

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 69 (1977)
Heft: 1-2

Artikel: Geodätische Deformationsmessung von Staumauern mit Hilfe des Mekometers (elektro-optisches Distanzmessgerät hoher Präzision)
Autor: Leuenberger, Jakob
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941474>

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: 10.02.2026

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

des travaux complémentaires éventuellement nécessaires. Suivant les besoins, cet expert en génie civil travaille en collaboration avec des spécialistes en d'autres domaines tels que la géologie, la mécanique des terres et des roches, la glaciologie, les avalanches, etc.

Dans ce même contexte, il y a lieu de mentionner ici l'aménagement, aux frais des propriétaires de barrages, d'un réseau de sismographes dans les Alpes destiné à déceler les phénomènes sismiques qui peuvent précéder les grands tremblements de terre et à établir les données, de base indispensables à une étude systématique de la possibilité de prévision des séismes. L'Institut de géophysique de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich a établi un projet général intégrant ce réseau dans un système plus complet qui couvre toute la Suisse et en a commencé la réalisation. Les enregistrements des dix stations sismographiques des Alpes seront transmis à l'Institut de géophysique par des moyens mis à disposition par la Confédération; l'Institut est chargé de la mise en valeur des observations.

Lors de la révision du règlement concernant les barrages en 1971, on l'a notamment complété par de nouvelles prescriptions sur l'alarme-eau, qui est installée, en premier lieu, pour le temps de service actif mais qui peut maintenant être mise temporairement en service en temps

de paix, lorsqu'un danger menace. Notre pays a, pour une grande part, innové en la matière et la mise au point de ce système est le fruit d'un travail exécuté en commun par de nombreux services fédéraux, en particulier la Division du service territorial, le Service des troupes de transmission, l'Office de la protection civile, la Direction générale des PTT et l'ASF, ainsi que par les propriétaires de barrages qui ont dû supporter les frais importants occasionnés par ces installations.

Ce rapide tour d'horizon devrait permettre de se rendre compte que, si le premier gage de sécurité de nos barrages se trouve dans le sérieux et les compétences avec lesquels les ingénieurs étudient les projets et exécutent l'ouvrage, les propriétaires de barrages et les autorités ne négligent rien pour contrôler de très près le comportement de ces ouvrages et pour intervenir rapidement, si quelque anomalie devait se montrer dans ce comportement. L'alarme-eau est venu, en deuxième lieu, couronner cet ensemble de mesures coordonnées qui sont prises en vue d'assurer le plus haut degré possible de sécurité avec un minimum de moyens administratifs et de contraintes.

Adresse de l'auteur: Louis Kolly, ing. dipl. EPF, sous-directeur du Service fédéral des routes et des digues, Monbijoustrasse 40, Case postale, 3003 Berne.

Geodätische Deformationsmessung von Staumauern mit Hilfe des Mekometers (elektro-optisches Distanzmessgerät hoher Präzision).

DK 627.814:531.715

Jakob Leuenberger

Mit dem Bau der ersten grösseren Betontalsperren in der Schweiz anfangs der zwanziger Jahre, trat das Verlangen auf, das Verhalten dieser Bauwerke mittels Präzisionsmessungen zu erforschen. Neben den damals entwickelten und erstmals an Staumauern zum Einsatz kommenden physikalischen Messmethoden mit Pendeln, Klinometern, Deformetern usw. wurde gleichzeitig auf Vorschlag der Ingenieure Zölly und Lang der Eidg. Landestopographie auch die trigonometrische Messmethode bei der Deformationsmessung von Talsperren eingeführt. Dank den damit gemachten guten Erfahrungen ist diese Methode sehr bald nicht nur in der Schweiz, sondern auch im Ausland häufig angewandt worden. Seither wurde sie stark verbessert und auch die Instrumente wurden vervollkommen.

Bei der trigonometrischen Messmethode werden Messpunkte auf der luftseitigen Maueroberfläche und an den Felswiderlagern durch eine Triangulation mit weiter entfernten Bezugspunkten in Beziehung gebracht. Die mit Messpfeilern ausgerüsteten Bezugspunkte werden so gewählt, dass sie als fest gelten können, dass heisst sie müssen auf gutem Untergrund und zudem ausserhalb der vom Wasserdruck des Sees beeinflussten Zone liegen. Normalerweise wird das Triangulationsnetz zur Erhöhung der Sicherheit noch mit Fernzielpunkten ergänzt.

Aus der Differenz zweier, bei verschiedenen Seeständen ausgeführten, Triangulationen lassen sich die absoluten Verschiebungen der Messpunkte nach Lage und Höhe und damit auch der Verformungszustand des Bauwerkes und seiner Widerlager bestimmen.

Bis vor kurzem wurden im Triangulationsnetz unter Anwendung des Vorwärts- und Rückwärtseinschneidens allein Richtungen und Höhenwinkel und nur aus-

nahmsweise mit Draht- oder Bandgeräten Längen gemessen. Die Genauigkeit einer solchen mit Präzisions-theodoliten durchgeführten Deformationsmessung einer grösseren Staumauer liegt bei 3 bis 5 mm.

Seit ein paar Jahren steht nun ein elektronisches Distanzmessgerät, das Mekometer ME 3000 der Firma Kern & Co AG, Aarau, zur Verfügung, mit dem Distanzen im Triangulationsnetz mit hoher Genauigkeit gemessen werden können. Durch eine Kombination der mit einem solchen Gerät gemessenen Distanzen und der auf konventionelle Art beobachteten Richtungen und Höhenwinkel lässt sich eine bemerkenswerte Verbesserung der Messresultate erzielen.

Mit dem Mekometer können Distanzen bis 3 km mit einem Messfehler von $\pm (0,2 \text{ mm} + 1 \text{ bis } 2 \cdot 10^{-6} D)$, wobei D die Länge der Messdistanz bedeutet, gemessen werden. Die Entfernungsbestimmung beruht auf dem Messen der Phasendifferenz zwischen dem vom Mekometer ausgesandten und dem am anderen Ende der Messstrecke mit einem Reflektor zurückgesandten modulierten Lichtstrahl. Mit Hilfe eines im Mekometer eingebauten optisch-mechanischen Phasennessers wird unter Verwendung von Modulationswellen verschiedener Frequenz der Lichtweg zwischen Stations- und Zielpunkt bestimmt. Eine automatische Vorrichtung sorgt dafür, dass die durch Luftdruck- und Temperaturänderungen hervorgerufene Beeinflussung der Lichtgeschwindigkeit kompensiert wird.

Bereits beim Entwurf eines Triangulationsnetzes für die Deformationsmessung einer Staumauer ist der Einsatz eines Mekometers zu berücksichtigen. Netzpläne mit oder ohne Mekometereinsatz werden nicht gleich angelegt. Infolge der neben Richtungen und Höhenwinkeln zusätzlich

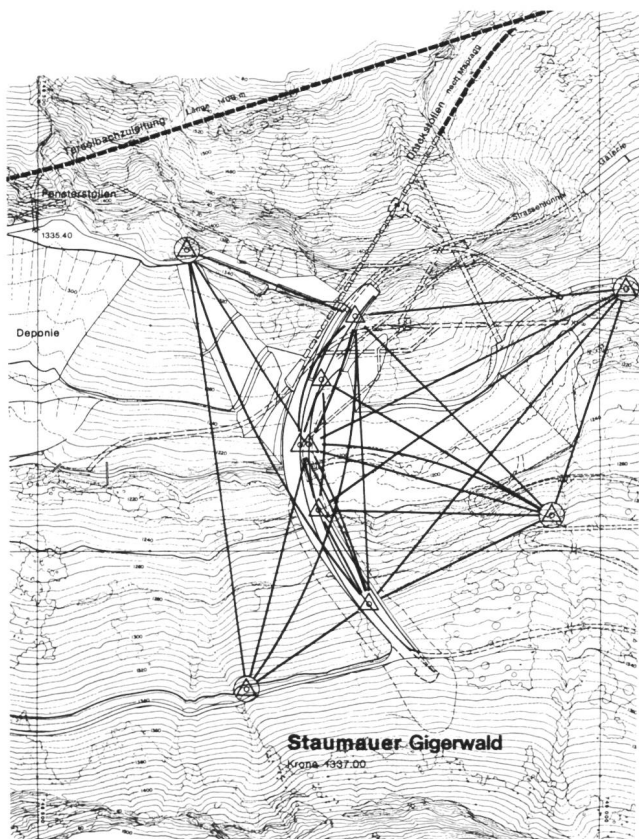
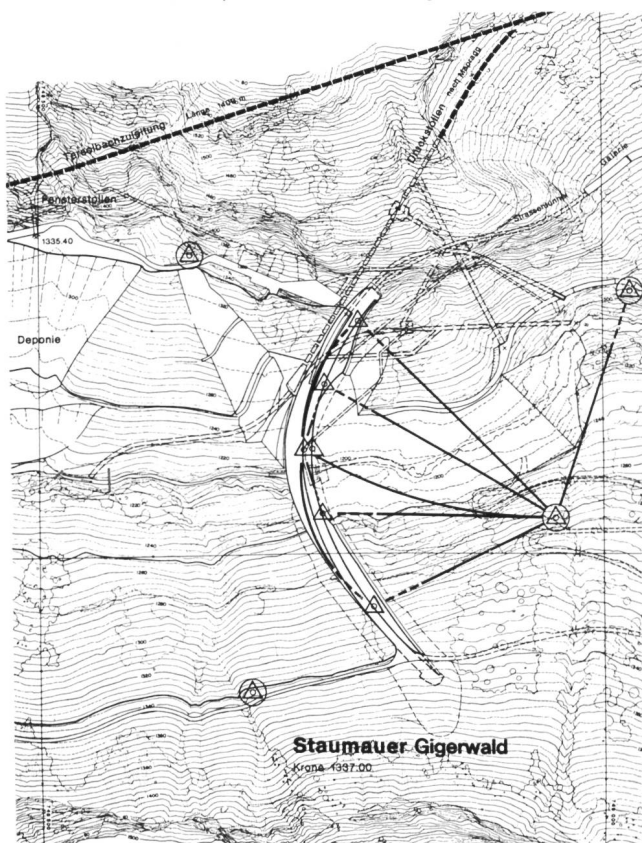


Bild 1. Lageplan der Staumauer Gigerwald, Massstab 1:7000. Eingezeichnet ist das Triangulationsnetz mit Mekometereinsatz, Netzplan einer Vollmessung. Die Dreiecke bezeichnen die Beobachtungspfeiler, die eingekreisten Dreiecke bezeichnen Beobachtungspfeiler ausserhalb der Staumauer, diejenigen ohne Kreise solche auf der Staumauer.

Bild 2. Wie Bild 1, Netzplan einer Kurzmessung.



gemessenen Distanzen ist eine Ueberbestimmung vorhanden, die eine Vereinfachung des Triangulationsnetzes gestattet. Die Messpunkte müssen so gewählt werden, dass die Reflektoren gut aufgestellt werden können.

Bei den Deformationsmessungen an den Staumauern der Kraftwerke Sarganserland AG ist der Einsatz des Mekometers bereits von Anfang an eingeplant worden. Das Ingenieurbüro Walter Schneider AG, Chur, welches die geodätischen Messungen ausführt, hat für die Bogenstaumauer Gigerwald und die Schwergewichtsmauer Mapragg zweckmässige und anpassungsfähige Triangulationsnetze entworfen. Ueber Pfeiler- und Stativ-Stationen auf der Mauerkrone und bei Ausgängen auf der luftseitigen Mauer Oberfläche wird eine direkte Verbindung zu den im Innern der Mauer vorhandenen Lot- und Schwimmloot-systemen geschaffen. Die Netze sind so angelegt, dass im Bedarfsfall nur ein reduziertes Messprogramm (Kurzmessungen) durchgeführt werden kann.

Bei der Staumauer Gigerwald wurden während des erstmaligen Aufbaus in der zweiten Hälfte 1976 2 Vollmessungen, wovon eine vor Staubeginn und eine bei hohem Seestand, sowie 9 Kurzmessungen ausgeführt. Die in zeitlichen Abständen von 2 bis 3 Wochen vorgenommenen Kurzmessungen beruhen auf einem stark reduzierten, nur wenige Bezugs- und Fernzielpunkte enthaltenden Triangulationsnetz. Vom Bauherrn wurde verlangt, dass die Kurzmessungen innert eines Tages durchgeführt und ausgewertet werden, damit diese sofort mit den Lotmessungen verglichen werden können. Ohne Einsatz eines Mekometers hätte diese Bedingung nicht erfüllt werden können.

Die zahlreichen geodätischen Kurzmessungen, ausgeführt bei verschiedenen Seeständen, erlauben nun einen interessanten Vergleich mit den im Innern der Staumauer erfolgten Lotmessungen. Während sich die trigonometrischen Messungen auf Bezugspunkte, welche rund 200 m von der Mauer entfernt sind, stützen, ist das Lotsystem durch die Schwimmlootverankerungen bis 40 m tief in den Fundamentfels hinein versichert.

Der Vergleich der mit den beiden voneinander vollständig unabhängigen Messsystemen erhaltenen Verschiebungswege vergleichbarer Punkte fällt nun bemerkenswert gut aus. In vielen Fällen liegt die Differenz unter 0,5 mm und nur ausnahmsweise steigt sie bis zu 1,5 mm an. Zudem verlaufen die Abweichungen von Messung zu Messung sehr regelmässig, was ebenfalls auf eine hohe Genauigkeit der ausgeführten Kurzmessungen hinweist. Die gute Uebereinstimmung zeigt auch, dass sich die als fest angenommenen Bezugs- und Verankerungspunkte bei steigendem Seewasserspiegel nicht bewegt haben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich durch eine kombinierte Beobachtung von Richtungen und Distanzen im Triangulationsnetz, wobei letztere mit dem Mekometer ausgeführt werden, die Ergebnisse wesentlich verbessern lassen.

Nach den bei der Staumauer Gigerwald gemachten Erfahrungen darf angenommen werden, dass durch den Einsatz eines Mekometers die Genauigkeit der Verformungsergebnisse mindestens um das Doppelte gesteigert werden kann. Eine Verminderung des Arbeitsaufwandes oder der vom Talsperrenbesitzer zu tragenden Kosten lässt sich jedoch bei Verwendung eines Mekometers — im Vergleich zu einer konventionellen Triangulation — nicht erreichen.

Adresse des Verfassers: Jakob Leuenberger, dipl. Ing. ETH, Ausschuss für Talsperrenüberwachung des Schweiz. Nationalkomitees für Grosse Talsperren, Nordostschweizerische Kraftwerke AG Baden, Parkstrasse 23, CH-5401 Baden.