Zeitschrift: Schweizerische Wasser- und Energiewirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbau, Wasserkraftnutzung, Energiewirtschaft und Binnenschiffahrt

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 23 (1931)

Heft: 6

Artikel: Fortschritte der Durchlaufspeicherung in der Praxis

Autor: Ludin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-922556

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: 12.07.2025

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

Fortschritte der Durchlaufspeicherung in der Praxis.

Von Prof. Dr. Ludin, Berlin.

Unter Durchlaufspeicherung verstehen wir eine Betriebsform von Wasserkraftwerken an einer Flußhaltungstreppe, dadurch gekennzeichnet, daß alle Werke in annähernd gleichem Takt und Maße ihre Beaufschlagung erhöhen und erniedrigen, wobei die oberste Haltung allein in gewöhnlicher Weise (durch Abmahlung und Aufstauung) als Speicher benutzt wird, während alle anderen Haltungen das Wasser „im Durchlauf" verarbeiten.

Der Verfasser hat bereits 1913 am Beispiel der Neckarkanalisierung[1]) die technische Möglichkeit und 1924 in einem Gutachten über das gleiche Unternehmen[2]) die wirtschaftliche Nützlichkeit dieser neuartigen Betriebsweise dargetan, die natürlich am leichtesten durchzuführen ist, wenn alle Werke auf dasselbe Netz arbeiten; denn dann tritt auch ein vermehrter Energiebedarf (Belastungsspitze) bei allen Werken zum gleichen Zeitpunkt ein. Die Betriebsweise ist von der Länge der einzelnen Haltungen und der Stufenhöhe wenig abhängig. Der Wasserspiegel, der sich in allen Haltungen in den betriebsschwachen Stunden annähernd wagrecht (ausgezogener Spiegel der Abb. 1) eingestellt hat, senkt sich in jeder Haltung unmittelbar oberhalb des einzelnen Kraftwerks beim Einsetzen höherer Turbinenaufschlagung, während er unmittelbar hinter dem Kraftwerk infolge vermehrten Wasseraustritts durch die Turbinensaugrohre anschwillt. Die Senkung am unteren Haltungsende und die Schwellung am oberen eilen einander rasch entgegen und im gleichen Maße mit dem damit entstehenden stärkeren Spiegelgefälle kommt die ganze Wassermasse in der Haltung in Beschleunigung, um sich rasch dem neuen Beharrungszustand der erhöhten Beaufschlagung zu nähern. Beim richtigen „im-Takt-Arbeiten" der verschiedenen hintereinanderliegenden Kraftwerke ändert sich der Wasser inhalt der einzelnen Zwischenhaltungen theoretisch gar nicht und praktisch (infolge unvermeidlicher kleiner Ungleichmäßigkeiten in der Beaufschlagung) nicht wesentlich. Nur die oberste Stauhaltung wird wirklich abgemahlen, und die freie Stromstrecke unterhalb der untersten Haltung wird geschwellt, was aber dadurch verhindert werden kann, daß das unterste Kraftwerk unabänderlich mit mittlerer Beaufschlagung durchgefahren, d. h.: die unterste Haltung als Ausgleichbecken mit veränderlichem Inhalt betrieben wird.

Beim Uebergang von hoher Belastung zu niedriger (Nacht) spielt sich der geschilderte Vorgang in umgekehrtem Sinne ab. Die Zwischenhaltungen behalten auch hierbei ihren Inhalt unverändert bei.

Ist die ausgebaute Flußstrecke nicht von vornherein für Durchlaufspeicherung eingerichtet, d. h. sind die Schluckfähigkeiten der Turbinen einiger Kraftwerke geringer als die der übrigen, so muß sich der Gesamtwasserabfluß jedes kleinen Werkes nach dem der größeren richten, damit diese ihre Leistung voll ausnutzen können. Dies hat zur Folge, daß zeitweise die kleinen Werke außer dem Turbinenwasser noch „Zuschußwasser", das sie in ihrer Haltung sonst speichern könnten, durch die Wehröffnungen ablassen müssen. Der Wasserverlust an diesen Stellen wird aber in vielen Fällen durch den Energie- und Leistungsgewinn bei den großen Werken mehr als ausgeglichen.

Die große wirtschaftliche Bedeutung der vorgeschlagenen Betriebsweise liegt darin begründet, daß sie es auch bei Niederwasser ermöglicht, die hohen Maschinenleistungen rationell ausgebauter Flußkraftwerke wenigstens stundenweise (zur Deckung der Abend- und Morgenspitzen) voll einzusetzen. Hierdurch wird eine entsprechende, sehr bedeutende Einschränkung des Leistungsausbaues der in dem Netz mitarbeitenden Wärmekraft- und Großwasserspeicherwerke und eine günstige gleichmäßige Belastung der Wärmekraftstrecke ermöglicht, was von außerordentlich großer wirtschaftlicher Bedeutung ist. Eine etwa auf dem Strom betriebene Schiffahrt wird sich an die regelmäßig auftretenden Aenderungen der Wasserstände und Strömungen ebenso gewöhnen, wie sie es in Strommündungen mit Ebbe- und Flutwirkung längst getan hat.

Es ist nun sehr interessant festzustellen, daß die obigen, zunächst rein theoretisch entwickelten Gedankengänge, die in Deutschland bisher wiederholt Widerspruch bezüglich ihrer praktischen Durchführbarkeit erfahren haben, in einem der größten nordamerikanischen Elektrizitätsversorgungsnetze im Staate Pennsylvania bestätigt worden sind. Am Susquehanna bestehen bisher die älteren Staustufen Holtwood und York Haven und die ganz neue: Conowingo; eine weitere großartige Anlage Safe Harbor

[1]) Vgl. Ludin: «Die Wasserkräfte», Bd. 1, S. 525.
[2]) Vgl. Ludin: «Durchlaufspeicherung in Kraftstaffelflüssen», Schweizer. Wasserwirtschaft, v. 25. Mai 1925.

Tabelle I.

(Die eingeklammerten Zahlen und Bezeichnungen gelten für den endgültigen Ausbau.)
(Reihenfolge der Werke von oben nach unten.)

	1. Harrisburg	2. York Haven	3. Chickies	4. Safe Harbor (im Bau)	5. Holtwood	6. Conowingo
Fallhöhe H: m	— (12,80)	2,45—4,60 (12,80)	— (5,80)	16,3 (17,4)	16,8 (20,4)	29,3 (30,5)
Vollwassermenge Q_{voll}: m^3/sek	— (1320)	385 (1375)	— (1425)	— (2720)	950 (1425)	1190 (1870)
Volleistung N_{voll} der Turbinen: kW	— (176 000)	18 500 (135 000)	— (84 000)	188 000 (375 000)	116 000 (192 000)	287 000 (440 000)

befindet sich im Bau. Conowingo ist die unterste Anlage und liegt rund 14 km von der Mündung des Susquehanna in die Cheasepeakbay entfernt. Diese Nähe des Meeres ist natürlich ein zugunsten der Durchlaufspeicherung wirkender Umstand, da das Meer als unteres Ausgleichsbecken wirkt. Die nächste Staustufe ist Holtwood, 23 km oberhalb Conowingos. 11½ km oberhalb von Holtwood ist die Stufe Safe Harbor im Bau und 37,5 km oberhalb Safe Harbor liegt York Haven.

Die hauptsächlichsten technischen Angaben über die vier Kraftanlagen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die dort außerdem aufgeführten Anlagen Harrisburg und Chickies sind erst geplant.

Bemerkenswert ist die sehr große Ungleichmäßigkeit und Unstetigkeit der Wasserführung des Susquehannastromes. So beträgt der Abfluß bei Hoch-, Mittel- und Niedrigwasser in Holtwood 20555, 1135 und 85 m^3/sek. Die Abflußganglinie zeigt einen fast unaufhörlichen Wechsel von steilen Spitzen und tiefen Tälern. Holtwood wurde 1910/14 in Betrieb genommen und von diesem Werk stammen auch die Betriebserfahrungen, die in den letzten Jahren allmählich zur bewußten Anwendung der Durchlaufspeicherung zunächst bei Holtwood selbst und später bei Conowingo geführt haben.

In einem — nicht öffentlichen — Berichte des Hydraulic Power Comittee (Engineering Section) der Pennsylvania Electric Association vom September 1930 sind die Maßnahmen beschrieben, die getroffen werden, um die in Holtwood zu erwartende Gesamtabflußmenge des Susquehanna einen Tag voraus zu sagen. Diese Voraussage ist für den Turbinenbetrieb naturgemäß besonders wichtig. Es heißt da u. a.:

„Früher vermutete man, daß der Fluß mehr oder weniger langsam steigen und fallen würde, entsprechend jedem Regenfall oder dem Frühjahrstauwetter; aber bald wurde beobachtet, daß der Fluß Schwankungen mehr oder weniger unverständlicher Art aufweist. Die Aufmerksamkeit wurde erstmalig auf diese Erscheinung gelenkt, als an drei aufeinander folgenden Dienstagen die Voraussagen für den Abfluß erheblich von der Wirklichkeit abwichen. Es ergab sich, daß dieser Zustand von dem 49 km oberhalb gelegenen Kraftwerk York Haven verursacht war, wo das Wasser während des Wochenendes aufgespeichert und erst am Montagmorgen abgelassen wurde. Der Montagabfluß zu NW-Zeiten ergab sich als unbestreitbar geringer als normalerweise, während der Dienstagabfluß den normalen überstieg. Die Betriebsleiter wurden infolgedessen angewiesen, auf das regelmäßige Steigen des Flusses an jedem Dienstag Rücksicht zu nehmen."

Das heißt: die Turbinen dürfen — entsprechend dem Prinzip der Durchlaufspeicherung — schon während des Montags mehr Wasser verbrauchen als unmittelbar zufließt, denn am Dienstag ist, bei gleichbleibender Turbinenbelastung, wieder die Auffüllung des Stausees durch den vom oberen Werk (York Haven) herankommenden Schwall zu erwarten. (Dabei ist die große, nur zum kleinern Teil eingestaute Entfernung des oberen Werkes vom unteren ein erschwerender Umstand, umso beachtenswerter also die aus Nachstehendem hervorgehenden Erfolge):

„Später förderte die nun dauernde Beobachtung dieser Schwankungen beachtenswerte Tatsachen zu Tage. Der Betrieb wurde so ausgebaut, daß er gerade Vorteile aus diesen

vom oberen Werk (York Haven) diktierten Bedingungen während der NW-Zeit zog. Man fand, daß die stündliche Stromerzeugung in kWh mathematisch in einer einfachen Weise behandelt werden konnte, und daß man in der Lage war, eine sehr zutreffende Voraussage über die Form der Welle zu geben, die Holtwood 18 Stunden später erreichen würde. Der Betriebsleiter kann sich nicht nur unterrichten, wie der durchschnittliche Zufluß zum Stausee sein wird, sondern auch, welche Aenderungen von Stunde zu Stunde zu erwarten sind.

„In einem Bericht über diese Angelegenheit wurde erwähnt, daß tägliche Schwankungen im Abfluß vorzukommen schienen, die höher waren als der volle Wasserverbrauch des Oberliegers York Haven, und die deshalb nicht dessen Betriebsweise zugeschrieben werden konnten. Allmählich merkte man, daß diese Zuflußänderungen zum Stausee durch die Betriebsweise von Holtwood selbst verursacht wurden. Zur Zeit wissen wir nur, daß bei zunehmender Beaufschlagung des Werkes der Zufluß abzunehmen scheint (weil ganz naturgemäß der OW-Spiegel sinkt! Der Verf.) entsprechend dem Gefälle, das zur Beschleunigung des Wassers zum Krafthaus nötig ist. Beim Sinken der Beaufschlagung ergibt sich dann ein entsprechendes Steigen."

In den letzten Zeilen dieses Betriebsberichtes finden wir unverkennbar die hydraulische Wirkung der Durchlaufspeicherung geschildert!

Weitere vom Standpunkt der Elektrizitätserzeugung gegebene sehr interessante Mitteilungen über die praktische Auswirkung der Durchlaufspeicherung bei Conowingo machen unter „Wert der Spitzenkraft von Conowingo" Taylor und Turner in einem Bericht vom September 1929 des gleichen Ausschusses.

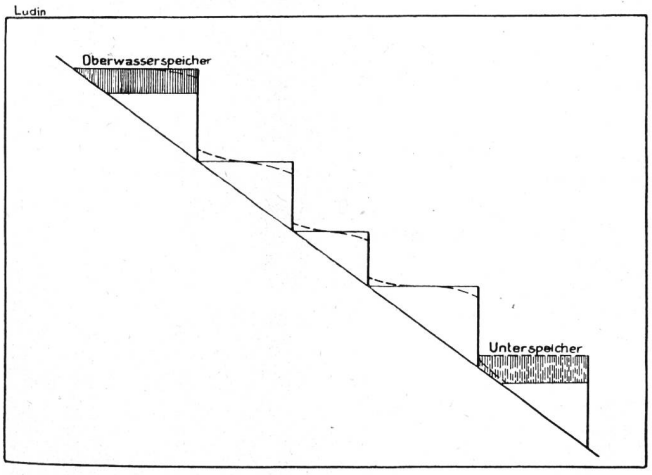

Abb. 1. **Längsschnitt einer Haltungstreppe mit Durchlaufspeicherung.**

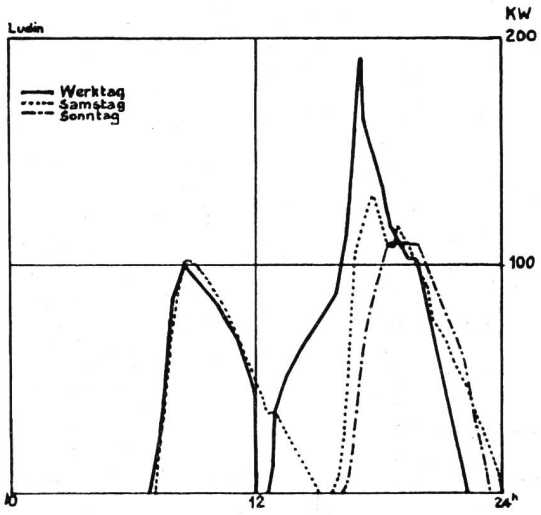

Abb. 2. **Belastungsganglinien des Wasserkraftwerkes Conowingo zur NW-Zeit.**
(kW in Tausend)

Die Verfasser geben einige typische Belastungslinien (Abb. 2) von Conowingo zur Zeit ausgesprochener Spitzendeckung beim Arbeiten auf das Netz der Pennsylvanischen Elektrizitätsgesellschaft. Die Woche vom 12. bis einschließlich 18. November 1928 war eine solche ausgeprägter Niederwasserführung (209 m^3/sek). Die Woche begann (um Mitternacht vom Sonntag, den 11. November zum 12. November) mit einer Füllung der Stauhaltung von 32,8 m. Durch Wochen- und Tagesspeicherung wurde der Stauspiegel unter wiederholtem Stauen und Abmahlen bis Mitternacht des folgenden Sonntags auf 35,2 m Stautiefe gebracht. „Der Zufluß nach Conowingo war infolge der schwankenden Belastung von Holtwood etwas unregelmäßig".

Die Wochentagskurve der Abbildung 2 stellt den Durchschnitt der fünf Wochentage dar, deren Energiebedarf nicht sehr voneinander abweicht. Ein Unterschied war nur in der Höhe der Spitzenleistung vorhanden, die zwischen 170,000 und 210,000 kW wechselte, vermutlich bedingt durch früheren oder späteren Eintritt der Dunkelheit. Wie man sieht, übernahm Conowingo werktäglich eine Belastungsspitze von 193,000, Sonnabends von 134,000 und Sonntags von 110,000 kW, während die Dampfergänzungskraft (die großen Werke in Philadelphia) während der Woche in Grundkraft mit gleichmäßiger Belastung durcharbeiten konnten.

Durch Wochen- und Tagesspeicherung war also Conowingo in der Lage, die sonst erforderliche Dampfkraftleistung von etwa 200,000 kW zu ersetzen bei einem Zufluß, der im 24stündigen Dauerbetrieb weniger als 50,000 kW ergeben hätte. In dem Maße, wie das Netz wächst und die Spitze höher und dünner wird,

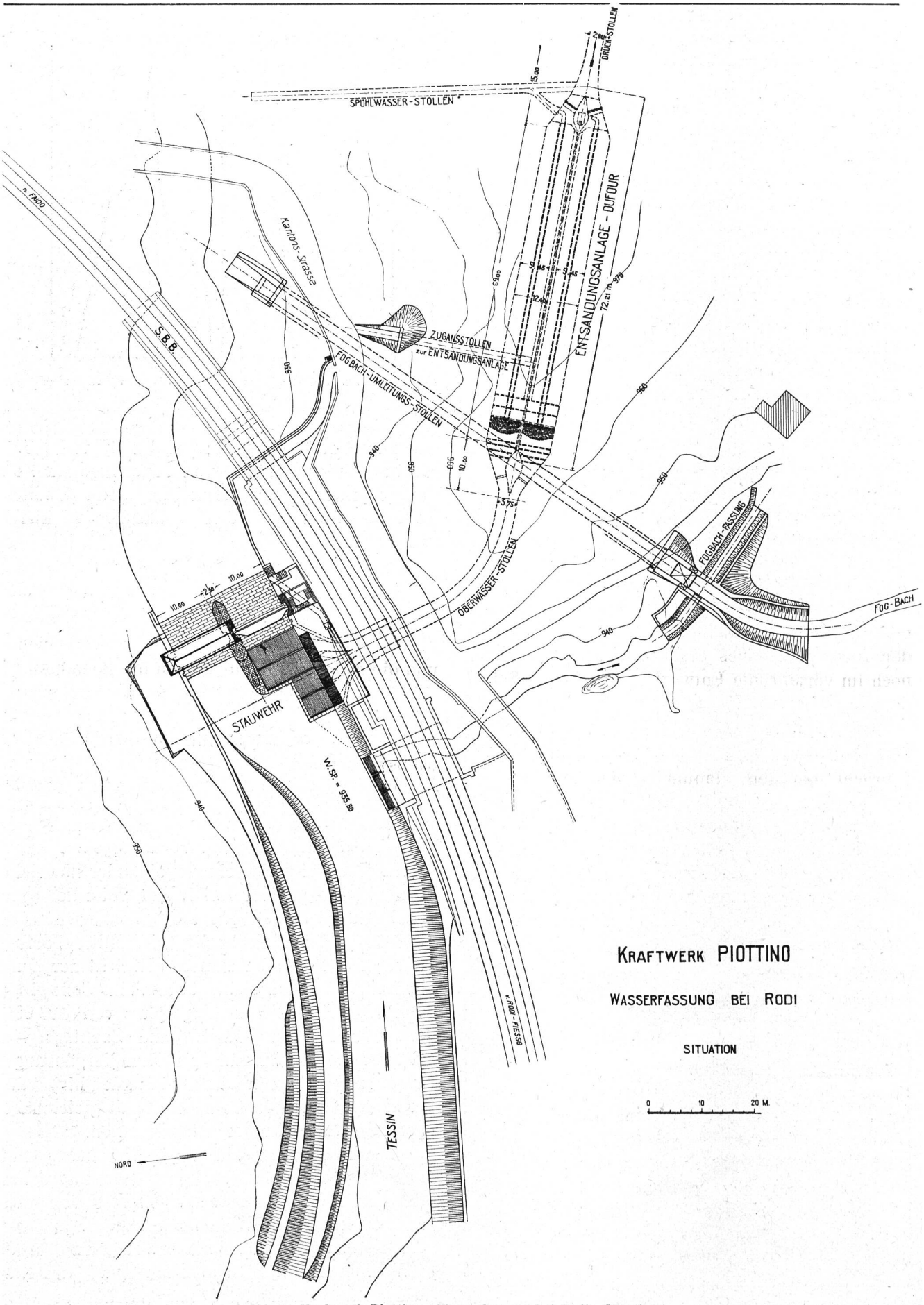

Abb. 1. **Kraftwerk Piottino. Wasserfassung bei Rodi.** Situation.

kann Conowingo noch viel mehr Leistung auch dann zur Verfügung stellen, wenn im Fluß Niederwasser ist. Daneben wird dann aber auch die volle Arbeitsfähigkeit des Werkes in der HW-Periode voll ausgenutzt werden können.

Diese in solcher Schärfe an europäischen Flußkraftwerken noch ungewohnte Ausübung der Tages- und Wochenspeicherung lediglich zur Spitzendeckung beweist zunächst nur, wie klar die amerikanischen Fachleute die Bedeutung dieser Art der Ausnutzung sehr unständiger Wasserkräfte erkannt haben. Die Hand in Hand damit mehr aus Betriebsempirie als aus theoretischer Analyse entstandene Durchlaufspeicherung ist noch in der Entwicklung begriffen. Mit der Inbetriebnahme des neuen grossen Werkes Safe Harbor oberhalb Holtwood wird sie zweifellos einen mächtigen Schritt vorwärts machen.

Daß übrigens doch auch in Europa die Erkenntnis der Notwendigkeit, Tagesspeicherung und damit Durchlaufspeicherung an großen Strömen einzurichten, in die Praxis vordringt, scheint die Tatsache zu beweisen, daß der neueste Entwurf des Kraftwerks Klingnau an der Aare ein großes Staubecken anstelle des noch im vorjährigen Entwurf vorgesehenen Seitenkanals vorsieht.

Angesichts der raschen Fortschritte im Ausbau des Oberrheins erscheint die Mahnung angebracht, bei den Planungen die technischen Anforderungen einer früheren oder späteren einheitlichen Durchführung der Durchlaufspeicherung, vor allem annähernde Gleichheit der Ausbaugrade (Verhältnis Vollwassermenge zu MQ) zu berücksichtigen!

*

Anmerkung der Redaktion: Diese Mahnung kommt leider für das im Bau befindliche Kraftwerk Dogern zu spät. Dieses Kraftwerk wird voraussichtlich das einzige Kanalwerk unter den Rheinkraftwerken von Basel bis zum Rheinfall sein. Schon lange vor der Konzessionierung sind die maßgebenden Kreise auf die Bedeutung der Abklärung der Frage des Baues des Kraftwerkes Dogern als Stauwerk statt Kanalwerk aufmerksam gemacht worden. Man hat die Prüfung der Frage versprochen, ob sie geschehen ist, wissen wir nicht. Tatsache ist, daß bei Uebernahme der Konzession durch die R. W. E. diese vor vollendeten Tatsachen standen.

Kraftwerk Piottino.

Die Kraftanlage Piottino der Officine Elettriche Ticinesi S. A. in Bodio, deren Projektierung und Bauleitung von der A. G. Motor-Columbus in Baden durchgeführt worden ist, nützt das Gefälle des Tessinflusses auf einer Strecke von zirka 10 km zwischen Rodi-Fiesso und Lavorgo aus.

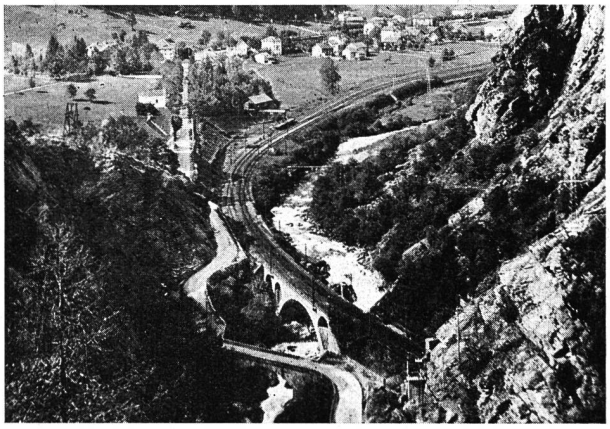

Abb. 2. **Kraftwerk Piottino. Die Sperrstelle vor Beginn der Bauarbeiten.**

Die Bauarbeiten wurden in der zweiten Hälfte des Jahres 1928 in Angriff genommen, und die Anlage ist heute, bis auf die Beendigung der Montage der Maschinen- und Schaltanlage fertiggestellt.

Die ganze Anlage ist für eine maximale Betriebswassermenge von zirka 24 m^3/sek vorgesehen, wodurch sich bei dem verfügbaren Nettogefälle von 300 m an der Turbinenwelle eine

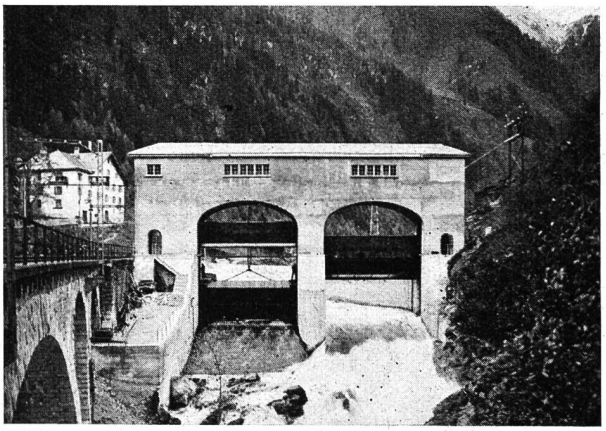

Abb 3. **Kraftwerk Piottino. Stauwehr flußaufwärts gesehen**

maximale Leistung von zirka 85,000 PS erzielen läßt. Vorläufig wurde der Ausbau auf 15 m^3/sek beschränkt und es wurden infolgedessen in der Zentrale zunächst nur zwei von den vorgesehenen drei Turbinen-Generatoren-Gruppen, mit