

SBB-Tunnel Zürich-Thalwil

Vermessungsaufgaben aus Sicht des Bauherrenvermessers

Die vom Bauherrn eines grossen Tunnelprojektes normalerweise direkt in Auftrag gegebenen und betreuten Vermessungsarbeiten umfassen detaillierte a priori Genauigkeitsanalysen, die Erstellung des oberirdischen Grundlagentznetzes, Kontrollen des Vortriebs untertage, Deformationsmessungen von gefährdeten, bestehenden Objekten (Häusern, Werkleitungen, Gleisen etc), baubegleitende Absteckungen und Dokumentationen über das Bauwerk.

Die SBB haben diese Arbeiten der Ingenieurgesellschaft IG ZI-HI, bestehend aus terra vermessung ag, Zürich, Schneider Ingenieure AG, Chur und Emch + Berger AG, Zürich übertragen.

Urs Müller, Franz Krebs

1. Grundlagentznetz

Der Tunnelvortrieb über die beiden Teilstücke vom Meinrad Lienert-Platz in der Stadt Zürich bis nach Littli im Kanton Zug erstreckt sich über ca. 22 km und wird nach dem neuen Gotthard Basis-Tunnel der zweitlängste Tunnel der Schweiz. Bauwerke dieser Grössenordnung können nicht einfach vom bestehenden, offiziellen Triangulationsnetz aus gebaut werden, da die Genauigkeit und Zuverlässigkeit den gestellten Anforderungen nicht genügt.

Grundlagentznetze über so grosse Flächen sind im schweizerischen Mittelland mit konventionellen Mitteln (Winkel- und Distanzmessungen) nur mit sehr grossem Aufwand zu bestimmen. Die dicht bewaldeten Hügel verhindern direkte Visurlinien zwischen benachbarten Geländekammern. Als wirtschaftlich optimierte und den Projektanforderungen genügende Lösung wurde das neue Grundlagentznetz als Kombination von fünf lokalen, terrestrisch gemessenen Netzen bei allen Angriffsstellen mit einem übergeordneten, lokalen GPS-Netz bestimmt. Zur unabhängigen Kontrolle des gesamten Netzes wurden fünf LV 95 Punkte der Landestopographie mit einbezogen.



Bei neuen Bahnprojekten steht jedoch nicht die Anbindung an ein übergeordnetes Fixpunktnetz im Vordergrund. Von grösserem Interesse sind Netzdifferenzen bei den drei Knotenpunkten zu den bestehenden Gleisanlagen. Im vorliegenden Projekt musste eine Lösung mit möglichst geringen Netzwängen beim ca. ein Kilometer langen Anschluss Zürich, beim Anschluss Thalwil und beim Anschluss Littli gefunden werden. Dabei wollten wir von einem zwangsfreien, homogenen Gesamtnetz nicht abweichen. Dies führte zur definitiven Lagerung des Werksnetzes auf ausgewählten Festpunkten des SBB-Netzes bei den oben erwähnten Knotenpunkten.

Die strenge, kombinierte Netzausgleichung bestätigte die a priori Genauigkeitsberechnung. Die erreichte horizontale Genauigkeit im Netz beträgt ca. ± 3 mm (1σ), mit Restklaffen zum Bahnfixpunktnetz bis ca. 50 mm.

Für das höhenmässige Grundlagentznetz wurde ein Präzisionsnivellement über die ganze Länge gemessen. Nach Möglichkeit sind bestehende Nivellementzüge mitverwendet worden. Zwischen diesen Zügen und den einzelnen Angriffsstellen mussten neue Anschlüsse bestimmt werden. Die Restklaffen zum Bahnfixpunktnetz betragen bis 5 mm.

Die Festlegung der definitiven Netzlagerung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den SBB und den projektierenden Ingenieuren. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen für alle Vermessungsbeteiligten dürfen dabei nicht unterschätzt werden, denn Restklaffen von 50 mm können im Bahnbereich nicht einfach ausgeglichen werden. Die bestehenden Bahnfixpunktnetze in Zürich und Littli wurden von

der SBB entsprechend angepasst. Die ausgewiesenen Restklaffen in Thalwil zeigen alle in Gleisrichtung und sind deshalb für dieses Bauvorhaben nicht relevant.

Der Versicherung der Grundlagenpunkte ist grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Nebst der Stabilität ist auch der Gebrauchstauglichkeit von über 15 Jahren Rechnung zu tragen. Dies ist vor allem in städtischen Bereichen nicht einfach zu erfüllen.

2. Tunnelkontrollen

Auf der Allmend in der Brunau wurden, für Schweizer Verhältnisse eher unkonventionell, zwei vertikale, runde Startschächte mit Durchmessern von 22 m bzw. 20 m und Tiefen von 30 m erstellt. Die beiden Schächte liegen nur 70 m auseinander und dienen während der ganzen Bauarbeiten dem Abtransport des Aushubmaterial sowie der Zufuhr aller für den Bau notwendigen Betonelemente und Materialien. Selbstverständlich erfolgt auch die Lüftung, Strom- und Wasserversorgung etc. über die gleichen Schächte.



Mit detaillierten a priori Genauigkeitsberechnungen wurde ein wirtschaftliches und den für die Vermessung nicht gerade optimalen Ausgangsbedingungen genügendes Messkonzept entwickelt. Als Genauigkeitsvorgaben mussten folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Toleranz Startpunkt: Höhe ± 5 mm, Lage ± 10 mm
- Toleranz Brunau \rightarrow Meinrad Lienert-Platz: Höhe ± 30 mm, Lage ± 100 mm, ca. 3 km
- Toleranz Brunau \rightarrow Thalwil: Höhe ± 30 mm, Lage ± 150 mm, ca. 7 km

Die auf den ersten Blick recht grosszügigen Toleranzen schmelzen jedoch bei näherer Betrachtung wie Schnee in der Sonne. Die Toleranzen sind nämlich als maximal zulässige Fehler über die ganze Vortriebslänge bis zum jeweiligen Durchschlag definiert und müssen die zufälligen und systematischen Fehleranteile enthalten. Diese Aufteilung ist sehr entscheidend, denn schlussendlich ist der Vermessungsunternehmer für die Einhaltung der Toleranz alleine verantwortlich. Erschwernisse durch Sichtbehinderungen durch feste Installationen in den Startschächten und starke Refraktionseinflüsse in den Portalbereichen erschweren die a priori Berechnungen zusätzlich.

Die Aufteilung der gesamten Toleranz in zufällige und systematische Fehleranteile führte anfänglich zu umfangreichen Diskussionen aller Beteiligten. Erfahrungswerte von ähnlichen Bauvorhaben sind nur sehr beschränkt vorhanden.

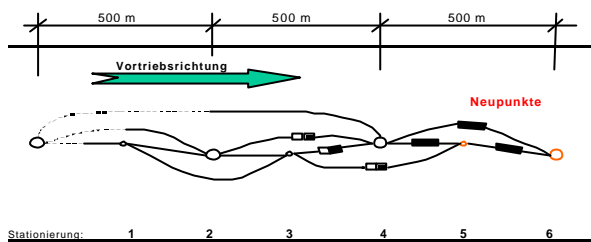
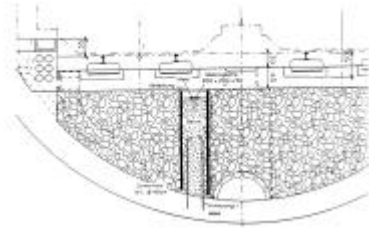


Diese Aufteilung ist jedoch von sehr entscheidender Bedeutung, denn a priori Berechnungen können nur den Anteil der zufälligen Fehler modellieren. Die systematischen Fehleranteile können bei Tunnelvermessungen die Grösse der zufälligen Fehler leicht übersteigen. Wir haben uns in Absprache mit dem Auftraggeber geeinigt, den Fehleranteil für die systematischen Fehler bei beiden Vortriebsstrecken mit 50 mm zu definieren. Damit bleiben für die Strecke bis Meinrad Lienert-Platz noch 50 mm für die zufälligen Fehleranteile. Da diese als Toleranz definiert sind, entsprechen sie bei 98.8 % Eintreffenswahrscheinlichkeit dem 2.5-fachen mittleren Fehler. Das der a priori Berechnung zu Grunde liegende Messkonzept muss also einen mittleren Querfehler von ± 20 mm (1σ) über die ganze Vortriebslänge garantieren. Die maximalen Werte der Zuverlässigkeit wurden mit 50 mm definiert.

Um die Genauigkeitsvorgaben wirtschaftlich erfüllen zu können, müssen Präzisions-Kreismessungen durchgeführt werden (siehe nachfolgender Bericht Prof. Dr. Heister). Die sehr steilen Visuren durch die Vertikalschächte in der Brunau erlauben nur einen Vortrieb unter Berücksichtigung der definierten Toleranzen von ca. 1 km. Ueber die ganze Vortriebsstrecke sind drei Kreiselkontrollen notwendig. Die Lotungen durch die beiden Lüftungsschächte „Lätten“ und „Kilchberg“ der

Teilstrecke Brunau – Thalwil dienten als zusätzliche Kontrolle und wären aus rein fehlertheoretischen Überlegungen nicht zwingend notwendig.

Im Tunnel sind im Abstand von ca. 500 m Fixpunkte auf die Betonelemente (Tübbinge) aufbetoniert worden und mit einem Schacht abgedeckt (siehe Skizze). Auf Nahversicherungen wurde verzichtet, da sich bei lokalen Deformationen in der Regel der ganze Betonring bewegt. Zwischen diesen Hauptpunkten wird jeweils ein zusätzlicher Hilfspunkt in einem Entwässerungsschacht bestimmt. Diese Zwischenpunkte sind zwingend notwendig, um auch Vermessungen der Unternehmung während der Vortriebsarbeiten (schlechte Sicht durch Staub etc.) ausführen zu können.



Die eigentlichen Vortriebskontrollen werden immer als übergreifender Polygonzug gemessen. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass die Visurlinien absolut frei sind. Der Minimalabstand zu Tunnelwänden, Fahrzeugen etc. darf 1 m keinesfalls unterschreiten.

Die Lüftung sollte ausgeschaltet, die Sicht aber trotzdem gut sein. Der Vortrieb der TBM (Tunnelbohrmaschine mit ca. 12.3 m Durchmesser) wurde in der Regel am Wochenende eingestellt. Deshalb führten wir die Vortriebskontrollen nach Möglichkeit am Wochenende durch.

In der Schweiz ist es üblich, dass der Vermesser der Unternehmung die jeweils neu erstellten ein bis zwei Punkte einmisst und der Bauherrenvermesser diese nach Bedarf kontrolliert. Für den weiteren Vortrieb werden die Messresultate des Bauherrenvermessers verwendet.

Nach ca. 2.5 km Vortrieb begann die Unternehmung mit dem Ausbruch des ersten Lüftungsschachtes „Lätten“. Bis die erste Lotung durch diesen ca. 60 m tiefen Schacht erfolgen konnte, legte die TBM mit Spitzentagesleistungen von über 40 m weitere 1.5 km zurück. Die optische und mechanische Lotung, verbunden mit einer Präzisionsdistanzmessung zeigt eine horizontale Abweichung von 16 mm und eine Höhendifferenz von 5 mm. Diese Differenzen wurden gewichtet ausgeglichen und die Fixpunktkoordinaten entsprechend umtransformiert.

Nach dem gleichen Verfahren erfolgten die Messungen und Ausgleichungen nach 4.5 km beim Schacht Kilchberg.

Vom zweispurigen Haupttunnel aus wird der Anschluss Thalwil mit zwei konventionell zu erstellenden Einspurröhren realisiert. Der Durchschlag wird im Sommer 2001 erwartet.

Aus politischen und finanziellen Gründen konnte die TBM den 2. Teil des Bauvorhabens, den weiteren Vortrieb von Thalwil bis Littl (weitere 11 km) nicht direkt fortsetzen. Die TBM wurde deshalb nach ca. 5.6 km Vortrieb zerlegt und abtransportiert. Nach heutigem Projektstand wird der zweite Teil dieses Tunnelbauwerkes ab 2006 in Gegenrichtung von Littl Richtung Thalwil erstellt.

Nach dem Ausfahren der ersten TBM aus der Installationszone Richtung Thalwil montierte die Unternehmung eine zweite TBM in den gleichen Startschächten mit Zielrichtung Zürich. Vermessungstechnisch stellten sich hier keine grossen Probleme mehr, denn als Startrichtung konnte die überprüfte Basis der ersten TBM verwendet werden. Der Durchschlag beim Meinrad Lienert-Platz, nach Durchfahren einer sehr heiklen Lockergesteinszone im Grundwasser, wird Ende 2000 erwartet.

3. Setzungsmessungen

Im Portalbereich Thalwil und auf der ganzen Strecke Brunau bis Meinrad Lienert-Platz unterfährt die TBM Häuser, Bahngleise, Strassen mit Werkleitungen etc. in sehr geringer Tiefe. Der Baugrund ist über grössere Strecken sehr schlecht und der Grundwasserspiegel liegt teilweise über dem Tunnelfirst.

Als vorsorgliche Sicherungsmassnahme wurden über diesen ca. zwei Kilometer langen Bereich ca. 800 Höhenkontrollpunkte an Häusern, Schienen, Oeltanks, Strassen etc. versetzt und eine Nullmessung durchgeführt. Verteilt über die ganze Bauzeit kontrollierten wir diese Objekte mit ca. 1100 örtlich begrenzten Messungen.

Im kritischsten Abschnitt werden seit über einem Jahr sehr dichte, seitliche Bohrungen, verbunden mit stabilisierenden Injektionen, aus einem vorgängig erstellten Pilotstollen erstellt. Dieser 470 m lange Pilotstollen mit 3.5 m Durchmesser läuft parallel zum Hauptstollen.

Durch die Injektionen sind alle darüber liegenden Objekte durch Hebungen gefährdet. Vor Inangriffnahme dieser Arbeiten sind im gefährdeten Bereich Höhenkontrollpunkte angebracht und es ist eine Nullmessung durchgeführt worden. Täglich werden ausgewählte Punktgruppen nivelliert und die Resultate innerhalb von ca. zwei Stunden der Bauleitung in graphischer Form per e-mail übermittelt.



Die letzten 700 m Vortrieb im Lockergestein stellen die grösste Gefährdung dar. Zur weiteren Risikominimierung hat sich die SBB entschlossen im jeweiligen Bereiche der TBM die Objekte an der Oberfläche permanent mit einem automatisch messenden System zu überwachen.

Die eigene Software für drei unabhängig messende Tachymetersysteme, die dem Tunnelvortrieb entsprechend laufend umgesetzt werden, musste den speziellen Bedürfnissen angepasst werden. Für die Fixierung der Kontrollpunkte im stark beanspruchten Strassenbereich musste auch zuerst eine Lösung gefunden werden. Die Messstationen sind so ausgerüstet, dass jede von einem lokalen, eigenen Computer gesteuert wird. Die Auswertung erfolgt ebenfalls automatisch vor Ort. Die Messresultate werden bei normalem Betrieb täglich zusammengefasst und in graphischer Form per GSM-Modem als e-mail direkt an alle Interessierten versandt. Beim Ueberschreiten von definierten Alarmwerten werden ebenfalls automatisch e-mails, Faxe und SMS-Meldungen (Natel) übermittelt.

Die Ueberwachung der Messstationen erfolgt per Modem direkt von unserem Büro aus.

4. Bauwerksüberwachung / Gleisüberwachung

Bei den Anschlüssen an die bestehenden Bauwerke müssen im gleis- und gleisnahen Bereich grössere Anpassungen realisiert werden. Die Sicherheit der befahrenen Gleise muss während der ganzen Bauzeit gewährleistet sein. Dazu sind die unter Betrieb stehenden Gleise höhenmässig periodisch zu überprüfen. Die Sicherheit des Bahnbetriebs, wie auch des eingesetzten Messpersonals muss dabei immer im Vordergrund stehen.

Im Bereich des Kohledreiecks, kurz vor der Einfahrt in den Hauptbahnhof Zürich, ist der Aufwand für das Sicherheitspersonal durch das grosse Verkehrsaufkommen und die sehr schlechten Sichtverhältnisse oft grösser als der eigentliche Messaufwand.

Gleise werden in der Regel periodisch nivelliert und bei Ueberschreiten der bahnsseitig definierten Richtwerte vom entsprechenden Bahndienst umgehend wieder in die Sollhöhe gebracht. Zusätzlich werden an Spund- und Rühlwänden lagemässige Kontrollmessungen mit Tachymetern ausgeführt.

Für die stark frequentierten Gleise in Zürich haben wir eine einfachere und schnellere Lösung für die Höhenkontrolle der Gleise entwickelt. Eine einfachere Ausführungsart des gemeinsam mit der Fachhochschule Burgdorf entwickelten kinematisch messenden Gleismesswagens kommt hier als Testversion zum Einsatz.



Längs- und Querneigungssensoren, verbunden mit einer Distanzmessung werden von einem Computer on-line ausgewertet und die Differenzen gegenüber einer Nullmessung berechnet und graphisch ausgewiesen. Ein ca. 600 m langes Gleisstück kann von einer Person mit der ca. 25 kg schweren Messausrüstung in weniger als 10 Minuten gemessen und beurteilt werden.

5. Kontrolle Rohrschirm Meinrad Lienert-Platz



Vor der Zielbaugrube beim Meinrad Lienert-Platz durchfährt die TBM sehr schlechten Baugrund mit einer minimalen Ueberdeckung von ca. 3.50 m. Deshalb wurde in einer Zone von ca. 160 m Länge ein Rohrschirm erstellt. Dieser besteht aus 10 einzeln im Pressvortrieb erstellten Rohrsträngen mit 1.25 m Durchmesser und bildet ein „Schutzdach“ das die TBM dann unterfahren kann. Um eine optimale Wirkung zu erreichen, müssen die einzelnen Rohrstränge möglichst genau vorgepresst werden. Dies stellt an die Unternehmung grosse Anforderungen, denn die Rohrstränge müssen horizontal in einer Klothoide und vertikal in einem Ausrundungsradius liegen.

Die Aufgabe des Vermessers bestand in der Ueberprüfung des Vortriebes. Trotz des geringen Durchmessers von nur 1.25 m und den eher knappen Luftverhältnissen musste in jedem Rohrstrang ein Polygonzug bis zur Brust gemessen werden. Die Messungen konnten hier nur über angeschraubte Spezial-Konsolen erfolgen, da ein Kreuzen von Personal sonst nicht mehr möglich war. Als zusätzliche Erschwernis machten uns die enorm grossen Refraktionseinflüsse durch starke Temperaturdifferenzen und wandnahe Visuren zu schaffen. Vertikale Refraktionseinflüsse bis 70 mm auf Distanzen von weniger als 80 m waren durchaus üblich.



6. Absteckung offene Strecke

Für die Absteckung der offenen Strecken fanden einerseits die bestehenden Gleisversicherungsbolzen der SBB Verwendung und andererseits die für das Grundlagennetz bestimmten Fixpunkte. In diesen Zonen musste klar unterschieden werden, welches Fixpunktnetz für welche Absteckungen verwendet werden muss. Dank klarer Absprachen führte dies zu keinen Problemen.

Die Absteckungen erfolgten nach den Gepflogenheiten der SBB. Verwendet wurde das SBB eigene Programmpaket corail. Dieses erlaubt die Berechnung einer „Freien Station“ auf Grund der Gleisversicherungspunkte. Der Vorteil dieser Absteckungsmethode liegt in der dreidimensionalen Verfügbarkeit der Daten für Absteckungen und Kontrollen von Weichen, Gleisen etc. Die Absteckung von Einzelpunkten (Mastfundamente, Schächte etc.) erfolgte stets indirekt. Dabei wird eine Markierung am nächstliegenden Gleis angebracht und der kürzeste Abstand zum Punkt direkt an die Schiene geschrieben. Den im Bahnbereich tätigen Unternehmern ist dieses Vorgehen gut bekannt, die Umsetzung bereitete deshalb keine Probleme.

Als grösstes organisatorisches Problem ist auch hier die Sicherheit zu nennen. Ohne entsprechendes und genehmigtes Sicherheitsdispositiv und der für diese Strecke ausgebildeten Sicherheitswärter darf der Gleisbereich nicht betreten werden. Dies gilt auch für Begehungen und Vorbereitungsarbeiten.

7. Dokumentation über das Bauwerk

Bei einem Tunnelbau wird selbstverständlich nicht nur ein Loch erstellt. Unzählige Leitungen und bahntechnische Objekte werden während der ganzen Bauzeit erstellt und teilweise vergraben. Den später nicht mehr direkt sichtbaren Objekten muss während der Bauphase grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden. Sie müssen laufend eingemessen und so aufbereitet werden, dass sie später in die DfA (Datenbank der festen Anlagen) integriert werden können.

Alle weiteren Objekte werden periodisch, kurz vor Vollendung von Teilabschnitten des Gesamtbauwerkes, eingemessen und entsprechend dokumentiert werden. Als Basis für diese Arbeiten dienen die neu bestimmten Gleisversicherungspunkte.

8. Schlussbemerkung

Die uns gestellten Aufgaben waren fachlich wie auch terminlich teilweise recht anspruchsvoll. Das gute Klima zwischen allen Beteiligten an diesem grossen Bauvorhaben, verbunden mit den sehr interessanten Arbeiten, führte zu einer grossen Motivation aller Beteiligten.

Auch hier zeigte sich sehr deutlich, dass einer guten Kommunikation zwischen allen Beteiligten grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Nur so kann ein firmenübergreifendes Team mit einem gemeinsamen Ziel geschaffen werden. Dazu tragen auch die im Tunnelbau noch recht zahlreichen Feiern wie „Anfahren“ der TBM, 1000. Tübbing, Barbarafeier, Durchschläge etc. bei.

Wir freuen uns heute schon auf die erneute Herausforderung bei der Realisierung des 2. Teils von Littli bis Thalwil im Jahre 2006.

IG AlpTransit ZI-HI
c/o terra vermessungen ag, Zürich
Urs Müller, Franz Krebs
Obstgartenstrasse 7
8035 Zürich
e-mail: terra@terra.ch