

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 104 (2006)

Heft: 6: Geomatiktage Luzern = Journées de la géomatique Lucerne

Artikel: Anspruchsvolle Überwachungsaufgabe beim Projekt AlpTransit
Gotthard

Autor: Bräker, Fritz

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236330>

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: 17.01.2026

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

Anspruchsvolle Überwachungsaufgabe beim Projekt AlpTransit Gotthard

Für die Stauanlagen Curnera, Nalps und Sta. Maria im Vorderrehtal wurden spezielle geodätische Messanlagen eingerichtet, um allfällige durch den Bau des Basistunnels verursachte Geländedeformationen zu überwachen. Nach mehreren Jahren Erfahrung wird festgestellt, dass die Anlagen ihren Zweck erfüllen und dass entgegen den Erwartungen bei den Talflanken natürliche zyklische Bewegungen stattfinden.

Pour les barrages hydrauliques de Curnera, Nalps et Sta. Maria, dans la Vallée du Rhin antérieur, des stations de mesures géodésiques particulières ont été installées afin de surveiller d'éventuelles déformations de terrain dues à la construction du tunnel de base. Après plusieurs années d'expérience, l'on constate que les installations ont rempli leur but et que, contrairement aux attentes, dans les flancs de vallée, des mouvements cycliques naturels ont lieu.

Per le opere di sbarramento di Curnera, Nalps e Sta. Maria nella Valle del Reno Anteriore sono stati installati degli speciali apparecchi di misurazione che tengono d'occhio eventuali deformazioni del terreno che potrebbero insorgere durante la costruzione della galleria di base. Dopo vari anni di esperienza si denota che questi apparecchi soddisfano il loro scopo e che, contrariamente alle aspettative, sui pendii della valle si registrano dei movimenti ciclici naturali.

F. Bräker

Einleitung

Wird ein neuer Tunnel durch einen wasserhaltigen Grund vorgetrieben, so ist grundsätzlich mit einer Entwässerung in den Tunnel zu rechnen. Auch bei sehr tief liegenden Vortrieben, wie dem Gotthard-Basistunnel (GBT), ist Wassereindring unvermeidlich. Dieser Prozess bewirkt eine Entspannung des Wasserdrucks im darüber liegenden Gebirge und als Folge davon sind Setzungen an der Oberfläche zu erwarten. Dadurch könnten grosse Kunstbauten, wie zum Beispiel Stauanlagen, gefährdet sein. Mit rechnerischen Simulationen der Gebirgsstruktur, des Gebirgs-wasserhaushalts und anderer Einflussfaktoren versucht man den tolerierbaren Wasserzufluss im Tunnel abzuschätzen. Daraus werden dann die nötigen Ab-

dichtungsmassnahmen beim Tunnelbau abgeleitet. Auch bei Beherrschung des Wassereindrangs im gewünschten Mass können die Auswirkungen der Gebirgs-drainage nicht exakt vorher gesagt werden. Darum werden die über dem GBT

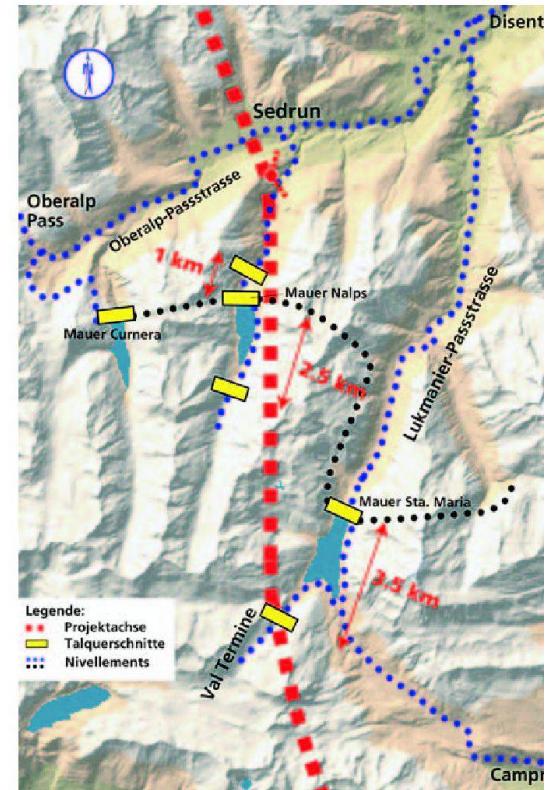


Abb. 1: Überwachte Talquerschnitte und Nivellements (PK © 1998 swisstopo DV578.2).

liegenden Stauanlagen der Kraftwerke Vorderrhein AG (KVR) intensiver als üblich auf drei Stufen überwacht:

- Stufe 1: Ordentliche, durch die KVR ausgeführte Überwachung gemäss Stauanlagenverordnung mit umfangreichen geodätischen Messungen alle fünf Jahre.

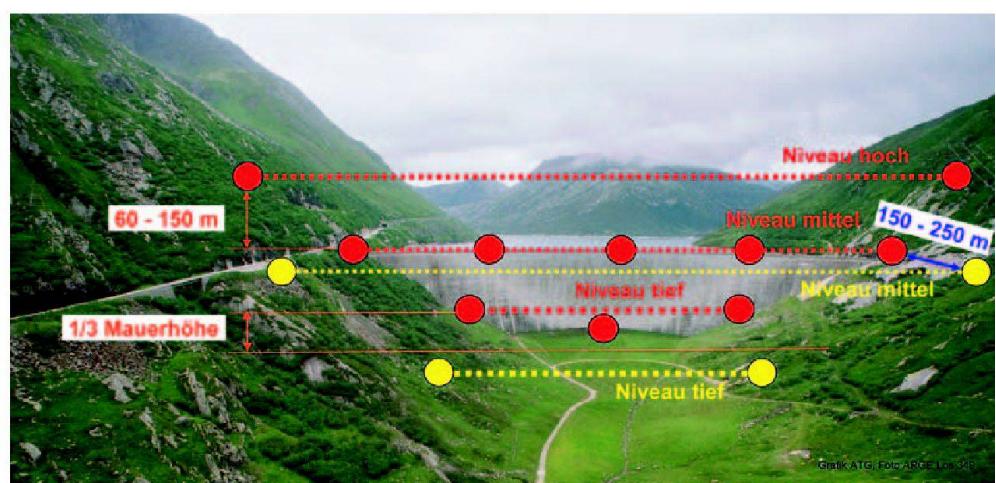


Abb. 2: Konzept der Querschnittsüberwachung bei Talsperren.

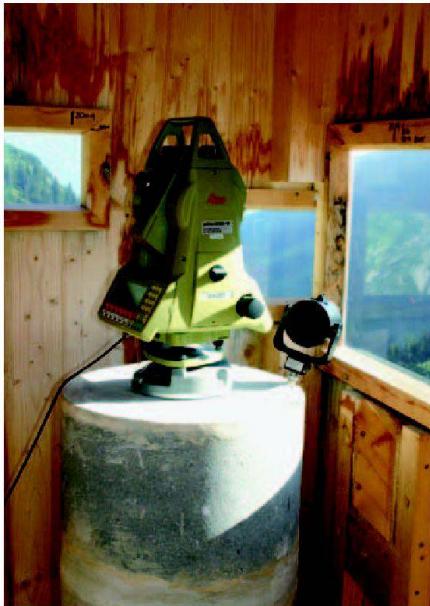


Abb. 3: Tachymeter auf doppelwandigem Pfeiler in Schutzhause.

- Stufe 2: Erweiterte Überwachung gemäss Stauanlagenverordnung mit spezifischen geodätischen Handmessungen im Auftrag des Bundesamtes für Energie.
- Stufe 3: Zusätzliche Überwachung im Auftrag der AlpTransit Gotthard AG (ATG) mit ganzjährigen automatisierten Messungen und grossräumigen Präzisionsnivelllements.

Weitere zusätzliche Überwachungen erfolgen durch die KVR wie z.B. Nivellements im Stollen Tgom und im Zugangsstollen zur Kraftwerkszentrale. Außerdem unternehmen die KVR zusammen mit der ATG visuelle Kontrollen der Stollen und Mauern bezüglich Wasseraustritten und Rissen.

Aufgabe der Überwachungsstufe 3

Bei den drei Talsperren Curnera, Nalps und Sta. Maria und in deren Umgebung soll das Gelände grossräumig und speziell im unmittelbaren Bereich der Talsperren während einer Dauer von mindestens zwölf Jahren überwacht werden. Zu diesem Zweck wurden folgende Ziele definiert:

- Erfassung des natürlichen Zustands des Geländes bzw. des Gebirges vor einer allfälligen Beeinflussung durch den Tunnelbau.
- Definition des Normalverhaltens des Messsystems und des natürlichen Geländes.
- sofortige Entdeckung von allfälligen, durch den Tunnelbau verursachten Geländebewegungen.

Diese Aufgabe wird mittels einer automatisierten, geodätischen Überwachung von sechs Talquerschnitten und grossräumigen Präzisionsnivelllements entlang von Strassen und in Kraftwerkstollen wahrgenommen.



Abb. 5: Beobachtungspunkt in extrem Lawinenhang.

Talquerschnitts-überwachungen

Mittels statischer Simulationsrechnungen untersuchten Staumauerexperten die Empfindlichkeiten der Talsperren bezüglich einem Öffnen oder Schliessen des Talquerschnitts. Es zeigte sich, dass eine solche Bewegung bei der empfindlichsten Mauer bis zu 10 mm erreichen darf, d.h. bis zu diesem Wert bleibt auch im schlechtesten Fall das linear elastische Verhalten der Talsperre erhalten. Auf diesem Wert aufbauend, wurde die Detektierfähigkeit des Überwachungssystems der Stufe 3 für

Talflankenbewegungen auf 4 mm festgelegt. Oder mit anderen Worten: Veränderungen der relativen Lage und Höhe zwischen zwei beliebigen Punkten und zwei beliebigen Epochen, die grösser als 4 mm sind, müssen signifikant erfasst werden.

Um das Verhalten der Talflanken schon vor einer kritischen Annäherung des Vortriebs an die Talsperren zu überprüfen, wurden nebst den drei Talsperren-Querschnitten noch drei Vorfeld-Talquerschnitte ausgesucht. Diese befinden sich 1 km nördlich und 2.5 km südlich der Mauer Nalps sowie 3.5 km südlich der Mauer Sta. Maria im Val Termine.

Die geschätzten möglichen Bewegungs- oder Deformationsgeschwindigkeiten führten zur Forderung, dass während des ganzen Jahres alle zwei Wochen ein Resultat verfügbar sein muss. Im Bedarfsfall sollen Resultatlieferungen aber auch im Tagesrhythmus möglich sein.

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

Die Punkte auf dem «Niveau hoch» lie-

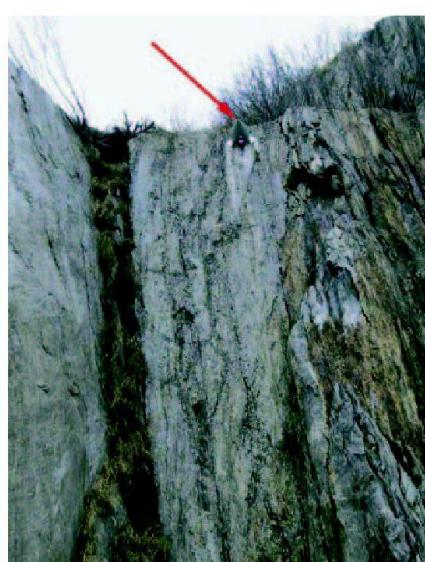


Abb. 4: Beobachtungspunkt am Fels.

gen 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. Die Bewegungen der Mauer selbst sind für die Stufe 3 von sekundärem Interesse. Es werden deshalb nur drei Punkte auf der Mauerkrone, wo die grössten Bewegungen stattfinden und ein Punkt am Mauerfuss ca. 10 m über dem Terrain, gemessen.

Die variablen Seestände und Betontemperaturen erzeugen auf die Felswiderlager der Talsperren einen unterschiedlichen Mauerdruck, was sich auf die Stabilität der Felspunkte im mauernahen Bereich auswirken könnte. Darum wird im Abstand von 150–250 m auf der Luftseite der Mauer ein weiterer Talquerschnitt mit je einem Punktpaar auf dem Niveau der Mauerkrone und auf dem «Niveau tief» gemessen.

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

Üblicherweise wird die Genauigkeit mit der auf der Statistik basierenden einfachen Standardabweichung definiert. Die-

se Genauigkeitsdefinition schliesst nicht zufällige Fehler aus und lässt Spielraum bei der Beurteilung der Signifikanz eines Resultats. Um Diskussionen über die Herkunft von Fehlern sowie über die Signifikanz des Resultats zu entgehen und um die Verantwortlichkeiten klar festzulegen, stützte sich die ATG für die Vermessung auf die Begriffe und Grundsätze der SIA Norm 414 ab. Nach dieser Norm schliesst die Toleranz alle Arten von Abweichungen mit ein. Sie gilt einschliesslich von allen groben, systematischen und zufälligen Fehlern. Die so definierte Toleranz ist also keine Grösse im Sinne der Statistik, wie das 2.5-fache oder 3-fache der Standardabweichung.

Realisierung

Nach einem öffentlichen Vergabeverfahren beauftragte die ATG das Konsortium «ARGE Los 349» unter der Federführung von Swissphoto AG in Regensdorf mit der Realisierung der Überwachungsstufe 3. Neben der Swissphoto AG sind in der ARGE Los 349 auch die Firmen Grünenfelder und Partner AG aus Domat Ems sowie Amberg Technologies AG aus Regensdorf beteiligt.

In der Regel werden Deformationsmes-



Abb. 6: Beobachtungspunkt mit Meteo-Sensor und Schutzvorrichtung gegen Kriechschnee.

sungen auf Punkte abgestützt, von denen man annimmt, dass sie keinen Bewegungen unterliegen, also fix sind. Da im vorliegenden Fall möglicherweise mit weiträumigen Geländebewegungen zu rechnen ist, muss das Überwachungskonzept ohne Fixpunkte auskommen. Die beauftragte Firma realisierte die Quer-

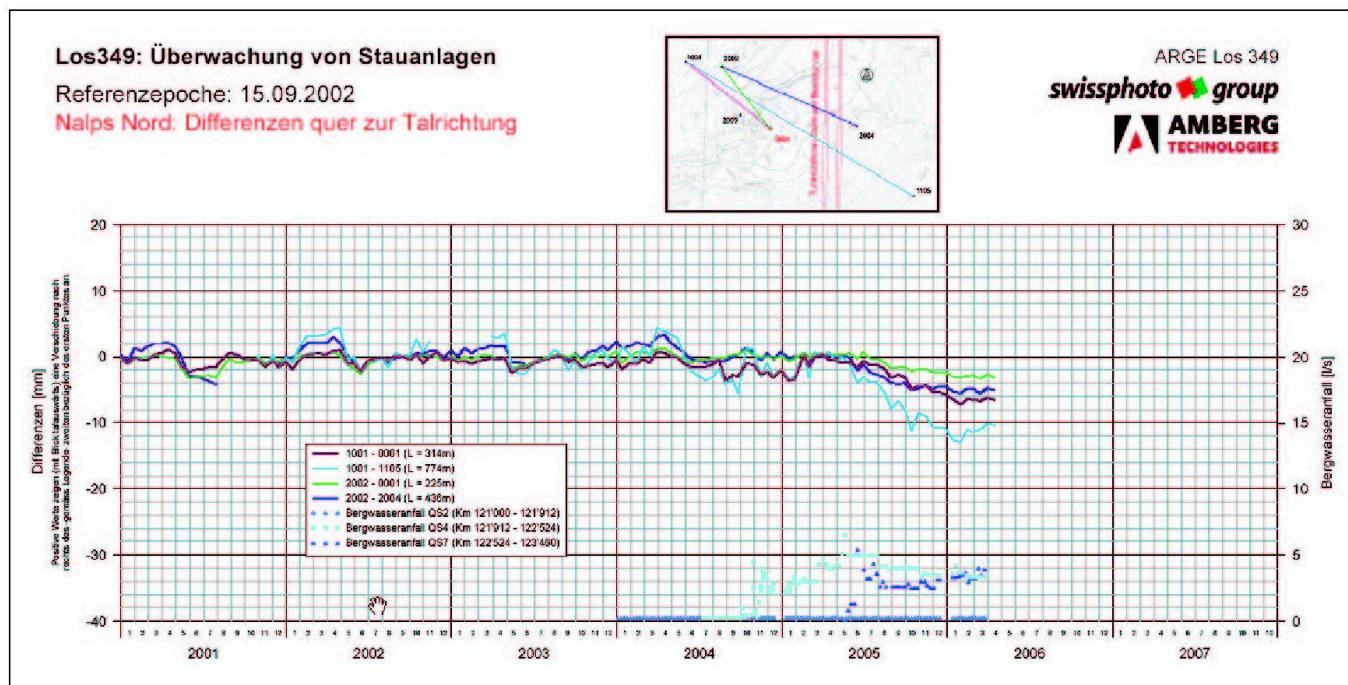


Abb. 7: Talschliessung im Querschnitt 1 km nördlich der Staumauer Nalp.

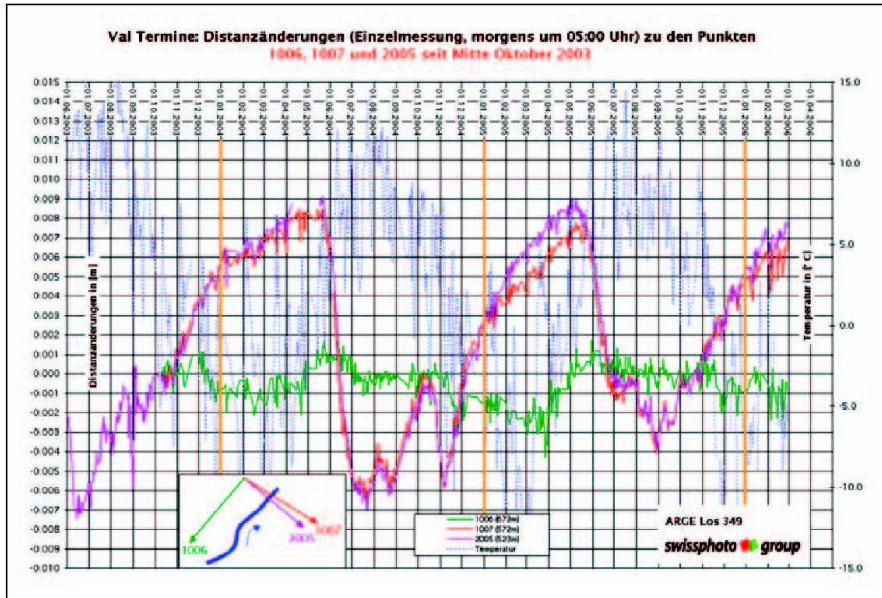


Abb. 8: Distanzmessungen längs (grün) und quer (rot) zum Tal im Val Termine.

schnittsüberwachung mittels je zwei Tachymetern auf den Mauerkronen und bei den drei Vorfeldquerschnitten mit je einem Tachymeter entweder im Talfuss oder an der Talflanke. Mit diesen Instrumenten wird zusammen mit den Temperatur- und Drucksensoren jeweils nachts ein dreidimensionales geodätisches Netz in einem automatisierten Modus gemessen. Am nächsten Morgen erfolgt die Datenübertragung via E-Mail ins Büro. Hier werden die Auswertungen nach einem standardisierten Prozess unter Einbezug von LTOP durchgeführt.

Bei der vermessungstechnischen, elektrischen und elektronischen Hardware konnte meist auf Standardkomponenten zurückgegriffen werden. Hingegen war die Wahl und Konstruktion der Installationen vor Ort, das Zusammensetzen der Komponenten zu einem funktionierenden Ganzen, die Organisation der Prozesse sowie die Programmierung der Steuerungen und des Datenflusses eine echte Herausforderung, welche die beauftragte ARGE Los 349 und deren engagierte Vermessungsingenieure mit beachtenswertem Erfolg meisterten.

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, d.h. mit einem Ausfall der Messresultate im Zwei-Wochenintervall in irgendeinem Querschnitt ist kaum zu rechnen.

Resultate

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

Die Ergebnisse, für die von den Mauerbewegungen beeinflussten Punkten, entsprechen den erwarteten Werten, welche auch mit den laufenden Überwachungen der KVR sehr gut übereinstimmen. Hingegen wurden unerklärliche Talöffnungen im Winter und Talschliessungen im Sommer beobachtet, die nicht durch die Mauern bzw. die unterschiedlichen Seestände erklärt werden konnten. Diese Bewegungen zeigen einen zyklischen Zusammenhang mit der Jahreszeit. Sie sind mit wenigen Ausnahmen reversibel und betragen auf dem obersten Niveau bei den Mauern Curnera und Sta. Maria ca. 1 cm und bei der Mauer Nalps ca. 0.5 cm. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Vorfeldquerschnitten. Um nicht kompensierte, insbesondere temperaturbedingte Messfehler auszuschliessen, wurden verschiedene spezielle Massnahmen ergriffen:

- Die jährliche Kalibrierung der Tachy-

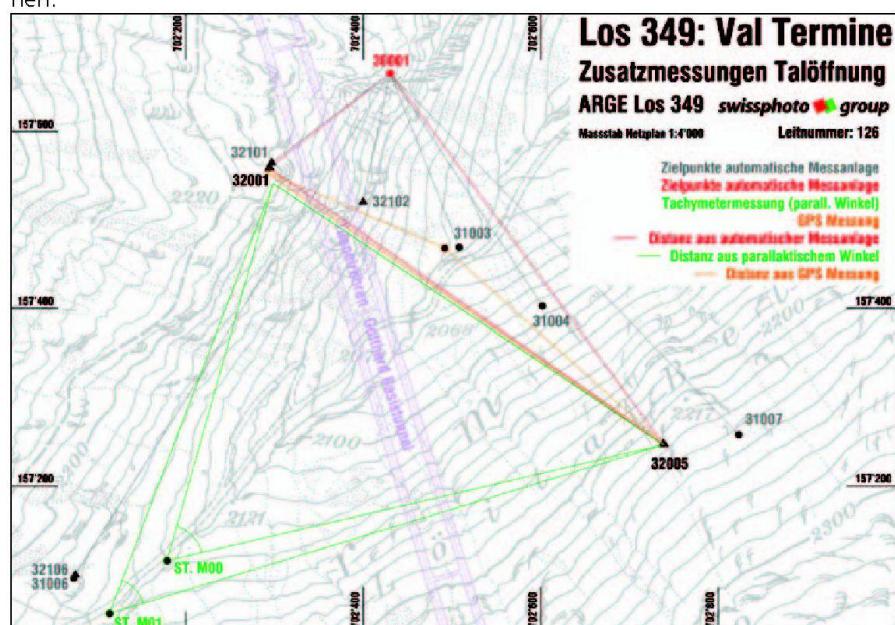


Abb. 9: Dispositiv der manuellen Zusatzmessungen im Talquerschnitt Val Termine (PK © 1998 swisstopo DV578.2).

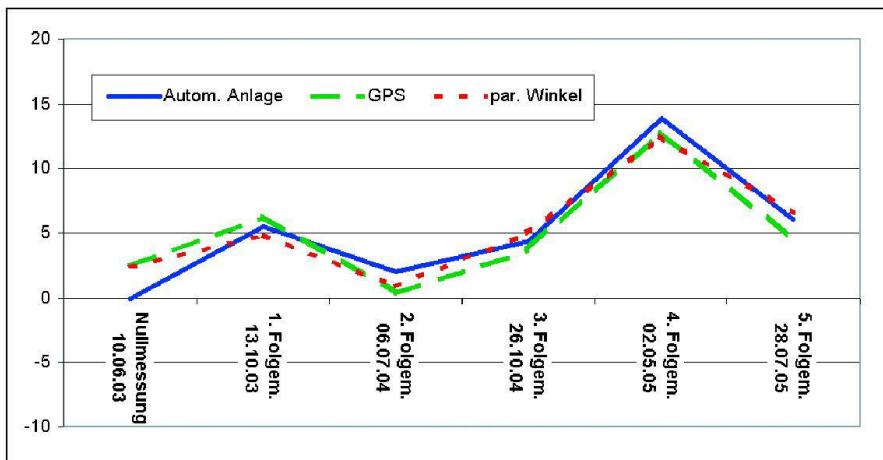


Abb. 10: Distanzänderungen der drei unabhängigen Messverfahren im Val Termine.

meter wird bei der Firma Leica bei einer Temperatur von $+20^{\circ}\text{C}$ durchgeführt. Für den Temperaturbereich von -20°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ erfolgt die Korrektur der Kalibrierwerte softwaremässig. Um diese programmierte Korrektur zu prüfen, wurde ein Tachymeter an der ETH Zürich bei verschiedenen Temperaturen getestet. Die Prüfung ergab ein sehr stabiles Verhalten des frequenzgegebenen Quarzes und Differenzen von weniger als 1 ppm.

- Anfänglich wurden für eine Auswertung die Messungen eines ganzen Tages zusammengefasst. Nach der Einschränkung auf Nachtmessungen waren diese wesentlich stabiler und der Streubereich dementsprechend kleiner.
- Die Frage, ob zwischen den verschiedenen Punkten signifikant unterschiedliche meteorologische Verhältnisse herrschen, wurde mit dem Einsatz von mehreren Meteo-Sensoren pro Messquerschnitt abgeklärt. Es zeigte sich, dass ein Meteo-Sensor pro Messquerschnitt genügt.
- Im Rahmen einer Semesterarbeit wurden an der ETH Zürich die Messdaten eines Jahres von einem Mauerquerschnitt untersucht. Man stellte fest, dass sich die Bewegungen zwischen zwei Punkten zyklisch verhalten, mit einer Wellenlänge von einem Jahr. Die errechnete Kreuzkorrelation zwischen dem Temperaturverlauf und der Bewegung der Querschnitte liess keinen di-

rekten Einfluss der Temperatur auf die ermittelten Bewegungen quer zur Talrichtung erkennen. Dies bedeutet, dass die korrigierten Distanzen keine systematischen, temperaturbedingten Fehleranteile mehr enthalten.

- Von allen Talquerschnitten wurden im Val Termine auf dem «Niveau hoch» bei einer Distanz von 572 m die extremsten Öffnungen und Schliessungen des Tales von 10–16 mm gemessen. Diese Bewegungen werden messtechnisch primär durch Distanzmessungen ermittelt. Sollten sie durch systematische, nicht korrigierte Fehleranteile begründet sein, so müssten sich diese Fehler in ähnlicher Grösse auch in einer Distanz längs zum Tal auswirken. Es wurde darum ungefähr in der Talmitte und 672 m südwestlich vom Tachymeter-Standort ein weiterer Beobachtungspunkt eingerichtet. Während eines Jahres ergaben sich für die Distanz von 672 m eine Variation von lediglich $\pm 1\text{ mm}$. Die Variation quer zum Tal von 10–16 mm muss also eine echte Bewegung sein. Um eine befürchtete Instabilität des Felsuntergrunds des Beobachtungspunktes direkt am Fels auf der östlichen Talflanke auf dem «Niveau hoch» auszuschliessen, wurde ca. 100 m nordöstlich ein weiterer Beobachtungspunkt auf einem Pfeiler installiert. Auch dieser Punkt zeigte in der Folge die gleichen Bewegungen wie der benachbarnte Felspunkt.

- Die Qualität der Distanzmessungen im Val Termine wurde durch folgende zwei unabhängige Methoden überprüft:

Stationierung eines Leica TCA2003 Tachymeters auf einem Punkt im südwestlichen Talfuss, so dass ein möglichst spitzer parallaktischer Winkel bezüglich der zwei Punkte auf dem «Niveau hoch» entsteht. Die Genauigkeit der Distanz auf dem Niveau hoch ist dann primär eine Funktion der Winkel- und nur sekundär der Distanzgenauigkeit.

Simultane Messungen während 15 Stunden mit Leica-Zweifrequenz GPS-Geräten auf zwei Punkten auf dem «Niveau hoch» sowie auf einem Punkt im Talfuss und Ermittlung der Distanz auf dem «Niveau hoch» aus der GPS-Netzmessung.

Die Genauigkeiten dieser beiden Methoden sind zwar etwas geringer als jene der automatischen Messanlage. Die Zusatzmessungen wurden aber insgesamt fünfmal durchgeführt, wobei jeweils versucht wurde, den Zustand der maximalen Öffnung und anschliessend der maximalen Schliessung des Tals zu «erwischen». Die Übereinstimmung der drei unabhängigen Methoden ist erstaunlich gut und ergibt eine klare Bestätigung der mit der automatischen Anlage gemessenen Talflankenbewegungen.

Nach über fünf Jahren Erfahrung kann heute gesagt werden: Die automatisch messenden Anlagen zur Überwachung

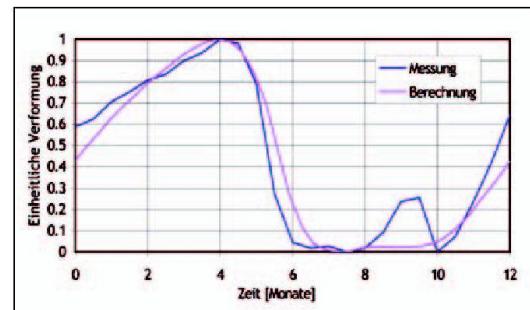


Abb. 11: Vergleich von berechneten und gemessenen Distanzänderungen im Val Termine (Niveau oben).

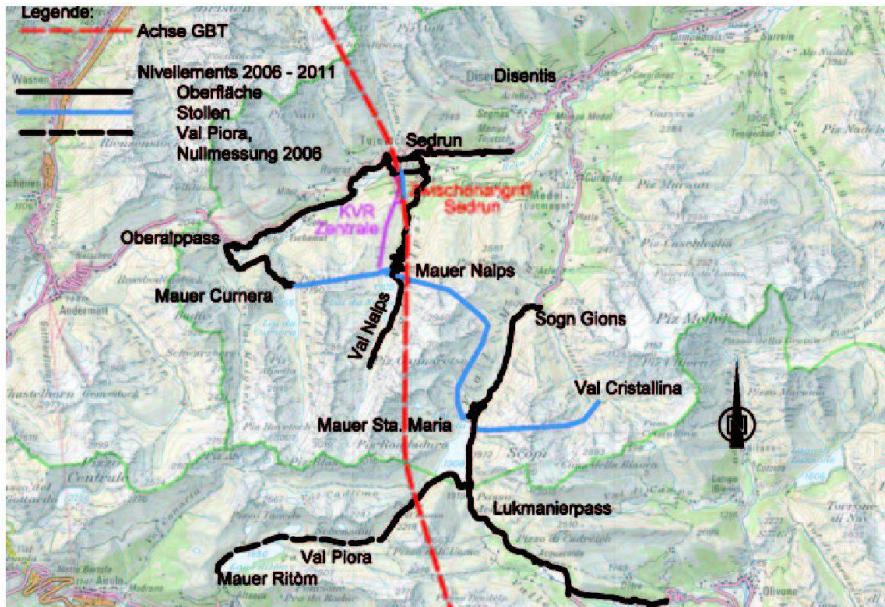


Abb. 12: Nivellementmessungen (PK © 1998 swisstopo DV578.2).

der sechs Talquerschnitte liefern die verlangten Resultate in der geforderten Qualität, in den vorgegebenen Zeitintervallen und mit der nötigen Zuverlässigkeit.

Erklärung für die natürlichen Talquerschnittsbewegungen

Entgegen den allgemeinen Erwartungen wurden in einigen Talquerschnitten relativ bedeutende zyklische Distanz- und Höhenänderungen zwischen den Messpunkten festgestellt. Die anfängliche Zurückhaltung bei der Beurteilung der Resultate konnte aufgrund der zusätzlichen Untersuchungen und Messungen aufgegeben werden und anfängliche Zweifel wegen vermuteter, nicht kompensierter Einflüsse durch Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Messresultate sind heute ausgeräumt. Aus geodätischer Sicht sind die gemessenen Bewegungen offensichtlich real. Welches sind also die Gründe für die Bewegungen?

Geotechnische Berechnungen ergaben, dass temperaturbedingte reversible Gebirgsverformungen einige Zehntelmillimeter betragen können und somit nicht als Ursache 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. Es galt also mit felsmechanischen Modellrechnungen die verschiedenen Zustände zu simulieren, um die Plausibilität des gemessenen Phänomens aufgrund der Gebirgswasserschwankungen zu prüfen. Mit entsprechenden Modellrechnungen für den Querschnitt Val Termine konnten die Distanzänderungen auf dem oberen Niveau gut nachgebildet werden. In der Abbildung 11 ist aber auch zu erkennen, dass der Anstieg des Gebirgswassers anscheinend schneller stattfindet als mit dem Modell berechnet wurde. Dies könnte auf eine etwas grössere Durchlässigkeit (Permeabilität) des Gebirges oder eine grössere Einsickerungsrate bei der

Schneeschmelze hindeuten als angenommen.

Trotz der Schwierigkeit die felsmechanischen Berechnungsparameter aufgrund der lokalen Verhältnisse zu bestimmen, belegen die Resultate, dass die gemessenen Distanzänderungen im Val Termine auf zyklische Schwankungen des Gebirgswasserspiegels zurückzuführen sind. Längs des Tals werden interessanterweise praktisch keine Distanzänderungen gemessen. Dieses Phänomen lässt sich mit den ähnlichen Gebirgswasseränderungen beim Messquerschnitt und dem südlich davon in Talmitte gelegenen Messpunkt erklären.

Schliesslich ist zu erwähnen, dass aufgrund der üblichen Auslegung der Messeinrichtungen bei Talsperren das festgestellte Phänomen bis heute nicht erkannt wurde, weil die Pendelmessungen, welche zwar sehr genau sind, die Distanzänderungen der Talflanken nicht erfassen können, da der Pendelfuss nicht als Fixpunkt zu betrachten ist.

Nivellements

Die Messung von Nivellements beschränkt sich naturgemäß auf die schneefreie Zeit, also je nach Höhenlage auf die Monate April/Juni bis September/Oktober. Trotzdem bieten sie die Möglichkeit, entlang von Strassen und in Stollen Höhenveränderungen mit hoher Genauigkeit zu überwachen. Die ATG liess darum in den Jahren 1998–2000 und 2002 ein weitmaschiges Nivellementnetz zum Zweck der Beweissicherung und als Grundlage für Überwachungsmessungen

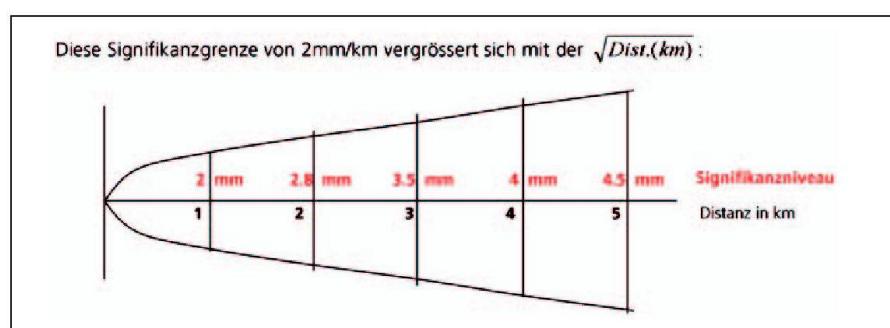


Abb. 13: Signifikanzgrenze der Nivellementgenauigkeit in Abhängigkeit zur Distanz.

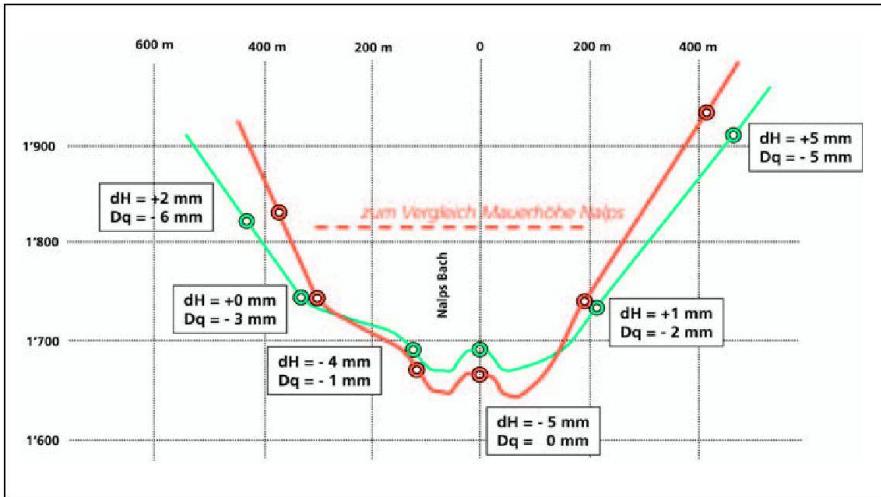


Abb. 14: Veränderungen im Talquerschnitt Val Nalps Nord (grün Jan. 05, rot Jan. 06). dH = Veränderung in Höhe. Dq = Veränderung in Richtung quer zum Tal.

einrichten. Das Netz führt entlang der Straßen von der Mauer Curnera via Tscha-mut und Sedrun nach Disentis, von da über den Lukmanierpass bis Campra südlich des Passes und vom Pass ins Val Ter-mine sowie von Sedrun bis südlich des Stausees Nalps. Im Jahr 2006 wird die Linie ins Val Termine um weitere 10 km bis zum Ritom-Stausee oberhalb von Quinto verlängert. Die Straßenlinien werden durch Nivellements in den Stollen von der Mauer Curnera nach Nalps und weiter nach Sta. Maria verbunden, mit einer Fortsetzung bis ins Val Cristallina. Die Punktversicherung und die Nivellement-messungen entsprechen den Qualitäts-standards des eidgenössischen Landesni-vellements.

Genauigkeit

Die Deformationsbestimmung mittels Präzisionsnivelllement ist ein relatives Messverfahren. D.h. man misst Höhendifferenzen zwischen fest im Fels verankerten Punkten während verschiedenen Epochen. Um aber auch absolute Höhenänderungen festzustellen, müssen die Lagerungspunkte ausserhalb der potenziellen Setzungsmulde liegen. Doch je länger die Nivellementslinien sind, desto ungenauer wird die Aussage über absolute Höhenänderungen.

Bei der Beurteilung der Nivellements wur-

den folgende Annahmen getroffen:

- Einfache Standardabweichung des Nivellements: 0.5 – 0.7 mm / km
- Konfidenzintervall bei 95% (zweifache Standardabweichung) 1.4 mm / km
- Höhenänderung zwischen zwei Messepochen ($\sqrt{2}$) 2 m / km

Die Verwendung des relativ tiefen Konfi-denziellintervalls von 95% rechtfertigt sich durch die ausgewiesene sehr hohe und homogene innere Genauigkeit der Nivellements.

Bei der Auswertung der ATG-Nivellementen und bei vergleichenden Studien der Resultate bezüglich der Überwachungsstufen 1 und 2 wurde ein Setzungstrichter von bis zu 15 mm mit Zentrum um den 800 m tiefen Schacht für den Zwischenangriff Sedrun ermittelt. Infolge der relativ geringen Setzungen liessen sich aber keine entsprechende Schäden erkennen. Dies ist kaum erstaunlich, da auch bei den am Gotthardpass gemessenen Setzungen von über 10 cm keine Beeinträchtigungen an den Bauwerken des Strassentunnels oder an solchen auf der Oberfläche festgestellt wurden.

Basierend auf den Ergebnissen der Talquerschnittsüberwachung Nalps Nord (1 km nördlich der Staumauer Nalps) und

jenen der Nivellements im Val Nalps wurde in den letzten Monaten eine geringe Setzung und Verengung des Talquerschnitts festgestellt. Aufgrund der Trendkurvenbeurteilung sind sie aber vermutlich real.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse der Talquer-schnittsüberwachungen haben überra-schende Erkenntnisse erbracht. Sie zeigten auf, dass es zyklische Bewegungen gibt. Bei der Beurteilung von künftigen Bewegungen ist diese Kenntnis wichtig zur Trennung von «natürlichen» und durch den Tunnelbau verursachten De-formationen. Im Mauervorfeldquer-schnitt Nalps Nord stellte sich diese Pro-blematik bereits. Die Talquerschnittsmes-sungen werden also auch in Zukunft ein wichtiges Element der Geländeüberwa-chung sein.

Die grossräumigen Nivellements haben ihre Nützlichkeit klar bestätigt. ATG wird aus diesem Grund die Wiederholungs-messungen im Gebiet der KVR-Stauanla-gen intensivieren. Die in Abbildung zwölf dargestellten Nivellementlinien sollen da-rum künftig jährlich über eine längere Zeit wiederholt werden.

Literaturhinweis:

- 1 ARGE Los 349, Jahresbericht 2005, 10.02.06.
- 2 ARGE Los 349, Nivellementvergleich der Stufen 1 bis 3, 30.03.06.
- 3 FK-VST, Val Termine, Einfluss der Grund-wasserspiegeländerungen auf die Ober-flächenverformungen, Okt. 2005 (Entwurf).
- 4 Lombardi SA, Gemessene Geländeoverfor-mungen und Wassereintritte beim Vortrieb Sedrun, 20.02.06.

Fritz Bräker
AlpTransit Gotthard AG
Zentralstrasse 5
CH-6003 Luzern