

Abb. 6: Netzkonfiguration.

raumprofil nachzuweisen und eventuelle Risse im Beton zu erkennen, damit diese, falls nötig, saniert werden können.

Zur gleichen Zeit liefen Absteck- und Kontrollvermessungen in Faido in der Multifunktionsstelle. Im Moment finden Betonarbeiten in den vier Tunnelverzweigungen, Verbindungstunneln, Abluftstollen, Absaugstollen und Seitenstollen statt.

Die Vermessung der Hauptpunkte vom Unternehmer wurden alle 500–800 m vom VIGBT kontrolliert. Die Abweichungen betragen in all den Jahren in Lage und Höhe nur wenige mm.

Gearbeitet wird in der Vermessung in Dekaden: neun Tage Arbeit, fünf Tage frei.



Abb. 7: Messkonsole mit Standbühne.

In den Spitzenzeiten waren in Bodio und Faido 18 Personen in der Vermessung tätig, heute sind es nur noch neun Personen.

Nun ist es im Tunnel Ost endlich soweit. Der Durchschlag erfolgte am 15. Oktober 2010 und somit ist die Oströhre von Bodio bis Erstfeld durchgängig, 57 Kilometer. Durch die gute Zusammenarbeit zwischen dem VIGBT, Amberg Technologies als Subunternehmer in der Vermessung und der Vermessung des Consorzio TAT

konnte das gute Durchschlagsergebnis von 8 cm quer, 0 cm hoch und 14 cm längs erreicht werden. Glück auf zusammen.

Reinhard Deicke
Consorzio TAT
Isengrundstrasse 18
CH-8134 Adliswil
reinhard.deicke@tat-ti.ch



Abb. 8: Bau des Banketts.



Abb. 9: Fertiger, ausbetonierter Tunnel.

Steuerung der Tunnelbohrmaschine am Gotthard

Besondere Anforderungen des Tunnelvortriebs am Gotthard stellten hohe Herausforderungen an die Navigationssysteme der vier Tunnelbohrmaschinen. Zusätzliche Beeinträchtigungen durch parallel zum Vortrieb vorgenommene Tunnelarbeiten (Staub, Hitze, Vibrationen) verhinderten einen normalen Messablauf. Im Artikel wird vorgestellt, wie durch Auswahl an Materialien und durch Änderung der Vermessungsabläufe trotzdem eine sichere Navigation der Tunnelbohrmaschinen gewährleistet werden konnte.

Les exigences particulières de l'avancement du perçage du Gotthard ont posé des défis élevés aux systèmes de navigation des quatre tunneliers. Des entraves supplémentaires par des travaux entrepris en parallèle au perçage (poussière, chaleur, vibrations) ont empêché une procédure de mensuration normale. Dans le présent article ont décrit comment, par le choix des matériaux et par la modification des procédés de mesurage la navigation des tunneliers a néanmoins pu être assurée.

Le esigenze particolari nell'avanzamento della galleria del Gottardo hanno rappresentato grandi sfide per i sistemi di navigazione delle quattro perforatrici. Ulteriori perturbazioni (polvere, calore, vibrazioni) dovute alle opere realizzate parallelamente nella galleria non hanno permesso di avere delle condizioni ideali per lo svolgimento delle misurazioni. In quest'articolo viene illustrato come si è riusciti a garantire una guida sicura delle perforatrici in base alla giusta scelta di materiali e al cambiamento delle abitudini di misurazione.

M. Messing

Die Steuerung einer Tunnelbohrmaschine (TBM) ist vergleichbar mit der eines Supertankers: die Wirkung einer Kurskorrektur wird erst viel später sichtbar. Erfahrene Maschinenführer kennen das Verhalten «ihrer» Maschine bei unterschiedlichsten geologischen Bedingungen. Dabei ist eine genaue und zuverlässige Positionsbestimmung der TBM die wichtigste Information zur Steuerung. Obwohl die TBM sich eher langsam vorwärts bewegt, kann sie vom geplanten Kurs abkommen und die geforderte Genauigkeit von 100 mm um die geplante Achse überschreiten. Dies zu vermeiden, ist bei einem Tunnel dieser Länge eine echte Herausforderung, die nur durch eine perfekte Abstimmung zwischen Vermessung und Maschinenführung gemeistert werden kann. Sämtliche geodätischen In-

formationen müssen über klassische Polygonierung von aussen nach vorne in den Vortrieb getragen werden. Im Maschinenbereich steht hierzu nur ein «Laserfenster» an der Tunnelwand zur Verfügung, das sich über den gesamten Nachläuferbereich bis nach vorne hinzieht. Eine Besonderheit beim Gotthard-Projekt war ausserdem die gleichzeitig zum Vortrieb durchgeführten verschiedenen Tunnelarbeiten. Dementsprechend war das Maschinen- und Nachläuferkonzept ausgelegt. Deshalb musste sich auch das Steuerleitsystem diesen Gegebenheiten anpassen.

Anforderungen an das Steuerleitsystem (Navigationssystem)

Ein Steuerleitsystem entspricht einem Navigationssystem. Es gibt Informationen zur Einleitung der Steuerung bzw. Kurskorrektur. Deshalb ist es unabdingbar,

dass die aktuelle Position der TBM in Bezug auf die geplante Tunnelachse ständig präsent ist und angezeigt werden muss. Da eine Verfügbarkeit der TBM-Position von 98% gefordert wird, ist eine permanente Einmessung der TBM-Position erforderlich. Zusätzlich sind die Längs- und Querneigungswerte der TBM ununterbrochen zu erfassen und darzustellen. Eine Statusanzeige aller relevanten Sensorkomponenten des Leitsystems ist genauso gefordert wie eine automatisierte Richtungskontrolle.

Üblicherweise werden Navigationsaufgaben mit Hilfe von GPS gelöst. In einem Tunnel hat man jedoch keinen Satellitenempfang und muss daher auf klassische Weise unter Zuhilfenahme von motorisierten Vermessungsinstrumenten für die Positionsbestimmung sorgen.

Besonderheiten der Gotthard-Systeme

Bei den Projekten des Gotthard Tunnels sind für die Abschnitte Nord und Süd zwei unterschiedliche Nachläuferkonzepte eingesetzt worden. Um diesen Gegebenheiten gerecht zu werden, mussten unterschiedliche Navigationssysteme konzipiert werden, jedoch mit gleichen Hardwarekomponenten. Dazu gehörten motorisierte Tachymeter, elektronische Inklinometer zur Bestimmung von Neigungen sowie die softwaregesteuerten Klappprismen, welche die Passpunkte darstellten. Zusätzlich wurden geometrische Maschinendaten (Zylinderhub) von der SPS der TBM kontinuierlich gespeichert und zur Berechnung der aktuellen Position herangezogen.

Gleichzeitig zum Vortrieb sollten Spritzbetonarbeiten, Netz- und Bogeneinbau und Ankerbohrungen durchgeführt werden können. Diese beeinträchtigten natürlich die Sicht zu den Maschinenpasspunkten, weshalb ein klassisches Vermessungsverfahren nicht mehr einsetzbar war. Ausserdem wurden die Hardwarekomponenten, von der Totalstation über den Rechner bis zu den Motorprismen, durch die auftretenden Vibrationen äusserst beansprucht.

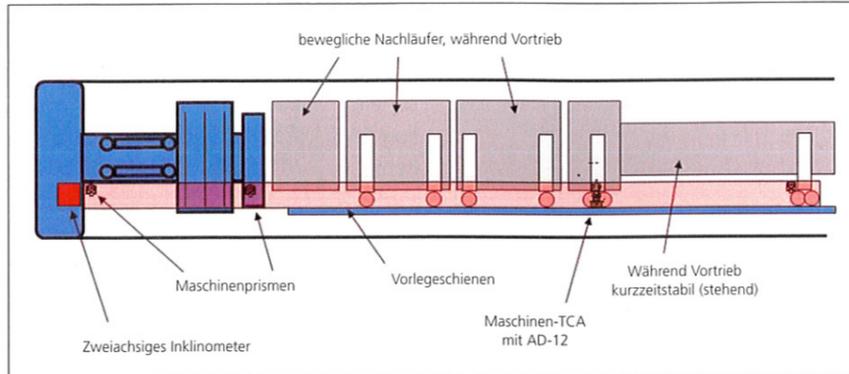


Abb. 1: Nachläuferkonzept im Gotthard-Nord Abschnitt.

Steuerleitsystem im Abschnitt Gotthard-Nord – Amsteg

Im Nordabschnitt wurden die ersten drei Nachläufer während eines Vortriebs über Vorlegeschiene mitgezogen. Die folgenden Nachläufereinheiten hingen an Rollkonsolen an der Wand und wurden erst nach dem Vortrieb mitgezogen (Abb. 1). Damit war dieser Bereich kurzzeitstabil und konnte für eine Einmessung des Bohrkopfes verwendet werden. Allerdings nur in einem unteren «Laserfenster». Die Koordinaten und die Orientierung für die automatische Totalstation mussten daher im unteren Bereich nach jedem Vortrieb neu bestimmt werden. Das wurde in diesem Abschnitt über das regelmäßige Vortragen von Passpunkten im Sohlbereich realisiert. Für die Einmessung von Vorlegeschiene, auf denen der

erste Bereich des Nachläufers mitgezogen wurde, mussten ohnehin Passpunkte abgesteckt werden. Diese Punkte wurden auch für eine automatische Einmessung über eine «freie Stationierung» der Totalstation (Abb. 2) verwendet.

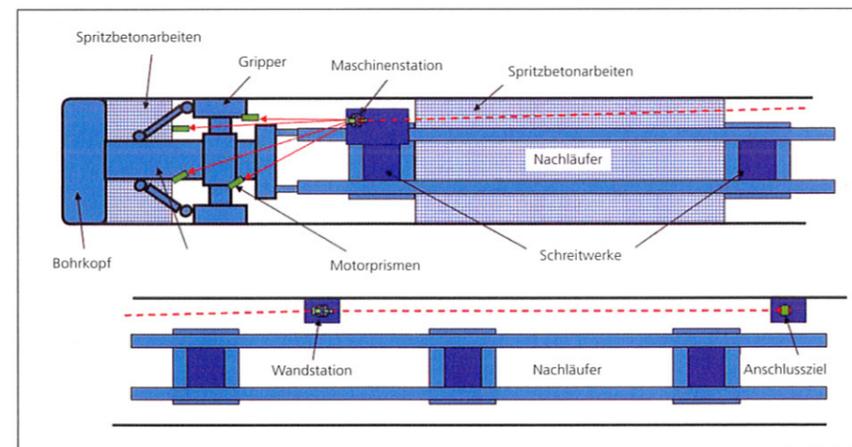


Abb. 4: Nachläuferkonzept im Gotthard-Süd Abschnitt.



Abb. 2: Totalstation Gotthard-Nord.

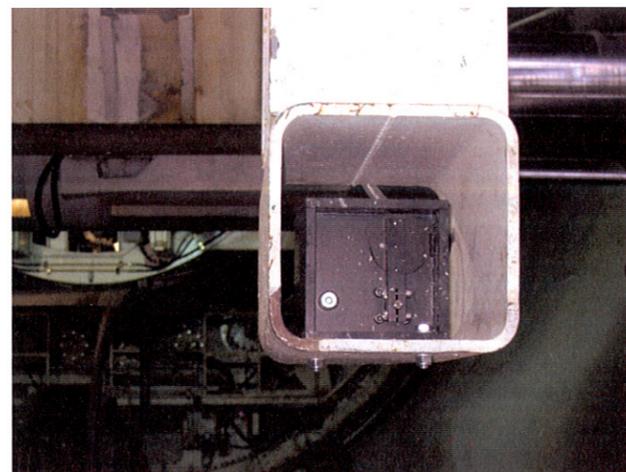


Abb. 3: Eingebaute Klappprismen (geschlossen).

Nach jedem Vortrieb wurde dieser Nachläuferbereich nach vorne gezogen – womit sich die Koordinaten und die Orientierung der Totalstation veränderten. Wenn die Gripper wieder verspannt waren, wurde ein Signal an den Steuerleit-rechner gesendet, der dann die automatische Einmessung der Totalstation mit den vorhandenen Passpunkten auslöste. Waren die Koordinaten und die Orientierung der Totalstation bekannt, konnte die TBM Position über die automatischen Maschinenprismen am Bohrkopf (Abb. 3) eingemessen werden. Die Totalstation war auf einem automatischen Dreifuß (AD-12) montiert, der eventuell auftretende Verrollungen und Längsneigungen des Nachläufers kompensiert und die Totalstation immer automatisch horizontalisierte.

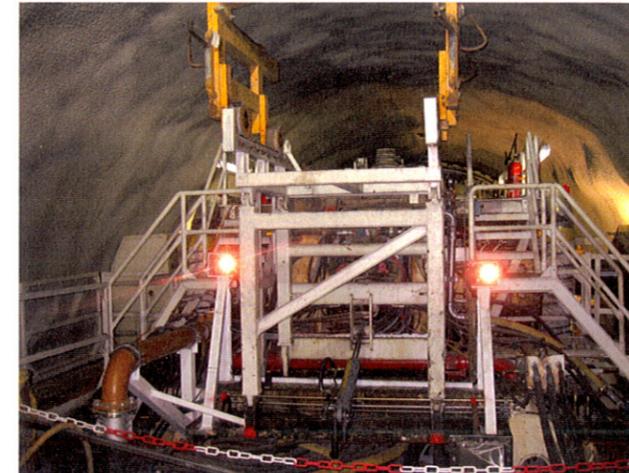


Abb. 5: Klappprismen auf Maschinenrahmen.

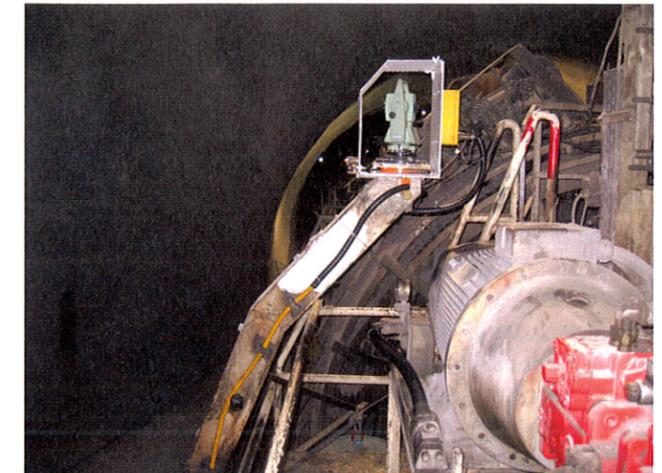


Abb. 6: Umlenkrahmen mit Maschinenstation.

Steuerleitsystem im Abschnitt Gotthard Süd – Bodio

Im südlichen Abschnitt wurde der Nachläufer über zwei Schreitwerke gezogen, die während des Vortriebs unbeweglich waren. Nach dem Vortrieb sind diese Schreitwerke eingezogen und nach vorne bewegt worden. Hier waren die Schreitwerke als kurzzeitstabile Konstruktion anzunehmen (Abb. 4).

Auf dem Maschinenrahmen wurden vier motorisierte Klappprismen (Motorprismen) installiert (Abb. 5) und auf die Maschinenachse eingemessen. Dieses «lokale» Koordinatensystem wurde im Rechner hinterlegt. Während des Vortriebs bewegte sich der Maschinenrahmen nach vorne.

Die Maschinenstation (motorisierte Totalstation auf einem automatischen Dreifuß AD-12) war auf einem Umlenkrahmen montiert (siehe Abb. 6), der mit dem vorderen Schreitwerk verbunden und vom Nachläufer unabhängig war. Beim Vortrieb war dieses Schreitwerk nicht in Bewegung. Es wurde erst nach dem Vortrieb mit nach vorne gezogen. Mit der kurzzeitstabilen Maschinenstation wurden die Motorprismen eingemessen und die Globalkoordinaten berechnet (Messzyklus). Über eine entsprechende Transformation wurde dann die TBM-Position (Abb. 7) bestimmt. Da sich die TBM aber

innerhalb dieser Messzyklen im Vortrieb befindet, wird eine Streckenkorrektur an den Messungen zu den Motorprismen angebracht (dynamische Transformation). Wie auch beim System Gotthard-Nord waren die Koordinaten und Orientierung der Maschinenstation nur kurzzeitstabil – d.h. sie veränderten sich mit jedem Vortrieb. Wenn ein Vortrieb gefahren wurde, wurden die Gripper eingezogen, nach vorne bewegt und danach wieder an der

Wand verspannt. Die TBM gab mit der Verspannung ein Signal an den Steuerleit-rechner, der daraufhin die Einmessung der Maschinenstation über die weiter hinten montierte Wandstation veranlasste. Die Maschinenstation setzte die Orientierung automatisch über die Wandstation. Der Einmessungsvorgang dauerte ca. zwei Minuten. Danach konnten die Spritzbetonarbeiten im hinteren Bereich wieder fortgesetzt werden.

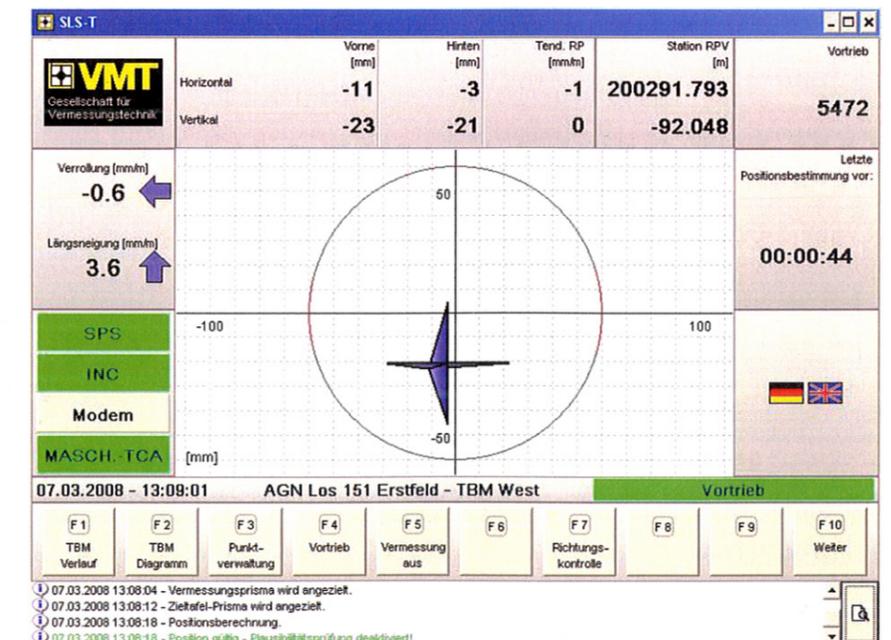


Abb. 7: Über Transformation berechnete TBM-Position in Relation zur geplanten Tunnelachse.

Anzeige der TBM Position

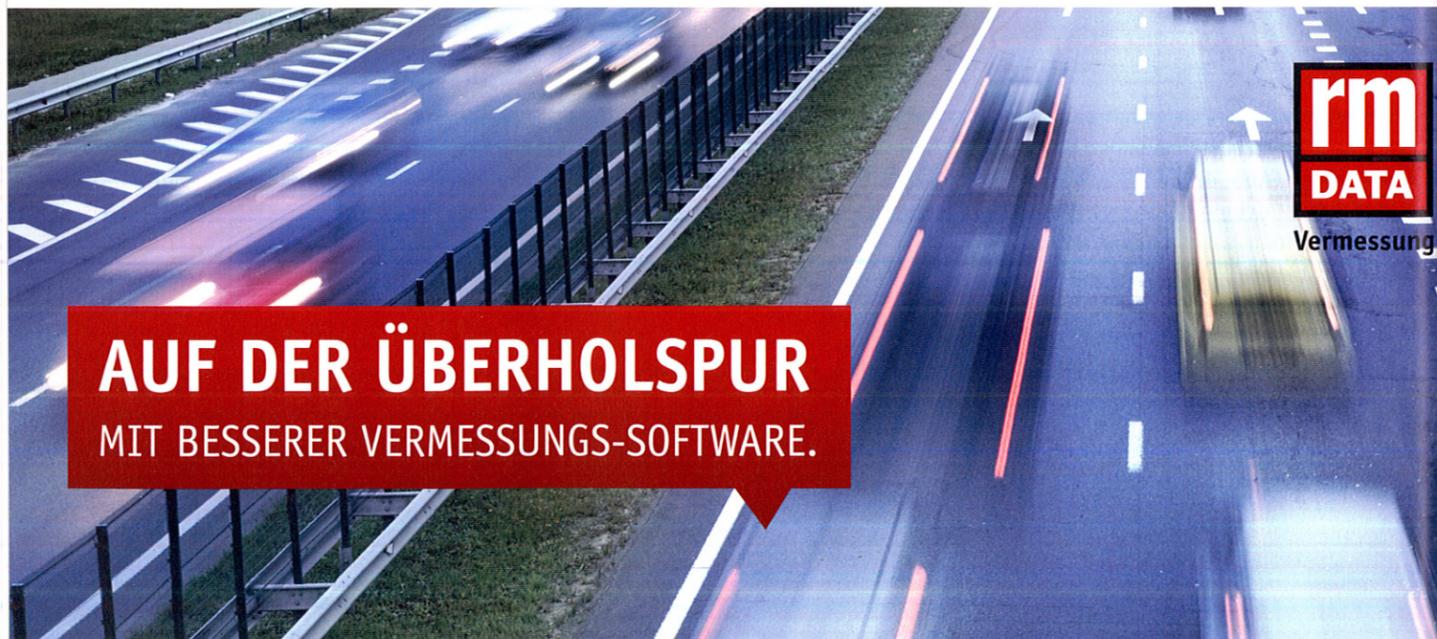
In der Bildschirm-Anzeige (Abb. 7) werden dem Maschinenführer alle relevanten Daten zur Steuerung sichtbar gemacht. Neben den Abweichungen von der geplanten Achse (horizontal und vertikal) werden auch die Verrollung und Längsneigung angezeigt. Die Indikationen über die Betriebsbereitschaft der angeschlossenen Sensorik sowie Station und Vortriebsnummer sind ebenfalls dargestellt. Aus diesem Bildschirm lassen sich die Richtungskontrolle und auch die Anzeige der zurückliegenden (historischen) Schichtfahrt aktivieren. Letztere dient vor allem zur Erkennung des Fahrverhaltens der TBM, was sich direkt auf die Steuerung auswirkt.

Zusammenfassung

Die Anpassung des Steuerleitsystems auf das Vortriebsgeschehen war sicherlich eine grosse technische Herausforderung. Die verwendeten Komponenten und Materialien waren schwierigsten Bedingungen ausgesetzt, sei es durch Vibrationen, Staub oder Hitze. Da der Vortriebsprozess in keiner Weise gestört werden durfte, musste sich die Funktionsweise des Leitsystems daran orientieren. Es waren nicht nur geometrische Systemanpassungen mehrmals während des Vortriebs erforderlich, sondern auch Änderungen an den Hardware-Komponenten. So musste z.B. die Controller-Unit (Datenwandlung und Netzwerk) mit Pressluft gekühlt werden und trotzdem noch der Schutzklasse IP62 entsprechen. Es war von Vorteil, dass gleichartige Hardwarekomponenten und ein modulares

Softwarekonzept verwendet wurden. So konnten Anpassungen mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden. Nicht immer lief alles reibungslos – deshalb sei allen Beteiligten gedankt für die Geduld und auch das Verständnis bei der Einrichtung des Systems und den erforderlichen Änderungsphasen. Alles in allem hat das Projekt in vielen Aspekten sehr zur Weiterentwicklung der Technik und der Verfahrensweisen beigetragen, so dass nachfolgende Projekte davon profitieren können.

Manfred Messing
VMT GmbH Gesellschaft für
Vermessungstechnik
Stegwiesenstrasse 24
DE-76646 Bruchsal
m.messing@vmt-gmbh.de



**AUF DER ÜBERHOLSPUR
MIT BESSERER VERMESSUNGS-SOFTWARE.**

Professionelle Vermessungs-Software von rmDATA bringt Ihnen eindeutige Wettbewerbsvorteile!

- > Mehr Effizienz durch den perfekten Datenfluss von der Felddatenaufnahme bis zum fertigen Plan
- > Mehr Qualität durch intelligente Automatismen und verlässliche Ergebnisse
- > Mehr Sicherheit durch die permanente Weiterentwicklung Ihrer Programme

Ihr Partner für IT-Dienstleistungen in der Vermessung und Geoinformation

rmDATA Österreich | Prinz Eugen-Straße 12 | 7400 Oberwart | Tel.: +43 3352 38482 | office@rmdata.at | www.rmdata.at

member of **rmDATA** Group

Beiträge der Landesvermessung zum AlpTransit Gotthard-Basistunnel

Das Bundesamt für Landestopografie swisstopo hat in den 1990er Jahren die neue Landesvermessung der Schweiz LV95 konzipiert und als wichtigstes Element das GPS-Landesnetz realisiert. Als zusätzliche Komponenten des neuen Landesvermessungswerkes wurden das Landeshöhennetz LHN95 und ein neues Geoidmodell der Schweiz berechnet. Die neue Landesvermessung erfüllt dank ihrer landesweit homogenen Genauigkeit im Zentimeterbereich auch die Anforderungen der Grundlagenvermessungen für grosse Ingenieurprojekte wie den Gotthard- und den Lötschberg-Basistunnel.

Au cours des années 1990, l'Office fédéral de topographie swisstopo a conçu la nouvelle mensuration nationale MN95 en réalisant sa pièce maîtresse, soit le réseau national altimétrique national RAN95 et par le calcul d'un nouveau modèle de géoïde de la Suisse. Par sa précision homogène de l'ordre du centimètre sur l'ensemble du territoire, la nouvelle mensuration nationale répond également aux exigences des mensurations de base pour les grands projets comme les tunnels de base du Gotthard ou du Lötschberg.

L'Ufficio federale di topografia swisstopo ha concepito negli anni Novanta la nuova misurazione nazionale della Svizzera MN95, realizzando quale elemento principale la rete nazionale GPS. La nuova opera della misurazione nazionale è stata completata con il calcolo di una nuova rete nazionale altimetrica RAN95 e di un nuovo modello del geoide della Svizzera. Per la sua precisione omogenea nell'ordine del centimetro su tutto il territorio, la nuova misurazione nazionale risponde ugualmente alle esigenze delle misurazioni di base per i grandi progetti quali i tunnel del San Gottardo e del Lötschberg.

A. Wiget, U. Marti, A. Schlatter

Das Landesvermessungswerk 1995

Die geodätische Landesvermessung ist eine der Hauptaufgaben des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo. Sie umfasst die Erstellung, Weiterentwicklung und Erhaltung der geodätischen Grundlagen, namentlich der terrestrischen Bezugssysteme und deren Realisierung durch sog. Bezugsrahmen mittels geodätischer Fixpunkt- und Permanentnetze. Ab Mitte der 1980er Jahre ermöglichten es die modernen Technologien der Satellitengeodäsie, insbesondere GPS, die Landesvermessung auf wirtschaftliche Art und Weise zu erneuern und dabei ihre Ge-

nauigkeit und Verwendbarkeit stark zu verbessern. swisstopo hat die Landesvermessung im Rahmen des Projektes Landesvermessung 1995 (LV95) erneuert [Signer 2002]. Die wichtigsten Komponenten des sog. Landesvermessungswerkes 1995 sind: Die Definition der geodätischen Bezugssysteme CHTRS95 und CH1903+, die Fundamentalstation Zimmerwald, das GPS-Landesnetz, das Automatische GNSS Netz Schweiz (AGNES), der Positionierungsdienst swipos, das Landeshöhennetz LHN95, das Landeschwerennetz LSN2004, das Geoidmodell der Schweiz CHGeo2004 und das kinematische Modell CHKM95. Zwischen 1989 und 1995 hat swisstopo das GPS-Landesnetz mit über 200 stabil versicherten Punkten aufgebaut, gemessen und an internationale Referenznetze

angeschlossen. Zusammen mit dem GNSS-Permanentnetz AGNES realisieren diese Punkte den neuen Bezugsrahmen der Landesvermessung LV95, welcher praktisch die Landestriangulation LV03 (1. bis 3. Ordnung) ersetzt. Aus Vergleichsmessungen konnten (gebietsweise systematische) Verzerrungen in der hundertjährigen LV03 bis zu 1.5 m nachgewiesen werden. Demgegenüber ist die landesweite Genauigkeit (1 Sigma) der Lagekoordinaten des Bezugsrahmens LV95 besser als 1 cm. Die neue Landesvermessung vermochte somit die Lagegenauigkeit um den Faktor 100 zu verbessern.

Das neue Landeshöhennetz LHN95 stützt sich zwar weiterhin auf das Landesnivellement (LN) ab. Bei der vollständigen Neubearbeitung aller LN-Daten seit 1903 werden aber auch die räumlichen Variationen des Erdschwerefeldes bzw. der Äquipotenzialflächen (Geoidmodell) berücksichtigt. Zudem werden die tektonischen Bewegungen der Messpunkte (Kinematik der obersten Erdkruste) modelliert und die LN-Messungen einer kinematischen Ausgleichung unterzogen. Im Gegensatz zu den offiziell gültigen Gebrauchshöhen im amtlichen Höhenbezug des Landesnivellements LN02 werden die Höhen im LHN95 potenzialtheoretisch streng als orthometrische Höhen über dem Geoid berechnet und ausgeglichen.

Zum neuen Landesvermessungswerk gehört daher auch ein neues Geoidmodell (CHGeo2004), welches wie das bisherige vor allem auf astrogeodätischen Lotabweichungsmessungen basiert, zusätzlich aber durch GPS-Messungen auf Punkten des Landeshöhennetzes und durch gravimetrische Daten gestützt wird. Die Genauigkeitssteigerung ist insbesondere eine Folge der vielen zusätzlichen Messungen, aber auch der verbesserten Höhen- und Massenmodelle. Um die Konsistenz zwischen den ellipsoidischen Höhen im GPS-Landesnetz (LV95), den orthometrischen Höhen des LHN95 sowie den Geoidundulationen des neuen Geoidmodells zu gewährleisten, wurden deren Messungen und Daten im sog. «Swiss Combined Geodetic Network (CHCGN)» gesamthaft kombiniert ausgeglichen.