

Bernhard Maidl

Tunnelbau im Sprengvortrieb

Autoren:

o. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. B. Maidl

o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. H. G. Jodl

Dipl.-Ing. L. R. Schmid

Dipl.-Ing. Dr. techn. P. Petri

Gesamtkoordination:

Dipl.-Ing. F. Heimbecher



Springer

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Geschichte | 1 |
| 2 | Bauverfahren für den Sprengvortrieb | 9 |
| 2.1 | Allgemeines | 9 |
| 2.2 | Der Vollausbruch | 11 |
| 2.3 | Der Ausbruch in Teilen | 12 |
| 2.3.1 | Die Aufbruchbauweise oder Österreichische Tunnelbauweise | 13 |
| 2.3.2 | Die Unterfangungsbauweise oder Belgische Bauweise | 14 |
| 2.3.3 | Die Kernbauweise oder Deutsche Bauweise | 17 |
| 2.3.4 | Firstbalkenverfahren | 20 |
| 2.4 | Kombination des Sprengvortriebes mit maschinellen Tunnel- bauverfahren | 22 |
| 2.4.1 | Kombinationen mit Teilschnittmaschinen | 22 |
| 2.4.2 | Kombination mit Vollschnittmaschinen | 25 |
| 3 | Bohrbetrieb | 27 |
| 3.1 | Allgemeines | 27 |
| 3.2 | Bohrgeräte zum Sprenglochbohren | 28 |
| 3.2.1 | Bohrtechnik und Bohrverfahren | 28 |
| 3.2.2 | Pneumatische Bohrhämmer | 30 |
| 3.2.3 | Hydraulische Bohrhämmer | 31 |
| 3.2.4 | Zusatzkomponenten | 32 |
| 3.2.5 | Bohrwagen | 37 |
| 3.3 | Bohrwerkzeuge und Zusatzgeräte | 40 |
| 3.3.1 | Bohrstahl | 41 |
| 3.3.2 | Einsteckenden | 42 |
| 3.3.3 | Verbindungs-muffen | 42 |
| 3.3.4 | Vortriebsstangen | 43 |
| 3.3.5 | Monobloc-Bohrer | 45 |
| 3.3.6 | Bohrkrone | 45 |
| 3.3.7 | Erweiterungsbohrungen | 47 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.3.8 | Spülung | 48 |
| 3.4 | Verschleiß | 49 |
| 3.5 | Leistung | 50 |
| 3.5.1 | Bohrbarkeit | 51 |
| 3.5.2 | Einflußfaktoren auf die Bohrgeschwindigkeit | 52 |
| 3.6 | Kosten | 54 |
| | | |
| 4 | Sprengbetrieb | 56 |
| 4.1 | Allgemeines | 56 |
| 4.2 | Die Sprengstoffe im Tunnelbau | 58 |
| 4.2.1 | Gelatinöse Ammonsalpetersprengstoffe | 58 |
| 4.2.2 | Pulverförmige Ammonsalpetersprengstoffe | 59 |
| 4.2.3 | Emulsionssprengstoffe | 59 |
| 4.2.4 | Wettersprengstoffe | 60 |
| 4.3 | Die Zündmittel und -systeme im Tunnelbau | 60 |
| 4.3.1 | Elektrische Zündung | 61 |
| 4.3.2 | Elektronische Zündung | 64 |
| 4.3.3 | Nichtelektrische Zündung | 65 |
| 4.3.4 | Die Sprengschnur (Knallzünder, detonierende Zündschnur) | 67 |
| 4.4 | Transport und Lagerung | 68 |
| 4.5 | Lademengenermittlung | 68 |
| 4.5.1 | Sprengtechnische Begriffe | 68 |
| 4.5.2 | Grundsätze zur Lademengenberechnung | 70 |
| 4.5.3 | Ladungsbemessung im Tunnelbau | 71 |
| 4.6 | Das Bohr- und Zündschema | 72 |
| 4.6.1 | Einbruchschüsse | 72 |
| 4.6.2 | Helferschüsse | 75 |
| 4.6.3 | Kranzschüsse | 76 |
| 4.6.4 | Die Zündfolge | 77 |
| 4.7 | Der Ladevorgang | 78 |
| 4.7.1 | Ladegeräte und Hilfsmittel | 78 |
| 4.7.2 | Die Schlag- oder Zündpatrone | 79 |
| 4.7.3 | Das Laden | 80 |
| 4.7.4 | Das Besetzen | 81 |
| 4.7.5 | Die Zündung | 81 |
| 4.8 | Zeitermittlung | 82 |
| 4.8.1 | Laden | 83 |
| 4.8.2 | Besetzen | 83 |
| 4.8.3 | Verbinden der Zünderdrähte | 84 |
| 4.8.4 | Herstellen und Prüfen des Zündkreises, Zünden | 84 |
| 4.8.5 | Gesamtzeit für eine Sprengung | 84 |
| 4.9 | Sprengtechnische Aspekte | 85 |
| 4.9.1 | Wahl des Sprengstoffs | 85 |
| 4.9.2 | Wahl des Zündmittels | 86 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.9.3 | Der Besatz | 87 |
| 4.9.4 | Laden vor Ende der Bohrarbeiten | 87 |
| 5 | Schutterbetrieb | 89 |
| 5.1 | Allgemeines | 89 |
| 5.2 | Ladegeräte | 90 |
| 5.2.1 | Anforderungen und Einteilung | 90 |
| 5.2.2 | Bagger | 90 |
| 5.2.3 | Lader | 95 |
| 5.2.4 | Speziellladegeräte | 98 |
| 5.3 | Fördern des Materials | 100 |
| 5.3.1 | Überblick über die Transportgeräte | 100 |
| 5.3.2 | Gleisloser Betrieb | 101 |
| 5.3.3 | Gleisbetrieb | 103 |
| 5.3.4 | Bandförderung | 108 |
| 5.4 | Leistungsermittlung | 109 |
| 5.4.1 | Leistungen der Ladegeräte | 109 |
| 5.4.2 | Leistungen der Fördergeräte | 110 |
| 5.5 | Beispielhafte Darstellung von Transportketten | 111 |
| 5.5.1 | Schutterung in einem Verkehrstunnel | 112 |
| 5.5.2 | Schutterung in einem Erkundungstollen | 115 |
| 5.6 | Zusammenfassung und Ausblick | 116 |
| 6 | Sicherung | 117 |
| 6.1 | Allgemeines | 117 |
| 6.2 | Sicherungsarten | 117 |
| 6.2.1 | Vorübergehende Sicherung | 117 |
| 6.2.2 | Endgültige Sicherung | 123 |
| 6.3 | Konstruktionsvarianten für den Schalenaufbau | 124 |
| 6.3.1 | Zweischalige Konstruktionen | 124 |
| 6.3.2 | Einschalige Konstruktionen | 125 |
| 6.4 | Baustoffe | 127 |
| 6.4.1 | Beton und Stahlbeton als Schalbeton | 127 |
| 6.4.2 | Beton und Stahlbeton als Spritzbeton | 127 |
| 6.4.3 | Stahlfaserbeton als Spritz- oder Schalbeton | 129 |
| 6.5 | Schalungen und Geräte | 132 |
| 6.5.1 | Schalungen | 132 |
| 6.5.2 | Geräte zur Verarbeitung von Spritzbeton | 133 |
| 6.5.3 | Besonderheiten bei der Verarbeitung von Stahlfaser- spritzbeton | 138 |
| 6.6 | Zeitermittlung | 139 |
| 6.7 | Kosten | 141 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | Wasserhaltung während der Bauzeit | 143 |
| 7.1 | Allgemeines | 143 |
| 7.2 | Wasseranfall und Erschwernisse | 143 |
| 7.2.1 | Wasserführung des Gebirges | 144 |
| 7.2.2 | Erscheinungsformen des unterirdischen Wassers | 147 |
| 7.2.3 | Abrechnung und Quantitätsmessung | 149 |
| 7.3 | Verfahren zur Fassung und Ableitung des Bergwassers | 153 |
| 7.3.1 | Maßnahmen zur Wasserfassung | 153 |
| 7.3.2 | Maßnahmen zur Wasserableitung, offene Wasserhaltung | 155 |
| 7.3.3 | Bohrlochdrainagen und Drainagestollen | 156 |
| 7.4 | Behinderungen und Leistungsminderung | 159 |
| 7.4.1 | Allgemeine Darstellung | 159 |
| 7.4.2 | Einfluß des Bergwassers auf die Vortriebsleistung | 160 |
| 7.4.3 | Einfluß des Bergwassers auf die Vortriebskosten | 161 |
| 7.5 | Umwelteinflüsse und Reinigung | 164 |
| 7.5.1 | Einflüsse auf den Grundwasserhaushalt | 164 |
| 7.5.2 | Einflüsse auf die Grundwasserqualität | 165 |
| 7.6 | Bergwassersperrung | 168 |
| 7.6.1 | Injektionsverfahren | 169 |
| 7.6.2 | Gefrierverfahren | 171 |
| 8 | Bauhilfsmaßnahmen | 172 |
| 8.1 | Allgemeines | 172 |
| 8.2 | Bewetterung | 172 |
| 8.2.1 | Die Tunnelluft belastende Stoffe | 175 |
| 8.2.2 | Lüftungskonzepte, Lüftungssysteme | 181 |
| 8.2.3 | Auslegung der Lüftungssysteme | 183 |
| 8.2.4 | Betriebskosten von Lüftungssystemen | 187 |
| 8.3 | Zusätzliche Bauhilfsmaßnahmen | 190 |
| 8.3.1 | Beleuchtung und Baustrom | 190 |
| 8.3.2 | Transportsysteme | 190 |
| 8.3.3 | Nischen und Querschläge | 190 |
| 9 | Sicherheit und Sicherheitsplanung im Sprengvortrieb | 191 |
| 9.1 | Allgemeines | 191 |
| 9.2 | Internationale Richtlinien und nationale Vorschriften | 192 |
| 9.2.1 | Richtlinie 93/15/EWG | 193 |
| 9.2.2 | Richtlinie 89/391/EWG | 193 |
| 9.2.3 | Richtlinie 92/57/EWG | 194 |
| 9.2.4 | Nationale Vorschriften | 196 |
| 9.3 | Integraler Sicherheitsplan | 197 |

| | | |
|--------|--|------------|
| 9.3.1 | Der Sicherheitsplan im Umfeld der Managementpläne | 197 |
| 9.3.2 | Sicherheitsziele | 197 |
| 9.3.3 | Gefährdungsbilder und Risikoanalysen | 197 |
| 9.3.4 | Maßnahmenplan | 199 |
| 9.4 | Transport, Lagerung und Handhabung von Explosivstoffen | 200 |
| 9.4.1 | Der Transport zur Baustelle | 200 |
| 9.4.2 | Die Lagerung auf der Baustelle | 202 |
| 9.4.3 | Der Transport auf der Baustelle | 205 |
| 9.4.4 | Handhabung | 206 |
| 9.5 | Auswirkungen der Sprengung auf die Umgebung | 209 |
| 9.5.1 | Erschütterungen | 209 |
| 9.5.2 | Zusammensetzung und Auswirkung der Sprenggasemission | 218 |
| 9.6 | Ausbildung des Fachpersonals | 221 |
| | | |
| 10 | Mechanisierung und Automatisierung | 223 |
| 10.1 | Allgemeines | 223 |
| 10.2 | Mechanisierungsschwerpunkte | 224 |
| 10.2.1 | Bohren und Sprengen | 224 |
| 10.2.2 | Sichern | 225 |
| 10.2.3 | Logistik | 225 |
| 10.3 | Bohren | 225 |
| 10.3.1 | Elektronische Steuerung | 225 |
| 10.3.2 | Rechnergestützte Bohrwagen | 226 |
| 10.4 | Schüttern und Vortriebslogistik | 229 |
| 10.5 | Spritzbetontechnik | 232 |
| 10.5.1 | Manipulatoren | 232 |
| 10.5.2 | Roboter | 234 |
| | | |
| 11 | Grundzüge der statischen Nachweise und der geotechnischen Messungen | 242 |
| 11.1 | Allgemeines zur statischen Berechnung | 242 |
| 11.1.1 | Gebirgsdruckarten | 243 |
| 11.1.2 | Analytische Verfahren und ihre Modellbildung | 244 |
| 11.1.3 | Numerische Methoden | 247 |
| 11.1.4 | Die Anwendung der Finite-Element-Methode im Tunnelbau | 251 |
| 11.1.5 | Spezielle Anwendungen der FEM im Tunnelbau | 256 |
| 11.2 | Allgemeines zu geotechnischen Messungen | 260 |
| 11.2.1 | Meßquerschnitte für den Bauzustand | 261 |
| 11.2.2 | Messungen für den Endzustand | 263 |
| 11.2.3 | Meßmethoden und -geräte | 266 |
| 11.2.4 | Vorauserkundungen vor Ort | 270 |
| 11.2.5 | Auswertung der Messungen | 273 |

| | | |
|-----------------------------------|--|------------|
| 12 | Klassifizierung des Gebirges | 275 |
| 12.1 | Allgemeines | 275 |
| 12.2 | Grundsysteme der Klassifizierung | 275 |
| 12.2.1 | Q-System (Quality-System) | 276 |
| 12.2.2 | RMR-System (Rock Mass Rating-System) | 282 |
| 12.2.3 | Zusammenhang Q- und RMR-System | 285 |
| 12.3 | Normen, Richtlinien und Empfehlungen | 286 |
| 12.3.1 | Klassifizierung in Deutschland | 287 |
| 12.3.2 | Klassifizierung in der Schweiz | 294 |
| 12.3.3 | Klassifizierung in Österreich | 296 |
| 12.4 | Beispiel einer projektbezogenen Klassifizierung nach DIN 18312 | 304 |
| 12.4.1 | Allgemeines | 304 |
| 12.4.2 | Beschreibung der Vortriebsklassen | 306 |
| Literaturverzeichnis | | 312 |
| Sachverzeichnis | | 319 |