**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:** Moderne Technologien und Konzepte zur Lösung der messtechnischen Herausforderungen bei AlpTransit

**Autor:** Ingesand, Hilmar

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-236721

**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:** 10.12.2025

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

# Moderne Technologien und Konzepte zur Lösung der messtechnischen Herausforderungen bei AlpTransit

Mit dem Bau des Gotthard-Basistunnels ergaben sich extrem hohe Forderungen an die Vermessungsexperten, die nur mit innovativen Ideen und der Entwicklung neuer Messmethoden erfüllt werden konnten. Parallel zu den Bauabsteckungen und Monitoringaufgaben erfolgten insbesondere in den 1990er Jahren wegweisende Entwicklungen im Instrumentenbau, ohne die die Genauigkeitsforderungen nicht erreichbar gewesen wären.

*Lors de la construction du tunnel de base du Gothard des exigences extrèmement élevées se sont posées aux spécialistes de la mensuration qui n'ont pu être satisfaites qu'avec des idées novatrices et le développement de nouvelles méthodes de mensuration. Parallèlement aux piquetages d'ouvrages et tâches de monitoring des développements d'avant-garde dans la construction d'instruments ont été réalisés notamment dans les annés 90 sans lesquels les exigences de précision n'auraient pas pu être remplies.*

Con la costruzione della galleria di base del Gottardo gli esperti in misurazioni sono stati esposti a sollecitazioni estreme che sono state superate solo grazie a idee innovative e allo sviluppo di nuovi metodi di misurazione. Negli anni '90, parallelamente ai picchettamenti edili e ai compiti di monitoraggio, si sono avuti degli sviluppi significativi nella costruzione di strumentazioni, senza le quali non sarebbe stato possibile soddisfare i requisiti di precisione richiesti.

*H. Ingensand*

## Neuentwickelte Messtechnologien beim Gotthard-Basistunnel Projekt

Die frühere Triangulation und Trilateration zur Erstellung eines Referenznetzes (Elmiger et al., 1993) wurde durch GPS und später GNSS völlig ersetzt. Im Jahre 2005 wurde von der ETH ein Weltrekord aufgestellt, indem simultan mit 28 GNSS-Empfängern das Fixpunktnetz überprüft wurde (Ryf, 2006). Digitale Präzisionsnivelliere, die 1995 erstmals von allen namhaften Herstellern angeboten wurden, sind aus der heutigen Höhenmesstechnik nicht mehr wegzudenken. Die bisherigen geringen Höhenabweichungen bei den Durchschlägen sprechen für die Genauigkeit dieser auf Bildverarbeitung basierenden Technik. Speziell für die Messungen in Tunneln wurden homogene Beleuchtungen für Nivellierlatten entwickelt. Mithilfe von Digitalnivellieren wurden auch die Bodensenkungen über dem Gotthard-Strassentunnel aufgedeckt (Swisstopo, 1998).

Das im Jahr 1999 infolge dieser Bodensenkungen installierte Monitoringsystem für die Staumauern Nalps, Cunera, St. Maria und die umliegende Geländeoberfläche wäre ohne die zeitgleich entwickelte neue Generation von motorisierten und automatisch zielenden Tachymetern undenkbar gewesen. Mit diesen Systemen, in Kombination mit GPS und weiteren geotechnischen Sensoren, konnten Bewegungen der Staumauern und der Talflanken im Submillimeterbereich aufgedeckt und weitere Bodensenkungen über dem Tunnelvortrieb durch gezielte Gegenmassnahmen gestoppt werden. Auch die anfangs des neuen Jahrtausends aufkommende Laserscanningtechnik eroberte die Messtechnik im Tunnelbau. Bereits 2002 wurden erste Versuche mit Laserscanning zur Bestimmung der Tunnelgeometrie vorgenommen. Inzwischen wird Laserscanning als Standardmethode im Tunnelmonitoring (Zogg, 2007) und in der Tunneldokumentation eingesetzt. Neben diesen Technologien wurde 1997 an der ETH im Rahmen einer Studie zur Risikominimierung ein so genanntes Tubemeter entwickelt, welches in einer Probebohrung vor dem Durchschlag die Differenz geometrisch erfassen sollte. Technologisch handelt es sich um einen «gleitenden» Polygonzug, wobei die Höhendifferenzen fortlaufend aus Neigungsmessungen bestimmt werden.

## Refraktion und Turbulenz in Tunnelbauprojekten

Die grössten Probleme der optischen Präzisionsmesstechnik sind bei den heutigen Messverfahren, die eine immer höhere innere Genauigkeit aufweisen, vor allem die äusseren Einflüsse der Atmosphäre in Form von Refraktion und Turbulenz. Insbesondere in einem Tunnelprojekt und dem Monitoring der Staumauern sind diese Einflüsse sorgfältig zu erfassen und modellieren. Ausführliche Messungen in Tunneln insbesondere im Portalbereich wurden ab 1997 mit einem eigens an der ETH entwickelten mobilen Temperaturgradientenmesssystem im Vereina- und Albulatunnel vorgenommen (Hennes et al., 1999).

Parallel dazu wurde an der ETH ein Zweifarbdispersometer entwickelt, welches eine refraktionsfreie Richtungsmessung ermöglicht, indem aus der Differenz der von der Atmosphäre unterschiedlich abge-

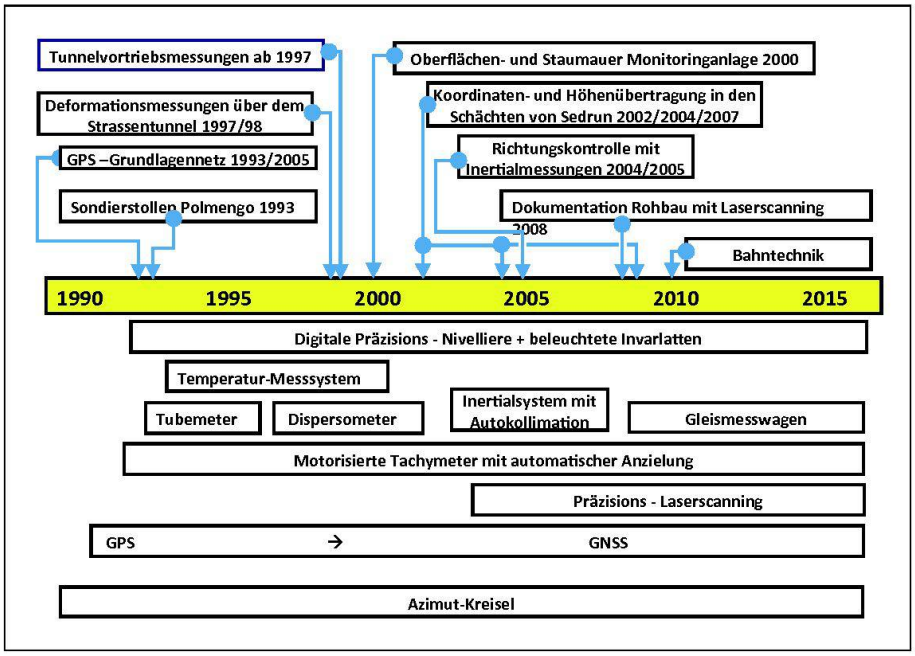


Abb. 1: Technologiefortschritte und Bauphasen beim Gotthardbasistunnel.

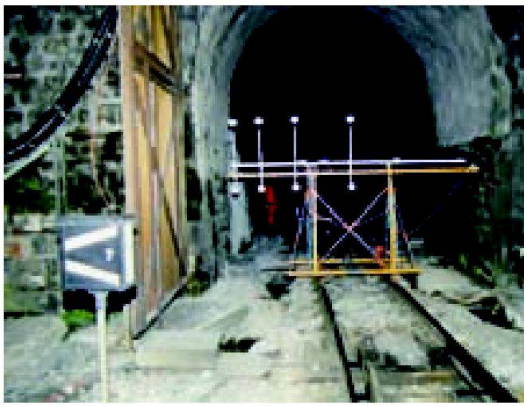

Abb. 3: Temperaturgradientenmesssystem.

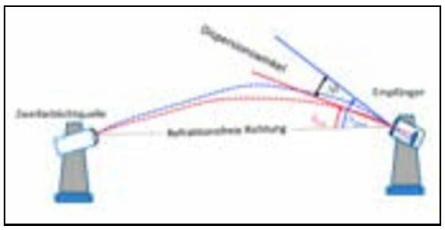

Abb. 4: Prinzip des ETH Dispersometers.

lenkten roten und blauen Laserstrahlen die refraktionsfreie Richtung hypothesenfrei abgeleitet werden kann (Abb. 4). Leider sind die technologischen Herausforderungen an die Dispersometrie hinsichtlich der Zweifarblichtquelle und der Detektion des blauen und roten Laserspots sehr hoch, so dass es bis heute nicht zu einer Implementation in geodätischen Instrumenten gekommen ist. Die Machbarkeit wurde aber bewiesen (Böckem, 2001).

## Richtungsübertragung im Vertikalschacht von Sedrun

Eine weitere Herausforderung war die Richtungsübertragung im 800 Meter Vertikalschacht von Sedrun. Alternative Lösungen wie Richtungsübertragung mit polarisiertem Licht, räumliches Trilaterationsnetz oder Doppellotung mussten aus Genauigkeits- und Kostengründen verworfen werden, so dass zunächst nur die Richtungsübertragung mit nordweisenden Kreiseln, wie sie ursprünglich für das Markscheidewesen entwickelt wurden, in Frage kam. Auch diese Messungen unterliegen äusseren Einflüssen wie Lotabweichungen, die ihrerseits wiederum aus Modellen abgeleitet werden, und Tem-

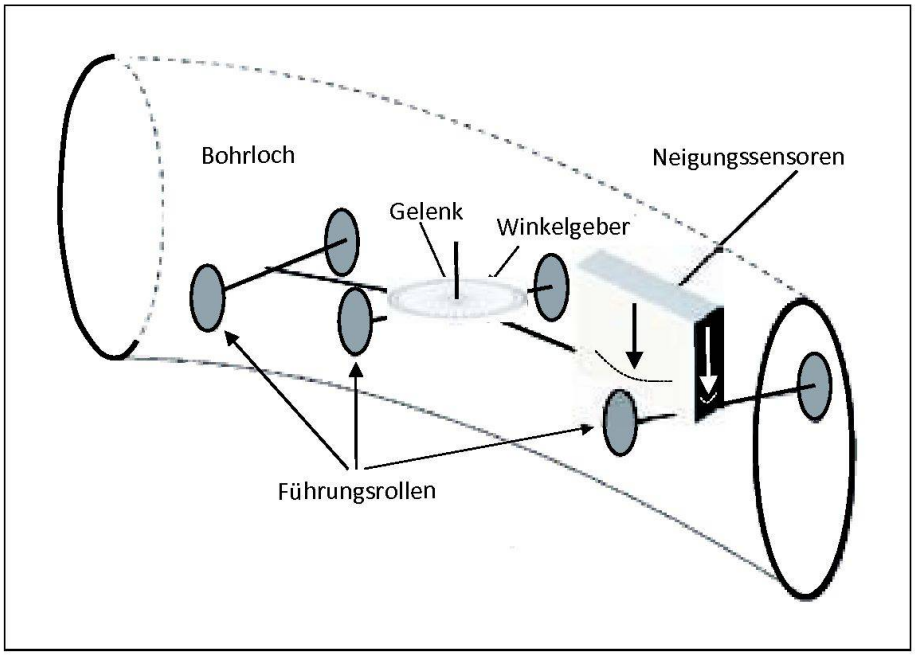


Abb. 2: ETH Tubemeter.

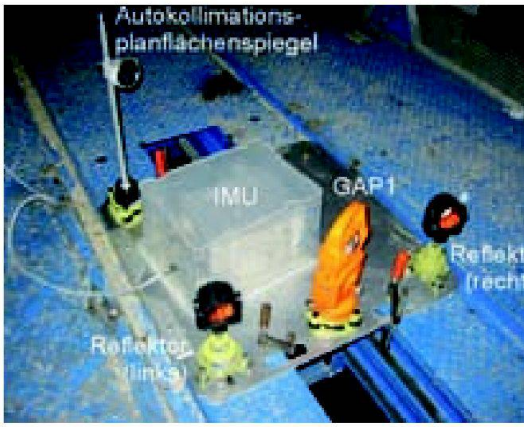


Abb. 5: Richtungsübertragung mit einem IMAR Inertialmesssystem.

**Abb. 6: Gleismesswagen Swisstrolley (terra) und RACER (UniBw).**

peratureinflüssen. Bereits 1997 wurde als unabhängige Richtungsübertragung der Einsatz von einem Inertialsystem erwogen. Erst die Versuche der TU München zur Richtungsübertragung mit einem Inertialsystem im Olympiaturm liessen die Experten hoffen, dass ein Inertialsystem eine der Kreiselmessung vergleichbare Genauigkeit liefern kann (Neuhierl et al., 2006).

Der Vergleich dieser 2004 und 2005 durchgeführten Messungen zeigte eine Differenz von 2.2 mgon gegenüber den mit Kreiselmessungen übertragenen Richtungen.

## Kinematische Gleismesstechnik

Im Hinblick auf den Einbau der Gleise wurde im Rahmen eines Projektes der Kommission für Technologie und Innovationen (KTI) der Gleismesswagen Swisstrolley™ entwickelt (Glaus, 2006). Dieser wurde erfolgreich im Thalwiltunnel eingesetzt, der ja ein Teil der Zubringerstrecke zum Gotthardbasistunnel darstellt. Bei der so genannten festen Fahrbahn werden Genauigkeiten im Submillimeterbereich für die Absteckung verlangt, die mit diesem Gleismesswagen in Verbindung mit Präzisionstachymetern erreichbar ist. Für Gleismessungen im Lötschbergtunnel wurde von der Universität der Bundeswehr das kinematisch messende System RACER entwickelt, welches nun auch im Gotthardbasistunnel zum Einsatz kommen wird.

## Zusammenfassung

Das Projekt AlpTransit mit seinen hohen Forderungen an die Vermessung hat in allen Bereichen der Messtechnik, dem Instrumentenbau und in der Auswertung einen Technologiefortschritt initiiert. Ausserdem haben insbesondere die permanenten Messsysteme zur Staumauer- und Geländebeobachtung neue Erkenntnisse in den mit dem Tunnelbau zusammenhängenden geologischen Modellen gebracht. Mit dem erfolgreichen Durchschlag wurde die Leistungsfähigkeit geodätischer Messmethoden und der Modellierung der speziellen Einflussfaktoren in Tunneln unter Beweis gestellt.

*Literatur:*

Neuhierl, T., Ryf, A., Wunderlich, T., Ingensand, H. (2006): AlpTransit Sedrun: Weltpremiere mit inertialer Messtechnik. Geomatik Schweiz, 6/2006.

Ryf, A. (2006): Gotthardtunnel: Weltrekord. Reporter 55: Das Magazin der Leica Geosystems. Heerbrugg, Oktober 2006.

Hennes, M., Dönicke, R., Christ, H. (1999): Zur Bestimmung der temperaturgradienteninduzierten Richtungsverschwenkung beim Tunnelvortrieb. VPK, 8/99, S. 418–426.

Glaus, R. (2006): The Swiss Trolley – A Modular System for Track Surveying. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz (SGK), Band 70.

Zogg, H.-M. (2007): Terrestrisches Laserscanning zur Aufnahme von technischen Bauwerken am Beispiel von Schachtkammern. In: Beiträge zum 74. DVW-Seminar «Terrestrisches Laserscanning – Ein Messverfahren erobert den Raum» (Red.: Barth/Foppe/Schäfer), Fulda.

Elmiger, A., Köchle, R., Ryf, A., Chaperon, F. (1993): Geodätische Alpentraverse Gotthard. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz , Nr. 50.

Böckem, B. (2001): Development of a dispersometer for the implementation into geodetic high-accuracy measurement systems. Diss. ETH No 14252.

Swiss Federal Office of Topography Swisstopo (1998): Bodensenkungen über dem Gotthardstrassentunnel. Presse Mitteilung 22.1.1998.

Prof. Hilmar Ingesand
Geodätische Messtechnik und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH Zürich
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
CH-8093 Zürich
ingensand@geod.baug.ethz.ch