

2 Berechnung von Flächengründungen nach EC 7-1, Abschnitt 6

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Conrad Boley, Dipl.-Ing. Robert Höppner

2.1 Grundlagen zur Bemessung von Flächengründungen

2.1.1 Neue und alte Normung – Was hat sich (nicht) geändert?

In der DIN 1054:2005-01 [1] umfasste der Abschnitt 7 zu den Flach- und Flächengründungen 12 Seiten. Im Handbuch Eurocode 7 - Band 1 [2] (im Weiteren als Handbuch EC 7-1 bezeichnet), in dem die DIN EN 1997-1:2009-09 [3], DIN EN 1997-1/NA:2010-12 [4] und die DIN 1054:2010-12 [5] zusammengefasst sind, beträgt der Umfang des Abschnitts 6 zu den Flächengründungen insgesamt 22 Seiten. Quantitativ hat der Umfang der Regelungen also zugenommen. Auf die wichtigsten Neuerungen und Änderungen wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

2.1.2 Anwendungsbereich und Geotechnische Kategorien

In den Abschnitten 6.1 bis 6.3 des Handbuchs EC 7-1 werden die Grundlagen zur Berechnung von Flächengründungen geregelt. Es wird dabei keine Unterscheidung zwischen Flach- und Tiefgründungen vorgenommen. Prinzipiell geht es hierbei um Gründungen, bei denen die Lastübertragung in der Sohlfläche stattfindet. Dementsprechend sind die Regelungen für Einzelfundamente, Streifenfundamente und Sohlplatten gültig. Einige Vorgaben lassen sich auch auf Tiefgründungen wie z. B. Senkkästen anwenden¹.

Die Einordnung von Fach- und Flächengründungen in eine Geotechnische Kategorie richtet sich neben den allgemeinen Anforderungen nach DIN 1054:2010-12 Abschnitt A 2.1.2 nach weiteren Vorgaben, die in Abschnitt A 6.1.2 genannt werden. Im Vergleich zur DIN 1054:2005-01 wurden die Beispiele zu für die Zuordnung zu den Geotechnischen Kategorien etwas ausgeweitet und konkretisiert. Unter der Voraussetzung, dass die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse keine höhere Einstufung erforderlich machen, stellt die Geotechnische Kategorie GK 2 weiterhin den Regelfall² für die Zuordnung von Flach- und Flächengründungen dar.

Einzel- und Streifenfundamente mit waagerechter Sohle sowie annähernd waagerechter Geländeoberkante können der Geotechnischen Kategorie 1 zugeordnet werden³, wenn die Baugrundeigenschaften den Anforderungen für den vereinfachten Nachweis entsprechen (siehe Abschnitt 2.1.11) und das Fundament nicht überwiegend dynamisch beansprucht wird. Weiterhin dürfen Gründungsplatten für gut ausgesteifte, maximal zweigeschossige Gebäude der Geotechnischen Kategorie GK 1 zugeordnet werden.

Schwierige Konstruktionen wie beispielsweise Gründungen für hohe Türme oder ausgedehnte Gründungen mit wechselnden Baugrundsteifigkeiten im Grundriss sind der Geotechnischen

¹ DIN EN 1997-1:2009-09, 6.1

² DIN 1054:2010-12, A 6.1.2 A(3)

³ DIN 1054:2012-12, A 6.1.2 A(2)

Kategorie GK 3 zuzuordnen. Die Aufzählungen im Abschnitt A 6.1.2 der DIN 1054:2010-12 geben nur einige Beispiele für die Zuordnung und sind als nicht abschließend zu betrachten. In Bild 2-1 ist die Zuordnung von Bauvorhaben zu den Geotechnischen Kategorien schematisch dargestellt.

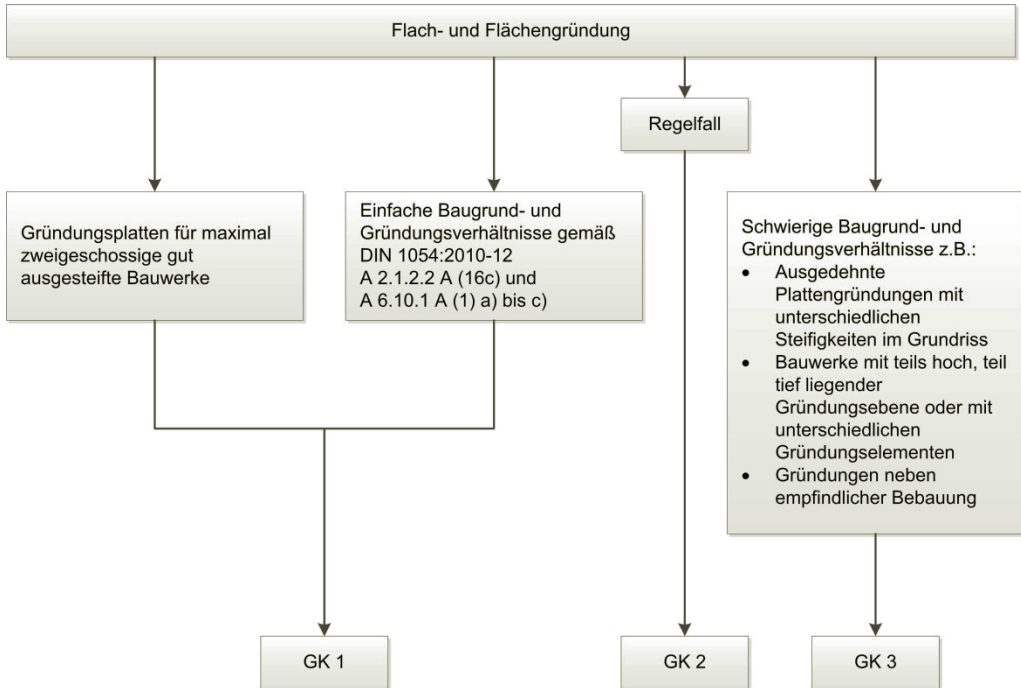


Bild 2-1 Zuordnung von Flächengründungen zu den Geotechnischen Kategorien nach EC 7-1, in Anlehnung an [6]

2.1.3 Grenzzustände und erforderliche Nachweise

Für Flächengründungen ist nachzuweisen, dass sowohl der Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State (ULS), früher GZ 1) als auch der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Serviceability Limit State (SLS), früher GZ 2) mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können. Die unterschiedlichen Versagenszustände, die zum Nachweis von Flachgründungen erforderlich werden können, sind in Tabelle 1 zusammengefasst⁴.

Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Flachgründungen sind meist das Gleiten und der Grundbruch die relevanten Versagensfälle des Baugrunds. Stützbauwerke und Gründungen im Bereich von Geländesprüngen erfordern zusätzlich den Nachweis der Gesamtstandsicherheit. Mit der Einführung der Eurocodes wurde der Nachweis gegen Kippen um die Außenkante (fiktive Kippkante) neu in die Nachweisführung aufgenommen. Der Nachweis der zulässigen

⁴ vgl. DIN EN 1997-1:2009-09, 6.2

Ausmittigkeit wird jetzt nicht mehr als Ersatz für den Kippnachweis geführt, wie es in der DIN 1054:2005-01 der Fall war, sondern ist jetzt als Nachweis gegen Fundamentverdrehung und Begrenzung der klaffenden Fuge im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit definiert.

Bei Gründungen im Grundwasser ist weiterhin der Nachweis gegen Aufschwimmen zu führen. Die Nachweise gegen Materialversagen (innere Tragfähigkeit des Fundaments) sind nicht Bestandteil des vorliegenden Abschnitts, da diese in den jeweiligen Bauartennormen geregelt werden.

Tabelle 2.1 Erforderliche Nachweise für Flächengründungen

Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)
Nachweis der Gesamtstandsicherheit – GEO-3	Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge
Grundbruchnachweis – GEO-2	Verschiebung in der Sohlfläche
Gleitnachweis – GEO-2	unzulässige Setzungen und Verdrehungen
Kippnachweis – EQU	unzulässige Hebungen
Nachweis gegen Aufschwimmen - UPL	unzulässige Schwingungen
Nachweis gegen Materialversagen - STR	ggf. weitere bauwerksabhängige Nachweise

Die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit dienen vor allen Dingen der Begrenzung der Verformungen. Außer dem Nachweis der Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge werden unter anderem Setzungen, Verdrehungen und Verschiebungen in der Sohlfläche untersucht. Die zulässigen Werte sind dabei individuell, in Abhängigkeit vom Bauwerk und dessen Nutzung, festzulegen. Im informativen Anhang H der DIN EN 1997-2009-09 Anhaltswerte für unterschiedliche Verformungen gegeben.

In einfachen Fällen ist auch weiterhin eine Bemessung von Flachgründung mit Tabellenwerten für den Sohlwiderstand möglich. Es ist jetzt allerdings in der DIN 1054:2010-12 nicht mehr der aufnehmbare Sohldruck σ_{zul} , angegeben, sondern der Bemessungswert des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$.

2.1.4 Nachweisverfahren

Der EC 7-1 unterscheidet die drei verschiedenen Nachweisverfahren GEO-1, GEO-2 und GEO-3. Weiterhin wurden mit dem Eurocode auch in der Geotechnik die Kombinationsregeln eingeführt. Diese sind entsprechend bei der Berechnung des Bemessungswerts der Beanspruchung zu berücksichtigen.

Die Nachweise der Grundbruch- und Gleitsicherheit sind in Deutschland mit den Nachweisverfahren GEO-2 zu führen. Daraus ergibt sich somit der folgende Ablauf. Zu Beginn werden die charakteristischen Einwirkungen ermittelt. Aus diesen werden die Beanspruchungen in der Fundamentsohle abgeleitet. Mithilfe der charakteristischen geotechnischen Kenngrößen und der charakteristischen Beanspruchungen können dann der Grundbruch- und Gleitwiderstand berechnet werden. Durch die Faktorisierung der charakteristischen Beanspruchungen und Widerstände mit den Teilsicherheitsbeiwerten werden die jeweiligen Bemessungswerte gebildet, wobei ggf. die Kombinationsregeln zu berücksichtigen sind. Anschließend erfolgt der Ver-

gleich des Bemessungswertes der Beanspruchung mit dem Bemessungswert des Widerstands, wobei die bekannte Ungleichung

$$E_d \leq R_d \quad (3.1)$$

einzuhalten ist. Das Nachweiskonzept ist in Bild 2-2 dargestellt. Wie die Nachweise gegen Kippen und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu führen sind, wird in den Abschnitten 2.1.10.4 bis 2.1.11.4 erläutert.

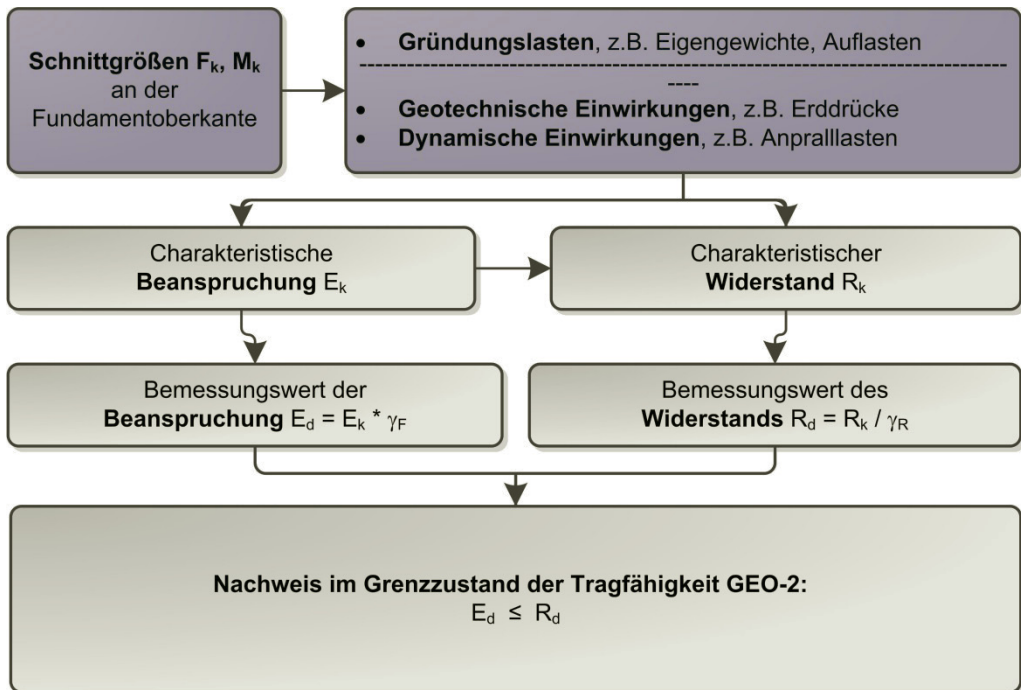


Bild 2-2 Nachweiskonzept für die Grundbruch- und Gleitsicherheit von Flach- und Flächengründungen im Nachweisverfahren 2

2.1.5 Einwirkungen auf Flächengründungen

Auf Flächengründungen wirken Gründungslasten, geotechnische Einwirkungen und ggf. dynamische Einwirkungen. In Bild 2-3 sind die Einwirkungen auf ein Einzelfundament schematisch dargestellt. Die Gründungslasten ergeben sich aus der statischen Berechnung und greifen in Höhe der Oberkante der Gründungskonstruktion an⁵. Übliche zyklische, dynamische oder stoßartige Einwirkungen aus Regellasten auf Bauwerke und Verkehrsflächen dürfen ersatzweise als statische Einwirkung berücksichtigt werden⁶. Bei erheblichen veränderlichen Einwirkun-

⁵ DIN 1054:2010-12, A 2.4.2.3

⁶ DIN 1054:2010-12, A 2.4.2.1 A (8a)

gen, z. B. bei Maschinenfundamenten oder Stößen durch Anprall, ist zu prüfen, ob besondere Untersuchungen zur Erfassung des dynamischen Verhaltens erforderlich sind⁷.

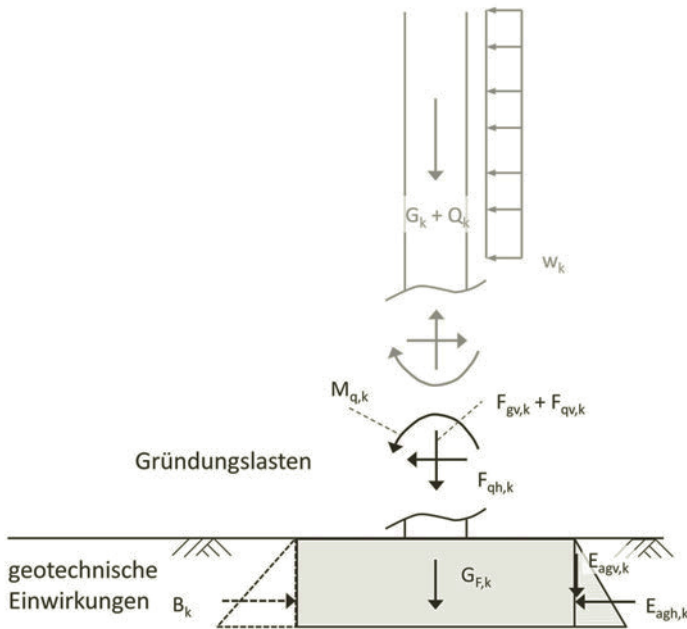


Bild 2-2 Einwirkungen auf ein Einzelfundament

Die geotechnischen Einwirkungen ergeben sich beispielsweise aus dem Eigengewicht der Gründungskonstruktion und aus den angreifenden Erd- und Wasserdrücken. Entsprechend dem Handbuch EC 7-1 sind beim Grundbruchnachweis alle Erddrücke, unabhängig davon, ob sie günstig oder ungünstig wirken, anzusetzen⁸ und beim Nachweis der Gleitsicherheit sind alle aktiven Erddrücke zu berücksichtigen⁹.

In Bild 2-3 ist die Bodenreaktion B_k an der Stirnseite ebenfalls mit eingetragen. Ihrer Natur nach ist die Bodenreaktion ein Widerstand. Da beim Grundbruchnachweis jedoch nur der sohlflächennormale Widerstand betrachtet wird, wird der positive Einfluss der Bodenreaktion beim Grundbruchnachweis indirekt über den Weg einer günstig wirkenden Einwirkung berücksichtigt. Diese darf jedoch maximal mit 50 % des passiven Erdwiderstands, angesetzt werden, damit keine übermäßigen Verformungen auftreten. Weiterhin darf die Bodenreaktion maximal so groß sein, wie die entgegenwirkende charakteristische horizontale Einwirkung H_k , was sich aus der Gleichgewichtsbetrachtung erschließt. Gegenüber der DIN 1054:2005-09 wird in der DIN 1054:2010-12 darauf hingewiesen, dass der Erdwiderstand hierbei mit einem Neigungswinkel von $\delta = 0$ zu ermitteln ist.

⁷ DIN 1054:2010-12, A 2.4.2.1 A (8b)

⁸ DIN EN 1997-2009-09, 6.5.2.1 (3)P

⁹ DIN EN 1997-2009-09, 6.5.3 (3)P

2.1.6 Charakteristische Beanspruchungen

Die Gleit- und Grundbruchnachweise unterstellen das Versagen des Bodens unterhalb des Fundaments. Für geotechnische Nachweise sind somit die Beanspruchungen in der Kontaktfläche zwischen Boden und Bauwerk maßgebend. Dementsprechend werden die Beanspruchungen in der Sohlfuge der Gründung als Resultierende V_k und H_k in sohlflächennormaler und sohlflächenparalleler Richtung berechnet. Zusätzlich ergibt sich aus einer Momentenbelastung die Ausmitte e , die die Verschiebung der Sohldruckresultierenden von der Fundamentmitte aus beschreibt.

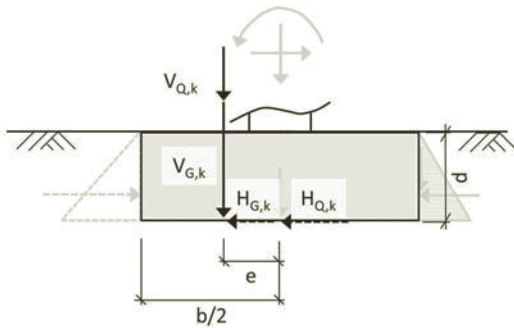


Bild 2-3 Beanspruchungen in der Sohlfläche

Die Beanspruchungen sind zur Bildung der Lastfallkombinationen mit Kombinationsbeiwerten, getrennt nach den Ursachen der Einwirkung zu bestimmen. Bei mehreren unabhängigen veränderlichen Einwirkungen sind weiterhin verschiedene Lastkombinationen zu untersuchen. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die charakteristischen Beanspruchungen in die Berechnung des Grundbruchwiderstands eingehen.

Wie bereits in Abschnitt 2.1.5 erwähnt, darf die Bodenreaktion an der Stirnseite als günstige Einwirkung beim Grundbruchnachweis angesetzt werden¹⁰. Die Vorgehensweise ist in Bild 2-4 dargestellt. Durch den Ansatz der Bodenreaktion wird die Neigung der Sohldruckresultierenden verringert, was sich positiv auf den Grundbruchwiderstand auswirkt. Die Bodenreaktion darf nur angesetzt werden, wenn nicht mit Abgrabungen neben dem Fundament zu rechnen ist. Neben der Verringerung der Lastneigung wird auch die Ausmittigkeit reduziert.

¹⁰ DIN 1054:2010-12, 6.5.2.2, A(10)

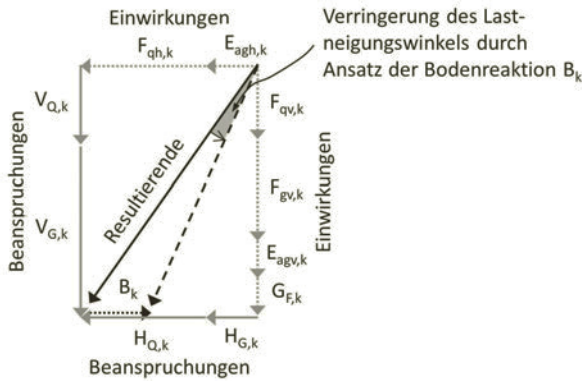


Bild 2-4 Krafteck der Einwirkungen und Beanspruchungen sowie die Abminderung des Lastneigungswinkels durch den Ansatz der Bodenreaktion B_k

2.1.7 Bemessungswerte der Beanspruchungen

Die Bemessungswerte der sohlflächenparallelen und sohlflächennormalen Beanspruchung werden durch Multiplikation der charakteristischen Werte der Beanspruchungen mit den jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerten berechnet:

$$H_d = H_{G,k} \cdot \gamma_G + H_{Q,k} \cdot \gamma_Q \quad (2.2)$$

$$V_d = V_{G,k} \cdot \gamma_G + V_{Q,k} \cdot \gamma_Q \quad (2.3)$$

Wirken mehrere veränderliche Einwirkungen auf eine Flächengründung, so sind Kombinationsbeiwerte für die Bestimmung des Bemessungswertes der Beanspruchung zu verwenden. Für die Bemessungssituationen BS-P und BS-T gilt für Berechnungen mit linear-elastischer Theorie und unter Voraussetzung der Gültigkeit des Superpositionsprinzips folgende Gleichung:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot E(G_{k,j}) + \gamma_P \cdot E(P_k) + \gamma_{Q,1} \cdot E(Q_{k,1}) + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot E(Q_{k,i}) \quad (2.4)$$

Hiebei ist zu untersuchen, in welcher Kombination sich aus Beanspruchungen aus der Leiteinwirkung $E(Q_{k,1})$ und den Beanspruchungen aus den begleitenden veränderlichen Einwirkungen $E(Q_{k,i})$ der größte Bemessungswert der Beanspruchungen ergibt. Zu beachten ist, dass für unterschiedliche Nachweise verschiedene Kombinationen maßgebend werden können.

Bei einer orthogonalen zweiachsigen Belastung in x- und y-Richtung kann die sohlflächenparallele, resultierende Beanspruchung mit dem Ansatz aus DIN 1054:2005-09 berechnet werden. Dieser Ansatz ist in der neuen Norm nicht mehr explizit angegeben:

$$H_d = \sqrt{H_{d,x}^2 + H_{d,y}^2} \quad (2.5)$$

2.1.8 Berechnung der charakteristischen Widerstände

2.1.8.1 Charakteristischer Grundbruchwiderstand

Nach den nationalen Festlegungen der DIN 1054:2010-12 ist der Grundbruchwiderstand gemäß DIN 4017 zu berechnen¹¹. Die Berechnung erfolgt somit nach der bekannten dreigliedrigen Grundbruchformel. Als Änderung zur Vorgängernorm wurde in der DIN 4017:2006-03 [7] der Lastneigungsbeiwert (früher κ jetzt i für *inclination*) neu definiert, sodass keine Iterationen mehr notwendig sind. Der Grundbruchwiderstand berechnet sich zu:

$$R_{n,k} = a' \cdot b' \cdot (\gamma_2 \cdot b' \cdot N_b + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d + c \cdot N_c) \quad (2.6)$$

mit:

$$\begin{aligned} N_b &= N_{b0} \cdot v_b \cdot i_b \cdot \lambda_b \cdot \xi_b && \text{Einfluss der Fundamentbreite} \\ N_d &= N_{d0} \cdot v_d \cdot i_d \cdot \lambda_d \cdot \xi_d && \text{Einfluss der Einbindetiefe} \\ N_c &= N_{c0} \cdot v_c \cdot i_c \cdot \lambda_c \cdot \xi_c && \text{Einfluss der Kohäsion} \end{aligned}$$

und:

$$\begin{aligned} N_{b0}; N_{d0}; N_{c0} &&& \text{Grundwerte der Tragfähigkeitsbeiwerte} \\ v_b; v_d; v_c &&& \text{Formbeiwerte} \\ i_b; i_d; i_c &&& \text{Lastneigungsbeiwerte} \\ \lambda_b; \lambda_d; \lambda_c &&& \text{Geländeneigungsbeiwerte} \\ \xi_b; \xi_d; \xi_c &&& \text{Sohlneigungsbeiwerte} \end{aligned}$$

2.1.8.2 Charakteristischer Gleitwiderstand

Durch die unterschiedlichen Nachweisverfahren werden in der DIN EN 1997-1:2009-09 unterschiedliche Gleichungen zur Ermittlung des Gleitwiderstands gegeben, in denen die Teilsicherheitsbeiwerte an verschiedenen Stellen berücksichtigt werden. Durch die ergänzenden Regelungen der DIN 1054:2010-12 wird die Ermittlung des Gleitwiderstands in der Sohlfläche auf die aus DIN 1054:2005-01 bekannten Gleichungen beschränkt. Zum Nachweis der Gleitsicherheit ist bei der Berechnung des Gleitwiderstands zwischen drei Fällen zu unterscheiden:

1. Gleitwiderstand im Anfangszustand bei wassergesättigten bindigen Böden im undrainierten Zustand:

$$R_k = A \cdot c_{u,k} \quad (2.7)$$

Die Fläche A wird im EC 7-1 für diesen Nachweis nicht genauer definiert. Es bleibt offen, ob für die Berechnung die gesamte überdrückte Fläche angesetzt werden darf, oder ob eine Reduktion auf eine Teilfläche A' , die so bemessen ist, dass die Sohldruckresultierende wieder im Mittelpunkt liegt, vorzunehmen ist, wie dies in der DIN 1054:1976-11 vorgesehen war und auch jetzt noch bei der vereinfachten Nachweisführung mit Tabellenwerten berücksichtigt wird.

¹¹ DIN 1054:2010-12, 6.5.2.2 A (8)

2. Gleitwiderstand bei vollständig konsolidierten (Endzustand) bindigen oder bei nicht bindigen Böden:

$$R_k = V_k \cdot \tan \delta_{s,k} \quad (2.8)$$

Wird der Sohlreibungswinkel $\delta_{s,k}$ nicht explizit ermittelt, dürfen in Abhängigkeit des Herstellungsverfahrens und des charakteristischen Reibungswinkels folgende Werte angesetzt werden¹²:

$$\delta_{s,k} = \varphi'_k; \delta_{s,k} \leq 35 \quad \text{für Ortbetonfundamente}$$

$$\delta_{s,k} = 2/3 \varphi'_k \quad \text{für Fertigteile (ohne Mörtelbett)}$$

3. Gleitwiderstand im Endzustand, wenn die Bruchfläche durch den Boden verläuft (z. B. bei Fundamenten mit Sporn oder abgeschrägter Sohlfläche):

$$R_k = V_k \cdot \tan \varphi'_k + A \cdot c'_k \quad (2.9)$$

Der Gleitwiderstand ist in den Fällen 2 und 3 abhängig von den sohlflächennormalen charakteristischen Einwirkungen. Greifen eine unter dem Winkel δ geneigte, veränderliche Einwirkungen an, ist zu überprüfen, ob sich diese günstig oder ungünstig auf den Gleitwiderstand auswirken. Günstig wirkende veränderliche Einwirkungen dürfen bei der Berechnung des Gleitwiderstands nicht angesetzt werden. Entsprechend Bild 2-5 wirkt eine Einwirkung $F_{Q,k}$ günstig, wenn gilt:

$$\tan \delta_{s,k} \geq \tan \delta$$

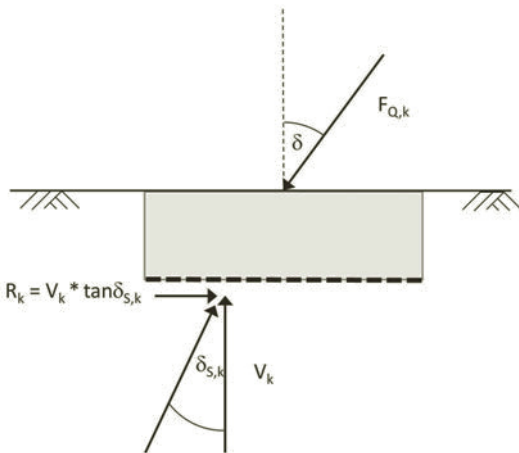


Bild 2-5 Wirkrichtung von Beanspruchungen und Widerständen für die Berechnung des Gleitwiderstands

Neben dem Widerstand in der Sohlfuge darf beim Gleitnachweis der Erdwiderstand an der Stirnseite des Fundaments angesetzt werden, sofern gewährleistet ist, dass der Erdwiderstand

¹² DIN 1054:2010-12, A 6.5.3, A (10)

dauerhaft vorhanden ist und die Verformungen ausreichend groß sind, um den Erdwiderstand zu wecken. Der Erdwiderstand ist dabei auf der Basis von gekrümmten oder zusammengesetzten ebenen Gleitflächen mit einem Erddruckneigungswinkel von $\delta = 0$ zu berechnen¹³.

2.1.9 Bemessungswerte der Widerstände

Die Bemessungswerte der Widerstände ergeben sich aus der Division der charakteristischen Widerstände durch den jeweiligen Teilsicherheitsbeiwert für den Grundbruchwiderstand wie folgt¹⁴:

$$R_d = R_{n,k} / \gamma_{R,v} \quad (2.10)$$

mit:

$\gamma_{R,v}$ - Teilsicherheitsbeiwert für den Grundbruchwiderstand

Der Bemessungswert des Gleitwiderstands ergibt sich aus dem Bemessungswert des Sohlwiderstands und ggf. dem Bemessungswert des Erdwiderstands^{15,16,17}:

$$R_d = \frac{A \cdot c_u}{\gamma_{R,h}} \quad (\text{unkonsolidiert}) \quad (2.11)$$

$$R_d = V_k \cdot \tan \delta_{S,k} / \gamma_{R,h} \quad (\text{konsolidiert}) \quad (2.12)$$

$$R_d = (V_k \cdot \tan \varphi'_k + A \cdot c'_k) / \gamma_{R,h} \quad (\text{Bruch im Boden}) \quad (2.13)$$

$$R_{p,d} = R_{p,k} / \gamma_{Ep} \quad (\text{Erdwiderstand}) \quad (2.14)$$

mit:

$\gamma_{R,h}$ - Teilsicherheitsbeiwert für den Gleitwiderstand

γ_{Ep} - Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand

¹³ DIN 1054:2010-12, 6.5.3, A (16)

¹⁴ DIN 1054:2010-12, 6.5.2.2 A (9)

¹⁵ DIN 1054:2010-12, 6.5.3 A (8)

¹⁶ DIN 1054:2010-12, 6.5.3 A (11)

¹⁷ DIN 1054:2010-12, 6.5.3 A (16)

Geotechnische Nachweise und Bemessung nach EC 7
und DIN 1054

Grundlagen und Beispiele

Boley, C. (Hrsg.)

2015, X, 235 S. 134 Abb., 3 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-07841-6