

Geomechanische Messungen und Überwachung der Stützmauern/Pfahlwände Court und Roches

Daniel Naterop,
Solexperts AG, Mönchaltorf, Schweiz

1. Einleitung

Die seit einigen Jahren im Bau befindliche und teilweise im Betrieb stehende Autobahn N16 durchquert den Jura und verbindet das Schweizer Mittelland mit Frankreich. In Court verläuft die Autobahn im Schutze einer massiven Stützmauer und in Roches wird ein mit einer Pfahlwand gesicherter Kriechhang durchquert. Die Hangsicherung in Court besteht aus einer temporär verankerten Elementwand vor die eine, auf einer Pfahlreihe fundierte, Stützmauer erstellt wurde. Im Kriechhang Roches wurde eine einfach verankerte Pfahlwand gebaut. Der spezielle Bauablauf und die zu beherrschenden Risiken beider Stützbauten erforderten eine intensive Überwachung mit geotechnischen und geodätischen Messungen.

In beiden Projekten werden die Verformungen der Pfahlwände mit hochpräzisen Trivec-Messungen ermittelt, um daraus die Beanspruchung, Normalkräfte und Biegemomente, während dem Bau und im Gebrauchszustand zu ermitteln. Diese Messungen sind im Rahmen der Beobachtungsmethode eine wesentliches Mittel, die auftretenden Risiken zu beherrschen und die Baukosten zu optimieren.

Die messtechnischen Massnahmen und die Resultate der Messungen werden im Rahmen der Bauarbeiten erläutert.

2. Hangsicherung Combe Chopin

Ein kurzes Teilstück der Autobahn N16 im Schweizer Jura führt bei der Ortschaft Roches durch den Kriechhang Combe Chopin. Eine Ende 2001 bis Frühjahr 2002 gebaute verankerte Pfahlwand sichert diesen, aus einer Brücke, dem Einschnitt und einem Tunnelportal bestehenden Strassenabschnitt.

Als Versagensmechanismus wurde ein Bodenüberfließen der Stützmauer in Betracht gezogen. Die vollständige Stabilisierung der Kriechhangbewegungen hätte rechnerisch Massnahmen erfordert, die gegenüber den ausgeführten baulichen Massnahmen wesentlich aufwändiger gewesen wären. Während dem Bau der verankerten Pfahlwand wurden zudem fortschreitende Hangbewegungen beobachtet.

Der ca. 20° bis 30° geneigte Hang besteht aus tonig-kiesigem Bodenmaterial, das im nördlichen Abschnitt bis in eine Tiefe von 5 bis 8 m und im südlichen Abschnitt bis ca. 14 m reicht. Darunter steht ca. 2 bis 4 m teilweise verwitterter und darunter massiver Fels an. Die Dicke der Gleitzzone oberhalb vom Felsuntergrund wird mit 0.5 m bis 1 m angenommen. Die Kriechbewegungen wurden schon seit 1976 beobachtet. Sie manifestierten sich jedoch in verstärkter Masse während und nachdem für den Bau eine Bauzufahrt erstellt worden war.



Abb. 1 Kriechhang Combe Chopin

3. Kenndaten und Bauablauf der verankerten Pfahlwand

Die einzelnen Pfähle der Pfahlwand weisen jeweils Durchmesser von 1.3 m und einen Achsabstand untereinander von 2.2 m auf. Sie reichen jeweils ca. 5 m in den intakten Fels. Die Pfahlbewehrung besteht jeweils aus zwei Spiralen Ø14 mm, A=10 cm und 30 Stück

Längseisen Ø30 mm, A=10 cm. Ein massiver 1.7 m hoher Betonriegel dient der statischen Verbindung der Pfähle mit den Anker. In jedem Zwischenraum der Pfähle sind jeweils 2 Permanentanker mit Neigungen von 5° und 10° und einer Vorspannkraft von 600 kN versetzt worden. Aussparungsröhre, welche im Grundriss in den Pfahlachsen angeordnet sind, erlauben, sofern die Pfähle überlastet werden, eine Nachankerung.

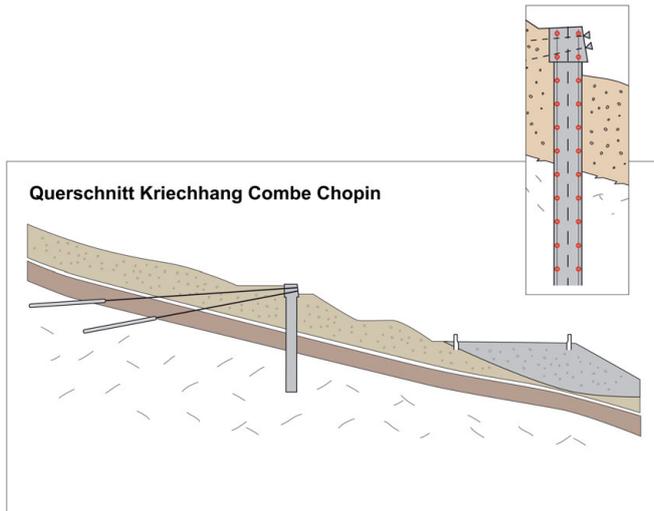


Abb.2 Querschnitt Kriechhang Combe Chopin

4. Der Bauablauf kann in 4 Phasen unterteilt werden

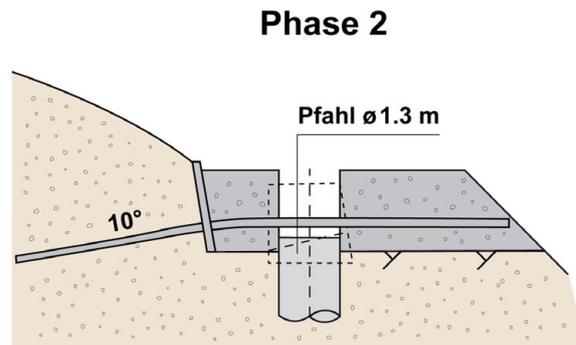
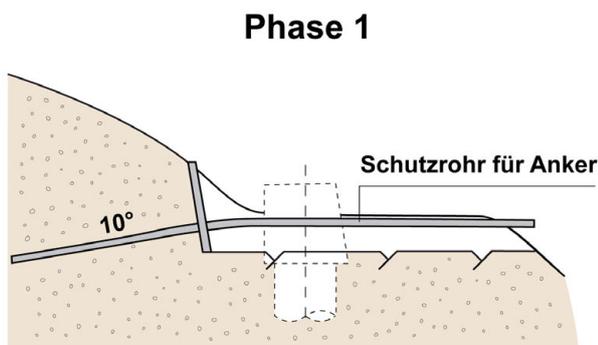
Phase 1: Von einem provisorischen Einschnitt aus wurde die 2 m hohe mit Spritzbeton gesicherte Böschung erstellt. Von diesem Einschnitt wurden die Vorspannanker gebohrt und versetzt. Die Anfangsstrecke der Lizenanker wurde umgebogen, um für die Erstellung der Pfähle Platz zu lassen.

Phase 2: Nun wurde der Einschnitt bis ca. 2 m Höhe verfüllt, um von diesem Bohrplanum die Pfähle in

10 m bis 20 m langen Abschnitten zu erstellen (ca. 2 Pfähle pro Arbeitstag).

Phase 3: In dieser Phase wurde die Verfüllung bis auf Höhe Einschnitt freigelegt, der Kopfbalken etappenweise erstellt und die Lizenanker durch ein im Kopfbalken eingelegtes Schutzrohr eingefädelt.

Phase 4: Danach erfolgte die Verfüllung des Hohlraumes zwischen Kopfbalken und Böschung und anschliessend wurden die Anker gespannt.



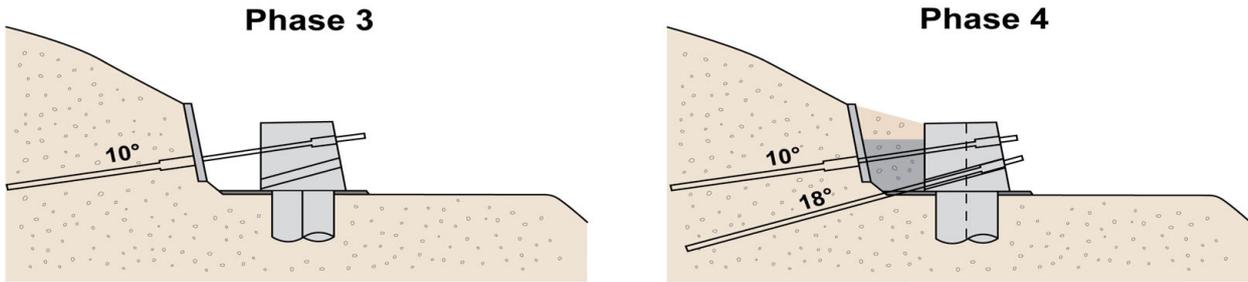


Abb. 3 Darstellung Bauablauf

5. Instrumentierung zur Ermittlung der Pfahlbeanspruchung und Messresultate

Mit den Deformationsmessungen werden die eingesetzten Berechnungsmodelle, das Verhalten der Pfahlwand bezüglich Verschiebung und Belastung im Bauzustand und während der Nutzungsphase festgestellt und überprüft. Entlang ausgewählter Pfähle müssen dazu lückenlose Dehnungs- und Verschiebungsprofile ermittelt werden. Um auf die Belastung (Normalkraft- und Momentkraftverlauf) schliessen zu können, sind Messgenauigkeiten in axialer Pfahlrichtung von ca. $3 \mu\text{m}$ und in radialer Richtung von ca. 0.05 mm/m zu erreichen. Das Messsystem war zudem so auszulegen, dass Verschiebungen und Verformungen während mehrerer Jahrzehnte gemessen werden können.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde das Trivec-Messsystem eingesetzt. Die Trivec-Messrohre sind im Werk, wo die Bewehrung hergestellt wurde, in die Bewehrungskörbe eingelegt und mittels Stahlbändern befestigt worden. Die so bestückten Bewehrungskörbe wurden auf die Baustelle transportiert. Um einer Beschädigung der Messrohre durch den Transport, den Einbau der Bewehrung in die Bohrung, das Betonieren und den Rohrrückzug entgegen zu wirken, sind Stahlmessrohre zum Einsatz gekommen. Beim Einbau musste darauf geachtet werden, dass sich die Achse, welche sich aus zwei in einem Pfahl eingebauten Messrohren ergibt quer zur Pfahlwandlängsrichtung zu liegen kommt. Einige wenige der total 8 instrumentierten Pfähle drehten sich beim Bohrrückzug geringfügig. Die erzielten Messresultate wurden dadurch jedoch nicht beeinträchtigt.



Abb. 4 Messrohre im Pfahl



Abb. 5 Versetzen der Pfahlbewehrung



Abb. 6 Messausrüstung

Die bisher ausgeführten Messungen zeigen, dass die Tragfähigkeit der im vorliegenden Projekt gewählten Sicherung des Kriechhanges Combe Chopin den einwirkenden Belastungen standhält. Zusatzanker mussten

bisher noch nicht versetzt werden und ein Überfließen des Rutschhanges konnte bis dato noch nicht beobachtet werden.

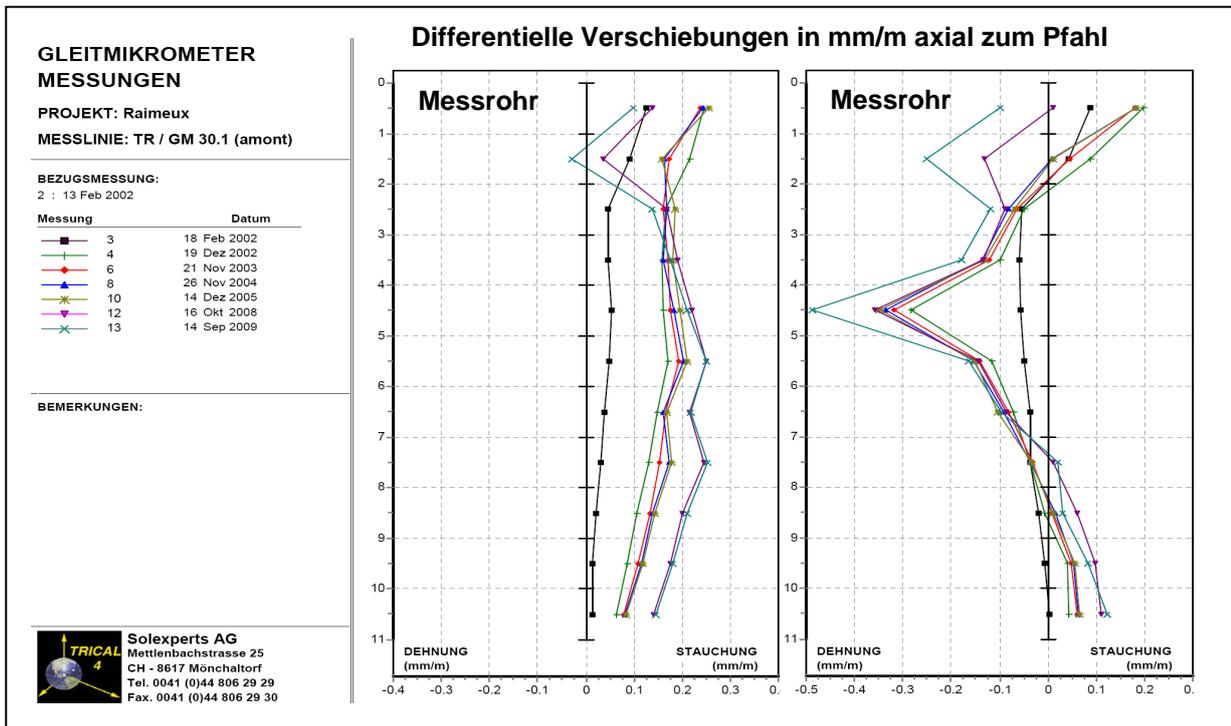
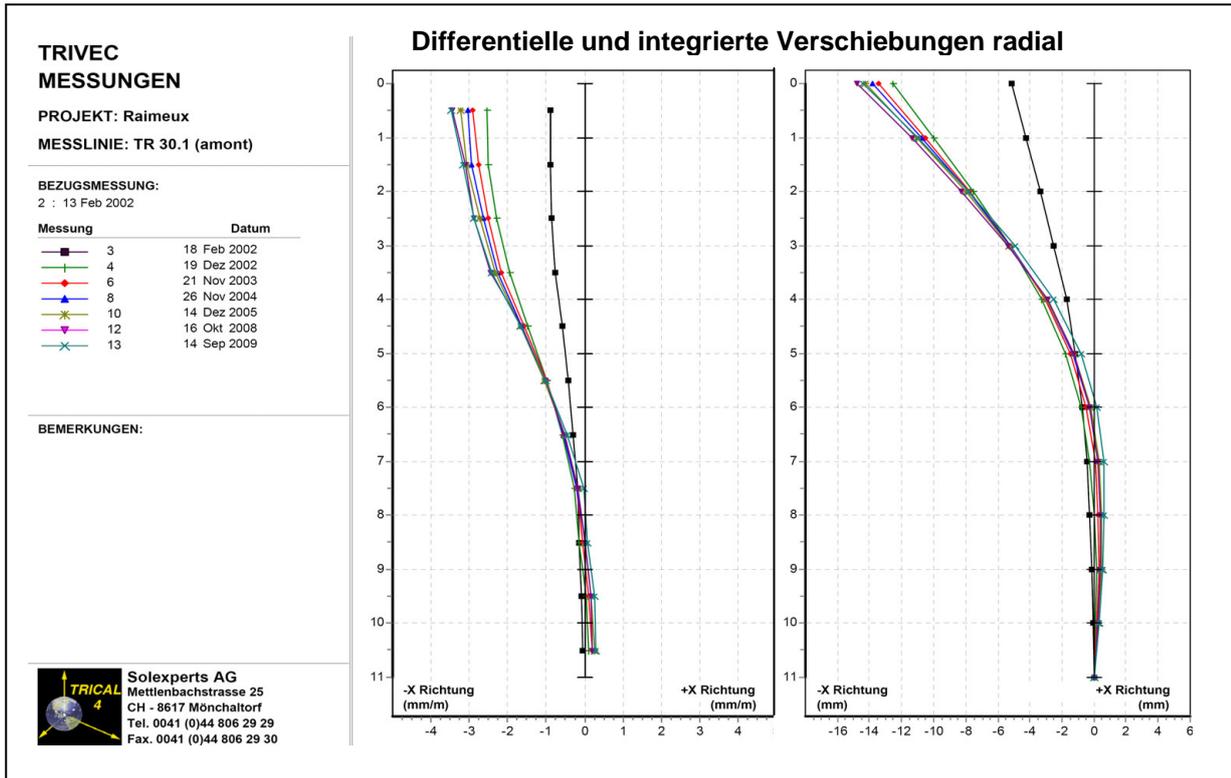


Abb. 7 Messresultate Pfahl Nr. 30

6. Stützmauer Court und Tunnel Gorge

In den Projekten Court und Graitery, wo ebenfalls Pfahlwände zur Hangsicherung eingesetzt wurden, sind ebenfalls Deformationsmessungen in den Pfählen mit Trivec und Gleitmikrometer vorgesehen. In Court ist die Hangsicherung vollendet und die Nullmessung der Deformationsmessung ausgeführt worden. Folgemessungen stehen noch aus. In Graitery sind bis heute erst

die Pfähle mit den Messeinrichtungen erstellt und die Nullmessung ausgeführt worden. In beiden Projekten stehen jedoch noch keine Messresultate zur Verfügung. Ein weiteres Projekt, bei dem eine integrale messtechnische Überwachung mit Trivec zur Ermittlung der Beanspruchungen einer Pfahlwand zur Anwendung kommt ist die Hangsicherung des Tunnelportals La Gorge.

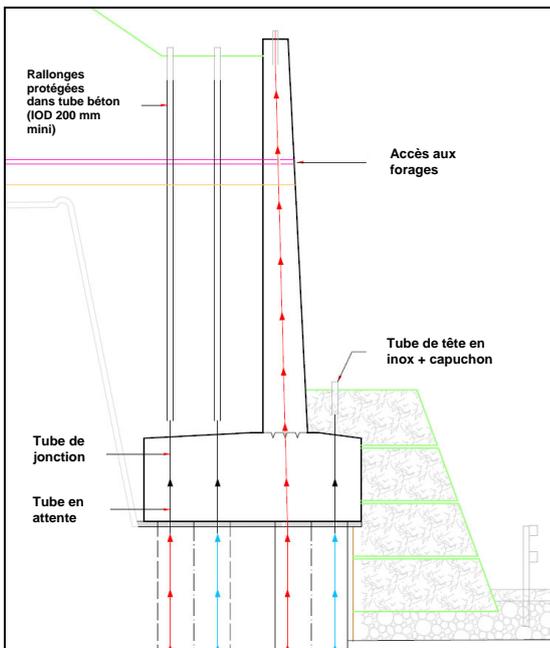


Abb. 8 Querschnitt Hangsicherung Court und Photo der Stützmauer Court

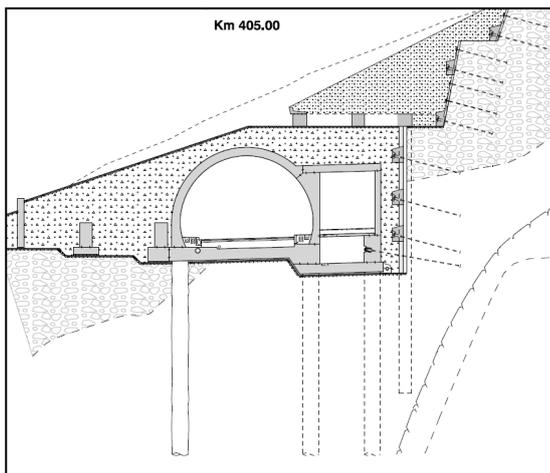


Abb. 9 Querschnitt Hangsicherung Tunnel Gorge

7. Schlussfolgerungen

Durch die systematische Anwendung von Messungen in den beschriebenen Projekten, unter anderem mit dem Trivec und Gleitmikrometer, kann die Beanspru-

chung der Stützbauwerke während der Bauzeit und während der Nutzungsdauer sehr zuverlässig ermittelt werden. Dadurch wurden bezüglich Kosten und Sicherheit optimierte Bauwerke erstellt.

Referenzen

Bisetti, A. (2002). «Confortation et Assainissement de la Combe Chopin: Analyse de Stabilité.» Mitteilung Nr. 145 der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Herbsttagung, 8. November 2002, Olten

Houriet, B. (2002). «Confortation et Assainissement de la Combe Chopin: Dimensionnement de la paroi de pieux ancrée.» Mitteilung Nr. 145 der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Herbsttagung, 8. November 2002, Olten

Naterop D. (2002). «Deformationsmessungen in der Pfahlwand Combe Chopin. » Mitteilung Nr. 145 der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Herbsttagung, 8. November 2002, Olten

Puzrin M. Schmid A. (2007). « Trivec Measurement in the Inverse Analysis of the long term Stability of a Constrained Landslide» FMGM 2007: Seventh International Symposium on Field Measurement in Geomechanics.

Solexperts (2009) Datenblatt «Trivec, Gleitmikrometer, Gleitdeformeter.»

http://www.solexperts.com/pdfs/de/geo_linienw_mess_de.pdf