Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement

Band: 108 (2010)

Heft: 12: AlpTransit

Artikel: Die Vermessung des längsten Eisenbahntunnels der Welt : die Sicht des Experten des Bauherrn

Autor: Carosio, Alessandro

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-236724

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Vermessung des längsten Eisenbahntunnels der Welt

Die Sicht des Experten des Bauherrn

Der Gotthard-Basistunnel ist auch aus vermessungstechnischer Sicht eine grosse Herausforderung. Der Autor hatte während mehr als 20 Jahren als externer Geodäsie-Experte des Bauherrn gewirkt und hatte so die Möglichkeit, eine tiefe Einsicht in die Bedürfnisse und Abläufe eines solch riesigen Projektes zu erhalten. In der langen Zeit von den ersten Studien bis zur Projektierung und zum Hauptdurchschlag wurden viele Entscheide getroffen, viele Probleme gelöst und eine Menge Erfahrungen gesammelt. Im vorliegenden Artikel beschreibt der Autor aus der Perspektive des Ingenieurs und des Professors die wesentlichen Schritte, die wichtig waren und im Hinblick auf zukünftige Projekte wichtig sein werden.

Le tunnel de base du S. Gotthard est aussi un défi technologique en matière d'ingénierie géodésique. L'auteur a été pendant plus de 20 ans, consultant de la direction de l'ouvrage. Il avait ainsi la possibilité de connaitre à fond les besoins et les processus d'un tel projet gigantesque. Dans cette longue période des premières études, à la planification, jusqu'au récent percement principal quantités inimaginables de.décisions ont été prises, de problèmes ont été résolus et d'expériences ont été accumulées. Avec le présent article l'auteur décrit dans la perspective de l'ingénieur et du professeur les étapes importantes des activités qui resteront fondamentales dans le cadre de projets futurs.

La galleria di base del S. Gottardo è una sfida tecnologica anche dal punto di vista dell'ingegneria geodetica. L'autore è stato per più di 20 anni il consulente esterno per la geodesia del committente. Ha avuto così l'opportunità di conoscere a fondo esigenze e procedimenti di un tale progetto gigantesco. Nel lungo periodo dai i primi studi, alla progettazione fino all'attuale caduta dell'ultimo diaframma sono state prese decisioni, risolti problemi e raccolte esperienze in quantità inimmaginabile. Nel presente articolo l'autore cerca di descrivere dal punto di vista dell'ingegnere e del professore gli eventi salienti dell'attività svolta che avranno di nuovo grande importanza nel quadro di progetti futuri.

A. Carosio

Eine Herausforderung aus allen Perspektiven

Die Tunnelvermessung ist eine technische und organisatorische Herausforderung auch aus dem Blickwinkel des Bauherrn. Die Dauer des Projektes erstreckt sich über mehrere Jahrzehnte. Dadurch entstehen hohe organisatorische Anforderungen. Die gewonnenen Erfahrungen sind über die Zeit zu erhalten. Man muss mit Personalwechsel und Reorganisationen rechnen. Mit der heutigen Dynamik ist anzunehmen, dass die geplanten Verfahren dem technischen Fortschritt mehrmals angepasst werden müssen.

Vermessungsleistungen werden von unterschiedlichen Partnern benötigt: zuerst von den projektierenden Ingenieuren, später von den Tunnelbaufirmen und dann von den Verantwortlichen der Bahntechnik und vom Bauherrn für die Überwachung und die Dokumentation des Bauwerks. Die Vermessungsingenieure müssen in allen Bauphasen Aufträge erhalten und sie schnell und zuverlässig erledigen. Der Bauherr muss die Bedürfnisse fristgerecht erkennen, die entsprechenden Anweisungen erteilen und die Ergebnisse überprüfen und genehmigen. Er muss daher möglichst früh Vermessungsspezialisten beauftragen (z.B. ein Vermessungskonsortium) aber auch über eigene Fachleute verfügen, die in seinem Namen Entscheide treffen, Leistungen anfordern und überprüfen. Es ist vor allem zu beachten, dass die ersten Vermessungsarbeiten vor der Wahl des Vermessungskonsortiums und vor der Wahl der Tunnelbaufirmen benötigt werden.

Für den Gotthard-Basistunnel hatten die SBB zu Beginn die Funktion des Bauherrn. Sie verfügten über eine effiziente und erfahrene Vermessungsabteilung, die die erforderlichen Kompetenzen besass. Die Vielfalt der Aufgaben und vor allem die Dringlichkeit der erforderlichen Vermessungsleistungen und -untersuchungen sprachen für die Ernennung eines externen Experten des Bauherrn, um die SBB-Fachleute zu unterstützen. Als frisch gewählter Professor der ETH Zürich mit kompetenten Mitarbeitenden und einigen Jahren Erfahrung in der Ingenieur- und Landesvermessung war ich an der Aufgabe interessiert und erhielt 1991 diesen Auftrag, der bis heute dauert.

Einflüsse der Vergangenheit

Als 1972 die SBB das Projekt für einen Gotthard-Basistunnel realisieren wollten, erteilten sie der ETH Zürich den Auftrag für die Grundlagenvermessung (hochgenaue Bestimmung der Portale, um später die Tunnelarbeit steuern zu können). Die Aufgabe war in der damaligen Zeit an der Grenze des Machbaren. Distanzmessgeräte für lange Strecken standen nur an der ETH zur Verfügung. Nur die neue Computertechnologie ermöglichte die komplexen Auswertungen, und nur wenige Fachleute konnten diese Möglichkeiten nutzen.

Beauftragt wurde Prof. Dr. Fritz Kobold, Vorsteher des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich, der die technische Leitung des Projektes dipl. Ing. Peter Gerber anvertraute. Dieser führte den Auftrag mit grossem Einsatz aus. Er gestaltete die Triangulations-

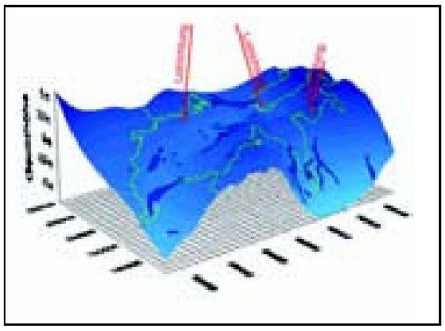

Abb. 1: Das Geoidmodell der Schweiz.

netze, berechnete die erreichbaren Genauigkeiten, beschaffte die neuesten Messgeräte, plante die Helikoptereinsätze und lieferte fristgerecht die erforderlichen genauen Koordinaten aus. Die durchgeführten Studien wurden später in einer Dissertation zusammengefasst (1). Die Politik verzichtete aber aus finanziellen Gründen auf eine sofortige Realisierung des Tunnels.

Gleichzeitig wurden von Prof. Kobold die Studien über das Geoid der Schweiz initiiert (wahrscheinlich ohne zu ahnen, welche Bedeutung sie für den späteren Basistunnel erlangen würden) (2). Diese bahnbrechenden Arbeiten wurden von Kobolds Nachfolger, Prof. Dr. Max Schürer (Prof. der Uni Bern, Lehrbeauftragter an der ETH) fortgesetzt. Das Ergebnis war ein operationelles Computer-Geoidmodell der Schweiz, das in jedem Ingenieurbüro eingesetzt werden konnte (3).

Die Schweiz war so das einzige Land mit einem Geoid-Modell, für jedermann zugänglich und in einer operationell brauchbaren Genauigkeit (Sigma der Lotabweichung 0.3 mGon, Sigma der Geoidhöhe lokal 1 cm, landesweit 10 cm).

Die Professur für Geodäsie und Geodynamik unter der Leitung von Prof. Hans-Gert Kahle setzte die Forschung in diesem wichtigen Bereich fort und berücksichtigte neben den astrogeodätischen auch die gravimetrischen Komponenten und verbesserte die instrumentelle Infrastruktur. So konnte 1997 ein neues und besseres Geoidmodell der Schweiz operationell werden (4). Das neue Modell war zum richtigen Zeitpunkt bereit, um für die Auswertungen am Gotthardtunnel eingesetzt zu werden.

Meine ersten Aufgaben für den Gotthard-Basistunnel

Als ich 1987 die Professur am IGP übernahm, stellte ich fest, dass in der Praxis die neuesten Entwicklungen der modernen Geodäsie bekannt waren, aber dass oft die praktische Erfahrung fehlte, um sie mit Vorteil in Projekten einzusetzen. Gerade zu dieser Zeit sprach man von einer Wiederaufnahme des Gotthard-Tunnelprojektes, und die Arbeiten am Eurotunnel unter dem Ärmelkanal waren startbereit. Aus regionalpolitischen Gründen wurden dort lokale, nicht besonders erfahrene Firmen aus Grossbritannien und Frankreich beauftragt. Bald traten technische Schwierigkeiten in Erscheinung. Deutsche Vermessungsingenieure wurden dann beigezogen, um die Arbeit zu unterstützen. Sie waren unter den gegebenen Umständen erfolgreich. Der Durchschlagsfehler von 35 cm war allerdings grösser als erwartet; Ursache des grösseren Fehlers war die ungenügende Berücksichtigung der Refraktion im Tunnel, die Vernachlässigung der Lotabweichung und Schwächen bei den Portalorientierungen. Diese Situation war am IGP vor dem Durchschlag am Eurotunnel bekannt.

Einen ersten Auftrag für den Gotthard-Basistunnel erhielt ich 1990, die neu möglich gewordenen GPS-Messungen mit den Messungen der Triangulation Kobold der 70er Jahre zu vergleichen. Weitere Abklärungen in Zusammenhang mit dem damaligen Stand der Technik und mit dem Umfang der vorhandenen Vermessungsgrundlagen kamen unmittelbar danach.

Die am Ärmelkanal festgestellten Mängel hätten für den Gotthardtunnel verheerende Folgen gehabt, da die Orientierung wegen der Tunnellänge mit Kreiselmessungen im Tunnelinnern verbessert werden muss und die unberücksichtigten unregelmässigen Lotabweichungen des Alpenraums die Kreiselnordrichtung sehr stark verfälscht hätten. Man muss wesentlich bessere Modelle für die Auswertung einsetzen, um eine den heutigen Anforderungen entsprechende Genauigkeit

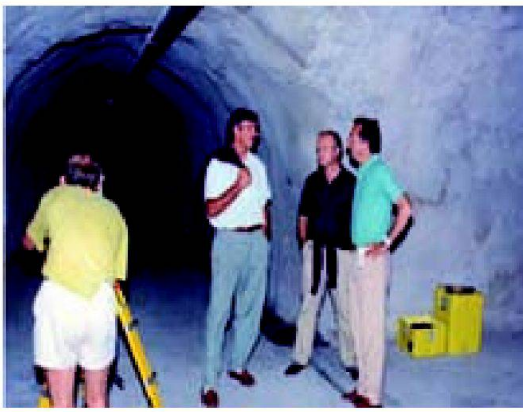

Abb. 2: Student mit F. Ebneter, A. Gisi und A. Carosio im Sicherheitsstollen des Gotthard-Strassentunnels (Airolo 1992).

zu erreichen. Ich konnte damit weitere Studien begründen, die von meiner Forschungsgruppe aus eigener Initiative mit ETH-Krediten in Angriff genommen wurden.

Im Einvernehmen mit den damaligen Kollegen F. Chaperon und H. Matthias beantragte ich die Beschaffung (bei DMT in Deutschland) eines Kreiseltheodoliten höchster Genauigkeit und einen Forschungskredit, um die erforderlichen mathematischen Modelle zu entwickeln und zu erproben. Die ETH war weitsichtig. Der Vizepräsident Dienste (C.A. Zehnder) bewilligte die Finanzierung beider Vorhaben, und so konnte die ETH ab 1992 eine Reihe Untersuchungen durchführen.

Da wir über eine Klimakammer verfügen, die auch für hochgenaue Richtungsmessungen ausgerüstet ist, konnten wir auch umfassende und realitätsnahe instrumentelle Analysen gestalten. Die wichtigsten Arbeiten in dieser Anfangszeit waren allerdings die Studien über die Wirkung auf die Kreiselazimute des unregelmässigen Schwerefeldes im Alpengebiet und über die Möglichkeit, sie rechnerisch mit dem verfügbaren Geoidmodell (Lotabweichungen) zu korrigieren.

Weitere Abklärungen richteten wir auf die Genauigkeitsschätzung der vorgesehenen Messungen unter realitätsnahen Bedingungen. Damit konnte man die erreichbaren Durchschlagsgenauigkeiten realistisch schätzen (5), (6), (7), (8), (9).

Abb. 3: Diplomvermessungskurs in Lugano 1994.

Der Wissenstransfer

Da 1992 das Projekt des Gotthard-Basistunnels vom Volk angenommen wurde, war der dringende Technologie-Transfer in die Praxis ein grosses Anliegen. Dies geschah zum Teil durch Beteiligung von Institutsmitarbeitern und auch von Studierenden an den Untersuchungen. Sie konnten damit Fachwissen sammeln und weiterentwickeln. Das Publikationsverzeichnis zeigt die Namen der Autoren der damaligen Studien. Sie waren später mehrheitlich am Erfolg der Vermessungsarbeiten am Gotthard als Verantwortliche im Vermessungskonsortium direkt beteiligt und konnten dort ihr Wissen mitbringen und einsetzen. Die erfolgreiche Nachwuchssicherung war daher eine indirekte Folge des Expertenauftrags.

Eine weitere wichtige Folge der Expertentätigkeit für den Gotthard-Basistunnel war eine erfolgreiche Serie von Weiterbildungsseminaren über aktuelle Themen der Ingenieurgeodäsie (Messtechnik, Auswerteverfahren, Geoid, Kreiseltheodolite usw.), die wir 1993 und 1994 im Hinblick auf die zukünftige Tunnelprojekte organisierten, in welchen die Autoren unserer Untersuchungen über die praktischen Folgen der Resultate orientierten.

Es gibt gute Gründe zu glauben, dass die Ergebnisse der internationalen Ausschreibung der Tunnelvermessung des Basistunnels von diesen mehrmals wiederholten Seminaren massgebend beeinflusst wurden. Die Angebote der schweizerischen Firmen waren in allen Hinsichten am erfolgreichsten. Sie konnten sich für die Aufträge in allen Losen von AlpTransit durchsetzen. Die ETH hatte für den Wissenstransfer fristgerecht und erfolgreich gesorgt und wirksame Voraussetzungen für die Nachwuchsförderung geschaffen.

Weitere Forschungsaktivitäten

In der gleichen Zeit wurden andere Forschungsprojekte zu Ende geführt, die ebenfalls für die Alpentransversalen, wenn auch indirekt, von Bedeutung waren:

a) Das Zuverlässigkeitsmodell für die Schweizerische Landesvermessung, in der Praxis bekannt unter dem Begriff «Zuverlässigkeitsrechtecke» (10).
b) Methoden der Robusten Statistik in der Geodäsie (12), (13).

Abb. 4: Seminarprogramm 1994.

c) Die Kombination von terrestrischen Messungen und Satellitenbeobachtungen in ebenen Netzen (11).

Diese Verfahren werden noch heute in der Praxis täglich eingesetzt und sind die Standardverfahren, die für die Auswertung und Beurteilung der geodätischen Messungen des Gotthardtunnels verwendet werden. Sie werden ebenfalls für den Lötschberg- und Monte-Ceneri-Tunnel gebraucht.

Operative Mitwirkung

Die Aufgaben des Geodäsie-Experten ändern mit der Zeit. Während in der ersten Phase die wissenschaftlichen Abklärungen im Vordergrund standen, begann ich mich 1994 auch mit dem operativen Teil der Tunnelvermessung zu befassen. Ich wirkte mit den anderen Experten (F. Ebneter, K. Egger und St. Flury) im Redaktionskomitee des Vorprojekts mit, in welchem die Anforderungen an die Vermessung des Gotthard-Basistunnels formuliert wurden. Die bereits erwähnten ETH-Untersuchungen (Simulationen, Zuverlässigkeitsindikatoren usw.) fanden dabei Anwendung. Das Vorprojekt war die Grundlage für die internationale Ausschreibung der Vermessungsarbeiten.

Anfangs 1995 war ich dann Mitglied der Evaluationskommission, die unter der Lei-

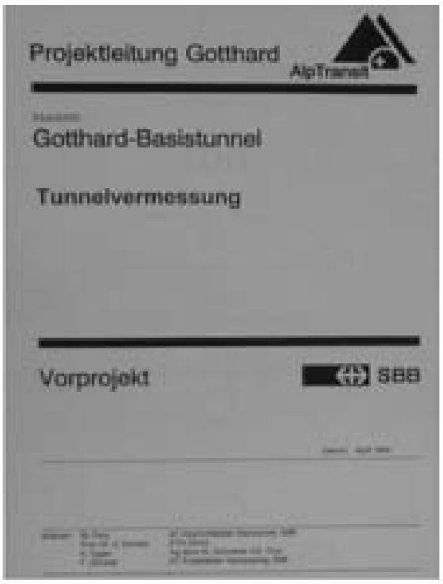

Abb. 5: Vorprojektbericht vom April 1994.

tung von Vermessungsdirektor W. Bregenzer Offerten bewertete und zur Auftragserteilung an das Vermessungsingenieurkonsortium VIGBT für den Gotthard-Basistunnel führte. Nach der Auftragserteilung an das Vermessungsingenieurkonsortium übergab der Bauherr die Verantwortung den beauftragten Vermessungsingenieuren. Trotzdem blieb die Bedeutung der ETH für die Tunnelvermessung am Gotthard nicht weniger wichtig.

Forschung nach Bedarf

Wenn Fragen auftauchten oder Unsicherheiten bestanden, starteten wir Studien über die aufgetretenen Unklarheiten. Die Ergebnisse wurden sofort dokumentiert und AlpTransit Gotthard AG und den Vermessungsingenieuren zur Verfügung gestellt, z.B. (14), (15), (16), (17). Die Forschungsarbeiten und ihre Ergebnisse fanden national und international Relevanz. Sie wurden oft an internationalen Kongressen präsentiert und in Proceedings und Fachzeitschriften veröffentlicht.

Überprüfung der Vermessungsleistungen

Im Laufe der Zeit erhielt ich in zunehmendem Mass Berichte mit Ergebnissen von Vermessungsleistungen zur Überprüfung. Diese Arbeit dient zur Risikominimierung. In der Regel werden dabei keine bedeutenden Mängel festgestellt. Die Überprüfung gibt aber Gelegenheit, technische Herausforderungen zu besprechen, Alternativen zu vergleichen und allfällige Verbesserungen zu planen.

Abb. 6: Die laufenden Expertisen.

Abb. 7: Systematische Fehler und Nivellemente.

Es gab wenige Ausnahmen: 1991 konnte ein Implementierungsproblem beim Geoidmodell identifiziert werden, welches je nach Installation andere Ergebnisse lieferte. Die Ursache konnte korrigiert werden, bevor die Tunneltrassierung beeinflusst wurde. Später (1998) tauchte ein Problem mit den damals neuen Digitalnivelliergeräten der höchsten Genauigkeitsklasse auf. Es gab systematische Höhenfehler bei Messungen unter Tag. Die Fehlerquelle konnte identifiziert werden. Das Vermessungskonsortium des Lötschbergtunnels entwickelte eine homogene Lattenbeleuchtung mit LED und Dank neuen Einsatzregeln für diese Instrumente konnten die Messungen im Basistunnel so durchgeführt werden, dass systematische Einflüsse immer im vernachlässigbaren Bereich blieben.

Die Azimutmessungen mit dem Kreiseltheodoliten

Während den Tunnelarbeiten wurde das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich periodisch beauftragt, im Tunnel Kreiseltheodolitmessungen durchzuführen. Da die ETH als einzige Institution der Schweiz ein solches Gerät besass und in der Lage war es auch zu kalibrieren, waren diese Messungen notwendig.

Um die Unabhängigkeit meiner Expertenfunktion nicht zu gefährden, wurden diese Arbeiten mehrheitlich von D. Salvini selbstständig und unabhängig von meinen Expertisen im Auftrag vom Vermessungskonsortium VIGBT ausgeführt. Auf Wunsch der AlpTransit AG und VIGBT wurden Teile der Kreiselazimute auch vom Instrumentenhersteller (DMT Essen) und von der Uni der Bundeswehr gemessen, um von Zeit zu Zeit eine unabhängige Kontrolle zu haben.

Abb. 8: Der Kreiseltheodolit der ETH Zürich im Einsatz im Gotthardtunnel.

Die wichtigste Aufgabe des Experten des Bauherrn

Ein externer Experte ist in der ersten Phase des Projektes eine Anlaufstelle für wissenschaftliche Untersuchungen. Er hat oft auch eine beurteilende Funktion. Während der ganzen Zeit, aber vor allem bei der Arbeitsausführung, hat er eine sehr wichtige Sicherungsaufgabe für den Notfall. Bei unerwarteten Ereignissen sowohl im technischen als auch im organisatorischen Bereich kann er mit seinem Mitarbeiterstab die primär Verantwortlichen unterstützen oder notfalls ersetzen. Das Unerwartete kann nicht geplant werden, man kann höchstens versuchen, Risikoszenarien zu konstruieren. Dies wurde von AlpTransit Geomatik zusammen mit VIGBT und mit dem hier schreibenden Experten auch getan. Glücklicherweise konnte man feststellen, dass die geplanten Massnahmen bis zuletzt hinreichend waren. Wir sind von Notfallsituationen

verschont geblieben. Es wäre aber unverantwortlich gewesen, sich nicht auch auf solche Ereignisse vorzubereiten.

Abschliessende Bemerkungen

Die Vermessung eines modernen Tunnelsystems ist keine Routinearbeit. Es braucht kompetente, erfahrene und ausgewiesene Geomatikingenieure, die auch unerwartete Ereignisse meistern können. Voraussetzung für die Erteilung der Aufträge der Ingenieurvermessung ist die Festlegung von strengen Kriterien für die Bewerber, die sich über hinreichende Referenzen bei vergleichbaren Arbeiten auszuweisen haben. Ebenfalls müssen die Bewerber über einen Mitarbeiterstab verfügen, in welchem Ingenieure mit universitärer Ausbildung und Fachhochschuldiplomierte geodätischer Richtung zum ständigen Personalbestand gehören. Ausbildung und Erfahrung können nicht improvisiert werden. Man muss beachten, dass die Vermessungsleistungen über Jahrzehnte zu erbringen sind und dass in dieser Periode Mitarbeiter das Rentenalter erreichen oder sich sonst anders orientieren können. Die gewählte Firma muss Gewähr bieten, dass eine Kontinuität in der Kompetenz unter allen Umständen gesichert ist.

Das leitende Personal muss die heute erforderliche TBM-Genauigkeit schon bei Projektbeginn garantieren können und muss die wissenschaftlichen Entwicklungen verfolgen und die neuen Errungenschaften im Planungskonzept laufend integrieren. Ungeplante Vorkommnisse können neue Leistungen erfordern oder Notfalleinsätze verlangen. Dies kann nur ein spezialisierter Unternehmer leisten, der vielfältige Aufträge bearbeitet und in der Lage ist, Personal und Kompetenzen nach Bedarf zur Verfügung zu stellen.

Für den Gotthard-Basistunnel waren diese Voraussetzungen erfüllt, und dazu sind zum Glück (oder vielleicht dank der Kompetenz der Beteiligten) keine Notsituationen oder unerwarteten Vorfälle entstanden. Die organisatorischen Voraussetzungen, um auch in einem solchen Fall zum Ziel zu kommen, waren allerdings gegeben.

Die Kosten der Vermessung im Verhältnis zu den Gesamtkosten sind sehr gering. Eine hoch qualitative Vermessung ermöglicht die Reduktion des Tunnelprofils, macht nachträgliche Profilkorrekturen überflüssig, signalisiert unmittelbar ein unerwartetes Verhalten des Gebirges usw. Sie bewirkt dadurch Einsparungen, die ohne weiteres 100 Mio. bis 1 Mia. CHF betragen können, auch wenn man sie nicht genau nachweisen kann. Es lohnt sich daher, in die Vermessungsleistungen genug zu investieren, um möglichst wenig Risiken in diesem Bereich einzugehen. Für den Gotthard-Basistunnel hat sich diese Politik bewährt.

Literatur:

(1) Peter Gerber: Das Durchschlagsnetz zur Gotthardbasislinie, Doktorarbeit ETH Zürich 1974.

(2) Alois Elmiger: Studien über die Berechnung von Lotabweichungen aus Massen, Interpolation von Lotabweichungen und Geoidbestimmung in der Schweiz, Doktorarbeit ETH Zürich 1969.

(3) Werner Gurtner: Das Geoid in der Schweiz, Doktorarbeit ETH Zürich 1978, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Blaue_Berichte_PDF/20.pdf.

(4) Urs Marti: Integrierte Geoidbestimmung in der Schweiz, Doktorarbeit ETHZ 1997), http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:40540/eth-40540-01.pdf.

(5) M. Zanini: Hochpräzise Azimutbestimmung mit Vermessungskreiseln, IGP Bericht 209, ETH Zürich 1992, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/209.pdf.

(6) K. Maser: Alptransit, Portalnetz Polmengo. Absteckung des Portals des Sondierstollens zur Untersuchung der Pioramulde, IGP Bericht 213, ETH Zürich 1993, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/213.pdf.

(7) M. Zanini, R. Stengele, M. Plazibat: Kreiselazimute in Tunnelnetzen unter Einfluss des Erdschwerefeldes, IGP Bericht 214, ETH Zürich 1993, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/214.pdf.

(8) O. Reis: Die Überprüfung des Gotthardbasisnetzes, IGP Bericht 224, ETH Zürich 1993, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_ Berichte_PDF/224.pdf.

(9) O. Reis: Calculs de simulation pour la ligne de base du St. Gothard, IGP Bericht 231, ETH Zürich 1994, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/231.pdf.

(10) A. Carosio, Hsg.: Zuverlässigkeit in der Vermessung Weiterbildungstagung ETH-Hönggerberg 15. und 16. März 1990, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/169.pdf.

(11) A. Carosio: La combinaison de mesures terrestres et par satellite dans les réseaux planimétriques, Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 10/1992, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/311.pdf (siehe Kap. 14).

(12) Fridolin Wicki: Robuste Ausgleichung geodätischer Netze , IGP Bericht 189, ETH Zürich 1992, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/189.pdf.

(13) Fridolin Wicki, M-Schätzer: IGP Bericht 190, ETH Zürich 1992, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/190.pdf.

(14) O. Reis: Mesures gyroscopiques et déviation de la verticale, IGP Bericht 249, ETH Zürich 1995, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/249.pdf.

(15) A. Carosio, O .Reis: Geodetic Methods and Mathematical Models for the Establishment of New Trans-Alpine Transportation Routes, IGP Bericht 260, ETH Zürich 1996, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/260.pdf.

(16) Desiderio, R. Koch: Der Einfluss der Temperatur auf Kreiselazimute hoher Präzision., IGP Bericht 281, ETH Zürich 1998, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/281.pdf.

(17) Dante Salvini: Deformationsanalyse im Gotthardgebiet, IGP Bericht 297, ETH Zürich 2002, www.igp-data.ethz.ch/berichte/Graue_Berichte_PDF/297.pdf.

Prof. Dr. Alessandro Carosio
em. Prof. für Geoinformationssysteme und Fehlertheorie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich
alessandro.carosio@geod.baug.ethz.ch