

Dimitrios Kolymbas

Geotechnik - Tunnelbau und Tunnelmechanik

**Eine systematische Einführung
mit besonderer Berücksichtigung
mechanischer Probleme**

Mit 193 Abbildungen



Springer

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Bezeichnungen im Tunnelbau	4
1.1.1	Einteilung der Hohlrumbaute	4
1.2	Querschnitte	6
1.3	Straßentunnel	7
1.4	Eisenbahntunnel	11
1.5	Linienführung	12
2	Einrichtungen in Straßentunneln	15
2.1	Entwässerung	15
2.2	Leitungen	15
2.3	Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen	16
2.3.1	Überwachung der Lüftung	16
2.3.2	Einrichtung zur Lenkung und Überwachung des Verkehrs	17
2.3.3	Notrufeinrichtungen	17
2.3.4	Dienstfernsprecher	18
2.3.5	Funkeinrichtungen	18
2.3.6	Brandmelde- und Löscheinrichtungen	18
2.3.7	Notbeleuchtung	19
3	Belüftung	21
3.1	Baubelüftung	21
3.1.1	Dimensionierung der Baubelüftung	22
3.2	Betriebsbelüftung von Straßentunneln	23
4	Beleuchtung von Straßentunneln	27
5	Geotechnische Untersuchungen	31
5.1	Projektphasen	31
5.2	Voruntersuchungen	31

5.3	Hauptuntersuchungen	32
5.4	Baubegleitende Untersuchungen	32
5.5	Dokumentation	33
5.6	Spezielle Aussagen der geotechnischen Untersuchungen	33
5.6.1	Aussagen im Hinblick auf Bauverfahren	33
5.6.2	Aussagen im Hinblick auf die Bemessung	34
5.6.3	Aussagen im Hinblick auf Umwelteinflüsse	35
5.6.4	Methoden der geotechnischen Untersuchungen	35
6	Gebirgscharakterisierung	37
6.1	Trennflächen	37
6.2	Verwitterung	40
6.3	Gebirgsklassifizierung	40
6.3.1	RMR-System	41
6.3.2	Q-System	42
6.3.3	Gebirgsklassifikation nach ÖNORM B 2203	42
6.3.4	Einteilung nach DS 853	43
7	Vortrieb	45
7.1	Konventioneller Vortrieb	45
7.1.1	Vollausbruch-Teilausbruch, Bauweisen	45
7.2	Ausbruch	47
8	Schildvortrieb	51
8.1	Schildvortrieb im Grundwasser	55
8.2	Preßvortrieb	57
8.3	Mikrotunnel	57
8.4	Vortriebsgeschwindigkeit	58
9	Sprengvortrieb	61
9.1	Bohren	61
9.2	Laden	61
9.3	Besetzen	62
9.4	Sprengung	62
9.5	Ladungsanordnung und Zündfolge	63
9.6	Sprengstoffe	64
9.7	Sprengstoffbedarf	65
9.8	Sicherheitsvorkehrungen	65
9.9	Lüften	65

9.10 Erschütterungen	66
10 Sicherung	67
10.1 Profilieren	67
10.2 Spritzbeton	67
10.2.1 Stahlfaserspritzbeton	69
10.3 Anker	69
10.3.1 Ankertypen	71
10.4 Holzzimmerung	73
10.5 Ausbaubögen	74
10.6 Vorauseilende Sicherung	74
10.6.1 Pfändbleche und Spieße	74
10.6.2 Injektionen	74
10.6.3 Vereisung	75
10.6.4 Rohrschirmdecken	75
10.6.5 Perforex-Verfahren	75
11 Bohren, Brechen und Schneiden	77
11.1 Bohren	77
11.1.1 Schlag- und Drehbohren	77
12 Innenschale	81
12.1 Einschaliger Tunnelausbau	81
13 Vergleich von TBM mit Sprengvortrieb	83
14 Grund- und Bergwasser	87
14.1 Wasserprobleme beim Vortrieb	87
14.2 Dränage oder Abdichtung?	87
14.2.1 Abdichtung	88
14.2.2 Dränage	90
15 Schuttern	93
16 Neue Österreichische Tunnelbauweise	95
16.1 Konstruktions- und Bemessungshinweise	97
16.2 Der HSE Review	98

17	Sicherheit beim Vortrieb	103
	17.1 Alarmplan	103
	17.2 Kontrollplan	103
	17.3 Verbrüche	104
18	Druckluftverfahren	107
	18.1 Anwendung bei Schildvortrieb	108
	18.2 Anwendung bei Rohrvortrieb	108
	18.3 Anwendung bei Spritzbetonbauweise	109
	18.4 Anwendung bei Deckelbauweise	109
	18.5 Gesundheitsfragen	109
	18.6 Ausbläser	110
	18.7 Luftbedarfsermittlung	111
19	Unterwasser-Tunnel	113
	19.1 Einschwimm- und Absenkmethode	114
	19.2 Senkkasten	115
	19.3 Wasserundurchlässiger Beton	120
	19.4 Bergmännischer Vortrieb von Untertunneln	121
20	Schächte	123
21	Elektrische Einrichtungen im Tunnelvortrieb	127
	21.1 Gefahren durch Ausfall lebensnotwendiger Anlagen	127
	21.2 Besondere Vorkehrungen	127
	21.3 Energieversorgung von Vortriebsmaschinen	128
	21.4 Beleuchtung	129
22	Beispiele durchgeführter Tunnelbauprojekte	131
	22.1 Der Tunnel des Eupalinos auf Samos	131
	22.2 Der Eurotunnel	133
	22.3 Der Inntal-Tunnel	135
	22.3.1 Vortrieb im Baulos Nord	137
	22.3.2 Vortrieb im Baulos Süd	138
	22.3.3 Belüftung	138
	22.3.4 Innenschale	139
	22.4 Der Freudensteintunnel	139
	22.4.1 Probleme mit Schwellen	139
	22.4.2 Durchführung	140
	22.5 Storebaelt Tunnel	142

23	Große Tunnelbauprojekte der Zukunft	145
23.1	AlpTransit-Projekt	145
23.1.1	Geologie Lötischberg	146
23.1.2	Geologie Gotthard	147
23.1.3	Baukonzept	147
23.1.4	Besondere Probleme	148
23.2	Brenner-Basis-Tunnel	148
23.2.1	Linienführung	148
23.2.2	Querschnitt	149
24	Die Rolle der Mechanik im Tunnelbau	153
25	Materialverhalten	157
25.1	Elastizität	157
25.2	Plastizität	159
25.3	Festigkeit von Lockergestein	161
25.3.1	Prinzip der effektiven Spannung	163
25.3.2	Dränierte und undräßierte Verhältnisse	164
25.4	Festigkeit von Festgestein	164
25.4.1	Punktlastversuch	169
25.4.2	Theorie von Griffith	171
25.4.3	Akustische Emission	171
25.4.4	Einfluß des Porendrucks auf die Gesteinsfestigkeit	171
25.4.5	Kluftreibung	172
25.4.6	Durchlässigkeit von Fels	173
25.5	Diskrete Modelle	174
25.6	Verbandsfestigkeit	175
25.7	Verhalten des Spritzbetons	177
25.8	Verhalten des gefrorenen Bodens	177
26	Axialsymmetrische Spannungs und Deformationszustände	179
27	Spannungs- und Deformationsfeld um einen kreisrunden Tunnel	183
27.1	Primärspannung geostatisch	183
27.2	Primärspannung hydrostatisch	186
27.3	Plastifizierung	188
27.3.1	Berücksichtigung der Kohäsion	191
27.3.2	Gebirgskennlinie	192
27.3.3	Pressiometer	195

- 27.3.4 Vorgänge in druckhaftem Gestein 196
- 27.3.5 Kennlinie des Ausbaus 198
- 27.4 Berücksichtigung der Entfestigung des Gebirges 206
- 28 Einige Näherungsformeln 211**
 - 28.1 Beanspruchung des Ausbaus 216
 - 28.2 Seichte Tunnel 217
- 29 Anker 221**
 - 29.1 Tragwirkung der Systemankerung 222
 - 29.1.1 Berücksichtigung der Kohäsion 224
- 30 Standsicherheit der Ortsbrust 229**
 - 30.1 Gewichtsloses Gebirge 229
 - 30.2 Näherungsformel für Gebirge mit Eigengewicht 232
 - 30.3 Der kaminartige Einbruch 233
- 31 Schrankentheoreme 237**
- 32 Setzungen der Oberfläche 243**
- 33 Erddruck auf Schächte 251**
- 34 Stabilitätsprobleme im Tunnelbau 255**
 - 34.1 Beulen gebetteter Rohre 255
 - 34.1.1 Beulen fluidbelasteter Rohre 255
 - 34.1.2 Beulen elastisch gebetteter Rohre 257
 - 34.1.3 Beulen starr eingefasster Rohre 258
- 35 Frostausbreitung beim Gefrierverfahren 265**
- 36 Messungen 273**
 - 36.1 Nivellements 273
 - 36.2 Konvergenzmessungen 273
 - 36.3 Extensometer und Inklinometer 274
 - 36.4 Messungen der Spannungen in der Tunnelschale 275
 - 36.5 Messung der Primärspannung 277
 - 36.5.1 Hydraulic fracturing 277
 - 36.5.2 Entlastungs- und Kompensationsmethoden 279

37	Praxis der Ausbaudimensionierung	281
37.1	Generelles Vorgehen	281
37.2	Vorschriften und Empfehlungen	283
37.2.1	ITA Guidelines	283
37.2.2	DS 853	284
37.2.3	RVS 9.32	284
37.3	Die Methode der Finiten Elemente	285
37.3.1	Allgemeine Darstellung	285
37.3.2	Zeitintegration	287
37.3.3	Berücksichtigung der Nichtlinearität des Stoffgesetzes	289
37.3.4	Lösen des linearen Gleichungssystems	289
37.3.5	Anfangs- und Randbedingungen im Tunnelbau	290
38	Quellen- bzw. Schwellen	293
39	Wasserandrang	299
40	Mechanik der Sprengung	303
40.1	Stoßwellen	303
40.2	Detonation	307
40.3	Felssprengung durch Explosionen	309
40.3.1	Sprengung im Boden	309
40.3.2	Sprengung in intaktem Fels	310
40.3.3	Sprengung in geklüftetem Fels	311
40.4	Gleichzeitige Zündung mehrerer Ladungen	311
40.5	Zündung mit Millisekundenverzögerung	311
40.6	Sprengerschütterungen	313
40.6.1	Erschütterungsbewertung nach ÖNORM S 9020	315
Index		318