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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 101 (2009)

Heft: 2

Artikel: Die Überwachung von Stauanlagen mittels hochpräziser Distanzmessungen in Zusammenhang mit dem Bau des Gotthard-Basistunnels

Autor: Walser, Felix

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941932

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: 23.08.2025

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

Die Überwachung von Stauanlagen mittels hochpräziser Distanzmessungen in Zusammenhang mit dem Bau des Gotthard-Basistunnels

■ *Felix Walser*

1. Einleitung

Der Bau des Sondierstollens Rawyl im Kanton Wallis verursachte im Jahre 1979 grossräumige Bewegungen in der Gegend der Staumauer Zeuzier, was eine Beschädigung der Mauer zur Folge hatte. Diese Erfahrung veranlasste die Bundesbehörden für die beiden neuen Eisenbahntunnels durch die Alpen eine frühzeitige und zuverlässige Überwachung allfälliger Oberflächenbewegungen des Geländes im Bereich der unterfahrenen Stauanlagen im Bündner Oberland sowie im Lötschental zu verlangen. Damit rechtzeitig vor einer Gefährdung der Stauanlagen bauliche Gegenmassnahmen getroffen werden können, ist eine grossräumige Überwachung nötig.

Beim Lötschberg-Basistunnel, welcher im Jahre 2007 in Betrieb gegangen ist, konnte die erweiterte Überwachung der Staumauer Ferden weitgehend abgeschlossen werden, wobei während der ganzen Bauzeit keine Bewegungen an der Staumauer festgestellt wurden.

Für die drei Staumauern Curnera, Nalps und Sta. Maria der Kraftwerke Vorderrhein AG sind im Rahmen dieser erweiterten geodätischen Überwachung drei unterschiedich grosse Messanlagen erstellt worden, welche jeweils dem Bedürfnis und dem Grad der Gefährdung angepasst sind. Dabei waren auch die seitlichen Abstände der Mauern zu den Tunnelröhren mitentscheidend.

Der Höhenunterschied zwischen dem Tunnelniveau und der Mauerkrone beträgt für alle drei Mauern ca. 1400 m.

Die Überwachung dieser drei Stauanlagen erfolgt in drei Stufen. Mit der ordentlichen Überwachung (Überwachungsstufe 1) werden die in der Stauanlagenverordnung des Bundes festgehaltenen Auflagen für die Kontrolle der Stauanlagen erfüllt. Die Baugenehmigung für den Gotthard-Basistunnel forderte eine erweiterte Überwachung der drei Talsperren der Kraftwerke Vorderrhein AG (KVR). Dies wurde mit der hier vorgestellten Überwachungsstufe 2 realisiert.

Als dritte Stufe (Überwachungsstufe 3) hat die AlpTransit Gotthard AG ein eigenes Messkonzept definiert, welches deren Bedürfnisse abdeckt. Eine frühzeitige Erkennung von Bewegungen im Bereich der Talsperren und in der weiteren Umgebung soll sicherstellen, dass Massnahmen ergriffen werden können, welche einen Baustopp verhindern.

2. Ziel der erweiterten geodätischen Überwachung (Überwachungsstufe 2)

Durch den Bau des Tunnels ist mit einer bleibenden Beeinflussung der Gebirgswasserverhältnisse zu rechnen, womit auch Setzungen des Geländes über dem Tunnel nicht auszuschliessen sind. Als Folge dieser Setzungen sind auch Talverengungen, respektive -erweiterungen möglich. Anhand der entsprechenden Theorien können die zu erwartenden Geländeverformungen abgeschätzt werden. Von solchen Geländebewegungen könnten die Stauanlagen Nalps und Sta. Maria und in geringerem Masse auch die Staumauer Curnera betroffen sein.

Die bestehenden geodätischen Messanlagen der Überwachungsstufe 1 für diese drei Staumauern sind nun derart erweitert worden, dass sie allfällige Geländesetzungen und die daraus entstehenden Distanzänderungen quer zu den Talflanken frühzeitig und mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit anzeigen.

Dabei ist nicht nur die Staumauer selbst von Interesse, sondern es soll auch die nähere und weitere Umgebung der Staumauer überwacht werden. Die durchzuführenden Messungen sollen Hinweise auf allfällige Bewegungen geben, bevor der Tunnelvortrieb die Staumauern erreicht.

3. Messkonzept

Im Falle der drei Staumauern sind allfällige horizontale Bewegungen der Talflanken meist die Folge von Setzungen. Daher sind in erster Linie Höhenänderungen von

Staumauer	Curnera	Nalps	Sta. Maria
seitlicher Abstand	ca. 4.5 km	ca. 0.5 km	ca. 2.5 km

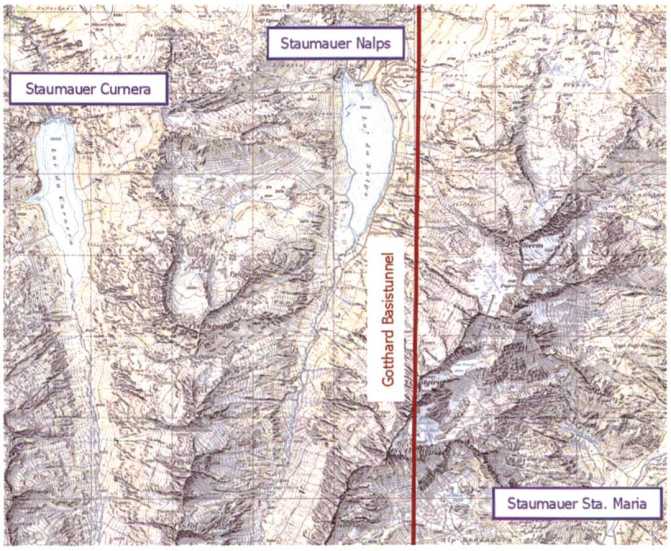


Bild 1*. Übersicht Linienführung Gotthard-Basistunnel.

Bild 2. Bau einer Konsole an einem Lawinenschutzkeil.

Bild 3. Staumauer Nalps.

Bild 4. Nivellement im Val Termine.

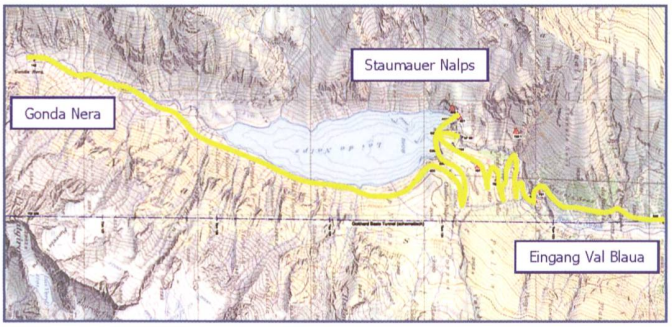


Bild 5. Nivellement im Val Nalps.*

Bedeutung. Eine weitere wichtige Messgrösse sind die Distanzänderungen quer zur Talrichtung. Die Tunnelachse des Gotthard-Basistunnels liegt weitgehend parallel zur Richtung der Täler «Val Nalps», «Val Curnera» und «Val Medel» (siehe *Bild 1*) mit den drei Stauanlagen. Eine durch den Tunnelvortrieb verursachte Setzungsmulde dürfte sich in Abhängigkeit des Vortriebs vorwiegend entlang der Talachsen ausbreiten. Nivellements entlang dieser Talachsen sind für die Erfassung dieser Setzungsmulde eingerichtet. Allfällige für das Verhalten der Stauanlage relevante Kippungen (unterschiedliche Höhenänderungen quer zur Talachse) können mit den über die Mauerkronen eingerichteten Nivellements erkannt werden.

In speziell ausgewählten Talquerschnitten in der Umgebung der Staumauern und bei den Stauanlagen selbst wird das Verhalten des Geländes mittels präziser Distanzmessung kombiniert mit trigonometrischer Winkelmessung erfasst. Am Beispiel der Staumauer Nalps wird das Messkonzept im Folgenden etwas detaillierter erläutert.

3.1 Nivellement und trigonometrische Höhenbestimmung

Das Nivellement ist die genaueste und wirtschaftlichste Methode zur Erfassung von Höhenänderungen des Geländes. Auch grossräumige Bewegungen können damit effizient und präzise erfasst werden. Das Nivellement im «Val Nalps» beginnt nahe des Entlüftungsbauwerkes beim Eingang zum Val Blaua auf einer Höhe von rund 1600 m ü.M. und verläuft entlang der Zufahrtsstrasse bis zum Fuss der Staumauer Nalps auf einer Höhe von ca. 1810 m ü.M. Die Länge dieses ersten Abschnittes beträgt ca. 3.7 km. Die ca. 6 km lange Fortsetzung dieses Nivellements beginnt auf der Staumauerkrone (1910 m ü.M.) und verläuft weiter dem See entlang bis «Gonda Nera» auf einer Höhe von rund 2050 m ü.M. Die Höhenübertragung vom Staumauerfuss bis zur Mauerkrone (ΔH ca. 100 m) erfolgt mittels trigonometrischer Höhenwinkelmessung. Bei Bedarf kann das Nivellement bis nach Surrein nahe Sedrun verlängert werden. Nivellemente können nur in der schneefreien Zeit durchgeführt werden. Als Ersatz für das Nivellement wurde für die Wintermonate ein trigonometrisches Höhennetz eingerichtet. Mit diesem Höhennetz können aber nur wenige Punkte mit einer beschränkten Genauigkeit überwacht werden.

Der Tunnelvortrieb erfolgt bei Nalps von Norden her. Für das Nivellement werden vorerst Punkte am südlichen Ende der Nivellementslinie im Bereich Gonda Nera als Festpunkte angenommen.

3.2 Distanzmessung

Die Überwachung einer möglichen Talverbreiterung, resp. Talverengung erfolgt in ausgewählten Talquerschnitten. Es werden je eine talquerende Distanz ca. 900 m und ca. 600 m vor der Staumauer und mehrere talquerende Distanzen im Bereich der Staumauer und an der Staumauer selbst gemessen. Das geodätische Netz wurde entsprechend erweitert. Die bestehenden Pfeiler der Überwachungsstufe 1 (in *Bild 7* Blau eingezeichnet) sowie eine Anzahl Geländepunkte wurden mit neuen Pfeilern und Konsolen ergänzt (Darstellung in Rot).

Zusätzliche Rückversicherungen dienen der Rekonstruktion bei einer allfälligen Zerstörung oder Beschädigung dieser Pfeiler und Konsolen.

Die Wahl der neuen Pfeilerstandorte erfolgte auf Grund geologischer Begebenheiten, die Topografie (Sichtbarkeiten, Lawinengefahr usw.) und die Zugänglichkeit waren dabei ebenso von Bedeutung.

Zur Messung der Distanzen wird der Mekometer ME5000 eingesetzt. Dieser Laserdistanzmesser zeichnet sich dadurch aus, dass er auch für lange Distanzen eine sehr hohe Genauigkeit erreicht. Zusätzlich zu den Distanzen werden auch die Richtungs- und Höhenwinkel gemessen. Die gemeinsame dreidimensionale Netzausgleichung aller gemessenen Winkel und Distanzen bewirkt eine bedeutend höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit

gegenüber der einfachen Distanzmessung. Auf diese Weise werden Genauigkeiten von ca. 1 mm/km erreicht. Details zu den Auswerteverfahren und zu den Resultaten liefert Kapitel 5.

4. Messprogramm

Das Messprogramm der Überwachungsstufe 2 gliedert sich für alle drei überwachten Stauanlagen in zwei Phasen:

4.1 Referenzmessungen

Eine kleine Anzahl von Referenzmessungen erfolgte, bevor der Tunnelvortrieb irgendwelche Auswirkungen auf die Staumauern haben konnte. Die Nivellemente und das Distanznetz wurden zu verschiedenen Jahreszeiten gemessen. Damit sollen allfällige saisonale Einflüsse erkannt werden. Aber auch Probleme, welche sich insbesonders für Messungen während der Wintermonate ergeben, können so frühzeitig festgestellt und die notwendigen Gegenmassnahmen ergriffen werden.

Im September 2002 erfolgten zusätzlich gleichzeitige Messungen der Überwachungsstufen 1, 2 und 3 bei allen drei Stauanlagen. Auf Beschluss des BGST (Begleitgremium Stauanlagen und Tunnelvortrieb) gelten diese Messungen vom September 2002 für die Überwachungsmessungen als gemeinsame Referenz. Damit wurde sichergestellt, dass die Vergleichbarkeit der verschiedenen Ergebnisse gewahrt ist.

4.2 Weitere Messungen

Die Phase der eigentlichen Überwachung der Stauanlage Nalps begann im Frühsommer 2005. Zu dieser Zeit hatte der Vortrieb der beiden Tunnelröhren von Norden her das Kristallin des Gotthardmassivs erreicht und sich somit auf ca. 1 km an die Staumauer Nalps genähert. Der horizontale Abstand zur nördlichsten talquerenden Distanz 750–751 betrug damit noch rund 200 m. Aufgrund der geologischen Verhältnisse musste damit gerechnet werden, dass sich an der Geländeoberfläche erste Auswirkungen zeigen könnten.

Weitere Messungen erfolgten abhängig von der Vortriebsleistung in den beiden Tunnelröhren. Somit stehen bis jetzt (Stand November 2008) für die Staumauer Nalps die Resultate von insgesamt 14 Distanzmessungen und ebenso vieler Nivellemente zur Verfügung.

Da die Distanz zwischen der Staumauer Curnera und dem Tunnelvortrieb bedeutend grösser ist, werden bei dieser Mauer entsprechend weniger häufig geodätische Messungen durchgeführt. Insgesamt wurden bisher fünf Messungen der Überwachungsstufe 2 auf der Messanlage Curnera durchgeführt.

Die eigentlichen Messungen auf der Messanlage der Staumauer Sta. Maria werden erst bei Annäherung des Vortriebs an diese Stauanlage im Laufe des Jahres 2009 beginnen.

5. Auswertung und Resultate

Anhand der Messanlage der Staumauer Nalps werden im Folgenden die hier eingesetzten Auswerteverfahren und die daraus erhaltenen Resultate kurz aufgezeigt.

5.1 Auswerteverfahren

Die Auswertung der Nivellemente erfolgt

Bild 6. Distanzmessung mit dem Mekometer ME5000 auf der Staumauer Nalps.

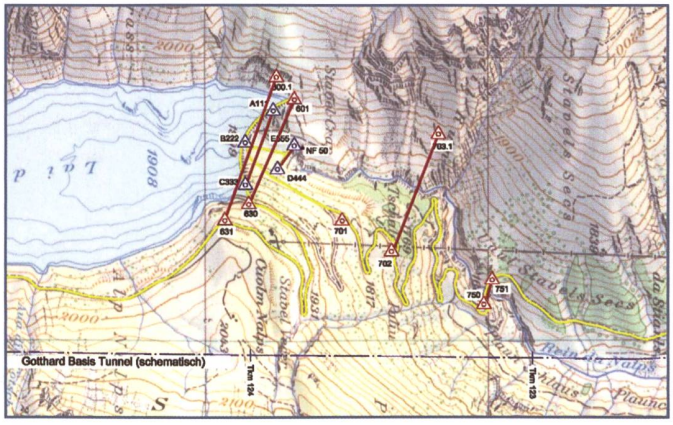


Bild 7. Talquerende Distanzen, Staumauer Nalps.*

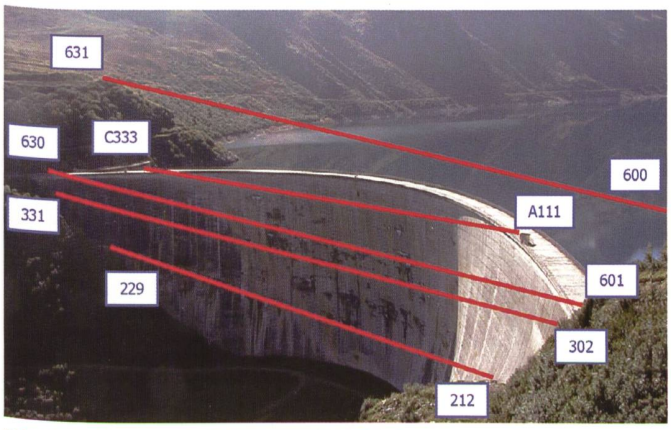


Bild 8. Talquerende Distanzen bei der Staumauer Nalps.

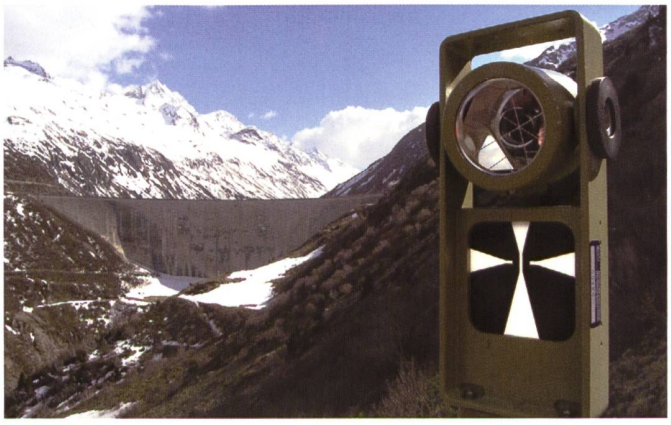


Bild 9. Präzisionsreflektoren für die Distanzmessung mit dem Mekometer ME5000.

Bild 10. Wintermessung mit Einsatz eines Helikopters.

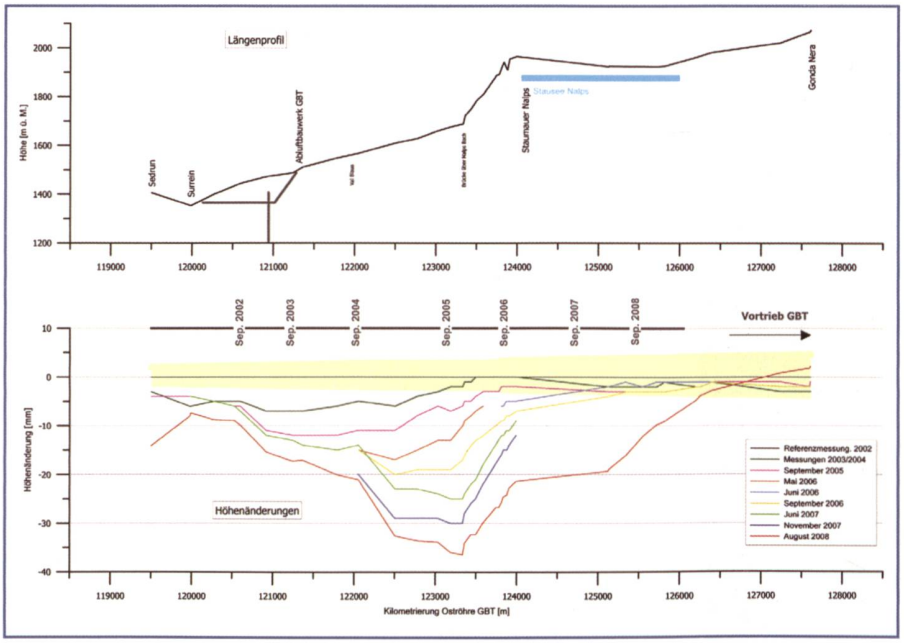


Bild 11. Setzungsmulde in Val Nalps; Resultate der Nivellements der Überwachungsstufen 1 bis 3.

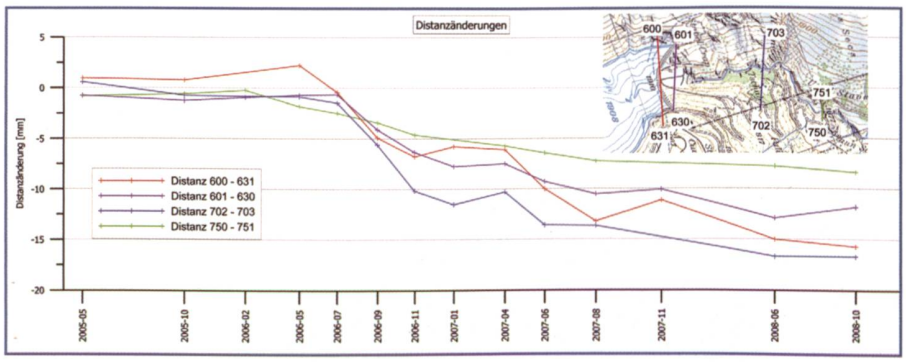


Bild 12. Distanzänderungen im Val Nalps.*

**Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091330)*

als freie Nivellemente, welche jeweils einseitig an einen Fixpunkt angeschlossen werden. Dieser Fixpunkt (Punkt 142 in Gonda Nera), welcher sich ca. 3.5 km südlich der Staumauer Nalps befindet, wurde so gewählt, dass eine Beeinflussung, zumindest während der Phase der Staumauerunterquerung, durch den Tunnelvortrieb nahezu ausgeschlossen werden konnte.

Die gemessenen Winkel und Distanzen des Distanz- und Höhennetzes werden in einer gemeinsamen, dreidimensionalen Ausgleichung als freies, ungezwängtes Netz ausgewertet und anschliessend mittels einer Helmert-Transformation auf Festpunkte in beiden Talflanken gelagert. Anders als bei herkömmlichen geodätischen Netzen zur Überwachung von Staumauern kann man bei dieser Netz-Lagerung nicht mehr davon ausgehen, dass die verwendeten Festpunkte auch tatsächlich stabil sind. Spezielle Auswertetechniken können diesem Umstand jedoch teilweise Rechnung tragen.

5.2 Resultate

Die bisher durchgeführten Nivellemente zeigen ganz deutlich die durch den Tunnelvortrieb entstandene Setzungsmulde im Val Nalps, welche sich entsprechend dem Vortrieb immer mehr Richtung Staumauer ausdehnt und diese bereits erreicht hat. Die Grafik in *Bild 11* zeigt die zunehmenden Setzungen mit fortschreitendem Tunnelvortrieb.

Auch die Distanzmessungen zeigen eine signifikante Annäherung der beiden Talflanken des Val Nalps.

Wie bei den Nivellements macht sich auch bei den talquerenden Distanzen der Einfluss des von Norden her kommenden Tunnelvortriebs bemerkbar. Die am weitesten von der Staumauer entfernte Distanz 750–751 unterliegt zuerst einer Verkürzung. Seit Juli 2006 verkürzt sich auch die Distanz 702–703, während die Distanzen unmittelbar bei der Staumauer zuletzt reagieren.

Obwohl die Punkte der Überwachungsstufen 2 und 3 nicht identisch sind und sich zudem an unterschiedlichen Orten befinden, zeigen die Resultate beider Stufen eine gute Übereinstimmung. Stellvertretend sind in der Grafik in *Bild 13* die Verhältnisse der Distanzänderung zwischen den beiden Widerlagern der Staumauer auf Kronenhöhe dargestellt. In roter Farbe sind die Resultate der Überwachungsstufe 3, in blauer Farbe die Distanzänderungen der Messungen der Überwachungsstufe 2 aufgezeichnet.

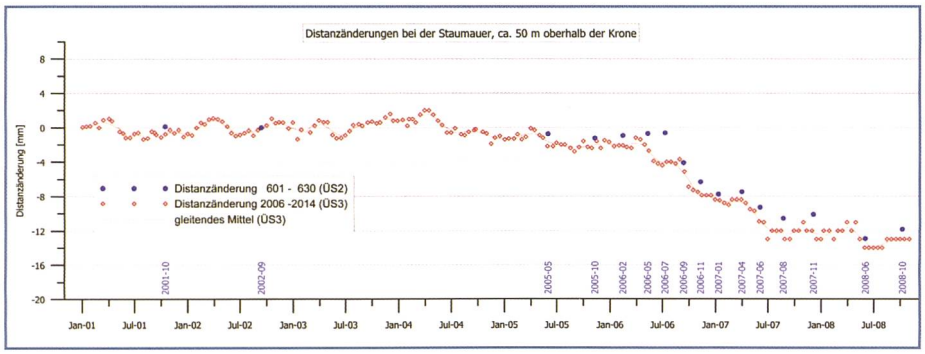


Bild 13. Distanzänderungen zwischen den beiden Widerlagern der Staumauer Nalps.

6. Schlussbemerkungen

Trotz der bisher geringen Wassereintritte in den Gotthard-Basistunnel sind die Auswirkungen des Tunnelvortriebs an der Geländeoberfläche messbar. Setzungen von bis zu 35 mm und eine Annäherung der Talflanken (auf Kronenhöhe) von mehr als 10 mm wurden mit den Messungen der Überwachungsstufe 2 festgestellt. Dabei werden für die Bestimmung der Distanzänderungen sehr hohe Genauigkeiten von ca. 1 mm/km (einfacher mittlerer Fehler) erreicht.

Damit solche hohen Genauigkeiten überhaupt erreicht werden, sind neben dem Einsatz von Präzisionsinstrumenten mit entsprechendem Zubehör auch das Verständnis und die Erfassung der meteorologischen Verhältnisse während der Messungen von entscheidender Bedeutung. So werden mittels selbstregistrierenden Sensoren die Temperaturverhältnisse an verschiedenen Stellen im geodätischen Netz während der Messung fortlaufend aufgezeichnet.

Das erweiterte geodätische Netz der Überwachungsstufe 2 liefert einen wichtigen Beitrag zur Sicherheit der drei Staumauern der Kraftwerke Vorderrhein AG während des Baus des Gotthard-Basistunnels. Mit dem hier vorgestellten Konzept können rasch und zuverlässig Veränderungen der Staumauern und des diese umgebenden Geländes festgestellt werden. Die Messungen der Überwachungsstufe 3 sind in einem Artikel unter dem Titel «Messungen der AlpTransit Gotthard AG zur verstärkten Überwachung der Stauanlangen der Kraftwerke Vorderrhein AG» dokumentiert.

Literatur:

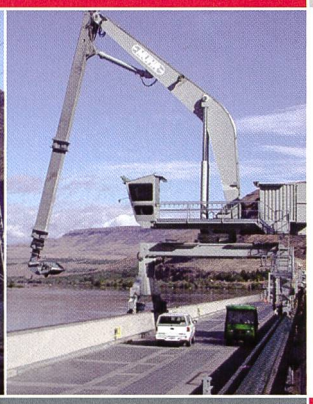
1) AlpTransit und Sicherheit der Talsperren, Erkenntnisse im Lötschberggebiet – «Wasser Energie Luft» 2004, Heft 11/12.

2) Messungen der AlpTransit Gotthard AG zur verstärkten Überwachung der Stauanlagen der Kraftwerke Vorderrhein AG – «Wasser Energie Luft» 2007, Heft 3.

Anschrift des Verfassers
Felix Walser
Schneider Ingenieure AG
Rossbodenstrasse 15, 7007 Chur
Tel. +41 (0)81 286 97 00
f.walser@siag-chur.ch
www.schneideringenieure.ch

Rechenreiniger und Rechensysteme

www.muhr.com



MUHR

Rock Island, USA

Muhr HYDRONIC M-5000: 41 m Auslegerlänge, 9 to Hubkraft, 34 m Reinigungstiefe, 180 m Verfahrweg. Leistungssteigerung des Kraftwerks durch die Muhr HYDRONIC M-5000: Bis zu 8 MW pro Stunde.

Flexizient.

Mehr Flexibilität. Mehr Effizienz.

Muhr Rechenreiniger und Rechensysteme HYDRONIC CATRONIC

Profitieren auch Sie mit Muhr vom weltweit umfangreichsten Programm an Rechensystemen: Für mehr Flexibilität und perfektes Realisieren Ihrer individuellen Anforderungen vor Ort. Für mehr Effizienz: Kostensenkend durch 100% vollautomatischen wärterlosen Betrieb. Zuverlässig, langlebig und nahezu wartungsfrei. Mit weltweit über 800 installierten Anlagen steht Muhr als einer der weltweit führenden Hersteller von Rechensystemen nicht nur für höchste Sicherheit und Kompetenz sondern zusätzlich für mehr Flexibilität und mehr Effizienz von Anfang an.

Rechenreiniger - Stahlwasserbau

Mehr Infos. Jetzt anrufen.
+49 (0)8034 9072-0

Muhr GmbH
Grafenstraße 27
D-83098 Brannenburg

info@muhr.com
www.muhr.com

4E **Erfahren. Einfallsreich. Effizient. Exakt. Das Muhr 4E Konzept.**