

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 30 (1939)
Heft: 19

Artikel: Das Wasserbaumodell an der Landesausstellung in der Abteilung Elektrizität
Autor: Brändle, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060879>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXX. Jahrgang

N^o 19

Mittwoch, 13. September 1939

Das Wasserbaummodell an der Landesausstellung in der Abteilung Elektrizität.

Von F. Brändle, Zürich.

061.4(494) : 627.8

Das instruktive Wasserbaummodell in der Abteilung Elektrizität der Schweiz. Landesausstellung wird von einem Mitarbeiter der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH in seinen einzelnen Teilen beschrieben. Das Modell stellt eine abstrakte Landschaft dar, die alle für schweizerischen Wasserbau und Wasserkraftnutzung typischen Merkmale aufweist. Es enthält ein Hochdruck-Saisonspeicherwerk, ein Mitteldruck-Laufwerk und ein Niederdruckwerk. Die Wasserführung der verschiedenen Bäche und Flüsse kann entsprechend den saisonmässig bedingten Aenderungen der Wassermenge reguliert werden; ebenso kann die Geschiebeführung durch spezielle «Beschickungsmaschinen» automatisch eingestellt werden. Das Modell hat eine Grundfläche von 44×20 m; es stellt die Natur im Maßstab 1 : 50 dar. Die Maßstäbe der hydraulisch wichtigen Grössen sind so gewählt, dass alle im Modell zu beobachtenden Vorgänge, z. B. die Geschiebeführung (bei entsprechender Korngrösse), die Verlandungen und Kolkungsvorgänge ein getreues Abbild der Natur geben.

L'instructive maquette hydraulique de la division de l'électricité à l'Exposition Nationale Suisse, construite par le Laboratoire de Recherches Hydrauliques annexé à l'EPF, fait l'objet de la description ci-après émanant de l'un des constructeurs. La maquette représente un paysage abstrait possédant toutes les caractéristiques typiques de notre économie hydraulique. Elle comprend une usine à haute tension à accumulation saisonnière, une usine à moyenne pression au fil de l'eau et une usine à basse pression. Le débit des différents torrents et rivières peut être réglé conformément aux variations saisonnières du régime hydraulique; des machines et dispositifs spéciaux règlent automatiquement le charriage. La maquette, qui mesure 44 sur 20 m, est construite à l'échelle 1 : 50. Les échelles de réduction des principales grandeurs hydrauliques sont choisies de telle façon que tous les phénomènes à démontrer, tels que le charriage (à granulation correspondante), les dépôts de gravier, les affouillements, etc., soient une reproduction fidèle de la nature.

Das von der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH erstellte Wasserbaummodell soll dem Beschauer eine lebendige Uebersicht geben über die Art der Ausnützung unserer Wasserkräfte, die ja den weitaus grössten Teil der elektrischen Energie in unserem Lande liefern. Das Modell stellt in Form eines 44 m langen und 20 m breiten Reliefs eine schweizerische Landschaft dar, mit einem gebirgigen Teil und einem flacheren Mittellandteil (Fig. 1). Im gebirgigen Teil liegt ein Stausee, der durch zwei geschiebeführende Wildbäche gespeist wird, die durch Sperren verbaut sind (Fig. 2). Im flachen Teil ist ein tiefer gelegener Mittellandsee zu sehen, der als Zuflüsse einen Gebirgsfluss mit grossem Gefälle und einen Mittellandfluss mit geringerem Gefälle aufweist. In allen Gewässern fliesst wirkliches Wasser; die Wildbäche und Flüsse führen ausserdem noch Geschiebe mit sich in Form von feinem Kies, so dass alle mit der Geschiebeführung zusammenhängenden Erscheinungen, z. B. Staurationverlandung und Deltabildung in Seen, am Modell ebenfalls zu beobachten sind.

In diese Modellandschaft sind nun die verschiedenen Typen von Kraftwerken, die durch die topographischen und klimatischen Verhältnisse unseres Landes einerseits und durch die Anforderungen des Energiekonsums andererseits bedingt sind, eingebaut und in Betrieb zu sehen. Es sind dies folgende Anlagen:

1. Ein Hochdruckwerk mit Saisonspeicher, bestehend aus dem schon erwähnten Stausee, Druckstollen, Wasserschloss, Druckleitung, Maschinenhaus und Unterwasserkanal. Im Maschinenhaus ist eine laufende Pelton-Turbine zu sehen (Fig. 3). Der Stausee ist durch eine Bogenstaumauer abgeschlossen, zu deren beiden Seiten sich Sicherheitsüberfälle befinden, in Form eines Saugüberfalls und eines gewöhnlichen Ueberfalls zur Vermeidung eines Ueberstaus. Das überschüssige Wasser fliesst durch die alte Talschlucht in den tiefer gelegenen Mittellandsee. Die ganze Hochdruckanlage ist auf der unteren Galerie im Längsschnitt durch Glas hindurch sichtbar (Fig. 4). In der Druckleitung kann die Fortpflanzung der Druckstösse gezeigt werden, die beim raschen Abstellen oder Anlaufenlassen der Turbinen auftreten und die zu einer Ueberbeanspruchung der Druckrohre führen kann. Es geschieht dies durch eine Reihe von elektrischen Kontaktmanometern, die in verschiedenen Punkten der Druckleitung angeschlossen sind und die eine Uebersehreitung bzw. Unterschreitung der normalen Drucke durch Aufleuchten einer roten, bzw. grünen Lampe anzeigen. Im transparent von hinten beleuchteten Wasserschloss und Druckstollen können die dabei auftretenden Massenschwingungen des Wassers sehr schön beobachtet werden. Sie werden durch im Stollen angeordnete rote Fähnchen sichtbar gemacht.

2. Ein *Mitteldruck-Laufwerk*, dessen Wasserfassung sich im obern Teil des Gebirgsflusses befindet, der zu diesem Zwecke durch ein Wehr mit zwei

derung des Geschiebeeintrittes wird bewirkt durch die Erzeugung eines kleinen Ueberstaus unmittelbar an der Wasserfassung, wozu die Geschwindig-

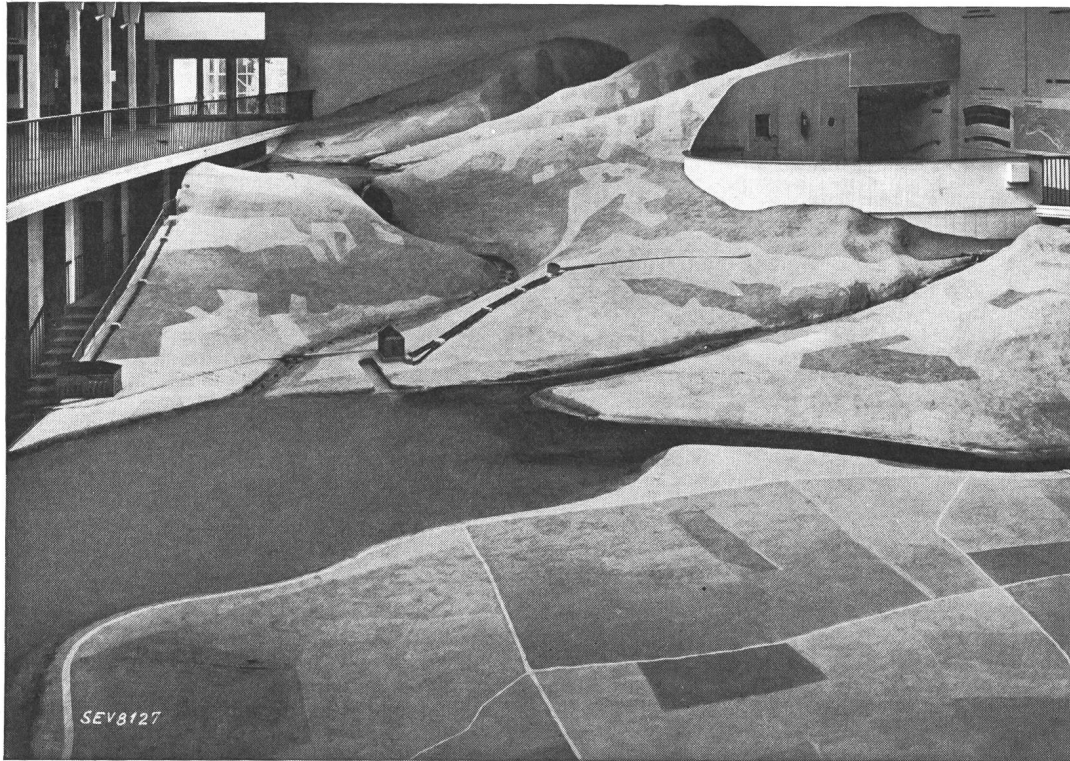


Fig. 1.

Das Wasserbaumodell bergwärts gesehen.

Links: Hochdruckwerk, oben Speichersee. Mitte: Mitteldruckwerk. Vorn: Mittellandsee, an dessen nicht mehr sichtbarem Ausfluss das Niederdruckwerk liegt.

Schützen aufgestaut wird. Der anschliessende Oberwasserkanal ist so angelegt, dass kein Geschiebe in den Oberwasserkanal gelangen kann, obwohl der Gebirgsfluss stark geschiebeführend ist, was bei Hochwasser sehr gut zu beobachten ist. Die Verhin-

keitshöhe des fließenden Wassers verwendet wird. Das Geschiebe reagiert nun auf das so hervorgerufene Quergefälle, das von der Wasserfassung weg gegen den Fluss hin gerichtet ist; es wird abgelenkt, und damit eine Verkiesung der Wasserfassung ver-



Fig. 2.

Speichersee mit zwei Zuflüssen, rechts vorn Staumauer.



Fig. 3.

Maschinenhaus des Hochdruckwerkes.

mieden (Fig. 5). Der Oberwasserkanal führt zu einem Wasserschloss, von dem zwei Druckleitungen zum Maschinenhaus abzweigen. Eine dritte Leitung dient als Entlastungsleitung für überschüssiges Wasser. Der Unterwasserkanal mündet in den grossen Mittellandsee.

3. Ein Niederdruckwerk, das am Abfluss des Mittellandsees gelegen ist und das den Typus eines reinen Flusswerkes darstellt, der beispielsweise am

eine Speichermöglichkeit erhalten wird, die zur Energieerzeugung herangezogen werden kann, wie das ja für verschiedene schweizerische Seeabfluss-

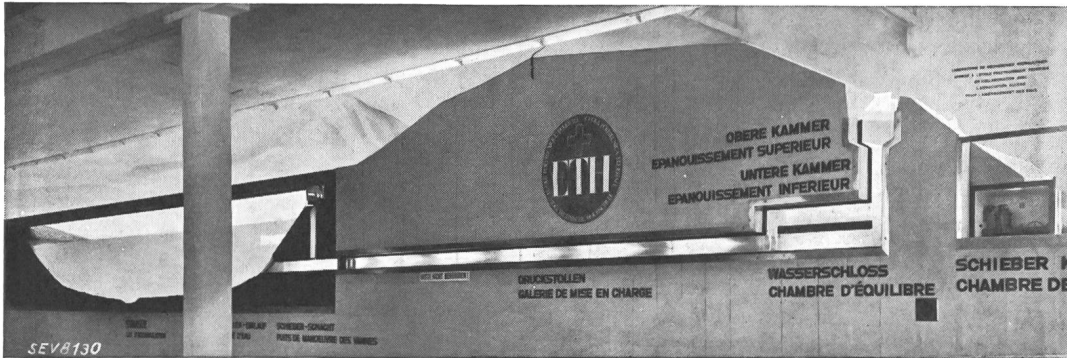


Fig. 4.
Hochdruckanlage
im Schnitt
gesehen.

Rhein unterhalb des Bodensees vorkommt, bestehend aus nebeneinanderliegendem Stauwehr, Maschinenhaus und Schiffschleuse (Fig. 6). Das aus drei Oeffnungen bestehende und mit beweglichen

regulierungen vorgesehen ist. Im Maschinenhaus ist ein ganzes Aggregat, bestehend aus Kaplanturbine und Generator, in Betrieb zu sehen, wobei der ganze Weg des Wassers vom Einlaufrechen über



Fig. 5.
Wasserfassung zum Mitteldruckwerk.

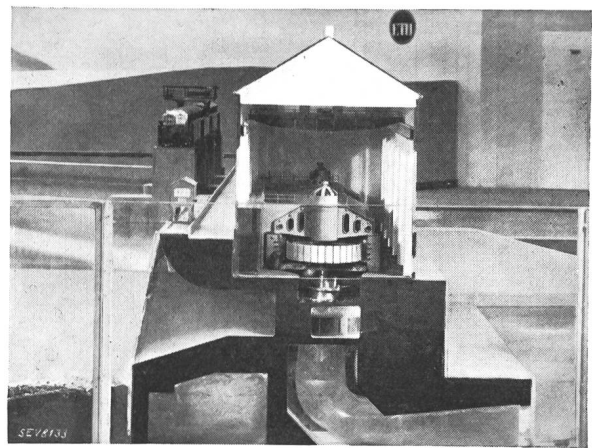


Fig. 7.
Maschinenhaus des Niederdruckwerkes.

Leitapparat, Turbine und Saugkrümmer durch Glas hindurch zu verfolgen ist (Fig. 7).

Die Schiffschleuse ist als umlauflose Kammer-
schleuse mit Hubtoren ausgebildet. Die Füllung



Fig. 6.
Niederdruckwerk; links Schiffschleuse.

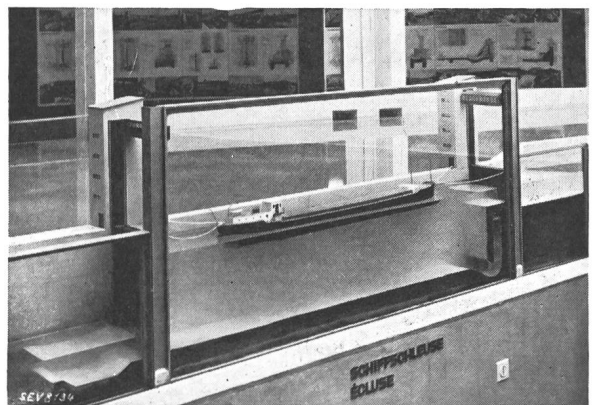


Fig. 8.
Schiffschleuse beim Niederdruckwerk.

Doppelschützen versehene Stauwehr dient zugleich als Abflussregulierung für den Mittellandsee, wodurch innert gewisser Grenzen der Seespiegelstände

und Entleerung der Kammer erfolgt durch leichtes Anheben der Tore und kann im Modell ebenfalls demonstriert werden. Interessant sind dabei die

Einrichtungen, die zur Vernichtung der Energie des in die Kammer einströmenden Wassers dienen, um eine zu starke Kraftwirkung auf das in der Kammer befindliche Schiff zu vermeiden. Das Wasser durchströmt zuerst einen im Längsschnitt saxophonartig ausgebildeten Kanal, wobei die Energie des Wassers durch Wirbelbildung zwischen zwei Rechen vernichtet wird. Diese Einrichtung wurde von der Versuchsanstalt für Wasserbau für die Zwillingsschleusen in Wyneghem am Canal Albert in Belgien durch Modellversuche untersucht. Das in der Kammer befindliche Schiff stellt den Typus eines sogenannten Selbstfahrers dar, der für die zukünftige Schifffahrt auf dem Rhein zwischen Basel und Bodensee vorgesehen ist, also ein Frachtschiff mit eigenem Motorantrieb (Fig. 8).

Das für den Betrieb des Modells verwendete Wasser beschreibt einen Kreislauf. Es gelangt aus einem Hochbehälter zu den einzelnen Zuflüssen. Vom Unterwasser des Niederdruckwerkes fließt das Wasser durch eine Rohrleitung zu einem Tiefbehälter, von wo es durch eine Pumpe wieder zum Hochbehälter hinaufgepumpt wird. Die Dosierung der einzelnen Bäche und Flüsse mit Geschiebe erfolgt durch spezielle Beschickungsmaschinen, die vom Kommandoraum aus gesteuert werden. Die Regulierorgane der Turbinen, die beweglichen Schützen und die Hubtore der Schiffschleuse werden vom Kommandoraum aus elektrisch ferngesteuert. Alle diese Installationen sind natürlich für den Beschauer unsichtbar seitlich und unter dem Modell angeordnet. Mit Hilfe dieser Einrichtungen ist es möglich, dem Besucher in wenigen Minuten verschiedene zeitlich weit auseinanderliegende Phasen eines Jahres bezüglich Wasserführung der Gewässer und Betriebsweise der einzelnen Kraftwerkstypen vor Augen zu führen. So kann also beispielsweise während des Sommerregimes die grosse Wasserführung der Wildbäche und Flüsse gezeigt werden, wobei das Niederdruckwerk und das Mitteldruckwerk voll in Betrieb sind, während das Hochdruckwerk stillgelegt ist, dafür jedoch die Wiederauffüllung des Stausees beobachtet werden kann. Die Betriebsweise der verschiedenen Werke kann ausserdem noch an einem grossen Leuchtschema an der Wand verfolgt werden, indem die Anzahl der momentan laufenden Maschineneinheiten durch verschiedenfarbige Leuchtröhren versinnbildlicht wird (Fig. 9).

Die bei Wehrbauten auftretenden unerwünschten Kolkerscheinungen, die sich infolge der lebendigen Energie des bei Hochwasser über das Wehr niederstürzenden Wassers in einem Angriff auf die Flußsohle unterhalb des Wehrs auswirken, können ebenfalls am Modell beobachtet werden, weil die Sohle der Flüsse aus beweglichem Kies besteht. Um diese Kolkwirkung zu verhindern oder zu vermindern, wird direkt unterhalb des Wehrs ein sogenanntes Tosbecken in Form einer betonierten Wanne angeordnet. In dieser Wanne bildet sich dann eine Wasserwalze mit horizontaler, senkrecht zur Flussrichtung gerichteter Axe aus. Die Rotationsbewe-

gung dieser Walze an der Wasseroberfläche ist flussaufwärts gerichtet, wie das z. B. beim Stauwehr des Niederdruckwerkes zu beobachten ist. In dieser Walze wird die Energie des niederstürzenden Wassers vernichtet, so dass es unterhalb des Tosbeckens ohne überschüssige Energie weiterfließt und infolgedessen die Flußsohle nicht mehr angreifen kann. Die Untersuchung eines Wehrprojektes hinsichtlich Bildung einer solchen Walze und deren Stabilität

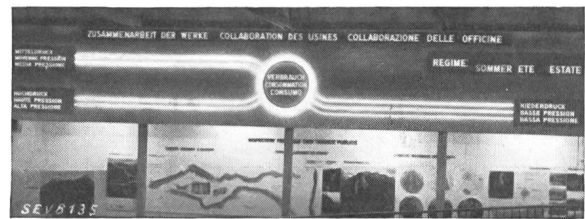


Fig. 9.

Zusammenarbeit der Werke.

Links oben: Mitteldruckwerk. Links unten: Hochdruckwerk. Rechts: Niederdruckwerk. Je nach Jahreszeit, bzw. Wasserführung, arbeiten verschiedene Werke zusammen, was durch Aufleuchten der entsprechenden Aufschriften und Neonröhren, die die Werke darstellen, gezeigt wird. Die Anzahl der leuchtenden Neonröhren gibt die Zahl der in den betreffenden Werken laufenden Maschineneinheiten an.

bei verschiedenen Wasserführungen und Wehrregulierungen kann nur durch einen Modellversuch durchgeführt werden, was beiläufig erwähnt werden soll.

Der Längenmaßstab des Wasserbaumodells ist 1 : 50 der Natur. Nach den aus den physikalischen Grundgesetzen abgeleiteten Gesetzen der Aehnlichkeitsmechanik können alle Erscheinungen der Natur, die mit der Wasserbewegung und der Geschiebeführung zusammenhängen, auch am Modell untersucht werden. Für unseren Fall kommt das Aehnlichkeitsgesetz von Froude in Frage, woraus sich z. B. folgende Maßstäbe ergeben:

Zeiten und Wassergeschwindigkeiten	1:50 ^{1/2} d. h. 1:	7,07
Wassermengen	1:50 ^{5/2} d. h. 1:	17 680
Wasserkräfte	1:50 ³ d. h. 1:	125 000

Einer Wassermenge von 100 m³/s in der Natur entspricht also beispielsweise eine Wassermenge von 65,5 l/s im Modell für den Mittellandfluss. Es möge noch erwähnt werden, dass bei Modellversuchen über Flusskorrekturen im Zusammenhang mit Geschiebeführung, wobei Naturperioden von vielen Jahren untersucht werden müssen, der Zeitmaßstab nach Froude für die Versuchspraxis viel zu gross ist, weil er viel zu lange Versuchszeiten verlangt. Durch die Wahl eines spezifisch leichteren Geschiebes als Kies im Modell kann der Zeitmaßstab ganz wesentlich verkleinert werden. Man verwendet Kohlengriess im Modell, wodurch es für bestimmte Fälle beispielsweise gelingt, den Zeitmaßstab auf 1:365 herabzudrücken, d. h. 1 Jahr in der Natur entspricht 1 Tag im Modell, wodurch dann die Modellversuche praktisch durchführbar werden.