

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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 14 (1921-1922)

Heft: 8

Artikel: Untersuchung über die Verbesserung der Gefällenausnützung in Staugebieten

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-920303>

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: 31.12.2025

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

Untersuchung über die Verbesserung der Gefällausnützung in Staugebieten.

Bericht der Technischen Kommission des
Aargauischen Wasserwirtschafts-Verbandes.

Vom 11. Januar 1922.

Die nachfolgenden Untersuchungen entspringen einer Anregung des Herrn Betriebsleiter Grossen des Elektrizitätswerkes der Stadt Aarau, die er in der technischen Kommission des Aargauischen Wasserwirtschaftsverbandes gemacht hat. Die technische Kommission hat mit der Durchführung der nötigen Berechnungen und Aufstellungen die A.-G. Motor betraut und ist heute im Falle, darüber folgenden Bericht zu erstatten.

a) Allgemeines. Das Wasserspiegelgefälle einer Fluss-Staustrecke ist bekanntlich in der Hauptsache vom Wasserquerschnitt und von der Wassermenge des Flusses, sowie vom Gefälle des ungestauten Flusslaufes abhängig. Im unteren Teile der Staustrecke, wo sich infolge der grösseren Wassertiefe der grösste Wasserquerschnitt einstellt, ist das Staugefälle flach, bei grossen Stauhöhen sogar fast horizontal, flussaufwärts nimmt das Gefälle langsam zu und nähert sich am oberen Ende der Staustrecke asymptotisch der ungestauten Wasserspiegel-Gefällslinie. Dieses obere Staukurvenende stellt den gefällsverzehrenden Teil des Staugebietes dar. Seine Form ist unabhängig von der Länge der Staustrecke. Es ist belanglos, ob in einer Flussstrecke das Stauwehr zwei, fünf, zehn oder mehr Kilometer unterhalb des oberen Staukurvenendes erstellt wird, immer wird die Form des Staukurvenauslaufes bei gleicher Wassermenge die gleiche bleiben. In den nachfolgenden Erörterungen soll geprüft werden, in welcher Weise das sonst verlorengehende Gefälle des Staukurven-Auslaufes für die Kraftzeugung nutzbar gemacht werden kann.

Solange an den grösseren Flussläufen nur wenige, meistens an den günstigsten Gefällstrecken angesiedelte Kraftwerke vorhanden waren, zwischen denen längere, unbenutzte Gewässerstrecken lagen, spielte der in den konzessionierten Staugebieten auftretende Gefällverlust noch keine Rolle. Man wählte in der Regel eine Stauhöhe, die nach den Stauberechnungen und Voruntersuchungen im Staugebiete keinen grösseren Schaden durch Überflutung oder Versumpfung befürchten liess. Stellte sich später heraus, dass man zu vorsichtig gerechnet hatte, so erhöhte man durch Aufsetzen von Staubrettern den Stau solange, bis begründete Reklamationen der Uferanstösser Halt geboten.

Das Bild änderte sich erst, als man dazu überging, die zwischen den vorhandenen Werken noch verfügbaren Gefällstrecken nutzbar zu machen. Die Konzessionsbehörden haben als Sachwalter der Naturschätzung und Einzüger der Wasserzinsen nicht nur ein Interesse an einer solchen Aufteilung der einzelnen

Gefällstrecken, dass zum Schlusse keine nicht ausbauwürdige Gefällstrecke mehr übrig bleibt, sondern sie müssen auch auf eine tunlichst ausgiebige Ausnützung jeder einzelnen Gefällstrecke an sich bedacht sein. Mit dem Inkrafttreten des Bundesgesetzes über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom 22. Dezember 1916 (W. G.) wurde das der Wasserzinsberechnung zu Grunde zu legende Gefälle einheitlich und eindeutig in der Weise festgesetzt, dass das im Staugebiet für die Kraftgewinnung verlorengehende Gefälle für die Berechnung ausser Betracht bleibt. Ein unnötiger Gefällsverlust im Staugebiet bedeutet somit auch einen Einnahmeausfall an Wasserzins für den Staat.

Nach bisheriger Übung wurden die Konzessionsgrenzen der einzelnen Werke örtlich festgelegt. Bis zur oberen Konzessionsgrenze des untern Werkes kann das obere Werk das vorhandene Gefälle ausnützen, während andererseits das untere Werk über diese Grenze hinaus bei keiner Wasserführung stauen darf. Dadurch ist für alle Beteiligten ein klarer Rechtszustand geschaffen, der jedoch den Nachteil hat, dass eine vollkommene und rationelle Ausnützung des Flussgefälles unmöglich wird. Es wäre theoretisch wohl denkbar, eine gewisse Verbesserung der Gefällausnützung durch Anwendung eines variablen Staues zu erzielen, indem immer so hoch gestaut würde, dass der Aufstau bei jeder Wasserführung die Konzessionsgrenze erreichte. Einem solchen, in weiten Grenzen variablen Stau stehen aber in der Regel technische Schwierigkeiten in der Ausgestaltung der Kraftwerksanlagen im Wege. So müssten eventuell die Böschungen im Staugebiet und Oberwasserkanal im Bereich der Schwankungen besonders sorgfältig gegen Einbrüche geschützt werden, der grosse Kanalquerschnitt, die Einrichtungen am Wehr- und Kanaleinlauf und der Rechen beim Turbinenhaus würden unwirtschaftlich ausgenutzt und der Rechenbedienungsboden müsste unbequem hoch gelegt werden. Unter Umtänden noch schwieriger, wenn nicht unmöglich, würde die Durchführung der genauen Regulierung des Wasserspiegels am Stauwehr, d. h. die jeweilige Anpassung des Staues an die Wasserführung sein. Letztere schwankt bei der heutigen Betriebsweise der grossen Kraftwerke innerhalb wenigen Stunden so stark, dass ein Nachfolgen mit der Stauregulierung undenkbar wäre, weshalb in der Regel nur ein annähernd konstanter Stau praktisch in Frage kommen dürfte. Ein in weiteren Grenzen variabler Stau wird heute allerdings beim Kraftwerk Laufenburg angewendet; allein es zeigt sich hier deutlich die Tendenz, zu einem konstanten Stau zu gelangen; ein bezügliches Konzessionsgesuch liegt vor und es wird bereits darnach reguliert. Umgekehrt liegt der Fall beim Kraftwerk Augst-Wyhlen; hier ist es ohne grosse Schwierigkeit möglich, gegenüber dem konzessionierten Stau bei Nieder- und Mittelwasser um zirka 50 cm

höher zu stauen, nicht aber bei Hochwasser, da gegen dieses letztere die Ansiedelungsverhältnisse des Städtchens Rheinfelden sprechen. Ausdrücklich sei noch betont, dass die allfällige Anwendung eines variablen Staues den durch den Staukurvenauslauf bedingten Gefällsverlust nicht beseitigt. Dieser kann nur durch einen entsprechenden Überstau ausgeschaltet werden.

Bereits im Jahre 1912 hat Herr Ing. Roth in Zürich in der „Schweizerischen Wasserwirtschaft“ eine Untersuchung veröffentlicht, in der er unter besonderer Berücksichtigung wirtschaftlich wenig hervorragender Fluss-Strecken gezeigt hat, wie durch Überstau eine bessere Gefällsausnutzung erzielt werden kann. Herr Roth hat an einem allerdings extrem gewählten Beispiel für einen Flusslauf von der Grösstenordnung der Reuss und Limmat und mit einem mittleren Sohlengefälle von 1 ‰ dargelegt, dass sich auf der von ihm angenommenen 2 km langen Strecke das nutzbare mittlere Nettogefälle ungefähr verdoppeln lässt, wenn man einen entsprechenden Überstau in das Werk des Oberwassernachbars und in das eigene Werk durch den Unterwassernachbar zulässt. Er findet in seinem Beispiel folgende Wirkungsgrade der Gefällsausnutzung bei verschiedenen Stauhöhen:

Stauhöhe	N. W.	M. W.	H. W.
202,0 m	75 ‰	50 ‰	0 ‰
kein Rückstau an der Konzessionsgrenze			
203,0 m	98 ‰	86 ‰	45 ‰
Rückstau an der Konzessionsgrenze			
204,0 m	100 ‰	97 ‰	75 ‰
Rückstau an der Konzessionsgrenze			

Die konzessionsmässige Festlegung eines mehr oder minder bedeutenden Überstaues über die örtliche Konzessionsgrenze ist in rechtlicher Beziehung dann verhältnismässig einfach, wenn die oberhalb anschliessende Gefällsstrecke noch nicht ausgenutzt oder konzessioniert ist, weil in einem solchen Falle die Festsetzung der Stauhöhe in dem freien Ermessen der Konzessionsbehörden liegt. Die Staubegrenzung ist hier in den meisten Fällen durch die örtlichen Verhältnisse und durch die Wirtschaftlichkeit gegeben.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn oberhalb bereits eine Kraftanlage besteht oder eine Konzession erteilt ist. Der Oberwassernachbar hat Anspruch auf volle Schadloshaltung, wenn er infolge Rückstau in sein Unterwasser eine Gefällseinbusse, bezw. einen Leistungsausfall in seinem Werke erleidet (siehe Art. 43—47 W. G.). Die rationelle Ausnutzung der Strecke wird somit nicht nur durch den entsprechend höheren Baukosten-Aufwand, sondern auch durch die Schadloshaltung des Oberwassernachbars belastet. Dabei fällt ins Gewicht, dass der Oberwassernachbar bei kleinem Rückstau zunächst Niederrwasserkraft und bei grösserem Rückstau Nieder-

Mittelwasserkraft verliert, die hochwertiger ist, als die im neuen Werk durch den Überstau gewonnene Durchschnittskraft.

Schliesst das neue Werk an ein unterhalb vorhandenes Kraftwerk an, so kann durch entsprechende Abwärtsverlegung der Konzessionsgrenze zwischen beiden Werken die Gefällsausnutzung ebenfalls verbessert werden. Da der Unterwassernachbar dadurch keinen Schaden erleidet, so werden hier in der Regel keine rechtlichen Schwierigkeiten entstehen. Für die Bestimmung des Masses der Abwärtsverlegung der Ausnutzungsgrenze (Konzessionsgrenze) kommen ähnliche Überlegungen wie für den Überstau in Betracht, abgesehen von einer Entschädigung für den Leistungsausfall, die hier nicht in Frage kommt. Der Zuwachs an Leistungsgewinn nimmt bei zunehmender Abwärtsverschiebung infolge Flacherwerden der Staukurve des untern Werkes ab und hört dort auf, wo diese horizontal wird. Hat das obere Werk einen Kanal, so tritt von demjenigen Punkte der Abwärtsverschiebung der Ausnutzungsgrenze an eine Leistungsverminderung ein, bei dem das Staukurvengefälle flacher als das Kanalgefälle wird.

Als weiterer Interessent für die Anwendung eines gewissen Überstaues kommt neuerdings die Gross-Schiffahrt hinzu. Bei überstaufreien Werken wird an der Konzessionsgrenze während der Niederwasserzeit die für die Aufrechterhaltung der Schiffahrt notwendige Fahrwassertiefe nicht vorhanden sein, so dass die Anwendung eines entsprechenden Überstaues für die Schiffbarmachung des betreffenden Flusses eine Erleichterung bedeutet.

Uns interessiert zunächst der Fall, wo ein neues Werk an ein oberhalb bestehendes Werk anschliesst und wo durch Überstau über die Konzessionsgrenze eine tunlichst wirtschaftliche Ausnutzung der Strecke bewirkt werden soll. *Die für verschiedene aktuelle Projekte angestellten Untersuchungen lassen erkennen, dass die Verhältnisse bei den einzelnen Werken von einander so stark verschieden sind, dass die Übertragung des Untersuchungsergebnisses bei einem Werk auf ein anderes oder gar eine Verallgemeinerung der Schlüsse unzulässig erscheint.* Die Gestaltung und Bebauung der Ufer, die geologischen Verhältnisse usw. können bei einem Werk eine Beschränkung der Aufstauung schon da bedingen, wo vom wasserwirtschaftlichen Standpunkt aus noch ein erheblich grösserer Überstau vorteilhaft erscheint. Ein Beispiel hiefür ist das projektierte Kraftwerk Wynau-Aarburg, wo der Stau am Wehr in Aarburg infolge der Höhenlage der Eisenbahnlinie auf Kote 406.0 m beschränkt werden muss; ferner ist hier zu nennen die Begrenzung des Staues des projektierten Kraftwerkes Böttstein-Gippingen, bei welchem vorgeschlagen wurde, die sogenannte Bruggerstufe von zirka 5 m Gefälle in das neue Werk noch einzubeziehen, was aber nicht ausgeführt werden

könnte infolge der topographischen und Grundwasser-Verhältnisse im oberen Staugebiet und beim Dorfe Stilli.

Alle diese Umstände veranlassten uns, der folgenden allgemeinen Untersuchung nicht eines der aktuellen Projekte, sondern eine angenommene ideelle Flussstrecke zu Grunde zu legen, bei der bezüglich Wasserführung, Gefälle und Ufergestaltung einfache mittlere Verhältnisse vorliegen, wie sie z. B. auf der Aarestrecke Wynau-Brugg vielfach vorkommen. Die Untersuchungsergebnisse sind zwar auch hier nicht ohne weiteres auf die verschiedenen Projekte übertragbar, sie geben aber einen Anhalt über die Grössenordnung der dabei in Betracht kommenden Zahlenwerte. Die angenommenen einfachen Verhältnisse vereinfachen die Arbeit und lassen die Ergebnisse durchsichtiger erscheinen, so dass es leicht sein wird, für abweichende Verhältnisse die entsprechenden Korrekturen anzubringen.

Es wurde versucht, auch die wirtschaftliche Seite des Problems abzuklären, in der Meinung, dass es keinen Sinn habe, die letzte Pferdekraft nutzbar zu machen, wenn deren Gestehungskosten den jeweiligen Marktpreis übersteigen. Bei Beurteilung der Ergebnisse ist auch hier wieder zu beachten, dass sie nicht für irgend einen konkreten Fall ohne weiteres Anwendung finden können. Es muss vielmehr in jedem Falle das Problem von Grund aus, unter Berücksichtigung der speziellen Verhältnisse, studiert werden. Dies gilt besonders für die Ermittlung der Mehrbaukosten.

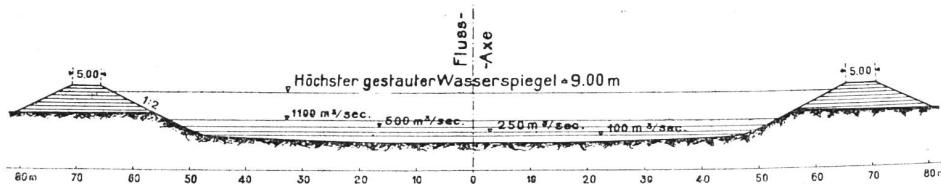


Fig. 1. Flussquerschnitt beim Stauwehr.

b) Ermittlung der wirtschaftlichen Grenze des Überstaues bei angenommenen mittleren Verhältnissen. Für die Untersuchung ist angenommen worden, dass 4,0 km unterhalb eines bestehenden, auf 350 m³/sec ausgebauten Werkes, bzw. unterhalb dessen Wasserrückgabestelle in den Fluss, ein Stauwehr für ein neues Werk erstellt werden soll. Der Flusslauf habe ein Sohlengefälle von 1,5 ‰ und einen dem Aarekorrektionsplan unterhalb Aarau entsprechenden gleichmässigen Querschnitt. Das Ufergelände liege durchweg 1,0 m über der ungestauten Hochwasserlinie. (Der angenommene Fluss-Querschnitt ist in Fig. 1 skizziert.) An der Stauwehrstelle sei der Felsen in erreichbarer Tiefe anstehend.

Durch Stauberechnungen wurde zunächst ermittelt, dass bei einer Aufstauung auf 6,5 m über Flusssohle beim oberen Werk noch kein praktisch spürbarer Rückstau entsteht. Es soll untersucht werden, wie

hoch der Überstau über 6,5 m sein darf, damit eine tunlichst wirtschaftliche Ausnutzung des Gefälles im Staugebiet erzielt wird.

Zunächst wurden die Staukurven für Wassermengen von 100, 250, 500 und 1100 m³/sec und für Stauhöhen von 6,5, 7,0, 7,5, 8,0, 8,5 und 9,0 m über Flusssohle berechnet und deren Verlauf in den Längenprofilskizzen, Fig. 2 a — d, dargestellt. Die Staukurven sind unter Zugrundelegung eines mittleren Kutterischen Rauhigkeitscoefficienten $n = 0,03$ berechnet worden, der bekanntlich den mittleren Aareverhältnissen ziemlich entspricht.

Der aus dem jeweiligen Überstau über 6,5 m resultierende Gefällsgewinn „ h “ des unteren Werkes, der entsprechende Gefällsverlust „ h_1 “ des oberen Werkes (Rückstau) und das im Staugebiet verlorengehende Gefälle „ h_2 “ (Fliessgefälle) sind in den Figuren 3 a — f für 6 verschiedene Stauhöhen von 6,5—9,0 m nach Wassermengen geordnet zusammengestellt. In den Darstellungen kommt auch der Nettogefällsgewinn „ $h - h_1$ “ zum Ausdruck. Beim Vergleiche der einzelnen Figuren sieht man sofort, wie mit zunehmendem Überstau das im Staugebiet verlorengehende Gefälle abnimmt und dafür der Nettogefällsgewinn „ $h - h_1$ “ trotz gleichzeitigem Ansteigen des Gefällsverlustes beim oberen Werk zunimmt. Diese Zunahme nimmt mit dem Grösserwerden des Überstaues ab und hört schliesslich ganz auf.

In den Fig. 4 a — f sind für die angenommenen Stauhöhen unter Zugrundelegung einer mittleren Dauerkurve der Aareabflussmengen bei Aarau für

die Jahre 1904 bis 1915 der Leistungsgewinn „ L “ des unteren Werkes, der Leistungsverlust „ L_1 “ des oberen Werkes, der Nettoleistungsgewinn „ $L - L_1$ “ und die im Staugebiet verlorengehende Leistung „ L_2 “ (infolge Fliessgefälle) als Dauerkurven dargestellt, und zwar in Turbinen-PS. bei einem Turbinenwirkungsgrad von 75 %. Auch in diesen Figuren kommen nur die Veränderungen infolge des Überstaues über 6,5 m zur Darstellung. Die Ausbaugrösse des neuen Werkes ist immer zu 350 m³/sec angenommen. (Die gestrichelten Linien zeigen die bezüglichen Verhältnisse, wenn in den Werken die gesamte Flusswassermenge ausgenützt werden könnte, was, beiläufig bemerkt, nur einen theoretischen Wert hat.)

Die durch Planimetrierung der bezüglichen Flächen der Figuren 4 a — f gefundenen Turbinen-PS - Tage sind in der Figur 5 b zusammengestellt, wobei noch eine Unterteilung in Winter- und Sommerkraft, oder

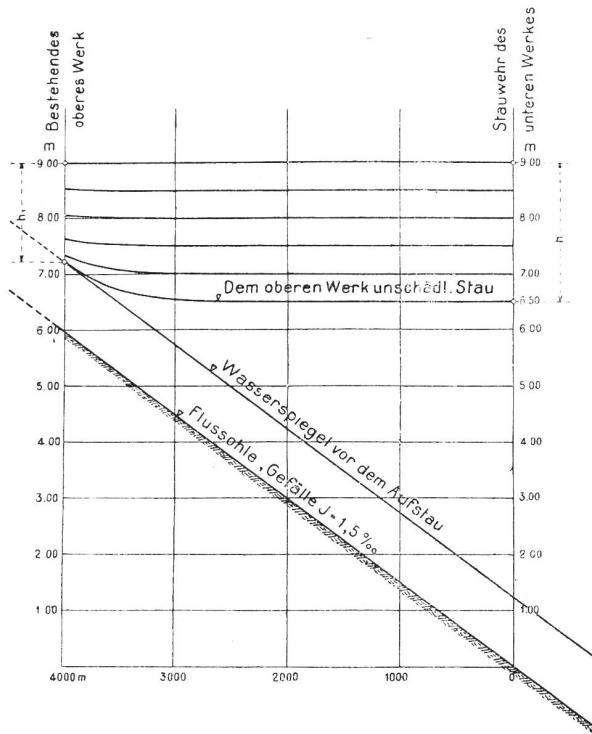
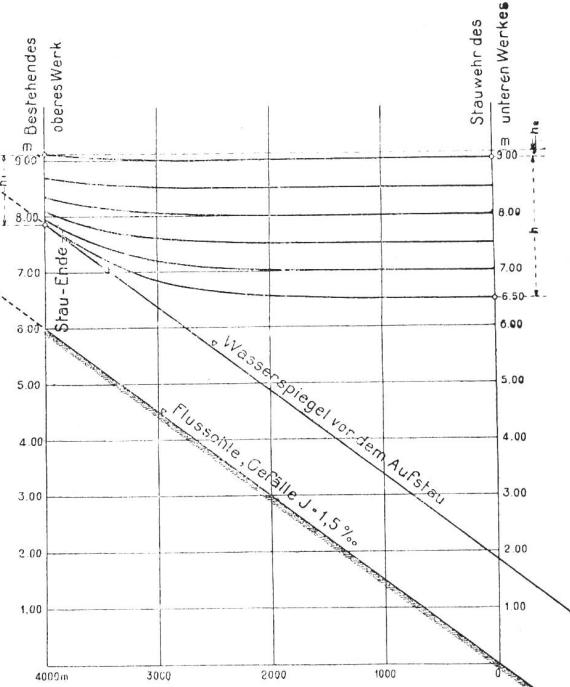
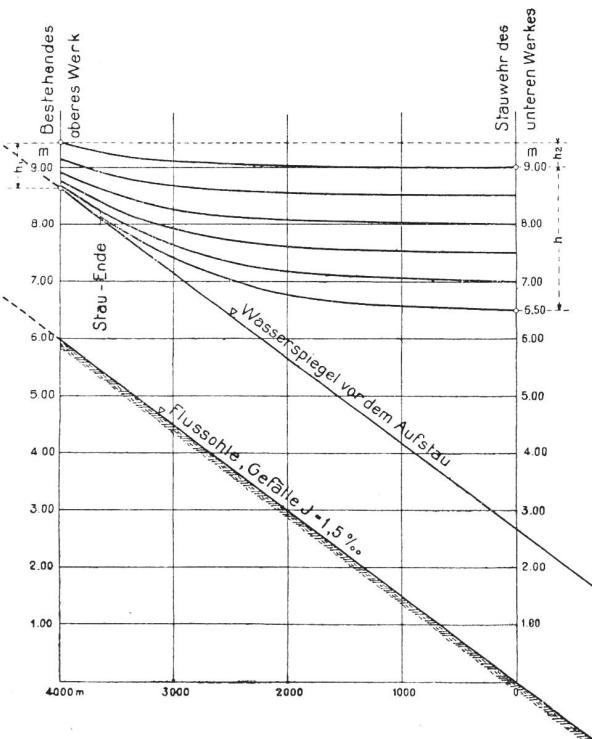
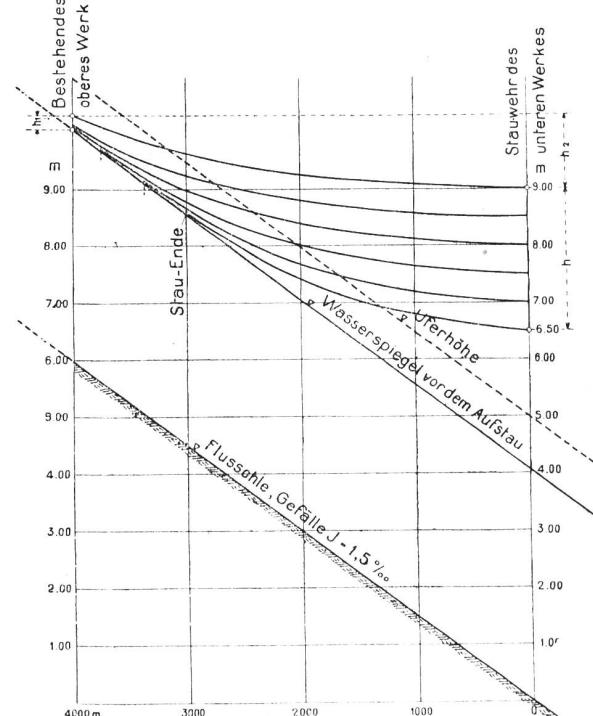
a) Für $Q = 100 \text{ m}^3/\text{sec.}$ b) Für $Q = 250 \text{ m}^3/\text{sec.}$ c) Für $Q = 500 \text{ m}^3/\text{sec.}$ d) Für $Q = 1100 \text{ m}^3/\text{sec.}$ 

Fig. 2. Staukurven.

Legende: h = Gefällsgewinn des untern Werkes durch Überstau.

h_1 = Gefällsverlust des obern Werkes durch Rückstau.

h_2 = Im Staugebiet verloren gehendes Gefälle (Fliessgefälle).

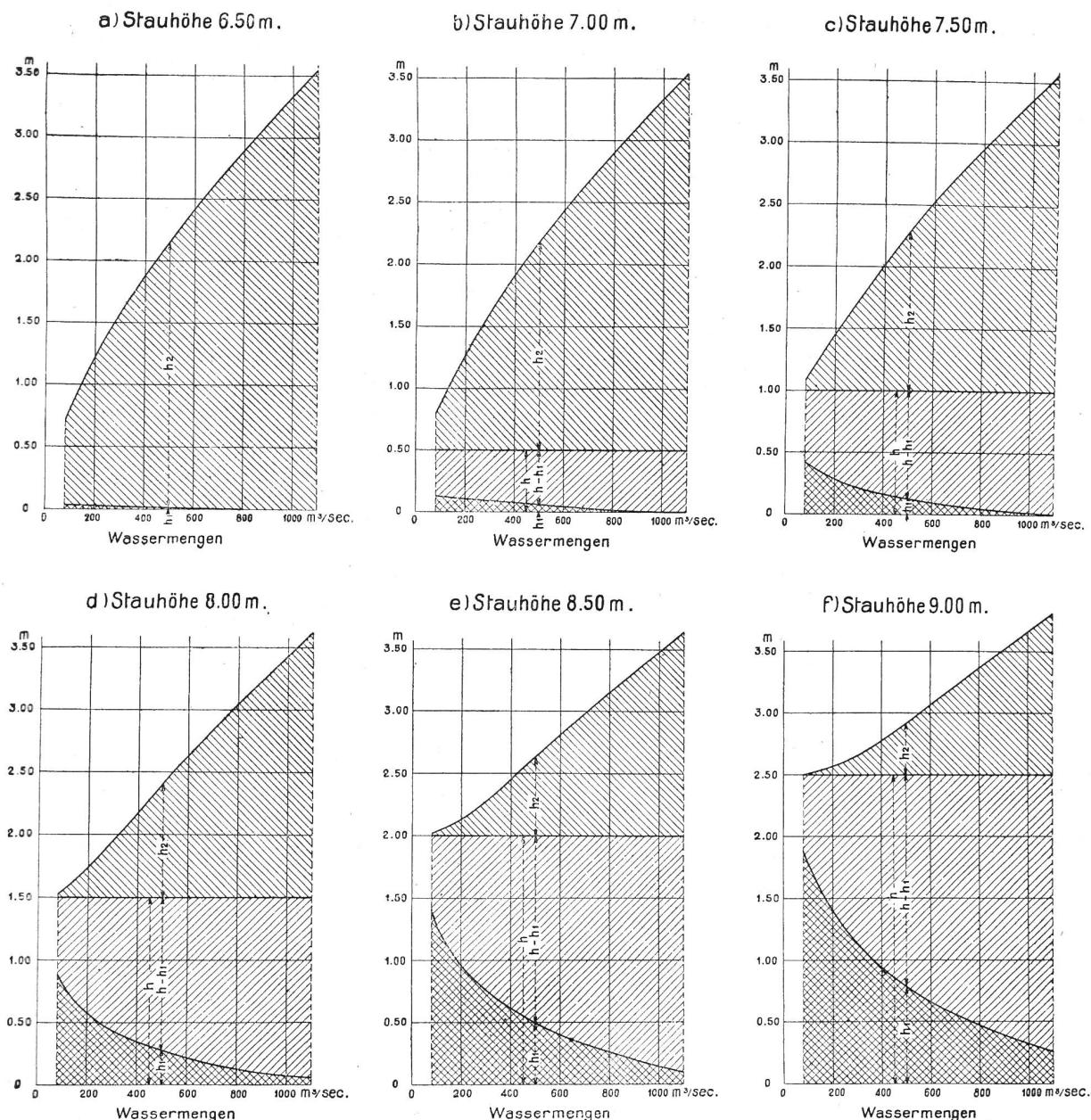


Fig. 3. Gefälls-Gewinne und -Verluste; Fliessgefälle.

Legende: h = Gefällsgewinn des untern Werkes durch Überstau.

h_1 = Gefällsverlust des obern Werkes durch Rückstau.

h_2 = Im Staugebiet verloren gehendes Gefälle (Fliessgefälle).

$h - h_1$ = Netto-Gefällsgewinn.

richtiger gesagt, in Niederwasserkraft (an $182\frac{1}{2}$ Tagen im Jahr unterschritten) und in Mittel- und Hochwasserkraft (an $182\frac{1}{2}$ Tagen im Jahr überschritten) erfolgt ist*). Figur 5 a gibt die mittleren Jahresleistungen in Turbinen-PS. wieder. Beide Figuren veranschaulichen augenfällig, wie der Netto-Leistungsgewinn mit ansteigendem Überstau zunächst rasch und dann immer langsamer zunimmt, während die

*) Im allgemeinen fällt ja wirklich die Niederwasserleistung in das Winter- und die Hochwasserleistung in das Sommerhalbjahr, allein es können die Niederwasserperioden auch in das Sommerhalbjahr hineingreifen und grössere Wasserführungen der Flüsse zeitweise auch im Winterhalbjahr auftreten. Die Ausdrücke „Winterkraft“ und „Sommerkraft“ dürfen deshalb nicht allzu wörtlich genommen werden.

im Staugebiet verlorengehende Leistung im gleichen Sinne abnimmt. Bei einem Überstau um 1,5 m, also auf 8,0 m über Sohle, ergibt sich ein Netto-Leistungsgewinn von 3000 Jahres-Turbinen-PS., der durch Erhöhung des Überstaues um einen weiteren Meter nur noch um 1000 Jahres-Turbinen-PS. zunimmt, wobei noch zu beachten ist, dass die Zunahme in der Hauptsache in unständiger Sommerkraft besteht. Es dürften somit 2,5 m Überstau auch vom rein wasserwirtschaftlichen Standpunkte aus ziemlich die oberste Grenze des Erstrebenswerten darstellen.

Die Durchführung des Überstaues bedingt eine Anlagenkostenvermehrung für die höheren Uferdämme im Staugebiet, für die Erhöhung des Stauwehres mit

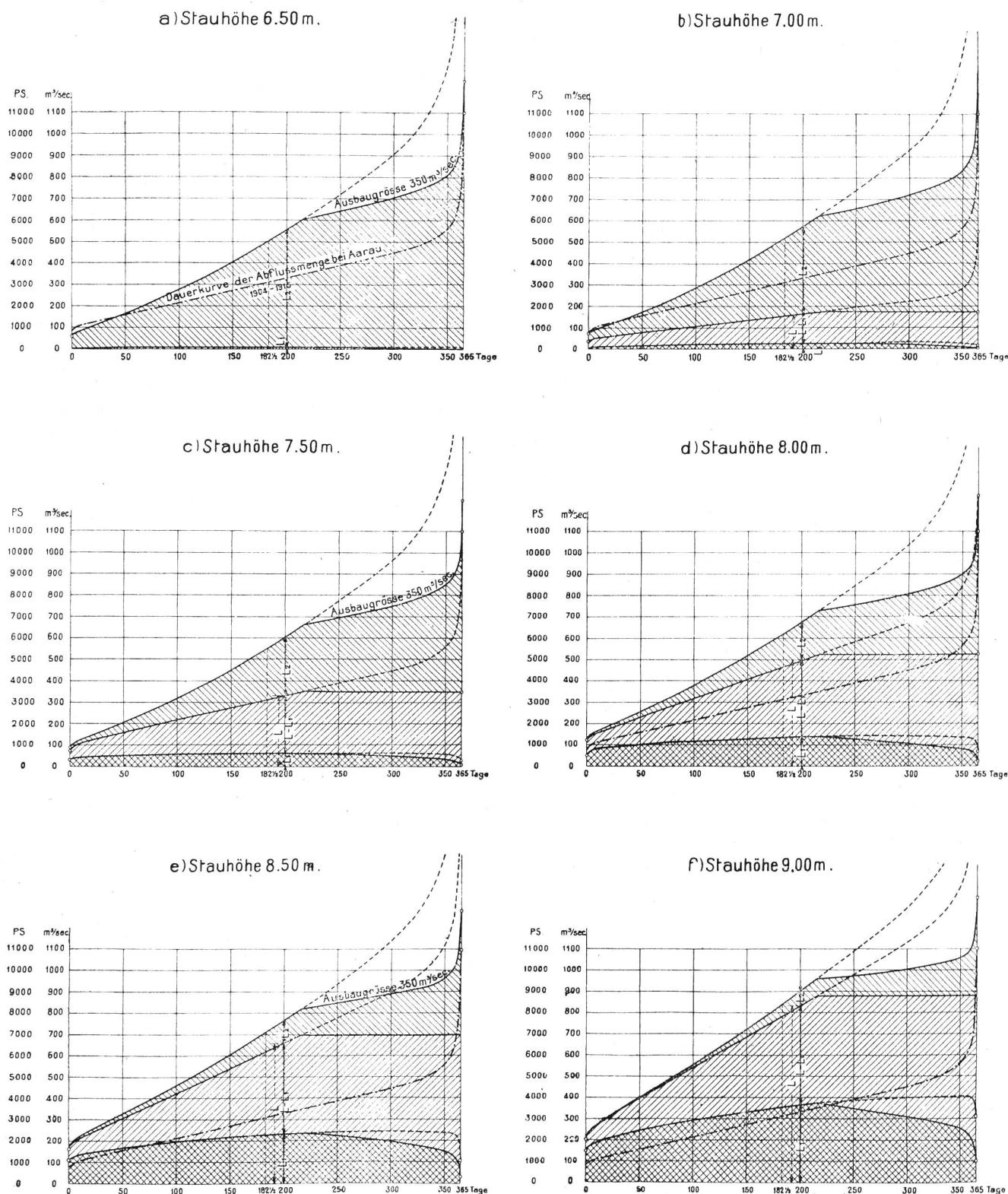


Fig. 4. Dauerkurven der Wassermengen und Leistungen. (Turbinenwirkungsgrad = 75%).

Legende: L = Leistungsgewinn des untern Werkes durch Überstau.
 L₁ = Leistungsverlust des oberen Werkes durch Rückstau.
 L₂ = Im Staugebiet verloren gehende Leistung.
 L—L₁ = Netto-Leistungsgewinn.

Kanaleinlauf und für das Maschinenhaus samt Einrichtung. Der Krafwerks-Kanal wird im allgemeinen keine Anlagekostenvermehrung zur Folge haben, denn er dürfte in den meisten Fällen auch bei einem höheren Stau durch entsprechende Änderung der

Linienführung ohne Baukostenvermehrung den Verhältnissen angepasst werden können. Es ist nicht ausgeschlossen, dass er manchmal bei höherem Stau sogar billiger wird.

(Schluss folgt.)