

Gerhard Girmscheid

Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau

&Sohn

A Wiley Company

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	8
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	27
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	39
3.3	Klassifizierung nach der Stehzeit des Gebirges	42
3.4	Klassifizierung nach Ausbruch- bzw. Vortriebsklassen	46
3.4.1	Allgemeines	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	65
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	123
6.4	Schuttern	125
6.4.1	Allgemeines	125
6.4.2	Ladegeräte	126
6.4.3	Übergabegeräte	128
7	Mechanischer Vortrieb mittels Bagger, Rippergeräten und Teilschnittmaschinen (TSM)	131
7.1	Ausbruch durch Bagger	131
7.2	Rippen	131
7.3	Aufbau einer TSM	132
7.4	TSM - Einsatzbereich	134
7.5	TSM - Längs- und Querschneidkopf	134
7.6	TSM - Schrämkopfmeissel	135
7.7	TSM - Schrärmarm mit Schwenkwerk	138
7.8	TSM - Lade Vorrichtungen	139
7.9	TSM - Trägergerät	140
7.10	TSM - Sonderausführung	142
7.11	TSM - Vortriebssequenzen und Baustellenlogistik	142
7.12	TSM - Entstaubungsmassnahmen	144
7.13	Automatisierte Steuerung der Teilschnittmaschinen	145
7.14	Leistungsberechnung von TSM	146
7.15	Neueste Entwicklungen bei TSM	151
7.16	TSM - Vor- und Nachteile	152
8	Sicherungsmaßnahmen	153
8.1	Allgemeines	153
8.2	Spritzbeton	153

Inhaltsverzeichnis

8.2.1	Allgemeines	153
8.2.2	Spritzverfahren	155
8.2.3	Spritzbetonsysteme	167
8.2.4	Ausgangsstoffe des Spritzbetons	169
8.2.5	Optimierung des Spritzbetoneinsatzes	180
8.2.6	Rückprall	184
8.2.7	Staubentwicklung	189
8.2.8	Festigkeit, Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit	192
8.2.9	Festigkeit des jungen Spritzbetons	192
8.2.10	Schwindverhalten und Nachbehandlung von Spritzbeton	193
8.2.11	Verhalten von Spritzbeton unter hohen und tiefen Temperatureinwirkungen	194
8.2.12	Stahlfaserspritzbeton	195
8.2.13	Ausführung von Spritzbeton in druckhaftem Gebirge	197
8.2.14	Arbeitssicherheit	198
8.2.15	Maschinenteknik	199
8.2.16	Spritzbetonroboter	200
8.2.17	Herstellungsbedingte Fehler im Spritzbeton	204
8.3	Anker	208
8.3.1	Trag Wirkung	208
8.3.2	Ankersysteme	209
8.3.3	Setzen von Ankern	215
8.3.4	Ankerasetztechnik bei Systemankerung	218
8.4	Einbaubogenversetz- und Betonstahlmattenverlegegeräte	219
8.5	Ausbaubögen bzw. Einbaubögen	220
9	Vortrieb mittels Schirmgewölbesicherungen	223
9.1	Arten der vorseilenden Gewölbesicherungen	223
9.2	Vorpfändung mittels Verzugsblechen und Kanaldielen	223
9.2.1	Sichern mit Verzugsblechen	223
9.2.2	Sichern mit Pfandblechen und Kanaldielen	224
9.3	Sicherung mittels Spiessen	225
9.3.1	Herstellung und Vortrieb	225
9.3.2	Baustelleneinrichtung	228
9.4	Rohrschirmgewölbe	228
9.4.1	Herstellung und Vortrieb	228
9.4.2	Baustelleneinrichtung zur Herstellung des Schirmgewölbes	233
9.5	Injektionstechnik im Tunnelbau	233
9.5.1	Einsatz und Verfahrensauswahl	233
9.5.2	HDI-Technik	235
9.5.3	HDI-Gewölbeschirm im Lockergestein	239
9.5.4	Kombiniertes Rohr- und HDI-Schirmgewölbe	243
9.6	Injektionsstabilisierung	248
9.6.1	Ortsbruststabilisierung	248
9.6.2	Injektionszwibeltechnik zur Durchörterung von grundwasserführenden Störzonen	250
9.6.3	Soilfracturing im Tunnelbau zum Ausgleich von Setzungen	253
9.7	Gefrierschirme	257
10	Transport des Ausbruchmaterials aus dem Tunnel	259
10.1	Transportsysteme	259
10.2	Stetigförderer	259
10.3	Gleisbetrieb	268
10.3.1	Schutterzüge	268

10.3.2	Bunker- und Förderbandzüge (Hägglunds)	270
10.3.3	California-Weiche	271
10.3.4	Vor- und Nachteile des Gleisbetriebs	271
10.4	Pneu-Radgebundener Transport	271
10.4.1	Muldenkipper- bzw. Dumpertransporte	271
10.4.2	Fahrladerbetrieb	272
10.5	Entwicklungen in der Schuttertechnik	273
10.6	Leistungsberechnung des Schutter- und Transportbetriebs	273
10.6.1	Leistungsbegriffe	273
10.6.2	Bestimmen von Leistungswerten	276
10.6.3	Leistung von Produktionsketten	277
10.6.4	Allgemeine Leistungsberechnung von Lösegeräten	277
10.6.5	Ermittlung der Anzahl erforderlichen Lösegeräte	278
10.6.6	Hydraulikbagger	278
10.6.7	Rad- und Fahrlader	279
10.6.8	Kettenlader	279
10.6.9	LKW, SKW, Dumper	280
10.6.10	Gleisförderung	283
10.6.11	Bandförderung	287
11	Temporäre Entwässerungs- und Absperrmassnahmen	289
11.1	Wasserhaltung der Baustelle	289
11.1.1	Allgemeines	289
11.1.2	Drainagemassnahmen	290
11.1.3	Grundwasserabsenkung und Grundwasserabspernung	292
11.2	Injektionsverfahren zur temporären und permanenten Absperrung von Grundwasser	292
11.2.1	Injektionsmittel	292
11.2.2	Injektionen mit Zementen	293
11.2.3	Injektionen mit reaktiven Kunstharzen	296
11.2.4	Zweck der Injektion	297
11.2.5	Baubetrieb und Kosten	301
11.2.6	Checklisten zur Injektionsauswahl	303
11.2.7	Injektionsverfahren zur Absperrung von Berg- und Grundwasser	303
11.2.8	Konventionelle Injektionsverfahren	308
11.2.9	Hochdruckinjektionsverfahren (HDI)	319
11.2.10	Beispiele für HDI-Abdichtungen im Lockergestein	323
11.2.11	Folgerungen	324
11.3	Gefrierverfahren	328
11.3.1	Allgemeines	328
11.3.2	Technologie und Physikalisches Prinzip	328
11.3.3	Grundlagen der Bemessung	330
11.3.4	Festigkeit	334
11.3.5	Dichtigkeit und Kontrolle	334
11.3.6	Baustelleneinrichtung	335
12	Permanente Hauptabdichtung von Tunnelbauwerken	337
12.1	Hauptabdichtungsarten	337
12.2	Einflussfaktoren auf Art und Anordnung der Abdichtung	341
12.2.1	Interaktion - Gebirge, Bauwerk und Bauweise	341
12.2.2	Einfluss des Gebirgswassers	342
12.2.3	Einfluss der Tunnelnutzung	343
12.3	Anforderungen an Tunnelabdichtungen	344

12.4	Dichtungskonzepte	346
12.5	Dichtungselemente und Dichtungsmaterialien	347
12.5.1	Wasserundurchlässiger Beton	347
12.5.2	Kunststoffmodifizierte Mörtel und Betone	348
12.5.3	Folienabdichtung	349
12.5.4	Aufgespritzte Abdichtung	352
12.5.5	Metallabdichtung	353
12.5.6	Injektionen	353
12.6	Drainage	353
12.7	Verlegetechnik von Abdichtungsfolien bei bergmännischen Tunneln	356
12.7.1	Isolierungsaufbau	356
12.7.2	Folienbefestigung	358
12.7.3	Folienverlegung	359
12.8	Material- und Leistungskennwerte	360
12.9	Sicherheit / Brandschutz	360
13	Hohlraumauskleidung	361
13.1	Problemstellung	361
13.2	Stollen-Auskleidungen	362
13.2.1	Verwendungszweck von Stollen	362
13.2.2	Stollenschalungen	363
13.2.3	Betonieren von Stollen	369
13.3	Tunnel-Auskleidungen	371
13.3.1	Arbeitsabläufe	371
13.3.2	Ortbetontunnelsohle	371
13.3.3	Tunnelauskleidung des Parament- und Kalottenbereichs	374
13.3.4	Tunnelzwischendecken und Trennwand	378
13.4	Erforderliche Schalungslänge	379
13.5	Kavernen-Auskleidung	381
13.6	Bemessung der Schalungen	381
13.7	Schalungskosten	381
14	Arten von Tunnelvortriebsmaschinen	383
14.1	Einsatzbereiche	383
14.2	Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen	386
14.3	Tunnelbohrmaschinen (TBM)	389
14.4	Schildmaschinen	390
14.5	Sonderformen von Schildmaschinen	393
15	Tunnelbohrmaschinen (TBM)	395
15.1	Einsatz von Tunnelbohrmaschinen	395
15.2	Gripper-TBM	397
15.2.1	Aufbau der Gripper-TBM	397
15.2.2	Bohrkopf	399
15.2.3	Bohrkopfantrieb und Hauptlager	400
15.2.4	Bohrkopfmantel	403
15.2.5	Innen- und Aussenkelly mit Verspann- und Vorschubeinrichtung	403
15.2.6	Mechanische Hilfseinrichtung	404
15.2.7	Arbeits- und Unterhaltszyklen einer Gripper-TBM	405
15.3	Aufweitungs-TBM	406
15.4	Schild-TBM	408
15.5	Teleskopschild-TBM	409

15.6	Berechnung der Vorschubpressenkräfte während des Vortriebszyklus	412
15.7	Abbauwerkzeuge	414
15.8	Berechnung der Nettovortriebsleistung	418
15.9	Nachläufer	424
15.10	Schutterung	430
15.11	Steuerung	431
15.12	TBM Planungsaspekte sowie Vor- und Nachteile	433
16	Tunnelvortrieb mittels Hinterschneidtechnik	435
16.1	Einsatzbereich und Leistungen	435
16.2	Wirkprinzip	436
16.3	Maschinenkonzept	437
17	Wiederverwendung von Tunnelausbruchmaterial	439
17.1	Tunnelausbruchmaterial als Baustoff	439
17.2	Technische Einflüsse auf die Qualität des Ausbruchmaterials	440
17.3	Beurteilung des Ausbruchmaterials	440
17.3.1	Erstellung eines Materialbewirtschaftungskonzeptes	440
17.3.2	Prüfverfahren zur Beurteilung des Ausbruchmaterials	442
17.4	Aufbereitung von geeignetem TBM-Ausbruchmaterial	444
18	Schildvortriebsmaschinen	447
18.1	Einsatz und Arten von Schildmaschinen	447
18.2	Abbaueinrichtungen von Schildmaschinen	450
18.2.1	Teilschnittabbaueinrichtung und Antrieb	450
18.2.2	Schneidrad und Antrieb	451
18.2.3	Schneidradlagerung und -antrieb	453
18.2.4	Abbauwerkzeuge	454
18.3	Schild	456
18.3.1	Schildmantel	456
18.3.2	Schildschwanzdichtung	456
18.3.3	Ringspaltverpressung	458
18.4	Vorschub- und Steuerpressen	460
18.5	Erddruckschilde	462
18.6	Flüssigkeitsschilde	465
18.7	Druckluftschilde	469
18.8	Fördertechnik	470
18.8.1	Allgemeines	470
18.8.2	Trockenförderung	471
18.8.3	Dickstoffförderung	472
18.8.4	Flüssigkeitsförderung	473
18.8.5	Separationstechnik	475
18.9	Tübbingerektor	479
18.10	Bohrtechnik für die punktuelle Vorauserkundung und zur Herstellung von Injektionsschirmen	479
18.11	Nachläufersysteme	481
18.11.1	Konzeptioneller Aufbau eines Nachläufers für Flüssigkeitsschilde	481
18.11.2	Konzeptioneller Aufbau eines Erdschild-Nachläufers	487
18.12	Spezialschildkonstruktionen	489
18.12.1	Universal- bzw. Kombinationsschilde	489
18.12.2	Multiface-Schild	492
18.12.3	Messerschilde	493

18.13	Start-, Ziel- und Zwischenbaugrube	499
18.14	Sicherheitsanforderungen	504
18.15	Entwicklungstendenzen	506
18.16	Fehlerquellen beim Tunnelvortrieb mittels Schildmaschine	507
19	Tübbingauskleidung	509
19.1	Berechnung von Tunnelröhren mit Tübbingauskleidung	509
19.2	Konstruktive Ausbildung der Tübbinge	514
19.3	Herstellung von Tübbingen	516
19.4	Versetzen der Tübbinge im Tunnel	521
20	Steuerung von Vorschubpressenkräften und Setzungen sowie Vortriebsrichtung	523
20.1	Nachweis der Ortsbruststabilität	523
20.1.1	Einführung	523
20.1.2	Nachweise zur Berechnung des notwendigen Stützdrucks sowie der Aufbruch- und Ausblärsicherheit der Ortsbrust	525
20.2	Ermittlung der erforderlichen Vorpresskräfte	525
20.2.1	Allgemeines	525
20.2.2	Einwirkungen	526
20.2.2.1	Vertikaler Erddruck im Lockergestein	530
20.2.2.2	Seitlicher Erddruck im Lockergestein	531
20.2.2.3	Wasserdruck, Verkehrslasten und ständige Zusatzlasten	532
20.2.2.4	Stützung der Ortsbrust	532
20.2.3	Mantelreibung am Schildmantel	535
20.2.3.1	Ermittlung des Mantelreibungswiderstandes	535
20.2.3.2	Ermittlung der Mantelreibung	535
20.2.3.3	Reduktion der Mantelreibung	537
20.2.4	Brustwiderstand	538
20.2.4.1	Allgemeines	538
20.2.4.2	Schneidschuhwiderstand	538
20.2.4.3	Schneidrad- und Stützmediumwiderstand	539
20.2.5	Aufnehmbare Vorpresskräfte	542
20.3	Setzungen und Hebungen	543
20.4	Vermessung und Steuerung	544
20.4.1	Überblick	544
20.4.2	Vermessungstechnische Methoden zur Kontrolle der Fahrt	544
20.4.3	Messsysteme für die Kontrolle der Fahrt	545
21	Baulüftungen von Untertagebauwerken	547
21.1	Allgemeines	547
21.2	Lüftungssysteme	548
21.3	Lüftungs- und Entstaubungsmassnahmen beim Einsatz von TSM und TBM	551
21.3.1	Lüftungsanlagen	551
21.3.2	Entstaubungsanlagen	553
21.4	Installation in der Vortriebszone	556
21.4.1	Blasende Belüftung	556
21.4.2	Saugende Belüftung	556
21.5	Installation der Baulüftung im Portalbereich	557
21.6	Lutten	557
21.6.1	Luttentypen und Luttenmaterial	557
21.6.2	Installation der Lutten	557

21.7	Ventilatoren	559
21.8	Dimensionierung der Lutte und des Ventilators	560
21.9	Instandhaltung	563
22	Vorbereitung und Logistik einer Tunnelbaustelle	565
22.1	Arbeitsvorbereitung	565
22.2	Einrichtung einer Baustelle	568
22.2.1	Allgemeines	568
22.2.2	Baustelleneinrichtungsplan / Installationplan	568
22.2.3	Planung der Baustelleneinrichtung	571
22.2.4	Versorgungseinrichtungen	574
22.2.4.1	Verkehrerschliessung	574
22.2.4.2	Wasserversorgung	575
22.2.4.3	Abwasserversorgung	576
22.2.4.4	Stromversorgung	577
22.2.4.5	Beleuchtung	577
22.2.4.6	Kommunikationssysteme im Tunnelbau	577
22.2.4.7	Druckluftversorgung	581
22.2.4.8	Baulüftungsinstallationen	581
22.2.5	Bauten der Baustelle	581
22.2.5.1	Büros, Werkstätten, Magazine	582
22.2.5.2	Baustellenwerkstatt	582
22.2.5.3	Magazin	582
22.2.5.4	Unterkünfte	582
22.2.5.5	Tagesunterkünfte	582
22.2.5.6	Wohn- und Schlafräume in Baubaracken	582
22.2.5.7	WC- und Duscheinrichtungen	583
22.2.5.8	Sanitätscontainer	583
22.2.5.9	Baustellenkantine	583
22.2.5.10	Dimensionierung von Sozialeinrichtungen der Baustelle	583
22.2.6	Lager- und Bearbeitungsanlagen	583
22.2.6.1	Lager	583
22.2.6.2	Zimmermannsplatz	583
22.2.6.3	Betonstahlbearbeitungsflächen	584
22.2.6.4	Beton-Mischanlage	584
22.2.7	Transportgeräte auf der Baustelle	585
22.2.7.1	Hebezeuge	585
22.2.7.2	Krane	586
22.2.7.3	Bauaufzüge	588
22.3	Energieumsetzung auf der Baustelle	589
22.3.1	Elektrische Energie	589
22.3.2	Ermittlung des elektrischen Leistungsbedarfs	590
22.3.2.1	Leistungsaufnahme der einzelnen Verbraucher	590
22.3.2.2	Elektrisches Installationskonzept	591
22.3.3	Verbrennungsmotoren	593
22.3.4	Ermittlung des Druckluftbedarfes	594
22.3.5	Hydraulik	594
22.3.6	Dampfenergie	595
22.4	Baustelleneinrichtungen des konventionellen Vortriebs	595
22.4.1	Installationen über Tag	595
22.4.1.1	Allgemeine Infrastruktur	595
22.4.1.2	Technische Ausseninstallationen	596

22.4.2	Installationen unter Tage	596
22.5	Baustelleneinrichtungen des TBM-Vortriebs	597
22.5.1	Installations-Übersicht	597
22.5.2	Installationen über Tag	597
22.5.3	Installationen unter Tag	597
22.6	Gesamtinstallationen beim Schildvortrieb	598
22.6.1	Ausseninstallationen	598
22.6.2	Schachtinstallationen	600
22.6.3	Im Tunnel: Abbau und Transportgeräte sowie Unterstützungseinrichtungen	600
22.7	Zusammenfassung	600
23	Sicherheitsmanagement im Untertagebau	601
23.1	Einleitung	601
23.2	Der Integrale Sicherheitsplan der Schweizer Bauindustrie	602
23.2.1	Begriff und Ziele	602
23.2.2	Konzept der Integralen Sicherheit	604
23.2.2.1	Sicherheitsplanung	604
23.2.2.2	Umsetzung der Sicherheitsplanung	604
23.2.2.3	Aufgaben und Verantwortung der Beteiligten	605
23.2.3	Integraler Sicherheitsplan nach SIA 465 für die Bauphase	605
23.2.3.1	Ziel und Zweck	605
23.2.3.2	Baustelle und Bauvorgänge als System	606
23.2.3.3	Gefahrenübersicht	607
23.2.3.4	Arbeitssicherheit bei Untertagearbeiten	607
23.2.3.5	Gefährdungsbilder und Sicherheitsmassnahmen	608
23.2.4	Eingegangene Risiken	608
23.2.5	Sicherheitsorganisation und Notmassnahmen	609
23.3	Der SIGEPLAN der deutschen Bau-Berufsgenossenschaften	610
23.3.1	Einleitung	610
23.3.2	Sicherheitplanung	610
23.3.3	Umsetzung des Sicherheitsplans	613
23.4	Zusammenfassung	613
24	Projektentwicklungsformen als Schlüssel zu Innovation, Risikomanagement sowie Kostenoptimierung	615
24.1	Bauwirtschaftliche Veränderungen	615
24.2	Einflüsse und Grundvoraussetzungen für die richtige Wahl der Vertragsform zur schnellen und kostenoptimalen Realisierung von Projekten	616
24.2.1	Projektentwicklungsformen	616
24.2.2	Die Einzelleistungsträgerorganisation	618
24.2.3	Gesamtleistungsträgerorganisation mit Ausschreibung auf der Basis einer eingeschränkten Funktionalausschreibung	621
24.2.4	Totalleistungsträgerorganisation mit Ausschreibung auf der Basis einer Funktionalausschreibung	623
24.2.5	Zusammenfassung	626
24.3	Gestaltung der Ausschreibung und Risikomanagement als Schlüssel zur konfliktarmen Abwicklung von Projekten	626
24.3.1	Risikomanagement	626
24.3.1.1	Verteilung von Genehmigungs- und Baugrundrisiko	626
24.3.1.2	Genehmigungsrisiko	627
24.3.1.3	Baugrundrisiko	628
24.3.2	Ausschreibungsgestaltung	629

24.3.3	Vertragsgestaltung	631
24.3.4	Entscheidungskonzept vor Ort	631
24.3.5	Zusammenfassung	632
24.4	Kooperationen zur Entfaltung von Innovation und Synergien zwischen Planung und Ausführung zwecks Kostenoptimierung des Projekts	632
24.4.1	Neue Anforderungen erfordern neues Denken	632
24.4.2	Kooperation zum Aufbau von Systemangeboten im Tunnelbau	632
24.5	Zusammenfassung	633

Literaturverzeichnis	635
-----------------------------	-----

Stichwortverzeichnis	645
-----------------------------	-----