

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 79 (1987)
Heft: 1-2

Artikel: Messanlagen in den Talsperren
Autor: Matthey, François
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940617>

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: 11.02.2026

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

Als Arbeitshilfe für die Beurteilung und allfällige Anpassung bestehender Messeinrichtungen (aber auch für die Auslegung der Messeinrichtung neuer Anlagen) hat eine Arbeitsgruppe des Ausschusses für Talsperrenbeobachtung des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosses Talsperren (in der auch die Oberaufsichtsbehörde mitwirkte) eine einschlägige Dokumentation erarbeitet, die in einem ersten Teil das Konzept, in einem zweiten die (heute verfügbaren) Messanlagen und -methoden und in einem dritten die einzelnen Messgeräte behandelt. Die Teile 1 und 2 sind bereits veröffentlicht¹. Der Teil 3 ist noch in Bearbeitung und dürfte etwa Mitte 1987 verfügbar sein².

Adresse des Verfassers: Dr. Rudolf Biedermann, Beauftragter für die Sicherheit der Talsperren, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Postfach 2743, CH-3001 Bern.

¹ «wasser, energie, luft – eau, énergie, air», Heft 7/8 1986 (Seite 127 in deutscher und Seite 117 in französischer Sprache).

² Zu beziehen beim Schweizerischen Nationalkomitee für Grosses Talsperren, Sekretariat, c/o Ingenieurbüro für bauliche Anlagen, Postfach 6936, 8023 Zürich (auch die Teile 1 und 2).

Einführungsreferat zur Studientagung des Ausschusses für Talsperrenbeobachtung des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosses Talsperren über «Erneuerung und Ergänzung von Messeinrichtungen» vom 26./27. Juni 1986 in Meiringen.

Projektierung der Erneuerung der Messanlagen in den Talsperren der Kraftwerke Oberhasli AG sowie Erfahrungen aus den Arbeiten

François Matthey

Einleitung

Während im Vortrag von *W. Indermaur* [1] die Gründe und Überlegungen, die zur Erneuerung der Messeinrichtungen der KWO-Talsperren führten, dargelegt wurden, sollen hier die praktischen Aspekte solcher Arbeiten wiedergegeben und die aus den Erfahrungen abgeleiteten Regeln erläutert werden, die für die Projektierung ähnlicher Arbeiten angewandt werden sollten.

Die Modernisierung von Messanlagen führt dazu, bestehende Einrichtungen aufzugeben, weiterhin aufrechtzuerhalten, solche zu renovieren oder auch neue Einrichtungen zu installieren. Einzig diese letzten Arbeiten sollen hier diskutiert werden. Zu ihrer Vorbereitung und Ausführung sind folgende Massnahmen nötig:

- Genaue Aufnahme der Örtlichkeiten
- Schaffung von messtechnisch- oder auch arbeitsbedingten Nischen
- Konzipieren von Kragträgern in Stahl zur Befestigung von Ablesestationen für Messeinrichtungen
- Bohrungen

Im Bild 1 sind sämtliche Arbeiten zusammengestellt, die von 1981 bis 1985 ausgeführt wurden. Dieses zeigt das Ausmass der Arbeiten und den grossen Anteil der Bohrarbeiten. Im linken Tabellenteil ist die Zahl der umgebauten oder neu eingerichteten Messstellen angegeben. Im rechten Teil sind die ausgeführten Gesamtlängen der gross- und kleinkalibrigen Bohrungen aufgeführt, die benötigt wurden.

In der Folge der Fünfjahresexpertisen wurden Vorschläge ausgearbeitet, die alsbald zwischen den KWO, dem Experten und der Aufsichtsbehörde des Bundes diskutiert und bereinigt wurden. Daraufhin wurden durch das Büro Stucky für jede Talsperre das Detailprojekt sowie die Ausschreibung der vorgesehenen Arbeiten ausgearbeitet. Die KWO übernahmen die Bauleitung der Arbeiten und führten einen Teil der Arbeiten selbst aus.

In den wichtigsten 5 Talsperren wurden sämtliche Juillard-Pendel umgerüstet, und zusätzliche, neue Lote und Umkehrlote wurden eingerichtet, mit dem Zweck:

- künftig auch bisher nicht überwachte Partien der Sperren zu kontrollieren
- bestehende Pendel *nach unten* ins Felsinnere zu verlängern, um für diese Messung Fixpunkte zu bekommen

- bestehende Pendel *nach oben* bis zur Krone zu verlängern, um dort die geodätische Messung mit den Pendelmessungen sauber zusammenzuschliessen. Künftig kann damit die Stabilität der Fixpunkte periodisch überprüft werden.

Renovation der alten Pendel

Vorerst seien die Gründe, die zur Erneuerung der an und für sich sehr guten, robusten, präzisen und zuverlässigen Juillard-Pendel geführt haben, nochmals aufgeführt:

- Die Messung bedingt die Anwesenheit von zwei gut aufeinander eingespielten Sperrenwärtern. Die Messzeit pro Messstelle ist lang.
- Eine rasche Interpretation der Messablesungen an Ort und Stelle ist praktisch ausgeschlossen.
- Die Auswertung kann nur durch eine Person vorgenommen werden, die das Messsystem perfekt kennt.

Obige Überlegungen führen zur

Regel 1: Pendel müssen unbedingt mit einem Ablesedispositif ausgerüstet sein, das eine direkte, einfache und rasche Auswertung der Ablesung gestattet.

Dank der ausgezeichneten Qualität des verwendeten Materials konnten die Aufhängevorrichtungen, die Drähte und die Spanngewichte in den meisten Fällen beibehalten werden. Verschiedene Teile mussten jedoch in der Werkstatt revidiert werden, da sie nach einer Benützung von 20 bis 30 Jahren durch Oxydierung angegriffen und durch Versinterungen überdeckt waren.

Der angetroffene Zustand des Materials hat uns zur Überzeugung geführt, dass diese Einrichtungen periodisch einer gründlichen Kontrolle unterzogen werden müssen, um Auswirkungen von Oxydierung, Versinterungen und

Bild 1. In den Jahren 1981 bis 1985 an den Stauauern der Kraftwerke Oberhasli AG an Messeinrichtungen ausgeführte Erneuerungsarbeiten.

MESSEINRICHTUNG	STAUMAUER	ANZAHL MESSSTELLEN						Bohrtyp	totale Länge (m)		
		Geimar	Spülkamm	Seiteriegel	Riegelboden	Wetterloch	Totense	Oberbar	TOTAL	Gesamtl.	Laenge (m)
Geodätische Netze	Aussen Pfeiler Polygone	7	13	8	2	2	10	42	-	-	
		18	23	16	17	-	-	31	105	-	
Optische Abolschäfte	Krone	-	-	-	-	-	-	3	3	39 m	
Lote im Beton	Umgerüstet Neu	3	5	1	5	-	-	11	25	-	
		1	1	2	3	-	-	2	9	50 m	
Umkehrlote im Fels	Umgerüstet Neu	-	3	-	-	-	-	-	3	100 m	
		2	-	2	1	-	-	3	8	230 m	
Auftrieb	Zellen Geschlossene Rohre Offene Rohre	-	16	-	17	-	-	16	49	575 m	
		6	-	6	-	-	-	-	12	115 m	
		-	-	-	3	5	-	8	200 m		
Temperatur	Beton Luft - Thermograph	5	-	-	-	-	-	-	5	35 m	
		1	-	-	-	-	-	1	2	-	

Grossen Durchmesser (180 - 250 mm) ~ 420 m

Kleinen Durchmesser (46 - 86 mm) ~ 925 m

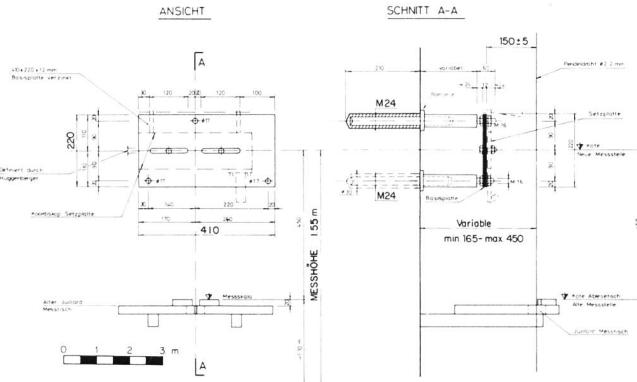


Bild 2. Basisplatte Typ KWO zur Befestigung der Koordiskopsetzplatte «Huggenberger», wie sie für die Pendelumrüstung entwickelt wurde.

mechanischer Abnutzung rechtzeitig verhindern zu können. Diese Forderung könnte wie folgt formuliert werden:

Regel 2: Zusätzlich zum normalen Unterhalt müssen Pendelsysteme alle 5 bis 10 Jahre einer gründlichen und kompletten Zustandskontrolle unterzogen werden.

Während der Umrüstungsarbeiten ist infolge mechanischer Abnutzung eine Aufhängung eines Gegengewichtes von 15 kg der Fernbedienung einer Zwischenzentrierung gerissen. Beim Absturz über 25 m hat dieses den Sperrenwärter nur um wenige Zentimeter verfehlt.

Dieser Vorfall führt zur Formulierung der

Regel 3: Bei der Projektierung einer Neueinrichtung einer Talsperreninstrumentierung muss auch die Sicherheit des Überwachungspersonals gewährleistet werden. Eventuelle Abstürze von Einrichtungsteilen infolge Oxydierung oder mechanischer Abnutzung müssen durch entsprechende Schutzeinrichtungen verhindert werden.

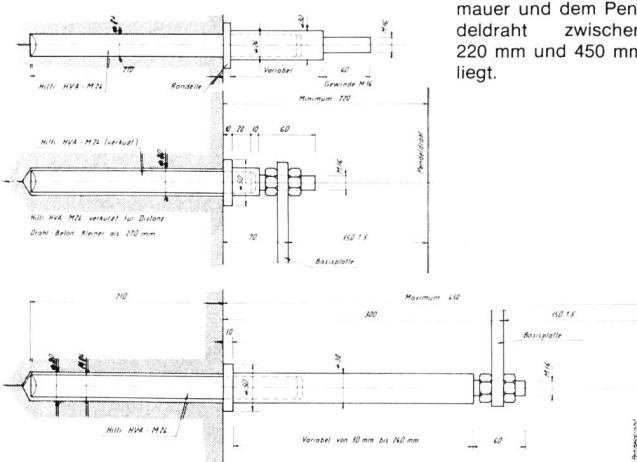
Der Kontinuität der Pendelmessungen ist gebührende Beachtung zu schenken.

Regel 4: Die Kontinuität der Pendelmessung muss auch während der Umrüstung gewährleistet sein; dazu muss a) vor und nach jeder Intervention an einem Pendel die Lage des Pendeldrahtes abgelesen werden

b) in möglichst kurzer Zeit umgerüstet werden.

Für vier der fünf Sperren konnte die Kontinuität dank einer sorgfältigen Planung der Arbeiten aufrechterhalten werden. Bei der Spitalammsperre hingegen war es nicht möglich, die Kontinuität der Messungen aufrechtzuerhalten. Ein

Bild 3. Befestigung Typ B (Hilti HVA-M24) für die Basisplatten zur Pendelumrüstung. Diese Befestigungsart wird angewendet, wenn der Abstand zwischen der Betonmauer und dem Pendeldraht zwischen 220 mm und 450 mm liegt.



Unterbruch der Messungen von 3 Monaten war unumgänglich. Ungefähr ein Jahr nach Inbetriebnahme der neuen Messeinrichtungen soll hier versucht werden, den Anschluss der neuen Messungen an die alten mittels plausibler hypothetischer Verformungslinien sicherzustellen.

Bei Pendelumrüstungen können auch bei genauestem Arbeiten kleinere Fehler und Sprünge in den Messungen (in der Grössenordnung eines Millimeters) nicht immer vermieden werden. Daraus muss der Schluss gezogen werden, dass Pendelsysteme möglichst selten erneuert werden sollten. Daher die

Regel 5: Immer Einrichtungen von bester Qualität auswählen.

Zum Befestigen der Messstellen braucht es regulierbare Dispositiva, die ohne Schwierigkeiten versetzt werden können und die einen genügenden Freiheitsgrad aufweisen, damit die vorgesehene Orientierung eingestellt werden kann. Diese Forderung führt zu

Regel 6: Zum Befestigen der Messstellen sind steife, regulierbare Stahlträger Betonkonsolen vorzuziehen.

Dazu wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Huggenberger die «Basisplatte – Typ KWO» entwickelt, die mit Hilti-Bolzen, Typ HVA-M24, im Beton verankert wird (Bilder 2 und 3). Übersteigt die Distanz zwischen Basisplatte und Betonwand 30 cm oder verläuft die Betonwand schräg gegenüber der Platte der Ablesestelle, werden sehr steife, auf Mass gefertigte Stahlkonsolen mit dem gleichen Befestigungsmaterial im Beton verankert (Bild 4).

Die Ablesestellen in einem gegebenen Mauerquerschnitt müssen alle die genau gleiche Orientierung aufweisen. Diese Richtung wurde jeweils parallel zu den bestehenden Messstellen am Fusse der Pendel gewählt. Die Feinregulierung wurde mit Hilfe eines Kreiseltheoliten bewerkstelligt, der jeweils in der Nähe der Ablesestelle entsprechend dem vorgesehenen Azimut orientiert wurde. Die Basisplatte wurde dann mit Stellmuttern so lange eingeregelt, bis die Distanz zwischen Platte und Visur an beiden Plattenenden gleich war. Die Distanz wurde mit einem Doppelmeter gemessen, was für die benötigte Präzision genügt.

Einrichten neuer Lote in neuen oder bestehenden Talsperren

Bei der Projektierung einer neuen Talsperre wird die Messanlage normalerweise gemäss den an diese zur Zeit des Projektes gestellten Forderungen konzipiert. Man sollte aber dabei weitergehen und auch Dispositionen treffen, die später gestatten, die Anlage ohne grosse Schwierigkeiten zu renovieren. Dazu wird vorgeschlagen, folgende Regeln zu beachten:

Regel 7: Die Talsperre soll mit gut dimensionierten Zugängen versehen werden.

In der Sperre sollen etwa alle 20 bis 25 m horizontale Kontrollgänge vorgesehen werden; ihr Querschnitt soll ein vernünftiges Arbeiten mit Bohrmaschinen gestatten.

Pendelschächte sollen einen Durchmesser von rund 1 m aufweisen.

Messgeräte sollen in gut zugänglichen Nischen beziehungsweise Gängen angebracht werden.

Ablesestellen sind gut zu beleuchten.

Bei der Neuinstrumentierung einer bestehenden Sperre müssen zahlreiche Einschränkungen in Kauf genommen werden, die oft den Forderungen von neuen Messeinrichtungen entgegenstehen. Es ist daher notwendig, bei der Planung die Örtlichkeiten, wo ein Lot installiert werden soll,

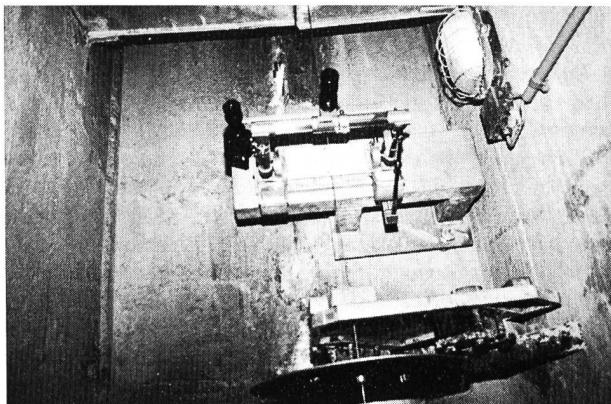


Bild 4. Eine sehr steife, nach Mass gefertigte Stahlkonsole, die mit Hilti-Bolzen, Typ HVA-M24, im Beton verankert wurde, trägt die Ableseeinrichtung für die Pendelmessungen.

geometrisch in allen 3 Richtungen sehr sorgfältig aufzunehmen. Diese Aufnahmen sind meistens schwierig und benötigen viel Zeit. Diese Kosten müssen im Budget der Studien enthalten sein. Dazu soll die folgende Empfehlung berücksichtigt werden:

Regel 8: Ein Pendelquerschnitt wird vorzugsweise mittels über die ganze Pendelhöhe aufgehängter Hilfslöte geometrisch aufgenommen.

Bei einem der neuen Lote der Gelmersperre glaubte man auf diese Aufnahme verzichten zu können. Man hatte dabei angenommen, der bestehende Schacht, der für das Lot benutzt werden musste, sei ähnlich den zwei bereits aufgenommenen Schächten, die nichts Besonderes zeigten. Es stellte sich dann bei der Pendelmontage heraus, dass die Schalung um 15 cm verschoben war. Um diesen Fehler nachträglich auszugleichen, musste man über die halbe Schachthöhe einen Schlitz spitzen, was rund 12000 Franken zusätzlich kostete.

Beim Einrichten von Loten in Schächten und Bohrungen können Wasserinfiltrationen die Messungen stören. Versinterungen können mit der Zeit die freie Bewegung des Drahtes behindern und damit die Zuverlässigkeit der Messungen in Frage stellen. Die dadurch auf die Länge entstehenden Kosten wegen Schwierigkeiten in der Messauswertung

Bild 5. Lotmessstelle unter einer Bohrung in die Spitallammsperre vor der Erneuerung. Die ganze Nische ist stark versinteriert.

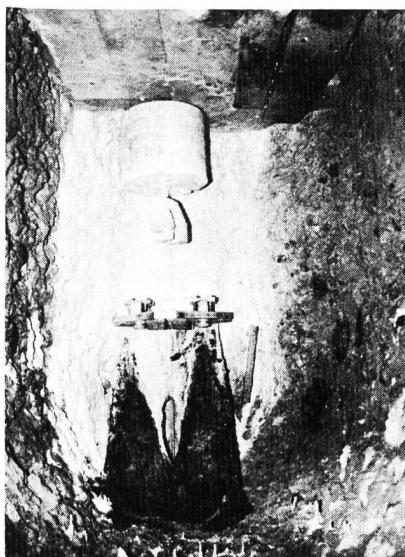
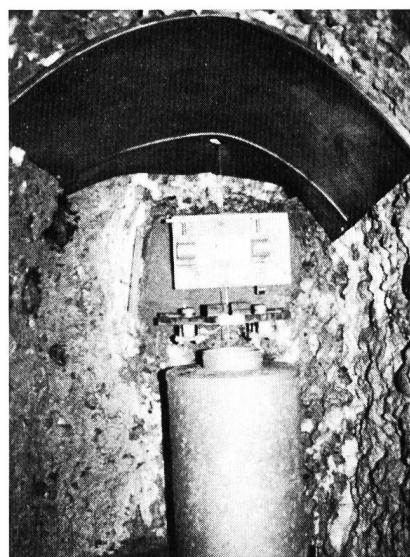


Bild 6. Dieselbe Lotmessstelle wie in Bild 5 nach der Erneuerung. Eine saubere Abdeckung der Messstelle aus Kupfer schützt diese vor Tropfwasser aus der Bohrung.



dürfen nicht unterschätzt werden. Sie können langfristig die Investitionskosten eines Futterrohres übersteigen.

Regel 9: Um Wassereindringungen möglichst zu vermeiden, sollten Bohrungen für Lote und Umkehrlote immer mit einem Futterrohr ausgekleidet und injiziert werden. Größere Schächte hingegen benötigen keine Verkleidung.

Das Versetzen von Futterrohren empfiehlt sich auch bei Bohrungen für Lote zwischen Mauerkrone und einem Kontrollgang.

In den Bildern 5 und 6 wird eine Lotmessstelle, die unter einer Bohrung in der Spitallammsperre liegt, vor und nach der Renovation gezeigt. Eine saubere Abdeckung der Messstelle in Kupfer schützt diese vor Tropfwasser aus der Bohrung. Letztere sollte eigentlich mit einem Rohr verkleidet werden, was aber nachträglich nicht leicht zu bewerkstelligen ist. Bild 7 zeigt eine neu eingerichtete Messstelle mit einer neuerrichteten, mit Rohr verkleideten Pendelbohrung der Gelmersperre (welche gleich alt ist wie die Spitallammsperre).

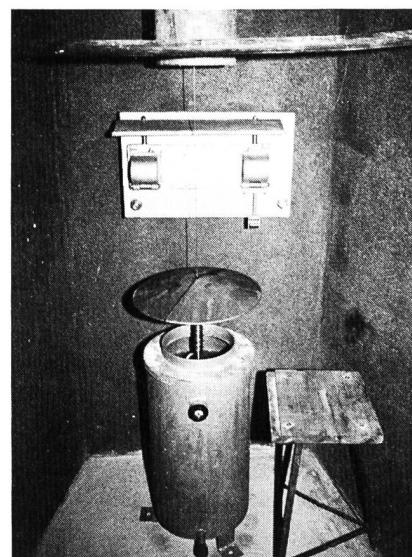
Zum Gelingen einer Neuinstrumentierung muss auch der Bauaufsicht gebührende Achtung geschenkt werden, daher die

Regel 10: Eine peinlich genaue Kontrolle der montierten Einrichtungen anlässlich einer Abnahme der Arbeiten durch den verantwortlichen Ingenieur ist unerlässlich. Es darf nicht der geringste Zweifel über die Qualität der ausgeführten Arbeiten bestehen. Sollte dies nicht der Fall sein, soll die angezweifelte Arbeit am besten sofort nochmals neu ausgeführt werden.

Jeder Zweifel über eine Messeinrichtung oder über einen Teil derselben ist auch ein Zweifel an der Zuverlässigkeit der Messung. Treten dann ungewöhnliche Ergebnisse auf, werden meistens etwa folgende Phasen durchlaufen:

- In einer ersten Zeit wird versucht, die Ergebnisse mit jenen von anderen Mauerpartien zu vergleichen und für die Abweichungen eine plausible Erklärung zu finden.
- Früher oder später wird dann das korrekte Funktionieren der Einrichtung angezweifelt. Schliesslich muss dann die Messung zur Beurteilung des Verhaltens des Bauwerkes fallengelassen werden.

Bild 7. Eine neu eingerichtete Lotmessstelle in der Gelmersperre. Das für die Aufnahme des Pendeldrahtes gebohrte Loch ist mit einem Rohr verkleidet.



Die unter diesen Bedingungen auflaufenden Kosten für die Messung und deren Auswertung übersteigen sehr bald die Kosten, die zusätzlich benötigt werden wären, um bei der Montage die eventuell missglückte Operation sogleich nochmals vorzunehmen. Ein diesbezügliches Beispiel wird im Vortrag von *G. Collet* [2] gezeigt.

Bei der Wahl einer Messeinrichtung wird empfohlen, dem Lieferpreis nur wenig Gewicht beizumessen. Dieser ist, verglichen mit den Kosten der Montage, einschliesslich aller notwendigen Bauarbeiten sowie mit jenen des Betriebes der Einrichtung, meist nur untergeordnet.

Es muss darauf geachtet werden, dass die Betriebs- und Unterhaltskosten der Einrichtung tief gehalten werden, daher

Regel 11: Eine Messeinrichtung muss zuverlässig sein, und sie muss eine gute Langlebigkeit garantieren, damit die Betriebskosten niedrig gehalten werden können.

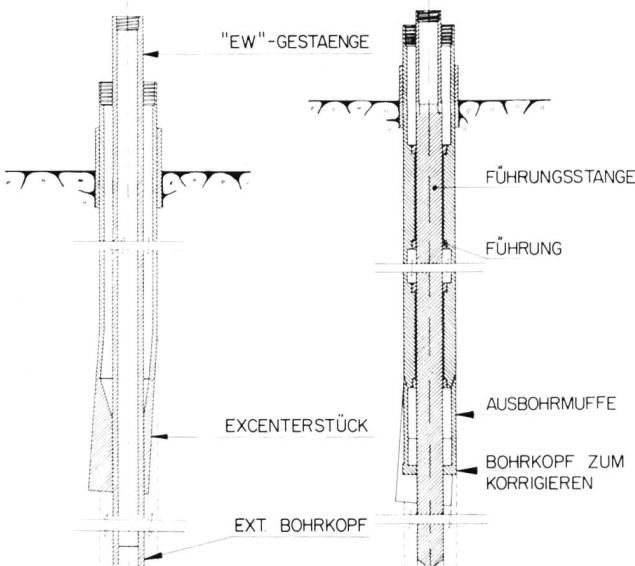
Einrichtungen zum Messen der Auftriebsdrücke

Zum Messen der Wasserdrücke unter den Sperren kamen drei verschiedene Systeme zur Anwendung, nämlich:

- Offene Piezometerrohre für die kleinen Sperren Mattenalp und Totensee, in denen der Wasserstand mit einem Kabellichtlot gemessen wird.
- Hermetisch verschlossene, mit Druckschlauch an Präzisionsmanometer angeschlossene Messrohre in den Sperren Gelmer und Seefuregg.
- Pneumatische Messzellen der Firma Glötzl am Kontakt Fels/Beton sowie im Felsuntergrund der Sperren Spitalamm, Räterichtsboden und Oberaar. Diese wurden in allen drei Sperren je in einer zentral gelegenen Messeinheit gemessen.

Entnahmestellen zum Messen des Wasserdruckes unter einer Sperre sind nur interessant, wenn ihre Lage bezüglich der Auflagefläche der Mauer bekannt ist. Zum Einrichten von neuen Auftriebsmessungen unter bestehenden Sperren wird normalerweise die ungefähre Lage der Messstellen durch den Experten bestimmt. Daraufhin muss dann aufgrund vorhandener Pläne der Mauer und ihrer Kontrollgänge und mittels Aufnahmen des Aushubes ein Detailpro-

Bilder 8 und 9. Der Einsatz eines Excenterstückes gestattet es, am untern Ende einer aus der vertikalen Achse abgewichenen Bohrung ein neues Pilotloch zu bohren. Dieses kann dann neu wieder auf den Nominaldurchmesser ausgeweitet werden; die Bohrung wird anschliessend wieder genau vertikal fortgeführt.



pekt ausgearbeitet werden, in dem auf die Bohrungen Rücksicht genommen werden muss. Die Lage und Neigung der Bohrungen muss dabei genau bestimmt werden.

Aufgrund der guten Erfahrungen in der Sperre Zervreila wurden Zellen der Firma Glötzl gewählt. Diese werden pneumatisch (mit Stickstoff) betrieben. Insgesamt sind 49 Zellen eingebaut worden.

Die Zellen selbst funktionieren einwandfrei; sowohl im Grimselgranit als auch im Schiefer in Oberaar aber verstopften schon sehr bald die Filter.

Während der zwei ersten Jahre fielen 5 Zellen aus, wobei zwei durch neue Zellen ersetzt werden konnten. Um ihre Lebensdauer zu verlängern, wurden die Zellen am Kontakt Fels/Beton, welche alle frei am unteren Ende eines verschlossenen Rohres montiert sind, durch die Lieferfirma mit einer Spülleinrichtung versehen. Die Filter werden jährlich zweimal unter Druck gespült. Trotz dieser Spülung fällt aber die eine oder andere Zelle hier und da wieder aus, bevor sie wieder neu gespült wird.

Es ist daher notwendig, dass vorgängig einer Installierung von solchen Messzellen im Fels, gleichgültig, ob es sich um hydraulische, pneumatische oder elektrische Zellen handelt, einerseits der Chemismus des Wassers und andererseits auch der zu verwendende Filtertyp mit dem Lieferanten genau abgeklärt werden.

Da ein Ausfall einer Zelle nie ganz ausgeschlossen werden kann, sollte wenn immer möglich versucht werden, diese so zu montieren, dass sie zugänglich bleiben und ausgewechselt werden können, wie dies bei den Grimselsperren zum Teil der Fall ist. Der Einbau eines Spülsystems bereits anlässlich der Montage erscheint wünschenswert und sollte mit dem Lieferanten frühzeitig abgeklärt werden.

Müssten wir heute ein Messsystem zum Messen des Auftriebdruckes wählen, würden wir eher dem alten System mit Messrohr und Manometer den Vorzug geben, obwohl auch dieses Nachteile aufweist. Man könnte wohl sagen, dieses sei das weniger schlechte der beiden Systeme. Voraussetzung ist allerdings, dass die Leitungen und Hahnen regelmäßig unterhalten und gereinigt werden.

Die Kosten von Bohrungen für Umkehrlöte im Fels und im Beton

Auf die Pendelbohrungen wird im Vortrag von *G. Collet* [2] näher eingetreten.

Löte und Umkehrlöte sind heute wohl die geeignetsten Instrumente zur Überwachung der Verformungen von Betonsperren. Der Ingenieur würde daher dazu neigen, heute solche in jeder Sperre einzubauen, wo diese noch fehlen, vor allem auch in kleineren Sperren. Unglücklicherweise mussten aber für die in den letzten Jahren durchgeföhrten Bohrungen Preise bezahlt werden, die kaum mehr vertretbar sind. Dies hat dazu geführt, dass sich der Ingenieur immer mehr eingeschränkt sieht, Löte und Umkehrlöte für bestehende Mauern vorzuschlagen. Aus Kostengründen werden oft weniger geeignete Instrumente vorgesehen.

Es ist daher unerlässlich, die Bohrpreise zu senken und zu überlegen, wie dies geschehen könnte. Diese Situation resultiert aus den rudimentären Bohrmethoden, die in der Schweiz angewandt werden und die darin bestehen, die Bohrabweichung durch Anwendung eines grossen Bohrdurchmessers wettzumachen. Die maximal realisierbare Tiefe von solchen Bohrungen wird dadurch auf 40 bis 50 m beschränkt, und die Bohrkosten einer solchen Bohrung, Installationen, Bohrung und Verrohrung inbegriffen, betragen heute rund 4000 Franken/Laufmeter Bohrung. Diese überholten Methoden müssen durch modernere

Methoden ersetzt werden, wie sie in Frankreich und in Kanada angewandt werden. Diese gestatten, auf billigere Weise kleinkalibrige, genau vertikale Bohrungen bis in Tiefen von über 50 m zu erstellen.

Unser Büro hat sich diesbezüglich eine Dokumentation über die Bohrmethode verschafft, die von Hydro-Quebec in Kanada entwickelt und angewandt wird.

Spezielle Exzenterstücke gestatten, am unteren Ende der abgewichenen Bohrung, in der vertikalen Achse, ein neues Pilotloch zu bohren, dank dessen dann die Bohrung genau vertikal auf den Nominaldurchmesser ausgeweitet werden kann (Bilder 8 und 9).

Aufgrund unserer Schätzungen sollten die Kosten solcher Bohrungen nur etwa einen Drittel des obigenannten Preises erreichen, d.h. etwa 1200 Franken/Laufmeter Bohrung.

Wir haben bereits Verbindung mit einer Bohrfirma, die an solchen Bohrungen interessiert ist und bereit wäre, diese zu

Preisen, die etwa in der Größenordnung des geschätzten Preises liegen, auszuführen. Es besteht somit eine gewisse Hoffnung, dass sich die Lage in nächster Zeit etwas verbessern wird.

Literatur

[1] W. Indermaur: Angewandte Kriterien für die von 1980 bis 1985 in den Talsperren der Kraftwerke Oberhasli AG durchgeführten Erneuerungen der Messeinrichtungen. «wasser, energie, luft» in Vorbereitung.

[2] G. Collet: Bohrmethoden, Probleme und Erfahrungen bei der Erstellung von neuen Umkehrloren sowie beim Umbau von bestehenden Felspendeln. «wasser, energie, luft» in Vorbereitung.

Deutsche Übersetzung des an der Studientagung zur «Erneuerung der Messeinrichtungen von Talsperren» vom 26. und 27. Juni 1986 in Meiringen in französisch gehaltenen Vortrages. Durchgeführt wurde die Tagung vom Ausschuss für Talsperrenbeobachtungen des Schweizerischen Nationalkomitees für Große Talsperren.

Adresse des Verfassers: François Matthey, Stucky Ingénieurs-Conseils SA, 6, chemin de Roseneck, CH-1006 Lausanne.

Wo steht das grösste Wasserkraftwerk?

Rudolf Weber

Asien, Nord- und Südamerika sowie Afrika verfügen über enorme Wasserkräfte, von denen erst ein verschwindender Bruchteil genutzt wird. Nun entstehen an den grossen Flüssen Wasserkraftwerke, deren Dämme, Stauseen und Leistungen alle Superlative sprengen.

Von Zeit zu Zeit gehen Meldungen durch die Medien, in diesem oder jenem Land sei das nunmehr grösste Wasserkraftwerk der Welt in Betrieb genommen worden. Solches verlautete auch Anfang November 1986 aus Venezuela, als der letzte Bauabschnitt des Kraftwerks Guri am Caroni-Fluss vollendet war. Mancher, der sich für Energie und Wasserkraftwerke interessiert, glaubte sich jedoch erinnern zu können, Rekordhalter auf absehbare Zukunft bleibe Itaipu an der Grenze zwischen Brasilien und Paraguay. Wer nun der Sache auf den Grund zu gehen versucht, merkt bald, dass alles und nichts stimmt, weil offenbar mit verschiedenen Massstäben gemessen wird – hier zählt man als grösstes Kraftwerk das mit dem höchsten Staudamm, dort jenes mit dem grössten Dammvolumen, mit dem wasserreichsten Stausee oder mit der höchsten elektrischen Leistung (und das eine braucht nichts mit dem anderen zu tun zu haben). Einen Überblick zu bekommen, ist allein deshalb schwierig, weil sich die Dinge im wahrsten Sinn des Wortes im Fluss befinden. Insbesondere in Entwicklungsländern wird viel neu gebaut, in Industriestaaten viel erneuert und

ausgebaut, aus manchen Ländern sind kaum Angaben zu erhalten, und schliesslich gibt es unter den grössten Dämmen und Stauseen auch solche, die der Bewässerung und nicht der Stromerzeugung dienen.

Die höchsten Staudämme

Die zuverlässigste Übersicht dürfte jene der englischen Fachzeitschrift «Water Power and Dam Construction» (Wasserkraft und Dammbau) vom Juli 1986 sein. Danach steht hinsichtlich Dammhöhe, gemessen vom tiefsten Punkt des Fundaments bis zur Krone, der Erd- und Steinschütt-damm des Speicherkraftwerks Rogun in Tadschikistan, UdSSR, mit 335 m an der Spitze, gefolgt von dem 300 m hohen reinen Erddamm des Kraftwerks Nurek, ebenfalls in Tadschikistan; Nurek arbeitet seit 1980, Rogun wird erst 1987 fertig. Dritter in dieser Rangliste ist die 1962 vollendete Beton-Gewichtsstaumauer Grande Dixence in der Schweiz mit 285 m Höhe. Gleich dahinter kommen die höchsten Beton-Bogenstaumauern, nämlich Inguri (1980) in Georgien, UdSSR, mit 272 m und Vajont (1961), Italien, mit 262 m. An 13. Stelle scheint die 237 m hohe Bogenstaumauer von Mauvoisin (1975) in der Schweiz auf, und den 20. Platz teilen sich die Bogenstaumauern von Contra (1965), Schweiz, Dabaklamm (Fertigstellung 1989), Österreich, und Mratinje (1976), Jugoslawien, mit je 220 m. Ausser den genannten sechs befinden sich unter den 25 höchsten Dämmen, deren niedrigster immerhin noch 215 m misst, keine weiteren europäischen, dagegen ebenfalls sechs in der UdSSR, vier in den USA und drei in Indien.

Bild 1. Nach seinem Vollausbau wird Itaipu an der Grenze zwischen Brasilien und Paraguay das grösste Wasserkraftwerk – und Kraftwerk überhaupt – der Welt sein. Die 12600 MW Leistung (derzeit 4900) kommen aus 18 riesigen Turbogeneratoren. Der Staudamm im Rio Parana ist bereits seit 1982 fertiggestellt: Auf den Seitenabschnitten seiner insgesamt 7,9 km Länge ist er ein Erddamm mit Felskernschüttung, beim Krafthaus – Bildmitte – eine 196 m hohe Beton-Gewichtsmauer. (Foto BBC Brown Boveri)

