**Bestimmung des äusseren Tragwiderstands eines Flachfundaments**

Ziel:

Rasche Berechnung des Baugrundwiderstand eines Flachfundaments bezüglich Grundbruch, Gleiten und Kippen um den Nachweis der äusseren Tragsicherheit zu führen.

Grundlagen

-SIA 260-267

-Lang et al. Bodenmechanik und Grundbau (8., ergänzte Auflage, 2007) Springer Verlag

-Ladd etc.

Anforderungen der Norm

- Kippen (GZ Typ 1), noch nicht hier behandelt

- Erreichen des inneren Tragwiderstands des Fundaments (nicht hier behandelt), GZ Typ 2

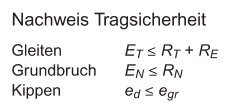
- Grundbruch durch Erreichen des Baugundwiderstands, GZ Typ 2

- Abgleiten entlang der Sohle infolge Horizontalkräfte, GZ Typ 2

- weitere (Geländebruch) nicht hier behandelt, GZ Typ 3

[Dokument zustand: Gleichungsnummerierungen fehlen noch, Kippen ist noch nicht ausführlich beschrieben. Anwendungsbeispiel am Schluss wäre nice-to-have.

Berechnungsmodelle

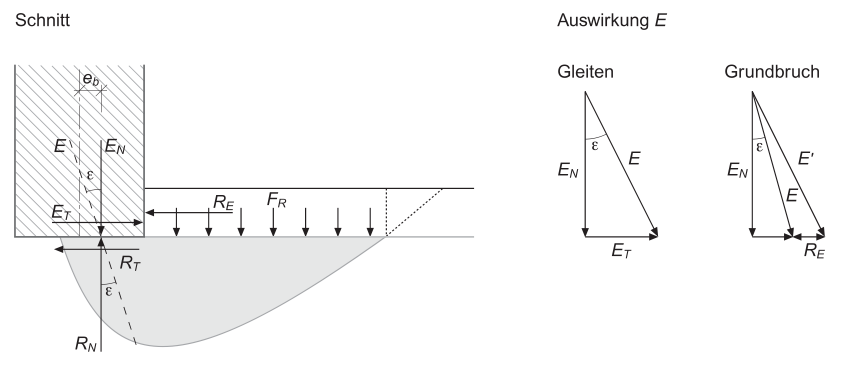


*Grundbruch, γR≈1.0 (…1.2)*

Der Grundbruchwiderstand wird mit einer erweiterten Tragfähigkeitsformel (Eq 1) berechnet. Die Tragfähigkeitsfaktoren Nc, Nq und Ny werden mit den Gleichungen (2-4) bestimmt. Der Einfluss von Lastexzentrizität und Lastneigung, Einbindetiefe und Fundamentform sowie Geländeneigung wird anhand dem Vorgehen in Lang et al. (2007) und den dort angegebenen Korrekturfaktoren berücksichtigt. Das Widerstandsmodell genügt damit den Anforderungen von SIA 267 Ziffer 8.4.4.4.

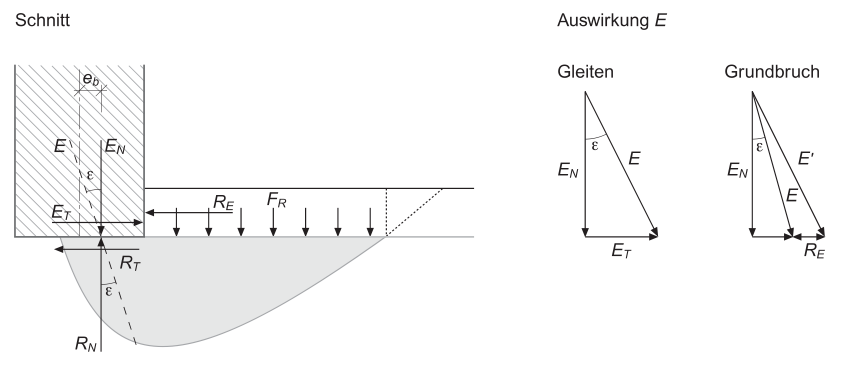
Für die Bodenparameter, die als Eingangsgrössen verwendet werden, sind charakteristische Grössen anzugeben, welche dann in der Berechnung auf Bemessungsgrössen abgemindert werden. (8.5.2.1, ). Die Partialfaktoren sind dabei gemäss Tabelle 1 (SIA 267): angesetzt. (Beobachtungsmethode lässt kleinere Partialfaktoren zu.)

Für den Nachweis gegen Grundbruchversagen darf ein seitlicher Erddruckwiderstand gegebenenfalls nach SIA 267 Ziffer 8.4.3.2-4 auf der Einwirkungsseite (z.B. passiv-aktiv) berücksichtigt werden. Die horizontalen Kräfte als Einwirkung auf die Fundamentsohle resp. die Lastneigung sind dabei leicht günstiger als ohne seitlichen Erddruckwiderstand.



*Gleiten(γR≈1.0?, noch nachzuschauen)*

Der Nachweis gegen Gleiten ist im Grundbruchnachweis eigentlich mit dem Lastneigungsfaktor abgedeckt. Da die Norm 267 aber den seitlichen Erdwiderstand hier auf der Widerstandsseite einführt, wird zusätzlich der reine Gleitnachweis am Schnittkörperdiagramm [Figur unten aus Norm] geführt. Der aktive Erddruck auf der gegenüberliegenden Seite ist in der Einwirkung zu berücksichtigen (v.a. bei Stützmauern). Bei untief (<1m) gegründeten Flachfundamenten für Stützen kann der aktive Erddruck bei standfestem Boden auch vernachlässigt werden.



Der passive Widerstand ist als mit und zu berechnen (keine Wandreibung)

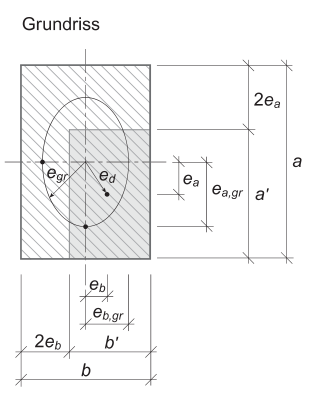
Kippen (Todo)

Andere Einwirkung (da anderer Grenzzustand), deshalb nicht in derselben Funktion berücksichtigt. Unter Annahme eines starren Fundaments wird eine klaffende Fuge bi s in die Hälfte des Fundaments zugelassen. (e<1/3b). Die Interaktion von Quer und Längskräfte wird mit der Formel (5) berücksichtigt:

Formeln und Umsetzung

*Grundbruch*

**Exzentrizität:** Eine exzentrisch auf die Fundamentsohle angreifende Gesamtreaktion bewirkt eine reduktion des Tragvermögens. Dies kann mit einer Reduktion der effektiv wirksamen Fläche approximativ Berücksichtigt werden. (Wirksame Fläche wie in SIA 267, Figur 4)



**Formfaktor:** Abweichung der realen Fundamentabmessungen (a‘,b‘ ) vom Fall eines unendlich langen Streifenfundaments

Die Faktoren sind eigentlich nur für a‘>b‘ definiert, wobei ein Mechanismus in b‘-Richtung vorausgesetzt wird. Falls aufgrund geometrischer Rangbedingungen oder aufgrund der Lastrichtung das Versagen in a‘-Richtung untersucht werden soll, ist a‘ mit b‘ hier und in allen folgenden Gleichungen zu vertauschen. [nicht validierte Annahme, die aber von allen gemacht wird]

[ ist für grosse phi sehr konservativ]

**Tiefenfaktoren** machen den Einfluss der Fundationstiefe sichtbar. (bei unterschiedlichen Fundationstiefen (z.B. Winkelstützmauer) ist die Tiefe auf der seite des Versagensmechanismus einzusetzen.

**Lastneigungsfaktor** berücksichtigen die Abweichung der Lastrichtung von der Normalen auf die Fundamentsohle (δR). Siehe Bild 9.2.15 aus Lang et. al. N=Normalkraft, T=Tangentialkraft

Die Faktoren in LHAP berücksichtigen sogar eine allenfalls vorhandene Sohlneigung (α). Bei der Verwendung der Grundbruch-Funktion ist darauf zu achten, dass die Einwirkungen Fx und Fz als auch der Widerstand und sich auf Vertikale respektive Horizontale Kräfte beziehen. Dabei wird angenommen, dass die Spannung in Gleichung (1) in vertikaler Richtung bleibt.

Die Faktoren lassen sich für c=0 unabhängig von Kraftbetrag berechnen (nur Lastneigung ist massgebend). Für c≠0 ist der Betrag der resultierenden Einwirkung anzugeben. [Optional Parameter in der VBA-Funktion]

Die **Neigung des Geländes** (β in Grad) auf der Seite des Versagensmechanismus kann durch die folgenden Faktoren berücksichtigt werden. (β positiv für abfallendes Gelände)

Verschiedene Autoren geben stark auseinandergehende Angaben an. Laut Lang et al. sind die oben angegebenen Grössen eher konservativ. Eine günstige Wirkung der Geländeneigung kann/soll? damit nicht berücksichtigt werden. Die VBA-Funktion macht eine konservative Annahme und rechnet bei negativen Eingaben mit horizontalem Gelände.

Die **Neigung des Fundaments** (α in Grad) wird bei Stützmauern teilweise eingeführt um den Nachweis gegen Gleiten zu erbringen. Die Neigung hat auf den Grundbruchwiderstand einen negativen Einfluss der mit den folgenden Faktoren berücksichtigt werden kann. Die Faktoren sind nur für positive definiert (Bild 9.2.15 in LHAP, positive sind „sinnvoll“ für das Gleiten). Für negative (Mechanismus in entgegengesetzte Richtung ) sind die Faktoren konservativ mit 1 anzusetzen.

Excelfunktionen

Grundbruch(c, phi, gamma, q\_soil, t\_soil, b, Optional L = 0, Optional omega = 0, Optional eB = 0, Optional eL = 0, Optional beta = 0, Optional alpha = 0, Optional Fresb = 0)

' FuncDesc = "Berechnet die zulässige Bodenpressung Rd,N in [kN] aufgrund der angegebenen Bodenparametern, Fundamentgeometrie und Belastungsrichtung"

' ArgDesc(1) = "Kohäsion in kPa"

' ArgDesc(2) = "Reibungswinkel in Grad "

' ArgDesc(3) = "Bodengewicht unter Fundament kN/m3”

' ArgDesc(4) = "Auflast neben Fundament auf Niveau Sohle (inkl. Bodengewicht) in kPa"

' ArgDesc(5) = "Einbindetiefe (Abstand OKT zur Sohle) in m"

' ArgDesc(6) = "Breite des Fundaments in Versagensrichtung in m"

' ArgDesc(8) = "Abweichung der Kraftrichtung zur Vertikalen in Grad [Default=0]"

' ArgDesc(7) = "Länge des Fundaments quer zur Versagensrichtung in m [Default=0]"

' ArgDesc(9) = "Exzentrizität der Resultierenden in Versagensrichtung in m [Default=0]"

' ArgDesc(10) = "Exzentrizität der Resultierenden quer zur Versagensrichtung in m [Default=0]"

' ArgDesc(11) = "Geländeneigung in Grad [Default=0]"

' ArgDesc(12) = "Sohlneigung in Grad [Default=0]"

' ArgDesc(13) = "Betrag der resultierenden Einwirkung in Versagensebene, nötig falls c>0"

Anwendungsbeispiele:

Code VBA: (Version 16.01.2018)

Function Grundbruch(c, phi, gamma, q\_soil, t\_soil, b, \_

Optional L = 0, Optional omega = 0, Optional eB = 0, Optional eL = 0, \_

Optional beta = 0, Optional alpha = 0, Optional Fresb = 0)

' FuncDesc = "Berechnet die zulässige Bodenpressung Rd,N in [kN] aufgrund der angegebenen Bodenparametern, Fundamentgeometrie und Belastungsrichtung"

' ArgDesc(1) = "Kohäsion in kPa"

' ArgDesc(2) = "Reibungswinkel in Grad "

' ArgDesc(3) = "Bodengewicht unter Fundament kN/m3”

' ArgDesc(4) = "Auflast neben Fundament auf Niveau Sohle (inkl. Bodengewicht) in kPa"

' ArgDesc(5) = "Einbindetiefe (Abstand OKT zur Sohle) in m"

' ArgDesc(6) = "Breite des Fundaments in Versagensrichtung in m"

' ArgDesc(8) = "Abweichung der Kraftrichtung zur Vertikalen in Grad [Default=0]"

' ArgDesc(7) = "Länge des Fundaments quer zur Versagensrichtung in m [Default=0]"

' ArgDesc(9) = "Exzentrizität der Resultierenden in Versagensrichtung in m [Default=0]"

' ArgDesc(10) = "Exzentrizität der Resultierenden quer zur Versagensrichtung in m [Default=0]"

' ArgDesc(11) = "Geländeneigung in Grad [Default=0]"

' ArgDesc(12) = "Sohlneigung in Grad [Default=0]"

' ArgDesc(13) = "Betrag der resultierenden Einwirkung in Versagensebene, nötig falls c>0"

Const PI As Double = 3.14159265358979

'

'Normparameter

gamma\_phi = 1.2

gamma\_c = 1.5

gamma\_g = 1#

'Designparameter

cd = c / gamma\_c 'Cohesion design [kPa]

phid = Atn(Tan(phi / 180 \* PI) / gamma\_phi) 'Friction angle design [rad]

gammad = gamma / gamma\_g 'density design [kN/m3]

'--------------------------------------------------------------------------------

'Inputparameter für die Tragfähigkeitsformel auf die Konventionen vorbereiten:

'------ Fundamentneigung, Böschungsneigung und Lastneigung können nur in "b"-Richtung berücksichtigt werden.

'------ alpha, beta und omega sind nur eingeschränkt gültig. Für werte ausserhalb des

'------ Gültigkeitsbereichs werden folgende konservativen Annahmen getroffen

'------ Auch die Exzentrizität infolge Moment oder Verschobener Resultierenden wird nur für ungünstige Kombinationen berücksichtigt.

alpha = Application.Max(0, alpha) 'nicht definiert für negative Werte, Konservativer cutoff bei 0

beta = Application.Max(0, beta) 'nicht definiert für negative Werte, Konservativer cutoff bei 0

'Abfangen von negativen oder entgegensetzten Effekten (Lastneigung, Exzentrizität)

If omega <= 0 And eB <= 0 Then 'beide negativ oder null->Versagen in andere Richtung

omega = Abs(omega)

eB = Abs(eB)

Else

If (omega < 0 And eB > 0) Or (omega > 0 And eB < 0) Then 'Lastneigung ist Exzentrizität entgegengesetzt

'im Fall von günstiger Lastneigung wird sie vernachlässigt (omega=0). Das Vorzeichen der Exzentrizität wird an die Konvention angepasst.

X1 = Grundbruch(c, phi, gamma, q\_soil, t\_soil, b, L, 0, Abs(eB), eL, beta, alpha, Fresb) 'Achtung Rekursion

'im Fall von günstiger Exzentrizität wird sie vernachlässigt (eB=0). Das Vorzeichen der Lastneigung wird an die Konvention angepasst.

X2 = Grundbruch(c, phi, gamma, q\_soil, t\_soil, b, L, Abs(omega), 0, eL, beta, alpha, Fresb) 'Achtung Rekursion

Grundbruch = Application.Min(X1, X2)

End If

'der verbleibende Fall, wo beide Werte positiv sind, erfüllt die Konvention ohne Anpassung.

End If

'Reduzierte Fundamentfläche für exzentrisch belastete Sohle. (Ausschliessen von negativer Fläche)

beff = Application.Max(0, b - 2 \* Abs(eB))

leff = Application.Max(0, L - 2 \* Abs(eL)) 'in der Richtung senkrecht zum Mechanismus wird die Exzentrizität berücksichtigt (immer ungünstig).

If L = 0 Then 'unendliches Streifenfundament-> Output ist in [kN/m], Fresb muss in kN/m angegeben werden

leff = 1

End If

'Überprüfen von kombinierter Wirkung von Kohäsion bei gleichzeitiger Lastneigung, der Betrag muss definiert sein.

If c > 0 Then

If Fresb = 0 And (omega - alpha <> 0) Then

Grundbau = "Für c>0 muss infolge Lastneigung zur Sohle ein Kraftbetrag angegeben werden."

End If

R = Fresb 'mit Kohäsion wird der Betragbenötigt falls die Kraft nicht senkrecht auf die Sohle wirkt.

Else

R = 1 'ohne Kohäsion ist nur die Richtung massgebend

End If

N = R \* Cos(omega / 180 \* PI - alpha / 180 \* PI) 'Normalkraft auf geneigte Sohle

t = R \* Sin(omega / 180 \* PI - alpha / 180 \* PI) 'Tangentialkraft auf geneigte Sohle

'

'--------------------------------------------------------------------------------

'Alle folgenden Faktoren werden nach Lang et al. (8.Auflage) Kapitel 9 berechnet.

'Sie bilden die Grundlage zur erweiterten Tragfähigkeitsformel nach Terzaghi.

'--------------------------------------------------------------------------------

'Tragfaehigkeitsfaktoren

Nq = Exp(PI \* Tan(phid)) \* Tan(PI / 4 + 0.5 \* phid) ^ 2

Ng = 1.8 \* (Nq - 1) \* Tan(phid)

Nc = (Nq - 1) / Tan(phid)

'Korrekturfaktoren

'Form

If L = 0 Then

sc = 1

sq = 1

sg = 1

Else: 'Use leff

sc = 1 + beff / leff \* Nq / Ng

sq = 1 + beff / leff \* Tan(phid)

sg = 1 - 0.4 \* beff / leff

End If

'Tiefe

dc = 1 + 0.007 \* 180 / PI \* Atn(t\_soil / beff)

dq = 1 + 0.035 \* 180 / PI \* Tan(phid) \* (1 - Sin(phid)) ^ 2 \* Atn(t\_soil / beff)

dg = 1

'Lastneigung

'Use leff2, fuer c<>0 muss auch der Kraftbetrag bekannt sein.

iq = (1 - 0.5 \* t / (N + beff \* leff \* cd / Tan(phid))) ^ 5

ig = (1 - (0.7 - alpha / 450) \* t / (N + beff \* leff \* cd / Tan(phid))) ^ 5

ic = 1 - (1 - iq) / (Nq - 1)

'Gelaendeneigung

gc = 1 - beta / 147

gq = (1 - 0.5 \* Tan(beta / 180 \* PI)) ^ 5

gg = gq

'Fundamentneigung

bdc = 1 - alpha / 147

bdq = Exp(-2.005 \* alpha / 180 \* PI \* Tan(phid))

bdg = Exp(-2.693 \* alpha / 180 \* PI \* Tan(phid))

sigma\_f = cd \* Nc \* sc \* dc \* ic \* gc \* bdc + (q\_soil) \* Nq \* sq \* dq \* iq \* gq \* bdq + 0.5 \* gammad \* Ng \* sg \* dg \* ig \* gg \* bdg

Grundbruch = sigma\_f \* beff \* leff

End Function

Sub DescribeFunction1()

Dim FuncName As String

Dim FuncDesc As String

Dim Category As String

Dim ArgDesc(1 To 13) As String

FuncName = "Grundbruch"

FuncDesc = "Berechnet die zulässige Bodenpressung Rd,N in [kN] aufgrund der angegebenen Bodenparametern, Fundamentgeometrie und Belastungsrichtung"

ArgDesc(1) = "Kohäsion in kPa"

ArgDesc(2) = "Reibungswinkel in Grad "

ArgDesc(3) = "Bodengewicht unter Fundament kN/m3”"

ArgDesc(4) = "Auflast neben Fundament auf Niveau Sohle (inkl. Bodengewicht) in kPa"

ArgDesc(5) = "Einbindetiefe (Abstand OKT zur Sohle) in m"

ArgDesc(6) = "Breite des Fundaments in Versagensrichtung in m"

ArgDesc(8) = "Abweichung der Kraftrichtung zur Vertikalen in Grad [Default=0]"

ArgDesc(7) = "Länge des Fundaments quer zur Versagensrichtung in m [Default=0]"

ArgDesc(9) = "Exzentrizität der Resultierenden in Versagensrichtung in m [Default=0]"

ArgDesc(10) = "Exzentrizität der Resultierenden quer zur Versagensrichtung in m [Default=0]"

ArgDesc(11) = "Geländeneigung in Grad [Default=0]"

ArgDesc(12) = "Sohlneigung in Grad [Default=0]"

ArgDesc(13) = "Betrag der resultierenden Einwirkung in Versagensebene, nötig falls c>0"

Category = 1 '1=??

Application.MacroOptions \_

Macro:=FuncName, \_

Description:=FuncDesc, \_

Category:=Category, \_

ArgumentDescriptions:=ArgDesc

End Sub

Function initialize(ist)

If ist <> "Beschreibung hinzugefügt" Then

DescribeFunction1

initialize = "Beschreibung hinzugefügt"

Else

initialize = "Beschreibung bereits vorhanden"

End If

End Function

Function Grundbruch\_H(c, phi, gamma, q\_soil, t\_soil, b, \_

Ed\_z, Optional L = 0, Optional eB = 0, Optional eL = 0, \_

Optional beta = 0, Optional alpha = 0, Optional Fresb = 0)

'Gesucht ist die maximal zulässig Horizontalkraft für eine gegebene Vertikalkraft

'dies ist ein Grundbruch und kein Gleitnachweis

'Iterationsalgorithmus

' Ez0-> omega0=1, Rz1=Grundbruch(omega0),Rh1 auf FS=1

' omega1=arctan(Rhi/Rz(i-1)) Rzi+1=Grundbruch(omegai), Rhi+1=Rzi+1\*tan(omegai)

Const PI As Double = 3.14159265358979

'startwerte

Rzold = Ed\_z

omegai = 10

'omegai = Atn(1200 / Rzold) \* 180 / PI

Rzi = Grundbruch(c, phi, gamma, q\_soil, t\_soil, b, L, omegai, eB, eL, beta, alpha, Fresb)

Rhi = Rzi \* Tan(omegai \* PI / 180)

'iteration

For I = 1 To 20

'omegai2 = omegaold + (omegai - omegaold) / (Rzi - Rzold) \* (Ed\_z - Rzold)

omegai = Atn(Rhi / Ed\_z) \* 180 / PI

Rzi = Grundbruch(c, phi, gamma, q\_soil, t\_soil, b, L, omegai, eB, eL, beta, alpha, Fresb)

Rhi = Rzi \* Tan(omegai / 180 \* PI)

j = 1

Next I

Grundbruch\_H = Rhi

End Function