

# Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus

## **Band I: Konstruktionen und Verfahren**

Dritte, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage

### **Von o. Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Bernhard Maidl**

Inhaber des Lehrstuhls für Bauverfahrenstechnik, Tunnelbau und Baubetrieb  
am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum

#### **Unter Mitarbeit von:**

Dr.-Ing. Frank Abel (Gesamtkoordination)  
Dipl.-Ing. Philipp Nellessen (Gesamtkoordination)  
Dr.-Ing. Ulrich Maidl  
Dipl.-Ing. Volker Stein  
Dipl.-Ing. Götz Vollmann  
Dipl.-Ing. Kai Werkhäuser

# Inhalt Band I

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	19
<b>1.1</b>	<b>Allgemeines</b>	19
<b>1.2</b>	<b>Geschichtliche Entwicklung</b>	19
<b>1.3</b>	<b>Begriffe und Bezeichnungen</b>	22
<b>2</b>	<b>Die Sicherungen</b>	25
<b>2.1</b>	<b>Allgemeines</b>	25
<b>2.2</b>	<b>Wirkung der Sicherungsmaterialien</b>	25
2.2.1	Steifigkeit und Verformbarkeit	26
2.2.2	Verbund	26
2.2.3	Einbauzeitpunkt	27
<b>2.3</b>	<b>Holzzimmerungen</b>	27
2.3.1	Allgemeines	27
2.3.2	Türstockzimmerung	28
2.3.3	Sparrenzimmerung	28
2.3.4	Verzug und Verladung	28
<b>2.4</b>	<b>Stahlbögen</b>	29
2.4.1	Allgemeines	29
2.4.2	Profilformen	29
2.4.3	Beispiele typischer Bogenformen für Tunnel- und Stollenbau	30
2.4.4	Einbauen	30
<b>2.5</b>	<b>Gittertragelemente</b>	34
<b>2.6</b>	<b>Voraussicherungen</b>	35
2.6.1	Stahldielen und Stahlbleche	36
2.6.2	Spieße	37
2.6.3	Injektionsspieße	39
2.6.4	Rohrschirme, Injektionsschirme, Hochdruckinjektionsschirme	39
2.6.5	Bodenvereisung	42
<b>2.7</b>	<b>Anker</b>	42
2.7.1	Allgemeines	42
2.7.2	Wirkungsweise	43
2.7.3	Ankerlängen und Ankerabstände	45
2.7.4	Tragverhalten	46
2.7.5	Ankertypen	49
<b>2.8</b>	<b>Beton im Tunnelbau</b>	57
2.8.1	Allgemeines	57
2.8.2	Konstruktionsvarianten	57
2.8.2.1	Zweischalige Konstruktionen	57
2.8.2.2	Einschalige Konstruktionen	58
2.8.3	Spritzbeton	60
2.8.3.1	Allgemeines	60
2.8.3.2	Verfahrenstechnik, Geräte und Verarbeitung	61
2.8.3.3	Zusammensetzung und Rezepturen	70
2.8.3.4	Einflussfaktoren aus Materialtechnologie und Verfahrenstechnik	80
2.8.3.5	Qualitätskriterien, Materialverhalten und Rechenansätze, Qualitätskontrollen	94
2.8.3.6	Mechanisierung der Spritzbetontechnik	98
2.8.3.7	Stahlfaserbeton	104

2.8.3.8	Arbeitssicherheit -----	110
2.8.4	Schalungsbeton -----	114
2.8.4.1	Schalungsarbeiten und Schalungen -----	114
2.8.4.2	Betonieren -----	116
2.8.4.3	Bewehrte oder unbewehrte Innenschale -----	117
2.8.4.4	Beeinflussung der Rissbildung -----	119
2.8.4.5	Nachteile einer Mindestbewehrung -----	120
2.8.4.6	Ausschalfristen -----	121
2.8.4.7	Verfüllen des Firstschlitzes -----	121
2.8.4.8	Fugenausbildung -----	121
2.8.4.9	Einschalige Verfahren, Extrudierbeton -----	122
2.8.4.10	Nachbehandlung -----	124
2.8.5	Fertigelemente, Tübbings -----	125
2.8.5.1	Stahltübbings -----	126
2.8.5.2	Stahlgusstübbings -----	126
2.8.5.3	Gusseisentübbings -----	127
2.8.5.4	Stahlbetontübbings -----	129
2.8.5.5	Geometrische Formen und Anordnung -----	131
2.8.5.6	Fugenausbildung in den Längsfugen -----	131
2.8.5.7	Fugenausbildung in den Ringfugen -----	132
2.8.5.8	Verbindungsmittel und Dichtungssysteme -----	133
2.8.5.9	Tübbingdichtungsbänder -----	134
2.8.5.10	Herstellung von Stahlbetontübbings -----	135
2.8.5.11	Einbau der Tübbingauskleidung -----	136
2.8.6	Auskleidungen für Abwasserstollen -----	136
<b>3</b>	<b>Die klassischen Bauweisen und ihre Weiterentwicklungen -----</b>	<b>143</b>
<b>3.1</b>	<b>Allgemeines -----</b>	<b>143</b>
<b>3.2</b>	<b>Der Vollausbuch -----</b>	<b>144</b>
<b>3.3</b>	<b>Der Ausbruch in Teilen -----</b>	<b>145</b>
3.3.1	Die Strossenbauweise -----	146
3.3.2	Die Belgische oder Unterfangungsbauweise -----	146
3.3.3	Die Deutsche oder Kernbauweise -----	148
3.3.4	Die Österreichische oder Aufbruchbauweise -----	151
3.3.5	Die Neue Österreichische Tunnelbauweise -----	152
3.3.6	Die Englische Bauweise -----	158
3.3.7	Die Italienische oder Versatzbauweise -----	158
<b>3.4</b>	<b>Die klassischen Schildvortriebe -----</b>	<b>159</b>
<b>3.5</b>	<b>Die klassischen Vortriebsmaschinen -----</b>	<b>161</b>
<b>4</b>	<b>Die Spritzbetonverfahren -----</b>	<b>164</b>
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines -----</b>	<b>164</b>
<b>4.2</b>	<b>Kalottenvortriebsverfahren -----</b>	<b>165</b>
4.2.1	Spritzbetonbauweise -----	165
4.2.2	Unterfangungsbauweise -----	165
4.2.3	Firststollenbauweise mit Firstbalken -----	167
4.2.4	Spritzbetonbauweise mit Längsschlitzten -----	169
<b>4.3</b>	<b>Kernbauweise mit Ulmenstollen -----</b>	<b>171</b>
<b>4.4</b>	<b>Sonderverfahren unter Einsatz von Spritzbeton -----</b>	<b>172</b>
4.4.1	Druckluft -----	172
4.4.2	Vereisung, Injektionen -----	172

<b>4.5</b>	<b>Spritzbeton im Bergbau</b> .....	174
4.5.1	Streckenausbau .....	174
4.5.2	Schachtglocken .....	175
<b>4.6</b>	<b>Weitere Entwicklungsaussichten</b> .....	177
<b>4.7</b>	<b>Die Neue Italienische Tunnelbaumethode (ADECO-RS)</b> .....	178
4.7.1	Theoretisches Modell .....	179
4.7.2	Vorgehensweise am Beispiel der Neubaustrecke Bologna – Florenz .....	179
<b>5</b>	<b>Sprengvortrieb</b> .....	183
<b>5.1</b>	<b>Geschichtliche Entwicklung</b> .....	183
<b>5.2</b>	<b>Bohrbetrieb</b> .....	185
5.2.1	Allgemeines .....	185
5.2.2	Bohrgeräte .....	185
5.2.3	Bohrwerkzeuge .....	193
5.2.4	Verschleiß .....	199
5.2.5	Leistung .....	201
5.2.6	Kosten .....	203
<b>5.3</b>	<b>Sprengbetrieb</b> .....	204
5.3.1	Allgemeines .....	204
5.3.2	Die Sprengstoffe im Tunnelbau .....	206
5.3.3	Die Zündmittel und -systeme im Tunnelbau .....	207
5.3.4	Transport, Lagerung und Handhabung von Explosivstoffen .....	213
5.3.5	Lademengenermittlung .....	219
5.3.6	Das Bohr- und Zündschema .....	223
5.3.7	Der Ladevorgang .....	226
5.3.8	Zeitermittlung .....	230
5.3.9	Sprengtechnische Aspekte .....	231
<b>5.4</b>	<b>Schutterbetrieb</b> .....	233
5.4.1	Allgemeines .....	233
5.4.2	Ladegeräte .....	234
5.4.3	Fördern des Materials .....	241
5.4.4	Leistungen der Fördergeräte .....	249
5.4.5	Beispielhafte Darstellung von Transportketten .....	249
5.4.6	Weiterentwicklungen .....	253
<b>5.5</b>	<b>Kombination des Sprengvortriebs mit maschinellen Tunnelbauverfahren</b> .....	253
5.5.1	Kombinationen mit Teilschnittmaschinen .....	253
5.5.2	Kombination mit Vollschnittmaschinen .....	254
<b>5.6</b>	<b>Auswirkungen der Sprengung auf die Umgebung</b> .....	255
5.6.1	Erschütterungen .....	255
5.6.2	Zusammensetzung und Auswirkung der Sprenggasemission .....	262
<b>5.7</b>	<b>Mechanisierung und Automatisierung</b> .....	264
5.7.1	Allgemeines .....	264
5.7.2	Mechanisierungsschwerpunkte .....	265
5.7.3	Rechnergestützte Bohrwagen .....	267
5.7.4	Schuttern und Vortriebslogistik .....	269
<b>6</b>	<b>Der maschinelle Tunnelvortrieb</b> .....	271
<b>6.1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	271
<b>6.2</b>	<b>Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen</b> .....	271
<b>6.3</b>	<b>Schildmaschinen</b> .....	272

6.3.1	Einteilung der Schildmaschinen -----	272
6.3.2	Grundprinzip, Definition -----	272
6.3.3	Ortsbrust ohne Stützung -----	277
6.3.4	Ortsbrust mit mechanischer Stützung -----	278
6.3.5	Ortsbrust mit Druckluft-Beaufschlagung -----	278
6.3.6	Ortsbrust mit Flüssigkeitsstützung -----	280
6.3.6.1	Funktionsprinzip -----	280
6.3.6.2	Slurry-Shield -----	280
6.3.6.3	Thixschild -----	282
6.3.6.4	Hydroschild -----	282
6.3.6.5	Mixschild als Hydroschildversion -----	284
6.3.6.6	Hydrojetschild -----	285
6.3.6.7	Hydraulische Bodenförderung -----	285
6.3.6.8	Bodenseparation beim Schildvortrieb mit hydraulischer Förderung -----	287
6.3.7	Ortsbrust mit Erddruckstützung -----	290
6.3.7.1	Funktionsprinzip -----	290
6.3.7.2	Einsatzbereiche und Bodenconditionierungsverfahren -----	291
6.3.7.3	Einsatz von Schaum bei Erddruckschilden -----	294
6.3.8	Messervortrieb und Messerschilde -----	294
6.3.9	Die wichtigsten rechnerischen Nachweise -----	297
6.3.9.1	Berechnung der Ortsbruststabilität bei Flüssigkeits- und Erddruckstützung -----	297
6.3.9.2	Berechnung der Aufbruch- und Ausbläsersicherheit -----	299
6.3.9.3	Berechnung der Vortriebspressekraft -----	300
6.3.9.4	Ermittlung des Luftbedarfs bei Druckluftstützung -----	302
<b>6.4</b>	<b>Tunnelbohrmaschinen im Hartgestein -----</b>	<b>304</b>
6.4.1	Einteilung der Maschinen für einen Einsatz im Hartgestein -----	304
6.4.2	Grundprinzip -----	304
6.4.3	Bohrsystem -----	309
6.4.4	Vorschub- und Abstützsystem -----	310
6.4.5	Sicherungssystem -----	313
6.4.6	Lüftung -----	317
6.4.7	Einsatz von Flüssigkeits- und Erddruckschilden in Hartgesteinsformationen -----	317
<b>6.5</b>	<b>Sonderverfahren: Kombinationen von TBM-Vortrieben mit der Spritzbetonbauweise --</b>	<b>319</b>
6.5.1	Anwendungsgebiete -----	319
6.5.2	Ausführungsmöglichkeiten -----	320
6.5.3	Beispiele -----	325
<b>6.6</b>	<b>Teilschnittmaschinen (TSM) und Tunnelbagger -----</b>	<b>334</b>
6.6.1	Grundprinzip einer TSM -----	334
6.6.2	Gebirglösung mit TSM -----	336
6.6.3	Bewetterung und Entstaubung bei TSM -----	339
6.6.4	Profil- und Richtungssteuerung von TSM -----	339
6.6.5	Bauverfahren mit TSM -----	340
6.6.6	Zusatzeinrichtungen und Variationen von TSM -----	341
6.6.7	Kriterien zur Wahl einer Teilschnittmaschine -----	342
6.6.8	Vergleich von Teilschnitt- mit Vollschnittmaschinen -----	342
6.6.9	Kombination aus Voll- und Teilschnittmaschinen -----	342
6.6.10	Konturschneideverfahren -----	342
6.6.11	Tunnelbagger -----	344
<b>6.7</b>	<b>Prüfen der Vortriebsmaschine auf Eignung und Abnahme auf der Grundlage einer Risikoanalyse -----</b>	<b>346</b>
6.7.1	Strategie zur Risikobeherrschung -----	347
6.7.2	Basisplanung -----	347

6.7.3	Störfallanalyse	347
6.7.4	Pflichtenheft für die Maschine	348
6.7.5	Abnahme TVM	349
6.7.6	Schildhandbuch	349
6.7.7	Datenkontrolle, Funktionsprüfungen	351
6.7.8	Umsetzung der Strategie am Beispiel des Elbtunnels und des Lefortovotunnels	351
6.7.9	Empfehlungen für die Zukunft	357
<b>7</b>	<b>Der Vortrieb kleiner Querschnitte</b>	<b>358</b>
7.1	<b>Allgemeines</b>	358
7.2	<b>Bemannte Verfahren</b>	358
7.2.1	Allgemeines	358
7.2.2	Rohrvortrieb	359
7.3	<b>Unbemannte Verfahren</b>	363
7.3.1	Allgemeines	363
7.3.2	Nicht- oder bedingt steuerbare Verfahren	364
7.3.3	Steuerbare Verfahren	373
7.4	<b>Gruben und Pressstationen</b>	377
7.4.1	Startbaugrube	377
7.4.2	Zielbaugrube	377
7.4.3	Hauptpressstation	377
7.4.4	Zwischenpressstationen	378
7.5	<b>Sicherung, Produktleitung</b>	379
7.5.1	Beanspruchungen während des Vortriebs	379
7.5.2	Beanspruchungen im Betriebszustand	379
7.5.3	Einbauen der Produktleitung	384
<b>8</b>	<b>Belüftung während der Bauzeit</b>	<b>385</b>
8.1	<b>Allgemeines</b>	385
8.2	<b>Belüftungssysteme</b>	387
8.2.1	Natürliche Lüftung	387
8.2.2	Drückende Belüftung	387
8.2.3	Saugende Belüftung	387
8.2.4	Umkehrbare Belüftung	388
8.2.5	Kombinierte Belüftung	388
8.2.6	Umluftsysteme	389
8.3	<b>Materialien</b>	389
8.3.1	Ventilatoren	389
8.3.2	Lutten	390
8.3.3	Entstauber	391
8.4	<b>Bemessung und Kosten</b>	392
8.5	<b>Spezielle Bewetterungssysteme</b>	397
8.5.1	Belüftung bei TBM-Vortrieben	397
8.5.2	Belüftung bei TSM-Vortrieben	399
8.5.3	Automatische Belüftung	399

<b>Quellennachweis</b>	400
------------------------	-----

<b>Sachwortregister</b>	413
-------------------------	-----

# Inhalt Band II

<b>1</b>	<b>Allgemeine Planungsgrundsätze für die Querschnittsgestaltung</b> -----
<b>1.1</b>	<b>Allgemeines</b> -----
<b>1.2</b>	<b>Abhängigkeit vom Verwendungszweck</b> -----
1.2.1	Straßentunnel-----
1.2.2	Bauliche Anlagen für die Verkehrssicherheit bei Straßentunneln-----
1.2.3	Eisenbahntunnel-----
1.2.4	Bauliche Anlagen für Bahntunnel-----
1.2.5	U-Bahn- und U-Straßenbahn-Tunnel-----
1.2.6	Neuartige Verkehrssysteme-----
1.2.7	Magnetschwebebahn, Transrapid, Metrorapid-----
1.2.8	Sonstige Untertagebauwerke-----
<b>1.3</b>	<b>Einfluss des Gebirges</b> -----
<b>1.4</b>	<b>Abhängigkeit vom Bauverfahren</b> -----
<b>2</b>	<b>Ingenieurgeologische Aspekte für Projektierung und Klassifizierung</b> -----
<b>2.1</b>	<b>Allgemeines</b> -----
<b>2.2</b>	<b>Entstehung, Eigenschaften und Einteilung der Gesteine</b> -----
2.2.1	Allgemeine Grundlagen-----
2.2.2	Einteilung der Festgesteine-----
2.2.3	Einteilung der Lockergesteine-----
<b>2.3</b>	<b>Ingenieurgeologische und felsmechanische Untersuchungen</b> -----
2.3.1	Ingenieurgeologische Untersuchungen-----
2.3.2	Felsmechanische Untersuchungen-----
<b>2.4</b>	<b>Das Gebirge und seine Klassifizierung</b> -----
2.4.1	Gebirge-----
2.4.2	Klassifizierung des Gebirges-----
2.4.2.1	Allgemeines-----
2.4.2.2	Grundsysteme der Klassifizierung-----
2.4.2.3	Q-System (Quality-System)-----
2.4.2.4	RMR-System (Rock Mass Rating-System)-----
2.4.2.5	Zusammenhang Q- und RMR-System-----
2.4.3	Normen, Richtlinien und Empfehlungen-----
2.4.3.1	Klassifizierung in Deutschland-----
2.4.3.2	Klassifizierung in der Schweiz-----
2.4.3.3	Klassifizierung in Österreich-----
2.4.4	Beispiel einer projektbezogenen Klassifizierung nach DIN 18312 für Spritzbetonverfahren-----
2.4.4.1	Vorgehensweise beim Tunnel Oerlinghausen-----
2.4.4.2	Beschreibung der Vortriebsklassen für den Tunnel Oerlinghausen-----
<b>2.5</b>	<b>Besonderheiten für Vortriebsmaschinen</b> -----
2.5.1	Allgemeines-----
2.5.2	Einflüsse auf den Bohrprozess-----
2.5.3	Einflüsse auf die Maschinenverspannung-----
2.5.4	Einflüsse auf die Ausbruchssicherung-----
2.5.5	Klassifizierung für Ausbruch und Sicherung-----
2.5.5.1	Allgemeines und Zielsetzung für den Maschinenvortrieb-----
2.5.5.2	Klassifizierungssysteme und Untersuchung der Eignung für Vortriebsmaschinen-----
2.5.6	Normen, Richtlinien und Empfehlungen-----
2.5.6.1	Klassifizierung in Deutschland-----
2.5.6.2	Klassifizierung in der Schweiz-----
2.5.6.3	Klassifizierung in Österreich-----
2.5.7	Neuer Klassifizierungsvorschlag-----
<b>3</b>	<b>Stand sicherheitsnachweise, Tunnelstatik</b> -----
<b>3.1</b>	<b>Allgemeines</b> -----
<b>3.2</b>	<b>Gebirgsdrucktheorien</b> -----

3.2.1	Historische Entwicklung -----
3.2.2	Primärer und sekundärer Spannungszustand im Gebirge -----
<b>3.3</b>	<b>Allgemeine Schritte zur Modellbildung -----</b>
<b>3.4</b>	<b>Analytische Verfahren und ihre Modellbildung -----</b>
3.4.1	Modellbildung für oberflächennahe Tunnel im Lockergestein -----
3.4.2	Modellbildung für tiefliegende Tunnel im Lockergestein -----
3.4.3	Modellbildung für Tunnel im Festgestein -----
3.4.4	Balkenmodelle mit Bettung -----
<b>3.5</b>	<b>Numerische Methoden -----</b>
3.5.1	Finite-Differenzen-Methode (FDM) -----
3.5.2	Finite-Element-Methode (FEM) -----
3.5.3	Rand-Element-Methode (REM) -----
3.5.4	Koppelung Finite-Element-/Rand-Element-Methode -----
<b>3.6</b>	<b>Die Anwendung der Finite-Element-Methode im Tunnelbau -----</b>
3.6.1	„Step-by-Step“-Technik -----
3.6.2	Iterationsverfahren -----
3.6.3	Simulation entkoppelter Teilvortriebe -----
<b>3.7</b>	<b>Spezielle Anwendungen der FEM im Tunnelbau -----</b>
3.7.1	Modellierung von Deformationsschlitzten -----
3.7.2	Ermittlung der Gebirgsauflockerung infolge der Sprengung -----
<b>3.8</b>	<b>Bemessung -----</b>
3.8.1	Allgemeine Grundsätze -----
3.8.2	Bemessungsansatz für Tunnelschalen aus Stahlfaserbeton -----
3.8.3	Konventionell bewehrter Spritzbeton versus Stahlfaserspritzbeton -----
<b>4</b>	<b>Messtechnische Überwachung, Vorauserkundung und Beweissicherung -----</b>
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines -----</b>
<b>4.2</b>	<b>Messprogramme -----</b>
4.2.1	Allgemeines -----
4.2.2	Messungen für den Bauzustand -----
4.2.2.1	Standardmessquerschnitte -----
4.2.2.2	Hauptmessquerschnitte -----
4.2.2.3	Oberflächenmessungen -----
4.2.2.4	Grundsätze für Durchführung und Auswertung -----
4.2.3	Messungen für den Endzustand -----
4.2.3.1	Messprogramm -----
4.2.3.2	Auswertungen -----
4.2.4	Besonderheiten des Schildvortriebes -----
4.2.4.1	Messtechnische Überwachung -----
4.2.4.2	Interpretation der Maschinendaten -----
4.2.5	EDV-Systeme zum Erfassen und Auswerten geotechnischer Daten -----
<b>4.3</b>	<b>Messverfahren, Messgeräte -----</b>
4.3.1	Verformungsmessungen -----
4.3.1.1	Geodätische Messungen -----
4.3.1.2	Konvergenzmessungen -----
4.3.1.3	Optische Verformungsmessungen mit elektronischer Totalstation -----
4.3.1.4	Oberflächenmessung -----
4.3.1.5	Extensometermessungen -----
4.3.1.6	Inklinometer- / Deflektometermessungen -----
4.3.1.7	Gleitmikrometermessungen -----
4.3.1.8	Trivec-Messungen -----
4.3.2	Profilvermessung -----
4.3.2.1	Photogrammetrische Scanner -----
4.3.3	Spannungs- und Dehnungsmessungen an der Sicherung -----
4.3.3.1	Radial- und Tangentialspannungsmessungen im Beton -----
4.3.3.2	Messungen an Stahlbögen -----
4.3.4	Messungen von Beanspruchung und Wirkungsweise der Ankerung -----
4.3.4.1	Kontrolle der Ankerkräfte bei Freispielankern -----

4.3.4.2	Kontrolle der Beanspruchung der Anker mit mechanischen Messankern -----
<b>4.4</b>	<b>Geophysikalische Vorerkundung</b> -----
4.4.1	Seismik -----
4.4.2	Geoelektrik -----
4.4.3	Gravimetrie -----
4.4.4	Geomagnetik -----
4.4.5	Geothermie -----
4.4.6	Beispiele und Erfahrungen -----
4.4.6.1	Vorerkundung mit SSP (Sonic Softground Probing) -----
4.4.6.2	Erkundung von Karsthohlräumen -----
<b>4.5</b>	<b>Überwachungs- und Beweissicherungsmaßnahmen für das Unterfahren</b> <b>von Gebäuden und Verkehrsanlagen</b> -----
4.5.1	Allgemeines -----
4.5.2	Überwachungs- und Beweissicherungsmaßnahmen -----
4.5.3	Schall- und Erschütterungsschutz -----
4.5.4	Zulässige Verformungen bei Gebäuden -----
<b>5</b>	<b>Wasserhaltung, Abdichtung und Entwässerung</b> -----
<b>5.1</b>	<b>Allgemeines</b> -----
<b>5.2</b>	<b>Wasserhaltung während der Bauzeit</b> -----
5.2.1	Wasseranfall und Erschwernisse -----
5.2.1.1	Wasserführung des Gebirges -----
5.2.1.2	Erscheinungsformen des unterirdischen Wassers -----
5.2.1.3	Abrechnung und Quantitätsmessung -----
5.2.2	Verfahren zur Fassung und Ableitung des Bergwassers -----
5.2.2.1	Maßnahmen zur Wasserfassung -----
5.2.2.2	Maßnahmen zur Wasserableitung, offene Wasserhaltung -----
5.2.2.3	Bohrlochdrainagen und Drainagestellen -----
5.2.3	Behinderungen und Leistungsminderung -----
5.2.3.1	Allgemeine Darstellung -----
5.2.3.2	Einfluss des Bergwassers auf die Vortriebsleistung -----
5.2.3.3	Einfluss des Bergwassers auf die Vortriebskosten -----
5.2.4	Umwelteinflüsse und Reinigung -----
5.2.4.1	Einflüsse auf den Grundwasserhaushalt -----
5.2.4.2	Einflüsse auf die Grundwasserqualität -----
5.2.5	Bergwassersperrung -----
5.2.5.1	Injektionsverfahren -----
5.2.5.2	Gefrierverfahren -----
<b>5.3</b>	<b>Tunnelabdichtungen</b> -----
5.3.1	Anforderungen -----
5.3.1.1	Erforderlicher Grad der Dichtheit -----
5.3.1.2	Anforderungen aus den geologischen und hydrologischen Bedingungen -----
5.3.1.3	Materialanforderungen -----
5.3.1.4	Anforderungen aus dem Bauverfahren -----
5.3.1.5	Anforderungen an die konstruktive Auslegung -----
5.3.1.6	Unterhalt -----
5.3.1.7	Anforderung der Nutzer -----
5.3.1.8	Anforderungen des Umwelt- und Gewässerschutzes -----
5.3.1.9	Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit -----
5.3.2	Abdichtungskonzepte -----
5.3.2.1	Einteilung -----
5.3.2.2	Vorabdichtung -----
5.3.2.3	Hauptabdichtung -----
5.3.2.4	Nachabdichtung -----
5.3.3	Dichtungselemente und -materialien -----
5.3.3.1	Wasserundurchlässiger Beton -----
5.3.3.2	Sperrputz, Sperrmörtel, Kunststoffbeton -----
5.3.3.3	Folienabdichtung -----
5.3.3.4	Aufgespritzte Abdichtung -----

5.3.3.5	Metallabdichtungsstoffe -----
5.3.4	Prüfen von Abdichtungen -----
<b>5.4</b>	<b>Tunneldrainage</b> -----
5.4.1	Versinterungsentstehungen -----
5.4.2	Materialien und ihre Eignung zur Herstellung versinterungsarmer Tunneldrainagen -----
5.4.2.1	Auslaugarmer Spritzbeton -----
5.4.2.2	Drainageelemente -----
5.4.2.3	Filterschichten -----
5.4.2.4	Flächendrainagen -----
5.4.3	Einsatz der Beobachtungsmethode zur Optimierung von Tunneldrainagesystemen -----
5.4.3.1	Grundsätzliche Vorgehensweise -----
5.4.3.2	Untersuchungen im Vorfeld -----
5.4.3.3	Entwicklung eines Modells mit Festlegung des Grenzbereiches -----
5.4.3.4	Klassifizierung -----
5.4.3.5	Entwurf -----
5.4.3.6	Auswahl der Messgrößen -----
5.4.3.7	Erfassen der Messgrößen -----
5.4.3.8	Untersuchungen des Drainagesystems -----
5.4.3.9	Soll-Ist-Vergleich -----
5.4.3.10	Zuordnung Versinterungsklasse und Festlegung der einzubauenden Einzelkomponenten -----
5.4.3.11	Relative Systemverbesserungen -----
5.4.3.12	Optimierter Betrieb -----
<b>5.5</b>	<b>Eignung von Härtestabilisatoren für Tunneldrainagen</b> -----
5.5.1	Allgemeines -----
5.5.2	Grundlagen zum Verfahren der Härtestabilisierung -----
5.5.2.1	Wirkungsweise und Randbedingungen des Verfahrens -----
5.5.2.2	Allgemeine Übertragung des Verfahrens auf den Tunnelbau -----
5.5.3	Flüssige Härtestabilisatoren -----
5.5.4	Feste Härtestabilisatoren -----
5.5.5	Aussagen zur Eignung -----
<b>6</b>	<b>Neue Mess- und Steuertechniken im Tunnelbau</b> -----
<b>6.1</b>	<b>Allgemeines</b> -----
<b>6.2</b>	<b>Messgeräte</b> -----
6.2.1	Kreiselgeräte -----
6.2.2	Lasergeäte -----
6.2.3	Optische Bauelemente für Lasergeäte -----
6.2.4	Optische Empfangseinrichtungen -----
6.2.5	Schlauchwaagen -----
6.2.6	Inklinometer -----
<b>6.3</b>	<b>Steuerung beim Sprengvortrieb</b> -----
6.3.1	Bohrwagen Navigation -----
6.3.2	Messtechnische Bohrarm-Positionserfassung -----
6.3.3	Hydraulische Parallelhaltung der Lafetten -----
6.3.4	Steuerung der Bohrarme über Mikroprozessoren -----
6.3.5	Hydraulikbohrarme -----
<b>6.4</b>	<b>Steuerung von Teilschnittmaschinen</b> -----
6.4.1	Messtechnisch zu ermittelnde Bewegungsgrößen -----
6.4.2	Teilschnittmaschinen-Steuerungssystem von Voest Alpine -----
6.4.3	Teilschnittmaschinen-Steuerungssystem von Eickhoff -----
6.4.4	Teilschnittmaschinen-Steuerungssystem von ZED -----
<b>6.5</b>	<b>Steuerung von Tunnelvortriebsmaschinen (TVM)</b> -----
6.5.1	Allgemeines -----
6.5.2	Steuerung mit Laserstrahl und aktiver Zieltafel -----
<b>6.6</b>	<b>Steuerung beim Vortrieb kleiner Durchmesser</b> -----
6.6.1	Allgemeines -----
6.6.2	Steuerung mit Schiffskreiselkompass -----
6.6.3	Rohrvortriebssteuerung mit Laserstrahl und aktiver Zieltafel -----
6.6.4	Steuerung mit mitfahrender Totalstation -----

<b>7</b>	<b>Besonderheiten der Terminplanung im Tunnelbau</b> -----
7.1	<b>Allgemeines</b> -----
7.2	<b>Geschichtlicher Überblick</b> -----
7.3	<b>Generelle Planung bei Tunnelvortrieben</b> -----
7.4	<b>Planungsinstrumente</b> -----
7.5	<b>Kontrollmöglichkeiten</b> -----
7.5.1	Terminkontrollen -----
7.5.2	Kontrolle der Kosten -----
7.6	<b>Beispiele für Bauzeitenpläne</b> -----
7.6.1	Bauprogramm für den City-Tunnel Leipzig -----
7.6.2	Terminplanung bei Bahntunneln am Beispiel des Landrücken-Tunnels und die besondere Problematik des Angriffspunkts -----
7.6.3	Terminplanung bei Straßentunneln am Beispiel des Arlberg-Tunnels -----
7.6.4	Terminplanung bei innerstädtischen Tunnelbaumaßnahmen am Beispiel der Stadtbahn Dortmund -----
7.6.5	Terminplanung eines Schildvortriebes am Beispiel der Stadtbahn Essen -----
<b>8</b>	<b>Sicherheit und Sicherheitsplanung</b> -----
8.1	<b>Allgemeines</b> -----
8.2	<b>Internationale Richtlinien und nationale Vorschriften</b> -----
8.2.1	Richtlinie 89/391/EWG -----
8.2.2	Richtlinie 92/57/EWG -----
8.2.3	Richtlinie 93/15/EWG -----
8.2.4	Richtlinie 98/37/EG -----
8.2.5	Umsetzung in nationale Vorschriften für das Sprengwesen -----
8.3	<b>Integraler Sicherheitsplan</b> -----
8.3.1	Der Sicherheitsplan im Umfeld der Managementpläne -----
8.3.2	Sicherheitsziele -----
8.3.3	Gefährdungsbilder und Risikoanalysen -----
8.3.4	Maßnahmenplan -----
8.4	<b>Transport, Lagerung und Handhabung von Explosivstoffen</b> -----
8.4.1	Der Transport zur Baustelle -----
8.4.2	Die Lagerung auf der Baustelle -----
8.4.3	Der Transport auf der Baustelle -----
8.4.4	Handhabung -----
8.5	<b>Ausbildung des Fachpersonals</b> -----
8.6	<b>Die Baustellenverordnung (BaustellenV)</b> -----
8.6.2	Die Werkzeuge der Baustellenverordnung -----
8.6.3	Der Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan (SiGe-Plan) -----
8.6.4	Arbeitsschritte zur Erstellung des SiGe-Plans -----
8.7	<b>Beispiel für eine Ausschreibung für den Sicherheits- und Gesundheitsschutz (SiGe)</b> -----
8.7.1	Allgemeines -----
8.7.2	Sicherheits- und Gesundheitskonzept -----
<b>9</b>	<b>Besonderheiten bei Ausschreibung, Vergabe, Vertrag</b> -----
9.1	<b>Allgemeines</b> -----
9.2	<b>Beispiele der Vorgehensweise für die Vertragsgestaltung</b> -----
9.2.1	Vorgehensweise in der Schweiz -----
9.2.2	Vorgehensweise in den Niederlanden -----
9.2.3	Vorgehensweise in Deutschland -----
9.3	<b>Planerische und geotechnische Voraussetzungen in der Ausschreibung für einen Maschinenvortrieb als Nebenangebot</b> -----
9.3.1	Allgemeines -----
9.3.2	Beispiele: Adlertunnel, Siegbertunnel, Flughafentunnel Stuttgart, Rennsteigtunnel, Lainzer Tunnel -----
9.3.3	Zusätzliche Anforderungen an einen Maschinenvortrieb in der Ausschreibung -----
9.3.4	Entscheidungskriterium Kosten -----
9.3.5	Ausblick -----