

**Kempfert  
Lüking**

**GEOTECHNIK nach Eurocode  
Band 2: Grundbau**

**Grundlagen  
Nachweise  
Berechnungsbeispiele**

**5. Auflage**

**Bauwerk BBB  
Beuth**

**GEOTECHNIK nach Eurocode**  
**Band 2: Grundbau**



**Univ.-Prof. (em.) Dr.-Ing. Hans-Georg Kempfert**  
**Prof. Dr.-Ing. Jan Lüking**

# **GEOTECHNIK nach Eurocode**

## **Band 2: Grundbau**

**Grundlagen**  
**Nachweise**  
**Berechnungsbeispiele**

**5., vollständig**  
**überarbeitete Auflage**

Beuth Verlag GmbH · Berlin · Wien · Zürich

## **Bauwerk**

© 2020 Beuth Verlag GmbH

Berlin · Wien · Zürich

Saatwinkler Damm 42/43

13627 Berlin

Telefon: +49 30 2601-0

Telefax: +49 30 2601-1260

Internet: [www.beuth.de](http://www.beuth.de)

E-Mail: [kundenservice@beuth.de](mailto:kundenservice@beuth.de)

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden vom Verfasser und Verlag sorgfältig erarbeitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht übernommen. Der Verlag haftet nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens des Verlages zurückzuführen sind. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

Druck und Bindung:

Druckerei Plump, Rheinbreitbach

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier nach DIN EN ISO 9706.

ISBN 978-3-410-28839-8

# Vorwort

Das vorliegende Buch stellt den zweiten Teil der Reihe Geotechnik (Bodenmechanik und Grundbau) dar. Während im 1. Band „Bodenmechanik“ die Verfahren zur Baugrunderkundung und zur Untersuchung der Bodeneigenschaften sowie die allgemeingültigen theoretischen Grundlagen zur Ermittlung der Spannungs- und Verformungseigenschaften des Bodens im Vordergrund stehen, behandelt der vorliegende Band 2 die mehr praxisorientierten Grundlagen des Grundbaus und der Grundbaustatik in kompakter, aber möglichst umfassender Form.

Ein Vorwort zur Einordnung des Begriffes der Geotechnik, zum berücksichtigten Stand der Normung und zum gedachten Anwendungsbereich und der Leserschaft der zwei Bände findet sich im Band 1.

Unabhängig von der aktuellen Normenübersicht in Band 1 sei darauf hingewiesen, dass für die im Band 2 schwerpunktmäßig zusammengestellten grundbaustatischen Berechnungs- und Bemessungsverfahren als normative Grundlagen DIN EN 1997-1:2009-09 (Eurocode EC 7-1), DIN 1054:2010-12 und DIN EN 1997-1/NA:2010-12 zugrunde gelegt wurde. Diese drei Normen sind zusammengefasst im Normen-Handbuch EC 7, Band 1 (2015).

Wir danken unseren jetzigen und ehemaligen Mitarbeitern und Kollegen für Anregungen und Zuarbeit von inhaltlichen Teilen, die im Wesentlichen als Lehrunterlagen an der Universität Kassel und der Technischen Hochschule Lübeck entstanden sind. Besonders danken wir Herrn Dr.-Ing. Marc Raithel, der mit dem Erstautor die 1. bis 4. Auflage erstellt hat. Dem Verlag danken wir für die jahrelange gute Zusammenarbeit.

Über Hinweise und Anregungen zur Weiterentwicklung der Buchreihe per Mail würden wir uns freuen.

Hamburg, Lübeck, Juni 2020

Hans-Georg Kempfert  
Jan Lüking

## Autorenadressen

Univ.-Prof. (em.) Dr.-Ing. Hans-Georg Kempfert  
ehemals Universität Kassel · Institut für Geotechnik und Geohydraulik  
privat:  
Potosistraße 27  
D-22587 Hamburg  
kempfert@t-online.de

Prof. Dr.-Ing. Jan Lüking  
Technische Hochschule Lübeck · Fachbereich Bauwesen · Fachgebiet Geotechnik  
Mönkhofer Weg 239  
D-23562 Lübeck  
jan.lueking@th-luebeck.de

# Inhaltsverzeichnis Band 2

<b>17 Flach- und Flächengründungen</b>	<b>13</b>
17.1 Einleitung und Übersicht	13
17.2 Sohldruckbeanspruchung	14
17.3 Spannungstrapezverfahren	17
17.4 Konstruktive Hinweise	18
17.5 Einwirkungen und Beanspruchungen in der Sohlfläche	19
17.5.1 Einwirkungen	19
17.5.2 Charakteristische Beanspruchungen	19
17.5.3 Bemessungswerte der Beanspruchungen	20
17.6 Bodenreaktionen an der Stirnseite der Fundamentflächen	21
17.7 Nachweis der Tragfähigkeit – Nachweis der Grundbruchsicherheit	21
17.7.1 Grundbruchmechanismus	21
17.7.2 Bodenreaktion an der Fundamentstirnseite – Grundbruchnachweis	21
17.7.3 Ermittlung des charakteristischen Grundbruchwiderstandes	22
17.7.4 Besonderheiten bei der Ermittlung des Grundbruchwiderstandes	28
17.7.5 Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes	29
17.7.6 Grenzzustandsgleichung und Sicherheitsnachweis – Grundbruch	29
17.8 Nachweis der Tragfähigkeit – Nachweis der Gleitsicherheit	30
17.8.1 Ermittlung des charakteristischen Gleitwiderstandes	30
17.8.2 Bemessungswert des Gleitwiderstandes	31
17.8.3 Bodenreaktionen an der Stirnseite des Fundamentkörpers – Gleitsicherheitsnachweis	31
17.8.4 Grenzzustandsgleichung und Sicherheitsnachweis – Gleiten	31
17.9 Nachweise der Tragfähigkeit – stark exzentrische Belastung und Kippsicherheitsnachweis	32
17.10 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	33
17.10.1 Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge	33
17.10.2 Setzungen und Verdrehungen	35
17.10.3 Horizontale Verschiebungen in der Sohlfläche	36
17.11 Vereinfachter Nachweis in Regelfällen mit Tabellenwerten nach Handbuch EC 7-1	37
17.11.1 Allgemeines	37
17.11.2 Nichtbindiger Boden	40
17.11.3 Bindiger Boden	43
17.11.4 Fels	46
17.12 Weitere Nachweissituationen bei Flach- und Flächengründungen	46

17.12.1	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen . . . . .	46
17.12.2	Nachweis der Gesamtstandsicherheit . . . . .	48
17.13	Bauteilbemessung von Flach- und Flächengründungen . . . . .	48
<b>18</b>	<b>Gewichts- und Winkelstützwände</b>	<b>50</b>
18.1	Einordnung . . . . .	50
18.2	Stützwandtypen . . . . .	50
18.3	Stand sicherheitsnachweise . . . . .	51
18.3.1	„Äußere“Stand sicherheit . . . . .	51
18.3.2	„Innere“Stand sicherheit . . . . .	52
18.4	Besonderheiten für die Berechnung von Winkelstützwänden . . . . .	53
18.4.1	„Äußere“Stand sicherheit . . . . .	53
18.4.2	„Innere“Stand sicherheit . . . . .	55
<b>19</b>	<b>Berechnung von Flächengründungen und gebetteten Systemen</b>	<b>56</b>
19.1	Bettungsmodulverfahren . . . . .	56
19.1.1	Anwendung und Berechnungsmodell . . . . .	56
19.1.2	Mechanische Grundlagen . . . . .	56
19.1.3	Bettungsmodulverteilung . . . . .	58
19.2	Steifemodulverfahren . . . . .	59
19.3	Methode der Finiten-Elemente . . . . .	59
<b>20</b>	<b>Pfahlgründungen</b>	<b>61</b>
20.1	Einführung . . . . .	61
20.2	Pfahlnormen und Empfehlungen . . . . .	62
20.3	Pfahlarten und Ausführungsformen . . . . .	63
20.3.1	Übersicht und Zuordnung zu den Pfahl systemen . . . . .	63
20.3.2	Holzpfähle . . . . .	65
20.3.3	Stahlpfähle . . . . .	65
20.3.4	Stahlbetonfertigt pfähle . . . . .	66
20.3.5	Einbringen der Verdrängungspfähle (Ramppfähle) . . . . .	67
20.3.6	Ortbetonrammpfähle . . . . .	69
20.3.7	Bohrpfähle . . . . .	69
20.3.8	Verdrängungsbohrpfähle . . . . .	73
20.3.9	Mikropfähle . . . . .	74
20.4	Grundlagen für die Berechnung und Bemessung von Pfählen . . . . .	77
20.4.1	Allgemeines . . . . .	77
20.4.2	Einwirkungen und Beanspruchungen auf Pfähle . . . . .	77
20.5	Stand sicherheitsnachweise und Bemessung axial belasteter Pfähle . . . . .	78
20.5.1	Nachweis der Tragfähigkeit (ULS) . . . . .	78
20.5.2	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS) . . . . .	79
20.6	Charakteristische axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten . . . . .	81
20.6.1	Allgemeines . . . . .	81
20.6.2	Bohrpfähle . . . . .	82
20.6.3	Fertigrammpfähle . . . . .	85
20.6.4	Offene Stahlrohrpfähle und Stahlprofilpfähle . . . . .	88
20.6.5	Verpresste Mikropfähle . . . . .	94
20.6.6	Erfahrungswerte für weitere Pfahl systeme . . . . .	95

20.7	Axiale Pfahlwiderstände aus statischen Pfahlprobelastungen . . . . .	95
20.7.1	Versuchsdurchführung . . . . .	95
20.7.2	Ableitung der charakteristischen axialen Pfahlwiderstände aus Pfahlprobelastungen . . . . .	99
20.8	Axiale Pfahlwiderstände aus dynamischen Pfahlprobelastungen . . . . .	101
20.8.1	Grundlagen . . . . .	101
20.8.2	Direkte Verfahren . . . . .	104
20.8.3	Erweiterte Verfahren mit Modellbildung . . . . .	104
20.8.4	Integritätsprüfung . . . . .	105
20.8.5	Ableitung der charakteristischen axialen Pfahlwiderstände aus dynamischen Pfahlprobelastungen . . . . .	107
20.9	Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse belasteter Pfähle . . . . .	109
20.9.1	Kurze starre Pfähle . . . . .	109
20.9.2	Vereinfachter Bettungsmodulansatz . . . . .	110
20.9.3	Nicht lineare Pfahlwiderstände . . . . .	111
20.9.4	Spezialfälle . . . . .	116
20.9.5	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit . . . . .	119
20.9.6	Pfahlprobelastungen quer zur Pfahlachse . . . . .	119
20.9.7	Horizontal belastete Pfahlgruppen . . . . .	119
20.10	Standsicherheitsnachweise quer zur Pfahlachse belasteter Pfähle . . . . .	119
20.10.1	Nachweis der Tragfähigkeit quer zur Pfahlachse belasteter Pfähle bei linearer Bettung . . . . .	119
20.10.2	Nachweis der Tragfähigkeit quer zur Pfahlachse belasteter Pfähle bei nicht linearer Bettung . . . . .	120
20.11	Ausgewählte Fragestellungen bei der Berechnung und Ausführung von Pfählen	121
20.11.1	Allgemeines . . . . .	121
20.11.2	Negative Mantelreibung . . . . .	121
20.11.3	Seitendruck . . . . .	125
20.11.4	Setzungsbiegung . . . . .	133
<b>21</b>	<b>Berechnung von Pfahlrosten</b>	<b>134</b>
21.1	Allgemeines . . . . .	134
21.2	Berechnungsmodell für Pfahlroste . . . . .	135
21.3	Statisch bestimmte Pfahlroste . . . . .	135
21.4	Statisch unbestimmte ebene Pfahlroste und räumliche Pfahlrostberechnung	136
21.5	Pfahlrostberechnungen mit Stabwerksprogrammen . . . . .	137
21.6	Berücksichtigung des nichtlinearen Pfahltragverhaltens . . . . .	137
21.7	Gelände- und Grundbruch von Bauwerken auf hohen Pfahlrosten . . . . .	138
<b>22</b>	<b>Pfahlgruppen und Kombinierte Pfahl-Plattengründungen</b>	<b>139</b>
22.1	Pfahlgruppen . . . . .	139
22.1.1	Allgemeines . . . . .	139
22.1.2	Axial belastete Druckpfahlgruppen . . . . .	140
22.1.3	Zugpfahlgruppen . . . . .	141
22.1.4	Horizontal belastete Pfahlgruppen . . . . .	143
22.2	Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP) . . . . .	146
22.2.1	Allgemeines . . . . .	146
22.2.2	Zielsetzungen beim Gründungsentwurf mit KPP . . . . .	147

22.2.3	Entwicklung und ausgeführte Bauwerke . . . . .	147
22.2.4	Wirkungsweise und Berechnungshinweise . . . . .	149
<b>23</b>	<b>Konstruktion und Ausführung von Baugruben und Gräben</b>	<b>153</b>
23.1	Einleitung . . . . .	153
23.2	Nicht verbaute Baugruben und Gräben . . . . .	154
23.3	Verbaute Baugruben und Gräben . . . . .	156
23.3.1	Arbeitsraumbreiten und Mindestgrabenbreiten . . . . .	156
23.4	Grabenverbaufornen . . . . .	160
23.4.1	Allgemeines . . . . .	160
23.4.2	Grabenverbaugeräte . . . . .	161
23.4.3	Waagerechter Grabenverbau . . . . .	164
23.4.4	Senkrechter Grabenverbau . . . . .	165
23.5	Baugrubenwände . . . . .	167
23.5.1	Allgemeines . . . . .	167
23.5.2	Trägerbohlwände . . . . .	167
23.5.3	Spundwände . . . . .	172
23.5.4	Ortbetonwände . . . . .	172
23.5.5	Sonderbauweisen . . . . .	173
<b>24</b>	<b>Wasserhaltung und Dränung</b>	<b>175</b>
24.1	Allgemeines . . . . .	175
24.2	Filterregeln . . . . .	175
24.3	Dränung zum Schutz von baulichen Anlagen . . . . .	176
24.3.1	Ausführung . . . . .	176
24.3.2	Statische und hydraulische Beanspruchung der Dränanlage . . . . .	177
24.4	Konstruktive Ausbildung von Wasserhaltungen . . . . .	177
24.4.1	Anwendungsgrenzen . . . . .	177
24.4.2	Offene Wasserhaltung . . . . .	178
24.4.3	Schwerkraftentwässerung . . . . .	179
24.4.4	Vakuumentwässerung . . . . .	180
24.4.5	Herstellung und konstruktive Ausbildung . . . . .	181
24.5	Theorie der Berechnung von Grundwasserabsenkungen . . . . .	183
24.5.1	Aufgabenstellung . . . . .	183
24.5.2	Brunnengleichungen nach <i>Dupuit-Thiem</i> . . . . .	183
24.5.3	Reichweite des Absenktrichters . . . . .	184
24.5.4	Unvollkommene Brunnen . . . . .	185
24.5.5	Mehrbrunnenformel nach <i>Forchheimer</i> . . . . .	185
24.5.6	Fassungsvermögen eines Einzelbrunnens . . . . .	185
24.5.7	Zusammenhang zwischen dem Wasserandrang und Fassungsvermögen eines Brunnens . . . . .	186
24.5.8	Vakuumbrunnen . . . . .	187
24.5.9	Negativbrunnen (Wiederversickerung) . . . . .	187
24.6	Praktische Abfolge bei der Berechnung von Grundwasserabsenkungen . . . . .	188
24.6.1	Allgemeines . . . . .	188
24.6.2	Festlegung der Brunnenparameter . . . . .	188
24.6.3	Bestimmung der Absenktiefe $s$ . . . . .	188
24.6.4	Ersatzradius $A_{RE}$ . . . . .	189

24.6.5	Ermittlung der Reichweite $R$ . . . . .	189
24.6.6	Überschlägiger Wasserandrang . . . . .	190
24.6.7	Festlegung der lokalen Absenktrichter . . . . .	190
24.6.8	Bestimmung der Brunnenanzahl . . . . .	190
24.6.9	Prüfung weiterer Punkte des Absenktrichters . . . . .	191
24.7	Weitere Randbedingungen . . . . .	191
24.8	Setzungen infolge Grundwasserabsenkung . . . . .	191
<b>25</b>	<b>Spundwände</b>	<b>193</b>
25.1	Allgemeines . . . . .	193
25.2	Lieferformen der Spundwandprofile . . . . .	194
25.3	Einbringen und Einbringergeräte von Spundbohlen . . . . .	196
25.4	Rammtechnische Grundlagen . . . . .	200
25.5	Führung der Bohlen beim Einbringen . . . . .	202
25.6	Vorgehensweise bei der Einbringung . . . . .	204
25.7	Behandlungen von Abweichungen bei der Einbringung . . . . .	207
25.8	Einbringen in harte und felsartige Böden . . . . .	208
25.9	Einbringhilfen . . . . .	208
25.10	Dichtigkeit von Stahlsplundwänden . . . . .	209
25.11	Berechnung und Bemessung von Spundwänden . . . . .	209
<b>26</b>	<b>Schlitzwände</b>	<b>215</b>
26.1	Einführung . . . . .	215
26.2	Herstellung der Zweiphasenschlitzwand . . . . .	217
26.2.1	Herstellungsübersicht und Ablaufmöglichkeiten . . . . .	217
26.2.2	Herstellungsschritte . . . . .	219
26.2.3	Schlitzgeräte . . . . .	221
26.2.4	Fugen und Abstellkonstruktionen . . . . .	221
26.3	Eigenschaften von Stützflüssigkeiten (Bentonite) . . . . .	225
26.3.1	Verwendung . . . . .	225
26.3.2	Rheologie . . . . .	225
26.3.3	Bentonite . . . . .	226
26.3.4	Güteüberwachung . . . . .	228
26.4	Standsicherheitsnachweise des offenen Schlitzes . . . . .	232
26.4.1	Allgemeines . . . . .	232
26.4.2	Sicherheit gegen den Zutritt von Grundwasser in den Schlitz und gegen Verdrängen der stützenden Flüssigkeit . . . . .	232
26.4.3	Sicherheit gegen Abgleiten von Einzelkörnern oder Korngruppen (innere Standsicherheit) . . . . .	233
26.4.4	Sicherheit gegen Unterschreiten der statisch erforderlichen Spiegelhöhe der Stützflüssigkeit . . . . .	235
26.4.5	Sicherheit gegen die Ausbildung den Schlitz gefährdender Gleitflächen im Boden (äußere Standsicherheit des Schlitzes) . . . . .	235
26.5	Standsicherheit der erhärteten Wand . . . . .	242
<b>27</b>	<b>Verpressanker</b>	<b>243</b>
27.1	Einleitung . . . . .	243
27.2	Begriffe . . . . .	245

27.3	Verpressankersysteme . . . . .	246
27.4	Bohrverfahren und Herstellung . . . . .	247
27.5	Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit . . . . .	250
27.5.1	Allgemeines . . . . .	250
27.5.2	Einwirkungen und Beanspruchungen . . . . .	250
27.5.3	Bemessungswert des Materialwiderstandes und Grenzzustandsgleichung . . . . .	251
27.5.4	Bemessungswert des Herauszieh Widerstandes und Grenzzustandsgleichung . . . . .	252
27.5.5	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit . . . . .	255
27.6	Ankerprüfungen . . . . .	255
27.6.1	Allgemeines . . . . .	255
27.6.2	Eignungsprüfung . . . . .	258
27.6.3	Abnahmeprüfung . . . . .	262
27.7	Weitere Nachweise und Regelungen . . . . .	263
<b>28</b>	<b>Berechnung von Baugruben</b>	<b>264</b>
28.1	Einleitung . . . . .	264
28.2	Allgemeine Vorgaben aus Handbuch EC 7-1 und EAB . . . . .	264
28.2.1	Vorgehensweise zum Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit nach dem Teilsicherheitskonzept . . . . .	264
28.2.2	Weitere Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit . . . . .	267
28.2.3	Nachweis der Sicherheit gegen den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit . . . . .	267
28.3	Grundlagen für die Berechnung und Bemessung . . . . .	268
28.3.1	Einwirkungen und Berechnungslastfälle . . . . .	268
28.3.2	Festlegung der charakteristischen Bodenkenngrößen . . . . .	268
28.3.3	Festlegungen zum Ansatz von charakteristischen Nutzlasten . . . . .	269
28.3.4	Wasserdruck . . . . .	270
28.3.5	Allgemeines zu statischen Systemen, Erddruckbelastung und Verformung . . . . .	270
28.4	Größe und Verteilung des Erddrucks auf Baugrubenwände . . . . .	272
28.5	Allgemeine Festlegungen für die Berechnung . . . . .	280
28.5.1	Nachweis der Standsicherheit . . . . .	280
28.5.2	Nachweis der Einbindetiefe . . . . .	281
28.5.3	Allgemeines zu den Berechnungsverfahren . . . . .	283
28.5.4	Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstandes	284
28.5.5	Nachweis der Abtragung von Vertikalkräften in den Untergrund . . . . .	287
28.6	Berechnungsansätze und Verfahren für Trägerbohlwände . . . . .	292
28.6.1	Wirklichkeitsnahe Lastfiguren für gestützte Trägerbohlwände . . . . .	292
28.6.2	Ansatz des Erdwiderstandes vor Bohlträgern . . . . .	295
28.6.3	Nachweis der Einbindetiefe bei im Boden frei aufgelagerten Trägerbohlwänden . . . . .	297
28.6.4	Nachweis der Einbindetiefe bei im Boden eingespannten Trägerbohlwänden . . . . .	298
28.6.5	Gleichgewicht der Horizontalkräfte bei Trägerbohlwänden . . . . .	300
28.7	Berechnungsansätze und Verfahren für Spundwände und Ort betonwände . . . . .	302

28.7.1	Wirklichkeitsnahe Lastfiguren für gestützte Spundwände und Ort- betonwände . . . . .	302
28.7.2	Erdwiderstand bei im Boden frei aufgelagerten Wänden . . . . .	304
28.7.3	Erdwiderstand im Boden bei Wänden mit Fußeinspannung . . . . .	305
28.8	Erddruckansätze bei verankerten Baugrubenwänden . . . . .	308
28.9	Nachweis der Gesamtstandsicherheit bei verankerten Baugrubenwänden . .	308
28.10	Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge . . . . .	309
28.10.1	Allgemeines . . . . .	309
28.10.2	Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge bei einer Ankerlage . . . . .	309
28.10.3	Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge bei mehreren Ankerlagen . . .	312
28.11	Sicherheit gegen Aufbruch des Verankerungsbodens . . . . .	318
28.12	Baugruben im Wasser . . . . .	318
28.12.1	Allgemeines . . . . .	318
28.12.2	Hydrostatischer Wasserdruck und Strömungsdruck . . . . .	319
28.12.3	Belastung für Standsicherheitsnachweise bei Baugrubenwänden im Wasser . . . . .	322
28.12.4	Hydraulischer Grundbruch . . . . .	324
28.12.5	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen . . . . .	326
28.13	Baugrubenberechnung mit dem Bettungsmodulverfahren und mit der FEM	332
28.13.1	Anwendung des Bettungsmodulverfahrens . . . . .	332
28.13.2	Anwendung der Finite-Elemente-Methode . . . . .	334
28.14	Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit bei Baugruben . . . . .	336
28.15	Verformungen rückverankerter tiefer Baugruben . . . . .	337
28.15.1	Allgemeines . . . . .	337
28.15.2	Verformungseinflüsse . . . . .	337
28.15.3	Berechnungsverfahren zur Berücksichtigung der Verformungseinflüsse	339
28.16	Bemessung der Einzelteile der Baugrubenkonstruktion . . . . .	339
28.16.1	Allgemeines . . . . .	339
28.16.2	Bemessung der Tragfähigkeit der Einzelteile . . . . .	339
<b>29</b>	<b>Unterfangungen und Unterfahrungen</b>	<b>348</b>
29.1	Einleitung und Begriffe . . . . .	348
29.2	Voruntersuchungen . . . . .	349
29.3	Unterfangungsverfahren . . . . .	349
29.4	Unterfangungswände nach DIN 4123 . . . . .	350
29.4.1	Anwendungsbedingungen und Grenzen . . . . .	350
29.4.2	Ausschachtungen vor der Unterfangung . . . . .	351
29.4.3	Gründungen und Unterfangungsarbeiten . . . . .	353
29.4.4	Standsicherheitsnachweise des bestehenden Gebäudes . . . . .	354
29.4.5	Nachweis der Standsicherheit der Unterfangungswand . . . . .	355
29.5	Unterfangung mit Bodenverfestigungsverfahren . . . . .	356
29.5.1	Injektionen . . . . .	356
29.5.2	Düsenstrahlverfahren . . . . .	358
29.5.3	Ausführungsformen . . . . .	360
29.5.4	Ergänzende Standsicherheitsnachweise bei Verfahren mit Bodenver- festigung . . . . .	361
29.6	Unterfangung mit Mikropfählen . . . . .	364

29.7	Unterfangungen mit Bohr- und Presspfählen oder Schlitzwänden . . . . .	364
29.8	Konstruktive Fragen bei der Anwendung der Unterfangungsverfahren . . . . .	365
29.9	Zulässige Gebäudeverformungen und Überwachung . . . . .	366
29.10	Unterfahrung . . . . .	367
<b>A</b>	<b>Tabellen</b>	<b>371</b>
A-7	Abkürzungen und Formelzeichen . . . . .	371
A-8	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen nach <i>Handbuch Eurocode 7-1 (2015)</i> , Tabelle A 2.1 . . . . .	377
A-9	Teilsicherheitsbeiwerte für geotechnische Kenngrößen nach <i>Handbuch Eurocode 7-1 (2015)</i> , Tabelle A 2.2 . . . . .	378
A-10	Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände nach <i>Handbuch Eurocode 7-1 (2015)</i> , Tabelle A 2.3 . . . . .	379
A-11	Erdwiderstandsbeiwerte für gekrümmte Gleitflächen nach <i>Caquot-Kerisel</i> . . . . .	380
A-12	Erdwiderstandsbeiwerte für gebrochene Gleitflächen nach <i>Streck</i> . . . . .	386
<b>B</b>	<b>Zahlenbeispiele</b>	<b>387</b>
B-17	Flachgründungen . . . . .	388
B-17.1	Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit – Grundbruch bei zentrischer Belastung . . . . .	388
B-17.2	Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit – Grundbruch bei exzentrischer Belastung . . . . .	390
B-17.3	Alle äußeren Standsicherheitsnachweise – exzentrisch, horizontal belastetes Fundament . . . . .	392
B-17.4	Aufnehmbarer Sohldruck mit Tabellenwerten (Regelfälle) . . . . .	396
B-17.5	Spannungstrapezverfahren und aufnehmbarer Sohldruck . . . . .	398
B-17.6	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen . . . . .	400
B-18	Gewichts- und Winkelstützwände . . . . .	402
B-18.1	Standsicherheitsnachweise Gewichtsstützwand . . . . .	402
B-18.2	Winkelstützwand . . . . .	409
B-19	Berechnung von Flächengründungen und gebetteten Systemen . . . . .	415
B-19.1	Biegemomente in einer Gründungsplatte nach Bettungsmodul- und Steifemodulverfahren . . . . .	415
B-20	Pfahlgründungen . . . . .	416
B-20.1	Ermittlung der axialen charakteristischen Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten auf Grundlage eines Drucksondiererergebnisses . . . . .	416
B-20.2	Ermittlung der axialen charakteristischen Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten auf Grundlage eines Rammsondiererergebnisses . . . . .	419
B-20.3	Ermittlung der axialen charakteristischen Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten in bindigen Böden . . . . .	423
B-20.4	Ermittlung der axialen charakteristischen Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton . . . . .	425
B-20.5	Ermittlung der axialen Pfahlwiderstände aus statischen Pfahlprobelastungen sowie Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit . . . . .	425
B-20.6	Axiale Pfahlwiderstände aus dynamischen Probelastungen . . . . .	429
B-20.7	Ermittlung der Beanspruchung eines quer zur Pfahlachse belasteten Pfahls . . . . .	431

B-20.8 Negative Mantelreibung bei einem Verdrängungspfahl infolge Geländeaufrichtung . . . . .	438
B-20.9 Negative Mantelreibung bei einem Bohrpfahl mit Grundwasserabsenkung . . . . .	443
B-20.10 Auf Seitendruck beanspruchte Pfähle . . . . .	448
B-21 Berechnung von Pfahlrosten . . . . .	451
B-21.1 Statisch unbestimmter Pfahlrost . . . . .	451
B-22 Pfahlgruppen . . . . .	454
B-22.1 Druckpfahlgruppen . . . . .	454
B-22.2 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit einer Zugpfahlgruppe . . . . .	454
B-22.3 Quer zur Pfahlachse belastete Pfahlgruppen: Ermittlung der Verteilung der horizontalen Bettungsmoduln . . . . .	456
B-24 Wasserhaltung und Dränung . . . . .	458
B-24.1 Anwendung der Filterregeln nach <i>Terzaghi</i> . . . . .	458
B-24.2 Grundwasserabsenkung einer Baugrube mit freier Böschung . . . . .	459
B-24.3 Ermittlung der mittleren Durchlässigkeit des Bodens mit Pumpversuch . . . . .	460
B-24.4 Entwurf einer Grundwasserabsenkung mit einer Mehrbrunnenanlage . . . . .	462
B-25 Spundwände . . . . .	465
B-25.1 Bemessung einer Spundwand nach DIN EN 1993-5 . . . . .	465
B-26 Schlitzwände . . . . .	467
B-26.1 Berechnung der Standsicherheit für einen unendlich langen, flüssigkeitsgestützten Schlitz . . . . .	467
B-26.2 Berechnung der Standsicherheit für eine begrenzte Schlitzlänge . . . . .	471
B-27 Verpressanker . . . . .	475
B-27.1 Nachweise an einem Verpressanker mit Eignungsprüfung . . . . .	475
B-28 Berechnung von Baugruben . . . . .	479
B-28.1 Berechnung einer einmal gestützten, im Boden frei aufgelagerten Trägerbohlwand . . . . .	479
B-28.2 Berechnung einer einmal gestützten, im Boden frei aufgelagerten Spundwand . . . . .	485
B-28.3 Ermittlung und Nachweis der Einbindetiefe einer einmal ausgesteiften, im Boden frei aufgelagerten Spundwand . . . . .	491
B-28.4 Berechnung einer einmal ausgesteiften Spundwand . . . . .	499
B-28.5 Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge einer einfach rückverankerten, im Boden frei aufgelagerten Trägerbohlwand . . . . .	507
B-28.6 Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge bei geschichtetem Baugrund . . . . .	511
B-28.7 Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch . . . . .	518
B-28.8 Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen . . . . .	521
B-29 Unterfangungen . . . . .	526
B-29.1 Standsicherheitsnachweis für einen Unterfangungskörper . . . . .	526

**Literaturverzeichnis** **534**

**Stichwortverzeichnis** **547**

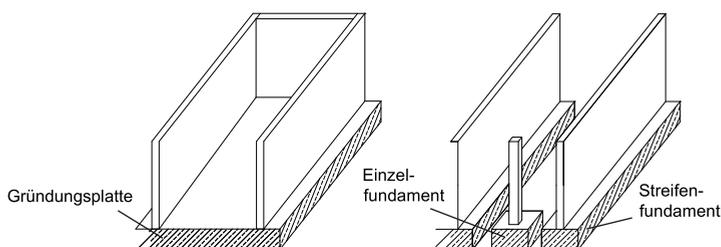
# Inhaltsverzeichnis Band 1

- 1 Einführung
- 2 Grundlagen zur Geologie und Struktur von Boden und Fels
- 3 Wasser im Untergrund
- 4 Untersuchungen von Boden und Fels als Baugrund und Baustoff  
(Baugrunderkundung)
- 5 Einführung in das geotechnische Feld- und Laborversuchswesen
- 6 Spannungszustände in der Bodenmechanik
- 7 Elastizitätstheorie und Grenzzustände im Boden
- 8 Zusatzspannungen und Setzungsberechnungen
- 9 Verformungs- und Scherfestigkeitsverhalten
- 10 Konsolidationstheorie
- 11 Bodenkenngrößen aus Erfahrungswerten und Korrelationen
- 12 Erd- und Wasserdruck
- 13 Sicherheitsnachweise in der Geotechnik nach  
Eurocode EC 7-1 / DIN 1054: 2010-12
- 14 Standsicherheit von Böschungen und Geländesprüngen
- 15 Baugrundverbesserung und Stabilisierungssäulen
- 16 Numerische Verfahren in der Geotechnik

## 17 Flach- und Flächengründungen

### 17.1 Einleitung und Übersicht

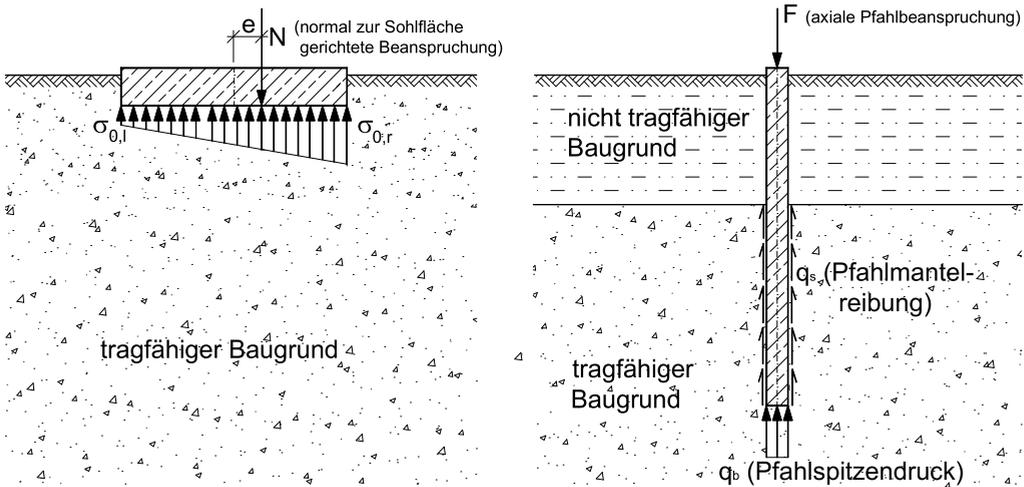
Unter *Flach- und Flächengründungen* werden Gründungen verstanden, die in Höhe der Sohlfläche mittige oder außermittige Lasten in den Baugrund abtragen. Die Gründungskörper von Gebäuden als Flach- und Flächengründungen sind i. d. R. Einzel-, Streifen- oder Plattengründungen (Abb. 17.1). Dammschüttungen auf dem anstehenden Untergrund können im weiteren Sinne auch als Flach- und Flächengründungen mit ähnlichen Anforderungen wie bei Gebäudegründungen verstanden werden. Der Gegensatz zu den Flachgründungen sind *Tiefgründungen* (z. B. Pfahlgründungen), s. a. Abb. 17.2.



**Abb. 17.1:** Gründungsformen: Gründungsplatte, Einzel- und Streifenfundamente

Nach DIN EN 1997-1/DIN 1054, zusammengefasst im *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)*, sind für Flach- und Flächengründungen im Wesentlichen folgende „äußere“ Standsicherheitsnachweise (Versagen des Bodens) notwendig:

- Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS):
  - Nachweis der Kippsicherheit,
  - Nachweis der Grundbruchsicherheit,
  - Nachweis der Gleitsicherheit.
- Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS):
  - zulässige Lage der Sohldruckresultierenden,
  - Verschiebungen in der Sohlfläche,
  - Setzungsnachweis (Band 1, Kap. 8).



**Abb. 17.2:** Gründungsformen: a) Flachgründung, b) Tiefgründung (hier als Beispiel Pfahl)

Für bestimmte Randbedingungen kann auch der Nachweis der Gesamtstandsicherheit (z. B. Geländebruch) und gegen Aufschwimmen erforderlich sein.

Alle Standsicherheitsnachweise sind für die maßgebenden Bemessungssituationen durchzuführen. Die Definitionen der Bemessungssituationen enthält Band 1, Kap. 13. Als „innerer“ Standsicherheitsnachweis (STR) ist der Nachweis der Sicherheit gegen Materialversagen (z. B. Fundamentbaustoff) zu führen. Für Ergänzungen der im folgenden zusammengestellten Inhalte wird u. a. auf *Vogt (2018)* verwiesen.

*Hinweis:* Im *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* wird als Einwirkungsresultierende normal zur Fundamentfläche (Normalkraft) das Symbol  $V$  verwendet. Im folgenden Text und in den Beispielen ist dafür das Symbol  $N$  gewählt worden, weil mit  $N$  (normal) und  $T$  (tangential) eindeutige Zuordnungen zur Wirkungsrichtung der Kräfte auf die Fundamentsohlflächen gegeben sind.

## 17.2 Sohldruckbeanspruchung

Gründungskörper leiten die aus dem Bauwerk kommenden Lasten auf den Baugrund über. Dabei dürfen weder Bruchzustände im Boden noch zu große Setzungen eintreten.

Die auf die Unterfläche der Gründungskörper (z. B. Fundamente) als Reaktion (Beanspruchung) aus dem Baugrund wirkenden Normalspannungen bzw. auf den Baugrund wirkenden Spannungen (früher Sohlspannungen, Bodenpressungen) werden als Sohldruckbeanspruchung  $\sigma_0$  bezeichnet. Die Größe und Verteilung der Sohldruckbeanspruchung ist abhängig von der Belastungsgröße in Abhängigkeit von der Ausnutzung des Grundbruchwiderstandes sowie von der Steifigkeit des Gründungskörpers und des Baugrundes. Folgende Fälle können unterschieden werden:

a) Schlaffer (biegeweicher) Gründungskörper:  $E \cdot I = 0$

Das können z. B. Schüttgüter oder noch nicht abgebundener Beton sein, näherungsweise auch sehr dünne Sohlplatten. Dabei wird davon ausgegangen, dass über den Gründungskörper keine Schubspannungen übertragen werden können (Abb. 17.3) und die Setzungen des Fundamentes den Setzungen des Bodens entsprechen.

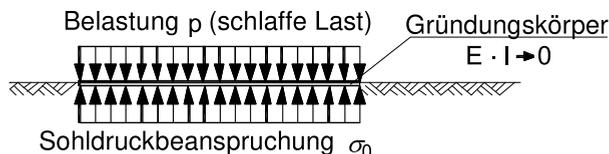


Abb. 17.3: Sohldruckbeanspruchung bei schlaffen Gründungskörpern

b) Starrer Gründungskörper:  $E \cdot I \rightarrow \infty$

Die Setzungen eines starren Gründungskörpers (biegestarr) sind in allen Punkten gleich groß. Die theoretische Lösung ergibt sich für ein Streifenfundament nach *Boussinesq (1884)* entsprechend Abb. 17.4 a).

Für praktische Randbedingungen entwickelt sich die Sohldruckbeanspruchung in Abhängigkeit von der Beanspruchung  $N$  in Bezug auf die Grenzlasterlast  $N_{ult} = R_n$  (Grundbruchwiderstand) gemäß Abb. 17.4 b).

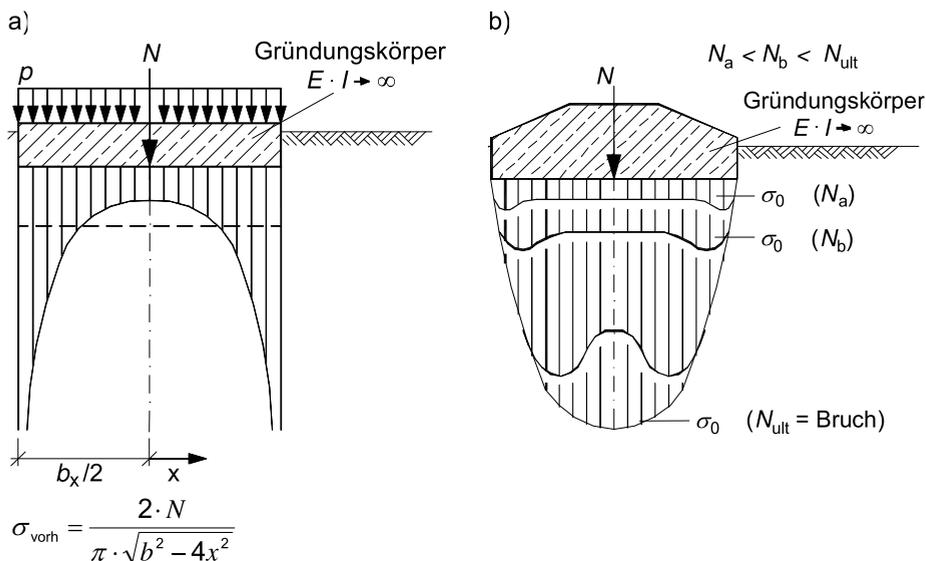
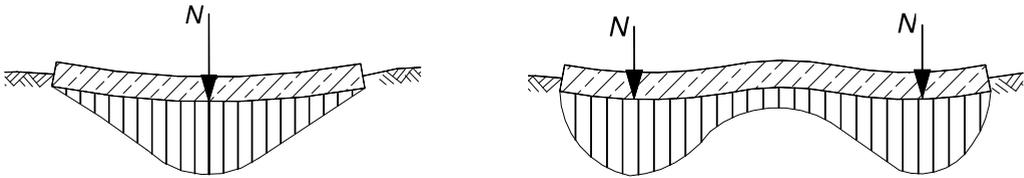


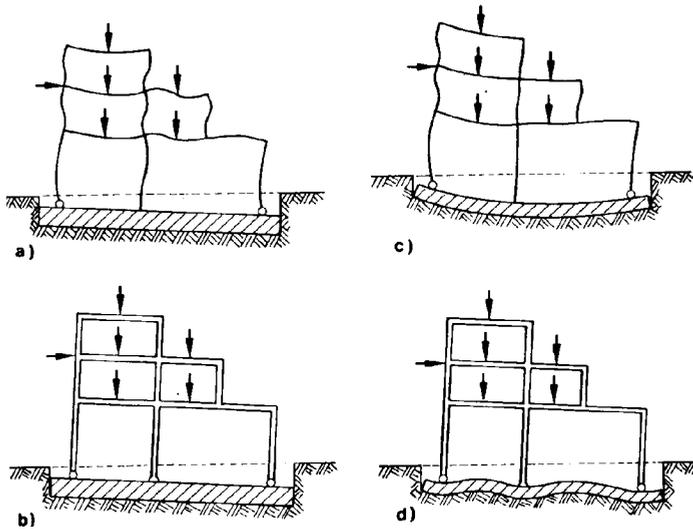
Abb. 17.4: a) Theoretische Lösung der Sohldruckbeanspruchung bei starren Gründungskörpern nach Boussinesq (1884)  
 b) Entwicklung der Sohldruckbeanspruchung bei wachsender Fundamentbelastung ( $N_{ult} = R_n = \text{Beanspruchung im Grenzzustand der Tragfähigkeit; hier Grundbruch}$ )

c) Gründungskörper mit endlicher Steifigkeit:  $0 < E \cdot I < \infty$ 

Die Ermittlung der Sohldruckbeanspruchung für diesen Fall ergibt sich aus der Wechselwirkung Baugrund-Bauwerk und ist eine statisch unbestimmte Aufgabe. Sie ergibt sich aus dem Zusammenwirken der unterschiedlichen Steifigkeiten (Gründungskörper, Baugrund) und den Laststellungen auf den Gründungskörper. Abb. 17.5 zeigt hierzu Beispiele. Weitere Hinweise finden sich z.B. in *Kögler/Scheidig (1944)*, *Ohde (1942)*, *Graßhoff/Kany (1982)* und *Smolczyk et al. (2001)*. Weiterhin beeinflusst auch die Steifigkeit des aufgehenden Bauwerkes im Verhältnis zur Gründungssteifigkeit die Sohldruckbeanspruchung (Abb. 17.6).



**Abb. 17.5:** Beispiele der Sohldruckbeanspruchung unter Gründungskörpern endlicher Steifigkeit



**Abb. 17.6:** Verschiedene Steifigkeitsverhältnisse bei Bauwerken, aus Graßhoff/Kany (1982):

- a) elastischer Hochbau auf starrer Platte
- b) starrer Hochbau auf starrer Platte
- c) elastischer Hochbau auf elastischer Platte
- d) starrer Hochbau auf elastischer Platte

Die Größe und Verteilung der Sohldruckbeanspruchung ist Grundlage für die Ermittlung der Beanspruchung und für die Bemessung der Gründungskörper („innere Standsicherheit“). Im *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* wird dieser Nachweis als „Bemessung der Bauteile von Flächen Gründungen“ als inneres Versagen bezeichnet.

Gegenstand der im Grundbau durchzuführenden Nachweise ist die „äußere Standsicherheit“ (17.1), die bei Flach- und Flächengründungen entscheidend von den Fundamentabmessungen abhängt bzw. deren Ziel die Bestimmung der „äußeren“ Fundamentabmessungen ist. Dabei geht es um die Nachweise der Systeme und Gründungselemente gegen Verformungen (Gebrauchstauglichkeit) und Bruch im Boden bzw. an der Grenzfläche Gründungskörper und Boden (Tragfähigkeit). Für die Berechnung der Sohldruckbeanspruchung können folgende Berechnungsverfahren verwendet werden, die mit unterschiedlichem Aufwand und Näherung der Ergebnisse verbunden sind:

- Spannungstrapezverfahren (17.3),
- Bettungsmodulverfahren (19.1),
- Steifemodulverfahren (19.2),
- kombinierte Verfahren,
- Finite-Elemente-Verfahren (19.3).

Das Bettungsmodulverfahren berücksichtigt auch die Steifigkeit des Gründungskörpers, ebenso die drei letztgenannten Verfahren in der Auflistung (Kap. 19). Nachfolgend wird zunächst nur das Spannungstrapezverfahren behandelt.

### 17.3 Spannungstrapezverfahren

Besonders für nahezu starre Gründungskörper, z. B. Einzel- und Streifenfundamente, wird häufig näherungsweise das Spannungstrapezverfahren verwendet. Bei Annahme großer Biegesteifigkeit des Gründungskörpers und geradlinig verteilter Sohldruckbeanspruchung sind aus der Festigkeitslehre die folgenden Beziehungen bekannt.

*Anmerkung:* Im Folgenden ist vereinbart, dass die lotrecht zur Sohlfläche gerichtete Komponente der resultierenden Beanspruchung  $N$  (Einwirkung) bereits auch das Fundamenteigengewicht enthalten soll, sofern der Pfeil in der Fundamentsohle angreift. Weiterhin sind alle nachfolgenden Bezeichnungen charakteristische Größen (z. B.  $N = N_k$  usw.), auch wenn das nicht besonders mit dem Index „k“ gekennzeichnet ist. Weitere Formeln und Nennogramme zum Spannungstrapezverfahren für beliebige Belastungsrandbedingungen finden sich in *Smoltczyk et al. (2001)*.

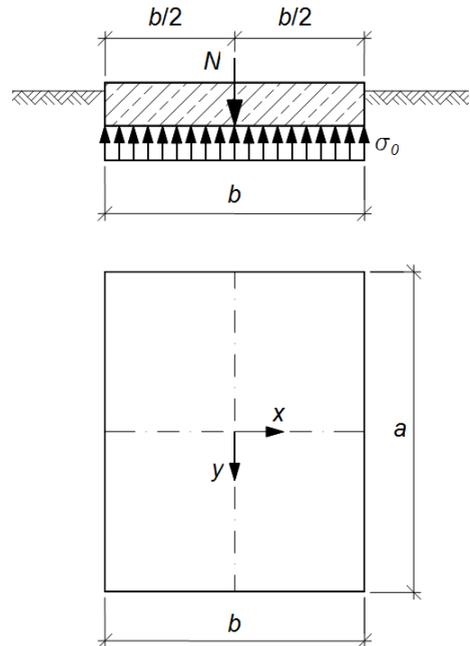


Abb. 17.7: Spannungstrapezverfahren bei lotrechter und mittiger Belastung

Bei lotrechter und mittiger Belastung ist die Spannungsverteilung nach Gl. (17.1) und Abb. 17.7 zu ermitteln. Bei Streifenfundamenten ( $b \ll a$  bzw.  $a \rightarrow \infty$ ) ist im Berechnungsverfahren  $a = 1,0$  m zu setzen.

$$\sigma_0 = \frac{N}{a \cdot b} \quad (17.1)$$

Bei lotrechter und ausmittiger Belastung ist zwischen den Fällen nach Gln. (17.2) und (17.3) sowie Abb. 17.8 zu differenzieren.

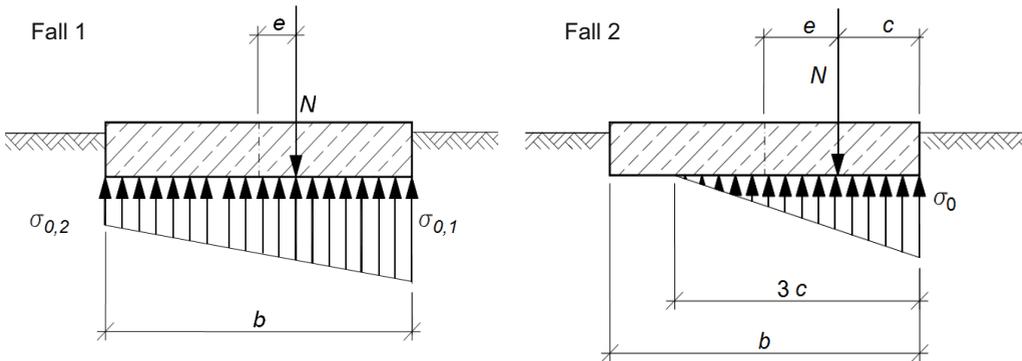


Abb. 17.8: Spannungstrapezverfahren bei lotrechter und ausmittiger Belastung

Fall 1:

$$e \leq \frac{b}{6} \quad \sigma_{0,1,2} = \frac{N}{b \cdot a} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{b \cdot a} \cdot \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{b}\right) \quad (17.2)$$

$W$  : Widerstandsmoment der Fundamentfläche

Fall 2:

$$\frac{b}{6} < e < \frac{b}{3} \quad \sigma_0 = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot \left(\frac{b}{2} - e\right)} \cdot a = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot c \cdot a} \quad (17.3)$$

## 17.4 Konstruktive Hinweise

Die Fundamentunterkante (Sohlfläche) ist frostsicher in einer Mindestdiefe von 0,8 m unter der Geländeoberfläche anzuordnen. Bei Fundamenten, die in unterschiedlicher Gründungstiefe abgesetzt sind, sind gegenseitige Abtreppungen von kleiner gleich  $30^\circ$  vorzusehen, siehe Abb. 17.9.

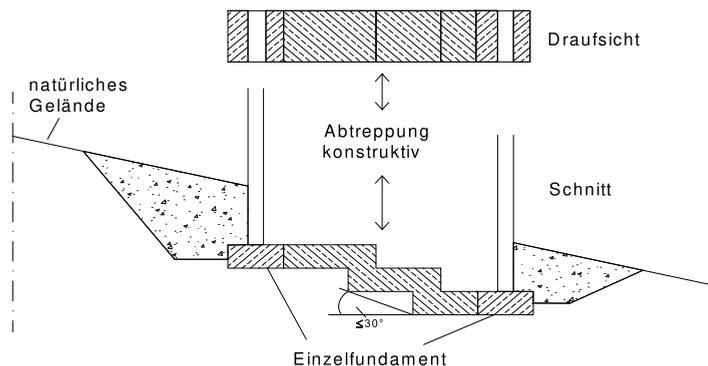


Abb. 17.9: Beispiel zur Fundamentabtreppung

## 17.5 Einwirkungen und Beanspruchungen in der Sohlfläche

### 17.5.1 Einwirkungen

Einwirkungen sind z. B.:

- Eigenlasten des Gründungskörpers und aus der aufgehenden Konstruktion,
- Lasten aus Erddruck, Sohlwasserdruck und seitlichem Wasserdruck,
- sonstige Horizontallasten am Gründungskörper; insbesondere die zur Sohlfläche parallel wirkenden Komponenten der Bodenreaktion an der Stirnseite des Fundamentes sowie
- erforderlichenfalls zusätzliche Massenkkräfte (Strömungskraft, Erdbebenkraft, zyklische und dynamische Lasten).

### 17.5.2 Charakteristische Beanspruchungen

Für die Nachweise der Tragfähigkeit (ULS) und der Gebrauchstauglichkeit (SLS) von Flach- und Flächengründungen ist die resultierende charakteristische Beanspruchung in der Sohlfläche zu ermitteln. Diese ergibt sich aus den charakteristischen Werten der betrachteten unabhängigen Einwirkungen nach 17.5.1 und gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Bodenreaktion an der Stirnseite des Fundamentkörpers.

Beim Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit (ULS) und der Gebrauchstauglichkeit (SLS) von Einzel- und Streifenfundamenten darf der charakteristische Sohldruck als geradlinig begrenzt angenommen werden. Bei Platten- und Trägerrostgründungen sowie bei Streifenfundamenten in Längsrichtung sollte bei der Sohldruckverteilung die Wechselwirkung von Gründung und Baugrund berücksichtigt werden, siehe 17.2 und *DIN-Fachbericht 130 (2003)*.

Die charakteristische Beanspruchung des Gründungskörpers ergibt sich aus einer Ermittlung der Schnittgrößen unter Ansatz der charakteristischen Sohldruckverteilung und den

charakteristischen Werten der Einwirkungen an der Oberfläche des Gründungskörpers sowie unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus Fundamenteigenlasten.

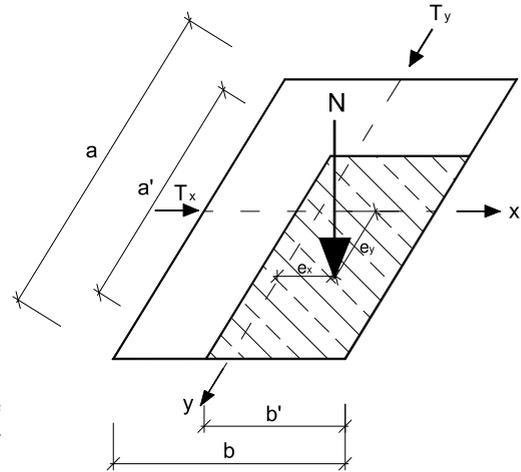
Die charakteristische Lastexzentrizität  $e_a = e_y$  bzw.  $e_b = e_x$  ergibt sich entsprechend Abb. 17.10 und Gln. (17.4) bis (17.7) zu:

$$e_a = \frac{M_b}{N}; \quad e_y = \frac{M_x}{N} \quad (17.4)$$

$$e_b = \frac{M_a}{N}; \quad e_x = \frac{M_y}{N} \quad (17.5)$$

$$a' = a - 2 \cdot e_a; \quad a' = a - 2 \cdot e_y \quad (17.6)$$

$$b' = b - 2 \cdot e_b; \quad b' = b - 2 \cdot e_x \quad (17.7)$$



**Abb. 17.10:** Charakteristische Lastexzentrizitäten und fiktive mittlere Restsohlgedruckfläche mittiger Belastung bei wirkenden Lastexzentrizitäten

Ausmittig belastete Streifenfundamente oder Gründungskörper mit rechteckiger Sohlfläche sind wie mittig belastete Fundamente mit einer rechnerischen Grundfläche  $A' = a' \cdot b'$  und einer rechnerischen Breite  $b'$  bzw. einer rechnerischen Länge  $a'$  zu berechnen (siehe Abb. 17.10).

### 17.5.3 Bemessungswerte der Beanspruchungen

Der Bemessungswert  $N_d$  der Beanspruchung rechtwinklig zur Fundamentsohlfläche setzt sich zusammen aus dem ständigen Anteil  $N_{G,k}$  der charakteristischen Beanspruchung, multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$  und dem veränderlichen bzw. repräsentativen Anteil  $N_{Q,k}$  der charakteristischen Beanspruchung, multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_Q$  (Anhang A-8) für den Grenzzustand GEO-2.

*Anmerkung:* Zu den Abkürzungen  $V$  und  $N$  siehe Hinweis in 17.1.

$$V_d = N_d = N_{G,k} \cdot \gamma_G + N_{Q,k} \cdot \gamma_Q \quad \text{bzw.} \quad V_d = N_d = N_{G,k} \cdot \gamma_G + N_{Q,rep} \cdot \gamma_Q \quad (17.8)$$

Der Bemessungswert  $T_d$  der Beanspruchung parallel zur Fundamentsohlfläche ergibt sich analog zu:

$$T_d = T_{G,k} \cdot \gamma_G + T_{Q,k} \cdot \gamma_Q \quad \text{bzw.} \quad T_d = T_{G,k} \cdot \gamma_G + T_{Q,rep} \cdot \gamma_Q \quad (17.9)$$

Falls die Bemessungsbeanspruchung in der Fundamentsohlfläche in zwei Richtungen  $x$  und  $y$  gleichzeitig wirkt, ist die Resultierende zu bestimmen.

$$T_d = \sqrt{T_{d,x}^2 + T_{d,y}^2} \quad (17.10)$$

Die Größen  $T_{d,x}$  und  $T_{d,y}$  sind in Anlehnung an Gl. (17.9) zu ermitteln.

## 17.6 Bodenreaktionen an der Stirnseite der Fundamentflächen

Die Bodenreaktionen an der Stirnseite der Fundamentflächen können bei den Nachweisen mit Teilsicherheiten sowohl Einwirkungen (z. B. Grundbruch, Kippen, Lage der Resultierenden) als auch Widerstände (z. B. Gleiten) sein.

Weitere Hinweise und detaillierte Regelungen finden sich in den nachfolgenden Abschnitten.

## 17.7 Nachweis der Tragfähigkeit – Nachweis der Grundbruchsicherheit

### 17.7.1 Grundbruchmechanismus

Unter Grundbruch wird verstanden, dass ein Gründungskörper unter einer Einwirkung (z. B. Belastung) so stark belastet wird, dass sich unter ihm ein Bruchmechanismus und damit ein Versagen des Fundamentes bildet, bei dem der Scherwiderstand des Bodens (Grundbruchwiderstand) überwunden wird. Abb. 17.11 zeigt ein Versuchsergebnis zum Grundbruchproblem aus Arens (1975). Weitere Literaturhinweise über Grundbruch finden sich z. B. auch in Muhs/Weiß (1970).

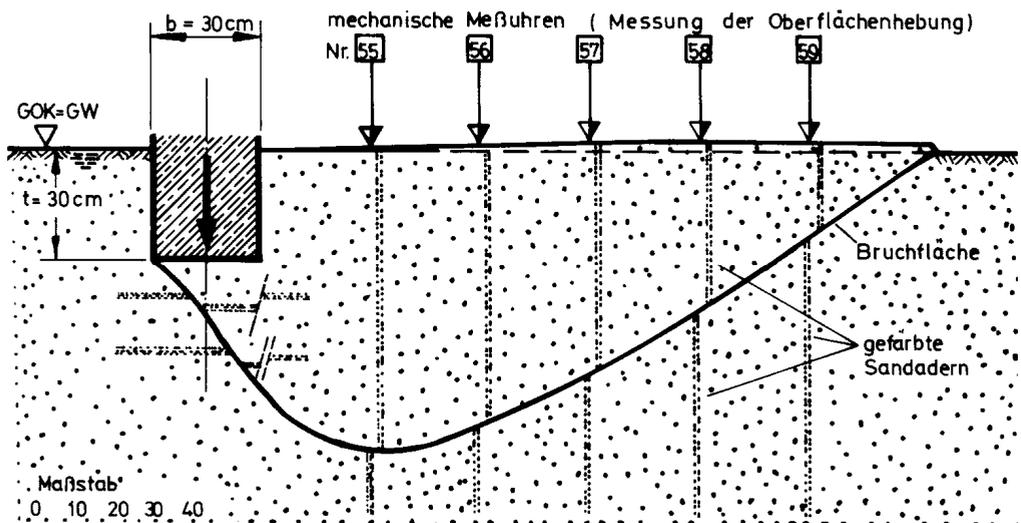


Abb. 17.11: Ergebnis eines Modellversuchs zum Grundbruch, aus Arens (1975)

### 17.7.2 Bodenreaktion an der Fundamentstirnseite – Grundbruchnachweis

Der charakteristische Grundbruchwiderstand  $R_{n,k}$  im Grenzzustand GEO-2 wird nach DIN 4017 unter Berücksichtigung der Neigung und einer eventuellen Ausmittigkeit der resultierenden charakteristischen Beanspruchung ermittelt.

Eine Bodenreaktion  $B_k$  an der Stirnseite des Fundamentes darf wie eine charakteristische Einwirkung behandelt werden. Ihre maximale Größe darf jedoch die parallel zur Sohlfläche angreifende charakteristische bzw. repräsentative Beanspruchung aus den Einwirkungen nicht überschreiten. Für den Betrag der charakteristischen Bodenreaktion  $B_k$  muss

$$B_k \leq 0,5 \cdot E_{p,k} \quad (17.11)$$

gelten.

Die Ermittlung von  $E_{p,k}$  ist mit  $\delta_p = 0$  durchzuführen.

Die Einführung von  $B_k$  als charakteristische Einwirkung hat zur Folge,

- dass die Neigung der charakteristischen Sohldruckresultierenden vermindert wird. Hierdurch werden die Neigungsbeiwerte bei der Berechnung des Grundbruchwiderstandes größer, damit wächst der Grundbruchwiderstand gegenüber der Betrachtung ohne Ansatz von  $B_k$ ;
- dass die Exzentrizität  $e$  (etwas) kleiner wird. Damit werden die rechnerischen Fundamentabmessungen  $a'$  und/oder  $b'$  größer, sodass der Grundbruchwiderstand ebenfalls anwächst.

### 17.7.3 Ermittlung des charakteristischen Grundbruchwiderstandes

Wie bereits in 17.7.2 ausgeführt, kann die Ermittlung des charakteristischen Grundbruchwiderstandes  $R_{n,k}$  für Regelfälle (Fälle mit einfachen Randbedingungen) auf der Grundlage der DIN 4017 bestimmt werden. Nachfolgend sind dazu die wesentlichen Berechnungsgrundlagen zusammengestellt.

In Abb. 17.12 und 17.13 sind der in DIN 4017 zugrunde gelegte Mechanismus und die darin verwendeten Bezeichnungen dargestellt.

In Anhang A-7 sind verwendete Abkürzungen und Begriffe zusammengefasst.

Die Ermittlung des charakteristischen Grundbruchwiderstandes  $R_{n,k}$  bzw. die Grundbruchspannung  $\sigma_{g,k}$  berechnet sich aus:

$$\begin{aligned} R_{n,k} &= A' \cdot \sigma_{g,k} \\ R_{n,k} &= a' \cdot b' \cdot (c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d + \gamma_2 \cdot b' \cdot N_b) \\ &= \text{Kohäsionsglied} + \text{Tiefenglied} + \text{Breitenglied} \end{aligned} \quad (17.12)$$

mit

$$N_b = N_{b0} \cdot \nu_b \cdot i_b \cdot \lambda_b \cdot \xi_b \quad (17.13)$$

$$N_d = N_{d0} \cdot \nu_d \cdot i_d \cdot \lambda_d \cdot \xi_d \quad (17.14)$$

$$N_c = N_{c0} \cdot \nu_c \cdot i_c \cdot \lambda_c \cdot \xi_c \quad (17.15)$$

- $N_{b0}, N_{d0}, N_{c0}$  : Tragfähigkeitsbeiwerte für Breiten-, Tiefen- und Kohäsionseinfluss
- $\nu_b, \nu_d, \nu_c$  : Formbeiwerte für Breiten-, Tiefen- und Kohäsionseinfluss
- $i_b, i_d, i_c$  : Lastneigungsbeiwerte für Breiten-, Tiefen- und Kohäsionseinfluss
- $\lambda_b, \lambda_d, \lambda_c$  : Geländeneigungsbeiwerte für Breiten-, Tiefen- und Kohäsionseinfluss
- $\xi_b, \xi_d, \xi_c$  : Sohneigungsbeiwerte für Breiten-, Tiefen- und Kohäsionseinfluss

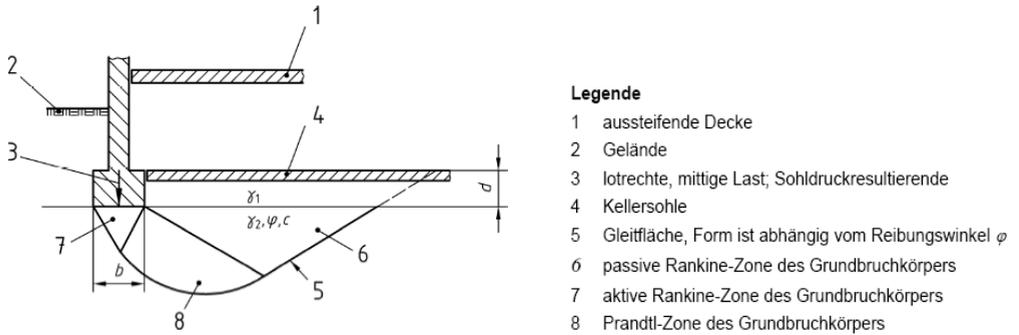


Abb. 17.12: Grundbruch unter einem lotrecht und mittig belasteten Fundament bei einheitlicher Schichtung des Bodens im Bereich des Gleitkörpers, aus DIN 4017

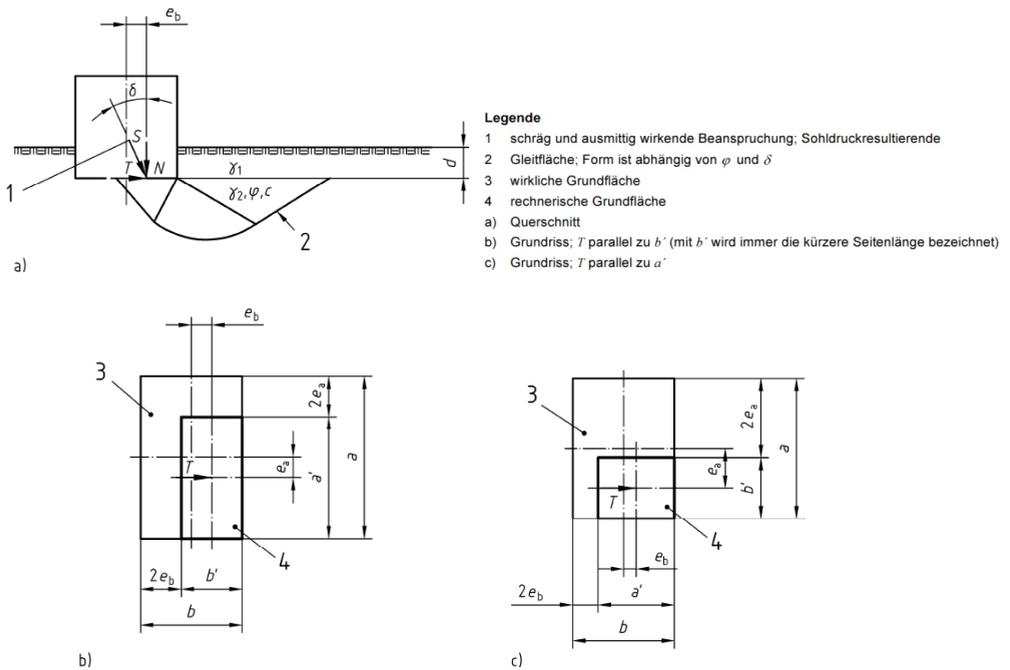


Abb. 17.13: Grundbruch unter einem in Richtung der kurzen Seite b schräg und über beide Achsen ausmittig belasteten Fundament bei einheitlicher Schichtung im Bereich des Gleitkörpers, aus DIN 4017

a) Tragfähigkeitsbeiwerte  $N_0$ :

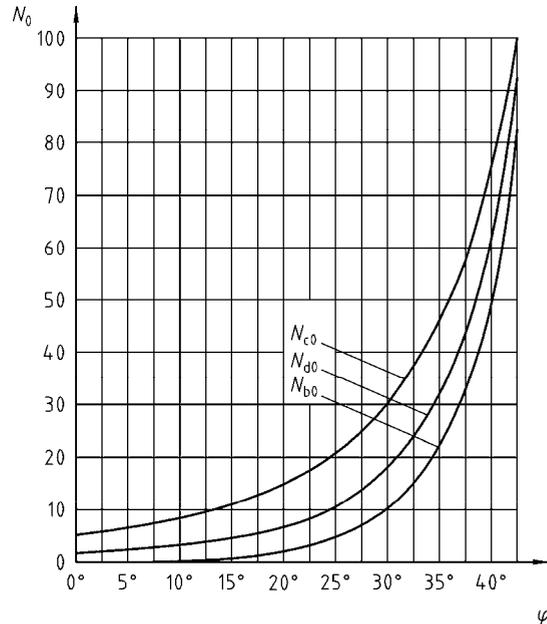
Zur Berechnung der Tragfähigkeitsbeiwerte stehen mehrere Verfahren zur Verfügung. Die Verfahren beruhen auf der Annahme, dass der Grundbruch in einer ausgeprägten Form auftritt und die Scherfestigkeit in der gesamten Scherfläche gleichzeitig ausgenutzt wird. Die Tragfähigkeitsbeiwerte  $N_{b0}$ ,  $N_{d0}$  und  $N_{c0}$  können entweder über die Gleichungen von Meyerhoff ( $N_{b0}$ ), Prandl ( $N_{d0}$ ) und von Caquot ( $N_{c0}$ ) in Tab. 17.1 oder mit Tab. 17.2 bzw. Abb. 17.14 bestimmt werden.

**Tab. 17.1:** Tragfähigkeitsbeiwerte  $N_0$

Gründungsbreite $N_{b0}$	Gründungstiefe $N_{d0}$	Kohäsion $N_{c0}$
$N_{b0} = (N_{d0} - 1) \cdot \tan \varphi$	$N_{d0} = \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi}$	$N_{c0} = (N_{d0} - 1) / \tan \varphi$

**Tab. 17.2:** Tragfähigkeitsbeiwerte  
 $N_{c0}$ ,  $N_{d0}$  und  $N_{b0}$

$\varphi_k$	$N_{c0}$	$N_{d0}$	$N_{b0}$
0°	5,1	1,0	0,0
5°	6,5	1,6	0,0
10°	8,3	2,5	0,3
15°	11,0	3,9	0,8
20°	14,8	6,4	2,0
22,5°	17,4	8,2	3,0
25°	20,7	10,7	4,5
27,5°	25,0	14,0	7,0
30°	30,0	18,0	10,0
32,5°	37,0	25,0	15,0
35°	46,0	33,0	23,0
37,5°	58,0	46,0	34,0
40°	75,0	64,0	53,0
42,5°	99,0	92,0	83,0



**Abb. 17.14:** Tragfähigkeitsbeiwerte  $N_{c0}$ ,  $N_{d0}$  und  $N_{b0}$ ,  
aus DIN 4017

b) Formbeiwerte  $\nu$ :

Die nachfolgend zusammengestellten Formbeiwerte gelten unter der Voraussetzung  $a \geq b$  bzw.  $a' \leq b'$ .

**Tab. 17.3:** Formbeiwerte  $\nu$ 

Grundrissform	Gründungsbreite $\nu_b$	Gründungstiefe $\nu_d$	Kohäsion	
			$\nu_c (\varphi \neq 0)$	$\nu_c (\varphi = 0)$
Streifen	1,0	1,0	1,0	1,0
Rechteck	$1 - 0,3 \cdot \frac{b'}{a'}$	$1 + \frac{b'}{a'} \cdot \sin \varphi$	$\frac{\nu_d \cdot N_{d0} - 1}{N_{d0} - 1}$	$1 + 0,2 \cdot \frac{b'}{a'}$
Quadrat / Kreis	0,7	$1 + \sin \varphi$	$\frac{\nu_d \cdot N_{d0} - 1}{N_{d0} - 1}$	1,2

c) Lastneigungsbeiwerte  $i$ :

Der Lastneigungswinkel berechnet sich aus:

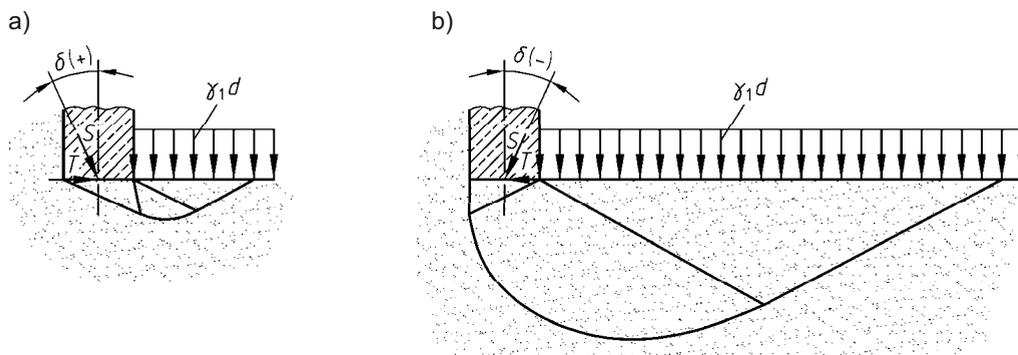
$$\tan \delta = \frac{T_k}{N_k} \quad (17.16)$$

Das vorliegende Berechnungsverfahren gilt nur für die Voraussetzung, dass  $|\delta| < \varphi$  ist. Der Winkel  $\delta$  wird als positiv definiert, wenn sich der zugeordnete Gleitkörper in Richtung der Tangentialkomponente  $T$  verschiebt, (siehe Abb. 17.15 a). Der Winkel ist negativ, wenn sich der Gleitkörper, z. B. infolge unterschiedlicher Einbindetiefen, in die entgegengesetzte Richtung verschiebt, (siehe Abb. 17.15 b).

Es sind zur Berechnung der Lastneigungsbeiwerte  $i$  zwei Fälle zu unterscheiden:

- $\varphi_{u,k} = 0$  und  $c_{u,k} \neq 0$  : (Anfangszustand, bei wassergesättigten bindigen Böden),
- $\varphi_{u,k} > 0$  und  $c_{u,k} \geq 0$  : (Endzustand, bei bindigen und nichtbindigen Böden).

In Tab. 17.4 sind die Lastneigungsbeiwerte  $i$  zusammengestellt.



**Abb. 17.15:** a) Positiver und b) negativer Lastneigungswinkel  $\delta$ , aus DIN 4017

**Tab. 17.4:** Lastneigungsbeiwerte  $i$

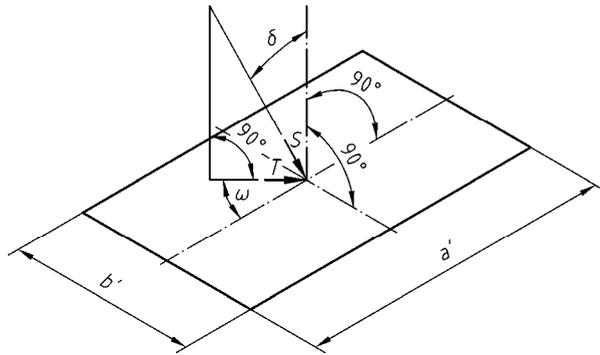
Fall	$\varphi_{u,k} = 0, c_{u,k} \neq 0$	$\varphi_k > 0, c_k \geq 0$	
Lastneigungswinkel	$\delta > 0$ und $\delta < 0$	$\delta > 0$	$\delta < 0$
Gründungsbreite $i_b$	entfällt, da $N_{b0} = 0$	$(1 - \tan \delta)^{(m+1)}$	$\cos \delta \cdot (1 - 0,04 \cdot \delta)^{(0,64+0,028 \cdot \varphi)}$
Gründungstiefe $i_d$	1,0	$(1 - \tan \delta)^m$	$\cos \delta \cdot (1 - 0,0244 \cdot \delta)^{(0,03+0,04 \cdot \varphi)}$
Kohäsion $i_c$	$0,5 + 0,5 \sqrt{1 - \frac{T_k}{A' \cdot c}}$	$\frac{i_d \cdot N_{d0} - 1}{N_{d0} - 1}$	
Winkel sind in [°] einzusetzen.			

Die Definition des Winkels  $\omega$  ist in Abb. 17.16 dargestellt. Für den Sonderfall  $\omega = 0$  ist  $i_b = i_d = i_c = 1$ . Ist es nicht eindeutig, ob der Lastneigungswinkel positiv oder negativ ist, sind beide Gleitkörper zu untersuchen.

$$m = m_a \cos^2 \omega + m_b \sin^2 \omega \tag{17.17}$$

mit

$$m_b = \frac{2 + \frac{b'}{a'}}{1 + \frac{a'}{b'}}; m_a = \frac{2 + \frac{a'}{b'}}{1 + \frac{a'}{b'}}$$



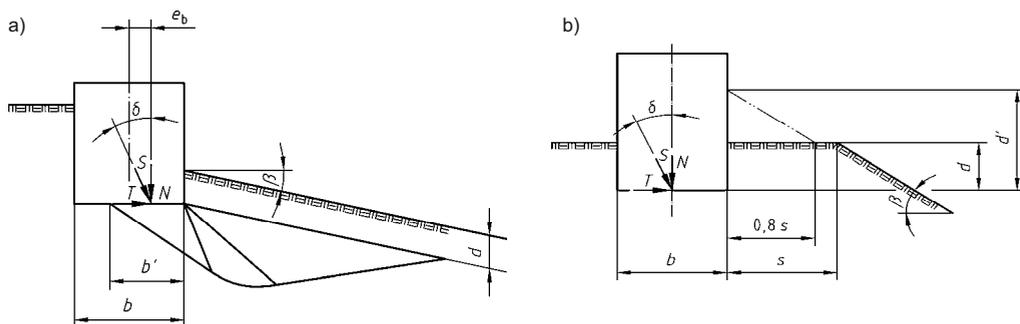
**Abb. 17.16:** Definition des Winkels  $\omega$

d) Geländeneigungsbeiwert  $\lambda$  und Berücksichtigung von Bermen:

Die Geländeneigungsbeiwerte nach Tab. 17.5 gelten unter der Voraussetzung, dass die Geländeneigung  $\beta < \varphi$  ist, und für Gründungskörper, deren Längsachse etwa parallel zur Böschungskante verläuft (Abb. 17.17). Für  $\beta > \varphi$  und  $c \gg 0$  ist eine Untersuchung nach DIN 4084, Geländebruch (Band 1, Kap. 14) durchzuführen.

**Tab. 17.5:** Geländeneigungsbeiwerte  $\lambda$ 

Scherparameter	Gründungsbreite $\lambda_b$	Gründungstiefe $\lambda_d$	Kohäsion $\lambda_c$
$\varphi_{u,k} = 0$ $c_{u,k} \neq 0$	entfällt, da $N_{b0} = 0$	1,0	$1 - 0,4 \cdot \tan \beta$
$\varphi_k > 0$ $c_k \geq 0$	$(1 - 0,5 \cdot \tan \beta)^6$	$(1 - \tan \beta)^{1,9}$	$\frac{N_{d0} \cdot e^{-0,0349 \cdot \beta \cdot \tan \varphi} - 1}{N_{d0} - 1}$
Winkel sind in $[\circ]$ einzusetzen.			



**Abb. 17.17:** Bezeichnungen, Lage und Richtungen der einwirkenden Größen, aus DIN 4017:  
a) Ausmittig und schräg belastetes Streifenfundament in geneigtem Gelände  
b) Berücksichtigung einer Bermenbreite

Zur Berücksichtigung einer Bermenbreite neben dem Fundament, siehe Abb. 17.17 b), kann Gl. (17.18) verwendet werden (Ersatzeinbindetiefe).

$$d' = d + 0,8 \cdot s \cdot \tan \beta \quad (17.18)$$

Dabei müssen Vergleichsberechnungen mit  $\beta = 0$  und  $d' = d$  durchgeführt werden. Der kleinere Wert für den Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes (Grundbruchspannung bzw. -last) ist maßgebend.

e) Sohlneigungsbeiwert  $\xi$ :

Der Winkel  $\alpha$  nach Abb. 17.18 wird als positiv definiert, wenn sich der zugehörige Gleitkörper in Richtung der Horizontalkomponente  $N_h$  verschiebt.

In Tab. 17.6 ist  $\alpha$  mit dem zugehörigen Vorzeichen einzusetzen.

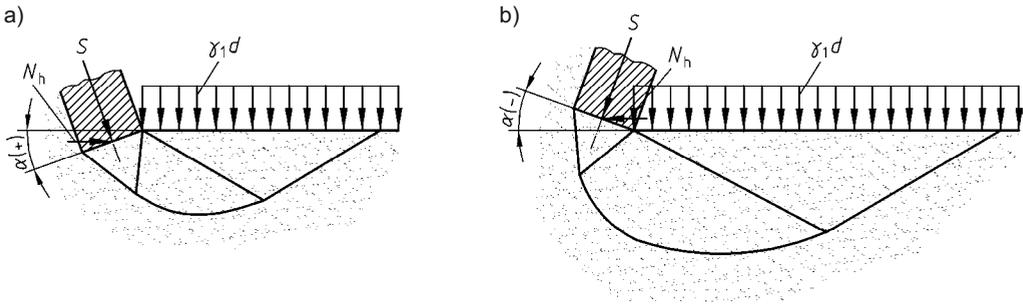


Abb. 17.18: a) Positiver und b) negativer Sohlneigungswinkel, aus DIN 4017

Für den Sonderfall ( $\alpha = 0$ ) gilt  $\xi = 1$ .

Tab. 17.6: Sohlneigungsbeiwert  $\xi$

Scherparameter	Gründungsbreite $\xi_b$	Gründungstiefe $\xi_d$	Kohäsion $\xi_c$
$\varphi_{u,k} = 0$ $c_{u,k} \neq 0$	entfällt, da $N_{b0} = 0$	1,0	$1 - 0,0068 \cdot \alpha$
$\varphi_k > 0$ $c_k \geq 0$	$e^{-0,045 \cdot \alpha \cdot \tan \varphi}$		
Winkel sind in $[\circ]$ einzusetzen.			

### 17.7.4 Besonderheiten bei der Ermittlung des Grundbruchwiderstandes

Bei Fundamenten mit besonderer Geometrie ist Folgendes zu berücksichtigen:

- Der Grundbruchwiderstand wird für Kreisfundamente über die Ringbreite bestimmt.
- Enthält die Sohlfläche Aussparungen, so sind die äußeren Abmessungen der Sohlfläche für die Ermittlung des Grundbruchwiderstandes maßgebend, soweit diese nicht 20 % der umrissenen Sohlfläche überschreiten.

Weiterhin kann der Grundbruchwiderstand unregelmäßig begrenzter Fundamente näherungsweise durch ein rechteckiges Ersatzfundament ersetzt werden, das die gleiche Fläche und die gleichen Trägheitshauptachsen aufweist. Bei tiefengestuftem Fundamenten kann auf der sicheren Seite liegend die kleinste Einbindetiefe für die Ermittlung des charakteristischen Grundbruchwiderstandes angesetzt werden.

Die in 17.7.3 dargestellte Ermittlung des charakteristischen Grundbruchwiderstandes  $R_{n,k}$  nach DIN 4017 darf nur verwendet werden, wenn

- die Scherparameter näherungsweise richtungsunabhängig sind und der Reibungswinkel einzelner Schichten nicht um mehr als  $5^\circ$  vom arithmetischen Mittelwert abweicht, wobei sich in DIN 4017 Hinweise zur gewichteten Mittelwertbildung finden,

- die Einbindetiefe  $d$  kleiner als die zweifache Fundamentbreite  $b$  ist; für  $d/b > 2$  liegen die Ergebnisse auf der sicheren Seite, sofern mit  $d/b = 2$  gerechnet wird,
- bei nichtbindigen Böden für die Lagerungsdichte jeweils  $D > 0,2$  ( $C_U = 3$ ) bzw.  $D > 0,3$  ( $C_U > 3$ ) gilt
- und für bindige Böden die Konsistenz  $I_c > 0,5$  ist.

In abweichenden Fällen sind weitere Untersuchungen notwendig und  $R_{n,k}$  ist über besondere Verfahren zu ermitteln, siehe hierzu auch DIN 4017 und DIN 4084.

### 17.7.5 Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes

Der Bemessungswert  $R_{n,d}$  des Grundbruchwiderstandes ergibt sich nach Gl. (17.19) mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{R,v}$  nach Anhang A-10 für den Grenzzustand GEO-2 zu:

$$R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{R,v} \quad (17.19)$$

### 17.7.6 Grenzzustandsgleichung und Sicherheitsnachweis – Grundbruch

Zur Einhaltung einer ausreichenden Sicherheit gegen Grundbruch ist nachzuweisen, dass für den Grenzzustand GEO-2 folgende Bedingung erfüllt ist:

$$N_d \leq R_{n,d} \quad (17.20)$$

mit

$N_d$  : der Bemessungswert der Beanspruchung senkrecht zur Fundamentsohlfläche nach 17.5.3

$R_{n,d}$  : der Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes nach 17.7.5

Es sind die möglicherweise maßgebenden Kombinationen von ständigen und veränderlichen Einwirkungen zu untersuchen, insbesondere

- die Kombination der größten Normalkraft  $V_{k,max} = N_{k,max}$  mit der zugehörigen größten Tangentialkraft  $T_{k,max}$  und
- die Kombination der kleinsten Normalkraft  $V_{k,min} = N_{k,min}$  mit der zugehörigen größten Tangentialkraft  $T_{k,max}$ .

Der Nachweis gegen Grundbruch ist für wassergesättigte bindige Böden sowohl für den „Anfangszustand“ ( $\varphi_{u,k}, c_{u,k}$ ) als auch für den „Endzustand“ ( $\varphi', c'$ ) zu führen. Bei nichtbindigen Böden entfällt ersterer Nachweis.

Der Nachweis der Grundbruchsicherheit ist bei Einzel- und Streifenfundamenten unter Bauteilen sowie bei flach gegründeten Stützwänden für jedes Fundament für den Grenzzustand GEO-2 grundsätzlich einzeln zu führen. Bei Fundamentgruppen mit geringen Abständen oder sehr steifem Oberbau ist u. U. zusätzlich der Grundbruchnachweis für das ganze Bauwerk zu führen.

Die Bemessungssituation BS-T kann für den Nachweis der Grundbruchsicherheit zugrunde gelegt werden, wenn Bauzustände oder spätere, zeitlich begrenzte Abgrabungen neben dem Fundament zu erwarten sind, bei denen die Bodenreaktion auf die Stirnfläche vorübergehend entfällt.

## 17.8 Nachweis der Tragfähigkeit – Nachweis der Gleitsicherheit

### 17.8.1 Ermittlung des charakteristischen Gleitwiderstandes

Wenn der Lastvektor nicht normal zur Sohlfläche steht, müssen Gründungskörper gegen ein Versagen durch Gleiten in der Sohlfläche untersucht werden. Der charakteristische Gleitwiderstand  $R_{t,k}$  ist aus der Normalkraftkomponente der charakteristischen Beanspruchung in der Sohlfläche und den charakteristischen Werten der Scherparameter zu ermitteln.

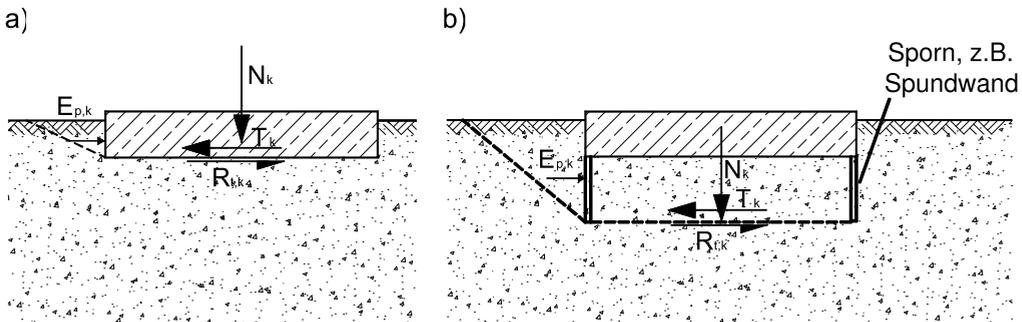


Abb. 17.19: Beispiele zur Definition des Gleitens:

a) Bruchfläche in Fundamentsohle, b) Bruchfläche durch den Boden

Für die Ermittlung des in der Sohlfläche verfügbaren charakteristischen Gleitwiderstands  $R_{t,k}$  sind drei Zustände zu unterscheiden:

- Beanspruchungen im Anfangszustand bei wassergesättigten bindigen Böden nach Gl. (17.21) mit  $\varphi_u = 0$

$$R_{t,k} = A \cdot c_{u,k} \quad (17.21)$$

- Beanspruchungen im Endzustand bei bindigen oder nichtbindigen Böden:

$$R_{t,k} = N'_k \cdot \tan \delta_{s,k} \quad (17.22)$$

- Beanspruchungen im Endzustand, wenn die Bruchfläche nach Abb. 17.19 b) durch den Boden verläuft:

$$R_{t,k} = N'_k \cdot \tan \varphi'_k + A \cdot c'_k \quad (17.23)$$

mit

- A: die für die Kraftübertragung maßgebende Sohlfläche
- $c_{u,k}$ : der charakteristische Wert der Scherfestigkeit des undränen Bodens
- $\delta_{s,k}$ : der charakteristische Wert des Sohlreibungswinkels

In Sonderfällen sind auch Zwischenzustände mit Teilkonsolidierung zu beachten.

Sofern der Sohlreibungswinkel  $\delta_{s,k}$  nicht eigens ermittelt wird, darf er bei Ortbetonfundamenten gleich dem charakteristischen Wert  $\varphi'_k$  des Reibungswinkels angesetzt werden, jedoch  $\varphi'_k = 35^\circ$  nicht überschreiten. Bei vorgefertigten Fundamenten ist er auf  $2/3 \cdot \varphi'_k$  abzumindern, es sei denn, die Fertigteile werden im Mörtelbett verlegt.

### 17.8.2 Bemessungswert des Gleitwiderstandes

Der Bemessungswert des Gleitwiderstandes  $R_{t,d}$  ergibt sich nach Gl. (17.24) mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{R,h}$  nach Anhang A-10 für den Grenzzustand GEO-2 zu:

$$R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{R,h} \quad (17.24)$$

### 17.8.3 Bodenreaktionen an der Stirnseite des Fundamentkörpers – Gleitsicherheitsnachweis

Sofern beim Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten an der Stirnseite des Fundamentkörpers eine Bodenreaktion angesetzt wird, ist nach *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* zur Bestimmung ihrer Größe zunächst der charakteristische Wert  $R_{p,k}$  der Komponente des Erdwiderstands parallel zur Sohlfläche zu ermitteln. Der größte zulässige Bemessungswert  $R_{p,d}$  ergibt sich aus dem charakteristischen Erdwiderstand  $R_{p,k}$  (Ermittlung empfohlen mit  $\delta_p = 0$ ) durch Division mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{Ep}$  für den Grenzzustand GEO-2 zu:

$$R_{p,d} = R_{p,k} / \gamma_{Ep} \quad (17.25)$$

### 17.8.4 Grenzzustandsgleichung und Sicherheitsnachweis – Gleiten

Zur Einhaltung einer ausreichenden Sicherheit gegen Gleiten ist nachzuweisen, dass für den Grenzzustand GEO-2 die folgende Bedingung (Grenzzustandsgleichung) erfüllt ist:

$$T_d \leq R_{t,d} + R_{p,d} \quad (17.26)$$

mit

- $T_d$ : der Bemessungswert der Beanspruchung parallel zur Fundamentsohlfläche nach 17.5.3
- $R_{t,d}$ : der Bemessungswert des Gleitwiderstandes nach 17.8.2
- $R_{p,d}$ : der Bemessungswert der Bodenreaktion an der Stirnseite des Fundamentes nach 17.8.3

Bei  $T_k$  in zwei Richtungen gilt:

$$T_k = \sqrt{(T_{k,x}^2 + T_{k,y}^2)} \quad (17.27)$$

Bei in Gleitrichtung ansteigender Sohlfläche und bei Fundamenten mit einem Sporn ist zusätzlich eine ausreichende Sicherheit gegen Gleiten in Bruchflächen nachzuweisen, die nicht in der Sohlfläche des Fundamentes, sondern durch den Boden verlaufen. Für die Berechnung des charakteristischen Gleitwiderstandes  $R_{t,k}$  ist dann Gl. (17.23) maßgebend.

Der Nachweis der Gleitsicherheit ist bei Einzel- und Streifenfundamenten unter Bauteilen sowie bei flach gegründeten Stützkonstruktionen für jedes Fundament einzeln zu führen. Bei Flächen Gründungen, Trägerrostfundamenten sowie bei Einzel- und Streifenfundamenten, die zu Fundamentgruppen verbunden sind und als einheitlicher Gründungskörper wirken, darf der Nachweis der Gleitsicherheit für das Gesamtbauwerk geführt werden.

Die Bemessungssituation BS-T kann für den Nachweis der Gleitsicherheit zugrunde gelegt werden, wenn Bauzustände oder spätere, zeitlich begrenzte Abgrabungen neben dem Fundament zu erwarten sind, bei denen die Bodenreaktion auf die Stirnfläche vorübergehend entfällt.

## 17.9 Nachweise der Tragfähigkeit – stark exzentrische Belastung und Kippsicherheitsnachweis

Nach *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* ist bei stark exzentrischer Fundamentbelastung, unabhängig davon, ob unter dem Fundament Lockergestein oder Fels vorhanden ist, ein Kippsicherheitsnachweis entsprechend Gl. (17.28) als Lagesicherheitsnachweis EQU zu führen. Dabei werden die Bemessungswerte der Momentenbeanspruchungen näherungsweise auf eine fiktive Kippkante am Fundamentrand bezogen, auch wenn tatsächlich bei Lockergesteinsverhältnissen eine Drehachse innerhalb des Fundamentes zu erwarten ist.

$$E_{dst,d} \leq E_{stb,d} \quad (17.28 \text{ a})$$

$$M_{dst,d} \leq M_{stb,d} \quad (17.28 \text{ b})$$

*Anmerkung:* Dieser Nachweis war bisher in der Form bei Fundamenten im Lockergestein nicht üblich. Die bisher bekannten Nachweise zur Lage der Resultierenden sind nunmehr vollständig Gebrauchstauglichkeitsnachweise.

Bei Flach- und Flächen Gründungen, die ins Grundwasser reichen, ist beim Nachweis der Lagesicherheit EQU nach Gl. (17.28) der Sohlwasserdruck je nach seiner Verteilung als ungünstige, destabilisierende oder günstige, stabilisierende Einwirkung anzusetzen.

Ergänzende Hinweise zur Kippsicherheit von Fundamenten bei Anwendung von Normen aus der Tragwerksplanung, siehe *Kempfert/Fischer (2009)*.

## 17.10 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

### 17.10.1 Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge

Die maßgebende Sohldruckresultierende ergibt sich als resultierende charakteristische bzw. repräsentative Beanspruchung in der Sohlfläche aus der ungünstigsten Kombination der charakteristischen bzw. repräsentativen Werte ständiger und veränderlicher Einwirkungen für die Bemessungssituationen BS-P und gegebenenfalls BS-T. Maßgebend ist die größte Ausmittigkeit.

Folgende Bedingungen sind einzuhalten:

a) Bei Gründungen auf nichtbindigen und bindigen Böden darf in der Sohlfläche infolge der aus ständigen Einwirkungen resultierenden charakteristischen Beanspruchung keine klaffende Fuge auftreten. Bei Rechteckfundamenten ist diese Bedingung eingehalten, wenn die Sohldruckresultierende innerhalb der 1. Kernweite liegt (schraffierte Fläche in Abb. 17.20) und Gl. (17.29) erfüllt ist. Die Ausmittigkeit der Sohldruckresultierenden darf dabei höchstens so groß werden, dass die Gründungssohle des Fundamentes noch vollständig Druckspannungen aufweist.

$$\frac{x_e}{b_x} + \frac{y_e}{b_y} \leq \frac{1}{6} \quad (\text{zweiachsig}) \quad (17.29a)$$

$$e \leq \frac{b}{6} \quad (\text{einachsig}) \quad (17.29b)$$

$$r_e = 0,25 \cdot r \quad (17.29c)$$

Beim kreisförmigen Vollquerschnitt ist diese Bedingung nach Abb. 17.20 durch einen Kreis mit dem Radius nach Gl. (17.29c) begrenzt.

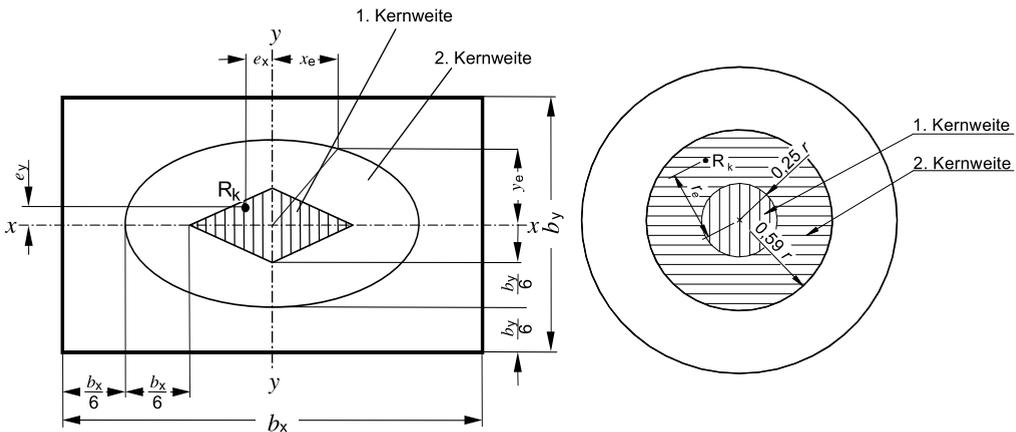
mit

$e_x, e_y$ : Ausmittigkeiten der resultierenden charakteristischen Beanspruchung in der Sohlfläche in Richtung der Fundamentachsen  $x$  und  $y$  mit den höchstzulässigen Werten  $x_e$  und  $y_e$

$b_x, b_y$ : dazugehörige Fundamentbreiten

$r$ : Radius bei kreisförmigen Fundamenten

b) Bei Fundamenten, deren Grundriss einen rechteckigen oder kreisförmigen Vollquerschnitt hat, darf infolge der resultierenden charakteristischen Beanspruchung aus der ungünstigsten Kombination der charakteristischen Werte der ständigen und veränderlichen bzw. repräsentativen Einwirkungen eine klaffende Fuge bis zur Fundamentmitte auftreten. Bei Rechteckfundamenten ist diese Bedingung eingehalten, wenn die Sohldruckresultierende noch innerhalb der 2. Kernweite nach Abb. 17.20 liegt und Gl. (17.30) erfüllt ist. Die Ausmittigkeit der Sohldruckresultierenden darf dabei höchstens so groß werden, dass die Gründungssohle des Fundamentes noch bis zu ihrem Schwerpunkt durch Druckspannungen belastet bleibt.



**Abb. 17.20:** Kernflächen eines rechteckigen und kreisförmigen Fundaments und Lage der charakteristischen Sohldruckresultierenden bei zweiachsiger Beanspruchung

$$\left(\frac{x_e}{b_x}\right)^2 + \left(\frac{y_e}{b_y}\right)^2 = \frac{1}{9} \quad (\text{zweiachsig}) \quad (17.30a)$$

$$e \leq \frac{b}{3} \quad (\text{einachsig}) \quad (17.30b)$$

$$r_e = 0,59 \cdot r \quad (17.30c)$$

Beim kreisförmigen Vollquerschnitt ist diese Bedingung nach Abb. 17.20 durch einen Kreis mit dem Radius nach Gl. (17.30c) begrenzt.

Die Begrenzung einer klaffenden Fuge wird i. d. R. ohne Berücksichtigung einer Bodenreaktionskraft an der Stirnseite berechnet, da keine wesentliche Fundamentbewegung bei dem Nachweis angenommen wird.

Sofern aber der Boden an der Stirnseite garantiert immer während der Nutzungszeit der Fundamente vorhanden ist (keine Abgrabungen), darf der charakteristische Ruhedruck an der Fundamentstirnseite bei der Berechnung der Ausmittigkeit für diesen Nachweis angesetzt werden.

Für die Bemessungssituation BS-A darf bei erfülltem Nachweis der Grundbruchsicherheit (17.7.6) auf einen Nachweis der Begrenzung einer klaffenden Fuge verzichtet werden.

Sofern die vorstehenden Nachweise eingehalten sind, darf nach *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* angenommen werden, dass bei Einzel- und Streifenfundamenten auf mindestens mitteldicht gelagertem Boden bzw. mindestens steifem bindigem Boden keine unzuträglichen Verdrehungen der Fundamente auftreten.

Liegen Hinweise dafür vor, dass ungleichmäßige Setzungen der Gründung oder von Teilen der Gründung zu Schäden am Bauwerk oder an dessen Umgebung führen können,

dann sind die Verdrehungen in Anlehnung an 17.10.2 zu ermitteln und nach den darin enthaltenen Kriterien zu bewerten.

### 17.10.2 Setzungen und Verdrehungen

Zur Ermittlung der Setzungen von Flachgründungen, siehe Band 1, Kap. 8.

Bei nichtbindigen Böden sind regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen bei der Ermittlung der Setzungen zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung von Konsolidationssetzungen bindiger Böden dürfen veränderliche Einwirkungen vernachlässigt werden, deren Einwirkungszeit wesentlich kleiner ist als die zum Ausgleich des Porenwasserüberdruckes erforderliche Zeit.

Sofern die Setzungen bei der Bemessung des Tragwerkes als Zwangsbeanspruchungen berücksichtigt werden sollen, sind sie

- entweder als charakteristische Werte in Form von vorsichtigen Schätzwerten des Mittelwertes (wahrscheinliche Setzungen)
- oder als charakteristische Werte der kleinsten und der größten zu erwartenden Setzungen (mögliche Setzungen) anzugeben.

Absolutsetzungen sind für Bauwerke weniger gefährlich als die Setzungsunterschiede über eine Länge. Abb. 17.21 zeigt die Definition der Setzungsdifferenzen und Winkelverdrehung unter mehreren Fundamenten.

Setzungsdifferenzen und Winkelverdrehungen führen im aufgehenden Bauwerk zu Zwangsbeanspruchungen, die unter Berücksichtigung der Konstruktion des Tragwerkes zu beurteilen sind. Zur pauschalen Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit (SLS) eines Bauwerkes werden häufig die nachfolgenden mehr empirischen Angaben verwendet.

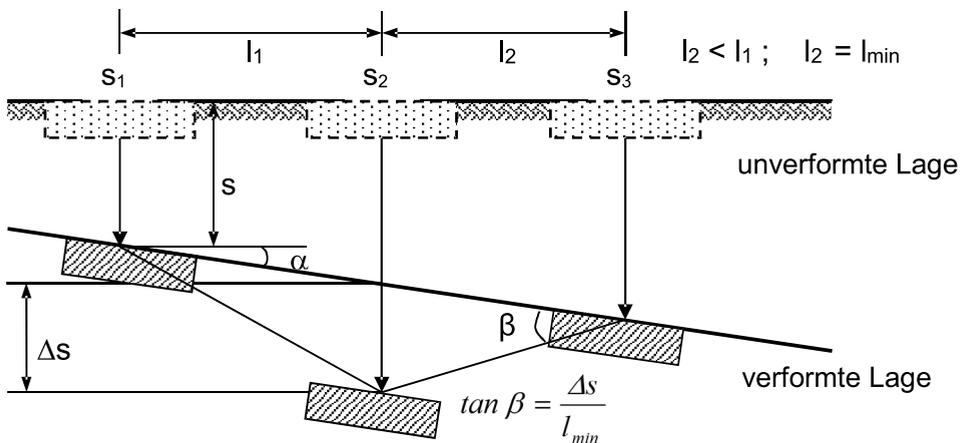


Abb. 17.21: Definition von Setzungen, Setzungsdifferenzen und Winkelverdrehungen unter Fundamenten

Nach *Skempton/McDonald (1957)* ist für Muldenlagen eine Rissfreiheit bis

$$\tan \beta \leq 1/500 \quad (17.31)$$

und bei Inkaufnahme von leichten Schönheitsrissen bis

$$\tan \beta \leq 1/300 \quad (17.32)$$

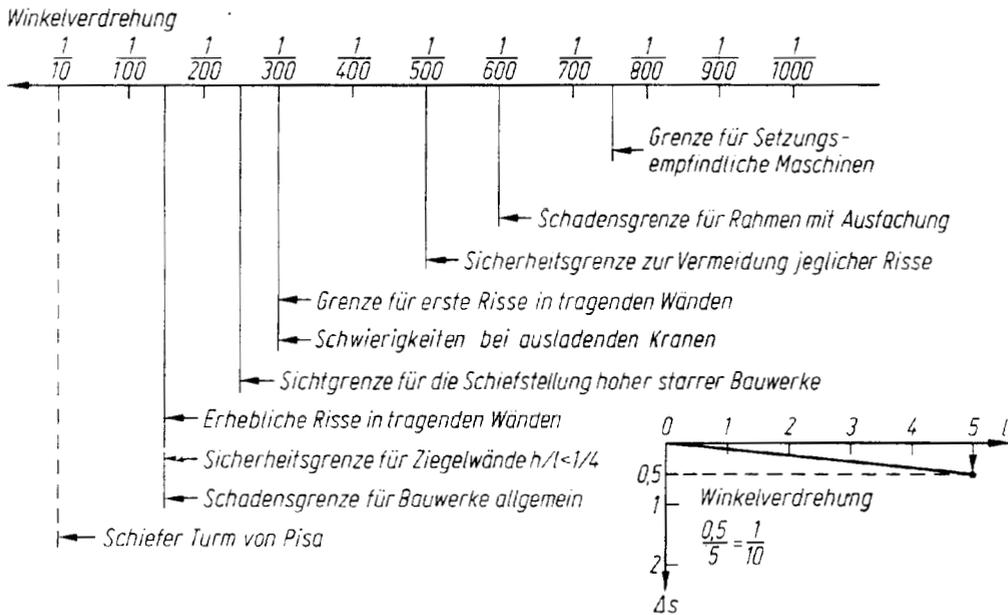
gegeben.

*Bjerrum (1973)* gibt noch detailliertere Angaben für zulässige Winkelverdrehungen an (Abb. 17.22). Für Sattellagen sind diese Werte zu halbieren. Bei hohen starren Bauwerken (z. B. Türme, Schornsteine usw.) gilt eine Verkantung bis

$$\tan \beta \leq 0,004 \quad (1 : 250) \quad (17.33)$$

nach *Polshin/Tokar (1957)* als zulässig.

Weitere detaillierte Zusammenstellungen von zulässigen Setzungen und Schadenskriterien finden sich in *Kempfert/Gebreselassie (2006)* und *Kempfert/Fischer (2009)*.



**Abb. 17.22:** Schadenskriterien für Winkelverdrehungen (Muldenlage), aus *Bjerrum (1973)*

### 17.10.3 Horizontale Verschiebungen in der Sohlfläche

a) Nach *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* darf bei Flach- und Flächengründungen der Nachweis gegen unzutragliche Verschiebungen des Fundamentes in der Sohlfläche als erbracht angesehen werden, wenn

- beim Nachweis der Gleitsicherheit nach 17.8.4 auf der Stirnseite des Fundamentes keine Bodenreaktion angesetzt wird oder wenn
- bei mindestens mitteldicht gelagerten nichtbindigen Böden bzw. bei mindestens steifen bindigen Böden bei Ansatz des vollen Wertes des charakteristischen Gleitwiderstandes eine Bodenreaktion von weniger als 30 % des charakteristischen Erdwiderstandes vor der Stirnseite des Fundamentkörpers zur Herstellung des Gleichgewichtes der charakteristischen Kräfte parallel zur Sohlfläche erforderlich ist.

b) Sofern

- der Erdwiderstand vor der Stirnseite des Gründungskörpers in höherem Maße in Anspruch genommen wird als unter a) angegeben oder
- der Boden nicht den unter a) genannten Anforderungen entspricht,

ist nachzuweisen, dass bei Ansatz der charakteristischen bzw. repräsentativen Werte der ständigen und der regelmäßig auftretenden veränderlichen Einwirkungen sowie infolge der charakteristischen bzw. repräsentativen Werte der seltenen oder einmaligen planmäßigen Einwirkungen keine unzutraglichen Verschiebungen des Fundamentes in der Sohlfläche der Flach- oder Flächengründung auftreten.

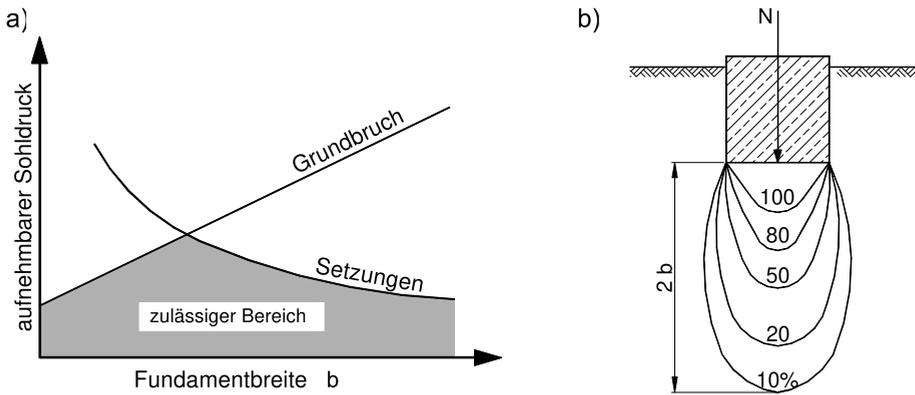
## 17.11 Vereinfachter Nachweis in Regelfällen mit Tabellenwerten nach Handbuch EC 7-1

### 17.11.1 Allgemeines

In einfachen Baugrund- und Beanspruchungsverhältnissen (Regelfälle) darf bei Flachgründungen der Nachweis der Sohldruckbeanspruchung mithilfe von Tabellenwerten nach *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* bestimmt werden. Voraussetzung dafür ist, dass eine ausreichende Baugrunderkundung durchgeführt wurde, damit die Baugrundverhältnisse unter den im *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* genannten Bedingungen für die Anwendung der Tabellenwerte eingeordnet werden können. Es wird darauf hingewiesen, dass die Anwendung der Tabellenwerte nicht immer die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

Wie bereits ausgeführt, ist bei Flachgründungen nach *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit ULS (Nachweis gegen Bruch, hier Grundbruch) und der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS (hier zulässige Setzungen) zu führen. Welcher der beiden Nachweise für die Ermittlung der äußeren Fundamentabmessungen für überwiegend zentrisch belastete Fundamente maßgebend ist, ergibt sich aus der Einzelfalluntersuchung und ist in Abb. 17.23 a) erläutert.

Abb. 17.23 b) zeigt die Tiefenwirkung der Sohldruckbeanspruchung im Baugrund. Dieser Spannungsabbau unter dem Fundament mit zunehmender Tiefe resultiert aus der räumlichen Spannungsausbreitung im Untergrund. Bezüglich der seitlichen Ausstrahlung kann näherungsweise von einer Spannungsausbreitung ab Fundamentaußenkante unter  $45^\circ$  bis  $60^\circ$  gegenüber der Waagerechten ausgegangen werden.



**Abb. 17.23:** a) Aufnehmbarer Sohldruck (Sohlwiderstand) abhängig von der Fundamentbreite für ausreichende Grundbruchsicherheit und nach Einhaltung einer zulässigen Setzung  
 b) Beispiel zur Tiefenwirkung der Sohldruckbeanspruchung unter einem Fundament

Nach *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* dürfen also als Ersatz für den Tragfähigkeitsnachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit GEO-2 und für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung  $\sigma_{E,d}$  und der Bemessungswert des Sohlwiderstandes  $\sigma_{R,d}$  einander gegenübergestellt werden, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Fundamentsohle ist waagrecht und die Geländeoberfläche und die Schichtgrenzen verlaufen annähernd waagrecht.
- Der Baugrund weist bis in eine Tiefe unter der Gründungssohle, die der zweifachen Fundamentbreite entspricht, mindestens aber bis in 2,0 m Tiefe eine ausreichende Festigkeit auf; hierzu siehe 17.11.2.2 bei nichtbindigem Boden bzw. 17.11.3.1 bei bindigem Boden.
- Das Fundament wird nicht regelmäßig oder überwiegend dynamisch beansprucht. In bindigen Schichten entsteht kein nennenswerter Porenwasserüberdruck.
- Eine stützende Wirkung des Bodens vor dem Fundament darf nur in Rechnung gestellt werden, wenn sein Verbleib durch konstruktive oder andere Maßnahmen sichergestellt ist.
- Die Neigung der resultierenden charakteristischen bzw. repräsentativen Beanspruchung in der Sohlfläche hält die Bedingung

$$\tan \delta_E = H_k / N_k \leq 0,2 \quad (17.34)$$

ein. Wahlweise darf die Neigung der Sohldruckresultierenden auch aus der Bemessungsbeanspruchung ermittelt werden, wobei diese Vorgehensweise auf der sicheren Seite liegt und zu unwirtschaftlicheren Fundamentabmessungen führen kann.

- Die Bedingungen hinsichtlich der zulässigen Ausmittigkeit der Sohldruckresultierenden für charakteristische bzw. repräsentative Beanspruchungen nach 17.10.1 eingehalten sind.
- Der Nachweis gegen Gleichgewichtsverlust durch Kippen entsprechend 17.9 erfüllt ist.

Zur Ermittlung des Bemessungswertes  $\sigma_{E,d}$  der Sohldruckbeanspruchung bei ausmittiger Lage der resultierenden Beanspruchung in der Fundamentsohlfläche darf nur derjenige Teil  $A'$  der Sohlfläche angesetzt werden, für den die resultierende charakteristische bzw. repräsentative Beanspruchung im Schwerpunkt steht, also bei Rechteckfundamenten mit den Seitenlängen  $b_x$  und  $b_y$  und zugeordneten charakteristischen Ausmittigkeiten  $e_x$  und  $e_y$  die Fläche nach Gl. (17.35), vgl. auch Abb. 17.10.

$$A' = b'_x \cdot b'_y = (b_x - 2 \cdot e_x) \cdot (b_y - 2 \cdot e_y) \quad (17.35)$$

Eine ausreichende Sicherheit gegen Grundbruch und bauwerksverträgliche Setzungen darf als nachgewiesen angesehen werden, wenn folgende Bedingung erfüllt ist (Abb. 17.23):

$$\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d} \quad (17.36)$$

mit

- $\sigma_{E,d}$ : der auf die reduzierte Fundamentsohlfläche nach Gl. (17.35) bezogene Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung
- $\sigma_{R,d}$ : der Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach 17.11.2 bzw. 17.11.3, gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Erhöhungs- und Abminderungsfaktoren

Ist die Einbindetiefe auf allen Seiten des Gründungkörpers  $d > 2$  m, so darf der Bemessungswert des Sohlwiderstandes  $\sigma_{R,d}$  nach 17.11.2 bzw. 17.11.3 um die Spannung erhöht werden, die sich aus der 1,4-fachen, über 2 m Tiefe hinausgehenden Bodenentlastung ergibt.

Dabei darf der Boden weder vorübergehend noch dauernd entfernt werden, solange die maßgebende Beanspruchung vorhanden ist.

Nach DIN 1054 ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung aus der ungünstigsten Einwirkungskombination. Hierfür kommen folgende Vorgehensweisen infrage:

- Sofern die Schnittgrößen mit charakteristischen bzw. repräsentativen Werten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert  $\sigma_{E,d}$  der Sohldruckbeanspruchung aus den charakteristischen bzw. repräsentativen Vertikalbeanspruchungen  $N_{G,k}$  und  $N_{Q,k}$  bzw.  $N_{Q,rep}$  multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten  $\gamma_G$  und  $\gamma_Q$  für das Nachweisverfahren GEO-2.
- Sofern die Schnittgrößen mit Bemessungswerten der Einwirkungen ermittelt wurden, ergibt sich der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchungen aus dem Bemessungswert der Vertikalbeanspruchung  $V_d = N_d$ .

Die nachfolgend angegebenen Tabellen für die Bemessungswerte  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands sind für die Bemessungssituation BS-P ermittelt worden, die Anwendung für die Bemessungssituation BS-T liegt auf der sicheren Seite.

## 17.11.2 Nichtbindiger Boden

### 17.11.2.1 Bemessungswert des Sohlwiderstands

Der unter den in 17.11.1 genannten Voraussetzungen bei ausreichend dicht gelagertem nichtbindigem Boden und senkrechter Richtung des Bemessungswertes der Sohlruckbeanspruchung für Streifenfundamente maßgebende Bemessungswert des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d}$  darf in Abhängigkeit von der tatsächlichen Fundamentbreite  $b$  bzw. von der reduzierten Fundamentbreite  $b'$  den Tabellen A.6.1 und A.6.2 aus *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* (hier Tab. 17.7 und 17.8) entnommen werden. Der mit zunehmender Fundamentbreite ebenfalls zunehmende Sohlwiderstand  $\sigma_{R,d}$  nach Tab. 17.7 ist auf der Grundlage einer ausreichenden Grundbruchsicherheit ermittelt worden, der ab  $b$  bzw.  $b' > 1$  m mit zunehmender Fundamentbreite abnehmende Sohlwiderstand  $\sigma_{R,d}$  nach Tab. 17.8 auf der Grundlage einer Begrenzung der Setzungen.

**Tab. 17.7:** Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands für Streifenfundamente auf nichtbindigem Boden auf der Grundlage einer ausreichenden Grundbruchsicherheit (setzungsunempfindliche Bauwerke) mit den Voraussetzungen nach Tab. 17.9, aus *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* (dort Tabelle A 6.1)

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments [m]	Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ [kN/m <sup>2</sup> ] des Sohlwiderstands $b$ bzw. $b'$					
	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	560	700	700	700
1,00	380	520	660	800	800	800
1,50	480	620	760	900	900	900
2,00	560	700	840	980	980	980
Bei Bauwerken mit Einbindetiefen 0, 30 m $\leq d \leq 0, 50$ m und mit Fundamentbreiten $b$ bzw. $b' \geq 0, 30$ m	210					

In Tab. 17.7 und 17.8 dürfen Zwischenwerte geradlinig interpoliert werden. Wenn bei ausmittiger Belastung die kleinere reduzierte Seitenlänge  $b' < 0, 50$  m wird, dürfen die Tabellenwerte hierfür geradlinig extrapoliert werden. Für mittige Belastung gilt:

- Die auf der Grundlage der Tab. 17.7 bemessenen Fundamente können sich bei Fundamentbreiten bis 1,50 m um etwa 2 cm, bei breiteren Fundamenten ungefähr proportional zur Fundamentbreite stärker setzen.

**Tab. 17.8:** Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands für Streifenfundamente auf nichtbindigem Boden auf der Grundlage einer ausreichenden Grundbruchsicherheit und einer Begrenzung der Setzungen (setzungsempfindliche Bauwerke) mit den Voraussetzungen nach Tab. 17.9, aus Handbuch Eurocode 7-1 (2015) (dort Tab. A 6.2)

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments [m]	Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ [kN/m <sup>2</sup> ] des Sohlwiderstands $b$ bzw. $b'$					
	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	460	390	350	310
1,00	380	520	500	430	380	340
1,50	480	620	550	480	410	360
2,00	560	700	590	500	430	390
Bei Bauwerken mit Einbindetiefen 0,30 m $\leq d \leq 0,50$ m und mit Fundamentbreiten $b$ bzw. $b' \geq 0,30$ m	210					

- Die auf der Grundlage der Tab. 17.8 bemessenen Fundamente können sich um ein Maß setzen, das bei Fundamentbreiten bis 1,50 m etwa 1 cm, bei breiteren Fundamenten etwa 2 cm nicht übersteigt.

Die für die Anwendung der Bemessungswerte  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands nach den Tab. 17.7 und 17.8 geforderte mittlere Festigkeit darf angenommen werden, wenn eine der in Tab. 17.9 angegebenen Bedingungen eingehalten ist. Maßgebend ist jeweils der Mittelwert der gemessenen Werte von Lagerungsdichte  $D$ , Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  oder Spitzenwiderstand  $q_c$  der Drucksonde innerhalb des in 17.11.1 beschriebenen Bodenbereiches.

**Tab. 17.9:** Voraussetzungen für die Anwendung der Bemessungswerte  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands nach Tab. 17.7 und 17.8 bei nichtbindigem Boden, aus Handbuch Eurocode 7-1 (2015) (dort Tab. A 6.3)

Bodengruppe nach DIN 18196	Ungleichförmigkeitszahl $U$ nach DIN 18196	Mittlere Lagerungsdichte $D$ nach DIN 18126	Mittlerer Verdichtungsgrad $D_{Pr}$ nach DIN 18127	Mittlerer Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c$ [MN/m <sup>2</sup> ]
SE, GE, SU, GU, ST, GT	$\leq 3$	$\geq 0,30$	$\geq 95\%$	$\geq 7,5$
SE, SW, SI, GE, GW, GT, SU, GU	$> 3$	$\geq 0,45$	$\geq 98\%$	$\geq 7,5$

In den Fällen, die durch Tab. 17.7 und 17.8 nicht erfasst sind, müssen die Grenzzustände der Tragfähigkeit ULS und der Gebrauchstauglichkeit SLS nach 17.5.1 bis 17.10 nachgewiesen werden.

### 17.11.2.2 Erhöhung des Bemessungswerts des Sohlwiderstands

Bei Fundamenten mit mindestens 0,50 m Breite und 0,50 m Einbindetiefe ist es zulässig, die nach 17.11.2.1 ermittelten Bemessungswerte  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands, wie nachstehend angegeben, zu erhöhen und gegebenenfalls die einzelnen Erhöhungen zu addieren:

- Bei Rechteckfundamenten mit einem Seitenverhältnis  $b_x : b_y < 2$  bzw.  $b'_x : b'_y < 2$  und bei Kreisfundamenten darf der in Tab. 17.7 und 17.8 angegebene Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands um 20 % erhöht werden. Für die auf der Grundlage des Grundbruchs ermittelten Werte (Tab. 17.7) gilt dies aber nur dann, wenn die Einbindetiefe größer ist als  $0,60 \cdot b$  bzw.  $0,60 \cdot b'$ .
- Der in Tab. 17.7 und 17.8 angegebene Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands darf um bis zu 50 % erhöht werden, wenn sich bis in die in 17.11.1 angegebene Tiefe nachweisen lässt, dass eine der in Tab. 17.10 genannten Bedingungen erfüllt ist. Maßgebend ist jeweils der Mittelwert der gemessenen Werte von Lagerungsdichte  $D$ , Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  oder Spitzenwiderstand  $q_c$  der Drucksonde innerhalb des in 17.11.1 beschriebenen Bodenbereiches.

**Tab. 17.10:** Voraussetzungen für die Erhöhung der Bemessungswerte  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands bei nichtbindigem Boden, aus Handbuch Eurocode 7-1 (2015) (dort Tab. A 6.4)

Bodengruppe nach DIN 18196	Ungleichförmigkeitszahl $U$ nach DIN 18196	Mittlere Lagerungsdichte $D$ nach DIN 18126	Mittlerer Verdichtungsgrad $D_{Pr}$ nach DIN 18127	Mittlerer Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c$ [MN/m <sup>2</sup> ]
SE, GE, SU, GU, ST, GT	$\leq 3$	$\geq 0,50$	$\geq 98\%$	$\geq 15$
SE, SW, SI, GE, GW, GT, SU, GU	$> 3$	$\geq 0,65$	$\geq 100\%$	$\geq 15$

### 17.11.2.3 Verminderung des Bemessungswerts des Sohlwiderstands bei Grundwasser

Der in Tab. 17.7 angegebene Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands gilt für den Fall, dass der Abstand zwischen Grundwasserspiegel und Gründungssohle mindestens so groß ist wie die maßgebende Fundamentbreite  $b$  bzw.  $b'$  nach 17.11.1. Liegt der Grundwasserspiegel in Höhe der Gründungssohle, dann ist der Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands nach Tab. 17.7 um 40 % zu verringern.

Ist der Abstand zwischen dem maßgebenden Grundwasserspiegel und der Gründungssohle kleiner als die maßgebende Gründungsbreite  $b$  bzw.  $b'$ , dann darf zwischen dem um 40 %

abgeminderten und dem nicht abgeminderten Bemessungswert des Sohlwiderstands in Abhängigkeit von der maßgebenden Spiegelhöhe geradlinig interpoliert werden.

Liegt der Grundwasserspiegel über der Gründungssohle, dann reicht die Abminderung der in Tab. 17.7 angegebenen Bemessungswerte des Sohlwiderstands um 40% nur dann aus, wenn die Einbindetiefe größer ist als 0,80 m und außerdem größer ist als die Fundamentbreite  $b$ . Sofern diese beiden Voraussetzungen nicht erfüllt sind, müssen die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden. Der in Tab. 17.8 angegebene Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands gilt für den Fall, dass er nicht größer ist als der verminderte Bemessungswert des Sohlwiderstands auf der Grundlage einer ausreichenden Sicherheit gegen Grundbruch nach Tab. 17.7. Maßgebend ist der kleinere Wert.

#### 17.11.2.4 Verminderung des Bemessungswertes des Sohlwiderstands infolge von waagerechten Beanspruchungen

Bei Fundamenten, bei denen außer der resultierenden senkrechten Sohldruckbeanspruchung  $V_k$  ( $N_k$ ) auch eine waagerechte Komponente  $H_k$  ( $T_k$ ) angreift, ist der in Tab. 17.7 auf der Grundlage einer ausreichenden Grundbruchsicherheit angegebene, gegebenenfalls nach 17.11.2.2 erhöhte bzw. nach 17.11.2.3 verminderte Bemessungswert des Sohlwiderstands wie folgt abzumindern:

- mit dem Faktor  $(1 - H_k/V_k)$ , wenn  $H_k$  parallel zur langen Fundamentseite wirkt und das Seitenverhältnis  $b_x : b_y \geq 2$  bzw.  $b'_x : b'_y \geq 2$  ist,
- mit dem Faktor  $(1 - H_k/V_k)^2$  in allen anderen Fällen.

### 17.11.3 Bindiger Boden

#### 17.11.3.1 Bemessungswert des Sohlwiderstands

Der Bemessungswert des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d}$  von Streifenfundamenten bei bindigem Baugrund unter den in 17.11.1 genannten Voraussetzungen darf den Tab. 17.11 bis 17.14 entnommen werden.

Die Sohldruckbeanspruchung darf senkrecht oder geneigt angreifen.

**Tab. 17.11:** Bemessungswerte  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands für Streifenfundamente auf reinem Schluff (UL nach DIN 18196) mit Breiten  $b$  bzw.  $b'$  von 0,50 m bis 2,00 m bei steifer bis halbfester Konsistenz oder einer mittleren einaxialen Druckfestigkeit  $q_{u,k} > 120 \text{ kN/m}^2$ , aus Handbuch Eurocode 7-1 (2015) (dort Tab. A 6.5)

Kleinste Einbindetiefe des Fundamentes [m]	Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands [ $\text{kN/m}^2$ ]
0,50	180
1,00	250
1,50	310
2,00	350

Die Werte in Tab. 17.11 bis 17.14 sind nicht auf Bodenarten anwendbar, bei denen ein plötzlicher Zusammenbruch des Korngerüstes zu befürchten ist, z. B. auf Lößboden.

Die Anwendung der genannten Werte für den Bemessungswert des Sohlwiderstands kann bei mittig belasteten Fundamenten zu Setzungen in der Größenordnung von ca. 2 cm bis 4 cm führen.

Die für die Anwendung des Bemessungswertes  $\sigma_{R,d}$  nach Tab. 17.11 bis 17.14 geforderten Festigkeiten des Bodens muss durch folgende Untersuchungen ermittelt werden:

- Entweder muss aus Laborversuchen nach *Handbuch Eurocode 7-2 (2011)* oder aus Handversuchen nach DIN EN ISO 14688-1 die Zustandsform (Konsistenz) bestimmt werden,
- oder es muss die einaxiale Druckfestigkeit nach *Handbuch Eurocode 7-2 (2011)* ermittelt werden.

Ergeben sich bei mehreren Versuchen unterschiedliche Werte der Zustandsform oder der einaxialen Druckfestigkeit, dann ist jeweils der Mittelwert innerhalb des in 17.11.1 beschriebenen Bodenbereichs maßgebend.

**Tab. 17.12:** Bemessungswerte  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands für Streifenfundamente auf gemischt-körnigem Boden ( $SU^*$ ,  $ST$ ,  $ST^*$ ,  $GU^*$ ,  $GT^*$  nach DIN 18196; z. B. Geschiebemergel) mit Breiten  $b$  bzw.  $b'$  von 0,50 m bis 2,00 m, aus Handbuch Eurocode 7-1 (2015) (dort Tab. A 6.6)

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments [m]	Bemessungswerte des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ [kN/m <sup>2</sup> ] mittlere Konsistenz		
	steif	halbfest	fest
0,50	210	310	460
1,00	250	390	530
1,50	310	460	620
2,00	350	520	700
mittlere einaxiale Druckfestigkeit $q_{u,k}$ in [kN/m <sup>2</sup> ]	120 bis 300	300 bis 700	> 700

Sofern Versuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit  $c_{u,k}$  des undrännierten Bodens vorliegen, darf die einaxiale Druckfestigkeit  $q_{u,k}$  näherungsweise mit  $\varphi_{u,k} = 0$  aus dem Ansatz

$$q_{u,k} = 2 \cdot c_{u,k} \quad (17.37)$$

ermittelt werden.

**Tab. 17.13:** Bemessungswerte  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands für Streifenfundamente auf tonig schluffigem Boden (UM, TL, TM nach DIN 18196) mit Breiten  $b$  bzw.  $b'$  von 0,50 m bis 2,00 m, aus Handbuch Eurocode 7-1 (2015) (dort Tab. A 6.7)

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments [m]	Bemessungswerte des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]		
	mittlere Konsistenz		
	steif	halbfest	fest
0,50	170	240	390
1,00	200	290	450
1,50	220	350	500
2,00	250	390	560
mittlere einaxiale Druckfestigkeit $q_{u,k}$ in [kN/m <sup>2</sup> ]	120 bis 300	300 bis 700	> 700

**Tab. 17.14:** Bemessungswerte  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands für Streifenfundamente auf Ton-Boden (TA nach DIN 18196) mit Breiten  $b$  bzw.  $b'$  von 0,50 m bis 2,00 m, aus Handbuch Eurocode 7-1 (2015) (dort Tab. A 6.8)

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments [m]	Bemessungswerte des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]		
	mittlere Konsistenz		
	steif	halbfest	fest
0,50	130	200	280
1,00	150	250	340
1,50	180	290	380
2,00	210	320	420
mittlere einaxiale Druckfestigkeit $q_{u,k}$ in [kN/m <sup>2</sup> ]	120 bis 300	300 bis 700	> 700

In den Fällen, die durch Tab. 17.11 bis 17.14 nicht erfasst sind, müssen die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden.

### 17.11.3.2 Erhöhung des Bemessungswerts des Sohlwiderstands

Bei Rechteckfundamenten mit einem Seitenverhältnis  $b_x : b_y < 2$  bzw.  $b'_x : b'_y < 2$  und bei Kreisfundamenten darf der in Tab. 17.11 bis 17.14 angegebene bzw. nach 17.11.3.3 für größere Fundamentbreiten ermittelte Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands um 20% erhöht werden.

### 17.11.3.3 Verminderung des Bemessungswertes des Sohlwiderstands

Bei Fundamentbreiten zwischen 2,00 und 5,00 m muss der in Tab. 17.11 bis 17.14 angegebene Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands um 10 % je m zusätzlicher Fundamentbreite vermindert werden.

Bei Fundamentbreiten von mehr als 5,00 m müssen die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden.

### 17.11.4 Fels

Besteht der Baugrund aus gleichförmigem beständigem Fels in ausreichender Mächtigkeit, so darf beim Nachweis der Fundamente ebenfalls ein Bemessungswert  $\sigma_{R,d}$  des Sohlwiderstands verwendet werden. Näheres siehe *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)*.

## 17.12 Weitere Nachweissituationen bei Flach- und Flächen Gründungen

### 17.12.1 Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen

#### 17.12.1.1 Allgemeines

Bei den Nachweisen zur Sicherheit gegen Aufschwimmen (Auftrieb) ist zu unterscheiden zwischen dem

- Nachweis bei alleiniger Wirkung von Bauwerkseigengewicht,
- Nachweis bei Mitwirkung von Scherkräften und
- Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen von verankerten Konstruktionen.

Bei günstigen ständigen Einwirkungen sind die beteiligten Wichten mit ihrem unteren charakteristischen Wert, z. B. für Boden (*Handbuch Eurocode 7-1 (2015)*, DIN 1055-2), bei unbewehrtem Beton mit  $\gamma_k = 23 \text{ kN/m}^3$  und bei Stahlbeton mit  $\gamma_k = 24 \text{ kN/m}^3$  zu berücksichtigen.

#### 17.12.1.2 Nachweis bei alleiniger Wirkung von Bauwerkseigengewicht

Wenn flach gegründete Bauwerke (z. B. Klärbecken, Tunnel usw.) in das Grundwasser einbinden, ist der Nachweis der Sicherheit eines Gründungskörpers gegen Aufschwimmen (Auftrieb) für den Grenzzustand UPL nach folgender Bedingung (Grenzzustandsgleichung) zu führen:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb} \quad (17.38)$$

- $G_{dst,k}$ : der charakteristische Wert ständiger destabilisierender vertikaler Einwirkungen; hier die an der Unterfläche des Gründungskörpers, des gesamten Bauwerkes, der betrachteten Bodenschicht oder der Baugrubenkonstruktion einwirkende charakteristische hydraulische Auftriebskraft  $A_k$ ;
- $\gamma_{G,dst}$ : der Teilsicherheitsbeiwert für ständige destabilisierende Einwirkungen im Grenzzustand UPL nach Anhang A-8;
- $Q_{dst,rep}$ : der charakteristische bzw. repräsentative Wert veränderlicher destabilisierender vertikaler Einwirkungen (aufwärts gerichteter Einwirkungen);
- $\gamma_{Q,dst}$ : der Teilsicherheitsbeiwert für destabilisierende veränderliche Einwirkungen im Grenzzustand UPL nach Anhang A-8;
- $G_{stb,k}$ : der untere charakteristische Wert stabilisierender, ständiger vertikaler Einwirkungen des Bauwerks;
- $\gamma_{G,stb}$ : der Teilsicherheitsbeiwert für stabilisierende ständige Einwirkungen im Grenzzustand UPL nach Anhang A-8.

Zusätzlich zum Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen für eine Bodenschicht ist auch ggf. der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch zu erbringen, siehe Kapitel 28.

### 17.12.1.3 Nachweis bei Mitwirkung von Scherkräften

Wirken auf ein Bauwerk Scherkräfte ein, die der hydraulischen Auftriebskraft entgegen gerichtet sind, dann ist nachzuweisen, dass für den Grenzzustand UPL die Bedingung

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb} + T_k \cdot \gamma_{G,stb} \quad (17.39)$$

erfüllt ist.

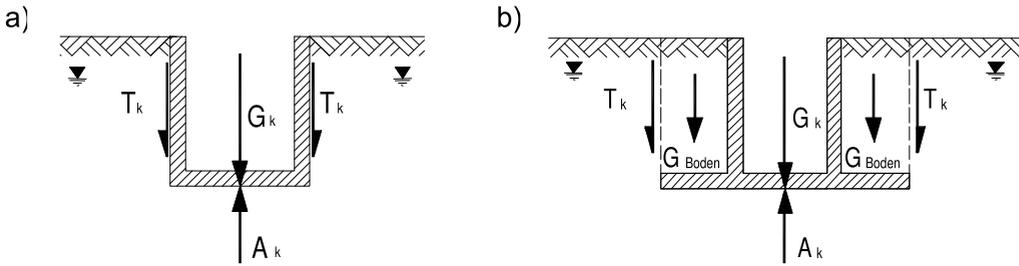
Dabei ist neben den bereits in 17.12.1.3 definierten Größen und Beiwerten  $T_k$  die zusätzliche einwirkende charakteristische Scherkraft. Die einwirkende Scherkraft  $T_k$  kann z. B. sein:

- die Reibungskraft unmittelbar an der Bauwerkswand; Vertikalkomponente des aktiven Erddruckes nach Abb. 17.24 a)

$$T_k = \eta_z \cdot E_{ah,k} \cdot \delta_a \quad (17.40)$$

- die Reibungskraft in einer gedachten, vom Ende eines waagerechten Sporns ausgehenden lotrechten Bodenfuge nach Abb. 17.24 b)

$$T_k = \eta_z \cdot E_{ah,k} \cdot \tan \varphi' \quad (17.41)$$



**Abb. 17.24:** Nachweis gegen Aufschwimmen mit wirkenden Scherkräften  $T_k$   
 a) entlang der Wandung eines Rampenbauwerkes,  
 b) entlang einer Bodenfuge bei einem Rampenbauwerk

In beiden Fällen darf die Reibungskraft wie die Vertikalkomponente eines aktiven Erddruckes  $\min E_a$  behandelt werden. Dabei ist ein Anpassungsfaktor  $\eta_z = 0,80$  in den Bemessungssituationen BS-P und BS-T bzw.  $\eta_z = 0,90$  in der Bemessungssituation BS-A anzusetzen. Falls in begründeten Fällen eine Kohäsion angesetzt wird, ist auch diese mit dem Anpassungsfaktor abzumindern. Damit die Sicherheit gegen Aufschwimmen nicht maßgeblich von den Scherkräften abhängig ist, muss bei Dauerbauwerken zusätzlich nachgewiesen werden, dass die Grenzzustandsbedingung nach Gl. (17.39) ohne Ansatz der Scherkräfte mit den Teilsicherheitsbeiwerten der Bemessungssituation BS-A erfüllt ist.

### 17.12.2 Nachweis der Gesamtstandsicherheit

Für bestimmte Flachgründungskonstruktionen, z. B. Fundamente an einer Böschung oder Stützwände (siehe Kap. 18), ist der Gesamtstandsicherheitsnachweis (z. B. Geländebruchsicherheit) nach dem Grenzzustand GEO-3 zu führen (siehe Band 1, Kap. 14).

## 17.13 Bauteilbemessung von Flach- und Flächengründungen

Die Bemessungswerte der Bauteile von Flach- und Flächengründungen (Bauteilwiderstände) erfolgt nach den jeweiligen Bauartnormen, z. B. DIN EN 1992-1-1 bis DIN EN 1996-1-1, im Nachweisverfahren STR.

Sohlplatten, die unter Auftrieb stehen, sind für die ungünstigste Kombination der Bemessungswerte der Auflasten ( $G_d = \gamma_G \cdot G_k$  und  $Q_d = \gamma_Q \cdot Q_{rep}$ ) sowie für den Bemessungswert des Sohlwasserdrucks ( $W_d$ ) in den Grenzen für günstige Wirkung bei niedrigstem Wasserstand ( $\gamma_{G,inf} \cdot W_{k,min}$ ) und ungünstige Wirkung bei höchstem Wasserstand ( $\gamma_G \cdot W_{k,max}$ ) zu bemessen. Die resultierende Sohlreaktion ( $N_{d,res}$ ) ergibt sich dann aus dem Gleichgewicht der Vertikallasten unter Berücksichtigung der Baugrundreaktion

$$N_{d,res} = G_k \cdot \gamma_G + Q_{rep} \cdot \gamma_Q - W_d \quad (17.42)$$

Um bei nichtlinearen Effekten im Baugrund (z. B. lokales Plastifizieren des Bodens am Rand der Platte, Entstehen von Bereichen, in denen Zugspannungen ausgeschlossen werden müssen, oder nichtlineares Last-Setzungs-Verhalten) sicherzustellen, dass die Baugrundreaktion etwa im Bereich der charakteristischen Beanspruchungen ermittelt wird, wird

in solchen Fällen in *Handbuch Eurocode 7-1 (2015)* empfohlen, die Baugrundreaktion in einem Lastniveau der charakteristischen Einwirkungen zu berechnen. Dazu sind die veränderlichen repräsentativen Lasten um einen Faktor  $\gamma_Q/\gamma_G$  zu erhöhen und danach z. B. mit dem Bettungsmodulverfahren, dem Steifemodulverfahren oder von Finite-Elemente-Berechnungen eine resultierende Sohldruckreaktion  $N_{k,res}$  zu errechnen:

$$N_{k,res} = G_k + Q_{rep} \cdot \gamma_Q/\gamma_G - W_k \quad (17.43)$$

Die Berechnung ist sowohl für  $W_{k,max}$  als auch für  $W_{k,min}$  durchzuführen. Nach Ermittlung von  $N_{k,res}$  ergibt sich  $N_{d,res}$  aus Multiplikation mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$ .

## 17.14 Zahlenbeispiele siehe Anhang B-17.

# 18 Gewichts- und Winkelstützwände

## 18.1 Einordnung

Neben den klassischen flach gegründeten Stützbauwerken wie Gewichtsstütz- und Winkelstützwänden werden zunehmend weitere Konstruktionsformen zur Abfangung von Geländesprüngen eingesetzt wie z. B. geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen, Raumgitterwände, vernagelte Wände, Gabionen usw. Der geeignete Mauertyp richtet sich nach Geländeform, Baugrundverhältnissen, Verkehrsbelastung, Platzverhältnissen, zulässigen Verformungen und letztlich Wirtschaftlichkeitsüberlegungen.

Im Folgenden werden zunächst nur die Gewichtsstützwände und Winkelstützwände behandelt. Dabei geht es in diesem Kapitel nur um die Standsicherheitsnachweise von Stützwänden. Die allgemeinen Konstruktionsformen von Stützwänden und Stützbauwerken mit zu beachtenden Entwässerungsregeln finden sich z. B. in *Brandl (2018)*, *Floss (2011)* und *EB-GEO (2010)*. Die hier behandelten Standsicherheitsnachweise für die beiden klassischen Stützwandtypen lassen sich in der Regel auch für andere Stützbauwerke näherungsweise anwenden.

## 18.2 Stützwandtypen

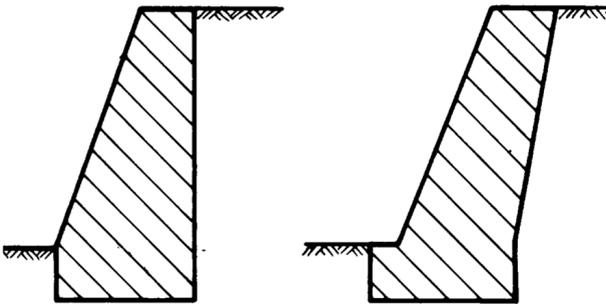


Abb. 18.1: Beispiele für Gewichtsstützwände

Als „klassische“ Stützwandtypen werden die Gewichtsstützwand (früher als Schwergewichtsmauer bezeichnet) und die Winkelstützwand angesehen.

Die Gewichtsstützwand wird aus unbewehrtem oder konstruktiv bewehrtem Beton, Mauerwerk, Trockenmauerwerk oder Betonfertigteilen errichtet. Die Standsicherheitsnachweise (Gleiten und Kippen) werden allein durch ihr Eigengewicht bereits erfüllt.

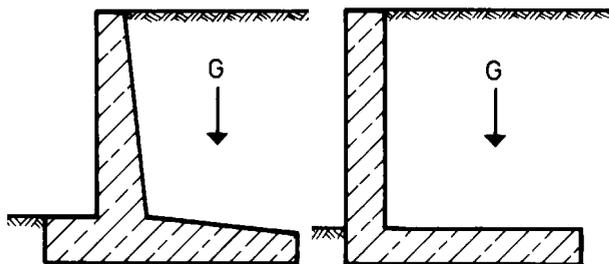


Abb. 18.2: Beispiele für Winkelstützwände

Winkelstützwände zeichnen sich dadurch aus, dass durch die Formgebung die Stützkräfte optimal in den Boden abgeleitet werden, wobei das Gewicht der Hinterfüllung günstig wirkend ausgenutzt wird. Bei dieser Stützwandform entstehen Biegemomente, die in den Wandteilen durch Bewehrung abgedeckt werden müssen.

Abb. 18.1 und Abb. 18.2 zeigen Beispiele für beide Stützwandtypen. Wegen ihrer Massigkeit und ihrer meist nur schwachen (oft ganz fehlenden) Bewehrung sind Stützwände einer Rissbildung durch Schwind- und Temperatureinwirkungen besonders ausgesetzt. Die Fugen bei Stützwänden haben folgende Aufgaben:

- Verhinderung von Rissen aus Temperatur- und Schwindspannungen,
- Verhinderung schädlicher Auswirkungen auf die Bauwerke aus ungleichen Bewegungen,
- Unterteilung der Betonierabschnitte.

## 18.3 Standsicherheitsnachweise

### 18.3.1 „Äußere“ Standsicherheit

Stützwände sind in der Regel Flachgründungen, wobei durch den aktiven Erddruck ein größerer Horizontal- bzw. Momentbelastungsanteil wirkt. Folgende Nachweise sind analog zu 17.1 für die „äußere“ Standsicherheit einzuhalten:

a) Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

- Nachweis der Sicherheit gegen Grundbruch,
- Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten,
- Nachweis der Sicherheit gegen Kippen,
- ggf. Nachweis der Gesamtstandsicherheit durch den Nachweis der Geländebruchsicherheit.

Die unterschiedlichen Versagensmechanismen zeigt Abb. 18.3 beispielhaft für eine Winkelstützwand.