

Das Steuerleitsystem im Teilabschnitt Bodio des Gotthard-Basistunnel

Reinhard Deicke, Consorzio TAT, Tunnel Alp Transit - Ticino

Zusammenfassung:

Der Gotthard-Basistunnel wird mit rund 57 km der längste Eisenbahntunnel der Welt. Das Steuerleitsystem der Firma VMT GmbH aus Deutschland ermittelt alle erforderlichen Informationen, die zur Steuerung der Tunnelbohrmaschine (TBM) entlang der Sollachse benötigt werden. Randbedingungen wie 2 Laserfenster, beengte Verhältnisse, Erschütterungen und verschiedene Koordinatensysteme führten dazu, dass ein völlig neues System eigens für den Gotthard-Basistunnelbau entwickelt wurde. Für den Schildfahrer wird ständig die aktuelle Lage der Maschinenachse, als Ablagen und Tendenzen, relativ zur Sollachse angezeigt. Die Baustelle kann sich über die Fernvisualisierung über den Vortriebsstand informieren und mittels Datenbankabfragen den Ablauf des Vortriebes nachverfolgen.

1 Anforderungen und Randbedingungen

Fahrer von TunnelBohrMaschinen (TBM) benötigen laufend 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 Schildfahrer eine unmittelbare Rückmeldung über die Auswirkungen seiner Steuerungsmaßnahmen bekommen, um die TBM so nahe wie praktisch möglich an der Sollachse zu halten.

Die Anforderungen an ein Steuerleitsystem (SLS) sind demnach klar abgesteckt:

- Permanente Einmessung der TBM
- Ständige Anzeige der TBM-Position zur Achse
- Aktualisierung relevanter Messwerte z. B. TBM-Neigung
- Statusanzeige über den aktuellen Betriebsstand
- Automatisierte Richtungskontrolle

Wegen der baulichen Gegebenheiten der Tunnelbohrmaschine und die äußeren Einflüsse (siehe Tabelle) war es notwendig, ein neues Steuerleitsystem zu entwickeln.

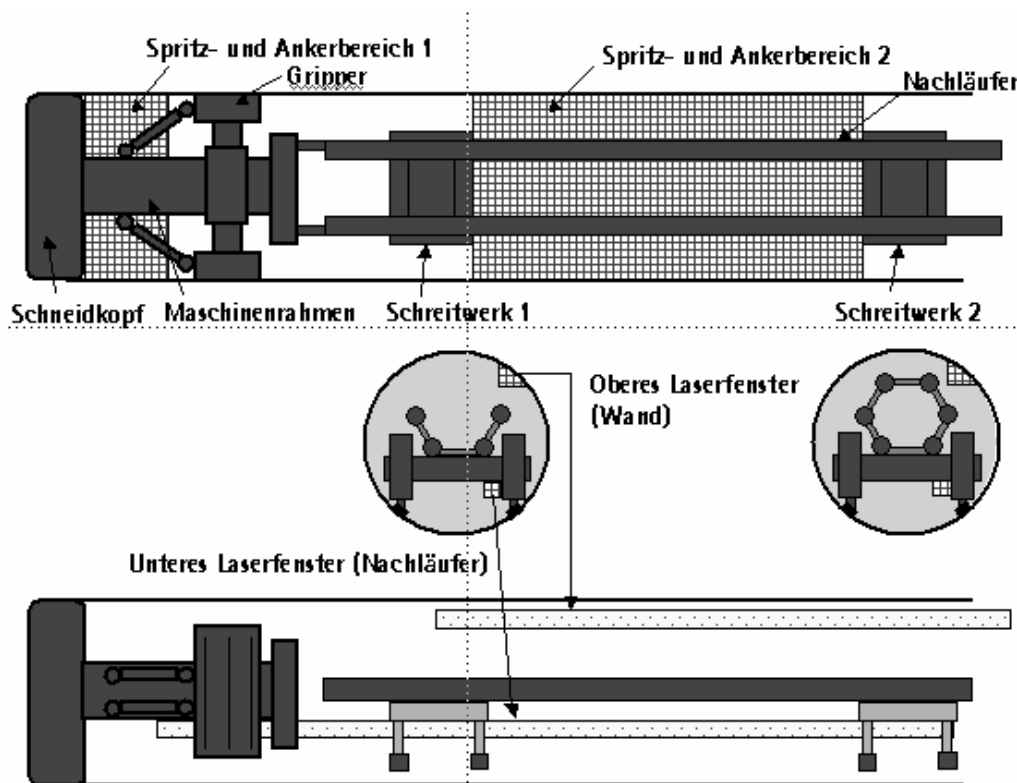
Äußere Einflüsse

- Personen
- Nicht ortsfeste Arbeitsgeräte (z.B. Bagger)
- Staubige Luft (z.B. durch Spritzbetonarbeiten)
- Sohlausbau
- usw.

Beeinflussung durch bauliche Gegebenheiten der TBM

- Starke Erschütterungen während des Vortriebs
- Kein durchgehendes Laserfenster bis zum Schild
- Oberes Laserfenster - reicht nur bis ca. 40 m hinter TBM-Spitze
- Unteres Laserfenster - sehr klein
- Nur wenige temporär lagestabile Bereiche während des Vortriebs
- Komponenten (Schreitwerk 1+2, Gripper, Nachläufer)

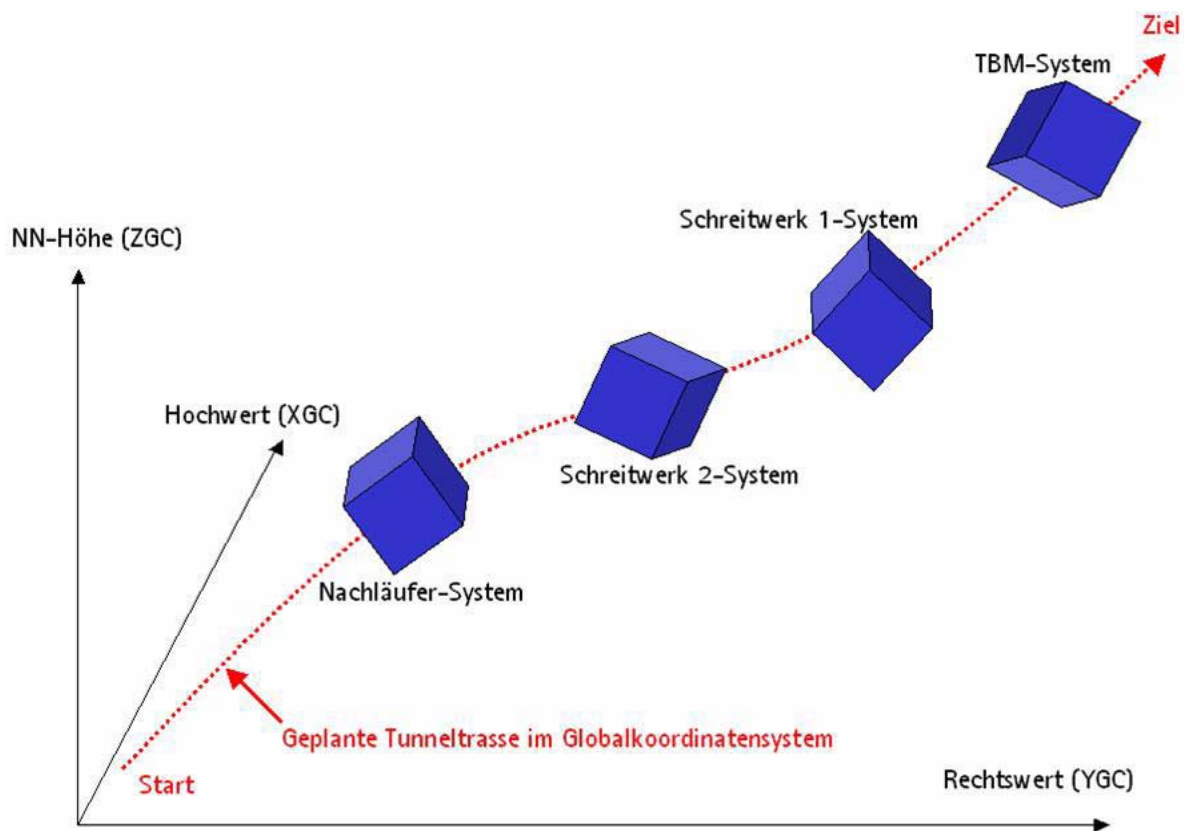
Bei allen bisher eingesetzten Systemen befinden sich sämtliche Hardwarekomponenten in einem so genannten Laserfenster. Dies ist ein Bereich in dem sich keine weiteren Gegenstände befinden und eine freie Sicht jederzeit gewährleistet wird. Auf den zwei TBMs, die im Teilabschnitt Bodio eingesetzt werden, gibt es aufgrund der baulichen Begebenheiten nicht ein Laserfenster, sondern zwei lageunterschiedliche Laserfenster.



Aufbau der TBM aus vermessungstechnischer Sicht und Lage des Laserfensters

2 Das Steuerleitsystem

2.1 Koordinatensysteme im Tunnel



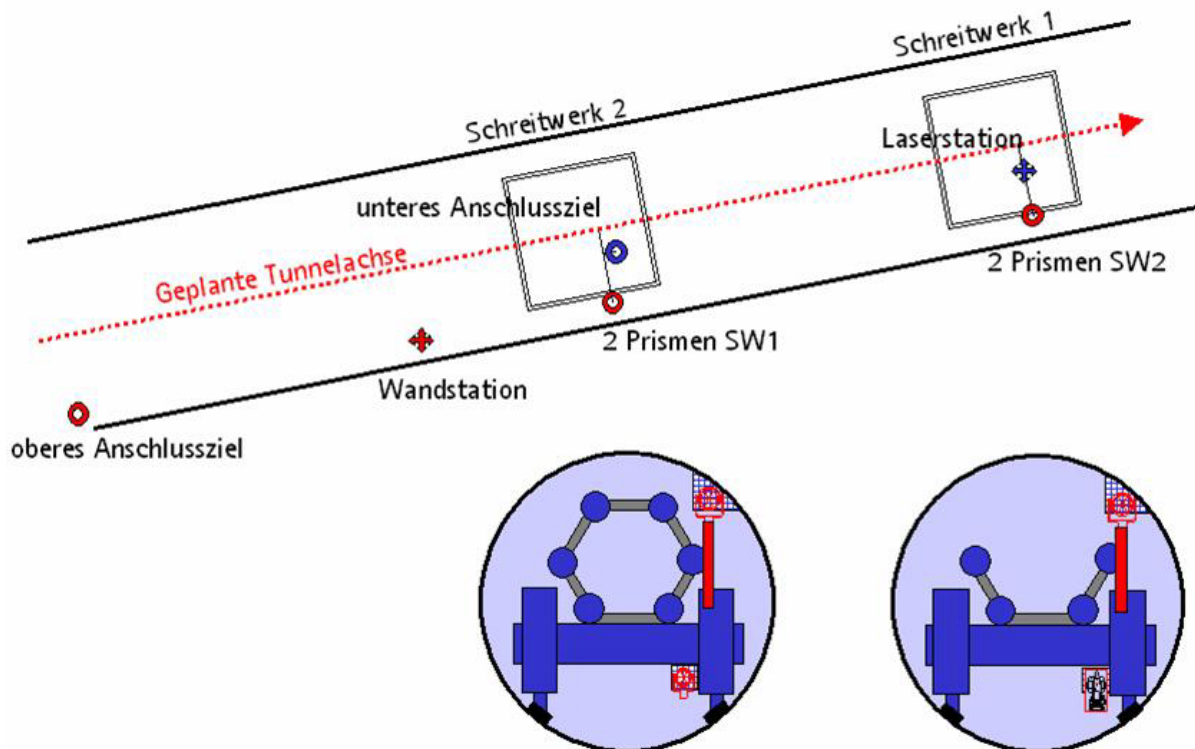
Koordinatensysteme in Tunnel

Zu Beginn eines Tunnelprojektes wird die zukünftige Trasse im Globalkoordinatensystem geplant. Dieses System wird während des Baufortschritts in den Tunnel übertragen und an die Tunnelbohrmaschine herangeführt. Es stellt ein stabiles Festpunktfeld dar, an das sich das Steuerleitsystem anhängt. Den Schildfahrer interessieren jedoch nur die Ablage der Maschine in horizontaler und vertikaler Richtung an verschiedenen Stellen der TBM, sowie die Tendenzen, die Neigung und Verrollung der Maschine in Bezug zur Stationierung auf der Trasse.

Hinsichtlich des Anschlusses an das vom Baustellenvermesser heran geführte Festpunktfeld gilt nur das an der Wand im Bereich der Kalotte befindliche Feld als stabil. Das Festpunktfeld im Sohlbereich ist nur als kurzzeitstabil zu betrachten, da noch innerhalb des Nachläuferbereiches der TBM die Sohle gebaut wird. Die Tunnelbohrmaschine selbst besteht nicht aus einem stabilen Stück, sondern aus Nachläufer, Schreitwerken, Gripper und dem Schildbereich. Jede Komponente beinhaltet hierbei aus geodätischer Sicht ein eigenes Koordinatensystem. Durch das vorhandene Zweilaserfenstersystem müssen diese unterschiedlichen

Koordinatensysteme mit einander verknüpft werden, was eine erhöhte Anzahl der SLS-Hardwarekomponenten zur Folge hat.

2.2 SLS-Hardwarekomponenten



Wandstation und YellowBox (Datenwandler und Strom)

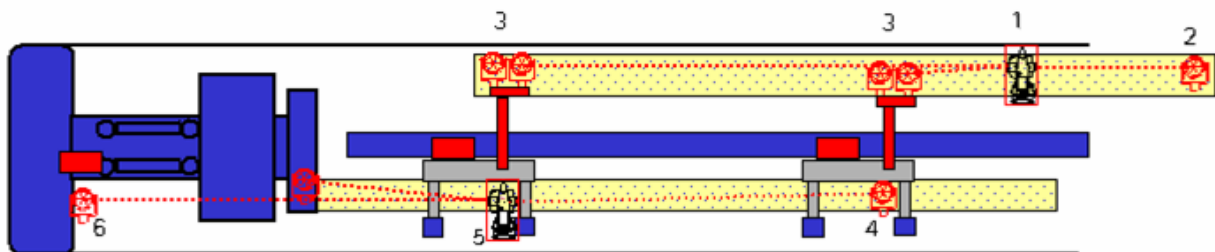
Im oberen Laserfenster befinden sich das obere Anschlussziel, die Wandstation sowie die vier Schreitwerksprismen. Mit diesen Komponenten wird das Festpunktfeld zu den Schreitwerken übertragen. Unter Zuhilfenahme der Inklinometer und der im Werk bestimmten Einbaumaße werden die Koordinaten des unteren Anschlussprismas und der Station im Schreitwerk 1 bestimmt. Diese befinden sich

im Laserfenster 2. Die letzte Hauptkomponente ist die Zieleinheit im Schildbereich. In einem herkömmlichen Steuerleitsystem der Firma VMT GmbH kommt eine so genannte elektronische Laserzieltafel zum Einsatz. Es dient zur

Bestimmung des Auftreffpunkts des Lasers auf der Frontscheibe in horizontaler und vertikaler Richtung. Zusätzlich werden Verrollung und Längsneigung des Schildes durch ein eingebautes 2-achsiges Inklinometer gemessen. Die horizontale Tendenz der Schildachse wird aus dem Einfallswinkel des Laserstrahls relativ zur Zieltafel-Achse abgeleitet. Wegen der starken Erschütterungen musste die Zieltafel jedoch aus dem System wieder entfernt werden. Sie wurde durch zwei Ablend-Prismen und ein Inklinometer ersetzt.

Neben diesen Vermessungskomponenten gibt es noch diverse Datensammler, Stromversorger, Datenwandler, Kabelanlagen und natürlich einen Industrie-PC (IPC) im Steuerstand der TBM.

2.3 Messzyklus

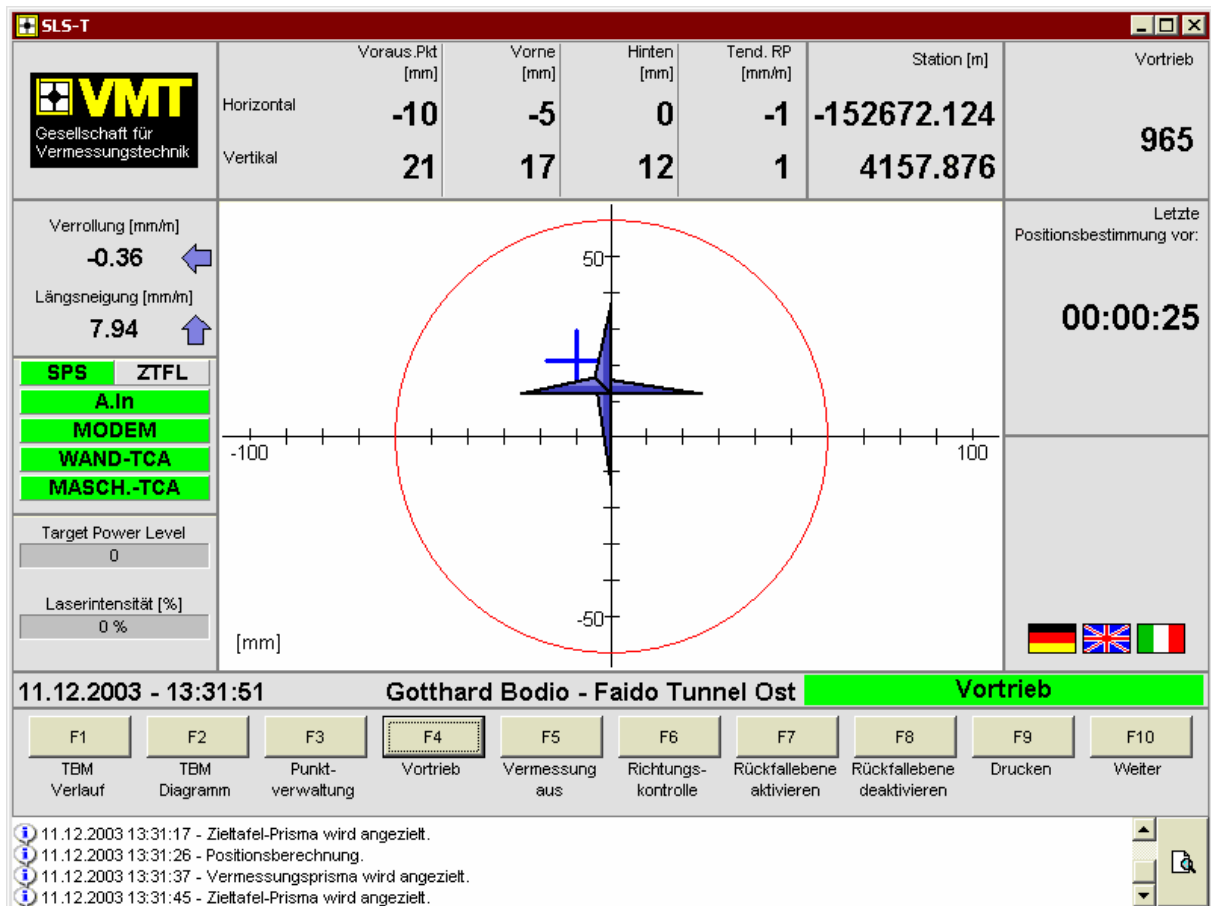


Schema eines Messzyklus

Vor dem Vortrieb zielt die Wandstation (1) zur Richtungskontrolle auf das Anschlussziel (2). Die Koordinaten der Wandstation und des Anschlussprismas werden vor Installation der Komponenten im Globalkoordinatensystem der Trasse bestimmt und in das Steuerleitsystem implementiert. Mittels automatischer Sucheinrichtung (ATR) werden die Schreitwerkprismen (3) gesucht und genau eingemessen (3 Min. freie Sicht notwendig). Über die Einmessung der Schreitwerke werden die Globalkoordinaten des Schreitwerkstachymeters (TCA) (5) und des unteren Anschlussziels (4) bestimmt. Dabei wird die Verrollung und Längsneigung über Inklinometer bestimmt und berücksichtigt. Dieser TCA (5) orientiert sich über das untere Anschlussziel (4) und zielt auf die zwei Prismen (6) im Schild. Mit den Daten des Inklinometers wird die Position der TBM bestimmt und alle für den Schildfahrer und die Baustelle erforderlichen Informationen berechnet.

2.4 SLS-Software

Das Steuerleitprogramm ist das Herzstück eines Steuerleitsystems. Es erhält seine Daten von allen angeschlossenen Geräten. Auf deren Grundlage wird von dem Steuerleitprogramm die aktuelle TBM-Position ermittelt. Die Anzeige erfolgt sowohl graphisch als auch numerisch.



Steuerleitprogramm – Visualisierung der TBM-Position

Die Visualisierung der TBM-Position zeigt dem Schildfahrer nicht nur die Tendenzen und Ablagen seiner Maschine an, sondern auch die Funktion des Steuerleitsystems. Befindet sich z. B. ein Hindernis in der Sichtverbindung des Tachymeters kann die Position nicht bestimmt werden und der Schildfahrer muss Folgemaßnahmen einleiten.

Ein im IPC integriertes Modem sorgt für die Übertragung der Vortriebsdaten in das Baubüro. Hier kann außerhalb des Tunnels der Vortrieb verfolgt und mittels integrierter Datenbankanfrage über den gesamten Vortrieb nachvollzogen werden. Es können vortriebsbezogene Daten anhand der Stationen dargestellt werden. Ebenso gibt es eine Anzeige des gesamten TBM-Verlaufes.

3 Ausblick

Mit dem hier vorgestellten Steuerleitsystem für den Hartgesteinsvortrieb Gotthard-Süd wurde erstmalig ein zweistufiges Konzept verwirklicht, bei dem den besonderen betrieblichen Erschwernissen Rechnung getragen werden konnte. Die dabei eingesetzten Komponenten und Berechnungsverfahren geben Anlass

zur Hoffnung, dass in Zukunft auch andere Hartgesteinsvortriebe nach ähnlicher Konzeption vermessungstechnisch betreut werden können.

Literatur:

VMT GmbH [2002]: Handbuch für das Steuerleitsystem Gotthard-Süd

Anschrift:

Reinhard Deicke
Hochtief AG
Isengrundstr. 18
8134 Adliswil
deicke@freesurf.ch