
Positionsbestimmung von Tunnelbohrmaschinen

Andreas BEYER

1 Vermessung im Tunnelbau

1.1 Grundlagen

Als Grundlage für die Vermessung im Tunnelbau dient ein geodätisches Netz, das Start- und Zielbauwerk miteinander verbindet. Dieses Vermessungsnetz wird durch die Baustellenvermesser in den bereits aufgefahrenen Tunnel übertragen und entsprechend des Baufortschritts verlängert und kontrolliert. Damit stehen hinter der Tunnelbohrmaschine Festpunkte zur Verfügung, die zur Bestimmung der Position der Tunnelbohrmaschine verwendet werden können.

Die für das Tunnelbauprojekt geplante Trasse liegt im gleichen Koordinatensystem des Vermessungsnetzes vor. Damit besteht die Möglichkeit, die Position der Tunnelbohrmaschine in Bezug zur geplanten Trasse darzustellen. Die aktuelle Position der Tunnelbohrmaschine wird dem Schildfahrer dabei mithilfe eines Navigationssystems in der Steuerkabine angezeigt, sodass er in der Lage ist, die Tunnelbohrmaschine entsprechend dem Trassenverlauf zu steuern und eine eventuelle Fehlfahrt zu korrigieren.

1.2 Prinzip der Positionsbestimmung von Tunnelbohrmaschinen

Die meisten Tunnelbohrmaschinen haben eine zylindrische Form. An der Vorderseite des Zylinders ist das Schneidrad angebracht. An der Rückseite schließt direkt die Tunnelröhre an. Die Positionsbestimmung der Tunnelbohrmaschine wird daher auf die Positionsbestimmung der Achse dieses Zylinders reduziert.

Die Achse der Tunnelbohrmaschine wird durch Vermessung der Tunnelbohrmaschine festgelegt. Sie dient gleichzeitig als Basis für das Koordinatensystem der Tunnelbohrmaschine, dessen Ursprung in die Schildschneide (Vorderkante der Tunnelbohrmaschine) gelegt wird. Für die Achse werden an beiden Enden des Zylinders Kreise gemessen, deren Mittelpunkte die Achse der Tunnelbohrmaschine definieren (Abb. 1). Im hinteren Teil der Tunnelbohrmaschine werden Passpunkte dauerhaft befestigt und deren Koordinaten im lokalen Koordinatensystem der Tunnelbohrmaschine bestimmt (Abb. 2). Damit ist die Achse jederzeit über diese Passpunkte bestimmbar.



Abb. 1: Lage der zu messenden Kreise an einer Tunnelbohrmaschine ohne Steuergelenk



Abb. 2: Lage der Passpunkte im hinteren Teil einer Tunnelbohrmaschine

Für die Bestimmung der Position der Tunnelbohrmaschinenachse mit dem Navigationssystem müssen sowohl die Lage als auch die Orientierung gemessen werden. Für die Lagebestimmung wird ein Prisma verwendet, dessen Koordinaten von einer Totalstation gemessen werden. Die Orientierung wird darauf aufbauend von einer Zieltafel gemessen, die Verrollung, Längsneigung und mittelbar das Azimut bestimmt. Als Ergebnis kann die Position der Tunnelbohrmaschinenachse im Vergleich zur geplanten Trasse dargestellt werden (Abb. 3).

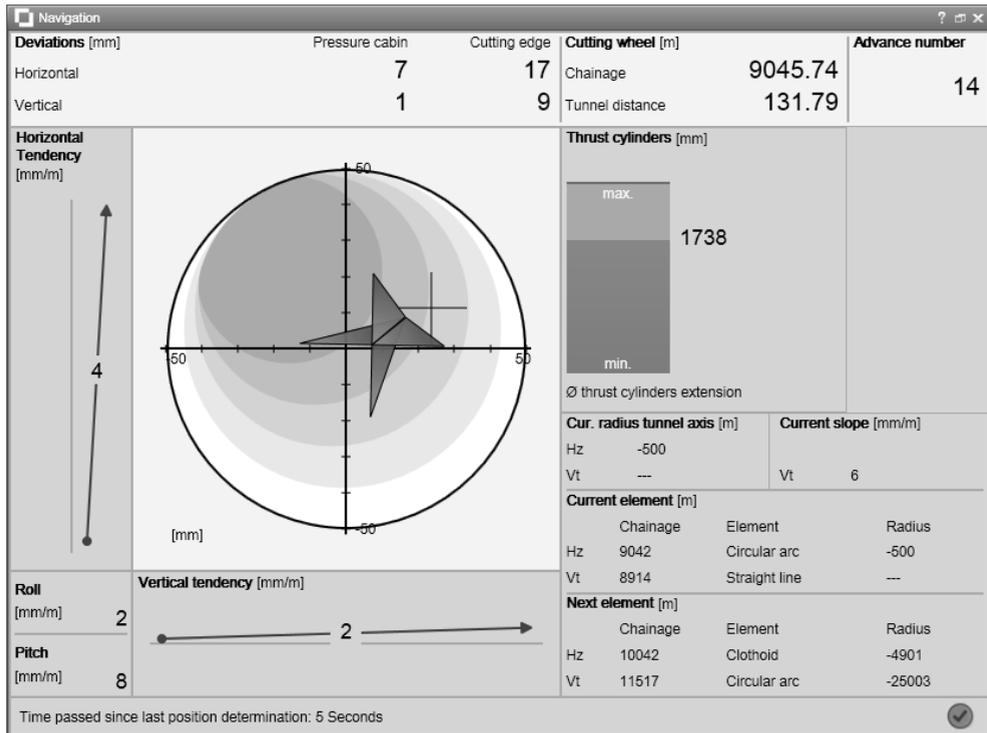


Abb. 3: Darstellung der Position einer Tunnelbohrmaschine in Bezug zur geplanten Trasse auf dem Hauptbildschirm des Navigationssystems TUNIS der VMT GmbH

2 Navigationssysteme für Tunnelbohrmaschinen

2.1 Navigationssysteme für Tunnelbohrmaschinen mit Segmentausbau

Vermessungskonzept

Bei Tunnelvortrieben mit Segmentausbau bewegt sich die Tunnelbohrmaschine im Boden oder Fels nach vorn und nutzt den bereits gebauten Tunnel als Widerlager. Schrittweise drückt sich die Tunnelbohrmaschine am letztgebauten Ring nach vorn. Ist ein Vortrieb (entspricht der Länge eines Rings) aufgefahren, werden anschließend die Segmente der Tunnelauskleidung zu einem Ring zusammengesetzt. Danach wird der nächste Vortrieb aufgefahren, der Platz für den nächsten Ring macht. Der aus den Ringen gebaute Tunnel ist ortsfest. Deswegen können Totalstation und Anschlussprisma an der Tunnelwand installiert und deren Koordinaten im geodätischen Netz der Baustelle bestimmt werden. Ausgehend von diesen Koordinaten wird die Position der Tunnelbohrmaschine durch polares Anhängen berechnet.

Einfachschild-Tunnelbohrmaschine

Bei sogenannten Einfachschilden besteht die Tunnelbohrmaschine geometrisch aus nur einem zylindrischen Teil (Schild) in dem die Zieltafel installiert ist. Da die Lage der Zieltafel

innerhalb der Tunnelbohrmaschine durch die Einmessung bekannt ist, kann aus der Messung der Zieltafel die Position der Tunnelbohrmaschine berechnet werden (Abb. 4).

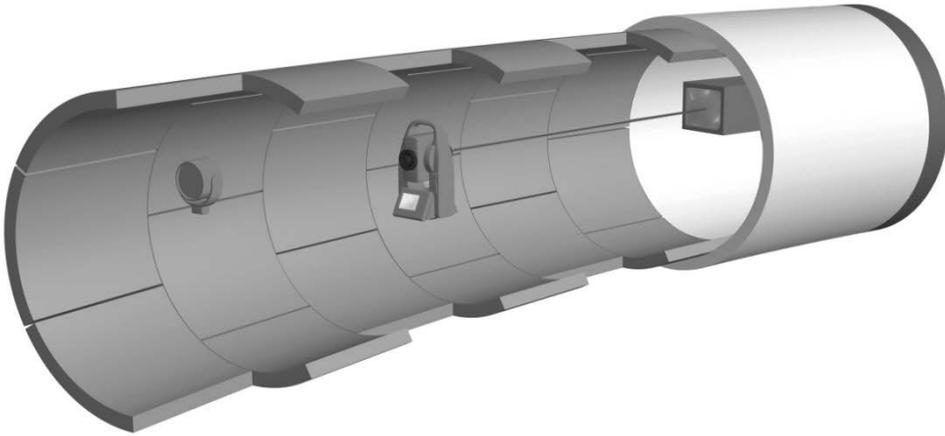


Abb. 4: Schematische Darstellung der Hauptkomponenten für ein Navigationssystem einer Einzelschild-Tunnelbohrmaschine. Die gleichen Komponenten werden für ein Navigationssystem für Einzelschild-Tunnelbohrmaschine mit Steuergelenk verwendet.

Einzelschild-Tunnelbohrmaschine mit Steuergelenk

Ist eine größere Beweglichkeit der Tunnelbohrmaschine erforderlich oder sollen eher kleinere Trassenradien aufgeföhren werden, so wird die Tunnelbohrmaschine mit einem Steuergelenk ausgestattet. Die Tunnelbohrmaschine besteht dann aus zwei zylindrischen Teilen. Die Zieltafel befindet sich im hinteren Schild und wird durch polares Anhängen berechnet. Die Position des vorderen Schildes wird anschließend auf Basis der unterschiedlichen Ausföhren der Steuergelenkzylinder bestimmt. Die Ausföhren wird mit Wegmesssystemen gemessen, die in den Steuergelenkzylindern verbaut oder extern angebracht sind. Die Ausföhren der Steuergelenkzylinder ist im Vergleich zum Durchmesser der Tunnelbohrmaschine gering und wird so gesteuert, dass der Drehpunkt zwischen vorderem und hinterem Schild seine Lage zwischen den Schilden behält (vergl. Abb. 4).

Doppelschild-Tunnelbohrmaschine

Doppelschild-Tunnelbohrmaschinen werden in Fels eingesetzt, um hohe Vortriebsleistungen zu erzielen. Bei diesem Typ ist es möglich, gleichzeitig Vortrieb zu föhren und die Segmente für die Tunnelauskleidung zu montieren. Die Tunnelbohrmaschine besteht aus 2 zylindrischen Teilen, die gegeneinander bewegt werden können. Das hintere Schild wird wie die vorigen Tunnelbohrmaschinen mittels Prisma und Zieltafel gemessen. Die Position des vorderen Schildes wird auf Basis des hinteren Schildes unter Berücksichtigung der Ausföhren der Vortriebszylinder zwischen beiden Schilden berechnet sowie unter Verwendung einer zweiten Zieltafel im vorderen Schild. Auf dieser zweiten Zieltafel wird mittels Laserauftreffpunkt der seitliche Versatz der beiden Schilde berechnet (Abb. 5).

Für den Schildfahrer ist die Position des vorderen Schildes bedeutsamer, da hier die Lage des Tunnels vorgegeben wird.

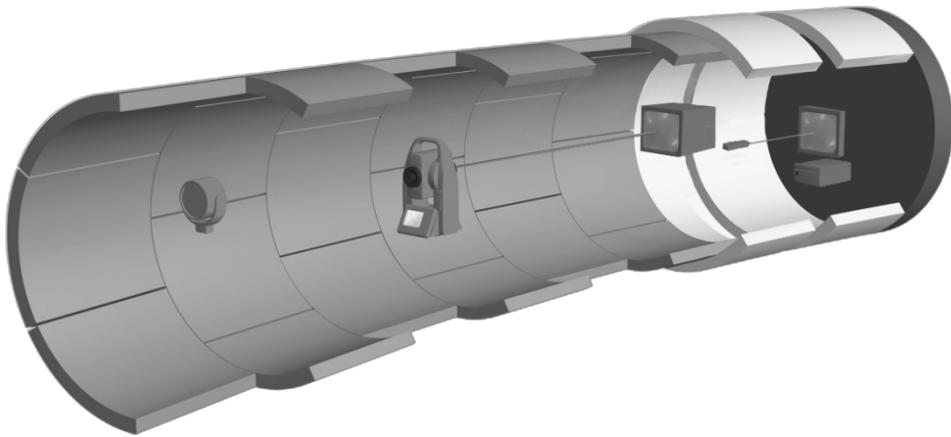


Abb. 5: Schematische Darstellung der Hauptkomponenten für ein Navigationssystem einer Doppelschild-Tunnelbohrmaschine

2.2 Navigationssysteme für Rohrvortrieb

Vermessungskonzept

Beim Tunnelvortrieb mittels Rohrvortrieb wird der gesamte Rohrstrang geschoben, an dessen Spitze sich die Tunnelbohrmaschine befindet. Eingesetzt wird diese Technik hauptsächlich bei Ver- und Entsorgungstunneln mit kleinerem Durchmesser. Im Startschacht befindet sich die Hauptpresse, die den Rohrstrang nach vorne schiebt während die Tunnelbohrmaschine das Bodenmaterial abbaut. Ist ein Vortrieb aufgefahren, wird die Hauptpresse zurückgezogen und ein weiteres Rohr eingesetzt. Anschließend wird der nächste Vortrieb aufgefahren. Bei dieser Technik ist der gesamte Rohrstrang in Bewegung und es gibt keine Festpunkte im Tunnel. Die Tunnelbohrmaschinen sind meist vom Typ Einzelschild mit Steuergelenk.

Die Tunnelbohrmaschine erzeugt einen Hohlraum, der die Lage der Rohre in einem begrenzten Bereich vorgibt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass jedes Rohr dem vorangegangenen Rohr folgt und die Rohrspur (Tunnelmittellinie) stabil bleibt. Je nach Baufortschritt ergeben sich 3 Installationsvarianten (Phasen), wie das Navigationssystem im Rohrvortrieb eingebaut wird.

Phase 1

In Phase 1 befinden sich Anschlusspunkt und Totalstation außerhalb des Tunnels (Abb. 6). Dadurch kann die Position der Tunnelbohrmaschine direkt über polares Anhängen bestimmt werden.

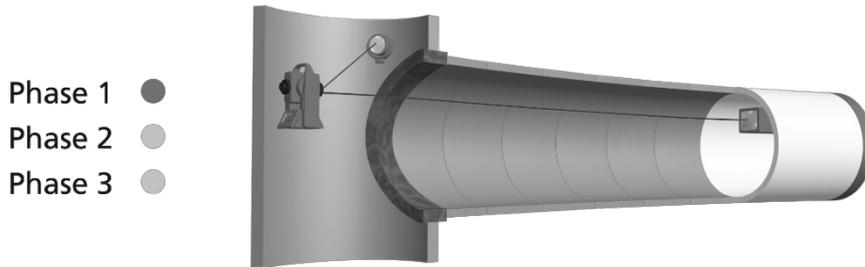


Abb. 6: Navigation im Rohrvortrieb: Installation der Systemkomponenten in Phase 1. Totalstation und Anschlusspunkt sind außerhalb des Rohrstranges installiert.

Phase 2

Bei weiterem Baufortschritt wird die Totalstation in den Rohrstrang installiert und nur der Anschlusspunkt befindet sich außerhalb des Tunnels auf einem Festpunkt (Abb. 7). Das ist die gleiche Position, an der zuvor die Totalstation installiert war.

Im weiteren Vortrieb befindet sich die Totalstation im beweglichen Rohr. Für die Berechnung der Position der Tunnelbohrmaschine werden nun Annahmen zur Koordinate der Totalstation getroffen, da die Rohrspur als stabil angenommen werden kann. Während des Vortriebs wird von der Totalstation des Navigationssystems die Rohrspur des neu aufgefahrenen Tunnelabschnittes gemessen. Dies geschieht über sogenannte Stützpunktprismen.

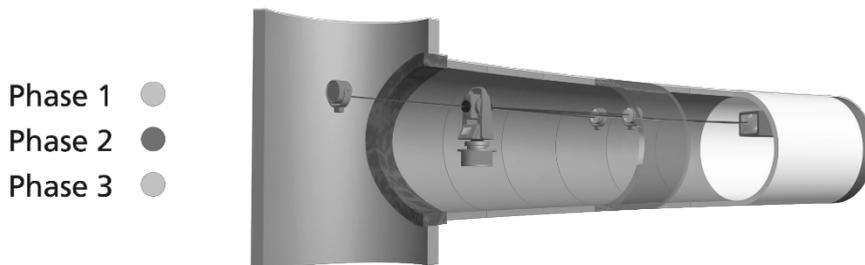


Abb. 7: Navigation im Rohrvortrieb: Installation der Systemkomponenten in Phase 2. Totalstation und Stützpunktprismen sind im Rohrstrang installiert. Der Anschlusspunkt befindet sich im Startschacht.

Phase 3

Bei weiterem Baufortschritt vergrößert sich der Abstand zwischen Totalstation und Anschlusspunkt soweit, dass der Anschlusspunkt auch im Rohr installiert werden muss. Dann befinden sich alle Referenzpunkte im beweglichen Rohrstrang (Abb. 8). Der Bezug zur Rohrspur wird über die Weglänge im Rohr (Station) mit einem Wegmessrad bestimmt.

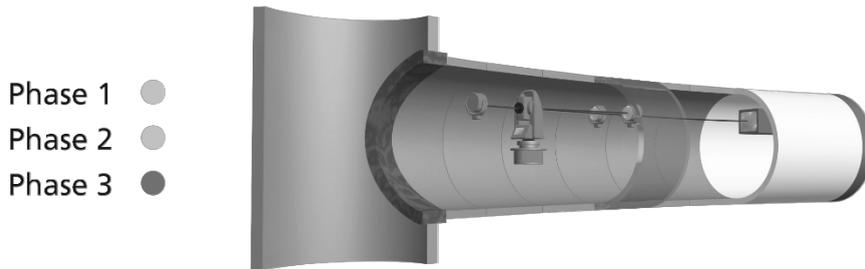


Abb. 8: Navigation im Rohrvortrieb: Installation der Systemkomponenten in Phase 3. Alle Systemkomponenten befinden sich im Rohrstrang.

Bei regelmäßigen Kontrollvermessungen wird die durch das Navigationssystem gemessene Rohrspur mit der tatsächlichen Rohrlage verglichen und die neue Rohrspur als Referenz im Navigationssystem hinterlegt.

2.3 Navigationssystem mit Vermessungskreisel

Bei Tunneln mit kleinem Durchmesser können Einbauten oder sehr kleine Trassenradien die Verwendung eines laserbasierten Navigationssystems, wie in den Abschnitten 2.1 und 2.2 beschrieben, behindern. In diesen Fällen kann ein kreiselbasiertes Navigationssystem Vorteile bieten. Der Haupteinsatzbereich ist daher im Rohrvortrieb.

Vermessungskonzept

Der Vermessungskreisel wird analog zur Zieltafel des Lasersystems in der Tunnelbohrmaschine installiert (Abb. 9). Er bestimmt autark die Richtung zu Geographisch Nord auf Basis der Erdrotation. Daraus kann das Azimut der Tunnelbohrmaschine berechnet werden. Wird nun die Tunnelbohrmaschine nach vorn bewegt, wird unter Berücksichtigung der Verschiebung und des Azimuts der Tunnelbohrmaschine sowie der geschätzten Drift die Position der Tunnelbohrmaschine berechnet.

Die Drift der Tunnelbohrmaschine beschreibt die Abweichung der tatsächlichen Bewegungsrichtung von der Ausrichtung der Tunnelbohrmaschine. Sie ist abhängig vom Untergrund durch den sich die Tunnelbohrmaschine bewegt und von der Trassengeometrie. Da die Drift im Voraus abgeschätzt werden muss, sind Kontrollvermessungen in einem engeren Abstand erforderlich als beim laserbasierten Navigationssystem.

Der Vermessungskreisel kann nur zur Bestimmung der horizontalen Komponente der Position der Tunnelbohrmaschine verwendet werden. Für die vertikale Komponente wird eine Schlauchwasserwaage eingesetzt, deren Höhenreferenz im unbeweglichen Teil des Tunnelbauwerks angebracht ist.

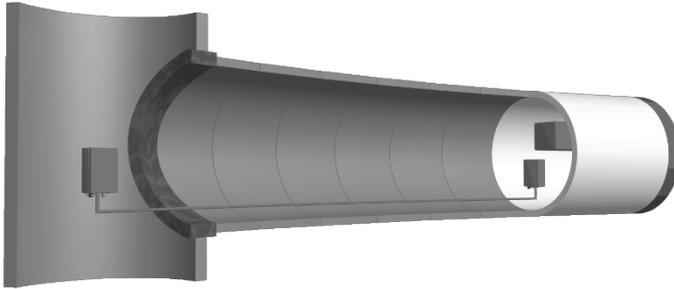


Abb. 9: Schematische Darstellung der Hauptkomponenten für ein Navigationssystem mit Vermessungskreislauf und Schlauchwasserwaage

Literatur

- KÜHN, A., HUNDERTPFUND, A. LIETZAU, C. & WEHLRE, R.: Herrenknecht Tunnelling Product Portfolio, Pioneering Underground Technologies.
- ULLRICH, E. & CLARKE-HACKSTON, N. (2009): Vermessungstechnik – Geräte im Einsatz bei maschinellen Tunnelvortrieben. In: Wissenschaftsstiftung Deutsch-Tschechisches Institut (WSDTI): Schildvortrieb mit Tübbingausbau, eine umweltschonende, sichere Baume-thode, 2009.
- VMT-GMBH (2008): Handbuch Navigationssystem Microtunnelling SLS-LT. Stand 05/2008.