



Richtlinien und Wege

zur

wirtschaftlichen Erschließung

deutscher Niederdruckwasserkräfte

von **Dr. Rudolf Camerer**

Professor an der K. Technischen Hochschule zu München

Oram



48

(31753)

Süddeutsche Verlags-Anstalt München G. m. b. H.

München 1917.

Druck der G. Franz'schen Hofbuchdruckerei (G. Emil Mayer).



389

1,00

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305766

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

III 33084

Richtlinien und Wege

zur

wirtschaftlichen Erschließung deutscher Niederdruckwasserkräfte^{*)}

von Dr. Rudolf Camerer

Professor an der K. Technischen Hochschule zu München

200

Niederdruckwasserkräfte werden durch Flußläufe gebildet, die in schwach geneigtem Gelände eingebettet sind und infolgedessen keine natürliche, konzentrierte Gefällsstufe besitzen. Die für die Beaufschlagung der Wasserkraftmaschinen nötigen Druck- oder Gefällshöhen müssen bei ihnen künstlich geschaffen werden, sei es durch Anstau des Wassers im Flußbett selbst, wenn das letztere tief eingeschnitten und hierfür geeignet ist, oder im allgemeineren Fall durch lange Seitenkanäle, die das Wasser mit geringsten Gefällsverlusten führen und dadurch ein Nutzgefälle gegenüber dem Gelände erzielen.

Die auf solche Weise zu schaffenden Gefällsstufen haben mit Rücksicht auf die Kosten der Kanäle in mäßigen Grenzen zu bleiben. Man spricht daher hier von Niederdruckwasserkraften, wenngleich die wirtschaftlich richtig bemessenen Gefällsstufen bei großen Wassermengen bis auf etwa 20 m Höhe steigen. Die Ausnützung der Niederdruckwasserkräfte erfolgt am besten durch Turbinen, die in betonierten Turbinenkammern offen eingebaut sind, im Gegensatz zu den Mitteldruck- und Hochdruckwasserkraften, die im allgemeinen durch Turbinen in geschlossenen Gehäusen verwertet werden.

Die Flußläufe der Niederdruckwasserkräfte können, und das ist ihre wesentlichste Schwäche, das Wasser im allgemeinen nicht aufspeichern. Was nicht unmittelbar in den Turbinen verwendet wird, geht verloren. Man hat es dann mit nicht anpassungsfähigen Wasserkraften zu tun, die in weitgehendem Maß nur ausgenützt werden können, wenn es gelingt, den jeweiligen Kraftbedarf der durch die Witterungsverhältnisse bedingten, meist recht schwankenden Abflußmenge des Flußlaufs anzupassen.

^{*)} Im wesentlichen übereinstimmend mit einem Vortrag im Polytechnischen Verein in Bayern am 26. März 1917.

Zu diesem Zweck hat man versucht, den meist mit den Tages- und Jahreszeiten wechselnden Kraftbedarf der Industrie durch seine Zusammenschaltung mit anpassungsfähigen Wasserkraft- oder Wärmekraftwerken anpassungsfähiger zu gestalten, als er an sich im allgemeinen ist. Soll dieses Mittel von durchschlagender Wirkung sein, so müssen aber die anpassungsfähigen Kraftwerke viel leistungsfähiger angelegt werden als die nicht anpassungsfähigen Niederdruckwasserkräfte, und das läßt sich meist nur in beschränktem Maß durchführen.

Eine wirklich durchgreifende und bis zum letzten Ende erreichbare Erschließung von nichtanpassungsfähigen Niederdruckwasserkraften wird daher in Ländern, wo diese Art der Wasserkräfte überwiegt, nur dann möglich, wenn die Kraftabgabe an Industrien erfolgen kann, die in sich selbst eine weitgehende Anpassungsfähigkeit besitzen, zum mindesten aber den gelieferten Strom an 24 Stunden des Tages gleichmäßig verwerten können.

Dieser Fall ist für Deutschland jetzt eingetreten.

Die Notwendigkeit, in der Rohstoffproduktion von Stickstoff, Aluminium und anderem vom Ausland unabhängig zu werden, ist eine der großen Lehren des Kriegs, die nicht mehr vergessen werden darf. Wie anders wäre heute die Lage unserer Landwirtschaft und unserer Munitionserzeugung, wenn ihnen von vornherein eine Million Pferdestärken für Stickstoff und 200 000 Pferdestärken für Aluminium aus Wasserkraften zur Verfügung gestanden wären, die die Schaffung teurer und Kohle fressender Wärmekraftanlagen während der Kriegszeit hätten beschränken können!

Gerade die hier in Frage kommenden Industrien zeigen die verlangte Anpassungsfähigkeit an den Kraftbedarf und

Akc. Nr.

2124/49

Cy 37 a 48

389

werden in Zukunft in dieser Richtung sicher noch weiter ausgestaltet werden. Es fragt sich demgegenüber nur, was für diese neuen, die größten Kraftmengen benötigenden Industrien an Energie im eigenen Land zur Verfügung gestellt werden kann.

Wenn diese Frage schon heute in weitgehendem Maß als beantwortet — und ich darf erfreulicherweise hinzufügen, als in befriedigender Weise beantwortet gelten darf, so verdanken wir das neben den wertvollen Vorarbeiten vieler Fach- und Regierungskreise in letzter Linie unserem Ingenieur Johann Hallinger.

Er hat das große Verdienst, aus reicher Erfahrung mit glücklichem Griff all' das an Bau- und Konstruktionsgrundsätzen zusammengetragen zu haben, was in der Lage ist, die Ausnützung von Niederdruckwasserkraften zu verbilligen. Er hat weiter durch weise Beschränkung des an sich so verwickelten Problems auf den einfachsten Fall, das Flußgelände als schiefe Ebene aufzufassen und nur anpassungsfähige Betriebe in Betracht zu ziehen, die mathematischen Grundlagen angeben, nach denen die Berechnung und wirtschaftliche Bewertung seiner Baugrundsätze möglich wird, und hat schließlich das Verdienst, durch fleißige, langwierige und bis ins einzelne gehende Berechnungen gezeigt zu haben, was durch eine großzügige Anwendung seiner Vorschläge aus den deutschen Niederdruckwasserkraften herausgeholt werden kann. *)

Zunächst mögen nun die Vorschläge Hallingers aufgezählt und dabei jeweils die Gründe für die aus ihnen zu erwartenden, auffallend günstigen Ergebnisse angeführt werden, die begreifliches Aufsehen und auch manche Zweifel erweckt haben. Anschließend soll dann die wissenschaftliche Betrachtung angedeutet werden, die ich auf den Vorschlägen Hallingers aufgebaut habe und die gestattet, die Wirkung der verschiedenen Baugrundsätze zu verfolgen und insbesondere die günstigsten Wassergeschwindigkeiten in den Werkkanälen und die günstigsten Ausbauwassermengen der einzelnen Flußläufe festzustellen. **)

Zu den folgenden Ausführungen sei vorausgeschickt, daß die sämtlichen Kosten hier auf den Friedenspreisen vom Jahr 1914 aufgebaut sind. Haben sich, wenn der Bau beginnen wird, sämtliche Einheitspreise und Verkaufswerte in gleichem Maß vermehrt, so bleiben die heute gewonnenen Ergebnisse sowohl bezüglich der Bemessung der Anlagen selbst, als bezüglich ihrer Rentabilität ungeändert. Andernfalls wird es nicht schwer sein, den ge-

*) Vergl. Hallinger: „Eine neue Bauweise für Wasser-Turbinenanlagen mit Gefälle von 2—30 m.“ Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen 1914, Heft 26 bis 28, 1915, Heft 5 bis 10.

„Die grossen staatlichen Niederdruckwasserkraften in Südbayern, deren Erschließung und Verwertung nach den Grundsätzen der größten Wirtschaftlichkeit und des kleinsten Massenaufwands“. Hubers Verlag, Diessen vor München.

„Zwei deutsche Großkraftquellen, deren Erschließung nach den Grundsätzen der größten Wirtschaftlichkeit und des kleinsten Aufwandes, Erster Teil: Der Rhein“. 1916. Hubers Verlag, Diessen vor München.

„Höchstausnützung der Gefälle“. 1917. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure Seite 187.

**) All dies kann im Rahmen des vorliegenden Vortrags nur in allgemeinen Umrissen und unter Verzicht auf die gelegentlich langwierigen rechnerischen Entwicklungen gebracht werden. Für eingehende Studien sei neben den erwähnten Veröffentlichungen Hallingers auf meine in der Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen bzw. in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure demnächst erscheinenden Aufsätze: „Krafthäuser für Niederdruckwasserkraftanlagen nach Bauart Hallinger“ bzw. „Veranschlagung von Niederdruckwasserkraften“ verwiesen.

wonnenen Rechnungsgang von Fall zu Fall den neuen Verhältnissen anzupassen.

Zur Beschreibung der Hallingerschen Baugrundsätze ist nun im allgemeinen das folgende hervorzuheben:

Die Kosten der Wasserkraftanlagen bestehen im wesentlichen aus drei Punkten: den Wehrkosten, Kanalkosten und Krafthauskosten.

I. Bezüglich der Wehre betont Hallinger die Wichtigkeit, möglichst wenig Wehre mit entsprechend langen Seitenkanälen anzuwenden, um die Geschiebeführung der Flüsse selten zu stören und die Wehrkosten auf einen großen Kraftgewinn zu verteilen. Die bedeutende Länge der Kanäle gestattet Freiheit ihrer Linienführung und beschränkt die kostspieligen Ueberleitungen zum Flußbett.

II. Die Kanäle verkleidet Hallinger mit Beton, wodurch die bei ihren großen Längen so notwendige Wasserundurchlässigkeit gesteigert und gleichzeitig eine große Wassertiefe ermöglicht wird, die günstige Querschnitte gewährleistet. Das letztere ruft in Verbindung mit den glatten Wandungen eine wertvolle Verminderung der Reibungsverluste hervor. Was das für Flüsse mit geringem Gefälle zu bedeuten hat, geht in überzeugender Weise aus den Abb. 1 und 2 hervor.

Die maßgebenden relativen Gefälle

in Meter auf 1 Km

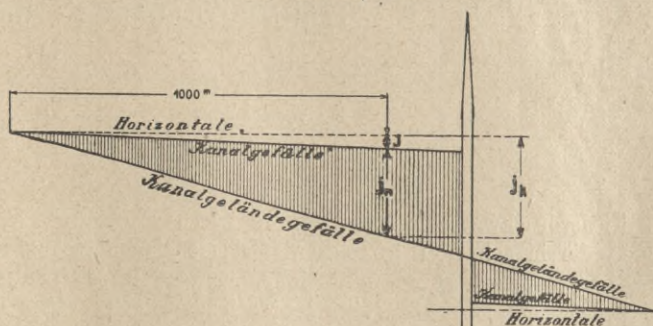


Abbildung 1

Abb. 1 gibt die für die ganze Untersuchung so wichtigen Gefällsgrößen, deren Relativwerte mit i und deren Relativwerte vom Tausend mit j bezeichnet werden mögen. Man erkennt das Kanalgeländegefälle j, das Nutzgefälle j_n und als Summe von beiden das Kanalgeländegefälle j_k.

Abb. 2 aber zeigt den Erfolg der Betonierung bei verschiedenen Kanalgeländegefällen und bei verschiedenen Wassermengen. *) Die Bedeutung dieser Kurven, die an sich schon den Haupterfolg Hallingers erklären, kann kaum überschätzt werden. Man erkennt aus ihnen, daß bei kleinen Wassermengen und kleinen Kanalgeländegefällen die gewonnenen Leistungen durch die Betonierung verdoppelt werden.

Bei den Kurven der Abb. 2 war die Wassergeschwindigkeit in den Kanälen c jeweils zu 1 m in der Sekunde an-

*) Die Kurven sind nach der bei den infragestehenden großen Querschnitten durchaus zulässigen Vereinfachung der Bielschen Gleichung

$$j = \left(0,12 + \frac{\delta}{\sqrt{R}} \right) \cdot \frac{c^2}{R}$$

mit den hydraulischen Radien der betreffenden Kanalprofile und mit Rauheit $\delta = 0,5$ für Erde und $\delta = 0,072$ für Beton (vergl. Camerer: Vorlesungen über Wasserkraftmaschinen S. 111) berechnet, nachdem der letztere Wert durch die Abnahmeversuche der betonierten Alzkanäle bestätigt worden war.

Gefällsverlust j , u. Gefällsausbeute e_H bei 1^m Wassergeschw. für Erd- u. Betonkanäle bei verschiedenem Kanalgeländegefall j_n nach Wassermengen geordnet.

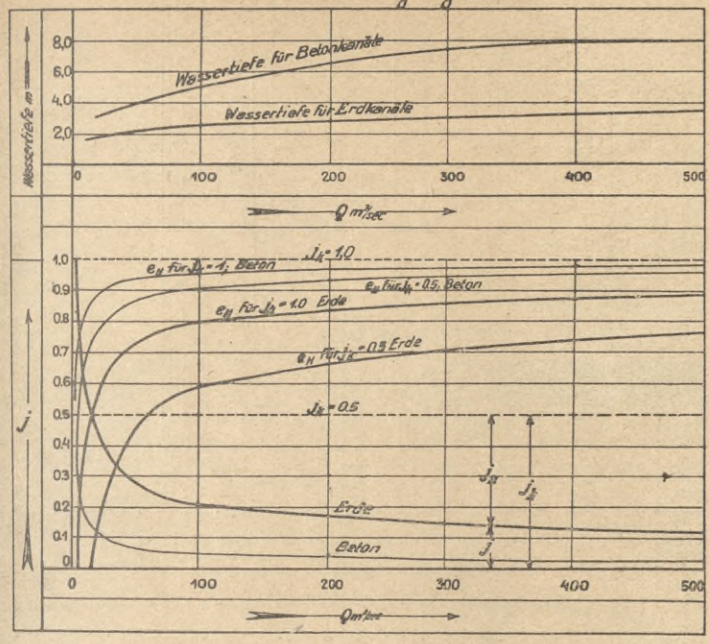


Abbildung 2

genommen. Steigert man die Wassergeschwindigkeit bei Beton, was mit Rücksicht auf die Glätte und die Widerstandsfähigkeit der Wandungen durchaus zulässig ist, so gehen die Querschnittsabmessungen so weit zurück, daß die betonierten Kanäle nicht teurer zu stehen kommen wie Erdkanäle.

Kanalprofil des Uppenbornkraftwerkes

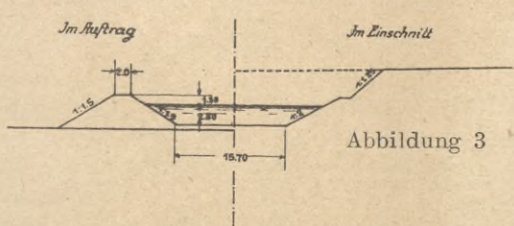


Abbildung 3

Saima-Kanalprofil

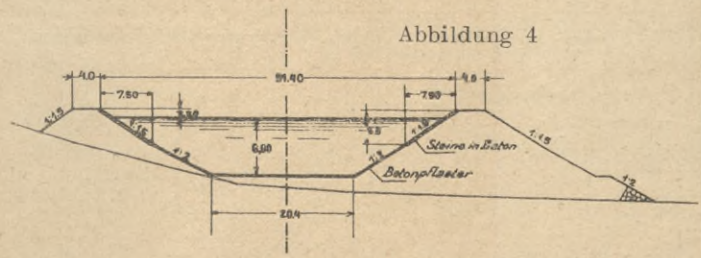


Abbildung 4

Das leuchtet unmittelbar ein, wenn man etwa nach Abb. 3 und 4 das Profil des Erdkanals vom Uppenbornwerk mit dem Profil des betonierten Kanals des Saima vergleicht, der eine zehnfach größere Wassermenge führt, während die Breite der Kanalsohle nur von 15 auf 20 m gestiegen ist.

Die weitere Berechnung hat aber noch einen Grundsatz erkennen lassen, der von allergrößter Wichtigkeit ist. Das ist der Rückgang der relativen Kanalkosten mit der Aus-

Mit den relat. Nutzgefällen j_n multipl. und auf die rel. bezogene Kanalkosten $K_e \cdot j_n$ für verschied. Gefällshöhen abhängig von d. Wassermenge.

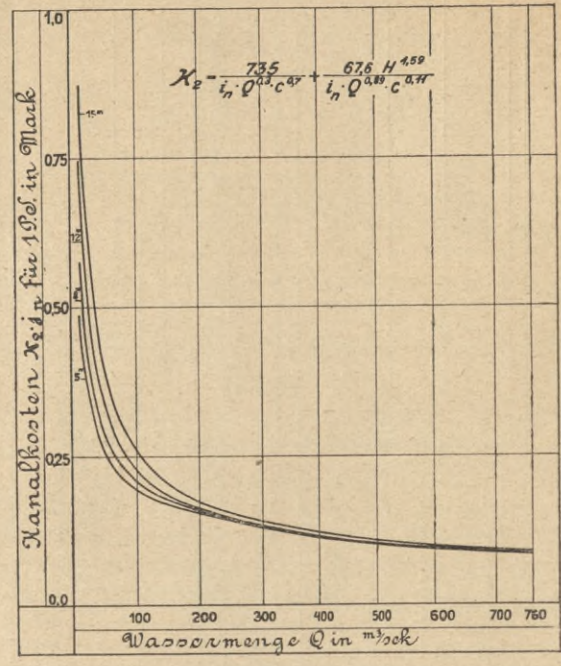


Abbildung 5

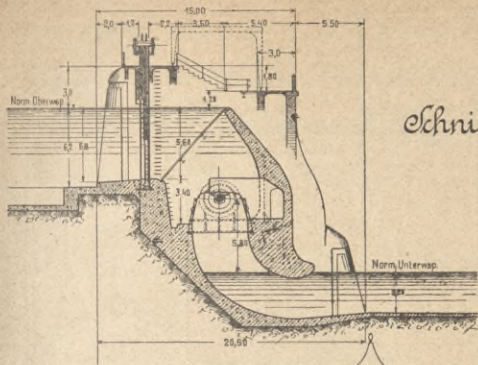
baugröße. Das zeigt sich deutlich aus Abb. 5, in der die auf die PS bezogenen Kanalkosten multipliziert mit dem Nutzgefälle i_n für verschiedene Gefällstufen in Abhängigkeit von der Wassermenge aufgetragen sind.

III. Bei den Krafthäusern ist Hallinger in weitestem Maß mit eigenen Gedanken und Konstruktionen hervorgetreten. Einige seiner Baugrundsätze sind aus den Abb. 6 bis 10 zu erkennen. Wie man bemerkt, stellt er die Turbinen breitseitig zum Wasserlauf, wodurch die Grundfläche des Krafthauses trotz reichlicher Zufluß- und Abflußquerschnitte wesentlich verringert und die Zugänglichkeit zu den Lagern erhöht wird. Er bildet die Rückwand des Krafthauses als Ueberfall aus und erspart dadurch eigene Sicherheitsüberfälle.

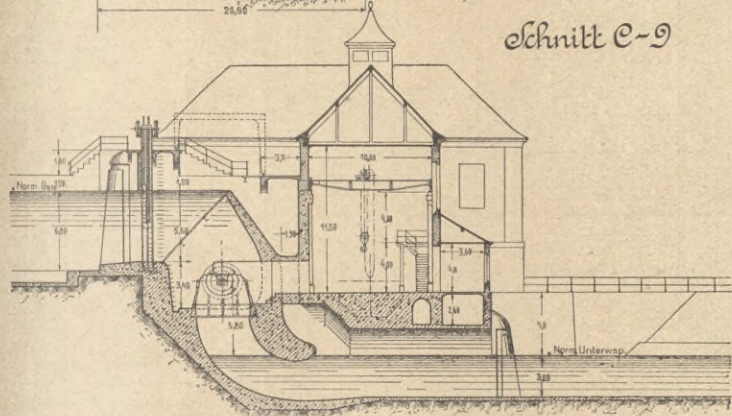
Schließlich weist er darauf hin, wie es möglich wird, durch elektrische Zusammenfassung mehrerer Gefällstufen in einer Kraftzentrale eigene Wasserkraftreserven zu vermeiden und größte Maschineneinheiten zu verwenden. Hierdurch vermindern sich deren Kosten, wie z. B. für elektrische Generatoren aus Abb. 11 hervorgeht.

So zeigen sich denn auch bei der Krafthausberechnung sehr bemerkenswerte Ersparnisse, gelegentlich bis auf die Hälfte der bei früheren Ausführungen benötigten Werte. Eine Zusammenfassung der Kosten der gesamten Krafthäuser einschl. Turbinen und elektrischen Maschinen gibt Abb. 12 in Abhängigkeit von Gefällstufenhöhe und Wassermenge.

Zur Berechnung der Summe aus Kanal- und Krafthauskosten für eine bestimmte Ausbauwassermenge ist nun vor allem nötig, die Höhen der Gefällstufen festzulegen. Je größer diese gewählt werden, um so weniger Krafthäuser werden benötigt, um so teurer gestalten sich aber infolge ihrer hohen Anschüttungen die Kanäle. Hallinger hat hier den richtigen Grundsatz aufgestellt, die Gefällstufen so zu berechnen, daß die Summe aus Kanal- und Krafthauskosten ein Kleinstwert wird.



Schnitt A-B



Schnitt C-D

Abbildung 9 u. 10. Längsschnitte zu Abb. 6. Maßstab 1:600. Die Rückwände der Turbinenkammern sind zu Sicherheitsüberfällen ausgebildet.

Kosten für die P.E. von Generatoren
verschiedener Drehzahlen nach der Leistung geordnet.

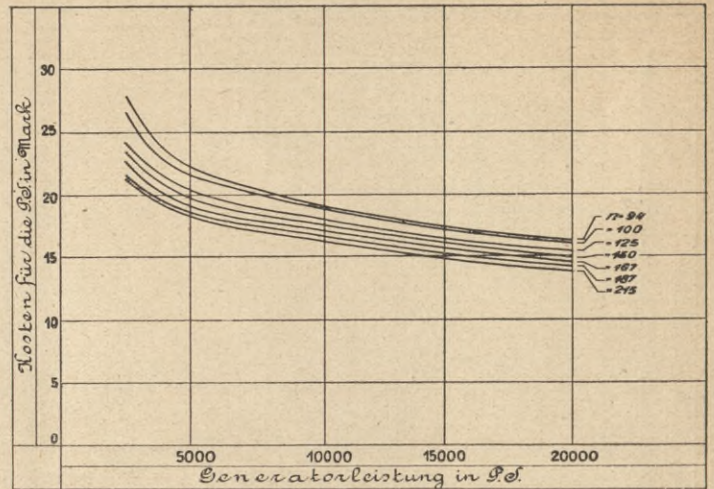


Abbildung 11

Abb. 13 zeigt diese Stufen für 5 verschiedene Wassermengen in Abhängigkeit vom Nutzgefälle j_n . Sie sind infolge verschiedener Einheitspreise etwas kleiner ausgefallen als die von Hallinger berechneten Höhen. Unter Einsetzung dieser Werte lassen sich dann die günstigsten Kanal- und Krafthauskosten berechnen, deren Summen in Abb. 14, ab-

Zahlentafel I

Nr. der Strecke	Bezeichnung der Flußstrecken	Fluß-		Kanal-		Ausbau auf 300 Tag-Wassermenge, Wassergeschwindigkeit $c > 1,2$ m/sk, Turbinenwirkungsgrad = 0,78, Generatorwirkungsgrad = 0,92. Jährliche Betriebsdauer = 24 Stunden täglich in 11 Monaten							
		Länge in km	Gefälle H_f in m	Länge in km	Gefälle in ‰	Wassermenge = Q_{300} in cbm/sk	Turbinenhöchstleistung N_{300} in PS	Anlagekosten		Jährl. Betriebskosten d. ausgeb. PS i. Mk.	Zahlder KW-st. in Million.	Durchschnittliche Kosten der KW-st y in Pfg.	
								im ganzen in Million.	für die ausgebaute PS in Mk.				
1	Donau von Ulm bis Marxheim	91,2(90)	76 (75)	90	0,845	103 (116)	72400 (80000)	30,50	421,2 (400)	35,8	379,0	0,68 (0,51)	
2	Donau von Marxheim bis Abensmündung	69,8(62)	45 (43)	67	0,672	200 (240)	83200 (105000)	30,90	371,6 (300)	31,6	436,0	0,60 (0,40)	
6	Lech zwischen Landsberg und Augsburg	21,7(22)	49,6 (50)	20	2,48	60 (75)	29700 (36400)	7,32	245,7 (250)	20,9	158,0	0,393 (0,34)	
7	Reststrecke des Lechflusses bis zur Donau	27,3(20)	46,92 (36)	28	1,676	70 (100)	31900 (35400)	9,55	299,2 (240)	25,4	170,0	0,476 (0,33)	
8	Isar zwischen Wolfratshausen und Mühlthal	13,4(15)	25,6 (28)	12,5	2,05	60 (50)	15200 (13400)	4,89	321,7 (400)	27,3	78,9	0,526 (0,52)	
9	Isar zwischen München und Ismaning	6,0(8,0)	10 + 4 = 14 (15)	6	2,33	50 (60)	6920 (8500)	2,65	383,5 (420)	32,6	36,2	0,623 (0,54)	
10	Isar von Ismaning bis Moosburg	42 (42)	72,5 (70)	40	1,81	70 (80)	49600 (52000)	13,50	272,2 (320)	23,2	261,5	0,44 (0,42)	
11	Isar von Bruckberg bis Gottfrieding	45 (45)	52,3 (50)	44	1,188	100 (100)	50040 (46600)	15,32	306,1 (300)	26,0	263,0	0,495 (0,40)	
12	Isar von Gottfrieding bis zur Donau	42,3(42)	41 (42)	39	1,051	107 (120)	41620 (45000)	14,06	338,0 (300)	28,7	219,0	0,546 (0,40)	
13	Inn von Reisach bis Attl	43,28(45)	40 (39)	42	0,952	122 (150)	46100 (54800)	16,39	355,5 (320)	30,2	241,0	0,577 (0,42)	
15	Inn von Jettenbach bis Marktl	63 (42)	53 (54)	42	1,26	168 (200)	86600 (104000)	18,80	217,6 (240)	18,5	454,0	0,353 (0,33)	
16	Inn von Marktl bis Schärding	55 (60)	42 (43)	50	0,84	360 (420)	145800 (170200)	31,37	215,0 (220)	18,3	760,0	0,35 (0,30)	
18	Alz zwischen Tacherting und Margarethenberg	12 (14)	42 (42)	12	3,50	36 (60)	15100 (24400)	4,20	278,0 (220)	23,6	79,2	0,451 (0,30)	
						1506 (1771)	674180 (775700)	199,45			3535,8		

Gesamte und auf die Pfl. bezogene Kosten des ganzen Krafthauses (K_3 bezm. K_3) für verschiedene Wassermengen abhängig von der Gefällshöhe H_n

Summe aus Kanal- und Krafthauskosten der Pfl. bei günstigsten Gefällsstufen und für verschied. relat. Nutzgefälle j_n abhängig von d. Wassermenge

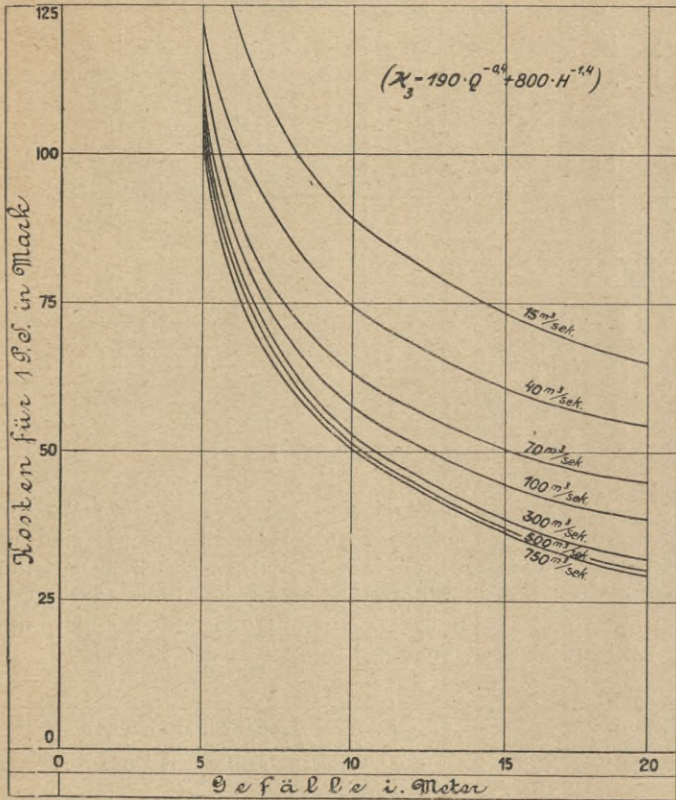


Abbildung 12

Günstigste Gefällsstufen H_0 bei 5 verschiedenen Wassermengen abhängig vom relativen Nutzgefälle j_n

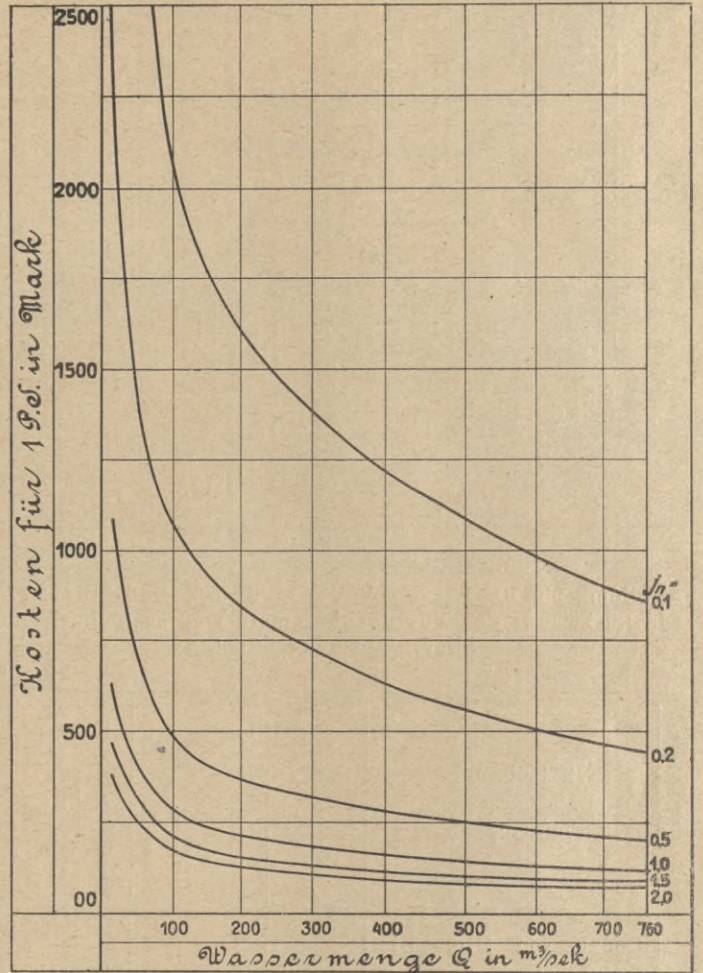


Abbildung 14

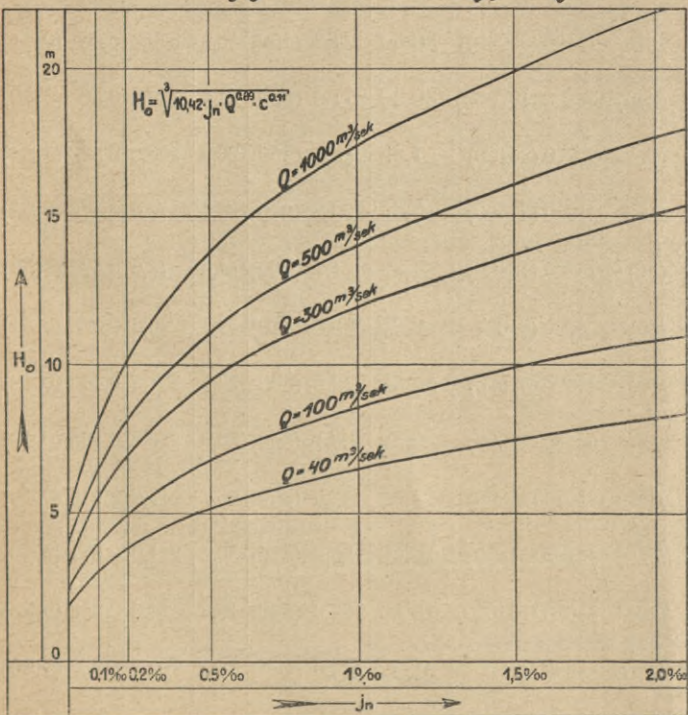


Abbildung 13

hängig von der Wassermenge für verschiedene Nutzgefälle aufgetragen sind und wiederum den starken Rückgang der relativen Kosten mit der Ausbaumenge erkennen lassen.

Anschließend möchte ich nun Rechnungsergebnisse bringen, die meine unmittelbare Nachprüfung der Vorschläge Hallingers gezeitigt hat und die in der Zahlentafel I zusammengestellt sind. Man bemerkt darin für verschiedene Flußläufe die Ergebnisse, die sich mit der an 300 Tagen des Jahres vorhandenen Wassermenge erzielen lassen. Die von Hallinger für den gleichen Fall berechneten Werte sind in Klammern beigelegt. Die Ausbeute ist gegenüber früheren Schätzungen wesentlich gestiegen und die KW-st-Kosten sinken gelegentlich unter $\frac{1}{2}$ Pfg. Freilich gelten diese Rechnungen nur unter der Voraussetzung theoretisch einfachster Bauverhältnisse. Sie sind aber mit reichlichen Grundpreisen durchgeführt und gewähren auch im Fall erheblicher Kostenüberschreitungen noch günstige Aussichten.

Diese Betrachtungen führten mich aber weiter auf das Bedürfnis, vor allem zur Bestimmung der günstigsten Wassergeschwindigkeiten und günstigsten Ausbaumengen den mathematischen Zusammenhang der ganzen hier in Betracht kommenden Größen festzustellen. Diese verwickelte Auf-

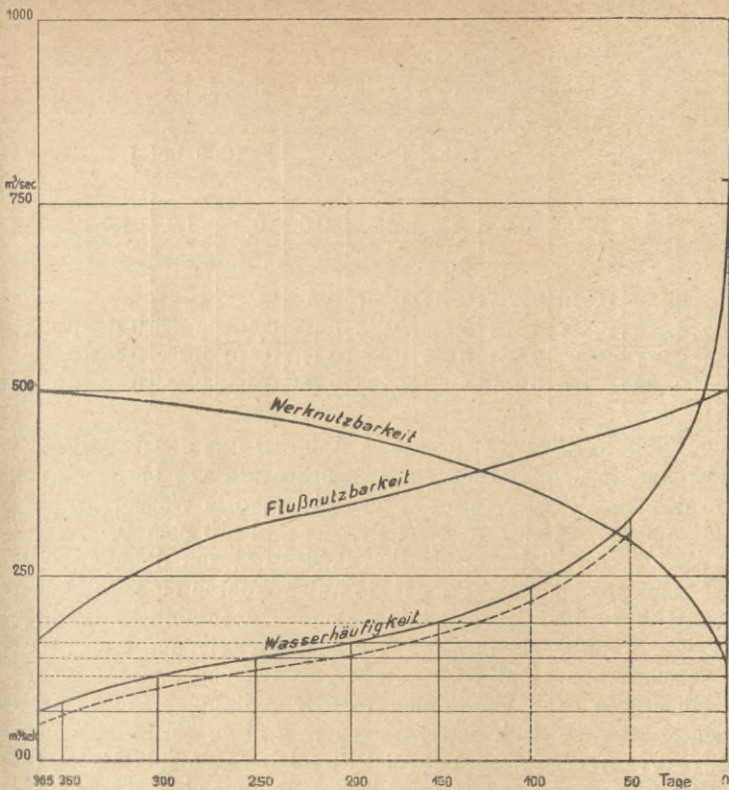


Abbildung 15

Isar bei Landau. Kanalgeländegefälle von Gottfrieding bis zur Donau: $j_k = 1,051$

gabe kann heute als gelöst betrachtet werden, und auch hierzu seien die wichtigsten Ergebnisse angeführt.

Dabei hat sich neben den bereits erwähnten Größen eine Beziehung von maßgebendem Einfluß gezeigt, die ich die Werknutzbarkeit nennen möchte und deren Bedeutung aus den Abb. 15 und 16 hervorgeht. In ihnen wurden zunächst die aus den Pegelständen und Schlüsselkurven des hydrotechnischen Bureaus gewonnenen Wasserhäufigkeitskurven aufgetragen. Die Werknutzbarkeit e_w ergibt sich dann als Verhältnis der für eine bestimmte Ausbauwassermenge möglichen KW-st-Zahl des ganzen Jahrs zu der KW-st-Zahl, die einer Vollbelastung des Werks entsprechen würde. Man bemerkt, daß die Werknutzbarkeit vom Betrag 1,0, der der Ausnützung der kleinsten Wassermenge zugehört, nur allmählich herabsinkt. Die gestrichelte Linie, Abb. 16, entspricht der Werknutzbarkeit für den Fall, daß ein Viertel der kleinsten Wassermenge stets im Flußbett verbleiben soll.

Des weiteren ist der Wert der KW-st für die abnehmende Fabrik zu erwähnen, den ich als Wirtschaftswert der KW-st mit Y bezeichnet habe und der sich als die Differenz aus dem Verkaufswert des durch die KW-st gewonnenen Erzeugnisses abzüglich der in der Fabrik ohne Stromkosten aufgewendeten Kosten ergibt. Größen dieses Wirtschaftswertes sind in Abb. 17 für Karbid und Aluminium nach Angaben aus der Praxis in Abhängigkeit von der Werknutzbarkeit oder hier allgemein von der Belastungszahl β nach der Formel

$$Y = \frac{1}{n} \left(w - b_d - \frac{b_i + a \cdot \varphi}{\beta^\mu} \right)$$

aufgetragen, die ich auf eine dankbar angenommene Anregung meines Kollegen Professor Hager hin aufgestellt habe, und die für 1 kg Erzeugnis den Verkaufswert w des Erzeugnisses, die direkten Betriebskosten b_d , die indirekten

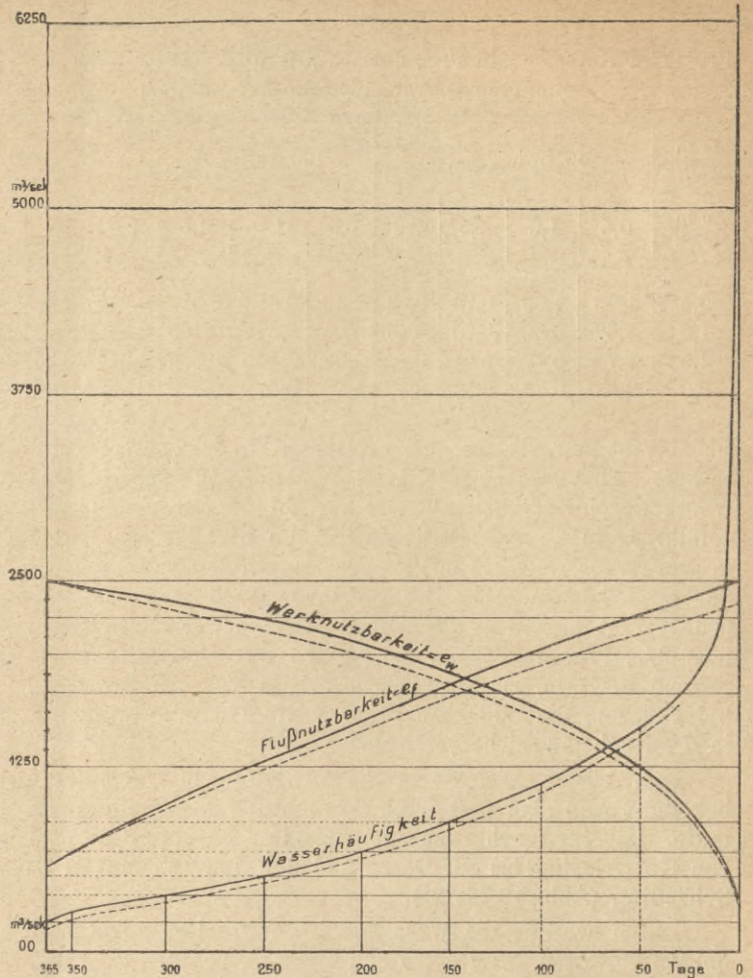


Abbildung 16

Inn bei Passau. Kanalgeländegefälle zwischen Markt und Schärding: $j_k = 0,84$

Betriebskosten b_i , die Anlagekosten a , ihre Verzinsung und Abschreibung φ und die Belastungszahl β mit einem die Anpassungsfähigkeit bewertenden Exponenten μ sowie die Größe n enthält, die die Zahl der für 1 kg Erzeugnis benötigten KW-st angibt.

Abb. 17 zeigt, wie die Kurven für den schlecht anpassungsfähigen Aluminiumbetrieb viel rascher fallen als die für den anpassungsfähigen Karbidbetrieb. Beachtenswert ist aber vor allen Dingen auch, wie rasch der Wirtschaftswert mit einer geringen Steigerung des Verkaufswerts zunimmt.

Von den Größen der Werknutzbarkeit e_w und des Wirtschaftswerts Y hängen nun die günstigsten Wassergeschwindigkeiten c_0 und die Ausbauwassermengen Q in hohem Maß ab.

Die erstere berechnet sich nach der Formel:

$$c_0^{3,2} = \frac{Q^{0,2}}{1,55 Y \cdot e_w^2 - \left(\frac{0,46}{Q^{0,4}} + \frac{0,65}{Q^{0,42} \cdot j_k^{0,47}} \right)}$$

wonach sie zwischen $Q = 100 \text{ cbm/sk}$ bis 500 cbm/sk z. B. für $e_w = 0,8$ mit $Y = 3 \text{ Pfg.}$ zu $c_0 = 1,0 \text{ m/sk}$, für $e_w = 0,6$ mit $Y = 1 \text{ Pfg.}$ zu $c_0 = 1,85 \text{ m/sk}$ erhalten wird. Die Größe von Q spielt nur eine geringe, die von j_k eine verschwindende Rolle.

Einen übersichtlichen Auszug aus den ins einzelne gehenden Berechnungen liefert die Zahlentafel II, in der die Kosten

Zahlentafel II

Preis der KW-st y_1 in Pfg., aus Kanal- und Krafthauskosten für 80% Werknutzbarkeit berechnet, für verschiedene Wassermengen Q , verschiedene Wassergeschwindigkeiten c und verschiedene Kanalgeländegefälle j_k

Q in cbm/sk	40 bei j_k ‰ =				100 bei j_k ‰ =				300 bei j_k ‰ =				500 bei j_k ‰ =				1000 bei j_k ‰ =			
	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,5	1,96	1,09	0,79	0,63	1,48	0,807	0,578	0,458	1,02	0,558	0,398	0,319	0,866	0,471	0,337	0,268	—	—	—	—
1,0	1,52	0,82	0,60	0,49	1,03	0,577	0,425	0,35	0,718	0,400	0,290	0,237	0,603	0,335	0,245	0,198	0,464	0,260	0,188	0,154
1,5	1,73	0,775	0,55	0,472	1,005	0,546	0,389	0,316	0,638	0,345	0,247	0,202	0,522	0,285	0,208	0,170	0,401	0,221	0,163	0,132
2,0	2,04	0,73	0,506	0,409	1,25	0,518	0,362	0,292	0,647	0,320	0,232	0,189	0,511	0,266	0,193	0,157	0,380	0,204	0,148	0,121

der KW-st y_1 für Kanal und Krafthaus bei 80% Werknutzbarkeit für verschiedene Wassermengen Q , verschiedene Wassergeschwindigkeiten c und verschiedene Kanalgeländegefälle j_k in ‰ dargestellt sind. Auch hier ist der Vorteil großer Wassermengen und großer Kanalgeländegefälle deutlich zu erkennen. Dem Größtwert von 1,96 bzw. 2,04 Pfg. pro KW-st stehen in der Tabelle Kleinstwerte von wenig über $\frac{1}{10}$ Pfg. gegenüber, die freilich nur theoretisches Interesse besitzen, da Kanalgeländegefälle von 1,5 bzw. 2 ‰ bei Flüssen, die 500 cbm/sk und mehr Nutzwasser führen, in Deutschland nicht vorkommen.

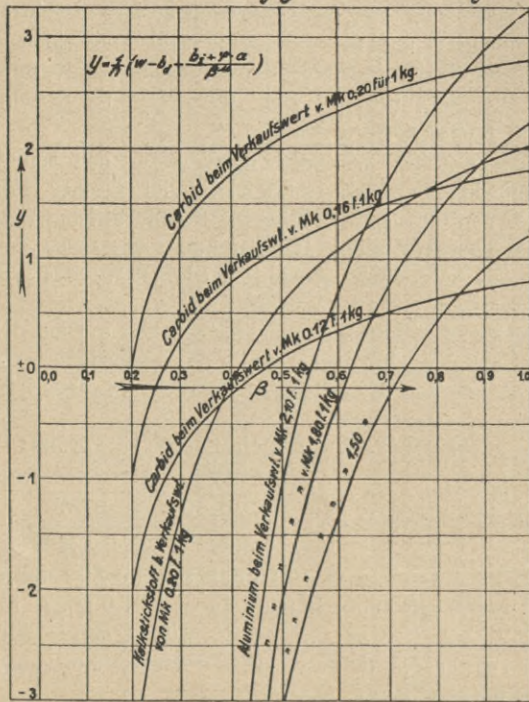
Den besten Einblick in die vorliegenden Verhältnisse bekommt man aber erst durch Betrachtung bestimmter Flußläufe. Hierfür möchte ich zwei Beispiele anführen: die Isar von Gottfrieding bis zur Donau und den Inn von Markt bis Schärding (Abb. 19 bis 21).

Dabei wurden die Wassergeschwindigkeiten nicht nach obigen Gesetzen des größten Erträgnisses, sondern mit Rücksicht auf die Schiffbarmachung der Werkkanäle in Abhängigkeit von der Ausbauwassermenge nach Abb. 18 festgelegt.

Zunächst bemerkt man nach Abb. 19 aus den für $8\frac{1}{2}$ % Verzinsung und Tilgung der Wasserkraftanlage berechneten Stromkosten wieder, wie wichtig es ist, große Wassermengen auszunützen. Der KW-st-Preis y , der bei 40 cbm 0,74 Pfg. erreicht, fällt bei 200 cbm auf 0,44 Pfg., um dann wieder langsam anzusteigen. Die auf die Anlagekosten einer Wasserkraftanlage und Karbidfabrik bezogene Rentabilität ist bei rund 150 cbm/sk mit 0,9 Werknutzbarkeit am höchsten. Wirtschaftlich richtig ist es aber, den Ausbau so weit zu treiben, als noch ein Gewinn aus der Anlage gezogen werden kann, was nach der Gewinnkurve g etwa bei 250 cbm/sk mit 0,7 Werknutzbarkeit eintritt. Die Rentabilität sinkt dabei nur wenig (von 30 auf 26%), während der jährliche Gewinn für den km Kanallänge von 178 000 Mk. auf 214 000 Mk. zunimmt.

Von Interesse ist dabei zu sehen, wie sich die Verhältnisse ändern, wenn man mit einer Ueberschreitung der Stromkosten um 50% rechnet. Die entsprechenden Kurven sind gestrichelt und mit Sternchen bezeichnet und zeigen eine verhältnismäßig nur geringe Minderung von Gewinn und Rentabilität. Auch sei hervorgehoben, daß eine geringe Verschlechterung in der Glätte der Kanäle bei den vorliegenden großen Wassermengen von verschwindender Bedeutung ist. Im Gegensatz hierzu muß die überraschende Wirkung festgestellt werden, die eine Änderung der Verkaufswerte der Erzeugnisse mit sich bringt. Wenn z. B. der Verkaufspreis des kg Karbid gegenüber dem zuerst angenommenen Wert von 20 Pfg. für das kg auf 16 Pfg. zu-

Wirtschaftswert Y abhängig von der Belastungszahl β



Carbid: $w=12, 16, u=20, b_1=6, b_2=15, a=1$ Pfg./l. $\mu=1, n=4$
 Aluminium $w=150, 180, u=240, b_1=70, b_2=30, a=100$ • • $p=0,1\%, \mu=2, n=30$

Abbildung 17

Wassergeschwindigkeiten abhängig von der Wassermenge

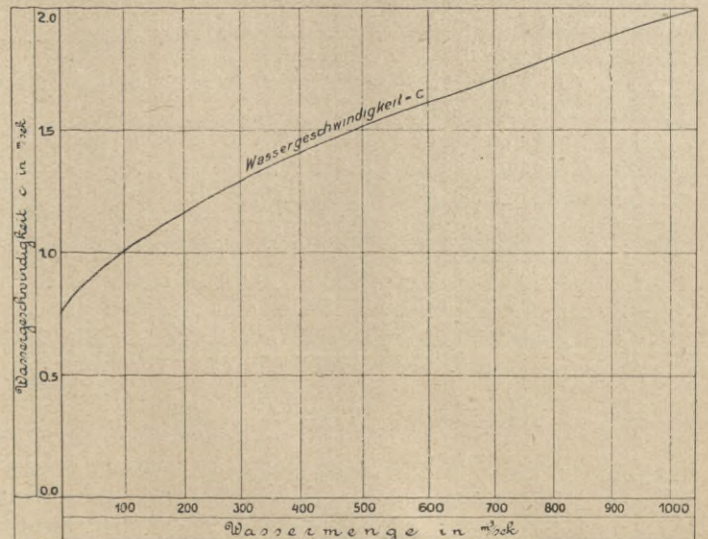


Abbildung 18

Ausnutzung der Isar zwischen Gottfrieding und Donau für Carbidherstellung-

- Kanalgeländegefälle $i_k = 1,05\%$
 1. Kosten der Kilowattstunde in Pfg. für Preise von 1914
 2. Gewinn g für 1 Km Kanallänge bei Carbidpreisen von 20 bzw. 16 Pfg. f. 1 kg
 3. Rentabilität E bezogen auf Kraft- plus Fabrikkosten
 Die gestrichelten Kurven y, g^*, E^* gelten für Überschreitung der Stromkosten um 50%

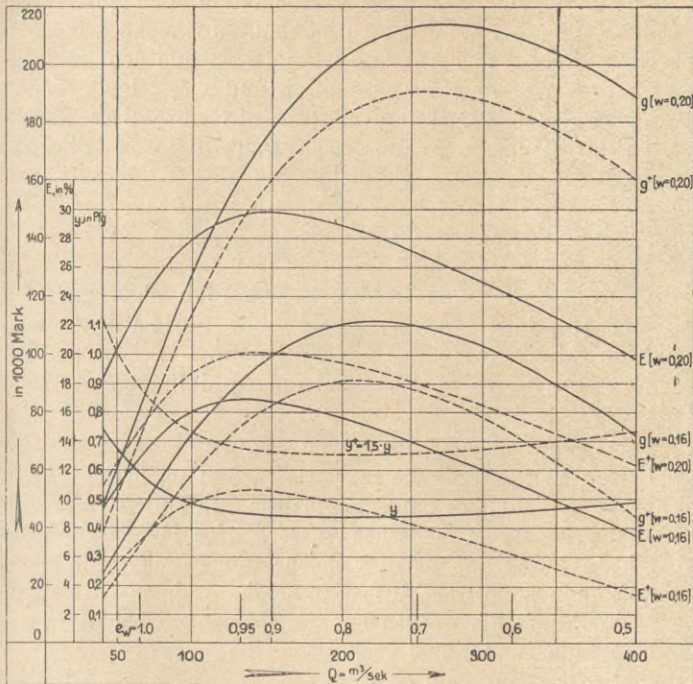


Abbildung 19

rückgeht, so fallen die entsprechenden Kurven des Gewinns und der Rentabilität auf rund die Hälfte.

Figur 20 gibt entsprechende Werte für die Ausnutzung des Inns zwischen Markt und Schärding für Aluminium beim Verkaufswert von 1.80 Mk. für das kg. Der größeren Wassermenge des Inns entsprechend sinkt hier der Strompreis für 1 KW-st bei 650 cbm/sk bis auf 0,315 Pfg. und bleibt selbst bei Ueberschreitung von 50 % noch unter 0,5 Pfg. Die Ausbaumenge geht hier mit Rücksicht auf die schlechte Anpassungsfähigkeit des Aluminiums nur bis zu einer Werknutzbarkeit von 0,87.

Noch interessanter ist Abb. 21, die für denselben Flußlauf den Vergleich der Stromausnutzung für Aluminium und für Karbid, sowohl für jedes getrennt als auch in einer Kombination beider angibt. Dabei ist der Verkaufswert für Aluminium wieder zu 1.80 Mk. für das kg, der von Karbid zu 16 Pfg. für das kg angesetzt. Gegenüber der schon aus der vorigen Kurve bekannten Ausbaumöglichkeit für Aluminium allein, zeigt sich hier zunächst für Karbid allein eine Steigerung des jährlichen Gewinns von 305 000 auf 334 000 Mk. für den km Kanallänge und eine solche der Ausbauwassermenge von 550 cbm/sk mit $e_w = 0,87$ auf 900 cbm/sk mit $e_w = 0,73$. Läßt man dagegen nur die Mindestwassermenge von 190 cbm/sk konstant auf Aluminium und die restliche Wassermenge auf Karbid arbeiten, so ergibt sich zwar keine wesentliche Steigerung der Ausbaumenge, aber eine Mehrung des Gesamtgewinns bis auf 400 000 Mk. für den km Kanallänge.

Diese Kurven zeigen somit unter der Annahme, daß die eingesetzten Verkaufswerte eingehalten werden können, ein glänzendes Bild. Die gefundenen Ausbaumengen ergeben sich, auch wenn beträchtliche Mindestwassermengen

Ausnutzung des Inn zwischen Markt und Schärding für Aluminiumherstellung-

- Kanalgeländegefälle $i_k = 0,84\%$
 1. Kosten der Kilowattstunde y in Pfg. für Preise von 1914
 2. Gewinn g für 1 Km Kanallänge bei einem Aluminiumpreis von 1,80 Mk. f. 1 kg
 3. Rentabilität E bezogen auf Kraft- plus Fabrikkosten
 Die gestrichelten Kurven y, g^*, E^* gelten für Überschreitung der Stromkosten um 50%

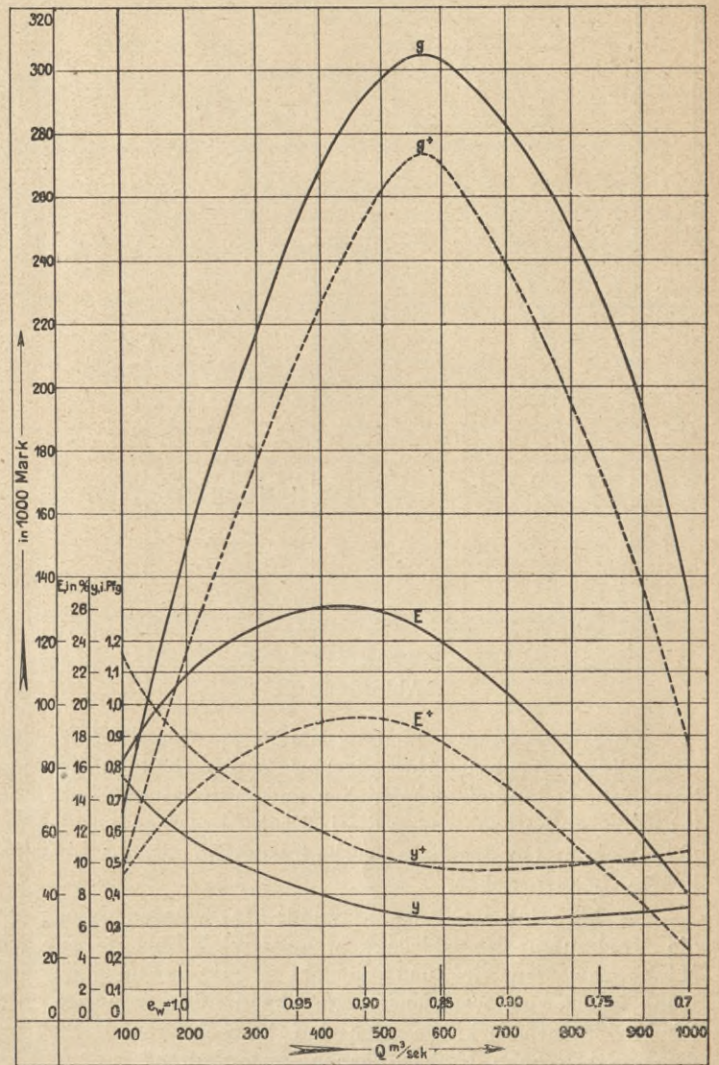


Abbildung 20

in den Flüssen zurückbehalten werden, durchweg noch größer, als Hallinger angenommen hat, so daß die Zahl der in Bayern allein auszubauenden Pferdestärken weit über 1 1/2 Millionen geschätzt werden kann.

Dazu ist eigens hervorzuheben, daß, wenngleich die vorliegenden Betrachtungen in erster Linie für große Wasserkräfte gelten, doch auch die kleinen und kleinsten Wasserkräfte durch Anwendung der Hallingerschen Baugrundsätze wesentlich gefördert werden, sowie daß der Ausbau der Niederdruckwasserkräfte zur Rohstoffherzeugung auch der Versorgung des gesamten Landes mit elektrischer Kraft die wertvollsten Dienste leisten wird. Die billigen Niederdruckwasserkräfte werden dann den konstanten Energiebedarf der in Frage kommenden landwirtschaftlichen und industriellen Betriebe übernehmen, die Spitzendeckung aber wird den elektrisch gekuppelten, anpassungsfähigen Hochdruckwasserkraften und Wärmekraftanlagen überlassen.

Ausnutzung des Inn zwischen Markt und Schädigung

für Aluminium, Carbid bzw. für beides kombiniert,
wobei 190³sek konstant auf Aluminium arbeiten!

1. Kosten der Wasserkraftanlage für Perse von 1914
2. Jährlicher Gewinn für 1 Km Kanallänge = g bei 1,80³Mk f. 1kg Alum.
0,16 " " " " Carbid

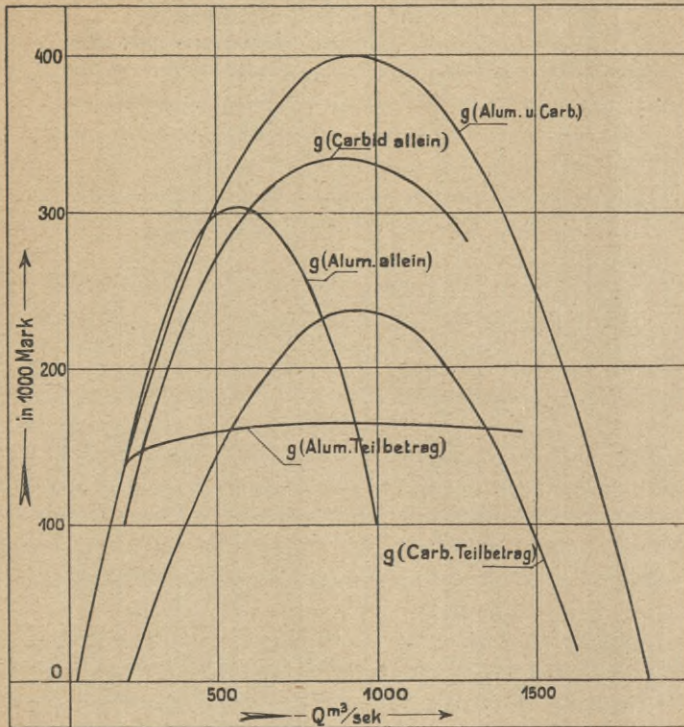


Abbildung 21

Eine sogenannte Industrialisierung der betreffenden Gegenden oder eine Abwanderung von Arbeitern aus den bestehenden landwirtschaftlichen und industriellen Betrieben ist nicht zu befürchten, da die in Frage kommenden elektrochemischen Großbetriebe verhältnismäßig wenig Arbeitskräfte beanspruchen.

Da höre ich wohl den Einwand: Ja, werden dann nicht die Verkaufspreise gedrückt, wenn soviel Energie auf den Markt geworfen wird, und wie sieht es mit der ausländischen Konkurrenz aus, wenn unsere Nachbarn auch anfangen, ihre Niederdruckwasserkräfte nach den Vorschlägen Hallingers, die nicht geheim bleiben können, auszubauen?

Solche Einwendungen sind sicher berechtigt und müssen erhoben werden. Sie könnten uns aber in der Erschließung der Wasserkräfte nur dann hemmen, wenn es nicht eine Frage unserer Existenz wäre, in der Rohstoffgewinnung vom Ausland unabhängig zu werden. So aber wird es, je mehr wir annehmen müssen, daß das Ausland seinen schon vor dem Krieg begonnenen großzügigen Wasserkraftausbau fortsetzt, für uns nur um so notwendiger, hierbei durch Anwendung der höchsten Großzügigkeit konkurrenzfähig zu bleiben.

Damit komme ich aber zu einem der wichtigsten Punkte meiner Ausführungen. Wir dürfen nicht vergessen, daß die für den Ausbau der Wasserkräfte benötigten Kanalbauten keine vorübergehenden, kurzfristigen Gründungen sind, sondern Bauwerke darstellen, die Jahrhunderte überdauern sollen.

Deshalb darf auch ihr Ausbau, nachdem festgestellt ist, welcher Schatz an Energie aus unseren Wasserkräften gehoben werden kann, und nachdem unser Volk diese Energie in einer näheren oder weiteren Zukunft restlos benötigt, nicht von einer augenblicklichen Konjunktur abhängig ge-

macht werden, deren Steigen und Fallen wir nicht einmal für die nächsten Jahre überblicken können.

Wenn einmal die großen Kosten für die Wasserwerksbauten ganz oder teilweise abgeschrieben sein werden, dann wird man sich darüber klar sein, daß der einzige Fehler, der in Frage stand, der war, die Flußausnutzung um kleiner Augenblickserfolge willen zu zerschneiden und ihre Ausbauwassermenge zu gering zu wählen. Je mehr wir fortschreiten, um so mehr werden wir lernen, uns den Schwankungen der Wasserkräfte anzupassen und wenn heute schon eine Karbidgesellschaft ihre Ausbaustufe auf 75 % Werknutzbarkeit gründet, so kann man wohl als wesentlichstes Ergebnis dieser ganzen Betrachtungen die Forderung aufstellen, beim Ausbau der Flußläufe auf Werknutzbarkeiten von 75 % bis 70 % herunterzugehen. Wie hoch sich nach dieser Vorschrift die Ausbauwassermengen dann im einzelnen Fall belaufen werden, ergibt sich ohne weiteres aus den Häufigkeitskurven, sobald über die im Fluß verbleibende Mindestwassermenge Bestimmung getroffen ist. Ich verweise hierzu nochmals auf die Abbildungen über die Werknutzbarkeit.

Dem Einwand, daß damit viel größere Energiemengen geschaffen würden, als die Industrie in den nächsten Jahren verbrauchen kann, ist entgegenzuhalten, daß niemand daran denkt, die gesamten deutschen Wasserkräfte in den nächsten 10 Jahren auszubauen, daß vielmehr die Pflicht von heute nur die sein kann, den Ausbau in solche Bahnen zu lenken, die der Zukunft die großen Energiemengen vorbehalten, die unsere Kinder und Enkel doch einmal bedürfen.

Entschließt man sich aber zu einem auf einer Werknutzbarkeit von 70 bis 75 % gegründeten großzügigen Ausbau, so wird auch für eine Reihe der in Betracht kommenden Flußstrecken die Frage der Kanalschiffahrt ganz von selbst gelöst, da bei den gewaltigen hier in Betracht kommenden Wassermengen die Frachtkähne in den Werkkanälen auch bei den für diese noch möglichen Wassergeschwindigkeiten verkehren können.

Einem derartigen großzügigen Ausbau unserer Wasserkräfte müssen alle Wege geebnet werden, und man sollte im Notfalle auch nicht vor staatlicher Unterstützung zurückschrecken. So gut wir strategische Bahnen bauen, die unsere militärische Sicherheit gewährleisten, so gut wir Schifffahrtskanäle bauen, die die Verkehrsadern des Landes bilden werden, so gut ist staatliche Hilfe berechtigt, wenn es gilt, unsere landwirtschaftliche und industrielle Entwicklung und Unabhängigkeit sicherzustellen.

Unsere durch den Krieg gedrückte Finanzlage darf hier um so weniger hemmend wirken, als ja gerade eine reichliche Versorgung des Landes mit Rohstoffen und mit Energie die Gesundung der Finanzverhältnisse beschleunigen soll. Dazu bleibt das für den Ausbau der Wasserkräfte aufgewendete Geld im Land und vermehrt, indem es in nützlichstem Kreislauf Arbeit und Energie erschließt, das allgemeine Volksvermögen.

Glücklicherweise erscheint aber eine direkte staatliche Unterstützung gar nicht nötig. Der verminderte überseeische Frachtraum im Verein mit den gesteigerten Kohlenpreisen wird die Verkaufswerte der Erzeugnisse auf einer Höhe halten, die den verlangten großzügigen Ausbau der Wasserkräfte als sehr gewinnbringend erscheinen läßt. Dazu könnte der Staat der Industrie in der Weise entgegenkommen, daß er ihr zunächst einen Teil der lohnendsten Flußläufe

überläßt und den Baugesellschaften durch Gewährung langjähriger Konzessionsdauer die Möglichkeit gibt, kleinste Abschreibungen für die Anlagen in Rechnung zu setzen. Dann wird es an Konzessionsgesuchen sicher nicht fehlen, denn neben einer ausreichenden Verzinsung in normalen Friedensjahren treten unberechenbare Gewinnmöglichkeiten beim weiteren Ansteigen der Kohlenpreise und bei allen Störungen der ausländischen Rohstoffzufuhr. Würden doch, und auch solche Zeiten können wiederkommen, zwei Kriegs-

jahre, wie wir sie jetzt erleben, hinreichen, um die gesamten Herstellungskosten der Wasserkraftausnützung abzuschreiben.

So liegen die vorhandenen Möglichkeiten und Pflichten klar vor unseren Augen, und ich schließe mit dem Wunsche, es mögen unsere Nachkommen es uns einst danken, daß wir heute die Grundlagen festsetzen, nach deren zielbewußtem Ausbau ihnen dereinst die gesamte Wasserkraftenergie des Vaterlands zur wirtschaftlichen Verwertung und zur Sicherheit ihrer Existenz zur Verfügung steht. (m)

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

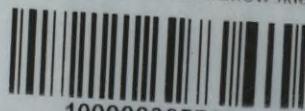


L. inw.

33087

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305766