

Überwachung verankerter Stützbauten: Vorgehen, Interpretation, Massnahmen

Daniel Naterop, Dipl. Bauing., Solexperts AG, Mönchaltorf, Schweiz



Zusammenfassung

Die Überwachung verankerter Stützbauten dient in erster Linie der Beherrschung geotechnischer Risiken. Die möglicherweise auftretenden Schäden können das Stützbauwerk selber, aber auch angrenzende Bauwerke, wie Gebäude, Strassen oder Bahnlinien beeinträchtigen. Es gilt, das Stützbauwerk sicher, in kurzer Bauzeit und kostengünstig zu erstellen und über die Nutzungsdauer zu betreiben. Dazu leistet die Überwachung von Stützbauwerken einen wesentlichen Beitrag.

Die Erarbeitung des Konzeptes und die Durchführung der Überwachung erfordert ein systematisches Vorgehen, bei dem die zu lösenden Probleme resp. die zu beantwortenden Fragestellungen und die Planung der messtechnischen Massnahmen eine zentrale Rolle spielen. Eine Übersicht der meist eingesetzten Messsysteme sowie des Datamanagements auf dem Internet und die Darstellung von Beispielen dokumentieren den Nutzen der Überwachung verankerter Stützbauwerke.

7.1 Risikobeherrschung und systematisches Vorgehen bei der geotechnischen Überwachung

Zur Beherrschung der Risiken während des Bau und des meist langjährigen Einsatzes permanenter Stützbauwerke leisten systematisch geplante messtechnische Überwachungen einen wesentlichen Beitrag. In der Geotechniknorm ist der Umgang mit geotechnischen Risiken und die Beobachtungsmethode beschrieben. In den zur Geotechniknorm gehörenden ergänzenden Festlegungen sind für verschiedene Bauwerksteile, wie vorgespannte Anker, ungespannte Boden- und Felsanker die wichtigsten Prüfungen und Kontrollen während des Baus und deren Nutzungsdauer beschrieben und festgelegt. Die Richtlinie vom ASTRA zu Boden und Felsankern beschreibt die auszuführenden Kontrollen, Messungen und Überwachungen verankerter Stützbauwerke. Folgende Auszüge (nicht vollständig) aus dieser Richtlinie weisen auf Überwachungen und Messungen hin:

- Anker in Rutschgebieten oder im quellenden Fels müssen mindestens 100 mm entspannbar sein.
- Bei allen umfassend korrosionsgeschützten Ankern ist die elektrische Widerstandsmessung in verschiedenen Bauphasen durchzuführen und zu protokollieren.
- Alle verankerten Bauwerke sind mit Messankern auszurüsten. Die minimale Anzahl Messanker beträgt 5 % aller Anker.
- Bei jedem verankerten Bauwerk sind Einrichtungen zur Überwachung der Bauwerksdeformationen anzuordnen, die aussagekräftige Informationen über das Bauwerksverhalten liefern.
- Um Veränderungen über die Zeit zu erkennen, sind die Ankerkräfte und die Messanker mindestens jährlich zu messen.
- Bei Hauptinspektionen ist bei allen Ankerköpfen mit umfassendem Korrosionsschutz auch der elektrische Widerstand zu messen und die Witterungsverhältnisse mit der Temperatur zu protokollieren.
- Mit ungespannten Ankern gesicherte Bauwerke sind bei jeder Inspektion auf Zustandsveränderungen wie Rissbildung, Wasseraustritte, Versinterungen von Entwässerungen, örtliche Verformungen usw. zu untersuchen.
- Für jedes verankerte Bauwerk muss ein Überwachungs- und Unterhaltsplan bestehen, der ausreichend Informationen über den Zustand und die Funktionstüchtigkeit der Verankerung liefert.

Generell kann die Risikobeherrschung in 3 Schritte unterteilt werden:

A. Risikoermittlung: Dabei werden die wesentlichen Risiken und die möglichen Auswirkungen beschrieben. Nur erkannte Risiken können beherrscht und beeinflusst werden.

B. Risikobewertung: Sie beinhaltet eine Vorhersage und Abschätzung des möglichen Schadenausmasses und der Eintretenswahrscheinlichkeit der einzelnen Risiken.

C. Risikobeeinflussung: Hier werden die bewerteten Risiken in akzeptable, zu verändernde und nicht akzeptable Risiken eingeteilt, um anschliessend Massnahmen zur Beeinflussung der Risiken zu planen und einzuleiten. Die Beeinflussung kann auf die Eintretenswahrscheinlichkeit und auf das zu erwartende Schadensausmass eines Schadenereignisses einwirken. Die Massnahmen können eine Erhöhung, meist jedoch eine Reduktion oder eine Verhinderung des Risikos zum Ziel haben. Eine Erhöhung akzeptierbarer Risiken kann wesentliche Vorteile betreffend Baukosten und Ausführungstermine ergeben. Die messtechnische Überwachung der Stützbauwerke, angrenzender Bauwerke, wie Häuser, Werkleitungen, Brücken, Strassen, Bahntrassen aber auch potentiell instabiler Hänge und Felsböschungen ist ein wesentlicher Teil der Risikobeherrschung, um die Sicherheit, die Bauzeit und die Baukosten zu optimieren.



Abb. 7.1: Staumauer Pfaffensprung, Sicherung mittels verankerten Betonrippen

Ein systematisches Vorgehen bei der Planung und Durchführung geotechnischer Überwachungen ist nachfolgend aufgeführt:

Schritt 1: Welche Fragen sind zu beantworten, welche Probleme sollen gelöst werden? Im Vordergrund steht die Sicherheit des Stützbauwerkes in ihrer Integrität und Funktion. Zusätzlich sind oft angrenzende Bauwerke wie Gebäude, Strassen, Bahntrassen aber auch Hänge, Böschungen miteinzubeziehen. Andere Ziele geotechnischer Überwachung sind die Ermittlung des Strukturverhaltens Bauwerk-Baugrund im Hinblick auf die Erstellung zukünftiger ähnlicher Stützbauten (z.B. Probebaugrube) oder die in-Situ-Überprüfung neuer Baumethoden und Bauverfahren. Oftmals können verschiedene Fragestellungen in einem Überwachungsprogramm kombiniert beantwortet werden.



Abb. 7.2: Tagbautunnel Frutigen



Abb. 7.3 Zürich Dolder

Schritt 2: Welche physikalischen Parameter sollen gemessen werden? Im Vordergrund stehen Verschiebungen, und Deformationen. Weitere wichtige Parameter sind Kräfte und Spannungen, Porenwasserdrücke und piezometrische Druckhöhen, elektrische Messgrößen wie Widerstände in Ankern, Wassermengen von z.B. Drainagebohrungen und Entwässerungsleitungen.

Schritt 3: Welches Messsystem wird eingesetzt? Dazu mitentscheidende Kriterien sind die erforderliche Messgenauigkeit und Messbereich, die Zuverlässigkeit des Messsystems, deren Kosten und Verfügbarkeit (Kauf, Miete oder Messung durch Dienstleister), die aufzubringenden Kosten für Kauf, Instruktion mit Inbetriebnahme, Installation, Wartung und Betrieb. Auch das geplante Einsatzgebiet ist ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl und Evaluation des Messsystems.

Schritt 4: Was für ein Messprogramm wird angewandt? Das Messprogramm umfasst Angaben zum Montageort oder Standort der einzelnen Messstelle, die Häufigkeit der Messung (Messung alle 2 Monate bis zu praktisch kontinuierlicher Messung), die Methode der Datenübermittlung, Redundanz und legt die Verantwortlichkeit für einzelne Leistungen der Überwachung fest. Gemäss Wikipedia bezeichnet Redundanz allgemein in der Technik das zusätzliche Vorhandensein funktional gleicher oder vergleichbarer Ressourcen eines technischen Systems.

Schritt 5: Wie werden die Informationen verarbeitet? In diesem Teil wird beschrieben, wie die Messungen und deren Überprüfung (Konsistenz) erfolgen, wie die Überprüfung der Messsysteme ausgeführt und deren einwandfreie Funktion sichergestellt wird. Zudem, wie die Messwerte in Messresultate umgewandelt werden und in welcher Weise die gewonnenen Informationen mit weiteren wichtigen Daten, wie Bauzustand, Kombination von verschiedenen Messresultaten, dargestellt und verarbeitet (Grenzwertüberprüfung, Alarmierung, Datamanagement) werden.

Schritt 6: Wie ist die vertragliche Form und administrative Organisation der geotechnischen Überwachung? Wer ist Auftraggeber, wer nimmt die fachliche Bauleitung wahr? Wer ist für die Messungen beauftragt und welche Nebenunternehmer (z.B. Bohrfirmen) sind involviert? Wer beurteilt die Messresultate und wer definiert die risikobeeinflussenden Massnahmen und wer führt sie aus (Bohren zusätzlicher Anker, Gleisfahrbahnsperren, etc.)

Schritt 7: In diesem Schritt wird die Interpretation der Messresultate festgelegt und geregelt, um die eingangs gestellten Probleme zu lösen und die Fragen zu beantworten.

7.2.1 Übersicht Messsysteme

Für die Überwachung verankerter Stützbauten werden üblicherweise nachfolgend aufgeführte Messsysteme, eingesetzt:

7.2.2 Kraftmessdosen für die Ermittlung von Ankerkräften

Die Auswahl der Kraftmessdose richtet sich unter anderem nach der zu messenden Kraft und dem erforderlichen Innendurchmesser für die Aufnahme des Ankerstabes oder der Ankerlitzen. Die Installation der Ankerkraftmessgeber erfolgt meist durch die mit den Ankerarbeiten betrauten Firma im Zuge der Ankervorspannung. Insbesondere ist darauf zu achten, dass das Auflager und die Ankerplatte der Kraftmessdose senkrecht zur Ankerlängsachse liegen und die Kraftmessdose und das Messkabel vor Beschädigungen wirksam geschützt sind. Allenfalls muss zusätzlich zur Kraftmessdose eine Druckeinleitplatte eventuell mit Kugelkalotte eingesetzt werden. Ein Auswechseln einer defekten Kraftmessdose ist meist nur unter hohem Aufwand möglich (Bereitstellung von Hebegerät, Arbeitsbühne, Spanpresse zur Entlastung und Wiederbelastung des Ankers) und sollte durch einen Spezialisten des Ankerlieferanten erfolgen.

Hydraulisch wirkende Kraftmessgeber (z.B. der Firma Glötzl) bestehen aus einem Kolbenkissen, welches aus zwei biegesteifen Ringscheiben gebildet ist. An den Rändern sind die Ringscheiben beweglich zusammengeschweisst und der Hohlraum zwischen den Ringscheiben mit einer Hydraulikflüssigkeit gefüllt. Da die Grundfläche der Ringscheibe genau definiert ist, kann aus dem hydraulischen Druck die wirkende Ankerkraft ermittelt werden. Zur Messung kann die Kraftmessdose mit einem Manometer, das direkt die Ankerkraft in kN anzeigt, oder mit einem Drucksensor ausgerüstet werden.



Abb. 7.4: Ankerkraftmessgeber (Firma Glötzl) mit Manometer und Druckausgleichsplatten.



Abb. 7.5: Ankerkraftmessdose Typ Huggenberger

Kraftmessdosen die auf Dehnungsmessung basieren, z.B. der Firma Huggenberger, bestehen im Wesentlichen aus einem Stahl-Hohlzylinder, der mit Dehnmessstreifen in Vollbrücke zur Kompensation von Temperatur- und Querdehnungen bestückt ist. Die zu erfassenden Kräfte werden durch die Deformation des Stahlzylinders in ein elektrisches Signal umgewandelt. Bei der automatischen Erfassung von Ankerkräften ist bei grossen Datenübertragungsdistanzen darauf zu achten, dass das Messsignal als Stromsignal (4-20mA) oder digital z.B. als RS485-Signal übertragen wird. Wichtig ist zudem, die Kraftmessdose wirksam gegen Überspannung oder weitere elektrische Störeinflüsse zu schützen.

Es empfiehlt sich, der Firma, welche die Ankervorspannung ausführt, ein Ablesegerät für die Kraftmessdosen zur Verfügung zu stellen. Die aufgebrachte Vorspannung sollte mit der Messung der Kraftmessdose verglichen und diese Messungen protokolliert werden. Dazu müssen Kalibrierprotokolle der Kraftmessdosen bereitgestellt werden.

Die korrekte konstruktive Ausführung des Ankerkopfes mit Ankerkraftmessdose sollte durch den Ankerlieferanten ausgeführt oder in enger Zusammenarbeit mit ihm geplant werden.



Abb. 7.6: Frutigen Ankerkraftmessung

7.2.3 Messsysteme zur Belastungsmessung in Ankern, Nägeln

Die Dehnungsmessung in Ankern und Nägeln kann mittels Messankern erfolgen. Ein Messanker entspricht einem normalen Anker der mit einer Messeinrichtung zur tiefenabhängigen Messung der Ankerdehnungen ausgestattet ist. Dazu weist der Messanker innen 4 einzelne Messgestänge auf, die in den verschiedenen Tiefenstufen entlang dem Anker befestigt sind. Die Messgestänge gleiten innen unabhängig vom Anker und übertragen so die differentiellen Ankerdeformationen zum Ankerkopf und auf die Messeinrichtung. Meist werden Messanker in einem Stück, z.B. Messanker mit 8 m Länge und Messabschnitte bei 8 m, 6 m, 4 m und 2 m, einbaubereit hergestellt. Unter Umständen, z. B. bei einem Einsatz in kleinen Stollen mit z.B. 5 m Durchmesser, wird der Messanker in zwei Teilen angeliefert und vor Ort gekuppelt. Die Messung erfolgt manuell mittels einer Messuhr oder einem Messschieber. Sofern eine automatische Messung gefordert ist, kann der Messanker auch mit einem Wegaufnehmerkopf ausgerüstet werden.



Abb. 7.7: Messankerkopf (links) und Messung mit Schieblehre (rechts)

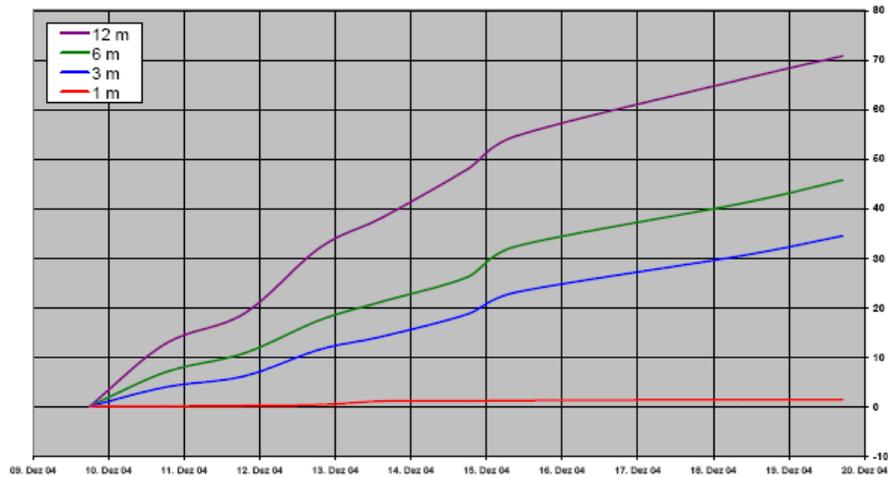


Abb. 7.8: Messankerverschiebungen bis 70 mm im Gotthart Basistunnel

Können keine Hohlanker als Messanker eingesetzt werden, so besteht die Möglichkeit den Ankerstab aussen mit Extensometern oder mit Dehnmesssensoren zu bestücken und aus den Messwerten die Ankerkräfte zu ermitteln. Bei der Berechnung der Kräfte muss neben der elastischen Verformung auch die plastische Verformung berücksichtigt werden.



Abb. 7.9: Messanker Önzbergtunnel

7.2.4 Widerstandsmessung zur Feststellung von Schäden am Korrosionsschutz

Zur Überprüfung des Korrosionsschutzes permanenter Anker können elektrische Widerstandsmessungen ausgeführt werden. Damit wird die Dichtigkeit der Kunststoffhülle um den Anker und Qualität des Korrosionsschutzes überprüft.

Diese Prüfung erfolgt im Ankerherstellwerk und danach bei verschiedenen Einbauphasen, z.B. bei Anlieferung auf die Baustelle, nach der Primärinjektion, vor/nach der Spannprobe, am gespannten Anker und während der Nutzungsdauer des Ankers. Dazu wird mit einem Spezialgerät der Widerstand zwischen dem Ankerkopf und dem Erdreich oder Fels gemessen und protokolliert.



Abb. 7.10: Messgerät zu Korrosionsschutzmessung an Ankern

Bei der Instrumentierung und Messung dieses Systems sind unter anderem folgende Punkte zu beachten:

- Als Kontaktpunkt im Fels oder Boden wird empfohlen, einen Stahlbolzen neben dem Ankerkopf anzuordnen. Die Messung auf einem Betonbauteil gibt meist nicht repräsentative Resultate.
- Als Messpunkt auf dem Anker wird meist eine Litze oder der Ankerstab verwendet. Der Ankerkopf ist gegenüber dem Anker elektrisch isoliert.
- Für Langzeitmessungen ist eine feste Messinstallation mit Verkabelung und einem Messkasten zu empfehlen. Beachten Sie dabei, dass der Messkasten und die Anschlüsse trocken sind.
- Ist das Messkabel vom Messkasten zum Anker unterbrochen, z. B. durch Beschädigung, wird der Messwert falsch sein und einen vermutlich sehr hohen Messwert (entspreche einem intakten Korrosionsschutz) anzeigen. Um dies auszuschliessen, kann ein 2-adriges Kabel eingesetzt und der Widerstand von einer Ader zur anderen Ader ermittelt werden. Wenn das Kabel intakt ist, wird ein Kurzschluss gemessen.
- Witterungseinflüsse wie Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit beeinflussen die Messresultate. Diese Beobachtungen sind, zusammen mit den Widerstandsmesswerten, zu protokollieren.
- Die Installation und Messanordnung ist soweit wie möglich, mit dem Ankerlieferanten abzustimmen und zu definieren.

7.2.5 Bohrloch-Extensometer zur Messung der Verschiebungen im Boden und der Stützwand

Extensometermessungen eignen sich sehr gut zur messtechnischen Überwachung verankerter Stützbauten. Damit werden Verschiebungen in Bohrungen in Längsrichtung zur Bohrung in einem Abschnitt (1-fach-Extensometer) resp. in mehreren Abschnitten (mit Mehrfachextensometern) ermittelt. Extensometer bestehen aus Extensometerverankerungen, dem in einem Hüllrohr geführten Messgestänge aus GFK oder Stahl und dem Messkopf. Die Verschiebungen der einzelnen Extensometerverankerungen, relativ zum Messkopf, werden über das Messgestänge zum Extensometermesskopf übertragen. Dort wird die Relativverschiebung mit einer Messuhr, einem Messschieber oder mittels Wegaufnehmern ermittelt. Wegaufnehmer werden dann eingesetzt, wenn eine Fernmessung der Extensometer und/oder eine kontinuierliche Messung erforderlich ist. Diese Messungen lassen sich dann einfach automatisch registrieren (z. B. mit Solo-Datalogger) und fernübertragen (z.B. mit Solexperts GeoMonitor).



Abb. 7.11: Extensometermessung mit Messschieber resp. mit Interface zur Datenfernübertragung

Bei Stützbauten wird meist der unterste Extensometer-Ankerpunkt unter der potentiellen Verschiebungszone resp. tiefer als die Verankerung angeordnet. Bei Verankerungen werden zudem ein bis 2 Messpunkte im Bereich der Verankerungslänge und nochmals 2 Messpunkte im Bereich der freien Ankerlänge angeordnet. Der Messbereich der Extensometer, meist 100 bis 250 mm, soll auf die erwarteten Wandverschiebungen ausgelegt werden. Die Messgenauigkeit liegt bei diesen Systemen innerhalb von $\pm 0.05\text{mm}$. Mit Extensometern können also auch sehr kleine Verschiebungen präzise ermittelt werden.

Zum Schutz des Extensometermesskopfes sollte, wenn möglich, der Messkopf vollständig im Bohrloch versenkt angeordnet sein. Die Modular-Extensometer und Solextensometer von Solexperts sind mit einem im Bohrloch versenkbaaren Messkopf, der auch die Wegaufnehmer und beim Solextensometer auch den Datalogger beinhaltet, ausgerüstet.

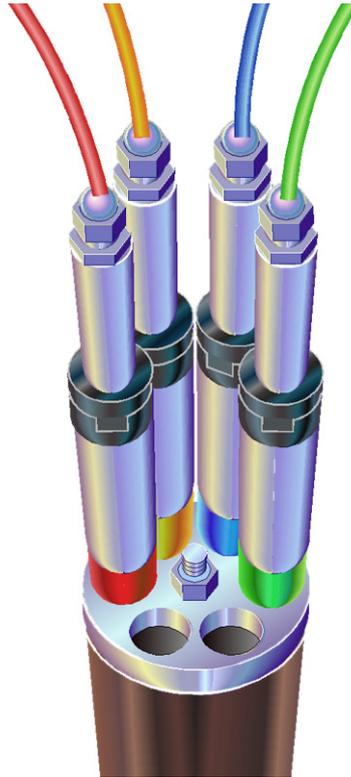
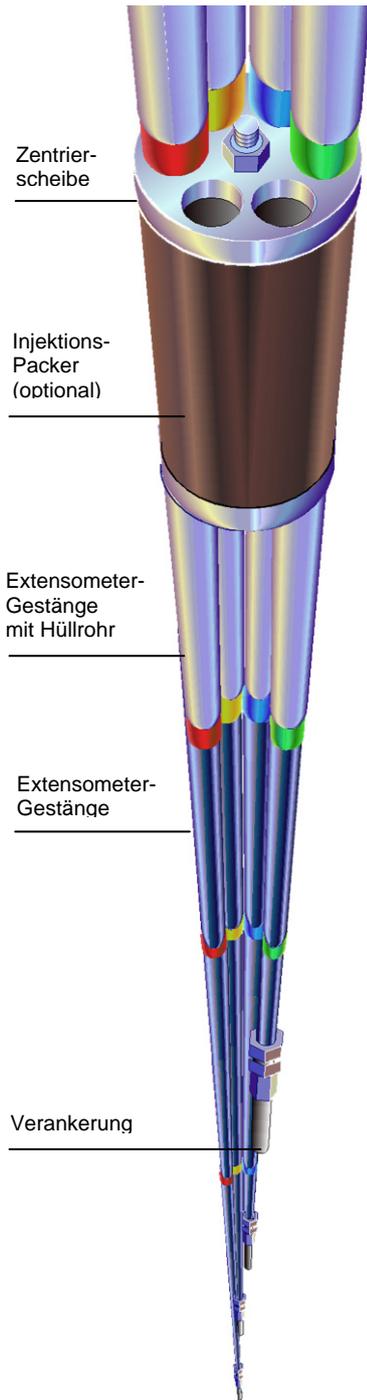


Abb. 7.12: Modular-Extensometer mit Wegaufnehmern (von Solexperts)

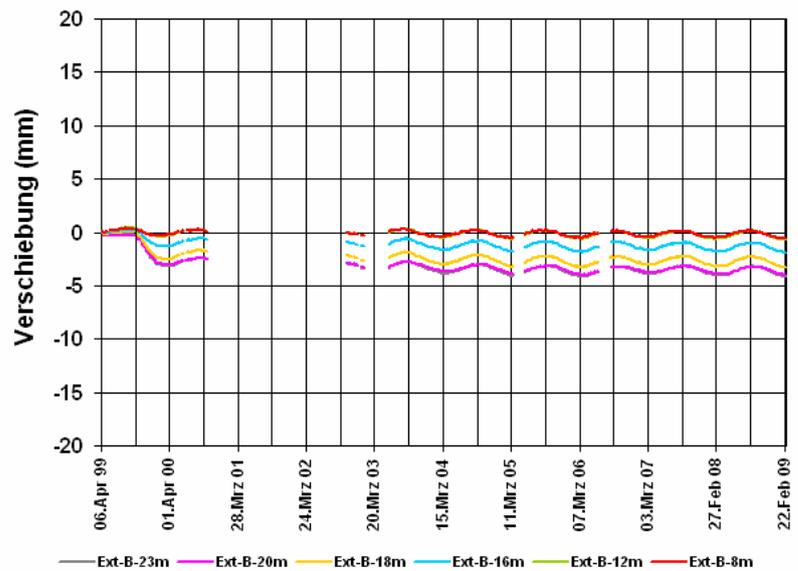


Abb. 7.13: Extensometer (6-fach) an verankerter Felswand
Messresultate von 1999 bis 2009



Abb. 7.14: verankerte Felswand Kirchenwaldtunnel

7.2.5 Bohrloch-Inklinometer und Extensometer-Messsonden (Gleitmikrometer, Gleitdeformeter und Trivec) zur Messung von axialen und radialen Verschiebungsprofilen entlang vertikaler und horizontaler Messlinien

Mit diesen Messsystemen werden entlang von Messlinien Verschiebungsprofile gemessen. Es handelt sich um portable Systeme die jederzeit überprüft und kalibriert und für mehrere Projekte eingesetzt werden können. Die Messung erfolgt in Messrohren, welche im Boden, Fels in Bohrlochern versetzt oder im zu überwachenden Bauteil (z.B. Schlitzwand, Pfahlwand, Stützmauer) vor dem Betonieren eingebaut werden. Folgende Systeme stehen zur Verfügung:

Vertikalinklinometer misst in vertikalen Messlinien Verschiebungen in zwei horizontalen Richtung (Genauigkeit ca. +/-1 bis 2mm/10m Messlinie)

Horizontalinklinometer misst in horizontalen Messlinien Verschiebungen in vertikaler Richtung (Genauigkeit ca. +/-1 bis 2mm/10m Messlinie)

Gleitmikrometer und Gleitdeformeter misst in beliebig gerichteten Messlinien Verschiebungen in axialer Richtung (Genauigkeit Gleitmikrometer +/-0.002mm/m resp. Gleitdeformeter +/-0.003mm/m)

Trivec misst in vertikalen Messlinien die Verschiebungen in vertikaler und den beiden horizontalen Richtungen X, Y und Z (Genauigkeit vertikal +/-0.002mm/m horizontal +/-0.04mm/m)

Die Messrohre für Inklinometermessungen sind meist aus Kunststoff (ABS oder HPVC) und weisen zur Führung der Inklinometersonde im Innenmantel Nuten auf. Die Messrohre für Gleitmikrometer und Gleitdeformeter weisen jeden Meter Teleskop-Messkupplungen auf, in denen die Sonde zur Messung verspannt wird. Weitergehende Informationen zu den Messsystemen und zu deren Anwendung sind in folgender Publikation enthalten

www.solexperts.com/pdfs/de/pub_P67



Abb. 7.15: Inclinometermessungen Aarburg



Abb. 7.16: Trivecmessung an verankerter Baugrube

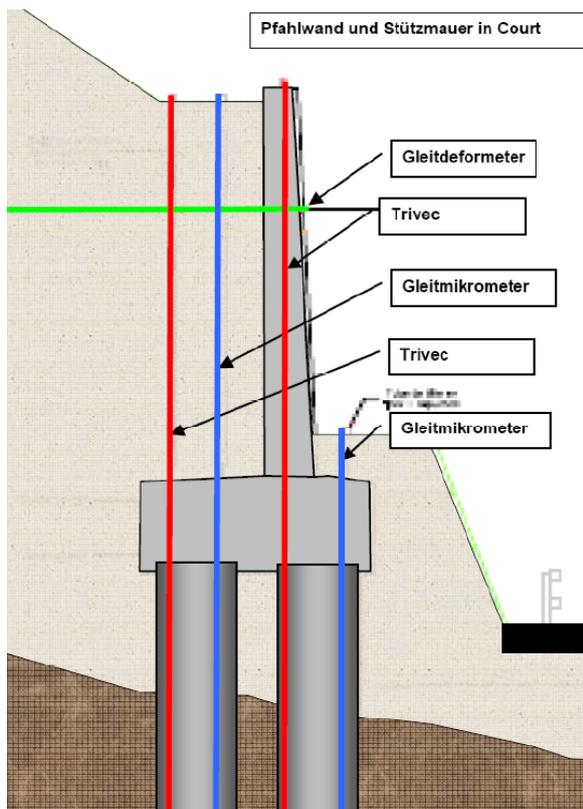


Abb. 7.17: Stützwand Court, schematischer Querschnitt

In der in einem potentiellen Rutschhang, gebauten kombinierten Pfahlwand / Stützwand Court wurden zur Deformationsmessung und Ermittlung der Beanspruchung (Normal und Biegekräfte) Gleitmikrometer und Trivec-Messrohre eingebaut.

Zusätzlich sind horizontal Gleitdeformeter-Messrohre zur Ermittlung der Verschiebungen im Hang versetzt worden. (Siehe auch Projektbeschreibung der Messungen in der verankerten Pfahlwand im Kriechhang La Roche).

7.2.6 Klinometer zur punktuellen Erfassung von Neigungsänderungen

Hierzu werden oft manuelle Messungen mit portablen Messsystemen eingesetzt. Ein entsprechendes Gerät ist das Clinometer BL200, welches über eine Basislänge von 200mm Neigungsänderungen der Stützmauer, aber auch an anderen Bauwerken oder Felsoberflächen mit sehr hoher Genauigkeit innerhalb von $\pm 3 \mu\text{m}/\text{m}$ erfasst. Das System besteht aus Setzstellen, welche an das Bauwerk oder auf die Felsoberfläche montiert werden. Jede Setzstelle weist zwei Setzteller auf, auf denen das Messgerät absolut statisch bestimmt und auf Umschlag (Umschlagsmessung) aufgesetzt wird. Der Messwert wird direkt am Gerät in $\mu\text{m}/\text{m}$ angezeigt und danach ins Protokoll eingetragen. Durch Differenzbildung zwischen einer Nullmessung und den Folgemessungen wird die Neigungsänderung im betreffenden Punkt ermittelt.



Abb. 7.18: Clinometer im Seelisbergtunnel

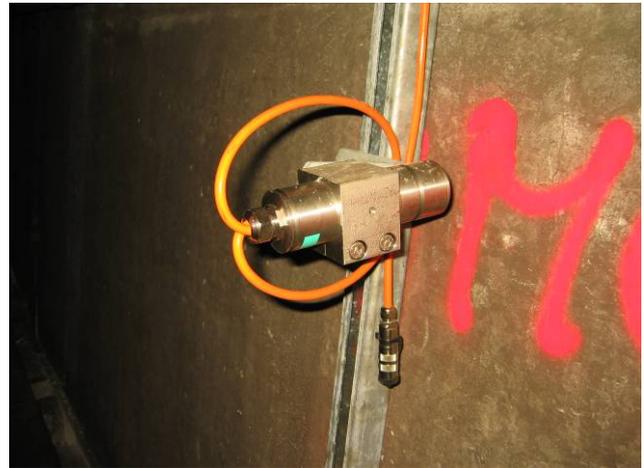


Abb. 7.19: Fest installierte automatisch erfasster Neigungssensor

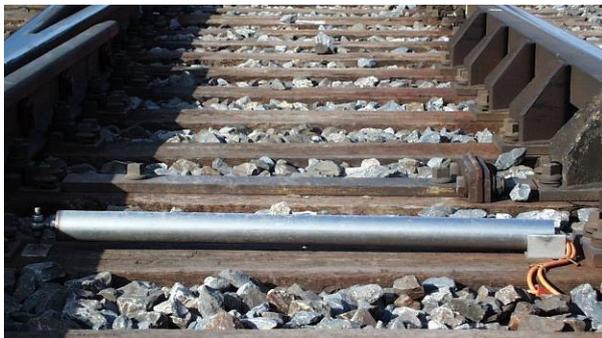


Abb. 7.20: Gleislageüberwachung Frutigen



Abb. 7.21: Klostermauer Marienberg (Südtirol) unter der eine verankerte Stützmauer erstellt wurde

Ist eine kontinuierliche Messung erforderlich oder sind die Messpunkte nur mit grossem Aufwand erreichbar (z. B. bei hohen Stützmauern), erfolgt diese Messung mit fest installierten Neigungsgebern.

Die nachfolgend beschriebenen Geräte weisen einen digitalen Datenausgang (RS485 adressierbar), einen Messbereich von typisch $\pm 10^\circ$ und eine Genauigkeit innerhalb von $\pm 0.02\text{mm/m}$ auf. Die Temperatureinflüsse auf diesen Sensor sind vergleichsweise klein. Um die Gräte auch auf Bauteilen zu montieren, die weder vertikal noch horizontal sind, z. B. Stützmauern, werden entsprechende Justier Vorrichtungen eingesetzt.

Piezometer zur Erfassung von Grundwasserständen und Porenwasserdruckgeber zur Erfassung von piezometrischen Druckhöhen

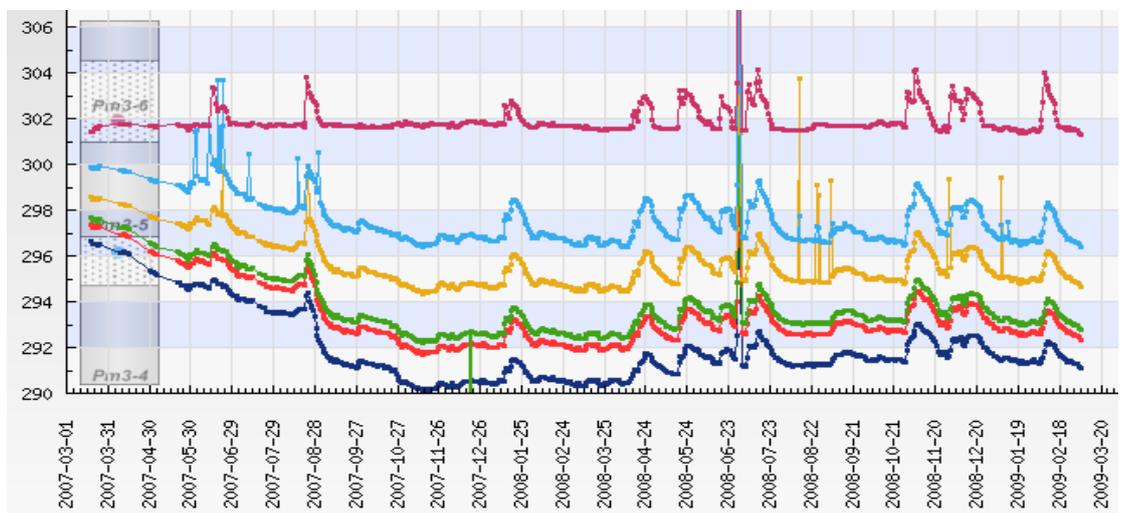
Um die, bei der Überwachung verankerter Stützbauten wichtigen Parameter zu erfassen, werden in durchlässigen Böden Piezometer und in undurchlässigen Formationen (Boden oder Fels) Porenwasserdruckgeber eingebaut.

In Piezometern wird der Grundwasserspiegel mit Kabellichtloten oder mit Drucksensoren, unter Umständen mit einem Datalogger ausgerüstet oder an eine automatische Datenerfassungsanlage angeschlossen, erfasst.

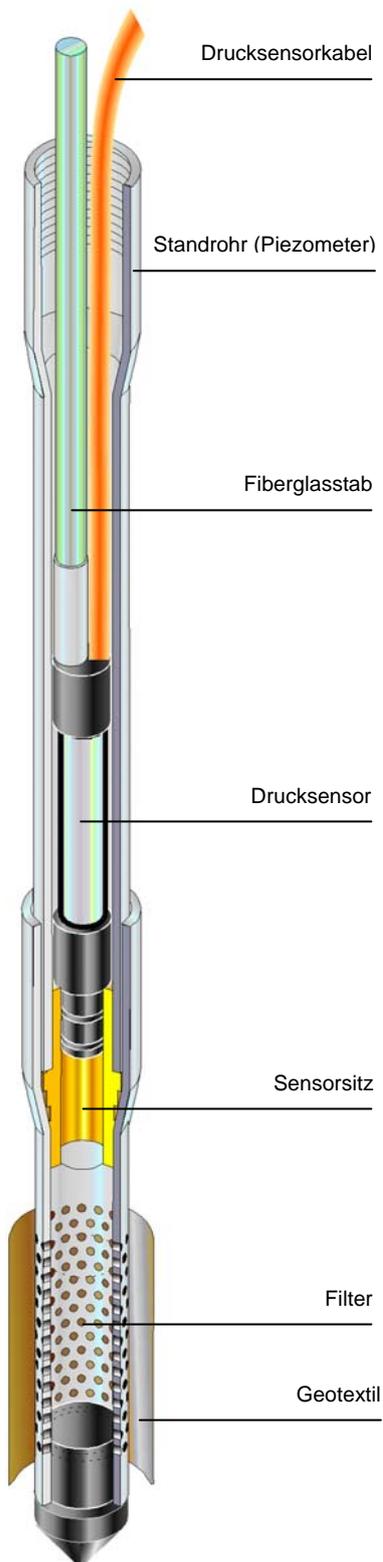
Um Porenwasserdrücke zu messen werden Drucksensoren in Bohrungen innerhalb einer Quarzsand-Filterstrecke ($L = \text{ca. } 1\text{m}$) eingebaut. Die Filterstrecke wird im Bohrloch durch Einbringen einer Dichtstrecke (Zementation oder Ton) hydraulisch vom restlichen Bohrlochabschnitt isoliert. In einer Bohrung können auch mehrere Drucksensoren stufenweise eingebaut und voneinander hydraulisch isoliert werden. Die Installation von Mehrfachsystemen sollte durch erfahrenes Personal ausgeführt werden.



Abb. 7.22 Porenwasserdrücke in einer Bohrung mit 6 Messstellen und entsprechende Messresultate



Piezopress-System



Bei dem Piezopress-System werden anstatt Drucksensoren, Pegelrohre mit einem kurzen gelochten Pegelrohr in die Filterstrecke eingebaut und wie oben beschrieben, mittels einer Zementation oder Tonabdichtung hydraulisch voneinander abgetrennt. Am unteren Ende, direkt über der Filterstrecke, befindet sich ein Sensorsitz, in dem ein Drucksensor temporär eingesetzt wird. Diese Art der Instrumentierung weist, verglichen mit dem fest einzementierten Drucksensor, wesentliche Vorteile auf:

- Jedes Messintervall ist über ein separates Standrohr zugänglich.
- Bei Überdruck aus der Formation ist eine einwandfreie Abdichtung gewährleistet (Druck wird während der Erhärtung der Abdichtung temporär entlastet).
- Zur Bestimmung der Durchlässigkeit können hydraulische Tests durchgeführt werden.
- Die Sensoren können ausgebaut, ersetzt, kontrolliert (wichtig bei Langzeitüberwachung) und wieder verwendet werden.

Bei Piezometern und Porenwasserdrücken, die mit Drucksensoren erfasst werden, sollten, um genaue Messresultate zu ermitteln, die Luftdruckveränderungen kompensiert werden. Dazu werden entweder luftdruckkompensierte Drucksensoren, die mit einer Luftkapillare ausgerüstet sind, eingebaut oder es wird ein Luftdrucksensor installiert. Bei Porenwasserdruckmessungen wird dann für jede Messstelle der barometrische Wirkungsgrad bestimmt und die Wasserdrücke mit den um den Wirkungsgrad abgeminderten Luftdrücken kompensiert.

7.2.7 Geodätische Messsysteme

Geodätische Überwachungen mit Totalstationen, manuell oder z.B. mit dem GeoMonitor automatisiert ausgeführt, erlauben absolute Verschiebungen an einzelnen Punkten des Stützbauwerkes und dem Gelände in X- Y- und Z-Richtung zu erfassen. Auf die Methode wird in dem Zusammenhang nicht eingegangen.

Automatisierte geodätische Überwachungen beinhalten eine sofortige Berechnung der Verschiebungsvektoren und eine Alarmierung bei Überschreitung vorher definierter Grenzwerte. Bei der Auswahl der Messsysteme sollte darauf geachtet werden, dass in die automatische Messanlage neben den geodätischen Sensoren auch geotechnische Sensoren, für Porenwasserdrücke, Ankerkräfte Verschiebungsmessungen mit Extensometern und Neigungsgebern integriert werden. Nur so kann ein Stützbauwerk umfassend überwacht werden.

Bei der Überwachung der mehr als 2 km langen Baugrube für den Tagbautunnelabschnitt des Lötschbergtunnels in Frutigen sind neben den bis zu 6 Totalstationen Extensometermessungen, Ankerkraftmessungen, Neigungsmessung auf den Gleisen der BLS-Bergstrecke und ausgeführt worden. Die Messsysteme wurden über Interface und dem RS485-Bus auf die Messzentrale übertragen und von dort automatisch gemessen. Die Messwerte der Totalstationen wurden sofort in Verschiebungsvektoren umgerechnet. Dazu wurden vor und nach jedem Messdurchgang 3 bis 5 Referenzpunkte angezielt und die Position der Totalstation mittels Helmertransformation bestimmt.



Abb. 7.23: Totalstation Frutigen zur automatischen optischen 3D Messung der Wandverschiebungen und von angrenzenden Gebäuden

7.3 Datamanagement

Bei der Überwachung grösserer Projekte mit vielen Messstellen, die über eine lange Zeit erfasst werden müssen, ermöglicht ein Datamanagement allen beteiligten Organisationen einen einfachen übersichtlichen Zugriff auf die relevanten Informationen. Der Zugriff auf die Messwerte, aber auch die Eingabe und Einarbeitung von Messresultaten und weiterer Informationen wie Bauzustand, Metadaten wie Fotos, Messstellen-Informationen werden auf einer Projekt-Webseite realisiert.

Datamanagement mit WebDavis enthält Karten- und Planausschnitte vom Projekt, auf denen die Sensoren entsprechend ihrer Lage dargestellt werden. Die aktuelle Version WebDavis2 ist durch das https Protokoll und entsprechende Passwörter vor ungewolltem Zugriff von aussen geschützt.

Durch Auswählen eines beliebigen Sensors kann der zugehörige Bericht, bzw. können die aktuellen Messwerte abgerufen werden. Berichte stehen in verschiedenen Formaten zur Verfügung und lassen sich lokal speichern. Über ein einfach zu handhabendes Grafiktool lassen sich direkt im Internet-Browser Verlaufsgrafiken mehrerer Sensoren individualisieren (Ausschnittsvergrößerungen und/oder Gegenüberstellung von unterschiedlichen Messgrössen, wie z.B. Temperatur und Verformung). Für den Fall, dass aufwendiger Grafiken erstellt werden sollen, steht ein Datenexport in einem Tabellenformat zur Verfügung, das sich in Excel oder andere Datenverarbeitungsprogramme einlesen lässt.

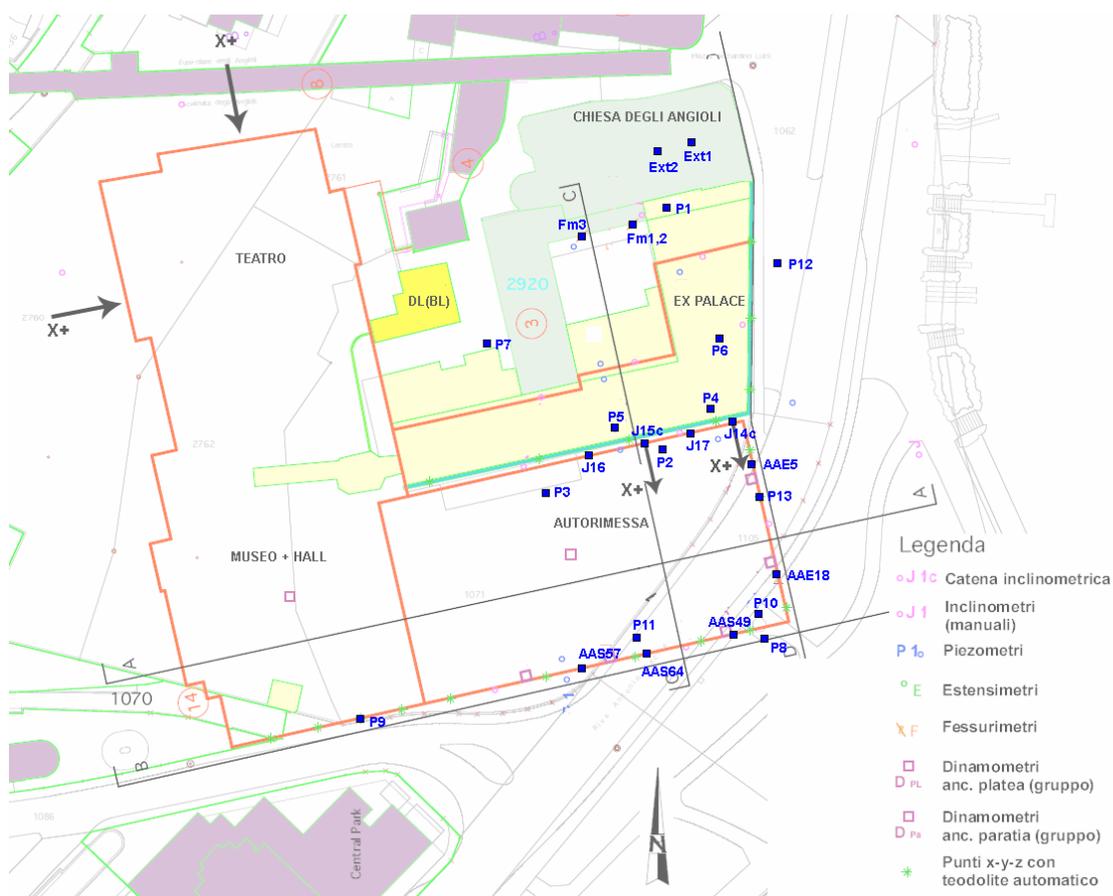


Abb. 7.24: WebDavis Fenster mit Übersicht der Messstellen

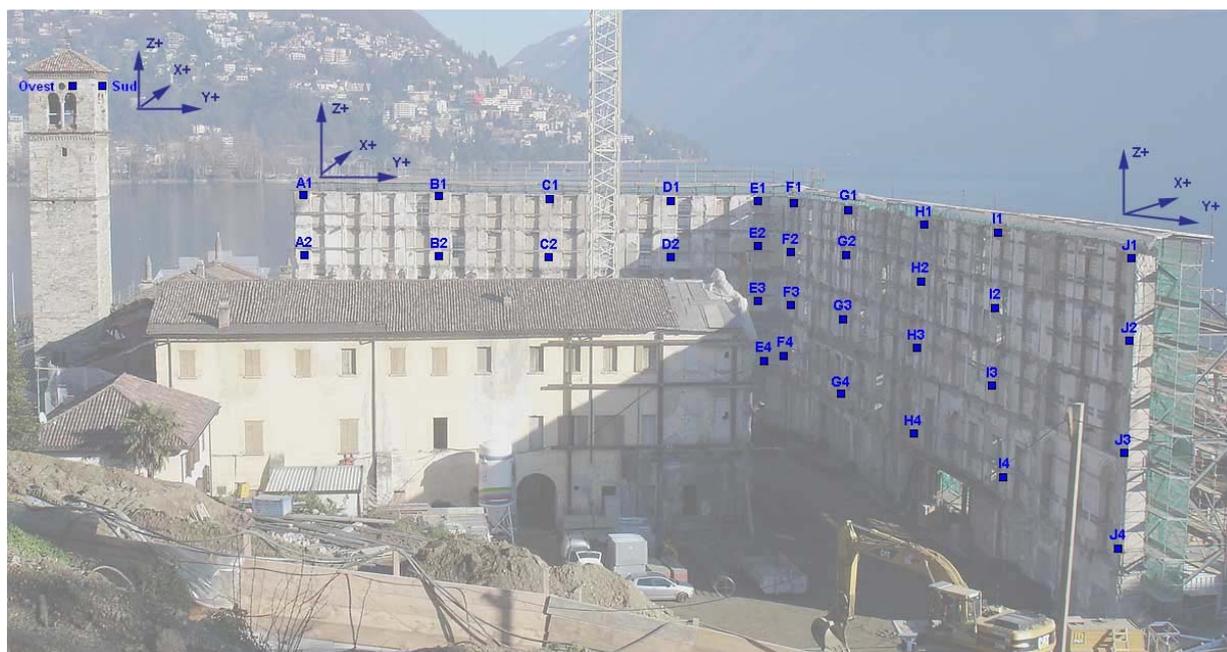
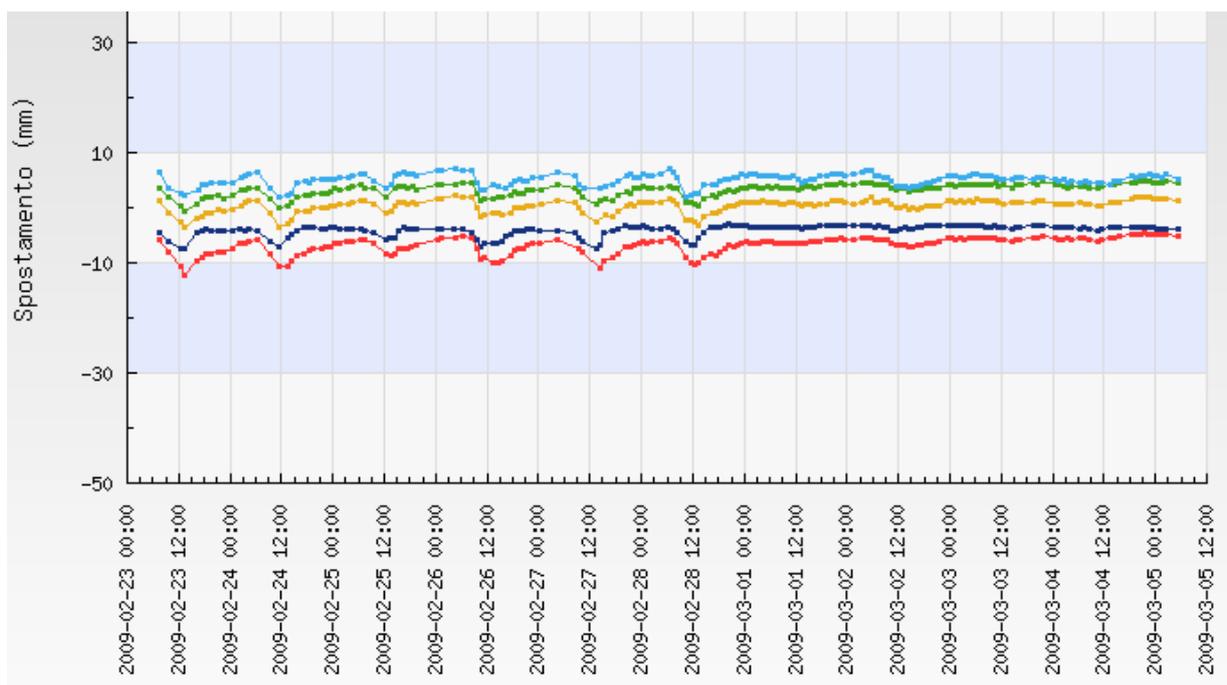


Abb. 7.25: Fassade über verankerter Baugrube und Messresultate der optischen 3D Überwachung



Weiter werden auch zusätzliche Information dargestellt, wie bspw. Installationen, Ablaufpläne oder Projektstrukturen und Verantwortliche. Auch lässt sich die Web-Seite auf Wunsch derart konfigurieren, dass projektrelevante Dateien darüber ausgetauscht werden können oder auch weitere Messresultate, welche von anderen Firmen ermittelt werden, darüber zugänglich gemacht werden. In vielen Anwendungen nützlich, ist auch die automatische Darstellung der Messwert-Veränderung innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls (z.B. 24h) oder seit der letzten Messung bzw. Auslesung.

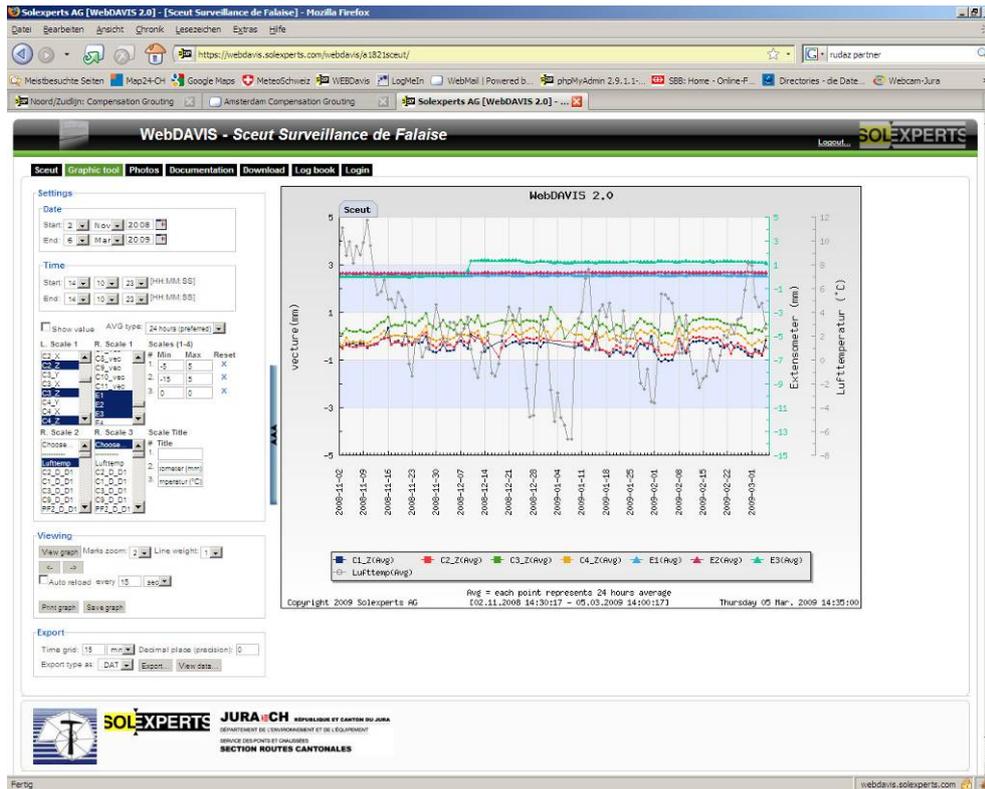


Abb. 7.26: WebDavis-Grafiktool

Separata:

- Projektbeschreibung Deformationsmessungen in der Pfahlwand Combe Chopin
- N4/N20 INFO Westumfahrung Zürich Nr. 6 Hangsicherung Egghau

