

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:	Steuerung der Tunnelbohrmaschine am Gotthard
Autor:	Messing, Manfred
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-236726

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: 19.01.2026

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

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 durchgeföhrten 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 Inclinometer zur Bestimmung von Neigungen sowie die softwaregesteuerten Klapprismen, 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.

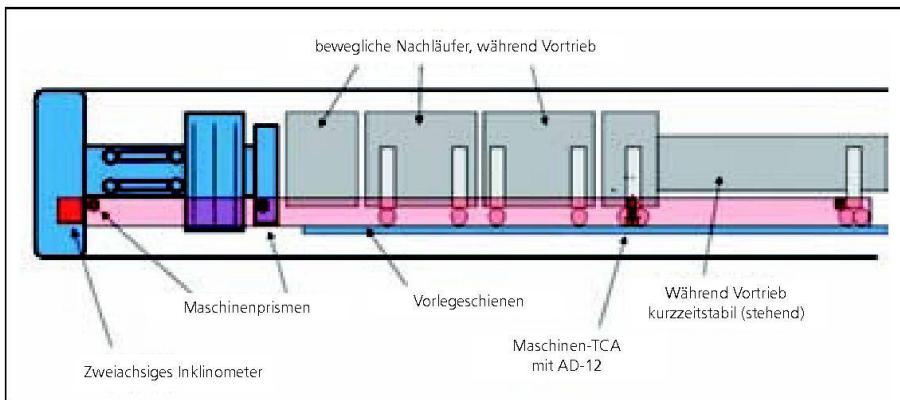


Abb. 1: Nachläuferkonzept im Gotthard-Nord Abschnitt.

Steuerleitsystem im Abschnitt Gotthard-Nord – Amsteg

Im Nordabschnitt wurden die ersten drei Nachläufer während eines Vortriebs über Vorlegeschiessen mitgezogen. Die folgenden Nachläufereinheiten hingen auf 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 Vorlegeschiessen, 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.

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 Steuerrechner 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 kompensierte und die Totalstation immer automatisch horizontierte.

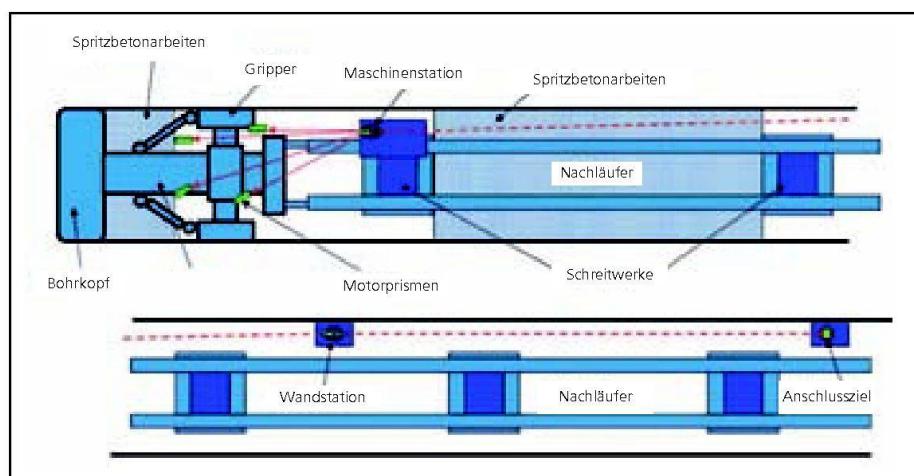


Abb. 4: Nachläuferkonzept im Gotthard-Süd Abschnitt.



Abb. 2: Totalstation Gotthard-Nord.



Abb. 3: Eingebaute Klappprismen (geschlossen).

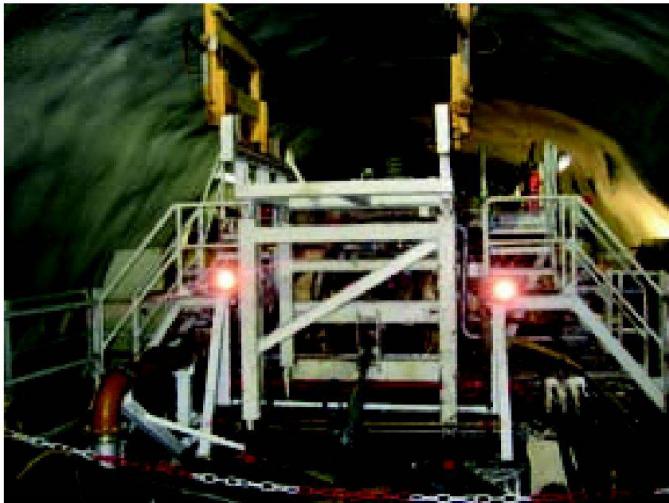


Abb. 5: Klappprismen auf Maschinenrahmen.



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 Steuerleitrechner, 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.

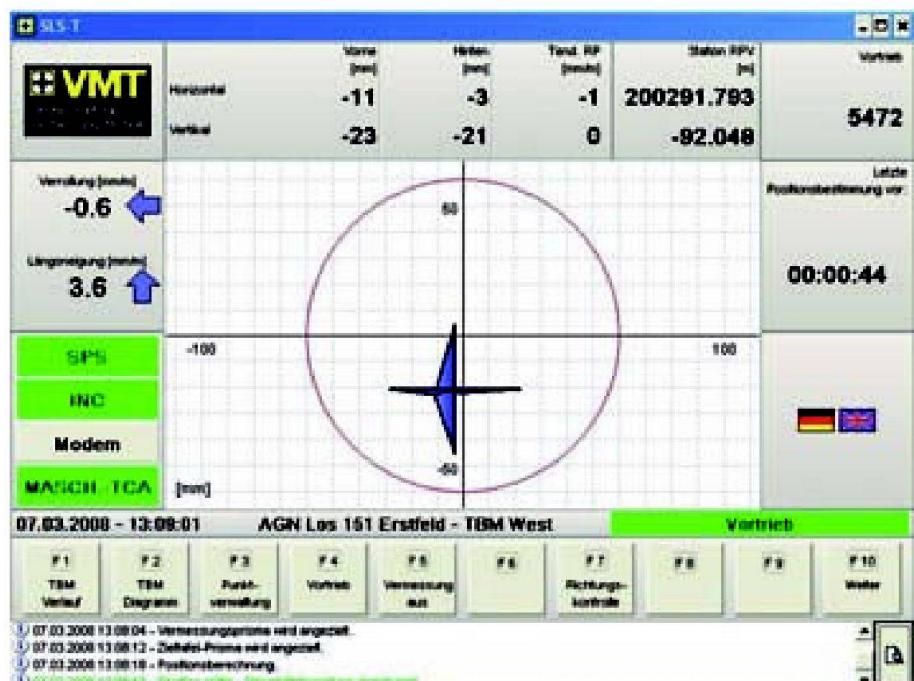


Abb. 7: Über Transformation berechnete TBM-Position in Relation zur geplanten Tunnelachse.

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 zurücklegenden (historischen) Schildfahrt 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 Feldaufnahme 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@rmdaata.at | www.rmdaata.at