

Probekapitel

Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb

2. vollst. überarb. u. erw. Auflage

Autoren: Bernhard Maidl, Martin Herrenknecht, Ulrich Maidl, Gerhard Wehrmeyer

Copyright © 2011 Ernst & Sohn, Berlin

ISBN: 978-3-433-02948-0



Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften
GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn
A Wiley Company

Zuordnung der Autoren

1	Einführung	B. Maidl
2	Hohlraumstützung und Setzungen	U. Maidl
3	Konstruktion und Berechnungsansätze	G. Wehrmeyer
4	Abbauwerkzeuge und Abbauprozesse	M. Herrenknecht; G. Wehrmeyer
5	Fördereinrichtungen	M. Herrenknecht; G. Wehrmeyer
6	Tunnelauskleidung	B. Maidl
7	Schildschwanzdichtung, Verpress- und Injektionsverfahren	G. Wehrmeyer
8	Offene Schilde	B. Maidl
9	Druckluftschilde	B. Maidl
10	Flüssigkeitsschilde	U. Maidl
11	Erddruckschilde	U. Maidl
12	Kombinierte Schilde	B. Maidl
13	Sonderschilde und Sonderverfahren	B. Maidl
14	Steuerbare Verfahren für den Mikrotunnelbau	B. Maidl
15	Vermessung und Steuerung	M. Herrenknecht; G. Wehrmeyer
16	Arbeitssicherheit	B. Maidl
17	Partnerschaftliche Modelle und Bauabwicklung	U. Maidl
18	Prozess-Controlling und Datenmanagement	U. Maidl
19	DAUB – Empfehlungen zur Auswahl von TVM	U. Maidl

1.2 Typisierung der Tunnelvortriebsmaschinen nach DAUB

In Kapitel 19 werden die DAUB-Empfehlungen vollständig wiedergegeben [54].

1.2.1 Einteilung von Tunnelvortriebsmaschinen (TVM)

Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) bauen entweder den gesamten Tunnelquerschnitt mit einem Bohrkopf oder Schneidrad im Vollschnitt oder teilflächig durch geeignete Lösevorrichtungen ab.

Man unterscheidet zunächst zwischen Tunnelbohrmaschinen (TBM), Doppelschildmaschinen (DSM), Schildmaschinen (SM) und Kombinationsmaschinen (KSM).

Beim Abbauvorgang wird die Maschine entweder kontinuierlich oder intermittierend vorgeschoben.

Eine systematische Zusammenstellung der Tunnelvortriebsmaschinen zeigt Bild 1-5 (siehe auch Anlage 1 „Übersicht der Tunnelvortriebsmaschinen“, Kapitel 19).

1.2.2 Tunnelbohrmaschinen (TBM)

Tunnelbohrmaschinen werden für Vortriebe in standfesten Festgesteinen eingesetzt. Eine aktive Stützung der Ortsbrust ist nicht erforderlich und technisch auch nicht möglich. Mit diesen Maschinen kann im Allgemeinen nur ein Kreisquerschnitt aufgefahren werden.

Man unterscheidet Tunnelbohrmaschinen ohne Schildmantel (Gripper-TBM), Erweiterungstunnelbohrmaschinen (ETBM) und Tunnelbohrmaschinen mit Schildmantel (TBM-S).

Ausführlich werden diese Maschinen in [203] beschrieben.

1.2.2.1 Tunnelbohrmaschinen ohne Schild (Gripper-TBM)

Tunnelbohrmaschinen ohne Schild werden im Festgestein mit mittlerer bis hoher Standzeit eingesetzt. Sie besitzen keinen vollständigen Schildmantel. Ein wirtschaftlicher Einsatz kann durch aufwendige Verschleißkosten der Abbauprodukte stark beeinflusst und begrenzt sein.

Um den Anpressdruck auf den Bohrkopf aufbringen zu können, wird die Maschine radial durch hydraulisch angetriebene Platten (Gripper) gegen die Ausbruchlaibung gespannt.

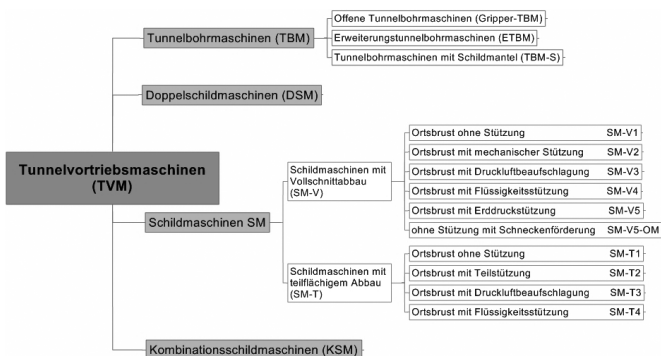


Bild 1-5 Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen

2 Hohlraumstützung und Setzungen

Ein Schild hat die Aufgabe, als wandernde Sicherung den geschaffenen Hohlraum bis zum Einbau der endgültigen Sicherung zuverlässig zu umschließen. Er muss dabei dem Druck des umgebenden Gebirges widerstehen und, wo erforderlich, anstehendes Grundwasser zurückhalten. Im innerstädtischen Bereich müssen durch eine geeignete Hohlraumstützung schädliche Setzungen der Oberfläche vermieden werden. Setzungen entstehen durch Spannungumlagerungen und Änderungen der Porenwasserdruckverhältnisse im Baugrund. Durch die aktive Stützung des Hohlraums an der Ortsbrust, im Schildbereich und hinter dem Schild können Oberflächensetzungen auf zulässige Maße begrenzt werden (Bild 2-1).

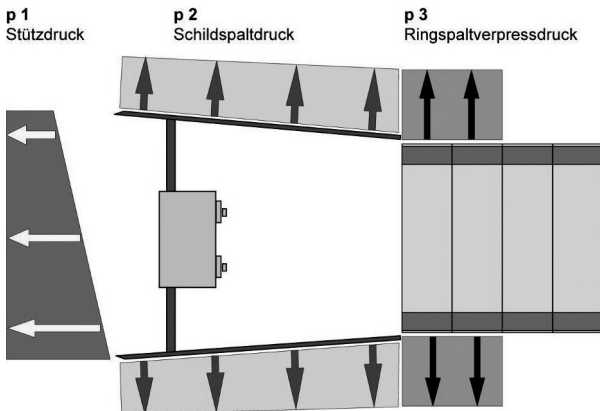


Bild 2-1 Aktive Gebirgsstützung beim Schildvortrieb

2.1 Stützung der Ortsbrust

In Abhängigkeit vom gewählten Maschinentyp und vom Baugrundverhalten bestehen verschiedene Möglichkeiten der Ortsbruststützung. Die Wahl des optimalen Verfahrens richtet sich nach der Höhe des Stützdrucks, den Baugrundeigenschaften, den Anforderungen an die Oberflächensetzungen sowie verfahrenstechnischen und wirtschaftlichen Aspekten. Im ersten Schritt wird die rechnerische Überprüfung der Ortsbruststabilität und Ermittlung der Höhe des erforderlichen Stützdrucks empfohlen.

3.2.3 Belastung durch Vortriebspresen

Die Vortriebspresen schieben den Schild entgegen der wirksamen Reibungskräfte des Erdreiches und entgegen der erforderlichen Stützkraft (bei Ortsbruststützung) in Vortriebsrichtung nach vorne. Als Widerlager dient der letzte, im Schildschwanz eingebaute Ring, an dessen Stirnfläche der Pressenschuh der Vortriebspresse ansetzt. Am vorderen Ende werden die Kräfte über die Druckwand auf das Stützmedium bzw. in den Schildmantel eingeleitet (Bild 3-6).



Bild 3-6 Vortriebspresen und Pressenschuhe, Mixschild Finnetunnel, 2009 (Herrenknecht)

3.3 Berechnung der erforderlichen Vortriebspresenkraft

Besondere Bedeutung bei der maschinentechnischen Auslegung eines Vortriebsschildes kommt der Berechnung der erforderlichen Vortriebskraft zu. Die Unterdimensionierung bzw. das Auftreten vorher nicht absehbarer Widerstände kann im schlimmsten Falle zu aufwendigen technischen Umbaumaßnahmen unter Tage führen und ist durch sorgfältige Vorausberechnung, aber auch durch Auswertung und Analyse empirischer Projektdaten zu vermeiden.

3.3.1 Vortriebswiderstände durch Reibungskräfte am Schildmantel

Durch die Radial- bzw. Horizontal- und Vertikalbelastung aus Überdeckung, Bebauung und Verkehrslasten sowie durch das Schildeigengewicht ergeben sich rund um den Schildmantel Reibungskräfte, die mit den Vortriebspresenkräften überwunden werden müssen. Diese Reibungskräfte können durch Konizität des Schildes bzw. Überschneit des Schneidenschusses oder durch Schmierung (z. B. Bentonit) verringert werden (Tabelle 3-2).

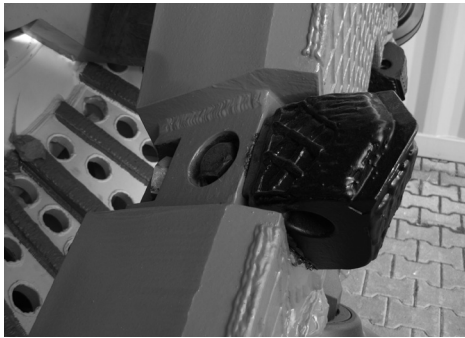
Dem Grundprinzip der Löseleistung durch eine durchgehende Schneidkante entspricht auch die Schildschneide am Umfang des Schildmantels.

Optisch einer Schneidkante ähnlich sind übrigens auch die an Hartgesteinsbohrköpfen vereinzelt zu findenden Schneidleisten, welche die Materialförderung in die peripheren Materialeinlasskanäle unterstützen, indem sie ein Zurückfallen des bereits auf dem Materialkanal liegenden und mit der Bohrkopfrotation rutschenden Aushubmaterials vor dem Bohrkopf verhindern. Der Begriff Schneidleisten für diese Seitenbleche zur Erhöhung der Materialkanäle ist deshalb eher irreführend.

4.1.3 Schälmesser

Schälmesser ergeben sich durch die Vereinzelung der durchgehenden Schneidkanten. Sie wirken im Zusammenspiel aller Schälmesser und bestreichen so vollständig die gesamte Ortsbrustfläche. Schälmesser trennen den Boden in der Idealvorstellung schneidend, der entstehende Span gleitet über die Messervorderseite ab.

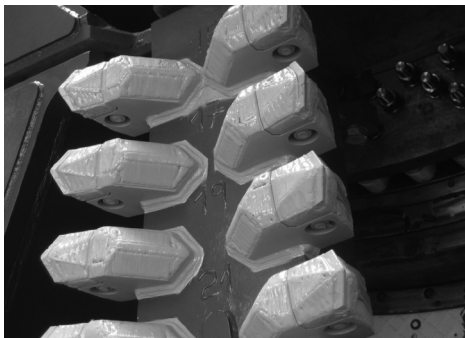
Es gibt eine Vielzahl von Bauformen, im Allgemeinen mit Hartmetallschneiden und zusätzlichem Verschleißschutz, die bei sehr unterschiedlichen Böden eingesetzt werden können (Bild 4-3).



a)



b)



c)



d)

Bild 4-3 Schälmesserformen für unterschiedliche Böden und Einsatzzwecke

a) schmales Schälmesser mit eingelassenem Halter im Schneidrad (Mikrotunnelling, 2009)

b) schmale Schälmesser mit unterschiedlichem Freiwinkel und Rückenschutz in aufgesetzten Haltern (S-381 Mixschild H8 Tunnel Jenbach, 2008)

c) schmale Schälmesser in aufgesetzten Haltern (S-340 EPB-Schild Malmö, 2006)

d) breites Schälmesser mit HM-Streifen als Rückenschutz in aufgesetztem Halter (S-440 Mixschild U4 Hamburg, 2008)

5.5 Separation

Für jede hydraulische Förderstrecke stellt sich am Ende die Aufgabe der Separation des Transportguts vom Transportmittel. Beim Schildvortrieb sind dies der ausgehobene Boden und als Fördermedium Wasser oder eine (Bentonit-)Suspension. Die zu trennenden Gemischmengen bewegen sich etwa zwischen $50 \text{ m}^3/\text{h}$ bei sehr kleinen Vortrieben im feinkörnigen Boden und bis zu $2.800 \text{ m}^3/\text{h}$ bei sehr großem Schilddurchmesser.

Feststofffrachten, die unter ungünstigen Bedingungen bis zu 30 % der Nennvortriebsleistung übersteigen können, sind möglich und sollten als Puffer bei der Dimensionierung der Siebflächen eingeplant werden. Starke Schwankungen der ankommenden Mengen bis hin zur Pfropfenförderung sind bei der Auslegung der Separationsanlage zu berücksichtigen. Als mittlere Förderdichte aus dem Schild heraus wird oft ein Wert von ca. $1,3 \text{ t/m}^3$ erreicht. Schwankungen nach unten und gelegentliche Überschreitungen sind unvermeidlich. Darüber hinaus sind geologische Eigenschaften, wie etwa enggestufte Körnungsbänder, durch welche nur bestimmte Komponenten belastet bzw. unter Umständen überlastet werden, zu berücksichtigen.

Technisch können heute auf Baustellen alle Böden aus der Trägerflüssigkeit Suspension bzw. Wasser getrennt werden. Anschaffungs- und Betriebskosten verbieten jedoch meist die völlige Trennung des Fördermediums vom Boden und verlangen den Kompromiss zwischen der Behandlung der mit Feinstoffen aufgeladenen Suspension und der Abfuhr und Deponierung.

5.5.1 Trennverfahren

Die praktisch nutzbaren Trennverfahren sind die Sedimentation und die Filtration. Die thermische Trennung durch Verdampfen der Flüssigkeit spielt aus Kostengründen keine Rolle.

Sedimentation

Die Sedimentation bezeichnet das Absetzen des Fördergutes in der Förderflüssigkeit. Die Absinkgeschwindigkeit des Fördergutes lässt sich näherungsweise aus der Stokes'schen Widerstandsformel ermitteln [175]. Fließgrenze und Viskosität des Fördermediums einerseits und die Größe bzw. Dichte der Bodenpartikel andererseits zeigen sich als wesentliche Einflussparameter. Steigende Viskosität des Fördermediums führt zu verringerten, zunehmende Partikelgrößen und Dichten führen zu steigenden Sinkgeschwindigkeiten.

Da die Mineralkorndichte der Böden nur geringe Streuungen aufweist, zeigt die Sinkgeschwindigkeit auch in sehr unterschiedlichen Böden ähnliche Werte.

Alle Bodenporen sind nach dem Absetzen noch mit Flüssigkeit gefüllt; es ergeben sich je nach Kornform und Lagerungsdichte unterschiedliche Flüssigkeitsgehalte im abgesetzten Feststoff.

Filtration

Die beladene Suspension wird durch einen Filter mit definierter Durchlassfeinheit gedrückt. Während dieses Vorgangs verengen sich die Porengänge des Filters zunehmend durch angelagerte Schwebstoffe. Die Korngröße und die Kornform bestimmen die Trenn-

wirkung. Beide Merkmale können bei unterschiedlichen Böden erheblich variieren. Nach dem Aufbau eines dichten Filterkuchens muss das Filtertuch vor erneutem Einsatz gereinigt werden. Mit dem angewandten Druck lassen sich die Filterleistung und der Restwassergehalt des Kuchens beeinflussen.

5.5.2 Trenngeräte

Eine restlose Entfernung der Feinteile aus der Suspension ist schwierig und im Allgemeinen auch nicht erforderlich. Bei Fördermedien, die auch Stützfunktionen im Schild erfüllen, ist ein Anteil an Filter bildenden Schwebstoffen in der in den Tunnel zurückgeführten Suspension sogar erwünscht. Jedoch darf der Feinststoffgehalt, der im Wesentlichen die Fließgrenze der Suspension bestimmt, nicht zu sehr anwachsen, um die Leistungsfähigkeit der Trenngeräte nicht zu beeinträchtigen [5], [218].

Absetzbecken (Bild 5-19) sind bei Verwendung von reinem Wasser als Transportmedium und hinreichendem Platzangebot funktionssichere und energiesparende Anlagen, welche im Mikrotunnelling Verwendung finden. Bereits Bentonitgehalte von wenigen kg je m³ Flüssigkeit verschlechtern das Absetzen deutlich. Die Restentwässerung der abgesetzten Feinteile kann sich bei der Räumung störend bemerkbar machen. Winterbetrieb bei Frost ist kaum möglich.

Regeneratoren

Regeneratoren gewinnen bei engeren Baustelleneinrichtungsflächen und zunehmendem Feinkorn im Förderstrom an Bedeutung. Sie werden als maßgeschneiderte Kompaktanlagen angeboten und meist auf den betriebsnotwendigen Suspensionsbecken montiert (Bild 5-20). Sie bestehen aus den Komponenten:

- Vorsieb,
- ein- oder zweistufige Zyklonanlage,
- Entwässerer.

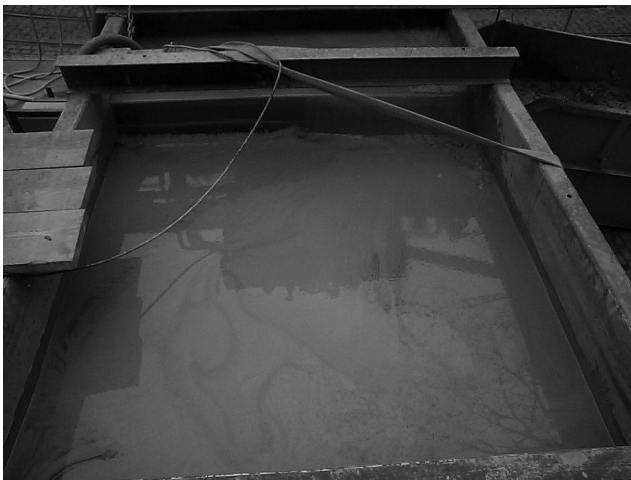


Bild 5-19 Absetzbecken in Containerbauweise als Zwischendeponie im Mikrotunnelling, Rohrvortrieb Witten

10.5 Maschinen- und Verfahrenstechnik

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf den Hydro-/Mixschild.

10.5.1 Bodenabbau

Der innerhalb der Abbaukammer rotierende offene Stern (Bild 10-3) stellte die klassische Schneiradform des Hydroschildes dar. Der hohe Öffnungsgrad wurde damals in sandigen Böden zur definierten Stützdruckübertragung über die Bentonitsuspension für erforderlich gehalten. Die Schneiradarme (Speichen) waren traditionell mit Stacheln besetzt, und ein Überschnitt war nur begrenzt realisierbar.

Als besonders nachteilig erwies sich die fehlende Stützung der Ortsbrust bei Druckluftbegehungen. Einige Vortriebsmaschinen wurden aus diesem Grunde zwischen 1990 und 2007 häufig zusätzlich mit hydraulisch verfahrbaren Sicherungsplatten und einer umlaufenden Felge ausgestattet. Der Einsatz der Sicherungsplatten erwies sich allerdings oft als problematisch und brachte mehr Nachteile als Vorteile (Bild 10-13).

Bei den Hydroschilden der ersten Generation bereitete in feinkörnigen Böden die Verklebung im Zentrumsbereich häufig Schwierigkeiten. Der zur Problemlösung entwickelte unabhängig drehende Zentrumsschneider wurde mit Erfolg erstmalig 1990 in Essen bei Los 34 eingesetzt.

Insbesondere bei Hindernissen, Blöcken und Steinen stellt der Zentrumsschneider (Bild 10-13, rechts) jedoch ein zusätzliches Risiko dar. In heterogenem Baugrund mit Block- oder Felseinlagen kommen aus diesem Grunde heute bevorzugt geschlossene und vor der Schildschneide rotierende Schneiräder zum Einsatz (Bild 10-14), die sich kaum von den Schneirädern der Erddruckschilde (Kapitel 11) unterscheiden. Die umlaufende Felge verbessert die Stützwirkung insbesondere während der Druckluftbegehungen. Die Materialöffnungen sollten strömungsgünstig ausgebildet werden. Die Öffnungsgröße und der Öffnungsgrad des Schneirades sind unter Berücksichtigung der Steingröße und der Verklebungsneigung des Bodens als „bester Kompromiss“ zu definieren. Der Bodenabbau erfolgt kombiniert mit Schälmeßern, Rollenmeißeln und Räumern.

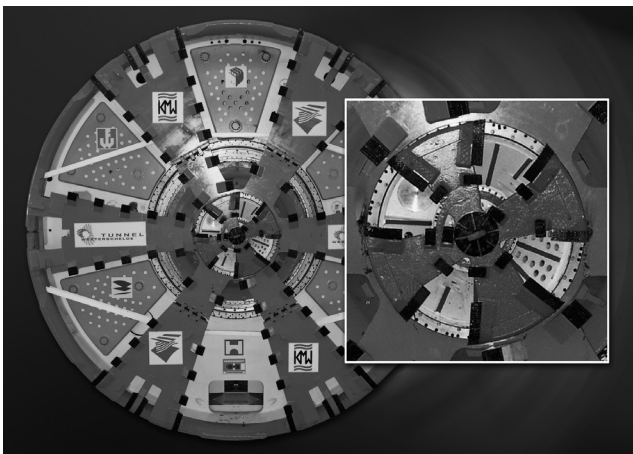


Bild 10-13 Felgenschneirad Mixschild, Ø 11,34 m, Tunnel Westerschelde, 1998

Die Erddruckmessung ist Bestandteil eines komplexen Datenerfassungssystems, das einerseits dazu dient, den gesamten Vortriebsverlauf zu dokumentieren und andererseits dazu, die Steuerung einzelner Größen über Regelkreise zu ermöglichen. Nach der Messung erfolgt die Stützdrucksteuerung/-regelung über die Pressenvorschubgeschwindigkeit, die Schnecken-drehzahl oder die druck-volumen-gesteuerte Injektion des Konditionierungsmittels.

Bild 11-4 zeigt das Regelschema eines Erddruckschildes ohne Einbeziehung der Bodenkonditionierung. Die Regelgröße P_R (momentan gemessener Erddruck) soll auf dem vorgegebenen Sollwert P_0 gehalten werden. Die Erhöhung der Pressenvorschubgeschwindigkeit bzw. die Reduzierung der Schneckenförderdrehzahl bewirken eine Erhöhung des Erddruckes; die Reduzierung der Pressenvorschubgeschwindigkeit bzw. die Erhöhung der Schneckenförderzahl führt zu dessen Reduzierung. Liegt die erste Stellgröße (n = Schneckenförderdrehzahl) außerhalb eines definierten Arbeitsbereiches ($n_{\min} < n < n_{\max}$), wird die zweite Stellgröße (v = Pressenvorschubgeschwindigkeit) verändert. Liegt auch diese Größe außerhalb eines definierten Bereiches ($v_{\min} < v < v_{\max}$), wird der Vortrieb gestoppt und der Schneckenförderschieber geschlossen.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Ursache-Wirkung-Beziehungen in der Abbaukammer keinen strengen bodenmechanischen Gesetzen genügen und die Erfahrung des Schildfahrers von maßgebender Bedeutung ist. Durch den Einsatz eines Regelsystems lassen sich nur elementare Handgriffe des Schildfahrers im Normalbetrieb minimieren. Auf die kontinuierliche visuelle Überwachung der wichtigsten Messinstrumente darf keinesfalls verzichtet werden.

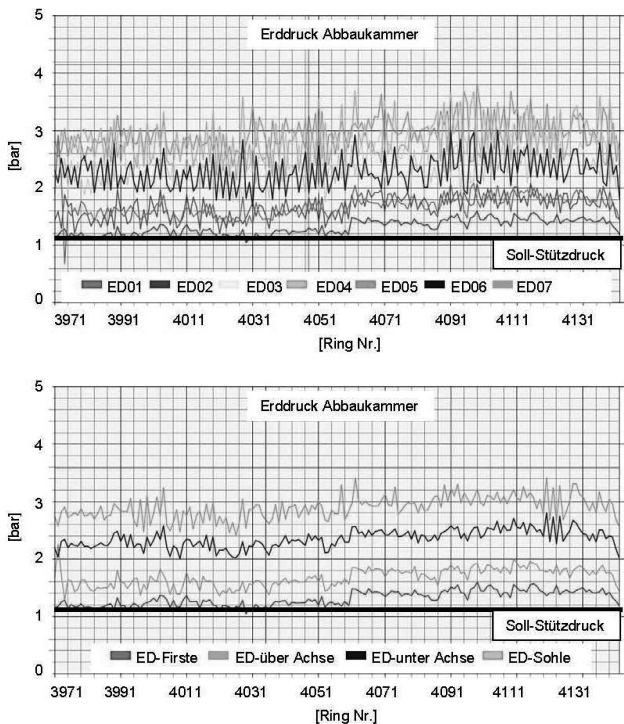


Bild 11-5 Soll-Ist-Vergleich des Stützdrucks mit der Software Maidl-PROCON

13.4.2 Durchpressungen von Großquerschnitten

Eine Weiterentwicklung des Vorpressverfahrens ist das Durchpressen ganzer Bauwerke mit Großquerschnitten. Bisher wurde dieses Verfahren vornehmlich angewandt für die Erstellung von Straßentunneln unter Eisenbahndämmen. Die Bundesbahn erhebt beim Bau derartiger Kreuzungsbauwerke immer hohe Forderungen hinsichtlich der Beeinträchtigung des Bahnbetriebes. Die Beeinflussung des Bahnbetriebes soll sich auf einen möglichst kurzen Zeitraum beschränken, und die Beeinträchtigungen sollen je nach Anforderungen an die Gleise möglichst gering sein.

Gegenüber allen anderen Bauverfahren in offener und geschlossener Bauweise bietet das Durchpressen im Vergleich zu den konventionellen Verfahren entscheidende Vorteile. Da der Vorpresstunnel neben der Eisenbahntrasse vorgefertigt werden kann, wird der Bahnbetrieb nur in der relativ kurzen Phase der Vorpressung beeinflusst. Da mit dem Vorpresstunnel ein fertiges, tragfähiges System unter der Bahntrasse eingebracht wird, wird der Bahnbetrieb auch während der Vorpressarbeiten weniger stark beeinflusst. Inzwischen wurden bei den Vorpresstunneln enorme Dimensionen erreicht. In Aachen wurde 1980 im Rahmen des Baus der „Ringstraße West“, L 260, mit diesem Bauverfahren ein über 300 m² großer Rechteckquerschnitt über eine Länge von gut 126 m unter dem Westbahnhof durchgepresst [22]. In Bochum wurde 1988 im Rahmen des Baus der Westtangente Bochum ein Bahndamm mit einer rund 30 m breiten, 7 m hohen und 50 m langen Reckeckröhre durchpresst (Bilder 13-22 und 13-23).

Für die Konstruktion des Verpresstunnels, die Ausbildung des Schneidschuhs und das gesamte Bauverfahren ergeben sich eine Reihe von besonderen Problem- und Fragestellungen, deren detaillierte Erläuterung den Rahmen dieses Buches sprengen würde. Zur weiteren Information wird auf die bereits vorhandene, umfangreiche Literatur hingewiesen [14]. Um aber einen gewissen Eindruck von diesem Bauverfahren zu vermitteln, wird nachfolgend am Beispiel der Durchpressung Westtangente Bochum eine Baustelle exemplarisch dargestellt, die nach wie vor den aktuellen Stand der technischen Entwicklung aufzeigt.

Die Bauaufgabe lautete hier: Zwei IC-Gleise, zwei S-Bahngleise und ein Puffergleis mit einer Zugfolge von ca. 350 Zügen pro Tag waren ohne besondere Beschränkung des Zugverkehrs durch die Westtangente mit je zwei Richtungsfahrbahnen zu unterfahren. Erschwerend kam zusätzlich die geringe Überlagerungshöhe mit den für eine Unterfahrgungünstigen, sehr stark unterschiedlichen Bodenformationen hinzu.

Durch den Sondervorschlag (Dyckerhoff und Widmann), die Unterfahrgung mit einer Durchpressung zu realisieren, blieb der Bundesbahnbetrieb bis zum eigentlichen Vorschub ungestört. Während der nur fünföchigen Vorschubphase wurde die Geschwindigkeit der Züge auf 80 km/h begrenzt.

Das Bauwerk wurde in einem Baufeld südlich des Bahndammes über drei unter den Achsen der Längswände liegende Vorschubbahnen hergestellt.

Großrohre mit Außendurchmessern von 2,32 bzw. 2,78 m für die Vorschubbahnen wurden von drei Schächten nördlich des Bahndammes aus vorgepresst. Aufgrund der Gesteinsfestigkeit, die in Höhe der Vorschubbahnen anstand, erfolgte der Abbau der Ortsbrust mithilfe sorgfältig dosierter Sprengungen. Die eigentlichen Vorschubbahnen bestanden aus durchlaufend verschweißten Kranbahnschienen, die in den Großrohren auf Stahlträgern ausgerichtet wurden. Anschließend wurde die untere Hälfte der Rohre bis über den Schienenfuß ausbetoniert.

Problematisch ist bei den konventionellen Systemen des Pressbohrverfahrens die Korrektur von Verrollungen, da nur eine Drehrichtung des Bohrkopf- und Förderschneckenantriebs möglich ist.

14.3 Schildvortriebsverfahren

Bei den Schildvortriebsverfahren (Bild 14-6) erfolgt der Vortrieb der Rohre bei gleichzeitigem, vollflächigem Bodenabbau an der mechanisch- und flüssigkeitsgestützten Ortsbrust durch einen Bohrkopf und kontinuierlicher, hydraulischer Bodenabföderung von einer unmittelbar hinter dem Bohrkopf angeordneten Suspensionskammer aus. Die erforderlichen Pumpaggregate sind in der Startgrube und an der Oberfläche angeordnet. An der Oberfläche wird die Stütz- und Förderflüssigkeit vom abgebauten Boden getrennt und in den Kreislauf zurückgeführt. Insbesondere bei Ton- und Lehm Böden sind Separieranlagen erforderlich. Die Maschinen der Schildvortriebsverfahren sind den aus dem Großbohrvortrieb und Tunnelbau bekannten Systemen nachgebaut und entsprechend den spezifischen Bedingungen des Mikrotunnelbaus weiterentwickelt worden [195].

Die Richtungs- und Lagekontrolle sowie die Steuerung werden prinzipiell entsprechend den Systemen der Pressbohrverfahren realisiert, d. h. durch die Kombination von Laserstrahlen mit im Vortriebskopf installierter Zieltafel und Steuerungszyklindern im Nachläufer des Schildes.

Durch die automatische Anpassung des Flüssigkeitsdruckes der Stütz- und Förderflüssigkeit (Wasser oder Bentonitsuspension) und des Anpressdruckes des Bohrkopfes, der zwischen dem aktiven und passiven Erddruck gehalten wird, können mit den Schildvortriebsverfahren Hebungen und Senkungen weitestgehend vermieden werden (Bild 14-7).

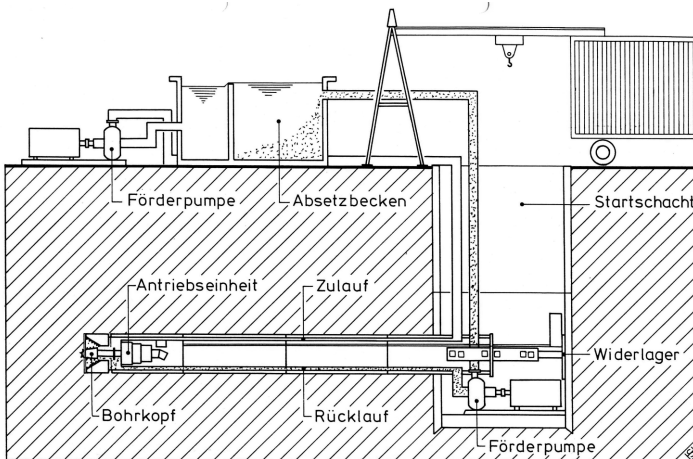


Bild 14-6 Verfahrensprinzip des Schildvortriebsverfahrens

15.1.2 Navigation mit Kreissystemen und Schlauchwasserwaage

Für Kurvenvortriebe mit engen Radien und kleinen Durchmessern sind Kreissysteme in Ergänzung mit einer Schlauchwasserwaage gut geeignet (Bild 15-3). Aber auch für gerade Vortriebe bietet diese Variante Vorteile, da die Refraktionen am Tunnelanfang keine Rolle spielen und keine speziellen freien Sichtachsen benötigt werden.

Die Höhenmessung erfolgt analog dem vorherigen Kapitel mit einer Schlauchwasserwaage und die Messung der Stationierung mit einem Wegmessrad. Mit einem Zweiachsinklinometer werden Verrollung und Längsneigung bestimmt.

Das Kreissystem misst den Winkel bezüglich der Nordrichtung. Da die Einbauposition gegenüber der Maschinenachse bekannt ist, kann somit die Richtung der Vortriebsmaschine ermittelt werden. Das Prinzip der Positionsbestimmung mit dem Kreisel beruht auf der Koppelnavigation, d. h. die Winkeländerung nach einer definierten Streckenlänge wird erfasst und hierdurch die neue Position berechnet.

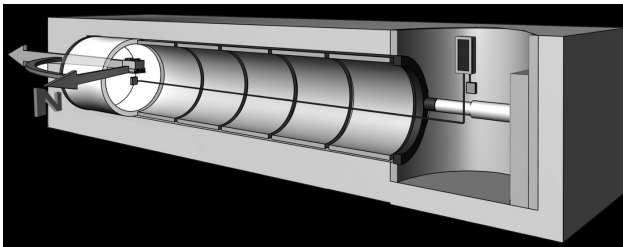


Bild 15-3 Kreissystem mit Schlauchwasserwaage im Rohrvortrieb

Eine Driftbewegung der Maschine kann durch den Kreisel nicht erfasst werden. Die Abweichung, die durch den Driftwinkel entsteht, wird daher bei zunehmender Strecke größer. Es ist deshalb in regelmäßigen Abständen notwendig, die Lage der Maschine durch eine Kontrollvermessung zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Die Kontrollvermessungen sind in Intervallen von 30 bis 40 m Vortrieb durchzuführen.

15.1.3 Navigation mit Totalstation und Zieltafel

Das am häufigsten eingesetzte Navigationsverfahren besteht aus einer Totalstation mit Aufsatzlaser an der Tunnelwand, einer Zieltafel im Schild und mindestens einem Prisma als Anschlussziel (Bild 15-4). Mittels bekannter Koordinaten wird die Totalstation orientiert und der Laser automatisch auf die Zieltafel ausgerichtet. Die Zieltafel ermittelt die Position des Auftreffpunktes auf der Zieltafel und die Einfallswinkel. Alle Werte werden an den Navigationsrechner weitergeleitet. Die Entfernung zwischen Totalstation und Zieltafel wird mit einem Prisma an der Zieltafel oder reflektorlos ermittelt. Alternativ kann die Station auch über den gemittelten Hub der Vortriebszylinder und die Addition der eingebauten Tübbingringe ermittelt werden. Damit kann die Stationierung der TBM berechnet werden. Aus dem Zusammenspiel der erfassten Daten ergibt sich durch Berechnungen die exakte Position der TBM im Raum. Je nach Maschinentyp wird die Lage der TBM mit zwei oder drei Referenzpunkten der Schildachse ermittelt und deren Abstand zur Solltrasse in Lage und Höhe sowie die horizontale und vertikale Tendenz ausgewiesen.

16 Arbeitssicherheit

Insbesondere im maschinellen Tunnelbau lassen sich die Forderungen nach ergonomisch und humanitär gestalteten Arbeitsplätzen besser verwirklichen als im konventionellen Tunnelbau. Die Verpflichtung zur Orientierung an den Wirtschaftlichkeitskriterien ist bereits seit Jahren erkannt; hinzu kommen heute die Forderungen zur Qualitätssicherung.

Für die Belange der Arbeitssicherheit mit speziellem Bezug auf den maschinellen Tunnelbau liegen zur Zeit keine allgemein gültigen nationalen Gesetze, Normen oder Richtlinien vor. Beachtung sollten aber die einschlägigen Regelwerke für den Tunnelbau finden, insbesondere die Unfallverhütungsvorschriften (UVV) und die Sicherheitsregeln der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Zu erwähnen sind hier:

- UVV „Bauarbeiten“ [27],
- UVV „Grundsätze der Prävention“ [28],
- BG-Regel „Bauarbeiten unter Tage“ [24],
- Druckluftverordnung [25],
- DIN EN 12 336 „Tunnelbaumaschinen, Schildmaschinen etc.“ [73],
- DIN EN 12 110 „Druckluftschleusen“ [72],
- Gefährdungsbeurteilung Maschineller Tunnelvortrieb BG BAU [26].

Weiterhin ist die Broschüre der früheren Tiefbauberufsgenossenschaft (TBG), heute BG BAU, „Handlungsanleitung für sicheres Arbeiten im Tunnelbau“ zu nennen [23].

Vorbildlich für den maschinellen Tunnelbau ist im Zusammenhang mit der Arbeitssicherheit die DIN EN 12 336 [73] des Europäischen Komitees für Normung. Diese dient als Vorlage für dieses Kapitel und wird in den wichtigen Punkten, gegebenenfalls unter leichter formaler Modifikation, zitiert. Auf diese Weise soll der hohe Standard der Anforderungen an die Arbeitssicherheit beim maschinellen Tunnelbau dargelegt werden. Zur Studie allgemeingültiger Passagen oder zur Klärung spezieller Detailfragen sollte der interessierte Leser die Originalfassung gegebenenfalls selbst zur Hand nehmen.

Die Norm ist von der Working Group 4 „Verrohrungs- und Tunnelbaumaschinen“ des Technischen Komitees CEN TC 151, das für die Normen für Bau- und Baustoffmaschinen zuständig ist, vorbereitet worden. Delegationen aller EU-Mitgliedsländer und der Schweiz (Stand 2005) waren mit ihrer Vorbereitung beschäftigt. Das Sekretariat des technischen Komitees hatte Deutschland inne, ebenso wie das Sekretariat der direkt verantwortlichen Working Group. Es bestehen drei offizielle Fassungen in Deutsch, Englisch und Französisch.

Die Norm gilt für alle Schildtypen und dazugehörige Hilfsausrüstung, Horizontal-Pressbohrmaschinen und Schneckenbohrmaschinen oder Teile davon. Sie beschreibt die wesentlichen Sicherheitsanforderungen für den Entwurf, Bau und Betrieb von solchen Maschinen zusammen mit den Methoden der Verifizierung. Zu den Schilden gehören Schilde sowohl für manuellen als auch für mechanischen Abbau, Tunnelbohrmaschinen und Mi-

17.6 Chancen und Risiken durch Partnering

Allianzverträge und Partnering-Modelle haben sich auf dem angloamerikanischen Markt besonders bei PPP-/BOT-/BOOT-Projekten bewährt. Zur Vertragsdurchführung bilden beim Allianzvertrag Auftraggeber und Auftragnehmer eine fiktive Projektgesellschaft mit einem innovativen Risikoverteilungs- und Vergütungsmodell [105]. Kennzeichen des Allianzvertrages sind die Vertretung der fiktiven Projektgesellschaft durch einen Board-, Streit- und Rechtsmittelverzicht, das Einstimmigkeitsgebot sowie die Festsetzung von Indikatoren, anhand derer die Verteilung von Gewinn und Verlust unter den Mitgliedern kalkuliert wird. Das Partnering-Modell setzt die feste Bindung in einer Projektgesellschaft nicht voraus. Das übliche Werkvertragsverhältnis wird zu einem Partnerschaftsverhältnis ausgebaut. Grundlage bilden die gemeinschaftliche Festlegung der Ausführungsplanung und Leistungsbeschreibung, der Open-Books-Ansatz bei der Abrechnung und ein Bonus-Malus-Vergütungssystem. Eine Weiterentwicklung basiert auf dem GMP-Ansatz (garantierter Maximalpreis). Der AN garantiert auf Basis der Entwurfsplanung einen Maximalpreis. Die Abwicklung erfolgt ebenfalls im Open-Books-Verfahren, und der AG hat Einblick in alle Projektvorgänge [279]. Für die unterschiedlichen Vertragsformen gibt es keine Musterverträge, aber einen ähnlichen Ansatz. Durch frühzeitige Einbindung des Auftragnehmers in die Planung und Kostenermittlung sollen dessen Erfahrung genutzt und Material- und Personalkosten gesenkt werden.

Ein möglicher Ansatz zur frühzeitigen Einbindung des AN wäre, bereits in Leistungsphase 3 (Entwurfsplanung) über den „wettbewerblichen Dialog“ gemäß § 3a Ziffer 4 VOB/A [300] eine Partnerschaft einzugehen. Dies ist allerdings bei öffentlichen Tunnelbauprojekten weitaus schwieriger, teurer, zeitaufwendiger und unter Umständen für den AG riskanter als beispielsweise im privaten schlüsselfertigen Hochbau. Folgende Gründe sind zu nennen:

- hohe Planungstiefe bereits bei der Planfeststellung,
- Anliegen von Behörden und Dritten,
- komplizierte und langwierige Genehmigungsverfahren,
- komplizierte Ausschreibungs- und Vergaberichtlinien.

Eine grundlegende Novellierung der Planfeststellungsverfahren, aber auch der Vertrags- und Ausschreibungsmodelle müsste zudem auf EU-Ebene geführt werden und ist kurz- und mittelfristig nicht realisierbar. Hierzu besteht auch keine zwingende Veranlassung. Die bestehenden Vertragsmodelle beinhalten durchaus auch bewährte Komponenten.

Die weiteren Ausführungen befassen sich mit der Integrationsmöglichkeit der Partnering-Philosophie in die existierenden Vertragsgerüste gemäß § 9 Nr. 11 VOB/A, können aber auf den wettbewerblichen Dialog nach abgeschlossener Genehmigungsplanung (Leistungsphase 4) übertragen werden.

Die Ziele, Prämissen und Ansätze der Partnering-Modelle und Allianzverträge wurden in [32], [47], [232] detailliert beschrieben. Für den Tunnelbau werden folgende Aspekte als wesentlich betrachtet:

Nutzen und Mehrwert:

- kürzere Entscheidungsprozesse,
- Optimierung von Kosten, Zeit und Qualität,
- niedrigere Verwaltungskosten,

18 Prozess-Controlling und Datenmanagement

18.1 Einleitung

Tunnel, die im Schildvortrieb aufgeföhren werden, zählen zu den Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad und ausgeprägten Bauwerk-Baustoff-Umgebungs-Wechselwirkungen. Sie sind in besonderem Maße risikobehaftet, weil der wesentliche Baustoff – der Baugrund – schwer zu erkennen und zu beschreiben ist. Die Sicherheit, aber auch die Effektivität des Ressourceneinsatzes kann beim hoch technisierten Schildvortrieb durch die konsequente Analyse der Prozessdaten erheblich gesteigert werden. Ziel des Prozess-Controllings ist es, das Systemverhalten – in situ und möglichst in Echtzeit – unter Berücksichtigung sämtlicher Interaktionen zwischen Baugrund und Bauverfahren zu analysieren.

Die Bauwerk-Baustoff-Umgebungs-Wechselwirkungen werden in DIN 1054 in Anlehnung an die ÖNORM B 2203-2 „Untertagebauarbeiten – Kontinuierlicher Vortrieb“ [228] auch als Systemverhalten umschrieben. Der Begriff umfasst das Verhalten des Gesamtsystems, resultierend aus Gebirge und Vortriebsverfahren. Die Neufassungen der ÖNORM EN 1997-1 (Eurocode 7) [226] und DIN 1054 [74] schreiben für komplexe geotechnische Bauwerke die Beobachtungsmethode vor. Ziel ist es, Maßnahmen, die vor Beginn der Bauausführung festgelegt wurden, während der Bauausführung über Messsysteme zu verifizieren. Prognosen sind zu überprüfen, bzw. die Berechnungsmethode ist anzupassen, wenn sich das Verhalten von Baugrund und Bauwerk nicht wie erwartet einstellt. Sind die Gebrauchstauglichkeit oder sogar die Standsicherheit gefährdet, sind Gegenmaßnahmen einzuleiten.

18.2 Vorgehensweise

Der nachfolgend vorgestellte Ansatz des Prozess-Controllings [209] basiert auf den erfolgreichen Methoden zur Optimierung von Produktionsprozessen im Maschinenbau und hat seinen Ursprung im System-Engineering. Der Produktionsprozess der Schildvortriebsmaschine wird hierzu in die einzelnen Teilprozesse aufgegliedert. Bild 18-1 zeigt für einen Erddruckschild exemplarisch die Teilprozesse und deren Wechselwirkungen.

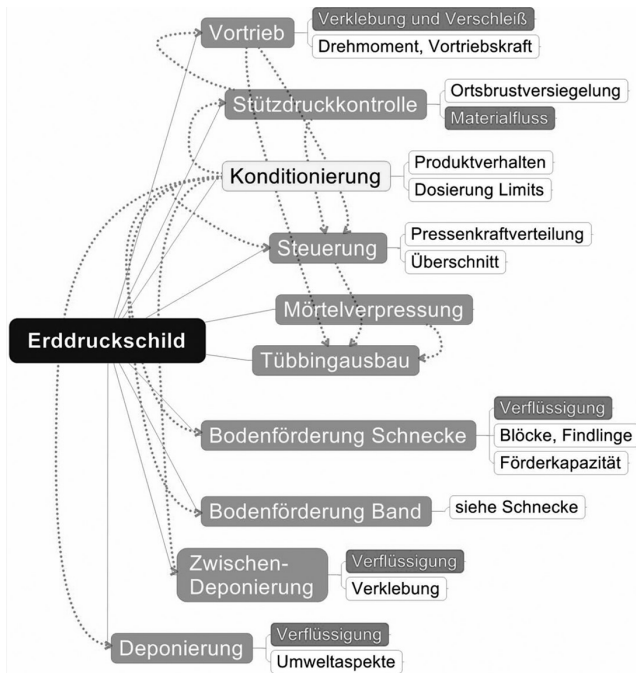


Bild 18-1 Prozessablaufschaema beim Erddruckschild

Als Controlling bezeichnet man zusammenfassend den Soll-Ist-Vergleich der maßgebenden Prozessparameter und Qualitätskriterien. Nur wenn klar ist, welche Qualitätskriterien ein Prozess erfüllen muss, kann der Prozessablauf sinnvoll ausgestaltet und überwacht werden. Für das Prozess-Controlling müssen folglich geeignete Methoden festgelegt werden, mit denen sichergestellt wird, dass die Prozesse die an sie gerichteten Erwartungen erfüllen. Ein gut durchdachtes Konzept zum Prozess-Controlling dient nicht nur als Instrument zur Bewertung, ob die angestrebten Ziele erreicht wurden, es bietet längerfristig auch den Vorteil, dass es die für die kontinuierliche Prozessverbesserung notwendigen Kennzahlen liefert. Dazu müssen objektive Qualitätskriterien (Qualitätskennzahlen, auch Key Performance Indicators oder KPIs genannt) festgelegt werden. Mithilfe objektiver Qualitätskriterien ist zu prüfen, ob Prozesse laufen und ob Verbesserungsbedarf besteht. Deshalb müssen vor der Festlegung geeigneter KPIs die übergreifenden Ziele feststehen. Mit diesen Zielen vor Augen können die für die Beurteilung einer erfolgreichen Prozessdurchführung geeigneten Kennzahlen bestimmt werden. Welche KPIs letztendlich gewählt werden, hängt unter anderem vom Vortriebsverfahren, den individuellen Erfahrungen sowie von den verfügbaren Möglichkeiten zur Ermittlung der Werte ab. Im Idealfall können die Kennzahlen automatisch errechnet werden, zum Beispiel über eine numerische Simulation (Stützdruckvorgaben) oder mathematische Algorithmen (Werkzeugverschleiß). Die hier definierten Messverfahren stellen deshalb gleichzeitig auch Anforderungen an die zu implementierenden Systeme dar [303].

Beim Prozess-Controlling sollte es nicht darum gehen, möglichst viele KPIs festzulegen. In der Praxis hat sich oft gezeigt, dass eine zu komplexe Kennzahlenstruktur einen unverhältnismäßig großen Aufwand nach sich zieht, wenig Akzeptanz findet und daher schon nach kurzer Zeit nicht mehr angewandt wird. Es ist ratsam, stattdessen lieber einige weni-

Maidl, Bernard / Herrenknecht, Martin / Maidl, Ulrich / Wehrmeyer, Gerhard

Maschineller Tunnelbau im Schildvortrieb

2., vollst. überarb. u. erw. Auflage

Januar 2011. 492 Seiten, 468 Abbildungen, 44 Tabellen. Hardcover.



- Neue Auflage, komplett überarbeitet und aktualisiert.
- Übersicht zu Einsatzgebieten und Anwendungsgrenzen moderner Tunnelvortriebsmaschinen.
- Autoren garantieren Praxisnähe und Informationen aus erster Hand.

Das Buch stellt die Grundsätze des maschinellen Schildvortriebes und die unterschiedlichen Maschinenarten vor und gibt Berechnungsansätze und Konstruktionshinweise. Weitere Kapitel befassen sich mit den Abbauwerkzeugen, den Fördereinrichtungen, der Tunnelsicherung, der Vermessung und Steuerung sowie der Arbeitssicherheit. Ferner wird ausführlich auf die vertraglichen Aspekte und das Prozess-Controlling eingegangen.

Prof. Bernhard Maidl leitete den Lehrstuhl für Bauverfahrenstechnik, Tunnelbau und Baubetrieb an der Ruhr-Universität Bochum und ist Mitinhaber des Ingenieurbüros IMM, Bochum.

Dr. Martin Herrenknecht ist Vorstandsvorsitzender der Herrenknecht AG, Schwanau. Das Unternehmen baut Maschinen für den maschinellen Tunnelbau in allen Durchmesserbereichen und für alle Baugründe. Dr. Herrenknecht gründete das Unternehmen und baute es zum Marktführer auf dem Gebiet des maschinellen Tunnelbaus auf.

Dr. Ulrich Maidl ist Geschäftsführer der mtc Maidl Tunnelconsultants GmbH & Co. KG, Duisburg.

Dr. Gerhard Wehrmeyer ist Bereichsleiter Traffic Tunnelling bei der Herrenknecht AG.

Bestellfax: +49 (0)30 47031 240- Ernst & Sohn, Berlin

Anzahl	Bestell-Nr.	Titel	Einzelpreis*
	978-3-433-02948-2	Maschineller Tunnelbau im Schildvortrieb	119,- €
		monatlicher Ernst & Sohn E-Mail Newsletter	kostenlos
	2478	Probeheft der Zeitschrift Geomechanics and Tunnelling	kostenlos
	2534	Probeheft der Zeitschrift Geotechnik	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift: ☐ privat ☐ geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner		Telefon	
UST-ID Nr./VAT-ID No.		Fax	
Straße//Nr.		E-Mail	
Land	-	PLZ	Ort

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21
10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de



Datum / Unterschrift

*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten.
Stand: März 2011 (homepage_Leseprobe)

Auch auf Twitter und Facebook



Besuchen Sie unsere Website
www.ernst-und-sohn.de