

## Alarmzeichen automatisch erkennen

Der Tunnelbau im Untergrund einer Stadt erfordert aus Sicherheitsgründen völlig andere Überwachungs-massnahmen als bei einem Tunnel im Gebirge. Menschen, Gebäude und Verkehrswege dürfen auf keinen Fall zu Schaden kommen. So einfach ist dieser Forderung allerdings nicht zu entsprechen. Davon zeugen Zwischenfälle vom Frühling 2009, wo als Folge des U-Bahnausbaus in Köln die Stadtbibliothek einstürzte und in Zürich aufgrund von Bauarbeiten an der Durchmesserlinie der Bahnhofplatz einzubrechen drohte.



Tachymeter im Einsatz in luftiger Höhe beim HB Zürich.

Damit die geforderte Sicherheit gewährleistet werden kann, steht in Zürich beim Bau der Durchmesserlinie Altstetten–Zürich Hauptbahnhof–Oerlikon (DML) ein automatisches Überwachungssystem im Einsatz, das der Bauleitung laufend über allfällige Veränderungen an der Oberfläche und an Gebäuden informiert. Diese Objekte werden vor allem mit geodätischen Messmethoden laufend beobachtet. Ebenso sind aber auch

die neu erstellten Baugrubenabschlüsse oder Tunnelbauten im Auge zu behalten. Diese Überwachungen erfolgen zu einem grossen Teil mit geotechnischen Messinstrumenten.

### Ein Pionierprojekt

Beim Überwachungssystem der 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. Mit der Ausschreibung wurde Stephan Eisenegger, Fachbereichsleiter Fahrbahn/Geomatik bei den SBB, betraut. «Bei diesen Ausschreibungen gab es Momente, in denen mir wegen der riesigen Dimension und Verantwortung manchmal etwas mulmig wurde», gesteht Stephan Eisenegger. «Da weltweit keine Referenzobjekte dieser Grössenordnung bestehen, stellte sich mir die Frage: Wie soll ich vorgehen? Die Herausforderung bestand für mich vorrangig darin, eine wirtschaftlich optimierte Lösung zu finden.» Stephan Eisenegger erstellte Leistungsblätter, die ihm ein Vergleichen ermöglichten. Schliesslich entstanden 73 Blätter mit 315 einzelnen Positionen. «Wir benötigten über siebzig Tachymeter sowie Hunderte von Prismen und Schlauchwaagen.»

Dafür musste eine neue Software für die Überwachung und Visualisierung entwickelt werden, weil auf dem Markt noch keine diesem Projekt entsprechende existierte. Hinzu kam, dass die Zeit dafür knapp bemessen war. In dieser Phase fragte sich Stephan Eisenegger manchmal, ob das alles denn je funktionieren würde bzw. ob sie es schaffen würden, ein Projekt in dieser Grössenordnung mit einer so enorm hohen Datenmenge bewältigen zu können. «Diese Unsicherheit in der Zeit der Submissionsanalyse war anspruchsvoll, denn wir konnten auf kein Unternehmen zurückgreifen, das in diesem Umfang Erfahrungen aufweisen konnte.» Für die Bauleitungen und die beteiligten Bauingenieure war ein gemeinsames Monitoringportal mit einer Visualisierung der Gesamtheit aller Messungen aus den geodätischen und geotechnischen Überwachungen erwünscht, um die Entwicklung der Boden- oder Gebäudeverformungen besser beurteilen zu können. Die lange Bauzeit von beinahe sechs Jahren und die erforderliche Beobachtungsintervalle von vorwiegend 30 bis 60 Minuten waren ausschlaggebend, dass aus wirtschaftlichen Gründen mehrheitlich automatische Überwachungssysteme zum Einsatz kommen. Man wollte eine einheitliche Resultatvisualisierung, die nicht bei den Projekt-Abschnittsgrenzen aufhört, sondern ohne Schnittstellen weitergeht.

## Das Messkonzept

Das Messkonzept der beauftragten Firma Terra Vermessungen AG beruht auf dem Dreistufenkonzept «Steuerung und Berechnung», «Verarbeitung und Alarmierung» sowie «Visualisierung und Webzugriff». Verschiedene Instrumente, die je nach Messziel eingesetzt werden, führen laufende Messungen durch: Tachymeter, Schlauchwaagen, Piezometer, chemische Sensoren, Prismen und andere Sensoren. Stephan Eisenegger gibt einen Einblick in die Grösse des Systems: «Es ist schwierig, überhaupt einen Überblick zu bekommen, denn das System muss täglich rund 350 000 Messwerte bewältigen. Über die ganze Bauzeit hinweg sieht das Messkonzept etwa 3000 Prismen, 500 Schlauchwaagen und 70 Tachymeter vor. Es galt, diese sinnvoll einzusetzen. Bei Hausfassaden, die sich seitlich verschieben bzw. kippen können, kommen zwangsläufig Tachymeter zum Einsatz. Bei vertikalen Verschiebungen, also wenn der Boden sich setzt, kann es sinnvoller sein, Schlauchwaagen einzusetzen.» Auf der ganzen Strecke sind rund zwanzig Knoten vorgesehen, die mit PCs versehen sind. An diesen Knoten werden die verschiedenen Gruppen von Messpunkten gesammelt. Deren Resultate werden per Internet in das Büro der Firma Terra weitergeleitet. Die Protokolle sind webbasiert. Im Internet sind die aktuellsten Messungen sofort ersichtlich. Zugangsberechtigte Personen sind so in der Lage, laufend zu kontrollieren, was sich auf welchem Abschnitt oder an welchem Objekt verändert oder nicht. Es ist auch ersichtlich, was bei welchem Tachymeter oder Prisma geschieht. Ergänzend zu diesen automatischen Messungen sind auch manuelle Messungen notwendig. Dies ist dann der Fall, wenn beispielsweise an denkmalgeschützten Objekten keine Installationen angebracht werden dürfen. Die Messintervalle sind dann viel grösser. Es gab und gibt immer noch Vandalenakte im öffentlichen Raum, bei denen Sensoren mutwillig zerstört wurden bzw. werden. Der Unterhalt dieses Überwachungssystems ist sehr intensiv.

## Zurzeit eingesetzte Messinstrumente

### Automatische Messungen

45	Tachymeter
2320	automatisch gemessene Prismen
380	Schlauchwaagensensoren
3	GPS-Empfänger
39	Neigungssensoren
7	Piezometer
6	Ankerkraftmessstellen
2	Ketteninklinometer
3	PH-Wert, elektrische Leitfähigkeit
4	Vortriebsstände Tunnelvortrieb
1	Trübung

### Manuelle Überwachung

967	Nivellementpunkte
20	Vertikalinklinometer
5	Neigungsmessstellen
7	Gleitdeformermessstellen
1	PH-Wert
6	Extensometermessstellen

### Wie es funktioniert ...

Die Überwachungspläne der Projektverfasser liefern die verbindlichen Grundlagen und Planungsvorgaben für den Überwachungsingenieur. Darin sind die notwendigen Überwachungsaufgaben nach Objekten festgehalten. Ebenso sind die Vorgaben zu den einzelnen Messungen, wie Genauigkeit, Messintervalle oder Grenzwerte festgehalten. Ausgangslage ist ein zulässiger Wert, zum Beispiel die Nutzungsvereinbarung (=100%). Dieser Wert darf während der gesamten Bauzeit nicht überschritten werden. Anpassungen der Messgrenzwerte im Lauf der Bauzeit dürfen nur durch berechtigte Personen vorgenommen werden. Die Messgrenzwerte sind nach Objekten definiert und wurden dreistufig festgelegt. Die drei Stufen umfassen folgende Werte:

### Aufmerksamkeitswert

(35 % des zulässigen Werts)

Dieser Wert entspricht einem unkritischen Messwert. Erhöhte Aufmerksamkeit, verstärkte Überwachung und Sicherheitsvorkehrungen sind allenfalls gefordert. Unmittelbare Massnahmen sind keine erforderlich.

### Alarmwert (50 % des zulässigen Werts)

Der Alarmgrenzwert entspricht einem kritischen oder unzulässigen Messwert (z.B. Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit und Funktionstüchtigkeit, des Bahnbetriebs). Ein Überschreiten des Alarmwerts hat in der Regel Massnahmen zur Folge.

### Interventionswert (70 % des zulässigen Werts)

Bei Überschreiten des Interventionswerts sind unmittelbare Massnahmen erforderlich, da ein kritisches Ereignis oder eine Gefahrensituation droht (z. B. Instabilität, Verlust der Tragfähigkeit oder Behinderung des Bahnbetriebs). Durch die Abstufungen der Grenzwerte wird herausgefiltert, ob und wenn ja, eine Intervention notwendig wird. Nur wenn in zwei nacheinander folgenden Messungen der zulässige Grenzwert überschritten wird, erfolgt eine Alarmmeldung. Ein einziges Resultat genügt nicht, denn die bauunabhängigen Einflussfaktoren sind zu vielseitig. So können zum Beispiel tägliche Temperaturschwankungen zu Bewegungen im tiefen zweistelligen Millimeterbereich an Objekten wie Perrondächer oder Hausfassaden führen. Am Anfang waren dort die Grenzwerte zu eng gesetzt und mussten ent-

## Interview



Stephan Eisenegger  
Fachbereichsleiter  
Geomatik

### Herr Eisenegger, waren Sie beim Erarbeiten der Ausschreibungsunterlagen allein, oder standen Ihnen Fachleute zur Seite?

Das Submissionskonzept wurde von mir erstellt. Bei dieser Ausschreibung konnte ich mich auf die Erfahrungen beim Zimmerberg-tunnel abstützen. Beim Erarbeiten der Unterlagen war ich mehr oder weniger auf mich selber gestellt. Zu diesem Zeitpunkt war der Projektverfasser, welcher das erforderliche Überwachungskonzept erstellte, noch nicht bekannt. Ich konnte daher niemanden fragen, was wann wie überwacht werden sollte und in welcher Intensität.

In der späteren Ausschreibungsphase selbst fand ich keine Unterstützung, denn die Fachpersonen der potenziellen Projektgenieure hatten erstens keine Zeit und zweitens wollten sie sich selber an der Vermessungsausschreibung beteiligen. Im öffentlichen Beschaffungswesen darf ein Mitbewerber sich nicht gleichzeitig als Berater betätigen, also hielten sie sich fern.

### Wie verlief die Ausschreibung selber?

Im Vermessungsbereich gibt es wenige so grosse Projekte. In der Ausschreibungsphase wirkte daher eine Bewertungskommission mit. In diese Kommission nahmen drei Vermessungsfachleute, ein Bauingenieur als Vertreter des Projekts und ein externer Bauingenieur mit Stabsfunktionen Einsitz. Das Ausschreibungsverfahren selbst wurde von einer Kommission begleitet, in der Fachleute von den SBB aus dem Beschaffungs- und Finanzbereich und auch ein Jurist vertreten waren. Wir mussten nämlich mit Einsprachen rechnen. Das Wichtigste war, dass uns kein Verfahrensfehler unterlief. Meine Funktion bestand darin, die Ausschreibung vorzunehmen.

### Wie lange dauerte diese Ausschreibungsphase?

Diese Phase dauerte rund zwei Jahre. Zwischen der ersten und der zweiten Stufe mussten wir eine Pause von einem halben Jahr einschalten, weil die Vergabe der Projektverfasser finanziell nicht abgesichert war.



Mit den Tachymetern werden Prismen angezielt, die an den zu überwachenden Objekten befestigt sind. Hier ein Prisma mitten im Strassenverkehr an der Löwenstrasse.



Für die Setzungsmessungen werden mehrheitlich Schlauchwaagen eingesetzt.

sprechend angepasst werden. Auf die Frage nach Fehlalarmen, meint Stephan Eisenegger: «Sie sind ein Dauerthema. Wir haben 350 000 Grenzwertabfragen pro Tag. Es ist für einen Bauleiter ärgerlich, wenn er am Samstag in der Nacht per SMS durch einen Alarm geweckt wird und es sich dann herausstellt, dass diese Meldung durch irgendetwas anderes als den Tunnelbau ausgelöst wurde.» Es sei auch immer eine Frage, was denn ein Fehlalarm auslöse. Wurde ein Prisma verletzt oder verändert? Laut Stephan Eisenegger löst auch die Auslegung der Grenzwerte immer wieder Diskussionen aus. Er fügt an: «Es ist mit bewusst geworden, dass das Zusammenspiel dieser Grenzwerte bei den automatischen Messungen ganz anders ist als bei manuellen Messungen. Wir müssen mit den Grenzwerten grosszügiger sein, weil so viele Einflussfaktoren mitspielen. In Zukunft werden automatische Überwachungssysteme an Bedeutung gewinnen und in unterschiedlichen Projekten eingesetzt werden», ist Stephan Eisenegger überzeugt.

**Was kostet diese Überwachung?**

Die DML ist ein innerstädtisches, unterirdisches Bauprojekt, bei dem bezüglich Überwachung andere Kriterien zum Zug kommen, als bei einem Tunnel in den Ber-

gen. Schon aus den Erfahrungen, die beim Zimmerbergtunnel gewonnen wurden, war klar, dass bei der DML unbedingt ein Überwachungssystem aufgebaut werden muss. Die Submissionssumme für die Bauherren- und Bauleitungsvermessungen beträgt bei der DML rund 16 Mio. Franken. Davon werden rund 10 Mio. Franken alleine für das Überwachungssystem eingesetzt, was zeigt, welche hohe Bedeutung dieses hier einnimmt. Die Problematik bei der DML besteht darin, dass die Tunnelbohrmaschine (TBM) bei einer sehr niedrigen Überdeckung den Baugrund durchfährt. Strassen, Häuser und der Bahnhof stehen darüber und müssen überwacht werden. Während unterirdisch eine neue Bahnlinie und unter dem Hauptbahnhof ein neuer Bahnhof gebaut wird, muss das Leben darüber möglichst reibungslos weitergehen. Ein weiterer Grund für die hohen Kosten ist die Dauer des Projekts. Stephan Eisenegger führt aus: «Im Unterschied zum Zimmerbergtunnel, wo das Überwachungssystem sozusagen mit der TBM durch den Tunnel fährt, ist bei der DML über sechs Jahre hinweg eine permanente Überwachung gefordert. Die DML-Strecke wird über sechs Jahre mit einer sehr grossen Intensität über-

wacht.» Entscheidend für die hohen Kosten bei diesem Projekt sind also einerseits die lange Dauer und andererseits die unglaublich grosse Zahl an Objekten, die überwacht werden.

**Überwachung nach dem Bau?**

Wenn die DML einmal fertig erstellt ist, wird das Überwachungssystem wieder demontriert. Es werden nur ein paar Punkte gesetzt, die sporadisch manuell überprüft werden. Nach Aussage von Stephan Eisenegger hat sich das System bisher bewährt. Aber es ist erst ausgestanden, wenn die DML dereinst in Betrieb sein wird. Und das wird erst in rund vier Jahren der Fall sein.

Hannes Gysling und Monica Hediger

Info:  
Stephan Eisenegger  
Projektmanagement Fahrbahn/Geomatik  
Kasernenstrasse 95/97  
8021 Zürich  
Tel. 051 222 37 37  
stephan.eisenegger@sbb.ch

Die Durchmesserlinie wurde in «By Rail.Now!» 2008 ausführlich beschrieben:  
www.swissengineering-stz → Specials → By Rail