

Dietrich Stein

Grabenloser Leitungsbau

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Company

Inhaltsverzeichnis

1	Leitungsnetze	1
1.1	Art und Aufbau der Leitungsnetze bzw. -systeme	2
1.1.1	Wasserversorgungssysteme	2
1.1.2	Gasversorgungssysteme	8
1.1.3	Fernwärmeversorgungssysteme	12
1.1.4	Entwässerungssysteme	23
1.1.4.1	Freispiegelsysteme	24
1.1.4.2	Druckentwässerungssysteme	37
1.1.4.3	Unterdruckentwässerungssysteme	40
1.1.5	Kabelnetze bzw. -systeme	44
1.1.5.1	Telekommunikationsnetze	44
1.1.5.2	Elektrische Energieversorgungssysteme	57
1.2	Lage und Anordnung der Leitungen	65
1.3	Bäume und Bewuchs	74
2	Varianten der Leitungsverlegung	81
2.1	Einzelverlegung	81
2.1.1	Erdverlegung	82
2.1.2	Verlegung im Schutzrohr	82
2.1.2.1	Telekommunikationskabel	83
2.1.2.2	Starkstromkabel	85
2.1.2.3	Fernwärmeleitungen	89
2.1.2.4	Abwasserleitungen und -kanäle	90
2.1.2.5	Gas- und Wasserleitungen	92
2.1.3	Nachträgliches Einbringen der Rohrleitung in Schutzrohre	93
2.1.3.1	Einziehverfahren	94
2.1.3.2	Einschubverfahren	99
2.1.3.3	Einfahrverfahren	101
2.1.4	Ringraumabschluss und -verfüllung	103
2.2	Mehrfachverlegung	106
2.2.1	Erdverlegung	106
2.2.2	Verlegung im Mantelrohr	106
2.2.2.1	Lose Verlegung	106
2.2.2.2	Gebündelte Verlegung	108
2.2.2.3	Blockverlegung	108
2.2.3	Verlegung im Leitungskanal	111
2.2.4	Verlegung im Leitungsgang	114
2.2.5	Verlegung in Produktrohrleitungen	118

3	Normen und Regelwerke sowie Erläuterung einiger spezifischer Grundbegriffe	123
3.1	Grabenloser Leitungsbau durch Vortrieb von Leitungen	123
3.2	Tunnel- und Stollenvortriebsverfahren	130
4	Geotechnische Grundlagen und Untersuchungen	133
4.1	Einführung und Begriffsdefinitionen	133
4.2	Geologische Grundlagen	135
4.3	Boden- und felsmechanische (geotechnische) Grundlagen	137
4.3.1	Lockergestein	137
4.3.1.1	Hauptbodenarten	137
4.3.1.2	Kornform	139
4.3.1.3	Korngrößenverteilung	139
4.3.1.4	Lagerungsdichte	143
4.3.1.5	Konsistenz und Plastizität	146
4.3.1.6	Druckfestigkeit	149
4.3.1.7	Scherfestigkeit	149
4.3.2	Festgestein	152
4.3.2.1	Trennflächenabstand	156
4.3.2.2	Druckfestigkeit	159
4.3.3	Geschütteter Boden	160
4.3.4	Bodenkenngrößen und Rechenwerte	160
4.3.5	Boden- und Felsklassifikation	160
4.3.5.1	Bodenklassifikation nach DIN 18196	167
4.3.5.2	Boden- und Felsklassifikation nach DIN 18300	172
4.3.5.3	Boden- und Felsklassifikation nach DIN 18319	173
4.3.5.4	Unified Soil Classification System	175
4.3.5.5	Felsklassifikation nach dem Rock Quality Designation Index (RQD-Wert)	176
4.3.5.6	Klassifizierung nach der Verdrängungseigenschaft	177
4.3.5.7	Klassifizierung nach der Steuerbarkeit	179
4.3.5.8	Klassifizierung nach der Standfestigkeit der Ortsbrust (Klassifizierung nach dem Ortsbrustverhalten)	180
4.3.5.9	Klassifizierung nach der Lösbarkeit der Ortsbrust	181
4.3.5.10	Klassifizierung nach der Abrasivität	184
4.4	Hydrogeologische Grundlagen	187
4.5	Geotechnische Untersuchungen	192
4.5.1	Vorerkundungsmaßnahmen	195
4.5.1.1	Sichtung und Auswertung vorhandener Unterlagen	195
4.5.1.2	Luftbild- und Satellitenbildauswertung	196
4.5.1.3	Ortsbegehungen	197
4.5.2	Aufschlussverfahren	198
4.5.2.1	Direkte Aufschlussverfahren	198
4.5.2.2	Indirekte Aufschlussverfahren	199
4.5.2.3	Vorauserkundung aus der Vortriebs-/Schildmaschine	214
4.5.2.4	Erkundungsraster und -aufwand	216
4.5.2.5	Geotechnischer Bericht	219

5	Unbemannt arbeitende, nichtsteuerbare Verfahren	223
5.1	Bodenverdrängungsverfahren	223
5.1.1	Verfahren mit Verdrängungshammer	225
5.1.1.1	Arbeitsweise und -ablauf	226
5.1.1.2	Ausrüstung	230
5.1.1.3	Einsatzbereich	233
5.1.2	Verfahren mit Horizontalramme und geschlossenem vorderen Rohrende	235
5.1.2.1	Arbeitsweise und -ablauf	235
5.1.2.2	Ausrüstung	235
5.1.2.3	Einsatzbereich	236
5.1.3	Horizontal-Pressbohrverfahren mit Aufweitungsteil	236
5.1.3.1	Arbeitsweise und -ablauf beim zweiphasigen Vortrieb	237
5.1.3.2	Arbeitsweise und -ablauf beim dreiphasigen Vortrieb	237
5.1.3.3	Ausrüstung	238
5.1.3.4	Einsatzbereich	238
5.2	Bodenentnahmeverfahren	240
5.2.1	Verfahren mit Horizontalramme und offenem Rohr	242
5.2.1.1	Arbeitsweise und -ablauf	243
5.2.1.2	Ausrüstung	250
5.2.1.3	Einsatzbereich	252
5.2.2	Horizontal-Erdbohrverfahren (Schneckenbohren ohne Verrohrung)	255
5.2.2.1	Arbeitsweise und -ablauf	256
5.2.2.2	Ausrüstung	256
5.2.2.3	Einsatzbereich	258
5.2.3	Horizontal-Pressbohrverfahren	258
5.2.3.1	Arbeitsweise und -ablauf	259
5.2.3.2	Ausrüstung	262
5.2.3.3	Einsatzbereich	265
5.2.4	Hammerbohrung	270
5.2.4.1	Arbeitsweise und -ablauf	272
5.2.4.2	Hammerbohrung mit exzentrisch arbeitendem Bohrkopf	272
5.2.4.3	Hammerbohrung mit zentrisch arbeitendem Bohrkopf	273
5.2.4.4	Ausrüstung	278
5.2.4.5	Einsatzbereich	278
5.2.5	Horizontal-Pressbohrverfahren mit Räumer	278
6	Unbemannt arbeitende, steuerbare Verfahren – Bodenverdrängungsverfahren	279
6.1	Bodenverdrängungsverfahren	279
6.1.1	Verfahren mit steuerbarem Verdrängungshammer	284
6.1.1.1	GRUNDOSTEER	284
6.1.1.2	STEUERBARE ERDRAKETE CM-98Z	284
6.1.2	Horizontal-Bohrverfahren mit Verdrängungshammer	284
6.1.3	Arbeitsweise und -ablauf	284
6.1.4	Ausrüstung	288
6.1.5	Einsatzbereich	288

7	Unbemannt arbeitende, steuerbare Verfahren – Pilotrohr-Vortrieb	291
7.1	Definition	291
7.2	Rohrvortrieb durch Einpressen oder Einschieben	291
7.2.1	ACEMOLE PC 10 MP	291
7.2.1.1	Arbeitsweise und -ablauf	294
7.2.1.2	Ausrüstung	295
7.2.1.3	Einsatzbereich	295
7.2.2	IRONMOLE TP80-2	295
7.2.2.1	Arbeitsweise und -ablauf	295
7.2.2.2	Ausrüstung	299
7.2.2.3	Einsatzbereich	300
7.2.3	Earth Arrow	302
7.2.3.1	Ausrüstung	302
7.2.3.2	Einsatzbereich	304
7.2.4	BM 500	304
7.2.5	mts 400, RVS 80, BM 300 und BM 400, sowie PBA 85	306
7.2.5.1	Arbeitsweise und -ablauf	306
7.2.5.2	Ausrüstung	307
7.2.5.3	Einsatzbereich	309
7.2.5.4	Einsatz in grundwasserführenden Böden	312
7.3	Rohrvortrieb durch Einziehen	312
7.3.1	ACEMOLE PC 10	314
7.3.2	hydros®STAR	315
7.3.3	FRONT JACKING	317
8	Unbemannt arbeitende, steuerbare Verfahren – Mikrotunnelbau	319
8.1	Definition	319
8.2	Mikrotunnelbauverfahren mit Schneckenförderung	322
8.2.1	Arbeitsweise und -ablauf	323
8.2.1.1	Antrieb des Bohrkopfes über die Förderschnecke	323
8.2.1.2	Direktantrieb des Bohrkopfes	323
8.2.2	Ausrüstung	323
8.2.3	Einsatzbereich	325
8.2.3.1	Antrieb des Standardbohrkopfes über die Förderschnecke	326
8.2.3.2	Direkt angetriebener Bohrkopf	327
8.2.3.3	Einsatz in Grundwasser führenden Böden	332
8.3	Mikrotunnelbauverfahren mit hydraulischer Förderung	338
8.3.1	Einphasiger Vortrieb	339
8.3.1.1	Arbeitsweise und -ablauf	339
8.3.1.2	Ausrüstung	340
8.3.1.3	Einsatzbereich	350
8.3.2	Zweiphasiger Vortrieb	355
8.3.3	Zurückziehbare Vortriebsmaschinen für Sacklochbohrungen	358
8.4	Mikrotunnelbau mit pneumatischer Förderung	358
8.4.1	Einphasiger Vortrieb	359
8.4.1.1	HAZEMAG & EPR MTB-P bzw. HERRENKNECHT AVP	359
8.4.1.2	DEINO TYPE	362
8.4.1.3	KCMM-1500A Dash bzw. KCMM 1500 BEAVER II	364
8.4.2	Zweiphasiger Vortrieb	369

8.5	Mikrotunnelbau mit anderer mechanischer Förderung	370
8.6	Mikrotunnelbau mit Bodenverdrängung	372
8.6.1	Perimole TPM	372
8.6.2	Acemole PL 30	372
8.6.3	Herrenknecht AVB	372
8.6.4	Einsatzbereich	374
8.7	Maßnahmen zur Reduzierung der Vortriebskräfte	374
8.7.1	Vortrieb in Kombination von Bodenabbau und Bodenverdrängung	375
8.7.2	Vortrieb mit Schlauchumhüllung	376
8.7.3	Vortrieb durch Entkopplung von Eindringwiderstand und Mantelreibung	377
8.7.3.1	ENVILINER	378
8.7.3.2	RASA-UNICORN DH-Es	378
8.7.4	Vortrieb mit Gripper-Technik	378
8.8	Maßnahmen zur Beseitigung von Hindernissen	382
9	Bemannt arbeitende Verfahren – Rohrvortrieb	387
9.1	Definition	387
9.2	Schildmaschinen	390
9.2.1	Schildmaschinen mit teilflächigem Abbau (Teilschnittabbau)	394
9.2.1.1	Schildmaschinen mit teilflächigem Abbau von Hand (Handschild)	394
9.2.1.2	Schildmaschinen mit mechanisch teilflächigem Abbau	400
9.2.1.3	Schildmaschinen mit hydraulisch teilflächigem Abbau	423
9.2.2	Schildmaschinen mit vollflächigem Abbau (Vollschnittabbau)	425
9.2.2.1	Bohrkopfgestaltung und -ausbildung	427
9.2.2.2	SM-V1 – Ortsbrust mit natürlicher Stützung	430
9.2.2.3	SM-V2 – Ortsbrust mit mechanischer Stützung	432
9.2.2.4	SM-V3 – Ortsbrust mit Druckluftstützung	433
9.2.2.5	SM-V4 – Ortsbrust mit Flüssigkeitsstützung	433
9.2.2.6	SM-V5 – Ortsbrust mit Erddruckstützung	452
9.2.2.7	Schildmaschinen ohne Bohrkopf (SM-B)	469
9.2.2.8	Verfahrenswechsel	473
9.2.3	Schildmaschinen für den Vortrieb von Rohren mit vom Kreisquerschnitt abweichender Außenform	476
9.3	Zwischenpresstationen	479
9.4	Einsatz von Gleit- und Stützmitteln zur Reduzierung der Mantelreibung	486
9.4.1	Einpressen im Bohrkopfbereich	486
9.4.2	Einpressen über Injektionsstutzen im nichtbegehbaren Rohrstrang beim zweiphasigen Vortrieb	489
9.4.3	Einpressen von Hand über Injektionsstutzen im begehbaren Rohrstrang	489
9.4.4	Automatisches Einpressen über Injektionsstutzen im Rohrstrang	489
9.4.4.1	Bentonitsuspension	489
9.4.4.2	Lösungen auf der Basis von Polymeren	492
9.5	Vortriebe mit gekrümmter Linienführung	494
9.5.1	SS MOLE	496
9.5.2	ULTIMATE METHOD	499
9.6	Belüftung	499

10	Bohrspülung und Spülungstechnologie	503
10.1	Stützmittel	504
10.2	Fördermittel	508
10.2.1	Grundlagen der hydraulischen Förderung	509
10.3	Wasser	511
10.4	Bentonitspülung	511
10.4.1	Stabilität	514
10.4.2	Dichte	515
10.4.3	Viskosität	516
10.4.4	Fließgrenze	516
10.4.5	Einsatzbereiche	517
10.5	Polymerspülung	518
10.5.1	Einsatzbereiche	519
10.6	Bentonit-Polymer-Spülung	520
10.6.1.1	Filtratreduzierung	521
10.6.1.2	Schutzkolloid	521
10.6.1.3	Viskositätsregulierung	522
10.6.1.4	Flockungsmittel	522
10.7	Additive	522
10.7.1	Inerte Feststoffe (Füllstoffe)	523
10.7.1.1	Stopfmittel	523
10.7.1.2	Beschwerungsstoffe	523
10.7.2	Anorganische Zusatzmittel	523
10.8	Grundlagen der Spülungstechnologie	523
10.8.1	Herstellung	523
10.8.1.1	Rezepturen	525
10.8.2	Berechnung der geförderten Feststoffmenge	528
10.8.3	Fließgeschwindigkeit und Transportkapazität	529
10.8.4	Anfallende Spülmengen	530
10.9	Aufbereitung und Entsorgung	534
10.9.1	Entsorgung	534
10.9.2	Absetzbecken	535
10.9.3	Separationsanlage	536
10.9.3.1	Grobtrennung	537
10.9.3.2	Mitteltrennung	538
10.9.3.3	Feinstofftrennung	541
10.9.3.4	Auswahlkriterien und Anwendungsbeispiele	542
11	Vortriebssteuerung, -vermessung und -überwachung	547
11.1	Vortriebssteuerung	547
11.2	Vortriebsvermessung	549
11.2.1	Messgeräte	549
11.2.2	Optische Messgeräte (vertikale und horizontale Abweichung)	549
11.2.2.1	Theodolit	550
11.2.2.2	Richtlaser	550
11.2.2.3	Lasertheodolit	552
11.2.3	Kreisel (horizontale Abweichung)	553

11.2.4	Schlauchwaage (relative Höhe)	554
11.2.5	Inklinometer, mechanisches Pendel (Neigung und Verrollung)	555
11.2.6	Distanzmesser zur Streckenmessung (Vortriebsfortschritt)	556
11.3	Messverfahren unter Einsatz der zuvor beschriebenen Geräte	557
11.3.1	Vermessung aus dem Startschacht	557
11.3.1.1	Theodolit oder Lasertheodolit mit direkter Zieltafelbeobachtung	560
11.3.1.2	Theodolit oder Lasertheodolit mit Videobeobachtung der Zieltafel	562
11.3.1.3	Richtlaser mit aktiver Zieltafel	563
11.3.2	Vermessung im Rohrstrang (ohne Sichtverbindung zum Startschacht)	567
11.3.2.1	Vermessung mit stehendem Gerät (statische Polygonzugmessung)	567
11.3.2.2	Vermessung mit mitfahrendem Gerät (dynamische Polygonzugmessung)	567
11.3.3	Kreiselsysteme.	572
11.4	Vortriebsüberwachung	574
12	Start- und Zielschächte	577
12.1	Begriffe	577
12.2	Wahl des Standortes und Anzahl der Schächte	580
12.3	Form und Abmessungen der Schächte	585
12.4	Generelle Anforderungen an den Schachtbau	591
12.5	Universeller Schachtbau	595
12.5.1	Nicht verbaute Schächte	595
12.5.2	Schächte mit rückbaubarem Verbau	599
12.5.2.1	Waagerechter Normverbau.	599
12.5.2.2	Liner-Plates.	601
12.5.2.3	Senkrechter Normverbau	604
12.5.2.4	Verbau mit Kanaldielen und Spundbohlen (Spundwand)	605
12.5.2.5	Verbaugeräte.	611
12.5.2.6	Trägerbohlwand.	613
12.5.3	Schächte mit nicht rückbaubarem Verbau	617
12.6	Senkschachtverfahren	618
12.6.1	Geschlossene Senkschächte	626
12.6.2	Offene Senkschächte.	627
12.6.2.1	Senkschächte aus Ortbeton.	629
12.6.2.2	Senkschächte aus Schachtringen bzw. Schachtelementen	630
12.6.2.3	Senkschächte aus Stahlbetontübbing	637
12.6.2.4	Senkschächte aus Stahl	641
12.7	Schachtbohrverfahren	642
12.7.1	MS-HBM-, CCB- und MS-HBM-CR-Methode	642
12.7.2	ART-Methode	649
12.8	Aus- und Einfahröffnungen	650
12.8.1	Vortriebe in grundwasserfreiem Baugrund	651
12.8.1.1	Nicht verbaute Schächte	651
12.8.1.2	Schächte mit rückbaubarem Verbau	651
12.8.1.3	Schächte mit nicht rückbaubarem Verbau	654
12.8.1.4	Senkschachtverfahren	655
12.8.2	Vortriebe in Grundwasser führendem Baugrund	656
12.8.2.1	Brillenwanddichtung.	657
12.8.2.2	Druckkammer	659

12.9	Statische Berechnung	666
12.9.1	Lastannahmen	666
12.9.2	Bemessung der Verbaulemente	666
12.9.3	Erdstatische Nachweise	667
12.9.4	Bestimmung der vom Widerlager aufnehmbaren Vortriebskraft.	667
13	Rohrwerkstoffe und -verbindungen	673
13.1	Anforderungen an Vortriebsrohre	675
13.2	Anforderungen an Rohrverbindungen.	678
13.2.1	Dichtheit.	678
13.2.2	Übertragung von Längskräften	679
13.3	Beton, Stahlbeton und Stahlfaserbeton	680
13.3.1	Vortriebsrohre aus Beton- und Stahlbeton	682
13.3.1.1	Beton.	682
13.3.1.2	Stahlbeton.	682
13.3.2	Vortriebsrohre aus Beton und Stahlbeton mit integriertem Korrosionsschutz	691
13.4	Faserzement.	698
13.5	Steinzeug	700
13.6	Schmelzbasalt.	705
13.7	Stahl	706
13.8	Duktile Gusseisen	718
13.8.1	Duktile Gussrohre mit angegossener Muffe	719
13.8.2	Duktile Gusseisen-Vortriebsrohre mit Ummantelung	723
13.8.3	Stahlbeton-Gusseisen-Vortriebsrohre	726
13.8.4	Duktile Gusseisen-Vortriebsrohre	726
13.9	Glasfaserverstärkte Kunststoffe – GFK (UP-GF)	727
13.10	PRC	732
13.11	Vortriebsrohre aus organischen Werkstoffen (Kunststoffe)	740
13.11.1	Polyethylen (PE)	740
13.11.2	Polypropylen (PP-HM)	749
13.11.3	Polyvinylchlorid (PVC-U)	751
14	Berechnung der Vortriebsrohre	757
14.1	Belastung quer zur Rohrachse	760
14.1.1	Erdlast	760
14.1.2	Horizontaler Erddruck	764
14.1.3	Auflasten	765
14.1.4	Konzentrierte Flächenlasten	765
14.1.5	Verkehrslasten	765
14.1.5.1	Straßenverkehrslasten	766
14.1.5.2	Eisenbahnverkehrslasten	767
14.1.5.3	Flugzeugverkehrslasten	768
14.1.6	Weitere Belastungen quer zur Rohrachse	768
14.1.7	Schnittkräfte	769
14.1.8	Nachweise	769
14.1.8.1	Spannungsnachweis	770

14.1.8.2	Verformungsnachweis	770
14.1.8.3	Beulsicherheitsnachweis	770
14.1.8.4	Dauerfestigkeitsnachweis	771
14.1.9	Sicherheitsbeiwerte	772
14.1.10	Mindestbemessung	773
14.2	Belastungen in Richtung der Rohrachse	774
14.2.1	Eindringwiderstand	776
14.2.1.1	Berechnung Stützkraft/ Brustwiderstand	782
14.2.2	Reibungswiderstand	787
14.2.2.1	Reibungswiderstand bei planmäßig geradliniger Linienführung	787
14.2.2.2	Zusätzlicher Reibungswiderstand bei gekrümmter Linienführung	792
14.3	Nachweise in Richtung der Rohrachse – Bestimmung der zulässigen Vortriebskraft	795
14.3.1	Druckkraftschlüssige Rohrverbindung	798
14.3.1.1	Berechnung der aufnehmbaren Vortriebskraft nach ATV-A 161	798
14.3.1.2	Berechnung der aufnehmbaren Vortriebskraft nach prEN 1916	801
14.3.2	Anforderungen an druckkraftschlüssige Rohrverbindungen	803
14.3.2.1	Druckübertragungsringe aus Holz und Holzwerkstoffen	807
14.3.2.2	Druckübertragungsringe aus anderen Werkstoffen	814
14.3.2.3	Spezielle Druckübertragungsringe für Vortriebe mit gekrümmter Linienführung	815
14.3.3	Allgemeines Berechnungsverfahren nach S&P	817
14.3.3.1	Funktionale Beschreibung der Querschnittsgeometrie	818
14.3.3.2	Funktionale Beschreibung des Spannungs-Stauchungsverhaltens der Druckübertragungsringe	819
14.3.3.3	Verzerrungsverlauf über den Querschnitt	820
14.3.3.4	Spannungsverlauf über den Querschnitt	822
14.3.3.5	Berechnung der zulässigen Vortriebskraft	823
14.3.3.6	Vergleich mit der Berechnung nach ATV-A 161	826
14.3.3.7	Sequentielle Berechnung aufeinanderfolgender Vortriebsphasen	826
14.3.3.8	Variation des Werkstoffs des Druckübertragungsringes	827
14.3.4	Druck- und zugkraftschlüssige Rohrverbindungen	829
14.3.5	Nachweis der Vergleichsspannung für Stahlrohre	829
14.4	Vortriebsrohre mit vom Kreisring abweichendem Querschnitt	829
14.4.1	Ergänzende Hinweise zur Berechnung von Vortriebsrohren mit Hohlkastenquerschnitt	829
14.4.1.1	Ermittlung der horizontalen Erdlast (p_{EH})	829
14.4.2	Bodenspannungen aus Verkehrslast	830
14.4.2.1	Ermittlung der maximalen Vortriebskraft	830
14.5	Berechnung mittels Horizontalramme verlegter Rohre	832
14.6	Berechnung von mittels Bodenverdrängungsverfahren verlegten Rohren	836
14.6.1	Bodenverdrängungsverfahren ohne Überschnitt	837
14.6.1.1	Belastung quer zur Rohrachse	837
14.6.1.2	Bodenverdrängungsverfahren mit Überschnitt	838
14.7	Seismische Einwirkung auf Rohrleitungen	839
14.7.1	Erdbebeneinwirkungen	841
14.7.1.1	Beanspruchung durch seismische Wellenausbreitung	841
14.7.1.2	Beanspruchung infolge seismischer Verwerfungen	843
14.7.1.3	Beanspruchung infolge erdbebeninduzierter Bodenverformungen	843
14.7.2	Erdbebenschäden an Rohrleitungen	844

14.7.3	Verfahren zur Berechnung der seismischen Beanspruchung	845
14.7.3.1	Näherungsansätze	846
14.7.4	Quasi statische Berechnungsmethode	847
14.7.5	Dynamische Berechnungsmethoden	849
14.7.5.1	Quasi dynamische Berechnungsmethode (Antwortspektrummethode)	849
14.7.5.2	Dynamische Berechnungsmethode (Zeitverlaufsanalyse)	851
14.7.6	Nachweisführung	852
14.7.7	Empfehlungen und Grundsätze zur erdbebensicheren Auslegung von Rohrleitungen oder Rohrleitungssystemen.	853
15	Bodenverformungen	865
15.1	Arten der Bodenverformung	865
15.1.1	Vorlaufende Senkungen und Hebungen	868
15.1.2	Senkungen über der Vortriebs-/Schildmaschine	869
15.1.3	Nachlaufende Senkungen	869
15.2	Berechnungsverfahren	869
15.2.1	Empirische Berechnungsverfahren.	870
15.2.1.1	Verfahren der Fehlerfunktionskurve.	870
15.2.1.2	Berechnungsverfahren nach Scherle	870
15.2.2	Analytische Verfahren.	872
15.2.2.1	Berechnungsverfahren nach Sagasetta	873
15.2.2.2	Modifiziertes Verfahren nach Sagasetta	874
15.2.3	Finite-Elemente-Methode (FEM).	875
15.3	Auswirkungen von Bodenverformungen	876
16	Spülbohrverfahren	879
16.1	Spülbohrverfahren mit Flüssigkeitsspülung	879
16.1.1	Definition	879
16.1.2	Arbeitsweise und -ablauf	881
16.1.2.1	Einziehen der Leitung bzw. Leitungen bei Mehrfachverlegung von der Trommel bzw. vom Rohrbundtransportwagen mit Abspulhaspel.	884
16.1.2.2	Einziehen des vormontierten und geprüften Rohrstrangs bzw. der gebündelten oder nichtgebündelten Leitungen.	884
16.1.2.3	Einziehen mit Einzelrohr(strang)montage	886
16.1.2.4	Ballastierung	887
16.1.3	Ausrüstung	888
16.1.3.1	Transportbasis	892
16.1.3.2	Bohrstrang	896
16.1.3.3	Bohrwerkzeuge	899
16.1.3.4	Stabilisierungselemente	907
16.1.3.5	Ausrüstungen für den Einziehvorgang	908
16.1.3.6	Ein- und Ausbau des Bohrgestänges.	914
16.1.3.7	Baustelleneinrichtung	918
16.1.4	Einsatzbereich	922
16.1.4.1	Einsatz im Lockergestein	926
16.1.4.2	Einsatz im Festgestein	927
16.1.5	Steuer- und Ortungstechnik	927
16.1.5.1	Walk-Over-Verfahren	927
16.1.5.2	Wire-Line-Verfahren	932
16.1.5.3	Sonstige Verfahren	933
16.1.6	Projektplanung, -vorbereitung und -durchführung	935

16.1.6.1	Geotechnische Untersuchungen.	935
16.1.6.2	Anlagen im Untergrund.	935
16.1.6.3	Planungsunterlagen und Berechnungen.	937
16.1.6.4	Verfahrenstechnische Gütesicherung	950
16.1.7	Varianten und Weiterentwicklungen	951
16.1.7.1	Langstreckenbohrungen.	951
16.1.7.2	PTT, „Push and Pull Technologie“	957
16.1.7.3	COMBI-DRILLING-Verfahren.	959
16.1.7.4	Bore-and-Ream Hard-Rock Microtunnelling Method	959
16.1.7.5	MINI-DRILL.	959
16.2	Spülbohrverfahren mit Luft-(Gas)-Spülung	962
16.2.1	Arbeitsweise und -ablauf	963
16.2.2	Ausrüstung	963
16.2.3	Einsatzbereich	967
16.2.4	Varianten und Weiterentwicklungen	969
16.2.4.1	GRUNDOPIT mit Hammerbohrlanze.	969
16.2.4.2	Verfahren SYSTEM ONE	969
17	Ausschreibung und Vergabehinweise	971
17.1	Ingenieurleistungen.	971
17.2	Bauleistungen.	971
17.3	Ausschreibungsverfahren	972
17.4	Vergabeverfahren.	972
17.4.1	Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis	974
17.4.2	Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm (funktionale Ausschreibung)	975
17.4.3	Leistungsbeschreibung (LB).	976
17.4.4	Leistungsverzeichnis.	977
17.4.5	Wahl zwischen Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm oder Leistungsverzeichnis.	982
17.5	Ausschreibung von Spülbohrverfahren	982
17.6	Baugrundrisiko	985
18	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	989
18.1	Allgemeines	989
18.2	Direkte und indirekte Kosten	989
18.3	Kostenermittlungsarten.	991
18.4	Geschlossene Bauweise	993
18.4.1	Kostenanteile.	993
18.4.1.1	Start-, Durchfahr- und Zielschächte	994
18.4.1.2	Vortriebsrohre	996
18.4.1.3	Vortrieb	997
18.4.1.4	Sonstige Kosten	1002
18.4.2	Kostenentwicklung	1002
18.4.3	Kosteneinflüsse	1004
18.5	Offene Bauweise	1004
18.6	Vergleich offene/geschlossene Bauweise.	1005

Glossar	1013
Anhang: Technische Daten beispielhaft ausgewählter Verfahren	1025
Literaturverzeichnis	1045
Verzeichnis erwähnter Firmenprodukte und -verfahren	1119
Stichwortverzeichnis	1121