

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>Autoren-Kurzbiografien</b> .....	XVII
<b>Verzeichnis der Autoren</b> .....	XXV
<b>2.1 Erdbau</b>	
<i>Dietmar Adam</i>	
1 Einleitung .....	1
1.1 Allgemeines .....	1
1.2 Typen von Erdbauwerken .....	2
1.3 Anforderungen an Erdbauwerk .....	3
1.4 Einwirkungen auf Erdbauwerke .....	4
2 Regelwerke – Normen und Richtlinien .....	4
2.1 Allgemeines .....	4
2.2 Regelwerke in Deutschland .....	5
2.3 Regelwerke in Österreich .....	8
2.4 Regelwerke in der Schweiz .....	10
2.5 Europäische und internationale Regelwerke .....	11
3 Begriffe .....	12
4 Einschnitte .....	14
4.1 Allgemeines .....	14
4.2 Einschnitte im Lockergestein .....	14
4.3 Einschnitte im Festgestein .....	29
4.4 Entwässerung .....	37
4.5 Oberflächengestaltung .....	39
5 Erd- und Steinschüttdämme .....	44
5.1 Allgemeines .....	44
5.2 Arten von Dämmen .....	45
5.3 Aufbau von Dämmen .....	48
5.4 Entwurf und Berechnung .....	64
6 Erd- und Dammbaustoffe .....	71
6.1 Allgemeines .....	71
6.2 Mineralische Erd- und Dammbaustoffe .....	71
6.3 Sonstige Erd- und Dammbaustoffe .....	93
7 Erdarbeiten .....	96
7.1 Untergrunderkundung .....	96
7.2 Untergrundverbesserung .....	99
7.3 Vor-, Oberboden- und Abtragsarbeiten .....	100

7.4	Vorbereitung der Dammaufstandsfläche .....	101
7.5	Herstellung von Dämmen und Schüttungen .....	102
7.6	Einbau und Verdichtung .....	103
7.7	Sonstige Erdbaumaßnahmen .....	120
8	Bodenbehandlung mit Bindemitteln .....	123
8.1	Grundlagen der Bodenstabilisierung .....	123
8.2	Bodenverbesserung und Bodenverfestigung .....	125
8.3	Eignungsprüfung und Probefeld .....	132
8.4	Ausführung .....	133
8.5	Umweltrelevante Veränderungen im Boden .....	134
9	Qualitätssicherung und Prüfungen .....	135
9.1	Allgemeines .....	135
9.2	Arten von Prüfungen .....	137
9.3	Prüfverfahren .....	137
9.4	Verdichtungskontrollen .....	139
10	Literatur .....	149
11	Anhang: Erläuterung der Kurzzeichen für die Bodenklassifizierung ....	164

## **2.2 Baugrundverbesserung und Injektionen**

*Wolfgang Sondermann und Fabian Kirsch*

1	Einleitung und Überblick .....	167
2	Statische Verdichtung und Entwässerungsverfahren .....	170
2.1	Vorbelastung .....	170
2.2	Vorbelastung mit Konsolidierungshilfe .....	173
2.3	Grundwasserbeeinflussung und Vakuumkonsolidation .....	178
3	Dynamische Verdichtung .....	181
3.1	Vibrationsverdichtung – Tiefenrüttelverfahren .....	181
3.2	Stoßverdichtung .....	188
4	Bewehrung des Baugrunds ohne verdrängende Wirkung .....	199
4.1	Mechanisches Einmischen – Tiefeneinmischverfahren .....	199
4.2	Hydraulisches Einmischen – Düsenstrahlverfahren .....	210
4.3	Hydraulisch-mechanisches Einmischen .....	220
4.4	Porenrauminjektionen .....	221
5	Bewehren des Baugrunds mit verdrängender Wirkung .....	227
5.1	Rüttelstopfverdichtung .....	227
5.2	Sand- und Schotterverdichtungssäulen .....	234
5.3	Einbringen aushärtender Stoffe – Rigid Inclusions .....	236
5.4	Aufreißinjektion – Soil Fracturing .....	244
5.5	Verdichtungsinjektion – Compaction Grouting .....	248
6	Literatur .....	252

**2.3 Verstärkung von Gründungsstrukturen***Karl Josef Witt*

1	Einleitung .....	263
2	Grundsätzliche Überlegungen .....	264
3	Unterfangung und Nachgründung .....	265
3.1	Unterfangungswände nach DIN 4123 .....	265
3.2	Injektion und Vermörtelung .....	270
3.3	Unterfangung durch Pfahlkonstruktionen .....	275
4	Verstärkung von Gründungsstrukturen .....	281
4.1	Ursachen und Schadenstypen .....	281
4.2	Schadensphänomene und Maßnahmen zur Verstärkung .....	283
4.3	Komplexe Maßnahmen zur Nachgründung und Verstärkung .....	290
5	Schlussbemerkungen .....	293
6	Literatur .....	294
7	Zitierte Regelwerke .....	298

**2.4 Bodenvereisung***Wolfgang Orth*

1	Verfahrensprinzip und Anwendungen .....	299
1.1	Allgemeines .....	299
1.2	Wirkungsweise .....	299
1.3	Schachtbau .....	300
1.4	Baugruben und Unterfangungen .....	301
1.5	Tunnelbau .....	303
1.6	Probenahme .....	306
2	Vereisungsverfahren .....	306
2.1	Allgemeines .....	306
2.2	Stickstoffvereisung .....	306
2.3	Solevereisung .....	308
3	Frostausbreitung .....	310
3.1	Grundlagen der Wärmeleitung .....	310
3.2	Thermische Eigenschaften von gefrorenen Böden .....	312
3.3	Künstlich erzeugte Frostausbreitung .....	315
3.4	Klimatisch bedingte Frostausbreitung .....	333
3.5	Kontrolle der Frostausbreitung .....	335
4	Mechanisches Verhalten gefrorener Böden .....	338
4.1	Grundlagen .....	338
4.2	Deformationsverhalten gefrorener Böden .....	341
5	Eigenschaften von Eis .....	357
6	Frostwirkungen .....	360
6.1	Allgemeines .....	360
6.2	Gefrieren .....	360
6.3	Tauen .....	363

6.4	Frostempfindlichkeitskriterien .....	364
6.5	Frischbeton auf gefrorenem Boden .....	365
7	Hinweise zur Berechnung von Frostkörpern .....	365
8	Verwendete Zeichen und Symbole .....	368
9	Literatur .....	369

## **2.5 Verpressanker, Bodennägel und Zugpfähle**

*Lutz Wichter und Wolfgang Meiniger*

1	Verpressanker .....	375
1.1	Allgemeines .....	375
1.2	Entwicklung der Ankertechnik .....	375
1.3	Anforderungen an Verpressanker und Voraussetzungen für den Einbau .....	378
1.4	Technisches Regelwerk für Verpressanker .....	378
1.5	Ankerwerkstoffe und Ankerbauteile .....	379
1.6	Herstellung von Verpressankern .....	387
1.7	Bauarten von Verpressankern .....	396
1.8	Ankerkräfte und Kraftabtragung im Boden .....	403
1.9	Prüfungen an Ankern .....	415
1.10	Entwurfsgrundsätze für verankerte Konstruktionen .....	437
1.11	Bemessung von Verankerungen .....	439
2	Bodenvernagelungen .....	440
2.1	Prinzip von Bodenvernagelungen und Entwicklung der Vernagelungstechnik .....	440
2.2	Anforderungen an Bodennägel und Voraussetzungen für den Einbau .....	443
2.3	Technisches Regelwerk für Bodenvernagelungen .....	444
2.4	Nagelwerkstoffe und Zubehör .....	444
2.5	Bauarten von Bodennägeln .....	449
2.6	Herstellung, Transport, Lagerung und Einbau der Bodennägel .....	450
2.7	Bemessung von Bodenvernagelungen .....	451
2.8	Prüfungen an Nägeln .....	452
3	Anker und Nägel im Tunnel- und Bergbau .....	455
3.1	Allgemeines .....	455
3.2	Bauarten von Gebirgsankern .....	456
3.3	Zugglieder von Gebirgsankern .....	459
3.4	Prüfungen an Gebirgsankern .....	461
4	Zugpfähle .....	461
4.1	Technisches Regelwerk für Zugpfähle .....	462
4.2	Zugpfähle aus Stabstählen mit aufgerolltem Gewinde .....	462
4.3	Zugpfähle aus Stahlrohren mit aufgerolltem Gewinde .....	464
4.4	Prüfung von Zugpfählen .....	466
5	Literatur .....	467

**2.6 Bohrtechnik***Georg Ulrich und Luis Ulrich*

1	Einführung .....	469
2	Trockenbohrverfahren .....	469
2.1	Allgemeines .....	469
2.2	Seilgeführte Werkzeuge .....	470
2.3	Drehende Werkzeuge .....	470
2.4	Kellybohrverfahren .....	474
2.5	Schneckenbohrverfahren (Continuous Flight Auger CFA) .....	476
2.6	Verdrängerbohrverfahren .....	483
2.7	Bohrgeräte .....	486
2.8	Verrohrungsanlagen .....	488
3	Spülbohrverfahren .....	489
3.1	Allgemeines .....	489
3.2	Direktes Spülbohren (Rotary Drilling) .....	490
3.3	Indirektes Spülbohren, Saugbohren (Reverse Circulation Drilling) .....	492
4	Kernbohren .....	495
5	Geothermiebohrungen .....	495
6	Bohrverfahren für den Baugrundaufschluss .....	499
7	Sonderbohrverfahren .....	500
7.1	Vibrationsbohrverfahren „sonic drilling“ .....	500
7.2	Aufsatz- und Offshore-Bohranlagen – Fly Drill .....	501
8	Literatur .....	502

**2.7 Horizontalbohrungen und Rohrvortrieb***Hermann Schad, Carola Vogt-Breyer und Hans-Joachim Bayer*

1	Einleitung .....	505
2	Horizontalbohrungen .....	509
2.1	Allgemeines .....	509
2.2	Bohrtechnik im Lockergestein .....	510
2.3	Bohrsteuerung im Lockergestein .....	510
2.4	Leitungsverlegung .....	512
2.5	Anwendungsmöglichkeiten .....	514
2.6	Bohrtechnik für Bohrungen in Fels .....	519
2.7	Anwendungen für HDD-Bohren im Fels .....	524
2.8	Verdrängungshämmer .....	529
2.9	Horizontalrammen .....	531
2.10	Erdbohr- und Pressbohrverfahren .....	532
3	Rohrvortrieb .....	535
3.1	Allgemeines .....	535
3.2	Grundlagen der Rohrvortriebstechnik .....	535
3.3	Maschinen und Geräte für den Rohrvortrieb .....	539
3.4	Vortriebsrohre .....	541

3.5	Bauausführung .....	544
3.6	Schmierung .....	546
3.7	Verdämmung .....	547
4	Grabenlose Erneuerung von Leitungen .....	548
4.1	Allgemeines zu den Verfahren .....	548
4.2	Voraussetzungen für die Anwendung grabenloser Verfahren zur Leitungserneuerung .....	549
4.3	Rohrberstverfahren (Berstlining) .....	550
4.4	Rohrauswechselverfahren .....	552
4.5	Ringraumverfüllung .....	555
4.6	Wahl des Materials für die neue Leitung .....	555
4.7	Überbohren von Leitungen .....	555
5	Literatur .....	556
<b>2.8</b>	<b>Einbringverfahren für Pfähle und Spundbohlen: Rammen, Vibrieren, Pressen</b>	
	<i>Fritz Berner und Christian Moormann</i>	
1	Anwendung von Ramm- und Ziehverfahren .....	559
2	Einbringgut .....	560
2.1	Arten .....	560
2.2	Verdrängungspfähle (Ramppfähle) .....	560
2.3	Spundbohlen .....	562
2.4	Kombinierte Spundwandsysteme .....	563
2.5	Kanaldielen .....	563
2.6	Leichtprofile .....	563
2.7	Stahlträger .....	563
3	Geräte .....	564
3.1	Allgemeines .....	564
3.2	Geräteträger .....	564
3.3	Mäkler .....	566
3.4	Geräte – Ramm- und Vibrationstechnik .....	569
3.5	Geräte – Einpresstechnik .....	575
3.6	Rammhilfsmittel .....	579
4	Einbringtechnik .....	581
4.1	Baugrundbeurteilung .....	581
4.2	Einbringverfahren gemäß Baugrund .....	582
4.3	Einbringhilfen .....	583
5	Einbringen von Spundbohlen .....	585
5.1	Allgemeines .....	585
5.2	Herstellen von Rammelementen .....	586
5.3	Fortlaufendes Einbringen .....	586
5.4	Staffelweises Einbringen .....	586
5.5	Fachweises Einbringen .....	587
5.6	Einrammen kombinierter (gemischter) Wände .....	588

5.7	Abweichen von der Soll-Lage .....	589
5.8	Maßnahmen gegen das Abweichen .....	590
5.9	Schallarmes Einbringen .....	592
6	Ziehen .....	594
6.1	Maßnahmen vor und während des Einrammens .....	594
6.2	Ziehvorgang .....	594
7	Geotechnische Aspekte .....	595
7.1	Einfluss der Herstellmethode auf den Boden und das Tragverhalten .....	595
7.2	Erschütterungen infolge des Herstellvorgangs .....	620
8	Literatur .....	629

## **2.9 Grundwasserströmung – Grundwasserhaltung**

*Bernhard Odenwald, Uwe Hekel und Henning Thormann*

1	Grundwasserhydraulik .....	635
1.1	Grundlagen .....	635
1.2	Berechnung von Grundwasserströmungen .....	649
1.3	Vertikal-ebene Berechnung von stationären Grundwasserströmungen ..	652
1.4	Vertikal-ebene Berechnung von instationären Grundwasserströmungen .....	677
1.5	Rotationssymmetrische Berechnung von stationären Grundwasserströmungen .....	687
1.6	Rotationssymmetrische Berechnung von instationären Grundwasserströmungen .....	724
1.7	Dreidimensionale Berechnung von Grundwasserströmungen .....	739
1.8	Berechnung von Grundwasseranreicherungen .....	740
1.9	Entwässerung durch Unterdruck .....	741
1.10	Einfluss der Grundwasserströmung auf den Boden .....	741
2	Ermittlung geohydraulischer Parameter .....	743
2.1	Übersicht und Bewertung der Bestimmungsverfahren .....	743
2.2	Abschätzung der Durchlässigkeit nach Erfahrungswerten .....	744
2.3	Abschätzung der Durchlässigkeit mithilfe der Kornverteilung .....	744
2.4	Pump- und Injektionsversuche .....	747
2.5	Einfache Bohrlochversuche (offene Systeme) .....	760
2.6	Spezielle Bohrlochversuche (geschlossene Systeme) .....	765
2.7	Laborversuche .....	768
3	Grundwasserhaltung .....	769
3.1	Wasserhaltungen und Wasserhaltungsverfahren .....	769
3.2	Grundlagen für die Planung und Dimensionierung .....	773
3.3	Offene Wasserhaltung und Dränagen .....	779
3.4	Vertikale Brunnen – Grundwasserabsenkung durch Schwerkraft .....	780
3.5	Entwässerung durch Unterdruck .....	797
3.6	Wiederversickerung .....	803
3.7	Wasserhaltung und Umwelttechnik .....	806
3.8	Wasserhaltung innerhalb dichter Baugruben .....	810

4	Literatur .....	814
<b>2.10</b>	<b>Hydraulisch bedingte Grenzzustände</b>	
	<i>Karl Josef Witt</i>	
1	Einleitung .....	821
2	Geohydraulische Grundlagen .....	821
3	Hydraulische bedingte Grenzzustände .....	827
3.1	Auftrieb und Aufschwimmen .....	827
3.2	Hydraulischer Grundbruch und Bodenverflüssigung .....	833
3.3	Erosion, Filtration, Suffosion und Piping .....	839
4	Schlussbemerkung .....	855
5	Literatur .....	856
<b>2.11</b>	<b>Geotechnisches Erdbebeningenieurwesen</b>	
	<i>Christos Vrettos</i>	
1	Einleitung .....	863
2	Seismologische Grundlagen .....	864
2.1	Erdbeben .....	864
2.2	Quantifizierung der Erdbebenstärke .....	865
3	Parameter der seismischen Bodenbewegung .....	867
3.1	Beschleunigung, Geschwindigkeit, Verschiebung .....	867
3.2	Frequenzgehalt .....	869
3.3	Antwortspektren .....	869
3.4	Prognosegleichungen der Bodenbewegung .....	870
3.5	Starkbebedauer und Zyklenzahl .....	871
3.6	Generierte Beschleunigungszeitverläufe .....	873
4	Erdbebengefährdung und Erdbebenkarten .....	874
4.1	Abschätzung der Erdbebengefährdung .....	874
4.2	Erdbebenkarten .....	876
5	Einfluss der Standortverhältnisse .....	878
5.1	Einfluss des Untergrunds .....	878
5.2	Untergrundabhängige Spektren .....	882
5.3	Einfluss der Boden-Bauwerk-Interaktion .....	886
6	Berechnung der seismischen Bodenantwort .....	887
7	Böschungen und Erddämme .....	891
8	Verflüssigung .....	897
9	Erddruck auf Stützbauwerke .....	901
10	Literatur .....	904

**2.12 Geokunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau***Fokke Saathoff und Gerhard Bräu*

1	Allgemeines .....	915
2	Grundlagen und Begriffe .....	915
2.1	Einteilung der Geokunststoffe .....	915
2.2	Geotextilien .....	916
2.3	Geotextilverwandte Produkte .....	923
2.4	Dichtungsbahnen .....	925
2.5	Dichtungsbahnverwandte Produkte .....	927
2.6	Rohstoffe .....	928
2.7	Funktionen .....	929
2.8	Hinweise zur Bauausführung .....	937
2.9	Prüfverfahren .....	937
3	Einsatzbereiche .....	940
3.1	Küstenschutz .....	940
3.2	Verkehrswasserbau .....	958
3.3	Wasserwirtschaft, Kulturwasserbau und kleine Fließgewässer .....	972
3.4	Staudambau .....	975
3.5	Deponiebau .....	982
3.6	Landverkehrswegebau .....	994
4	Vertragsgestaltung .....	1021
4.1	Regelwerke .....	1021
4.2	Lieferbedingungen .....	1022
4.3	Qualitätssicherung .....	1022
4.4	Ausschreibung .....	1023
4.5	Abrechnung und Gewährleistung .....	1024
5	Schlussbemerkung .....	1024
6	Literatur .....	1025
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	1037
	<b>Inserentenverzeichnis</b> .....	1068

