

GEOMECHANISCHE MESSUNGEN UND ÜBERWACHUNG WÄHREND DEM SPRENGVORTRIEB DER TUNNEL VAL D'INVERN, LA ROCHE UND SALGESCH

Daniel Naterop,
Solexperts AG, Mönchaltorf, Schweiz

Geotechnical monitoring during drill and blast excavation of the tunnels Val d'Invern, La Roche and Salgesch

The scope of all projects in Switzerland was to guarantee the proper operation of routes, roads and railway lines, during drill and blast excavation of new tunnels.

Geotechnical monitoring at Salgesch, included survey of an anchor-stabilized slope above a railway line. At La Roche, vertical and partly overhanging rocks are situated above the road and the railway line near the new tunnel. Also at the Val d'Invern, a very unstable rock mass above a bridge, the only road access to the valley, was to be monitored.

The geotechnical monitoring systems, each individually adapted to the requirements of the project, included motorized total stations, surface extensometers, borehole extensometers, accelerometers and trigger lines. All sensors are operated with the automatic data acquisition system, the Solexperts GeoMonitor, for on-line data acquisition, deformation and displacement calculation and alarm triggering. The results could be enquired by SMS and then displayed on mobile phones. The engineers and geologists were able to monitor the endangered routes in a simple and very efficient way.

Bei allen drei Projekten in der Schweiz galt es, den Betrieb wichtiger Verkehrswege, Strassen und Eisenbahnlinien, während dem Bau von neuen, im Sprengvortrieb erstellten, Tunnel sicherzustellen.

In Salgesch musste eine mit Ankern gesicherte Felsböschung oberhalb einer Eisenbahnlinie überwacht werden. In La Roche befanden sich nahe dem Tunnelvortrieb senkrechte und zum Teil überhängende Felspartien direkt neben und über der Strasse und der Eisenbahnlinie. Im Calancatal wurde eine instabile Felspartie, die sich oberhalb der damals noch in Betrieb stehenden Strassenbrücke befand, messtechnisch überwacht.

Die für jedes Projekt unterschiedlichen geomechanischen Messsysteme, motorisierte Tachymeter, Oberflächen- und Bohrlochextensometern, Erschütterungssensoren und Reissleinen-Netze, wurden mit der automatischen Messanlage erfasst, die Messresultate on-Line ausgewertet und im Internet visualisiert. Die Messresultate konnten per SMS angefordert und auf Mobiltelefonen angezeigt werden. Dies ermöglichte eine einfache und effiziente Überwachung der gefährdeten Verkehrswege für die verantwortlichen Ingenieure und Geologen.

1. Einleitung und Grundlagen

Zur Beherrschung geotechnischer Risiken leisten systematisch geplante messtechnische Überwachungen einen wesentlichen Beitrag. Die Risikobeherrschung kann in 3 Schritte unterteilt werden.

Schritt 1: Bei der Risikoermittlung werden die wesentlichen Risiken und die möglichen Auswirkungen beschrieben. Nur erkannte Risiken können beherrscht und beeinflusst werden.

Schritt 2: Die Risikobewertung beinhaltet eine Vorhersage und Abschätzung des möglichen Schadensausmasses und der Eintretenswahrscheinlichkeit.

Schritt 3: Die Risikobeeinflussung teilt die bewerteten Risiken in akzeptable, zu verändernde und nicht akzeptable Risiken ein. Anschliessend werden Massnahmen, zur Beeinflussung der Risiken aufgeführt. Die Beeinflussung kann auf die Eintretenswahrscheinlichkeit und auf das zu erwartende Schadensausmass eines Schadenereignisses einwirken. Die Massnahmen können eine Erhöhung, eine Reduktion und eine Verhinderung des Risikos zum Ziel haben. Eine Erhöhung akzeptierbarer Risiken kann wesentliche Vorteile bezüglich Baukosten und Ausführungssterminen ergeben.

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung der Risikobeherrschung, welche geomechanische Messungen beinhaltet, sind:

- Eine den zu erwartenden Ereignissen angepasste Organisation auf der Baustelle, beim Planer, bei den beteiligten Spezialfirmen und beim Bauherrn.
- Technische Voraussetzungen um qualitativ hochstehende Messung, Überwachungen und Feldversuche im Boden, Fels und in bestehenden oder neu zu erstellenden Bauwerksteilen auszuführen.
- Die Messergebnisse einfach und effizient auszuwerten und zeitgerecht zu übermitteln.

Anhand der nachfolgend beschriebenen Projekte wird der Nutzen geomechanischer Messungen und Überwachungen bei drei im Sprengvortrieb erstellten Tunnels dokumentiert.

2. Tunnel Val d'Invern Calancatal

Das Projekt Tunnel Val d'Invern wurde im Beitrag von Dr. R. Krähenbühl eingehend beschrieben. Während dem Erstellen des Umfahrungstunnels Val d'Invern musste die bestehende Verkehrsverbindung, im Speziellen die durch einen Felsblock gefährdete Brücke, welche die einzige Strassenverbindung ins Calancatal bildet, erhalten werden. Daher musste die fast senkrecht über der Brücke stehende Felspartie, welche die Brücke gefährdete, eingehend überwacht werden. Die bereits früher installierte Messanlage, bestehend aus Bohrlochextensometern, Oberflächenextensometern, einer Reissleine, Felstemperaturfühlern und einer Niederschlagsmessstelle, wurde zur messtechnischen Überwachung während dem Tunnelvortrieb mit einem automatischen Messsystem, dem Solexperts GeoMonitor, einem motorisierten Tachymeter, und mit Sensoren zur Erschütterungsmessung erweitert. Die Datenübertragung, Datensicherung zum Solexperts Datenserver und die Messanlagen-Fernsteuerung erfolgte per Modem. Zur Datenvisualisierung erstellte Solexperts eine Projektwebseite, die stündlich automatisch mit den neuen Messwerten aktualisiert wurde.

- Die Extensometer erfassten abschnittsweise Bewegungen im Fels
- Mit Oberflächenextensometern wurden auf der Felsoberfläche Verschiebungen des zu überwachenden Felsblocks bezüglich dem stabilen Bereich der Felswand erfasst.
- Der motorisierte Tachymeter ermittelte die 3D-Verschiebungen an 23 Messpunkten auf der sich bewegenden und stabilen Felswand.
- Eine Reissleine, welche im bergseits der Brücke angebrachten Steinschlagschutznetz integriert war, detektierte Steinschläge die auf die Brücke aufschlugen.
- Mit Hilfe von Erschütterungssensoren wurden allfällige Bewegungen im und an der Oberfläche der Felswand mit den Erschütterungen aus dem Sprengvortrieb verglichen um die Sprengstoffmengen pro Abschlag zu optimieren und um Auswirkungen der Sprengarbeiten zu erfassen.

Nachfolgendes Bild zeigt die bestehende Strasse mit den beiden kurzen Tunnels und der Brücke sowie der neue Umfahrungstunnel dar.

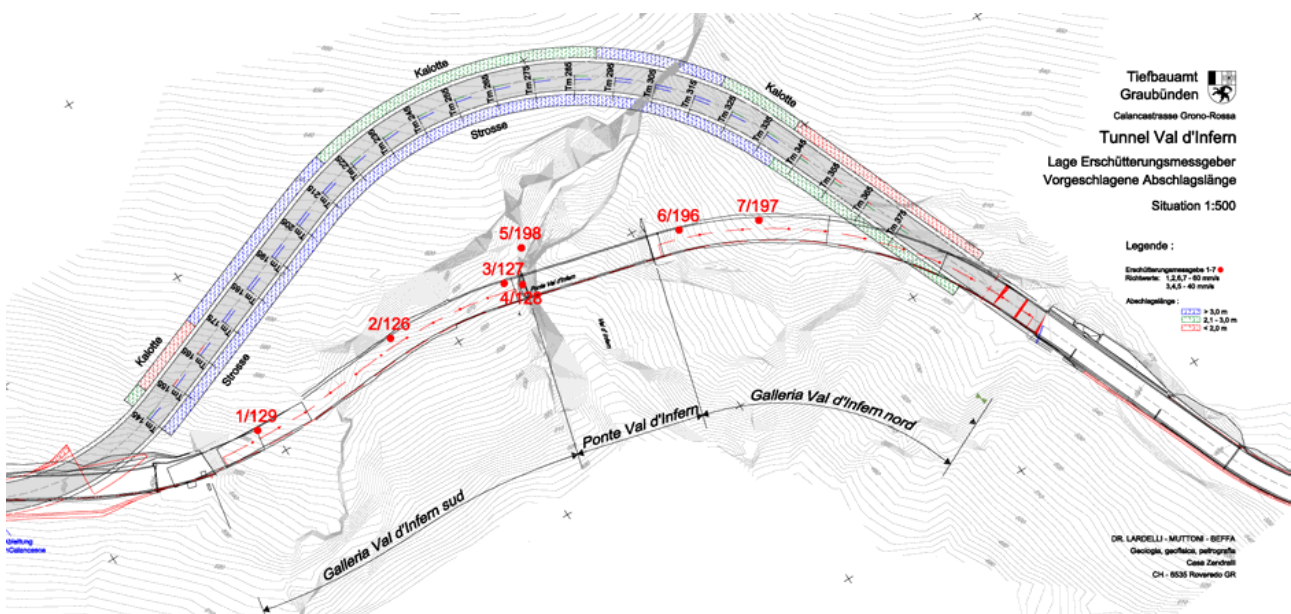


Bild Calanca 1

Der zu überwachende Felsblock steht fast senkrecht direkt über dem nördlichen Tunnelportal und dem südlichen Brückenwiderlage.



Bild Calanca 2

Datenvisualisierung im Internet

Die permanent erfassten Daten aller Sensoren wurden passwortgeschützt im Internet mit Solexperts WebDavis visualisiert. Damit standen die Resultate den beteiligten Ingenieuren unmittelbar und örtlich zugeordnet zur Verfügung. Weiterhin diente WebDavis als Informationsplattform um, sensorspezifische Alarngrenzwerte, das Alarmdispositiv, Adressen, Schemata der Sensoren, Logbuch der Messanlage, allen Beteiligten zugänglich zu machen. In einem Downloadbereich konnten zudem Messresultate in Tabellenform auf den persönlichen Rechner übertragen werden. Die WebDavis Visualisierungsoberfläche ist in folgendem Bild dargestellt.



Bild Calanca 3

Die Oberflächenverschiebung sind im Wesentlichen durch die Niederschläge beeinflusst

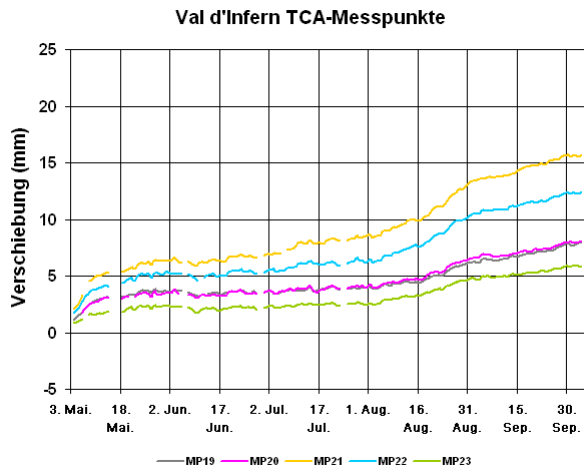


Bild Calanca 4

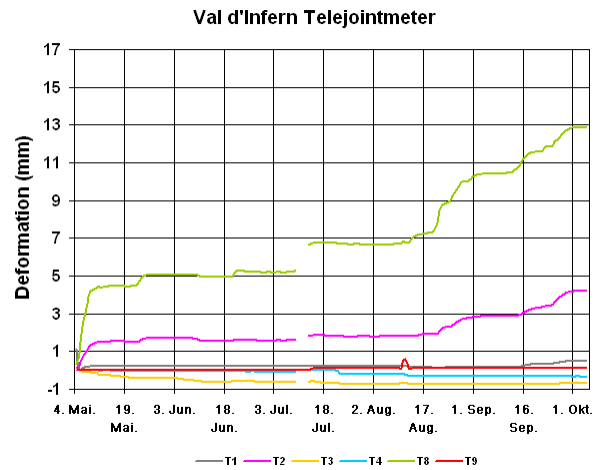
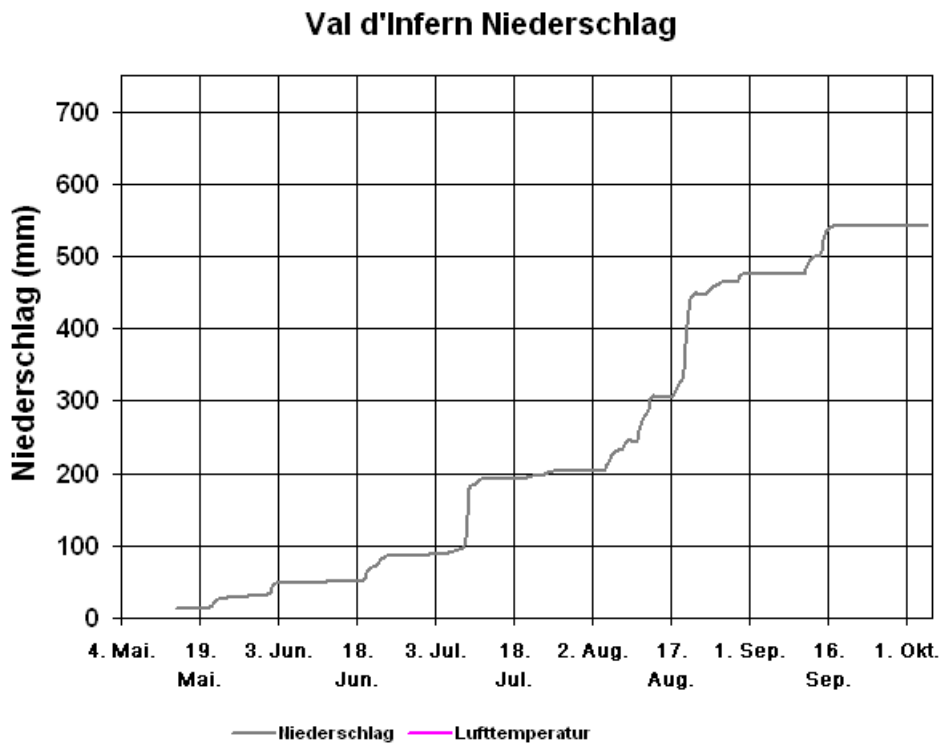


Bild Calanca 5



Graphik Oberflächenverschiebung – Val d'Invern Niederschlag

Alarmsystem

Für alle Verschiebungsmessungen sowie für den Zustand der Reissleine wurden Alarmgrenzwerte definiert. Die Messwertüberschreitungen und Alarmmeldungen konnten vom Messsystem sofort nach jeder Messung selbsttätig per SMS an die verantwortlichen Personen übermittelt werden. Alarmstufe 1 diente der Information über eine fortschreitende Bewegung und die Alarmstufe 2 wurde ausgelöst, wenn eine starke Bewegung innerhalb kurzer Zeit gemessen wurde. Zusätzlich zu SMS-Alarmmeldung erfolgten automatische Anrufe an die verantwortlichen Personen und das Lichtsignal vor und nach der Brücke sowie ein akustischer Alarm im Tunnel wurden aktiviert. Das nachfolgende Alarmdispositiv legte das weitergehende Vorgehen fest.

741 Calancastrasse, Alarmorganisation Felssturzsrisiko Val d'Infern

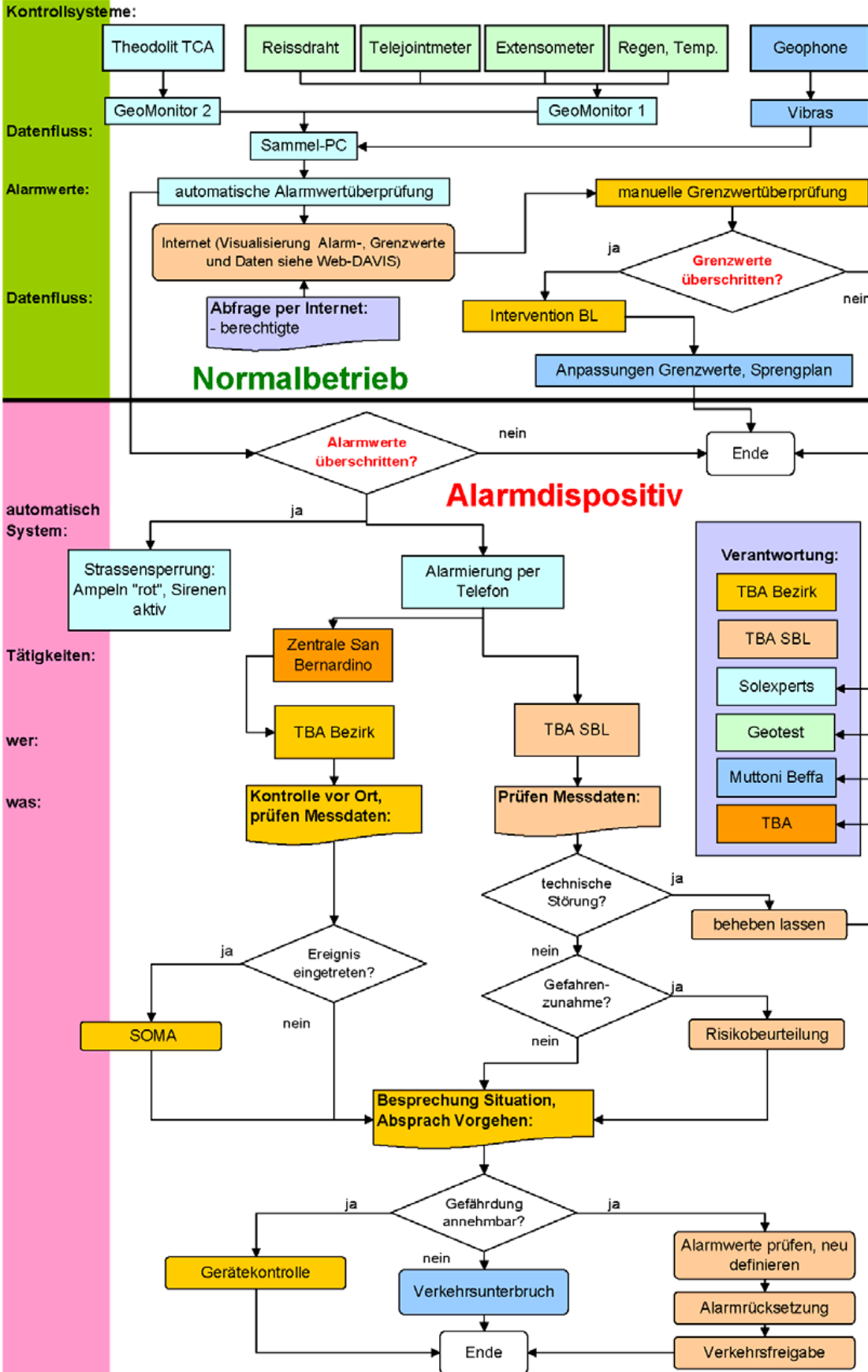


Bild Calanca 7

3. Überwachung Doppelspur-Eisenbahnlinie von Salgesch nach Leuk

Die neue SBB-Doppelspur Salgesch-Leuk verläuft heute in einem Tunnel der in ca. 60 m Entfernung vom nachfolgend abgebildeten Bahntrasse im Sprengvortrieb erstellt wurde. Es bestand das Risiko, dass die durch die Sprengungen erzeugten Erschütterungen zu Bewegungen und Felsstürzen der verankerten Felsböschung führen. Es stellte sich im Besonderen die Frage ob die vor vielen Jahren erstellten und möglicherweise teilweise korrodierten Felsanker die erforderliche Tragfähigkeit aufwiesen. Da die Anker nur schwierig zu überwachen waren, wurden Verschiebungen und Erschütterungen an der Felsböschung gemessen und ein Felssturz-Messnetz montiert.



Bild Salgesch 1.

Das Mess- und Überwachungssystem bestand aus folgenden drei von einander unabhängigen, Teilen:

- GeoMonitor-Messanlage, im Bahnhof Leuk stationiert, mit 5 Oberflächenextensometern die die Verschiebungen der Felsscholle relativ zum stabilen Fels automatisch auf wenige 1/100 mm genau ermittelten. Bei Überschreiten von vorher festgesetzten Grenzwerten Alarm würde ein Alarm ausgelöst.



Bild Salgesch 2

- Ein ca. 3.5 m hohes Netz aus isoliertem Kabel, das an Stahlpfosten befestigt war wurde unabhängig vom GeoMonitor mit der Lichtsignalanlage verbunden. Bei herabrutschenden Felsbrocken ab ca. 30cm Durchmesser sollte das Kabel unterbrochen werden, die Lichtsignalanlage aktiviert und die Eisenbahnstrecke gesperrt werden.



Bild Salgesch 3.

- Mittels 3-axialen Erschütterungssensoren wurden die Sprengerschütterungen mit allenfalls auftretenden Verschiebungen der Oberflächenextensometer korreliert um die Sprengarbeiten im Tunnel zu optimieren. Die Hintergrundmessung diente der Aufzeichnung des allgemeinen Erschütterungspegels. Damit können Triggerlevels festgesetzt werden. Alle 4 Minuten wurde der jeweilige Maximalwert aufgezeichnet. Wird ein Triggerlevel überschritten, zeichnet das Gerät den sog. Event mit den aufgetretenen Geschwindigkeiten detailliert auf.

4. La Roche Überwachung der Kantonsstrasse und der Eisenbahnverbindung

Der neue Nationalstrassentunnel La Roche der N16 im Schweizer Jura wurde ebenfalls im Sprengvortrieb erstellt. Er durchdringt das nachfolgend dargestellte Felsmassiv.



Bild la Roche 1

Bei der hier gewählten Vortriebsart bestand für die bestehende Kantonsstrasse und die Eisenbahnlinie die Gefahr eines Felssturzes.. Mittels einem Mess- und Alarmsystem mussten diese Risiken reduziert werden. Zusätzlich galt es die Vortriebsarbeiten vor allem in den beiden Portalbereichen geomechanisch zu überwachen, Solexperts wurde beauftragt ein geotechnisches Messsystem zu installieren und zu betreiben. Nach jeder einzelnen Sprengung wurden die Messresultate der Verschiebungs- und Erschütterungsmessungen auf der WebDavis-Projektwebseite aktualisiert. Die Messresultate wurden zusätzlich per SMS auf Mobiltelefone übertragen. Der zuständige Baustellenchef forderte die Messanlage per SMS auf, die aktuellen Messungen zu übertragen. Nach wenigen Sekunden wurden sie dann wiederum per SMS auf das entsprechende Mobiltelefon übermittelt. Zusätzlich erfolgte, nach Überschreiten vorher festgelegter Grenzwerte, die Email-Übertragung der aktuellen Messresultate.

Die Messanlage bestand aus folgenden Teilen:

- Für die Erschütterungsmessungen wurden 8 triaxiale Beschleunigungs-Messgeber zu einem Netzwerk verbunden. Mittels robusten Konsolen und Blechen gegen Steinschlag wurden die Sensoren an die Felswand und an ein in der Nähe befindliches Gebäude befestigt. Die Triggerwerte wurden, nachdem einige Wochen ohne Sprengvortrieb gemessen wurde mit 0.2mm/s bis zu 0.5mm/s festgelegt.



Bild La Roche 2

- Zur Verschiebungsmessung zwischen den einzelnen Felstürmen wurden Oberflächenextensometer über Klüfte zwischen den einzelnen Felsblöcken montiert. Die Wegaufnehmer mit 100 mm Messbereich und einer Genauigkeit von ± 0.03 mm wiesen zur Kompensation allfälliger Temperatureinflüsse Temperatursensoren auf. Auch hier mussten an exponierten Stellen Steinschlag-Schutzbleche über den Messstellen montiert werden.

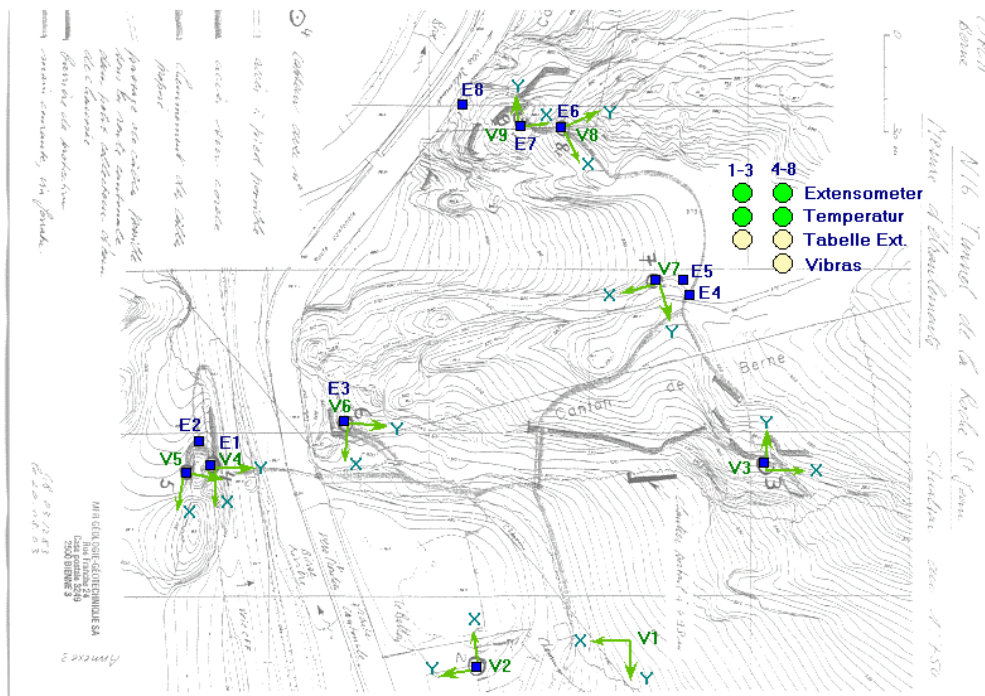


Bild La Roche 3.

Die Anforderung des Auftraggebers bestand auch darin, nach jeder Sprengung einen Kurzbericht mit den Messresultaten zu erstellen, der an das zuständige Ingenieurbüro und den Geologen zu übermitteln war. Dies konnte idealerweise und weitgehend automatisiert mit der WebDavis –Datenvisualisierung erfüllt werden. Zusätzlich zu den Messwerten enthielt die Projektwebseite eine detaillierte Dokumentation aller installierten Messgeräte und die Liste der Alarmgrenzwerte.



N16 Tunnel de La Roche St-Jean



[Documentation](#) [Dispositif d'Alarmes](#) [Commentaire](#) [Extensomètres](#) [Vibras](#)

Bild La Roche 4

5. Schlussbemerkungen

Alle drei Tunnelvortriebe konnten ohne nennenswerte Schäden an den zu überwachenden Strassen und Eisenbahnlinien erstellt werden. Durch den Einsatz von an die Bauarbeiten und das Projekt angepassten automatischen Messsystemen mit Datenvisualisierung im Internet sowie Alarmierung auf Lichtsignalanlagen und auf Mobiltelefone konnten die Risiken einerseits beherrscht und allen am Projekt wesentlich beteiligten Personen jederzeit aktuelle Messresultate zur Verfügung gestellt werden.

Solexperts AG
Daniel Naterop