Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 79 (1987)
Heft: 9

Artikel: Unterirdische Wasserkraftanlagen
Autor: Schleiss, Anton
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940664

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: 20.02.2026

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

Unterirdische Wasserkraftanlagen

Tagungsbericht aus Oslo von Anton Schleiss

Die norwegische Ingenieurgesellschaft veranstaltete in Zusammenarbeit mit der Technischen Hochschule Trondheim vom 22. bis 26. Juni 1987 in Oslo einen internationalen Kongress zum Thema *«Unterirdische Wasserkraftanlagen»*. Norwegen kann auf eine über 100jährige Erfahrung im Wasserkraftwerkbau zurückblicken. Dort wurden besonders in den vergangenen 40 Jahren vorwiegend unterirdische Kraftwerke gebaut. Dabei hat sich eine eigentliche *Norwegische Bauweise* entwickelt, die in den Tagungsbeiträgen ausführlich vorgestellt und diskutiert wurde. Die Vorträge behandelten folgende Themenkreise:

- Methoden zur Planung, Bemessung und Konstruktion von unterirdischen Wasserkraftanlagen
- Planungs- und Bemessungskriterien
- Druckstollen und Ausbruchsmethoden
- Kavernenzentralen und gepanzerte Druckschächte
- Hydromechanische Ausrüstung und Kontrollsysteme
- Stabilitätsprobleme bei Wasserschlössern und Reglern.

Einige ausgewählte, vor allem die *Norwegische Bauweise* betreffende Tagungsergebnisse sollen im folgenden zusammengefasst werden. Die Norwegische Bauweise ist zudem auch mit einigen Aufnahmen von neueren Wasserkraftanlagen illustriert (Bilder 1 bis 4).

Unverkleidete Druckstollen und Druckschächte

Dank den ausgezeichneten Felsverhältnissen werden in Norwegen seit jeher fast ausschliesslich unverkleidete Druckstollen gebaut. Ab Mitte der sechziger Jahre verzichtete man auch bei vielen Druckschächten auf eine Auskleidung resp. Stahlpanzerung. Im Januar 1987 wurde der mit einer Innendruckhöhe von 965 m bisher höchst beanspruchte, unverkleidete Druckschacht Nyset-Steggie erfolgreich in Betrieb genommen. Die erforderliche Felsüberdeckung dieser unverkleideten Druckschächte bestimmt man meistens mit einer empirischen Faustformel. An der Tagung wurden auch komplexere Berechnungsverfahren vorgestellt, welche die Gebirgsbeanspruchung infolge Innenwasserdruck mit den natürlichen Gebirgsspannungen vergleichen. Diese gewinnen an Bedeutung, falls Druckschächte im geklüfteten, also nicht «dichten» Gebirge unverkleidet belassen werden. Im durchlässigen Gebirge beeinflussen nämlich Sickerströmungen und Kluftdeformationen infolge Innenwasserdrucks die Spannungen im Fels. Ausserdem muss neben der Gebirgstragfähigkeit auch ein Kriterium zur Beschränkung der Wasserverluste und Reichweite der Sickerströmung aus dem Stollen treten. Einige Vorträge gaben zur Anwendbarkeit von unverkleideten Druckschächten bei nicht so ausgezeichneten Felsverhältnissen wie in Norwegen interessante Hinweise.

Druckluftwasserschlösser

Neben guten geologischen Verhältnissen bedingen unverkleidete, hochbeanspruchte Druckschächte tiefliegende Linienführungen. Diese lassen sich bei den topographischen Verhältnissen in Norwegen kaum mit konventionellen Schachtwasserschlössern kombinieren. Deshalb kommen seit 1973 unverkleidete Druckluftwasserschlösser, inzwischen sind es deren 9, zur Anwendung. Die Luftverluste aus 6 dieser unverkleideten Felskammern sind sehr gering, so dass die Kompressoren nur während 2 bis 4 Stunden pro Tag in Betrieb gehen müssen. Bei zwei Druckluftwasserschlössern waren die Luftverluste unmittelbar nach der Inbetriebnahme relativ hoch, ohne aber die Kompressorkapazität zu übersteigen. Beim Kraftwerk Osa konnten die Luftverluste nachträglich mit Felsinjektionen auf ein wirtschaftliches Mass reduziert werden. Dies war beim Kraftwerk Kvilldal nicht möglich. Die Abdichtung konnte aber mit einem künstlichen Wasserschirm in der Umgebung des Wasserschlosses erreicht werden. Dieser Wasserschirm wird über ein Netz von Bohrlöchern mit einer Pumpe ständig unter Druck gehalten, was das Entweichen der Luft verhindert. Das Luftkissen des Druckluftwasserschlosses Tafjord konnte auch nach umfangreichen Felsinjektionen nicht aufgebaut werden. Da es für den Kraftwerksbetrieb nicht unbedingt erforderlich ist, wurde auf weitere Sanierungsmassnahmen verzichtet.

Die ersten mit unverkleideten Druckschächten kombinierten Druckluftwasserschlösser ausserhalb Skandinaviens werden zurzeit in Indien und China geplant.

Unterirdische Seeanstiche

Seit dem ersten unterirdischen Seeanstich im Jahre 1895 wurden bis heute nahezu 600 Fassungen dieser Art in Norwegen erstellt. Dabei wird der Triebwasserstollen bis auf einen stehengelassenen Pfropfen an die unter Wasser liegende Seeflanke vorgetrieben. Der eigentliche Anstich erfolgt mit einer Sprengung dieses Pfropfens, dessen Bestandteile in einem Voraushub (Rock Trap) aufgefangen werden. Der Stollen ist während der Sprengung mit einer Schütze geschlossen, die über einen Vertikalschacht vom

Bild 1. Kraftwerk Sy-Sima (2 Peltonturbinen à 310 MW). Steinschüttdamm Sysen: maximale Höhe 81 m, Schüttvolumen 3,64 Mio m³, Nutzvolumen 400 Mio m³.

Bild 2. Kraftwerk Aurland I (450 MW). Typische Hochwasserentlastung einer norwegischen Talsperre (Speicher Viddalsvatn): seitliche Sammelrinne, betonierter Überfall, Rinne und Ablaufstollen im unverkleideten Fels.

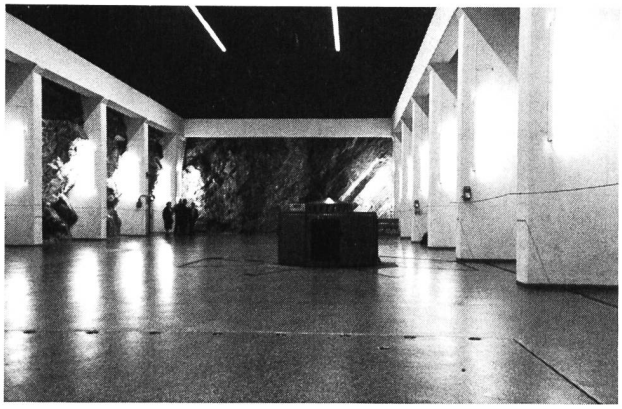


Bild 3. Kraftwerk Orkla. Maschinenkaverne Brattset (2 Peltontubinen à 40MW): unverkleidete Seitenwände der Maschinenhalle, mit Spritzbeton verkleidetes Gewölbe.

Bild 4. Kraftwerk Jostedal (1 Peltonturbine à 275 MW). Ausbruch der Maschinenkaverne (37000 m³). Die Betonträger der Kranbahnen sind nicht abgestützt, sondern nur mit Felsanker gesichert. Die systematische Ankerung der Kavernenwände ist erforderlich, um den gefährlichen Bergschlag zu verhindern (Sprödbruch infolge hoher Sekundärspannungen).

Seeufer aus betätigt werden kann. Der dynamische Druck auf diese Schütze wird entweder durch den Aufschwung des einströmenden Wassers im Schützenschacht (offenes System) oder durch ein unter Druck gehaltenes Luftpolster im Stollen (geschlossenes System) gedämpft. Beide Methoden haben sich in den letzten Jahren von einer auf Erfahrung beruhenden Kunst zu einer Wissenschaft entwickelt. Die heute existierenden mathematischen Modelle erlauben eine gute Vorhersage der dynamischen Beanspruchungen während und nach der Sprengung. Neuerdings werden die Seeanstiche auch im hydraulischen Modell untersucht, um die Einlaufverluste und die Grösse des Voraushubes zu minimieren.

Der bis heute tiefste Seeanstich wurde 116 m unter Seespiegel ausgeführt (Storevatn, 1986); das grösste je gesprengte Pfropfenvolumen beträgt 800 m³ (Hjartøy, 1987).

Permafrost und Gletscher

In Island und Grönland werden neuerdings auch Triebwasserstollen im Permafrost geplant. Thermodynamische Berechnungen erlauben es, diejenige Linienführung zu finden, welche das Gleichgewicht des Permafrostes nicht stört. Es kann auch ermittelt werden, wie lange der Turbinenbetrieb zu einer bestimmten Jahreszeit unterbrochen werden darf, bis das Wasser in der Triebwasserleitung gefriert. In Zonen mit geringer Felsüberdeckung muss die Triebwasserleitung zusätzlich isoliert werden.

Es wurden auch erste Erfahrungen mit einer subglazialen Wasserfassung in Norwegen vorgestellt (Kraftwerk Folgefonna). Ein im Fels gegen die Gletschersohle vorgetriebenes Stollensystem fasst den subglazialen Gletscherabfluss bei einer Eisüberdeckung von 150 bis 200 m. Wegen der starken Geschiebeführung musste nachträglich für die Entleerung des Geschiebefanges ein Spülstollen erstellt werden. Diese subglaziale Fassung ermöglichte zudem den Glaziologen erstmals Messungen und Versuche an der Sohle eines Gletschers durchzuführen.

Umweltprobleme

Die unterirdischen norwegischen Kraftwerke nutzen vorwiegend natürliche oder geringfügig aufgestaute Seen, so dass die Eingliederung der Kraftwerksbauten in die Natur meistens problemlos ist. Wichtig sind hingegen genügend hohe Restwassermengen in den genutzten Flüssen, um im Sommer die Lachswanderung nicht zu behindern. Daneben sollen die Restwassermengen das Erscheinungsbild der touristisch beliebten Wasserfälle erhalten.

Ein Problem stellt in Norwegen der Luft- resp. Sauerstoff eintrag über die Bachfassungen in die Triebwassersysteme dar. Das nach Francisturbinen ins Unterwasser zurückgegebene Triebwasser ist dann mit Sauerstoff übersättigt. Dies führt bei den Fischen, die sich im Bereich der Wasserrückgabe aufhalten, ebenfalls zu einer Sauerstoffübersättigung im Blut. Es sind deshalb schon grössere Fischsterben aufgetreten. Man versucht diesem Problem mit konstruktiven Entlüftungsmassnahmen bei der Fassung und mit einem Ultraschallvorhang im Fassungsschacht zu begegnen. Die Öffentlichkeit reagiert in Norwegen sehr sensibel auf Fischsterben. Gemäss den Aussagen eines Tagungsleiters erregt der Tod eines Lachses durch Sauerstoffübersättigung mehr Aufsehen als der Tod eines Ingenieurs bei den Bauarbeiten eines Kraftwerkes.

Literatur
Underground Hydropower Plants. Proc. of the Int. Conf. on Hydropower in Oslo, Norway, June 1987, Vol 1,2. Tapir Publishers N-7034 Trondheim – NTH.

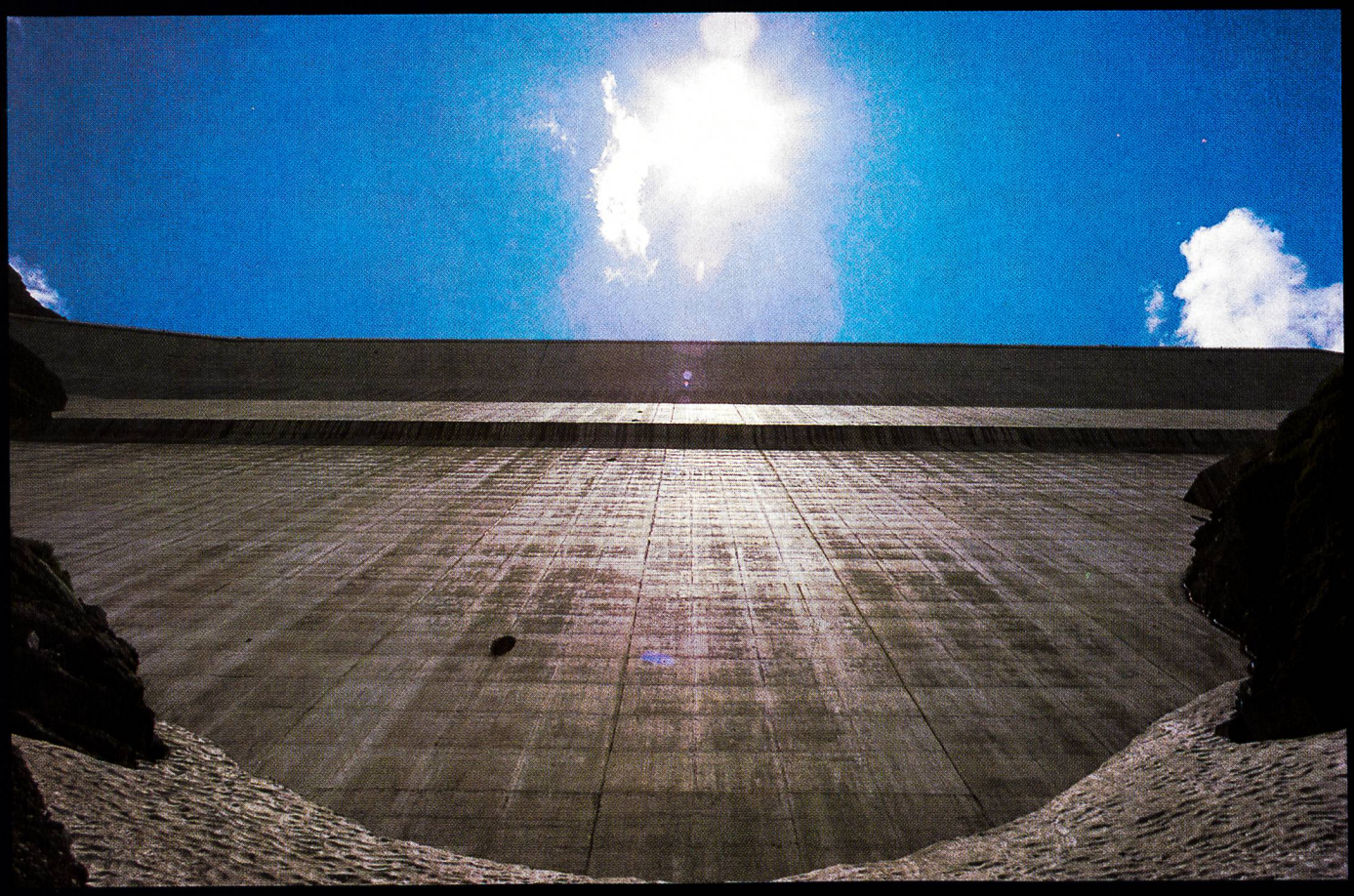
Adresse des Verfassers: *Anton Schleiss*, Dr., dipl. Bauing. ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestrasse 36, CH-8022 Zürich.

Testez notre expérience

dans l'entretien des barrages

Prüfen Sie unsere Erfahrung

im Unterhalt von Staudämmen



Association d'entreprises:
Arbeitsgemeinschaft:

HHH

AG Heinr. Hatt Haller
Bärengasse 25
CH 8022 Zürich
Tél: (01) 211 87 40
Télex: 813 490 hhh ch

FMN

Forces Motrices
Neuchâteloises S.A.
CH 2035 Corcelles/NE
Tél: (038) 30 11 11
Télex: 952959 ensa ch

FEHLMANN

Fehlmann
Grundwasserbauten AG
Monbijoustrasse 16
3001 Bern
Tel: (031) 25 66 11
Telex: 33458 grund ch

ZSCHOKKE

SA Conrad Zschokke
Ch. de Montelly 62
CH 1000 Lausanne 20
Tél: (021) 25 89 62
Télex: 22 809 zok ch