Bessere Ausnützung von hydraulischen Kraftwerken durch Umbau, Erweiterung und Erneuerung aus der Sicht des Turbinenherstellers

Autor(en): **Mühlemann, Ernst H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **71 (1979)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941428

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Verteilleitung wiegt dank der Verwendung von hochwertigen Feinkornstählen nur die Hälfte, nämlich 607 t. Obwohl leistungsfähige Installationen zur Verfügung standen, waren doch in vielen Fällen, speziell bei der Durchführung schwieriger Transporte, die guten beruflichen Fähigkeiten und die persönliche Einsatzfreudigkeit vieler Mitarbeiter für den erfolgreichen Abschluss der Arbeiten massgebend. Als typisches Beispiel sei das zentimetergenaue Einführen des sperrigen, schweren Hosenrohres in das Apparatehaus erwähnt (Bild 12), das bei den sehr engen Platzverhältnissen nur in ganz bestimmter Schräglage eingeschoben werden konnte.

Leistungswerte der einzelnen Arbeitskategorien

Zur Planung von Umbauarbeiten und zur Aufstellung der massgeblichen Bauprogramme müssen die wichtigsten Leistungswerte der verschiedenen Arbeitskategorien bekannt sein. Da sie von Fall zu Fall leicht verschieden sein können, sollen die in Küblis erreichten Werte bekanntgegeben werden (Tabellen 2 bis 5).

Adresse des Verfassers: Ernst Zurfluh, dipl. Ing. ETH, Oberingenieur, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, NOK, Postfach, 5401 Baden.

Bessere Ausnützung von hydraulischen Kraftwerken durch Umbau, Erweiterung und Erneuerung aus der Sicht des Turbinenherstellers

Dr. Ernst H. Mühlemann[1])

Zusammenfassung

Der Anteil der Verbesserung des Wirkungsgrades und der Schluckfähigkeit der Turbinen zur Erzielung erhöhter Leistung wird aufgrund praktischer Ergebnisse dargestellt. Diagramme geben technische Richtwerte als Beitrag für Wirtschaftlichkeitsrechnungen von Umbauten und Erneuerungen.

Résumé: Une meilleure utilisation d'aménagements hydro-électriques par transformation, par aggrandissement ou par renovation du point de vue du fabricant des turbines hydrauliques.

La part de l'amélioration du rendement et du débit des turbines, afin d'obtenir une puissance majorée, se présente par des résultats pratiques. Des diagrammes indiquent des valeurs techniques approximatifs comme contribution concernant les calculs de rentabilité pour des transformations et des renovations.

Synopsis: Improved utilisation of hydro-electric power plants by reconstruction, by extension, or by reneval described by a manufacturer of hydraulic turbines.

The amount of improvement of the efficiency and the capacity of turbines to obtain a higher output is described by practical results. Diagrams show approximate technical figures as contribution to the feasibility investigations for reconstructions and renovals.

[1]) An der Internationalen Fachtagung über Umbau und Erweiterung von Wasserkraftanlagen unterbreiteter Beitrag zum Thema e/f) Einbau neuer Einheiten. Diese Fachtagung wird vom 28. 2. bis zum 2. 3. 1979 in Zürich von der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETHZ (VAW) und dem Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (SWV) durchgeführt.

1. Bedeutung von Umbauten und Erweiterung bestehender Anlagen

In der Studie Nr. 13 «Ausmass und Bedeutung der noch ungenutzten Schweizer Wasserkräfte», ausgearbeitet durch den Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband für die Schriftreihe der Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption [1], wird gezeigt, dass in der Schweiz durch Umbauten und Erweiterungen bestehender Wasserkraftanlagen das Produktionspotential bei gezielter Förderung um 2,0 TWh/Jahr erhöht werden kann. Dieser Produktionszuwachs entspricht etwa einem Viertel des Produktionsvermögens eines 1000-MW-Kernkraftwerkes.

Bild 1. Maschinensaal des 1904 bis 1906 erbauten Kraftwerks Campocologno der Kraftwerke Brusio AG. 6 Druckleitungen, Durchmesser = 870 mm; 12 Peltonturbinen mit einer Gesamtleistung von rund 34 000 kW, Nettofallhöhe 400 m [1].

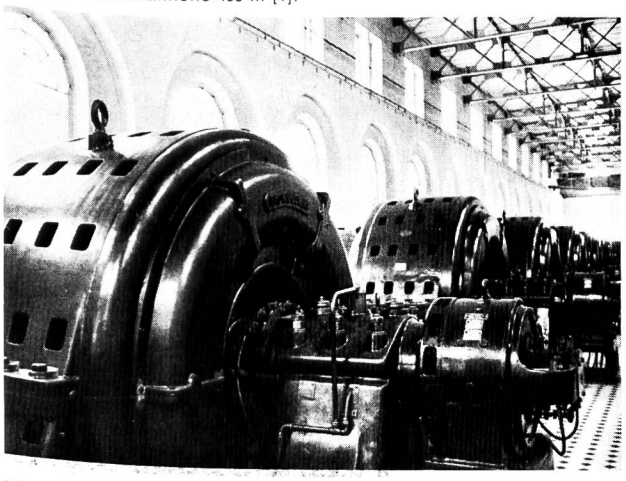

Bild 2. Der neue Maschinensaal des 1969/70 erneuerten Kraftwerks Campocologno. Die mittlere jährliche Erzeugungsmöglichkeit konnte von 112 Mio kWh auf 174 Mio kWh gesteigert werden. 1 Druckleitung, Durchmesser 1800/1700/1600 mm; 2 x 23 950-kW-Francisturbinen; Nettofallhöhe 416 m; nach späterem Aufstau wäre eine Leistung von 2 x 24 800 kW möglich [1].

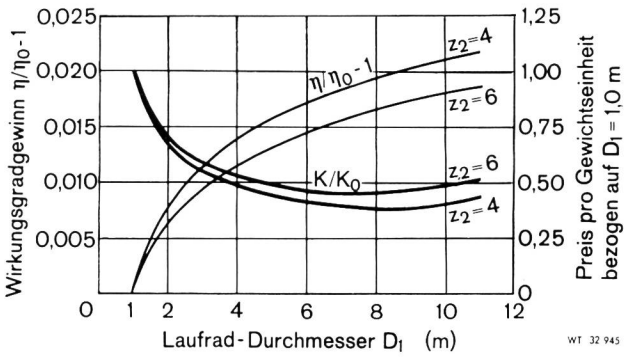

Bild 3. Preis- und Wirkungsgrad-Verhältnisse für Kaplanturbinen bezogen auf den Laufraddurchmesser

η_0 Wirkungsgrad für $D_1 = 1{,}0$ m

η Wirkungsgrad nach der Formel von Hutton aufgewertet

K/K_0 Preis pro Gewichtseinheit bezogen auf $D_1 = 1{,}0$ m

Z_2 Anzahl Laufschaufeln

Die durch Umbauten bestehender Wasserkraftwerke in der Schweiz mögliche Mehrerzeugung beträgt etwa 6 % der mittleren hydraulischen Erzeugungsmöglichkeit von rund 32 TWh/Jahr. Es geht also um die wichtige Erhöhung der Produktion der bedeutenden schon vorhandenen Wasserkraftwerke, die bereits 15 % des gesamten Energieverbrauches in der Schweiz decken.

Bei Umbau und Erweiterung handelt es sich um neue oder teilweise neue Maschinengruppen am alten Ort; ohne Veränderungen der Umwelt können in vielen Fällen Fallhöhe und/oder verarbeitete Wassermenge erhöht werden.

Die Energie der hydraulischen Kraftwerke muss besonders hoch gewertet und somit auch gut ausgenützt werden. Hydraulische Energie ist Sonnenenergie, die sich stets erneuert; sie ist unabhängig vom Ausland und dazu umweltfreundlich. Umbau und Erweiterung von Wasserkraftwerken bedeuten die Anwendung «Sanfter Technologie».

2. *Weitere Gründe für Umbau von Wasserkraftwerken*

2.1. *Sicherheit*

Sicherer Betrieb des Kraftwerkes, d. h. Ausschluss von Gefährdung von Mensch und Material, muss mit wirtschaftlicher Energieerzeugung vereinbar sein. Aus folgenden Gründen kann die Erneuerung von Ausrüstungen hydraulischer Kraftwerke notwendig werden:

— Alte Druckleitungen müssen wegen ungenügender Qualität der Bleche und Blechverbindungen ersetzt werden.

— Neue Profilformen werden bei Leitapparaten und Laufrädern zur Verbesserung des Wirkungsgrades angewendet. Geringere Verluste bedeuten auch Verbesserungen bezüglich Beanspruchungen und Lebensdauer, d. h. zusätzliche Sicherheit.

— Durch neue Laufräder mit besseren Kavitationseigenschaften ergeben sich weniger Reparaturschweissungen, dies erhöht Verfügbarkeit und Sicherheit.

— Einführung von Leitapparaten mit Schliesstendenz im gesamten Betriebsbereich dank geeigneter Leitschaufelprofile.

— Bei Turbinen mit Doppelregulierung ist eine genauere Abstimmung des Zusammenhangs zwischen Leit- und Laufrad möglich, um optimale Wirkungsgrade zu erreichen.

— Die Automatik für Steuerung und Überwachung des Kraftwerkes muss vielfach bei älteren Anlagen aus Sicherheitsgründen erneuert und auch verbessert werden. Es ist nicht zu vergessen, dass in vielen Fällen die sehr wichtigen Sicherheitssysteme gegen Hochwasserschäden nur wirtschaftlich möglich sind durch Gewässerkorrekturen in Kombination von Stauwehren, Ausgleich- und Speicherbecken mit hydraulischen Kraftwerken.

2.2. *Wirtschaftlichkeit*

Es sind vorwiegend Sicherheitsgründe, die bei alten Kraftwerken die ganze oder teilweise Erneuerung oder den Umbau der Anlage erfordern. Normalerweise wird gemäss neuestem Stand der Technik erneuert, so dass neben Erhalten oder Verbessern der Sicherheit gleich auch ein besserer Wirkungsgrad der Anlage erzielt wird. Nachfolgend sind einige Beispiele hierzu angegeben:

Anstelle vieler alter Druckleitungsstränge kleinen Durchmessers werden wenige oder eine Druckleitung grossen Durchmessers gewählt. Dadurch wird der Druckverlust im Druckleitungssystem bedeutend reduziert. Bei unveränderten Grössen von Leitungslänge, Fliessgeschwindigkeit und Rohrreibungskoeffizient ist der Druckverlust $\Delta H \approx 1/\sqrt{n}$ worin n die Anzahl Druckleitungen ist.

Im Zuge derartiger Sanierungen werden oft auch mehrere kleine Turbineneinheiten durch wenige oder eine grosse ersetzt, so dass eine Verteilung wegfällt oder nur eine solche mit wenig Abzweigungen erforderlich ist. Ein entsprechendes Beispiel ist die in den Bildern 1 und 2 gezeigte Erneuerung des Kraftwerkes Campocologno der Kraftwerke Brusio AG.

Bei allen Turbinenarten sind grössere Leistungen der Maschineneinheiten bezüglich Preis und Wirkungsgrad günstiger. In Bild 3 ist diese Abhängigkeit für den Fall der Kaplanturbine dargestellt [2].

Für Francisturbinen und Peltonturbinen ist der Kurvenverlauf ähnlich. Bei allen Turbinenarten ist der Einfluss im Grössenbereich von 1 m bis 4 m Laufraddurchmesser besonders stark, einem Bereich, der besonders bei Umbauten in Betracht kommt.

Neue Erkenntnisse durch Forschung und Entwicklung zeigen folgende Verbesserungsmöglichkeiten des Wirkungsgrades:

— Drosselklappen mit geringerem Druckverlust (sogenannte Doppeldecker-Konstruktion)

— Saugrohrformen mit höherem Wirkungsgrad für Niederdruckturbinen

— Kaplan-Laufräder mit grösserer Schluckfähigkeit bei gutem Wirkungsgrad und verbesserter Kavitationssicherheit

— Durch Wahl von Turbinentypen mit grösserer Drehzahl, d.h. verhältnismässig kleineren und damit preisgünstigeren Maschineneinheiten

— Durch neu entwickelte Art von Turbinentypen, die preisgünstigere, wirtschaftlichere Anlagen ermöglicht [4]

— Durch Wahl einer geeigneten Turbinenart mit erweitertem Bereich guten Wirkungsgrades, z. B. doppelregulierte Axialturbine anstelle von Francis- oder Propellerturbine. Dadurch kann der gemittelte Wirkungsgrad erhöht werden [5].

Die Wirtschaftlichkeit eines bestehenden hydraulischen Kraftwerkes kann aber auch verbessert werden durch Vergrösserung der installierten Leistung. Dies ist möglich durch Erhöhung des Ausbaugrades, indem die Turbinen für einen grösseren Wasserstrom bemessen werden, so dass bei grossem Wasseranfall mehr Leistung und somit auch eine grössere Jahresarbeit erzeugt werden kann. Ein grösserer Wasserdurchfluss kann durch Erneuerung mit Turbinen grösserer Schluckfähigkeit und/oder Erweiterung mit zusätzlichen Einheiten erreicht werden.

Ein Beispiel hierfür ist der Umbau des Rhonekraftwerkes Blondel-Bollène der Electricité de France, EdF. In den

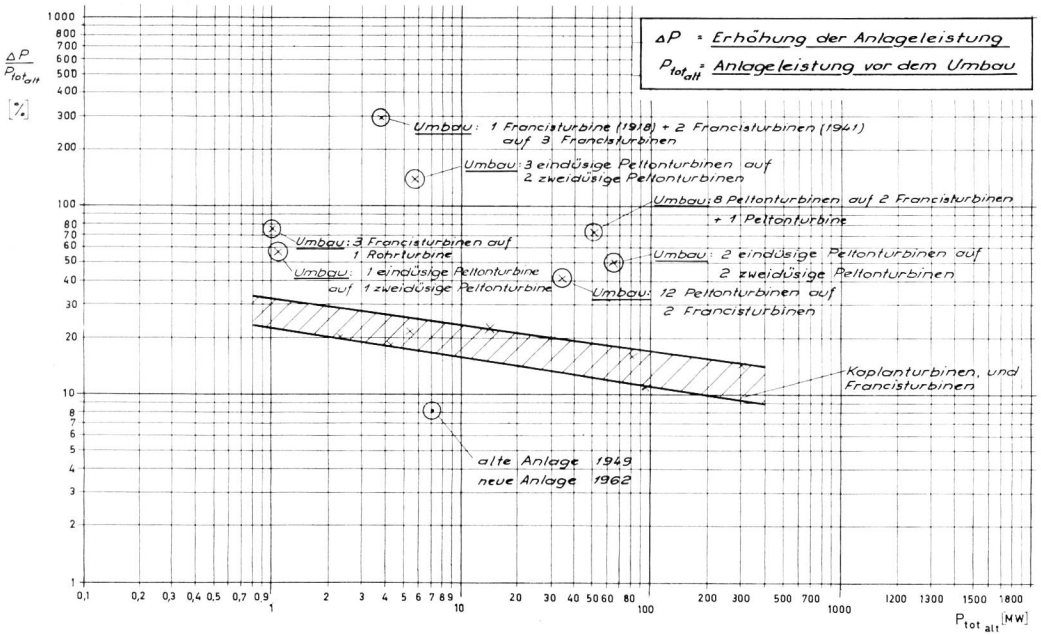

Bild 4

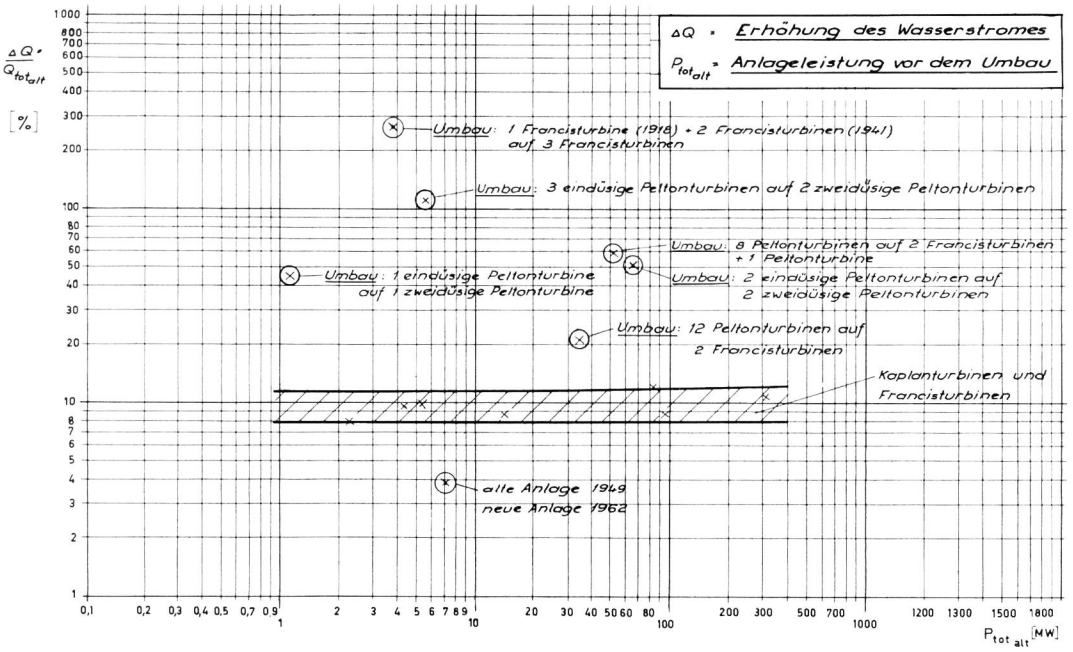

Bild 5

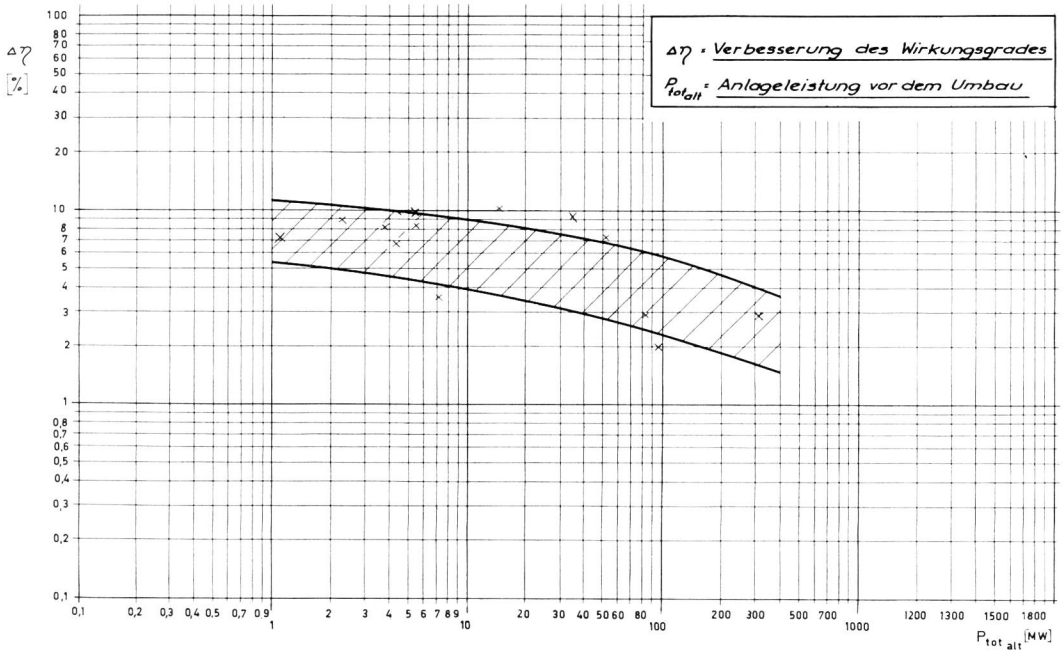

Bild 6

6 Kaplanturbinen, die 1952 bis 1954 in Betrieb kamen, werden die Laufräder erneuert mit schlankeren Naben und 5 statt 6 Laufradschaufeln pro Maschine. Dies ergibt 14 % Leistungserhöhung durch Erhöhung der Schluckfähigkeit und Verbesserung des Wirkungsgrades der Turbinen von ca. 2 Punkten.

Bild 4 zeigt anhand von durch Escher Wyss durchgeführten Umbauten, welche Grössenordnung der Leistungserhöhung zu erwarten ist. Über der Anlageleistung vor dem Umbau ($P_{tot\ alt}$) ist das Verhältnis der Erhöhung der Anlageleistung (ΔP) zur Anlageleistung vor dem Umbau aufgetragen.

In Bild 5 ist das Verhältnis der Erhöhung des Wasserstromes (ΔQ) zum Wasserstrom der Anlage vor dem Umbau ($Q_{tot\ alt}$) über der Anlageleistung vor dem Umbau ($P_{tot\ alt}$) dargestellt.

Diese Diagramme zeigen, dass bei Francis- und Kaplanturbinen durch geeignete geometrische Änderungen und durch Verwendung neuer kavitationssicherer Laufradprofile der Wasserstrom im allgemeinen um etwa 10 % vergrössert werden kann. Bei der Leistung ist wegen der Wirkungsgradverbesserung eine noch stärkere Steigerung möglich. Die in den Diagrammen Bild 4 und 5 einzeln dargestellten Punkte zeigen Umbauten, bei denen die Wassermenge und/oder die Fallhöhe wesentlich erhöht werden konnten. In der Regel werden bei Umbauten Maschinen mit höherer spezifischer Drehzahl verwendet. Bei Peltonturbinen ist dies z. B. mit der Erhöhung der Düsenzahl möglich.

Bild 6 zeigt das Verhältnis der Verbesserung des Wirkungsgrades ($\Delta\eta$) zur Anlageleistung vor dem Umbau ($P_{tot\ alt}$) in Funktion der Anlageleistung vor dem Umbau.

Während bei kleinen Ausbauleistungen bis zu etwa 20 MW Wirkungsgradverbesserungen im Mittel von 5 bis 8 % erreichbar sind, ergeben sich bei grösseren Ausbauleistungen im Mittel 2 bis 5 %, die aber wegen der grösseren Totalleistung um so bedeutender sind.

2.3. Arbeitsbeschaffung

Die Ausnützung der Wasserkräfte durch Umbau und Erweiterung ist auch wichtig für die Arbeitsbeschaffung in den entsprechenden Industrien. Bereits vor 35 Jahren, als die Wasserkraft noch bei weitem nicht so ausgenützt war wie heute, wurde dem «Umbau bestehender alter Wasserkraftanlagen» zur Arbeitsbeschaffung grosse Bedeutung beigemessen [6].

Literatur

[1] Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband: Ausmass und Bedeutung der noch ungenutzten Schweizer Wasserkräfte. Studie Nr. 13, Schriftreihe der Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption, 1977

[2] E. Mühlemann: Grosse Kaplanturbinen. «Escher Wyss Mitteilungen» 1969/1

[3] E. Mühlemann: Turbines, Pumps, Pumpturbines, Valves and Penstocks of recent design as supplied by Escher Wyss for Hydroelectric plants. Congreso Panamericano de Ingenieria Mecanica, Electrica y de Ramas Afines. Bogotá — Agosto 1973, Paper No. 13

[4] K. Höller und H. Miller: Rohrturbinen und Straflo-Turbinen für Niederdruck-Kraftwerke. «Escher Wyss Mitteilungen» 1977/2

[5] W. Nüssli, S. Jacobsen, V. Bohun: Erneuerung alter Wasserkraftwerke. «Wasser, Energie, Luft» 69 (1977), Heft 10, S. 235—243

[6] Schweizerischer Energie-Konsumenten-Verband: Der Beitrag der Elektrizitätswirtschaft zur Arbeitsbeschaffung, Vorträge, gehalten an der Generalversammlung 14. März 1944.

Adresse des Verfassers: Dr. Ernst H. Mühlemann, dipl. Ing. ETH, Direktor, Escher Wyss AG, Postfach, 8023 Zürich.

Stormdalen Hydro Power Plant

Erik Tøndevold[1])

Synopsis

Many diversion tunnels have a large head between intake and outlet. For the diversion purpose alone all this head is only required during short periods when the inflow is large. During the rest of the year extra hydro potential is available, and this will be utilized in the proposed Stormdalen project.

Résumé: Le projet hydro-électrique de Stormdalen

La différence de niveau entre l'amont et l'aval des collecteurs forme une chute considérable dans certaines projets hydro-électriques. Cette différence de niveau est exigée seulement pendant les périodes brèves quand le débit est riche. Hors de ces périodes il existe un potentiel supplémentaire de production d'énergie électrique qui sera utilisé dans le projet proposé de Stormdalen.

Zusammenfassung: Das Wasserkraftprojekt Stormdalen

Bei Zuleitungsstollen ergibt sich meist ein Höhenunterschied zwischen Einlauf und Auslauf, der für die Energienutzung verloren geht. Beim vorgeschlagenen Projekt Stormdalen soll auch dieses Gefälle genutzt werden.

[1]) Paper submitted to the International Symposium on Reconstruction and Extension of Hydro-Electric Power Plants, Subject g) Technical and economic evaluation of reconstruction projects, availability of old plants, design data. This Symposium will take place February 28, to March 2, 1979, in Zurich.

Introduction

The Norwegian river Ranaelva (66—67 ° N. lat.) still has undeveloped hydro potential. The tributaries on the South-East side were included in the Rana project commissioned in 1968. In the main river only the head below el. 43.7 is developed in the Langvatn project commissioned in 1964.

Recently the 4 TWh/year plan for Svartisen/Saltfjellet was submitted by NVE — Statskraftverkene for approval by the authorities. The plan consists of five separate developments, and one of them is Nord-Rana, see figure 1.

Nord-Rana utilizes tributaries on the North-West side of Ranaelva. The rivers Bjøllåga and Tespa is diverted to the river Stormdalsåga where the Stormsjø reservoir is proposed. The head from Stormsjø is utilized in Røvatn power station, and the water flows to Langvatn.

So far Nord-Rana is conventional. The topic of this paper is the new idea to utilize the head in the water diversion to Stormsjø.

Basic concept

Many diversion tunnels have a large head between intake and outlet. For the diversion of water all this head is only required during short periods when the inflow is large. During the rest of the year the water level is far down in the intake shaft. To utilize the head between the intake level and the water level must be considered an extremely favourable development as far as environmental problems are concerned.