

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 109 (2011)

Heft: 4

Artikel: Durchmesserlinie Zürich : geotechnisches und geodätisches Monitoring
für ein grosses innerstädtisches Infrastrukturprojekt

Autor: Meyer, C. / Eisenegger, S.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236784>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Durchmesserlinie Zürich: geotechnisches und geodätisches Monitoring für ein grosses innerstädtisches Infrastrukturprojekt

Im Untergrund der Stadt Zürich wird im Auftrag der SBB bis zum Jahr 2015 ein zwei Milliarden CHF teures Verkehrsprojekt realisiert. Die 9.6 km lange Durchmesserlinie durchquert die Stadt Zürich in einem grossen Bogen von Altstetten über den Hauptbahnhof bis nach Oerlikon. In Folge der durch die innerstädtische Lage bedingten Komplexität des Projektes, kommt dem Schutz von Personen, der umliegenden Gebäude und Infrastruktur eine grosse Bedeutung zu. Um dem Rechnung zu tragen, wurde ein komplexes automatisches Überwachungssystem eingerichtet. In diesem Beitrag wird ein Einblick in das dem Überwachungssystem zugrunde liegende Konzept gegeben und einzelne im Projekt eingesetzte innovative oder speziell an die Randbedingungen des Projektes angepasste Messsysteme und Sensoren vorgestellt.

Dans le sous-sol de Zürich, sur mandat des CFF on est entrain de réaliser jusqu'à l'an 2015 un projet de transport à hauteur de deux milliards de francs. La ligne diamétrale, longue de 9,6 km traverse la ville de Zürich dans un grand virage d'Altstetten via la gare principale jusqu'à Oerlikon. En raison de la complexité du projet dû à sa situation au coeur de la ville la protection des personnes, des bâtiments et des infrastructures avoisinants sont prioritaires. Afin d'en tenir compte un système complexe de surveillance automatique a été installé. Le présent article donne un aperçu du concept de ce système de surveillance et décrit quelques-uns des systèmes de mesure et senseurs innovateurs ou spécialement adaptés aux conditions-cadre du projet.

Sotto la città di Zurigo, su incarico delle FFS, si realizza entro il 2015 un progetto di trasporti per un valore di due miliardi di franchi. I 9.6, km di linea attraversano la città di Zurigo, facendo un grande arco da Altstetten, via stazione centrale, fino a Oerlikon. Vista la complessità del progetto, riconducibile alla posizione del centro città, la protezione delle persone, degli edifici circostanti e dell'infrastruttura assume una grossa portata. Per tenere debito conto di questi elementi si è allestito un complesso sistema automatico di vigilanza. In quest'articolo daremo un'occhiata al concetto previsto e non si mancherà di presentare i singoli sistemi di misurazione ed i sensori adattati alle condizioni quadro del progetto.

Ch. Meyer, St. Eisenegger

Der Hauptbahnhof Zürich ist der Dreh- und Angelpunkt des Schweizer Schienenverkehrs. Die Pendlerströme nehmen stetig zu. Bis zum Jahr 2020 wird eine Zunahme der Reisenden und Passanten, die den Zürcher Hauptbahnhof benutzen, von aktuell ca. 300 000 auf über eine halbe Million Personen pro Tag erwartet. Da-

mit gelangt der Bahnhof an die Grenzen seiner Kapazität. Die Durchmesserlinie bietet ab Juni 2014 die Lösung für diesen Engpass. Zentraler Bestandteil der Durchmesserlinie ist der unterirdische Durchgangsbahnhof Löwenstrasse. Richtung Westen werden die Gleise über zwei neue Brückenbauwerke bis Altstetten geführt. Richtung Osten wird der Weinbergstunnel den Hauptbahnhof mit Oerlikon verbinden (Abb. 1).

1. Die Projektabschnitte

Das Projekt «Durchmesserlinie» ist in vier Abschnitte unterteilt:

- Abschnitt 1: Altstetten bis zum Tunnelportal Langstrasse
- Abschnitt 2: unterirdischer Bahnhof Löwenstrasse
- Abschnitt 3: Weinbergstunnel bis zum Tunnelportal Oerlikon
- Abschnitt 4: Einschnitt Oerlikon vom Tunnelportal bis und mit Bahnhof Oerlikon

Das Überwachungsprogramm konzentriert sich mit seinen wesentlichen Komponenten auf die unterirdisch bzw. in einem Einschnitt verlaufenden Abschnitte 2 bis 4, die hier kurz vorgestellt werden. Im Abschnitt 2 wird der neue Bahnhof bei laufendem Betrieb, 16 m unter den heutigen Gleisen in Deckelbauweise gebaut. Dies ist erforderlich, da der Zugverkehr im Zürcher Hauptbahnhof so dicht ist, dass während der Bauarbeiten nicht auf einzelne Gleise verzichtet werden kann. Neben der logistischen Herausforderung, den laufenden Bahnhofsbetrieb so wenig wie möglich einzuschränken, muss hier auch die Sihl, ein Fluss mit ausgeprägter Gebirgscharakteristik unterquert werden. Die Arbeiten müssen im Schutze einer Grundwasserabsenkung ausgeführt werden.

Der Weinbergstunnel (Abschnitt 3) unterfährt den rund 150 Jahre alten, denkmalgeschützten Südtrakt des Hauptbahnhofs Zürich sowie die Limmat und mündet in einer S-förmigen Kurve in den Bahneinschnitt beim Bahnhof Oerlikon. Der Vortrieb erfolgt vom Portal in Oerlikon aus mit einer Tunnelbohrmaschine als Doppelspurtunnel mit einem Ausbruchdurchmesser von 11,20 m. Parallel zu dem Haupttunnel wird der Flucht- und Rettungsstollen mit einem Ausbruchdurchmesser von 4,7 m gebohrt und alle 470 m über Querschläge mit dem Haupttunnel verbunden. Eine besondere Herausforderung ist die Unterfahrung des Bahnhofplatzes, welche aufgrund der geologischen Bedingungen im Schutze eines über 130 m langen Grossrohrschirmes erfolgen muss. Auch die in berg-

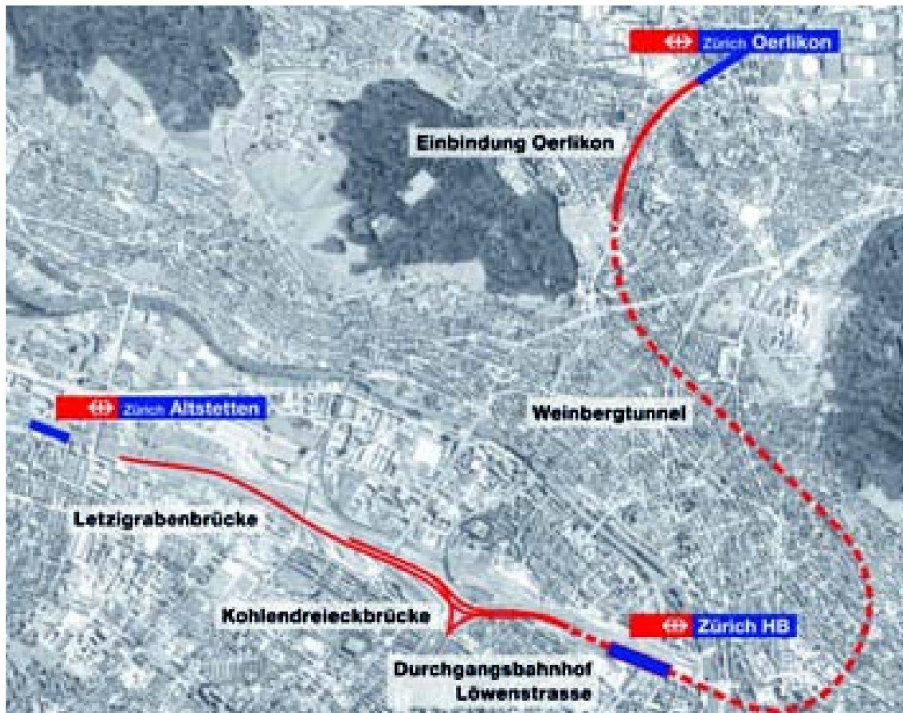


Abb. 1: Das Gesamtprojekt «Durchmesserlinie» in der Übersicht.

männischer Bauweise ausgeführte Unterquerung des Südtraktes machten spezielle Bauverfahren und eine intensive Überwachung erforderlich.

Der Weinbergtunnel mündet nach rund 5 km in den Bahneinschnitt Oerlikon. Um Platz für die zwei neuen Gleise zu schaffen, muss der Einschnitt im Abschnitt 4 um bis zu 18 m verbreitert werden, wodurch die Ränder des Einschnittes bis unmittelbar an die bestehende Bebauung heranreichen. Zum Schutze der Gebäude wird auf der Ostseite des Einschnittes ein rund 650 m langes und bis zu 28 m hohes Stützbauwerk hergestellt. Insgesamt werden in diesem Bereich über zwei Millionen Kubikmeter Erde bewegt.

2. Das Überwachungsprojekt

Der Tunnelbau im Untergrund einer Stadt erfordert aus Sicherheitsgründen besondere Überwachungsmassnahmen. Menschen, Gebäude und Verkehrswege dürfen auf keinen Fall zu Schaden kommen. Beim Überwachungssystem der Durchmesserlinie (DML) handelt es sich um ein Pionierprojekt, denn noch nie wurde ein

Überwachungssystem von dieser Grössenordnung erstellt. Die SBB entschlossen sich, dieses Überwachungsprojekt als übergeordnetes, spezielles Mandat auszuschreiben. Da weltweit keine Referenzobjekte dieser Grössenordnung vorhanden waren, bestand die Herausforderung für die SBB vorrangig darin, eine wirtschaftlich optimierte Lösung zu finden. Man hat sich hierbei entschlossen, einen Rahmen von 315 Einzelpositionen zu

schaffen, über die die Lieferung, Installation und Wartung der Sensoren sowie die Messintervalle und die Art der Datenvisualisierung definiert wurden. Gleichzeitig wurden ausreichende Freiräume geschaffen, um dem Bieter die Möglichkeit zu geben, sein Konzept für das Überwachungssystem zur Geltung zu bringen und spezifische Lösungen für nicht ganz alltägliche Messaufgaben zu erarbeiten. Insgesamt wurden fünf Mandate ausgeschrieben, je ein Mandat für die Bauherren- und Bauleitungsvermessung in den Abschnitten 1 bis 4 sowie ein Gesamtmandat für die geodätische und geotechnische Überwachung in den Abschnitten 2 bis 4. Jedes Mandat wurde einzeln vergeben, wobei das Überwachungsmandat mit rund CHF10 Mio. den grössten Anteil der Gesamtvergabesumme von insgesamt CHF 16 Mio. ausmacht. Auf der Grundlage der von der terra monitoring ag durchgeführten Auftragsanalyse wurden für das Überwachungsprojekt folgende Kennzahlen ermittelt (Tab. 1).

Aus der Auftragsanalyse ergaben sich für das einzusetzende Überwachungssystem hohe Anforderungen und ein grosses Mass an Flexibilität hinsichtlich der Einbindung der Sensoren, der Datenvisualisierung und der Alarmierungsfunktionen. Die auf dem Markt vorhandenen Systeme haben diesen Anforderungen nicht ent-

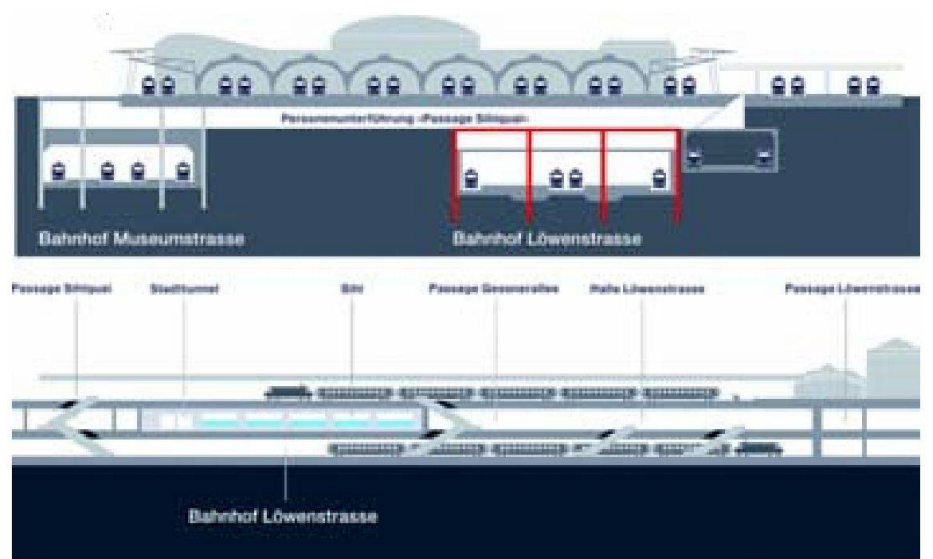


Abb. 2: Längs- und Querprofil zum Abschnitt 2 (Bahnhof Löwenstrasse).

Automatische Messsysteme	Manuelle Messungen
Erforderliche Messsysteme	
<ul style="list-style-type: none"> • 70 Tachymeter mit ca. 3000 Messpunkten • 850 Schlauchwaagensensoren • 50 Neigungssensoren • 28 Ketteninklinometermessstellen • 15 Piezometer • 3 Messstandorte für Grundwasserqualität • 2 Überwachungssysteme für den Grossrohrschirm • Ankerkraft- und Dehnungsmessgeber 	<ul style="list-style-type: none"> • Über 1000 Messpunkte für Nivellements • 35 Vertikalinklinometermessstellen • 5 Neigungsmessstellen • 7 Gleitdeformermessstellen • 6 Extensometermessstellen
Randbedingungen	
<ul style="list-style-type: none"> • Messintervall: 30 bis 60 Minuten • Messungen an 365 Tagen im Jahr über 24 Stunden am Tag • Projektdauer: 6 Jahre • Online-Zugriff auf die Messdaten für die Projektbeteiligten muss kontinuierlich gewährleistet sein 	<ul style="list-style-type: none"> • Messintervall gemäss Überwachungsplan • Online-Zugriff auf die Messdaten für die Projektbeteiligten muss kontinuierlich gewährleistet sein
→ Es ist mit ca. 500 000 Messwerten pro Tag zu rechnen, die auf Grenzwertüberschreitungen überprüft werden müssen!	

Tab. 1: Kennzahlen des Überwachungsprojektes gemäss Auftragsanalyse.

sprochen. Insbesondere die Einbindung der geodätischen Messsysteme und die grossen zu erwartenden Datenmengen waren kritisch zu beurteilen. Unter Berücksichtigung der bereits innerhalb der Firma terra monitoring ag vorhandenen Erfahrungen bei der Entwicklung von Überwachungssystemen, wurde deshalb die Entscheidung getroffen, ein eigenes Monitoring-System zu entwickeln.

3. Die Software im Hintergrund: swissMon

Das *swissMon* zugrunde liegende Messkonzept beruht auf einem konsequent modularen und somit beliebig skalierbaren Modell mit drei Ebenen (Abb. 3).

1. *tMon*: Steuerung der Messsysteme und Berechnung der Messergebnisse.
2. *tLis*: Verarbeitung und Speicherung der Messergebnisse sowie Alarmierung.
3. *tWeb*: Visualisierung der Messergebnisse und Webzugriffsebene.

Auf der *tMon*-Ebene werden innerhalb räumlich begrenzter Einheiten die Senso-

ren an einen Datenknoten angeschlossen. Die Sensoren (z.B. Tachymeter, GNSS, Schlauchwaagensysteme, *tShape*-Messketten, Ankerkraftmessgeber etc.) werden von diesem Knoten aus gesteuert und die erfassten Daten auf diesem ausgewertet. Die von *tMon* durchgeführten Auswertungen umfassen beispielsweise

bei den Tachymetern die Berechnung von Ausgleichsmodellen für jede Epoche, die Qualitätskontrolle der Anschlusspunkte sowie die Prüfung der Lagerung und Orientierung. Ähnlich hierzu werden bei den eingesetzten Schlauchwaagen die Messdaten im Rahmen der Datenakquisition gefiltert und die hydrostatischen Höhen berechnet. Innerhalb von *tMon* können darüber hinaus Kennwerte, wie z.B. Setzungsdifferenzen, Verwindungen, Gradienten etc. aus den Messdaten abgeleitet und Messsysteme dynamisch miteinander verknüpft werden. Auch erste einfache Grenzwertprüfungen sind auf dieser Ebene bereits möglich, um Alarme direkt auf der Baustelle über akustische oder visuelle Signale auszugeben. Die durch *tMon* gesammelten, ausgewerteten und validierten Messergebnisse werden auf der Datenbankebene (*tLis*) archiviert und hier nach Bedarf mit zusätzlichen Informationen ergänzt. Manuell erfasste Messdaten werden direkt in *tLis* eingelesen. Alle erfassten Messergebnisse werden mit den vorgegebenen Grenzwerten verglichen. Neben der Definition unterschiedlicher Alarmniveaus, im Falle des DML-Projektes Aufmerksamkeits-, Alarm-, und Interventionsniveau, bietet *tLis* auch die Möglichkeit komplexe Prüfroutinen anzuwenden. So kann *tLis* z.B. kritische Messwerte mit den Ergebnissen anderer Messpunkte derselben Epoche oder mit Ergebnissen von zeitlich nahebei-

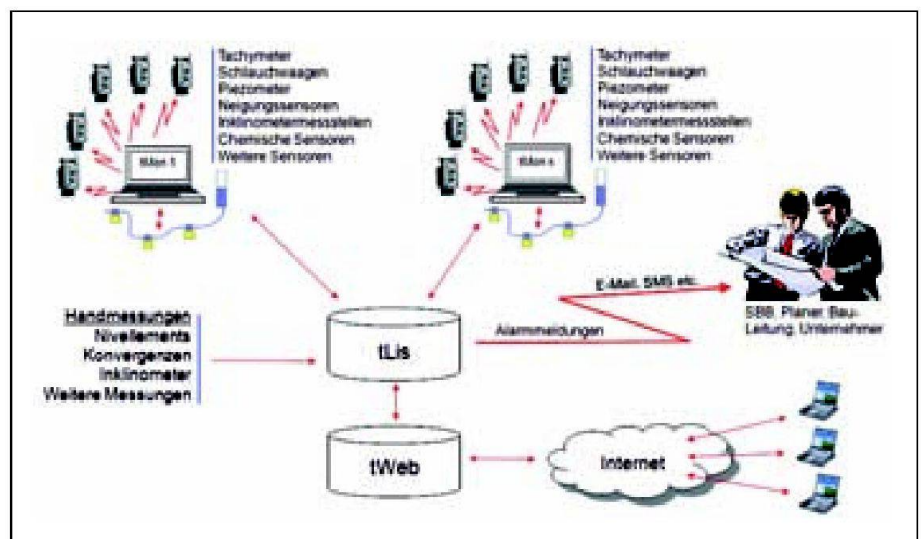


Abb. 3: Die Struktur von swissMon.



Abb. 4: Darstellung einer Messstelle und des zugehörigen Messwertes in tWeb.

einander folgenden Epochen vergleichen, wodurch sich das Risiko von systembedingten Fehlalarmen im Projekt auf ein Minimum reduzieren lässt. Bei bestätigten Grenzwertüberschreitungen werden von tWeb Alarmprozesse ausgelöst. Auch hier wurden für das DML-Projekt umfangreiche Möglichkeiten implementiert. Zur Abbildung der Projektstruktur lassen sich Personengruppen definieren, wobei jedem erfassten Messwert und Alarmniveau eine Person oder eine Personengruppe zugewiesen werden kann. Für die Übermittlung der Alarmmeldungen stehen alle gängigen Kommunikationsmittel wie Email, SMS, Fax-Mitteilungen oder auch telefonische Sprachmitteilungen zur Verfügung. Für kritische Bereiche erfolgt darüber hinaus eine automatische Prüfung, ob die Alarmmeldungen tatsächlich den Empfänger erreicht haben und von diesem zur Kenntnis genommen wurden.

Die Datenbankebene befindet sich auf einem Projektserver ausserhalb der Baustelle. Die hier abgelegten Daten werden regelmässig redundant gesichert. Für die Visualisierung der Messdaten greift tWeb direkt auf die Datenbankebene zu. Durch tWeb werden folgende

Grundfunktionen zur Verfügung gestellt:

- Messdatenvisualisierung (Zeitreihen, Profile, vertikale Profile, Setzungsmulden)
- Visualisierung von Grenzwertverletzungen
- Bereitstellung von Projektdokumenten (Pläne, Überwachungskonzepte etc.)
- Auswahl der Hintergrundkarten (Satellitenbilder, Stadtpläne, Katasterpläne oder projektspezifische Detailpläne, Zeichnungen und Fotos)
- Export der dargestellten Messreihen im PDF- oder CSV-Datenaustauschformat

Für den Zugriff auf die Messdaten über tWeb wird auf Seiten der Projektbeteiligten lediglich ein an das Internet angeschlossener PC inkl. Webbrowser benö-

tigt. Die Zugriffskontrolle wird durch Passwort-Schutz gewährleistet.

Neben den eigentlichen Messdaten werden in tWeb auch sekundäre Informationen bereitgestellt, die eine Interpretation der Messwerte erleichtern. So wurde beim DML-Projekt u.a. der Fortschritt der beiden Vortriebe für den Weinbergstunnel in einer Grundrissdarstellung und als Fortschritts-Zeitdiagramm dargestellt (Abb. 4).

4. Die Sensoren

Neben den hohen Anforderungen an die Logistik und die elektronische Datenverarbeitung haben sich aus den zur Anwendung kommenden Bautechnologien auch neue Herausforderungen an die Sensortechnik ergeben. Aus der Vielzahl der im DML-Projekt eingesetzten geodätischen und geotechnischen Sensoren werden hier drei Messsysteme hervorgehoben, denen im Projekt eine besondere Bedeutung zukommt.

4.1 Tachymeter

Schwerpunkt der im Projekt durchzuführenden Überwachungsmessungen sind ca. 3000 über das gesamte Bauprojekt verteilte Messpunkte, die kontinuierlich sowohl hinsichtlich ihrer Lage- als auch ihrer Höhenkoordinaten zu überwachen sind. Zur Bewältigung dieser Messaufgabe ist der Einsatz von insgesamt über 80 Tachymetern erforderlich, an die folgende Anforderungen gestellt werden:

- Hohe Messgenauigkeit von 1 mm auf 100 m für alle drei Dimensionen.
- Hohe Messgeschwindigkeit von mindestens 100 Zielen in zwei Lagen pro

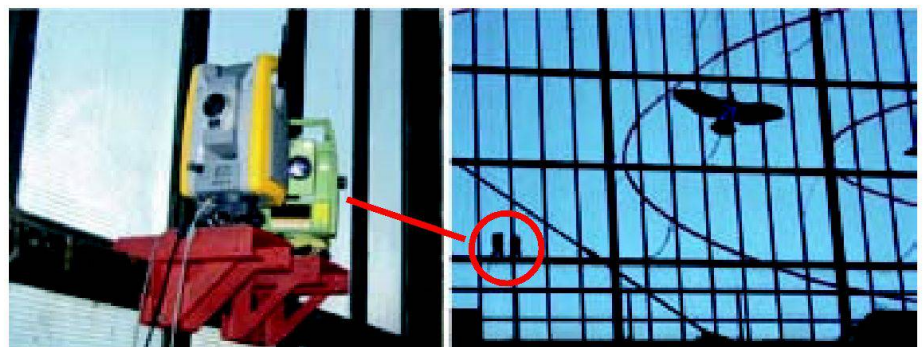


Abb. 5: Testinstallation am Hauptbahnhof Zürich im Sommer 2007.

Stunde in einem innerstädtischen Umfeld.

- Einfache, kabellose Datenkommunikation.
- Optionale Möglichkeit zur Durchführung reflektorloser Messungen.
- Baustellennaher Service, kurzfristige Verfügbarkeit von Ersatzgeräten und möglichst langfristige herstellerseitige Garantieleistungen.

Trotz der über das gesamte Projektgebiet variierenden Randbedingungen wurde darüber hinaus die Entscheidung getroffen, eine einheitliche Flotte einzusetzen. Auf der Grundlage dieser Entscheidungskriterien kamen zwei Systeme in die engere Wahl. Im Sommer 2007 wurde eine Testinstallation durchgeführt, bei der beide Systeme unter realen Bedingungen eingehend getestet wurden. Auf der Grundlage dieser Testmessung fiel die Entscheidung zugunsten der S8 von Trimble (Abb. 5).

Neben der höheren Messgeschwindigkeit, die mit der MagDrive-Servotechnologie (verschleissarmer Direktantrieb mit Drehgeschwindigkeiten bis 128 gon/sek) ausgestattete Trimble S8 benötigt etwa sechs Sekunden pro Zielmarke, hat insbesondere die neu implementierte Finelock-Funktion den Ausschlag zugunsten dieses Systems gegeben. Bei Monitoring-Projekten müssen die Messprismen meist linienförmig entlang von Gebäuden oder Bauteilen installiert werden und entweder aus derselben Gebäudeflucht heraus oder über grosse Distanzen hinweg angezielt werden. Hierdurch liegen die Prismen in der Messebene oftmals weniger als 1,5 gon auseinander. Die Finelock-

Funktion der Trimble S8 ermöglicht es, Ziele mit einem Abstand ab 25 cm auf 100 m automatisch anzusteuern.

Bis zum Frühling 2011 wurden im Projekt bereits 80 Tachymeter installiert und es werden ca. 2800 Messprismen in einem 30 Minuten Takt automatisch gemessen (Abb. 6).

4.2 Schlauchwaage

Zur Durchführung von Setzungsmessungen an schwer zugänglichen Bauteilen sowie an verschiedenen Brückenwiderlagern und Stützmauern sieht das Messkonzept den Einsatz von Schlauchwaagen vor. Dieses Messsystem arbeitet nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren. Die einzelnen Sensoren werden an den zu beobachtenden Bauteilen befestigt und mit einem mit Flüssigkeit vollständig gefüllten Schlauchsystem miteinander verbunden. Die Messungen erlauben die Erfassung vertikaler Bewegungen relativ zu einer horizontalen Bezugsebene.

Gemäss Projektanalyse werden insgesamt 850 einzelne Sensoren benötigt, die unter zum Teil sehr schwierigen Randbedingungen zu montieren waren und verschiedenen für das Projekt formulierten Anforderungen genügen mussten. Zu diesen Anforderungen zählen neben der Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität insbesondere die Möglichkeiten für eine einfache und flexible Installation und eine ausreichende Flexibilität bei der Überwindung von Hindernissen. Bei den am Markt verfügbaren Sensoren war insbesondere die Flexibilität bei der Überwindung von Hindernissen nicht gegeben, da hier, unter Berücksichtigung des Messbereiches



Abb. 7: Schlauchwaagensensor mit Ausgleichsgefäss.

der Sensoren, eine weitestgehend horizontale Montage der einzelnen Sensoren vorausgesetzt werden musste.

Die terra hat sich deshalb entschieden, ein an die Randbedingungen des Projektes angepasstes und hinsichtlich der Datenübertragung optimiertes System zu entwickeln. Das entwickelte System arbeitet auf der Basis digitaler Drucksensoren. Die maximalen Höhenunterschiede im hydrostatischen System dürfen bis zu 4 m betragen wobei eine Systemgenauigkeit von ± 1 mm erreicht wird. Die Datenkommunikation erfolgt über ein digitales Bussystem, wobei in einer Kette bis zu 128 Sensoren von tMon direkt angesteuert werden können.

Das System wurde erstmals im Frühling 2008 installiert und hat sich sowohl wirtschaftlich als auch hinsichtlich der Handhabbarkeit und seiner Zuverlässigkeit bewährt (Abb. 7).

4.3 tShape-Messkette

Kurz vor dem Zielschacht musste die Tunnelbohrmaschine setzungsempfindlichen Baugrund durchfahren. Um die erwarteten Setzungen in diesem Bereich auf ein Minimum reduzieren zu können, wurde die Trasse durch einen Grossrohrschirm gesichert. Der Rohrschirm wurde mit einer Länge von bis zu 140 m und einer vom Startpunkt abfallenden Neigung von 3% ausgeführt. Zur Prüfung der Wirksamkeit dieses Rohrschirmes sah das Projekt den Einsatz von zwei Messsystem zur Durchführung von linienförmigen Verformungsmessungen vor, wobei die Messlinien sowohl für die Installation als auch

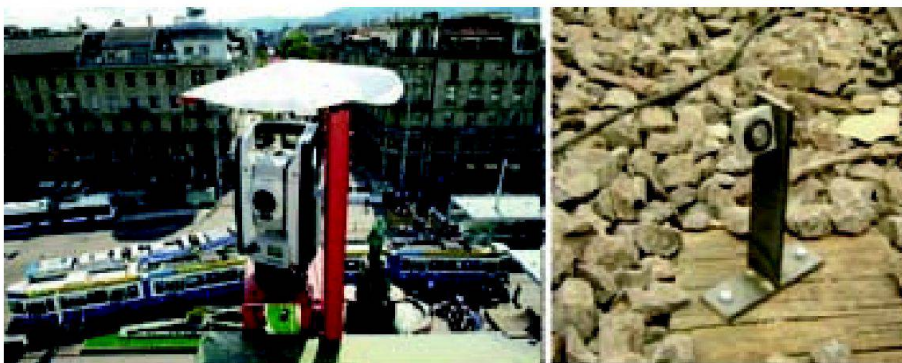


Abb. 6: Tachymeter am Bahnhofplatz (links), Messprisma im Gleisfeld (rechts).

für die Messdurchführung nur vom Startschacht aus erreichbar waren.

Unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen und der vom Projekt hinsichtlich der räumlichen Auflösung gestellten Anforderungen, erschien der Einsatz klassischer Systeme wie Ketteninklinometer oder Schlauchwaagenketten nicht praktikabel zu sein. Es wurde deshalb dem Auftraggeber der Einsatz eines neuen Messsystems vorgeschlagen, der tShape-Messkette.

Es handelt sich hierbei um eine kompakte Anordnung aus Segmenten mit jeweils drei kalibrierten Beschleunigungssensoren, die orthogonal zueinander angeordnet sind. Jeweils acht Segmente bilden eine Basiseinheit, die über einen Mikroprozessor gesteuert werden. Jedes Segment ist 0.5 m lang und über ein Gelenk mit dem Nachbarsegment verbunden. Bei auftretenden Verformungen biegt sich die Messkette an den Gelenken mit zwei Freiheitsgraden. Die hierdurch resultierende Lageänderung des Segments wird durch die Sensoren registriert (Abb. 8).

Das System wurde als horizontale 2D-Anordnung in den Rohrvortrieben GRS1 und GRS4 eingebaut. Der Einbau erfolgte aus logistischen Gründen in vier Teilstücken von je 3 x 40 m und 1 x 25 m. Nach dem Einbau der Messketten wurden die Rohre GRS1 und GRS4 ausbetoniert und die Messsysteme an den nächsten Datenknoten des Überwachungssystems angeschlossen. Die Verknüpfung der einzelnen eingebauten Messketten erfolgt auf Softwareebene innerhalb von tMon. Durch die grosse Länge des Rohrschirms und die eingeschränkte Zugänglichkeit



Abb. 8: tShape-Segmente mit angelegter Ausrichtung der Sensoren.

bietet die tShape-Messkette gegenüber konventionellen Messketten erhebliche Vorteile. Durch einen Sensorabstand von nur 0.5 m und dem vollkommen gekapselten Aufbau, liefert das System eine höhere räumliche Auflösung und ist mit wesentlich geringerem Aufwand einzubauen. Die Absolute Genauigkeit des Systems liegt auf der Grundlage der vorliegenden Messergebnisse bei ca. 2.5 mm auf 100 m Messlänge.

Aufgrund des erfolgreichen Einsatzes dieses Messsystems bei der Überwachung des Grossrohrschirms, konnte der Einsatz auf weitere Anwendungsbereiche erweitert werden. So wurde das Messsystem auch zur Durchführung automatischer Konvergenzmessungen beim Tunnelvortrieb eingesetzt. Die Technologie ermöglichte einen Einbau direkt hinter dem Bohrkopf der Tunnelbohrmaschine, wobei die Messungen kontinuierlich auch während der Durchfahrt der Nachläufer ausgeführt werden konnten (Abb. 9).

5. Fazit

Im Rahmen des Projektes «Durchmesserlinie Zürich», einem der aktuell grössten innerstädtischen Tunnelbauprojekte, wurde durch die terra monitoring ag ein umfassendes Monitoringsystem entwickelt und erfolgreich zum Einsatz gebracht. Mit *swissMon* wurden im Rahmen der bisherigen Projektlaufzeit über 400 000 Messwerte pro Tag automatisch verarbeitet und auf Grenzwertverletzungen geprüft. Das System arbeitet mit einer sehr geringen Fehlerrate von unter 0.001%.

Es ist gelungen, eine Vielzahl an geotechnischen und geodätischen Sensoren und Messsystemen in ein einheitliches Überwachungssystem zu integrieren. Bestehende Messsysteme, wie die Schlauchwaagensensoren, wurden erfolgreich weiterentwickelt und an die projektspezifischen Randbedingungen angepasst. Neue, innovative Messsysteme, wie die tShape-Messketten, wurden erstmalig zum Einsatz gebracht.

Die Eigenentwicklung von *swissMon* hat sich gelohnt, da hierdurch eine hohe Fle-



Abb. 9: Einbau einer tShape-Messkette für Konvergenzmessungen hinter dem Bohrkopf der TBM.

xibilität bei der Umsetzung der Kundenwünsche und schnelle Reaktionszeiten bei notwendigen Anpassungen erreicht wurden. Das System kann ständig auf der Grundlage neuer Projekterfahrungen weiterentwickelt werden und bietet eine Komplettlösung für Projekte unterschiedlichster Grössenordnung. Neben der Durchmesserlinie setzt die terra monitoring ag das System, zusammen mit lokalen Partnern aus der Vermessungs- und Ingenieurbranche, auch bei mehreren kleinen und mittleren Projekten in Europa erfolgreich ein.

Literatur:

- [1] Schweizerische Bundesbahnen SBB, Informationsbroschüre und Faktenblätter zu den Abschnitten der Durchmesserlinie (www.durchmesserlinie.ch)
- [2] Stephan Eisenegger (2009): Alarmzeichen automatisch erkennen, In: BY RAIL.NOW! 2009 (Sonderpublikation der SWISS Engineering-Reihe).

Christian Meyer
terra monitoring ag
Obstgartenstrasse 7
CH-8006 Zürich
monitoring@terra.ch

Stephan Eisenegger
SBB AG
Infrastruktur, Geomatik
Postfach 21
CH-8021 Zürich
stephan.eisenegger@sbb.ch