

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 117/118 (1941)  
**Heft:** 14

**Artikel:** Wassermessung in Freistrahlturbinenanlagen  
**Autor:** Gerber, Hans  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-83412>

#### **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:** 21.02.2026

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

INHALT: Wassermessung in Freistrahlturbinenanlagen. — Ausbau der doppelspurigen Hauptlinien und der Elektrifikation der SBB. — Die Luftzählgasmachung der Hinterrhein-Wasserkräfte. — Die Tropen als Arbeitsfeld des Ingenieurs. — Ferien- und Wohnhaus am Aegerisee. — Ferienhaus bei Mammern am Untersee. — Mitteilungen: Aluminium in der Elektrotechnik. Neuerungen im Bau von erdverlegten Dampf- und Heisswasserleitungen. Die neue Signalisierung an den Liniensignalen der SBB.

Die Theissbrücke in Zabala. Ägyptisches Bewässerungspumpwerk als Zeugenschweizerischer Qualitätsarbeit. Aufruf an alle Freunde der Schweiz. Luftfahrt. Blindflug-Schulung. Schweizer Mustermesse 1941 Jubiläums- und Rekordmesse. Eidg. Techn. Hochschule. Zum Verdunkelungsproblem. Elektr. Heizung für behelfsmässige Luftschutzräume. Rangiergerät mit seitlich ausschwenkbarer Zug- und Stoßvorrichtung. — Nekrolog: Max Haefeli. Otto Keller. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

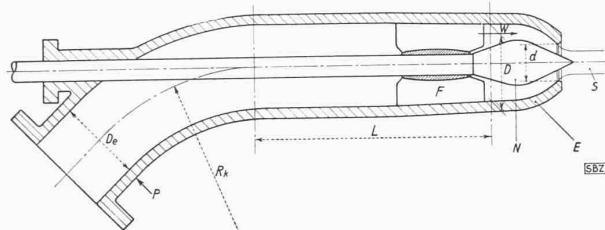


Abb. 1. Schematische Skizze des Einlaufkrümmers einer Freistrahlturbine

Legende: S Strahl, E Einlaufdüse, N Nadel, F Führungskreuz, L gerade Strecke, R<sub>k</sub> Krümmungsradius, D<sub>e</sub> Einlaufdurchmesser, P Druckmessquerschnitt, d Düsenöffnung

## Wassermessung in Freistrahlturbinenanlagen

Von Obering. HANS GERBER, Escher Wyss-Maschinenfabriken AG., Zürich

Die Wassermessnormen des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins aus dem Jahre 1924<sup>1)</sup> geben als die gebräuchlichsten Methoden die Messung mit Behälter, mit Ueberfall oder mit Flügeln an. Der vorschriftsgemässen Anwendung der einen oder andern dieser Methoden treten jedoch in der Praxis häufig Schwierigkeiten der verschiedensten Art entgegen.

Die Möglichkeit, bei Abnahmever suchen an Turbinen Behältermessungen durchzuführen, ist so selten vorhanden, dass sie in diesem Zusammenhang gar nicht betrachtet werden soll.

Da das Wasser in Hochdruckanlagen den Turbinen ausnahmslos mit mehr oder weniger langen Rohrleitungen zugeführt wird, ist eine Messung mit Ueberfall gewöhnlich nur im Unterwasser durchführbar. Hierbei kann erfahrungsgemäss den für die zuverlässigen Ueberfallformeln gültigen Vorschriften bezüglich Abmessungen und Strömungsverhältnissen des Unterwasserkanals selten voll entsprochen werden. Dadurch tritt aber, verbunden mit der starken Turbulenz und dem meist hohen Gehalt des Wassers an Luftblasen nach der Turbine, eine Unsicherheit über die Genauigkeit der Messung in Erscheinung, die sich oft nur schwer mit der für die Versuche vereinbarten Messtoleranz in Uebereinstimmung bringen lässt.

Grössere Wassermengen können mit Flügeln gemessen werden, aber auch hier müssen zur Erzielung der gewünschten Genauigkeit gewisse Minimalbedingungen bezüglich des Messquerschnitts erfüllt sein; ähnlich wie beim Ueberfall sind Turbulenz und Luftgehalt des Wassers zu berücksichtigen. Messungen im geraden Teil einer genügend grossen Rohrleitung sind zwar genau, verlangen aber kostspielige Vorbereitungen oder längere Betriebsunterbrüche<sup>2)</sup>.

Auch die in vielen Hochdruckanlagen zum Zweck der Betriebskontrolle eingebauten Venturimeter müssen für Abnahmever suchen an Turbinen abgelehnt werden, da sie erfahrungsgemäss selten den notwendigen Genauigkeitsgrad aufweisen, vor allem nicht bei Teillasten. Der Einbau von genormten Düsen und Blenden ist meistens umständlich, wenn nicht gar unmöglich, und bringt unter Umständen auch einen Druckverlust mit sich, der das Nettogefälle der Turbine in unzulässiger Weise ändert.

Es besteht nun aber eine Möglichkeit zur zuverlässigen Messung des Wassers in Freistrahlturbinenanlagen, die überhaupt keine wesentliche Vorbereitung erheischt, bis heute aber selten als vollwertig anerkannt worden ist. Es handelt sich um die Verwendung der Einlaufdüse der Turbine selbst als Messorgan.

Die meisten Turbinenbaufirmen haben die Einläufe von Freistrahlturbinen auf Grund von Laboratoriumsuntersuchungen und praktischen Erfahrungen wohl seit Jahren schon weitgehend normalisiert. Abb. 1 zeigt einen solchen Freistrahlturbineneinlauf im Längsschnitt; die normalen Verhältniszahlen z. B. von d, D<sub>e</sub>, L und R<sub>k</sub>, d. h. der Hauptdimensionen, sind für verschiedene Einläufe meistens nur unwesentlich voneinander verschieden.

<sup>1)</sup> S. I. A. 1924, Nr. 109: Normen für Wassermessungen bei Durchführung von Abnahmever suchen an Wasserkraftmaschinen.

<sup>2)</sup> Vgl. H. Dufour: «Flügelmessungen in Rohrleitungen» in Bd. 84, S. 39\* (1924); J. Laline und K. H. Grossmann: «Staukugelmessung in Rohrleitungen» in Bd. 105, S. 83\* (1935).

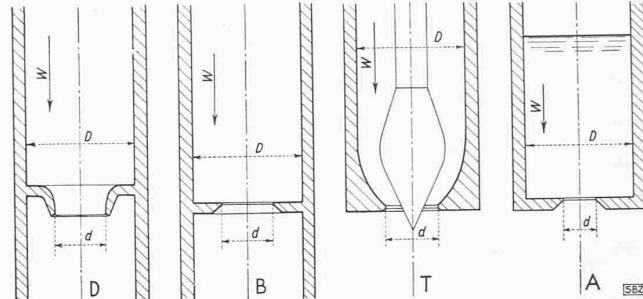


Abb. 2. Vergleich verschiedener Durchfluss- und Ausflussöffnungen  
D Normdüse, B Normblende, T Freistrahldüse, A Bodenöffnung

Vergleicht man die eigentliche Einlaufdüse (nach dem Führungskreuz) mit den genormten Düsen und Blenden, so ist ersichtlich, dass es sich hier, abgesehen von der Nadel im Zentrum der Strömung, im Grunde genommen um etwas ähnliches handelt. In Abb. 2 ist der Vergleich mit schematischen Skizzen durchgeführt. Zwei wesentliche Unterschiede gegenüber Düsen und Blenden sind allerdings festzuhalten:

a) Bei der Turbinendüse erfolgt der Ausfluss stets ins Freie, d. h. in Luft mit Atmosphärendruck. In dieser Beziehung entspricht es einem Ausfluss durch eine scharfkantige Bodenöffnung aus einem Gefäß, entsprechend der Skizze A in Abb. 2.

b) Bei Normdüsen und Blenden ermöglicht ein konstanter Messquerschnitt mit veränderlichem Differenzdruck die Messung verschiedener Wassermengen, während bei der Turbinendüse mit praktisch konstantem Druck und veränderlichem Messquerschnitt gearbeitet wird.

Diese letztgenannte Tatsache erscheint uns jedoch als klarer Vorteil der Turbinendüse. Denn wenn schon bei «Vollast» der Differenzdruck bei den Drosselgeräten meistens nur etwa 500 bis 800 mm Hg beträgt, sinkt er z. B. bei Halblast bereits auf  $\frac{1}{4}$  dieses Wertes, d. h. die Druckmessung wird bald ungenau. Kleine Abweichungen in der Messung eines Turbinengefäßes von mehreren hundert Metern sind dagegen prozentual von weit geringer Einfluss. Die Bestimmung des Nadelhubes als Mass für die Düsenöffnung kann mit jeder nur wünschenswerten Genauigkeit vorgenommen werden, ohne dass hierzu besondere, ausserordentliche Vorbereitungen notwendig wären.

Die durch eine Turbinendüse fließende Wassermenge wird meistens, auf 1 m Gefälle und 1 m Austrittsdurchmesser reduziert, dargestellt durch den Ausdruck:

$$Q_{11} = \frac{Q}{d^2 \sqrt{H}}$$

Der charakteristische Verlauf dieser spezifischen Wassermenge in Funktion des Nadelhubes geht aus Abb. 3 hervor. Der normale Vollasthub (100%) entspricht einem bestimmten konstanten Prozentsatz des Austrittsdurchmessers d der Düse.

Aus den VDI-Normen für Düsen und Blenden<sup>3)</sup> geht hervor, dass für jedes Oeffnungsverhältnis  $m = \frac{f}{F} = \frac{d^2}{D^2}$  der Durchflusskoeffizient  $\alpha$  erst über einem bestimmten Wert der gewählten Reynolds'schen Zahl konstant wird. Diese Zahl wird für Düsen und Blenden wie folgt definiert:

$$R_D = \frac{D w}{v}$$

<sup>3)</sup> Regeln für die Durchflussmessung mit genormten Düsen und Blenden; Berlin 1932, VDI-Verlag.

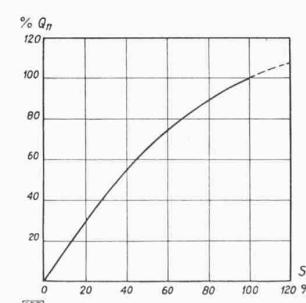


Abb. 3. Charakterist. Verlauf der Q-Kurve einer Freistrahlturbinendüse in Funktion des Nadelhubes  
Abszisse: Hub S<sub>0</sub> in % von S<sub>0,normal</sub>. Ordinate: Wassermenge Q<sub>11</sub> in % von Q<sub>11,normal</sub>

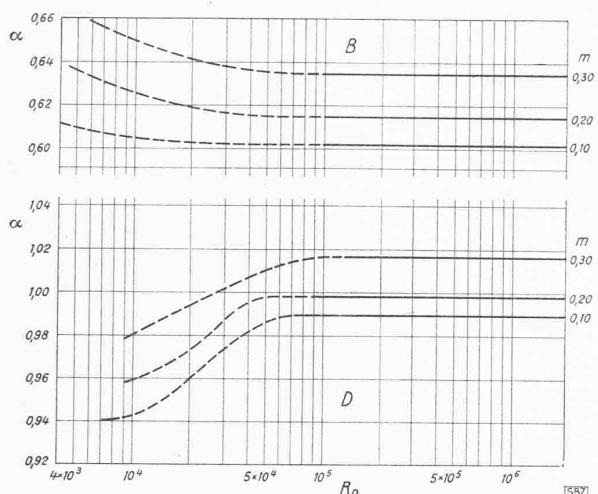


Abb. 4. Verlauf der Durchflusskoeffizienten  $\alpha$  bei verschiedenen Öffnungsverhältnissen  $m$  in Funktion der Reynolds'schen Zahl. B Normblenden, D Normdüsen

Den allgemeinen Verlauf der Durchflusskoeffizienten bei Düsen und Blenden in Funktion dieser Reynolds'schen Zahl zeigt Abb. 4.

Das Öffnungsverhältnis  $m$  liegt für Freistrahlturbinen bei normaler Öffnung der Nadel etwa in folgenden Grenzen:

$$0,10 < m < 0,25$$

Für diese Öffnungsverhältnisse geben die VDI-Normen die folgenden Minimalwerte der Reynolds'schen Zahl für konstante Durchflusskoeffizienten  $\alpha$ :

$$\begin{aligned} \text{Düse } R_D &> 8 - 10 \cdot 10^4 \\ \text{Blende } R_D &> 6 - 9 \cdot 10^4 \end{aligned}$$

Wie steht es in dieser Beziehung mit der Einlaufdüse von Freistrahlturbinen? Legt man der Betrachtung etwa eine Düse zu Grunde, wie sie im Laboratorium von Escher Wyss für Modellversuche gewöhnlich verwendet wird, so ergeben sich folgende Verhältnisse:

$$\begin{aligned} \text{Gefälle } H &= 40 \text{ m} \\ \text{Wassermenge } Q &= 100 \text{ l/s} \\ \text{Einlaufdurchmesser } D &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Diesen Daten entspricht eine Reynolds'sche Zahl von

$$R_D = \sim 5 \cdot 10^5$$

Nimmt man an, dass bei der Freistrahlturbinendüse mit ähnlichen Verhältnissen gerechnet werden darf, wie bei Normdüsen und Blenden, so könnte daraus geschlossen werden, dass in allen praktischen Fällen bei prozentual gleichem Nadelhub ein konstanter Durchflusskoeffizient zu erwarten ist. Die Praxis hat nun aber gezeigt, dass dies nicht der Fall ist.

Trägt man nämlich die durch zuverlässige Messungen bestimmten spezifischen Wasserdurchlässe in Abhängigkeit von der Reynolds'schen Zahl auf, als Prozentsatz des Wasserdurchlasses der entsprechenden Laboratoriumsdüse, so ergibt sich für die der Betrachtung zu Grunde gelegte Düsenform, wie Abb. 5 zeigt, eine grosse Streuung der Versuchspunkte. Irgend eine Tendenz ist nicht ersichtlich. Da alle Messpunkte einer Reynolds'schen Zahl von  $0,5 \cdot 10^6$  und mehr entsprechen, sollte bei sonst gleichen Verhältnissen der Prozentsatz für  $Q_{11}$  konstant sein.

Die eingezeichneten Messpunkte beruhen auf Wassermessungen mit folgenden Methoden: Behälter; Ueberfall mit Formel von Rehbock und S. I. A.; Ueberfall mit Flügeleichung; direkte Flügelmessung. Die mit den vorstehenden Wassermengen anlässlich der Versuche berechneten Wirkungsgrade der grossen Turbinen entsprachen in allen Fällen den auf Grund von Modellversuchen erwarteten Werten; die Streuungen waren gering, sodass die für die vorliegende Betrachtung ausgewählten Wassermessungen als zuverlässig anzusprechen sind.

Wie der Vergleich der Abb. 4 und 5 zeigt, liegen die betrachteten Messpunkte alle über der Toleranzgrenze für Düsen und Blenden. In Abb. 6 sind die Durchflusszahlen von Düsen und Blenden oberhalb der Toleranzgrenze in Funktion des Öffnungsverhältnisses aufgetragen. Im untersten Teil dieser Abbildung sind in gleicher Weise die prozentualen Wasserdurchlässe der gemessenen Turbinendüsen bei dem entsprechenden Öffnungsverhältnis angegeben. Im Gegensatz zu den Normdüsen und Blenden kann auch in dieser Darstellungsart keine klare Tendenz des Verlaufes des Wasserdurchlasses festgestellt werden.

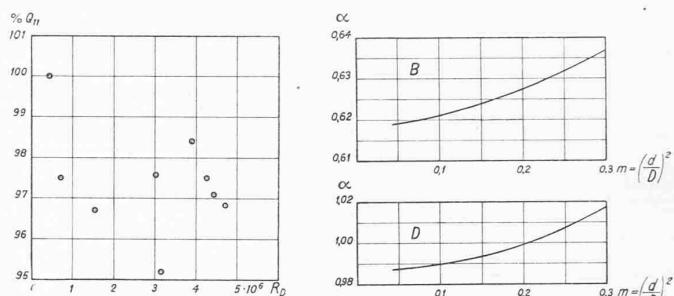


Abb. 5. Spez. Wasserdurchlass bei der Turbinendüse bei verschied. Reynolds'schen Zahlen

Abb. 6 (rechts). Durchflusskoeffizienten  $\alpha$  (oberhalb der Toleranzgrenze) und spezifischer Wasserdurchlass  $Q_{11}$  in Funktion des Öffnungsverhältnisses  $m$ . B Blenden, D Düsen, F Freistrahlturbinendüsen

SBZ

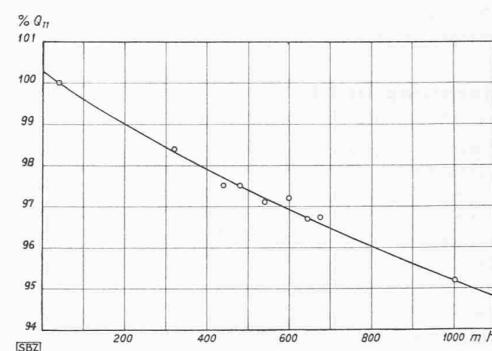


Abb. 7. Verlauf des spezifischen Wasserdurchlasses der Freistrahlturbinendüse in Abhängigkeit vom Gefälle bei konstanter Nadelöffnung

Die Verhältnisse werden sofort grundlegend anders und eindeutig, wenn für einen bestimmten konstanten Nadelhub der spezifische Wasserdurchlass in Funktion des bei der Messung vorhandenen effektiven Turbinengefälles aufgetragen wird. Die Streuung der Messpunkte wird, wie Abb. 7 zeigt, gering. Dass demnach ein eindeutiger Einfluss des Gefälles vorhanden sein muss, zeigen schon die folgenden einfachen Überlegungen:

a) Wendet man die unter 40 m Gefälle bestimmte Laboratoriums-Eichkurve auf die Turbinenanlage unter 1000 m Gefälle an, so ergeben sich Wirkungsgrade, die weit unter den auf Grund von Modellversuchen zu erwartenden Werten liegen.

b) Umgekehrt handelt es sich z. B. bei dem Versuchspunkt von 440 m Gefälle um eine Behältermessung, bei der die totalen Fehlermöglichkeiten innerhalb  $0,1\%$  liegen. Die so bestimmte Düseneichkurve würde, auf die Modellturbine angewandt, zu unwahrscheinlich hohen Wirkungsgraden führen.

Entsprechende Betrachtungen lassen sich auch für die anderen Messpunkte anstellen.

Der Vollständigkeit halber ist es noch interessant, auf eine Angabe hinzuweisen, die im Buche von Weyrauch-Strobel<sup>4)</sup> bei der Betrachtung des Ausflusses aus kleinen Bodenöffnungen gemacht wird: «Bei der Besprechung des Ausfluss-Beiwertes  $\mu$  sind u. a. folgende Umstände zu berücksichtigen: ... 2. die Druckhöhe  $h$ ; der Wert  $\mu$  nimmt zu mit wachsendem  $h$ .»

Dieser Hinweis, dessen Herkunft oder Begründung nirgends angegeben wird, nimmt einen Gefällseinfluss an, der unseren, in den vorstehenden Ausführungen gemachten Beobachtungen gerade widerspricht.

Zur Begründung des vorstehend beschriebenen und belegten klaren Einflusses des Gefälles auf den spezifischen Wasserdurchlass der Freistrahlturbinendüse lassen sich verschiedene Überlegungen und Vermutungen anstellen. Es ist bis jetzt jedoch noch nicht möglich, eine eindeutige Erklärung darüber abzugeben, ob es sich bei der festgestellten Erscheinung um Kavitations-Einflüsse oder andere handelt; entsprechende Versuche sind im Laboratorium von Escher Wyss jedoch im Gange. Wie uns bekannt ist, werden gleichzeitig auch im hydraulischen

<sup>4)</sup> Weyrauch-Strobel: «Hydraulisches Rechnen». 6. Aufl. 1930, § 24, S. 177 unten.

Laboratorium der E.T.H. unter Leitung von Prof. R. Dubs Versuche zur Abklärung dieser Frage durchgeführt.

Ob die festgestellte Erscheinung durch die eine oder andere Ursache hervorgerufen wird, oder gar durch eine Vermischung beider, werden die Versuchsergebnisse zeigen. Das vorläufige Fehlen dieser Erkenntnis, so wertvoll sie auch sein wird, bildet jedoch kein Hindernis, heute schon Wassermessungen mit Hilfe der Turbinendüse selbst durchzuführen, da der Korrekturfaktor für die betrachtete Düsenform in weitem Gefäßbereich zahlenmäßig bekannt ist. Es unterliegt keinem Zweifel, dass mit dieser Methode ohne Einbisse an Messgenauigkeit in vielen Fällen erheblich an Versuchskosten gespart werden könnte, die oft in keinem Verhältnis zur Wichtigkeit der Anlage stehen.

## Ausbau der doppelspurigen Hauptlinien und der Elektrifikation der SBB

Im Rahmen der «Coûte que coûte»-Arbeitsbeschaffung hat die Generaldirektion der SBB ein Programm aufgestellt, das in erster Linie die Erhöhung der Leistungsfähigkeit unserer Staatsbahn im Wettbewerb gegen die Umfahrung der Schweiz durch ausländische Bahnen dienen soll. Dazu ist vorgesehen die *Vermehrung der zweispurigen Linien*, die heute mit einer Länge von 1098 km einen Anteil von 39% der selbstbetriebenen eigenen Linien von total 2829 km (ohne schmalspurige Brünigbahn) haben. Mit diesem prozentualen Verhältnis ist die Schweiz gegenüber dem Ausland stark im Nachteil, da in Deutschland 43%, in Frankreich 50%, in Belgien 59% und bei der englischen Südbahn sogar 74% der Linien zwei- und mehrspurig ausgebaut sind.

Die seinerzeit von den Privatbahnen an die SBB übergegangenen Doppelspuren (ohne das seither abgebrochene zweite Gleise der alten Hauensteinlinie) hatten eine Länge von 515 km, zu denen die SBB weitere 582 km mit einem Kostenaufwand von 222 Mio Franken ausbauten, doch ohne damit weder in der Nord-Süd- noch der West-Ost-Richtung lückenlose zweigleisige Hauptverbindungen zu schaffen. Diese Lücken haben eine Totallänge von rd. 416 km und ihr Ausbau auf Doppelspur würde bei den heutigen mittleren Ausbaukosten von 600 000 Fr./km einen Kostenaufwand von rd. 250 Mio Franken bedeuten. Da aber für das Budget der SBB nur jährliche Beiträge von rd. 6 Mio Fr. tragbar sind, ist die erwähnte Ausbauaktion in nützlicher Frist nur mit entsprechender Staatshilfe möglich. Um auch diese in mässigen Grenzen zu halten, ist der Ausbau in zwei, den Bedürfnissen angepassten Teilprogrammen vorgesehen.

Das *erste Teilprogramm* umfasst: im Kreis I der SBB die Fertigstellung der Doppelspur Yverdon-Biel und Delsberg-Moutier; im Kreis II die Beendigung der Doppelspurlücken der Gotthardlinie von Arth-Goldau bis Chiasso und die Teilstücke Rapperswil-Lenzburg und Immensee-Rothkreuz als Güterzugzufahrten zum Gotthard, ferner die Ergänzung Solothurn-Oensingen als Teilstück der schon im Kreis I erwähnten West-Ost-Verbindung längs dem Jurafuss; im Kreis III den Abschluss des Ausbaus der Strecke Winterthur-St. Margrethen mit den Strecken W'thur-Räterschen und St. Fiden-Rorschach, ferner die Teilstrecken Lachen-Weesen und Unterterzen-Flums. Mit diesem Teilprogramm reduziert sich die vorläufige Neubaulänge auf 141 km mit einem Geldbedarf von rd. 80 Mio Franken. Dieser würde aber sogar bei einer zulässigen Bauzeit von 10 Jahren die genannte jährlich mögliche Beitragsleistung der SBB immer noch überschreiten und daher die Bundesunterstützung nicht ausschliessen. Immerhin ist zu bedenken, dass die Baufristen nicht einseitig intern bestimmt sind, sondern weitgehend von der Regelung unserer wirtschaftspolitischen Probleme<sup>1)</sup> und der Beschaffungsmöglichkeit des Oberbaumaterials abhängig sind.

Das *zweite Teilprogramm* enthält sodann in erster Linie die Doppelspuren Wohlen-Rothkreuz, Solothurn-Oensingen, Weesen-Unterterzen, Sargans-Chur, St. Gallen-Mörschwil und in weiterer Bauetappe die noch verbleibenden Stücke für den lückenlosen zweigleisigen Ausbau aller Hauptverbindungslien und zwar Aesch-Delsberg, Fribourg-Romont, Sion-Granges und Sierre-Visp. Als letzte folgen Münchenbuchsee-Biel, Senniatt-Luzern, Zürich-Tiefenbrunnen-Rapperswil, Thalwil-Baar und Zug-Arth-Goldau.

Bei Programmverschiebungen aus welchen Gründen auch immer, bietet der mit den Doppelspuren verbundene Bau von Unterführungen und Strassenverlegungen, der in der Hauptsache von ausländischen Materiallieferungen unabhängig ist, willkommene produktive Notstandsarbeiten.

Die *Erweiterung der Elektrifikation* ist glücklicherweise, abgesehen von den durch die Doppelspur bedingten Arbeiten, bahntechnisch von geringerer Dringlichkeit, da die SBB von den

eigenen Linien bereits 74% elektrisch und nur noch 26% mit Dampf betreiben, wobei auf die ersten rd. 94% des Gesamtverkehrs entfallen. Zudem ist die Beibehaltung eines Bestandes von Dampflokotomotiven aus militärischen Gründen notwendig und damit die Aufrechterhaltung des Dampfbetriebes auf längeren Strecken, um ein geschultes Personal in genügender Zahl jederzeit verfügbar zu haben. Die Schweiz steht mit der genannten Verhältniszahl elektrisch betriebener Linien an erster Stelle, es folgen Schweden mit 40%, Italien 30%, Holland 15%, Norwegen 10% und Frankreich mit 8%, während die Bahn-Elektrifikation der übrigen europäischen Länder unter 5% liegt. Bis heute hat die Schweiz für ihre Elektrifikation über 800 Mio Franken ausgegeben. In Ausführung steht z. Z. diejenige der 74 km langen Brünigbahn und vorgesehen sind für die nächsten fünf Jahre die Linien Auvernier-Les Verrières, Oerlikon-Wettingen, Winterthur-Schaffhausen, Wil-Wattwil, mit einer Totalbetriebslänge von 186 km und einem Kostenvoranschlag von 8,24 Mio Franken, womit sodann durch 80%ige Elektrifikation allen Anforderungen entsprochen sein wird.

## Die Nutzbarmachung der Hinterrhein-Wasserkräfte

Zur Vermehrung unserer Speicherenergie würden in hervorragender Weise die Hinterrhein-Wasserkräfte beitragen, über die der «Energie-Konsument» in seinem Dezemberheft 1940 allgemein interessierende Mitteilungen macht, denen die nachfolgenden Angaben entnommen sind. Die bezüglichen Studien begannen bereits anfangs unseres Jahrhunderts und wurden in den Jahren 1917/18 durch die Lonza A.G. wieder aufgegriffen und weitergeführt, die sodann 1920 die ihr erteilten ersten Konzessionen an die Rhätischen Werke für Elektrizität in Thusis<sup>1)</sup> übertrug. In Gemeinschaft mit der A.G. Motor-Columbus in Baden wurden im weitern die heute vorliegenden, grosszügigen Projekte<sup>2)</sup> abgeschlossen.

In Betracht kommen die hochalpinen Einzugsgebiete des Hinterrheins und des Averserrheins mit einer Ausdehnung von 550 km<sup>2</sup>, gegenüber nur 131 km<sup>2</sup> der Aare bei Handeck. Obwohl im Hinterrheingebiet die topographischen und geologischen Voraussetzungen für die Anlage mittlerer und kleinerer Staubecken mehrfach gegeben sind, konnte nur durch einen Stausee im Rheinwald mit einer Talsperre bei Splügen (Staukote 1563 m ü. M., grösste Staumauerhöhe 126 m) neben einem vollständigen Jahresausgleich noch ein bedeutender Ueberschuss für Winterenergie erreicht werden. Bei einer Beckenkapazität von 280 Mio m<sup>3</sup> und einem totalen Nettogefälle von rd. 810 m bis zur Albulamündung können daher 480 Mio kWh elektrischer Arbeit aufgespeichert werden, wozu der Stausee allerdings die Umsiedlung einer wenn auch verhältnismässig geringen Zahl von Talbewohnern bedingt. Die Gefällsausnutzung erfolgt in zwei Stufen, Splügen-Andeer mit 579 m Bruttogefälle und Andeer-Sils mit 312 m Bruttogefälle, wobei Averserrhein und Surettabach mit einem 13 km langen Stollen in den Stausee Rheinwald geleitet werden. Ein unteres Staubecken Sufers, Staukote 1404 m, mit 20 Mio m<sup>3</sup> Fassungsraum, ist nur vorgesehen zur Speicherung eigener Zuflüsse, die nach Absenkung des Beckens Rheinwald in dieses mit einer mittleren Förderhöhe von 60 m hochgepumpt werden.

Der Werkausbau ist für eine Benützungsdauer der Spitzenleistung von 4000 h/Jahr vorgesehen, d. h. für das rd. 2,2fache der Winter-Konstantleistung. Die Jahresarbeit nach Vollausbau beträgt abzüglich der Pumpenenergie für die Speicherwasserförderung aus dem Becken Sufers im Winterhalbjahr 633 Mio kWh, im Sommerhalbjahr 465 Mio kWh und somit im Jahresmittel 1098 Mio kWh mit einem mittleren Gestehungspreis von 1,5 bis 2 Rp./kWh ab Werk. Die Kapazität der Stufe Splügen-Andeer ist dabei mit 320 000 PS, der Stufe Andeer-Sils mit 140 000 PS angenommen worden. Die gesamte mittlere hydraulische Energieerzeugungsmöglichkeit der allgemeinen Versorgung der Schweiz (ohne Bahnwerke) betrug nun im hydrographischen Jahr 1938/39 rd. 6210 Mio kWh<sup>2)</sup>, wobei die Sommerenergie mit rd. 3330 Mio kWh die Winterenergie von rd. 2880 Mio kWh um 15,6% übertraf. Durch die Rheinwaldwerke würde die gesamtschweizerische Energieproduktion im Vergleich zum genannten Jahr um mehr als 1/5 erhöht werden. Von besonderer Wichtigkeit ist aber dabei, dass durch die hohe Winterleistung der in Frage stehenden Neswerke die Spanne zwischen Winter- und Sommerleistung auf nur 8% herabgesetzt würde. Die genannten Ziffern, die durch heute in Bau befindliche Hoch- und Niederdruckwerke einige Verschiebungen erleiden, zeigen den wertvollen Einfluss der

<sup>1)</sup> «SBZ» Bd. 80, S. 66 (1922) und Bd. 100, S. 306 (1932). Vgl. auch «Die verfügbaren Wasserkräfte der Schweiz», III. Teil, Rheingebiet, besprochen von Dir. G. Lorenz (Thusis) in Bd. 112, S. 306 (1938).

<sup>2)</sup> Mitteilungen des Eidg. Amtes für Elektrizitätswirtschaft («Energie-Konsument» Nr. 1, 1940).

<sup>1)</sup> Vgl. Produktionspolitik oder Arbeitsbeschaffung. Von Prof. Dr. E. Böhler, E.T.H. Zürich. «SBZ» Bd. 117, S. 49 (1. Febr. 1941).