

Helmut Prinz / Roland Strauß

Abriss der Ingenieurgeologie

4., bearbeitete und erweiterte Auflage



Spektrum
AKADEMISCHER VERLAG

Inhalt

1	Einleitung	1	2.4.2	Lagerungsdichte bindiger Locker-gesteine, Proctorversuch	29
1.1	Aufgabenstellung der Ingenieurgeologie	1	2.5	Zustandsform, Konsistenzgrenzen	31
1.2	Verbindlichkeit von Normen und Richtlinien, Baugrundrisiko	2	2.6	Verformungsverhalten, Druck- und Zugfestigkeit	34
1.3	Formelzeichen, Einheiten	4	2.6.1	Wirkung des Wassers, Poren-wasserdruck	35
			2.6.2	Spannungs-Verformungs-Beziehungen	37
2	Boden- und felsmechani-sche Kennwerte, ihre Ermittlung und Bedeutung	7	2.6.3	Kompressionsversuch, Steifemodul (E_s), Zeitsetzungsverhalten	38
2.1	Korngröße, Kornverteilung . . .	8	2.6.4	Verformungsmodul (E_v) und Bettungsmodul (k_s) aus dem Plattendruckversuch	41
2.1.1	Siebanalyse	9	2.6.5	Verformungsmodul (E_v) aus Bohrlochaufweitungsversuchen . .	44
2.1.2	Sedimentationsanalyse	9	2.6.6	Diskussion der Verformungs-modulen des Gebirges	44
2.1.3	Sieb- und Sedimentationsanalyse .	10	2.6.7	Primärspannungszustand	46
2.1.4	Darstellung und Beschreibung der Kornfraktionen	10	2.6.8	Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Sprödigkeit	50
2.1.5	Körnungen als Handelsbegriff . .	13	2.6.9	Volumenzunahme durch Quellen	57
2.1.6	Filtermaterial für Dränmaß-nahmen	15	2.7	Scherfestigkeit	59
2.1.7	Filtersande und Filterkiese für den Brunnenbau	17	2.7.1	Scherversuch mit vorgegebener Scherfläche	61
2.1.8	Aufbau und Eigenschaften der Tonminerale	17	2.7.2	Triaxialer Druckversuch	63
2.2	Kalkgehalt, organische und andere Beimengungen	20	2.7.3	Großscherversuche	65
2.2.1	Kalkgehalt (V_{Ca})	20	2.7.4	Diskussion der Scherfestigkeits-parameter (Φ, c)	69
2.2.2	Organische Bestandteile (V_{gl}) . .	21	2.8	Durchlässigkeit	72
2.2.3	Schwefelverbindungen	22	2.8.1	Durchlässigkeit von Locker-gesteinen	73
2.3	Das Drei-Stoff-System Boden und Fels	22	2.8.2	Durchlässigkeit von Fels	75
2.3.1	Wassergehalt (w), Sättigungszahl (S_r), Wasseraufnahmevermögen (w_A)	22	2.8.3	Laborversuche zur Ermittlung des k -Wertes	76
2.3.2	Korndichte (ρ_s)	25	2.8.4	Feldversuche zur Ermittlung des k -Wertes	78
2.3.3	Dichte (ρ) und Wichte (γ) . . .	25	2.8.5	Durchlässigkeitsbeiwerte	88
2.3.4	Porenanteil (n), Porenzahl (e) . .	27	2.8.6	Grundwasserfließparameter	91
2.4	Lagerungsdichte (D)	28	2.8.7	Kapillarwasser, kapillare Steig-höhe (h_k)	93
2.4.1	Lagerungsdichte nichtbindiger Lockergesteine	28			

3	Beschreibung und Klassifikation von Boden und Fels für bautechnische Zwecke	95	4.2	Indirekte Aufschlussmethoden	133
3.1	Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden und Fels	95	4.2.1	Projektkartierungen, Luftbildauswertung	133
3.2	Gruppeneinteilung der Böden nach DIN 18 196	95	4.2.2	Geophysikalische Feldmethoden	134
3.2.1	Grobkörnige Böden	97	4.2.3	Gasgeochemisches Monitoring zur Erkundung von Störungszonen	138
3.2.2	Gemischkörnige Böden	97	4.3	Direkte Aufschlussmethoden	138
3.2.3	Feinkörnige Böden	98	4.3.1	Zu beachtende gesetzliche Vorschriften	138
3.2.4	Organische und organogene Böden	98	4.3.2	Art und Umfang der Baugrunderkundung	140
3.2.5	Aufgeschüttete Bodenarten	98	4.3.3	Einteilung der Bodenproben	141
3.2.6	Trennflächen in Lockergesteinen	98	4.3.4	Schürfe, Untersuchungsschächte und -stollen	142
3.3	Beschreibung und Einstufung von Boden und Fels nach den ATV der VOB	99	4.3.5	Bohrungen	143
3.3.1	Boden- und Felsklassen nach DIN 18 300, Erdarbeiten	99	4.3.6	Felduntersuchungen	149
3.3.2.	Zusätzliche ATV-Boden- und Felsklassifikationen	100	4.4	Aufnahme von Aufschläßen (Schichtenverzeichnisse)	154
3.4	Beschreibung von Gestein und Gebirge (Fels)	101	4.4.1	Aufnahme von Schürfen	154
3.4.1	Gesteinsbeschreibung für bautechnische Zwecke	102	4.4.2	Aufnahme von Bohrungen im Lockergestein	155
3.4.2	Beschreibung von Gebirge (Fels), Verwitterung	105	4.4.3	Aufnahme von Bohrungen im Fels	156
3.4.3	Trennflächen und ihre Bedeutung	108	4.4.4	Erfassen der Grundwasserverhältnisse	160
3.4.4	Ausbildung und bruchmechanische Deutung von tektonischen Störungszonen	116	4.4.5	Darstellung der Boden- und Felsarten	163
4	Erkundungsmethoden	123	4.5	Bohrlochmessungen	165
4.1	Voruntersuchung	124	4.5.1	Bohrlochsondierungen	165
4.1.1	Geologische und ingenieur-geologische Karten	124	4.5.2	Bohrlochneigungsmessungen (DV)	165
4.1.2	Erdbebengefährdung	125	4.5.3	Geophysikalische Bohrlochmessungen	166
4.1.3	Rezente tektonische Spannungen und Deformationen	130	4.5.4	Verschiebungsmessungen in Bohrlöchern	169
4.1.4	Erkundung tektonischer Störungszonen	132	5	Einführung in die Berechnungsverfahren für Flachgründungen und Geländebruch	171
			5.1	Sicherheitsnachweise für Bauwerke	172

5.2	Sohldruckverteilung in Fundamentsohle	175	6	Ursachen von Setzungen, zulässige Setzungsunterschiede, Risseschäden	199
5.2.1	Mittige und ausmittige Beanspruchung von starren Einzelfundamenten	175	6.1	Setzungen und Setzungsunterschiede	199
5.2.2	Linien- und Einzellasten auf Streifenfundamenten	177	6.2	Ursachen von Rissen und Bauwerksschäden	201
5.2.3	Grundlagen des Bettungsmodul- und Steifemodulverfahrens	178	6.2.1	Erhöhung des Wassergehaltes, Wasserdurchströmung	202
5.3	Nachweis der Tragfähigkeit von Flachgründungen	179	6.2.2	Grundwasserabsenkung und Wasserentzug durch Bäume	203
5.3.1	Gleitsicherheit	179	6.2.3	Entnahme von Erdgas und Erdöl	205
5.3.2	Kippsicherheit	179	6.2.4	Baugrundhebungen infolge Quellerscheinungen oder Kristallisationsdruck	206
5.3.3	Sicherheit gegen Wasserdruk- und Auftrieb	179	6.2.5	Einfluss von Erschütterungen	206
5.4	Sohldruckverteilung und Setzungen von Flachgründungen	182	7	Flachgründung, Baugrundverbesserung	211
5.4.1	Theorie der Sohldruckverteilung	182	7.1	Prinzip der Flachgründung, Fundamentarten	211
5.4.2	Sohldruckverteilung im Baugrund	182	7.2	Festlegung der Gründungstiefe	211
5.4.3	Ermittlung der Setzungen von Streifen- und Einzelfundamenten	183	7.3	Aufnehmbarer Sohldruck in einfachen Fällen	212
5.5	Grundlagen für die Ermittlung des Erddrucks	188	7.4	Konstruktive und baugrundverbessernde Maßnahmen	214
5.5.1	Erddruckkarten	188	7.4.1	Konstruktive Maßnahmen	214
5.5.2	Wahl des Erddruckansatzes	189	7.4.2	Abminderung der Sohlpressung	215
5.5.3	Bodenkennwerte für Erddruckberechnungen	189	7.4.3	Mechanische Baugrundverbesserungsverfahren	215
5.6	Standsicherheitsnachweise für Geländebruch	190	7.4.4	Baugrundverfestigung durch Einpressen von Suspensionen oder Lösungen	218
5.6.1	Standsicherheit bei ebener Gleitfläche	192	8	Pfahlgründung	225
5.6.2	Standsicherheit bei gebrochener Gleitfläche	193	8.1	Einteilung und Tragverhalten der Pfähle	225
5.6.3	Standsicherheitsnachweis nach den Lamellenverfahren	194	8.1.1	Tragverhalten der Pfähle	225
5.6.4	Starrkörpermethode bzw. Blockgleit-Verfahren	195	8.1.2	Herstellungsarten und Baustoffe	226
5.6.5	Mechanische Wirkung des Wassers	196			

8.2	Grundlagen der Pfahlbemessung	226	10	Baugruben	255
8.2.1	Ermittlung der Pfahltragfähigkeit durch Probebelastungen	228	10.1	Baugrubenaushub	255
8.2.2	Bemessungsverfahren für Bohrpfähle aus Erfahrungs- bzw. Tabellenwerten	230	10.2	Geböschte Baugruben	256
8.2.3	Ermittlung der Pfahltragfähigkeit von gerammten Verdrängungs-pfählen nach Erfahrungs- bzw. Tabellenwerten	233	10.3	Baugrubenverbau	256
8.2.4	Tragfähigkeit von Zugpfählen ..	233	10.3.1	Trägerbohlwandverbau	257
8.2.5	Horizontale Einwirkung auf Pfähle	233	10.3.2	Spundwandverbau	257
8.2.6	Negative Mantelreibung und Seitendruck auf Pfähle in weichen Böden	235	10.3.3	Bohrpfahlwände	258
8.2.7	Tragfähigkeit von Pfahlgruppen ..	235	10.3.4	Schlitzwände	258
8.2.8			10.3.5	Sonderbauweisen	260
8.3	Rammpfähle	237	10.4	Dichtwände	260
8.3.1	Fertigpfähle	237	10.4.1	Dichtwände im Schlitzwand-verfahren	260
8.3.2	Ortbetonrammpfähle	238	10.4.2	Schmalwände	261
8.4	Bohrpfähle	239	10.4.3	Wannenförmige Dichtung von Baugruben	262
8.4.1	Normalkalibrige Bohrpfähle ..	239	10.5	Ankersicherung	263
8.4.2	Großbohrpfähle	240	10.5.1	Herstellung von Verpress- bzw. Injektionsankern	264
8.4.3	Pfähle mit kleinen Durch-messern	241	10.5.2	Ankersysteme von Verpress- und Injektionsankern	265
			10.5.3	Prüfung der Anker	266
			10.5.4	Bemessung der Anker	267
9	Schutz der Bauwerke vor Grundwasser	243	11	Wasserhaltung	271
9.1	Dränung von Bauwerken ..	244	11.1	Offene Wasserhaltung	272
9.2	Druckwasserhaltende Abdichtung von Bauwerken ..	246	11.2	Grundwasserabsenkung mit Brunnen	273
9.3	Dezentrale Regenwasserversickerung ..	247	11.3	Grundwasserabsenkung mittels Vakuumverfahren ..	277
9.4	Betonangreifende Wässer und Böden	248	11.4	Elektroosmotische Entwässerung	277
9.4.1	Entnahme und Untersuchung von Grundwasser- und Bodenproben	248	11.5	Berechnung einer Grundwasserabsenkung	278
9.4.2	Betonaggressive Stoffe und ihre Wirkung	250	11.6	Grundwasserkommunikationsanlagen	280
9.4.3	Beurteilung der Aggressivität ..	252	12	Erdarbeiten	281
9.4.4	Bauliche Schutzmaßnahmen ..	253	12.1	Gewinnung und Förderung ..	283
			12.2	Einbau und Verdichtung ..	285
			12.2.1	Verdichtbarkeit der Boden- und Felsarten	286

12.2.2	Verdichtungsgeräte	287	13.4	Erfahrungswerte von Böschungsneigungen in den deutschen Mittelgebirgen .	314
12.2.3	Verdichtungsanforderungen nach ZTVE und RiL 836	288	13.4.1	Alte Gebirge	314
12.2.4	Verdichtungskontrollen	290	13.4.2	Schichtgesteine	315
12.2.5	Vorbereiten der Dammaufstandsfläche und Verdichten der Böschungsbereiche	293	13.4.3	Tertiäre und quartäre Gesteine, Braunkohletagebaue	316
12.2.6	Hinterfüllen und Überschütten von Bauwerken	294	13.5	Standsicherheit von Böschungen in Steine und Erdenbetrieben	317
12.3	Bodenverbesserung und Bodenverfestigung	294	14	Standsicherheit und Verformung von Dämmen	319
12.3.1	Bodenverbesserung und Bodenverfestigung mit Kalk	295	14.1	Standsicherheit von Dämmen	319
12.3.2	Bodenverfestigung mit Zement	296	14.1.1	Grundbruchsicherheit	319
12.3.3	Verbesserung der Tragfähigkeit und Standfestigkeit durch Geokunststoffe	297	14.1.2	Gleit- bzw. Spreizsicherheit	319
12.4	Frostwirkung	299	14.1.3	Sicherheit gegen Böschungsbruch	320
12.4.1	Frostempfindlichkeit von Erdstoffen und Fels	299	14.1.4	Dämme auf wenig tragfähigem Untergrund	321
12.4.2	Tragschicht und Frostschutzhülle im Straßenbau	300	14.2	Setzungen von Dämmen auf tragfähigem Untergrund	322
12.4.3	Bettung, Frostschutz- und Planumschutzhülle bei Gleisanlagen	301	14.3	Maßnahmen zur Erhöhung der Standsicherheit und Abminderung der Setzungen	323
13	Standsicherheit von Böschungen	303	14.3.1	Maßnahmen bei der Dammabschüttung	324
13.1	Böschungsneigungen in Lockergesteinen	304	14.3.2	Punkt- und streifenförmige Bodenstabilisierung	325
13.1.1	Grobkörnige Böden	304	14.3.3	Teilweiser oder vollständiger Bodenaustausch	326
13.1.2	Feinkörnige Böden	305	15	Rutschungen	329
13.1.3	Gemischtkörnige Böden	305	15.1	Ursachen von Rutschungen .	329
13.1.4	Heterogene (geschichtete) Böden	305	15.1.1	Geologische Voraussetzungen .	329
13.1.5	Aufgespülte Böden und Kippenböschungen	306	15.1.2	Veränderungen der Neigung oder Höhe eines Hanges bzw. einer Böschung	331
13.2	Böschungen im Fels	306	15.1.3	Wirkung des Wassers	331
13.2.1	Einfluss des Trennflächengefüges und der Frostbeständigkeit	306	15.1.4	Vegetation und menschliche Eingriffe	332
13.2.2	Böschungsneigungen und Böschungsformen	307			
13.2.3	Herstellen von Felsböschungen	309			
13.3	Sicherungsmaßnahmen	310			
13.3.1	Maßnahmen beim Böschungsbau	310			
13.3.2	Lebendverbaumaßnahmen	312			
13.3.3	Entwässerungsmaßnahmen	313			

15.2	Erkennungsmerkmale und Untersuchungsmethoden	333	16	Abfalldeponien, Boden- und Grundwasserschutz	379
15.2.1	Beschreibung der wichtigsten Begriffe einer Rutschung	333	16.1	Abfallrechtliche Grundlagen	379
15.2.2	Erkennen von Rutschungen und Rutschhängen im Gelände	335	16.2	Klassifikation der Abfallarten und Deponiekonzepte	381
15.2.3	Lage- und höhenmäßige Aufnahme und Darstellung	338	16.3	Das Multibarrierenkonzept	383
15.2.4	Aufschlussarbeiten	339	16.3.1	Deponieuntergrund	383
15.2.5	Lagebestimmung der Gleitfläche und Bewegungsmessungen	341	16.3.2	Deponieabdichtungssysteme	396
15.2.6	Altersdatierung und Bewegungsablauf	343	16.4	Umschließungstechniken	401
15.3	Arten von Rutschungen, Klassifikation	346	16.5	Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen	402
15.3.1	Fallen	347	16.5.1	Erfassung	404
15.3.2	Kippen	348	16.5.2	Untersuchung und Gefährdungsabschätzung	405
15.3.3	Gleiten	348	16.5.3	Wirkungspfad Boden-Mensch-Nutzpflanze	409
15.3.4	Driften	349	16.5.4	Wirkungspfad Boden-Grundwasser	416
15.3.5	Fließen	350	16.5.5	Luftpfad	423
15.3.6	Komplexe Rutschungstypen	353	16.6	Sicherungs- und Sanierungsmöglichkeiten	426
15.4	Berechnungsansätze und Diskussion der Scherparameter	353	16.6.1	Nutzungsbeschränkung, Kontrolle und Überwachung	427
15.5	Vorkehrende Maßnahmen und Sanierung von Rutschungen	356	16.6.2	Sicherung	430
15.5.1	Verbesserung bzw. Wiederherstellung des Böschungsgleichgewichtes	358	16.6.3	Sanierungsmaßnahmen	430
15.5.2	Oberflächendränung	359	16.7	Bebauung von Verdachtsflächen und kontaminierten Standorten	436
15.5.3	Tiefdränung	359	16.7.1	Kennzeichnungs- und Untersuchungspflicht	436
15.5.4	Stabilisierung von Hangrutschungen	360	16.7.2	Flächenrecycling	437
15.5.5	Gründung von Bauwerken an rutschungsgefährdeten Hängen	361	16.8	Entsorgung von Bodenaushub und Bauschutt	437
15.5.6	Gefahrenbeurteilung, Überwachungs- und Warnanlagen	362	16.8.1	Abfallbegriff, Verwertungsgebot	438
15.6	Als rutschungsanfällig bekannte Schichten	363	16.8.2	Klassifikation der mineralischen Reststoffe und Abfälle	439
15.6.1	Variszische Gebirge	364	16.8.3	Untersuchungsumfang, Probenahme	440
15.6.2	Buntsandsteingebiete	366	16.8.4	Anforderungen an die Verwertung	441
15.6.3	Grenze Röt/Muschelkalk und Mittlerer/Oberer Muschelkalk	367	16.9	Verwertungs- und Beseitigungsnachweise	444
15.6.4	Keuper	370			
15.6.5	Jura	372			
15.6.6	Kreide	373			
15.6.7	Tertiär	374			
15.6.8	Quartär	378			

17	Tunnelbau	445	17.5.2	Konventioneller bergmännischer Vortrieb	510
17.1	Aufgaben und Grenzen der ingenieurgeologischen Erkundung, Risikomanagement	446	17.5.3	Maschinelle Vortriebe	512
17.1.1	Risikomanagement und Gefährdungsbilder	447	17.6	Ausbrucharbeiten	521
17.1.2	Spezielle Erkundungsmethoden	448	17.6.1	Bagger und Sprengvortrieb	521
17.1.3	Tunnelplanung in Karstgebieten	452	17.6.2	Profilhaltung und Mehrausbruch	523
17.1.4	Erkundung der Grundwassersituation	454	17.7	Sicherungsarbeiten	524
17.1.5	Auftreten von Gasen im Gebirge	466	17.7.1	Spritzbetonsicherung	524
17.1.6	Umweltbelastung	467	17.7.2	Ankersicherung	527
17.1.7	Ermittlung geotechnischer Kennwerte	467	17.7.3	Firstsicherung durch Spieße, Dielen oder Schirme	531
17.1.8	Lösbarkeit und Erweichbarkeit	469	17.7.4	Gebirgsvergütung durch Injektionen	533
17.2	Gebirgsklassifizierung	471	17.7.5	Gebirgsvergütung durch Bodenvereisung	535
17.2.1	Qualitative Gebirgsklassifizierung	472	18	Talsperrengeologie	537
17.2.2	Quantitative Gebirgsklassifizierung	475	18.1	Ingenieurgeologische Arbeiten	537
17.2.3	Gebirgsverhaltenstypen und Systemverhalten nach ÖGG-Richtlinie und SIA-Norm	477	18.1.1	Voruntersuchungen für die Planung	538
17.2.4	Darstellung der Gebirgstypen bzw. -klassen	479	18.1.2	Untersuchung für die Bauausführung	538
17.3	Ingenieurgeologische Baubetreuung	480	18.1.3	Mitarbeit bei Bauausführung, Probestau und Betrieb	538
17.3.1	Ingenieurgeologische Vortriebsdokumentation	480	18.2	Spezielle Problemstellungen	539
17.3.2	Ingenieurgeologisches Nachtragsmanagement	482	18.2.1	Durchlässigkeit des Untergrundes	540
17.4	Standfestigkeit und Tragverhalten des Gebirges	485	18.2.2	Ermittlung der Sickerwasserverluste	543
17.4.1	Lage, Richtung und Querschnitt des Hohlraumes	485	18.2.3	Raumstellung der Wasserleitenden Elemente	544
17.4.2	Spannungszustand, Spannungsumlagerung, Gebirgsdruck	486	18.2.4	Erosionsgefährdung durch Sickerwasserströmung	544
17.4.3	Geotechnische Messungen und Verformungsverhalten bei Mittelgebirgstunneln	492	18.2.5	Veränderlich feste oder erweichbare Gesteine	546
17.4.4	Verbundwirkung von Gebirge und Spritzbetonausbau	498	18.2.6	Erdbebensicherheit und induzierte Seismizität	547
17.4.5	Bemessungsannahmen für die Tunnelstatik	501	18.2.7	Stauhaltungen in verkarstungsfähigen Gesteinen	549
17.5	Bauweisen	508	18.2.8	Stabilität der Hänge	549
17.5.1	Offene und halboffene Bauweisen	509	18.3	Absperrbauwerke	550
			18.3.1	Staumauern	550
			18.3.2	Dämme	551
			18.4	Untergrundabdichtung	555
			18.4.1	Horizontale Dichtungselemente	555
			18.4.2	Vertikale Dichtungswände	556
			18.4.3	Injektionsschleier	556

19	Bauen in Erdfallgebieten	561	19.4.2	Frühwarneinrichtungen	582
19.1	Karstterminologie	562	19.4.3	Verbesserung des Untergrundes	582
19.2	Ursachen der Bodensenkungen und Erdfälle sowie ihre hauptsächliche Verbreitung .	562	19.4.4	Konstruktive Maßnahmen	584
19.2.1	Karbonatkarst	562			
19.2.2	Sulfatkarst	565			
19.2.3	Chloridkarst	571			
19.2.4	Erdfälle durch Erosions- und Suffusionserscheinungen	577			
19.3	Ingenieurgeologische Untersuchungsmethoden .	577	20	Nutzung von Erdwärme .	587
19.3.1	Geologisch-morphologische Verfahren	578	20.1	Grundlagen der Geothermie .	587
19.3.2	Geotechnische Untersuchungsverfahren	579	20.2	Geothermische Verfahren	588
19.4	Bautechnische Maßnahmen .	579	20.2.1	Oberflächennahe geothermische Systeme	589
19.4.1	Schäden durch Erdfälle und Senkungen	580	20.2.2	Tiefe geothermische Systeme	593
			20.3	Bergrechtliche und wasserrechtliche Grundlagen	594
			20.3.1	Bergrecht	594
			20.3.2	Wasserrecht	595
			Literatur		597
			Anhang		635