

Kurzübersicht

1	Einleitung	1
2	Geologische Vorerkundung	5
3	Beurteilung des Gebirges / Gebirgs- und Ausbruchklassifizierung	35
4	Untertagebauwerke und ihre Ausbrucharten	53
5	Vortriebsmethoden	67
6	Ausbruch durch Sprengvortrieb	71
7	Mechanischer Vortrieb mittels Bagger, Rippergeräten und Teilschnittmaschinen (TSM)	133
8	Sicherungsmassnahmen	157
9	Vortrieb mittels Schirmgewölbesicherungen	235
10	Transport des Ausbruchmaterials aus dem Tunnel	271
11	Temporäre Entwässerungs- und Absperrmassnahmen	287
12	Permanente Hauptabdichtung von Tunnelbauwerken	335
13	Hohlraumauskleidung	359
14	Arten von Tunnelvortriebsmaschinen	381
15	Tunnelbohrmaschinen (TBM)	393
16	Tunnelvortrieb mittels Hinterschneidtechnik	437
17	Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial	441
18	Schildvortriebsmaschinen	449
19	Tübbingauskleidung	511
20	Steuerung von Vorschubpressenkräften und Setzungen sowie Vortriebsrichtung	525
21	Baulüftungen von Untertagebauwerken	581
22	Vorbereitung und Logistik einer Tunnelbaustelle	599
23	Sicherheitsmanagement im Untertagebau	637
24	Projektabwicklungsformen als Schlüssel zu Innovation, Risikomanagement sowie Kostenoptimierung	651
	Literaturverzeichnis	671
	Stichwortverzeichnis	681

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	Schuttern	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	Rippen	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 vorausseilenden Gewölbesicherungen	235
9.2	Vorpfändung 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

