

BetonKalender 2025

Inhaltsverzeichnis

Maschinelles Tunnelvortrieb – Verfahrenstechniken, Planungsgrundlagen und Herausforderungen

Matthias Flora und Markus Thewes

1 Einleitung

Durch die industrielle Revolution in Europa zu Beginn des 19. Jahrhunderts entstand der Bedarf nach Verbindungen zwischen den wirtschaftlichen Zentren der damaligen Zeit. Das dominierende Transportmittel auf diesen Strecken war die Eisenbahn, welche aufgrund der geringen Gradienten, die sie befahren konnte, eine Reihe von Tunnelbauwerken benötigte. Der Sprengvortrieb war die damals vorherrschende Methode einen Tunnel aufzufahren. Die Industrialisierung forderte auch im Tunnelbau innovative Lösungen und so wurden bereits 1852 von Sommeiller (Mont-Cenis-Tunnel) und Burleigh (Hoosac-Tunnel) beinahe zeitgleich die ersten Bohrwägen entwickelt. Die erste Maschine, die Merkmale einer modernen TBM aufweist und nach dem Bohrprinzip arbeitete, wurde 1851 von Wilson für den Hoosac-Tunnel (USA) entwickelt. Als Abbaugeräte wurden Diskenrollenmeißel eingesetzt. Die erste Schildkonstruktion geht auf den Engländer Sir Marc Isambard Brunel im Jahre 1806 zurück. Trotz dieser Entwicklungen konnte der Durchbruch sowohl bei den Vortrieben im Fest- als auch im Lockergestein allerdings erst Mitte der fünfziger Jahre des 20. Jahrhunderts erreicht werden. Seitdem hat sich eine enorme Entwicklung vollzogen. Diese Entwicklung hat sich in den Jahren 1990 bis 2015 nochmals stark beschleunigt und einerseits zu einem hohen Spezialisierungsgrad hinsichtlich der Maschinentypen und ihrer Einsatzbereiche geführt, mit dem heute große Tunnelbauwerke schnell und effizient unter schwierigsten Umgebungsbedingungen hergestellt werden können, die noch vor 30 Jahren keine Herstellung von Tunnelbauwerken zuließen. Andererseits wurden manche Maschinentypen zu einer außergewöhnlich großen Vielseitigkeit hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit unter stark wechselnden Baugrundbedingungen weiterentwickelt. Die letzten 10 Jahre bei den TBM-Entwicklungen waren geprägt von der Erhöhung der Zuverlässigkeit im Betrieb, Minimierung von Risiken und Erhöhung der Arbeitssicherheit sowie ersten Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung und Automatisierung. Die Abgrenzung dieses Beitrags liegt in einer Übersicht der Verfahrenstechniken, Planungsgrundlagen und Herausforderungen im maschinellen Tunnelvortrieb. Hinsichtlich der Auswahl einer geeigneten Tunnelbohrmaschine wird auf die aktuelle DAUB-Richtlinie und Stand der Technik [3][4] verwiesen, wo die entsprechenden verfahrenstechnischen und geotechnischen Kriterien dargelegt sind. Die Empfehlung ist als zusätzliches Hilfsmittel für den Ingenieur zur Entscheidungsfindung zu verstehen. Sie ersetzt nicht die projektbezogene Analyse, welche nach wie vor die Hauptgrundlage zur Auswahl der Tunnelbohrmaschine darstellt. Im Rahmen dieses Beitrags wird erstmals plädiert, bei der Auswahl von Vortriebsmethoden nicht allein das Schlüsselgerät des Vortriebs, im Falle des maschinellen Vortriebs die Tunnelbohrmaschine zu betrachten, sondern ein System bestehend aus Tunnelbohrmaschine, Stützmittel und Ausbau sowie die Ringspalthinterfüllung holistisch zu analysieren und zu definieren. Dieser Beitrag soll dem Fachpublikum einen Überblick verschaffen und Empfehlungen für weiterführende Literatur oder Richtlinien geben. Auf einzelne Themen dieser Systembetrachtung wird bereits in diesem Beitrag eingegangen. Das Thema Tübbing ist nicht Teil dieses Beitrags, hier wird auf die aktuellen Richtlinien im DACH-Raum verwiesen. Eine detaillierte, holistische Untersuchung der Systembetrachtung ist Gegenstand zukünftiger Forschung.

2 Verfahrenstechniken im maschinellen Tunnelvortrieb

- 2.1 Einteilung der Tunnelbohrmaschinen
- 2.2 Festgesteins-Tunnelbohrmaschinen
 - 2.2.1 Tunnelbohrmaschinen ohne Schild (Gripper-TBM)
 - 2.2.2 Einfachschildmaschinen (OPS)
 - 2.2.3 Doppelschildmaschinen (DOS)
 - 2.2.4 Systemwahl: Gripper-TBM vs. Einfachschildmaschine vs. Doppelschildmaschine
- 2.3 Schildmaschinen für Lockergestein
 - 2.3.1 Flüssigkeitsschild

Fortsetzung siehe Seite 2

BetonKalender 2025

Inhaltsverzeichnis

Maschinelles Tunnelvortrieb – Verfahrenstechniken, Planungsgrundlagen und Herausforderungen

Matthias Flora und Markus Thewes

- 2.3.1.2 Herstellung und Überwachung der Suspension
- 2.3.2 Erddruckschilde (EPB)
- 2.3.2.2 Einsatzbereiche und Bodenconditionierung
- 2.3.3 Variable Density Schild (VDS)
- 2.3.4 Hybride Schilde für unterschiedlichen Modus
- 2.3.5 Systemwahl Flüssigkeitsschild (Hydro) – Erddruckschild (EPB) – Variable Density

3 Ringspalthinterfüllung

- 3.1 Mörtel
- 3.2 Perlkies
- 3.3 Zwei-Komponenten (2-K-) Ringspaltverfüllung
- 3.4 Verfahrenstechnik zur Verfüllung des Ringspalt

4 Herausforderungen und Erschwernisse

- 4.1 Herausforderungen aufgrund geologischer und geotechnischer Gegebenheiten
 - 4.1.1 Verklebungen
 - 4.1.2 Verschleiß
 - 4.1.3 Mixed-face
 - 4.1.4 Blockige Ortsbrust
 - 4.1.5 Drückendes Gebirge
- 4.2 Maschinentechnische Herausforderungen
 - 4.2.1 Mechatronik
 - 4.2.2 Ringbau und Ringspaltverfüllung
 - 4.2.3 Inspektion und Werkzeugwechse
 - 4.2.4 Verlängerung Versorgungsleitungen
- 4.3 Umwelt
 - 4.3.1 Separierung

5 Bedarf an künftigen Entwicklungen

- 5.1 Digitalisierung
- 5.2 Automatisierung
- 5.3 Versorgung, Logistik und geplante Produktion

- 5.4 Nachhaltigkeit und CO₂-Bilanzierung

Im Bereich des Tunnelbaus steht die Nachhaltigkeit zunehmend im Fokus, vor allem aufgrund des wachsenden globalen Bewusstseins für Umweltbelange. Der Einsatz von TBMs und die Notwendigkeit chemischer Produkte, wie zum Beispiel für die Bodenconditionierung und das Rückverfüllen des Ringspalt, führen zu erheblichen Umweltauswirkungen, insbesondere in Bezug auf das Grundwasser und den ausgehobenen Boden. Umweltbewusstsein und technische Innovationen sind daher entscheidend für die Entwicklung von Produkten und Technologien, die diese Auswirkungen minimieren oder eliminieren, beispielsweise durch schnellere Biodegradierbarkeit und geringere CO₂-Emissionen.

Fortsetzung siehe nächste Seite

BetonKalender 2025

Inhaltsverzeichnis

Maschinelles Tunnelvortrieb – Verfahrenstechniken, Planungsgrundlagen und Herausforderungen

Matthias Flora und Markus Thewes

Fortsetzung

5.4 Nachhaltigkeit und CO₂-Bilanzierung

Im Bereich der Fest- und Hartgesteinvortriebe liegen u.a. durch die Vermeidung von Sprengstoff enorme Potentiale bei den maschinellen Vortriebsverfahren. Angesichts des Pariser Abkommens und der jüngsten IPCC-Berichte zu den Auswirkungen des Klimawandels müssen bei der Planung und Ausführung von Tunnelprojekten zunehmend Maßnahmen zur Verringerung der CO₂-Emissionen berücksichtigt werden. Die Notwendigkeit der Entwicklung nachhaltiger Praktiken im Tunnelbau wird durch das zunehmende Umweltbewusstsein und die globalen Klimaziele immer deutlicher. Innovative Ansätze sind erforderlich, um den Wasserverbrauch zu reduzieren, die Wiederverwendung von Aushubmaterial zu verbessern und die CO₂-Emissionen zu minimieren. Dies umfasst die Entwicklung von chemischen Produkten für den Tunnelbau, die umweltfreundlicher sind und gleichzeitig die technische Leistung nicht beeinträchtigen.

Gleichzeitig erfordert der steigende Druck, die CO₂-Bilanz im Bauwesen zu verbessern, einen Paradigmenwechsel in der Art und Weise, wie Projekte geplant und durchgeführt werden. Dies betrifft nicht nur den Tunnelbau, sondern auch den weiteren öffentlichen Verkehrsbau, der trotz der hohen CO₂-Kosten während der Bauphase langfristig zu einer deutlichen Reduzierung der CO₂-Emissionen beitragen kann. Zukünftige Entwicklungen müssen sich daher auf die Reduzierung der Umweltauswirkungen konzentrieren und gleichzeitig die technologischen und wirtschaftlichen Anforderungen erfüllen, um eine nachhaltige Entwicklung im Tunnelbau und darüber hinaus zu gewährleisten.

Lima et al. betonen die Dringlichkeit nachhaltiger Praktiken im Baugewerbe und die Rolle der Integration von Building Information Modeling (BIM) und Life-Cycle Assessment (LCA) als vielversprechende Lösung für eine präzise und schnelle Bewertung der Umweltauswirkungen von Bauvorhaben. Diese Integration kann zu informierten Entscheidungen führen und den Weg zu einer umweltbewussteren Zukunft im Baugewerbe ebnen. In diesem Zusammenhang unterstreicht die Arbeit von Lima et al. die Notwendigkeit, eine harmonisierte Methodik zu entwickeln, die sowohl standardisierte Praktiken als auch effektive Kommunikation und technologische Verbesserungen integriert, um eine genauere und effizientere Bewertung der Umweltauswirkungen zu erreichen und nachhaltige Entscheidungen in Bauprojekten zu fördern.

6 Literatur

(Änderungen vorbehalten)