

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	27
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	37
3.2.1	Gefährdungsbilder im Lockergestein	39
3.2.2	Gefährdungsbilder im Fels	41
3.3	Klassifizierung nach der Stehzeit des Gebirges	43
3.4	Klassifizierung nach Ausbruch- bzw. Vortriebsklassen	46
3.4.1	Einleitung	46
3.4.2	Klassifizierung nach Sicherungsmassnahmen und Ausbrucharten	47
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)	75
6.2.3	Bohrwagen	76
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	93
6.3.5	Überprüfung des Zündkreislaufes	94
6.3.6	Zündvorgang	99
6.3.7	Sprengwirkung	99
6.3.8	Sprengschemata im Tunnelbau	102
6.3.9	Einbruchtechniken der Ortsbrust	103
6.4	Schüttern	134
6.4.1	Allgemeines	134
6.4.2	Ladegeräte	135
6.4.3	Brecheranlagen	139
6.4.3	Funktionsweise Backenbrecher	141
6.4.4	Funktionsweise Prallbrecher	142
6.5	Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – Industrialisierungstendenz im Sprengvortrieb [6-26]	142
6.5.1	Einleitung	142
6.5.2	Vergleich des Sprengvortriebs mit dem TBM-Vortrieb	143
6.5.3	Effizienzsteigerungspotential	144
7	Mechanischer Vortrieb mittels Bagger, Rippergeräten und Teilschnittmaschinen (TSM)	147
7.1..	Ausbruch durch Bagger	147
7.2	Rippen	148
7.3	Aufbau einer TSM	149
7.4	TSM – Einsatzbereich	150
7.5	TSM – Längs- und Querschneidkopf	150
7.6	TSM – Schrämkopfmeissel	151
7.7	TSM – Schrärmarm mit Schwenkwerk	154
7.8	TSM – Ladevorrichtungen	155
7.9	TSM – Trägergerät	157
7.10	TSM – Sonderausführung	159
7.11	TSM – Vortriebssequenzen und Baustellenlogistik	159
7.12	TSM – Entstaubungsmassnahmen	161
7.13	Automatisierte Steuerung der Teilschnittmaschinen	162

7.14	Leistungsberechnung von TSM	163
7.15	Neueste Entwicklungen bei TSM	168
7.16	TSM – Vor- und Nachteile	169
8	Sicherungsmassnahmen	171
8.1	Allgemeines	171
8.2	Spritzbeton	171
8.2.1	Allgemeines	171
8.2.2	Spritzverfahren	173
8.2.3	Spritzbetonsysteme	185
8.2.4	Ausgangsstoffe des Spritzbetons	187
8.2.5	Optimierung des Spritzbetoneinsatzes	197
8.2.6	Rückprall	202
8.2.7	Staubentwicklung	207
8.2.8	Festigkeit, Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit	210
8.2.9	Festigkeit des jungen Spritzbetons	211
8.2.10	Schwindverhalten und Nachbehandlung von Spritzbeton	211
8.2.11	Verhalten von Spritzbeton unter hohen und tiefen Temperatureinwirkungen	212
8.2.12	Stahlfaserspritzbeton	213
8.2.13	Ausführung von Spritzbeton in druckhaftem Gebirge	215
8.2.14	Arbeitssicherheit	216
8.2.15	Maschinentechnik	217
8.2.16	Spritzbetonroboter	220
8.2.17	Herstellungsbedingte Fehler im Spritzbeton	226
8.3	Anker	226
8.3.1	Tragwirkung	226
8.3.2	Ankersysteme	227
8.3.3	Setzen von Ankern	235
8.3.4	Ankersetztechnik bei Systemankerung	237
8.4	Einbaubogenversetz- und Betonstahlmattenverlegegeräte	238
8.5	Ausbaubögen bzw. Einbaubögen	239
9	Vortrieb mittels Schirmgewölbesicherungen	243
9.1	Arten der vorausseilenden Gewölbesicherungen	243
9.2	Vorpfändung mittels Verzugsblechen und Kanaldielen	243
9.2.1	Sichern mit Verzugsblechen	243
9.2.2	Sichern mit Pfandblechen und Kanaldielen	244
9.3	Sicherung mittels Spiessen	245
9.3.1	Herstellung und Vortrieb	245
9.3.2	Baustelleneinrichtung	248
9.4	Rohrschirmgewölbe	248
9.4.1	Herstellung und Vortrieb	248
9.4.2	Baustelleneinrichtung zur Herstellung des Schirmgewölbes	256
9.5	Injektionstechnik im Tunnelbau	256
9.5.1	Einsatz und Verfahrensauswahl	256
9.5.2	HDI-Technik	259
9.5.3	HDI-Gewölbeschirm im Lockergestein	263
9.5.4	Kombiniertes Rohr- und HDI-Schirmgewölbe	268
9.6	Injektionsstabilisierung	273
9.6.1	Ortsbruststabilisierung	273
9.6.2	Injektionszwiebeltechnik zur Durchörterung von grundwasserführenden Störzonen	275

9.6.3	Soilfracturing im Tunnelbau zum Ausgleich von Setzungen	278
9.7	Gefrierschirme	282
10	Transport des Ausbruchmaterials aus dem Tunnel	285
10.1	Transportsysteme	285
10.2	Stetigförderer	285
10.3	Gleisbetrieb	294
10.3.1	Schutterzüge	294
10.3.2	Bunker- und Förderbandzüge	295
10.3.3	California-Weiche	296
10.3.4	Vor- und Nachteile des Gleisbetriebs	297
10.4	Pneu-Radgebundener Transport	297
10.4.1	Muldenkipper- bzw. Dumpertransporte	297
10.4.2	Fahrladerbetrieb	298
10.5	Entwicklungen in der Schuttertechnik	298
11	Temporäre Entwässerungs- und Absperrmassnahmen	301
11.1	Wasserhaltung der Baustelle	301
11.1.1	Allgemeines	301
11.1.2	Drainagemassnahmen	302
11.1.3	Grundwasserabsenkung und Grundwasserabspernung	304
11.2	Injektionsverfahren zur temporären und permanenten Abspernung von Grundwasser	304
11.2.1	Injektionsmittel	304
11.2.2	Injektionen mit Zementen	305
11.2.3	Injektionen mit reaktiven Kunstharzen	308
11.2.4	Zweck der Injektion	309
11.2.5	Baubetrieb und Kosten	313
11.2.6	Checklisten zur Injektionsauswahl	315
11.2.7	Injektionsverfahren zur Abspernung von Berg- und Grundwasser	315
11.2.8	Konventionelle Injektionsverfahren	320
11.2.9	Hochdruckinjektionsverfahren (HDI)	331
11.2.10	Beispiele für HDI-Abdichtungen im Lockergestein	335
11.2.11	Folgerungen	336
11.3	Gefrierverfahren	340
11.3.1	Allgemeines	340
11.3.2	Technologie und physikalisches Prinzip	340
11.3.3	Grundlagen der Bemessung	342
11.3.4	Festigkeit	346
11.3.5	Dichtigkeit und Kontrolle	346
11.3.6	Baustelleneinrichtung	347
12	Industrialisierung des konventionellen Vortriebs	349
12.1	Industrialisierung in der Vortriebszone	349
12.1.1	Bohrtechnologie	349
12.1.2	Sprengtechnologie	350
12.1.3	Schuttertechnologie	350
12.1.4	Sicherungstechnologie	351
12.2	Parallelisierungsziele und Lösungsansätze für den rückwärtigen Bereich	354
12.3	Das Nachläufersystem als aufgehängte Plattform	355
12.4	Innovation	357
12.5	Entwicklungstendenzen beim Hochleistungssprengvortrieb	358
12.5.1	Vortrieb Kategorie I: standfester bis nachbrüchiger Fels	362

12.5.2	Vortrieb Kategorie 2: geringe Standfestigkeit	363
12.6	Zusammenfassung und Ausblick	363
13	Leistungsermittlung und Bauprogramm des konventionellen Vortriebs	365
14	Permanente Hauptabdichtung von Tunnelbauwerken	373
14.1	Hauptabdichtungsarten	373
14.2	Einflussfaktoren auf Art und Anordnung der Abdichtung	377
14.2.1	Interaktion – Gebirge, Bauwerk und Bauweise	377
14.2.2	Einfluss des Gebirgswassers	378
14.2.3	Einfluss der Tunnelnutzung	379
14.3	Anforderungen an Tunnelabdichtungen	380
14.4	Dichtungskonzepte	382
14.5	Dichtungselemente und Dichtungsmaterialien	383
14.5.1	Wasserundurchlässiger Beton	383
14.5.2	Kunststoffmodifizierte Mörtel und Betone	384
14.5.3	Folienabdichtung	385
14.5.4	Aufgespritzte Abdichtung	388
14.5.5	Metallabdichtungen	389
14.5.6	Injektionen	389
14.6	Drainage	389
14.7	Verlegetechnik von Abdichtungsfolien bei bergmännischen Tunneln	392
14.7.1	Isolierungsaufbau	392
14.7.2	Folienbefestigung	393
14.7.3	Folienverlegung	395
14.8	Material- und Leistungskennwerte	396
14.9	Sicherheit / Brandschutz	396
15	Hohlraumauskleidung	397
15.1	Problemstellung	397
15.2	Stollenauskleidungen	398
15.2.1	Verwendungszweck von Stollen	398
15.2.2	Stollenschalungen	399
15.2.3	Betonieren von Stollen	405
15.3	Tunnelauskleidungen	407
15.3.1	Arbeitsabläufe	407
15.3.2	Ortbetontunnelsohle	407
15.3.3	Tunnelauskleidung des Parament- und Kalottenbereichs	410
15.3.4	Tunnelzwischendecken und Trennwand	414
15.4	Erforderliche Schalungslänge	415
15.5	Kavernenauskleidung	417
15.6	Bemessung der Schalungen	417
15.7	Schalungskosten	417
16	Arten von Tunnelvortriebsmaschinen	419
16.1	Einsatzbereiche	419
16.2	Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen	424
16.3	Tunnelbohrmaschinen (TBM)	426
16.4	Schildmaschinen	427
16.5	Sonderformen von Schildmaschinen	430

17	Tunnelbohrmaschinen (TBM)	433
17.1	Einsatz von Tunnelbohrmaschinen	433
17.2	Gripper-TBM	435
17.2.1	Aufbau der Gripper-TBM	435
17.2.2	Bohrkopf	438
17.2.3	Bohrkopfantrieb und Hauptlager	439
17.2.4	Bohrkopfmantel	442
17.2.5	Innen- und Aussenkelly mit Spann- und Vorschubeinrichtung	442
17.2.6	Mechanische Hilfseinrichtung	443
17.2.7	Arbeits- und Unterhaltszyklen einer Gripper-TBM	444
17.3	Aufweitungs-TBM	445
17.4	Schild-TBM	447
17.5	Teleskopschild-TBM	448
17.6	Berechnung der Vorschubpressenkräfte während des Vortriebszyklus	451
17.7	Abbauwerkzeuge	453
17.8	Die Berechnung der Nettovortriebsleistung	458
17.9	Berechnungsbeispiel – Leistungsermittlung und Bauprogramm eines TBM-Vortriebs mit Ausbruchssicherung	464
17.10	Nachläufer	466
17.11	Schutterung	476
17.12	Steuerung	477
17.13	TBM-Planungsaspekte sowie Vor- und Nachteile	479
18	Tunnelvortrieb mittels Hinterschneidtechnik	481
18.1	Einsatzbereich und Leistungen	481
18.2	Wirkprinzip	482
18.3	Maschinenkonzept	483
19	Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial	487
19.1	Tunnelausbruchmaterial als Baustoff	487
19.2	Technische Einflüsse auf die Qualität des Ausbruchmaterials	488
19.3	Beurteilung des Ausbruchmaterials	489
19.3.1	Erstellung eines Materialbewirtschaftungskonzeptes	489
19.3.2	Prüfverfahren zur Beurteilung des Ausbruchmaterials	490
19.4	Aufbereitung von geeignetem TBM-Ausbruchmaterial	492
20	Schildvortriebsmaschinen	495
20.1	Einsatz und Arten von Schildmaschinen	495
20.2	Abbaueinrichtungen von Schildmaschinen	498
20.2.1	Teilschnittabbaueinrichtung und Antrieb	498
20.2.2	Schneidrad und Antrieb	499
20.2.3	Schneidradlagerung und -antrieb	502
20.2.4	Abbauwerkzeuge	502
20.3	Schild	505
20.3.1	Schildmantel	505
20.3.2	Schildschwanzdichtung	506
20.3.3	Ringspaltverpressung	507
20.4	Vorschub- und Steuerpressen	508
20.5	Erddruckschilde	512
20.6	Flüssigkeitsschilde	515
20.7	Druckluftschilde	520
20.8	Fördertechnik	521

20.8.1	Allgemeines	521
20.8.2	Trockenförderung	522
20.8.3	Dickstoffförderung	523
20.8.4	Flüssigkeitsförderung	525
20.8.5	Separationstechnik	527
20.9	Tübbingerektor	532
20.10	Bohrtechnik für die punktuelle Vorauserkundung und zur Herstellung von Injektionsschirmen	534
20.11	Nachläufersysteme	535
20.11.1	Konzeptioneller Aufbau eines Nachläufers für Flüssigkeitsschilde	536
20.11.2	Konzeptioneller Aufbau eines Erdschild-Nachläufers	543
20.12	Spezialschildkonstruktionen	546
20.12.1	Universal- bzw. Kombinationsschilde	546
20.12.2	Multiface-Schild	546
20.12.3	Messerschilde	550
20.13	Start-, Ziel- und Zwischenbaugrube	556
20.14	Sicherheitsanforderungen	564
20.15	Entwicklungstendenzen	566
20.16	Fehlerquellen beim Tunnelvortrieb mittels Schildmaschine	567
21	Tübbingauskleidung	569
21.1	Berechnung von Tunnelröhren mit Tübbingauskleidung	569
21.2	Konstruktive Ausbildung der Tübbinge	574
21.2.1	Ausbildung der Ring- und Längsfugen	574
21.2.2	Globale Tübbingform	576
21.3	Herstellung von Tübbing	578
21.4	Versetzen der Tübbinge im Tunnel	586
22	Steuerung von Vorschubpressenkräften und Setzungen sowie Vortriebsrichtung	587
22.1	Nachweis der Ortsbruststabilität	587
22.1.1	Einführung	587
22.1.2	Nachweise zur Berechnung des notwendigen Stützdrucks sowie der Aufbruch- und Ausbläsersicherheit der Ortsbrust	589
22.2	Ermittlung der erforderlichen Vorpresskräfte	589
22.2.1	Allgemeines	589
22.2.2	Einwirkungen	590
22.2.3	Mantelreibung am Schildmantel – Bereich I	606
22.2.4	Brustwiderstand	610
22.2.5	Aufnehmbare Vorpresskräfte	616
22.3	Berechnungsbeispiel – Hydroschildvortrieb	616
22.3.1	Projektbeschreibung	616
22.3.2	Wahl des Ortsbruststützmediums	618
22.3.3	Erforderliche Vorschubkraft im Schnitt I nach Silotheorie	619
22.3.4	Erforderliche Vorschubkraft im Schnitt II nach klassischer Erddrucktheorie	625
22.3.5	Erforderliche Vorschubkraft im Festgestein	628
22.3.6	Zusammenfassung der Vorschubkraftabschätzungen	629
22.3.7	Flüssigkeitsförderung und Vortriebsgeschwindigkeit	629
22.4	Setzungen und Hebungen	640
22.5	Vermessung und Steuerung	641
22.5.1	Überblick	641
22.5.2	Vermessungstechnische Methoden zur Kontrolle der Fahrt	642
22.5.3	Messsysteme zur Kontrolle der Fahrt	642

23	Baulüftungen von Untertagebauwerken	643
23.1	Allgemeines	643
23.2	Lüftungssysteme	644
23.3	Lüftungs- und Entstaubungsmassnahmen beim Einsatz von TSM und TBM	647
23.3.1	Lüftungsanlagen	647
23.3.2	Entstaubungsanlagen	649
23.4	Installation in der Vortriebszone	654
23.4.1	Blasende Belüftung	654
23.4.2	Saugende Belüftung	655
23.5	Installation der Baulüftung im Portalbereich	655
23.6	Lutten	655
23.6.1	Luttentypen und Luttenmaterial	655
23.6.2	Installation der Lutte	656
23.7	Ventilatoren	657
23.8	Dimensionierung der Lutte und des Ventilators	658
23.9	Instandhaltung	661
24	Vorbereitung und Logistik einer Tunnelbaustelle	663
24.1	Arbeitsvorbereitung	663
24.2	Einrichtung einer Baustelle	666
24.2.1	Allgemeines	666
24.2.2	Baustelleneinrichtungsplan/Installationsplan	666
24.2.3	Planung der Baustelleneinrichtung	669
24.2.4	Versorgungseinrichtungen	672
24.2.5	Bauten der Baustelle	680
24.2.6	Lager- und Bearbeitungsanlagen	681
24.2.7	Transportgeräte auf der Baustelle	683
24.3	Energieumsetzung auf der Baustelle	687
24.3.1	Elektrische Energie	687
24.3.2	Ermittlung des elektrischen Leistungsbedarfs	688
24.3.3	Verbrennungsmotoren	692
24.3.4	Ermittlung des Druckluftbedarfes	692
24.3.5	Hydraulik	693
24.3.6	Dampfenergie	693
24.4	Baustelleneinrichtungen des konventionellen Vortriebs	694
24.4.1	Installationen über Tag	694
24.4.2	Installationen unter Tage	695
24.5	Baustelleneinrichtungen des TBM-Vortriebs	695
24.5.1	Installations-Übersicht	695
24.5.2	Installationen über Tag	695
24.5.3	Installationen unter Tag	696
24.6	Gesamtinstallationen beim Schildvortrieb	698
24.6.1	Ausseninstallationen	698
24.6.2	Schachtinstallationen	698
24.6.3	Im Tunnel: Abbau und Transportgeräte sowie Unterstützungseinrichtungen	698
24.7	Zusammenfassung	699
25	Sicherheitsmanagement im Untertagebau	701
25.1	Baustellenumfeld	701
25.2	Der Integrale Sicherheitsplan der Schweizer Bauindustrie	702
25.2.1	Begriff und Ziele	702
25.2.2	Konzept der Integralen Sicherheit	704

25.2.3	Integraler Sicherheitsplan nach SIA 465 für die Bauphase	705
25.2.4	Eingegangene Risiken	708
25.2.5	Sicherheitsorganisation und Notmassnahmen	709
25.3	Der SIGEPLAN der deutschen Bau-Berufsgenossenschaften	710
25.3.1	Einleitung	710
25.3.2	Sicherheitsplanung	710
25.3.3	Umsetzung des Sicherheitsplans	713
25.4	Zusammenfassung	713
26	Projektabwicklungsformen als Schlüssel zu Innovation, Risikomanagement sowie Kostenoptimierung	715
26.1	Bauwirtschaftliche Veränderungen	715
26.2	Einflüsse und Grundvoraussetzungen für die richtige Wahl der Vertragsform zur schnellen und kostenoptimalen Realisierung von Projekten	716
26.2.1	Projektabwicklungsformen	716
26.2.2	Die Einzelleistungsträgerorganisation	718
26.2.3	Gesamtleistungsträgerorganisation mit Ausschreibung auf der Basis einer eingeschränkten Funktionalausschreibung	721
26.2.4	Totalleistungsträgerorganisation mit Ausschreibung auf der Basis einer Funktionalausschreibung	723
26.2.5	Zusammenfassung	726
26.3	Gestaltung der Ausschreibung und Risikomanagement als Schlüssel zur konfliktarmen Abwicklung von Projekten	726
26.3.1	Risikomanagement	726
26.3.2	Ausschreibungsgestaltung	729
26.3.3	Vertragsgestaltung	731
26.3.4	Entscheidungskonzept vor Ort	731
26.3.5	Zusammenfassung	732
26.4	Kooperationen zur Entfaltung von Innovation und Synergien zwischen Planung und Ausführung zwecks Kostenoptimierung des Projekts	732
26.4.1	Neue Anforderungen erfordern neues Denken	732
26.4.2	Kooperation zum Aufbau von Systemangeboten im Tunnelbau	732
26.5	Zusammenfassung	734
	Literaturverzeichnis	735
	Stichwortverzeichnis	747