

3 Dichte Siedlungsräume und beweissichernder Einbezug der Nachbarliegenschaften in Projektierung und Bau: Massnahmen, Sinn und Zweck

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

Zusammenfassung

Bei allen drei beschriebenen Projekten, in Basel, Bern und Amsterdam, galt es, an die Bauwerke angrenzende Nachbarliegenschaften messtechnisch zu überwachen.

In Basel wurde der unterquerte Bahnhof St. Johann und eine angrenzende Häuserzeile während dem Bau des Tunnels Luzernerring messtechnisch überwacht. In Bern musste eine an die neu erstellte Parkhauserweiterung angrenzende historische Häuserzeile an der Postgassehalde und die Antonierkirche auf Verschiebungen und Setzungen kontrolliert werden. In Amsterdam werden momentan 6 grössere Gebäude und in den kommenden Monaten 3 Häuserzeilen, ein weiteres Gebäude und eine Brücke instrumentiert und überwacht.

Die für jedes Projekt unterschiedlichen geomechanischen Messsysteme, motorisierte Nivelliergeräte und Tachymeter, Bohrlochextensometer, Inklinometer, Gleitdeformeter und elektronische Schlauchwaagen bilden jeweils ein Messsystem, um einerseits die Auswirkungen der Bauarbeiten feststellen zu können (Beweissicherung) und andererseits um auftretende Risiken während der Bauarbeiten zu minimieren resp. Schäden zu verhindern. Die zum Teil manuellen, aber grösstenteils automatischen Messungen wurden jeweils zeitgerecht ausgewertet, auf Alarmgrenzwerte überwacht und im Internet in einer Projektwebseite dargestellt. Dies ermöglichte eine für die verantwortlichen Ingenieure effiziente Überwachung der gefährdeten Liegenschaften.

3.1 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 der einzelnen Risiken.

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 betreffend Baukosten und Ausführungstermine ergeben. Die messtechnische Überwachung an Bauprojekten angrenzender Bauwerke, wie Häuser, Werkleitungen, Brücken, Strassen, Bahntrassen aber auch potentiell instabiler Hänge und Felsböschungen kann, wenn richtig eingesetzt, ein wesentlicher Teil der Risikobeherrschung bilden, um die Sicherheit, Erstellungstermine und die Baukosten zu optimieren.

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.



Abb. 3.2.2 Tachymeter zur Überwachung der Häuser Hünigerstrasse,



Abb. 3.2.3 überfahrbarer Messpunkt auf der Strasse der Strassen- und Trottoiroberfläche.

Der Tachymeter, in diesem Projekt an einem Kandelaber auf der Brücke Luzernerring montiert, bestimmt vor und nach jedem Messdurchgang seine eigene Lage neu. Dazu sind 5 Referenzpunkte, die ausserhalb der durch die Bauarbeiten beeinflussten Zone liegen, eingerichtet worden. Wenn die Visur auf einen oder zwei Referenzpunkte unterbrochen ist, z. B. durch Baumaschinen, so kann die Tachymeterposition aufgrund der verbleibenden Referenzpunkte trotzdem bestimmt werden. Anschliessend erfolgt die Messung auf die Beobachtungspunkte. Die Messdaten werden auf die GeoMonitor-Messzentrale übertragen und die Setzungen der einzelnen Beobachtungspunkte in Echtzeit in mm berechnet, auf Alarmgrenzwerte überprüft und die Resultate auf der Internetseite aktualisiert. Punkte auf der Strasse wurden mittels überfahrbaren Kugelkalotten geschützt.

Um die Setzungen infolge Tunnelbau zu minimieren, wurden unter den Fundamenten dieser Häuser Manschettenrohrinjektionen ausgeführt. Nachfolgende Graphik zeigt die durch die Injektionen verursachten Hebungen von bis zu ca. 7mm und anschliessend geringe Setzungen. An der rückseitigen Fassade wurden Hebungen von bis zu ca. 2mm gemessen. Die ermittelten Setzungen während des später ausgeführten Tunnelvortriebs waren sehr gering und lagen weit unter den gesetzten Grenzwerten.



Abb. 3.2.4 Häuserzeile an der Hünigerstrasse

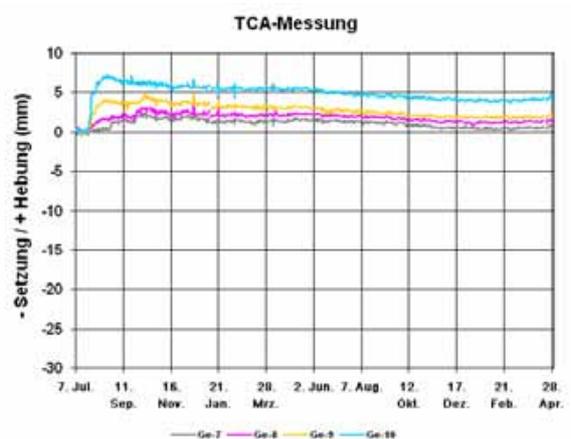


Abb. 3.2.5 graphische Darstellung von gemessenen Hebungen und Setzungen

Bahnhof St. Johann

Praktisch direkt angrenzend an das Bahnhofsgebäude wurde ein als Pfahlwand ausgebildeter Startschacht mit Durchmesser 20m und einer Tiefe von 15m abgeteuft. Von diesem Startschacht ist der grosskalibrige Pressrohrschirm auf einer Länge von 36m und unter das gesamte Bahnhofsgebäude reichend erstellt worden. Zur messtechnischen Überwachung des darüberliegenden Gebäudes wurde ein motorisiertes Präzisionsnivelliergerät eingesetzt. Die einzelnen Messlatten werden vom fest installierten Nivelliergerät motorgetrieben angesteuert, die Optik ebenfalls motorgetrieben fokussiert und die Messung mit dem im Nivelliergerät integrierten CCD-Sensor automatisch ausgeführt. Um die Messung auch bei Dunkelheit zu ermöglichen, weist das Nivelliergerät einen mitdrehenden Scheinwerfer, der die Messlatten bis ca. 35m Distanz ausleuchtet, auf.



Abb. 3.2.6 Anordnung des motorisierten Digitalnivelliergerätes im Bahnhof St. Johann



Abb. 3.2.7 Startschacht

Gegenüber Schlauchwaagen, die im nachfolgenden Projekt beschrieben sind, weist dieses System den Vorteil auf, dass keine Kabel und Hydraulikleitungen zwischen den Messpunkten verlegt werden müssen. Nachteilig bei diesem System ist, dass zwischen den Punkten Sichtverbindung herrschen muss. Im Bahnhof St. Johann, der einen durchgängigen Längskorridor aufweist, konnte das motorisierte Digitalnivelliergerät optimal eingesetzt werden. Ein ausserhalb des zu erwartenden Setzungsbereichs liegender Messpunkt diente als Referenzpunkt. Alle Messungen der einzelnen Messlatten, es wurde eine Genauigkeit innerhalb von 0.3mm erreicht, sind online sofort auf die Referenzmesslatte bezogen in absolute Setzungen und Hebungen umgerechnet und die Resultate auf der Projektwebseite zugänglich gemacht worden.

Während der Erstellung des Pressrohrschirmes zeigten sich, verursacht durch die Herstellung des Rohrschirmes, plötzlich markante Setzungen auf dem gleisfeldseitigen Vorplatz. Deutlich und frühzeitig konnten auch im Gebäude Setzungen von bis zu 43mm mit dem motorisierten Digitalnivelliergerät festgestellt werden. Die Messpunkte an der Fassade des Bahnhofsgebäudes, mit einem automatischen Tachymeter gemessen, zeigten ebenfalls deutlich die aufgetretenen Setzungen von bis zu 24mm.

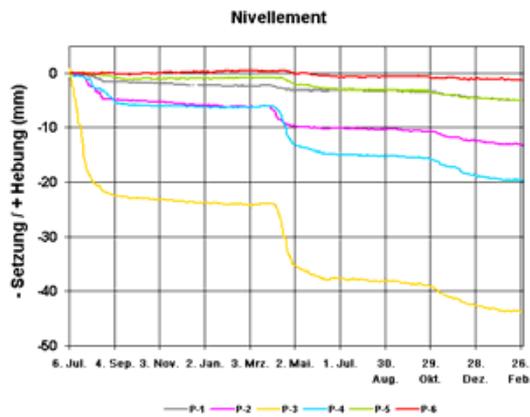


Abb. 3.2.6 Setzungen der Messpunkte im Gebäudeinnern

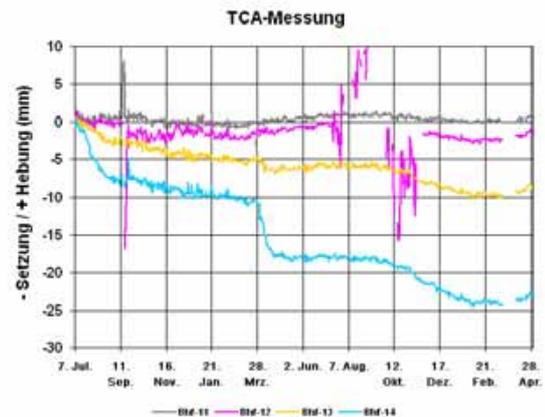


Abb. 3.2.7 Setzungen der Fassadenmesspunkte

3.3 Bern, Rathausparking

Die Erweiterung des bereits bestehenden unterirdischen Rathausparkings an der Postgassehalde in Bern wurde, direkt an eine alte Häuserzeile angrenzend, in Deckelbauweise mit einer Pfahlwand erstellt. Es umfasst 5 Untergeschosse die in die Aufschüttung, zum Teil aus Brandschutt bestehend, und die darunter liegenden glazialen Schmelzwassersedimente reichen. Zur Beweissicherung und Überwachung der angrenzenden Gebäude und zur Optimierung der Bauarbeiten wurde ein Messkonzept bestehend aus manuellen und automatischen Messungen geplant und umgesetzt. Das Gefährdungsbild erforderte eine permanente messtechnische Überwachung mit geotechnischen Messungen im Untergrund (Gleitdeformeter, Inklinometer und Extensometer), kombiniert mit einer geodätischen Überwachung, die mit einem motorisierten Tachymeter realisiert wurde. Insbesondere war wichtig, die möglicherweise auftretenden Verschiebungen und die daraus resultierenden Schäden an den alten Liegenschaften den einzelnen Bauphasen zuzuordnen.

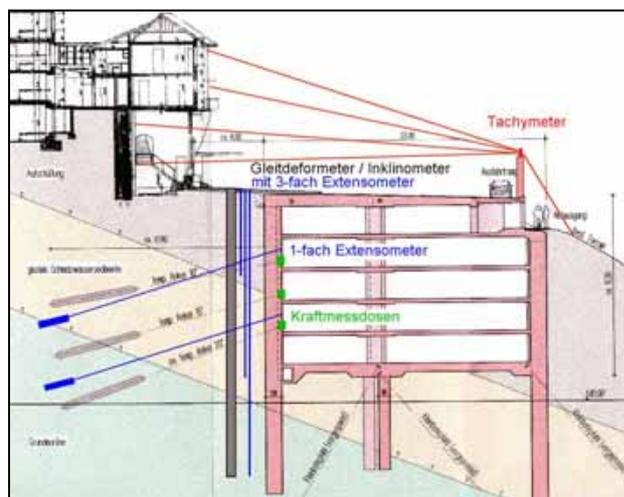


Abb. 3.3.1 Querschnitt der Parkingerweiterung mit Instrumentierung



Abb. 3.3.2 Pfahlbohrungen direkt unter der Fassade der historischen Gebäude und Lage der angrenzenden historischen Häuserzeile

Folgende Messsysteme kamen zum Einsatz:

- Mit Gleitdeformeter/Inklinometer-Messungen, in vertikalen Bohrungen zwischen der Pfahlwand und den Gebäudefundamenten ausgeführt, wurden 3D-Verschiebungsprofile im Untergrund gemessen. Zusätzlich waren diese Bohrungen mit Extensometern instrumentiert, um automatisch die Bodenbewegungen ermitteln zu können. Total waren 5 Bohrungen, eine davon nur mit Inklinometer-Messrohren, instrumentiert.
- Mit dem automatisch betriebenen Tachymeter wurden Messpunkte an den Gebäuden (Häuser und Antonierkirche) bezüglich Setzungen und Horizontalverschiebungen gemessen und überwacht. Die Messmethodik entspricht der Methode, welche beim Projekt Basel Luzernerring beschrieben wurde. Gesamthaft waren 4 Messpunkte an der Kirche und 36 Messpunkte an den anschliessenden 8 Häusern montiert und wurden über einen Zeitraum von 19 Monaten gemessen. Einzelne Messpunkte wurden auch am bestehenden Parkhaus und auf kurzen Messfeilern im Hang zur Aare montiert.
- Drei Pfähle der Pfahlwand wurden mit Inklinometermessrohren zur Messung der Pfahlwanddeformationen bestückt.
- Im Zuge der Aushubarbeiten in Deckelbauweise sind 4 Extensometer, die parallel zu den Ankern angeordnet wurden und 4 Ankerkraftmessdosen installiert und anschliessend kontinuierlich gemessen worden.

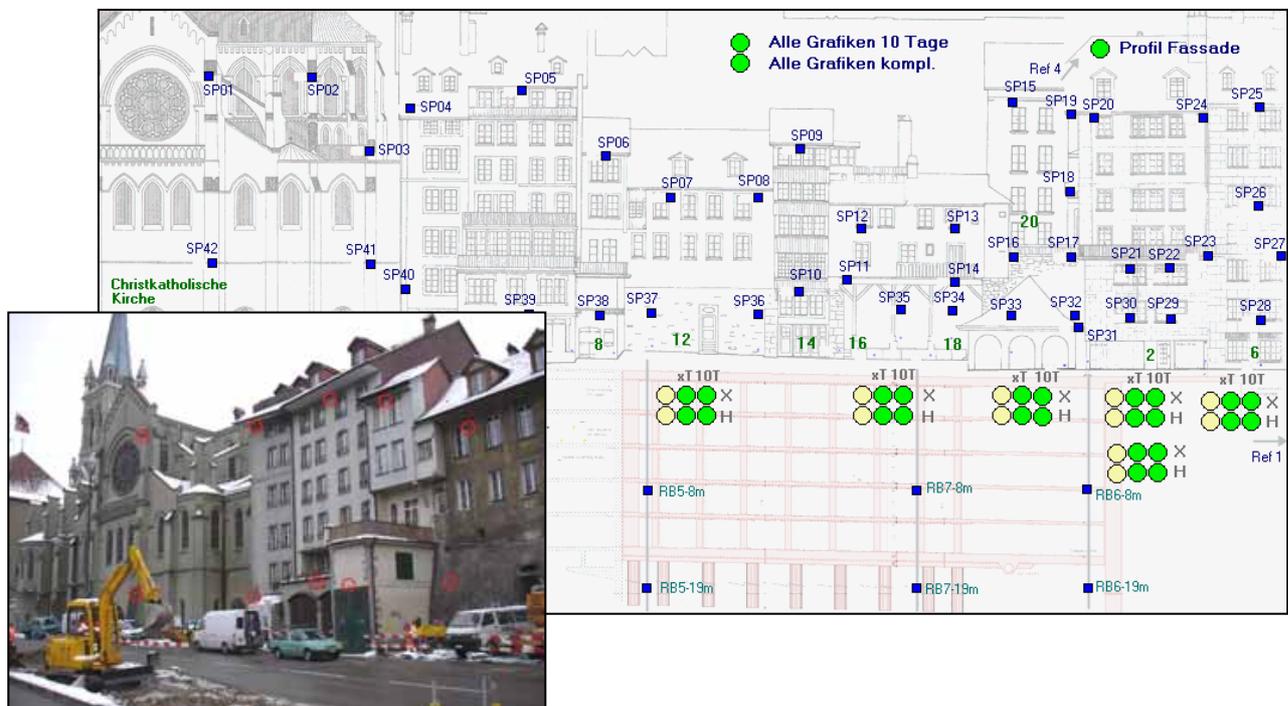


Abb. 3.3.3 Überwachte Fassaden mit Tachymetermesspunkten und WebDavis-Fenster der Projektwebseite

Die Messresultate der fast 2-jährigen Beobachtungsperiode zeigten Bewegungen im Untergrund, vor allem während der Pfahlherstellung, und nur minimale Verschiebungen an den Gebäuden. Aufgrund der kontinuierlichen Messungen konnten diese Bewegungen im Untergrund sehr präzise den Baumassnahmen zugeordnet werden. Die Messresultate der Deformationsmessung in der Pfahlwand und die geringen Verschiebungen die an den Häusern und im Untergrund während dem Aushub ermittelt wurden, erlaubten gegenüber der ursprünglich geplanten Verankerung, auf eine Ankerlage zu verzichten. Die Möglichkeit der unmittelbaren Alarmierung bei überschrittenen Grenzwerten ermöglichte im kritischen Fall eine sofortige Reaktion. An den Häusern und an der Antonierkirche wurden, obwohl direkt angrenzend in schwierigem Baugrund an einer bezüglich Stabilität kritischen Hanglage eine tiefe Baugrube erstellt wurde, keine nennenswerten Schäden geotechnischer Ursachen festgestellt.

3.4 Amsterdam Noord-Zuidlijn Messsystem für die Kompensationsinjektionen

Beim Bau der Amsterdamer Noord-Zuidlijn werden im Streckenbereich zwischen dem Kaufhaus Bijenkorf und dem Amstelkanal zahlreiche Gebäude unterfahren. Für die Überwachung der Baumassnahmen, der Kompensationsinjektionen zur Verringerung der Setzungen und dem nachfolgenden Tunnelvortrieb sind bisher in 5 Gebäuden Messsysteme installiert und betrieben worden. In den kommenden Monaten werden zusätzlich weitere Gebäude instrumentiert. Die Messanlagen bestehen aus Schlauchwaagen, die in den Häusern, im Erdgeschoss und in den Kellern montiert werden. Die gemessenen Daten werden einerseits auf einer Projektwebseite (Solexperts WebDavis) und andererseits in die Injektions-Steuerungssoftware eingebunden.

Der Zweck dieser Instrumentierung und Messungen sind:

- die Sicherheit der Gebäude während den kritischen Bauphasen zu gewährleisten
- die Beweissicherung für allfällig auftretende Schäden und Beeinträchtigungen zu unterstützen
- die Optimierung und Steuerung der Injektionsarbeiten zu gewährleisten
- frühzeitig möglicherweise auftretende Deformationen an Gebäuden bzw. bestehender Infrastruktur zu erkennen damit gezielt und rechtzeitig Gegenmassnahmen eingeleitet werden können.



Abb. 3.4.1 Amsterdam Industria-Gebäude

Abb.3.4.2 Amsterdam Bijenkorf-Gebäude

Die Messanlagen bestehen aus automatisch betriebenen Schlauchwaagen-Messsystemen. Für die Phase der Kompensationsinjektion und die spätere Durchfahrt der Tunnelbohrmaschine ist ein Messintervall von 3 Minuten vorgegeben. In den Phasen, in denen keine kritischen Bauarbeiten ausgeführt werden, sind Messungen im Stunden-Intervall resp. mehrmals täglich auszuführen.

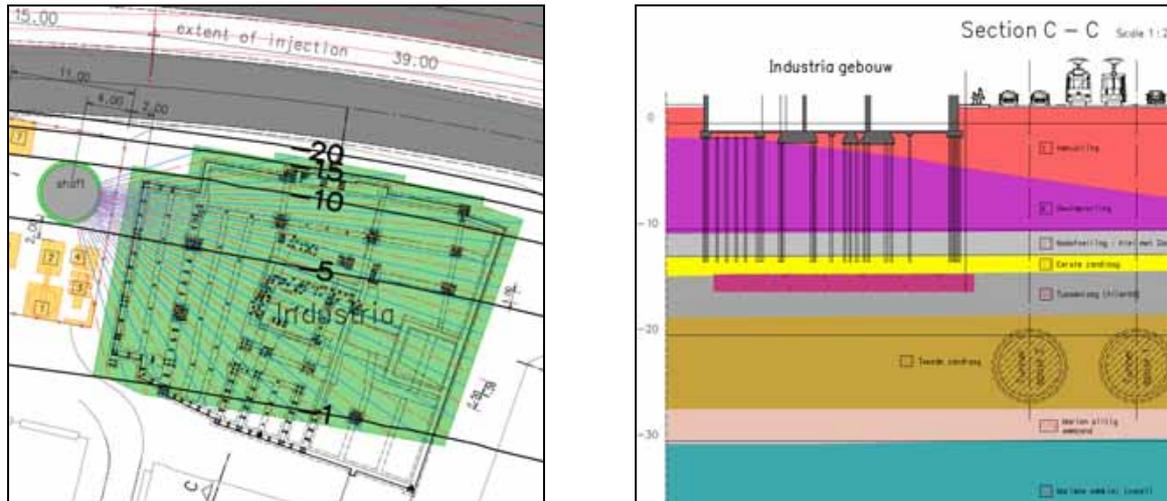


Abb. 3.4.3 Grundriss und Querschnitt der Kompensationsinjektion unter dem Industria-Gebäude

Alle Daten werden mit den lokal installierten SoloGeoMonitor-Messanlagen erfasst und verrechnet (Temperaturkompensation, mathematische Verknüpfung von Messpunkten bez. den Fixpunkten.) und an den DAVIS-PC geschickt. Zusätzlich erfolgt ein Vergleich mit den Alarmgrenzwerten und, im Falle einer Überschreitung der Grenzwerte, eine unmittelbare Alarmierung. Das SoloGeoMonitor bereitet die Daten auf und stellt sie dem Injektions-Steuerungsprogramm SOFIA zur Verfügung. Zusätzlich übernimmt der DAVIS-PC die Aufgabe, die Daten und Grafiken, vor allem Zeit-Setzungsgraphiken im Web-DAVIS, der internetbasierten Informationsplattform, sofort zur Verfügung zu stellen. Dort haben die verantwortlichen Ingenieure je nach Berechtigungsstufe Zugang zu den Informationen und dem Downloadbereich. Zusätzlich zu den Messresultaten werden auf dieser Webseite die messtechnisch relevanten Informationen dargestellt (Alarmliste, Alarmablauf, Journal der Instrumentierung und Dokumentation der Messanlage).

Das SoloGeoMonitor eignet sich auch für autonomen Betrieb, d.h. bei Stromversorgung ab Batterie. Die Daten werden dann per GSM/GPRS übertragen. Bei grösseren Messintervallen kommt die Sleep-Funktion des Systems zum Einsatz, d.h. das System wird nur zur Messung geweckt und fällt, um Energie zu sparen, dann wieder in den Sleep-Modus.

Die in Amsterdam eingesetzte Präzisionsschlauchwaage ist eine Druckschlauchwaage die auf dem Prinzip der kommunizierenden Röhre basiert. Die einzelnen Messstellen weisen einen Präzisions-Drucksensor mit einem Messbereich von 500mm auf. Die Drucksensoren sind mit dem Druck des Flüssigkeitsniveaus im Ausgleichsgefäss beaufschlagt. Dazu sind sie untereinander mit einer Hydraulikleitung verbunden. Zur Kompensation der Luftdruckunterschiede zwischen den Messstellen sind die Sensor-Rückseiten mit einer Pneumatikleitung untereinander verbunden. Erfahren die einzelnen Messstellen eine Höhenänderung gegenüber dem Referenzgefäss, wird ein der Höhenänderung entsprechender Druckanstieg oder Druckabfall mit dem Drucksensor erfasst. Die Genauigkeit dieses Messsystems liegt innerhalb 0.2mm



Abb. 3.4.4 Schlauchwaagen-Messstelle



Abb. 3.4.5 Solo-GeoMonitor-Messzentrale

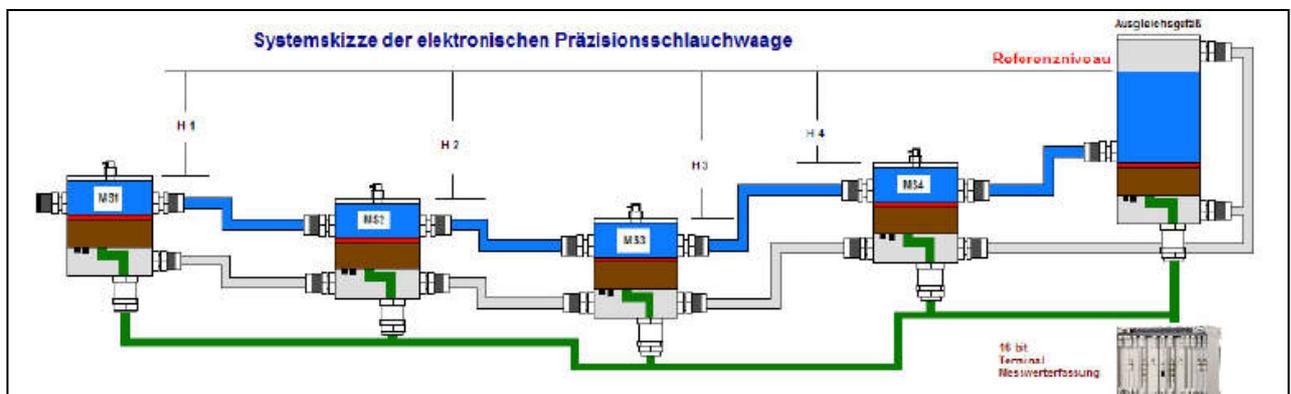


Abb. 3.4.6 Schematische Darstellung einer Schlauchwaagen-Messanlage

In den bisher instrumentierten 6 Gebäuden mit bis zu je 30 Messstellen, werden die durch die Schachtabteufung, das Bohren des Injektionsschirmes und die Kompensationsinjektionen verursachten Setzungen und Hebungen sehr zuverlässig und präzise angezeigt. Die Messresultate werden als wesentliche Information zur Steuerung der Kompensationsinjektionen eingesetzt.

Im Industriebau, in dem die Kompensationsinjektionen bereits ausgeführt wurden, waren nach anfänglichen Setzungen, die durch Abteufung des Schachtes und die Bohrarbeiten verursacht waren, gegenüber den Ausgangsmessungen Hebungen von fast 4mm registriert worden. Ab Ende Oktober 2007 haben sich die Vertikalverschiebungen stabilisiert.



Abb. 3.4.7 Web Davis-Anzeige des Industria-Gebäudes und graphische Darstellung von Setzungen und Hebungen

3.5 Schlussbemerkungen

Aufgrund einer systematisch durchgeführten Risikobeherrschung mit beweisicherndem Einbezug der Nachbarliegenschaften sowie einer gut konzipierten und ausgeführten Instrumentierung und Überwachung, können an Liegenschaften angrenzende Tiefbauwerke wie Tunnels und tiefe Baugruben ohne nennenswerte Beschädigungen an den Bauwerken, sicher, termin- und kostengerecht erstellt werden.

Messtechnische Massnahmen dienen aber auch, wie bei den Kompensationsinjektionen in Amsterdam dokumentiert, der Steuerung der Bauarbeiten. In Bern konnte zudem eine wesentliche Kostenreduktion durch den Wegfall einer Ankerlage erreicht werden. Dazu bedarf es einer den möglicherweise eintretenden Ereignissen angepasste Organisation beim projektierenden Ingenieur, bei den beteiligten Baufirmen, bei der mit den Messungen betrauten Firma und beim Bauherrn.