

Felix Walser

Zusammenfassung

Trotz der zunehmenden Automatisierung der Instrumentierung von Talsperren kommt der Geodäsie bei der Stauanlagenüberwachung eine unvermindert wichtige Bedeutung zu. Die hochgenaue Geodäsie ist zudem meist ein integraler Bestandteil der 5-Jahres-expertise.

In diesem Artikel werden einige Gedanken über die Anforderungen an die präzisen geodätischen Messungen zusammengefasst. Den Betreibern der Talsperren und den beauftragten Fachexperten kommen ebenfalls wichtige Aufgaben zu, damit die geodätischen Messungen korrekt in das Gesamtsystem der Überwachung eingebunden werden.

1. Einleitung

Die Bedeutung der Geodäsie bei der Stauanlagenüberwachung hat trotz der verstärkten Instrumentierung der Talsperren keineswegs abgenommen. Im Gegenteil hat deren Bedeutung zugenommen, nicht zuletzt im Zusammenhang mit der verstärkten Überwachung der drei Stauanlagen der Kraftwerke Vorderrhein AG im Bündner Oberland sowie der Staumauer Ferden im Lötschental infolge des Baus der langen Eisenbahntunnels von AlpTransit durch die Schweizer Alpen (vgl. WEL 2009 Heft 2 [1]). Auch die Arbeitsgruppe «Talsperrenbeobachtung» des Schweizerischen Talsperrenkomitees, STK, hat sich erst kürzlich intensiv mit diesem Thema befasst und hat ihre Empfehlungen in der Publikation «Geodäsie für die Überwachung von Stauanlagen» [2] im Juni 2013 veröffentlicht. Sie empfiehlt, dass die Geodäsie ein integrierter Bestandteil der Fünfjahresexpertisen sein soll und dass diese hochpräzisen geodätischen Messungen erhöhten qualitativen Anforderungen genügen müssen.

Die Anforderungen an die Geodäsie bei der Überwachung von Stauanlagen können sehr vielfältig sein. Bei kleineren Staumauern sind zudem präzise geodätische Messungen unter Umständen das alleinige Instrument zur Bestimmung von Lage- und Höhenänderungen der Kontrollpunkten an dieser Stauanlage. Dafür kann die Häufigkeit der Messungen bedeutend höher sein als bei grossen Talsperren, bei welchen andere Messsysteme (wie zum

Beispiel Lote) Aussagen über das Verhalten der Sperre ermöglichen.

Die hochgenaue Geodäsie dient nicht nur als eine der Grundlagen für die Fünfjahresexpertise. Bei ausserordentlichen Ereignissen kann sie eingesetzt werden, wenn rasch zuverlässige Aussagen über den Zustand resp. das Verhalten einer Stauanlage gewonnen werden müssen. Die geodätische Messung hat gegenüber der Instrumentierung im Talsperrenkörper (Lote, Fugenmesser usw.) den Vorteil, dass mit ihr die Verschiebung der Talsperre bezüglich ihrer Umgebung festgestellt werden kann.

Geodätische Messreihen dauern im Allgemeinen über viele Jahre, und deren Vergleichbarkeit ist von grosser Bedeutung. So können für viele Stauanlagen die Resultate geodätischer Messungen über viele Epochen, d.h. meist über mehrere Jahrzehnte miteinander in Beziehung gesetzt werden. So können Rückschlüsse über das langfristige Verhalten der Stauanlage gezogen werden. Dies wird insbesondere dann wichtig, wenn Talsperren gewissen Alterserscheinungen wie beispielsweise der Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) unterworfen sind. Der langen Lebensdauer der geodätischen Messanlage ist auch dann Beachtung zu schenken, wenn die Messanlage umgebaut resp. erneuert wird oder wenn das Mandat der Überwachungsmessungen auf einen anderen Geodäten übertragen wird.

Moderne Messmethoden, wie 3D-Laserscanning, Radar-Interferometrie, Mobile Mapping und weitere können weitergehende Informationen zum Zustand einer Talsperre liefern, beispielsweise mittels Kartierung von Abplatzungen, Rissen usw. (vgl. Kapitel 6).



Bild 1. Präzisionsnivellment über die Mauerkrone der Stauanlage Hongrin.

2. Zusammenarbeit von Bauingenieur, Geologe und Geodät

Die Planung oder allenfalls die Erneuerung einer geodätischen Überwachung resp. eines geodätischen Netzwerkes ist immer eine sich stufenweise annähernde Arbeit zwischen Geodäsie und Bautechnik. Dabei sind die Anforderungen an die Geodäsie aus Sicht des Bauingenieurs mit den Möglichkeiten des Geodäten zur Umsetzung sinnvoll zu kombinieren, wobei stets auch die Wirtschaftlichkeit und die erreichbaren Genauigkeiten im Auge zu behalten sind. Ziel dieser Zusammenarbeit ist die Festlegung des Messkonzeptes bezüglich Umfang, erreichbarer Genauigkeiten, Art der Resultate usw.

Ein besonderer Stellenwert kommt der Verbindung des geodätischen Netzes mit anderen Messsystemen wie Extensometer, Lote usw. zu. Damit wird gewährleistet, dass diese inneren Messsysteme, welche in der Regel relative Verschiebungen liefern, in einem absoluten Rahmen bestimmt werden.

In Zusammenarbeit mit dem Geologen bezeichnet der Geodät Anzahl und Lage der Festpunkte. Diese sollten über eine lange Zeit verfügbar und möglichst stabil sein. Das Vorhandensein von solchen Festpunkten ist von entscheidender Bedeutung für die Aussagekraft der geodätischen Messreihe, welche meist über Jahrzehnte andauert.

Bedrohen instabile Geländepartien die Staumauer direkt oder indirekt, können in enger Zusammenarbeit mit dem Geologen zusätzliche Kontrollpunkte in der Umgebung der Talsperre in das geodätische Überwachungsnetz eingebunden werden. Häufig sind jedoch für solche

Überwachungsaufgaben eigenständige geodätische Netze sinnvoll, welche nicht mit der Überwachung der Talsperre verknüpft sind.

3. Aufgaben des Talsperrenbetreibers

Die geodätische Messanlage ist ein integraler Bestandteil der Talsperre und sie ist demzufolge vom Betreiber der Talsperre zu unterhalten. Ein einwandfreier Zustand der geodätischen Messanlage bildet die Grundlage für zuverlässige Resultate mit der geforderten Genauigkeit. Der Talsperrenbetreiber ist auch dafür verantwortlich, dass sich die geodätische Messanlage jederzeit in einem messbereiten Zustand befindet. Dies bedingt insbesondere ein regelmässiges Begehen der Messanlage, damit z.B. eingewachsene Visuren frühzeitig ausgeholt werden können. Werden im Laufe der Zeit einzelne Kontrollpunkte zerstört oder beschädigt, oder werden wichtige Visuren infolge Umbauarbeiten in oder bei der Staumauer behindert, sind in Zusammenarbeit mit dem beauftragten Geodäten umgehend Massnahmen zu erarbeiten, damit die Beständigkeit der geodätischen Messreihe möglichst erhalten bleibt. Mit diesem Vorgehen ist sichergestellt, dass die geodätische Messanlage jederzeit messbereit ist und somit auch nach einem unvorhergesehenen Ereignis sofort eine Messung durchgeführt werden kann. Häufig ist es sinnvoll, den Unterhalt der geodätischen Messanlage dem zuständigen Talsperrenwärter zu übertragen. Er kennt die Verhältnisse um «seine» Talsperre am besten und kann entsprechend frühzeitig reagieren.

Gewisse einfache und häufig wiederkehrende Vermessungsaufgaben kön-

en allenfalls auch vom Talsperrenbetreiber wahrgenommen werden. Beispielsweise können Nivellements, welche keinen hohen Genauigkeitsanforderungen genügen müssen, durch speziell geschultes und instruiertes Kraftwerkspersonal ausgeführt werden. Solche Messungen werden idealerweise durch einen Geodäten begleitet und die Resultate von ihm überprüft.

4. Anforderungen an den Geodäten

Die Überwachung von Talsperren stellt an die geodätischen Messungen grundsätzlich hohe Anforderungen bezüglich Genauigkeit und Zuverlässigkeit. Die Geodäsie in der Überwachung von Talsperren kann in den wenigsten Fällen als eine reine Vermessungsaufgabe betrachtet werden. Daher sind auch beim Geodäten nicht nur bei der Datenerfassung im Feld (den eigentlichen Messungen), sondern auch bei der Auswertung der Messdaten vertiefte Kenntnisse notwendig. Neben dem Verständnis von geologischen und geotechnischen Aspekten sind auch bautechnisches Wissen und das Verständnis über ein mögliches Verhalten von Stauanlagen notwendig. Wichtig ist auch, dass der Geodät zur interdisziplinären Zusammenarbeit mit den Betreibern und Experten der Stauanlage, den Aufsichtsbehörden, Bauingenieuren, Geologen u.a. fähig ist und dass er mit diesen eine «gemeinsame Sprache» spricht. Sind Lotmessungen oder geotechnische Referenz- und Vergleichsmessungen (Extensometer, TRIVEC-Messanlagen usw.) in die Deformationsmessung einer Stauanlage zu integrieren, bedingt dies die Kenntnis über die Eigenheiten dieser Messverfahren und



Bild 2. Einmessung eines Lotdrahtes.



Bild 3. Messungen im Trilaterationsnetz der Staumauer Zervreila.

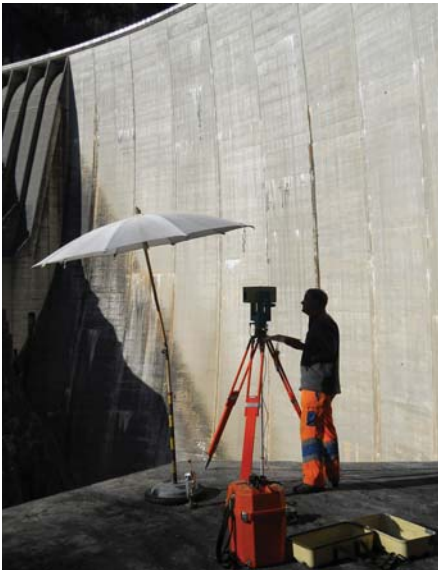


Bild 4. Präzise Distanzmessung bei der Stauanlage Contra.



Bild 5. Wintermessung Stauanlage Nalps.

deren Auswertung. Das Verständnis der Konzepte und Verfahren betreffend der Sicherheit der Talsperren und Stauanlagen sowie über mögliche Deformations- und Gefahrenszenarien erlaubt es dem Geodäten, die Messanlage optimal einzurichten und die mit seiner Vermessung ermittelten Lage- und Höhenänderungen auf deren Plausibilität zu überprüfen.

Die erweiterten Kenntnisse und langjährige Erfahrungen ermöglichen es dem Geodäten, geodätische Messanlagen zu projektieren und einzurichten, welche auf die speziellen Anforderungen der Überwachung von Stauanlagen abgestimmt sind. Bei der Konzeption dieser Messanlagen ist immer darauf zu achten, dass spätere Erweiterungen, allfällige Verfeinerungen oder der Einbezug neuer Messmethoden möglich sind. Mit Fachkenntnis und Weitsicht soll eine Messanlage mit Blick auf ein möglichst langjähriges Bestehen von Beginn weg optimal angelegt werden. Dabei muss der Geodät alle Eigenheiten, Vor- und Nachteile der bestehenden und allenfalls neu zu integrierenden Verfahren und Instrumente kennen, um ein effektives und effizientes Messkonzept zu realisieren resp. zu erweitern.

Grosse Investitionen in das Messinstrumentarium und dessen Zubehör, sowie in die Auswertesoftware und vor allem auch in das Know-how und die Weiterbildung der Mitarbeitenden sind nötig, damit genaue geodätische Deformationsmessungen überhaupt möglich werden. Technische Voraussetzung für präzise Deformationsmessungen an Stauanlagen sind nicht nur geeignete Messinstrumente (Theodolite, hochpräzise Distanzmesser, andere Spezialgeräte wie allenfalls



Bild 6. Präzisionsreflektor.

GNSS), sondern auch ein den speziellen Anforderungen genügendes Zubehör. So ist beispielsweise das Vorhandensein von kalibrierten Nivellierlatten, Zielmarken und Reflektoren in genügender Anzahl unerlässlich. Daneben ist auch ein Instrumentarium nötig, um eher seltene, aber immer wieder anzutreffende Spezialaufgaben wie Lotungen, Höhenübertragungen mittels vertikaler Distanzmessung usw. sicher und effizient zu bewältigen. Die Kalibrierungen des Instrumentariums mit den entsprechenden Nachweisen sind ein wichtiger Bestandteil des Instrumentenunterhalts.

5. Durchführung von geodätischen Deformationsmessungen

Dem Geodäten, welcher sich mit der Überwachung von Stauanlagen beschäftigt,



Bild 7. Invardraht-Distanzmessung in einem Kontrollgang der Staumauer Contra.

sollte klar sein, wie er bei einer solchen Messung vorzugehen hat. Für den Betreiber einer Stauanlage wie auch für die zuständigen Experten sollen im Folgenden ein paar interessante Aspekte zusammengefasst werden.

Bei der Projektierung einer geodätischen Messanlage ist durch den Geodäten eine detaillierte Präanalyse durchzuführen. Dies erlaubt es, vor dem Bau der Messanlage die Einhaltung der geforderten Genauigkeiten zu überprüfen und eventuelle Schwachstellen bereits vor der Durchführung einer ersten Messung zu beheben.

Bei der eigentlichen Messung der Talsperre ist eine zügige Durchführung anzustreben; dies, um mögliche systematische Fehlereinflüsse, beispielsweise durch Änderungen der Temperaturver-



Bild 8. Einsatz des Kern-Mekometers ME5000 bei der Stau-mauer Sufers.



Bild 9. Nivellement im Rutschhang Natons, Stauanlage Marmorera.



Bild 10. Einsatz des 3D-Laserscanners bei der Kartierung von Rissen der Staumauer Valle di Lei.

hältnisse, des Wasserstandes, im Stau-becken usw. möglichst gering zu halten. Dies bedingt eine gute Vorbereitung der Messanlage, welche bereits heute von vielen Betreibern von Stauanlagen eine Selbstverständlichkeit ist.

Geodätische Messungen können nach unterschiedlichen Verfahren ausgewertet werden. Dabei sind unter anderem die Anzahl und die Stabilität der vorhandenen Festpunkte sowie das Design des geodätischen Netzes ausschlaggebend für die Wahl des Auswerteverfahrens. Die gewählte Ausgleichsmethode (gezwängte oder freie Ausgleich, Multi-Epochen-Ausgleich usw.) beeinflusst auch die Grösse der mittleren Fehler. Der Artikel über die mittleren Fehler in der Geodäsie [3] gibt im Übrigen einen sehr guten Überblick über die mittleren Fehler im Zusammenhang mit Deformationsmessungen.

Geodätische Messungen haben nur dann einen Sinn, wenn deren Auswer-

tung sowie die daraus entstehenden Resultate klar beschrieben und dokumentiert sind. In einem technischen Bericht sind daher durch den Geodäten mindestens folgende Punkte zu beschreiben: Zustand und Geschichte der Messanlage, Umfang der durchgeführten Messungen, Art der erfolgten Auswertungen, Resultate (Lage- und Höhenänderungen) mit Beschreibung der erreichten Genauigkeiten. Ergänzend zum technischen Bericht sind die Resultate grafisch und numerisch mittels Plänen, Diagrammen und Tabellen zusammenzufassen: Übersicht der Messanlage, Netzplan, grafische und numerische Darstellung der Lage- und Höhenänderungen.

6. Neue Messmethoden

Die neu entwickelten Messmethoden wie Radar-Interferometrie oder 3D-Laserscanning erschliessen neue Möglichkeiten in der Überwachung von Talsperren. Beispielsweise bietet sich das Laserscan-

ning für Aufgaben der Zustandsaufnahme an, beispielsweise für die Kartierung von Rissen und Abplatzungen. Für die Bestimmung von Verschiebungen sind sie zurzeit bedingt geeignet, da sie zwar hochgenau (Radar-Interferometrie) sind, jedoch die Verschiebung nur in der Richtung des Instruments wiedergeben.

Literatur

- [1] F. Walser: Die Überwachung von Stauanlagen mittels hochpräziser Distanzmessungen in Zusammenhang mit dem Bau des Gotthard-Basistunnels, «Wasser Energie Luft» 2009 Heft 2
- [2] Empfehlungen des Schweizerischen Talsperrenkomitees, STK, Arbeitsgruppe Talsperrenbeobachtung: Geodäsie für die Überwachung von Stauanlagen, 2013 (www.swissdams.ch)
- [3] K. Egger, Beratender Ingenieur: Der mittlere Fehler in der Geodäsie als Grundlage für die Interpretation von Verschiebungen, «Wasser Energie Luft» 2002 Heft 11/12.

Anschrift des Verfassers

Felix Walser, Schneider Ingenieure AG,
Rossbodenstrasse 15, CH-7007 Chur
f.walser@siag-chur.ch