

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zuordnung der Autoren</b> .....	<b>VII</b>
<b>Vorwort zur 2. Auflage</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Grundprinzip und Begriffe .....	3
1.2 Typisierung der Tunnelvortriebsmaschinen nach DAUB .....	6
1.2.1 Einteilung von Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) .....	6
1.2.2 Tunnelbohrmaschinen (TBM) .....	6
1.2.2.1 Tunnelbohrmaschinen ohne Schild (Gripper-TBM) .....	6
1.2.2.2 Erweiterungstunnelbohrmaschinen (ETBM) .....	7
1.2.2.3 Tunnelbohrmaschinen mit Schild (TBM-S) .....	7
1.2.3 Doppelschildmaschinen (DSM) .....	8
1.2.4 Schildmaschinen (SM) .....	8
1.2.4.1 Schildmaschinen mit Vollschnittabbau (SM-V) .....	8
1.2.4.2 Schildmaschinen mit Teilflächenabbau (SM-T) .....	11
1.2.5 Anpassbare Schildmaschinen mit kombinierter Verfahrenstechnik (KSM) .....	12
1.2.6 Sonderformen .....	12
1.2.6.1 Messerschilde .....	12
1.2.6.2 Schilde mit Mehrfach-Kreisquerschnitten .....	12
1.2.6.3 Gelenkschilde .....	12
1.2.7 Hinweise zu den einzelnen TVM-Typen mit Prinzipbildern .....	13
1.2.7.1 Tunnelbohrmaschinen (TBM) .....	13
1.2.7.2 Doppelschildmaschinen (DSM) .....	13
1.2.7.3 Ortsbrust ohne Stützung (SM-V1) .....	14
1.2.7.4 Ortsbrust mit mechanischer Stützung (SM-V2) .....	14
1.2.7.5 Ortsbrust mit Druckluftbeaufschlagung (SM-V3) .....	14
1.2.7.6 Ortsbrust mit Flüssigkeitsstützung (SM-V4) .....	14
1.2.7.7 Ortsbrust mit Erddruckstützung (SM-V5) .....	15
1.2.7.8 Ortsbrust ohne Stützung (SM-T1) .....	16
1.2.7.9 Ortsbrust mit Teilstützung (SM-T2) .....	16
1.2.7.10 Ortsbrust mit Druckluftbeaufschlagung (SM-T3) .....	16
1.2.7.11 Ortsbrust mit Flüssigkeitsstützung (SM-T4) .....	16
1.2.7.12 Kombinationsmaschinen (KSM) .....	17
1.3 Ursprünge und historische Entwicklung .....	17
<b>2 Hohlraumstützung und Setzungen</b> .....	<b>25</b>
2.1 Stützung der Ortsbrust .....	25
2.1.1 Natürliche Stützung .....	26
2.1.2 Mechanische Stützung .....	26
2.1.3 Druckluftstützung .....	27

2.1.4	Flüssigkeitsstützung . . . . .	28
2.1.5	Erdstützung . . . . .	32
2.1.6	Berechnungsmodelle . . . . .	32
2.2	Stützung des Hohlraums im Schildbereich . . . . .	37
2.3	Stützung des Hohlraums hinter dem Schild . . . . .	38
2.4	Setzungen und Schadensklassifikationen . . . . .	40
2.4.1	Empirische Ermittlung der Setzung . . . . .	42
2.4.2	Numerische Methoden zur Setzungsberechnung . . . . .	44
2.5	Hebungen und Kompaktierungen . . . . .	47
<b>3</b>	<b>Konstruktion und Berechnungsansätze . . . . .</b>	<b>49</b>
3.1	Konstruktionsteile des Schildes . . . . .	49
3.2	Belastungen des Schildes . . . . .	52
3.2.1	Belastung des Schildmantels . . . . .	53
3.2.2	Belastung der Druckwand . . . . .	55
3.2.3	Belastung durch Vortriebspresen . . . . .	57
3.3	Berechnung der erforderlichen Vortriebspresenkraft . . . . .	57
3.3.1	Vortriebswiderstände durch Reibungskräfte am Schildmantel . . . . .	57
3.3.2	Vortriebswiderstände am Schneidenschuss . . . . .	58
3.3.3	Vortriebswiderstände an der Ortsbrust durch Bühnen und Abbauwerkzeuge . . . . .	60
3.3.4	Vortriebswiderstände bei Flüssigkeitsstützung, Erdstützung und Druckluftstützung . . . . .	60
3.3.5	Vortriebswiderstände aus der Steuerung des Schildes . . . . .	61
3.3.6	Zusammenstellung . . . . .	62
3.4	Empirische Erfahrungswerte für die Dimensionierung der Schilde und der Schildvortriebspresen . . . . .	62
3.5	Berechnungs- und Bemessungsgrundlagen . . . . .	64
3.6	Vorschriften und Empfehlungen für die Berechnung der Schilde . . . . .	64
<b>4</b>	<b>Abbauwerkzeuge und Abbauverfahren . . . . .</b>	<b>67</b>
4.1	Abbauwerkzeuge . . . . .	68
4.1.1	Handgeführte Werkzeuge . . . . .	68
4.1.2	Schneidkanten . . . . .	68
4.1.3	Schälmesser . . . . .	69
4.1.4	Stichel, Schlitzmeißel, Rundschaftmeißel, Ripper . . . . .	70
4.1.5	Schneidrollen, Disken . . . . .	72
4.1.6	Räumer . . . . .	74
4.2	Abbauverfahren . . . . .	75
4.2.1	Vortrieb ohne Abbaugerät . . . . .	76
4.2.2	Handabbau . . . . .	77
4.2.3	Maschineller Abbau im Teilschnitt . . . . .	77
4.2.4	Maschineller Abbau im Vollschnitt . . . . .	83
4.2.5	Hydraulischer Abbau . . . . .	96
4.2.6	Sonstige Abbauverfahren . . . . .	97

<b>5</b>	<b>Fördereinrichtungen</b>	99
5.1	Aufbereitung zur Förderfähigkeit	99
5.2	Austrag aus dem Ortsbrustbereich	101
5.2.1	Offene Schilde	101
5.2.2	Schilde mit Druckkammer	102
5.3	Strecken- und Schachtförderung	108
5.3.1	Offener Transport	108
5.3.2	Rohrtransport	110
5.4	Massenermittlung und Messeinrichtungen	112
5.5	Separation	115
5.5.1	Trennverfahren	115
5.5.2	Trenngeräte	116
5.6	Deponierfähigkeit des Aushubs	123
<b>6</b>	<b>Tunnelauskleidung</b>	125
6.1	Allgemeines	125
6.2	Konstruktionsprinzipien für die Auskleidung eines Tunnels	126
6.2.1	Einschalige und zweischalige Konstruktionen	126
6.2.2	Wasserdichte und Wasser ableitende Konstruktionen	127
6.3	Auskleidung mit Betontübbing	129
6.3.1	Allgemeines	129
6.3.2	Konstruktionsvarianten	131
6.3.2.1	Blocktübbinge mit rechteckigem Grundriss	131
6.3.2.2	Hexagonaltübbinge	135
6.3.2.3	Rhomboide und trapezoide Tübbingsysteme	136
6.3.2.4	Spreitzübbinge	137
6.3.2.5	Nachgiebige Auskleidungssysteme	138
6.3.3	Fugenausbildung	142
6.3.3.1	Längsfugen	143
6.3.3.2	Ringfugen	146
6.3.4	Tübbinge aus Stahlfaserbeton	149
6.3.5	Ringspaltverfüllung	150
6.3.5.1	Verfüllung mit Kies	150
6.3.5.2	Mörtelverpressung	151
6.3.6	Maßnahmen zur Abdichtung von Tunneln mit Tübbingauskleidung	151
6.3.6.1	Dichtungsbänder	151
6.3.6.2	Injektionen	154
6.3.7	Herstellung	154
6.3.8	Schäden	155
6.3.8.1	Schäden bei der Ringmontage	156
6.3.8.2	Schäden beim Vortrieb der Maschine	157
6.3.8.3	Schäden im Bereich der Schildschwanzdichtung	157
6.3.8.4	Schäden nach Verlassen des Schildes	158
6.3.8.5	Sanierung von Schäden	158

6.4	Ortbetonschalen	159
6.4.1	Allgemeines	159
6.4.2	Ausführung	159
6.4.3	Herstellung	160
6.5	Injektionsbeton, Extrubeton	161
6.6	Spritzbetonschalen als endgültige Auskleidung	167
6.7	Statische Untersuchungen	168
<b>7</b>	<b>Schildschwanzdichtung, Verpress- und Injektionsverfahren</b>	<b>169</b>
7.1	Schildschwanzdichtungen	169
7.1.1	Kunststoffdichtungen	170
7.1.2	Stahlbürstendichtung	172
7.1.3	Äußere Schildschwanzdichtung	173
7.1.4	Elastisch gestützte Stirnschalung beim Extrudierverfahren	173
7.2	Verpressverfahren	174
7.2.1	Anforderungen	174
7.2.2	Konzeption	176
7.2.3	Verpresssysteme	177
7.2.4	Verpressgut	181
7.3	Injektionsverfahren zur Baugrundverbesserung	182
7.3.1	Maschinen- und Gerätetechnik	183
7.3.2	Injektionsmittel	185
7.3.3	Injektionsarbeiten Kanaltunnel	187
<b>8</b>	<b>Offene Schilde</b>	<b>191</b>
8.1	Schildkonstruktionen	191
8.1.1	Handschilde	192
8.1.2	Abbau im Teilschnitt	193
8.1.3	Abbau im Vollschnitt	195
8.2	Projekte	195
8.2.1	Beispiel: Eurotunnel – Unterquerung des Ärmelkanals, 1988 bis 1991	195
8.2.2	Tunnel Arrowhead	205
8.3	Doppelschilde [203]	210
8.3.1	Entwicklungen	210
8.3.2	Funktionsprinzip	211
8.3.3	Besonderheiten	212
8.3.3.1	Schildmantel und Bentonitschmierung	212
8.3.3.2	Teleskopschild	212
8.3.3.3	Beispiele	213
<b>9</b>	<b>Druckluftschilde</b>	<b>217</b>
9.1	Funktionsprinzip	218
9.2	Drucklufteinrichtungen	219
9.2.1	Druckluftschleusen	220
9.2.2	Druckluftversorgung	222
9.2.3	Druckluftverordnung	224

9.3	Luftbedarf. . . . .	226
9.3.1	Luftbedarfsermittlung . . . . .	226
9.3.2	Sicherheitsnachweise (Ausbläuersicherheit) . . . . .	228
9.3.3	Sonderverfahren. . . . .	230
9.4	Weiterentwicklungen . . . . .	231
9.4.1	Druckluftschild mit druckfreiem Arbeitsraum und Vollschnittabbau	231
9.4.2	Druckluftschild mit druckfreien Arbeitsräumen und Teilschnittabbau. . . . .	232
9.4.3	Membranschild . . . . .	233
9.5	Einsatz von Druckluft bei anderen Schildtypen . . . . .	234
9.6	Beispiele . . . . .	234
9.6.1	Alter Elbtunnel bei den St.-Pauli-Landungsbrücken, 1907 bis 1911. .	234
9.6.2	Energieversorgungstunnel unter der Kieler Förde, 1989/90 . . . . .	236
<b>10</b>	<b>Flüssigkeitsschilde</b> . . . . .	241
10.1	Entwicklungsgeschichte . . . . .	241
10.2	Funktionsprinzip. . . . .	244
10.3	Einsatzbereiche. . . . .	246
10.4	Maschinentypen . . . . .	247
10.4.1	Vollschnittmaschinen mit Flüssigkeitsstützung. . . . .	247
10.4.1.1	Teilschnittmaschinen mit Flüssigkeitsstützung . . . . .	251
10.5	Maschinen- und Verfahrenstechnik . . . . .	253
10.5.1	Bodenabbau . . . . .	253
10.5.2	Bodentransport. . . . .	254
10.6	Beispiele . . . . .	256
10.6.1	Westerschelde . . . . .	256
10.6.2	Unterinntalbahn, Tunnel Münster/Wiesing, Hauptbaulos H3-4; Tunnel Jenbach/Wiesing, Hauptbaulos H8, 2007 bis 2009 . . . . .	262
10.6.3	Vierte Röhre Elbtunnel . . . . .	266
10.6.4	Chongming . . . . .	269
<b>11</b>	<b>Erddruckschilde</b> . . . . .	273
11.1	Entwicklungsgeschichte . . . . .	273
11.2	Funktionsprinzip. . . . .	274
11.2.1	Stützdruckmessung und -kontrolle . . . . .	274
11.2.2	Bodenkonditionierung . . . . .	277
11.2.3	Massen-Volumen-Kontrolle. . . . .	278
11.3	Einsatzbereiche. . . . .	280
11.4	Betriebsmodi und Ausbruchförderung . . . . .	282
11.4.1	Offener Modus (Förderschnecke – Förderband) . . . . .	283
11.4.2	Geschlossener Modus (Förderschnecke – Förderband) . . . . .	283
11.4.3	Geschlossener Modus (hydraulischer Förderkreislauf) . . . . .	284
11.4.4	EPB Modus (Förderschnecke – Förderband oder Förderschnecke – Dickstoffpumpe). . . . .	284
11.4.5	Offener Modus (Förderband). . . . .	284

11.5	Konstruktionselemente .....	286
11.5.1	Schneidrad .....	286
11.5.2	Lagerungs- und Antriebskonstruktionen .....	287
11.5.3	Abbaukammer .....	289
11.5.4	Schneckenförderer .....	290
11.5.5	Schaumkonditionierung .....	292
11.6	Beispiele .....	295
11.6.1	Katzenbergtunnel, Neubaustrecke Karlsruhe – Basel, 2005 bis 2007 ..	295
11.6.2	Madrid M-30 (Bypass Sur Tunnel Nord) .....	299
11.6.3	Heathrow .....	305
11.6.4	DTSS Singapur .....	306
12	<b>Kombinierte Schild</b> .....	311
12.1	Entwicklungsstrategien .....	313
12.1.1	Kombinierter Schild mit integrierten Komponenten für mehrere Betriebsarten .....	313
12.1.2	Baukastensysteme .....	315
12.2	Maschinenkonzepte .....	316
12.2.1	Mixschild .....	316
12.2.2	Polyschild .....	318
12.3	Beispiele .....	318
12.3.1	Grauholtztunnel, 1990 bis 1993 .....	318
12.3.2	Zürich Thalwil Los 2.01 .....	322
12.3.3	Socatop .....	326
13	<b>Sonderschilde und Sonderverfahren</b> .....	329
13.1	Messerschilde .....	329
13.1.1	Ortsbruststützung bei Messerschilden .....	331
13.1.2	Sicherungsarten bei Messerschilden .....	332
13.2	Multibrustschilde .....	336
13.2.1	Anordnung der Schneidräder bei Multibrustschilden .....	338
13.2.2	Tunnelsicherung bei Multibrustschilden .....	339
13.3	Aufweitungen von Schildtunneln .....	340
13.4	Vorpressungen .....	344
13.4.1	Rohrvorpressungen .....	344
13.4.2	Durchpressungen von Großquerschnitten .....	346
13.5	Neue Konzepte für den maschinellen Tunnelbau im Schildvortrieb .....	349
13.5.1	Schildmaschinen für flexible Querschnitte .....	349
13.5.2	Ultra Flexible Shield .....	351
13.5.3	Horizontal- und Vertikal-Schildmaschinen .....	351
13.5.4	Aufweitungsschilde .....	352
13.5.5	Rotationsschilde .....	352
13.5.6	Shield Docking Method .....	353

<b>14</b>	<b>Steuerbare Verfahren für den Mikrotunnelbau</b>	<b>357</b>
14.1	Pilotrohrbohrverfahren	358
14.2	Pressbohrverfahren	359
14.3	Schildvortriebsverfahren	361
14.4	Englisches Mini-Tunnelbausystem	364
14.5	Neue Entwicklungen	365
<b>15</b>	<b>Vermessung und Steuerung</b>	<b>369</b>
15.1	Vermessung	370
15.1.1	Navigation mit Vortriebslaser und automatischer Zieltafel	371
15.1.2	Navigation mit Kreiselssystemen und Schlauchwasserwaage	372
15.1.3	Navigation mit Totalstation und Zieltafel	372
15.1.4	Navigation mit Totalstation und Prismen	374
15.2	Ringbaudesign und Ringbaufolgeberechnung	374
15.3	Ringkonvergenzmessung	375
15.4	Steuerung	375
15.5	Weitergehende Aufgaben der Vermessung bzw. Datenerfassung	378
<b>16</b>	<b>Arbeitssicherheit</b>	<b>381</b>
16.1	Allgemeine sicherheitstechnische Anforderungen	382
16.2	Steuerstand	385
16.3	Sicherungs- und Schutzvorrichtungen	386
16.4	Bedienvorrichtungen und Steuersysteme	386
16.5	Schleppverbindung	389
16.6	Laserführung	389
16.7	Lüftung und die Kontrolle von Staub und Gas	389
16.8	Feuerschutzmaßnahmen	390
16.9	Lagerung von Sicherheitsausrüstung für das Personal	391
16.10	Wartung	391
16.11	Benutzerinformationen	392
16.12	Gefährdungsbeurteilung Maschineller Tunnelvortrieb [26]	392
<b>17</b>	<b>Partnerschaftliche Vertragsmodelle und Bauabwicklung</b>	<b>405</b>
17.1	Einleitung	405
17.2	Anforderungen an die Vertragsmodelle	406
17.3	Vertragsmodelle gemäß VOB	407
17.4	Zeit- und Kostentreiber	408
17.5	Performancekiller Unterverpreisung	409
17.6	Chancen und Risiken durch Partnering	410
17.7	Partnering – vertragliche Umsetzung	411
17.8	Partnering – gemeinsame Prozessoptimierung	412
<b>18</b>	<b>Prozess-Controlling und Datenmanagement</b>	<b>415</b>
18.1	Einleitung	415
18.2	Vorgehensweise	415
18.3	Datenmanagement	417

18.4	Soll-Ist-Vergleich .....	418
18.5	Soll-Prozessstruktur .....	419
18.6	Ist-Prozessanalyse.....	421
<b>19</b>	<b>DAUB-Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen.....</b>	<b>423</b>
19.1	Vorbemerkungen.....	423
19.2	Regelwerke.....	424
19.2.1	Nationale Regelwerke .....	424
19.2.2	Internationale Regelwerke.....	425
19.2.3	Vorschriften und sonstige Regeln .....	425
19.3	Definitionen und Abkürzungen .....	426
19.3.1	Definitionen .....	426
19.3.2	Abkürzungen .....	428
19.4	Anwendung und Struktur der Empfehlung .....	428
19.5	Typisierung der Tunnelvortriebsmaschinen .....	430
19.5.1	Einteilung von Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) .....	430
19.5.2	Tunnelbohrmaschinen (TBM).....	430
19.5.2.1	Tunnelbohrmaschinen ohne Schild (Gripper-TBM) .....	430
19.5.2.2	Erweiterungstunnelbohrmaschinen (ETBM).....	432
19.5.2.3	Tunnelbohrmaschinen mit Schild (TBM-S) .....	432
19.5.3	Doppelschildmaschinen (DSM) .....	432
19.5.4	Schildmaschinen (SM) .....	432
19.5.4.1	Schildmaschinen mit Vollschnittabbau (SM-V) .....	433
19.5.4.2	Schildmaschinen mit Teilflächenabbau (SM-T) .....	435
19.5.5	Anpassbare Schildmaschinen mit kombinierter Verfahrenstechnik (KSM) .....	436
19.5.6	Sonderformen .....	436
19.5.6.1	Messerschilde .....	436
19.5.6.2	Schilde mit Mehrfach-Kreisquerschnitten.....	437
19.5.6.3	Gelenkschilde .....	437
19.5.7	Sicherung und Ausbau.....	437
19.5.7.1	Tunnelbohrmaschinen (TBM).....	437
19.5.7.2	Tunnelbohrmaschinen mit Schild (TBM-S), Schildmaschinen (SM, DSM, KSM) .....	438
19.5.7.3	Vorausseilende Sicherung .....	440
19.5.7.4	Sicherung im Bereich der Tunnelvortriebsmaschine.....	440
19.6	Baugrund und Systemverhalten .....	440
19.6.1	Vorbemerkungen .....	440
19.6.2	Gebirgsstandfestigkeit und Ortsbruststützung.....	441
19.6.3	Bodenabbau.....	441
19.6.3.1	Verklebung.....	442
19.6.3.2	Verschleiß .....	442
19.6.3.3	Bodenkonditionierung.....	443
19.6.3.4	Bodenseparierung .....	444
19.6.3.5	Bodentransport und Deponierung .....	444
19.7	Umweltaspekte .....	445



19.8	Sonstige Projektrandbedingungen .....	447
19.9	Einsatzbereiche und Auswahlkriterien .....	448
19.9.1	Allgemeine Hinweise zur Anwendung der Tabellen .....	448
19.9.1.1	Haupteinsatzbereiche .....	448
19.9.1.2	Mögliche Einsatzbereiche .....	449
19.9.1.3	Kritische Einsatzbereiche .....	449
19.9.1.4	Klassifizierung im Lockergestein .....	449
19.9.1.5	Klassifizierung im Fels .....	449
19.9.2	Hinweise zu den einzelnen TVM-Typen .....	449
19.9.2.1	TBM (Tunnelbohrmaschine) .....	449
19.9.2.2	DSM (Doppelschildmaschinen) .....	450
19.9.2.3	SM-V1 (Vollschnittabbau, Ortsbrust ohne Stützung) .....	450
19.9.2.4	SM-V2 (Vollschnittabbau, Ortsbrust mit mechanischer Stützung) ..	450
19.9.2.5	SM-V3 (Vollschnittabbau, Ortsbrust mit Druckluftbeaufschlagung)	450
19.9.2.6	SM-V4 (Vollschnittabbau, Ortsbrust mit Flüssigkeitsstützung) ...	451
19.9.2.7	SM-V5 (Vollschnittabbau, Ortsbrust mit Erddruckstützung) .....	451
19.9.2.8	SM-T1 (Teilflächenabbau, Ortsbrust ohne Stützung) .....	451
19.9.2.9	SM-T2 (Teilflächenabbau, Ortsbrust mit mechanischer Teilstützung) .....	452
19.9.2.10	SM-T3 (Teilflächenabbau, Ortsbrust mit Druckluftbeaufschlagung)	452
19.9.2.11	SM-T4 (Teilflächenabbau, Ortsbrust mit Flüssigkeitsstützung) ...	452
19.9.2.12	KSM (kombinierte Verfahrenstechnik) .....	452
19.10	Anlagen .....	452
<b>Literaturverzeichnis .....</b>		<b>473</b>
<b>Register .....</b>		<b>487</b>