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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 99 (2007)

Heft: 3

Artikel: Messungen der AlpTransit Gotthard AG zur verstärkten Überwachung der Stauanlagen der Kraftwerke Vorderrhein AG

Autor: Bräker, Fritz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940136

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: 16.07.2025

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

Messungen der AlpTransit Gotthard AG zur verstärkten Überwachung der Stauanlagen der Kraftwerke Vorderrhein AG

■ *Fritz Bräker*

1. Einleitung

Die drei Stauanlagen Curnera, Nalps und Sta. Maria der Kraftwerke Vorderrhein AG (KVR) werden auf Grund der Stauanlagenverordnung (StAV) mit geodätischen und anderen Mitteln überwacht, wobei die geodätischen Messungen wegen des NEAT-Projektes seit mehreren Jahren intensiviert wurden. Die AlpTransit Gotthard AG (ATG) lässt ausserdem weitere Messungen durchführen, deren Zweck sich nach den spezifischen Bedürfnissen des Tunnelbaus der ATG ausrichten. Zur einfachen Sprachregelung werden die auf verschiedene Zwecke ausgerichteten Überwachungsmassnahmen mit folgenden drei Stufen unterschieden:

Stufe 1: Ordentliche Überwachung gemäss Stauanlagenverordnung (StAV) durch die Anlagenbetreiberin, also die Kraftwerke Vorderrhein AG (KVR)
Zweck: Zustands- und Verhaltenskontrolle, fachtechnische Kontrolle und Sicherheitsüberprüfung durch Experten

Stufe 2: Erweiterte Überwachung gemäss StAV auf Anordnung des Bundesamts für Energie (BFE)
Zweck: Massnahmen bei einer möglichen Beeinflussung der Sicherheit (der Stauanlagen) durch andere Bauten

Stufe 3: Zusätzliche Überwachung im Auftrag von ATG
Zweck: Beherrschung der Projektrisiken bei der Unterquerung der Stauanlagen hinsichtlich Kosten, Termine und Funktionalität

Auf der Stufe 1 werden alle fünf Jahre umfangreiche geodätische Handmessungen gemacht. Ausserdem werden intensivierte Überwachungen durch die KVR gemacht, wie z.B. mittels automatisierter und manueller Messungen mit fest installierten Geräten wie Loten, Auftriebsgebern, Sickerwassermessinstrumenten, Blockfugenmessungen usw. sowie mit visuellen Kontrollen der Mauern und Stollen bezüglich Wasseraustritten. Zur Stufe 2 gehören spezielle geodätische Distanz- und Winkelmessungen sowie lokale Nivellements, welche mehrmals pro Jahr durchgeführt werden.

Auf der Stufe 3 werden jährlich grossräumige Nivellements sowie automatisierte Distanz- und Winkelmessungen im Intervall von 1 Tag bis 2 Wochen während des ganzen Jahres ausgeführt. Ausserdem sind an mehreren Orten permanente GPS-Stationen eingerichtet.

2. Aufgabenstellung für die Überwachungsstufe 3

Das Gelände soll grossräumig und im unmittelbaren Bereich der drei Talsperren Curnera, Nalps und Sta. Maria während mindestens 12 Jahren mit den folgenden Zielsetzungen überwacht werden:

- Erfassung des natürlichen Zustands des Geländes bzw. des Gebirges an geologisch repräsentativen Stellen vor einer allfälligen Beeinflussung durch den Tunnelbau (Beweissicherung)
- Ermitteln des Normalverhaltens des Messsystems und des Geländes vor dem Tunnelbau (Kalibrierphase)
- Sofortige Entdeckung von ungewöhnlichen Oberflächenbewegungen während des Tunnelbaus bis einige Jahre nach Abschluss des Vortriebs

Die Voruntersuchungen im Auftrag des BFE (früher Bundesamt für Wasser und Geologie) zeigten, dass ein Eingriff in den Wasserhaushalt des Gebirges eine grossräumige Setzungsmulde von mehreren Kilometern Ausdehnung verursachen kann. Eine solche Setzungsmulde kann eine Schliessung, Öffnung oder Scherbewegung von sich gegenüberliegenden Talflanken verursachen.

Die primäre Aufgabe der Überwachungsstufe 3 ist das frühzeitige Erkennen von Oberflächenbewegungen, welche die Sicherheit der Talsperren gefährden und deshalb einen Stopp des Tunnelvortriebs bedingen könnten. Die Messung von einigen Punkten an den Talsperren haben den Zweck, eine Vergleichsmöglichkeit gegenüber dem sperrenspezifischen Überwachungssystem zu schaffen.

Im Zuge eines öffentlichen Vergabeverfahrens beauftragte ATG die ARGE Los 349 unter Federführung von Swissphoto AG, Regensdorf, mit den Aufgaben der Überwachungsstufe 3.

3. Lösungskonzept

3.1 Randbedingungen

Bei der Entwicklung des Lösungskonzeptes galt es nebst den vermessungstechnischen Möglichkeiten vor allem die Grossräumigkeit des betroffenen Gebietes, die gebirgige Topografie, die unterschiedliche Geologie und ihre Ausprägung an der Oberfläche, die rauen Klimabedingungen, die Naturgefahren (z.B. Blitzschlag und Lawinen), die Langfristigkeit der Aufgabe sowie die Ansprüche an die Genauigkeit und Verfügbarkeit der Resultate zu beachten.

3.2 Überwachung der Setzungsmulde

Unter Beachtung der topografischen, messtechnischen und finanziellen Randbedingungen bot sich zur grossräumigen Überwachung der Tiefe und Ausdehnung einer möglichen Setzungsmulde die Methode des Präzisionsnivellements an. Solche Messungen müssen aus offensichtlichen Gründen entlang von befestigten Strassen und Stollen geführt werden und nur in Ausnahmefällen und mit zusätzlichem Mehraufwand entlang von Bergwegen, siehe *Bild 2*. Mit den Nivellements in den Tälern Curnera, Nalps und Medels soll vor allem die Längsausdehnung der Setzungsmulde und mit den Linien entlang der Oberalppassstrasse, in den KVR-Stollen, im Val Piora und südlich des Lukmanierpasses die Querausdehnung erfasst werden. Die Messbarkeit der Nivellements ist allerdings auf die schneefreie Zeit, also je nach Höhenlage auf die Periode April/Mai bis Oktober/November, beschränkt. Nivel-

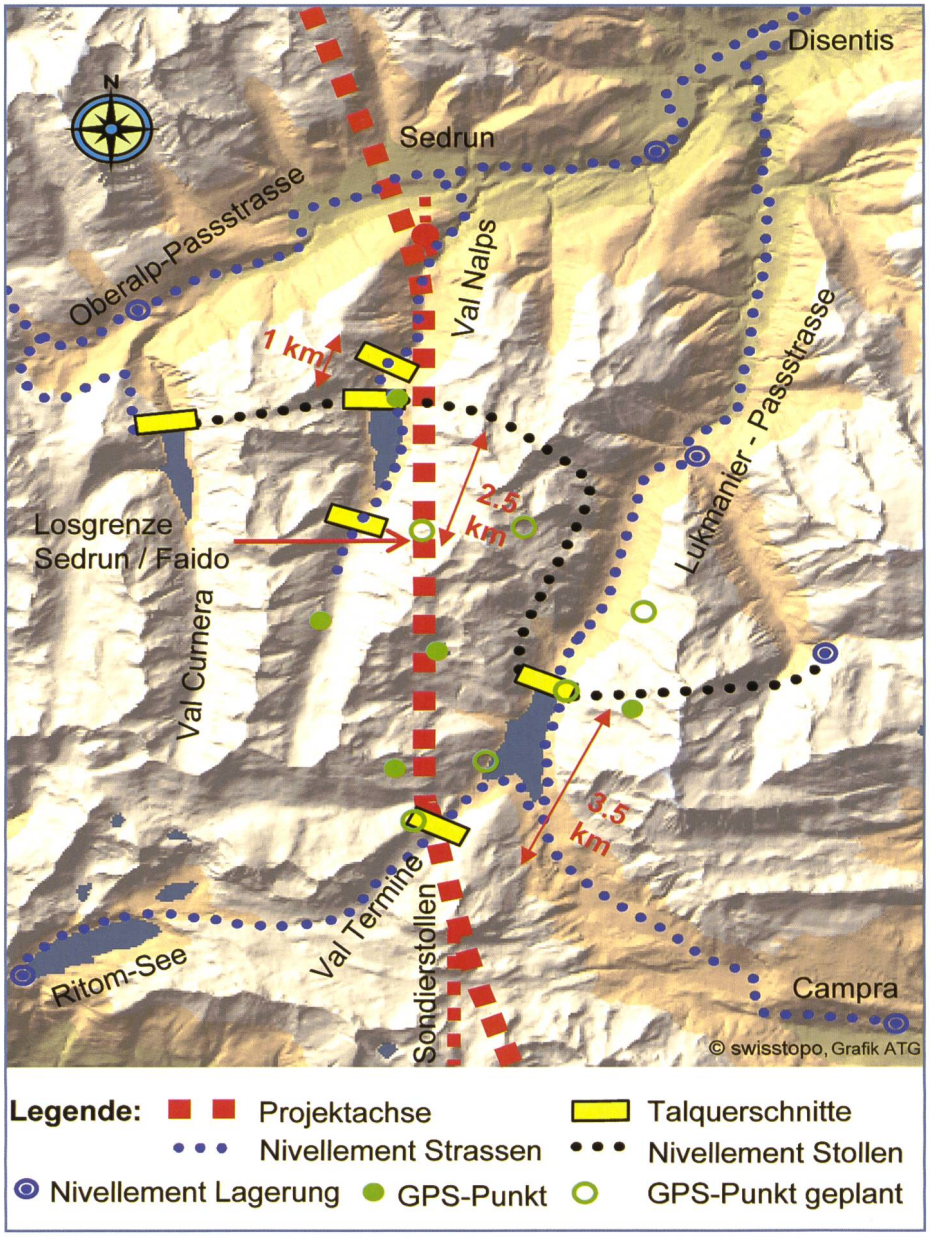


Bild 1. Übersicht der Messanlagen.

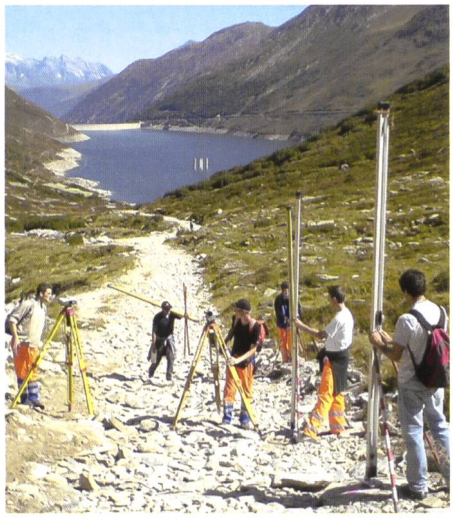


Bild 2. Präzisionsnivellement in schwierigem Gelände.

lements in den Stollen der KVR sind grundsätzlich zu jeder Jahreszeit möglich. Dazu müssen die Stollen aber entleert werden, was zusätzliche Kosten verursacht.

Mit Nivellements können also präzise Höheninformationen entlang von linearen Geländestrukturen gewonnen werden. Falls die Nivellements weit genug über die Setzungsmulde hinausreichen, lassen sich daraus auch absolute Höhenbewegungen ableiten. Dabei ist zu beachten, dass die Aussagekraft eines überwachten Punktes proportional zur Wurzel aus der Distanz zu den Lagerungspunkten sinkt.

3.3 Überwachung lokaler Bewegungen

Wegen der linearen Struktur der Nivellements können daraus nur indirekt Abschätzungen der differenziellen Talflankenbewegungen im Bereich der Staumauern gemacht werden. Ausserdem sind wegen der jahreszeitlichen Einschränkung während 5–6 Monaten keine Messungen möglich. Aus diesem Grund galt es in mehreren Talquerschnitten, insbesondere bei den Talsperren, während des ganzen Jahres Talschliessungen, -öffnungen, -scherungen und Höhenänderungen mit einer anderen Methode aber ebenfalls mit hoher Genauigkeit überwachen zu können. Auf Grund von Feldbegehungen konnten sechs geeignete Talquerschnitte mit geologisch repräsentativem Felsuntergrund gefunden werden. Die Detektierfähigkeit (Signifikanzgrenze) der Messungen in den Talquerschnitten wurde auf 4 mm festgelegt. Die geschätzten Bewegungs- oder Deformationsgeschwindigkeiten führten zur Forderung, dass alle zwei Wochen und im Bedarfsfall jeden Tag ein Resultat verfügbar sein muss.

Zusätzlich wurden Einzelpunkte für Messungen mittels GPS-Technologie eingerichtet. Dabei war man sich bewusst, dass die Genauigkeit im Vergleich mit den nivellitischen und tachymetrischen Messungen etwas reduziert sein würde. Andererseits sind GPS-Messungen das ganze Jahr und in kurzen Intervallen möglich. Die Resultate können je nach Netzkonfiguration mit einem absoluten Bezug ermittelt werden.

4. Nivellements

4.1 Einrichtung der Nivellements

In den Jahren 1998–2000 und 2002 wurde im Auftrag von AlpTransit Gotthard AG ein grossräumiges Nivellementnetz nach den Qualitätsstandards des eidgenössischen Landesnivellments eingerichtet und zum Zweck einer Beweissicherung mit einer Nullmessung bestimmt. Die Gesamtlänge beträgt annähernd 120 km, siehe *Bild 1*.

Um absolute Aussagen über die Grösse und Tiefe der Setzungsmulde zu machen, müssen die Endpunkte der Nivellements ausserhalb der potenziellen Setzungsmulde liegen. Diese Forderung wird mit den Lagerungspunkten Tschamut, Valzeinza, Sogn Gions, Campra und Val Cristallina erfüllt, siehe *Bild 1*. Wegen der aus den Wiederholungsmessungen erkennbaren Setzungen entschloss sich ATG das Nivellement vom Val Termine im Jahr 2006 trotz der schwierigen Topografie bis zur Staumauer Ritom zu verlängern. So wurde ein weiterer Lagerungspunkt ausserhalb der Setzungsmulde gewonnen.

Auch im ATG-Zugangsstollen zum Schachtkopf Sedrun wird seit 1999 ein Präzisonsnivellement gemessen, welches in das Gesamtnetz eingebunden werden kann. Mittels einer Distanzmessung im vertikalen 800 m hohen Schacht wird die Höhe bis zum Schachtfuss übertragen.

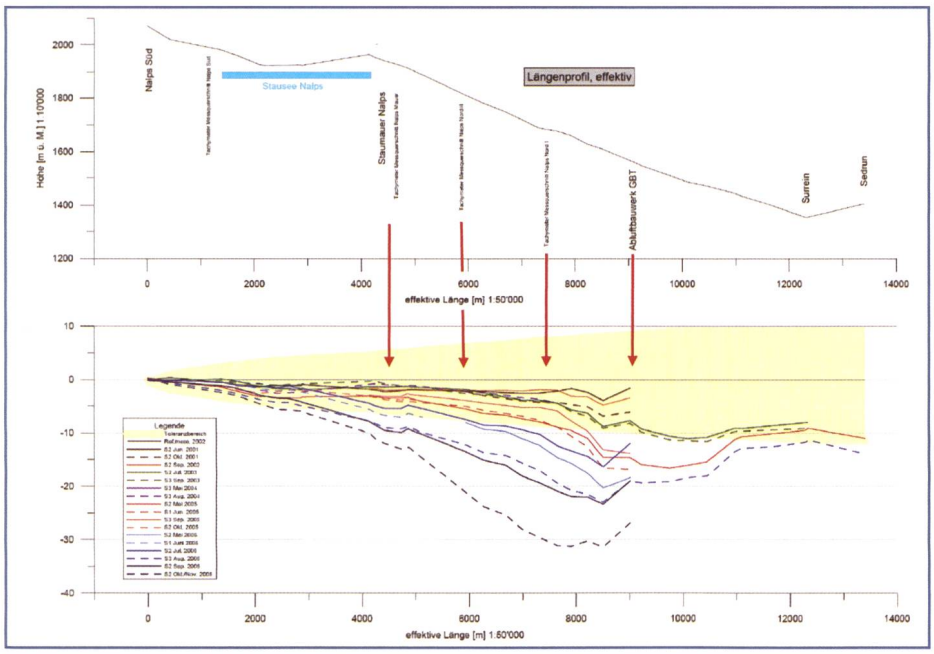


Bild 3. Nivellementresultate 2002–2006 im Val Nalps.

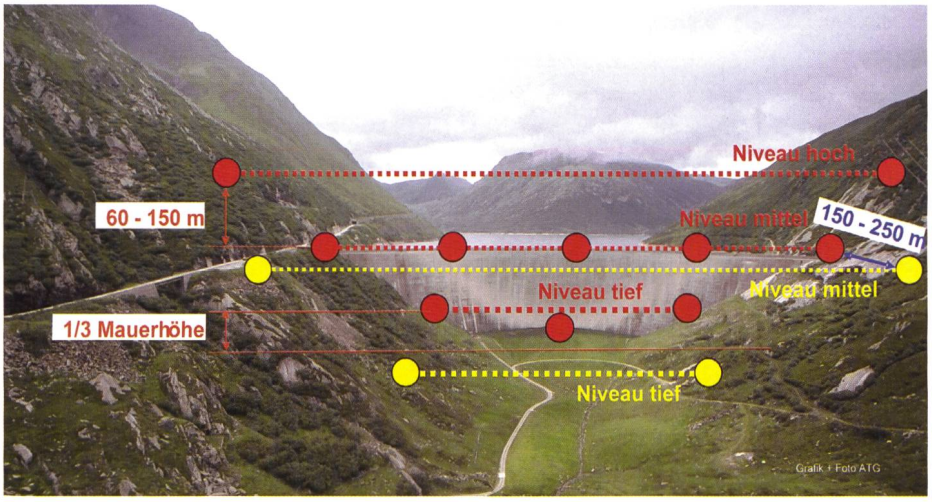


Bild 4. Konzept der Querschnittsüberwachung bei Talsperren.

Ein weiteres Nivellement wurde von der KVR (Überwachungsstufe 1) im Jahr 2002 im Druckstollen Mauer Nalps bis Alp Tschom eingerichtet und wird seitdem jährlich gemessen. Ausserdem misst die KVR seit 1996 ein Nivellement im Zugangsstollen zur Kraftwerkkaverne.

4.2 Messungen und Resultate

Ein Grossteil des Nivellementnetzes von gut 95 km Länge wird jährlich gemessen, mit einem Zeithorizont von mehreren Jahren.

Wesentlich häufiger werden die Nivellements entlang von ausgewählten Strecken wiederholt. So z.B. im Val Nalps, wo das Nivellement vorderhand vor allem im Rahmen der Überwachungsstufe 2, je nach Schneeverhältnissen und in Koordination mit den Stufen 1 und 3, drei- bis vier Mal pro Jahr gemessen wird.

Die Beauftragten jeder Überwachungsstufe werten ihre eigenen Messungen aus. ATG wurde ausserdem die Aufgabe übertragen, die Resultate der Oberflächennivellements der Stufen 1–3 koordiniert darzustellen.

In der Grafik sind die Nivellementresultate der drei Überwachungsstufen bezüglich der Referenzmessung im Jahr 2002 dargestellt. Die lokale Lagerung dieser Auswertungen bezieht sich auf den südlichsten Punkt des Nivellements im Val Nalps. Die gelb gefärbte Fläche stellt den Signifikanzbereich dar. *Bild 3* zeigt einerseits die gute Übereinstimmung der Resultate der verschiedenen Epochen und andererseits eine sich über die Jahre vergrössernde, deutliche Setzungsmulde mit einem Maximum von 3 cm etwa 1,5 km (Luftlinie) nördlich der Staumauer Nalps, d.h. beim Val Blaua bzw. der Urseren-Garvera-Zone (Linien-Meter 8000).

Auf Grund der ATG-Nivellements im Jahr 2006 wurde im Portalbereich des Zwischenangriffs Sedrun eine Setzung von 10 mm und im Bereich des Schachtkopfs eine Setzung von bis zu 14 mm festgestellt. Neuste Messungen von Mitte Mai 2007 zeigen, dass sich die Setzungsmulde weiter nach Süden ausdehnt und sich im Nordteil des Val Nalps stabilisiert.

4.3 Interpretation der Resultate

Die bisherigen Nivellements im Val Nalps lassen eine sich von Norden nach Süden ausbreitende Setzungsmulde erkennen. Diese Bewegung geht mit dem Fortschritt des Tunnelvortriebs einher. In absehbarer Zeit kann bei einer Lagerung des Nivellements im Süden des Val Nalps der volle Setzungsbetrag kaum mehr ermittelt werden. Die künftige Lagerung der ATG-Nivellements und die vergleichenden Analysen der verschiedenen Überwachungsstufen werden sich dann wohl vor allem auf die Nivellements in den KVR-Stollen abstützen müssen.

Die vertikale Distanzmessung im Schacht, im August 2006, ergab eine Setzung am Schachtfuss von 8 mm. Daraus kann eine Schachtverkürzung von etwa 6 mm abgeleitet werden. Diese Werte stimmen mit den Prognosen auf Grund von felsmechanischen Modellberechnungen recht gut überein, auch mit der erstaunlichen Tatsache, dass die Setzungen tiefer reichen, als das Tunnelniveau.

5. Talquerschnitte

5.1 Realisierung der Talquerschnittsmessungen

Die Überwachung der Talflanken geschieht durch die Beobachtung der gegenseitigen Lage und Höhe von jeweils zwei Punkten auf den so genannten Niveaus hoch, mittel und tief.

Die Punkte auf dem «Niveau hoch» liegen 60–150 m über der Mauerkrone und die Punkte auf dem «Niveau tief» auf $^1/_3$ der Mauerhöhe. Auf dem mittleren Niveau liegen die Flankenpunkte 5–20 m über der Mauerkrone. Auf der Mauerkrone werden drei Punkte und am Mauerfuss ca. 10 m über dem Terrain ein Punkt gemessen. Im Abstand von 150–250 m auf der Luftseite der Mauer wird ein weiterer Talquerschnitt mit je einem Punktpaar auf dem Niveau der Mauerkrone und auf dem «Niveau tief» gemessen, siehe *Bild 4*.

Die Vorfeld-Talquerschnitte bestehen aus einem Punkt im Talgrund, einem Punktepaar 30–50 m höher (Niveau tief) und einem Punktepaar 150–250 m über dem Talgrund (Niveau hoch).

Die zu überwachenden Punkte bestehen in der Regel aus Prismen, die direkt am steilen Fels oder auf einem doppelwan-

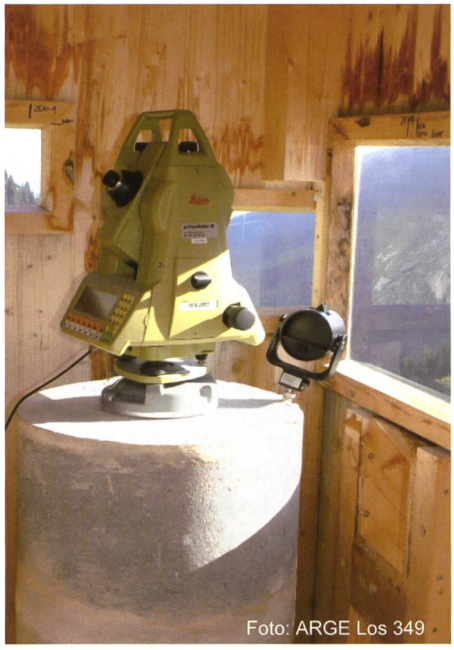


Bild 5. Tachymeter auf doppelwandigem Pfeiler in Schutzhaus.

Bild 6. Solarstromversorgung für automatischen Tachymeter.

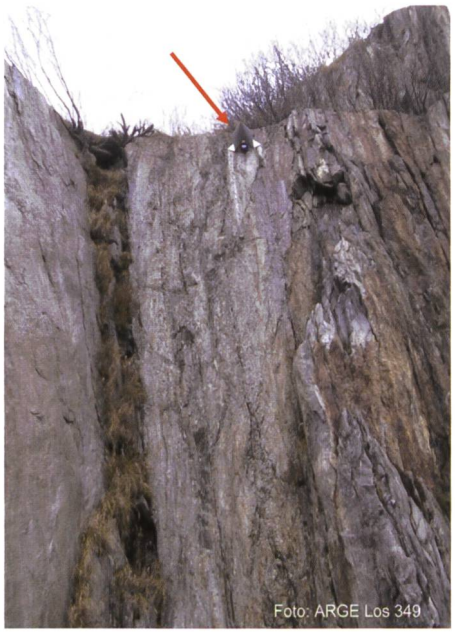


Bild 7. Beobachtungspunkt am Fels.

Bild 8. Beobachtungspunkt in Lawinenhang.

Bild 9. Beobachtungspunkt auf doppelwandigem Pfeiler.

digen 2–3 m hohen Betonpfeiler montiert sind, siehe *Bild 7* und *9*.

Normalerweise werden Deformationsmessungen auf Punkte abgestützt, von denen man annimmt, dass sie keinen Bewegungen unterliegen, also fix sind. Da im vorliegenden Fall mit weiträumigen Geländebewegungen zu rechnen ist, muss das Überwachungskonzept ohne Fixpunkte auskommen. Die beauftragte Firma realisierte die Querschnittsüberwachung mittels zwei Tachymetern auf den Mauerkronen und bei den drei Vorfeldquerschnitten mit einem Tachymeter entweder im Talfuss oder an der Talflanke. Mit diesen in einem speziellen Messhaus untergebrachten Instrumenten (siehe *Bild 5* und *6*) wird zusammen mit den Temperatur- und Drucksensoren jeweils nachts ein dreidimensionales geodätisches Netz in einem automatisierten Modus gemessen. Die Messungen in der Nacht bieten gegenüber Tagesmessungen den Vorteil eines wesentlich homogeneren Temperaturfeldes und der Vermeidung von einseitig angestrahlten Beobachtungspunkten. Am nächsten Morgen erfolgt die Datenübertragung via E-Mail ins Büro. Hier werden die Auswertungen nach einem standardisierten Prozess unter Einbezug eines geodätischen Ausgleichungsprogramms durchgeführt. Bei diesem Messkonzept ist der Tachymeterstandort auf der Mauerkrone wie eine so genannte freie Stationierung zu betrachten. Für jede Messepoche wird ein freies bzw. weich gelagertes Netz berechnet. Aus dem Vergleich der räumlichen Position zwischen zwei Punkten lassen sich die relativen Bewegungen quer und längs zum Tal sowie in Höhe innerhalb eines bestimmten Zeitraums direkt nachweisen.

Um solche Vergleiche anstellen zu können, muss den Netzen ein konstanter Massstab zu Grunde liegen. Dies bedeutet, dass die Einflüsse von Temperatur und Druck sehr genau erfasst und korrigiert werden müssen. Ausserdem müssen höchste Ansprüche an die Stabilität des frequenzgebenden Quarzes für die Distanzmessung erfüllt werden.

Das raue Gebirgsklima stellt harte Anforderungen an die Messanlage. Weder tiefe Temperaturen, starke Winde und grosse Schneemengen noch elektrostatische Entladungen durch Gewitter dürfen die Funktionstüchtigkeit der Messanlage während mehr als einigen Tagen unterbrechen.

Nach einigen Verbesserungen erreichen heute die Messanlagen eine fast hundertprozentige Verfügbarkeit sämtlicher Punkte während des ganzen Jahres, d.h. mit einem Ausfall der Messresultate im Zweiwochenintervall in irgendeinem Querschnitt ist kaum zu rechnen.

5.2 Resultate ohne Einfluss des Tunnelvortriebs

Als Resultat werden die relativen Bewegungen zwischen allen Punktkombinationen in Form je einer Komponente quer und längs zum Tal sowie in Höhe ermittelt und in Excel-Tabellen zusammengefasst. Die Bewegungen zwischen ausgewählten Punktepaaren werden grafisch dargestellt.

Die Ergebnisse, für die von den Mauerbewegungen beeinflussten Punkte, stimmen mit den Resultaten der laufenden Überwachungen der KVR sehr gut überein. Hingegen wurden unerklärliche Taloffnungen vom Sommer bis Winter und

Talschliessungen im Frühsommer beobachtet, die vorerst nicht erklärt werden konnten. Diese Bewegungen zeigen einen zyklischen Zusammenhang mit der Jahreszeit. Sie waren in den ersten Jahren mit wenigen Ausnahmen reversibel und betragen auf dem obersten Niveau bei den Mauern Curnera und Sta. Maria etwa 10 mm und bei der Mauer Nalps etwa 5 mm. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den Vorfeldquerschnitten. Von allen Talquerschnitten wurden im Val Termine auf dem «Niveau hoch» die extremsten Öffnungen und Schliessungen des Tales von 10–16 mm gemessen, siehe *Bild 10*.

Um nicht kompensierte, insbesondere temperaturbedingte Messfehler auszuschliessen, wurden verschiedene Testmessungen durchgeführt und andere spezielle Massnahmen ergriffen:

- Tachymeterkalibrierung an der ETH im Temperaturbereich von –20 °C bis +50 °C.
- Einschränkung auf Nachtmessungen mit reduziertem Messrauschen
- Abklärung der meteorologischen Stabilität im Messgebiet mit zusätzlichen Temperatursensoren
- Studie an der ETH bezüglich Kreuzkorrelation zwischen Temperatur und Bewegung
- Zusätzlicher Beobachtungspunkt in Tallängsrichtung im Val Termine zur Prüfung der Temperaturabhängigkeit längs und quer zum Tal
- Zusätzlicher Beobachtungspunkt im Val Termine quer zum Tal zur Prüfung einer allfälligen Felsinstabilität des lokalen Untergrunds
- Mehrfache Überprüfung der Distanzmessung im Val Termine mit zwei unabhängigen Methoden (parallaktischer Winkel und GPS)

Alle diese Massnahmen und Tests führten zur Gewissheit, dass die automatisch messenden Anlagen zur Überwachung der sechs Talquerschnitte die verlangten Resultate in der geforderten Qualität liefern.

Geotechnische Berechnungen ergaben, dass temperaturbedingte reversible Gebirgsverformungen einige Zehntelmillimeter betragen können und somit nicht als Ursache für die gemessenen Bewegungen in Frage kommen. Hingegen war schon allgemein bekannt, dass Grundwasserspiegelschwankungen zu elastischen Bewegungen im Lockermaterial führen können. Bisher fehlte aber der messtechnische Nachweis, dass solche Schwankungen auch zu elastischen Felsverformungen führen können. Dieser Vorgang konnte mit felsmechanischen

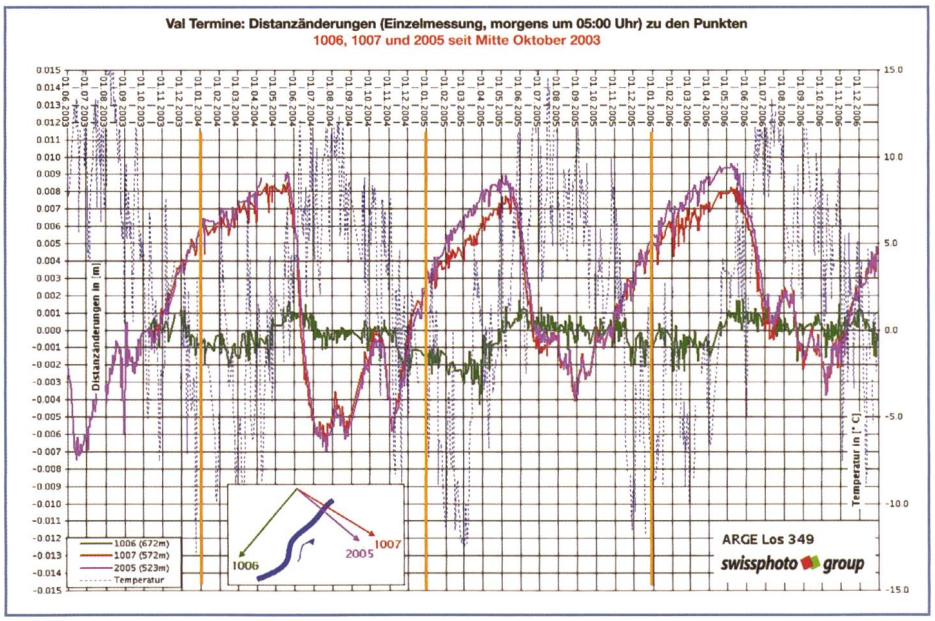


Bild 10. Distanzmessungen längs (grün) und quer (rot) zum Tal im Val Termine.

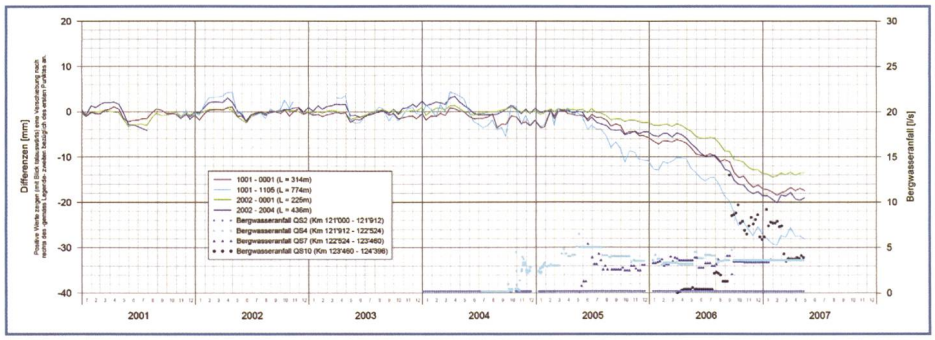


Bild 11. Resultate der Überwachung Talquerschnitt Nalps Nord.

Modellrechnungen für den Querschnitt im Val Termine gut nachgebildet und bestätigt werden.

Trotz der Schwierigkeit, die felsmechanischen Berechnungsparameter aufgrund der lokalen Geologie festzulegen, zeigen die Resultate, dass die gemessenen Distanzänderungen im Val Termine auf zyklische Schwankungen des Gebirgswasserspiegels zurückzuführen sind.

Im Sommer 2004 wurde in Sedrun mit dem Vortrieb des Gotthard-Basistunnels in Richtung Süden begonnen. Bis zu diesem Zeitpunkt ist beim Querschnitt Nalps Nord ein regelmässiges Bewegungsverhalten quer zum Tal erkennbar, siehe *Bild 11*. Das Muster ist zwar weniger ausgeprägt aber ähnlich wie im Val Termine, siehe *Bild 10*. Es ist ebenfalls eine Talöffnung vom Sommer bis Ende Winter und eine Talschliessung im Frühsommer sichtbar. Bei den Querschnitten der Mauern Curnera und Nalps wurden bis zum Sommer 2004 ebenfalls keine signifikanten irreversiblen Bewegungen gemessen. Das Gleiche gilt bis Mai 2007 für die Talquerschnitte Nalps Süd und Mauer Sta. Maria.

5.3 Resultate mit Einfluss des Tunnelvortriebs

Nach dem Sommer 2004 war beim Talquerschnitt Nalps Nord eine deutliche Talschliessung von 15–20 mm auf den tieferen Niveaus und fast 30 mm auf dem obersten Niveau zu erkennen *(Bild 11)*. Seit Anfang 2007 scheint sich eine Stabilisierung der Schliessbewegung abzuzeichnen. Bei der Staumauer Nalps zeigte sich im Mai 2007 ein ähnliches Bild, mit einer Talschliessung von etwa 5 mm auf dem untersten und etwa 15 mm auf dem obersten Niveau.

Bei der Mauer Curnera wurde bis Mai 2007 eine schwache Tendenz einer Talerweiterung von einigen mm erkannt.

Ende Mai 2007 befand sich der Tunnelvortrieb der Oströhre bereits etwa 0,4 km südlich der Staumauer Nalps.

5.4 Interpretation der Resultate

Auch mit weitgehenden baulichen Gegenmassnahmen, wie z.B. Injektionen, sind geringfügige Wasserzutritte im Bereich von wenigen Litern pro Sekunde beim Tunnelvortrieb kaum vermeidbar. Diese Wasserentnahme führt selbst bei tiefen und im festen Fels liegenden Vortrieben

zu einer teilweisen Schliessung der Felsklüfte, was wiederum zu Verformungen bis an die Oberfläche führen kann.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass der Südvortrieb in Sedrun Setzungen an der Oberfläche und Talflankenbewegungen bewirkt hat. Je nach Betrachtungsweise und Objekt liegen diese Bewegungen im Millimeter- bis Zentimeterbereich. Wegen der geringen Grösse der Bewegungen sind bisher jedoch keine Schäden an den Staumauern festgestellt worden.

Unter Beachtung des Trends, der sich aus der grossen Vielzahl von Messungen ableiten lässt, werden in den Talquerschnitten mit zwei Tachymetern deutlich höhere Genauigkeiten und Zuverlässigkeiten erzielt, als vorgeschrieben.

6. GPS-Punkte

6.1 Realisierung der GPS-Stationen

Das vorerst installierte GPS-Netz umfasste fünf fest installierte Stationen: Eine auf dem Oberalppass (Referenzstation), eine am Ende der Nivellementlinie im Val Nalps (Nalps Süd unten) sowie eine Station 1,3 km südlich davon (Val Nalps Süd oben), eine Station beim Lai Blau über der GBT-Achse westlich der Mauer Sta. Maria sowie eine Station am Piz Scai über der GBT-Achse und 1,5 km südlich der Mauer Sta Maria, siehe *Bild 1*.

Die Station am Ende der Nivellementlinie im Val Nalps wurde leider schon im ersten Winter durch Lawinen beschädigt und war in der Folge nicht mehr benutzbar. Ausserdem erfüllte die Referenzstation auf dem Oberalppass wegen der zu grossen Entfernung die Erwartungen hinsichtlich Genauigkeit nicht und wurde rückgebaut. Es wurden deshalb zwei neue Stationen realisiert und zwar auf dem oberen Beobachtungsniveau auf der Ostseite der Mauer Nalps sowie am Piz Scopi in der Nähe der Seilbahnzwischenstation.

Die GPS-Empfänger sind auf einem Stahlrohr innerhalb eines Betonrohrs montiert, welche beide auf solidem Felsuntergrund fundieren. Die Stromversorgung erfolgt mittels einer Solaranlage ausser bei der Mauer Nalps, wo Netzstrom zur Verfügung steht. Die Geräte verfügen über einen Blitzschutz sowie eine Steuer- und eine Kommunikationseinheit. Die Stationen liegen zum Teil in sehr alpinem Gelände auf 2000–2600 m ü.M, siehe *Bild 12*. Im Gegensatz zu den Tachymetern arbeiten die GPS-Geräte praktisch unabhängig von der Witterung.

Bild 12. GPS-Messpfeiler mit Antenne, Blitzfangstange, Elektronikbox und Solarpanel.

6.2 Messungen und Resultate

Seit Mitte Oktober 2005 werden die automatisierten Messungen zur Steigerung der Genauigkeit und zur bessern Erkennung von Bewegungstrends wöchentlich während drei aufeinander folgenden Nächten ausgelöst. Eine Messung dauert jeweils 13 Stunden und wird anschliessend automatisch ins Büro geschickt und ausgewertet.

In den ersten Jahren wurden deutliche Resultatschwankungen zwischen Sommer- und Wintermonaten festgestellt. Ausserdem schienen die Schwankungen auch einen Zusammenhang mit den Höhendifferenzen zwischen den Stationen zu haben. Mittels empirischer Versuche wurden Korrekturformeln entwickelt, wodurch die Schwankungen wesentlich reduziert und der Streubereich der Messresultate stark verringert werden konnte.

Bild 13 zeigt für die Station Nalps Mauer eine Setzung von etwa 1 cm zwischen Juli 2006 und April 2007. Bei der gleichen Station ist im selben Zeitraum auch eine deutliche Bewegung von etwa 1 cm nach Norden sichtbar, also in Richtung des bereits bekannten Setzungstrichters.

Beim Punkt Scopi scheinen Bewe-

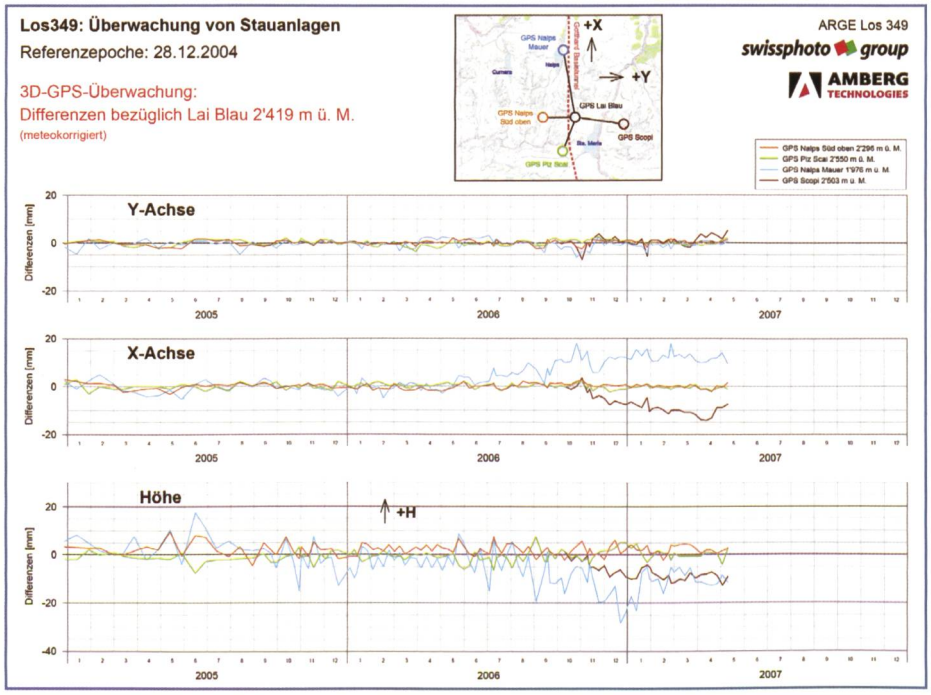


Bild 13. GPS-Resultate bezüglich Station «Lai Blau».

gungen in Nord/Süd-Richtung und in Höhe im Zentimeterbereich vorhanden zu sein.

Die einfache Standardabweichung der gemessenen Höhendifferenzen beträgt 2,5–3,5 mm und im Fall der Station Nalps Mauer 6 mm.

Die einfache Standardabweichung der gemessenen Differenzen in Nord/Süd-Richtung beträgt 1,2–2,3 mm und in Ost/West-Richtung 1,0–1,8 mm.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die enge Zusammenarbeit mit dem Kraftwerkbetreiber und der Bundesaufsichtsbehörde hat sich bewährt.

Nach sieben Jahren Erfahrung kann festgestellt werden, dass die von ATG installierten Überwachungssysteme die Erwartungen erfüllen und allfällige auch kleine Oberflächenbewegungen frühzeitig erkannt werden können.

Die automatisierten Messanlagen in den sechs Talquerschnitten arbeiten hinsichtlich Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Dauerhaftigkeit besser als erwartet. Die Resultate führten zur Erkenntnis, dass sich im Überwachungsgebiet die Talflanken auch ohne Beeinflussung durch den Tunnelbau im Millimeter- bis Zentimeterbereich bewegen. Diese Bewegungen sind elastisch, mit einem deutlichen zyklischen Muster.

Mit den Nivellements kann eine Setzungsmulde «absolut» überwacht werden, wenn auch mit jahreszeitlichen Einschränkungen. Allerdings: Mit dem heutigen Wissensstand hätte ATG das Nivellementnetz wahrscheinlich von Anfang an mit der aktuellen Ausdehnung einrichten und innerhalb der Lagerungspunkte jährlich nachmessen lassen.

Die automatisierten Messungen auf den GPS-Punkten sind zuverlässig und erfüllen bei sorgfältiger Trendanalyse die qualitativen Anforderungen. Im Sommer 2007 sollen fünf weitere GPS-Punkte installiert werden. Optionen zur Abklärung der Bewegungen der Station am Piz Scopi werden noch studiert.

Die Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK) analysiert die Resultate der Überwachungsstufe 3 im Intervall von zwei bis vier Wochen, vergleicht sie mit den eigenen Messungen und den prognostizierten Mauerbewegungen. Mit verfeinerten Analysen kann die NOK nun auch die vorher nicht bekannten kleinen Talflankenbewegungen in den Mauerbereichen modellieren.

Die Messresultate der Überwachungsstufe 3 wurden durch die felsmechanischen Modellrechnungen bestätigt. Sie dienten aber auch zur Verbesserung der Modellparameterdefinition.

Dass schon geringe Wasserzutritte beim Tunnelvortrieb zu Deformationen an der Geländeoberfläche im Zentimeterbereich führen können, hat überrascht. Die bisher festgestellten Bewegungen an der Oberfläche liegen aber innerhalb der Toleranzbereiche, welche auf Grund der Modellrechnungen ermittelt wurden.

Literaturverzeichnis

Bräker, F. «Automatisierte geodätische Messsysteme für Bauwerksüberwachungen» Bau und Wissen, Fachveranstaltung 16.06.05

Bräker, F. «Anspruchsvolle Überwachungsaufgabe beim Projekt AlpTransit Gotthard» Geomatik Schweiz 6/2006

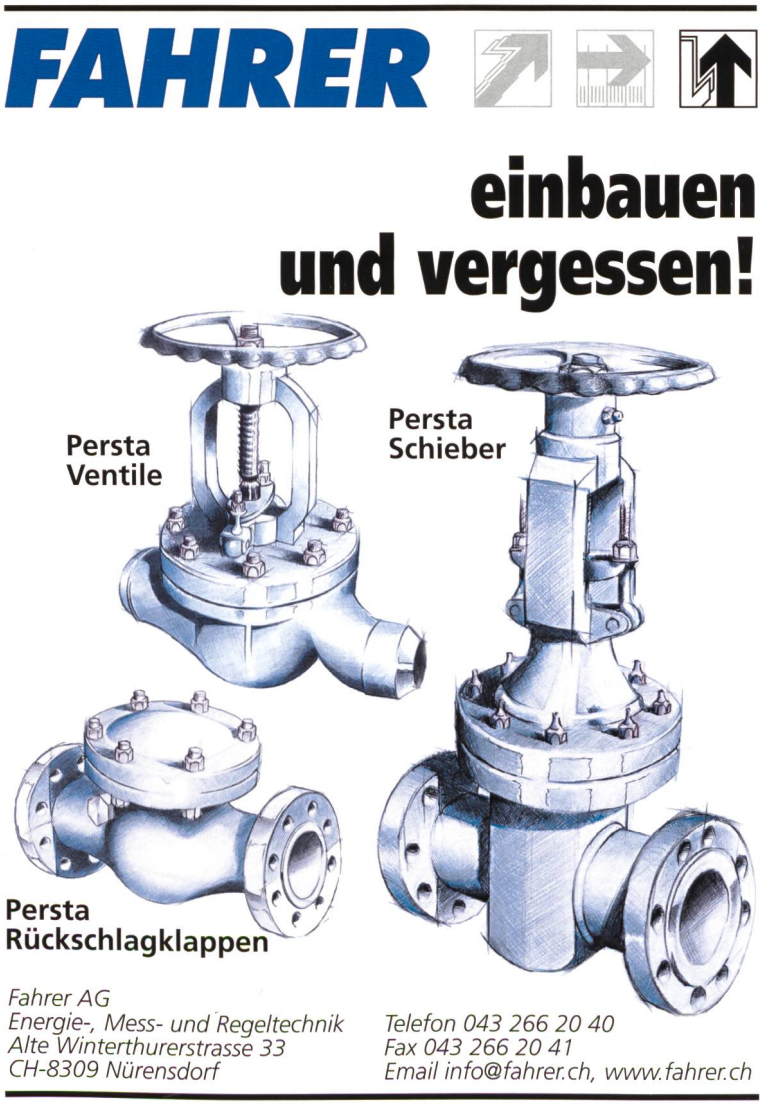
Studer, M., Bräker, F. «Kombinierter Einsatz von automatischen und manuellen Messmethoden bei einem Langzeitmonitoring» 15. Internationaler Ingenieurvermessungskurs Graz, 2007, Verlag Wichmann

Verschiedene ATG-interne Berichte (2004–2007) bezüglich der geodätischen Messungen und der felsmechanischen Modellrechnungen mit Interpretationen

Ehrbar, H. «Gotthard-Basistunnel: Abdichtungsmassnahmen in Sedrun abgeschlossen» Tunnel 3/2007, Seite 55

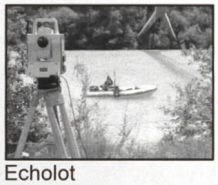
Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK): Periodische Berichte mit Vergleichen der Messungen der Überwachungsstufen 1 und 3.

Anschrift des Verfassers
Fritz Bräker
Alp Transit Gotthard AG
Zentralstr. 5, CH-6003 Luzern
Tel. +41 (0)41 226 06 23
fritz.braeker@alptransit.ch, www.alptransit.ch



terra vermessungen

Kompetenz in der Messtechnik:

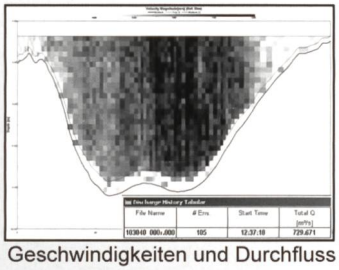

Echolot

Georadar

Messsysteme

...Strömungsmessungen

Strömungsvektoren


Geschwindigkeiten und Durchfluss

Ingenieurvermessung • GPS • Hydrographie • Georadar • autom. Messsysteme • Gleismesswagen • Architekturvermessung • statisches und dynamisches Laserscanning • Archäologie

terra vermessungen ag, Obstgartenstr. 7, 8006 Zürich
Tel. 043 255 20 30, Fax 043 255 20 31, terra@terra.ch

Fachinformationen auf www.terra.ch

Transport und Versetzen Erdgasleitung, Rohrgewicht 12 Tonnen

Wir lösen Ihr Transportproblem

Wir montieren und betreiben Materialseilbahnen bis 20 Tonnen Nutzlast

Zingrich
Cabletrans GmbH
3714 Frutigen

Telefon 033 671 32 48
Fax 033 671 22 48
Natel 079 208 90 54
info@cabletrans.com
www.cabletrans.com

aqua pro

AQUA Pro s'adresse aux fournisseurs actifs dans les domaines suivants :

- le captage de l'eau
- l'analyse et le traitement de l'eau
- l'adduction d'eau
- la distribution de l'eau
- le sanitaire et les installations intérieures
- la défense incendie
- l'assainissement de canalisations
- l'épuration des eaux
- le forage dirigé et fouilles sans tranchée *
- l'hydrocurage et contrôle *

*** nouveautés 2008**

Hôte d'honneur
Ehrengast
GAZIERS ROMANDS
Westschweizer Gasindustrie

Bulle

16-18 janvier 08
www.aqua-pro.ch

ESPACE GRUYÈRE
Un espace convivial

LE SALON DES PROFESSIONNELS DE L'EAU

Mercredi 16 janvier
Journée de la Société des distributeurs d'eau de Suisse romande
Prix de l'inovation

Jeudi 17 janvier
Journée des Gaziers Romands, hôte d'honneur du Salon Aqua Pro 2008

Journée du Groupement romand des exploitants de stations d'épuration des eaux (GRESE)

Vendredi 18 janvier
Séminaire VSA-SSR (Association suisse des professionnels de la protection des eaux – Section Suisse romande)

Journée d'information sur la distribution de l'eau potable organisée par la SSIGE (bilingue)

Cours organisé par le VSU : Formation opérateur caméra pour canalisations

HEURES D'OUVERTURE
Mercredi, Jeudi, Vendredi
9h - 17h

aqua pro - p.a. Société d'exploitation Espace Gruyère SA
Case Postale 460 - 1630 Bulle -Tel. 026 919 86 50