Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83/84 (1924)
Heft: 2

Artikel: Neuere Berechnungsmethoden aus dem Gebiete der Hydraulik
Autor: Meyer-Peter, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-82824

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: 15.12.2025

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

INHALT: Neuere Berechnungsmethoden aus dem Gebiete der Hydraulik. — Moderne Wiener Architektur. — Die elektrischen Lokomotiven der S. B. B. — The First World Power Conference. — Miscellanea: Maschine zum autogenen Schneiden von Wellen. Amerikanischer Zusammenstoss. Eidgenössische Technische Hochschule. — Konkurrenzen: Schulhaus in Wangen bei Olten. Neubau eines Schulhauses nebst Turnhalle in Allschwil. Neuenburgisches Kantonalbank-Gebäude in La Chaux-de-Fonds. — Literatur: Drang und Zwang. Literar. Neuigkeiten. — Vereinsnachrichten: Société Genevoise des Ingénieurs et des Architectes. S. T. S

Band 84. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur auf Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 2.**

Neuere Berechnungsmethoden aus dem Gebiete der Hydraulik.

Von Prof. E. Meyer-Peter, Zürich.

(Schluss von Seite 5.)

4. Praktische Anwendung auf einen Umlaufstollen.

Es handelt sich darum, durch einen Stollen von kreisförmigem Querschnitt eine gegebene Wassermenge abzuleiten, wobei ausser der Lage der Energielinie beim Profil A noch die Höhenlage der Sohle am Auslauf, sowie die gesamte Stollenlänge gegeben seien. Gesucht sei der minimale Stollendurchmesser und das Längenprofil des Stollens (Abbildung 16).

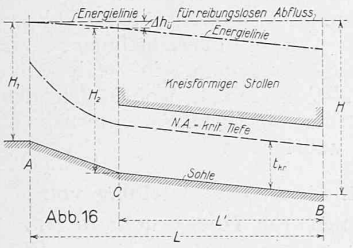


Abb. 16

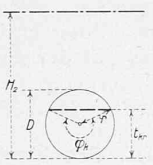


Abb. 17

Erste Aufgabestellung. Gemäss der Aufgabestellung sind gegeben Q, H, L, L' und H_1, gesucht sei D_{min}.

a) Denkt man sich den Stollendurchmesser gewählt, so ist dadurch die höchstmögliche Lage des Knickpunktes C schon eindeutig festgelegt, sobald man den kleinen Gefällsverlust $\Delta h_ü$ in der Uebergangstrecke eingeschätzt hat; denn in C muss nach dem Vorangegangenen noch eine minimale Höhenlage H_2 der Energielinie vorhanden sein, die aber ihrerseits durch die Wahl des Querprofils und durch die Wassermenge bestimmt ist. Damit ist nun auch die Lage des W. Sp. in C festgelegt, nämlich die Tiefe muss dort gleich der kritischen sein. Der Punkt B muss anderseits mindestens so tief unterhalb C liegen, dass auch in B noch die oben berechnete Minimalhöhe der Energielinie vorhanden ist. Zum Mindesten muss also die Stollensohle BC parallel zur Energielinie zwischen B und C verlaufen. Mit andern Worten: Das Gefälle CB muss so berechnet werden, dass der Normalabfluss auf dieser Strecke mit der kritischen Geschwindigkeit vor sich geht. Anderseits ist durch die Aufgabestellung B gegeben. Die beiden Punkte B fallen mithin nur dann zusammen, wenn der Stollendurchmesser richtig gewählt war.

Man sieht, die Lösung der Aufgabe läuft darauf hinaus, den Stollendurchmesser derart festzulegen, dass einmal in der Strecke BC Normalabfluss mit der kritischen Tiefe erfolgt, anderseits in C die für den freien Abfluss noch notwendige Energielinienhöhe vorhanden ist. Das Problem ist also eindeutig bestimmt.

Der Zusammenhang zwischen der gegebenen Wassermenge, dem gegebenen Stollendurchmesser und der kritischen Tiefe kann sehr leicht auf analoge Weise wie für das Rechteckprofil abgeleitet werden. Allgemein beträgt die Energielinienhöhe:

$$H = t + \frac{v^2}{2g} = t + \frac{Q^2}{F^2\, 2g} = r\left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right) + \frac{2\,Q^2}{g\,r^4\,(\varphi - \sin\varphi)^2}$$

Anstatt der kritischen Tiefe führt man am besten den kritischen Füllwinkel ein. Aus der Bedingung, dass $\frac{dH}{d\varphi} = 0$ sein muss, folgt die Beziehung:

$$\frac{(\varphi_k - \sin\varphi_k)^3}{\sin\frac{\varphi_k}{2}} = \frac{512\,Q^2}{g\,D^5} \qquad (1)$$

aus der der Füllwinkel für die kritische Tiefe berechnet werden kann.

Die entsprechende Minimalhöhe der Energielinie wird gegeben durch die Gleichung

$$H_2 = \frac{D}{2}\left(1 - \cos\frac{\varphi_k}{2}\right) + \frac{32\,Q^2}{g\,D^4\,(\varphi_k - \sin\varphi_k)^2} \qquad (2)$$

Die Bedingung, dass im Stollen BC gleichförmiger Abfluss mit der kritischen Tiefe erfolge, wird bei Anwendung der Potenzformel durch die Gleichung:

$$J = \frac{2^{2(3+2\mu)}\,Q^2\,\varphi_k^{2\mu}}{k^2\,D^{2(2+\mu)}\,(\varphi_k - \sin\varphi_k)^{2(1+\mu)}} \qquad (3)$$

ausgedrückt oder bei Anwendung der Chézy'schen Formel für $\mu = 0{,}5$

$$J = \frac{2^8\,Q^2\,\varphi_k}{c^2\,D^5\,(\varphi_k - \sin\varphi_k)^3}$$

Ferner ist

$$H = H_2 + J\,L' + \Delta h_u'' \qquad (4)$$

Diese vier Gleichungen dienen zur Bestimmung der vier Unbekannten D, J, H_2 und φ_k.

b) Der Winkel φ_k entspricht der *kritischen Tiefe*, nicht aber der sogenannten *günstigsten Füllung*, die dadurch definiert ist, dass bei gegebener Wassermenge und gegebenem Stollendurchmesser das geringste Gefälle erforderlich wird.

Die sogenannte günstigste Füllung kann berechnet werden aus der Bedingung, dass

$$Q = k\,F\,R^{\mu}\,J^{1/2}$$
$$= k\,J^{1/2}\,\frac{D^{\mu+2}\,(\varphi - \sin\varphi)^{\mu+1}}{2^{2\mu+3}\,\varphi^{\mu}}$$

ein Maximum wird.

Aus $\frac{\delta Q}{\delta \varphi} = 0$ entsteht die Gleichung

$$1 - (1+\mu)\cos\varphi_g + \mu\,\frac{\sin\varphi_g}{\varphi_g} = 0$$

die erfüllt ist durch $\varphi_g = 301^0\,30'$ für $\mu = 0{,}7$

Bei Anwendung der Chézy'schen Formel wird

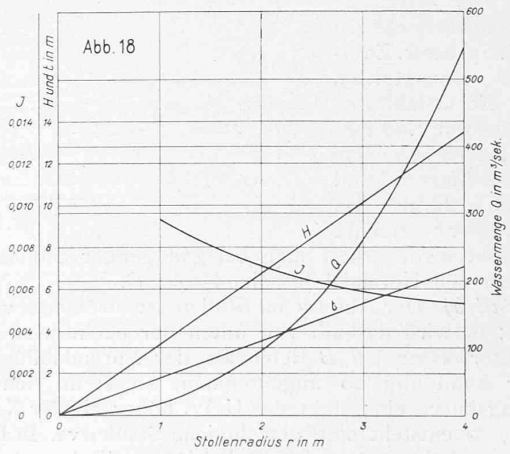
$$\mu = \frac{1}{2}$$

also

$$2 - 3\cos\varphi_g + \frac{\sin\varphi_g}{\varphi_g} = 0$$

$$\varphi_g = 308^0$$

Wenn in obiger Aufgabe die Bedingung gesetzt würde, dass die kritische Tiefe mit der günstigsten Füllung übereinstimmen müsse, so ist, da nunmehr $\varphi_k = \varphi_g$ eindeutig festgelegt, das Problem überbestimmt, da eine überzählige Gleichung vorhanden ist. Mithin muss eine der



gegebenen Grössen noch freigehalten werden, und es folgt daraus, dass *bei gegebenem Q und der Bedingung, dass der Abfluss mit der kritischen Tiefe und zugleich in der sog. günstigsten Füllung erfolge, das Stollengefälle J, die Energielinienhöhe H und der Stollendurchmesser D bestimmt sind.* — Die Abbildung 18 zeigt den Zusammenhang zwischen Q einerseits und den Grössen J, H und D anderseits, bei Innehaltung obiger Bedingung und bei $\mu = 0{,}7$.

Zweite Aufgabestellung. Bei gegebener Wassermenge Q und Totalhöhe H der Energielinie am Stollenauslauf, gegebener Stollenlänge und gegebenem Stollendurchmesser, soll das Stollengefälle dem Abfluss mit der günstigsten Füllung entsprechen, an Stelle eines Abflusses in der kritischen Tiefe. Es sei ferner der nach der ersten Aufgabestellung (a) berechnete minimale Stollendurchmesser gewählt.

Das Stollengefälle wird, wenn die günstigste Füllung vorgeschrieben ist, kleiner als bei Füllung auf die kritische Tiefe. Der Punkt C rückt also tiefer herab und die zur Verfügung stehende Energiehöhe beim Stollenanfang wird demnach entsprechend grösser. Es sind nun zwei Fälle möglich:

a) die günstigste Füllung ist kleiner als die kritische, Bewegung im Stollen schiessend (Abbildung 19);

b) die günstigste Füllung ist grösser als die kritische, Bewegung im Stollen strömend (Abbildung 20).

Fall a). Es ist bei der bereits getroffenen Wahl des Stollendurchmessers nicht zu erwarten, dass der W. Sp. beim Stolleneingang dem Normalabfluss genau entspricht, dagegen fragt es sich, ob der W. Sp. im Profil C höher oder tiefer als der Normalabfluss sein wird.

Wird er höher angenommen als der Normalabfluss, so setzt die Annahme eine tiefere Lage der Energielinie voraus, da bei schiessender Bewegung mit höher werdendem W. Sp. die Energielinienhöhe abnimmt (vergl. Abbildung 6). Eine tiefere Lage der Energielinie als die des Normalabflusses ist aber unmöglich, da dann für den Abfluss im Stollen B-C ein kleineres Energieliniengefälle zur Verfügung stehen würde, als das als minimal berechnete Stollengefälle. Folglich kann der W. Sp. in C nicht höher liegen als der Normalabfluss, und es muss die entsprechende Energielinie höher liegen als jene für Normalabfluss. Die Annahme ist möglich, da dann ein höheres Gefälle der Energielinie zur Verfügung steht, als das minimale. Der W. Sp. liegt also in C *entweder übereinstimmend mit dem Normalabfluss oder tiefer.*

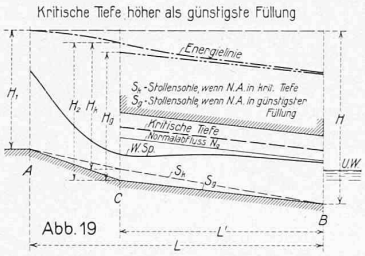


Abb. 19

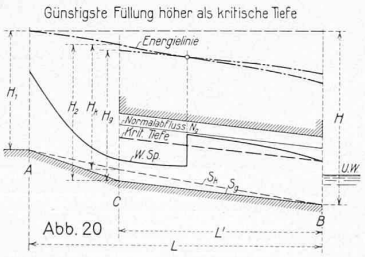


Abb. 20

Flussabwärts nähern sich W. Sp. bezw. Energielinie asymptotisch dem Normalabfluss bezw. dessen Energielinie. Da der skizzierte Abfluss schiessend und demnach durch das Unterwasser bei B nicht beeinflusst wird, erhält man bei genügender Stollenlänge praktisch den Normalabfluss im Punkt B.

Fall b). Der Abfluss im Stollen ist strömend vorausgesetzt; er wird deshalb von unten her beeinflusst. Liegt das Unterwasser bei B tiefer als der Normalabfluss, wie in der Abbildung 20 angenommen, so stellt sich eine Senkungskurve ein; steht das U. W. höher als der Normalabfluss, so entsteht eine gewöhnliche Staukurve. In beiden Fällen ist bei genügender Stollenlänge direkt unterhalb des Punktes C nahezu Normalabfluss vorhanden. Die in C vorhandene Energiehöhe lässt dort zwei Abflüsse zu, einen strömenden und einen schiessenden. Der strömende Abfluss ist nur unter einer ganz bestimmten Voraussetzung möglich, dann nämlich, wenn zufällig die Stollendimensionen so gewählt sind, dass im Profil C die Energielinienhöhen von unten herauf (Anfangspunkt B) und von oben gerechnet herab (Anfangspunkt A) zusammenfallen. Die so erhaltene Energielinie in C stimmt dann bei grosser Stollenlänge BC mit jener für Normalabfluss überein. In den meisten Fällen aber werden sich die beiden so berechneten Energielinien im Profil C nicht schneiden, und es folgt dann sofort, dass die Energielinie für den Uebergang A-C nur höher liegen kann, als die Energielinie für Normalabfluss im Stollen C-B, denn sonst wäre der Abfluss der Wassermenge Q überhaupt unmöglich. Dies festgestellt, fragt es sich noch, ob dann bei höher liegender Energielinie strömender Abfluss noch denkbar ist. Dies muss aber deshalb verneint werden, weil bei strömendem Abfluss weder ein stetiger noch ein unstetiger Uebergang von einem höhern Wasserstand zum tiefer liegenden Normalabfluss vor sich gehen kann.

Zusammenfassend kommt also, wenn sich nicht ganz zufällig ein strömender Abfluss übereinstimmend mit Normalabfluss ergibt, im Allgemeinen ein schiessender Abfluss auf der Strecke A-C in Frage, wobei sich dann der Uebergang in den strömenden Abfluss unterhalb des Punktes C durch Sprung vollzieht.

III. Graphische Methoden zur Aufstellung von Wasserwirtschaftsplänen für Hochdruckanlagen.

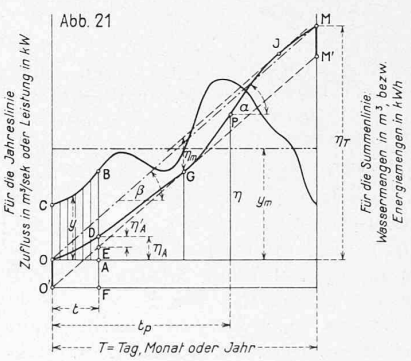
1. Begriff der Summenlinie.

Definition: Es sei gegeben das Diagramm der sekundlichen Wassermenge bezw. der Leistung eines Kraftwerkes in Funktion der Zeit (Abbildung 21). Die Fläche $OABC$ kann nun im Punkte A als Ordinate aufgetragen werden:

$$\eta_A = \int_0^A y\,dt$$

man erhält dann eine Kurve OPM, die als Summenlinie der Wassermengen, bezw. der Energiemengen bezeichnet wird. Es ist

$$\eta_T = \int_0^T y\,dt$$



a) Legt man in einem beliebigen Punkte P der Summenlinien eine Tangente an sie, so stellt deren Neigung

$$tg\,\alpha = \frac{d\eta}{dt} = y$$

die sekundliche Wassermenge zur Zeit t_p dar, bezw. die Leistung zu dieser Zeit.

b) Die Gerade OM, deren Neigung β ist, stellt die mittlere Wassermenge, bezw. Leistung während der Zeit T dar:

$$tg\,\beta = \frac{1}{T}\int_0^T y\,dt = y_m$$

c) Legt man an die Summenlinie eine Tangente $O'M' \parallel OM$, so stellt der Vertikalabstand zwischen $O'M'$ und der Summenlinie OPM in jedem Zeitpunkt den momentanen Weiherinhalt, bezw. die momentan aufgespeicherte Energiemenge dar. Denn es ist, von einem Weiherinhalt OO' zur Zeit o ausgehend, im Punkte A der

gesamte Wasser- bezw. Energiezufluss $= OO' + AD = FD$ u. der
gesamte Wasser- bezw. Energieverbrauch $= FE$
also der momentane Vorrat $= DE = \eta'_A$

d) Im Berührungspunkte G der Tangente $O'M'$ an die Summenlinie OPM wird der Weiherinhalt gleich Null. Legt man eine zweite zu OM parallele Tangente an die

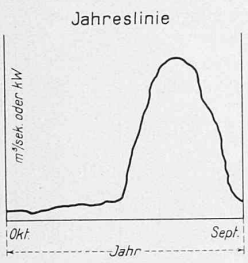
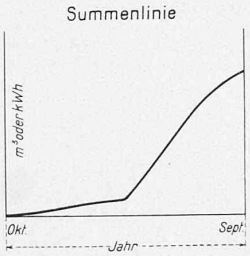


Abb. 22



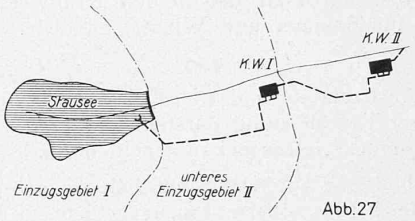


Abb. 27

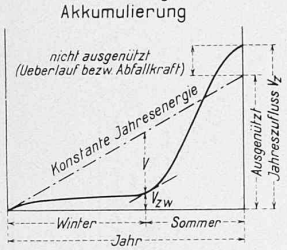


Abb. 23

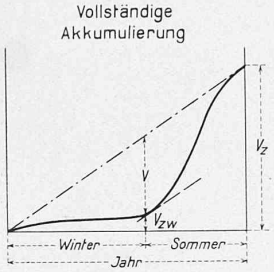


Abb. 24

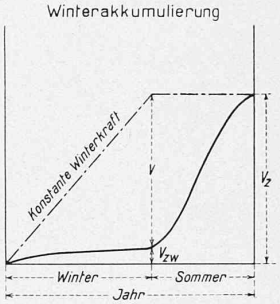


Abb. 25

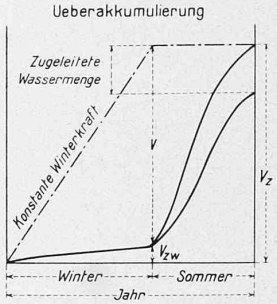


Abb. 26

Summenlinie im Punkte J, so wird an dieser Stelle der momentane Weiherinhalt ein Maximum.

Mit andern Worten: Der totale notwendige Weiherinhalt zur Erzielung eines gegebenen Diagramms wird durch den Abstand η_m zweier an die Summenlinie OPM zu OM parallelen Tangenten gegeben.

2. *Verschiedene Speichermöglichkeiten.*

Unsere Gebirgsflüsse zeichnen sich bekanntlich durch geringe Wassermengen im Winter und bedeutende Wassermengen im Sommer aus (Abbildung 22). Das Charakteristische an der Summenlinie der Wassermengen ist daher der deutlich ausgesprochene Knick zu Beginn der Schneeschmelze. Bedeutet V_{ZW} den totalen Winterzufluss, V das Stauvolumen, so beträgt die im Winter zur Verfügung stehende Wasser- bezw. Energie-Menge: $V_{ZW} + V$ (Abb. 23).

Die Methode der Summenlinien gestattet nun eine bequeme und übersichtliche *Untersuchung verschiedener Speichermöglichkeiten.*

Es bedeute im Nachfolgenden: W Anzahl Wintermonate, S der Sommermonate und J der Monate des Jahres.

a) Unvollständige Akkumulierung: $V < V_Z \frac{W}{J} - V_{ZW}$

D. h. bei sechs Wintermonaten ist der Stauinhalt kleiner als die Hälfte des Jahreszuflusses. Ein Teil des Sommerwassers fliesst ungenützt über die Sperre oder wird zu Saisonkraft verarbeitet.

b) Vollständige Jahresakkumulierung (Abbildung 24): $V \sim = V_Z \frac{W}{J} - V_{ZW}$

D. h. bei sechs Wintermonaten ist der Stauraum nahezu gleich der Hälfte des Jahreszuflusses. Das Werk liefert konstante Jahreskraft.

c) Winterakkumulierung (Abb. 25): $V = V_Z - V_{ZW}$. Stauinhalt = Jahresabflussmenge minus Winterabfluss. Ganze Energie auf den Winter konzentriert. Konstante Winterenergie.

d) Ueberakkumulierung (Abb. 26): $V > V_Z - V_{ZW}$. Der Stauinhalt ist grösser als der Jahresabfluss minus Winterabfluss. Es kann aus fremdem Einzugsgebiet Wasser zugeleitet oder zugepumpt werden. Konstante Energie während des Winters=Energie des totalen Jahresabflusses plus Energie der zugeleiteten Wassermenge.

3. *Zusammenarbeiten zweier Kraftwerke unter Benützung des untern Einzugsgebietes.*

Zwei Hochdruckanlagen seien hintereinander geschaltet (Abbildung 27). Das obere Werk I besitzt einen Speicherraum V. Das untere Werk II wird gespiesen:

a) vom Wasser des Werkes I, b) vom untern Einzugsgebiet II.

Das Netto-Gefälle des oberen Kraftwerkes I sei H_1, das des untern Werkes II sei H_2. Die beiden Werke sollen zusammen je nach spezieller Aufgabestellung konstante Jahresenergie oder konstante Winterenergie abgeben; gesucht ist die Art des Zusammenarbeitens beider Werke und die Beziehung zwischen Speicherraum und ausgenützter Wassermenge aus dem untern Einzugsgebiet.

Die Wassermenge des Einzugsgebietes I wird mit der Summe der Gefälle beider Werke $H_1 + H_2$, jene des untern Einzugsgebietes nur mit H_2 ausgenützt. Die bezüglichen Wassermengen-Summenlinien sind deshalb mit den entsprechenden Gefällen multipliziert aufzutragen. In den nachfolgenden Abb. 28 bis 31 (Seite 18) bedeuten also die Ordinaten der Summenlinien nicht mehr Wassermengen, sondern die ihnen entsprechenden Energiemengen:

V des Stauvolumens,
E_{W1} des natürl. Winterzuflusses des Einzugsgebietes I,
E_{W2} des natürl. Winterzuflusses des Einzugsgebietes II,
E_1 des gesamten vorhandenen und ausgenützten Jahreszuflusses des Einzugsgebietes I,
E_2 des Jahreszuflusses des Einzugsgebietes II,
E'_2 des vom Jahreszufluss des Einzugsgebietes II ausgenützten Anteils.

Ferner bedeuten:

$\mathcal{E}_1$ die Energieproduktion des Kraftwerks I,
$\mathcal{E}_2$ die Energieproduktion des Kraftwerks II,
$\mathcal{E}_{W1}$ die Winterenergieproduktion des Kraftwerks I,
$\mathcal{E}_{W2}$ die Winterenergieproduktion des Kraftwerks II,
$\mathcal{E}_{S1}$ die Sommerenergieproduktion des Kraftwerks I,
$\mathcal{E}_{S2}$ die Sommerenergieproduktion des Kraftwerks II,
N_1 den Ausbau des Kraftwerks I,
N_2 den Ausbau des Kraftwerks II.

a) (Abbildung 28). Der Stauinhalt entspreche dem Jahresausgleich des obern Einzugsgebietes I. Um konstante Leistung zu erzeugen, kann die Winterenergie des obern Einzugsgebietes nur um die Winterenergie des untern vermehrt werden. Vom untern Werk ist demnach das ganze Jahr hindurch nur die Winterwassermenge ausnützbar.

$$E_2' = E_{W2} \frac{J}{W}$$

$$\mathcal{E}_1 = E_1 \frac{H_1}{H_1 + H_2} \quad \text{und} \quad \mathcal{E}_2 = E_1 \frac{H_2}{H_1 + H_2} + E_2'$$

$$\mathcal{E}_{W1} = \mathcal{E}_1 \frac{W}{J} \quad \text{oder} \quad = (E_{W1} + V) \frac{H_1}{H_1 + H_2}$$

$$\mathcal{E}_{W2} = \mathcal{E}_2 \frac{W}{J} \quad \text{oder} \quad = (E_{W1} + V) \frac{H_2}{H_1 + H_2} + E_{W2}$$

Die Ausbaugrössen der beiden Kraftwerke ergeben sich gleich für Sommer und Winter, nämlich:

$$N_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{J}\,a \quad \text{und} \quad N_2 = \frac{\mathcal{E}_2}{J}\,a$$

wobei der Ausbaufaktor a das Verhältnis zwischen grösster und mittlerer Tagesleistung darstellt und aus den Betriebsverhältnissen des Netzes bekannt sein muss.

b) (Abbildung 29). Der Stauinhalt sei grösser als der Jahresausgleich des obern Einzugsgebietes. Im Sommer kann nun aus dem untern Einzugsgebiet eine grössere Wassermenge einbezogen werden, als die blosse Winterabflussmenge.

$$E_2' = (E_{W1} + V + E_{W2})\,\frac{J}{W} - E_1$$

$$\mathcal{E}_1 = E_1\,\frac{H_1}{H_1 + H_2} \quad \text{und} \quad \mathcal{E}_2 = E_1\,\frac{H_2}{H_1 + H_2} + E_2'$$

$$\mathcal{E}_{W1} = (E_{W1} + V)\,\frac{H_1}{H_1 + H_2}$$

$$\mathcal{E}_{W2} = (E_{W1} + V)\,\frac{H_2}{H_1 + H_2} + E_{W2}$$

$$\mathcal{E}_{S1} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_{W1}$$

$$\mathcal{E}_{S2} = E_1 + E_2' - (E_{W1} + V + E_{W2} + \mathcal{E}_{S1})$$

Für die Ausbaugrösse des obern Kraftwerks I ist die Winterenergie massgebend, für die des untern Werkes II dagegen die Sommerenergie; demnach ist

$$N_1 = \frac{\mathcal{E}_{W1}}{W}\,a \quad \text{und} \quad N_2 = \frac{\mathcal{E}_{S2}}{S}\,a$$

c) (Abbildung 30). Vollständige Ausnützung beider Einzugsgebiete: $E_2' = E_2$.

Es soll hier der Spezialfall untersucht werden, dass das obere Kraftwerk während des ganzen Sommers still steht; der Stauinhalt V ist gleich dem Winterausgleich des obern Einzugsgebietes gewählt.

$$V = E_1 - E_{W1}$$

$$\mathcal{E}_{W1} = E_1\,\frac{H_1}{H_1 + H_2}$$

$$\mathcal{E}_{W2} = E_1\,\frac{H_2}{H_1 + H_2} + E_{W2}$$

$$\mathcal{E}_{S1} = 0$$

$$\mathcal{E}_{S2} = E_2 - E_{W2}$$

$$N_1 = \frac{\mathcal{E}_{W1}}{W}\,a \quad N_2 = \frac{\mathcal{E}_{W2}}{W}\,a \text{ bezw. } N_2' = \frac{\mathcal{E}_{S2}}{S}\,a$$

wobei natürlich der grössere der beiden Werte massgebend ist. Die Kraftwerksgruppe liefert unter den angenommenen Verhältnissen von E_1 und E_2 mehr Winterenergie als Sommerenergie. Wäre E_2 im Verhältnis zu E_1 grösser, als im Diagramm angenommen, so könnte konstante Jahresenergie erzeugt werden, bei noch grösserem E_2 könnte indessen nur ein Teil von E_2 ausgenützt werden; die Vergrösserung des Stauvolumens hätte keinen Sinn, wenn nicht Wasser eines anderen Einzugsgebietes zugeleitet wird. Dieser Fall wird unter d) untersucht.

d) (Abbildung 31.) Reines Winterwerk mit Pumpbetrieb.

Der Stauweiherinhalt ist grösser als der Winterausgleich des obern Einzugsgebietes. Das Kraftwerk I steht im Sommer still, während das Kraftwerk II Energie erzeugt, die zum Aufpumpen von Wasser aus dem Einzugsgebiet II in den Speicherweiher dient.

Es sei Q_P die aus dem Einzugsgebiet II in den Stausee hinaufgepumpte Wassermenge im m³,

n die durch einen m³ Wasser beim Gefälle 1 m erzeugte Energiemenge

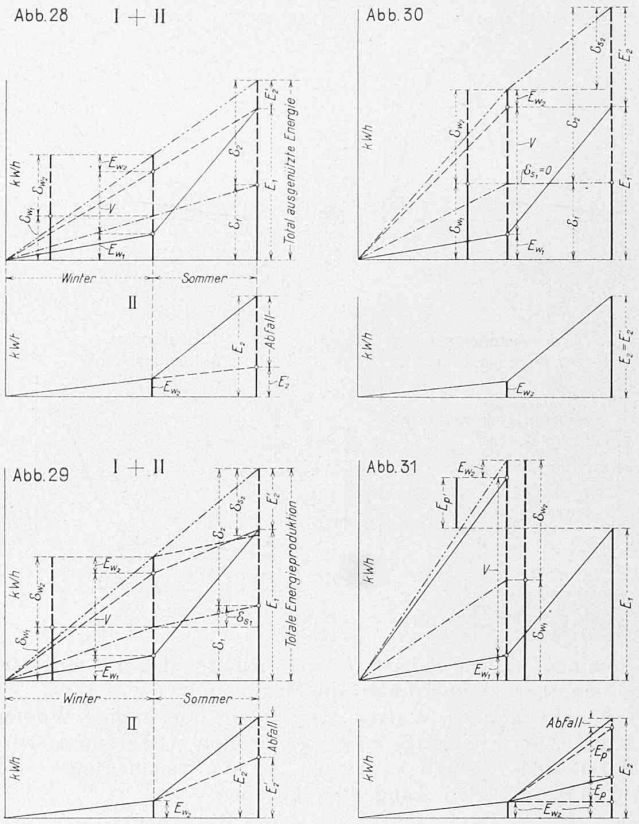
$$n = \frac{1000 \cdot \eta \cdot 0{,}736}{3600 \cdot 75}\ \text{kWh/m}^3/\text{m}$$

wo η den Gesamtwirkungsgrad der Anlage (Turbinen, Generatoren, Transformatoren und Fernleitung) bedeutet;

n' die zum Aufpumpen von 1 m³ Wasser auf 1 m Höhe aufzuwendende Energiemenge (unter Berücksichtigung der entsprechenden Wirkungsgrade analog definiert wie n). Dann beträgt die zum Aufpumpen der Wassermenge Q_P auf die Höhe H_1' notwendige Energiemenge

$$E_P = Q_P\,H_1'\,n',$$

wobei H_1' die manometrische Förderhöhe der Pumpanlage ($H_1' > H_1$) darstellt.



Die dem Kraftwerk II durch Wegnahme von Wasser entzogene Energiemenge sei:

$$E_P'' = Q_P\,H_2\,n$$

und die durch die Wassermenge Q_P in der Gefällstufe $H_1 + H_2$ erzeugbare Energiemenge

$$E_P' = Q_P\,(H_1 + H_2)\,n$$

Wenn V gegeben ist, berechnet sich zunächst:

$$E_P' = E_{W1} + V - E_1$$

und hieraus dann auch E_P und E_P''

da $$E_P = E_P'\,\frac{H_1'\,n'}{(H_1 + H_2)\,n}$$

und $$E_P'' = E_P'\,\frac{H_2}{H_1 + H_2}$$

Der Wert $E_2 - (E_{W2} + E_P + E_P'')$ ist Abfallenergie oder kann überhaupt nicht ausgenützt werden.

$$\mathcal{E}_{W1} = (E_{W1} + V)\,\frac{H_1}{H_1 + H_2} \qquad \mathcal{E}_{W2} = (E_{W1} + V)\,\frac{H_2}{H_1 + H_2} + E_{W2}$$

$$N_1 = \frac{\mathcal{E}_{W1}}{W}\,a \qquad N_2 = \frac{\mathcal{E}_{W2}}{W}\,a$$

Der Ausbau für den Sommerpumpbetrieb wäre

$$N_2' = \frac{E_P}{S}\,a'$$

der aber im Allgemeinen kleiner sein wird als N_2.

Aus diesen vier Beispielen geht klar hervor, dass unter gegebenen Verhältnissen, d. i. bei vorgeschriebener Art der Produktion (konst. Jahreskraft, konstante Winterkraft usw.) über den Einbezug von Zuschusswasser aus dem untern Einzugsgebiet nicht willkürlich zu entscheiden ist, sondern dass diese Frage in ganz bestimmtem Zusammenhange mit der Grösse des Speicherbeckens steht.

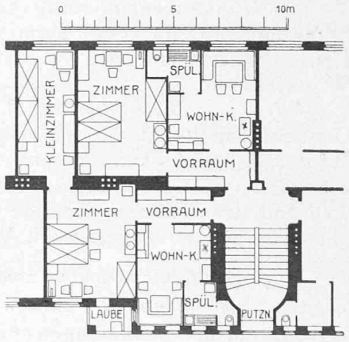


Abb. 12. Zwei- und Dreizimmer-Wohnungen Fuchsenfeldhof, Wien. — Masstab 1 : 300.