



Durchmesserlinie Zürich

Geotechnisches und Geodätisches Monitoring für ein großes innerstädtisches Infrastrukturprojekt

Christian Meyer

1 Einleitung

Im Untergrund der Stadt Zürich wird im Auftrag der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) bis zum Jahr 2013 ein 2 Mrd SFr (ca. 1.4 Mrd Euro) teures Verkehrsprojekt realisiert. Die 9.6 km lange Durchmesserlinie durchquert die Stadt Zürich in einem großen Bogen vom Stadtteil Altstetten über den Hauptbahnhof bis zum Stadtteil Oerlikon.

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. Damit gelangt der Bahnhof an die Grenzen seiner Kapazität. Die Durchmesserlinie bietet ab Ende 2013 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 Weinbergtunnel den Hauptbahnhof mit Oerlikon verbinden.

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.

2 Die Projektabschnitte

Das Projekt „Durchmesserlinie“ ist in 4 Abschnitte untergliedert:

- Abschnitt 1: Streckenabschnitt von Altstetten bis zum westlichen Tunnelportal
- Abschnitt 2: Der unterirdische Bahnhof Löwenstrasse
- Abschnitt 3: Der Weinbergtunnel bis zum Tunnelportal Oerlikon
- Abschnitt 4: Der Einschnitt Oerlikon vom Tunnelportal bis zum Bahnhof Oerlikon

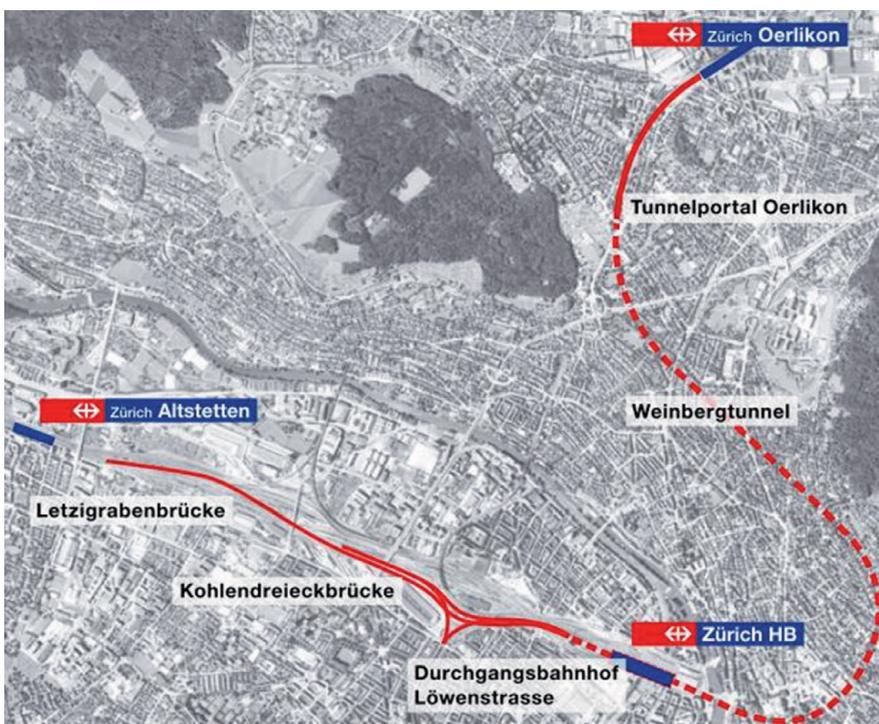


Abb. 1: Das Gesamtprojekt „Durchmesserlinie“ in der Übersicht [1]

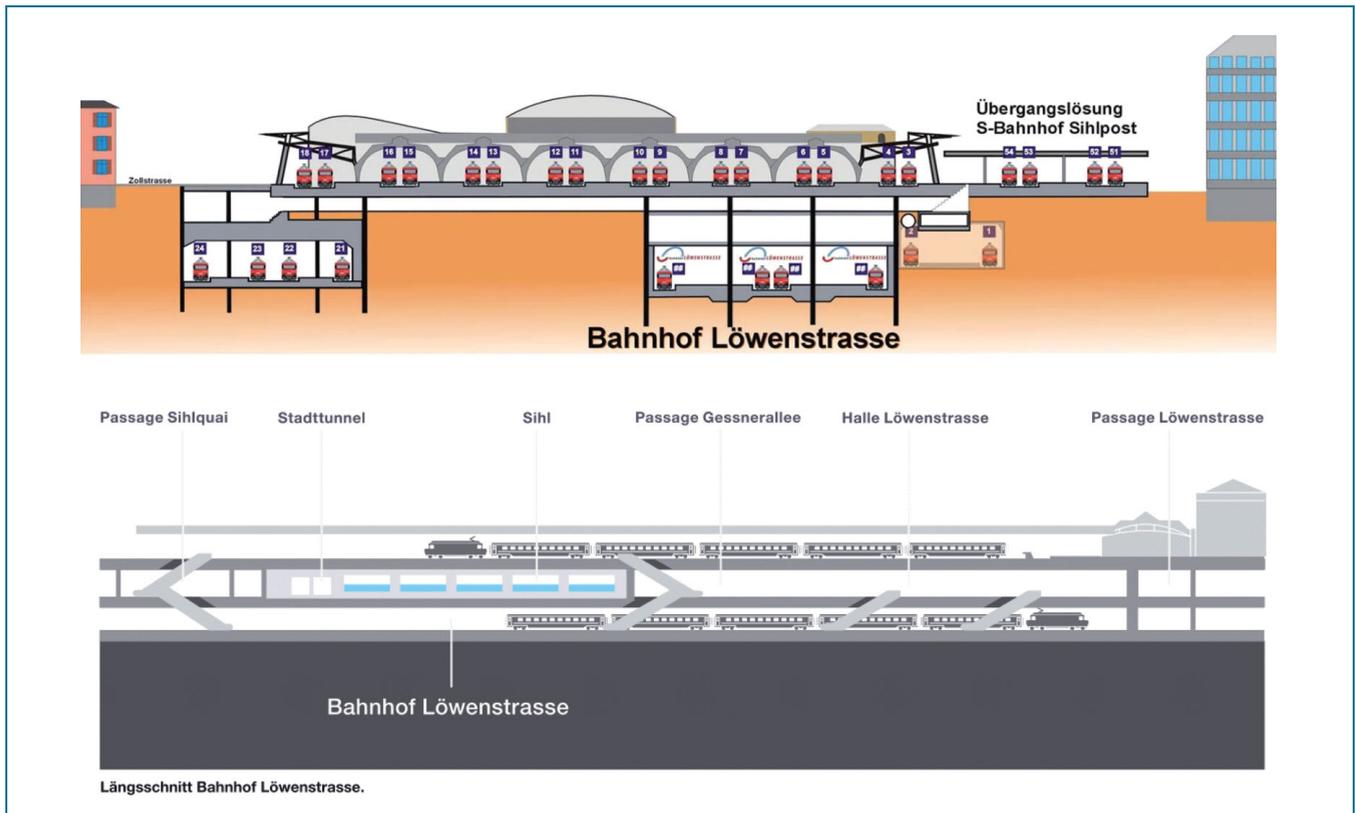


Abb. 2: Längs- und Querprofil zum Abschnitt 2 („Bahnhof Löwenstrasse“) [1]

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 Weinbergtunnel (Abschnitt 3) unterfährt den rund 150 Jahre alten, denkmalgeschützten Südtrakt des Hauptbahnhofs Zürich sowie den Fluss 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 bergmännischer 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 2 Millionen Kubikmeter Erde bewegt.

3 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 [2]. 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

Tabelle 1: : Kennzahlen des Überwachungsprojektes gemäss Auftragsanalyse

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 Gleitdeformetermessstellen - 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
<p>⇒ Es ist mit ca. 500'000 Messwerte pro Tag zu rechnen, die auf Grenzwertüberschreitungen überprüft werden müssen!</p>	

das Überwachungssystem zur Geltung zu bringen und spezifische Lösungen für nicht ganz alltägliche Messaufgaben zu erarbeiten.

Insgesamt wurden 5 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 10 Mio SFr den größten Anteil der Gesamtvergabesumme von insgesamt 16 Mio SFr. (ca. 11 Mio Euro) ausmacht.

Auf der Grundlage der von der terra durchgeführten Auftragsanalyse wurden für das Überwachungsprojekt folgende Kennzahlen ermittelt:

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 entsprochen. Insbesondere die Einbindung der geodätischen Messsysteme und die großen zu erwartenden Datenmengen waren kri-

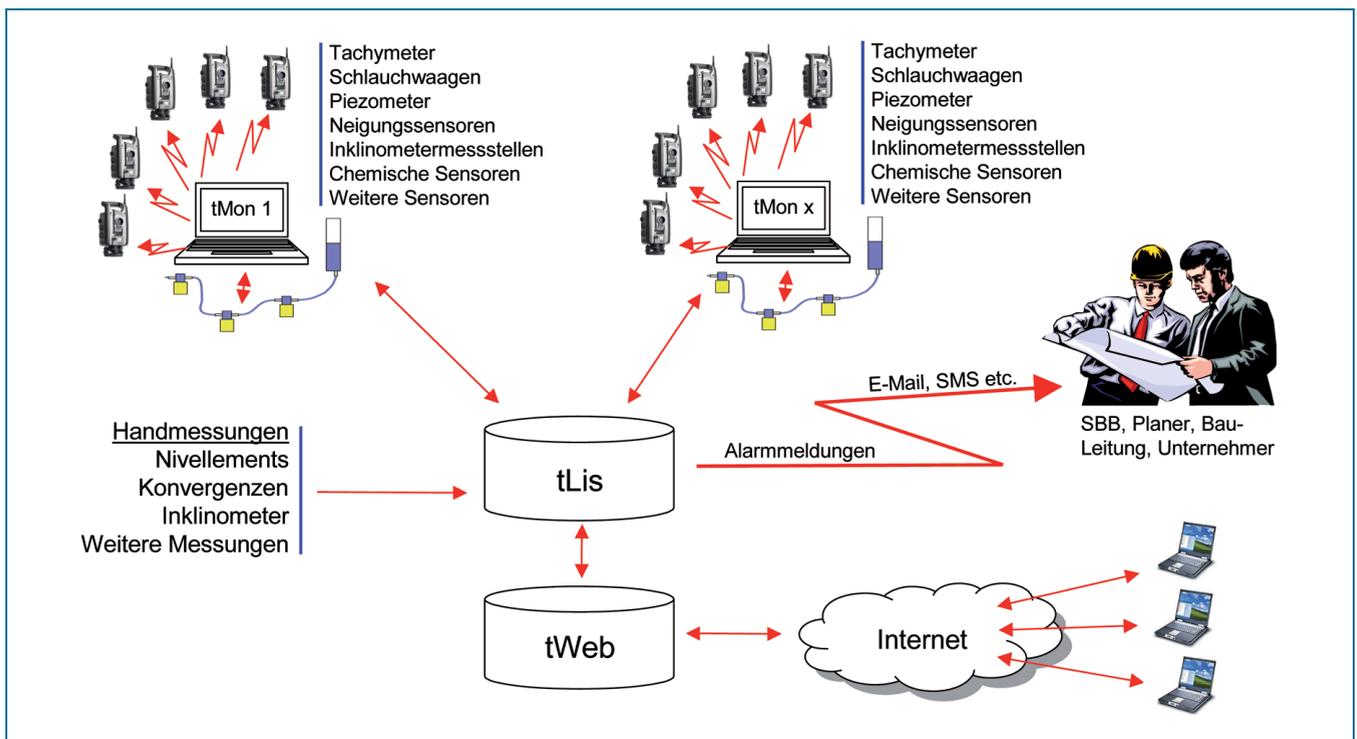


Abb. 3: Die Struktur von swissMon

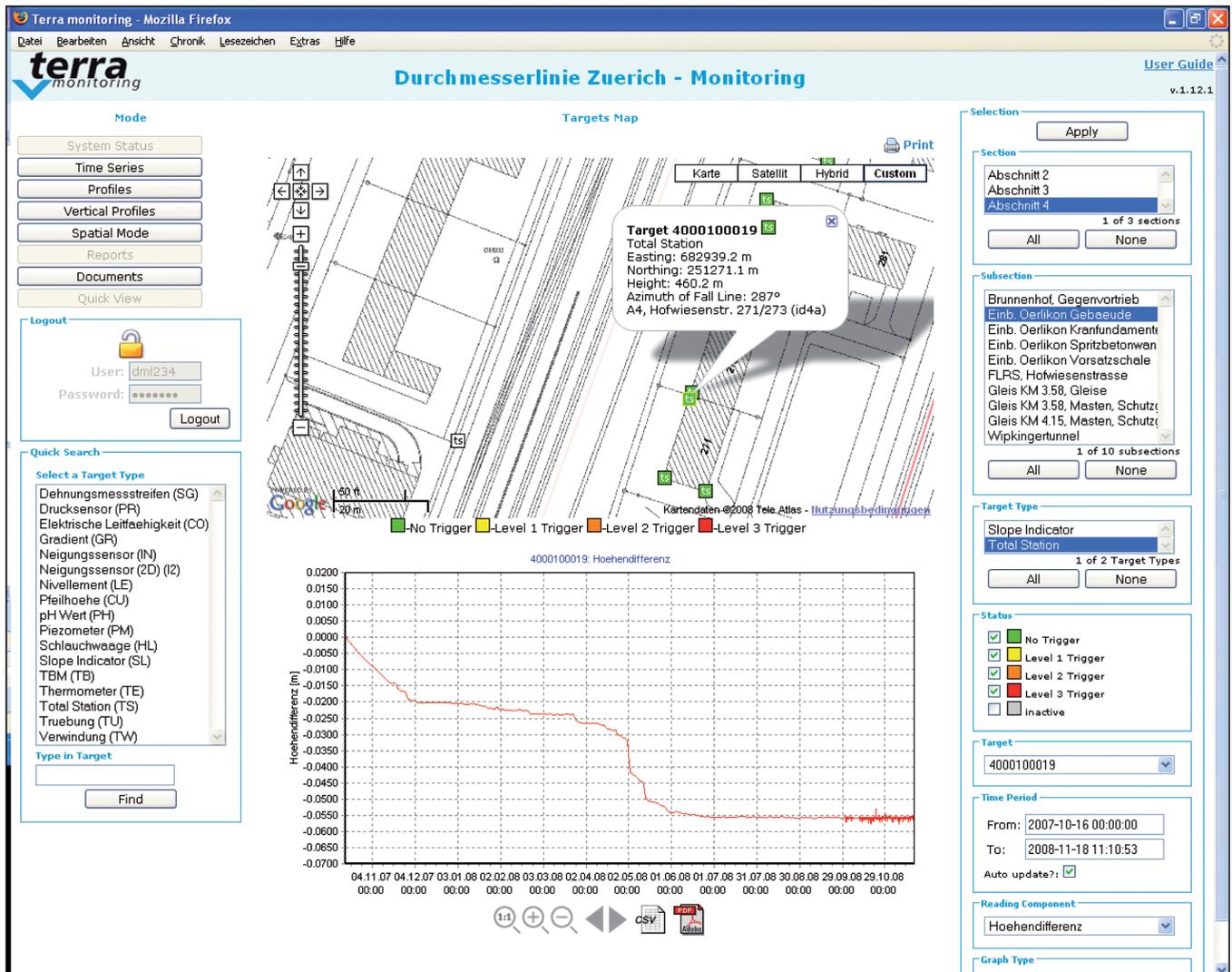


Abb. 4: Darstellung einer Messstelle und des zugehörigen Messwertes in tWeb

tisch zu beurteilen. Unter Berücksichtigung der bereits innerhalb der Firma vorhandenen Erfahrungen bei der Entwicklung von Überwachungssystemen, wurde deshalb die Entscheidung getroffen, ein eigenes Monitoring-System zu entwickeln.

4 Die Software im Hintergrund: *swissMon*

Das swissMon zugrunde liegende Messkonzept beruht auf einem konsequent modularen und somit beliebig skalierbaren Modell mit drei Ebenen.

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 Sensoren 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. Durch tMon können auch erste einfache Grenzwertprüfungen für einzelne Parameter durchgeführt werden. Im Ergebnis dieser Prüfungen können Alarme direkt auf der Baustelle über akustische oder visuelle Signale ausgegeben werden. Die tMon-Datenknoten sind an das Internet angeschlossen und liefern die ausgewerteten und validierten Messergebnisse an die Datenbank-Ebene (tLis).

Die durch tMon gesammelten Daten werden auf der Datenbankebene (tLis) archiviert und hier nach Bedarf mit zusätzlichen Informationen ergänzt. Die manuell erfassten Messdaten werden nach der Auswertung direkt in

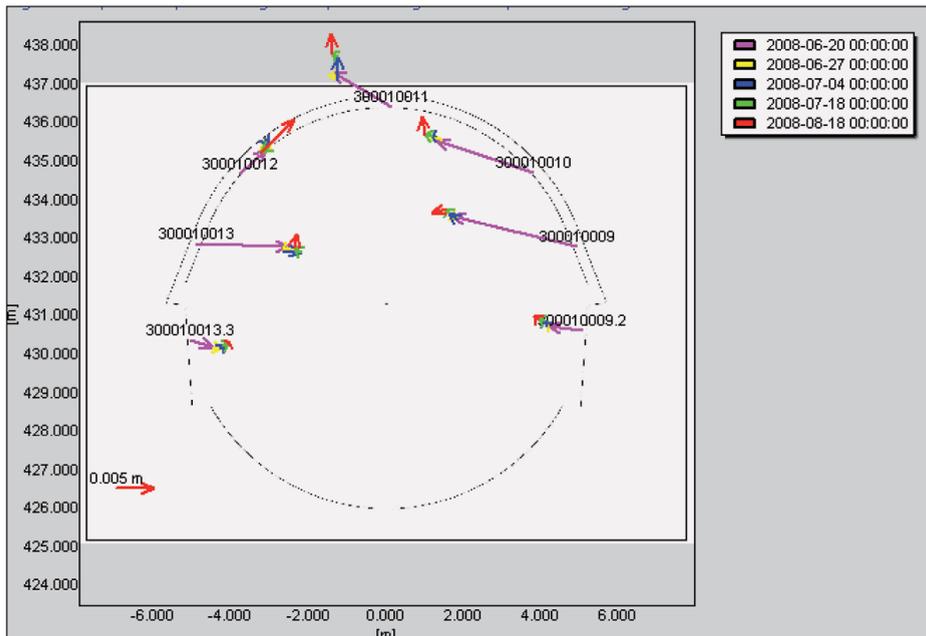


Abb. 5: Darstellung von Konvergenzmessungen als Vektorkette in tWeb

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 der selben Epoche oder mit Ergebnissen von zeitlich nach-

einander folgenden Epochen vergleichen, wodurch sich das Risiko von systembedingten Fehlalarmen im Projekt auf ein Minimum reduzieren lässt. Bei bestätigten Grenzwertüberschreitungen werden von tLis 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

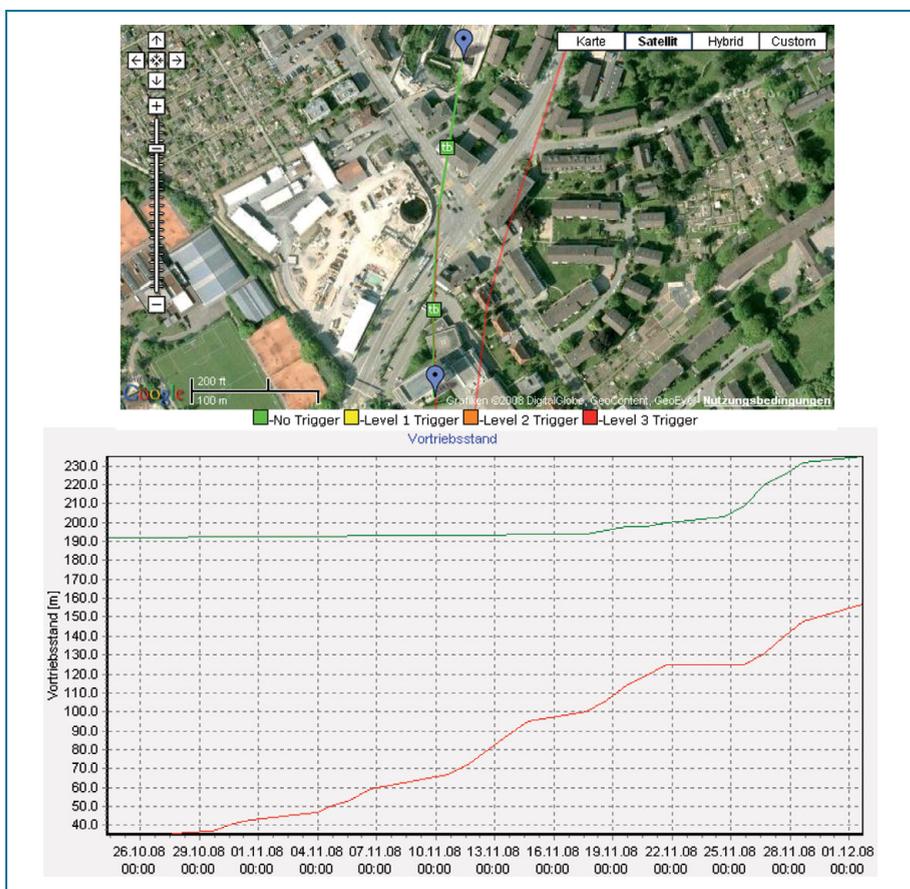


Abb. 6: Darstellung des Fortschrittes der 2 TBM-Vortriebe in tWeb



Abb. 7: Testinstallation am Hauptbahnhof Zürich im Sommer 2007

eine Person oder eine Personengruppe zugewiesen werden kann. Für die Übermittlung der Alarmmeldungen stehen alle gängigen Kommunikationsmittel wie Email, SMS, Pager, 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, der sich außerhalb der Baustelle befindet. Die auf dem Projektserver 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 gemeinsam genutzten Dokumenten (Pläne, Überwachungskonzepte etc.)
- Auswahl der Hintergrundkarten (z. B. Satellitenbilder, Stadtpläne, Katasterpläne oder projektspezifische Detailpläne, Zeichnungen und Fotos)
- Schnellsuche von Punkten
- Export der dargestellten Messreihen im PDF- oder CSV-Datenaustauschformat
- Zugriffskontrolle durch Passwort-Schutz

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

Die Messdaten werden grundsätzlich in einer anschaulichen Art dargestellt, so dass sich auch komplexe Messdaten, wie z. B. die Ergebnisse von Konvergenzmessungen, auf einen Blick erfassen lassen (vgl. Abbildung 5).

Neben den eigentlichen Messdaten werden in tWeb auch sekundäre Informationen bereitgestellt, die eine Interpretation der Messwerte erleichtern. So wird u. a. der Fortschritt der beiden Vortriebe für den Weinbergtunnel in einer Grundrissdarstellung und als Fortschritts-Zeitdiagramm dargestellt.

5 Die Sensoren

SwissMon ist modular aufgebaut und durch seine Struktur frei skalierbar. Schnittstellen für eine Vielzahl von handelsüblichen geodätischen und geotechnischen Sensoren sind bereits vorhanden. Sensoren können grundsätzlich integriert werden, sofern sie über eine digitale Datenschnittstelle und ein offenes Übertragungsprotokoll verfügen. Für die Einbindung analoger Sensoren müssen A/D-Wandler zwischengeschaltet werden.

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.

5.1 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 Messaufga-



Abb. 8: Tachymeter am Bahnhofplatz / Messprisma im Gleisfeld

be ist der Einsatz von über 70 Tachymetern erforderlich, an die folgende Anforderungen gestellt wurden:

- Hohe Messgenauigkeit von 1 mm auf 100 m für alle 3 Dimensionen.
- Hohe Messgeschwindigkeit von mindestens 100 Zielen in 2 Lagen pro 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. Das auszuwählende System musste somit als Allroundsystem geeignet sein. Auf der Grundlage dieser Entscheidungskriterien kamen 2 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.

Neben der höheren Messgeschwindigkeit, die mit der MagDrive-Servotechnologie (verschleißarmer Direktantrieb mit Drehgeschwindigkeiten bis 128 gon/sek) ausgestattete Trimble S8 benötigt etwa 6 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 der selben Gebäudeflucht heraus oder über große Distanzen hinweg angezielt werden. Hierdurch liegen die Prismen in der Messebene oftmals weniger als 20 mrad auseinander. Die Finelock-Funktion der Trimble S8 ermöglicht es, Ziele mit einem Abstand ab 25 cm auf 100 m automatisch anzusteuern.

Bis zum Sommer 2010 wurden im Projekt bereits 60 Tachymeter installiert und es werden ca. 2800 Messprismen in einem 30 Minuten Takt automatisch gemessen.



Abb. 9: Schlauchwaagensensor mit Ausgleichsgefäß

5.2 Schlauchwaage

Zur Durchführung von Setzungsmessungen an schwer zugänglichen Bauteilen innerhalb des Bahnhofgebäudes sowie an den Widerlagern und Stützmauern der Brücke über die Limmat und des Sihl-Durchlasses 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 Kontrolle der vertikalen 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

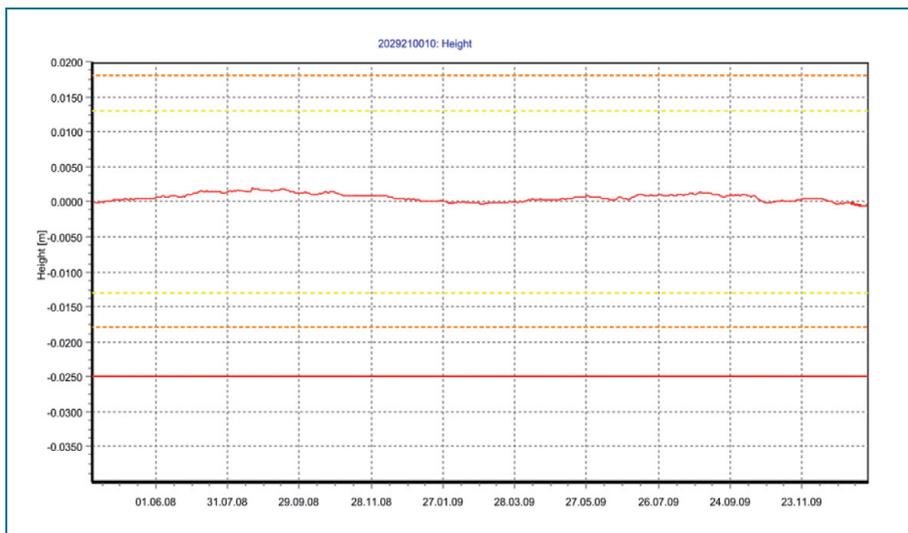


Abb. 10: Ergebnisse eines im Juni 2008 in Betrieb genommenen Schlauchwaagensensors

Maximale Stabilität

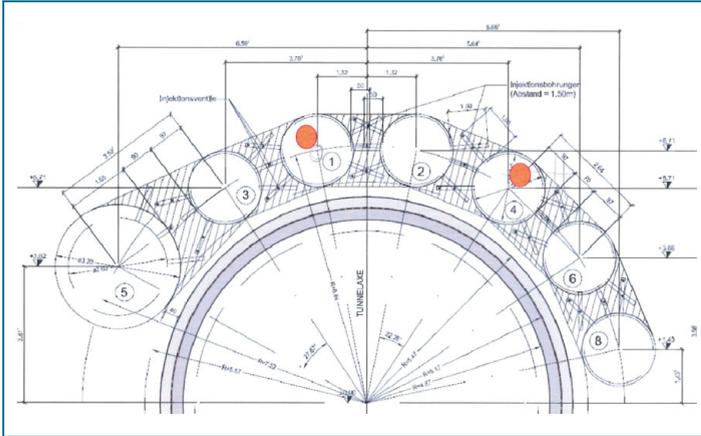


Abb. 11: Lage der tShape-Messketten im Großrohrschirm

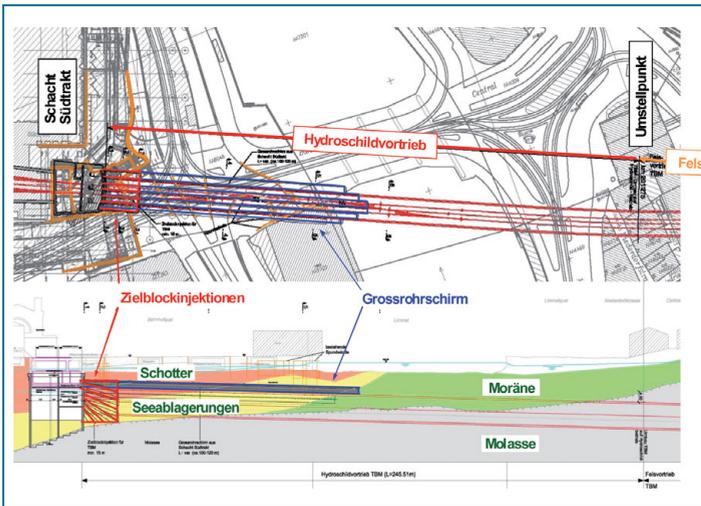


Abb. 12: Der Großrohrschirm in der Lage und im geologischen Schnitt

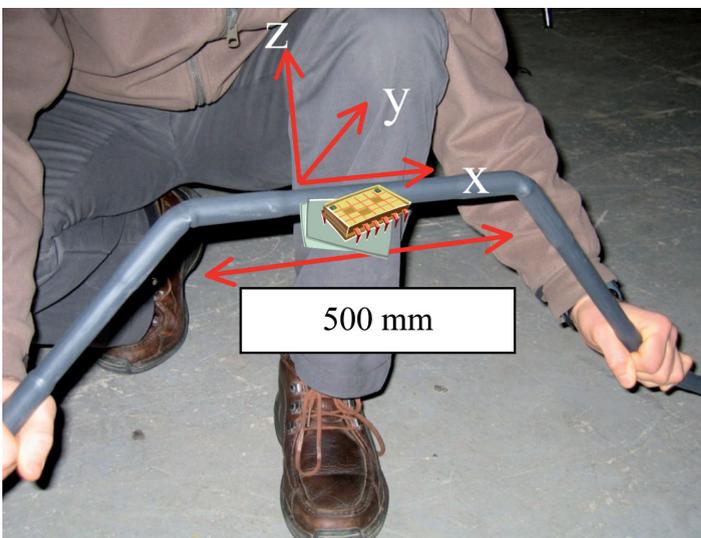
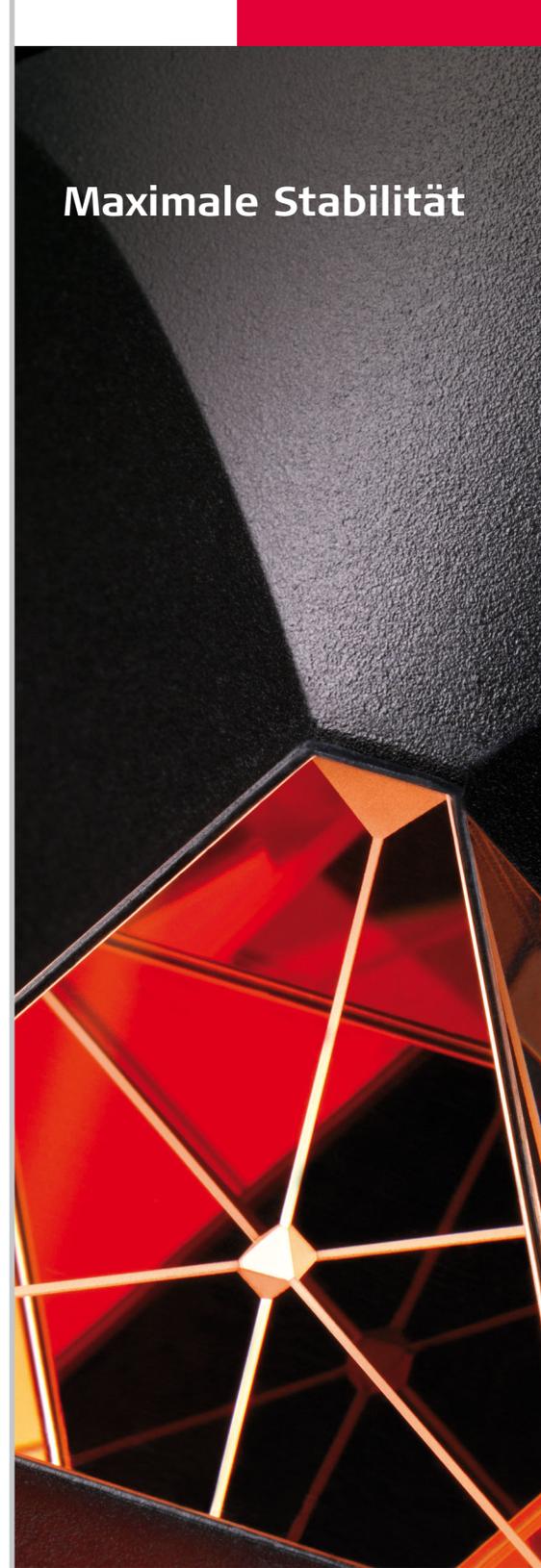


Abb. 13: tShape-Segmente mit angedeuteter Ausrichtung der Sensoren



Mit Sorgfalt ausgesuchte Materialien garantieren höchste Robustheit. Die Verwendung von **Karbon für die Zentralachse** des 360°-Präzisionsprismas gewährleistet maximale Stabilität unter allen Einsatzbedingungen.

www.leica-geosystems.de

when it has to be **right**

Leica
Geosystems

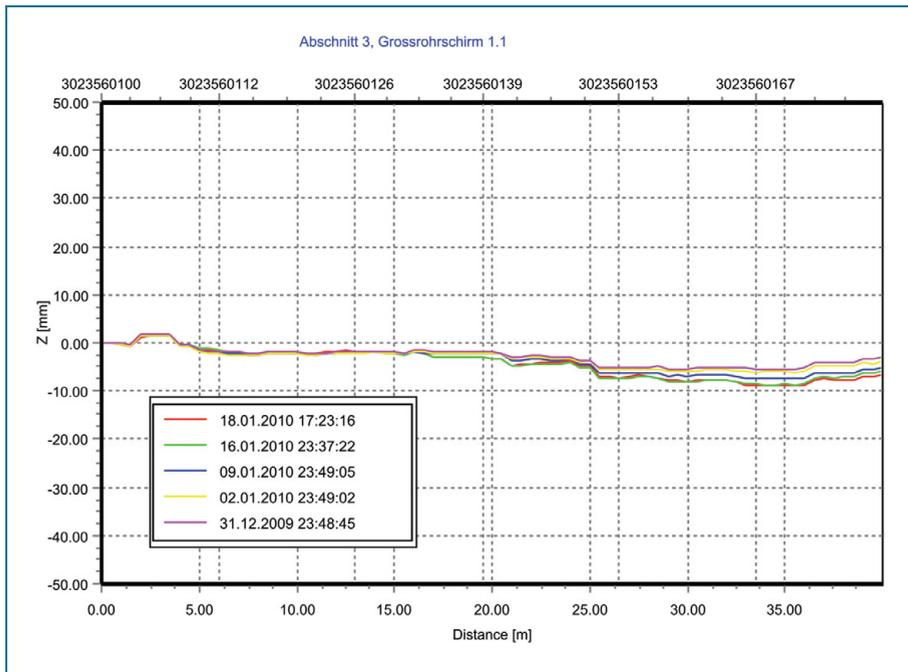


Abb. 14: Erste Ergebnisse der tShape-Messkette GRS1 (Bereich 0 m bis 40 m)

sichtigung des Messbereiches der Sensoren eine weitestgehend horizontale Montage der einzelnen Sensoren vorausgesetzt werden musste.

Die terra hat sich deshalb entschieden, ein eigenes, 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 3.5 m betragen wobei eine Systemgenauigkeit von ± 1 mm erreicht wird. Die Datenkommunikation erfolgt über ein digitales Bus-system auf der Basis einer RS485 Verkabelung. Es können in einer Messkette bis zu 128 Sensoren von tMon aus direkt angesteuert werden. In tMon ist auch eine robuste Filterung implementiert, um Störungen (z. B. durch Erschütterungen) zu eliminieren.

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

5.3 tShape-Messkette

Ausgehend vom Schacht Südtrakt wird im Bereich der zukünftigen Tunnelachse ein Rohrschirm in Richtung der Limmat hergestellt. Ziel dieser Arbeiten ist es, während des Vortriebs der Tunnelbohrmaschine die Verformungen an der Oberfläche und der benachbarten Gebäude auf ein Minimum zu reduzieren. Zur Überprüfung der Wirksamkeit des Rohrschirmes, soll dieser messtechnisch überwacht werden. Hierfür wurden zwei Rohre im Firstbereich des Tunnels mit Messsystemen ausgestattet.

Der Rohrschirm wird mit einer Länge von bis zu 135 m und einer vom Startpunkt abfallenden Neigung von 3 % ausgeführt und ist für die Installation und die Durchführung der Messungen nur vom Startschacht aus erreichbar.

Unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen und der vom Projekt aus 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 3 kalibrierten Beschleunigungssensoren, die orthogonal zueinander angeordnet sind. Jeweils 8 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.

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 3×40 m und 1×25 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. Die ersten eingebauten Systeme liefern seit Anfang November 2009 kontinuierlich Messdaten.

Durch die grosse Länge des Rohrschirms und die eingeschränkte Zugänglichkeit 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.

6 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 Bearbeitungsstand Juni 2010 werden mit *swissMon* 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 Flexibilität 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.

7 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).

Anschrift des Verfassers:

CHRISTIAN MEYER
terra monitoring ag
Obstgartenstrasse 7
CH-8006 Zürich
Schweiz
monitoring@terra.ch
www.terra-monitoring.ch



NORMUNG

DIN-Taschenbuch 226: Qualitätsmanagement

Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Beuth Verlag GmbH: Berlin, Wien, Zürich

7. Auflage, 2010, 592 Seiten A5, broschiert, 136,00 EUR

ISBN 978-3-410-20574-6

Das DIN-Taschenbuch 226 „Qualitätsmanagement“ gibt, jeweils im Originaltext, die wesentlichen normativen Dokumente zu dem im Titel genannten Themenkomplex wieder. Die Sammlung enthält die QM-Grundlagennormen DIN EN ISO 9001 und den Leitfaden für

Konfigurationsmanagement DIN ISO 10007.

Als Neuaufnahme gegenüber der letzten Auflage des Taschenbuches ist die Norm DIN EN ISO 9004: 2009-12 „Leiten und Lenken für den nachhaltigen Erfolg einer Organisation“ besonders herauszustellen; zu Audits von Qualitäts- und/oder Umweltmanagementsystemen liegen DIN EN ISO 19011, DIN EN ISO/IEC 17021, die DIN-Fachberichte ISO 10006 und ISO/TR 10017 vor. In der ebenfalls abgedruckten DIN EN ISO 10012 werden Anforderungen an

Messprozesse und Messmittel beschrieben.

Sämtliche Dokumente dieses QM-Kompendiums gelten fachübergreifend: Hier sind alle Branchen und Bereiche aus Wirtschaft und Gesellschaft sowie alle Größen von Organisationen inhaltlich involviert – unabhängig davon, ob sie gewinnorientiert arbeiten oder nicht. Das DIN-Taschenbuch 226 liegt auch als E-Book vor: www.beuth.de

Weitere Informationen:
<http://www.beuth.de>