

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Autoren-Kurzbiografien	XIX
Verzeichnis der Autoren	XXV

1.1 Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau

Martin Ziegler

1	Einführung	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Historischer Rückblick	4
2	Sicherheitskonzepte	9
2.1	Allgemeines	9
2.2	Globales Sicherheitskonzept	9
2.3	Teilsicherheitskonzept	10
3	Aufbau und Inhalte des Normenhandbuchs	11
3.1	Allgemeines	11
3.2	Inhaltsübersicht	11
3.3	Anwendungsbereich	13
3.4	Geotechnische Planung	13
3.5	Wichtige Begriffe der neuen Sicherheitsnorm	15
4	Grenzzustände und Nachweise	28
4.1	Allgemeines	28
4.2	Grenzzustände der Tragfähigkeit ULS	28
4.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS	34
4.4	Teilsicherheitsbeiwerte nach Normenhandbuch	35
5	Zukünftige Normung im Umfeld des EC 7	38
5.1	Entwicklung in Deutschland	38
5.2	Entwicklung in Europa	40
6	Zitierte Normen und Empfehlungen	42
7	Literatur	44

1.2 Baugrunduntersuchungen im Feld

Klaus-Jürgen Melzer, Edwin Fecker und Tilman Westhaus

1	Grundlagen	45
1.1	Normen und Richtlinien	45
1.2	Voruntersuchung	48

1.3	Hauptuntersuchung	48
1.4	Berichterstattung	52
2	Baugrundaufschluss durch Schürfe, Bohrungen und Probenentnahmen ..	53
2.1	Allgemeines	53
2.2	Bohrgeräte und Ausrüstung	54
2.3	Anforderungen	54
2.4	Aufschluss im Boden	55
2.5	Aufschluss im Fels	60
2.6	Aufschluss der Grundwasserverhältnisse	63
2.7	Behandlung, Transport und Aufbewahrung der Proben	66
2.8	Berichterstattung	66
3	Baugrundaufschluss durch Sondierungen	67
3.1	Allgemeines	67
3.2	Rammsondierungen	69
3.3	Standard Penetration Test und Bohrlochrammsondierung	75
3.4	Drucksondierungen	81
3.5	Flügelscherversuche	91
3.6	Gewichtssondierungen	94
4	Bohrlochaufweitungsversuche	98
4.1	Geräte und Versuchsdurchführung	98
4.2	Auswertung	104
5	Bestimmung der Dichte	110
5.1	Gravimetrische Verfahren	110
5.2	Radiometrische Verfahren	111
6	Geophysikalische Verfahren	113
6.1	Allgemeines	113
6.2	Beschreibungen der wichtigsten Verfahren	118
7	Literatur	121
8	Normen und Richtlinien	135

1.3 Eigenschaften von Boden und Fels – ihre Ermittlung im Labor

Paul von Soos und Jens Engel

1	Boden und Fels – Begriffe und Entstehung	139
2	Eigenschaften der Böden	140
2.1	Bodenschichten	140
2.2	Bodenproben	140
2.3	Durchführen und Auswerten von Laborversuchen	141
2.4	Bodeneigenschaften und Laborversuche	144
3	Eigenschaften von Fels	144
4	Kennwerte und Eigenschaften der festen Bodenkörper	145
4.1	Korngrößenverteilung	145
4.2	Korndichte	148
4.3	Mineralaufbau	149
4.4	Kornform und Kornrauigkeit	151

4.5	Spezifische Kornoberfläche	151
4.6	Gehalt an organischen Bestandteilen	152
4.7	Kalkgehalt	153
5	Kennwerte und Eigenschaften des Kornhaufens	153
5.1	Gefüge des Boden	153
5.2	Porenanteil und Porenzahl	154
5.3	Ermittlung der Dichte des Bodens	158
5.4	Grenzen der Lagerungsdichte	158
5.5	Wassergehalt	160
5.6	Konsistenzgrenzen	160
5.7	Wasseraufnahmevermögen nach <i>Enslin</i>	163
5.8	Verdichtungsverhalten in Abhängigkeit vom Wassergehalt	164
5.9	Absolute Porengröße und Filterwirkung	166
5.10	Kapillarität	167
5.11	Wasserdurchlässigkeit	170
5.12	Luftdurchlässigkeit	174
6	Versuche zur Ermittlung des Spannungs-Verformungs-Verhaltens	175
6.1	Allgemeines	175
6.2	Kompressionsversuch (Druckversuch mit verhinderter Seitendehnung) ..	178
6.3	Dreiaxialer Druckversuch	188
6.4	Einaxialer Druckversuch	192
6.5	Dreiaxialer Druckversuch mit $\sigma_2 \geq \sigma_3$ und zweiaxialer Druckversuch	192
6.6	Hohlzylinderversuch	193
6.7	Messen von Kriechverformungen	193
7	Scherfestigkeit; Ermittlung der Scherparameter	195
7.1	Allgemeines	195
7.2	Dreiaxialer Druckversuch	202
7.3	Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit	205
7.4	Rahmenscherversuch	206
7.5	Kreisringscherversuch	206
7.6	Versuch mit dem „Einfachschergerät“ (simple shear)	207
8	Ermittlung der Zugfestigkeit	208
9	Eigenschaften von Festgestein – felsmechanische Laborversuche	208
9.1	Vorbemerkung	208
9.2	Einaxialer Druckversuch an Gesteinsproben	209
9.3	Punktlastversuche an Gesteinsproben	209
9.4	Dreiaxialer Druckversuch an Gesteinsproben	210
9.5	Scherwiderstand in Felstrennflächen	213
9.6	Festigkeit des geklüfteten Fels	214
9.7	Zugversuche an Gesteinsproben	215
9.8	Kriechversuche an Gesteinsproben	215
9.9	Einaxiale Relaxationsversuche an Gesteinsproben	216
9.10	Quellversuche an Gesteinsproben	216
9.11	Ermittlung der Zerfallsbeständigkeit von Gesteinen – Siebtrommelversuch	217
10	Benennen, Beschreiben und Klassifikation von Boden und Fels	218

10.1	Benennen und Beschreiben von Boden	218
10.2	Benennen und Beschreiben von Fels	220
10.3	Bodenklassifikation	223
10.4	Felsklassifikation	226
11	Literatur	232

1.4 Statistik und Probabilistik in der geotechnischen Bemessung

Maximilian Huber und Karl-Josef Witt

1	Einleitung	243
2	Sicherheit und Zuverlässigkeit in der geotechnischen Bemessung	244
2.1	Begriffe und Überblick	244
2.2	Teilsicherheitsbeiwerte und probabilistische Bemessung	247
2.3	Grundlagen der Statistik	249
2.4	Grundlagen der Geostatistik	252
3	Grundlagen der probabilistischen Methoden	256
3.1	Bewertung der Unsicherheit von Systemen	256
3.2	Monte-Carlo-Simulation	259
3.3	First Order Reliability Method	259
3.4	Antwortflächenverfahren	259
3.5	Sensitivitätsanalyse	260
4	Komplexe Fragestellungen der probabilistischen Bemessung	260
5	Berücksichtigung von Messungen in einer probabilistischen Analyse im Rahmen der Beobachtungsmethode	261
5.1	Datenassimilation und inverse Analyse	261
5.2	Probabilistische Analyse von Bestandsbauwerken	261
6	Anwendung von probabilistischen Methoden in der Geotechnik	262
6.1	Teilsicherheitskonzept in der DIN EN 1997-1 (EC 7, Teil 1)	262
6.2	Regelungen in den nationalen Anhängen des EC 7	264
6.3	Literaturüberblick zur probabilistischen Bemessung	265
7	Zusammenfassung	269
8	Literatur	271
	Normen, Empfehlungen und Richtlinien	277
9	Anhang	278
9.1	Statistische Momente	278
9.2	Maximum-Likelihood-Methode	278
9.3	Zusammenhang zwischen Normalverteilung und Log-Normalverteilung	280
9.4	Bayes'sches Updaten	281
9.5	Variogramm	282
9.6	FORM	284

1.5 Charakterisierung von Schadstoffen im Baugrund und Grundwasser

Andreas Claussen

1	Grundlagen	287
2	Anorganische Matrix des Untergrunds	288
3	Organische Matrix des Untergrunds	289
4	Schadstoff	292
5	Anorganische Schadstoffe	294
6	Organische Schadstoffe	296
6.1	Allgemeines	296
6.2	Mineralölartige Kohlenwasserstoffe (KW-Index)	296
6.3	Einkernige aromatische Kohlenwasserstoffe	299
6.4	Mehrkernige aromatische Kohlenwasserstoffe	302
6.5	Halogenierte Kohlenwasserstoffe	302
7	Bewertungsmatrix	304
8	Untersuchungserfordernisse	306
9	Untersuchungsplanung	307
10	Grundlagen der Bewertung	308
10.1	Allgemeines	308
10.2	Bewertung von Verdachtsflächen	308
10.3	Arbeits- und Gesundheitsschutz	310
10.4	Gefährdungen über Bodenluft	311
10.5	Verwertungsmöglichkeiten oder Entsorgungserfordernisse	311
11	Literatur	314

1.6 Erddruck

Achim Hettler

1	Einführung	317
2	Begriffe, Formelzeichen und Indizes	318
2.1	Begriffe	318
2.2	Formelzeichen	319
2.3	Indizes	320
3	Methoden zur Ermittlung des Erddrucks	321
3.1	Übersicht	321
3.2	Kinematische Methoden beim aktiven Erddruck	322
3.3	Kinematische Methoden beim passiven Erddruck	325
3.4	Statische Methoden	329
3.5	Versuche und Messungen	335
3.6	Finite-Elemente-Methode	348
4	Ebener aktiver Erddruck	363
4.1	Grundsätzliche Überlegungen	363
4.2	Bodeneigengewicht, großflächige Auflasten und Kohäsion	365
4.3	Kohäsion, rechnerische Zugspannungen und Mindesterdruk	367
4.4	Vertikale Linien- und Streifenlasten	371

4.5	Horizontale Linien- und Streifenlasten	377
4.6	Geschichteter Boden	377
4.7	Geknickter Geländeverlauf	379
4.8	Geknickte Wandflächen	380
4.9	Verteilung des aktiven Erddrucks	381
5	Erdruchdruck	381
5.1	Bodeneigengewicht und großflächige Auflasten	381
5.2	Punkt-, Linien- und Streifenlasten	386
6	Ebener passiver Erddruck	390
6.1	Grundsätzliche Überlegungen	390
6.2	Eigengewicht, großflächige Auflasten und Kohäsion bei Parallelbewegung	391
6.3	Drehung um den Kopf- oder den Fußpunkt	395
6.4	Verteilung des passiven Erddrucks	397
7	Räumlicher aktiver Erddruck	398
7.1	Grundsätzliche Überlegungen	398
7.2	Kreiszyindrische Flächen	400
7.3	Stützwände quer zur Böschung	403
8	Räumlicher passiver Erddruck	405
8.1	Übersicht	405
8.2	Fußwiderstand vor Bohlträgern nach <i>Weißbach</i>	406
8.3	Verfahren nach DIN 4085 für begrenzte Wandabschnitte	408
9	Sonderfälle	409
9.1	Verdichtungserddruck	409
9.2	Silodruck	411
9.3	Wiederholte quasistatische Beanspruchungen	413
9.4	Dynamische Beanspruchungen	415
9.5	Einfluss des Grundwassers auf den Erddruck	415
9.6	Winkelstützwände	418
9.7	Weitere Hinweise	421
10	Mobilisierung des Erddrucks	424
10.1	Übersicht	424
10.2	Grenzwerte der Verschiebung bei Erreichen des aktiven Erddrucks	425
10.3	Grenzwerte der Verschiebung bei Erreichen des passiven Erddrucks	426
10.4	Mobilisierungsfunktionen	428
11	Anwendungshinweise	433
11.1	Erddruckneigung und Wandreibungswinkel	433
11.2	Ansatz des Erddrucks in Abhängigkeit der Verschiebung	436
11.3	Erddruckumlagerung	439
11.4	Erddruck als günstige Einwirkung	440
12	Literatur	441
Anhang	448

1.7 Stoffgesetze für Böden*Dimitrios Kolymbas und Ivo Herle*

1	Einführung	458
2	Frequently asked questions	459
3	Bedeutung von Stoffgesetzen für die Geotechnik	461
4	Merkmale des Bodenverhaltens	462
4.1	Elementversuche	462
4.2	Kompressionsverhalten	463
4.3	Scherverhalten	465
4.4	Druck- und Dichteabhängigkeit	468
4.5	Verhalten undrainerter Proben	469
4.6	Kritische Zustände	470
4.7	Einfluss der Deformationsgeschichte	472
4.8	Zyklisches Verhalten	473
4.9	Realität	473
5	Mathematische Struktur von Stoffgesetzen	474
5.1	Grundbegriffe, Tensoren	474
5.2	Elastische Stoffe im Allgemeinen	475
5.3	Einfluss der Geschichte	476
5.4	Homogenität	477
5.5	Invarianz, Isotropie, Objektivität	478
5.6	Eindeutigkeit	479
5.7	Maßstabseffekt	480
5.8	Kontinuumsmechanische und diskrete Betrachtungen	480
6	Hierarchie und Bestandteile von Stoffgesetzen	481
6.1	Lineare Elastizität	481
6.2	Elastoplastische Stoffgesetze	483
6.3	Hypoplastische Stoffgesetze	493
6.4	Antwortumhüllende	494
7	Besondere Fragestellungen	495
7.1	Wassergesättigter Boden	495
7.2	Stoffgesetze für teilgesättigten Boden	497
7.3	Stoffgesetze für schnelle Verformungen	497
7.4	Zeitabhängigkeit	498
7.5	Zementierung	498
7.6	Kornbruch	499
7.7	Thermische, chemische und biologische Effekte	499
8	Ergänzende Aspekte von Stoffgesetzen	499
8.1	Allgemeinheit	499
8.2	Kalibrierung	499
8.3	Stoffkonstanten und Zustandsgrößen	500
8.4	Thermodynamische Konsistenz	501
8.5	Große Verformungen	501
8.6	Entfestigung	502
8.7	Höhere Kontinua	502

9	Stoffgesetze in der Praxis	503
10	Literatur	504

1.8 Stoffgesetze und Bemessungsansätze für Festgestein

Erich Pimentel

1	Einführung	511
2	Allgemeine Eigenschaften	511
2.1	Fels und Boden	511
2.2	Diskontinuitäten	514
2.3	Genität, Tropie und Betrachtungsbereich	519
2.4	Bruch- und Verformungsverhalten	522
3	Stoffgesetze	525
3.1	Allgemeines	525
3.2	Elastisches Materialverhalten	525
3.3	Elastoplastisches Materialverhalten	527
3.4	Viskoplastisches Materialverhalten	534
3.5	Trennflächen	535
3.6	Homogenisierung	544
3.7	Schädigungsmodelle	546
4	Durchströmung des Gebirges	547
4.1	Allgemeines	547
4.2	Durchströmung von Gestein und einer Trennfläche	548
4.3	Homogenisierung	550
4.4	Nicht homogenisierbare Fälle und Sonderfälle	551
5	Bemessungsansätze	552
5.1	Allgemeines	552
5.2	Gleiten – ebener Fall	555
5.3	Gleiten – räumlicher Fall	557
5.4	Kippen	560
5.5	Knicken	565
5.6	Steinfall	566
6	Literatur	569

1.9 Bodendynamik

Christos Vrettos

1	Einleitung	573
2	Schwingungen einfacher Systeme	574
2.1	Allgemeines	574
2.2	Freie Schwingungen	575
2.3	Erzwungene, gedämpfte Schwingungen	577
2.4	Viskose Dämpfung	579
3	Wellenausbreitung im Boden	581

3.1	Allgemeines	581
3.2	Eindimensionale Wellenausbreitung	582
3.3	Verhalten von Wellen an Trennflächen	583
3.4	Ausbreitung von vertikal propagierenden Wellen in einer Bodenschicht	584
3.5	Oberflächenwellen	585
4	Bodenverhalten bei zyklischer Belastung	587
4.1	Spannungs-Dehnungs-Verhalten	587
4.2	Äquivalent-lineares Modell	590
4.3	Nichtlineare Modelle	601
4.4	Zyklische Setzungen	606
5	Messung von dynamischen Bodenkenngrößen	608
5.1	Feldversuche	608
5.2	Laborversuche	613
6	Dynamisch belastete Fundamente	616
6.1	Steifigkeitsfunktionen	616
6.2	Boden-Bauwerk-Interaktion	621
6.3	Pfahlgründungen	622
7	Literatur	623

1.10 Numerische Verfahren in der Geotechnik

Peter-Andreas von Wolffersdorff und Helmut F. Schweiger

1	Einleitung	633
2	Besonderheiten der Geotechnik	634
3	Bedeutung der Stoffmodelle für den Baugrund	637
4	Die verschiedenen numerischen Verfahren	640
4.1	Übersicht über numerische Verfahren	640
4.2	Kurzbeschreibung mathematischer und mechanischer Grundlagen	649
5	Verformungsberechnungen typischer geotechnischer Aufgaben	672
5.1	Vorbemerkungen	672
5.2	Gründungen	672
5.3	Dämme	682
5.4	Gesicherte Böschungen und Verbaukonstruktionen	687
6	Standsicherheitsberechnungen typischer geotechnischer Aufgaben	697
6.1	Vorbemerkungen	697
6.2	Verkehrsbauliche Dämme	697
6.3	Wasserbauliche Dämme	698
6.4	Böschungen	702
6.5	Baugrubenwände	707
7	Weitere Anwendungen numerischer Verfahren	708
7.1	Vorbemerkungen	708
7.2	Verformungsberechnungen beim Einsatz von Geokunststoffen	708
7.3	Dynamische Verformungsberechnungen bei Erdbebenbeanspruchungen	711
8	Schlussbemerkungen	713
9	Literatur	714

1.11 Massenbewegungen*Dieter D. Genske*

1	Einleitung	721
2	Mechanismen	732
2.1	Gleiten	733
2.2	Kippen, Knicken, Abscheren	742
2.3	Fallen	746
2.4	Fließen	748
2.5	Kriechen und Driften	754
3	Auslöser	758
3.1	Veränderung der Hanggeometrie	758
3.2	Veränderung der Bergwasserverhältnisse	759
3.3	Veränderung der Lasten	762
3.4	Veränderung der Festigkeit	763
4	Erkennen von Bewegungspotenzialen	764
4.1	Erkundung	764
4.2	Geomorphologische Ansprache	765
4.3	Bodenansprache	766
4.4	Gebirgsansprache	769
4.5	Hydrogeologische Ansprache	775
4.6	Biologische Ansprache	776
4.7	Anthropogene Ansprache	777
4.8	Synthesekarte	777
5	Gefahrenabwehr	778
5.1	Gefährdungskarten	778
5.2	Monitoring	780
5.3	Schutzmaßnahmen	782
5.4	Stabilisierungsmaßnahmen	785
5.5	Geokompatible Böschungsbildung	786
6	Klimawandel	788
6.1	Trigger im Klimawandel	788
6.2	Driver des Klimawandels	788
6.3	Anpassung an den Klimawandel	790
7	Zusammenfassung und Ausblick	791
8	Literatur	792

1.12 Ingenieurgeodäsie – Zustandsdokumentation und Überwachungsmessung*Otto Heunecke*

1	Aufgabenbereiche der Ingenieurgeodäsie	815
2	Inhalte ingenieurgeodätischer Überwachungsmessungen	816
3	Rekapitulation geodätischer Grundlagen	818
3.1	Allgemeines	818

3.2	Geodätische Bezugssysteme	819
3.3	Korrekturen und Reduktionen geodätischer Observablen	822
3.4	Koordinatentransformationen	825
3.5	Geodätische Netzausgleichung	827
4	Ingenieurgeodätische Messverfahren	831
4.1	Allgemeines	831
4.2	Bestimmung einzelner Messgrößen	832
4.3	Linienweise Messungen	840
4.4	3-D-Koordinatenbestimmungen	844
4.5	Geosensornetze	853
5	Auswertemethoden	855
5.1	Allgemeines	855
5.2	Deskriptive Verformungsanalyse	855
5.3	Zeitreihenauswertung	858
5.4	Integrierte Auswertemodelle	862
6	Literatur	864

1.13 Instrumentierung und Monitoring in der Geotechnik

*Hans Jakob Becker, Marcel Hubrig, Markus Stolz, Arno Thut und
Holger Wörsching*

1	Einleitung	867
2	Ziel geotechnischer Messungen	868
2.1	Instrumentierung und Feldversuche in der Sondierphase	869
2.2	Sicherheit und Beweissicherung	869
2.3	Qualitätskontrolle	869
2.4	Instrumentierungen bei der Beobachtungsmethode	869
3	Messgrößen	870
3.1	Messgrößen im Baugrund	870
3.2	Messgrößen während der Bauausführung	871
3.3	Messgrößen in Tragteilen	872
3.4	Messgrößen bei angrenzenden Objekten	872
3.5	Messgrößen bei permanenten Bauwerken	873
3.6	Messgrößen bei Sanierungen von Bauwerken	873
4	Messkonzept	874
4.1	Begriffe der Messtechnik	874
4.2	Sensoren und Sensorsysteme	875
4.3	Instrumentierung	877
4.4	Monitoring	878
4.5	Datenerfassungsarten	879
4.6	Datenmanagement	880
5	Messinstrumente in der Geotechnik	885
5.1	Verschiebungsmessungen	885
5.2	Messungen des Porenwasserzustands	910
5.3	Dehnungs-, Kraft- und Spannungsmessungen	919

5.4	Temperaturmessungen	921
5.5	Prüfungen	924
5.6	Immissionsmessungen / Erschütterungsmessungen	926
6	Fallbeispiele	928
6.1	Tiefe Baugruben, angrenzende Gebäude	928
6.2	Probeschüttungen, Barcelona und Venedig	939
6.3	Kavernen und Staumauerbau: Pumpspeicherwerk Limmern	941
6.4	Überwachung instabiler Hänge	952
6.5	Probebelastungen an Tragteilen und Pfählen	957
6.6	Sanierung eines Bauwerks: Adlertunnel	960
6.7	Anwendung von linienweisen Messungen	964
7	Literatur	966
	Stichwortverzeichnis	969
	Inserentenverzeichnis	987