

Girmscheid, G.

Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau

TBM-Logistiksysteme

Zusammenfassung Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile eines TBM-Systems [1] lassen sich erst durch ein baubetrieblich ausgeklügeltes Nachläuferlogistiksystem projektspezifisch realisieren. Der Hochleistungsvortrieb ist dadurch gekennzeichnet, dass die lineare Tunnelbaustelle durch Entflechtung von Bau- und Transportprozessen sowie maschinentechnischer Infrastruktur räumlich getrennt werden kann und die Abläufe deshalb weitgehend parallelisiert werden können. Dieser Beitrag knüpft an „Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau - TBM-Systeme“ [1] an und beschreibt die Aspekte, die beim baubetrieblichen Entwurf von TBM-Nachläufersystemen beachtet werden müssen, um eine robuste Vortriebsanlage („Tunnelfabrik“) zu gestalten. Die Systemlogistik des Nachläufers muss auf die projektspezifischen Varianten und Variationsbandbreiten der Bau- und Transportprozesse ausgelegt werden, die sich aus der Geologie, der Hydrologie und den abgeleiteten Sicherungs- und Baumaßnahmen ergeben. Nur durch eine projektspezifische Systemlogistik lassen sich die potenziell hohen Leistungen der TBM sicherstellen.

High performance tunneling TBM-logistic systems

Abstract The technical and economical advantages of a high performance TBM [1] can only be utilized due to a robust, sophisticated, project specific back up system which acts as a logistic support system. With such a back up system the construction and transport process as well as the mechanical and electrical infrastructure can be separated. The construction process can be executed simultaneously in such a linear tunnel construction site. The paper describes the design of the operational requirements of a logistic system. Only through the project specific system logistics of the back up system can the potential performance of the TBM be utilized under consideration of the geological and hydrological conditions and the derived temporary and final construction measurements.

1 Nachläufersysteme und Logistik

Die Nachläufersysteme haben einen großen Einfluss auf die projektspezifischen Erfolgsfaktoren des TBM-Einsatzes. Das richtige Nachläufersystem kann den TBM-Vortrieb zu einer „Tunnelfabrik“ machen. Die Ziele der Industrialisierung der parallel ablaufenden rückwärtigen Tätigkeiten lauten wie folgt:

- Trennung der linearen Transportflüsse
- Trennung der Funktionsbereiche von den Transportflüssen
- Trennung der Unterstützungsinfrastruktur der Maschine von den Transportflüssen und Funktionsbereichen

Das Ziel ist, die Arbeitsprozesse so zu modellieren, dass sie ohne Unterbrechung gleichzeitig und zyklisch ablaufen können. Der Nachläufer dient als:

- Träger für die Hilfsinfrastruktur wie Motoren, Pumpen, elektrische und hydraulische Aggregate, Steuerkabine, Ausbruchförderband, Wasserschläuche, E-Kabel, Luftkanal, Entstaubungsanlage und Luttenspeicher für ununterbrochene Verlängerung und Sicherheits-, Gesundheits-, Magazin-, Mannschafts- und Bürocontainer
- Brücke über den Sohlausbaubereich, Übergabestelle sowohl für den Abtransport des Ausbruchmaterials als auch für das Einbaumaterial des Vortriebs

Die Länge des Nachläufers ist abhängig von:

- Anzahl und Art der Hilfseinrichtungen
- Länge des Ausbaubereiches der Tunnelsohle
- Länge der Materialübergabebzone (Förderband / LKW / Bahntransport)

Der Nachläufer ist eine „Multifunktionsbrücke“ und kann unterteilt werden in:

- Logistikeinheiten
 - Träger der Ausrüstung zur Felssicherung
 - Träger der gesamten elektrischen und hydraulischen Anlagen
 - Bediener- und Steuerkabine
 - Träger der Ausbaugeräte
 - Träger zur Übergabe und Speicherung des Ausbruchmaterials
 - Träger der Entstaubungs- und Belüftungsanlage
- Funktionsbereiche
 - Vortriebszone mit TBM und primärer Felssicherung
 - Bereiche für die Infrastruktur der mechanischen und elektrischen Anlagen
 - Bereich der sekundären Felssicherung
 - Bereich für den Dichtungseinbau
 - Bereich für den Einbau der Tunnelsohle
 - Materialübergabebereich

Das Nachläufersystem kann auch als Logistikzentrum des TBM-Vortriebs bezeichnet werden. Die Nachläuferkonstruktionen werden projektspezifisch konzipiert und eingesetzt und müssen daher hohe und vielfältige Anforderungen erfüllen. Zur effizienten Unterstützung des Bohrbetriebs sind eine nachfolgende leistungsfähige Ver- und Entsorgung, ein zügiger Sicherheitseinbau, effiziente Sicherheitseinrichtungen, eine leistungsfähige Entstaubung und Ventilation sowie eine exakte Vermessung notwendig. Ein Flussdiagramm zum Entwurf ist in **Bild 1** dargestellt.

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

Vorsteher Institut für Bauplanung und Baubetrieb,
Professur für Baubetriebswissenschaften und Bauverfahrenstechnik
ETH Zürich, CH-8093 Zürich

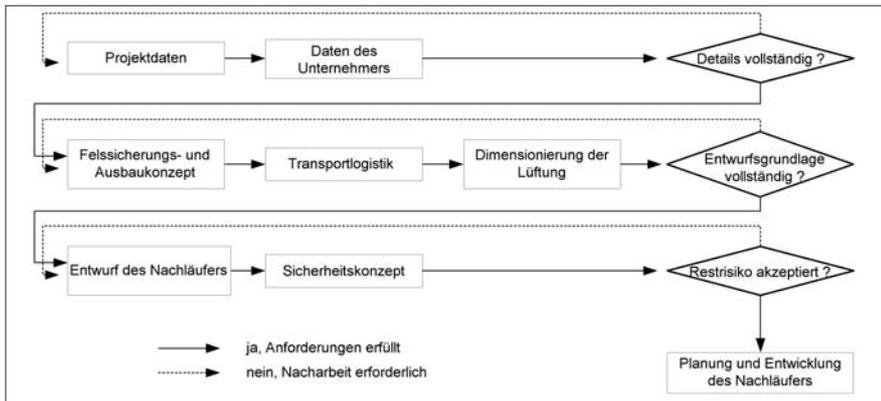


Bild 1. Konzeption des Nachläufers [2]
Fig. 1. Conception of back up system [2]

Bei der Planung des Nachläufersystems werden folgende Aspekte berücksichtigt:

- baubetriebliche und wirtschaftliche Überlegungen der Ausführung
- Sicherungs- und Ausbaurkonzept

Für die Planung, Gestaltung und Entwicklung eines Nachläufersystems sind folgende Anforderungen zu definieren:

- Projektvorgaben: Welche Projektvorgaben sind für die Auslegung einer Vortriebsinstallation von Bedeutung?
- Unternehmensvorgaben: Welche Unternehmensvorgaben sind für die Auslegung einer Vortriebsinstallation von Bedeutung?
- Felssicherungs- und Ausbaurkonzept: Welche und wie viel Felssicherung ist in welcher Ausbruchklasse vorgesehen und welcher Ausbau (z.B. Sohlausbau) ist erforderlich?
- Transportkonzept für die Ver- und Entsorgung: Welche Transportkonzepte kommen bei einem maschinellen Vortriebssystem zur Anwendung?
- Bewetterung: Welche Vorgaben sind zwingend, um die Bewetterung bemessen zu können?
- Sicherheitskonzept: Welches sind die Grundparameter für das Erstellen eines Sicherheitsplanes?

Zum Pflichtenheft für die Entwicklung eines Nachläufers gehören:

- Projekt- und Unternehmensvorgaben: technische und wirtschaftliche Vorgaben, die für die Auslegung der Vortriebsinstallation von Bedeutung sind;
- Analyse des Bauablaufs: Definition und Ablauf der bautechnischen Arbeiten mit der Beschreibung der verschiedenen Arbeitsoperationen;
- Sicherungs- und Ausbaulogistik: Auflistung der Bauhilfsmaßnahmen und Bauhilfsmittel; zu diesen zählen Einrichtungen, Maschinen und Infrastrukturen, die für die Durchführung der Arbeitsoperationen (Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen) benötigt werden;
- Tübbinghandling im Nachläuferbereich: Bei der Verwendung von Tübbing muss ein Konzept für den Tübbingumschlag ab Versorgungszug bis zum Erektor aufgestellt werden;
- Ver- und Entsorgungslogistik: Die Festlegung des projektspezifischen Transportkonzeptes erfolgt auf der Grundlage der vorgegebenen Eckdaten und der Ver- und Entsorgungsorganisation pro Zyklus (z.B.: Bohren, Tübbinge versetzen und TBM umsetzen). Dabei muss der kritische Weg pro Zyklus bestimmt werden;
- Bewetterung: arbeitshygienische Vorgaben, Lüftungskonzept;
- Sicherheitskonzept: Die Ereignisse und Störfälle müssen mit den Schutzzielen für Normal- und Sonderbetrieb analysiert werden. Das Brandschutzkonzept muss ausgearbeitet und die Restrisiken müssen beurteilt werden;

- Kurzbeschreibung des Nachläufers: Der Aufbau des geeigneten Nachläufers muss beschrieben und dessen Länge abgeschätzt werden.

Die Nachläuferkonstruktion wird als kompakter Schlitten oder als gleisgebundener Portalrahmenwagen ausgebildet. Er wird meist mit Zugstangen von der TBM nachgezogen. Nur bei extrem schweren Nachläufern oder in Schrägschächten verwendet man separate Schreitwerke. Die Nachläuferausrüstung mit fahrbaren Portalrahmenkonstruktionen besteht meist aus mehreren zusammenhängenden Wagen-

einheiten. Diese Multifunktionsgerüste haben z.B. bei einer Gripper-TBM die folgenden Aufgaben und Funktionsbereiche:

- Trennen der Materialflüsse:
 - Entsorgung des Ausbruchmaterials (Schuttern) mit Förderbandkonstruktionen zum Beladen der Züge oder Dumper bzw. zum Beschicken des Streckenförderbandes ohne Umsetzen; Ableiten bzw. Pumpen des Bergwassers etc.;
 - Materialversorgung zum Einbau von Sohlübblingen, Einbaubögen, Spritzbeton, Anker; Versorgung mit Gleisen, Rohren sowie Werkzeugen, Ersatzteilen, Energie etc.;
- Träger der gesamten elektrischen und hydraulischen Installationen für den Antrieb der Maschine wie z.B. die elektrischen Hauptmotoren bis 2000 kW, Injektions- und Mörtelverpresspumpe, Bohrgeräte etc.;
- Zwischenlager für die Sicherungselemente;
- Träger mechanischer Einrichtungen zum Einbau von Sicherungen wie z.B. Spritzbetonroboter, schwenkbare Bohrgeräte, Erektoren für Einbaubögen, Hebeeinrichtungen etc. (offene Gripper-TBM);
- Führer- und Steuerstand mit Regel- und Steueranlagen zur Bohrkopfkontrolle und zur Kontrolle der Transporteinrichtungen, der hydraulischen und elektrischen Installationen und notwendigen Pumpen sowie der weiteren Überwachungs- und Warneinrichtungen;
- Träger der Hilfseinrichtungen wie Feuerlösch-, Sanitäts- und Rettungseinrichtung, Toiletten, Telefonanlagen, Tagesunterkunft sowie Ersatzteile, Verlängerungsrohre, Kabel, Gleisspeicher mit Hebeeinrichtungen etc.;
- Träger der Entstaubungsanlage mit Elektrolüfter und Luttenspeicher zum Verlängern der Lüftungslutte;
- Beladeeinrichtung: Die Länge der Nachläufer wird stark geprägt durch die Art des Abtransportes des Ausbruchmaterials im Tunnel. Man muss daher die folgenden Transportarten unterscheiden: Zug-, Förderband- oder LKW-Transport. Heute wird meist der Zug- und/oder Förderbandtransport eingesetzt. Beim Zugtransport wird die Länge des Nachläufers sehr stark durch die Länge des Materialzuges bestimmt. Die Kapazität der Materialwagen ist so auszulegen, dass das aufgelockerte Ausbruchmaterial eines gesamten Vortriebszyklus (ein Hub) in einem Zug aufgenommen werden kann. Der Zugwechsel erfolgt dann möglichst während des Schreitvorgangs der Gripper-TBM oder während des Tübbingringeinbaus bei der Schild-TBM. Beim Förderbandtransport wird der Nachläufer wesentlich kürzer, da ein kontinuierlicher Transport während des Bohrvorgangs erfolgt.

Die Dimensionierung des Nachläufers (**Bild 2**), besonders bei der offenen Gripper-TBM, erfolgt aufgrund folgender Funktionsbereiche:

- Versorgungs-, Steuer- und Antriebsbereich: Hebe-, Speicher- und Vorschubeinrichtungen für Ausbaubögen und Anker zur Primärsi-

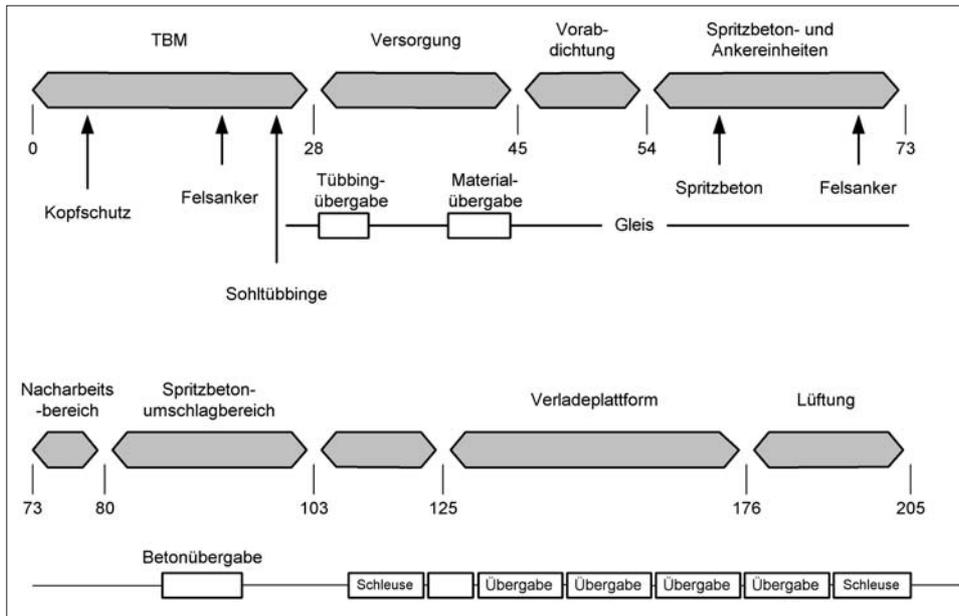


Bild 2. Funktionsbereiche einer Gripper-TBM [2,3]
Fig. 2. Functional areas of a gripper-TBM [2,3]

cherung hinter dem Bohrkopf sowie Sohlübbinge (falls verwendet); Steuerstand und elektrische und hydraulische Antriebseinheiten mit den erforderlichen Tanks und Hilfsaggregaten;

- Vorabdichtungsbereich: Bühnen zum Anbringen von flexiblen Plastikhalbschalen und Noppenfolien zum Abschlachten von Bergwasser sowie zur Versiegelung der Oberfläche mittels Spritzbeton;
- Systematischer Sicherungs- und Ausbaubereich: Ankeretzgeräte und Lager zur Systemankerung, Hochleistungsspritzmanipulatoren und Pumpen;
- Nacharbeitsbereich: Entfernung des Rückpralls etc.;
- Umschlagbereich für Spritzbeton;
- Verladebereich des Ausbruchmaterials;
- Ventilations- und Energieanschlussbereich.

Die Nachläufer der Gripper-TBM müssen so gestaltet werden, dass sie den flexiblen und adaptiven Anforderungen an den Sicherungseinbau entsprechend den angetroffenen Gebirgsverhältnissen gerecht werden (Bild 3). Daher sind die Nachläufer einer Gripper-TBM meist wesentlich länger als die der Schild-TBM, da die flexiblen Sicherungsmittel während des Vortriebs handwerklich mit mechanischen Hilfseinrichtungen auf dem Nachläufer einzubauen sind.

Die Länge des Versorgungs- und Steuerbereichs ergibt sich einerseits aus der Größe der stationären Antriebsaggregate und Hydrauliktanks sowie Hilfsaggregate und andererseits aus den Hebe- und Transporteinrichtungen sowie dem Speicherbedarf für die Erstsicherung direkt hinter der Maschine. Der Speicherbedarf ergibt sich aus dem maximalen Materialverbrauch und dem

Transportzyklus der Versorgungszüge. Die Länge des Vorabdichtungsbereichs bemisst sich aus dem zu erwartenden Umfang der Vorabdichtungsarbeiten in Bezug auf die Zykluszeit eines Bohrhubs. Die Länge des Sicherungs- und Ausbaubereichs ergibt sich aus der Vortriebsgeschwindigkeit und dem Umfang der durchzuführenden Maßnahmen sowie der Leistungsfähigkeit der Ankeretzgeräte und der Spritzbetonmanipulatoren etc. Die Bühnen werden in variable Arbeitsbereiche zur Durchführung der verschiedenen Sicherungs- und Ausbaubereichen eingeteilt. Dies ermöglicht die Durchführung der Arbeiten während des Bohrhubs. Aus diesem Grund müssen die Ankeretzgeräte in Längs- und Radialrichtung verschiebbar sein (Bild 4). Die Spritzbetonapplikationseinheit ist ebenfalls so gestaltet, dass sie während der Bohrbewegung arbeiten kann. Die Spritzdüse ist auf einem verschiebbaren Gerüst montiert. Dieses besteht aus zwei Kreisbogenrahmen, auf denen ein geführter Querträger angebracht ist. Der Querträger kann mittels einer separaten Antriebseinheit entlang der Kreisbogenhülle bewegt werden. Auf diesem Querträger befindet sich die Spritzdüse. Die Düse selbst kann mittels einer eigenen Antriebseinheit entlang des Querträgers in Tunnellängsrichtung verfahren werden. Das ganze System wird durch ein automatisiertes computer-

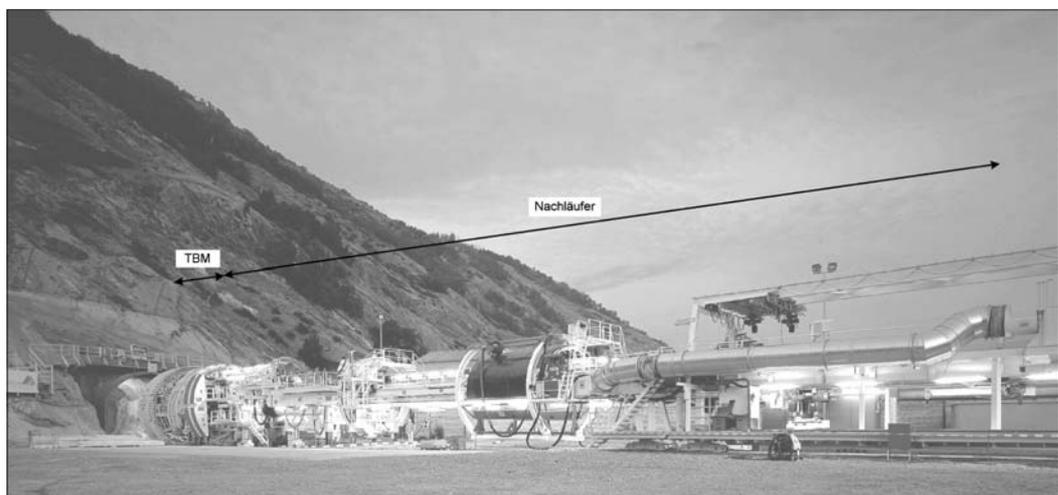


Bild 3. Nachläufer einer modernen Gripper-TBM (Herrenknecht - Projekt NEAT) [4]
Fig. 3. Back up system of a latest Gripper-TBM [4]

gestütztes Leitsystem gesteuert. Der Spritzbeton wird durch horizontal meandrierende Bewegungen der Düse aufgebracht. Der Umschlagbereich für Spritzbeton sowie der Ventilations- und Energieanschlussbereich ergeben sich aus der Größe des Mörteltransportwagens, des Luttenspeichers, der Elektrokabeltrommel etc. Der Verladebereich ergibt sich aus der erforderlichen Ladekapazität des Zuges zur Aufnahme des Ausbruchmaterials eines Bohrhubs. Zudem wird die Länge des Nachläufers von Gripper- sowie Schild-TBM durch den Ausbau der Sohle bestimmt.

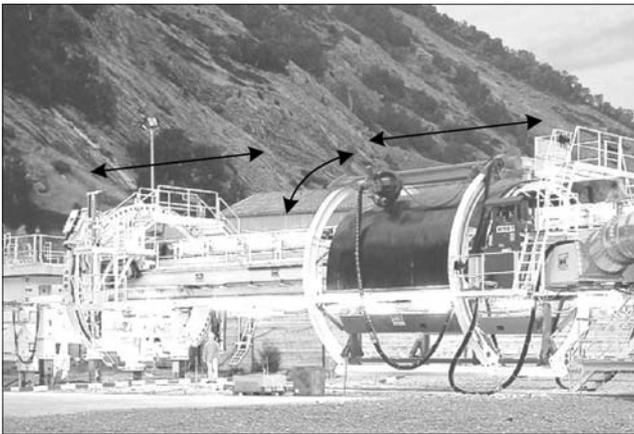


Bild 4. Sicherungs- und Ausbaubereich: Ankerseinheit - Spritzbetonapplikationseinheit [4]

Fig. 4. Support- and rear area: rock bolt unit - shotcrete application unit [4]

Zum effizienten Abtransport des Ausbruchmaterials und zur Lieferung des Ausbaumaterials ist im Tunnel eine ebene Transportpiste erforderlich. Daher erfolgt der Einbau der Sohle bei Tunneln ohne Sohlübbing, aber mit Entlüftungs- und Versorgungskanälen meist zwischen dem vorderen Sicherungsnachläuferteil und dem hinteren Verladenachläufer. Zwischen diesen Nachläuferteilen, die mit einer Brücke verbunden sind, erfolgt der Sohleinbau. Der vordere Sicherungsnachläufer stützt sich meist radial am Gesamtquerschnitt ab, während sich der Verladenachläufer auf der eingebauten Unterkonstruktion (z.B. Transportpiste oder Sohlübbing) des Tunnels abstützt. Der Materialumschlag, die Versorgung der Maschine sowie das kontinuierliche Sichern des Tunnels erfordern das Mitführen von relativ langen Nachläufern.

Die Nachläufer bestehen meist aus einzelnen, miteinander gekoppelten Wageneinheiten von 5 - 15 m Länge. Bei Doppelröhren sollte das effiziente Umsetzen oder der Transport, z.B. auf einem Tieflader, möglich sein. Die Wageneinheiten sind in der Regel gleisgeführt. Das Gleis wird nach Durchfahren einer Strecke hinten abgebaut und über die Laufkatze des Nachläufers meist seitlich neben der TBM nach vorne gebracht. Mittels Hebeeinrichtung werden die Gleisschüsse seitlich neben der Maschine vor dem Nachläufer wieder befestigt. Somit kann der Nachläufer der TBM kontinuierlich folgen. Die Gleise sind je nach Platzverhältnissen wie folgt angeordnet:

- im Sohlbereich bei großen Querschnitten
- im Übergangsbereich Sohle-Parament bei mittleren und großen Querschnitten
- Aufhängung im Kämpferbereich bei kleinen Querschnitten

Schrägschächte bis zu 100 % Steigung werden heute mit Gripper-TBM aufgefahren. Das Auffahren erfolgt von unten nach oben. Um die großen Hangabtriebskräfte aus dem Nachläufersystem aufzunehmen, werden meist eine Rücklaufsicherung und ein von der TBM unabhängiges Schreitwerk eingebaut. Zur Förderung des Ausbruchmaterials

wird statt eines glatten Förderbandes ein Taschenförderband verwendet, um das Abrutschen des Materials zu verhindern. Das Taschenförderband wird aus Sicherheitsgründen auf der Sohle des schrägen Schachtes angeordnet. Das Band sollte beidseitig mit einem Schutzblech versehen werden, damit abrollendes Material nicht unkontrolliert den Schacht hinunter rollt. Das Abförderkonzept muss so ausgelegt werden, dass die volle Maschinenbohrleistung gefahren werden kann. Konkret heißt das, dass der kritische Weg bei der Bohrleistung der Maschine liegen sollte und nicht bei der Schutterleistung, den normalen Einbau- und Sicherungsmaßnahmen oder der Materialversorgung und -vorhaltung.

Zur optimalen baubetrieblichen Abwicklung sollte also die Vortriebsgeschwindigkeit durch die Bohrgeschwindigkeit bestimmt werden und nicht durch die notwendigen Sicherungsmaßnahmen oder den Transportzyklus. In einer betriebswirtschaftlichen Abwägung ist zu untersuchen, wie hoch die Investitionskosten für effizienzsteigernde mechanische oder auch roboterisierte Unterstützungseinrichtungen und Lagerbühnen sind, um den Einbau der zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen beschleunigt durchzuführen, im Vergleich zu den baubetrieblichen Kosten, die sich aus der Verzögerung und/oder Unterbrechung des Vortriebs ergeben.

Der Entwurf eines Nachläufers für Schild-TBM mit Tübbingausbau wird entsprechend der Darstellung in Bild 1 durchgeführt. Der typische Nachläufer einer Schild-TBM mit Übergabe des Ausbruchmaterials vom Nachläufer auf LKW-Transport ist in **Bild 5** dargestellt. Die Funktionsbereiche umfassen Zuliefer- und Entladeeinrichtungen, Maschinenhilfs- und Steuerungseinrichtungen und Ausbaubereiche. Die Funktionsbereiche sind getrennt in Transportflüsse, Ausbau- und Materialumschlagbereiche. Die Unterteilung des Nachläufers in funktionale und Betriebsbereiche (Bild 5a) erlaubt gleichzeitig ablaufende Bauprozesse und erhöht somit die Leistung des Bohrvorganges und der Fertigstellung der Tunnelkonstruktion. In vielen Fällen, besonders bei Verkehrstunneln, ist die Fertigstellung des Fahrwegunterbaus entscheidend für den Transport im Tunnelbau. Aus diesem Grund findet der untere Ausbau direkt hinter den Steuerungs- und Antriebseinheiten sowie der Tübbingzufuhr statt (Bild 5b und 5c). Der Sohlgewölbeausbau, einschließlich Wasserabdichtung, Frischluftkanälen für die spätere Ventilation und anderen Infrastrukturen, kann zusammen mit dem endgültigen Unterbau unter der Förderbrücke des Nachläufers eingebaut werden. Der untere Ausbaubereich ist horizontal vom Transportbereich getrennt (Bild 5d). Der hintere Nachläuferbereich ist horizontal in den Tunneltransport (unten) und den Nachläufertransport (oben) unterteilt. Der Nachläufertransport befindet sich auf den Plattformen, während der Tunneltransport auf dem fertig gestellten Unterbau des Verkehrsweges unter dem Nachläufer stattfindet. Im Ladebereich wird die Belieferung mit Material vom Ausbruchabtransport getrennt, um die unterschiedlichen Arbeiten zu entkoppeln (Bild 5e). Der Abtransport des Ausbruchs aus dem Tunnel kann mittels Förderband, LKW-Kipper oder gleisgebunden erfolgen. Die Anlieferung wird meist mittels LKW- oder Bahntransport vorgenommen.

2 Schuttern

Die Schutterung bei der TBM ist eine integrale Komponente der Maschine wie auch des Nachläufers. Die Schutterung erfolgt von der Maschine mittels eines Förderbandes, das im Bohrkopf über eine Zwangsbeschickung beladen wird. Das Material wird vom TBM-Band meist im Übergangsbereich zwischen TBM und Nachläufer auf das Nachläuferband übergeben. Die Übergabe an den gleisgebundenen Transport wie auch an den Dumpertransport kann direkt über ein Bandbe-

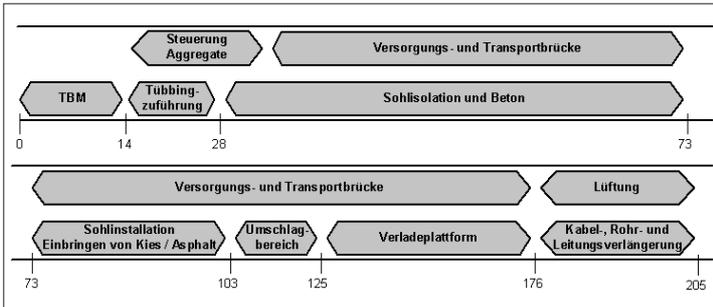


Bild 5. Nachläufer - Schild-TBM (Herrenknecht - Bahntunnel Zürich - Thalwil (Schweiz))

Fig. 5. Back up system - shield-TBM

Bild 5a. Funktionale Bereiche einer Schild-TBM und des Nachläufers [2]

Fig. 5a. Functional areas of shield TBM and back up system

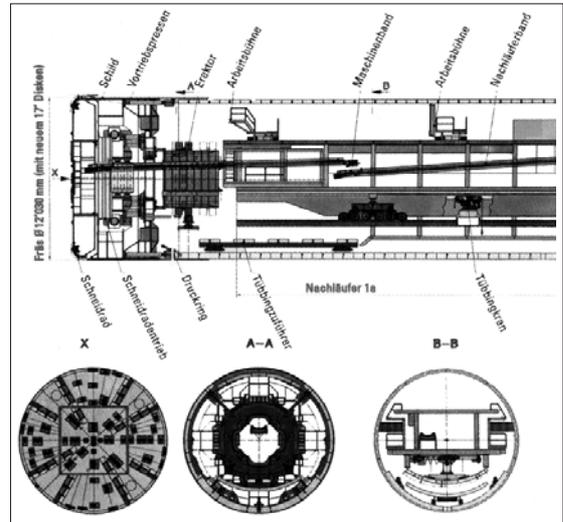


Bild 5b. Nachläufer - Teil I: Aggregate/Antrieb/Steuerung und Sicherung-/Ausbaubereich [4]

Fig. 5b. Back up system part I: support equipment, power unit and rock support

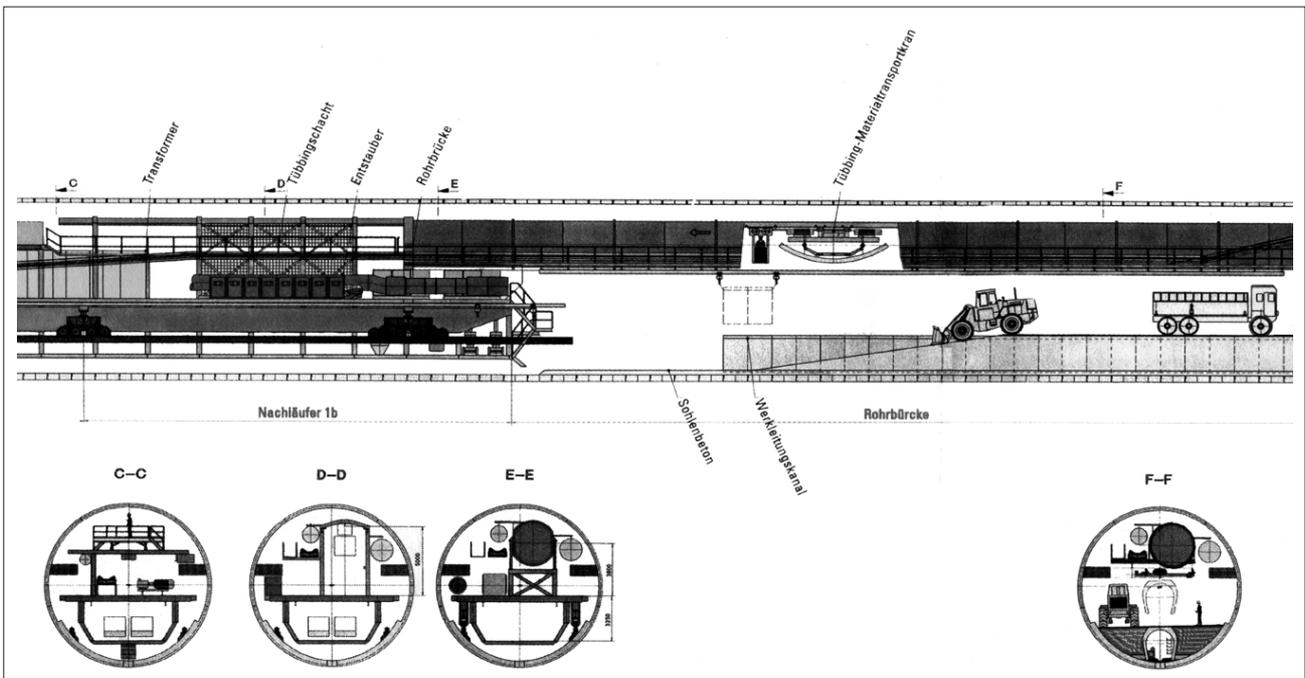


Bild 5c. Nachläufer - Teil II: Bereich der Fertigstellung des Fahrwegunterbaus [4]

Fig. 5c. Back up system part II: bottom arch construction area

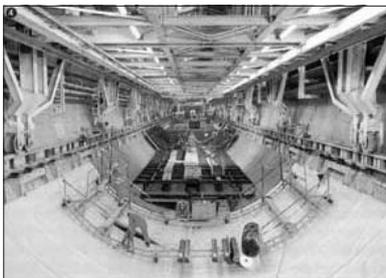


Bild 5d. Nachläufer - Bereich zur Herstellung des Unterbaus: oben Infrastruktur-Transportbrücke [4]

Fig. 5d. Back up system - bottom arch construction (below), back up bridge (top)

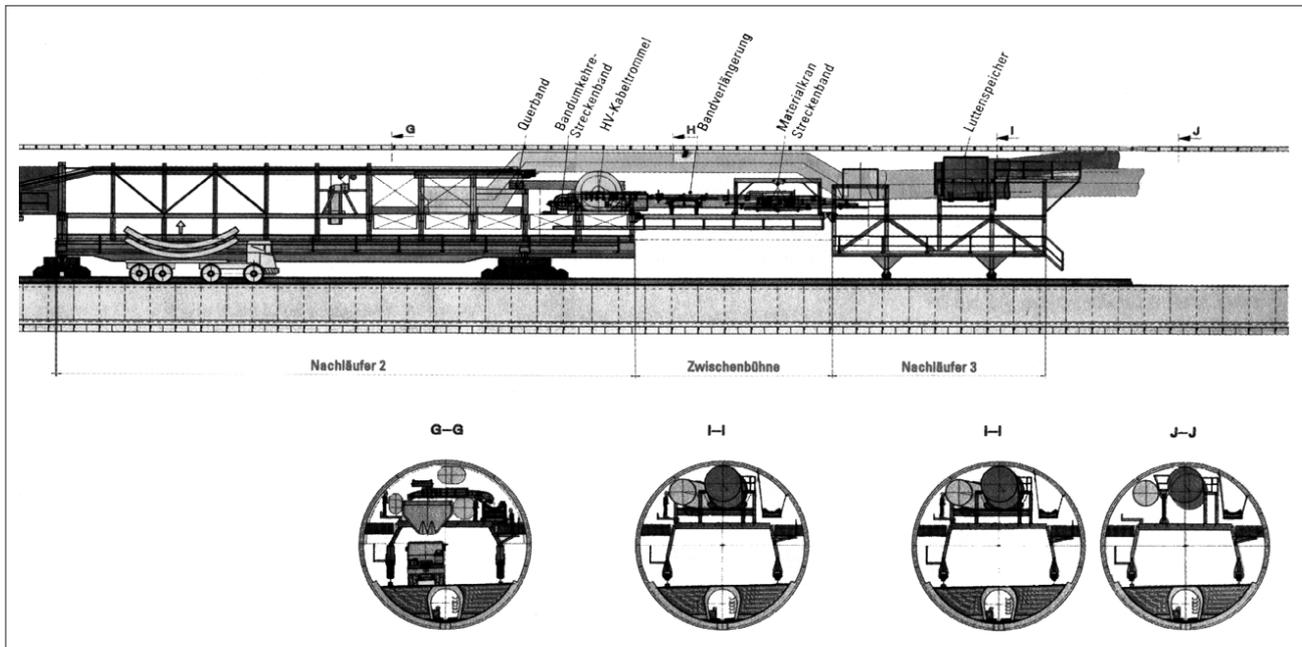


Bild 5e. Nachläufer - Teil III: Materialumschlagbereich [4]

Fig. 5e. Back up system part III: material and muck handling area

ladegerät oder über einen Zwischenspeicher (Bunker) erfolgen. Der Zwischenspeicher ermöglicht den Vortrieb bei diskontinuierlicher Beladung während der Vortriebsphasen, wie dies beim Dumpertransport auftritt.

Beim Gleistransport kann man zwei Möglichkeiten unterscheiden:

- Der Materialzug wird langsam unter dem Materialabwurf des Bandes verschoben.
- Der Materialzug steht still und wird mittels eines verschiebbaren Ladebands (Schleppband) gefüllt, das sich unter dem Nachläuferband befindet und von diesem gespeist wird.

Das zusätzliche Schleppband hat den Vorteil, dass das Beladen vom Lokführer, der bei stehendem Zug das Band bedient und den Füllgrad der Wagen überwacht, selbst vorgenommen werden kann. Wird der Materialzug verschoben, sind ein Lokführer und eine Hilfskraft zur Bandbedienung und Überprüfung des Füllgrades der Wagen erforderlich. Das verschiebbare Schleppband ist etwas länger als der halbe Zug. Das Nachläuferband endet etwa in der Mitte des Zugs und übergibt das Ausbruchmaterial über einen Fülltrichter an das vorbeiziehende Schleppband. Dieses beginnt nun mit der Füllung des letzten Zugwagens; dabei befindet sich der Abwurf des Nachläuferbandes über dem hinteren Teil des Schleppbandes. Das Schleppband wird in Tunnelängsrichtung mittels eines elektrisch angetriebenen Kettenzugs entsprechend dem Füllungsgrad der Schutterwagen nach vorne gezogen, was bis zum mittleren Wagen möglich ist. Dann wird die Bandlaufrichtung reversiert, und der Ladevorgang erfolgt vom vordersten Wagen bis zur Füllung des mittleren Wagens. Die Übergänge von einem zum anderen Schutterwagen sind mit Neoprenschürzen überlappt. Damit wird verhindert, dass während des dynamischen La-

devorgangs Material zwischen den Wagenkupplungen auf das Gleis fällt.

3 Ausblick

Der heutige TBM-Vortrieb im Fels ist eine baubetriebliche Herausforderung zur optimalen Gestaltung eines flexiblen Maschinenkonzeptes und eines integralen Logistikkonzeptes.

Das Maschinenkonzept muss den projektübergreifenden Einsatz einer TBM beachten, um die Maschine adaptionsfähig in Bezug auf Durchmesserintervalle, Antriebsleistung, Erstsicherungskonzept etc. zu machen.

Mittels Nachläufer lässt sich der TBM-Vortrieb zu einer projektspezifischen „Tunnelfabrik“ gestalten. Dazu gehört, dass ein robustes, anpassungsfähiges Logistikkonzept entwickelt wird und dass die Bandbreiten baubetrieblich relevanter Vortriebsmaßnahmen abdeckt werden. In diesem Bereich übernimmt der Bauingenieur der Unternehmung die Führungsrolle im Team mit dem Maschinenhersteller und Projektingenieur zur Gestaltung des TBM-Systems unter Beachtung der Anforderungen aus der Projektierung.

Literatur

- [1] Girmscheid, G.: Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – TBM-Systeme. Bauingenieur 77 (2002), S 173 - 183.
- [2] Girmscheid, G.: Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau. Ernst & Sohn, Berlin 2000.
- [3] ROWA Engineering AG, Wangen SZ (CH): Technische Unterlagen.
- [4] Herrenknecht AG, Schwanau (D): Technische Unterlagen.