Herausforderungen für die Vermessung beim Bau der Neuen Alpentransversale am Gotthard

F. Ebneter

Mit dem Bau der Neuen Alpentransversale am Gotthard entsteht auf der Nord-Süd-Achse durch die Schweiz eine Hochleistungs-Flachbahn. Das Herzstück dieses Projektes ist der Gotthard-Basistunnel, der mit seinen 57 km zum längsten Eisenbahntunnel der Welt wird. In diesem Beitrag werden einige der herausfordernden Ingenieurvermessungsaufgaben aus diesem Projekt vorgestellt. Neben der Technik wird speziell auch die Organisation der Vermessung und die interdisziplinäre Zusammenarbeit unter den vielen Projektbeteiligten gezeigt.

1 Das Projekt

In der Schweiz entsteht mit den beiden Alpentransversalen am Lötschberg und am Gotthard die Infrastruktur, mit der das verkehrspolitische Ziel der Verlagerung des Transitverkehrs auf der Nord-Süd Transversalen von der Strasse auf die Schiene umgesetzt werden kann.
Während auf der Lötschberg-Achse mit dem 34,6 km langen Lötschberg-Basistunnel am 9. Dezember 2007 der fahrplanmässige Vollbetrieb aufgenommen wurde, ist die Alpentransversale am Gotthard noch im Bau. Die Betriebsaufnahme ist auf 2017 geplant. Die zukunftsgerichtete Nord-Süd-Verbindung durch die Alpen am Gotthard erstreckt sich von Zürich bis Lugano mit den drei Basistunneln Zimmerberg (Gesamtlänge 20 km), Gotthard (57 km) und Ceneri (15 km). So entsteht nicht einfach eine Hochleistungsbahn, sondern eine Flachbahn durch den Alpenkamm, deren Scheitelpunkt mit 550 m ü.M. gleich hoch liegt wie die Stadt Bern. Zum Vergleich: Der Scheitelpunkt der bestehenden Bergstrecke liegt auf 1150 m ü.M.
Durch den Ausbau der Bahninfrastruktur wird es möglich, im Güterverkehr zusätzliche und schwerere Züge zu führen. Dies ergibt eine Kapazität von rund 40 Mio. t Gütern pro Jahr und damit etwa eine Verdoppelung gegenüber heute. Die Güterzüge von mehr als 2000 Tonnen Anhängelast können ohne Halt und ohne zusätzliche Traktionsmittel durch die Schweiz geführt werden. Als Folge der höheren Kapazität und der größeren Geschwindigkeit rechnet man gegenüber heute mit jährlichen Betriebskosteneinsparungen von mehreren Millionen Franken. Die durchgehende Flachbahn wird die schnellen und wirtschaftlichen Angebote im Güterverkehr ermöglichen, die das Transportgewerbe als Voraussetzung für die Verkehrsverlagerung fordert.
Im Personenverkehr integriert sich die Schweiz mit AlpTransit Gotthard in das europäische Hochgeschwindigkeitsnetz. Die künftigen Reisezüge werden mit mehr als 200 Stundenkilometern über die Neubaustrecken rollen. Die neue Gotthardbahn reduziert die Reisezeit zwischen Zürich und Mailand auf 2 Stunden und 40 Minuten. Das bedeutet für die Bahnreisenden eine Stunde kürzere Fahrzeit als heute und optimale Anschlüsse an das schweizerische und italienische Fahrplansystem in Zürich und Mailand. Allein in der Schweiz werden rund 3 Millionen Personen von der Fahrzeitverkürzung profitieren können.

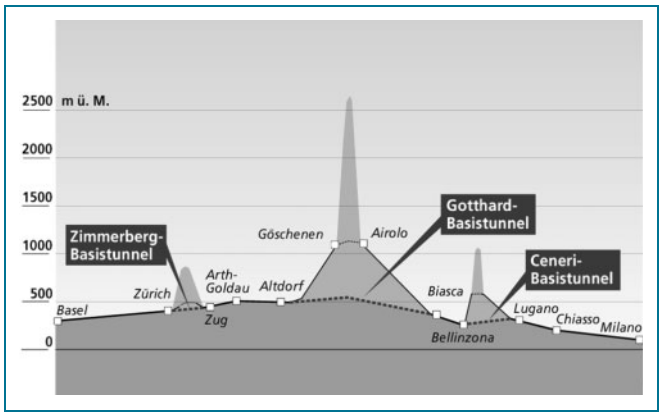

Abb. 1: Höhenprofil der neuen Gotthardbahn

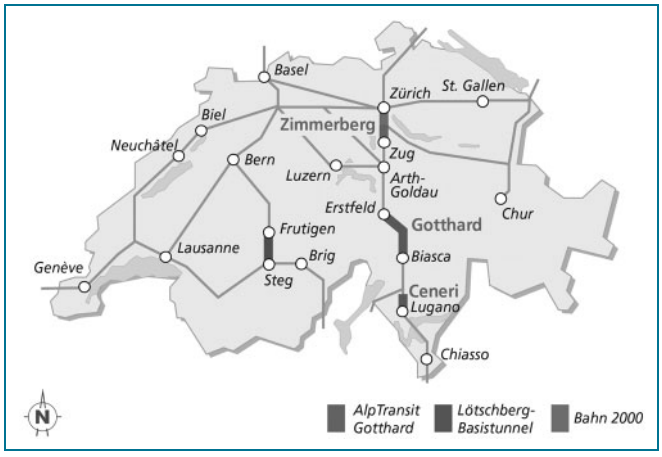

Abb. 2: Nord-Süd Transversalen durch die Schweiz am Gotthard und Lötschberg

Nimmt man noch die benachbarten Regionen Süddeutschland und Mailand hinzu, sind es sogar rund 20 Millionen Menschen.
Auf der Website von AlpTransit Gotthard AG (ATG) www.alptransit.ch finden sich umfassende weitere Informationen zum Projekt und zum aktuellen Stand der Arbeiten.

2 Die Organisation der Vermessung

Bauherrin der neuen Eisenbahn-Alpentransversale, Achse Gotthard, mit den Basistunneln am Gotthard, Zimmerberg und Ceneri ist die AlpTransit Gotthard AG (ATG) mit Sitz in Luzern und Aussenstellen in Altdorf, Sedrun, Faido und Bellinzona. Zurzeit beschäftigt die ATG rund 130 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. In diese Projektleitung sind auch 4 Vermessungsspezialisten integriert. Sie sind verantwortlich für die Gesamtleitung und die übergreifende Konzipierung der Vermessung, für die Ausschreibung und Vergabe der bauherrenseitigen Vermessungsarbeiten und die laufende Überwachung aller Vermessungsarbeiten. Sie werden unterstützt durch einen externen Vermessungsexperten.
Die Durchführung der bauherrenseitigen Vermessungsaufgaben wie die Errichtung des oberirdischen und untertägigen Grundlagennetzes, die Kontrolle der Bauausführung (Geometrie) oder die Überwachung von Deformationen an der Oberfläche und im Tunnel erfolgt durch von ATG beauftragte Vermessungskonsortien. Für komplexe, nicht alltägliche Ingenieurvermessungs-Aufgaben verfügen nur wenig Spezialisten über die entsprechenden Messsysteme und beherrschen die dazu notwendigen Auswerteverfahren. Damit die Verantwortlichkeiten nicht aufgeweicht werden, müssen von den beauftragten Vermessungskonsortien Spezialisten als Subunternehmer organisiert und verantwortet werden.
Die Bauarbeiten für den Rohbau und den Einbau der Bahntechnik werden durch Arbeitsgemeinschaften verschiedener Unternehmungen ausgeführt. In diesen Konsortien sind die Unternehmer-Vermesser für die Vortriebssteuerung, die Detailabsteckungen für den Tunnel-Innenausbau, für Nachweise (Ausbruchprofil, Ebenheit Abdichtungsuntergrund, Innengewölbe etc.) und für Deformationsüberwachung während dem Bau verantwortlich.
In der laufenden Ausführungsphase sind allein am Gotthard-Basistunnel (GBT) über 80 Vermessungsspezialisten engagiert.

3 Die Aufgaben der Vermessung

Jedem Fachmann ist klar, dass bei einem Tunnelbauvorhaben dieser Dimension vielfältige, interessante und anforderungsreiche Ingenieurvermessungsaufgaben zu lösen sind. Die Absteckung langer Tunnels mit grosser Überdeckung und die Steuerung des Vortriebs der Tunnelbohrmaschinen sind die klassischen Beispiele. Eine grosse Verantwortung übernehmen die Vermesser beim Überwachen von Deformationen am ausgebrochenen Tunnel: Mit der Auswertung der Messergebnisse von vielfach automatischen geodätischen und geotechnischen Messsystemen wird die Wirksamkeit von Sicherungsmassnahmen kontrolliert und wenn notwendig durch die Bauingenieure korrigiert. Diese Messungen garantieren die Sicherheit während dem Bau und für die Betriebsphase. Deformationen können aber auch an der Geländeoberfläche über dem Tunnel auftreten. Im folgenden Kapitel 6 wird gezeigt, dass der Tunnelvortrieb mit der dabei entstehenden Gebirgsentwässerung Deformationen 1500 m über dem Tunnel an der Oberfläche verursachen kann. Dies gefährdet 3 Stauanlagen, welche in dieser beeinflussten Zone liegen und die deshalb mit hochgebirgstauglichen Präzisions-Messsystemen ganzjährig überwacht werden.
Daneben gibt es aber auch ‚einfache' Absteckungsarbeiten, die mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit ausgeführt werden müssen, damit keine kostspieligen Nachbesserungen mit entsprechenden Terminverzögerungen entstehen.
Zudem geben neue Messverfahren wie z.B. das Scanning den Vermessern die Möglichkeit, neue Anwendungsgebiete zu belegen. So wird beim Gotthard-Basistunnel (GBT) die Ebenheit des Abdichtungsuntergrundes für das Aufbringen der Folien systematisch und flächendeckend aus Scanneraufnahmen ausgewertet und graphisch präsentiert.

4 Die Absteckung des Gotthard-Basistunnels

Der Gotthard-Basistunnel durchquert auf einer Länge von 57 km verschiedenste Gesteinsformationen der Alpen. Das Tunnelsystem besteht aus zwei einspurigen Röhren, die rund alle 300 Meter durch Querstollen verbunden sind. An den Drittelspunkten in Sedrun und Faido werden Multifunktionsstellen mit Spurwechseln und Nothaltestellen eingebaut. Um Bauzeit und Kosten zu optimieren, erfolgt der Vortrieb gleichzeitig in fünf Teilabschnitten mit unterschiedlichen Längen. Das Gesamtsystem mit einer Gesamtlänge von 153,5 km besteht aus Tunnelröhren, Schächten und Stollen. Davon sind am 1. Januar 2008 bereits 106,8 km oder nahezu 70 Prozent ausgebrochen.
Am 17. Oktober 2007 konnte im GBT der Durchschlag an der Losgrenze zwischen den Teilabschnitten Amsteg und Sedrun gefeiert werden. Bereits am 6. September 2006 entstand die untertägige Verbindung zwischen dem 4,1 km langen Vortrieb ab dem Portalnetz Faido mit dem 15,7 km langen, vorwiegend mit der Tunnelbohrmaschine aufgefahrenen Vortrieb ab Bodio. Die Genauigkeit des Zusammentreffens bestätigte die über zehnjährige Präzisionsarbeit der beteiligten Vermesser.
Die bauherrenseitige Absteckung des 57 km langen GBT wurde 1995 in einem öffentlichen Beschaffungsverfahren dem *Konsortium VI-GBT* unter der Federführung von *Grünenfelder und Partner AG, einem Mitglied der Swissphoto Group* übertragen. Die wesentliche Vorgabe der Bauherrin ATG an den VI GBT bezieht sich auf den in allen Durchschlagspunkten zu erreichenden maximalen Durchschlagsfehler. Er ist als Toleranz definiert (2,5-facher mittlerer Durchschlagsfehler) und beträgt 25 cm quer zur Tunnelachse und 12,5 cm in der Höhe. Dieser

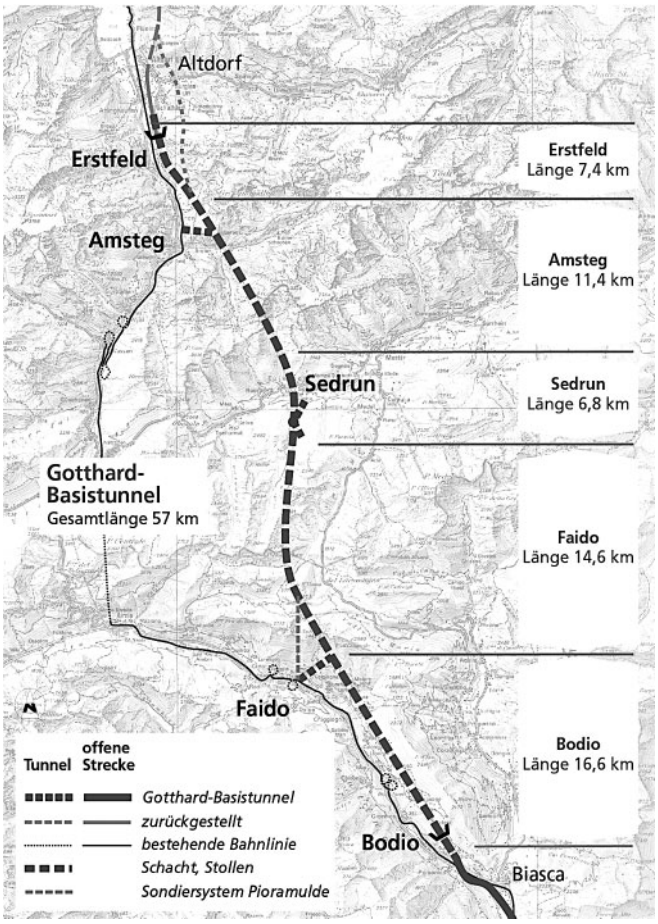

Abb. 3: Verlauf des Gotthard-Basistunnels

Toleranzwert schließt alle systematischen und zufälligen Fehler ein.

Diese Vorgabe bildet für den VI-GBT die Basis für die Konzepte des oberirdischen Grundlagennetzes (Lage und Höhe) und die Vortriebsvermessung. Weiter wurde im Rahmen der Risikoanalyse zwischen ATG, Experte und VI-GBT festgelegt, dass zur Steigerung der Zuverlässigkeit der Tunnelabsteckung alle wesentlichen Messungen mit methodenunabhängigen Messverfahren überprüft werden müssen.

4.1 Oberirdisches Grundlagen- und Portalnetz

Das Grundlagennetz für die Lage (NetzGBT) wurde 1995 etabliert und besteht aus 28 auf stabilem Felsuntergrund vermarkten Festpunkten, die auf die 5 Angriffstellen beim Nord- und Südportal sowie auf die Zwischenangriffe Amsteg, Sedrun und Faido verteilt sind. Bei der Auswertung der GPS – und terrestrischen Messungen konnte vom gleichzeitigen Aufbau der ‚Neuen Landesvermessung LV95' des Bundesamtes für Landestopographie (swisstopo) profitiert werden. Im Ergebnis weisen alle Festpunkte des NetzGBT eine Koordinatengenauigkeit $1\sigma_{x,y,H} < 10$ mm aus.

Der Höhenbezugsrahmen wurde 1996, ausgehend vom ‚Neuen Landeshöhennetz LHN95' mit Ergänzungsmessungen in den Portalbereichen realisiert. Diese orthometrischen Höhen wurden um die Differenz der Alpenhebungskomponente zwischen den einzelnen Portalnetzen, bezogen auf die prognostizierten Durchschlagstermine, korrigiert. Weiter wurden sie für jeden Teilabschnitt an die vorhandenen Höhen aus dem alten Landeshöhennetz angepasst, damit sie mit den Projektunterlagen übereinstimmen.

Aufgrund einer aktualisierten Risikoanalyse wurde im Sommer 2005 – 10 Jahre nach Installation des NetzGBT und ein Jahr vor dem prognostizierten 1. Durchschlag auf dem Abschnitt Faido-Bodio – mit verschiedenen Massnahmen die Qualität der geodätischen Grundlagen verifiziert:

- Vollständige Wiederholungsmessung des GPS-Grundlagennetzes
- Astronomische Azimut- und Lotrichtungsbestimmung auf jeweils einem Pfeiler der Portalnetze in den 5 Angriffstellen
- Schweremessungen in den Teilabschnitten Sedrun und Bodio
- Vergleiche zwischen astrogeodätischen und gravimetrischen Messungen mit modellbasierten Werten.

Alle diese Messungen und Auswertungen haben das bestehende NetzGBT und die bis anhin verwendeten Modelle, insbesondere das Geoidmodell CHGeo98 bestätigt.

4.2 Vortriebsvermessung (Grundlagennetz untertag)

Der VI-GBT hat sich beim untertägigen Tunnelnetz für das folgende Konzept entschieden: Paralleler Präzisionspolygonzug in beiden Einspurtunneln mit Polygonpunkten streng in Tunnelmitte und mit Punktabstand von 400 – 450 m; Verbindungsmessung zwischen den beiden Röhren an jedem 3. Polygonpunkt; übergreifende Messung zu den jeweils 2 nächsten Polygonpunkten in beiden Richtungen mit maximalen Zielweiten von 900 m; Kreiselstützung des Polygonzuges mindestens alle 3 km; Höhenübertragung durch Präzisionsnivellement, Kontrolle durch trigonometrisches Nivellement des Polygonzuges. Die Umsetzung dieses Konzeptes erfolgt baubegleitend. Massgebend für den Messrhythmus ist die vertragliche Vereinbarung mit dem Bauunternehmer, die ihm garantiert, dass maximal 1'200 m hinter der Tunnelbrust vom VI-GBT bestimmte Polygonpunkte zur Verfügung stehen. Deshalb verlängert der VI-GBT nach jeweils 800 – 900 m Vortrieb den Polygonzug um 2 neue Punkte, wobei jeweils an die 3 letzten Polygonpunkte angemessen wird. Nach maximal 3 km Vortrieb wird mit einer grossen Stollenkontrolle (inkl. Kreiselmessung) über die vordersten 5 km eine nochmalige Messung durchgeführt. Zudem finden in jedem Teilabschnitt 2 Gesamtkontrollen mit Messungen ab Portalnetz bis zum vordersten Polygonpunkt statt. Die Auswertung der Stollenkontrollen erfolgt als vermittelnde Ausgleichung mit dem Programm LTOP (swisstopo) in einer Gesamtausgleichung. Dabei werden die neuen Messungen mit allen früheren Messungen zusammen ausgeglichen. Im folgenden Kapitel 5 wird aufgezeigt, wie für die Baustellen mit den laufend ändernden Koordinaten aus diesen Gesamtausgleichungen verfahren wird.

4.3 Vortriebsvermessung im Zwischenangriff Sedrun

Im Zwischenangriff Sedrun müssen die Koordinaten und die Vortriebsrichtung ab dem Portalnetz durch den 990 m langen Zugangsstollen zum Schachtkopf, anschliessend

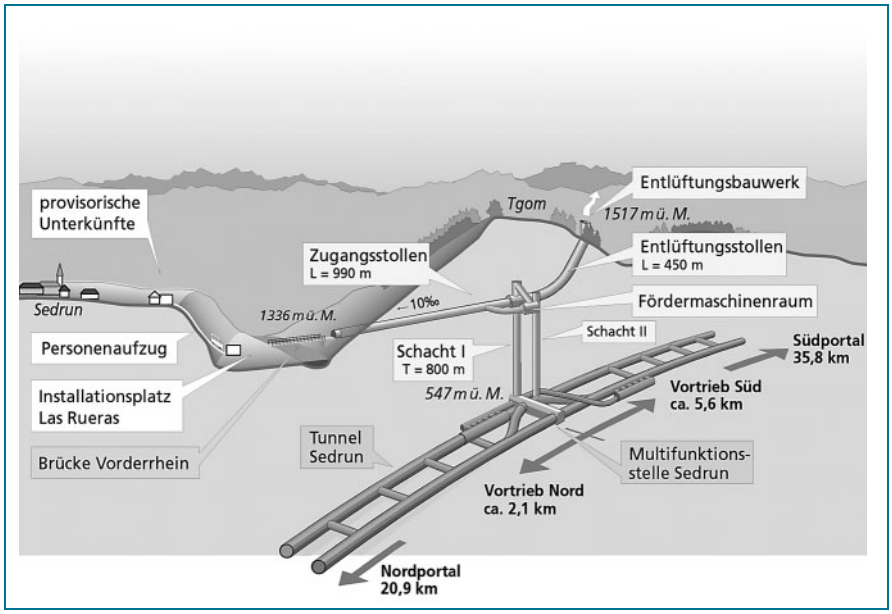

Abb. 4: Situation im Zwischenangriff Sedrun

800 m senkrecht hinunter zum Schachtfuss und von dort in die beiden Tunnelröhren der Multifunktionsstelle Sedrun übertragen werden. Mit diesen Koordinaten und dieser Ausgangsrichtung erfolgen die Vortriebe von ca. 2,1 km nach Norden zum Durchschlagspunkt mit dem Vortrieb ab Amsteg sowie von 4 – 6 km (je nach definitiver Festlegung einer Losgrenzenverschiebung) bis zum Durchschlagspunkt mit dem Vortrieb ab Faido.
Hier wird das Prinzip der Kontrolle jeder Messung mit methodenunabhängigen Verfahren bei der Koordinatenübertragung vom Schachtkopf in den Schachtfuß mittels optischer und mechanischer Lotung erfüllt. Die mechanische Lotung wurde durch die *Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) Erkundungsbergwerk Gorleben* als Subunternehmer des VI-GBT ausgeführt. Für die Richtungsübertragung fand sich vorerst neben dem Präzisionskreisel kein taugliches zweites Verfahren, bis sich die Möglichkeit der Richtungsübertragung vom Schachtkopf in den Schachtfuß mittels inertialer Messtechnik bot. Zwei in Zusammenarbeit der *Technischen Universität München und der ETH Zürich* im Schacht Sedrun mit dieser Messtechnik durchgeführte Kampagnen bestätigten die Kreiselrichtungen im Schachtfuß.

4.4 Kreiselmessungen

Beim GBT wird den Kreiselmessungen eine grosse Bedeutung zugemessen. Sie steigern einerseits als methodenunabhängige Richtungskontrollen in den Polygonzügen die Zuverlässigkeit und tragen ab Polygonzuglängen > 3 km bereits zur Genauigkeitssteigerung bei. Zudem konnte mit einem Vergleich der Eichwerte, die in den gleichen Messkampagnen in verschiedenen Portalnetzen bestimmt wurden, auch Rückschlüsse auf die gegenseitige Orientierung dieser Portalnetze gezogen werden. Der beauftragte VI-GBT hat grossen Wert darauf gelegt, dass verschiedene Kreisel in verschiedenen Messkampagnen eingesetzt wurden: Zum Einsatz kamen die Gyromat-2000 des *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich*, der *Universität der Bundeswehr München* sowie der *DMT Deutsche Montan Technologie GmbH*. Versuchsweise kam auch der Kreiseltheodolit MOM Gi-B3 zum Einsatz.

4.5 Vermessungstechnische Durchschlagsergebnisse

Faido – Bodio (Durchschlag 06.09.2006)
Vortriebslängen: 4,1 km ab Portal Faido
15,7 km ab Portal Bodio

Durchschlagsfehler 91 mm quer zur Achse
8 mm längs zur Achse
23 mm in der Höhe

Beim offiziellen Durchschlag wurde eine bauliche Abweichung von nur ca. 20 mm quer zur Achse erreicht. Mit einer Verbindungsmessung ca. 200 m vor dem Durchschlagspunkt über einen baulogistischen Querschlag und ein 6 m langes Bohrloch aus der überlappenden Weströhre in die zu durchschlagende Oströhre konnte die TBM mit einer letzten Richtungskorrektur exakt in die Multifunktionsstelle Faido einfahren.

Amsteg – Sedrun (Durchschlag 17.10.2007)

Vortriebslängen 13,5 km ab Portal Zugangsstollen Amsteg, 3,2 km ab Portal Zugangsstollen Sedrun

Durchschlagsfehler 137 mm quer zur Achse
21 mm längs zur Achse
3 mm in Höhe

5 Korrekturverfahren nach Vermessungskontrollen

Beim Vortrieb des GBT mit Tunnelbohrmaschinen (TBM) erfolgt der Einbau der Sohle nur wenige Meter hinter der Tunnelbrust. Weil diese Sohle konstruktiv als Basis für den Einbau des Innengewölbes ausgelegt ist, muss sie gegenüber der definitiven Tunnel- bzw. Gleisachse mit einer Toleranz von 2 cm in der Höhe und 3 – 5 cm in der Lage eingebaut sein. Auch beim konventionellen Sprengvortrieb gelten ähnliche Toleranzen, wobei dort der Einbau der Sohle nicht unmittelbar hinter der Tunnelbrust, jedoch terminlich vor der Durchschlagsvermessung erfolgt.

Mit diesem Bauvorgang erübrigt sich eine Erweiterung des bautechnischen Nutzraumes im Normalprofil für laufende, vermessungstechnisch bedingte Änderungen der Vortriebsrichtung. Damit der vermessungstechnische Durchschlagsfehler mit einer Korrektur der Achsgeometrie im Durchschlagsbereich aufgefangen werden kann, werden in diesem Bereich von 200 bis 300 m das Ausbruchprofil und die Sohle entsprechend ausgeweitet. Da im GBT bei den Durchschlägen immer TBM – Vortriebe auf konventionelle Vortriebe treffen, können diese Ausweitungen für die Geometriekorrekturen vorteilhaft in Sprengvortriebs-Abschnitten ausgeführt werden.

Das so geplante Bauverfahren hat einige Konsequenzen auf die Vortriebsvermessung. Sie muss die folgenden, mit der Projektleitung festgelegten Anforderungen erfüllen:

- Erreichen eines minimalen Durchschlagsfehlers unter Einhaltung der relativen Genauigkeiten zwischen benachbarten Vermessungshauptpunkten
- Die Baugenauigkeit in Lage und Höhe der Sohle, des Innengewölbes und des Banketts muss den Einbau der Gleise mit der definierten Geometrie garantieren. Eine Korrektur an der auf 250 km/h ausgelegten Gleistrassierung soll im Wesentlichen in den Aufweitungsbereichen des Durchschlags angebracht werden
- Die relativen Änderungen infolge von Zwängen quer zur Achse zwischen zwei benachbarten Vermessungshauptpunkten sollen in der gleichen Grössenordnung liegen wie die Messgenauigkeit, also etwa 0,3 mgon oder 2 mm/420 m
- Die erstmalig bestimmten Koordinaten der Vermessungshauptpunkte werden nach Vorliegen einer genügenden Überbestimmung fixiert und anschliessend, auch nach weiteren grossen Stollenkontrollen für die örtliche Bauleitung und den Unternehmer nicht mehr

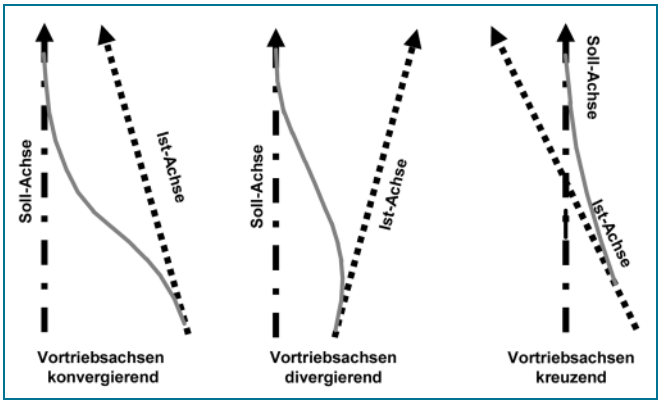

Abb. 5: Korrektur-Szenarien

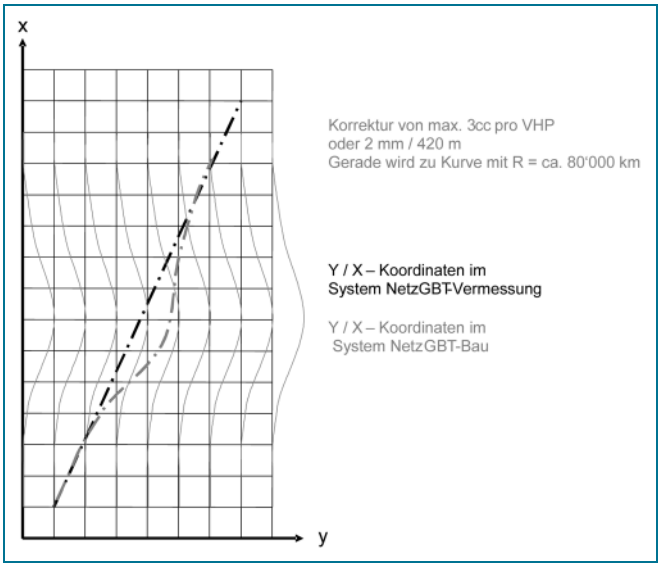

Abb. 6: Prinzip der Verzerrung

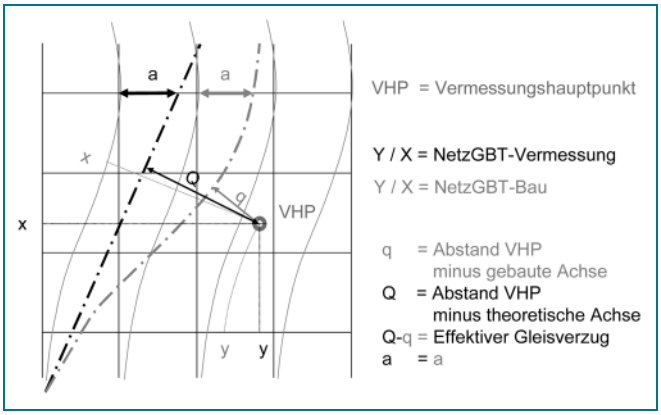

Abb. 7: Beziehung NetzGBT-Vermessung zu NetzGBT-Bau

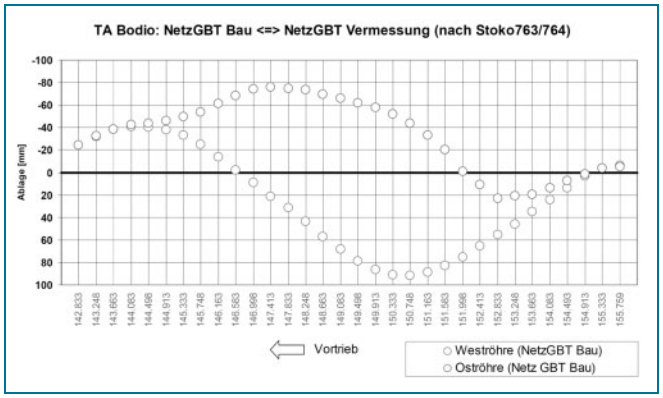

Abb. 8: Abweichung NetzGBT-Bau zu NetzGBT-Vermessung auf dem Vortrieb Bodio – Faido

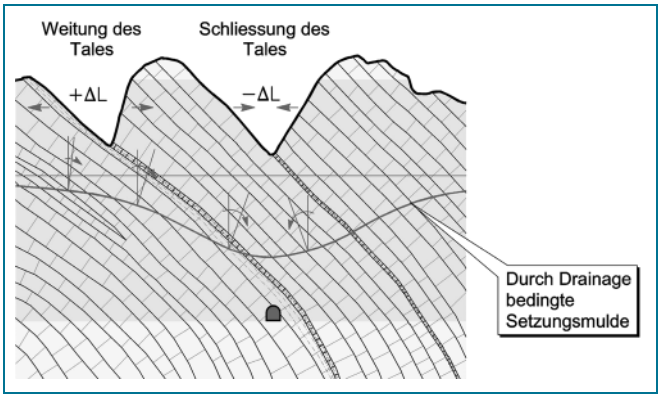

Abb. 9: Talöffnung/Talschliessung durch Setzungsmulde

geändert. Ebenso wird an der projektierten Trassierung konsequent festgehalten.

Beim GBT werden zur Erfüllung dieser Anforderungen bei der Vortriebsvermessung zwei unterschiedliche Koordinatennetze geführt.

- Das NetzGBT-Bau mit den für den Bauunternehmer gültigen, im rückwärtigen Bereich fixierten Koordinaten
- Das NetzGBT-Vermessung mit den laufend ändernden, vermessungstechnisch wahrscheinlichsten Koordinaten.

Sämtliche Vermessungshauptpunkte haben daher je 2 Koordinatensätze; einen im NetzGBT-Bau und einen im NetzGBT-Vermessung. Gegenüber der Baustelle werden nur die Koordinaten im NetzGBT-Bau publiziert und als gültig erklärt.

Nach jeder grossen Stollenkontrolle, bei der in der Regel auch Kreiselmessungen durchgeführt werden, ändern sich mit der Ausgleichsrechnung aller vorangehenden und neuen Messungen die Koordinaten und die Vortriebsrichtung im NetzGBT-Vermessung. Die bisherige Vortriebsrichtung (Ist-Achse) muss sukzessive an die aktuell wahrscheinlichste Soll-Achse herangeführt werden. Die dafür zulässige Korrektur darf 0,3 mgon oder 2 mm/420 m nicht überschreiten. Dieser Korrekturwert entspricht etwa der Richtungs-Messgenauigkeit.

Im Prinzip wird die Richtungskorrektur durch eine Verzerrung des Koordinatensystems NetzGBT-Bau gegenüber jenem des NetzGBT-Vermessung gelöst und nicht durch eine Achskorrektur der Trassierung.

In den Abb. 6 und Abb. 7 repräsentieren das schwarze Koordinatengitter das NetzGBT-Vermessung mit der wahrscheinlichsten Vortriebsrichtung und das graue Koordinatengitter das NetzGBT-Bau. Der Abstand Q-q entspricht der Abweichung der Tunnelachse von der zum aktuellen Zeitpunkt idealen Tunnelachse. Effektiv bewirkt dieses Verfahren, dass eine theoretische Gerade zu einem Kreisbogen mit Radius von ca. 80 000 km wird, was fahrdynamisch irrelevant ist. Dieses Korrekturverfahren bedingt einen gewissenhaften Umgang mit den zwei Koordinatennetzen und ist für die Leute auf der Baustelle nicht einfach nachzuvollziehen. Der geringe Mehraufwand der Vermesser für dieses Vorgehen steht in keinem Verhältnis zu den Mehrkosten, die eine Erweiterung des Normalprofiles um 10 – 20 cm auf eine Tunnellänge von 2 × 57 km verursachen würde.

Die Abb. 8 zeigt die Divergenz (Q-q) zwischen dem NetzGBT-Bau und NetzGBT-Vermessung auf dem Teilabschnitt Bodio zwischen km 142,8 und km 155,8.

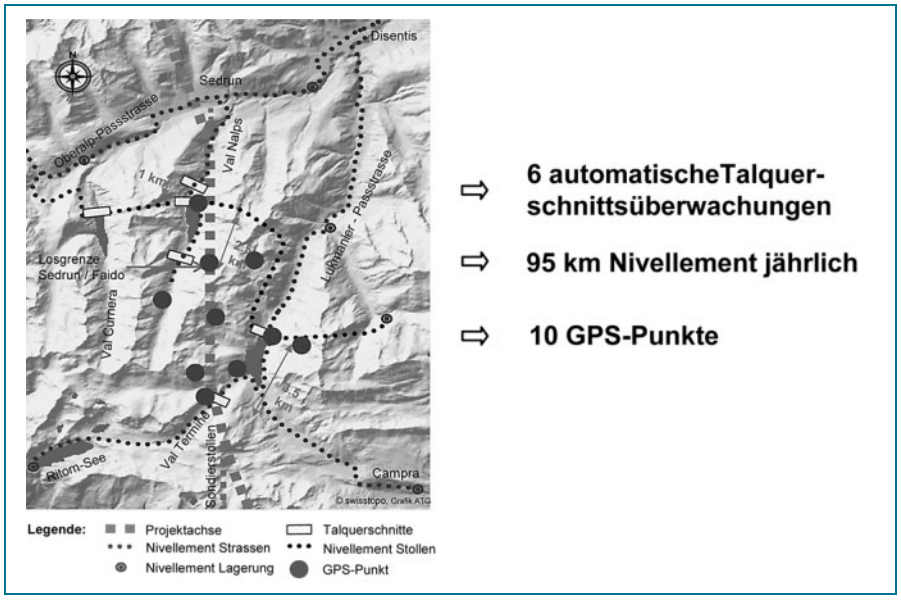

Abb. 10: Übersicht Messsystem

Abb. 11: Automatische Messanlage Talquerschnitt Staumauer Sta. Maria mit Messpunkten

6 Überwachung Stauanlagen

Der Gotthard-Basistunnel unterquert im Tunnelabschnitt Sedrun – Faido in der Nähe der Rheinquelle die Stauanlagen Curnera, Nalps und Sta. Maria. Aus aktuellen Beispielen und aus Modellberechnungen ist bekannt, dass eine Gebirgsentwässerung, wie sie durch den Tunnelbau entsteht, Setzungen an der Oberfläche verursachen kann. So stellte man im Rahmen der Nivellementsmessungen für das Höhen Grundlagennetz zum GBT über den Gotthardpass fest, dass dort im Zusammenhang mit dem Bau des Gotthard-Strassentunnels und den dabei eingetretenen grossen Wassereintragungen Setzungen von mehr als 10 cm stattfanden.

Die so entstehenden Setzungsmulden können geringe Talverengungen bzw. Talverbreiterungen verursachen. Diese können die Sicherheit von Staumauern, die in diesen Tälern liegen, beeinträchtigen.

Mittels statischer Berechnungen konnte die Empfindlichkeit der 3 Staumauern bezüglich Taldeformationen in Quer-, Längs- und Vertikalrichtung ermittelt werden. Bei der empfindlichsten Mauer können bereits Talerweiterungen von 15 mm zu ersten Schäden führen.

In weiteren Modellrechnungen wurden mit der prognostizierten Geologie und deren Gesteinseigenschaften, den erwarteten Wassereintragungen beim Tunnelvortrieb, der bestehenden Topographie und anderen Parametern die zu erwartenden Oberflächendeformationen und deren zeitlicher Verlauf ermittelt.

Trotz aller Berechnungen war es für ATG von Anfang an klar, dass neben den Kontrollmessungen des Kraftwerkbetreibers und des Kontrollorgans des Bundes, ATG selber zur Überwachung der Oberfläche bei der Unterquerung dieser Stauanlagen zusätzliche Messsysteme betreiben muss. Mit dem ATG-Messsystem sollen die Deformationen an der Oberfläche bei den Mauern und in deren Vorfeld ganzjährig, und in mm-Genauigkeit erfasst werden. Die Kontrolle der Mauer selber war keine Notwendigkeit. Weiter soll die zeitliche Entwicklung, das Einflussgebiet und die Tiefe einer Setzungmulde erfasst werden.

Das Messsystem ist in [7] detailliert beschrieben. Es besteht aus den folgenden Komponenten:

- Ganzjährige, automatische, tachymetrische Überwachung von 6 Talquerschnitten bei den Mauern und in deren Vorfeldern. Wöchentliche bis tägliche Auswertung und Kommunikation der Messergebnisse
- Großräumige Präzisionsnivellemente (Netzlänge über 100 km) einmal jährlich zur Erfassung möglicher Setzungen und des Umfanges von Setzungsmulden. Teilstrecken bis zu 3 mal jährlich.
- Einzelpunkte über der Projektachse werden mit automatisierten GPS-Messungen auf Setzungen überwacht
- Im unmittelbaren Vorfeld der Staumauern werden differenzielle Deformationen zusätzlich mit Extensometern (10 m, 30 m und 60 m) erfasst.

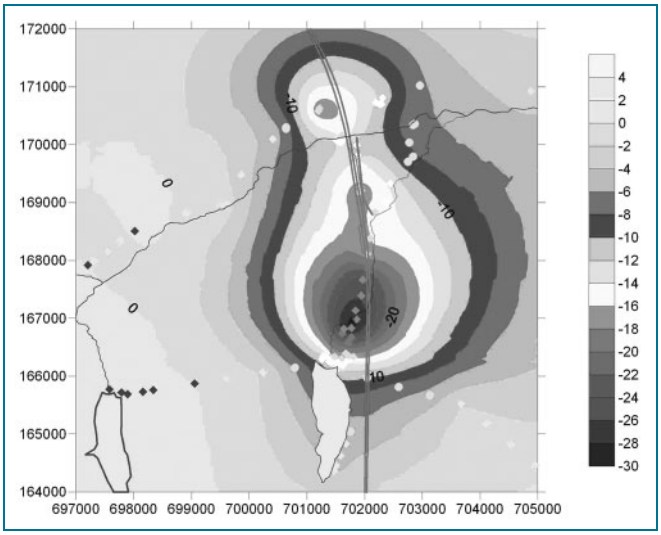

Abb. 13: Aus den Nivellementen ermittelter Setzungstrichter über der Tunnelachse im Val Nalps Setzungen in [mm]

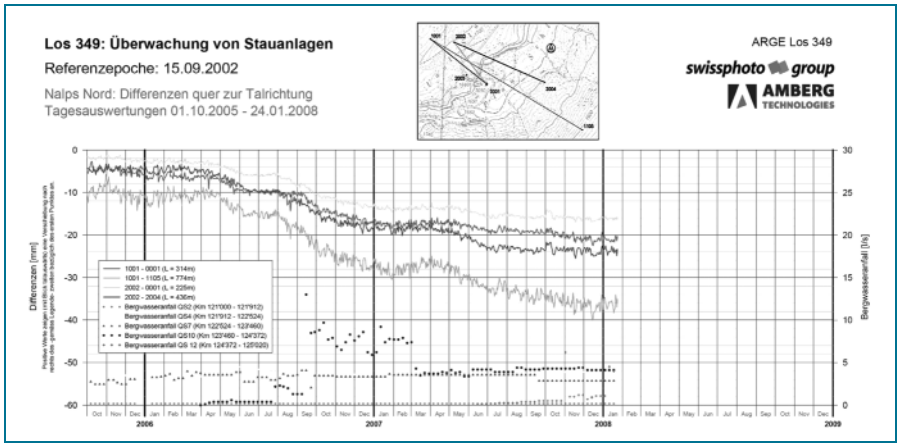

Abb. 12: Graphische Darstellung der Talschliessung im Querschnitt Nalps-Nord

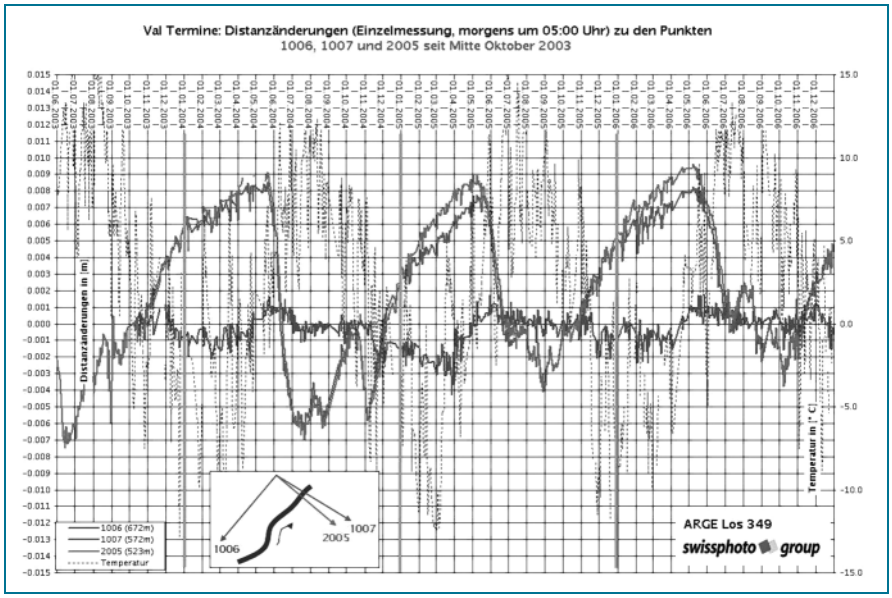

Abb. 14: Graphische Darstellung der Distanzmessungen längs und quer zum Tal im Val Termine mit den periodischen Talöffnungen und Talschliessungen

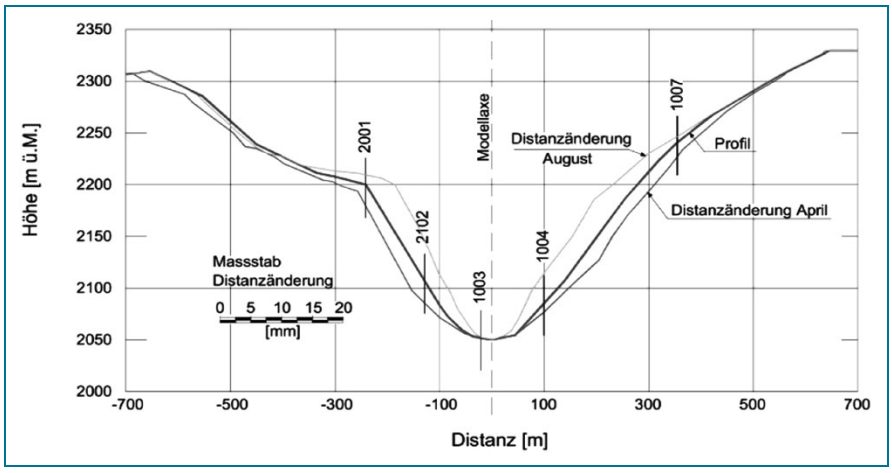

Abb. 15: Horizontales Verformungsprofil der Monate April und August.

Die herausragenden Anforderungen an diese Überwachungsmessungen sind die Wintertauglichkeit aller Messsysteme, die ganzjährige Stromversorgung und Datenkommunikation, das Erreichen der hohen Genauigkeitsvorgaben und die benutzerorientierte, laufende Resultatdarstellung. Weiter muss mit einer frühzeitigen Installation und Datenerfassung das ‚Normalverhalten' der jahreszeitlichen Oberflächenbewegungen erfasst werden, damit eindeutige Aussagen zu den durch den Tunnelvortrieb verursachten Bewegungen gemacht werden können.

Die Ergebnisse dieser Deformationsmessungen dienen der Verifikation und allenfalls der Anpassung der Parameter der Modellrechnungen. Diese Deformationen sind im Falle eines kritischen Wassereinbruches im Tunnel mitentscheidend, ob aufwändige und kostspielige Abdichtungsmassnahmen unten im Tunnel notwendig sind.

Im Zusammenhang mit der frühzeitigen Erfassung des Normalverhaltens der verschiedenen Talquerschnitte wurde spekuliert, dass Temperaturveränderungen zu kleinen Querschnittsdeformationen führen könnten. Insbesondere die Extensometermessungen haben aber gezeigt, dass diese nicht messbar sind. Dagegen wurde ein anderes, viel grösseres und bis anhin nicht bekanntes Phänomen entdeckt: Als Folge der jahreszeitlichen Schwankungen des Bergwasserspiegels öffnet sich das Tal in den Wintermonaten und verengt sich wieder im

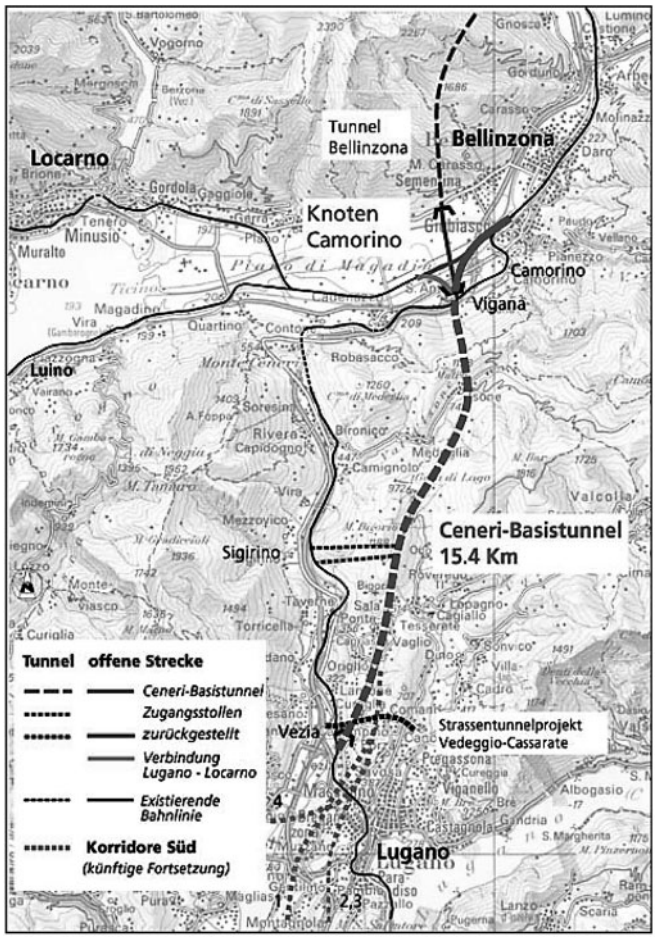

Abb. 16: Verlauf Ceneri-Basistunnel

Frühsommer mit der Schneeschmelze und dem ansteigenden Bergwasserspiegel.
Das folgende horizontale Verformungsprofil zeigt den Talquerschnitt Val Termine, mit den beiden Extremsituationen in den Monaten April und August.
Nachdem anfänglich die Bauingenieure und Geologen dieses Phänomen als nicht erkannte Messeinflüsse taxierten, konnten die tachymetrisch bestimmten Deformationen mit methodenunabhängigen Kontrollen mittels GPS und parallaktischen Winkelmessungen bestätigt werden. Mit diesen gesicherten Daten konnten die Spezialisten in Modellrechnungen im Querschnitt Val Termine diese zyklischen Talflankenbewegungen nachbilden.

Abb. 17: Ceneri-Basistunnel: Portalzone Nord mit automatischer Tachymeterstation

7 Ceneri-Basistunnel: Monitoraggio A2

Der Ceneri-Basistunnel durchquert auf der Strecke vom Nordportal Vigana/Camorino bis zum Südportal in Vezia geologisch vielfältige Gesteinsschichten. Gebaut werden zwei Einspurröhren, die etwa alle 300 m durch Querschläge miteinander verbunden sind. Angesichts der Länge von 15,4 km sind beim Ceneri-Basistunnel keine Spurwechsel oder Multifunktionsstellen vorgesehen.
Unmittelbar nach dem Nordportal des Ceneri-Basistunnels am Rande der Magadinoebene unterquert der Tunnel in geringem Abstand den angeschütteten Damm der Nord-Süd-Autobahn A2. Durch die Baumassnahmen entsteht das Risiko von Fahrbahnabsenkungen und Deformationen an der steilen Böschung. Dies gefährdet einerseits die Verkehrsteilnehmer und andererseits die am Vortrieb Arbeitenden. Mit einer permanenten Überwachung soll erreicht werden, dass beim Erkennen von Deformationen entsprechende Massnahmen ergriffen werden können, und dass bei einer außerordentlichen Dringlichkeit die A2 rechtzeitig gesperrt und die Baustelle evakuiert werden kann.
Im Rahmen der Ausschreibung dieser Überwachungsaufgaben erhielt das Konsortium ‚*IG CeneriMonitor*' mit den Firmen *Amberg Technologies und Swissphoto* aufgrund ihres überzeugenden Messkonzeptes den Zuschlag. Sie haben 2007 – ein Jahr vor Vortriebsbeginn – ein Multisensorsystem mit den folgenden drei Subsystemen installiert:

- terrestrisches Messsystem auf Tachymeter-Basis,
- satellitengestütztes Messsystem mit Einfrequenz-GPS-Empfänger
- Inklinometer-Messnetz als Schnellintervall Messsystem (Vorwarnung und Alarmierung) und zur zusätzlichen Überwachung von Geländeteilen im Portalbereich.

Entscheidend ist die Verknüpfung von eher trägen, geodätischen mit unmittelbar messenden geotechnischen Sen-

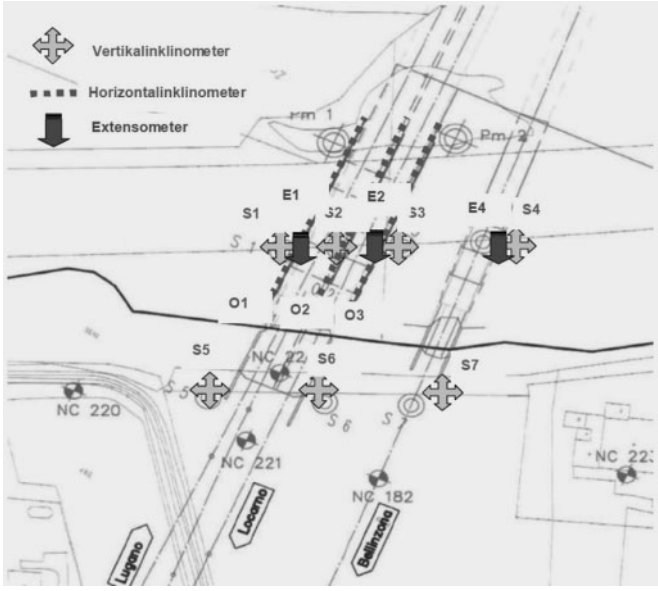

Abb. 18: Konfiguration der geotechnischen Sensoren

soren in einem Gesamtsystem. Ebenso wichtig ist die umfassende Beherrschung der Mess- und Alarmsicherheit. Fehlmessungen innerhalb eines Bohrloches müssen ebenso vor einer Alarmauslösung erkannt werden wie der Ausfall einer kompletten Messkette.
Das Beherrschen der lückenlosen Stromversorgung für die Messsensoren und die Messzentrale, der Datenkommunikation und der Auswertetools durch den beauftragten Vermessungsingenieur sind Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche Projektbearbeitung. Die Darstellung der Messresultate und deren Präsentation via Internet oder an Projektsitzungen muss kundengerecht und leicht verständlich sein.
Zur Zeit wird das Normalverhalten des überwachten Gebietes und der Messanlage ermittelt. In weiteren Tests muss die Alarmsicherheit nachgewiesen werden, damit bei Vortriebsbeginn die Funktionssicherheit gewährleistet ist und sich sowohl die Fahrer auf der Autobahn, wie auch die Arbeiter im Tunnel auf das Warnsystem verlassen können.

Literatur

[1] Loew, S.; Ebneter, F.; Bremen, R.; Herfort, M.; Lützenkirchen, V.; Matousek, F. (2007): ‚Annual Opening and Closure of Alpine Valleys' FELSBAU 25 (2007) NR. 5

[2] Stengele, R. (2007): ‚Erster Hauptdurchschlag im Gotthard-Basistunnel: Tunnelvermessung in Theorie und Praxis' XV. Konferenz für Ingenieurvermessung, Graz

[3] Schätti, I.; Ryf, A. (2007): ‚AlpTransit Gotthard-Basistunnel: Grundlagenvermessung, letzte Kontrolle vor dem ersten Durchschlag' XV. Konferenz für Ingenieurvermessung, Graz

[4] Schätti, I. (2006): ‚Herausforderungen bei der Absteckung des Gotthard-Basistunnels' Geomatik Schweiz, Heft 6/2006

[5] Schätti, I.; Ryf, A. (2004): ‚Hochpräzise Lotung im Schacht Sedrun des Gotthard-Basistunnels' Geomatik Schweiz, Heft 7/2004

[6] Neuhierl, T.; Ryf, A.; Wunderlich, T.; Ingensand, H.; (2006): ‚AlpTransit Sedrun: Weltpremiere mit inertialer Messtechnik' Geomatik Schweiz, Heft 6/2006

[7] Bräker, F. (2006): ‚Anspruchsvolle Überwachungsaufgaben beim Projekt AlpTransit Gotthard' Geomatik Schweiz, Heft 6/2006

Anschrift des Verfassers:
Franz Ebneter, dipl. Ing. ETH, Kreuzbuchstrasse 123, CH-6006 Luzern, fh.ebneter@hispeed.ch
Der Verfasser war bis Ende 2007 Leiter Vermessung der Projektgesellschaft AlpTransit Gotthard AG

Summary

With the construction of the new trans-alpine rail route through the Swiss Alps a new high-speed rail link is being realised on the north-south-axis. The core of the project is the Gotthard base tunnel, with a length of 57 km the longest railway tunnel in the world. This article presents some of the challenges of the project for the tasks of engineering geodesy. Besides technological aspects, special attention is drawn to the organisation of the surveying activities and the interdisciplinary collaboration between all participants of the project.

Resumé

Grâce à la construction de la nouvelle ligne ferroviaire à travers les alpes au Gotthard, une ligne de plaine à haute capacité voit le jour. Le tunnel de base du Saint-Gotthard – qui, avec une longueur de 57 km, sera le plus long tunnel au monde – en constituera la pièce maîtresse. Dans cette contribution sont exposées quelques-unes des plus stimulantes tâches de la mensuration d'ingénieur du projet. Outre la technique, l'organisation de la mensuration et la coopération interdisciplinaire entre les nombreux participants sont spécialement présentées.