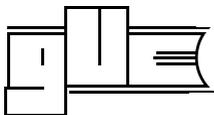


Ralf Wagner

**Geotechnik
für das duale Bauingenieurstudium**

**Band 1:
Geologie, Baugrund,
Erd- und Stützbauwerke**



GUC - Verlag der Gesellschaft für
Unternehmensrechnung und Controlling m.b.H.
Chemnitz 2018

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Ralf Wagner:

Geotechnik für das duale Bauingenieurstudium Band 1: Geologie, Baugrund, Erd- und Stützbauwerke - Chemnitz, Löbnitz: Verlag der GUC, 2018 (verlegt als Manuskript; Fachbuchreihe; 13)
ISBN 978-3-86367-052-8

© 2018 by Verlag der GUC - Gesellschaft für Unternehmensrechnung und Controlling m.b.H.
GUC m.b.H. · Chemnitz · Löbnitz
<http://www.guc-verlag.de>

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilm or any other way, and storage in data banks. Duplication of this publication or parts thereof is permitted only under provisions of the German Copyright Law, in its current version, and permission for use must always be obtained from GUC m. b. H., Chemnitz/Loessnitz. Violations are liable to prosecution under the German Copyright Law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, etc. in this publication does not imply, even in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protective laws and regulations and therefore free for general use.

Printed: Sächsisches Druck- und Verlagshaus AG, Dresden
Gedruckt auf säurefreiem Papier - alterungsbeständig
Printed in Germany
ISBN 978-3-86367-052-8

Inhaltsverzeichnis Band 1

Abbildungsverzeichnis	XII
Geotechnische Normen	XXII
Vorwort der Verfassers	XXV

Lehrkomplex I

Ingenieurgeologische Grundlagen

1.	Allgemeine Aufgabenstellung des Tiefbaues	1
1.1	Nutzung von Fest- und Lockergestein als Baugrund, Baustoff und Bauraum	1
1.2	Aufgaben der Ingenieurgeologie	3
1.3	Die geotechnischen Kategorien nach DIN 4020	4
Beispiele:	Bestimmung der Geotechnischen Kategorien	8
2.	Bautechnisch wichtige Minerale und Gesteine	11
2.1	Gesteinsbildende Minerale	11
2.2	Bautechnisch wichtige Festgesteine	14
2.2.1	Magmatische Gesteine	14
2.2.2	Sedimentgesteine	16
2.2.3	Metamorphe Gesteine	19
2.2.4	Gesamtwertung	21
2.2.5	System der Festgesteine und Erkennungsmerkmale	24
2.3	Lockergesteine	25
	System der Lockergesteine und Begriffsbildungen	26
3.	Abriss der erdgeschichtlichen Entwicklung	29
3.1	Das Archaikum oder Präkambrium	31
3.2	Das Paläozoikum oder Erdaltertum	31
3.3	Das Mesozoikum oder Erdmittelalter	33
3.4	Das Känozoikum oder die Erdneuzeit	35
3.4.1	Tertiär	35
3.4.2	Quartär	36
3.5	Zusammenfassung der Erdzeitalter	39
4.	Geologische Prozesse	40
4.1	Die exogene Dynamik	40
4.1.1	Die Gesteinsverwitterung	40
4.1.2	Abtragung und Transport	42
4.1.3	Gesteinsverfestigung (Diagenese)	46
4.2	Die endogene Dynamik	46
4.2.1	Hebungen und Senkungen der Erdkruste (Epirogenese)	46
4.2.2	Bruch und Verformung der Erdkruste (Tektonik)	47
4.2.3	Gesteinsumwandlung durch Druck und Temperatur (Metamorphose)	51

5.	Klassifizierung von Fest- und Lockergestein	53
5.1	Der Felsbaugrund	53
5.2	Bodenklassen nach VOB/C – ATV DIN 18 300 „Erdarbeiten“	57
5.3	Klassifizierung und bautechnische Eigenschaften	61
5.3.1	Einstufung der Lockergesteine nach Hauptgruppen	61
5.3.2	Klassifizierung nach DIN 1054	65
5.3.3	Benennung der Lockergesteine nach DIN 4022	65
5.3.4	Klassifizierung nach DIN 18196	66
5.3.5	Klassifizierung nach organischen Beimengungen	70
5.3.6	Chemische Beimengungen	71
6.	Spezielle ingenieurgeologische und bautechnische Eigenschaften von Lockergestein	73
6.1	Eigenschaften und bautechnische Bewertungen nach DIN 18 196	73
6.2	Durchlässigkeit und Filterregeln	76
6.3	Kapillarität und Frostwirkung im Baugrund	80
6.4	Richtwerte für Bodenkenngrößen	84
Beispiele:	Klassifikation und bautechnische Eigenschaften	85
7.	Baugrunderkundung	91
7.1	Das Erkundungsprogramm	91
7.2	Nutzung vorhandener Informationsquellen	94
7.3	Aufschlussverfahren	96
7.3.1	Direkte Baugrundaufschlüsse – Planungsgrundlagen	97
7.3.2	Durchführung direkter Baugrundaufschlüsse	99
7.3.3	Kleinbohrverfahren	101
7.3.4	Indirekte Baugrundaufschlüsse	102
Beispiele:	Baugrunderkundung	110
Anlage:	Erkundungsprojekt für eine Baugrube	
Baugrunduntersuchung, Kennwertsystem im Erd- und Grundbau		
8.	Das Dreistoffsystem von Feststoff, Wasser und Luft	114
8.1	Begriffsbild und Bezeichnungen für das Dreistoffsystem	114
8.2	Bodenphysikalische Kenngrößen im Dreistoffsystem	115
8.2.1	Die Korndichte	115
8.2.2	Die Feuchtdichte	116
8.2.3	Der Wassergehalt	119
8.2.4	Das Porenvolumen	120
8.2.5	Der Sättigungswassergehalt und der Sättigungsgrad	121

8.3	Dichten und Eigenlasten bei Grenzzuständen des Wassergehaltes	122
8.3.1	Das Normalprofil des Baugrundes	122
8.3.2	Überleiten von Dichten in Eigenlasten des Lockergesteins	123
8.3.3	Ableitung charakteristischer Baugrundkennwerte	124
Beispiele:	Kennwertbestimmungen zum Dreistoffsystem	127
9.	Lagerungsdichte, Verdichtbarkeit und Güteprüfung im künstlichen Erdstoffeinbau	138
9.1	Lagerungsdichte und Verdichtbarkeit nichtbindiger Lockergesteine	138
9.2	Lagerungsdichte und Verdichtbarkeit von bindigem und gemischt-körnigem Lockergestein. Der Proctorversuch.	140
9.3	Verdichtungsnachprüfung mit dem Plattendruckversuch	149
9.4	Dynamischer Lastplattenversuch	154
Beispiele:	Lagerungsdichte, Verdichtung und Verdichtungsnachprüfung	154
10.	Wasser im Baugrund	160
10.1	Erscheinungsformen und Wirkungen	160
10.2	Strömungsvorgänge im Baugrund	165
10.3	Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes	168
10.4	Richtwerte zur Durchlässigkeit	173
Beispiele:	Wasser im Baugrund	174
11.	Druckfestigkeit und Formänderung des Baugrundes	183
11.1	Formänderungsverhalten bei äußerer Lasteinwirkung	183
11.2	Bestimmung des Formänderungsverhaltens	184
11.3	Zielstellung des Druck-Setzungs-Versuches	186
11.4	Der Verformungsmodul des Baugrundes	188
11.5	Das Zeit-Setzungs-Diagramm	192
Beispiele:	Druckfestigkeit und Formänderung des Baugrundes	195
12.	Scherfestigkeit des Baugrundes	202
12.1	Grundlagen zum Bruchzustand des Baugrundes	202
12.2	Bestimmung der Scherparameter	204
12.3	Hauptinflüsse des Baugrundes auf die Scherfestigkeit	204
12.3.1	Scherfestigkeit nichtbindiger Lockergesteine	204
12.3.2	Scherfestigkeit bindiger Lockergesteine	208
12.4	Einaxiale Druckfestigkeit	212
12.5	Triaxiale Druckfestigkeit	214
Beispiele:	Scherfestigkeit des Baugrundes	218
Anlage:	Baugrundkennwerte	222

Lehrkomplex II

Erdbauwerke

13.	Übersicht und Begriffsbildungen	225
13.1	Erdbauwerke im Geländeabtrag	225
13.2	Erdbauwerke im Geländeauftrag	226
13.3	Böschungsgestaltung im Festgestein	227
13.4	Verkehrsdämme für Straßen und Eisenbahnen	228
13.5	Deiche und Staudämme	231
14.	Grundlagen der Böschungsstabilität	234
14.1	Sicherheitsdefinition	234
14.2	Ausbildung der Scherbruchflächen	236
14.3	Rutschungsarten	237
14.4	Rutschungsbegünstigende Einflüsse	239
14.4.1	Geologisch-hydrologische und bodenphysikalische Einflüsse	240
14.4.2	Äußere Einflüsse	241
15.	Böschungsbemessung nach TAYLOR	247
Beispiel:	Lotrechter Abschacht	250
Beispiele:	Einzelböschungen und Böschungssysteme	253
16.	Lamellenverfahren nach FRANKE/SPENCER	260
16.1	Grundlagen	260
16.2	Ableitung des Momentengleichgewichtes	261
16.3	Aufbereitung des Verfahrens für die PC-Bearbeitung	262
16.3.1	Gleitkreisgeometrie	263
16.3.2	Momentengleichgewicht und Standsicherheitsnachweis	270
Beispiel:	Standsicherheitsnachweis für einen Geländeeinschnitt	272
17.	Böschungen mit ebenen Scherbruchflächen	277
Beispiele:	Einsatz des Blockverfahrens als Standsicherheitsnachweis	280
18.	Einfluss von Wasser auf die Böschungsstabilität	289
18.1	Oberflächen- und Sickerwasser	289
18.2	Ruhendes Grundwasser	291
18.3	Strömendes Grundwasser	293
Beispiele:	Oberflächen- und Sickerwasser, Einstau und Grundwasser	297
19.	Einfluss von Erdbeben auf die Böschungsstabilität	312
Anlage:	Verkehrsdamm auf setzungsempfindlichen Baugrund	

Stützbauwerke zur Sicherung von Geländesprüngen

20.	Prinzipielle Merkmale von Stützmauern und –wänden	314
21.	Bauwerksbelastung durch Erd- und Wasserdruck	318
21.1	Theoretische Grundlagen	318
21.1.1	Definition der Erddruckarten	318
21.1.2	Erddrucktheorien	320
21.1.3	Wandbewegung und Erddruckverteilung	323
21.1.4	Ansatz von Wandreibung und Vorzeichendefinition	325
21.1.5	Erddruckbeiwerte und Scherbruchflächenwinkel	327
21.1.6	Sicherheitskonzept (DIN 1054)	332
21.2	Homogener und geschichteter Baugrund	333
21.2.1	Erddruck in Hinterfüllungsbereichen	333
21.2.2	Erddruck bei gewachsenem Baugrund	334
21.2.3	Baugrundsichtung	335
Beispiele:	Homogener und geschichteter Baugrund	338
21.3	Einfluss von Geländeaufasten	353
21.3.1	Flächenlasten	353
21.3.2	Linien- und Punktlasten	360
Beispiele:	Geländeaufasten	361
21.4	Wand- und Geländeneigung	376
21.4.1	Gebrochene Wandneigung	376
21.4.2	Gebrochene Geländeneigung	378
Beispiel:	Gebrochenes Gelände und Auflast	385
21.5	Erdwiderstand mit gekrümmter Scherbruchfläche	390
Beispiel:	Im Baugrund eingespannte Ankerwand	392
21.6	Sonderfälle der Erddruckberechnung	397
21.6.1	Verdichtungsdruck	397
21.6.2	Erddruck auf Kellerwände	398
21.6.3	Räumlicher, aktiver Erddruck	400
21.6.4	Räumlicher, passiver Erddruck	403
21.6.5	Silodruck bei begrenzten Hinterfüllungsräumen	404
Beispiel:	Erddruck auf Kellerwände	407
Beispiel:	Räumlicher Erdwiderstand für ein Pressenwiderlager	409

22.	Belastung durch Wasserdruck. Nachweise im GZ 1A	414
22.1	Wirkung von Wasser im Baugrund	414
22.2	Hydrostatischer Wasserdruck	416
22.2.1	Offenes (oder freies) Wasser	416
22.2.2	Stau- und Grundwasser. Standsicherheitsnachweis gegen das Aufschwimmen von Becken und Grundwasserwannen	418
22.2.3	Druckwasserführende Schicht im Aushubbereich	420
22.2.4	Druckwasserführende Schicht unter Aushubsohle.	421
Beispiel:	Hydrostatischer Wasserdruck und Nachweis im GZ 1A	422
Beispiel:	Standsicherheit: Aufschwimmen der Konstruktion	425
22.3	Hydrodynamischer Wasserdruck bei Grundwasserströmung	426
22.3.1	Ansatz der ebenen Potentialströmung	427
22.3.2	Hydrodynamischer Wasserdruck	429
22.3.3	Standsicherheitsnachweis gegen hydraulischen Grundbruch	430
22.3.4	Bestimmung der Sickerwassermenge im Strömungsnetz	432
Beispiele:	Hydrodynamischer Wasserdruck. Standsicherheitsnachweis gegen hydraulischen Grundbruch	432
Beispiel:	Ableitung der Sickerwassermenge aus Strömungsnetzen	443

Stützmauern

23.1	Massive Konstruktionen	444
23.1.1	Gewichtsmauern	444
23.1.2	Pfeilerstützmauern	451
23.1.3	Konsolstützmauern	452
23.1.4	Winkelstützmauern	455
23.1.5	Widerlager mit Schleppplatte	458
Beispiel:	Schnittkraftermittlung für eine Winkelstützmauer	460
Beispiel:	Entwurf einer Gewichtsmauer und Geländebruchnachweis	466
23.2	Flexible Konstruktionen	477
23.2.1	Gabionen	477
23.2.2	Bewehrte Erde	482
Beispiel:	Bemessung eines Geogitters	493

Stützwände und Verankerungen

24.1	Stützwandsysteme	496
24.1.1	Die unverankerte Wand	496
24.1.2	Die einfach verankerte/gestützte Wand	501
24.1.3	Die mehrfach verankerte/gestützte Wand	507
24.2	Bohlenarten und Bemessung der Hauptwand	510
24.2.1	Bohlwände aus Holz	512
24.2.2	Spundwände aus Stahlbeton	513
24.2.3	Stahlspundwände	513
24.2.4	Bemessung der Hauptwand	519
24.2.5	Die Spundwandholmung	520
Beispiele:	Schnittkräfte, Bemessung der Hauptwand, Standsicherheit	522
24.3	Verankerung und Standsicherheit von Stützwänden	561
24.3.1	Das schlaffe Verankerungssystem	564
Beispiel:	Stützwand für kanalisierten Bachlauf	574
24.3.2	Vorgespannte Verankerungssysteme und Standsicherheitsnachweis	583
Beispiel:	Baugrubenumschließung im Grundwasser	595
Anlage	Erdbauwerke – Verkehrsdamm auf setzungsempfindlichem Baugrund	602
Sachwortverzeichnis		634
Arbeitsbiografie des Verfassers		639

Abbildungsverzeichnis Band 1

Ingenieurgeologische Grundlagen

Allgemeine Aufgabenstellung des Tiefbaues

Bild 1-1:	Bauliche Nutzung des oberflächennahen Bereiches der Erdkruste	1
Bild 1-2:	Begriffsbildung Geotechnik	2
Bild 1-3:	Einordnung der Ingenieurgeologie	3

Minerale und Gesteine

Bild 2-1:	Feste Festgesteine. Bautechnische Kennwerte	21
Bild 2-21	System Festgesteine	22
Bild 2-22	System Festgesteine	23
Bild 2-31	System Lockergesteine	26
Bild 2-32	System Lockergesteine	27
Bild 2-4:	geologische Begriffsbildungen	28

Erdgeschichtliche Entwicklung

Bild 3-1	Kalt- und Warmzeiten im Pleistozän	37
Bild 3-2	Gesteinsbildung in den Erdzeitaltern	39

Geologische Prozesse

Bild 4-1	Wollsackverwitterung	41
Bild 4-2	Karstgeologie nach Lösungsverwitterung	42
Bild 4-3	Geröllsperrungen für den Wildbachverbau	43
Bild 4-4	Mäandrierung eines Fließgewässers	44
Bild 4-5	Brandungsabbrüche an Steilküsten	44
Bild 4-6	Abtrag und Verlandung durch küstenparallele Strömung	45
Bild 4-7	Wellenschlagserosion nach Windeinwirkung	45
Bild 4-8	Definition der Faltengeometrie	47
Bild 4-9	Faltenformen	48
Bild 4-10	Geometrie der Verwerfung	48
Bild 4-11	Formen der Verwerfungstektonik	49
Bild 4-12	Harznordrandstörung bei Thale und Quedlingburg	49
Bild 4-13	Sächsisch-nordböhmische Verwerfungen südlich von Dresden	50
Bild 4-14	Salzsattel mit Gipsstut als Auffressung	50
Bild 4-15	Gleichmäßig abgelagerte Schichtenfolge	51
Bild 4-16	Gestörte Schichtenfolge als diskordante Lagerung	51

Klassifizierung von Fest- und Lockergesteinen

Bild 5-1	Handprüfungen zum Erkennen der Verwitterungs-Zustandsklasse	54
Bild 5-2	Festlegung von Trennflächenklassen für Festgestein	55
Bild 5-3	Definition der Regelklüftkörper	55
Bild 5-4	Zulässige Sohlpressungen bei Gründungen auf Fels	56
Bild 5-5	Einstufung der Lockergesteine nach Korngruppen	61
Bild 5-6	Bodenphysikalische Struktur des Kornverteilungs-Diagrammes	62
Bild 5-7	Charakteristische Kornverteilungen nichtbindiger Lockergesteine	63
Bild 5-8	Charakteristische Kornverteilungen bindiger Lockergesteine	64
Bild 5-9	Plastizitätsdiagramm	68
Bild 5-10	Vergleichende Konsistenzänderung von Schluff und Ton	70

Bild 5-11	Zersetzungsgrad organischer Lockergesteine	71
Bild 5-12	Einstufung der Lockergesteine nach dem Kalkgehalt	71
Bautechnische Bewertung von Lockergesteinen		
Bild 6-1	Bautechnische Bewertung nichtbindiger Lockergesteine	74
Bild 6-2	Bautechnische Bewertung bindiger Lockergesteine	75
Bild 6-3	Beispiele für Filtereinbauten	76
Bild 6-4	Bestimmung eines natürlichen Filtermaterials	77
Bild 6-5	Dränagen für Deiche und Erdstaudämme	78
Bild 6-6	Böschungssicherung mit Stützrippen und Schottermulden	78
Bild 6-7	Ufersicherungen gegen Auskolkung	79
Bild 6-8	Kapillarität	80
Bild 6-9	Richtwerte für kapillare Steighöhen	81
Bild 6-10	Profil eines kapillaren Wasseranstieges	81
Bild 6-11	Frostempfindlichklassen nach ZTVE	83
Bild 6-12	Richtwerte für Bodenkenngößen	84
Baugrunderkundung		
Bild 7-1	Modell Erkundungsprogramm	93
Bild 7-2	Informationsquellen zum Standort der Baumaßnahme	94
Bild 7-3	Informationen aus Ortsbegehungen	95
Bild 7-4	Systematik der Aufschlussverfahren	96
Bild 7-5	Direkte Aufschlussverfahren	97
Bild 7-6	Ausführung eines Schurfes	99
Bild 7-7	Entnahme von Bodenproben aus Schürfen	100
Bild 7-8	Indirekte Aufschlussverfahren	102
Bild 7-9	Seismische Baugrunderkundung	103
Bild 7-10	Seismik. Wellengeschwindigkeiten in Gesteinen	104
Bild 7-11	Geoelektrisches Erkundungsverfahren	104
Bild 7-12	Elektrischer Widerstand in Fest- und Lockergesteinen	105
Bild 7-13	Leichte Rammsonde. Sondierdiagramm. Zuordnung Baugrund.	106
Bild 7-14	Rammsonden nach DIN 4094	107
Bild 7-15	Kennzeichnende Sondierergebnisse	107
Bild 7-16	Drucksonden nach DIN 4094-1	108
Bild 7-17	Baugrundorientierte Spitzendruckbeiwerte	109
Bild 7-18	Ableitung von Bohrstäbchen aus Schichtenverzeichnissen	110
Bild 7-19	Erläuterungen zur Darstellung von Bohrprofilen	111
Bild 7-20	Beispiel Schichtenverzeichnis	112
Bild 7-21	Einstufung der Aufschlussverfahren	113

Baugrunduntersuchung und Qualitätssicherung im Erdbau

Dreistoffsystem

Bild 8-1	Masse und Volumenbeziehungen an einem Probekörper	114
Bild 8-2	Richtwerte der Korndichte	115
Bild 8-3	Entnahme einer ungestörten Büchsenprobe auf dem Erdplanum	116
Bild 8-4	Volumenbestimmung vor Ort mit Wassersersatzmethode	117
Bild 8-5	Ballongerät nach DIN 18125, T.2	118
Bild 8-6	Richtwerte der Feuchtdichte	118
Bild 8-7	Richtwerte des Wassergehaltes	120
Bild 8-8	Richtwerte Porenanteil und Porenzahl	121
Bild 8-9	Richtwerte Sättigungsgrad	122
Bild 8-10	Dichten bei Grenzzuständen des Wassergehaltes	122
Bild 8-11	Faktor der Normalverteilung	125
Bild 8-12	Streuung eines Einzelprüfergebnisses	126
Bild 8-13	Anwendungsbereich des FUZZmodells	135

Lagerungsdichte und Verdichtbarkeit

Bild 9-1	Spurlinie des Proctorversuches und Auswertung	141
Bild 9-2	Auswahl des Versuchszylinders	143
Bild 9-3	Versuchsbedingungen	143
Bild 9-4	Erforderliche Proctordichte, zulässiger Wassergehalt	144
Bild 9-5	Baugrundeinfluss auf die Proctordichte	145
Bild 9-6	Kennwerte zur Proctordichte	145
Bild 9-7	Einstufung der Lockergesteine nach ihrer Verdichtbarkeit	146
Bild 9-8	Einfluss von Lagenhöhe und Dienstmasse der Walze	148
Bild 9-9	Richtwerte für den Geräteinsatz	148
Bild 9-10	Klassische Anordnung des Plattendruckversuches	150
Bild 9-11	Modernes Einachs-Plattendruckgerät	150
Bild 9-12	Spurlinien des Plattendruckversuches	151
Bild 9-13	Auswertung des Plattendruckversuches	152
Bild 9-14	Anforderungen an den E_{v2} -Modul im Erd- und Straßenbau	153

Wasser im Baugrund

Bild 10-1	Erscheinungsformen des Wassers im Baugrund	160
Bild 10-2	Orientierungen zum Abflussbeiwert	161
Bild 10-3	Spitzenabflussbeiwerte nach FLOSS	161
Bild 10-4	Sickerwasserableitung am Bauwerk	162
Bild 10-5	Geböschte Baugrube unter Sickerwassereinfluss	164
Bild 10-6	Geböschte Baugrube mit Grundwasserzufluss	164
Bild 10-7	Hydraulische Gefährdung durch gespanntes Wasser	165
Bild 10-8	Fließvorgang bei laminarer und turbulenter Strömung	166
Bild 10-9	Modell zur Grundwasserströmung	167
Bild 10-10	Durchlässigkeit bei konstantem hydraulischem Gefälle	168

Druckfestigkeit und Formänderung

Bild 11-1	Verformungsmodell Bauwerk/Baugrund	183
Bild 11-2	Bedingungen für den Druck-Setzungs-Versuch	185
Bild 11-3	Spurlinien der Versuchsdurchführung	185
Bild 11-4	Lineare Darstellung der Versuchsergebnisse	186
Bild 11-5	halblogarithmische Darstellung der Versuchsergebnisse	186
Bild 11-6	Gesamtspannungszustand für Teilschichtsetzung	187
Bild 11-7	Spannungen und Relativverformungen am Volumenelement	189
Bild 11-8	Erst- und Wiederbelastung im Druck-Setzungs-Versuch	191
Bild 11-9	Bestimmung der geologischen Vorbelastung	192
Bild 11-10	Baugrundeinfluss auf den zeitlichen Setzungsablauf	193
Bild 11-11	Zusammenhang Versuchszeit und anteilige Setzung	193
Bild 11-12	Angleichung der Bauzeit an das Modellgesetz	194

Scherfestigkeit

Bild 12-1	Modell Böschungsbruch	202
Bild 12-2	Einfluss von Porenwasserdruck auf die Scherfestigkeit	203
Bild 12-3	Prinzip des Translationsversuches	204
Bild 12-4	Körnungseinfluss auf den Reibungs- und Verzahnungswiderstand	205
Bild 12-5	Einfluss der Einbaudichte auf die Scherbruchfestigkeit	206
Bild 12-6	Scherfestigkeit nichtbindiger Lockergesteine	206
Bild 12-7	Kapillarkohäsion nichtbindiger Lockergesteine	207
Bild 12-8	Scherfestigkeit nichtbindiger und bindiger Lockergesteine	208
Bild 12-9	Undränierter, unkonsolidierter Versuch	210
Bild 12-10	Feststellung einer Vorbelastung	211
Bild 12-11	Scherbruch- und Schergleitfestigkeit	211
Bild 12-12	Prinzip des Zylinderdruckversuches	212
Bild 12-13	Scherbruchflächenwinkel im MOHRschen Spannungskreis	212
Bild 12-14	MOHRscher Spannungskreis für den Zylinderdruckversuch	213
Bild 12-15	Prinzip einer Triaxialzelle	215
Bild 12-16	Versuchssteuerung bei einer triaxialen Kompression	216
Bild 12-17	Tangierende Schergeade an zwei Einzel-Versuchsergebnissen	217
Bild 12-18	Triaxialversuch mit nichtbindigem Lockergestein	218
Bild 12-19	Triaxialversuch mit bindigem Lockergestein	219

Erdbauwerke

Übersicht und Begriffsbildungen

Bild 13-1	Charakteristik von Baugruben und Leitungsgräben	225
Bild 13-2	Geländeeinschnitt und -anschnitt	225
Bild 13-3	Erdbecken und Kanaleinschnitte	226
Bild 13-4	Erdbaumaßnahmen ohne Güteanforderungen	226
Bild 13-5	Erdbauwerke mit qualitätsgerechtem Erdstoffeinbau	227
Bild 13-6	Entwurfsgrundlagen für Böschungen im Fels	228
Bild 13-7	Entwurfsgrundlagen für Böschungen im Lockergestein	230
Bild 13-8	Entwurfsgrundlagen für Verkehrsdämme	231
Bild 13-9	Deichbauwerke	232
Bild 13-10	Erdstaudamm	233

Bild 13-11	Staudammabdichtungen	233
Bild 13-12	Abdichtungsmaterialien für Erdstaudämme	234
Bild 13-13	Dränagen am luftseitigen Dammfuß	234
Bild 13-14	Detail Steinfuß	234
Grundlagen der Böschungsstabilität		
Bild 14-1	Rutschung einer Baugrubenböschung	235
Bild 14-2	Spannungszustand an einer Lamelle des Bruchkörpers	236
Bild 14-3	Gekrümmte Scherbruchflächen in homogenem Baugrund	237
Bild 14-4	Einfallende Schichtgrenze als ebene Scherbruchfläche	238
Bild 14-5	Rutschungsarten	239
Bild 14-6	Böschungsversteilung durch Fußabgrabung	242
Bild 14-7	Entwässerungsgraben am Böschungsfuß	242
Bild 14-8	Massenablagerung im Kopfbereich der Böschung	243
Bild 14-9	Unzulässige Aufweitung bei einfallender Schichtgrenze	243
Bild 14-10	Unzulässige Aufweitung bei druckwasserführender Schicht	243
Bild 14-11	Zusätzlicher Schub in ausbuchtender Baugrubenecke	244
Bild 14-12	Hanglage und Bogenstaumauer der Talsperre Vajont	245
Böschungsbemessung nach TAYLOR		
Bild 15-1	Bedingungen am Gleitkreis	245a
Bild 15-2	Teilsicherheitsbeiwerte im GZ 1C	246
Bild 15-3	Zulässige Böschungsneigungen nach TAYLOR	246
Bild 15-4	Mittelung der Eigenlast bei Grundwasser	247
Bild 15-5	Kennwertmittelung bei geschichtetem Baugrund	248
Bild 15-6	Bemessung eines Böschungssystems	248
Lamellenverfahren nach FRANKE/SPENCER		
Bild 16-1	Die FELLENIUS-Regel	259
Bild 16-2	Kräfteansatz am Gleitkreis	260
Bild 16-3	Mittelpunktslage des Gleitkreises bei Schwerkraftrutschung	262
Bild 16-4	Mittelpunktslage des Gleitkreises bei Böschungsgrundbruch	263
Bild 16-5	Gleitkreise bei Geländebruch mit Stützmauer	263
Bild 16-6	Mittelpunktslagen der Gleitkreise nach JANBU	264
Bild 16-7	Horizontale Mittelpunktskoordinate nach JANBU	264
Bild 16-8	Vertikale Mittelpunktskoordinate nach JANBU	265
Bild 16-9	Gleitkreismittelpunkt im allgemeinen Fall	266
Bild 16-10	Lamellenteilung Einzelböschung und homogener Baugrund	267
Bild 16-11	Bestimmung der Lamellenhöhe	268
Böschungen mit ebenen Scherbruchflächen		
Bild 17-1	Belastungsansatz für das Blockverfahren	277
Bild 17-2	Berechnung eines Böschungssystems	278
Bild 17-3	Richtungswinkel des RANKINESchen Erddruckes	279
Bild 17-4	Ausbildungsformen der Scherbruchfläche	280

Einfluss von Wasser auf die Böschungsstabilität

Bild 18-1	Belastungsansatz zum Nachweis der örtlichen Böschungssatilität	290
Bild 18-2	Eigenlast unter Auftrieb bei ruhendem Grundwasser	292
Bild 18-3	Belastung einer bindigen Böschung durch Stauwasser	292
Bild 18-4	Sickerparabel im Stützkörper eines Erdstaudammes	293
Bild 18-5	Sickerparabel in Böschungen	294
Bild 18-6	Sickerparabel bei einer Schichtgrenze im Böschungsbereich	295
Bild 18-7	Sickerparabel an einer Uferböschung	296
Bild 18-8	Ansatz von Strömungswasserdruck im Lamellenverfahren	296

Einfluss von Erdbeben auf die Böschungsstabilität

Bild 19-1	Erbebenzonen in Deutschland	212
Bild 19-2	Horizontalbeschleunigung der Erdbebenwellen	212
Bild 19-3	Baugrundeinfluss auf die Erdbebenwirkung	213

Stützbauwerke

Prinzipielle Merkmale von Stützmauern und Stützwänden

Bild 20-1	Problemfeld Stützmauer	314
Bild 20-2	Anforderung an die Bemessung einer Stützmauer	315
Bild 20-3	Problemfeld Stützwand	316

Bauwerksbelastung durch Erddruck und Erdwiderstand

Theoretische Grundlagen

Bild 21.1-1	Definition der Erddruckarten	318
Bild 21.1-2	Berechnungsmodell der kinematischen Methode	321
Bild 21.1-3	Scherbruchflächen des aktiven und passiven Erddruckes	322
Bild 21.1-4	Berechnungsmodell der statischen Methode	322
Bild 21.1-5	Erddruckbeiwerte in Abhängigkeit von der Wandbewegung	323
Bild 21.1-6	Wandbewegung und Verteilung der Erddruckspannung	324
Bild 21.1-7	Wandbewegung und Verteilung der Erdwiderstandsspannung	325
Bild 21.1-8	Erddruckrichtung im aktiven und passiven Zustand	326
Bild 21.1-9	Wand- und Geländeneigung im aktiven Bruchzustand	326
Bild 21.1-10	Wand- und Geländeneigung im passiven Bruchzustand	327
Bild 21.1-11	Ruhedruckansatz bei Wand- und Geländeneigung	330
Bild 21.1-12	Ansatz RANKINEScher Erddruck	331

Homogener und geschichteter Baugrund

Bild 21.2-1	Belastungsansatz Hinterfüllungsdruck	333
Bild 21.2-2	Belastungsansatz gewachsener, homogener Baugrund	335
Bild 21.2-3	Geschichteter Baugrund nichtbindig über bindig	336
Bild 21.2-4	Geschichteter Baugrund bindig über nichtbindig	337
Bild 21.2-5	Ansatz Wandreibung in Bezug auf die Wandnormale	343
Bild 21.2-6	Bruchkörper bei Abkröpfung und Unterschneidung der Wand	344
Bild 21.2-7	Ansatz RANKINEScher Erddruck auf eine Winkelstützmauer	346
Bild 21.2-8	Erddruckspannungen bei gewachsenem bindigem Baugrund	348
Bild 21.2-9	Scherbruchfläche bei geschichtetem Baugrund	352

Einfluss Geländeauflasten		
Bild 21.3-1	Unbegrenzte Flächenlast und homogener Baugrund	353
Bild 21.3-2	Unbegrenzte Flächenlast und geschichteter Baugrund	354
Bild 21.3-3	Einseitig begrenzte Flächenlast mit kleinem Randabstand	355
Bild 21.3-4	Flächenlast mit großem Randabstand	356
Bild 21.3-5	Schmale Flächenlast hinter der Wand	356
Bild 21.3-6	Breite Flächenlast hinter der Wand	357
Bild 21.3-7	Zweiseitig begrenzte, breite Flächenlast	358
Bild 21.3-8	Zweiseitig begrenzte, schmale Flächenlast	358
Bild 21.3-9	Allseitig begrenzte, schmale Flächenlast	359
Bild 21.3-10	Linien- und Punktlasten	360
Einfluss Wand- und Geländeneigung		
Bild 21.4-1	Stützmauer mit Wandunterschneidung	376
Bild 21.4-2	Stützmauer mit Abkröpfung	377
Bild 21.4-3	Abkröpfung mit RANKINESchen Erddruckansatz	378
Bild 21.4-4	Gebrochenes Gelände mit Berme	379
Bild 21.4-5	Verkehrsdamm hinter der Mauerkrone	380
Bild 21.4-6	Grafische Erddruckermittlung nach CULMANN	382
Bild 21.4-7	Grafische Erddruckermittlung mit Geländeauflasten	383
Bild 21.4-8	Anpassungsmodell an analytische Lösungen	384
Erdwiderstand mit gekrümmter Scherbruchfläche		
Bild 21.5-1	Im Baugrund eingespannte, unverankerte Stützwand	391
Bild 21.5-2	Belastung einer im Baugrund eingespannten Ankerwand	392
Sonderfälle der Erddruckberechnung		
Bild 21.6-1	Verdichtungsdruck als Zusatzbelastung	397
Bild 21.6-2	Ansatz Verdichtungsdruck nach DIN 4085	398
Bild 21.6-3	Erddruck auf Kellerwände	400
Bild 21.6-4	Räumlicher, aktiver Erddruck nach BLUM	401
Bild 21.6-5	Gewölbewirkung bei Pfeilerartiger Abstützung der Wand	402
Bild 21.6-6	Räumlicher Erddruck nach PIASKOWSKJ/KOWALEVSKI	403
Bild 21.6-7	Definition der Silodruckbedingung	405
Bild 21.6-8	Belastungsansatz für den Silodruck	405
Bild 21.6-9:	Verteilung der Erddruckspannungen bei Silodruck	406
Bild 21.6-10	Pressenwiderlager für eine Rohrdurchörterung	409
Bild 21.6-11	Zunahme der räumlichen Erdwiderstandsspannungen	411
Belastung durch Wasserdruck		
Bild 22.1-1	Ableitung von Hangwasser durch offenen Graben	414
Bild 22.1-2	Erd- und Wasserdruck bei Trockenrissen	415
Bild 22.2-1	Belastung eines Kastenfangedammes durch Wasserdruck	416
Bild 22.2-2	Belastung einer Stauwand durch hydrostatischen Wasserdruck	417
Bild 22.2-3	Geneigte Stauwand unter Auftrieb	417
Bild 22.2-4	Stauwasser über einer undurchlässigen Schicht	418
Bild 22.2-5	Belastung einer Wannengründung durch Wasserdruck	419
Bild 22.2-6	Umschließungswand für eine Baugrube	420
Bild 22.2-7	Abbau des Druckhorizontes durch Schlossundurchlässigkeit	420
Bild 22.2-8	Druckwasser hinter einer Bohrpfehlwand	421

Bild 22.2-9	Druckwasser unter Aushubsohle	421
Bild 22.2-10	Hydrostatischer Wasserdruck auf einen Sammelkanal	424
Bild 22.3-1	Potentialnetz für eine Umschließungswand	427
Bild 22.3-2	Druckverlust in einer Netzmasche	428
Bild 22.3-3	Hydrodynamisches Netz bei schmalen Baugruben	431
Bild 22.3-4	Ansatz von Grundwasser nach EA	433
Bild 22.3-5	Hydrostatische Belastung einer Ufermauer	435
Bild 22.3-6	Hydrodynamischer Näherungsansatz für eine Ufermauer	436
Bild 22.3-7	Hydraulischer Grundbruchnachweis	430
Bild 22.3-8	Potentialnetz und Aufbruchkörper nach TERZAGHI	440
Bild 22.3-9	Potentialnetze Hochwasserschutzdeich und Überfallwehr	443
Stützmauern		
Bild 23.1-1	Stützmauern mit Rechteck- und Trapezquerschnitt	445
Bild 23.1-2	Stützmauern mit Wandunterschneidung und -abkröpfung	445
Bild 23.1-3	Lastangriff in der Gründungssohle	446
Bild 23.1-4	Geometrie des Mauerquerschnittes	447
Bild 23.1-5	Durchstoßpunkt der Resultierenden und Sohldruck	447
Bild 23.1-6	Arbeitsfuge Gründung/aufgehender Mauerteil	448
Bild 23.1-7	Fugenausbildung im aufgehenden Mauerteil	449
Bild 23.1-8	Fugenabdichtung mit Polymerband	449
Bild 23.1-9	Filter zur Entwässerung des Hinterfüllungsbereiches	450
Bild 23.1-10	Spargewölbe in Pfeilerstützmauern	451
Bild 23.1-11	Pfeilerstützmauer mit rückwärtiger Aussparung	452
Bild 23.1-12	Prinzip einer Konsolstützmauer	453
Bild 23.1-13	Belastung einer Kosolstützmauer in maßgebenden Schnitten	453
Bild 23.1-14	Stützmauer mit hinterer Fußauskragung	454
Bild 23.1-15	Winkelstützmauern mit kleiner und großer Bauhöhe	456
Bild 23.1-16	Geometrie der Winkelstützmauer	456
Bild 23.1-17	Belastungsschema einer Winkelstützmauer	457
Bild 23.1-18	Differenzierter Kräfteansatz für eine Winkelstützmauer	458
Bild 23.1-19	Widerlager mit Schlepplatte	459
Bild 23.2-1	Raumgitterstützmauern in klassischer Hochgebirgsbauweise	477
Bild 23.2-2	Steckschließen-Konstruktionsprinzip für die Drahtschotterkörbe	478
Bild 23.2-3	Kombination von Korbbreiten für den Gabionenaufbau	479
Bild 23.2-4	Mechanische und thermische Verfestigung von Vlieswerkstoffen	483
Bild 23.2-5	Secugrit-Geogitter	484
Bild 23.2-6	Einbinden der Secugritbahn in die folgende Schicht	488
Bild 23.2-7	Einsatz von Secudrän als Begrünungsträger	489
Bild 23.2-8	Wandgestaltungen mit Secugridbahnen als "Bewehrte Erde Bauweise"	489
Bild 23.2-9	Bemessungsgrundlagen für "Bewehrte Erde Konstruktionen"	490
Bild 23.2-10	Herausziehungswiderstand von Bewehrungsbändern	491

Stützwände

Bild 24.1-1	Modell der unbelasteten, freistehenden Wand	496
Bild 24.1-2	Erddruckspannungen bei Wanddrehung um D	497
Bild 24.1-3	Berechnungsmodell zur Wandeinspannung im Baugrund	498
Bild 24.1-4	Belastungsansatz für die PC-gerechte Tabellenrechnung	499
Bild 24.1-5	Ableitung der Momente aus den Querkräften	500
Bild 24.1-6	Verankerte, im Baugrund frei aufgelagerte Wand	503
Bild 24.1-7	Belastungsansätze nach EAB für einfach gestützte Wände	505
Bild 24.1-8	Ersatzbalken zur Abschätzung der Ankerkraft	506
Bild 24.1-9	Belastungsansätze nach EAB für mehrfach gestützte Wände	510
Bild 24.2-1	Unverrohrte Bohrpfalwand für eine Grundwasserwanne	511
Bild 24.2-2	Bohlwände aus Holz	512
Bild 24.2-3	Stahlbeton-Spundbohlen	513
Bild 24.2-4	Stahlspundbohlen System LARSENEN f.	514
Bild 24.2-5	Stahlspundbohlen als Flachprofile für Kreiszellen und Wellenwände	516
Bild 24.2-6	Stahlspundbohlen System Hoesch f.	517
Bild 24.2-7	Stahlspundbohlen System Krupp f.	518
Bild 24.2-8	Stahlspundbohlen System Peine	518
Bild 24.2-9	Peine-Krupp-Stahlspundwand im Seehafen Rostock	519
Bild 24.2-10	Varianten der Holmausbildung	521

Verankerungen

Bild 24.3-1	Schlaffes Verankerungssystem	561
Bild 24.3-2	Vorgespanntes Verankerungssystem	561
Bild 24.3-3	Bodenvernagelung zur Böschungssicherung	562
Bild 24.3-4	Bankett- und Böschungssicherung für eine Straße	562
Bild 24.3-5	Gründung einer Schallschutzwand	563
Bild 24.3-6	Rekonstruktion von Stützmauern und Gründungen	563
Bild 24.3-7	Das schlaffe Verankerungssystem	564
Bild 24.3-8	Gurtbefestigung an der Hauptwand	565
Bild 24.3-9	Ankerdurchführung durch die Gurtung	567
Bild 24.3-10	Begründung eines Kippgelenkes am Ankeranschluss	567
Bild 24.3-11	Durchführung der Ankerstange durch die Ankerwand	568
Bild 24.3-12	Querschnittsbemessung der Ankerstange	568
Bild 24.3-13	Bemessungstabelle für Runstahlanker	569
Bild 24.3-14	Ankerverlegung	569
Bild 24.3-15	Die Ankerwand	570
Bild 24.3-16	Im Baugrund eingespannte Ankerwand	571
Bild 24.3-17	Im Baugrund frei aufgelagerte Wand	572
Bild 24.3-18	Die aufgelöste Ankerwand	572
Bild 24.3-19	Klassischer Standsicherheitsnachweis nach KRANZ	572

Bild 24.3-20	Prinzip eines Verpressankersystems	584
Bild 24.3-21	Vorgabe der Ankerneigung durch Bohrlaffeten	585
Bild 24.3-22	Eingeschweiseter Ankerstuhl zur Vorgabe der Ankerneigung	586
Bild 24.3-23	Konstruktive Varianten der Ankerkopfausbildung	587
Bild 24.3-24	Verankerung des Stahlzugliedes im Verpresskörper	587
Bild 24.3-25	Verpressanker System BILFINGER+BERGER	589
Bild 24.3-26	Sicherung einer Baugrubenwand mit Spritzbeton und Verpressankern	589
Bild 24.3-27	Ankerrohr System ISCHEBEK	590
Bild 24.3-28	Bauprinzip des TITAN-Verpressankers	591
Bild 24.3-29	Bohrhammer und Verpressstation für TITAN-Anker	591
Bild 24.3-30	Tragkraftvergleich Verbundzugpfahl und TITAN-Injektionsanker	592
Bild 24.3-31	Hohlkolbenpresse zum Prüfen und Vorspannen des TITAN-Ankers	593
Bild 24.3-32	Prüfkriterien für Kurzzeitversuche	594
Bild 24.3-33	Protokoll einer Ankerprüfung	594
Bild 24.3-34	Bemessung eines Verpressankersystems für eine Baugrube	598
Bild 24.3-35	Bruchkörper und Kräfteansatz zum Gesamt-Standsicherheitsnachweis	599