

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Geologische Vorerkundung	5
2.1	Geologische Begriffe	5
2.2	Problem- und Störzonen im Tunnelbau	6
2.3	Phasen der Gebirgsvorerkundung	6
2.4	Bohrerkundungen	11
2.4.1	Rammsondierungen	11
2.4.2	Bohrverfahren	11
2.4.3	Planung der Ausführung der Bohrungen	16
2.5	Geophysikalische Gebirgsvorerkundung	17
2.5.1	Einsatz geophysikalischer Methoden zur Ergänzung von singulären, bodenmechanischen Aufschlüssen	17
2.5.2	Geophysikalische Verfahren und mögliche Einsatzgebiete	18
2.5.3	Seismische Verfahren von der Erdoberfläche	20
2.6	Flachwasserseismik	22
2.6.1	Baubegleitende, seismische Vorerkundung an der Ortsbrust	25
2.6.2	Bohrlochkalibrierungsverfahren	26
2.6.3	Interpretation von geophysikalischen Messergebnissen	27
2.6.4	Ausblick	27
2.7	Hydrologische Vorerkundung	28
2.8	Beschreibung der geologischen und hydrologischen Ergebnisse	30
3	Beurteilung des Gebirges / Gebirgs- und Ausbruchklassifizierung	35
3.1	Klassifizierungssysteme	35
3.2	Klassifizierung nach dem Phänomen des Gebirgsverhaltens	36
3.2.1	Gefährdungsbilder im Lockergestein	37
3.2.2	Gefährdungsbilder im Fels	40
3.3	Klassifizierung nach der Stehzeit des Gebirges	42
3.4	Klassifizierung nach Ausbruch- bzw. Vortriebsklassen	46
3.4.1	Einleitung	46
3.4.2	Klassifizierung nach Sicherungsmassnahmen und Ausbrucharten	46
3.5	Interdisziplinäre Zusammenarbeit	51
4	Untertagebauwerke und ihre Ausbrucharten	53
4.1	Arten von Untertagebauwerken	53
4.2	Wahl der Ausbrucharten	54
4.3	Vollausbruch	56
4.3.1	Vollausbruch mit ebener Ortsbrust	56
4.3.2	Stufenausbruch	58
4.4	Teilausbruch	58
4.4.1	Kalottenvortriebe	59

- 4.4.2 Paramentvortrieb – Spritzbetonkernbauweise 60
- 4.4.3 Weitere Ausbrucharten 62
- 4.4.4 Sohl-, Mittel- oder Firststollen zur Vorerkundung des Gebirges 62
- 4.4.5 Festlegung der Baumethode 62

- 5 Vortriebsmethoden 67**

- 6 Ausbruch durch Sprengvortrieb 71**
 - 6.1 Allgemeines 71
 - 6.2 Bohren 73
 - 6.2.1 Die Bohrer 73
 - 6.2.2 Bohrmaschinen (Bohrhämmer) 74
 - 6.2.3 Bohrwagen 75
 - 6.2.4 Die Entwicklung der Bohrtechnik 78
 - 6.2.5 Teilrobotisierung der Bohrtechnik mittels Elektronik und Computerunterstützung 78
 - 6.3 Sprengen 79
 - 6.3.1 Allgemeines 79
 - 6.3.2 Sprengstoffe 80
 - 6.3.3 Zündmittel 84
 - 6.3.4 Laden, Verdämmen 92
 - 6.3.5 Zündvorgang 94
 - 6.3.6 Sprengwirkung 94
 - 6.3.7 Sprengschemata im Tunnelbau 96
 - 6.3.8 Einbruchtechniken der Ortsbrust 97
 - 6.3.9 Profilgenaues und schonendes Sprengen 124
 - 6.4 Schüttern 128
 - 6.4.1 Allgemeines 128
 - 6.4.2 Ladegeräte 129
 - 6.4.3 Übergabegeräte 131

- 7 Mechanischer Vortrieb mittels Bagger, Rippergeräten und Teilschnittmaschinen (TSM) 133**
 - 7.1 Ausbruch durch Bagger 133
 - 7.2 Rippern 134
 - 7.3 Aufbau einer TSM 135
 - 7.4 TSM – Einsatzbereich 136
 - 7.5 TSM – Längs- und Querschneidkopf 136
 - 7.6 TSM – Schrämkopfmeissel 137
 - 7.7 TSM – Schrärmarm mit Schwenkwerk 140
 - 7.8 TSM – Ladevorrichtungen 141
 - 7.9 TSM – Trägergerät 143
 - 7.10 TSM – Sonderausführung 145
 - 7.11 TSM – Vortriebssequenzen und Baustellenlogistik 145
 - 7.12 TSM – Entstaubungsmassnahmen 146
 - 7.13 Automatisierte Steuerung der Teilschnittmaschinen 148
 - 7.14 Leistungsberechnung von TSM 148
 - 7.15 Neueste Entwicklungen bei TSM 153
 - 7.16 TSM – Vor- und Nachteile 154

8	Sicherungsmaßnahmen	157
8.1	Allgemeines	157
8.2	Spritzbeton	157
8.2.1	Allgemeines	157
8.2.2	Spritzverfahren	159
8.2.3	Spritzbetonsysteme	171
8.2.4	Ausgangsstoffe des Spritzbetons	173
8.2.5	Optimierung des Spritzbetoneinsatzes	183
8.2.6	Rückprall	188
8.2.7	Staubentwicklung	193
8.2.8	Festigkeit, Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit	195
8.2.9	Festigkeit des jungen Spritzbetons	196
8.2.10	Schwindverhalten und Nachbehandlung von Spritzbeton	197
8.2.11	Verhalten von Spritzbeton unter hohen und tiefen Temperatureinwirkungen	198
8.2.12	Stahlfaserspritzbeton	199
8.2.13	Ausführung von Spritzbeton in druckhaftem Gebirge	201
8.2.14	Arbeitssicherheit	202
8.2.15	Maschinentechnik	203
8.2.16	Spritzbetonroboter	204
8.2.17	Herstellungsbedingte Fehler im Spritzbeton	208
8.3	Anker	212
8.3.1	Tragwirkung	212
8.3.2	Ankersysteme	213
8.3.3	Setzen von Ankern	220
8.3.4	Ankersetztechnik bei Systemankerung	222
8.4	Einbaubogenversetz- und Betonstahlmattenverlegegeräte	223
8.5	Ausbaubögen bzw. Einbaubögen	224
8.6	Berechnungsbeispiel – Leistungsermittlung und Bauprogramm eines konventionellen Vortriebs mit Ausbruchssicherung	227
9	Vortrieb mittels Schirmgewölbesicherungen	235
9.1	Arten der vorseilenden Gewölbesicherungen	235
9.2	Vorfändung mittels Verzugsblechen und Kanaldielen	235
9.2.1	Sichern mit Verzugsblechen	235
9.2.2	Sichern mit Pfandblechen und Kanaldielen	236
9.3	Sicherung mittels Spiessen	237
9.3.1	Herstellung und Vortrieb	237
9.3.2	Baustelleneinrichtung	240
9.4	Rohrschirmgewölbe	240
9.4.1	Herstellung und Vortrieb	240
9.4.2	Baustelleneinrichtung zur Herstellung des Schirmgewölbes	245
9.5	Injektionstechnik im Tunnelbau	245
9.5.1	Einsatz und Verfahrensauswahl	245
9.5.2	HDI-Technik	247
9.5.3	HDI-Gewölbeschirm im Lockergestein	251
9.5.4	Kombiniertes Rohr- und HDI-Schirmgewölbe	255
9.6	Injektionsstabilisierung	260
9.6.1	Ortsbruststabilisierung	260
9.6.2	Injektionszwiebeltechnik zur Durchörterung von grundwasserführenden Störzonen	262
9.6.3	Soilfracturing im Tunnelbau zum Ausgleich von Setzungen	265
9.7	Gefrierschirme	269

10	Transport des Ausbruchmaterials aus dem Tunnel	271
10.1	Transportsysteme	271
10.2	Stetigförderer	271
10.3	Gleisbetrieb	280
10.3.1	Schutterzüge	280
10.3.2	Bunker- und Förderbandzüge	281
10.3.3	California-Weiche	282
10.3.4	Vor- und Nachteile des Gleisbetriebs	283
10.4	Pneu-Radgebundener Transport	283
10.4.1	Muldenkipper- bzw. Dumpertransporte	283
10.4.2	Fahrladerbetrieb	284
10.5	Entwicklungen in der Schuttertechnik	284
11	Temporäre Entwässerungs- und Absperrmassnahmen	287
11.1	Wasserhaltung der Baustelle	287
11.1.1	Allgemeines	287
11.1.2	Drainagemassnahmen	288
11.1.3	Grundwasserabsenkung und Grundwasserabspernung	290
11.2	Injektionsverfahren zur temporären und permanenten Abspernung von Grundwasser	290
11.2.1	Injektionsmittel	290
11.2.2	Injektionen mit Zementen	291
11.2.3	Injektionen mit reaktiven Kunstharzen	294
11.2.4	Zweck der Injektion	295
11.2.5	Baubetrieb und Kosten	299
11.2.6	Checklisten zur Injektionsauswahl	301
11.2.7	Injektionsverfahren zur Abspernung von Berg- und Grundwasser	301
11.2.8	Konventionelle Injektionsverfahren	306
11.2.9	Hochdruckinjektionsverfahren (HDI)	317
11.2.10	Beispiele für HDI-Abdichtungen im Lockergestein	321
11.2.11	Folgerungen	322
11.3	Gefrierverfahren	326
11.3.1	Allgemeines	326
11.3.2	Technologie und physikalisches Prinzip	326
11.3.3	Grundlagen der Bemessung	328
11.3.4	Festigkeit	332
11.3.5	Dichtigkeit und Kontrolle	332
11.3.6	Baustelleneinrichtung	333
12	Permanente Hauptabdichtung von Tunnelbauwerken	335
12.1	Hauptabdichtungsarten	335
12.2	Einflussfaktoren auf Art und Anordnung der Abdichtung	339
12.2.1	Interaktion – Gebirge, Bauwerk und Bauweise	339
12.2.2	Einfluss des Gebirgswassers	340
12.2.3	Einfluss der Tunnelnutzung	341
12.3	Anforderungen an Tunnelabdichtungen	342
12.4	Dichtungskonzepte	344
12.5	Dichtungselemente und Dichtungsmaterialien	345
12.5.1	Wasserundurchlässiger Beton	345
12.5.2	Kunststoffmodifizierte Mörtel und Betone	346
12.5.3	Folienabdichtung	347
12.5.4	Aufgespritzte Abdichtung	350

- 12.5.5 Metallabdichtungen 351
- 12.5.6 Injektionen 351
- 12.6 Drainage 351
- 12.7 Verlegetechnik von Abdichtungsfolien bei bergmännischen Tunneln 354
 - 12.7.1 Isolierungsaufbau 354
 - 12.7.2 Folienbefestigung 355
 - 12.7.3 Folienverlegung 357
- 12.8 Material- und Leistungskennwerte 358
- 12.9 Sicherheit / Brandschutz 358

- 13 Hohlraumauskleidung 359**
 - 13.1 Problemstellung 359
 - 13.2 Stollenauskleidungen 360
 - 13.2.1 Verwendungszweck von Stollen 360
 - 13.2.2 Stollenschalungen 361
 - 13.2.3 Betonieren von Stollen 367
 - 13.3 Tunnelauskleidungen 369
 - 13.3.1 Arbeitsabläufe 369
 - 13.3.2 Ortbetontunnelsohle 369
 - 13.3.3 Tunnelauskleidung des Parament- und Kalottenbereichs 372
 - 13.3.4 Tunnelzwischendecken und Trennwand 376
 - 13.4 Erforderliche Schalungslänge 377
 - 13.5 Kavernenauskleidung 379
 - 13.6 Bemessung der Schalungen 379
 - 13.7 Schalungskosten 379

- 14 Arten von Tunnelvortriebsmaschinen 381**
 - 14.1 Einsatzbereiche 381
 - 14.2 Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen 384
 - 14.3 Tunnelbohrmaschinen (TBM) 387
 - 14.4 Schildmaschinen 388
 - 14.5 Sonderformen von Schildmaschinen 391

- 15 Tunnelbohrmaschinen (TBM) 393**
 - 15.1 Einsatz von Tunnelbohrmaschinen 393
 - 15.2 Gripper-TBM 395
 - 15.2.1 Aufbau der Gripper-TBM 395
 - 15.2.2 Bohrkopf 397
 - 15.2.3 Bohrkopfantrieb und Hauptlager 398
 - 15.2.4 Bohrkopfmantel 401
 - 15.2.5 Innen- und Aussenkelly mit Verspann- und Vorschubeinrichtung 401
 - 15.2.6 Mechanische Hilfseinrichtung 402
 - 15.2.7 Arbeits- und Unterhaltszyklen einer Gripper-TBM 403
 - 15.3 Aufweitungs-TBM 404
 - 15.4 Schild-TBM 406
 - 15.5 Teleskopschild-TBM 407
 - 15.6 Berechnung der Vorschubpressenkräfte während des Vortriebszyklus 410
 - 15.7 Abbauwerkzeuge 412
 - 15.8 Die Berechnung der Nettovortriebsleistung 416
 - 15.9 Berechnungsbeispiel – Leistungsermittlung und Bauprogramm eines TBM-Vortriebs mit Ausbruchssicherung 422
 - 15.10 Nachläufer 426
 - 15.11 Schutterung 432

- 15.12 Steuerung 433
- 15.13 TBM-Planungsaspekte sowie Vor- und Nachteile 435

- 16 Tunnelvortrieb mittels Hinterschneidtechnik 437**
 - 16.1 Einsatzbereich und Leistungen 437
 - 16.2 Wirkprinzip 438
 - 16.3 Maschinenkonzept 439

- 17 Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial 441**
 - 17.1 Tunnelausbruchmaterial als Baustoff 441
 - 17.2 Technische Einflüsse auf die Qualität des Ausbruchmaterials 442
 - 17.3 Beurteilung des Ausbruchmaterials 442
 - 17.3.1 Erstellung eines Materialbewirtschaftungskonzeptes 442
 - 17.3.2 Prüfverfahren zur Beurteilung des Ausbruchmaterials 444
 - 17.4 Aufbereitung von geeignetem TBM-Ausbruchmaterial 446

- 18 Schildvortriebsmaschinen 449**
 - 18.1 Einsatz und Arten von Schildmaschinen 449
 - 18.2 Abbaueinrichtungen von Schildmaschinen 452
 - 18.2.1 Teilschnittabbaueinrichtung und Antrieb 452
 - 18.2.2 Schneidrad und Antrieb 453
 - 18.2.3 Schneidradlagerung und -antrieb 455
 - 18.2.4 Abbauwerkzeuge 456
 - 18.3 Schild 458
 - 18.3.1 Schildmantel 458
 - 18.3.2 Schildschwanzdichtung 458
 - 18.3.3 Ringspaltverpressung 460
 - 18.4 Vorschub- und Steuerpressen 462
 - 18.5 Erddruckschilde 464
 - 18.6 Flüssigkeitsschilde 467
 - 18.7 Druckluftschilde 471
 - 18.8 Fördertechnik 472
 - 18.8.1 Allgemeines 472
 - 18.8.2 Trockenförderung 473
 - 18.8.3 Dickstoffförderung 474
 - 18.8.4 Flüssigkeitsförderung 475
 - 18.8.5 Separationstechnik 477
 - 18.9 Tübbingerektor 481
 - 18.10 Bohrtechnik für die punktuelle Vorauserkundung und zur Herstellung von Injektionsschirmen 481
 - 18.11 Nachläufersysteme 483
 - 18.11.1 Konzeptioneller Aufbau eines Nachläufers für Flüssigkeitsschilde 483
 - 18.11.2 Konzeptioneller Aufbau eines Erdschild-Nachläufers 489
 - 18.12 Spezialschildkonstruktionen 491
 - 18.12.1 Universal- bzw. Kombinationsschilde 491
 - 18.12.2 Multiface-Schild 494
 - 18.12.3 Messerschilde 495
 - 18.13 Start-, Ziel- und Zwischenbaugrube 501
 - 18.14 Sicherheitsanforderungen 506

- 18.15 Entwicklungstendenzen 508
- 18.16 Fehlerquellen beim Tunnelvortrieb mittels Schildmaschine 509

- 19 Tübbingauskleidung 511**
 - 19.1 Berechnung von Tunnelröhren mit Tübbingauskleidung 511
 - 19.2 Konstruktive Ausbildung der Tübbinge 516
 - 19.3 Herstellung von Tübbing 518
 - 19.4 Versetzen der Tübbinge im Tunnel 523

- 20 Steuerung von Vorschubpressenkräften und Setzungen sowie Vortriebsrichtung 525**
 - 20.1 Nachweis der Ortsbruststabilität 525
 - 20.1.1 Einführung 525
 - 20.1.2 Nachweise zur Berechnung des notwendigen Stützdrucks sowie der Aufbruch- und Ausblärsicherheit der Ortsbrust 527
 - 20.2 Ermittlung der erforderlichen Vorpresskräfte 527
 - 20.2.1 Allgemeines 527
 - 20.2.2 Einwirkungen 528
 - 20.2.3 Mantelreibung am Schildmantel 544
 - 20.2.4 Brustwiderstand 548
 - 20.2.5 Aufnehmbare Vorpresskräfte 552
 - 20.3 Berechnungsbeispiel – Hydroschildvortrieb 554
 - 20.3.1 Projektbeschreibung 554
 - 20.3.2 Wahl des Ortsbruststützmediums 556
 - 20.3.3 Erforderliche Vorschubkraft im Schnitt I nach Silotheorie 557
 - 20.3.4 Erforderliche Vorschubkraft im Schnitt II nach klassischer Erddrucktheorie 563
 - 20.3.5 Erforderliche Vorschubkraft im Festgestein 566
 - 20.3.6 Zusammenfassung der Vorschubkraftabschätzungen 567
 - 20.3.7 Flüssigkeitsförderung und Vortriebsgeschwindigkeit 567
 - 20.4 Setzungen und Hebungen 578
 - 20.5 Vermessung und Steuerung 579
 - 20.5.1 Überblick 579
 - 20.5.2 Vermessungstechnische Methoden zur Kontrolle der Fahrt 580
 - 20.5.3 Messsysteme zur Kontrolle der Fahrt 580

- 21 Baulüftungen von Untertagebauwerken 581**
 - 21.1 Allgemeines 581
 - 21.2 Lüftungssysteme 582
 - 21.3 Lüftungs- und Entstaubungsmassnahmen beim Einsatz von TSM und TBM 585
 - 21.3.1 Lüftungsanlagen 585
 - 21.3.2 Entstaubungsanlagen 587
 - 21.4 Installation in der Vortriebszone 590
 - 21.4.1 Blasende Belüftung 590
 - 21.4.2 Saugende Belüftung 590
 - 21.5 Installation der Baulüftung im Portalbereich 591
 - 21.6 Lutten 591
 - 21.6.1 Luttentypen und Luttenmaterial 591
 - 21.6.2 Installation der Lutte 591
 - 21.7 Ventilatoren 593
 - 21.8 Dimensionierung der Lutte und des Ventilators 594
 - 21.9 Instandhaltung 597

22	Vorbereitung und Logistik einer Tunnelbaustelle	599
22.1	Arbeitsvorbereitung	599
22.2	Einrichtung einer Baustelle	602
22.2.1	Allgemeines	602
22.2.2	Baustelleneinrichtungsplan / Installationsplan	602
22.2.3	Planung der Baustelleneinrichtung	605
22.2.4	Versorgungseinrichtungen	608
22.2.5	Bauten der Baustelle	615
22.2.6	Lager- und Bearbeitungsanlagen	617
22.2.7	Transportgeräte auf der Baustelle	619
22.3	Energieumsetzung auf der Baustelle	623
22.3.1	Elektrische Energie	623
22.3.2	Ermittlung des elektrischen Leistungsbedarfs	624
22.3.3	Verbrennungsmotoren	628
22.3.4	Ermittlung des Druckluftbedarfs	628
22.3.5	Hydraulik	629
22.3.6	Dampfenergie	629
22.4	Baustelleneinrichtungen des konventionellen Vortriebs	630
22.4.1	Installationen über Tag	630
22.4.2	Installationen unter Tag	631
22.5	Baustelleneinrichtungen des TBM-Vortriebs	631
22.5.1	Installations-Übersicht	631
22.5.2	Installationen über Tag	631
22.5.3	Installationen unter Tag	632
22.6	Gesamtinstallationen beim Schildvortrieb	634
22.6.1	Ausseninstallationen	634
22.6.2	Schachtinstallationen	634
22.6.3	Im Tunnel: Abbau und Transportgeräte sowie Unterstützungseinrichtungen	634
22.7	Zusammenfassung	635
23	Sicherheitsmanagement im Untertagebau	637
23.1	Baustellenumfeld	637
23.2	Der Integrale Sicherheitsplan der Schweizer Bauindustrie	638
23.2.1	Begriff und Ziele	638
23.2.2	Konzept der Integralen Sicherheit	640
23.2.3	Integraler Sicherheitsplan nach SIA 465 für die Bauphase	641
23.2.4	Eingegangene Risiken	644
23.2.5	Sicherheitsorganisation und Notmassnahmen	645
23.3	Der SIGEPLAN der deutschen Bau-Berufsgenossenschaften	646
23.3.1	Einleitung	646
23.3.2	Sicherheitsplanung	646
23.3.3	Umsetzung des Sicherheitsplans	649
23.4	Zusammenfassung	649
24	Projektentwicklungsformen als Schlüssel zu Innovation, Risikomanagement sowie Kostenoptimierung	651
24.1	Bauwirtschaftliche Veränderungen	651
24.2	Einflüsse und Grundvoraussetzungen für die richtige Wahl der Vertragsform zur schnellen und kostenoptimalen Realisierung von Projekten	652
24.2.1	Projektentwicklungsformen	652
24.2.2	Die Einzelleistungsträgerorganisation	654

- 24.2.3 Gesamtleistungsträgerorganisation mit Ausschreibung auf der Basis einer eingeschränkten Funktionalausschreibung 657
- 24.2.4 Totalleistungsträgerorganisation mit Ausschreibung auf der Basis einer Funktionalausschreibung 659
- 24.2.5 Zusammenfassung 662
- 24.3 Gestaltung der Ausschreibung und Risikomanagement als Schlüssel zur konfliktarmen Abwicklung von Projekten 662
 - 24.3.1 Risikomanagement 662
 - 24.3.2 Ausschreibungsgestaltung 665
 - 24.3.3 Vertragsgestaltung 667
 - 24.3.4 Entscheidungskonzept vor Ort 667
 - 24.3.5 Zusammenfassung 668
- 24.4 Kooperationen zur Entfaltung von Innovation und Synergien zwischen Planung und Ausführung zwecks Kostenoptimierung des Projekts 668
 - 24.4.1 Neue Anforderungen erfordern neues Denken 668
 - 24.4.2 Kooperation zum Aufbau von Systemangeboten im Tunnelbau 668
- 24.5 Zusammenfassung 670

Literaturverzeichnis 671

Stichwortverzeichnis 681