihrer Anlage zu erhöhen. Diese Möglichkeit liegt namentlich da vor, wo die Wasserwerke auf eine Wassermenge ausgebaut sind, die erheblich über der mittleren Wassermenge liegt. Ferner ist die Wahrscheinlichkeit einer vollständigeren Ausnutzung der Zuschusswassermenge am grössten bei Wasserwerken an einem Flusslauf, dessen Regime zur Hauptsache von dem regulierten See abhängig ist.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn die in Betracht kommenden Wasserwerke verschiedenartig ausgebaut sind, so dass sie entweder nur einen Teil oder sogar keine Zuschusswassermenge auszunutzen imstande sind. Es kann auch der Fall eintreten, dass Werke aus andern Einzugsgebieten zeitweise mit genügend Wasser versorgt werden. Die Möglichkeit solcher überschüssiger Wassermengen während der Niederwasserzeit ist um so grösser, je weiter das betreffende Werk von der Regulierungsstelle entfernt ist und je mehr die Wasserführung an betreffender Stelle vom Regime anderer Zuflüsse abhängig ist. Im Gewässersystem der Aare, Reuss und Limmat trifft dieser Fall für die Werke unterhalb der Mündung der Reuss und Limmat und noch mehr unterhalb der Aaremündung zu.

Es ist zweifellos, dass die Mehrwassermenge in den einzelnen Werken nicht voll ausgenutzt werden kann aus betriebstechnischen Gründen. Bei den Elektrizitätswerken mit Abgabe an das allgemeine Kraft- und Lichtverteilungsnetz treten die starken Belastungsschwankungen auf, die eine vollständige Ausnutzung der Anlage während der Nachtzeit, an Sonn- und Feiertagen und in der Mittagszeit verunmöglichen. Das Gleiche gilt in noch höherem

Masse für die industriellen Etablissements mit Fabrikarbeitszeit. Eine Berücksichtigung dieser Umstände bei der Berechnung des Nutzens aus Seeregulierungen erscheint uns aber ausgeschlossen aus folgenden Gründen:

Durch die Verleihung erhält der Beliehene das Recht auf die Benutzung der ganzen Wasserkraft. Die Berechnung der Wasserrechtsgebühren nimmt keine Rücksicht auf die Benutzungsdauer. Einzelne Werke haben es zudem verstanden. durch zwekmässige Kombination mit Hochdruckanlagen oder durch Abgabe von Energie an elektrochemische Industrien die Benutzungsdauer ihrer Anlage zu erhöhen. Ein Maßstab dafür, ob ein Werk in der Lage wäre, seine Wasserkraft besser auszunutzen, besteht nicht und es müssten Annahmen wiederum zu Willkürlichkeit führen. Dazu kommt, dass der Wert der erzeugten Wasserkraft innert den einzelnen Tagesstunden schwankt oder dass das Werk, auf Grund abgeschlossener Verträge nicht in der Lage ist, aus der erhöhten Konstanz der Kraftlieferung Nutzen zu ziehen. Es ist ausgeschlossen dass man diesen ausserordentlich verschiedenartigen und komplizierten Verhältnissen Rechnung tragen kann.

Die meisten Wasserkraftanlagen sind erweiterungsfähig. Durch die Erweiterung könnte ein bedeutend grösserer Teil der Zuschusswassermengen ausgenutzt werden. Dieser Tatsache kann dadurch Rechnung getragen werden, dass bei späterer Erweiterung der Anlage der Besitzer nach Massgabe der aus der Regulierung erzielten Vorteile nachträglich zu einer Nachzahlung verhalten wird, die sämtlichen Werken zu Gute kommt.

Es ist ferner zu beachten, dass ein Teil der Zuschusswassermenge auf dem Wege vom See bis zum Werk durch Versickerung und Verdunstung verloren geht. Die rechnungsmässige Erfassung der Abflussverhältnisse vor und nach der Regulierung wird um so unsicherer, je weiter ein Werk von der Regulierungsstelle entfernt ist.

Alle diese verschiedenartigen Verhältnisse müssen genau festgestellt und gegeneinander abgewogen werden. Man kann mit allgemeinen Annahmen nicht auskommen, sondern man muss die Verhältnisse genau individuell prüfen, will man nicht Gefahr laufen, zu unrichtigen und daher ungerechten Resultaten zu kommen. Unser Beispiel über die Regulierung des Zürich- und Walensees wird dies dartun.

Um zunächst den verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten der Kraftwerke Rechnung zu tragen, führen wir den Begriff der „Mangelwassermenge" ein. Wir bezeichnen als Mangelwassermenge die Differenz zwischen der benützten Wassermenge, welche die höchste Leistung ergibt und der tatsächlich vorhandenen Wassermenge. Die Berechnung erfolgt derart, dass die mittlere tägliche Wassermenge pro Sekunde zugrunde gelegt wird, die mit der Anzahl Sekunden im Tag multipliziert wird, um die tägliche Mangelwassermenge festzustellen. Berechnet man diese tägliche Mangelwassermenge für die Periode der Absenkung der Seen (Zuschusswasser aus der Regulierung), z. B. Anfang Dezember bis Ende März, dann erhält man die Mangelwassermenge pro Regulierungsperiode. Diese Berechnung auf eine Anzahl Jahre ausgedehnt, ergibt die mittlere Mangelwassermenge pro Regulierungsperiode.

Die benützte Wassermenge, welche die grösste Leistung ergibt, bezeichnen wir mit dem neuen Begriff: „Günstigste Wassermenge". Diese ist gewöhnlich nicht identisch mit dem sog. „Schluckvermögen" der Turbinen oder der maximalen nutzbaren Wassermenge. Bekanntlich ergibt sich die Leistung eines Wasserwerkes aus dem Produkt Wassermenge $\times$ Gefälle. Beide Faktoren stehen in Abhängigkeit zueinander; im allgemeinen nimmt mit zunehmender Wassermenge das Gefälle ab. Das Maximum an Leistung wird also im allgemeinen nicht erzielt, wenn einer der Faktoren ein Maximum erreicht, sondern bei einer bestimmten Relation zwischen Gefälle und Wassermenge, die von den besondern baulichen Verhältnissen der Werke abhängig ist und daher für jedes Werk verschieden ist. Dieser Zustand ist am sichersten durch praktische Messungen feststellbar.

Als Gefälle benützt man am richtigsten die Differenz zwischen Ober- und Unterwasser beim Turbinenhaus, also das sog. Nettogefälle.

Das Produkt aus der benutzten günstigsten Wassermenge und dem Gefälle ergibt die maximale Bruttokraft. Man berücksichtigt somit den Nutzeffekt der Wassermotoren nicht. Ob die Kraft direkt zum Antriebe von Arbeitsmaschinen (in industriellen Etablissements) oder zum Betriebe von elektrischen Generatoren Verwendung findet, ist gleichgültig. Massgebend ist einzig die zur Verfügung stehende Wassermenge und das zur Verfügung stehende Gefälle.

Zur Berechnung des Mangelwassers wird man nicht die im Oberwasserkanal fliessende benützte Wassermenge, sondern die im natürlichen Flusslauf fliessende Wassermenge heranziehen und zwar aus folgenden Gründen:

Im allgemeinen ist die Wasserführung in den Kanälen mangels der Öffentlichkeit zugänglicher Wasserstandsbeobachtungen nicht feststellbar.

Die Wasserführung der Kanäle hängt ab von der Belastung des Werkes und kann willkürlich geändert werden, sei es durch Regulierung der Turbinen oder des Wehres. Bei der Berechnung des Nutzens kann man aber keine Rücksicht neh-

men auf die verschiedenen Belastungen der Werke, man muss mit der günstigsten Belastung rechnen.

Die Beziehung zwischen der Leistung der Werke und der gleichzeitigen Wasserführung des Flusses lässt sich gewöhnlich leicht feststellen. Man benützt zu diesem Zweck die dem Werk zunächst gelegene Wassermeßstation, deren tägliche Abflussmengen bekannt sind. Ist die Station zu weit vom Werk entfernt, dann können Korrekturen angebracht werden.

Im allgemeinen wird die günstigste Wassermenge des Flusses grösser sein als die günstigste benützte Wassermenge. Das Verhältnis ist von der Art der Fassung des Wassers abhängig. Bei Werken mit Streichwehren geht ein grosser Teil der Wassermenge unbenutzt verloren. Die Wasserzuleitung zum Werk kann da nicht durch ein Wehr willkürlich reguliert werden, sie hängt nur von der Regulierung beim Werk ab. Die Differenz zwischen vorhandener und benützter günstigster Wassermenge ist daher meist gross. Günstiger liegt die Sache bei Werken mit beweglichen Wehren. Hier hat es das Werk in der Hand, durch entsprechende Wehrregulierung die benützte Wassermenge der vorhandenen Wassermenge anzupassen. Doch muss jedes Werk gemäss Konzession ein gewisses Wasserquantum im Flusse belassen, daher ist bei Werken mit beweglichen Wehren die benützte Wassermenge auch im günstigsten Fall immer kleiner als die vorhandene Wassermenge im Fluss. Die besten Verhältnisse haben Werke ohne Oberwasserkanal (Laufenburg, Augst-Wyhlen), die theoretisch imstande sind, die ganze vorhandene Wassermenge des Flusses auszunutzen (Fischpassanlagen ausgenommen).

Nachdem die mittlere Mangelwassermenge pro Regulierungsperiode für jedes Werk festgestellt ist, handelt es sich um die Feststellung des durch die Regulierung gedeckten Teiles oder Mangelwassermenge.

Man kann annehmen, dass die vor Beginn der Regulierungsperiode in den Seen aufgespeicherte Wassermenge während der Regulierungsperiode gleichmässig verteilt zum Abfluss kommt. Die sekundliche Vermehrung des Wasserabflusses lässt sich berechnen durch Division der aufgespeicherten Wassermenge in die Dauer der Regulierungsperiode in Sekunden. Die Vermehrung der Wassermenge findet also auch statt, wenn das Wasserwerk die Wassermenge nicht verwenden kann. Man kann die Zahl dieser Tage, an denen das Werk die Zuschusswassermenge nicht verwenden kann, als Durchschnitt einer Anzahl Jahre bestimmen und erhält so ein Mittel der Anzahl Tage mit Wasserüberschuss aus dem sich die mittlere überschüssige Wassermenge berechnen lässt. Diese mittlere überschüssige Wassermenge ist von der Gesamtzuschusswassermenge in Abzug zu bringen. Man erhält so die mittlere gedeckte Mangelwassermenge. Genauere Resultate lassen sich erzielen, wenn die Berechnung graphisch erfolgt. Es können dann auch die teilweise gedeckten Tage berücksichtigt werden.

Die Annahme, dass die aufgespeicherte Wassermenge gleichmässig verteilt abgelassen wird, trifft in Wirklichkeit nicht zu. Die Regulierung erfolgt auf Grund eines Programms; die Abflüsse richten sich nach den Zuflüssen. Man kann aus den Zuflüssen zum See den mittleren Abfluss nach der Regulierung feststellen und hierauf die gedeckte Mangelwassermenge berechnen. Diese Berechnung erfolgt am besten graphisch.

Nach Feststellung der gedeckten Mangelwassermenge auf diesem oder jenem Wege handelt es sich darum, die Mehrproduktion an Energie festzustellen. Dabei ist den speziellen Verhältnissen der Werke in Beziehung zwischen vorhandener und verwertbarer Wassermenge Rechnung zu tragen. Je nach den baulichen Verhältnissen kann ein grösserer oder kleinerer Teil der gedeckten Mangelwassermenge vom Werk benutzt werden.

Man kann mit genügender Genauigkeit annehmen, dass diejenigen Werke, die imstande sind, vermittelst ihrer Fassungsanlage die ganze Niederwassermenge den Turbinen zuzuführen, auch imstande seien, die gesamte gedeckte Mangelwassermenge zu verwerten. Die verwertbare Mehrwassermenge wäre also zu 100 % der gedeckten Mangelwassermenge anzunehmen.

Anders liegen die Verhältnisse bei den Werken mit Streichwehren, wo nur ein begrenzter Teil der vorhandenen Wassermenge verwertet werden kann. In diesen Fällen bestimmt man die Zunahme der mittleren vorhandenen Wassermenge im Flusse nach der Regulierung und die entsprechende Zunahme der verwertbaren Wassermenge bei Niederwasser. Man erhält auf diese Weise die Ausnutzungsmöglichkeit der gedeckten Mangelwassermenge in % derselben.

Nachdem auf diese Weise für jedes Werk die mittlere verwertbare Mehrwassermenge festgestellt ist, lässt sich auch die mittlere Mehrleistung der Werke in Pferdekraftstunden durch Multiplikation mit dem der betreffenden Wassermenge entsprechenden Gefälle berechnen.

Will man auch der Entfernung der Werke von der Regulierungsstelle Rechnung tragen, dann kann dies dadurch geschehen, dass das Ergebnis mit einem von der Länge der Flußstrecke abhängigen Reduktionsfaktor multizipliziert wird.

Wie schon im Eingang erwähnt wurde, kann die Aufspeicherung in den Seen in allen Fällen nur auf Kosten einer Verminderung des Abflusses im Spätsommer und Herbst erfolgen. Für die grössern Werke tritt also in diesem Fall eine

Produktionsverminderung ein. Ihre Berechnung erfolgt gleich wie für die Periode der Absenkung.

In den meisten Fällen wird es nicht genügen, nur ein Jahr zur Berechnung heranzuziehen. Man wird vielmehr die Berechnung für eine Reihe von Jahren durchführen und aus dem Ergebnis das Mittel nehmen. Man erhält auf diese Weise die mittlere Mehrproduktion und mittlere Minderproduktion in Pferdekraftstunden nach der Regulierung.

Bei der Durchführung der Berechnung können natürlich verschiedene Vereinfachungen getroffen werden. Die Berechnung kann beispielsweise für 5tägige Perioden durchgeführt werden, ferner kann man bei der Bestimmung der Zuschusswassermenge den mittleren Zuschuss aus einer Reihe von Jahren heranziehen. Dagegen muss die Berechnung der Mangelwassermenge für jedes Jahr gesondert vorgenommen werden. Die Annahme eines mittleren Abflusses würde zu gänzlich unrichtigen Resultaten führen. Ein einziges wasserreiches Jahr, wie es z. B. 1910 war, kann den mittlern Abfluss einer Reihe von Jahren derart steigern, dass für die meisten Werke sich eine Mangelwassermenge nicht mehr errechnen liesse, während sie tatsächlich alle Jahre mit Ausnahme des Hochwasserjahres Wassermangel gelitten haben. Man wird ferner zur Vereinfachung der Rechnung mit einem konstanten Gefälle, am besten mit den der Höchstleistung entsprechende Gefälle rechnen.

Die beschriebene Methode der Mangelwasserberechnung nimmt keine Rücksicht auf den Nutzeffekt der Wassermotoren und die Änderung der Gefälle. In Wirklichkeit sind die Verhältnisse verwickelter. Die Leistung des Werkes ist abhängig vom Wirkungsgrade der Wassermotoren und der Wasserführung, d. h. jedem Pegelstand bezw. jeder Wassermenge entspricht eine bestimmte Leistung der Turbinen. Man kann diese Relation zwischen Wassermenge und Leistung graphisch darstellen. Auf diese Tatsache gründet sich eine zweite Methode der Vorteilberechnung, die wir gegenüber der beschriebenen Methode der Mangelwasserberechnung mit der Methode des Leistungsvergleiches bezeichnen können.

Es wird zunächst festgestellt, welche Leistungen das Wasserwerk während der Regulierungsperiode aufweist. Man benützt hiezu die Beziehung zwischen der Leistung der Wasserwerke und der Wasserführung der Gewässer. Hierauf wird die Änderung in der Wasserführung durch die Regulierung festgestellt, wobei man mit den durch die Regulierung tatsächlich erzielten Abflüssen unter Zugrundelegung des Programms rechnen muss. Es wird hierauf wiederum unter Benützung der Relation zwischen Wasserführung und Leistung des Werkes dessen Leistung nach der Regulierung berechnet. Als Differenz ergibt sich dann die tatsächliche Mehrleistung bezw. Mehrproduktion als Folge der Regulierung. Auch bei dieser Berechnung können Vereinfachungen getroffen werden, z. B. Annahme von fünftägigen Mitteln etc. Die Berechnung erfolgt am besten unter Zuhilfenahme von Tabellen.

In der Durchführung werden beide Berechnungsarten ungefähr gleich viel Aufwand erfordern. Die Methode der Mangelwasserberechnung wird Anwendung finden, wenn es sich darum handelt, Kostenverteilungen für Regulierungen vorzunehmen Man kann dabei keine Rücksicht darauf nehmen, ob das Werk sein Wasser mehr oder weniger gut ausnützen kann, sondern muss alle Werke gleich behandeln. Die zweite Methode, der Leistungsvergleich, ist da angebracht, wo es sich um die wissenschaftliche Feststellung der tatsächlichen Mehrproduktion infolge der Regulierung handelt.

Je nach dem Zweck, den man verfolgt, wird der Rechnungsvorgang nach den beiden Methoden ein einfacherer oder komplizierterer sein. Es können folgende Möglichkeiten in Betracht fallen:

1. Vergleich zwischen der Arbeitsleistung der Kraftwerke vor und nach der Regulierung für eine grössere Reihe von Jahren (10—20 Jahre).

Man wird diese Rechnung durchführen, wenn es sich um die Vorteilsberechnung für eine definitive Seeregulierung mit bedeutenden Kosten handelt, bei der alle beteiligten Interessenten finanziell mitwirken müssen.

2. Vergleich zwischen der Arbeitsleistung der Kraftwerke eines wasserarmen Jahres vor und nach der Regulierung.

Diese Berechnungsart ist in den Fällen angebracht, wo es sich um Kraftwerke mit ungefähr gleicher Ausbaugrösse am nämlichen Flusslaufe handelt, wo also die Verschiedenheit der Aufnahmefähigkeit der Anlage und des Regimes wenig ins Gewicht fällt.

Nachdem nach dieser oder jener Methode der Nutzen der einzelnen Werke aus der Regulierung festgestellt ist, wird es sich darum handeln, die Beiträge festzusetzen. Der einfachste Fall ist der, wenn die Werke die Kosten der Regulierung allein tragen müssen, wie dies beispielsweise bei der Regulierung des Walen- und Zürichsees als Kriegsmassnahme der Fall ist. In diesem Falle teilen sich die Werke in die Kosten im Verhältnis zu ihrem Nutzen in Pferdekraftstunden ohne Rücksicht auf den Wert. Schwieriger wird das Problem, wenn auch noch andere Interessenten, Bund, Kantone und Gemeinden, an einer Seeregulierung beteiligt sind und an die Kosten beitragen sollen. In diesem Fall handelt es sich nicht allein um die Feststellung des relativen Nutzens, sondern um die Berechnung des tatsächlichen Nutzens. Man wird den Wert der erzeugten Pferdekraftstunden eruieren müssen und auf diese Weise den Beitrag der Kraftwerke im

Verhältnis zu den Beiträgen der übrigen Interessenten feststellen. Natürlich ist der Wert der durch die Regulierung mehr erzeugbaren Energie für jedes Werk ein verschiedener, je nachdem es sich um ein Elektrizitätswerk oder ein industrielles Unternehmen handelt. Es ist unmöglich, hier allgemeine Grundsätze aufzustellen, hier ist eine individuelle Behandlung absolut notwendig, sollen nicht Ungleichheiten entstehen.

Wir zeigen die Berechnung des Nutzens aus Seeregulierungen nach den angeführten zwei Methoden an einem praktischen Beispiel, der Regulierung des Zürich- und Walensees. Es ist der erste Fall in der Schweiz, wo ein grösseres Regulierungsunternehmen zur Durchführung gelangen soll, wobei sehr verschiedenartige Wasserwerke und sonst komplizierte Verhältnisse in Betracht kommen. Es bietet sich so Gelegenheit, das Problem gründlich zu untersuchen.

Das Programm für die Regulierung des Zürich- und Walensees ist in seinen Grundzügen folgendermassen gedacht:

Der Walensee wird bis Ende Oktober auf Cote 423.40 gestaut und von Mitte Dezember bis Mitte Februar abgelassen. Die total aufgespeicherte Wassermenge auf Mitte Dezember beträgt im Durchschnitt der Jahre 1906/15 33,6 Millionen m^3. Diese Wassermenge gelangt in den Zürichsee. Eine Absenkung kommt nicht in Frage.

Der Zürichsee wird bis Ende Oktober auf Cote 409.60 gestaut und von Anfang Dezember bis Ende März auf Cote 408.60 abgesenkt. Die auf Anfang Dezember aufgespeicherte Wassermenge beträgt bei einer Seeoberfläche von 88 km^2 im Durchschnitt der Jahre 1906/15 = 48,5 Millionen m^3. Die natürliche Retention beträgt in der gleichen Periode durchschnittlich 17 cm entsprechend 15 Mill. m^3. Durch die Absenkung auf Ende März werden durchschnittlich 49 cm entsprechend 43,2 Mill. m^3 gewonnen. Die zur Vermehrung des Niederwasserabflussers herangezogene Wassermenge beträgt also von Anfang Dezember bis Ende März durchschnittlich 76,7 Mill. m^3.

In beiden Seen zusammen beträgt die neu aufgepeicherte Wassermenge durchschnittlich 82,1 Mill. m^3 und die zur Niederwassererhöhung zur Verfügung stehende Wassermenge durchschnittlich 110,3 Mill. m^3.

Die durch die Regulierung berührten Flussstrecken sind: Limmat, vom Seeausfluss bis Aare, Aare, von der Limmatmündung bis Rhein, Rhein, von der Aaremündung bis Augst oberhalb Basel. Die Grössen der bezüglichen Einzugsgebiete sind:

Ausfluss Zürichsee	=	1829 km^2
Mündung Limmat	=	2416 „
Mündung Aare	=	17779 „
Augst (Basel)	=	34962 „

Es ist klar, dass bei so verschieden umfangreichen Einzugsgebieten auch die Abflussverhältnisse ausserordentlich verschiedenartig sind.

Sehr verschiedenartig sind auch die in Betracht fallenden Wasserkraftwerke in baulicher, wasserwirtschaftlicher und betriebstechnischer Hinsicht.

Die Grosszahl der Werke besitzt vollkommene Wehranlagen, die eine vollständige Ausnützung der Niederwassermenge ermöglichen. Einige kleinere Werke besitzen die für die Limmat charakteristischen sog. Streichwehre, unvollkommene Wehranlagen, vermittelst deren auch bei Niederwasser nur ein Teil der Wassermenge des Flusses den Wasserwerken zugeleitet werden kann. Die Ausbaugrösse bezw. nutzbare Wassermenge der Werke ist ausserordentlich verschiedenartig. Einzelne Werke an der Limmat besitzen nur einen Ausbau bis zur mittleren Niederwassermenge, während am Rhein der Ausbau bis zur achtmonatlichen ununterbrochenen Wassermenge geht.

Die Grosszahl der Werke sind Elektrizitätswerke; an der Limmat bestehen ausserdem noch Spinnereien, Zwirnereien, Webereien, Metallwarenfabriken und elektrochemische Betriebe.

Die beigegebene Tabelle 2 orientiert über die Reihenfolge der Werke, sowie ihre technischen und wasserwirtschaftlichen Verhältnisse. Zur Berechnung der Mangelwassermenge stehen folgende Wassermeßstationen zur Verfügung: Zürich-Unterhard, Baden (grosse Bäder), Döttingen, Waldshut und Basel. Wir benützen dabei die von der Abteilung für Wasserwirtschaft aufgestellten Tabellen mit den täglichen Abflussmengen dieser Stationen.

Über die einzelnen Werke ist folgendes zu sagen:

Von den Anlagen am untern Mühlesteg sind nur noch vier im Betrieb. Sie dürften aus der Erhöhung des Gefälles und der Stauung des Sees Vorteile ziehen, doch sind die Anlagen so klein, dass wir sie in unserer Berechnung ausser Betracht lassen. Das gleiche gilt für das Wasserwerk der A.-G. vorm. Baumann älter in Höngg. Die Wehranlage ist vollkommen, die Aufnahmefähigkeit der Turbinen aber nur eine beschränkte, bei grösserer Wassermenge sinkt die Leistung. Die Wasserkraftanlage der Gebr. Waser in Höngg kann $^8/_9$ der nutzbaren Wassermenge der Limmat ausnutzen, $^1/_9$ stehen dem gegenüberliegenden Wasserrechte zu, das nicht mehr benützt wird. Das Elektrizitätswerk Spreitenbach besitzt ein sog. Streichwehr. Die maximale Leistung des Werkes tritt ein, wenn die Limmat am Pegel Baden den Stand von 6.30 erreicht. Der Kanal führt dann 22.83 m^3/sek. Bei Pegelstand 5.50 Baden beträgt die Wassermenge im Kanal 19.69 m^3/sek., bei Pegelstand 6.00 22.00 m^3/sek. Dem Zuwachs Pegelstand Baden um 0.50 entspricht eine Zunahme der Wasserführung

der Limmat um 49 m³/sek. und des Kanals um 2.31 m³/sek. Daraus schliessen wir, dass das Werk Spreitenbach von einer Mehrwassermenge zur Niederwasserzeit 5 % ausnützen kann.

Die beiden Anlagen der Baumwollspinnerei und Weberei Wettingen liegen auf dem rechten und linken Ufer der Limmat. Die Wasserfassung des obern Werkes besteht aus einem Streichwehr. Die grösste Leistung der Anlage tritt ein bei Pegel Baden = 5.80. Die Wasserführung der Limmat beträgt bei diesem Pegelstand 53 m³/sek., der Kanal führt 17,0 m³/sek. Bei Pegel Baden 5.50 = 26 m³/sek. sinkt die Leistung auf 600 PS, die Wassermenge im Kanal dürfte zu 12.5 m³/sek. angenommen werden. Die Anlage ist somit imstande, 17 % von einer Zuschusswassermenge auszunutzen.

Dem untern Werke auf dem linken Ufer steht nur dasjenige Wasser der Limmat zur Verfügung, das nicht zum Betrieb des obern Werkes Verwendung findet. Das Wehr besteht aus einem ca. 70 m langen Damm, der das ganze Limmatbett in schiefer Richtung gegen das rechte Ufer durchquert und bis auf eine 12 m breite Strecke abschliesst. Diese Öffnung kann bei niedern Wasserständen auch verschlossen werden. Die grösste Leistung des Werkes tritt ein bei Pegel Baden = 5.75 = 48 m³/sek. Die benutzte Wassermenge beträgt dann 6.08 m³/sek. Bei Pegel Baden = 5.69 = 42 m³/sek. sinkt die benutzte Wassermenge auf 4.22 m³/sek. Daraus schliessen wir auf eine mögliche Ausnutzung der Zuschusswassermenge von 26 %.

Die Anlage Aue des E.-W. der Stadt Baden besitzt wiederum eine normale Wehranlage. Montiert sind nur zwei Turbinen und Generatoren, die dritte Kammer ist noch offen. Die maximale Leistung ergibt sich bei einer Wassermenge von 45 m³/sek. in der Limmat. Die nutzbare Wassermenge ist gleich hoch.

Das kleine Werk von Wegmann & Co. in Baden mit einer maximalen Leistung von 35 PS. und einer benützten Wassermenge von 3.56 m³/sek. fällt ausser Betracht.

Die Anlage von Oederlin & Co. in Baden besitzt ein Streichwehr. Die maximale Leistung des Werkes tritt ein bei Pegel 6.52 Baden = 150 m³/sek. Die benützte Wassermenge beträgt dann 16 m³/sek. Bei Pegel 5.89 = 62 m³/sek. beträgt die benutzte Wassermenge 12 m³/sek. und bei Pegel 6.29 = 117 m³/sek. = 14.0 m³/sek. Der Ausnutzungsgrad eines Zuschusses beträgt somit ca. 4 %.

Das Werk Kappelerhof des E.-W. der Stadt Baden besitzt wiederum eine vollkommene Wehranlage. Die maximale Leistung ergibt sich bei einer Wassermenge von 45 m³/sek. in der Limmat. Die nutzbare Wassermenge beträgt dann 39 m³/sek.

Die Elektrochemie Turgi (sog. Schiffmühle) besitzt ein charakteristisches Streichwehr. Die maximale Leistung wird bei einer Wasserführung der Limmat von 76 m³/sek. konstatiert. Die benützte Wassermenge beträgt dann 38.74 m³/sek. Bei einer Wasserführung von 50 m³/sek. betrug die benutzte Wassermenge = 32.14 m³/sek. Der Ausnutzungsgrad eines Zuschusses beträgt somit 25 %.

Auch das Wasserwerk der Firmen Kappeler-Bebié und Bebié & Co. in Turgi besitzt ein Streichwehr. Die Höchstleistung wird bei Pegel Baden 5.80 = 53 m³/sek. erzielt. Die benützte Wassermenge beträgt dann 20.40 m³/sek. für beide Turbinen. Bei Pegel Baden 5.50 = 26 m³/sek. sinkt die benützte Wassermenge auf 16.50 m³/sek. Der Ausnutzungsgrad beträgt somit 15 %.

Bei den Werken Schweiz. Broncewarenfabrik und Zwirnerei Stroppel Turgi liegt ein ähnlicher Fall vor wie bei den Werken der Baumwollspinnerei und Weberei Wettingen. Das Wasserwerk der Broncewarenfabrik hat das Recht auf 5/12, dasjenige der Zwirnerei Stroppel auf 7/12 des Limmatwassers. Das Unterwasser der beiden Anlagen steht unter dem Einflusse der Wasserstände der Aare, was die Feststellung eines mittleren Gefälles natürlich erschwert. Die maximale Leistung des Werkes der Broncewarenfabrik tritt ein bei einer Wasserführung der Limmat von 50 m³/sek. Die benutzte Wassermenge beträgt dann 8.92 m³/sek. Wir nehmen an, dass bei dieser Wasserführung auch die Anlage Stroppel eine maximale Leistung aufweist. Deren benutzte Wassermenge beträgt dann 12.0 m³/sek. Wassermengenbestimmungen bei Niederwasser fehlen, wir rechnen mit einem Ausnutzungsgrad von 15 % für das Werk Stroppel und 10 % für das Werk der Broncewarenfabrik, total 25 % für beide Anlagen.

Die folgenden Werke an Aare und Rhein (Beznau, Laufenburg etc.) sind alles Grosskraftanlagen mit technisch vollkommenen Einrichtungen für die Ausnutzung des Wassers. Der Ausnutzungsgrad kann bei diesen Werken zu 100 % angenommen werden, indem die unvermeidlichen Verluste bei allen Werken ungefähr die gleichen sein werden. Für die Berechnung der Mangelwassermenge stehen die Wassermeßstationen Döttingen, Waldshut und Basel zur Verfügung. Wir haben für die Rheinwerke die Wassermeßstation Waldshut gewählt, da die Station Basel ein prozentual bedeutend grösseres Einzugsgebiet umfasst. Um der Wirklichkeit näher zu kommen, haben wir die theoretisch ermittelte mittlere Mangelwassermenge im Verhältnis der respektiven Einzugsgebiete reduziert.

Der gewaltigen Verschiedenheit der Einzugsgebiete wird durch die Einbeziehung verschiedener Jahre bereits z. T. Rechnung getragen. Dagegen bedarf die Berechnung der Zuschusswassermenge für die verschiedenen Werke noch einer Korrektur. Mit der Entfernung von der Regulierungsstelle

wachsen auch die Verluste durch Versickerung und Verdunstung. Leider fehlen alle Beobachtungen hierüber, zweifellos hat man aber in den Wintermonaten namentlich mit bedeutenden Verlusten durch Verdunstung zu rechnen (starke Nebelbildung). Auch die Genauigkeit der Rechnung vermindert sich mit der Länge des Flusslaufes durch die unvermeidlichen zeitlichen Verschiebungen des Abflusses, denen man ziffermässig nur schwer Rücksicht tragen kann. Wir nehmen bis Augst eine Reduktion von 15 % an, das sind pro km rund 0,15 %. Um diesen Prozentsatz mal Flusslänge wäre also die theoretisch ermittelte gedeckte Mangelwassermenge bezw. Mehrproduktion zu reduzieren.

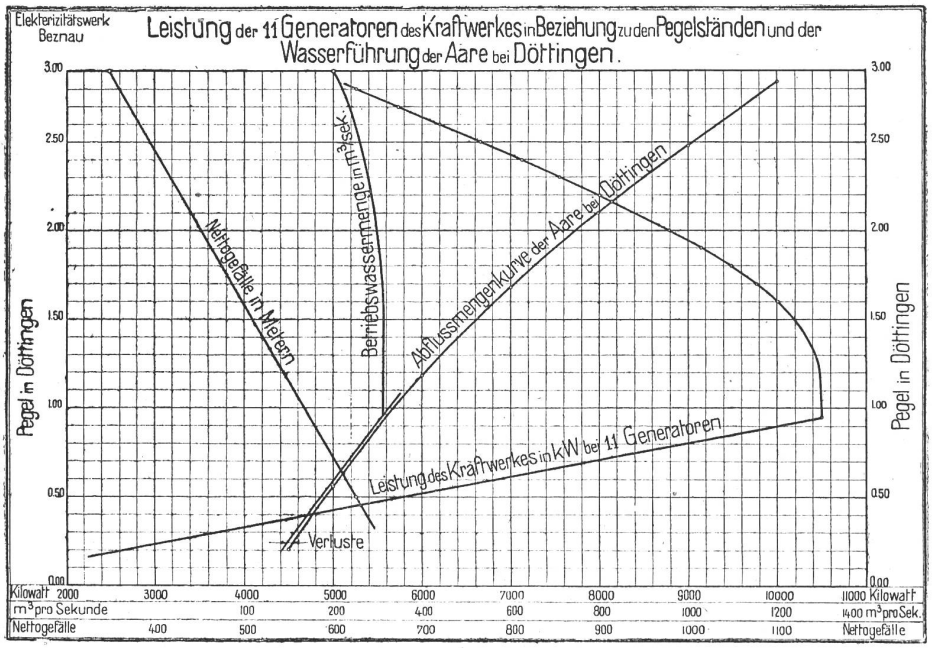

Abbildung 1. **Leistung der 11 Generatoren des Kraftwerkes Beznau in Beziehung zu den Pegelständen und der Wasserführung der Aare in Döttingen.**

Wir haben die Berechnung der Mangelwassermenge für das Elektrizitätswerk Beznau für die Jahre 1906/15 durchgeführt. Tabelle 1 zeigt diese Berechnung. Abbildung 1 zeigt die Beziehung zwischen Pegelstand bezw. Wassermenge der Messstation Döttingen und der Leistung des Elektrizitätswerkes Beznau. Es ist dabei angenommen, dass sämtliche 11 Turbinen im Betrieb sind. Abbildung 2 stellt die Berechnung der Mangelwassermenge für die Regulierungsperiode 1908/09 graphisch dar.

Tabelle 2 zeigt die Berechnung des aus der Regulierung des Walensees erzielten Nutzens für die Werke vom Zürichsee bis August. Zu den einzeln Rubriken dieser wichtigen Tabelle bemerken wir folgendes: Rubrik 2 enthält die Entfernung des Werkes von der Regulierungsstelle in km, sie dient zur Bestimmung des Reduktionsfaktors. Rubrik 3 enthält die günstigste Wassermenge und Rubrik 4 das zugehörige Nettogefälle zwischen Ober- und Unterwasser beim Maschinenhaus. Rubrik 5 enthält die ausgenützte Wassermenge in den Turbinen und Rubrik 6 die maximale Bruttoleistung, die lediglich zu einem Vergleich zwischen den einzelnen Werken dienen soll und auch weggelassen werden könnte. Rubrik 7 enthält die mittlere jährliche Mangelwassermenge, die für jedes Werk gemäss Tabelle 1 berechnet werden muss. Rubrik 8 enthält die Anzahl der Tage, an denen die Wassermenge über die günstigste Wassermenge gemäss Rubrik 3 im Mittel der Jahre 1906/15 gestiegen ist. Rubrik 9 enthält die gedeckte Mangelwassermenge. Unter Annahme einer gleichmässigen Verteilung der Zuschusswassermenge wird sie so berechnet, dass man die tägliche Zuschusswassermenge mit der Anzahl der Tage der Rubrik 8 multipliziert und die so erhaltene überschüssige Wassermenge von der gesamten Zuschusswassermenge abzieht. Gewöhnlich ist die gedeckte Mangelwassermenge kleiner als die mittlere Mangelwassermenge. Ist sie grösser (bei kleinen Werken), dann ist die letztere einzusetzen. Rubrik 10 enthält den Ausnutzungskoeffizienten der Zuschusswassermenge. Rubrik 11 die die mittlere jährliche Mehrwassermenge aus 9 und 10 berechnet und Rubrik 12 enthält die reduzierte mittlere Mehrwassermenge, die sich aus Rubrik 2 und der Annahme eine Ausnutzung von 15 % bei 101 km Entfernung von der Regulierungsstelle ergiebt. Rubrik 13 enthält die mittlere jährliche Mehrleistung unter Annahme eines Wirkungsgrades von 75 % der Motoren. Rubrik 14 drückt diese in % der Gesamtmehrleistung aus. Es ist dabei angenommen, dass die Werke Laufenburg, Rheinfelden und Wyhlen mit der gesamten Wassermenge herangezogen werden.

Es ergiebt sich, dass sich aus der Stauung des Walensees unter Annahme einer gleichmässigen Verteilung des aufgestauten Wassers auf die Zeit von Anfang Dezember bis Ende März eine Mehrproduktion von 1,552,600 PSh. bezw. 1,030,000 kWh. netto erzielen lässt.

Die Berechnung der mittleren Mangelwassermenge auf Grund des tatsächlichen Abflusses nach der Regulierung gemäss Programm erfolgt folgendermassen:

Aus der Tabelle 1 entnimmt man die mittlere

Mangelwassermenge von 5 zu 5 Tagen der Jahre 1906/15. Man berechnet hieraus die sekundliche mittlere Mangelwassermenge für die Periode von 5 Tagen und trägt diese von der Linie der günstigsten Wassermenge nach abwärts auf. Auf Grund des Regulierungsprogramms berechnet man nun die Aenderung des Abflusses für die Jahre 1906/15 und trägt die so berechnete mittlere Zuschusswassermenge von der Linie der Mangelwassermenge auf. Wir erhalten so die mittlere Mangelwassermenge nach Regulierung für die Jahre 1906/15.

Unausgebaute Wasserkräfte.

Unsere bisherigen Erörterungen beschränkten sich auf ausgebaute Wasserkräfte. An jedem Flusslauf bestehen aber noch Strecken, die teils konzessioniert, teils noch frei sind. Sofern der Nutzen aus der Regulierung für diese noch zu erstellenden Wasserwerke berechnet werden muss, wird man entweder das Konzessionsprojekt zugrunde legen, oder falls ein solches nicht besteht, einen generellen Wasserwirtschaftsplan für die noch freien Gefällsstrecken ausarbeiten. Die Berechnung des Nutzens aus der Regulierung erfolgt dann nach den schon entwickelten Grundsätzen für bestehende Anlagen. In der Praxis wird allerdings dieser Fall kaum eintreten. Die Wasserrechtsbesitzer (Kantone) werden behufs Erleichterung der Finanzierung des Regulierungsunternehmens zur Leistung von Pauschalbeträgen herangezogen, erst nach der Konzessionserteilung für das Werk werden die genauen Berechnungen des Nutzens durchgeführt und ein Mehr-

Elektrizitätswerk Beznau a. Aare.

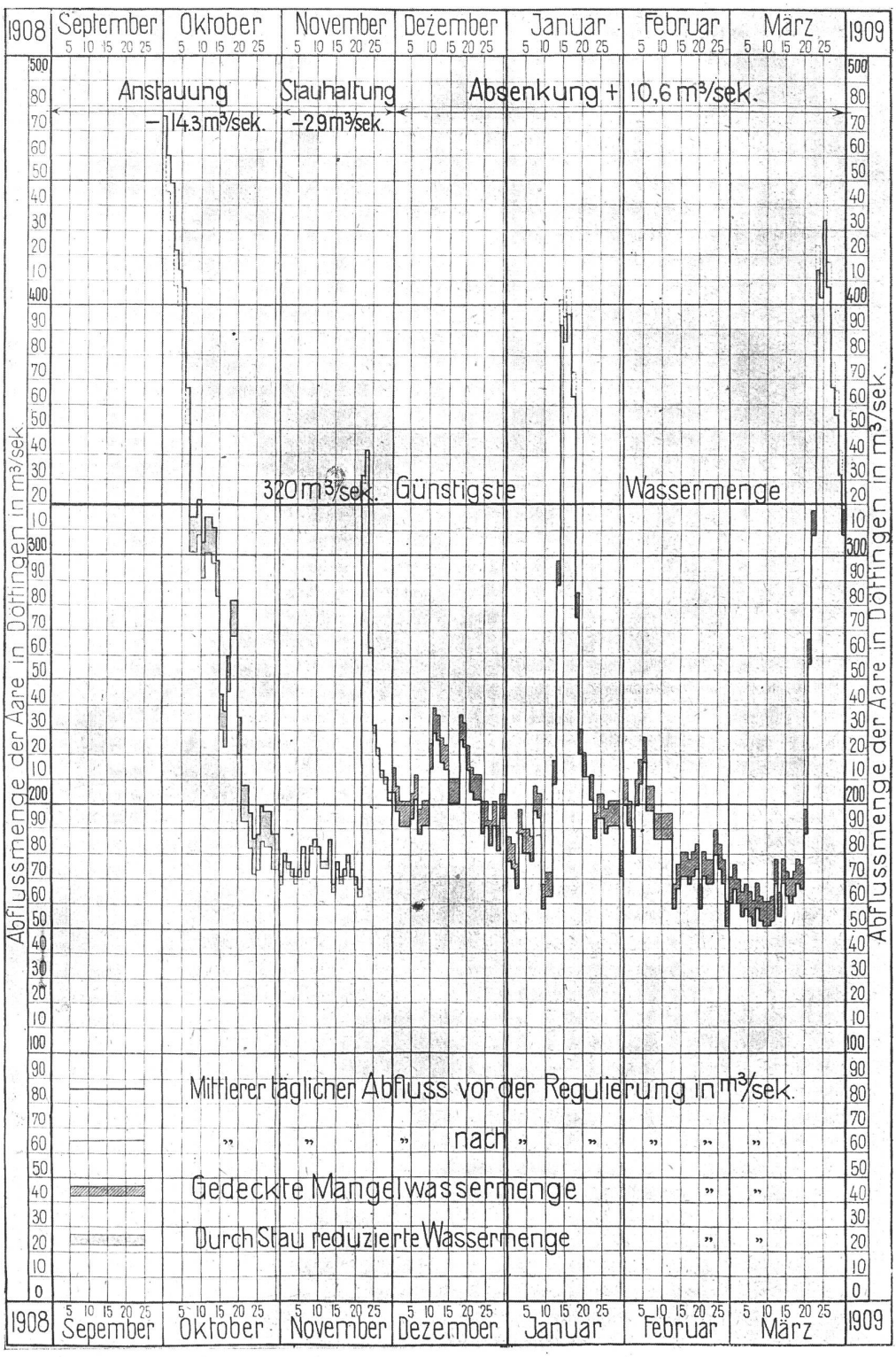

Abb. 2. **Graphische Darstellung der Berechnung der gedeckten Mangelwassermenge für die Regulierungsperiode 1908/09 unter Annahme einer gleichmässigen Verteilung der im Walensee und Zürichsee angestauten und aufgespeicherten Wassermenge.**

Tabelle 1

E. W. Beznau (Aare) **Mangelwassermenge in m³/sek./Tag in den Jahren 1906/1916.** **Messtation Döttingen** Q = 320 m³/sek.

Monat	Tage	1906/07	1907/08	1908/09	1909/10	1910/11	1911/12	1912/13	1913/14	1914/15	1915/16	Total	Mittel	
September	1—5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Anstauung
	6—10	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38	3.8	
	11—15	—	—	—	—	—	55	—	—	—	—	55	5.5	
	16—20	45	—	—	—	—	5	—	—	—	—	50	5.0	
	21—25	139	55	—	—	—	—	—	—	—	—	194	19.4	
	26—30	610	529	—	—	—	—	—	—	—	—	1139	113.9	
Oktober	1—5	685	283	—	—	—	—	—	—	—	—	968	96.8	
	6—10	700	279	20	—	—	—	—	—	—	—	999	99.9	
	11—15	732	269	56	—	—	—	—	24	—	—	1081	108.1	
	16—20	419	84	294	—	—	—	—	165	—	—	962	96.2	
	21—25	768	189	566	—	—	12	—	280	230	21	2064	206.4	
	26—31	999	229	762	—	37	48	—	534	451	290	3350	335.0	
November	1—5	839	549	727	—	5	158	—	488	285	302	3353	335.3	Stauhaltung
	6—10	666	544	700	127	—	428	—	184	252	2	2903	290 3	
	11—15	488	618	709	397	—	43	—	83	—	5	2343	234.3	
	16—20	566	617	724	289	—	249	—	—	—	—	2445	244.5	
	21—25	401	703	360	130	—	166	—	—	76	55	1891	189.1	
	26—30	796	661	515	458	—	171	—	—	56	203	2860	286.0	
Dezember	1—5	512	736	625	163	—	287	—	—	328	—	2651	265.1	Absenkung
	6—10	223	231	634	—	—	446	19	—	131	—	1684	168.4	
	11—15	199	—	500	9	—	404	299	—	—	—	1411	141.1	
	16—20	280	—	551	204	—	410	51	—	—	—	1486	148.6	
	21—25	546	234	589	—	—	95	45	24	—	—	1533	153.3	
	26—31	876	386	786	—	—	—	45	133	—	—	1356	135.6	
Januar	1—5	271	422	715	—	—	—	—	298	—	—	1706	170.6	
	6—10	359	551	694	—	—	—	—	245	—	—	1849	184.9	
	11—15	593	598	458	—	—	—	—	—	—	—	1649	164.9	
	16—20	647	599	145	—	121	—	—	—	—	—	1512	151.2	
	21—25	698	653	596	—	81	—	—	—	—	—	2028	202.8	
	28—31	748	431	794	—	164	165	—	186	105	—	2593	259.3	
Februar	1—5	687	575	621	—	273	249	—	319	53	—	2777	277.7	
	6—10	752	665	617	—	434	255	—	343	—	—	3066	366.6	
	11—15	769	750	718	—	458	12	—	304	—	37	3048	304.8	
	16—20	627	63	745	—	376	5	12	70	—	—	1898	189.8	
	21—25	51	—	755	—	49	41	133	—	—	—	1029	102.9	
	26—28	303	—	463	—	—	—	115	—	—	—	881	88.1	
März	1—5	446	—	801	—	—	—	204	—	—	—	1451	145.1	
	6—10	351	—	832	—	—	—	184	—	—	15	1367	136.7	
	11—15	—	—	805	—	—	—	113	—	—	11	929	92.9	
	16—20	—	—	780	—	44	—	80	—	—	—	904	90.4	
	21—25	—	—	208	—	—	—	—	—	—	—	208	20.8	
	26—31	—	—	12	—	—	—	—	—	—	—	12	1.2	
											Total	39028	390.3	m³/sek./Tag
												== 336 Mill. m³		
Tage mit Ueberschuss		26	54	10	111	77	77	83	79	104	115	736	74	

beitrag über den kapitalisierten schon bezahlten Pauschalbetrag hinaus auf die Wasserwerke, die ihre Leistungen schon erfüllt haben, verteilt. Dieser Einkauf von neuen Nutzungsberechtigten ist im eidgenössischen Wasserrechtsgesetz ausdrücklich vorgesehen. Die praktische Durchführung einer solchen Verrechnung ist natürlich nur möglich, wenn sich die Wasserwerke der in Betracht fallenden Flussstrecke zu einer Genossenschaft vereinigen.

Die Berechnung des Vorteils aus Stauanlagen bei deutschen Talsperrengenossenschaften.

Die Frage der Verteilung der Kosten von Stauanlagen auf die unterliegenden Wasserwerke ist unseres Wissens zuerst in Deutschland bei den auf genossenschaftlichem Wege zustande gekommenen Talsperren wissenschaftlich und praktisch erprobt worden. Es dürfte daher interessieren, zu vernehmen, nach welchen Grundsätzen dort vorgegangen worden ist. Dank den uns in freundlicher Weise von den Talsperrgenossenschaften an der Ruhr und Wupper gemachten Mitteilungen sind wir in der Lage, hierüber zu berichten.

Professor Intze, der Begründer des deutschen Talsperrenbaues, hat schon in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts vor Anhandnahme der Talsperrenbauten die Grundsätze für die Verteilungsberechnung entwickelt. *)

Professor Intze geht aus von der Mittelwasserführung. Er vergleicht die mittlere tägliche Abflussmenge mit denjenigen Abflussmengen, die kleiner gewesen sind und bestimmt so den Mangel an Mittelwasser im Verlaufe eines Jahres. Dieser

*) Erläuterung zur Berechnung des Nutzens, den die Talsperren im Gebiete der Wupper zunächst und später leisten werden. Von Professor Intze, Aachen, April 1890.

Tabelle 2

Leistungsverhältnisse der Kraftwerke vom Zürichsee bis Basel bei einer Regulierung des Wallensees, berechnet für die Absenkungsperiode Dezember-März als Mittel der Jahre 1906/15.

Akkumulierte Wassermenge = 33,6 Mill. m³.

No.	Werk	km	Günstigste Wassermenge im Fluss	Entsprech. Nettogefäll O. W. — U. W.	Ausgenutzte Wassermenge i. d. Turbinen	Maximale Bruttoleistung	Mittl. jährliche Mangelwassermenge	Anzahl Tage mit Ueberschuss	Gedeckte Mangelwassermenge	Nutzbar	Mittlere jährliche Mehrwassermenge: Gerechn	Mittlere jährliche Mehrwassermenge: Reduziert	Mittl. jährliche Mehrleistung netto	%	Bemerkungen
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			m³/sek.	m	m³/sek.	PS.	Mill.m³	Tage	Mill.m³	%	Mill. m³	Mill. m³	PSh.	%	
1	Stadt Zürich, unt. Mühlesteg	0.0	—	—	—	340	—	—	—	—	—	—	—	—	Nicht berücksichtigt
2	E. W. Stadt Zürich, Letten .	0.0	65.0	3.25	60.0	2 800	146.0	37	21.8	100	21.8	21.8	197.000	12.8	
3	A.-G. vorm. Baumann älter, Höngg	2.0	11.0	1.70	11.0	250	—	—	—	—	—	—	—	—	Nicht berücksichtigt
4	R. Waser Söhne, Altstetten .	5.0	27.0	3.20	24.0	960	4.5	112	—	90	2.3	2.3	20.800	1.3	2 Turbinen
5	A.-G. vorm. Hauser & Co., Altstetten	5,0	—	—	—	17	—	—	2.6	—	—	—	—	—	Nicht berücksichtigt
6	Mühle Kloster Fahr . . .	11.0	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—	" "
7	E. W. Dietikon	12.0	30.0	3.00	30.0	1 200	6.5	96	6.5	100	6.0	5.9	50.000	3.2	
8	Seidenzwirnerei Oetwil . .	15.0	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—	Nicht berücksichtigt
9	E. W. Spreitenbach (Kessel)	17.0	117.0	2.00	22.8	610	485.0	6	31.9	5	1.6	1.8	8.900	0.6	
10	Baumwollspinnerei & Weberei Wettingen	24.0	53.0	3.60	17.0	820	40.0	63	16.2	17	2.8	2.7	27.000	1.7	
11	dto.	24.0	48.0	3.37	6.1	275	31.3	82	11.0	26	2.8	2.7	25.000	1.6	
12	Elektrizitätswerk Baden (Aue)	26.0	45.0	5.03	45.0	3 000	21.0	91	8.6	100	8.6	8.2	114.000	7.3	2 Turbinen
13	Wegmann & Co., Baden . .	26.0	—	—	—	35	—	—	—	—	—	—	—	—	Nicht berücksichtigt
14	Oederlin & Co., Baden . .	26 0	150.0	1.85	16.0	400	900.0	3	32.7	4	1.3	1.2	6.200	0.4	
15	E. W. Baden (Kappelerhof) .	27.0	45.0	3.28	39.0	1 700	21.0	91	8.5	90	7.7	7.4	67.000	4.3	
16	Elektrochemie, Turgi . . .	31.0	76.0	2.74	38.7	1 400	172.0	32	24.8	25	6.2	5.9	45.400	2.9	
17	Kappeler & Bebié, Turgi . .	32.0	53.0	2.86	10.2	390	20.0	63	16.2	15	2.4	2.3	25.400	1.6	
18	Bebié & Co., Turgi	32.0	53.0	2.86	10.2	390	20.0	63	16.2	15	2.4	2.3	25.400	1.6	
19	Broncewarenfabrik Turgi . .	34.0	50.0	3.90	8.9	460	19.0	68	11.7	10	1.2	1.1	12.000	0.8	
20	Retorderie Stroppel, Turgi .	34.0	50.0	2.80	12.0	450	19.0	68	11.7	15	1.2	1.1	8.500	0.5	
21	N. O. K. E. W. Beznau . .	40.0	320.0	5.75	320.0	26 600	336.0	74	13.1	100	13.1	12.3	196.000	12.6	
22	Kraftwerk Laufenburg . . .	69.0	630.0	10.50	630.0	88 000	705.0	66	15.4	100	15.4	13.9	405.000	26.1	
23	Kraftübertragungswerke Rheinfelden	96.0	520.0	6.00	520.0	41 500	314.0	91	8.6	100	8.6	7.4	123.000	7.9	
24	Kraftwerk Augst	101.0	262.0	7.20	262.0	25 000	122.0	90	5.8	100	5.8	4.9	98.000	6.4	
25	Kraftwerk Wyhlen	101.0	262.0	7.20	262.0	25 000	122.0	90	5.8	100	5.8	4.9	98.000	6.4	
												Total	1.552.600	PSh.	
												entspr.	1.030.000	kWh.	netto

Mangel ist natürlich gleich gross wie der Ueberschuss über das Mittelwasser. Man bestimmt nun für die verschiedenen Wassermotoren (Turbinen und Wasserräder) die Mangelwassermenge in Beziehung zur mittleren jährlichen Abflussmenge, die um so grösser wird, je geringer die Schluckfähigkeit der Motoren ist. Intze nimmt nun an, dass das in der Talsperre aufgespeicherte Wasser zuzüglich des ersparten Wassers von Hochwasser, Sonn- und Feiertagen gleichmässig auf 300 Arbeitstage im Jahr verteilt abgelassen wird, wenn auch in Wirklichkeit das Nutzwasser nur an höchstens 200 wasserarmen Arbeitstagen je nach Bedarf ungleichmässig abgelassen wird. Er berechnet nun das Nutzwasser pro Sekunde, das zugeschossen werden kann, und erhält so für jedes Werk im Vergleich zu seiner Mangelwassermenge den Nutzen.

Die Berechnung geschieht nach dem Entwurf für die Listertalsperregenossenschaft vermittelst einer Tabelle *), die folgende Rubriken enthält:

1. Nr., 2. Werk, 3. Niederschlagsgebiet, 4. Mittlere Wassermenge, 5. Ausgebaute Leistung, 6. Betriebseinrichtung, 7. Wirkungsgrad der Motoren, 8. Gefällhöhe, 9. Wasserbedarf in l/sek., 10. Wasserbedarf in % des Mittelwassers, 11. Mangel pro Jahr in % des Bedarfs, 12. Arbeitstage im Jahr, 13. Arbeitsstunden pro Tag, 14. Nutzwasserabfluss der Talsperre, 15. Mangel in Mill. m³ pro Jahr im ganzen, 16. Mangel in Mill. m³ pro Jahr während der Arbeitszeit, 17. Nutzwasserzuflüsse während der Arbeitszeit in Mill. m³, 18. Ausgenutztes Talsperrenwasser in Mill. m³, 19. Erzielbare Mehrleistung pro Jahr in PSh., 20. Beitrag.

Diese Berechnungsgrundlagen haben im Laufe der Zeit eine weitgehende Umgestaltung erhalten und es liegen nun auch langjährige Erfahrungen vor. Dr. ing. C. Wulff hat die verdankenswerte Arbeit unternommen, die verschiedenen Berechnungsverfahren zu sammeln und systematisch zu verarbeiten. *)

Die Grösse der in Aussicht gestellten Mindestwasserführung wird überall so bestimmt, dass der gedeckte Wassermangel auf das ganze Jahr gleichmässig verteilt gedacht ist (l/sek.). Für eine bestimmte Stelle garantiert das Unternehmen für die Einhaltung einer Mindestwasserführung. Man kann nun eine Beziehung feststellen zwischen der erreichten Mindestwasserführung und dem zu deckenden Wassermangel. Man berechnet für verschiedene

*) Tabelle über die Verteilung der Beiträge der Listertalsperrengenossenschaft. Oktober 1912.

*) Die Talsperrengenossenschaften im Ruhr- und Wuppergebiet. Von Dr. ing. C. Wulff, Mitteilungen für wirtschaftliche Ausbildung, n. F., Heft 4.

Mindestwasserführungen in Prozenten der Mittelwasserführung die zugehörigen Werte des Wassermangels ebenfalls in Prozenten der Mittelwasserführung und trägt die Werte in einer Kurve auf. Die Jahresbedarfsmenge wird dabei berechnet durch Multiplikation der in Aussicht gestellten Mindestwasserführung mit der Anzahl Sekunden im Jahr und die Jahresbedarfsmenge durch Multiplikation der Mittelwasserführung mit der Anzahl Sekunden im Jahr. Aus der Summe ergibt sich die Mangelwassermenge in % der Jahresabflussmenge und daraus die Mangelwassermenge pro Jahr.

Die Nutzwasserabgabe wird bei allen Genossenschaften nur auf die Arbeitstage beschränkt. Einer Schliessung der Talsperren auch nachts haben sich grosse Schwierigkeiten entgegengestellt, die mit der Fliesszeit des Wassers bis an den Verbrauchsort in Zusammenhang stehen. Diesem Mangel wird bei einzelnen Unternehmen dadurch begegnet, dass nach Schluss der Arbeitszeit das noch fliessende Wasser in Weihern aufgesammelt wird.

Für die Nutzwasserabflussmenge sind bei den Sperren der Wupper-Genossenschaft besondere Abflusslisten aufgestellt, die je nach dem augenblicklichen natürlichen Wasserzufluss dem Wärter einen Anhalt geben für die Bestimmung der Nutzwasserablassmenge und ihm die Zeit angeben, wann die Talsperre geöffnet werden muss.

Der Umstand, dass einzelne Werke das Wasser zu einer für sie zwecklosen Zeit erhalten, spielt bei der Regulierung an der Wupper eine grosse Rolle und Klagen sind an der Tagesordnung.

Die Beitragsliste der Triebwerke an der Wupper enthält folgende Punkte:

1. Nr., 2. Art der Wasserkraftmaschine, 3. Wirkungsgrad derselben, 4. Gefälle, 5. Niederschlagsgebiet, 6. Mittelwasserführung in l/sek., 7. Bedarfswassermenge in l/sek., 8. Bedarfswassermenge in % der Mittelwasserführung, 9. Mangelwassermenge in % der Bedarfswassermenge, 10. Wassermangel in l/sek., 11. Gedeckter Wassermangel in l/sek., 12. Betriebszeit, 13. Nutzleistung, 14. Beitrag.

Der gedeckte Wassermangel wird bei der Wuppergenossenschaft auf graphischem Wege bestimmt vermittelst einer Beitragsermittlungskarte.

Einzelne Genossenschaften, bei denen infolge der Gleichwertigkeit der Betriebe und der Wasserkräfte oder der Geringfügigkeit der von der Talsperre gelieferten Wassermenge eine so genaue Berechnung der Beiträge keinen Wert hat, berechnen den Nutzen pro Meter Gefälle der Wasserwerke, gleichmässig oder pro Meter Gefälle und pro Million m^3 Fassungsvermögen der Talsperre, wobei bei den Werken, die das Nutzwasser der Talsperre nicht voll ausnützen können, der Beitrag angemessen ermässigt wird.

Man erkennt, dass die deutschen Talsperrengenossenschaften bestrebt sind, mit ihrer Berechnung des Nutzens der Wirklichkeit möglichst nahe zu kommen. Wirkungsgrad und Betriebszeit werden mit in die Berechnung einbezogen. Die Berechnungsarten gehen aus von der Mittelwasserführung, indem angenommen wird, dass die mittlere Wassermenge in einem einfachen Verhältnis zum Einzugsgebiet steht. Für die dortigen Verhältnisse (kleine und homogene Einzugsgebiete) mag das zutreffend sein. Für schweizerische Seeregulierungen wäre ein solches Verfahren nicht anwendbar. Hier kann man nur mit den tatsächlich gemessenen Abflüssen rechnen, wozu reichlich Meßstationen zur Verfügung stehen.

Zusammenfassung.

1. Der Nutzen, den die unterliegenden Wasserwerke aus Seeregulierungen erzielen können, ist von einer grossen Zahl von Faktoren abhängig, wie bauliche Anlage des Werkes, Ausbau, Wirkungsgrad der Wassermotoren, Verwendbarkeit der Energie, Betriebsverhältnisse, Wasserführung in verschiedenen Jahren, Regulierungsprogramm, Entfernung von der Regulierungsstelle etc.
2. Eine genaue Berechnung des Nutzens ist unmöglich, jede Methode der Berechnung wird mehr oder weniger mit Vereinfachungen und Annahmen rechnen müssen, wobei dem Zwek, der mit der Berechnnng verfolgt wird, Rücksicht zu tragen ist.
3, Die Methode der Mangelwassermenge beruht auf der Feststellung der zur maximalen Leistung der Werke fehlenden Wassermenge während der Absenkungsperiode für ein oder mehrere Jahre und der möglichen Deckung dieser Mangelwassermenge durch die Zuschüsse aus dem See, Dabei kann der Abfluss der aufgespeicherten Wassermenge gleichmässig verteilt oder gemäss Regulierungsprogramm anangenommen werden. Hiebei wird man mit einem konstanten Gefälle und ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Motoren rechnen.
4. Die Methode des Leistungsvergleiches beruht auf dem Vergleich der tatsächlichen Leistungen der Werke ab Turbinenwelle vor und nach der Regulierung unter Zugrundelegung des Regulierungsprogramms, wobei also den veränderlichen Gefällsverhältnissen und dem Wirkungsgrad der Motoren Rechnung getragen wird.
5. Die Methode der Mangelwasserberechnung wird Anwendung finden bei Kostenverteilungen für Seeregulierungen, die Methode der Leistungsvergleiche wird benuzt zur Feststellung der effektiven Mehrproduktion infolge der Regulierung.
6. Der verschiedenen Entfernung der Werke von der Regulierungsstelle und den dadurch verursachten Verlusten durch Versickerung und Verdunstung, sowie der grössern Ungenauigkeit der Rechnung infolge der zeitlichen Verschiebung des Abflusses kann dadurch Rechnung getragen werden, dass der rechnungsmässig ermittelte Nutzen mit einem Reduktionsfaktor nach der Entfernung der Werke von der Regulierungsstelle korrigiert wird.
7. Bei Werken mit grösserem Ausbau wird während der Aufstauperiode eine Verminderung der Produktion eintreten. Die Berechnung kann nach einer der beiden Methoden erfolgen.
8. Die Verteilung der Kosten unter die Werke erfolgt im Verhältnis zu ihrem Nutzen aus der Regulierung, wobei die effektiv ermittelte Mehrproduktion in Pferdekraftstunden oder ihr Wert in Rechnung gezogen wird.