

Geodätisches Monitoring im Hochgebirge

Mario Studer, Swissphoto AG, Regensdorf-Watt (CH)
Fritz Bräker, AlpTransit Gotthard AG, Luzern (CH)
Markus Rutishauser, Swissphoto AG, Regensdorf-Watt (CH)
Ivo Schätti, Grünenfelder und Partner AG, Domat-Ems (CH)
Roland Stengele, Swissphoto AG, Regensdorf-Watt (CH)

Zusammenfassung: Eine der Massnahmen zur Minimierung des Risikos einer Gefährdung der Stauanlagen Curnera, Nalps und Sta.Maria bei deren Unterquerung durch den Vortrieb des Gotthardbasistunnels ist die Überwachung der Geländeoberfläche in deren unmittelbarer Umgebung mit einem umfangreichen Monitoring-System. Diese Anlage soll ganzjährig während ca. 10 Jahren in Betrieb sein.

Es werden die Aufgabenstellung, die Realisierung und Erfolgsfaktoren sowie wichtige Komponenten kurz vorgestellt, die zur Lösung dieser komplexen Aufgabe führten.

1 Ausgangslage

Bei Tunnelbauten können Gebirgsentwässerungen zu Setzungen an der Oberfläche führen. In der Schweiz wurden solche Setzungen in dm-Grösse beim Sondierstollen des Rawiltunnels und beim Gotthard Strassentunnel nachgewiesen. Das Trassee des 57 km langen Gotthard Basistunnels unterquert im Bündner Oberland das Einflussgebiet der drei Stauseen Curnera, Nalps und Sta. Maria. Theoretische Untersuchungen haben gezeigt, dass mit dem Bau des Gotthardbasistunnels ohne entsprechende Massnahmen beim Tunnelvortrieb in dieser Zone Oberflächensetzungen von bis zu 5 cm auftreten könnten. In einer weiteren Untersuchung wurde die Empfindlichkeit der Staumauern auf Oberflächendeformationen überprüft und die Grenzwerte für verschiedene Gefahrensituationen bestimmt. Unregelmässige Oberflächensetzungen im Bereiche dieser drei Staumauern könnten deren Gebrauchstauglichkeit und die Sicherheit der unten wohnenden Bevölkerung gefährden.

In der Risikoanalyse wurde die Eintretenswahrscheinlichkeit eines gefährdenden Ereignisses als sehr klein, der Schaden aber als sehr hoch eingestuft. Deshalb wurden verschiedene Massnahmen zur Risikominimierung eingeleitet. Neben

Massnahmen, die der Beherrschung des Wassereintritts beim Tunnelvortrieb dienen, wurde die ganzjährige Überwachung der Geländeoberfläche im Bereiche dieser Stauanlagen vor, während und nach der Unterquerung beschlossen.

Weitere und aktuelle Informationen zum Bau dieses Jahrhundert-Projekts sind auf der Webseite <http://www.alptransit.ch> abrufbar.

2 Aufgabenstellung und Genauigkeitsanforderungen

In der Nähe der Staumauern und in den Vorfeldern nördlich und südlich davon sollen Talflankenbewegungen zuverlässig und während des ganzen Jahres, also auch im Winter, erkannt werden. Eine allfällige grossräumige Setzungsmulde entlang und quer zur Tunnelachse ist mit Nivellements zu überwachen. Mittels einzelner Höhenpunkte genau über der Tunnelachse und im südlichen Val Nalps sollen weitere ausgewählte Orte überwacht werden. Ein Überblick der Anlage zeigt die Abb. 2.

Die Geländebewegungen, also die räumlichen Unterschiede während einer bestimmten Zeitspanne, müssen innerhalb folgender Toleranzen ermittelt werden: Talflankenbewegungen ± 4 mm, Nivellements ± 2.5 mm/km, Einzelhöhenpunkte ± 10 mm. Diese Toleranzen schliessen (im Sinne der SIA Norm 414) alle Abweichungen vom wahren Wert eines Resultats mit ein. Sie gelten also einschliesslich von allen groben, systematischen und zufälligen Fehlern.

3 Lösungskonzept der Talflankenüberwachung

3.1 Linienmässige Höhenüberwachungen und Einzelhöhenpunkte

Die in der Aufgabenstellung beschriebenen Nivellements sind manuelle Messungen und ergänzen die ganzjährig und automatisch messenden Monitoringanlagen. Die periodisch und je nach Bedarf mit digitalen Präzisionsnivellement-Instrumenten durchgeführten Messungen werden in diesem Bericht nicht weiter erläutert.



Abb 1: Autonome GPS-Anlage mit Solarstromversorgung

Die Überwachung der Einzelhöhenpunkte erfolgt mit Zweifrequenz-GPS-Empfängern. Die einzelnen GPS-Messanlagen mit unabhängiger Stromversorgung, Datenkommunikation und weiteren Systembestandteilen umfassen ähnliche oder gleiche Komponenten wie die tachymetrischen Messanlagen. Deshalb wird in den folgenden Kapiteln nur die tachymetrische Anlage näher erläutert.

3.2 Talflankenüberwachung

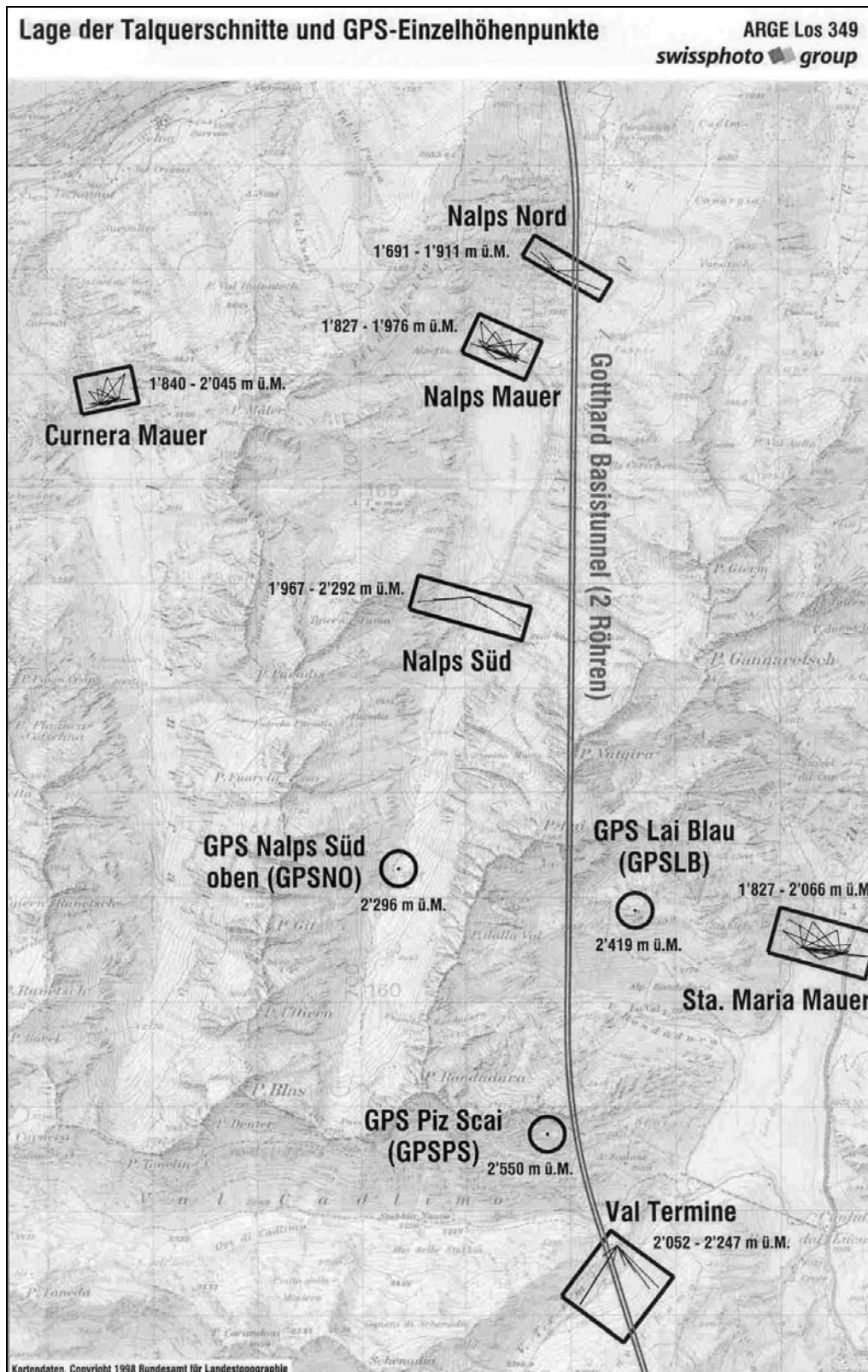


Abb 2: Übersicht der gesamten Monitoring-Anlage mit 6 tachymetrischen Messquerschnitten

Die Talflankenbewegungen werden im Prinzip durch die Beobachtung der gegenseitigen Lage und Höhe von jeweils zwei Punkten auf den gegenüberliegenden Talflanken überwacht. Wir unterscheiden Messquerschnitte direkt bei den Staumauern (jeweils 2 Tachymeter) und Querschnitte im sogenannten Vorfeld (jeweils 1 Tachymeter):

Mauerquerschnitte: Die variablen Seehöhen und Temperaturen erzeugen auf den Fels einen unterschiedlichen Mauerdruck. Dieser Umstand kann sich auf die Punkte auf den Niveaus ‚mittel‘ und ‚tief‘ im unmittelbaren Talquerschnitt der Mauer auswirken. Deshalb werden im Abstand von 100 – 200 m auf der Luftseite der Mauer zwei weitere Punktpaare auf Mauerkronenhöhe sowie auf einem tieferen Niveau überwacht. Um auch Informationen über Bewegungen der Mauer zu gewinnen, werden fünf Punkte auf Mauerkronenhöhe und ein Punkt an der Mauer auf möglichst tiefem Niveau gemessen. Bei den zwei Punkten auf 1/3 der Mauerhöhe herrscht der stärkste Mauerdruck. Auf dieser Höhe werden die grössten, durch die Mauer bewirkten Felsbewegungen vermutet. Deshalb wurden an diesen Stellen bei den Mauern Nalps und Sta. Maria auf beiden Talseiten je ein Extensometer von 60 m Länge installiert. Beim Talquerschnitt 100 – 200 m nördlich der Mauer Nalps sollen bei den Punkten auf dem tieferen Niveau mit je einem Extensometer von 30 m Länge Informationen über temperaturbedingte Felsbewegungen gewonnen werden.

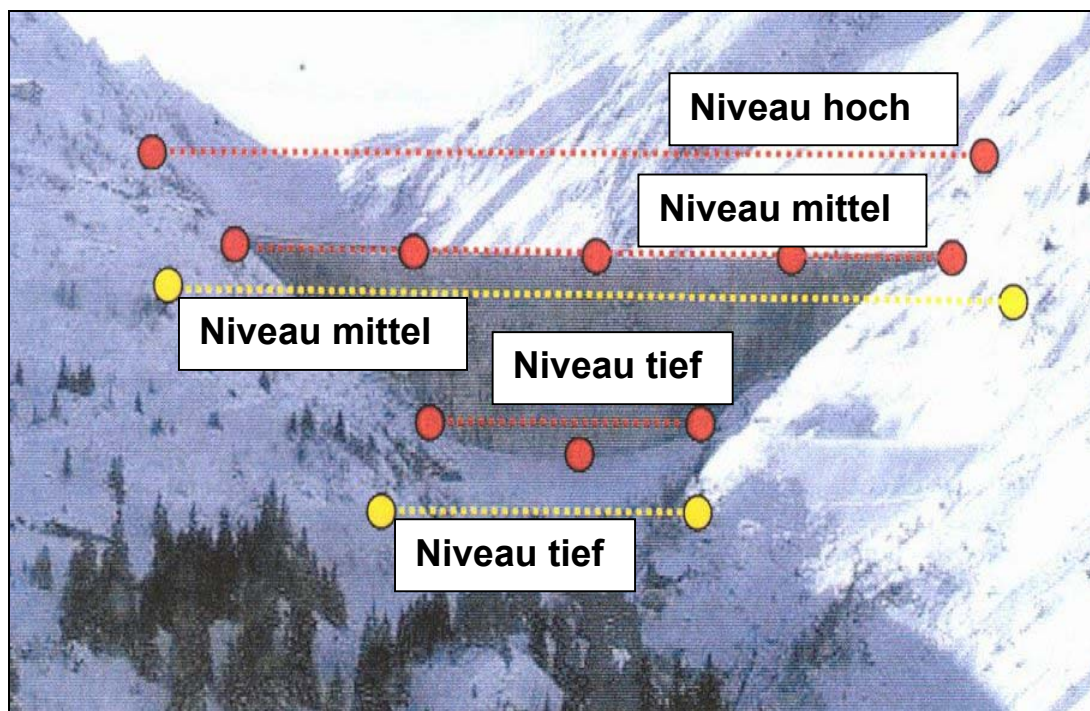


Abb 3: Theoretische Messpunktanordnung bei einem Mauerquerschnitt

Vorfeldquerschnitte: Je ein Vorfeldquerschnitt wird 1 km nördlich und 2.5 km südlich der Mauer Nalps sowie 3.5 km südlich der Mauer Sta. Maria im Val Termine überwacht. Ein solcher Querschnitt besteht aus einem Punkt im Talgrund, einem ersten Punktpaar auf 30 – 50 m Höhe (Niveau tief) und einem zweiten Punktpaar auf 150 – 250 m Höhe (Niveau hoch) über dem Talgrund.

4 Realisierung des automatischen Überwachungssystems

Seit Herbst 2000 wurden stufenweise automatische Anlagen zur Überwachung von Gelände- und Bauwerksbewegungen in den Tälern der Staumauern Curnera, Nalps und Sta. Maria eingerichtet. Bis ca. 2006, wenn der Tunnelvortrieb in die Umgebung der Staumauern vorstossen wird, werden die Anlagen kalibriert, d.h. es werden die jahreszeitlichen Gangkurven ermittelt. Die späteren Resultate sind dann mit diesen „Soll“-Kurven zu vergleichen. Bei normalem Verhalten der Stauanlagen werden die Messungen frühestens 2 Jahre nach Abschluss des Rohbaus des Basistunnels eingestellt. Bei anormalem Verhalten der Stauanlagen werden die Messungen frühestens 2 Jahre nachdem sich der Zustand normalisiert hat gestoppt.

Das folgende Bild zeigt die tachymetrische Monitoring-Anlage bei der Staumauer Nalps mit den Messvektoren von den beiden Tachymetern:

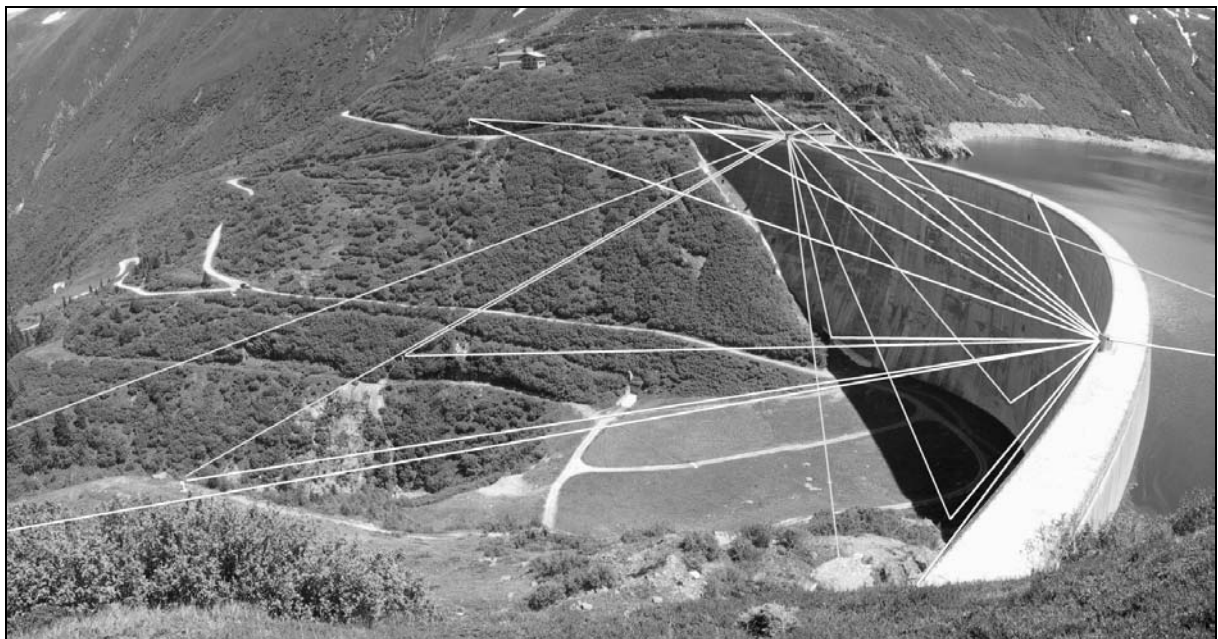


Abb 4: Tachymetrische Monitoring-Anlage bei der Staumauer Nalps

An die Netzkonfiguration stellt sich aufgrund der gewählten Messinstrumente die Bedingung einer uneingeschränkten Sicht zwischen Tachymeter und allen Messpunkten. Aufgrund der steilen Topographie, des starken Bewuchses sowie

der grossen winterlichen Schneemenge wird deshalb in den Talsperren-Querschnitten jeweils von der Staumauerkrone aus gemessen.

Die Talflankenbewegungen können mit der vom Auftraggeber geforderten Genauigkeit nur mit den modernsten zur Zeit auf dem Markt erhältlichen Präzisions-Tachymetern überwacht werden. Diese Instrumente messen jeweils Distanzen, Horizontal- und Vertikalwinkel zu Zielprismen an den zu überwachenden Punkten. Da die Distanzmessungen von den meteorologischen Bedingungen abhängen (Temperatur, Druck, Feuchte), registriert ein Netz von Meteosensoren zusätzlich die atmosphärischen Verhältnisse.

Während einer Rekognoszierung mit verschiedenen Spezialisten (Auftraggeber, Geologe, Stauanlagenmitarbeiter) wurden für jeden Querschnitt die Standorte der Messpunkte und Extensometerbohrungen so festgelegt, dass mögliche geometrische Veränderungen der Talflanken (Öffnen, Schliessen, Kippung und Scherung) optimal detektiert werden können. Dabei musste besonders den Aspekten der Geologie sowie des Gefahrenpotentials durch Lawinnenniedergänge Rechnung getragen werden.

Das raue Klima stellt besondere Bedingungen an die gesamte Messanlage. Weder tiefe Temperaturen und grosse Schneemengen im Winter noch starke elektrostatische Entladungen im Sommer dürfen die Funktionalität der Messeinrichtung gefährden. Durch den konzeptionellen Aufbau der Anlage und die Schutzbauten wurden Massnahmen ergriffen, um die Funktionstüchtigkeit an 365 Tagen im Jahr sicherzustellen. Ein Restrisiko für einen Anlagenausfall bleibt jedoch bestehen. Um solche Störungen beheben zu können, wurde darauf geachtet, dass alle wichtigen Anlageeinheiten auch im Winter zugänglich sind.

Die Überwachung erfolgt ganzjährig. Zur Zeit werden im Monats-Rhythmus Resultate abgegeben (Aktueller Messrhythmus: 14 Tage). Während des Vortriebs des GBT kann die Messkadenz erhöht werden, um täglich Resultate zur Verfügung zu haben. Diese Anforderungen setzen ein vollständig automatisiertes Messsystem voraus. Das System ist so aufgebaut, dass in jedem der drei Täler (Curnera, Nalps, Val Medel) ein PC die Sensoren aller Querschnitte des jeweiligen Tals über Kabelverbindungen oder Funkstrecken online steuert und die Messresultate speichert. Die Daten werden von diesen Client-PCs periodisch via Telefonleitung (ISDN) bzw. Mobilfunk (GSM) auf den zentralen Projektserver in Regensdorf bei Zürich übermittelt, wo anschliessend die Rohmessdaten weiterverarbeitet werden.

5 Erste Resultate

Die Auswertung der bisherigen Messungen zeigt bei allen 6 tachymetrischen Messquerschnitten signifikante Talflankenbewegungen: im Sommer wird jeweils eine Talverengung und im Winter eine Talverbreiterung festgestellt. Die

Bewegungsbandbreiten zwischen den jeweils höchst gelegenen Punktpaaren betragen 4 - 8 mm. Mit zusätzlichen Punktanordnungen und Messmethoden wird zur Zeit geprüft, ob diese zyklischen Talflankenbewegungen tatsächlich Folgen der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen sind. Die zum Teil bereits über drei Jahre ausgewerteten Messungen bestätigen die Tendenz solcher Zyklen.

Im Gegensatz zu den Bewegungen quer zur Talrichtung konnten bisher kaum signifikante Scherbewegungen oder Höhenänderungen nachgewiesen werden. Die folgende Grafik zeigt die Bewegungen quer zur Talrichtung am Beispiel der Stauanlage Nalps im Verlauf des Jahres 2002. Die gestrichelte, dünne Linie zeigt die Temperatur an:

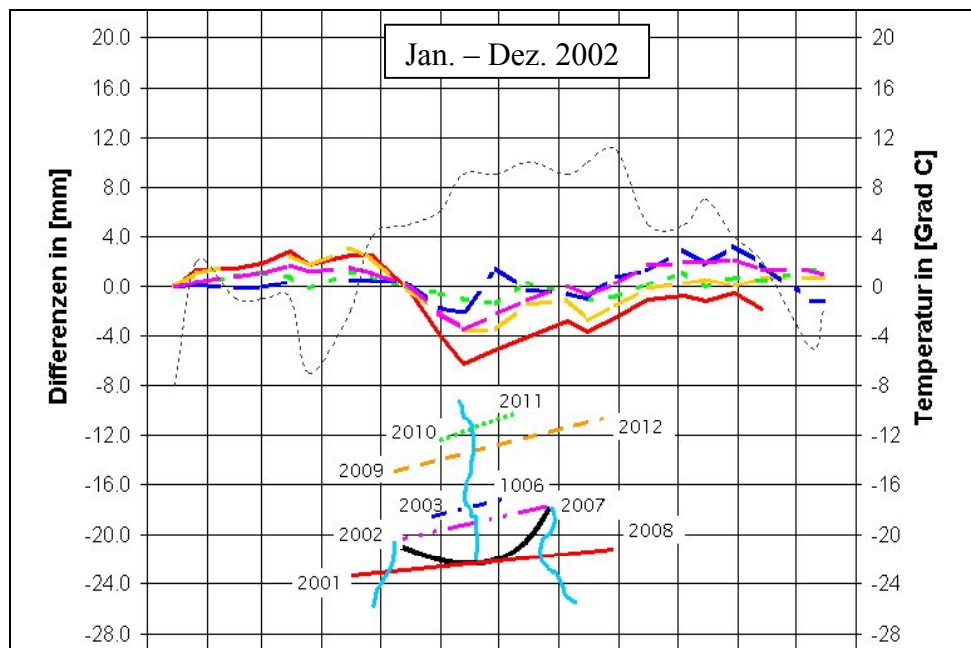


Abb 5: Staumauer Nalps 2002: Bewegungen quer zur Talrichtung

6 Erfolgsfaktoren und wichtige Komponenten einer autonomen Monitoring-Anlage im Hochgebirge

6.1 Theorie und Praxis

Die Lösung der komplexen Aufgabe einer dreidimensionalen Geländeüberwachung im Hochgebirge wird durch sehr viele Parameter beeinflusst. Die wichtigsten davon sind:

- die Geologie bzw. kompakter Fels bei den Messpunkten
- freie Visurlinien zwischen den Tachymetern und allen Messpunkten
- Gefahrenpotential durch Lawenniedergänge
- z.T. grosse Schneemengen

- Einhaltung der Genauigkeitsvorgaben
- Wahl der geeigneten geodätischen und meteorologischen Sensoren sowie elektrotechnischen Komponenten für die Stromversorgung, die Datenkommunikation und den Überspannungsschutz
- logistische Randbedingungen wie ganzjährige Zugänglichkeit zu den Messzentralen (zum Teil auch zu den Tachymetern) sowie die mögliche Nutzung eines zum Teil bereits bestehenden Stromnetzes und Telekommunikations-Infrastruktur
- Schutz vor Vandalismus

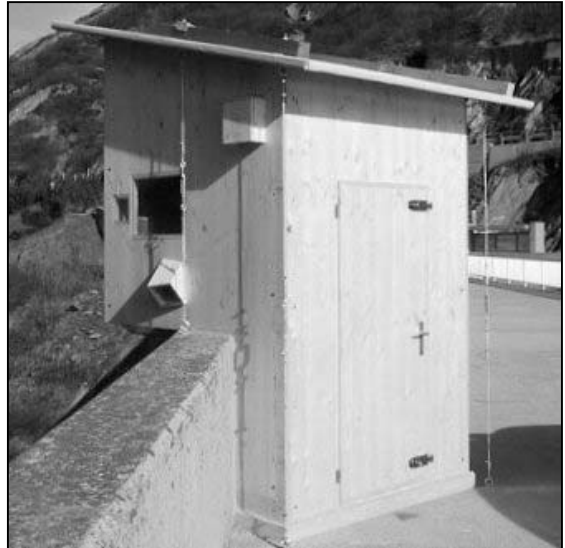


Abb 6: Tachymeter-Schutzhaus

Um all diese Randbedingungen unter einen Hut zu bringen, war ein gutes Abstraktionsvermögen gefragt und es mussten viele Detailfragen gelöst werden. Dies wird am Beispiel der Messpunktversicherungen aufgezeigt:



Abb 7: Helikoptereinsatz beim Pfeilerbau

Bei der Wahl der Messpunktstandorte musste die theoretisch ideale Punktverteilung vor allem aufgrund der Geologie (Punkt muss zwingend mit anstehendem Fels verbunden sein) angepasst werden. Die meisten Messpunkte bzw. Prismen sind direkt an anstehendem Fels montiert und durch ein Dach geschützt. Wo dies unmöglich ist, sind doppelwandige Pfeiler mit Schutzdach erstellt worden. Bei jedem Messpfeilerstandort haben Spezialisten die maximal zu erwartenden Schneehöhen abgeschätzt, aufgrund derer die Pfeilerhöhen dimensioniert wurden. An einzelnen Messstandorten war es nicht möglich, die Lawinengefahr durch die Wahl eines anderen Punktstandortes zu eliminieren. Deshalb mussten aufwändige Lawinenverbauungen für diese Pfeiler

gebaut werden. Die meisten Pfeilerstandorte sind nicht mit Fahrzeugen zugänglich, weshalb beim Bau Helikopter eingesetzt wurden.



Abb 8 & 9: Prismenbefestigung an anstehendem Fels mit Schneerutschfolie oder auf doppelwandigem Pfeiler mit Lawinenschutzkeil

6.2 Geodätisches Lösungskonzept

Fundiertes Vermessungs-Knowhow war von Anfang an ein zentrales Element, um die anspruchsvollen Genauigkeitsvorgaben des Auftraggebers zu erreichen. Angefangen von Präanalysen zur Berechnung der theoretisch erreichbaren Genauigkeiten mit der Wahl des stochastischen Ausgleichsmodells und dem Netzdesign über die Sensoren und deren fachgemäßem Einsatz, d.h. korrekte Einstellungen und Definition des Messrhythmus, etc., bis hin zur Planung des Datenflusses und -auswerteprozesses wurde das Fachwissen verschiedener Projektmitarbeiter beansprucht.

Aufgrund der umfangreichen Daten (Rohdaten von geodätischen und meteorologischen Sensoren sowie verschiedene Messdaten der Kraftwerksbetreiber zur Interpretation möglicher Bewegungen wie Seewasserstände, Betontemperaturen oder Lote; Netzausgleichsberechnungen, Resultate in tabellarischer und graphischer Form, etc.) war ein konsequentes Datenmanagement mit einer eigenen Projekt-Datenbank erforderlich.

Um aus den Rohdaten möglichst automatisiert aussagekräftige Resultate zu generieren, wurden von Software-Entwicklern des Auftragnehmers entsprechende projektspezifische Programme erstellt. Am Ende des Auswerteprozesses ist erneut Ingenieurfachwissen gefragt, um einerseits die Korrektheit der automatisch durchgeführten Ausgleichsberechnungen zu kontrollieren und die Resultate zu interpretieren.

Im Laufe der Initialisierungsphase wurden verschiedenste Spezialfragen im Detail analysiert und in das Lösungskonzept integriert:

- verwendete Meteokorrektur bzw. notwendige Anzahl und Standorte der Me-teosensoren
- Tachymetermessungen durch Glas
- Abschätzungen von Betonpfeileränderungen aufgrund von grossen Temperaturunterschieden
- weiterführende statistische Auswertemethoden wie Zeitreihenanalysen mittels Fouriertransformationen
- Untersuchungen der Frequenzstabilität der Tachymeterquarze
- Definition verschiedener Systemtests und -kontrollen
- u.s.W.

Diese Untersuchungen wurden z.T. in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich durchgeführt und sind einerseits theoretischer Natur, umfassten jedoch auch Messungen vor Ort oder im Labor der ETH Zürich.

6.3 Elektrotechnik und Telekommunikation

Ein grosses Knowhow auf Seite des Auftragnehmers verlangte der Bereich der Elektrotechnik und Telekommunikation. Da an mehreren Standorten kein Stromnetz vorhanden ist, mussten autonome Stromversorgungen mit Solaranlagen installiert werden. Die Dimensionierung der Solarpanel und Batterien wurde zusammen mit den Lieferanten festgelegt.

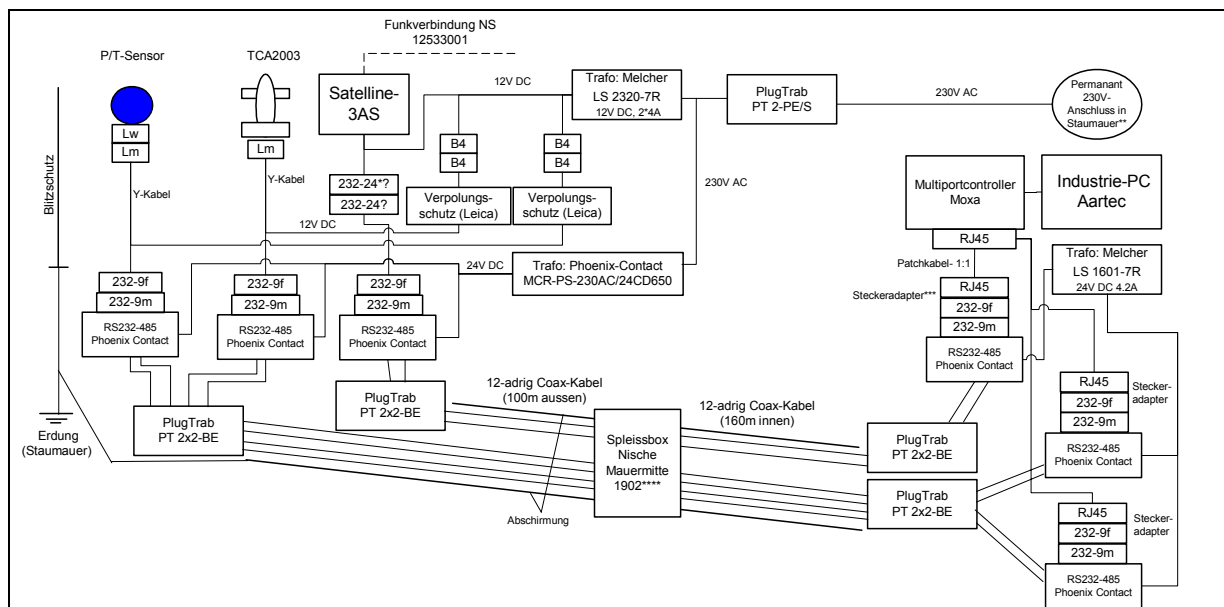


Abb 10: Beispiel eines Kommunikationsschemas

Da im Hochgebirge im Sommer mit starken Gewittern und Blitzeinschlägen gerechnet werden muss, mussten an verschiedenen Orten Überspannungsschutz-

Komponenten eingebaut werden. Eine unterbrecherfreie Stromversorgung erlaubt zudem den Ausgleich von Spannungsdifferenzen im Stromnetz und die Überbrückung von Stromunterbrüchen bis zu 30 Minuten.

Die Datenkommunikation zwischen dem zentralen Datenserver in Regensdorf bei Zürich und den Client-PCs vor Ort einerseits sowie die Kommunikation zwischen den jeweiligen Steuer-PCs und den Messsensoren (Tachymeter und Meteosensoren) andererseits erforderte viele Detailabklärungen. Als Kommunikationswege kommen Datenleitungen, Funkstrecken und Mobilfunkverbindungen (GSM) zum Einsatz. Aufgrund längerer Datenleitungen mussten auch Schnittstellenkonvertierungen (RS232 <-> RS485) eingebaut werden, um Datenverluste bzw. -fehler zu vermeiden.

Bei den Server- und Client-PCs wurde eine Fernzugriffs-Software installiert, welche jederzeit Konfigurationsänderungen an den Steuer-PCs zulässt. Diese Kommunikation erfolgt über eine ISDN-Leitung oder über GSM-Mobilfunk.

6.4 Präsentation und Visualisierung

In der Aufgabenstellung war festgehalten, dass je Messquerschnitt die dreidimensionalen, relativen Bewegungen (quer zum Tal, längs zum Tal und in der Höhe) zwischen zwei beliebigen Punkten zwischen zwei beliebigen Messepochen auswertbar sein sollen.

Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurde entschieden, dass vorerst eine Referenzepoche definiert werden soll, bezüglich derer alle Bewegungen aufgezeigt werden. Um einerseits alle Bewegungen zwischen je 2 Punkten eines Querschnitts darzustellen und andererseits trotzdem eine einfach lesbare grafische Darstellung zu haben, werden folgende zwei Ausgabeformate generiert:

In Form einer halbvollen Matrix werden alle relativen, dreidimensionalen Punkt/Punkt-Beziehungen zum Zeitpunkt x bezüglich der Referenzepoche aufgezeigt (vgl. Abb. 11 auf der folgenden Seite).

Zusätzlich wurden vom Auftraggeber Punkt/Punkt-Beziehungen definiert, welche auch noch graphisch dargestellt werden. Die dreidimensionalen Bewegungen werden dazu in 3 Grafiken je Querschnitt aufgeteilt: je eine Grafik mit den Bewegungen quer (zur Detektion von Talöffnungen oder -schliessungen) und längs (Scherungen) zum Tal und eine in der Höhe (Kippungen). Ein Beispiel einer derartigen Grafik befindet sich im Kap. 5. Durch diese leicht lesbaren Grafiken kann man sich rasch ein Bild des Bewegungsmusters machen. Da sämtliche Grafiken jeweils alle Messungen eines Kalenderjahres umfassen und dieselben Skalen aufweisen, sind auch problemlos visuelle Vergleiche zwischen einzelnen Jahren oder verschiedenen Messquerschnitten möglich.

Los 349: Nalps Süd Vergleich Epoche 1 (16.09.02) / Epoche 2 (27.12.03)

Alle Angaben in [mm]

	2001	2002	1004	2005
0001	-5 -1 2	-3 -2 1	0 -1 1	5 -0 2
2001		2 -1 -2	5 -0 -1	10 1 -1
2002			4 1 1	9 2 1
1004				5 1 1

Wie ist diese Matrix zu lesen?

Die Werte sind als **Verschiebungen** von den **Punkten in der ersten Zeile (horizontal)** bezüglich den **Punkten in der ersten Spalte (vertikal)** zu verstehen.

Der **oberste Wert** zeigt eine Verschiebung **quer zum Tal** an, wobei **positive** Werte (mit Blickrichtung "talauswärts") nach **rechts** zeigen.

Der **zweite Wert** zeigt eine Verschiebung **längs dem Tal** an, wobei **positive** Werte als Verschiebungen **talauswärts** zu verstehen sind.

Der **letzte Wert** zeigt eine **Höhenänderung** an, wobei **positive** Werte **Hebungen** anzeigen.

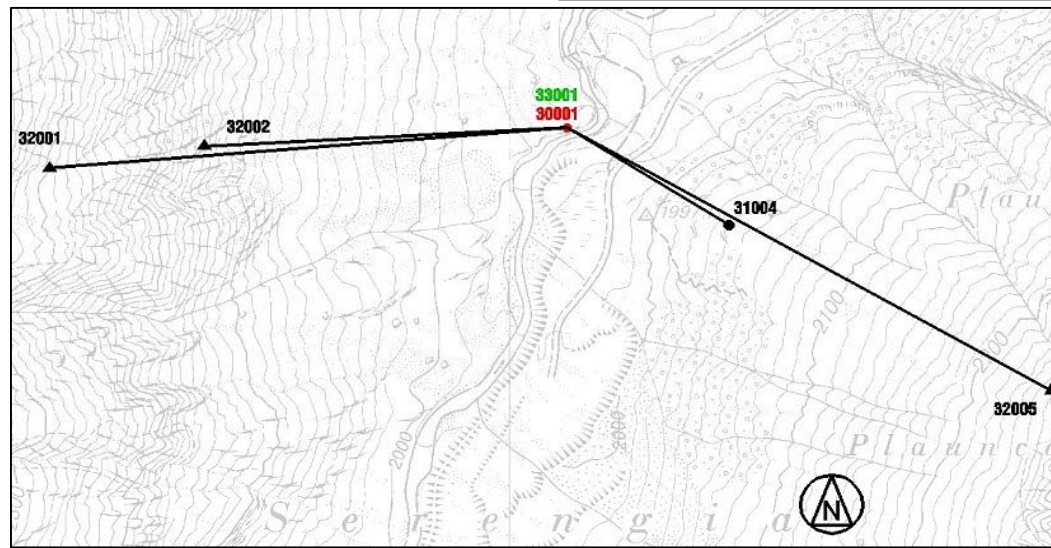


Abb 11: Tabellarische Resultatdarstellung eines Vorfelddquerschnitts

6.5 Dokumentation, Qualitätskontrollen und Systemunterhalt

Vor der Ausführung wurde in einem technischen Bericht das Ausführungsprojekt umfassend beschrieben und alle wichtigen Anlageteile und Präanalyseberechnungen dokumentiert. Nach der Installationsphase wurde eine umfangreiche Dokumentation aller Komponenten, Datenflüsse und Auswerteprozesse erstellt. Für den laufenden Betrieb wurde ein mehrstufiges Reporting aufgebaut:

- Systemunterbrüche jeglicher Art werden mit einer sogenannten Störungsmeldung dem Auftraggeber unverzüglich gemeldet. Darin muss auch beschrieben werden, zu welchem Zeitpunkt die Störung mit welchen Massnahmen behoben werden soll.
- Gleichzeitig mit der monatlichen Resultatabgabe wird jeweils ein Qualitätsbericht über den Zustand der Anlage im vergangenen Monat und eventuelle Wartungseinsätzen abgegeben.

- Jeweils auf den 31. Januar wird ein Jahresbericht abgegeben, der sämtliche Resultattabellen und -grafiken des Vorjahres enthält. Die Resultate und der Zustand der Anlage werden erläutert und evtl. Zusatzmessungen beschrieben.

Mit Systemtests wird jährlich an zwei Messquerschnitten überprüft, ob die Anlage allfällige Bewegungen zuverlässig und mit der geforderten Genauigkeit aufdeckt. Dabei wird jeweils ein Prisma manuell verschoben und diese Verschiebung extern genau eingemessen. Das System misst daraufhin eine Epoche lang u.a. auf das verschobene Prisma. Bei der Auswertung sollte der „automatisch berechnete“ Verschiebungsvektor der manuell ermittelten Verschiebung entsprechen. Alle bisherigen Tests waren diesbezüglich sehr erfolgreich und haben somit die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des Systems bestätigt.

Zum Systemunterhalt zählt zudem, dass sämtliche Tachymeter jedes Jahr beim Hersteller gewartet und neu kalibriert werden, die Online-Meteosensoren durch Vergleichsmessungen mit geeichten portablen Sensoren und die Pfeilerstabilitäten durch Messungen von lokalen Rückversicherungen kontrolliert werden.

6.6 Teamwork

Eine komplexe Monitoring-Anlage kann nicht bei einem Systemhersteller gekauft und installiert werden, da eine Aufgabe dieser Grössenordnung keine Standardaufgabe ist und dementsprechend viele Systemkomponenten entweder neu entwickelt, kombiniert und/oder angepasst werden müssen. Aufgrund der komplexen Aufgabenstellung und der zu beherrschenden Herausforderungen ist ein funktionierendes Teamwork verschiedener Projektbeteiligter eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Lösung.

Bei Projektbeginn musste die Aufgabenstellung detailliert analysiert und ein Lösungskonzept erarbeitet werden. Dies beinhaltete insbesondere die Auswahl der Messpunkt- und Tachymeterstandorte. Bei diesem Prozess waren neben Vertretern des Auftraggebers und -nehmers bereits weitere Spezialisten wie Geologen, Lawinenexperten und Kraftwerks-Mitarbeiter mit den notwendigen Lokalkenntnissen involviert.

Nach der Definition der Netzkonfiguration mussten die Logistik-Komponenten wie Strom, Überspannungsschutz, Zugänglichkeit und Datenkommunikation mit spezialisierten Dritten ausgearbeitet werden.

Mit dem Bau der Pfeiler und Instrumentensockel wurde eine Baufirma und für die Tachymeter-Schutzhütten eine Schreinerfirma beauftragt. Die Montage dieser Hütten erfolgte schliesslich mit Unterstützung von Helikoptern.

Die Meteosensoren und weitere elektrische und elektronische Komponenten der Monitoring-Anlage wurden in Zusammenarbeit mit den Lieferanten dieser Teile definiert. Der Tachymeterhersteller, welcher auch die Steuersoftware der Anlage geliefert hat, war aufgrund des nicht alltäglichen Einsatzes seiner Systemkomponenten ebenfalls gefordert, Spezialfragen zu lösen.

Verschiedene Mitarbeiter des Auftragnehmers haben all diese Spezialistenarbeiten koordiniert und sich zum Teil recht tief in für Vermesser neue Gebiete eingearbeitet, damit die Anlage zum Schluss als Ganzes funktionierte und zuverlässig Messresultate lieferte. Andere Mitarbeiter kümmerten sich um die Bereiche des Datenmanagements, der -modellierung und -auswertung und haben eigene Software-Tools entwickelt. Die Präsentation und Darstellung der Resultate war ebenfalls ein iterativer Prozess zwischen Auftragnehmer und -geber, bis die Ergebnisse in einer für alle Adressaten einfach interpretierbaren Form vorlagen. Diverse Spezialfragen zu vermessungstechnischen Problemstellungen (vgl. Kap. 6.2) wurden in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich behandelt.

Zum guten Gelingen dieses Projekts haben somit eine Vielzahl von Spezialisten beigetragen, denen an dieser Stelle auch ein grosser Dank ausgesprochen werden soll.

Literatur:

- STENGELE, R., STUDER, M. [2001]: Überwachung von Stauanlagen, Ausführungsprojekt Nalps Mauer und Nalps Nord. Interner Projektbericht.
- BRAEKER, F., STAEHLI, D., STUDER, M. [2002]: Oberflächenbewegungen als Folge des Tunnelvortriebs. Baublatt EXTRA März 2002, S. 17-19.
- BRAEKER, F. [2003]: Überwachungsstufe 3 für die KVR-Stauanlagen, Standbericht per 31.12.2002. Interner AlpTransit Gotthard AG-Bericht für ausgewählte Projektbeteiligte.
- STUDER, M., STENGELE, R., [2003]: Überwachung von Stauanlagen, Jahresbericht per 31.12.2002. Interner Projektbericht.

Anschriften:

Swissphoto AG:	AlpTransit Gotthard AG:	Grünenfelder und Partner AG:
Mario Studer	Fritz Bräker	Ivo Schätti
Dorfstrasse 53	Zentralstrasse 5	Denter Tumas
CH-8105 Regensdorf	CH-6003 Luzern	CH-7013 Domat/Ems
mario.studer@swissphoto.ch	fritz.braeker@alptransit.ch	ivo.schaetti@gruenenfelder.ch