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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 73 (1981)

Heft: 9

Artikel: Bedeutung und Möglichkeiten der geodiätischen Deformationsmessung im Rahmen der Talsperrenüberwachung

Autor: Biedermann, Rudolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941338

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: 06.07.2025

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

Tagung über geodätische Deformationsmessungen

durchgeführt vom Ausschuss für Talsperrenbeobachtung des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosse Talsperren, SNGT
3. und 4. September 1981, Sitten und Zeuzier

Die dauernde Sicherheit der Talsperren erfordert regelmässige Überwachung und Kontrolle des Verhaltens.
Staumauern und Staudämme verformen sich unter der Last des dahinter aufgestauten Wassers sowie unter dem Einfluss der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen. Die Bewegungen können in der Mitte der Krone einer grossen Bogenmauer bis 10 cm betragen.
In regelmässigen Abständen werden Verformung-, Sickerwasser- und Auftriebsverhältnisse gemessen, aufgezeichnet und beurteilt. Weichen die Messergebnisse von den Sollwerten ab, wird untersucht, ob die Messung fehlerhaft sei, ob ein Messgerät defekt sei oder ob ein aussergewöhnliches Verhalten der Anlage vorliege.
Die Einführung der elektro-optischen Distanzmessung und die Entwicklung leistungsfähiger Kleinrechner führen zu einem verfeinerten Überwachungskonzept, das mit weniger Aufwand rasch bessere Ergebnisse liefert. Dies trägt zur erhöhten Sicherheit unserer Talsperren bei.

An einer Fachtagung des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosse Talsperren in Sitten sprach am Donnerstag, 3. September 1981, Dr. *Rudolf Biedermann*, Sektionschef im Bundesamt für Wasserwirtschaft, über die Neuerungen in der Talsperrenüberwachung. Weitere Referenten aus den Reihen der Talsperrenfachleute, der Experten der schweizerischen Industrie für Messgeräte sowie der Verantwortlichen der Talsperrenbesitzer orientierten über Erfahrungen mit neuesten Instrumenten und Messmethoden.
Am Freitag, 4. September 1981, besuchten gegen 150 Talsperrenfachleute auf Einladung des Direktors der Electricité de la Lienne SA, *Michel Parvex,* die Messeinrichtungen der Talsperren Zeuzier. Hier haben die routinemässigen Kontrollmessungen frühzeitig auf ein abnormales Verhalten hingewiesen, so dass der Stausee rechtzeitig entleert werden konnte. Gleichzeitig wurden die Messeinrichtungen erweitert, was den Bundesexperten eine recht zuverlässige Rekonstruktion der Vorgänge im Felsuntergrund und in der Mauer erlaubte. Vorgänge, die mit dem Bau des Sondierstollens in Zusammenhang gebracht werden.
In dieser Ausgabe finden sich die Ausführungen von Dr. *Rudolf Biedermann* sowie der Vortrag von Dr. *Heinz Aeschlimann.* Der Aufsatz «Konzept für den Einsatz der geodätischen Deformationsmessungen» von *Kurt Egger* folgt später. GW

Bedeutung und Möglichkeiten der geodätischen Deformationsmessung im Rahmen der Talsperrenüberwachung

Rudolf Biedermann

1. Ziel der Talsperrenüberwachung

Um die Sicherheit der Talsperren jederzeit gewährleisten zu können, müssen sie ständig überwacht werden. Besonders wichtig sind dabei jene Messungen, die massgeblich zu beurteilen erlauben, ob sich die Talsperre unter den wechselnden äusseren Belastungseinflüssen (Wasserdruck, Temperatur) normal, das heisst den Erwartungen entsprechend verhält. Hauptindikatoren hiefür sind das allgemeine Verformungsverhalten der Talsperre, die Sickerwasserverhältnisse im Talsperrenkörper, der Auftrieb als Folge der Sickerströmung unter der Talsperre sowie letztlich das Schüttungsverhalten (oder Neuauftreten) talseitiger Quellen. Sie sollten deshalb grundsätzlich bei allen Talsperren durch repräsentative Messungen erfasst werden.
Zeigt einer dieser Hauptindikatoren – oder eine andere Messgrösse – ein vom Erwarteten abweichendes Verhalten, ist höchste Vorsicht geboten, weil vorerst offen ist, ob dieses lediglich auf eine fehlerhafte Messung oder einen Defekt des Messgerätes oder aber – was für die Sicherheit der Talsperrre kritisch werden könnte – auf ein anormales Verhalten der Talsperre oder ihres Untergrunds zurückzuführen ist. In einem solchen Fall muss sofort gehandelt und in der Reihenfolge der oben aufgezählten Möglichkeiten abgeklärt werden, welches die Ursache der festgestellten Anomalie ist. Die Wiederholung der Messung als erster Schritt ist einfach. Schwieriger und unter Umständen aufwendig kann es sein, einen Defekt des Messgeräts zu erkennen, und zwar selbst bei so einfachen Messgeräten wie den Pendeln. Zur Abklärung nötigenfalls der Ursache eines anormalen Verhaltens der Talsperre oder ihres Untergrunds können nie genug Informationen vorliegen. Es ist deshalb schon aus diesem Grund angezeigt, die oben erwähnte minimale Messausrüstung angemessen zu ergänzen.
Ziel der Talsperrenüberwachung ist es also – und alle Anstrengungen müssen darauf ausgerichtet sein – ein allfällig anormales Verhalten der Talsperre, ihres Untergrunds oder eines die Sicherheit gefährdenden Rutschhanges so frühzeitig zu erkennen, dass rechtzeitig die notwendigen Massnahmen entweder zur Behebung der Ursache (technische Massnahmen) oder – wenn dies nicht möglich sein sollte – zum Schutz der unterliegenden Bevölkerung (vorsorgliche Absenkung) getroffen werden können. Dies setzt voraus, dass

- die erwähnten Hauptindikatoren in kurzen Zeitabständen gemessen und unverzüglich beurteilt werden (alle 14 Tage, eventuell einmal pro Monat),
- ebenfalls regelmässig – jedoch in angemessenen grösseren Zeitabständen – eventuell weitere wichtige Verhaltensgrössen erhoben und ausgewertet werden (insbesondere auch solche, die das Verhalten des Untergrunds anzeigen),
- das Messsystem grundsätzlich umfassend genug ausgestaltet ist, damit im Fall eines anormalen Verhaltens ausreichende Informationen für die Abklärung der Ursache bereitgestellt werden können.

2. Beitrag der geodätischen Deformationsmessung

Da unter dem Begriff «geodätische Deformationsmessung» Messverfahren verstanden werden, die mit Hilfe von Methoden der Vermessungstechnik Lageänderungen von Bauwerks- oder Geländepunkten zu erfassen vermögen

und die Erfassung solcher Lageänderungen sowohl im Rahmen der normalen Talsperrenüberwachung wie auch im Falle eines anormalen Verhaltens von hoher praktischer Bedeutung ist, kann die geodätische Deformationsmessung Entscheidendes zur Talsperrenüberwachung beitragen.

So kann sie in Form *einfacher Messanlagen* überall dort eingesetzt werden, wo die Überwachung des allgemeinen Verformungsverhaltens einer Talsperre mit mechanischen Messeinrichtungen, wie insbesondere mit Pendeln, nicht möglich (Dämme, dünne Bogenmauern) oder nicht zweckmässig ist. (kleinere Gewichtsmauern). Mit *umfangreicheren Messanlagen* können praktisch beliebig differenziert die Verformungen bzw. Verformungsänderungen der Talsperre, ihrer Umgebung oder eines kritischen Geländeabschnitts erfasst werden. Damit eignen sie sich ganz besonders für die Verfolgung kontinuierlicher Verformungsvorgänge und für die Abklärung der Ursache eines anormalen Verhaltens. Geeignet ausgestaltet können sie auch zur regelmässigen Kontrolle oder ausserordentlichen Überprüfung der Funktionstüchtigkeit eines Pendels eingesetzt werden.

Dank neuerer Entwicklungen im instrumentellen Bereich, insbesondere der Entwicklung der optischen Distanzmessung, und des heute geläufigen Einsatzes der elektronischen Datenverarbeitung konnte in jüngster Zeit nicht nur die Messgenauigkeit entscheidend verbessert, sondern auch die Auswertung verfeinert und gleichzeitig erheblich beschleunigt werden. Damit ergeben sich für die geodätische Deformationsmessung erweiterte Einsatzmöglichkeiten, die sich zwangsläufig in einem neuen Einsatzkonzept niederschlagen, und zwar sowohl bezüglich der Gestaltung der Messanlage wie auch der Messprogramme.

3. Umfangreichere geodätische Messanlagen

Hierunter fallen Messanlagen, die wenigstens ein grossräumiges Triangulationsnetz mit Messpunkten auf der Krone, gegebenenfalls dem luftseitigen Parament und im Umgelände der Talsperre aufweisen.

Obschon allein mit dem Einbezug der Triangulation noch lange nicht alle Möglichkeiten der geodätischen Deformationsmessung ausgeschöpft sind, erfolgt mit ihrer Eingliederung eine entscheidende Ausweitung des übrigen vorhandenen Messsystems. Die Talsperre wird in ihre Umgebung eingebunden. Damit können zusätzlich zu den relativen Verformungen des Talsperrenkörpers auch «absolute» Verformungen gegenüber entfernter gelegenen Geländepunkten (Bezugspunkten) erfasst werden. Gleichzeitig wird der Messbereich ausgeweitet, indem auch Punkte im Umgelände der Talsperre in die Überwachung einbezogen werden können.

Optimal ausgenützt werden die Möglichkeiten der geodätischen Deformationsmessung allerdings erst, wenn je nach den Bedürfnissen und Möglichkeiten

- alle vorhandenen geodätischen und mechanischen Messeinrichtungen zur Verformungsmessung unter sich und mit der Triangulation sowohl bezüglich Lage als auch Höhe verbunden werden,
- in vorhandenen Kontrollgängen, und zwar auf möglichst verschiedenen Höhen Polygon- und Nivellementszüge eingerichtet werden und
- über die Krone (und weit in die Umgebung hinausreichend) ein Nivellementszug angeordnet wird.

Eine solchermassen konzipierte geodätische Messanlage (Bild 1) unterscheidet sich von älteren dadurch, dass sie nicht mehr als zusätzliche, unabhängige Messanlage konzipiert, sondern in das allgemeine Überwachungssystem

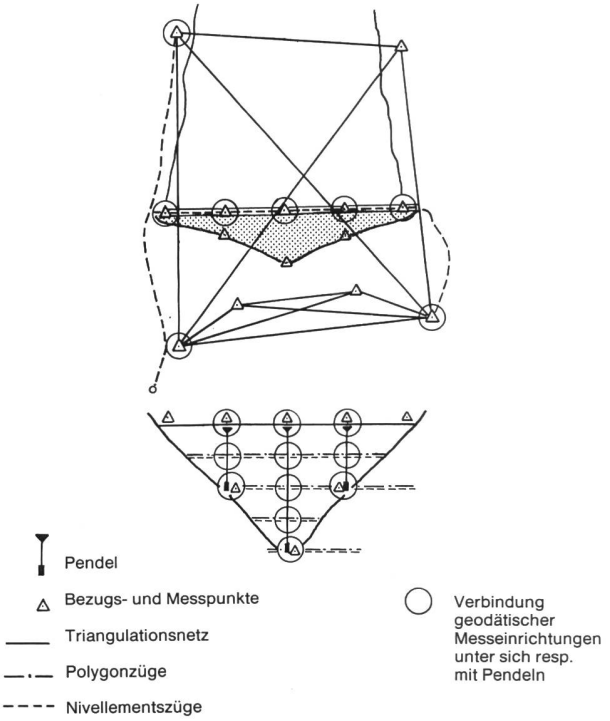

Bild 1. Umfangreichere geodätische Messanlage.

integriert ist. Damit werden auch ihre Anwendungsmöglichkeiten vielfältiger. So können einzeln oder beliebig kombiniert nachfolgende Aufgaben erfüllt werden, und zwar immer bezogen auf die Bezugspunkte des Triangulationsnetzes:

- Bestimmung der horizontalen, nötigenfalls auch der vertikalen Lageänderung ausgewählter Messpunkte auf der Krone, auf dem luftseitigen Parament oder in der Umgebung der Mauer;
- differenzierte Erhebung des räumlichen Verformungszustands der Talsperre;
- Bestimmung der horizontalen Lageänderung der Lotfusspunkte, gegebenenfalls auch der Messköpfe von Rockmetern als Teilaussage über das Verhalten des Fundationsfelsen;
- Kontrolle oder Überprüfung der Funktionstüchtigkeit von Pendeln (sofern diese oben und unten an das Triangulationsnetz angeschlossen sind).

Dieses moderne Anlagekonzept ist nicht nur vielseitig, es erlaubt auch bezüglich Messumfang und Messkadenz eine gezielte Abstimmung auf die jeweiligen Bedürfnisse. *Vollmessungen,* also Messungen, die alle messbaren Grössen erfassen, sind im Gegensatz zu älteren Messsystemen nurmehr ausnahmsweise erforderlich: bei normalem Verhalten der Talsperre (wenigstens) alle 20 Jahre zwecks Wiederholung der Bezugsmessung (= Nullmessung); im Falle eines anormalen Verhaltens möglicherweise ein einziges Mal, gegebenenfalls in gewissen Zeitabständen wiederholt. Alle übrigen Messungen, sei es im Rahmen des normalen Überwachungsprogramms oder der Abklärung eines anormalen Verhaltens, beschränken sich demgegenüber auf reduzierte Messungen, wobei der jeweilige Messumfang vom Beauftragten für die fachtechnische Überwachung und/oder vom eingesetzten Talsperrenexperten festzulegen ist.

Im Rahmen der normalen Talsperrenüberwachung dürfte es vielfach genügen, (wenigstens) alle 5 Jahre je bei annähernd vollem respektive normal abgesenktem See die horizontale Lageänderung sowohl einiger Messpunkte auf der Krone wie eventuell auch der Lotfusspunkte zu bestimmen, und zwar ausgehend von der Annahme, die Bezugspunkte des Triangulationsnetzes seien fest geblieben

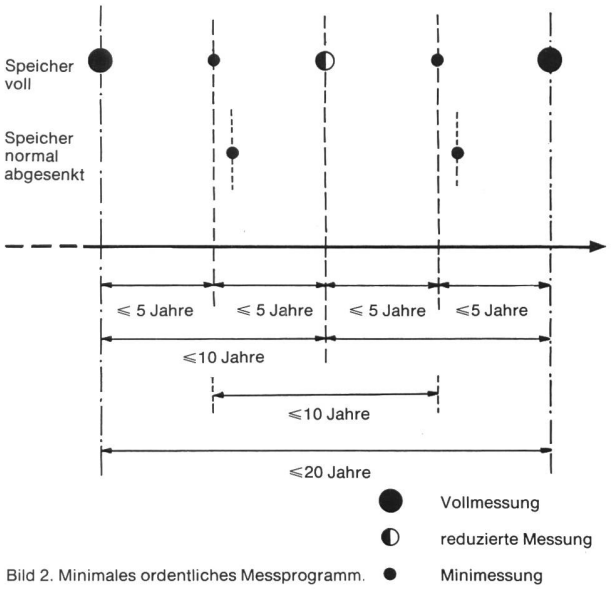

Bild 2. Minimales ordentliches Messprogramm.

(= stark reduzierte Messung oder *Minimessung*). Die Gültigkeit dieser Annahme muss jedoch wenigstens alle 10 Jahre überprüft werden, was verlangt, dass im Zehnjahresrhythmus die Minimessung (bei vollem See) mit einer vollständigen Vermessung des Triangulationsnetzes ergänzt wird (= *reduzierte Messung*). Dieses minimale ordentliche Messprogramm (Bild 2) kann sowohl bezüglich des Umfangs der einzelnen Messungen als auch der Messfrequenzen verdichtet werden. Diese Flexibilität ist eine weitere Stärke des neuen Konzepts.

Die Möglichkeit, den Messaufwand im Normalfall stark reduzieren zu können, wirkt sich vorteilhaft auf die Betriebskosten aus. Damit sollte ein echter Anreiz vorliegen, die geodätische Deformationsmessung, wo dies noch nicht der Fall ist, in die Talsperrenüberwachung einzubeziehen oder eine ältere Anlage umzubauen, um damit ihre Möglichkeiten optimal auszuschöpfen.

Die heute erweiterten Möglichkeiten der geodätischen Deformationsmessung können nur zielgerecht und wirksam eingesetzt werden, wenn einerseits der mit der Talsperrenüberwachung beauftragte Bauingenieur die Möglichkeiten und Grenzen dieser Messverfahren genügend kennt und wenn andererseits der Vermessungsspezialist mit der Zielsetzung und den Möglichkeiten der Talsperrenüberwachung ausreichend vertraut ist. Nur unter diesen Voraussetzungen kann der Bauingenieur die Ziele richtig formulieren und der Vermessungsingenieur die für ihre Erfüllung zweckmässige Messanlage konzipieren. Vorgängig der Verwirklichung muss überdies mit einem Geologen die Eignung der Bezugspunkte des Triangulationsnetzes abgeklärt werden. Die Planung einer modern konzipierten Messanlage ist somit eine ausgesprochen interdisziplinäre Aufgabe, die von allen Beteiligten ein hohes Verständnis der anderen Fachbereiche erfordert.

Weil umfangreichere Messanlagen in der Regel nur in grösseren Zeitabständen benützt werden, ein anormales Verhalten aber jederzeit auftreten kann, ist es wichtig, dass sie jederzeit einsatzbereit sind. Dies verlangt, dass sie wie jede andere Messanlage unterhalten werden, wozu

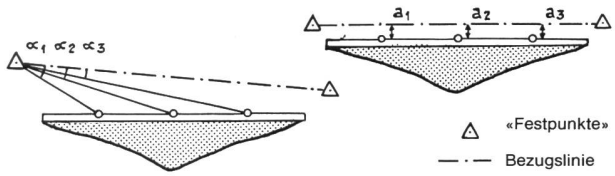

Bild 3. Einfache geodätische Messanlage oben rechts: Alignement. Unten links: Einfache Winkelmessung.

auch das Freihalten von Visuren gehört. Überdies sollen sie wenigstens bezüglich wesentlicher Teile wintersicher sein, was bei der Planung mitzuberücksichtigen ist.

4. Einfache geodätische Messanlagen

In Fällen, wo die Überwachung des allgemeinen Verformungsverhaltens einer Talsperre mit mechanischen Messanlagen, insbesondere mit Pendeln, nicht möglich (Dämme, dünne Bogenmauern) oder nicht zweckmässig ist (kleinere Gewichtsmauern), können hierfür einfache geodätische Messanlagen eingesetzt werden. Meist wird dabei so vorgegangen, dass als Kontrollgrössen der Abstand zwischen einzelnen Messpunkten auf der Krone und einer durch zwei seitliche «Festpunkte» bestimmten Bezugslinie verwendet wird. Diese Abstände können entweder mittels einer Alignementsmessung oder mittels einer einfachen Winkelmessung erfasst werden.

Bei der *Alignementsmessung* (Bild 3 oben) wird von einem der beiden «Festpunkte» mit einem Fernrohr die Bezugslinie einvisiert und beim Messpunkt eine Zielmarke solange verschoben, bis diese in der Bezugslinie liegt. Die Abstandsmessung ist dann einfach möglich. Bei der *einfachen Winkelmessung* (Bild 3 unten) wird von einem der beiden Festpunkte mit einem Theodoliten der Winkel zwischen der Bezugslinie und der Visurlinie zum Messpunkt bestimmt und darauf abgestützt der gesuchte Abstand trigonometrisch berechnet. Erfolgt bei beiden Methoden die Messung nacheinander von beiden «Festpunkten» aus, kann die Genauigkeit gesteigert werden. Im Gegensatz zur Alignementsmessung, wo die Visur in der Regel horizontal über die Krone erfolgt, können bei der einfachen Winkelmessung die seitlichen «Festpunkte» beliebig, u. a. auch überhöht angeordnet werden.

Ein analoges Vorgehen ist auch in der Vertikalen möglich, indem von einem «Festpunkt» am Talsperrenfuss mittels Vertikalwinkelmessung die Abstände von Messpunkten auf dem luftseitigen Parament diesmal jedoch gegenüber der Lotrechten (= Bezugslinie) bestimmt werden. Die Wintertauglichkeit einer solchen Messanlage dürfte allerdings in den meisten Fällen kaum gewährleistet sein, da am Talsperrenfuss meist viel und langandauernd Schnee liegt.

Alle genannten Verfahren sind so einfach, dass sie ohne weiteres häufig und – nach entsprechender Anlernung durch den Vermessungsspezialisten – selbst von werkeigenem Personal ausgeführt werden können.

Da mit diesen Messanlagen nur Abstände gegenüber einer Bezugslinie erfasst und somit keine Aussagen über den Vektor der Lageänderung erhalten werden, eignen sie sich im Wesentlichen nur für die laufende Überwachung. Zur Abklärung eines allfällig anormalen Verhaltens der Talsperre können sie demgegenüber wenig beitragen, es sei denn, dass sie Teil einer umfangreichen Messanlage seien.

Bei Dämmen muss, bei Staumauern kann die Messanlage durch einen Nivellementszug über die Krone ergänzt werden. Damit kann zusätzlich die vertikale Verformung der Messpunkte erfasst werden. Ob für diese Messungen, die in zeitlich grösseren Abständen vorgenommen werden können, ebenfalls werkeigenes Personal eingesetzt werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen, da es sich um Präzisionsnivellemente handelt.

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

Schriftliche Fassung der Ausführungen des Verfassers an der Tagung über geodätische Deformationsmessungen vom 3. und 4. September 1981 in Sitten und Zeuzier. Die Tagung wurde vom Schweizerischen Nationalkomitee für Grosse Talsperren, Ausschuss für Talsperrenbeobachtung, durchgeführt.