

## Inhaltsverzeichnis

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| <b>Vorwort</b> .....                 | V     |
| <b>Autoren-Kurzbiografien</b> .....  | XIX   |
| <b>Verzeichnis der Autoren</b> ..... | XXVII |

### 3.1 Flachgründungen

*Norbert Vogt*

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Begriffe .....  | 1  |
| 2   | Entwurfsgrundlagen .....  | 2  |
| 3   | Einzelfundamente .....  | 4  |
| 3.1 | Allgemeine Planung .....  | 4  |
| 3.2 | Geotechnische Nachweise .....                                   | 16 |
| 3.3 | Konstruktive Hinweise .....                                     | 52 |
| 4   | Flächengründungen .....   | 54 |
| 4.1 | Allgemeines .....   | 54 |
| 4.2 | Vertikale Interaktion .....                                     | 55 |
| 4.3 | Horizontale Interaktion .....                                   | 71 |
| 5   | Membrangründungen (Tankgründungen) .....                        | 71 |
| 6   | Zugfundamente .....   | 71 |
| 7   | Literatur, Programme, Deutsche geotechnische Normen (DIN) ..... | 72 |
| 7.1 | Literatur .....   | 72 |
| 7.2 | Programme .....   | 77 |
| 7.3 | Deutsche geotechnische Normen (Stand 2016) .....                | 78 |

### 3.2 Pfahlgründungen

*Hans-Georg Kempfert und Christian Moormann*

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1   | Einleitung .....                            | 79  |
| 1.1 | Anwendungsbereich .....                     | 79  |
| 1.2 | Maßgebliche Normen und Empfehlungen .....   | 80  |
| 1.3 | Voruntersuchungen bei Pfahlgründungen ..... | 81  |
| 1.4 | Begriffe .....                              | 81  |
| 2   | Pfahlarten und Ausführungsformen .....      | 84  |
| 2.1 | Einordnung der Pfahlsysteme .....           | 84  |
| 2.2 | Verdrängungspfähle .....                    | 86  |
| 2.3 | Bohrpfähle .....                            | 101 |
| 2.4 | Mikropfähle .....                           | 114 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 2.5  | Maßnahmen zur Erhöhung der Pfahlwiderstände .....   | 120 |
| 2.6  | Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle .....   | 123 |
| 3    | Axiales Pfahltragverhalten .....  | 124 |
| 3.1  | Allgemeines .....   | 124 |
| 3.2  | Hinweise zum Bruchwert des Spitzendrucks .....  | 126 |
| 3.3  | Allgemeine Verfahrensübersicht zur Ermittlung von Pfahlwiderständen aus der Literatur .....   | 128 |
| 3.4  | Verfahren mit effektiven Spannungen .....   | 129 |
| 3.5  | Verfahren mit totalen Spannungen aus Labor- und Feldversuchen .....   | 132 |
| 3.6  | Empirische Verfahren auf der Grundlage von Sondierergebnissen ohne Berücksichtigung von Spannungszuständen .....                        | 135 |
| 3.7  | Empirische und halbempirische Verfahren auf der Grundlage von Drucksondierergebnissen mit Berücksichtigung von Spannungszuständen ..... | 147 |
| 3.8  | Ermittlung der Tragfähigkeit von offenen Stahlrohrpfählen unter Berücksichtigung der Pfropfenbildung .....                              | 158 |
| 3.9  | Berechnung axialer Pfahlwiderstände mit numerischen Verfahren .....   | 162 |
| 3.10 | Veränderung der Pfahltragfähigkeit mit der Zeit .....   | 162 |
| 3.11 | Einfluss der Einbringart auf die Tragfähigkeit von Verdrängungspfählen .....  | 169 |
| 3.12 | Pfahlwiderstände bei Mantel- und Fußverpressungen .....   | 171 |
| 3.13 | Pfahlwiderstände bei Fels und felsähnlichen Böden .....   | 174 |
| 3.14 | Ermittlung von axialen Pfahlwiderständen aus Probelastungen .....   | 175 |
| 4    | Pfahltragverhalten quer zur Pfahlachse und infolge Momenteneinwirkungen .....   | 175 |
| 4.1  | Allgemeines .....   | 175 |
| 4.2  | Pfahlprobelastungen quer zur Pfahlachse .....   | 179 |
| 4.3  | Querwiderstände bei kurzen starren Pfählen .....  | 180 |
| 4.4  | Bettungswiderstände bei biegeweichen Pfählen .....  | 181 |
| 4.5  | Vorgehensweise nach dem p-y-Verfahren .....   | 184 |
| 5    | Hinweise und Erläuterungen zu den Nachweisen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bei Einzelpfählen .....                        | 189 |
| 5.1  | Allgemeines .....   | 189 |
| 5.2  | Einwirkungen, Bemessungssituationen und Grenzzustandsgleichungen .....  | 190 |
| 5.3  | Bemessungswiderstände axial belasteter Pfähle .....   | 191 |
| 5.4  | Bestimmung charakteristischer axialer Pfahlwiderstände aus Ergebnissen statischer Probelastungen .....                                  | 192 |
| 5.5  | Bestimmung charakteristischer axialer Pfahlwiderstände aus Ergebnissen dynamischer Probelastungen .....                                 | 198 |
| 5.6  | Bestimmung charakteristischer axialer Pfahlwiderstände aus Ergebnissen von Baugrunduntersuchungen .....                                 | 202 |
| 5.7  | Weitere Hinweise zu Nachweisen der Tragfähigkeit von Pfählen .....  | 208 |
| 5.8  | Nachweis der Gebrauchstauglichkeit .....  | 211 |
| 6    | Einwirkungen auf Pfähle aus dem Baugrund .....  | 212 |
| 6.1  | Negative Mantelreibung .....  | 212 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 6.2 | Seitendruck .....   | 221 |
| 6.3 | Zusatzbeanspruchung von Schrägpfählen aus Baugrundverformung .....                            | 231 |
| 6.4 | Gründungspfähle in Böschungen und an Geländesprüngen .....                                    | 232 |
| 7   | Simulation des Trag- und Verformungsverhaltens von Pfählen mit<br>numerischen Verfahren ..... | 232 |
| 7.1 | Allgemeines .....   | 232 |
| 7.2 | Geometrische Modellierung .....   | 234 |
| 7.3 | Stoffliche Modellierung .....   | 236 |
| 7.4 | Simulation von Herstellungsvorgängen bzw. -einflüssen .....                                   | 238 |
| 7.5 | Zusammenfassende Bewertung .....  | 242 |
| 8   | Pfahlgruppen und Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP) .....                              | 243 |
| 8.1 | Einleitung .....  | 243 |
| 8.2 | Druckpfahlgruppen .....   | 244 |
| 8.3 | Zugpfahlgruppen .....   | 256 |
| 8.4 | Querwiderstände bei Pfahlgruppen .....  | 258 |
| 8.5 | Kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP) .....   | 259 |
| 9   | Pfahlgründungen unter nicht ruhenden Einwirkungen .....                                       | 282 |
| 9.1 | Allgemeines .....   | 282 |
| 9.2 | Definition zu Einwirkungen und Widerständen bei zyklisch belasteten<br>Pfählen .....          | 283 |
| 9.3 | Pfahlverhalten bei zyklisch axialen Einwirkungen .....  | 286 |
| 9.4 | Pfahlverhalten bei zyklisch quer zur Achse wirkenden Einwirkungen ...                         | 302 |
| 9.5 | Nachweise bei zyklisch belasteten Pfählen .....   | 304 |
| 9.6 | Pfahlverhalten bei dynamischen Einwirkungen .....   | 305 |
| 9.7 | Pfahlverhalten bei stoßartigen Einwirkungen .....   | 305 |
| 10  | Literatur .....   | 306 |

### 3.3 Spundwände

*Jürgen Grabe, Hans-Uwe Kalle und Karl Morgen*

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1   | Spundwandbauwerke .....   | 325 |
| 1.1 | Allgemeines .....   | 325 |
| 1.2 | Baustoffe für Spundwandbauwerke .....   | 326 |
| 2   | Regelwerke zu Spundwandbauwerken .....  | 327 |
| 2.1 | Spundwandkonstruktionen, DIN EN 12063 .....                                       | 327 |
| 2.2 | DIN EN 10248 und DIN EN 10249,<br>Warmgewalzte und kaltgeformte Spundbohlen ..... | 328 |
| 2.3 | DIN EN 1993-5, Pfähle und Spundwände .....  | 328 |
| 2.4 | Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ .....                      | 328 |
| 2.5 | Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, EAB, 5. Auflage .....                | 329 |
| 2.6 | Sonstige Vorschriften und Handbücher .....  | 329 |
| 3   | Spundwandprofile, Stahlsorten .....   | 329 |
| 3.1 | Spundwandprofile .....  | 329 |
| 3.2 | Stahlsorten .....   | 332 |
| 3.3 | Gütevorschriften für Spundwandstähle .....  | 333 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 4    | Grundlagen der Spundwandnachweise .....                           | 334 |
| 4.1  | Sicherheitskonzept .....  | 334 |
| 4.2  | Grenzzustände .....   | 340 |
| 4.3  | Geotechnische Kategorien .....                                    | 340 |
| 5    | Berechnung von Spundwandbauwerken .....                           | 341 |
| 5.1  | Allgemeine Hinweise .....   | 341 |
| 5.2  | Nachweis von Spundwänden nach den Empfehlungen der EAU .....      | 341 |
| 5.3  | Sonderfälle der Spundwandberechnung .....                         | 359 |
| 5.4  | Bauteilnachweis „Stahlspundwand“ .....                            | 361 |
| 5.5  | Dichtigkeit von Spundwandkonstruktionen .....                     | 365 |
| 6    | Verankerung von Spundwandbauwerken .....                          | 371 |
| 6.1  | Allgemeines .....   | 371 |
| 6.2  | Nachweis der äußeren Tragfähigkeit .....                          | 371 |
| 6.3  | Nachweise der inneren Tragfähigkeit .....                         | 374 |
| 6.4  | Ankerwände und -platten sowie Ankeranschlüsse .....               | 382 |
| 6.5  | Anschlüsse von Ankerpfählen .....                                 | 387 |
| 6.6  | Holmausbildungen .....  | 392 |
| 7    | Empfehlungen zu Konstruktion und Bauausführung .....              | 394 |
| 7.1  | Rammtiefe .....   | 394 |
| 7.2  | Spundwandneigung .....  | 395 |
| 7.3  | Profil und Baustoff .....   | 395 |
| 7.4  | Stahlsorte .....  | 395 |
| 7.5  | Hinweise zu Wellenspundwänden .....                               | 396 |
| 7.6  | Hinweis zu kombinierten Spundwänden .....                         | 397 |
| 7.7  | Gepanzerte Spundwände .....                                       | 398 |
| 7.8  | Einbringen von Spundbohlen und Toleranzen .....                   | 398 |
| 7.9  | Lotrechte Belastbarkeit von Spundwänden .....                     | 399 |
| 8    | Korrosion und Korrosionsschutz .....                              | 399 |
| 8.1  | Allgemeines .....   | 399 |
| 8.2  | Korrosionserwartung bei Stahlspundwänden .....                    | 400 |
| 8.3  | Korrosionsschutz von Stahlspundwänden .....                       | 400 |
| 9    | Ausführungsbeispiele von Uferwänden in Stahlspundwandbauweise ... | 403 |
| 9.1  | Allgemeines .....   | 403 |
| 9.2  | Containerkaje Bremerhaven .....                                   | 404 |
| 9.3  | Containerterminal Altenwerder, Hamburg .....                      | 406 |
| 9.4  | Seehafen Rostock, Pier II .....                                   | 406 |
| 9.5  | Hafenbecken C, Duisburg-Ruhrort .....                             | 409 |
| 9.6  | Containerterminal Burchardkai, Hamburg .....                      | 409 |
| 9.7  | Holz- und Fabrikenhafen, Bremen .....                             | 412 |
| 9.8  | Seehafen Wismar, Liegeplätze 13 bis 15 .....                      | 412 |
| 9.9  | Schleusenkammer, Brunsbüttel .....                                | 414 |
| 9.10 | Offshore-Terminal, Rotterdam .....                                | 415 |
| 10   | Literatur, Technische Sammelveröffentlichungen .....              | 418 |

### 3.4 Gründung von Offshore-Bauwerken

*Kerstin Lesny und Jacob Gerrit de Gijt*

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1   | Grundlagen und Randbedingungen .....              | 421 |
| 1.1 | Ausgangssituation .....                           | 421 |
| 1.2 | Spezifische Planungsunterlagen .....              | 425 |
| 2   | Einheiten und Geräte .....                        | 429 |
| 2.1 | Übersicht .....                                   | 429 |
| 2.2 | Hubinseln und Errichterschiffe .....              | 430 |
| 2.3 | Spezialschiffe .....                              | 434 |
| 2.4 | Krane und Rammeinheiten .....                     | 436 |
| 3   | Baugrunderkundungen auf See .....                 | 437 |
| 3.1 | Allgemeines .....                                 | 437 |
| 3.2 | Geologische Erkundung .....                       | 438 |
| 3.3 | Geotechnische Erkundung .....                     | 441 |
| 4   | Schwimmkastengründungen .....                     | 443 |
| 4.1 | Allgemeines .....                                 | 443 |
| 4.2 | Vorbereitung der Meeresbodenoberfläche .....      | 443 |
| 4.3 | Fertigung der Schwimmkästen .....                 | 444 |
| 4.4 | Seetransport .....                                | 446 |
| 4.5 | Absetzvorgang .....                               | 449 |
| 4.6 | Beispiele für den Einsatz von Schwimmkästen ..... | 449 |
| 5   | Senkkastengründungen .....                        | 460 |
| 6   | Pfahlgründungen .....                             | 464 |
| 6.1 | Allgemeines .....                                 | 464 |
| 6.2 | Monopiles .....                                   | 464 |
| 6.3 | Aufgelöste Tragstrukturen .....                   | 466 |
| 6.4 | Pfahlroste und kombinierte Gründungen .....       | 469 |
| 7   | Saugrohrgründungen .....                          | 471 |
| 7.1 | Allgemeines .....                                 | 471 |
| 7.2 | Gründungsprinzip und -varianten .....             | 472 |
| 7.3 | Installationsverfahren .....                      | 475 |
| 8   | Nachgiebige und schwimmende Strukturen .....      | 479 |
| 9   | Bauliche Aspekte .....                            | 481 |
| 9.1 | Allgemeines .....                                 | 481 |
| 9.2 | Kolkbildung und Kolkschutz .....                  | 481 |
| 9.3 | Korrosionsschutz .....                            | 483 |
| 9.4 | Schallschutz .....                                | 484 |
| 9.5 | Hafenanlagen für den Offshore-Betrieb .....       | 485 |
| 10  | Literatur .....                                   | 487 |

### 3.5 Entwurf und Bemessung von Gründungen für Offshore-Windenergieanlagen

*Stavros Savidis, Thomas Richter, Fabian Kirsch und Werner Rücker*

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1   | Einleitung .....  | 493 |
| 2   | Planungsgrundlagen und Nachweismodell .....                                       | 493 |
| 2.1 | Umgebungsbedingungen und allgemeine Daten .....                                   | 493 |
| 2.2 | Berechnungsgrundlagen .....   | 498 |
| 2.3 | Nachweismodell .....  | 499 |
| 2.4 | Herstellungsbedingte Einflüsse .....  | 507 |
| 3   | Gründungsarten .....  | 509 |
| 3.1 | Mehrfahlgründung (Jacket-, Tripod-, Twisted-Foundation) .....                     | 509 |
| 3.2 | Monopfahlgründungen .....   | 517 |
| 3.3 | Schergewichtsgründungen .....   | 530 |
| 3.4 | Suction-Gründungen .....  | 534 |
| 4   | Überwachung und Monitoring .....  | 543 |
| 4.1 | Zielstellung .....  | 543 |
| 4.2 | Aufgaben der Strukturüberwachung – Structural Health Monitoring ....              | 543 |
| 4.3 | Grenzzustände und Zustandskenngrößen .....  | 544 |
| 4.4 | Untersuchungen und Messungen im Rahmen der Wiederkehrenden<br>Prüfung (WKP) ..... | 545 |
| 4.5 | Überwachung von Gründungselementen .....  | 546 |
| 5   | Literatur .....   | 548 |

### 3.6 Baugrubensicherung

*Achim Hettler, Theodoros Triantafyllidis und Anton Weißenbach*

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 1    | Grundlagen .....   | 557 |
| 1.1  | Maßgebende Vorschriften .....  | 557 |
| 1.2  | Geotechnische Kategorien .....   | 561 |
| 1.3  | Bautechnische Voraussetzungen .....  | 561 |
| 1.4  | Stützung von Baugrubenwänden .....   | 562 |
| 1.5  | Sicherheitskonzept .....   | 563 |
| 1.6  | Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit .....            | 564 |
| 1.7  | Bemessungssituationen .....  | 565 |
| 1.8  | Teilsicherheitsbeiwerte .....  | 565 |
| 1.9  | Einwirkungen und Widerstände sowie repräsentative Werte .....                  | 568 |
| 1.10 | Bodenkenngrößen .....  | 570 |
| 1.11 | Wahl des Berechnungsverfahrens .....   | 575 |
| 1.12 | Ermittlung von Schnittgrößen .....   | 575 |
| 2    | Konstruktive Maßnahmen zur Sicherung von Baugruben und<br>Leitungsgräben ..... | 578 |
| 2.1  | Konstruktionsarten .....   | 578 |
| 2.2  | Nicht verbaute Baugruben und Gräben .....                                      | 578 |
| 2.3  | Grabenverbau .....   | 581 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 2.4 | Spundwandverbau .....  | 588 |
| 2.5 | Trägerbohlwandverbau .....   | 594 |
| 2.6 | Massive Verbauwände .....  | 599 |
| 2.7 | Injektionswände, Frostwände .....  | 609 |
| 2.8 | Mixed-in-Place-Wände .....   | 610 |
| 3   | Erddruck .....   | 611 |
| 3.1 | Allgemeines .....  | 611 |
| 3.2 | Erdruhedruck .....   | 612 |
| 3.3 | Wandreibungswinkel und Erddruckneigungswinkel .....                                      | 614 |
| 3.4 | Größe des aktiven Erddrucks und Mindesterddruck .....                                    | 617 |
| 3.5 | Verteilung des aktiven Erddrucks .....   | 625 |
| 3.6 | Passiver Erddruck vor Spundwänden und Ortbetonwänden .....                               | 628 |
| 3.7 | Erdwiderstand vor Trägerbohlwänden und aufgelösten Pfahlwänden ...                       | 635 |
| 4   | Nicht gestützte, im Boden eingespannte Baugrubenwände .....                              | 639 |
| 4.1 | Einspannung im Untergrund .....  | 639 |
| 4.2 | Lastansätze und Bodenreaktionen .....  | 644 |
| 4.3 | Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen .....                                    | 648 |
| 4.4 | Ermittlung von Verschiebungen .....  | 651 |
| 5   | Einmal gestützte Baugrubenwände .....  | 655 |
| 5.1 | Lastbilder .....   | 655 |
| 5.2 | Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen bei freier<br>Auflagerung im Boden ..... | 656 |
| 5.3 | Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen bei beliebiger<br>Fußauflagerung .....   | 659 |
| 6   | Mehrmals gestützte Baugrubenwände .....  | 663 |
| 6.1 | Lastbilder für zweimal gestützte Baugrubenwände .....                                    | 663 |
| 6.2 | Lastbilder für dreimal oder öfter gestützte Baugrubenwände .....                         | 664 |
| 6.3 | Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen .....                                    | 666 |
| 6.4 | Lastbilder und Schnittgrößen in den Rückbauzuständen .....                               | 671 |
| 7   | Bettungsmodulverfahren .....   | 672 |
| 7.1 | Grundlagen .....   | 672 |
| 7.2 | Bilinearer Ansatz und Ermittlung des zugehörigen Bettungsmoduls .....                    | 675 |
| 7.3 | Durchgängig nichtlineare Bettungsansätze .....   | 680 |
| 7.4 | Einfluss des Grundwassers auf den Bettungsmodul .....                                    | 682 |
| 7.5 | Gestützte Wände .....  | 683 |
| 7.6 | Nachweis der Einbindetiefe .....   | 684 |
| 8   | Finite-Elemente-Methode .....  | 686 |
| 8.1 | Einführung .....   | 686 |
| 8.2 | Vorgaben aus Regelwerken .....   | 689 |
| 8.3 | Einschlägige Veröffentlichungen .....  | 690 |
| 8.4 | Vorschläge zur Anwendung .....   | 693 |
| 9   | Gleichgewichtsbedingungen .....  | 701 |
| 9.1 | Gleichgewicht der waagerechten Kräfte bei Trägerbohlwänden .....                         | 701 |
| 9.2 | Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstands ...                     | 706 |
| 9.3 | Abtragung von Vertikalkräften in den Untergrund .....                                    | 712 |
| 9.4 | Sicherheit gegen Aufbruch der Baugrubensohle .....                                       | 717 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 9.5  | Sicherheit gegen Geländebruch .....                     | 721 |
| 10   | Nachweis der Gebrauchstauglichkeit .....                | 722 |
| 10.1 | Anwendung der EAB .....                                 | 722 |
| 10.2 | Herstellbedingte Verformungen .....                     | 726 |
| 11   | Verankerte Baugrubenwände .....                         | 736 |
| 11.1 | Verankerungskonstruktionen .....                        | 736 |
| 11.2 | Berechnung .....  | 738 |
| 11.3 | Nachweis der Gesamtstandsicherheit .....                | 738 |
| 11.4 | Nachweis der Gebrauchstauglichkeit .....                | 743 |
| 12   | Bewegungsarme Baugrubenwände neben Bauwerken .....      | 744 |
| 12.1 | Konstruktion .....                                      | 744 |
| 12.2 | Berechnung .....  | 747 |
| 13   | Baugruben im Wasser .....                               | 751 |
| 13.1 | Großflächig abgesenktes Grundwasser .....               | 751 |
| 13.2 | Hydraulischer Grundbruch .....                          | 752 |
| 13.3 | Erd- und Wasserdruck bei umströmten Wänden .....        | 757 |
| 13.4 | Grundwasserschonende Bauweisen .....                    | 757 |
| 13.5 | Hinweise zur 5. Auflage der EAB .....                   | 762 |
| 14   | Baugruben in weichen Böden .....                        | 763 |
| 14.1 | Allgemeines .....                                       | 763 |
| 14.2 | Verbaukonstruktionen .....                              | 764 |
| 14.3 | Bauvorgang .....  | 766 |
| 14.4 | Scherfestigkeit .....                                   | 769 |
| 14.5 | Angaben zur Berechnung .....                            | 771 |
| 14.6 | Wasserhaltungsmaßnahmen .....                           | 774 |
| 15   | Baugruben in felsartigen Böden .....                    | 775 |
| 16   | Untersuchung besonderer Baugrubenkonstruktionen .....   | 778 |
| 16.1 | Baugruben mit besonders großen Abmessungen .....        | 778 |
| 16.2 | Baugruben mit besonderem Grundriss .....                | 781 |
| 16.3 | Baugruben mit unregelmäßigem Querschnitt .....          | 789 |
| 16.4 | Zur Baugrubensohle abgestützte Baugrubenwände .....     | 794 |
| 17   | Baugruben bei Erdbebenbeanspruchungen .....             | 796 |
| 18   | Bemessung der Einzelteile .....                         | 798 |
| 18.1 | Bohlen, Brusthölzer und Gurte aus Holz .....            | 798 |
| 18.2 | Bohlträger, Spundbohlen und Kanaldielen aus Stahl ..... | 800 |
| 18.3 | Gurte, Auswechslungen und Verbandstäbe aus Stahl .....  | 802 |
| 18.4 | Steifen .....   | 803 |
| 18.5 | Verbauteile aus Beton und Stahlbeton .....              | 805 |
| 18.6 | Erdanker und Zugpfähle .....                            | 807 |
| 18.7 | Verbände, Anschlüsse und Verbindungsmittel .....        | 811 |
| 19   | Literatur .....   | 812 |

**3.7 Pfahlwände, Schlitzwände, Dichtwände***Hans-Gerd Haugwitz und Matthias Pulsfort*

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 1    | Pfahlwände .....  | 823 |
| 1.1  | Anwendungsbereich .....                                   | 823 |
| 1.2  | Vorteile .....  | 824 |
| 1.3  | Nachteile .....   | 825 |
| 1.4  | Vorschriften, Richtlinien und Empfehlungen .....          | 825 |
| 1.5  | Zweck und Wandarten .....                                 | 826 |
| 1.6  | Herstellung .....   | 828 |
| 1.7  | Qualitätssicherung .....                                  | 832 |
| 2    | Schlitzwände .....  | 833 |
| 2.1  | Anwendungsbereich .....                                   | 833 |
| 2.2  | Vorteile .....  | 834 |
| 2.3  | Nachteile .....   | 834 |
| 2.4  | Vorschriften, Richtlinien und Empfehlungen .....          | 835 |
| 2.5  | Zweck .....   | 835 |
| 2.6  | Wandarten .....   | 835 |
| 2.7  | Herstellung .....   | 841 |
| 2.8  | Baustoffe .....   | 854 |
| 2.9  | Eigenschaften .....                                       | 855 |
| 2.10 | Qualitätssicherung .....                                  | 857 |
| 3    | Mixed-in-Place-Wände .....                                | 857 |
| 3.1  | Anwendungsbereich .....                                   | 857 |
| 3.2  | Vorteile .....  | 860 |
| 3.3  | Nachteile .....   | 860 |
| 3.4  | Vorschriften, Richtlinien und Empfehlungen .....          | 861 |
| 3.5  | Wandarten .....   | 861 |
| 3.6  | Art des LöSENS und Durchmischen des Bodens .....          | 862 |
| 3.7  | Herstellung .....   | 869 |
| 3.8  | Baustoffe .....   | 875 |
| 3.9  | Eigenschaften .....                                       | 876 |
| 3.10 | Entwurf und Bemessung von verfestigten Bodenkörpern ..... | 877 |
| 3.11 | Qualitätssicherung .....                                  | 878 |
| 4    | Schmalwände .....   | 879 |
| 4.1  | Anwendungsbereich .....                                   | 879 |
| 4.2  | Vorteile .....  | 879 |
| 4.3  | Nachteile .....   | 880 |
| 4.4  | Vorschriften und Empfehlungen .....                       | 880 |
| 4.5  | Zweck und Wandarten .....                                 | 880 |
| 4.6  | Herstellung der Rüttel-Schmalwand .....                   | 881 |
| 4.7  | Baustoffe .....   | 882 |
| 4.8  | Eigenschaften .....                                       | 882 |
| 4.9  | Qualitätssicherung .....                                  | 882 |
| 5    | Die Flüssigkeitsstützung von Erdwänden .....              | 883 |
| 5.1  | Stützflüssigkeiten .....                                  | 883 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 5.2 | Stützkraft einer Flüssigkeit und Standsicherheitsnachweise .....                       | 884 |
| 5.3 | Mechanismen der Übertragung der Flüssigkeitsdruckdifferenz auf<br>das Korngerüst ..... | 885 |
| 5.4 | Nachweis der „inneren“ Standsicherheit .....   | 888 |
| 5.5 | Nachweis der „äußeren“ Standsicherheit .....   | 892 |
| 5.6 | Bauliche Anlagen neben suspensionsgestützten Erdwänden .....                           | 897 |
| 6   | Wasserdichtigkeit von massiven Stützwänden .....                                       | 898 |
| 6.1 | Anforderungen .....  | 898 |
| 6.2 | Nachweis der Dichtigkeit .....   | 900 |
| 6.3 | Ausführung und Auswertung eines Pumpversuchs .....                                     | 901 |
| 7   | Literatur .....  | 903 |

### 3.8 Senkkästen

*Peter Kudella*

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 1   | Allgemeines .....                          | 909 |
| 1.1 | Begriffe .....                             | 909 |
| 1.2 | Anwendungsgebiete .....                    | 910 |
| 1.3 | Technische Entwicklung .....               | 912 |
| 1.4 | Auswahlkriterien .....                     | 913 |
| 1.5 | Einstufung und Voruntersuchungen .....     | 915 |
| 1.6 | Beeinflussung der Nachbarbebauung .....    | 915 |
| 2   | Bauliche Durchbildung und Ausrüstung ..... | 916 |
| 2.1 | Material und Formgebung .....              | 916 |
| 2.2 | Einzelne Konstruktionselemente .....       | 918 |
| 3   | Herstellung .....                          | 924 |
| 3.1 | Bauhilfen bei Absenkbeginn an Land .....   | 924 |
| 3.2 | Bauhilfen bei Absenkbeginn im Wasser ..... | 928 |
| 3.3 | Absenkvorgang .....                        | 931 |
| 3.4 | Druckluftbetrieb .....                     | 937 |
| 3.5 | Automatisierung .....                      | 938 |
| 3.6 | Verbindungsfugen .....                     | 940 |
| 4   | Berechnung .....                           | 940 |
| 4.1 | Allgemeines .....                          | 940 |
| 4.2 | Berechnungsannahmen .....                  | 941 |
| 4.3 | Absenzustände .....                        | 948 |
| 4.4 | Bauteilbemessung .....                     | 950 |
| 4.5 | Numerische Berechnungen .....              | 952 |
| 5   | Beispiele .....                            | 953 |
| 5.1 | Veröffentlichte Beispiele .....            | 953 |
| 5.2 | Ausgewählte neuere Beispiele .....         | 954 |
| 6   | Literatur .....                            | 967 |

### 3.9 Gründungen in Bergbaugebieten

*Dietmar Placzek*

|     |  |      |
|-----|--|------|
| 1   | Einleitung .....   | 971  |
| 2   | Bodenbewegungen .....  | 974  |
| 2.1 | Bodenbewegungen bei untertägigen Abbauen .....   | 974  |
| 2.2 | Bodenbewegungen bei Tagebauen .....  | 979  |
| 3   | Einfluss der Bewegungsvorgänge auf die Gründung der Bauwerke .....                         | 980  |
| 4   | Bauliche Maßnahmen bei untertägigen Abbauen in größerer Teufe .....                        | 984  |
| 4.1 | Arten der Sicherung .....  | 984  |
| 4.2 | Grundsätzliches zur Anordnung und Ausbildung der Bauwerke .....                            | 985  |
| 4.3 | Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit bei Einwirkungen des Bergbaus .....                   | 986  |
| 4.4 | Maßnahmen gegen Schieflagen .....  | 986  |
| 4.5 | Maßnahmen gegen Krümmungen .....   | 987  |
| 4.6 | Maßnahmen gegen Längungen (Zerrungen) .....  | 991  |
| 4.7 | Maßnahmen gegen Kürzungen (Pressungen) .....   | 992  |
| 4.8 | Maßnahmen bei konzentrierten Bodenbewegungen .....   | 995  |
| 5   | Bauliche Maßnahmen bei tagesnahen untertägigen Abbauen .....                               | 995  |
| 5.1 | Arten der Sicherung .....  | 995  |
| 5.2 | Sicherung der Bauwerke .....   | 996  |
| 5.3 | Stabilisierung des Untergrunds durch Einpressungen .....                                   | 998  |
| 5.4 | Stabilisierung des Untergrunds durch Einbau von Bewehrung .....                            | 1000 |
| 6   | Maßnahmen bei Tunneln .....  | 1002 |
| 6.1 | Allgemeines .....  | 1002 |
| 6.2 | Ausführungsmöglichkeiten .....   | 1002 |
| 7   | Maßnahmen bei vorhandener Bebauung .....   | 1004 |
| 7.1 | Vorbemerkung .....   | 1004 |
| 7.2 | Maßnahmen gegen Senkungen .....  | 1004 |
| 7.3 | Maßnahmen gegen überwiegend vertikale, ungleichmäßige<br>Bodenbewegungen .....             | 1005 |
| 7.4 | Maßnahmen gegen überwiegend horizontale Bodenbewegungen .....                              | 1006 |
| 8   | Folgewirkungen stillgelegten Bergbaus .....  | 1007 |
| 8.1 | Untertägiger Bergbau .....   | 1007 |
| 8.2 | Tagebau .....  | 1009 |
| 9   | Pseudobergschäden .....  | 1013 |
| 9.1 | Vorbemerkung .....   | 1013 |
| 9.2 | Geländesenkungen durch Grundwasserspiegelabsenkung .....                                   | 1013 |
| 9.3 | Geländesenkungen durch Trocknung (Schwinden) .....   | 1014 |
| 9.4 | Geländesenkungen infolge chemischer und/oder biologischer<br>Zersetzung (Schrumpfen) ..... | 1014 |
| 9.5 | Geländesenkungen infolge Bewuchses (meteorologische und<br>vegetative Ursachen) .....      | 1015 |
| 10  | Literatur .....  | 1016 |

**3.10 Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen***Heinz Brandl*

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 1   | Einleitung .....  | 1019 |
| 2   | Entwurfs- und Dimensionierungsmethoden .....  | 1021 |
| 2.1 | Allgemeines .....   | 1021 |
| 2.2 | Konventionelle Methode .....  | 1021 |
| 2.3 | Semi-empirische Methode .....   | 1023 |
| 3   | Stützwände .....  | 1025 |
| 3.1 | Pfahlwände .....  | 1025 |
| 3.2 | Brunnenwände .....  | 1048 |
| 3.3 | Schlitzwände .....  | 1053 |
| 3.4 | Düsenstrahlwände .....  | 1056 |
| 3.5 | Rippenwände .....   | 1059 |
| 3.6 | Ankerwände („Elementwände“) .....   | 1061 |
| 3.7 | Futtermauern .....  | 1069 |
| 4   | Stützmauern nach dem Verbundprinzip (stützmauerartige<br>Verbundkonstruktionen) ..... | 1073 |
| 4.1 | Allgemeines .....   | 1073 |
| 4.2 | Raumgitter-Stützmauern .....  | 1076 |
| 4.3 | In sich verankerte Mauern .....   | 1091 |
| 4.4 | Bewehrte Erde .....   | 1097 |
| 4.5 | Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen .....                                       | 1108 |
| 4.6 | Stützmauern aus Gabionen .....  | 1125 |
| 4.7 | Stützbauwerke aus verfestigtem oder verpacktem Boden .....                            | 1128 |
| 5   | Bodenvernagelungen und Bodenverdübelungen .....                                       | 1129 |
| 5.1 | Nagelwände .....  | 1129 |
| 5.2 | Injektionsvernagelungen, Injektionsverdübelungen .....                                | 1138 |
| 5.3 | Stabwände .....   | 1143 |
| 5.4 | Dübelwände, Hangverdübelungen .....   | 1147 |
| 6   | Aufgelöste Stützkonstruktionen .....  | 1165 |
| 7   | Sonstige Stützkonstruktionen .....  | 1168 |
| 7.1 | Sonderformen, Kombinationen .....   | 1168 |
| 7.2 | Galerien .....  | 1170 |
| 7.3 | Sicherung von Hangbrücken .....   | 1170 |
| 8   | Begleitende Maßnahmen .....   | 1178 |
| 8.1 | Bermen .....  | 1178 |
| 8.2 | Entwässerungen .....  | 1179 |
| 8.3 | Kontrollmessungen .....   | 1180 |
| 9   | Literatur .....   | 1181 |
|     | <b>Stichwortverzeichnis</b> .....   | 1187 |
|     | <b>Inserentenverzeichnis</b> .....  | 1215 |