



---

## Vorwort

Im Vorwort zum Teil 1 der Neuauflage des Grundbau-Taschenbuchs bin ich auf den konzeptionellen Ansatz dieses Standardwerks und auf die zweckmäßige Handhabung eingegangen. In Teil 2 habe ich den Einfluss der neuen Medien und der Digitalisierung im Vorwort erwähnt. Obwohl die digitalen Medien heute den größten Anteil der Informationsbedürfnisse rasch befriedigen, bedarf es hin und wieder einer verlässlichen, komprimierten Erläuterung. Dafür steht das Grundbau-Taschenbuch als Standardwerk auf dem Gebiet der Geotechnik.

Auch in den Beiträgen dieses 3. Teils, in dem die Themen Gründungen und ausgewählte Kapitel zu besonderen geotechnischen Bauwerken behandelt werden, sind seit der letzten Auflage Erfahrung, Erkenntnisse und eine Reihe von nationalen und internationalen Normen, Merkblätter und Empfehlungen hinzugekommen. In dieser Neuauflage haben wir erstmals ein Kapitel zum Entwurf und der Bemessung von Gründungen für Offshore-Windenergieanlagen aufgenommen, ein Gemeinschaftswerk mehrerer Experten mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Und der Nachfrage wegen wurde ein früheres Thema wieder aufgegriffen und aktualisiert, die Planung und Herstellung von Senkkästen. In allen anderen, eher traditionellen, aber unverzichtbaren Kapiteln wurden teilweise von neuen Autoren notwendige Anpassungen und Ergänzungen vorgenommen.

Ein herzliches Dankeschön für die wertvolle Arbeit geht an alle Autoren. Nur wer es selbst einmal probiert hat, kann ermessen, welche Mühe es kostet, sich neben der Alltagsarbeit als Fachbuchautor zu betätigen. Die Mühe hat sich gelohnt, den Experten ist es hervorragend gelungen, ihr Wissen und ihre Erfahrung in diesem ansprechenden und umfassenden Werk zusammenzutragen. Ich danke dem Verlag Ernst & Sohn für die Realisierung dieses Werks, vor allem Frau Dipl.-Ing. R. Herrmann für das professionelle Lektorat, die hilfreichen Anregungen und nicht zuletzt für ihre Geduld.

Weimar, August 2017

*Karl Josef Witt*

## Inhaltsverzeichnis

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

### 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 Ppropfenbildung .....	158
3.9	Berechnung axialer Pfahlwiderstände mit numerischen Verfahren .....	162
3.10	Veränderung der Pfahltragfähigkeit mit der Zeit .....	162
3.11	Einfluss der Einbringeart auf die Tragfähigkeit von Verdrängungs-pfählen .....	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 Probobelastungen .....	175
4	Pfahltragverhalten quer zur Pfahlachse und infolge Moment-einwirkungen .....	175
4.1	Allgemeines .....	175
4.2	Pfahlprobobelastungen 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 Grenzzustands-gleichungen .....	190
5.3	Bemessungswiderstände axial belasteter Pfähle .....	191
5.4	Bestimmung charakteristischer axialer Pfahlwiderstände aus Ergebnissen statischer Probobelastungen .....	192
5.5	Bestimmung charakteristischer axialer Pfahlwiderstände aus Ergebnissen dynamischer Probobelastungen .....	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 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 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, 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	Mehrpfahlgründung (Jacket-, Tripod-, Twisted-Foundation) .....	509
3.2	Monopfahlgründungen .....	517
3.3	Schwergewichtsgründungen .....	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 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 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 Auflagerung im Boden .....	656
5.3	Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen bei beliebiger 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 Wasserdruk 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, Auswechlungen 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 Lösen 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 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	Absenkzustände .....	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 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 Zersetzung (Schrumpfen) .....	1014
9.5	Geländesenkungen infolge Bewuchs (meteorologische und 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 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

## Autoren-Kurzbiografien

**Heinz Brandl**, Jahrgang 1940, studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Wien. Nach Promotion (1966) und Habilitation war er ab 1971 als Privatdozent freiberuflich tätig. 1977 reihte ihn die TU Graz an erster Stelle als Ordinarius für Grundbau, Boden- und Felsmechanik, 1981 wechselte er von Graz an die TU Wien als Vorstand des von K. Terzaghi gegründeten Institutes für Grundbau und Bodenmechanik. Seit Ende 2008 Prof. Emeritus; Honorarprofessor, Visiting- und Gastprofessor an mehreren Universitäten. 15 Ehrendoktorate, etwa 580 wissenschaftliche Publikationen (z. T. in 18 Sprachen), nahezu 600 Fachvorträge in allen Kontinenten und etwa 4000 Ingenieurprojekte unterstreichen seine wissenschaftlichen Verdienste und die Verbindung von Forschung, Theorie und Praxis. Hierzu kommt sein langjähriges Engagement in nationalen und internationalen Fachgremien, etwa als Vice-President der ISSMGE und seit 2003 als Präsident des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins. Seine berufliche Tätigkeit umfasst Straßen, Autobahnen, Eisenbahnen, Stützbauwerke, Rutschungen und Hangsicherungen, tiefe Einschnitte und Baugruben, Bauwerksunterfangungen, Tunnel, U-Bahnbauten, Brücken, hohe Dämme, Kraftwerke, Hochwasserschutzanlagen, Lawinen- und Murengalerien, Pipelines, Industrieanlagen, Büro-, Wohn- und Industriegebäude, Hochhäuser usw. Weitere Schwerpunkte bilden Geo-kunststoffe, Umwelt-Geotechnik (Altlasten, Deponien) und Geothermie.

**Jacob Gerrit de Gijt** studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Delft, wo er 2010 mit einer Arbeit über die historische Entwicklung des Kaimauerbaus weltweit promovierte. Von 1975 bis 1987 bearbeitete er als geotechnischer Experte bei FUGRO anspruchsvolle Projekte von Gründungen auf dem Festland und im Wasser, aber auch Projekte der Hydrologie und Umweltgeotechnik. Von 1987 bis 1992 betreute er als Projektingenieur bei der Rotterdam Public Works sämtliche Hafenbauprojekte wie Ufermauern, Schiffsanleger, Plattformen, Pipelines, Sanierungsmaßnahmen, Gewinnung und Verbringung von Baggergut u. a. m. Von 1992 bis 2006 war er zudem im technischen Management der Hafenverwaltung Rotterdam für die Kundenbetreuung zuständig. Seine umfangreichen Erfahrungen bringt Jacob de Gijt an der TU Delft, Departement Hydraulic Engineering and Probabilistic Design, als Ass. Professor im Masterstudiengang Port Infrastructures ein. Seit 2013 ist er als Berater für Gemeentewerken Rotterdam und Rotterdam Port Authority tätig. Er ist Mitglied zahlreicher nationaler und internationaler Ausschüsse wie PIANC, EAU, CUR, HTG, KIVINIRIA sowie seit 2011 Ehrenmitglied der EACEF und hat über 70 Beiträge in Fachzeitschriften und Büchern publiziert.

**Jürgen Grabe**, Jahrgang 1959, leitet seit 1998 das Institut für Geotechnik und Baubetrieb der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens mit der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau an der Universität Hannover promovierte er 1991 am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Karlsruhe unter Professor Gudehus mit der Arbeit „Experimentelle und the-

oretische Untersuchungen zur flächendeckenden dynamischen Verdichtungskontrolle“. Praktische Erfahrungen hat er sich in geotechnischen Ingenieurbüros und in der Bauleitung bei der Bauer Spezialtiefbau GmbH erworben. Er ist Mitglied in mehreren Beiräten und Normenausschüssen, stellvertretender Vorsitzende der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGfG) sowie Obmann des Fachausschusses Ufereinfassungen EAU.

**Wilfried Hackenbroch**, Jahrgang 1951, studierte Bauingenieurwesen / Konstruktiver Ingenieurbau an der RWTH Aachen. Danach trat er 1975 in das Ingenieurbüro Domke, Duisburg (heute: IDN Ingenieurbüro DOMKE Nachf.) ein. 1987 wurde er Gesellschafter, 1998 erfolgte die Zulassung als Prüfingenieur für Baustatik. In den ersten 25 Berufsjahren lag sein Tätigkeitsschwerpunkt in der Mitwirkung bei den Beratungs- und Prüfingenieurleistungen für die Stadtbahn Duisburg (Tunnelbau/Spezialtiefbau). Heute liegen seine persönlichen beruflichen Schwerpunkte – neben den normalen Tätigkeiten als Beratender Ingenieur und Prüfingenieur für Massivbau und Holzbau – im Spezialtiefbau, Brückenbau und konstruktiven Wasserbau, wo er als Tragwerksplaner, Prüfingenieur und Gutachter wirkt. Seit 1995 ist er Mitglied des Arbeitskreises Baugruben der DGfG.

**Hans-Gerd Haugwitz**, Jahrgang 1955, studierte an der technischen Hochschule Darmstadt Bauingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Bodenmechanik und Grundbau. Nach dem Studium begann er seine berufliche Laufbahn 1980 bei der Bauer Spezialtiefbau GmbH und ist dort heute noch tätig. Er war zunächst als Bauleiter bei verschiedenen Projekten im Rhein-Main-Gebiet eingesetzt und übernahm dann in den Folgejahren in mehreren Bereichen in Deutschland die jeweilige Niederlassungs- und Hauptniederlassungsleitung. Seit 2008 leitet er den für Deutschland zuständigen Bereich „Projekte“ und befasst sich dabei besonders mit großen Infrastruktur-Projekten. Er ist als Obmann des Arbeitsausschusses ATV DIN 18303 wie auch im GAEB tätig und ist Mitautor des Beck'schen VOB- und Vergaberechtskommentars VOB Teil C. Seine Hauptschwerpunkte liegen in den Komplexen tiefe Baugruben, Gründungen und Dichtwände.

**Achim Hettler**, Jahrgang 1953, leitet seit 1994 als Nachfolger von Prof. Weißenbach den Lehrstuhl für Baugrund – Grundbau an der Technischen Universität Dortmund. Er ist Mitglied in zahlreichen Normenausschüssen und Obmann des Arbeitskreises Baugruben sowie des DIN-Ausschusses „Baugrund; Berechnungsverfahren“. Seit Jahren Mitglied im Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik und Leiter der Fachsektion „Bodenmechanik“. Forschungsschwerpunkte sind u. a. Themen zu Baugruben und Erddruckfragen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens in Karlsruhe und in Lyon Promotion und Habilitation am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik bei Prof. Gudehus in Karlsruhe. Seitdem über 20-jährige praktische Erfahrung u. a. bei einem großen Baukonzern im Spezialtiefbau, bei einem überregionalen Planungsbüro in der Geotechnik und bei der Sanierung von großen Altstandorten. In den letzten Jahren verstärkte Tätigkeit als Sachverständiger für Schäden im Grundbau und für Altlasten. Autor des Buches „Gründung von Hochbauten“ und Koautor der Bücher „Der Bausachverständige vor Gericht“ (zusammen mit Stefan Leupertz, ehemals Richter am BGH) sowie der 2. Auflage von „Baugruben, Berechnungsverfahren“ (zusammen mit Anton Weißenbach).

**Hans-Uwe Kalle**, Jahrgang 1956, leitet das Technische Büro der ArcelorMittal Commercial RPS Spundwand GmbH in Hagen. Nach Abitur und Wehrdienst folgte die Ausbildung zum Bauhandwerker des Betonbaus, an die sich dann das Studium des Konstruktiven Ingenieurbaus an der Universität Dortmund anschloss. Nach 18-jähriger Tätigkeit im technischen Büro der Hoesch Stahlspundwand und Profil GmbH und als Vertriebsleiter für die Vermarktung von Stahliefbauprodukten folgte im Jahr 2003 der Wechsel ins technische Büro der Arcelor Spundwand Deutschland GmbH. Hans-Uwe Kalle ist sowohl Mitglied im Arbeitsausschuss Ufereinfassung EAU als auch im Arbeitskreis „Baugruben“ EAB. Neben diesen Tätigkeiten ist er Mitglied des deutschen Spiegelausschusses der DIN EN 1993-5 und der DIN EN 10248.

**Hans-Georg Kempfert**, Jahrgang 1945, war bis 2010 Leiter des Fachgebietes Geotechnik an der Universität Kassel. Er war Mitglied in mehreren nationalen und internationalen Fach- und Normenausschüssen und Obmann des Normenausschusses NA 005-05-07 Pfähle (gleichzeitig AK 2.1 „Pfähle“ der DGGT) bis 2013. Neben den Forschungsschwerpunkten Pfahlgründungen, weiche Böden, Bewehrung mit Geokunststoffen und Geotechnik im Verkehrswegebau betätigte er sich langjährig beratend bei zahlreichen Projekten als Partner im Ingenieurbüro Kempfert + Partner Geotechnik. Er ist Autor (mit jeweils einem Koautor) der Bücher „Excavation and Foundation in Soft Soils“ sowie „Bodenmechanik und Grundbau“ (Teil 1 und 2) und war als Prüfsachverständiger sowie Sachverständiger für Geotechnik im Eisenbahnbau anerkannt und ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Erd- und Grundbau.

**Fabian Kirsch**, geboren 1971 in Frankfurt am Main studierte von 1991 bis 1997 Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Braunschweig mit Studienaufenthalten am Indian Institute of Technology, New Delhi und an der University of Glasgow, Schottland. Im Anschluss an das Studium arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Grundbau und Bodenmechanik für Technischen Universität Braunschweig und promovierte im Jahr 2004 über experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tragverhalten von Rüttelstopfsäulengruppen. Seit 2004 ist er zunächst als Projektengineer und schließlich ab 2008 als geschäftsführender Gesellschafter bei der GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH in Berlin tätig. Darüber hinaus ist er Geschäftsführer des GuD-Verbundbüros BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH in Hamburg. Fabian Kirsch ist anerkannter Prüfsachverständiger für Erd- und Grundbau und Mitglied in mehreren Arbeitskreisen sowie seit 2016 Mitglied im Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik. Überdies berät er das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) im Rahmen der Erstellung der BSH-Standards und hält Lehrveranstaltungen an der Technischen Universität Berlin mit dem Schwerpunkt Baugrundverbesserungen.

**Peter Kudella**, Jahrgang 1955, studierte an der Universität Karlsruhe Bauingenieurwesen. Er arbeitete anschließend im Technischen Büro der Firma Ed. Züblin AG an Staumann- und Infrastrukturprojekten im Nahen Osten, Südamerika und Australien, sowie einige Jahre außerhalb des technischen Berufsfeldes. 1988 kehrte er an die Universität Karlsruhe zurück, bearbeitete mehrere Forschungsvorhaben zum Erhalten historischer Bauwerke (u. a. SFB 215) und unterstützte im Rahmen eines Forschungsaustauschs mit der Tongji-Universität den Bau der U-Bahn-Linie Nr.1 in Shanghai, bevor er 1994

bei Prof. Gudehus am Lehrstuhl Bodenmechanik über ein Thema der Injektionstechnik promovierte. In zwei weiteren Jahren Praxistätigkeit wirkte er bei der Züblin Spezialtiefbau GmbH in Berlin u. a. an den Baugruben des Potsdamer Platzes mit. Seit 1996 ist er wissenschaftlicher Angestellter in der Funktion des Oberingenieurs am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik des KIT (Karlsruher Institut für Technologie). Er koordiniert die Lehre im Studienschwerpunkt Geotechnisches Ingenieurwesen, ist Sprecher der Forschungsgruppe Spezialtiefbau und verantwortlich für das felsmechanische Labor und das Frostlabor.

**Kerstin Lesny**, Jahrgang 1968, studierte Bauingenieurwesen an der Universität Duisburg-Essen. Im Rahmen ihrer Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Grundbau und Bodenmechanik dieser Universität promovierte sie 2001 mit einer Arbeit über ein konsistentes Versagensmodell zum Nachweis der Standsicherheit von Flachgründungen. Von 2002 bis 2015 war sie dort als Oberingenieurin tätig und erlangte Anfang 2008 mit einer Habilitation zum Thema Gründungen für Offshore-Windenergieanlagen die Venia Legendi für das Lehrgebiet Grundbau und Bodenmechanik. Im Rahmen dieser Arbeit beschäftigte sie sich u. a. mit der Auslegung und Bemessung geeigneter Gründungskonzepte und deren Tragverhalten unter zyklischer Belastung. Seit 2015 ist Kerstin Lesny Professorin für Geotechnik und Wasserwesen an der HafenCity Universität in Hamburg. Neben geotechnischen Fragestellungen bei Offshore-Bauwerken gehören das Verhalten von Gründungssystemen unter komplexer Belastung sowie probabilistische Sicherheits- und Zuverlässigkeitsschätzungen zu ihren Forschungsschwerpunkten. Kerstin Lesny ist Mitglied in nationalen und internationalen Fachgremien, u. a. im TC 205 der ISSMGE „Safety and Serviceability in Geotechnical Design“ sowie im Arbeitskreis Geotechnik des Normenausschusses NA 005-51-07 „Windenergieanlagen“. Weiterhin war sie federführend an Entwicklung und Fortschreibung des Standards „Baugrunderkundung“ beim Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie beteiligt.

**Christian Moormann**, Jahrgang 1970, studierte Bauingenieurwesen an der Universität Hannover und schloss sein Diplom mit der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau 1994 ab. Nach einer Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt promovierte er 2002 über ein Thema zur Baugrund-Grundwasser-Interaktion bei tiefen Baugruben. In der Folge war Prof. Moormann als Beratender Ingenieur und Geschäftsführer in Ingenieurbüros für Geotechnik tätig. 2009 erwarb er an der Technischen Universität Darmstadt mit einer Habilitationsschrift zu „Möglichkeit und Grenzen experimenteller und numerischer Modellbildungen zur Optimierung geotechnischer Verbundkonstruktionen“ die Venia Legendi für das Fach „Bodenmechanik und Grundbau“. Seit 2010 hat er als Universitätsprofessor die Leitung des Institutes für Geotechnik an der Universität Stuttgart übernommen. Forschungsschwerpunkte sind u. a. Numerische Methoden in der Geotechnik, Halbfestgesteine, Pfähle/Baugrundverbesserungen, tiefe Baugruben, Geothermie und Verkehrswegebau. Prof. Moormann ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Erdbau, Grundbau, Felsbau sowie Spezialtiefbau und ist als Inhaber des Ingenieurbüros Prof. Moormann Geotechnik Consult beratend und prüfend bei zahlreichen, auch internationalen Projekten in die Ingenieurpraxis eingebunden. Er ist Mitglied und Obmann in diversen nationalen

und internationalen Fachgremien und Normenausschüssen, so ist Prof. Moormann u. a. Obmann des deutschen Normenausschusses „Pfähle“ (gleichzeitig AK 2.1 der DGGT) wie auch des europäischen Normenausschusses „Pile Design“ im TC250/SC 7.

**Karl Morgen**, Jahrgang 1952, studierte an der Technischen Universität Karlsruhe Bauingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau. Er promovierte dort mit einer Arbeit über die nichtlineare Berechnung orthotroper Platten. Nach kurzer Tätigkeit in einem Karlsruher Ingenieurbüro wechselte er als Bauleiter zur Fa. Dyckerhoff & Widmann AG in Hamburg. In dieser Zeit arbeitete er auf einer Taktschiebebrückenbaustelle und leitete anschließend die Baustelle für eine Kaianlage. Es folgte eine Tätigkeit als Planungsingenieur bei Lockwood Greene Architects and Engineers in New York. Seit 1988 ist er Geschäftsführer und Gesellschafter der WTM ENGINEERS GmbH (vormals Windels Timm Morgen) und verantwortlich für die zahlreichen Planungsaufgaben dieses Ingenieurbüros. Er ist als Prüfingenieur für Bautechnik und als Prüfingenieur beim Eisenbahnbundesamt anerkannt. Dr. Morgen arbeitet aktiv in diversen Fachgremien und Normenausschüssen mit, u. a. im Pfahlauschuss des NABau – Normenausschuss Bauwesen, im Anerkennungsausschuss für die Prüfingenieure in Hamburg der BSW – Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, hat einen Lehrauftrag an der TUHH – Technischen Universität Hamburg Harburg, ist 1. Stellvertretender Vorsitzender der STUVA – Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. und Stellvertretender Vorsitzender sowie Mitglied in den Ausschüssen Ufereinfassungen und Consulting in der HTG – Hafentechnische Gesellschaft e. V.

**Dietmar Placzek**, Jahrgang 1951, studierte Konstruktiven Ingenieurbau an der Ruhr-Universität Bochum. Nach kurzer Tätigkeit bei der ELE Beratende Ingenieure GmbH Erdbaulaboratorium Essen promovierte er am Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der Universität Essen mit einer Arbeit über das Schwindverhalten bindiger Böden. Danach wechselte er ins ELE zurück, war hier in unterschiedlichsten Funktionen tätig und bis zum 31.12.2013 Geschäftsführer und Gesellschafter. Seit dem 01.01.2014 ist er dort Gesellschafter und wissenschaftlicher Berater. Er ist als Beratender Ingenieur seit vielen Jahren u. a. öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger u. a. für Gründungsschäden und für Bergbauliche Einwirkungen auf die Tagesoberfläche, staatlich anerkannter Sachverständiger gemäß Landesbauordnung und Sachverständiger für Geotechnik im Eisenbahnbau. Seit 2000 ist er Honorarprofessor an der Universität Duisburg-Essen. Seine Tätigkeitsschwerpunkte sind Erd-, Grund- und Felsbau, Spezialtiefbau, Tunnelbau und Bergbau. Er gehört verschiedenen Ausschüssen und Arbeitskreisen technisch wissenschaftlicher Gesellschaften und der Ingenieurkammern an und ist daneben wissenschaftlicher Beirat für die Zeitschrift „Markscheidewesen“.

**Matthias Pulsfort**, Jahrgang 1955, studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Berlin mit der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau. Anschließend promovierte er bei Prof. Walz mit einer Arbeit zur Standsicherheit von suspensionsgestützten Schlitten neben Einzelfundamenten. Als Beratender Ingenieur war er danach zunächst in einem Ingenieurbüro tätig, anschließend als geschäftsführender Gesellschafter der Ingenieurgesellschaft für Geotechnik, mit der er inzwischen über

30 Jahre lang überregional und international herausragende Projekte bearbeitete. An die Bergische Universität Wuppertal wurde er für das Fachgebiet Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik berufen. Seit 2004 leitet er dort das zusammengefasste Lehr- und Forschungsgebiet Geotechnik mit dem angegliederten Erdbaulaboratorium Wuppertal. Seine Forschungsschwerpunkte sind räumlicher Erddruck, tiefe Baugruben, Schlitzwand- und Dichtwandtechnologie, Rohrvortriebstechnik sowie Spezialgebiete des Tunnelbaus. Er ist in der Normung als Obmann des DIN-Ausschusses NA 005-05-13 „Schlitzwände“ tätig und wirkt als deutscher Vertreter im internationalen Ausschuss zur europäischen Norm EN 1993-5 „Stahlspundwände und -pfähle“ mit.

**Thomas Richter**, Jahrgang 1948, studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Berlin. Von 1973 bis 1978 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität Berlin und promovierte dort im Jahre 1978 über das Thema „Erdbebenstandsicherheit von Dämmen“. Im Jahre 1979 war er als Postdoktorand an der University of California, Berkeley. Während einer 3-jährigen Tätigkeit als Geschäftsführer in einer bauausführenden Firma gründete er 1980 mit zwei Partnern das Büro GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH und war dort von 1980 bis 2015 als Geschäftsführender Gesellschafter tätig. Seit 2015 ist er als Seniorpartner mit einer Tätigkeit als freier Mitarbeiter für Großprojekte der Geotechnik in Begutachtung, Planung und Beratung tätig. Von 1992 bis 2016 war er als verantwortlicher Fachmann im Verzeichnis der Erd- und Grundbau-Institute gemäß DIN 1054, jetzt anerkannter Sachverständiger nach Bauordnungsrecht, bestellt. Seit 1998 ist er darüber hinaus als vereidigter Sachverständiger für Gründungen, Wasserhaltungen, Erschütterungen im Baugrund von der Industrie- und Handelskammer zu Berlin bestellt. 1998 erhielt er einen Ruf als ordentlicher Professor für Geotechnik im Bauwesen der RWTH Aachen (Ruf nicht angenommen) und im Jahre 1999 einen Ruf zum ordentlichen Professor vom Institut Grundbau, Boden- und Felsmechanik der TU München (Ruf nicht angenommen). Seit 2005 ist er bestellt als Honorarprofessor an der Technischen Universität am Institut für Grundbau und Bodenmechanik im Gebiet „Geotechnik der Großprojekte: Planung und Ausführung“. Von 2004 bis 2016 war er Mitglied im Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik. Im Rahmen der Normungstätigkeiten im Fachgebiet Geotechnik war er Obmann des Normenausschusses „Baugrubberechnungsverfahren“ beim DIN von 2004 bis 2015 und ist dort weiterhin als Mitarbeiter im Normenausschuss Baugrubberechnungsverfahren tätig. Seit 2006 ist er stellvertretender Vorsitzender des Lenkungsgremiums des Fachbereichs 05 „Grundbau, Geotechnik“ beim DIN. In letzter Zeit ist er seit 2011 Mitarbeiter in der Initiative „PraxisRegelnBau“, Projektgruppe 6 „Geotechnik“ und dort Leiter des AP3 „Straffung EC 7-1“ sowie seit 2013 Mitarbeiter in der DIN 18088 „Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen“ und dort Obmann im Teil 4 „Gründungselemente“.

**Werner Rücker**, Jahrgang 1949, studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Universität Berlin. Dort promovierte er im Jahr 1979 im Fachbereich Mechanik und Schwingungslehre. Seit 1979 leitete er an der BAM Berlin zunächst den Bereich Boden- und Bauwerksdynamik. Mitte der 1990er-Jahre übernahm er dann den Bereich Ingenieurbau. In dieser Zeit beantragte, bearbeitete und leitete er über 150 nationale und internationale Forschungsvorhaben und erstellte eine große Anzahl von

gutachterlichen Stellungnahmen auf den Gebieten der Baudynamik mit besonderem Schwerpunkt auf der Boden-Bauwerkswechselwirkung, der Eisenbahndynamik, der experimentellen Bodendynamik sowie des zyklischen Verhaltens von Gründungskonstruktionen. Seit etwa 1989 initiierte und bearbeitete er das Gebiet der Bauwerksüberwachung (structure health monitoring). Er ist Mitglied in mehreren nationalen und internationalen Fach- und Normenausschüssen und Obmann der Normenausschüsse NA 005-51-07 „Tragstrukturen von Windenergieanlagen und Plattformen“ sowie des Ausschusses VDI 4551 „Strukturüberwachung und Beurteilung von Windenergieanlagen und Offshore-Stationen“. Er ist zudem Vorsitzender des Fachbeirates NA 001-03 „Schwingungstechnik“ beim DIN und beim VDI. Seit ca. 2008 ist er zusammen mit seinen Mitarbeitern Fachberater beim BSH im Rahmen der Genehmigung von Offshore-Windkraftanlagen.

**Stavros Savidis**, Jahrgang 1944, war von 1987 bis zu seiner Emeritierung 2016, o. Professor für Grundbau und Bodenmechanik an der Technischen Universität Berlin. Er studierte Bauingenieurwesen an der Nationalen Technischen Universität in Athen und war von 1968 bis 1972 wiss. Assistent bei Prof. Lorenz und später bis 1978 Assistenzprofessor bei Prof. Müller Kirchenbauer an der Technischen Universität Berlin, wo er in dieser Zeit auf den Gebieten der Baugrunddynamik und der Bodenmechanik promovierte und habilitierte. Parallel hierzu arbeitete er freiberuflich als Beratender Ingenieur für Geotechnik und Bodendynamik. 1977 erhielt er den Ruf als ordentlicher Professor für den Lehrstuhl Grundbau und Bodenmechanik an der neu gegründeten Demokritus Universität Thrazien in Griechenland. Er wurde zweimal zum Rektor der Universität gewählt und er war auch in dieser Zeit Vizepräsident des Staatlichen Instituts für Ingenieurseismologie und Erdbebenschere Konstruktionen in Thessaloniki sowie Berater am Ministerium für Raumordnung und Umweltschutz in Athen. 1987 wurde er an den Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität berufen. 1990 trat er als Geschäftsführender Gesellschafter in das Ingenieurbüro GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH in Berlin ein, wo er bis heute als Senior Partner tätig ist und an vielen herausfordernden geotechnischen und bodendynamischen Projekten in Deutschland und im Ausland (insbesondere in Erdbebenregionen) mitgewirkt hat. Er war Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (DGEB), Mitglied des Spiegelausschusses für den EC8, Obmann des AK der DGGT „Plattform Forschung in der Geotechnik“. Seit 1992 ist er Obmann des AK der DGGT „Baugrunddynamik“ und seit 2008 Geschäftsführer der Hanseatic Power Cert GmbH, einer Gesellschaft zur Zertifizierung von Offshore-Windenergieanlagen.

**Theodoros Triantafyllidis**, Jahrgang 1954, studierte Bauingenieurwesen an der Universität Karlsruhe (TH). 1984 promovierte er über Fragen zu analytischen Lösungen des Problems der dynamischen Untergrundkopplung starrer Fundamente. 1989 erfolgte die Habilitation, ebenfalls an der Universität Karlsruhe (TH), mit dem Thema Halbraumlösungen zur Behandlung dynamischer Probleme mit der Randelementmethode. Nach leitenden Tätigkeiten in der Industrie im In- und Ausland folgte er 1997 einem Ruf der Ruhr-Universität Bochum, wo er bis Januar 2007 dem Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik vorstand. 2007 wurde er an die Universität Karlsruhe (TH) berufen, wo er seitdem die Leitung des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik

an dem durch die Fusion neu entstandenen Karlsruher Institut für Technologie (KIT) innehalt. Der Autor lehrt am KIT und ist Verfasser zahlreicher Publikationen in renommierten internationalen und nationalen Zeitschriften. Neben der Veröffentlichung seiner Monografie „Planung und Bauausführung im Spezialtiefbau: Teil 1: Schlitzwand- und Dichtwandtechnik“ ist er auch Herausgeber weiterer Bücher zur Modellierung von Installationsprozessen in der Geotechnik. Er erhielt zahlreiche Ehrungen und Preise im In- und Ausland und ist ständiges Mitglied im Redaktionsbeirat mehrerer renommierter internationaler Zeitschriften für Geotechnik und Erbebeningenieurwesen.

**Norbert Vogt**, Jahrgang 1953, studierte Bauingenieurwesen an den Universitäten in Braunschweig und Stuttgart mit Vertiefungen Geotechnik, Massivbau und Statik. Seine Promotion in Stuttgart behandelte das Thema Erdwiderstandsmobilisierung bei wiederholten Wandbewegungen in Sand und entstand auf der Grundlage von großmaßstäblichen Versuchen, Messungen an Schleusen, speziellen Laborversuchen in Hannover und Karlsruhe sowie Finite-Elemente-Modellierungen. Nach 18 Jahren als geotechnischer Berater und Geschäftsführer der Smoltczyk & Partner GmbH sowie Mitwirkung an vielen herausfordernden Grundbauprojekten wurde er 2001 an den Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der Technischen Universität München berufen. Sein spezielles Interesse betrifft die Baugrund-Bauwerks-Interaktion. Universitätsprofessor Vogt ist Obmann der Düsenstrahl-Norm DIN 4093 und bei der neuen DIN 1054 zuständig für den Abschnitt Gründungen. Er wirkt als deutscher Delegierter im Scientific Committee 7 am EC 7 mit.

**Anton Weißenbach**, Jahrgang 1929, studierte von 1948 bis 1954, mehrmals unterbrochen durch Erwerbstätigkeit, Bauingenieurwesen an der Technischen Hochschule München, war dann ein Jahr als Bauführer im Hochbau, vier Jahre als Gruppenleiter im Konstruktionsbüro einer Großbaufirma und 23 Jahre in zunehmend verantwortlichen Funktionen im Dienste der Baubehörde Hamburg beim U-Bahn- und S-Bahn-Bau tätig. 1962 promovierte er an der Technischen Hochschule Hannover, 1970 folgte die Habilitation. 1982 übernahm er den neu geschaffenen Lehrstuhl „Baugrund-Grundbau“ an der Universität Dortmund. 2001 ehrte ihn die Universität Kassel mit der Ehrenpromotion. Mehrere Jahrzehnte, auch noch nach seinem altersbedingten Ausscheiden aus der Tätigkeit an der Universität Dortmund im Jahr 1994, war er ehrenamtlich bei der Erarbeitung von Normen und Empfehlungen für den Grundbau tätig. Er war Obmann der Normenausschüsse DIN 4123 „Unterfangungen“, DIN 4124 „Baugruben und Gräben“ und DIN 1055-2 „Bodenkenngrößen“, außerdem war er Leiter der Arbeitsgruppe, die im Wesentlichen die neue DIN 1054:2005 erarbeitet hat. Seine Tätigkeit als Obmann des Arbeitskreises „Baugruben“ der DGQT gab er nach 40 Jahren im Juni 2006 ab. Bekannt wurde er auch durch zahlreiche Veröffentlichungen und Vorträge.

## 3.1 Flachgründungen

*Norbert Vogt*

### 1 Begriffe

Als *Flächengründungen* werden Gründungskörper bezeichnet, die äußere Lasten ausschließlich über horizontale oder wenig geneigte Sohlflächen in den Baugrund einleiten. Dies verursacht flächenhaft verteilte, überwiegend vertikale (Sohldruckspannungen), aber auch horizontale Bodenreaktionen (Sohlschubspannungen). Mit zunehmender Einbindetiefe treten unter exzentrischen Vertikallasten sowie unter Horizontallasten auch Erddruckänderungen an den Fundament-Stirnseiten auf, woraus sich eine Einspannwirkung im Baugrund entwickeln kann. Bei entsprechend großer Einbindetiefe kennzeichnet die kombinierte Lastabtragung über Gründungssohle und Fundament-Stirnseiten Tiefgründungen (Pfeiler- und Senkkastengründungen), die dennoch Flächengründungen bleiben. Flächengründungen mit geringer Einbindetiefe werden als *Flachgründungen* bezeichnet.

Zu den Flachgründungen gehören Einzelfundamente, Streifenfundamente und Sohlplatten sowie Kombinationen dieser Grundformen. Bei Sohlplatten spricht man dann von Gründungs- oder Fundamentplatten, wenn diese der planmäßigen Abtragung der Bauwerkslasten auf den Baugrund dienen. Wenn Stützen und Wände auf Einzel- und Streifenfundamenten gegründet sind, stellen verbindende Bodenplatten zunächst nur einen Raumabschluss dar. Sie haben jedoch für direkt auf sie einwirkende Nutzlasten wie Stapel-, Regallisten und Fahrzeuglasten sowie gegebenenfalls zur Aufnahme von Wasserdruk auch statische Funktionen. Solche Bodenplatten können durch Setzungen der mit ihnen verbundenen Fundamente auch Zwangsbeanspruchungen erhalten und sich dabei unplanmäßig an der vertikalen Bauwerkslastabtragung beteiligen.

Auch flach oder steil geneigte Kegelschalen, z. B. im Behälterbau, sind den Flachgründungen zuzurechnen.

Flächen- und Flachgründungen leiten Bauwerkslasten in den Baugrund ein, wobei die Verformungen von Gründung und Baugrund gekoppelt sind. Dabei darf der Grenzzustand der Tragfähigkeit weder für die Gründung noch für den Baugrund erreicht werden. Außerdem müssen die Verformungen verträglich bleiben, wozu der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zu führen ist, der ebenfalls als Grenzzustandsnachweis formuliert wird.

### Stand der Normung

- DIN EN 1997-1:2014-03: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln

## 3.2 Pfahlgründungen

*Hans-Georg Kempfert und Christian Moormann*

### 1 Einleitung

#### 1.1 Anwendungsbereich

Pfahlgründungen stellen die häufigste Ausführungsform von Tiefgründungen dar. Pfähle werden in der Regel verwendet, um Bauwerkslasten in axialer Richtung durch Bodenschichten geringer Festigkeit oder durch freies Wasser in den steiferen bzw. festeren Untergrund zu übertragen. Alternativ bzw. ergänzend können auch horizontale Einwirkungen quer zur Pfahlachse sowie Biegemomente über Pfähle abgetragen werden. Darüber hinaus können Pfähle auch durch den umgebenden Boden beansprucht werden und auf diese Weise weitere Funktionen, z. B. im Sinne einer Hangverdübelung, übernehmen. Dabei kommen zur Anwendung:

- Einzelpfahlgründungen aus frei oder aber in einem großen Abstand zueinander stehenden Einzelpfählen,
- Pfahlgruppen, bei denen Wechselwirkungen zwischen den benachbarten Pfählen zu berücksichtigen sind (Pfahl-Pfahl-Interaktion) und
- Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP), bei denen die Einwirkungen sowohl über die Pfähle als auch über die unter der Pfahlkopfplatte aktivierte Sohlspannung direkt in den Boden abgetragen werden, wodurch neben der Pfahl-Pfahl-Interaktion auch die Pfahl-Platten-Interaktion zu berücksichtigen ist.

Unter anderem bei hohen punktuellen Einwirkungen oder hohen Anforderungen an die Verformungsreduktion kann eine Pfahlgründung auch bei oberflächennah anstehendem tragfähigem Baugrund gegenüber einer Flachgründung aus wirtschaftlichen oder ausführungstechnischen Gründen vorteilhaft sein.

Die Anforderungen, die im Einzelfall an einen Pfahl bzw. an eine Pfahlgründung gestellt werden, ergeben sich primär aus den Anforderungen des zu gründenden Bauwerks, den Herstellungsbedingungen und der Baugrundbeschaffenheit. Schlitzwandelemente, Brunnengründungen sowie pfahlähnliche Gründungselemente, wie z. B. Betonrüttelsäulen, oder im Düsenstrahlverfahren hergestellte Säulen, werden in diesem Abschnitt nicht explizit behandelt, jedoch können die für Pfahlgründungen festgelegten Nachweisformen auf diese Elemente ggf. übertragen werden. Pfahlwände finden sich im Kapitel 3.7 des Grundbau-Taschenbuchs.

## 3.3 Spundwände

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

### 1 Spundwandbauwerke

#### 1.1 Allgemeines

Spundwandbauwerke bestehen aus einzelnen, untereinander durch Schlosser verbundenen, ins Erdreich eingetriebenen biege- und knicksteifen Elementen, den Spundbohlen. Sie werden als Stützbauwerke für Geländesprünge mit teilweise sehr großen Höhen, als Baugrubenwände und als Ufer- und Umschlagbauwerke im See- und Hafenbau eingesetzt. Spundwandbauwerke werden durch Erd- und Wasserdruck belastet, können aber auch lotrechte Lasten aus Überbauten übertragen.

Als Baustoff von Spundwandbauwerken dominiert seit vielen Jahrzehnten Stahl. In Sonderfällen werden auch Spundbohlen aus Stahl- oder Spannbeton, Kunststoff und aus Holz verwendet.

Die Stahlspundwandbauweise hat sich über Jahrzehnte als eine sichere und wirtschaftliche Bauweise mit einem breiten Anwendungsspektrum im Ingenieurbau und insbesondere im Hafenbau und im Wasserbau erwiesen. Sie wird zunehmend auch als Dichtungselement bei Deichsanierungen, Deponien, aber auch als allein wirkende Hochwasserschutzwand eingesetzt.

Wellenförmige Stahlspundwände werden aus U- oder Z-förmigen Einzelbohlen gebildet, die in der Regel aus statischen und rammbeschleunigten Gründen zu Doppel- oder Dreifachbohlen zusammengezogen und gemeinsam eingebracht werden. Die bei U-Bohlen in der Wandachse liegenden Schlosser müssen zum Erreichen der Verbundwirkung innerhalb der Einbringseinheit durch Verpressen oder Verschweißen kraftschlüssig miteinander verbunden werden. Bei Z-Bohlen ist das nicht erforderlich, weil die in der Randfaser der Wand liegenden Schlosser bei einachsiger Biegung keine Schubkräfte übertragen müssen (s. hierzu DIN EN 1993-5:2010 [3]).

Stahlspundwände aus wellenförmigen Einzelprofilen können im Gegensatz zu Spundwänden aus Holz (Abschnitt 1.2.3) und Stahlbetonprofilen (Abschnitt 1.2.2) in einem gewissen Umfang in der Wandebene Quer- und Zugkräfte übertragen und haben damit einen statischen Vorteil. Die Quersteifigkeit der wellenförmigen Spundwände wird durch zusätzliche Konstruktionselemente wie Gurte, Holme und aussteifende Überbauten zusätzlich erhöht.

Neben den wellenförmigen Spundwänden aus U- und Z-Bohlen kommen insbesondere bei den hohen Kaimauern in Seehäfen, aber auch bei tiefen Baugruben, die sogenannten kombinierten Wände (Kombiwände) zum Einsatz. Diese Wände werden aus

## 3.4 Gründung von Offshore-Bauwerken

*Kerstin Lesny und Jacob Gerrit de Gijt*

### 1 Grundlagen und Randbedingungen

#### 1.1 Ausgangssituation

In diesem Kapitel werden vorrangig Bauwerke behandelt, die im offenen Wasser bzw. in der offenen See gegründet werden. Dazu zählen Bauwerke der Erdöl- und Erdgasindustrie, die in deutschen Gewässern jedoch die Ausnahme sind. Die beiden Plattformen Schwedeneck-See A und B förderten von 1984 bis 2000 Öl in der Ostsee, wurden dann jedoch rückgebaut. Heute ist die von der DEA Deutsche Erdöl AG betriebene Bohr- und Förderinsel Mittelplate die größte deutsche Ölförderquelle. Sie wurde als künstliche Insel im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer errichtet (Bild 1).

Die langjährigen Erfahrungen aus der Offshore-Öl- und Gasindustrie, insbesondere aus dem angloamerikanischen Raum, waren jedoch eine wichtige Grundlage für die Planung und Entwicklung von Windparks auf hoher See, die in Deutschland heute den Schwerpunkt des Bauens unter Offshore-Bedingungen darstellen. Bauwerke in Offshore-Windparks sind dabei nicht nur die Windenergieanlagen selbst, sondern auch Offshore-Stationen (Umspann- und Konverterplattformen) als Einzelbauwerke sowie die Seekabel inner- und außerhalb des Parks. Weiterhin zählen auch Anlagen zur Gewinnung von Meeresenergie zu den Offshore-Bauwerken, die bislang jedoch noch nicht in kommerziellem Umfang installiert wurden.

Die Ausführungen dieses Kapitels behandeln schwerpunktmäßig die Errichtung typischer Offshore-Gründungsstrukturen einschließlich der Bauverfahren und der erforderlichen Geräte. Entwurf und Bemessung von Offshore-Gründungen, im Speziellen für Offshore-Windenergieanlagen, ist Gegenstand des Kapitels 3.5 „Entwurf und Bemessung von Gründungen für Offshore-Windenergieanlagen“.



a)



b)

**Bild 1** Bohr- und Förderinsel Mittelplate als künstliche Insel; a) Bauphase, b) heutige Ansicht  
(Fotos: DEA Deutsche Erdöl AG)

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

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

### 1 Einleitung

Windenergie spielt eine tragende Rolle beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Sie hat mittlerweile einen Anteil von rund 12 % an der deutschen Stromerzeugung. Neben dem weiteren Ausbau an geeigneten Landstandorten und dem Ersatz alter, kleinerer Anlagen durch moderne und leistungsstärkere Anlagen – dem sog. „Repowering“ – kommt dem Ausbau der Windenergie auf See (Offshore-Windenergie) eine wachsende Bedeutung zu.

Der Großteil der Planungen für Offshore-Windparks in Deutschland betrifft Standorte innerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ d.h. 12 sm bis 200 sm Entfernung zur Küste). Über die Zulassung von Windenergieanlagen in diesem Bereich entscheidet das Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie (BSH). Innerhalb der 12-sm-Grenze, d.h. im Bereich des Küstenmeeres, sind die jeweiligen Bundesländer für die Errichtung von Anlagen zuständig. Grundlagen für die Errichtung von Anlagen in der AWZ sind das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (SRUe) und das deutsche Seeaufgabengesetz (SeeAufgG). Die darauf beruhende Seeanlagenverordnung-SeeAnlV regelt das Zulassungsverfahren [9].

Für die Gründung einer Offshore-Windenergieanlage (OWEA) stehen im Allgemeinen Flach- und Tiefgründungen zur Auswahl. Aber auch Kombinationen dieser Gründungstypen oder Sondergründungen, wie z.B. die Suction Buckets, sind denkbar (s. Bild 1). Schwimmende im Meeresboden verankerte Gründungen, die für große Wassertiefen ( $t > 50$  m) geeignet sein sollen, befinden sich in Deutschland noch in der Entwicklungsphase.

### 2 Planungsgrundlagen und Nachweismodell

#### 2.1 Umgebungsbedingungen und allgemeine Daten

##### 2.1.1 Geografische Daten

Die geografischen Daten beschreiben den genauen Ort des geplanten Offshore-Windparks (OWP) sowie die dort vorhandenen Wassertiefen. Beispielsweise befindet sich der OWP „Alpha Ventus“ ca. 45 km nördlich der Insel Borkum. Die Wassertiefe beträgt dort 28 bis 33 m. Die genaue Lage des OWP ist durch Angabe der Koordinaten (z.B. N54 0,86 E 6 35,26) festgelegt.

## 3.6 Baugrubensicherung

*Achim Hettler, Theodoros Triantafyllidis und Anton Weißbach<sup>1),2)</sup>*

### 1 Grundlagen

#### 1.1 Maßgebende Vorschriften

Maßgebend für die Berechnung, Bemessung und Konstruktion von Baugrubenumschließungen sind die „Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben“ – kurz EAB – der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik. Die Anfänge dieser Empfehlungen gehen auf das Jahr 1965 zurück. Die erste Sammelveröffentlichung mit 24 durchnummerierten Empfehlungen (EB) erschien 1970 in der Bautechnik, s. *Weißbach* [180]. In den Folgejahren kamen weitere Empfehlungen hinzu, die 1980 in geschlossener Form als 1. Auflage der EAB der Fachwelt zur Verfügung gestellt wurden [46]. Nach und nach wurden die Empfehlungen ergänzt. Einen großen Einschnitt stellte die 4. Auflage 2006 mit der Umstellung vom Globalsicherheitskonzept auf das Teilsicherheitskonzept dar [47]. Eine weitere Anpassung war 2012 [48] infolge der bauaufsichtlichen Einführung von DIN EN 1997-1: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (EC 7-1) in Verbindung mit dem zugehörigen Nationalen Anhang

- DIN EN 1997-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln und
- DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau; Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1

erforderlich. Diese drei aufeinander abgestimmten Normen sind textlich zusammengefasst im Handbuch Eurocode 7, Band 1 [62].

Dabei ist der Nationale Anhang ein formales Bindeglied zwischen dem EC 7-1 und dem nationalen Normenwerk. In diesem Nationalen Anhang wird angegeben, welches der zur Auswahl gestellten Nachweisverfahren und welche Teilsicherheitsbeiwerte im nationalen Bereich maßgebend sind. Nicht zulässig sind Anmerkungen, Erklärungen oder Ergänzungen zum EC 7-1. Es darf aber angegeben werden, welche nationalen Re-

<sup>1)</sup> Einige wesentliche Teile des vorliegenden Beitrags gehen auf frühere Auflagen und das Werk von *Anton Weißbach* zurück, dessen Ideen bis heute maßgeblich die Berechnung von Baugrubenwänden prägen.

<sup>2)</sup> Abschnitt 18 wurde von *Wilfried Hackenbroch* bearbeitet, dem für seine Unterstützung herzlich gedankt sei.

## 3.7 Pfahlwände, Schlitzwände, Dichtwände

*Hans-Gerd Haugwitz und Matthias Pulsfort*

### 1 Pfahlwände

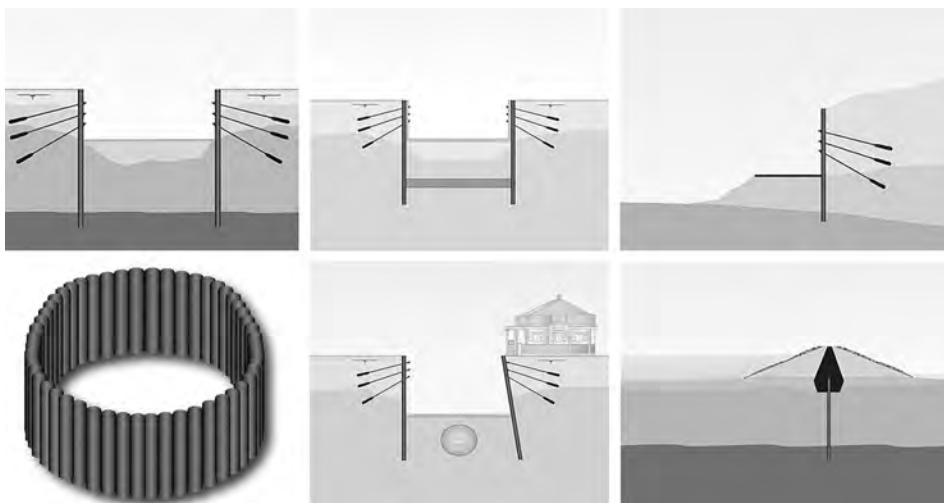
#### 1.1 Anwendungsbereich

Pfahlwände werden hauptsächlich als Baugrubensicherung verwendet. Aufgrund der hohen Wandsteifigkeit und den damit verbundenen geringen Verformungen eignen sie sich besonders als eine steife, verformungsarme Verbauart z. B. vor benachbarten Bauwerken oder erdverlegten Leitungen, die setzungsempfindlich sind.

Pfahlwände werden für temporäre und permanente Zwecke eingesetzt. Überschnittene Bohrpfahlwände werden auch als Variante mit wassersperrender Funktion, meist nur für den temporären Einsatz, verwendet. Sie eignen sich auch für Schachtbauwerke und permanente Hangsicherungen.

Als Dichtwände haben sich Pfahlwände im Wasserbau und als Grundwasserschutzbauwerke auf dem Sanierungssektor bewährt. Es gibt aber auch Ausführungen, bei denen Pfahlwände mit Verfüllung eines geeigneten Materials als tiefe Dränwände oder reaktive Wände zur Grundwasserreinigung Anwendung finden.

Pfahlwände werden in der Regel vertikal ausgeführt. Sie können auch mit besonderen Maßnahmen bis zu einer Neigung von ca. 1:10 gegen die Vertikale hergestellt werden, wenn die Bodenbedingungen dies erlauben (Bilder 1 bis 3).



**Bild 1** Anwendungsbeispiele für Pfahlwände

## 3.8 Senkkästen

*Peter Kudella*

### 1 Allgemeines

#### 1.1 Begriffe

Ein Senkkasten oder Caisson ist ein nach unten offener Baukörper mit umlaufenden Schneiden, der auf einer Herstellebene an der Geländeoberkante errichtet und als gesamter Baukörper gesteuert in den Baugrund abgesenkt wird. Das Absenken wird durch örtliche Grundbrüche unter diesen Schneiden erreicht, die durch kontrolliertes Abgraben herbeigeführt werden. Es erfolgt unter Eigengewicht oder unterstützt durch Ballastierung oder hydraulische Pressen. Parallel zum Absenken wird der Boden im Inneren des Senkkastens sukzessive entfernt. Nach dem Erreichen des Absenkziels wird die Sohle geschlossen und der Senkkasten kann in seiner Gründungsebene hohe Lasten flächenhaft übertragen. Der gesamte Vorgang wird als Absenkverfahren bezeichnet und ist ein Verfahren der Tiefgründung.

Der Senkkasten besteht in der Regel aus Stahlbeton oder Stahl. Er kann ein selbstständiger tief gebrückter Baukörper sein, der ganz im Boden eingebettet verbleibt. In diesem Fall tragen seine Formgebung und sein Ausbau mit Decken und Wänden sowohl dem Herstellprozess als auch der späteren Nutzung Rechnung. Seine Funktion kann sich aber auch auf die eines Gründungskörpers für ein aufgehendes Bauwerk oder eines Auflagers für weitere Baukörper beschränken.

Wirtschaftlich vorteilhaft sind Senkkästen in der Regel nur unterhalb des GW-Spiegels. Sie können auch auf eine Gewässersohle abgelassen und dort weiter in den Baugrund abgesenkt werden. Nach der Absenkmethode lassen sich die Senkkästen in zwei Gruppen einteilen:

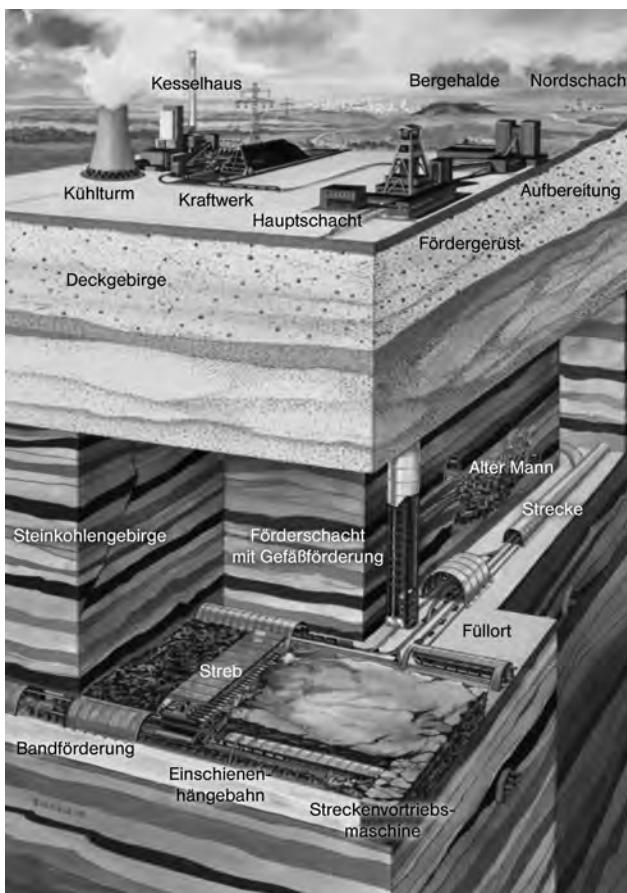
- Offene Senkkästen oder Brunnen (Bild 1a). Bei ihnen ist die Aushubsohle von oben her direkt zugänglich und bei Aushub im Trockenen auch begehbar. Beim Absenken im Grundwasser spiegelt sich der Wasserstand innerhalb und außerhalb aus. Die Unterscheidung von Brunnen und Senkkästen richtet sich nach den geometrischen Abmessungen.
- Druckluftsenkkästen oder Druckluftcaissons (Bild 1b). Eine massive drucklufthaltende Decke bildet mit den umlaufenden Schneiden eine nur nach unten offene Arbeitskammer, aus der das Grundwasser durch Druckluft verdrängt wird. Zum Aushub ist die Arbeitskammer über Druckluftschleusen und Schachtröhre während des gesamten Absenkprozesses zugänglich.

## 3.9 Gründungen in Bergbaugebieten

*Dietmar Placzek*

### 1 Einleitung

Die Gewinnung von Rohstoffen aus dem Untergrund wird als Bergbau bezeichnet. Je nach Tiefenlage und Umfang der Lagerstätte und der sie bedeckenden Schichten sind unterschiedliche Abbauverfahren erforderlich, die sich in Tagebau und Tiefbau (Untertagebau) einordnen lassen. Bei beiden Arten von Bergbaubetrieben treten Bodenbewegungen auf, die in unterschiedlichster Weise Einfluss auf die Gründung von Bauwerken nehmen können.



**Bild 1** Schnitt durch ein Steinkohlebergwerk

## 3.10 Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen

*Heinz Brandl*

### 1 Einleitung

Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt auf konstruktiven Lösungsmöglichkeiten und auf Ausführungsbeispielen. Grundsätzliche Berechnungsansätze sowie Dimensionierungshinweise werden zwar gegeben, jedoch nur in Einzelfällen theoretische Details zur Erdstatik angeführt. Außerdem besteht im Rahmen der Europäischen Harmonisierung der Normenwerke teilweise noch ein Schwebezustand, der sich – etwa bei den Teilsicherheitskonzepten – vor allem in der Geotechnik auswirkt.

So ist in den nächsten Jahren immer wieder mit Überarbeitungen des Eurocodes 7 zu rechnen; eine Anpassung des vorliegenden Kapitels an die Philosophie der EN 1997-1 wäre daher nur von kurzer Aktualität. Eine ständige Angleichung an noch in Diskussion befindlichen Konzepte bzw. Bezeichnungen würden die Lesbarkeit des Grundbau-Taschenbuchs für Praktiker eher erschweren, insbesondere wenn nahezu jede Auflage teilweise neue Bezeichnungen für das Gleiche enthält.

Mit einem generellen Verzicht auf globale Sicherheitsnachweise würden langjährige Erfahrungen verloren gehen. Zudem zeigt die Praxis, dass bei ausschließlicher Anwendung der Teilsicherheitskonzepte die Unsicherheit bei der Wahl zusätzlicher Parameter steigt und gleichzeitig das konstruktive „Feingefühl“ des Projektanten abnimmt. Somit sind vergleichende Berechnungen nach den bewährten bisherigen (= globalen) und den neuen (= partiellen) Sicherheitskonzepten nicht nur zweckmäßig, sondern erleichtern durchaus ingeniermäßige Entscheidungen.<sup>1)</sup> Dies betrifft vor allem Situationen mit stark streuenden Untergrundparametern und erhöhtem Risikopotenzial. Hinsichtlich detaillierter Bemessungsverfahren sei auf die zitierte Literatur verwiesen.

Konventionelle Stützmauern (Schwergewichtsmauern, Winkelstützmauern, Konsolmauern) und Spundwände werden im vorliegenden Beitrag nicht behandelt; diesbezüglich sei auf frühere Ausgaben des Grundbau-Taschenbuchs hingewiesen. Auch auf den Einfluss eventueller Auflasten, welche bergseits der Stützkonstruktion wirken, wird nicht eingegangen: dieser ist rechnerisch elementar erfassbar (Erddruckansätze, Geländebruchuntersuchungen etc.).

<sup>1)</sup> Bei jenen Bildern, in denen vorgespannte Verpressanker dargestellt sind, wurde die bisherige Bezeichnung  $A_r$  (= rechnerische Gebrauchskraft) beibehalten und nicht auf derzeit  $P_d$  (= Bemessungswert der Ankerbeanspruchung) gemäß DIN EN 1997-1 bzw. (ÖNORM EN 1997-1-1) geändert. Dies gilt auch für die zugehörigen Textpassagen.