

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: 104 (2006)

Heft: 6: Geomatiktage Luzern = Journées de la géomatique Lucerne

Artikel: Die Navigation der Tunnelbohrmaschinen : das Steuerleitsystem SLS

Autor: Messing, Manfred

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236335>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.01.2025

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

Die Navigation der Tunnelbohrmaschinen

Das Steuerleitsystem SLS

Neben den vielfältigen vermessungstechnischen Aufgaben zur Erstellung und zur Überwachung des Gotthard-Basistunnels gehört auch die Steuerung der Tunnelbohrmaschinen, welche aufgrund von automatisierten Messsystemen geleitet werden. Daher auch die Bezeichnung «Steuerleitsystem» (SLS). Dabei handelt es sich um einen klassischen Navigationsvorgang. 1. Positionsbestimmung und 2. Kursbestimmung aufgrund der aktuellen Position und Tendenz der Maschine. Das Steuerleitsystem kann daher auch im weitesten Sinne als Navigationssystem bezeichnet werden.

Outre les diverses tâches de technique de mensuration destinées à la construction et à la surveillance du tunnel de base du St-Gotthard, il y a aussi le guidage des tunneliers assuré par des systèmes de mesure automatiques. D'où aussi l'appellation «système de conduite» (SLS). Il s'agit d'une procédure de navigation classique. Premièrement: détermination de la position et deuxièmement: détermination de la trajectoire sur la base de l'actuelle position et de la tendance de la machine. C'est pourquoi le système de conduite peut aussi être désigné comme système de navigation au sens large.

Tra gli innumerevoli compiti di misurazione per la realizzazione e la sorveglianza della gallerie di base del Gottardo, troviamo anche il comando delle fresatrici che scavano il tunnel, azionate da sistemi di misura automatizzati, i cosiddetti «SteuerLeitSysteme» (SLS). Si tratta di un classico processo di navigazione che si occupa, in primo luogo, della definizione della posizione e, in secondo luogo, della determinazione della rotta in base alla posizione e alla tendenza attuale della macchina. Il SLS può quindi essere definito un sistema di navigazione a tutti gli effetti.

M. Messing

Für die neuen Alpentransversalen am Gotthard wie auch am Lötschberg sind die modernsten Tunnelbohrmaschinen eingesetzt, welche die bestmögliche Vortriebsleistung realisieren können. Die hohen Vortriebsleistungen von bis zu 35 m pro Tag erfordern eine sehr hohe Verfügbarkeit aller beteiligten Systeme. Zudem sind die klimatischen Randbedingungen, die beengten Verhältnisse sowie die Vibrationen auf der Maschine während des Vortriebs nicht unbedingt die besten Voraussetzungen, um mit der üblichen vermessungstechnischen Sorgfalt zufrieden stellende Ergebnisse zu erzielen. Für diese Projekte wurden daher völlig neuartige Steuerleitsysteme konzipiert, welche

den widrigen Bedingungen gerecht werden und dennoch die erwartete Verfügbarkeit und Genauigkeit gewährleisten.

Randbedingungen

Die Maschinenführer von Tunnelbohrmaschinen (TBM) benötigen fortlaufende Informationen über die aktuelle Lage der Maschinenachse, als Ablagen und Tendenzen, relativ zur Sollachse. Bei den heutzutage üblichen Vortriebsgeschwindigkeiten von mehreren Zentimetern pro Minute muss der Maschinenführer eine unmittelbare Rückmeldung über die Auswirkungen seiner Steuerungsmassnahmen bekommen, um die TBM so nahe als möglich an der geplanten Tunnelachse zu halten. Die Anforderungen an das Steuerleitsystem sind demnach klar vorgege-

ben und lassen sich wie folgt beschreiben:

- Fortlaufende Einmessung der TBM zur Positionsbestimmung muss die ständige Einmessung der TBM gewährleistet sein. Dieser Vorgang kann daher ausschliesslich automatisiert stattfinden. Die Verfügbarkeit des Messsystems über die gesamte Vortriebszeit ist zu garantieren.
- Ständige und aktuelle Anzeige der TBM-Position in Bezug auf die geplante Tunnelachse mit horizontalen und vertikalen Ablagen sowie der Tendenzen.
- Die Aktualisierung aller relevanten Messwerte aus Sensoren, z.B. Verrollung und Neigung der TBM und der Schreitwerke muss gewährleistet sein.
- Die Statusanzeige über die aktuellen Betriebsstände aller beteiligten Sensoren.
- Automatisierte Richtungskontrollen zur Überprüfung der Festpunkte.

Funktionsweise der Tunnelbohrmaschinen

Für die verschiedenen Baulose in Amsteg und Bodio sind konzeptionell die gleichen Vortriebsmaschinen eingesetzt. Unterschiedlich jedoch sind sie insbesondere in der Infrastruktur der Nachläufer. Bei allen TBMs handelt es sich um Hartgesteinsmaschinen in der Funktion als Grippermaschinen (Abb. 1a+1b). Die Gripper bestehen aus grossen hydraulisch beweglichen Ankerplatten (Gripperplatten), welche sich am Gebirge verspannen oder anpressen. Nach der Verspannung schiebt sich die TBM über die Vortriebspressen ca. 2 m weiter nach vorne und baut über das Schneidrad das Ausbruchsmaterial ab. Dieses bezeichnet man als einen Vortrieb. Nach dem Vortrieb werden die Gripperplatten gelöst und nach vorne gezogen und wieder verspannt. Der nächste Vortrieb kann beginnen. Gesteuert wird die Maschine ausschliesslich über die seitliche bzw. vertikale Verschiebung des Maschinenrahmens im Gripperrahmen. Während des Vortriebs werden die Nachläufer in der Regel mitgezogen. Beim Baulos

Gotthard-Nord in Amsteg geschieht das über vorher verlegte Vorlegeschiene (Abb. 1a+1b) und beim Baulos Gotthard-Süd in Bodio geschieht das über so genannte Schreitwerke, auf denen der Nachläufer wie über einen stehenden Tisch gezogen wird. In beiden Baulosen gibt es Spritz- und Ankerbereiche – direkt nach dem Fingerschild (Bereich L1) sowie im hinteren Bereich des Nachläufers (Bereich L2) in ca. 30 m bis 70 m Entfernung von der TBM.

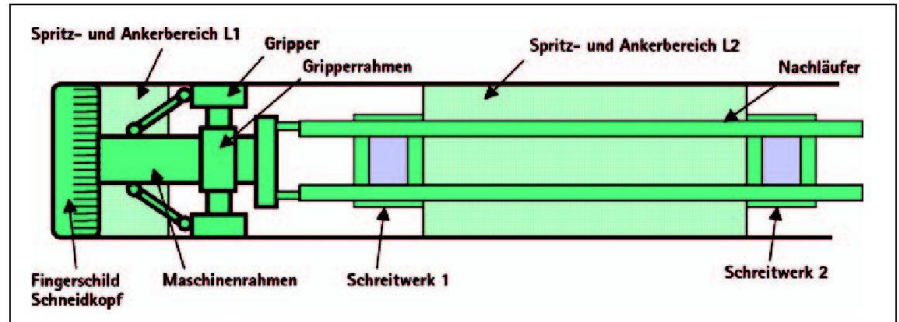


Abb. 1a: Schematischer Aufbau der Vortriebsanlage für das Baulos Gotthard-Süd in Bodio.

Messtechnischer Ablauf beim Baulos-Süd in Bodio

Während des regulären Vortriebs werden im Bereich L2 andauernde Spritzbetonarbeiten mit Robotern durchgeführt, wobei hier keine Möglichkeit eines Sichtkanals für ein klassisches Laserfenster dauerhaft gegeben ist. Die Verfügbarkeit für eine ständig aktualisierende Positionsbestimmung ist damit nicht mehr gegeben. Die Anwendung von zwei unterschiedlichen Laserfensterbereichen ist daher notwendig. Im hinteren Laserfenster (nach dem L2-Nachläuferbereich) befindet sich eine fest fixierte Wandkonsole mit einem servo-motorisierten Tachymeter (Wand-TCA). Ein weiterer Festpunkt ist als Anschlussziel im weiteren Nachläufer montiert. Im vorderen Laserfenster (vor dem L2) ist ebenfalls ein motorisierter Tachymeter installiert (Maschinen-TCA).

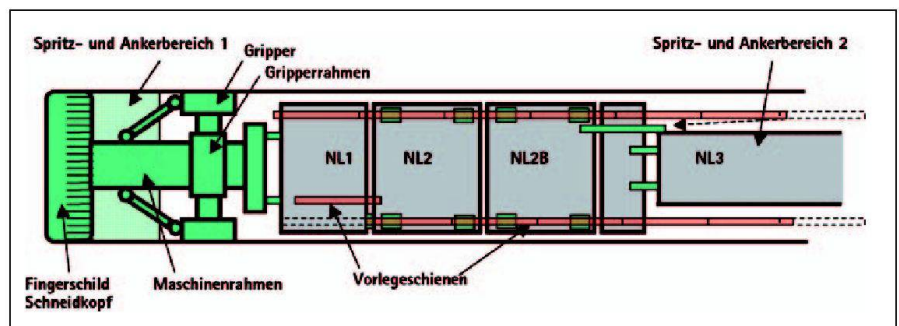


Abb. 1b: Schematischer Aufbau der Vortriebsanlage für das Baulos Gotthard-Nord in Amsteg.

Dieser ist fest verbunden mit dem Schreitwerk auf einem selbsthorizontierenden Dreifuss und wird während des Vortriebs nicht bewegt. Ein über der Stehachse angebrachtes Prisma erlaubt die gegenseitige Einmessung der Tachymeter (Abb. 2). Dieser Vorgang geschieht während eines Zeitfensters von zwei bis drei Minuten, während der Gripper nach dem Vortrieb umgesetzt wird und die Spritzbetonar-

beiten unterbrochen werden. Sämtliche Einmessungsvorgänge sind mit dem Ablaufprozess der Maschine abgestimmt. Die jeweiligen Betriebsstadien werden von der SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) erfasst und an das SLS weitergeleitet. So kann z.B. verhindert werden, dass sich während der Einmessung das Schreitwerk bewegt. Alle relevanten SPS-Werte werden an das Leitsystem wei-



Abb. 2: Tachymeter auf Schreitwerk.

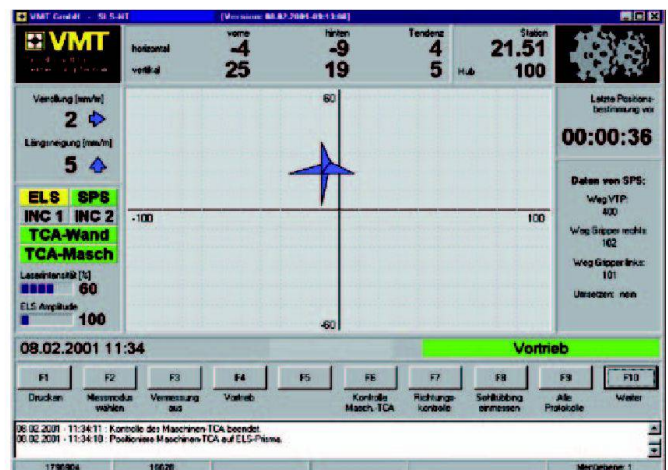


Abb. 3: Darstellung der TBM-Position in Bezug auf die projektierte Tunnelachse.

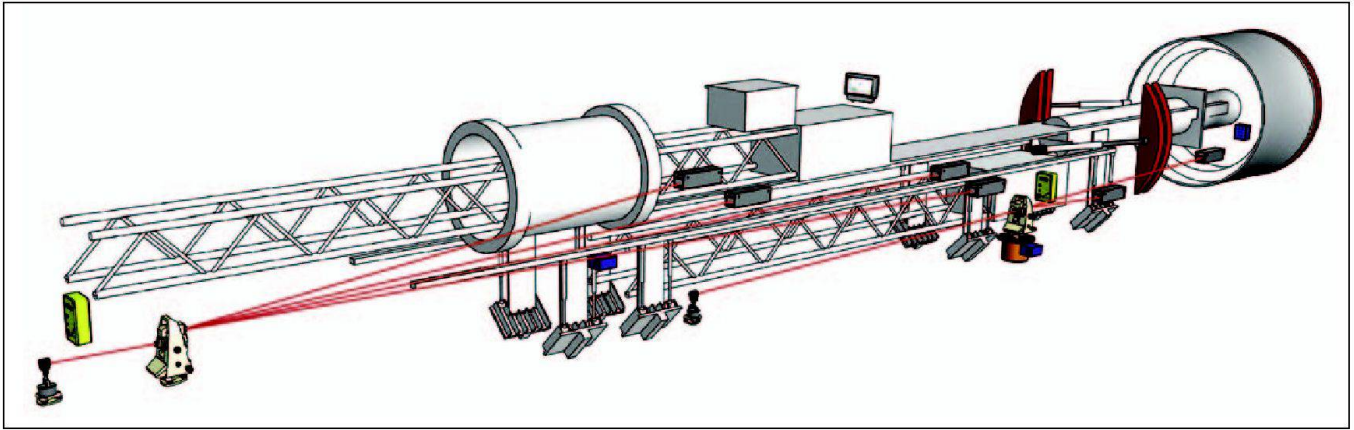


Abb. 4: Sensoranordnung im Baulos-Süd Bodio.

tergeleitet und in der Software entsprechend verarbeitet. Als Resultat wird die aktuelle TBM-Position in Bezug auf die projektierte Tunnelachse dargestellt wie in Abbildung 3 zu sehen ist.

Der Maschinen-TCA orientiert sich auf den Wand-TCA und kann damit im vorderen Bereich des Laserfensters drei bis vier fest installierte Punkte auf der TBM fortlaufend einmessen. Diese Punkte sind als motorisierte Klappprismen ausgestattet, welche auf ein Signal hin eine Klappe öffnen oder schliessen.

Die Verrollung des Schreitwerks wird mit dem selbsthorizontierenden Dreifuss kompensiert. Damit ist ein «mitfahrendes bzw. dynamisches Vermessungsnetz» gegeben. Nach einer bestimmten Entfernung (in der Regel nach 100 m bis 150 m Vortrieb) muss die Wandkonsole weiter nach vorne montiert werden. Vor jeder Einmessung des Maschinen-TCA wird eine Richtungskontrolle des Wand-TCA zu einem zurückliegenden Anschlussziel durchgeführt.

Nach der Einmessung des Maschinen-TCA wird die TBM fortlaufend über die fest installierten Passpunkte bestimmt. Dieses geschieht über ebenfalls motorisierte Klappprismen (Abb. 4).

Messtechnischer Ablauf beim Baulos-Nord in Amsteg

Im Unterschied zu Bodio wird hier der Nachläufer nicht über Schreitwerke bewegt, sondern läuft im vorderen Bereich auf so genannten Vorlegeschienen. Eine Systemlösung wie in Bodio war durch die Entfernung des Maschinen-TCA zur Maschine und die maschinell bedingten Gegebenheiten nicht möglich. Während in

Bodio das Laserfenster komplett im oberen Bereich festgelegt ist, wurde in Amsteg das Laserfenster in den unteren Nachläuferbereich eingebunden. Direkt hinter der Maschine werden Passpunkte entlang der Vorlegeschienen im ausgebrochenen Tunnel vermarktet und eingemessen. Dieses geschieht im Rahmen der täglichen Vermessungsaufgaben zur Einmessung der Sohlschalung und des Vortragens des Vermessungsnetzes. Die Festpunkte werden mit einem Prisma versehen und damit ständig, bzw. bei Bedarf nach vorne fortgeführt. Der Maschinen-TCA ist hier ebenfalls auf einem selbsthorizontierenden Dreifuss an einem Nachläuferrahmen, ca. 80 m von der Maschine entfernt, montiert und wird während des Vortriebs nicht bewegt. Die Koordinierung und Orientierung des Tachymeters erfolgt mittels der freien Stationierung über diese Passpunkte. Nach dem Vortrieb werden die Koordinaten des Tachymeters «vorausberechnet», um die Festpunkte für die nächste freie Stationierung zu suchen. Verwendet wird dabei immer nur eine bestimmte Anzahl von Punkten, damit das «Vorwandern» des Festpunktfeldes mit berücksichtigt wird. Nach der Einmessung der Punkte werden die genauen Koordinaten und die Orientierung des Tachymeters berechnet.

Die Positionsbestimmung der TBM wird auch hier über die Einmessung von fest montierten «Klappprismen» an der Maschine ausgeführt. Nach der Einmessung wird unmittelbar die Position berechnet und zur Anzeige gebracht. Ein Messzyklus dauert von 30 Sekunden bis zu zwei Minuten für die komplette Einmessung der Passpunkte und der Maschine, abhängig von der Sichtbehinderung des Maschinen-TCA.

Beide Maschinen sind ebenfalls mit zwei-

achsigen Präzisionsinklinometern ausgestattet, um eine redundante Verrollungs- bzw. Längsneigung zu erhalten.

Schlussbemerkung

Die hier beschriebenen Komponenten können, je nach Bedarf, flexibel umgesetzt bzw. in der Anordnung geändert werden. Dieses ist jedoch nur unter der Voraussetzung eines völlig modularen Softwaresystems gegeben. Jeder einzelne Sensor muss entsprechend seiner Funktion angesprochen und dessen Daten mit einem bestimmten Algorithmus verarbeitet werden. Ansonsten würde jegliche Änderung eine Neuprogrammierung bzw. neue Softwareentwicklung bedeuten. Die Erfahrung zeigt, dass sich – nach ca. zwei Jahren Vortriebszeit – der Aufwand für eine solche Modularität gelohnt hat. Änderungen aufgrund neuer Erfahrungen bestimmter Verhältnisse können relativ schnell angepasst werden. Bei solchen Projekten rechtfertigt sich der Entwicklungsaufwand allerdings nur sehr selten. Ein «Benefit» wird erst bei weiteren ähnlichen Projekten realisiert. Unbedingt zu erwähnen ist die hohe Bereitschaft und Geduld der ausführenden Vermessungskollegen vor Ort sowie auch der Bauleitung – aufgrund der Neuentwicklungen und der damit verbundenen Schwierigkeiten. Ohne deren Hilfe und Verständnis sind solche Projekte nicht möglich.

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