

DC-Baugrube – Berechnung

Inhaltsverzeichnis

Belastung der Baugrubenwand	3
Erddruckbeiwerte	6
Erddruckbeiwert aktiv	6
Erddruckbeiwert Ruhedruck	7
Erddruckbeiwert erhöht aktiv	7
Erddruckbeiwert passiv	8
Erddruckbeiwerte vorgeben	10
Erddruck nach Eurocode 7	10
Erddruckberechnung	12
Mindesterddruck	12
Erddruckverlauf bei Böschungen	13
Böschung im Aushub	16
Erddruckvorgabe	17
Ansatz des Erdwiderstandes	17
Sonderfälle für den passiven Erddruck	18
Wasserdruck	19
Strömungsdruck	20
Wasserdruckvorgabe	21
Lasten auf Wand und Gelände	22
Äußere Lasten auf die Baugrubenwand	23
Aktiver Erddruck aus Lasten	23
Aktiver Erddruck aus begrenzten Streifenlasten	24
Aktiver Erddruck aus unbegrenzten Streifenlasten	26
Erdruhedruck aus begrenzten Streifenlasten	27
Erdruhedruck aus unbegrenzten Streifenlasten	28
Erhöhter aktiver Erddruck aus Lasten	28
Erddruck bei Rückbauzuständen	29
Lastnullpunkt	29
Erddruckumlagerung	30
Umlagerung von aktivem und erhöhtem aktivem Erddruck	30
Abminderung von Erdruhedruck	32
Tabelle der Umlagerungsfiguren	33
Statisches System und Ankerkräfte	35
Schnittgrößenberechnung und -darstellung	38
Auflagerung des Wandfußes	39
Aufnahme der Auflagerkraft im Boden	45
Nachweis für schmale Druckflächen bei Trägerbohlwänden	46
Hydraulischer Grundbruch	50
Hydraulischer Grundbruch nach Aulbach, Ziegler	52
Ansätze nach EAU	54
Ansätze nach EAB	55

Reduzierter Teilsicherheitsbeiwert für passiven Erddruck	55
Stand sicherheitsnachweis in der tiefen Gleitfuge	57
Bestimmung der Ankerlängen	59
Stand sicherheitsnachweis	60
Geländebruch-Nachweis	63
Nachweis der Vertikalkräfte	64
Erdbebenberechnung	67

Hinweis:

Dieses Dokument gehört zum Handbuch DC-Baugrube ([DCBaug.pdf](#))

Belastung der Baugrubenwand

Auf die Baugrubenwand wirken folgende Belastungen:

- Erddruck aus Bodeneigengewicht
- Wasserdruck
- Erddruck aus Gebäude- und Verkehrsaufasten
- äußere Horizontal- und Vertikalkräfte und Einspannmomente
- Eigengewicht des Wandkörpers.

Ihnen wirken die Anker-, Steifen- oder Auflagerkräfte und der Erdwiderstand entgegen.

Für jede Bodenschicht sind folgende Bodenkennwerte gegeben:

- φ' (Grad) Winkel der inneren Reibung (= cal φ' nach DIN 4085:1987)
- δ_a (Grad) Wandreibungswinkel aktiv
- δ_p (Grad) Wandreibungswinkel passiv
- c' (kN/m²) Kohäsion aktiv
- c_p' (kN/m²) Kohäsion passiv
- γ (kN/m³) Wichte (= cal γ)
- γ' (kN/m³) Wichte unter Auftrieb (= cal γ').

Außerdem aus einer eventuellen Neigung der Baugrubenwand

- α (Grad) Neigung der Wand
(Achtung! α jetzt nach DIN 4085:2017 entgegen gesetzt definiert als in DIN 4085:1987)

und für das Gelände hinter der Wand:

- β (Grad) Anstiegswinkel des Geländes.

Das Koordinatensystem für die Definition der Wand ist wie folgt definiert:

- x-Koordinate in Richtung des Geländes positiv
- Tiefen nach unten positiv, der Wandkopf liegt auf $z = 0$.

Die Vorzeichen und Koordinaten sind wie folgt definiert:

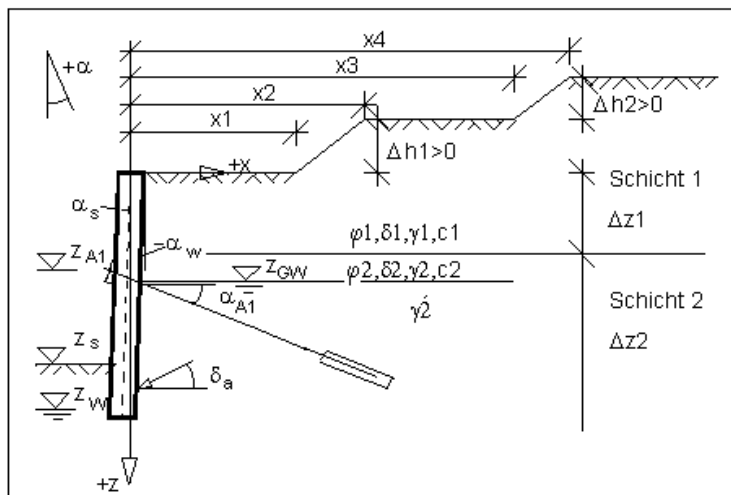


Abb. Baugrubenwand und Gelände

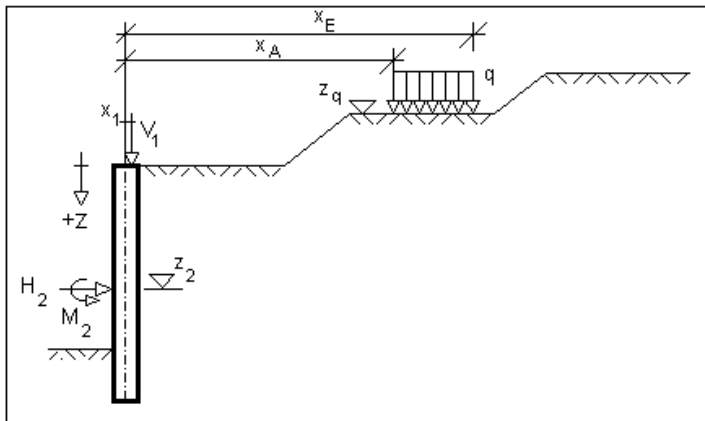


Abb. Koordinaten von Lasten

Der Erddruck aus Bodeneigenlast, großflächigen Lasten (unendlich ausgedehnte Gleichlasten) und Blocklasten (begrenzte Gleichlasten) wird mit den aus den Bodenkenngößen erdschichtweise berechneten Erddruckbeiwerten automatisch ermittelt. Im Standsicherheitsnachweis in der tiefen Gleitfuge wird in jedem Fall der aktive Erddruck ermittelt und auf den Wandkörper und auf die fiktive Ersatzankerwand angesetzt.

Wahlweise können die Erddruckparameter der Schichten oder Erddruckwerte in beliebigen Tiefen fest vorgegeben werden. Diese Erddruckvorgabe kann den gesamten Erddruck umfassen oder die Erddruckwerte aus begrenzten Auflasten werden auf den vorgegebenen Erddruck addiert.

Der passive Erddruck wird ab der Baugrubensohle automatisch bestimmt oder wahlweise fest vorgegeben.

Der Wasserdruck berechnet sich aus der Vorgabe der Wasserstände hinter und vor der Wand oder kann vom Benutzer vorgegeben werden. Wasserstände und Wasserdruck können in verschiedenen Aushubphasen unterschiedlich angegeben werden.

Belastung bei schräger Wand

Bei einem Wandreibungswinkel $\delta_a > 0$ (bei aktivem Erddruck) und/oder schräger Schwerachse α_s tritt aus dem Erd- und Wasserdruck ein senkrechter Anteil auf mit der Größe

$$(e + w)_v = e_h * \tan(\delta_a + \alpha_h) + w_h * \tan(\alpha_h) - w_v * \tan(\alpha_v)$$

mit

e_v = vertikaler Erddruckanteil

w_v = vertikaler Wasserdruckanteil

e_h = horizontaler Erddruckanteil

δ_a = Wandreibungswinkel aktiv

α_h = Wandneigung Hinterkante (Geländeseite)

α_v = Wandneigung Vorderkante (Baugrubenseite)

w_h = Wasserdruck hinter der Wand

w_v = Wasserdruck vor der Wand.

Der Wasserdruck erhält hierbei keinen Anteil aus dem Wandreibungswinkel, sondern nur den senkrechten Anteil aus der Wandneigung.

Bei Erdrückdruck wirkt keine senkrechte Belastung der Wand aus dem Wandreibungswinkel δ_a . Es wird jedoch die Auflast des Bodenkeils über der schrägen Wand sowie die senkrechte Belastung der Wand aus begrenzten Auflasten berücksichtigt.

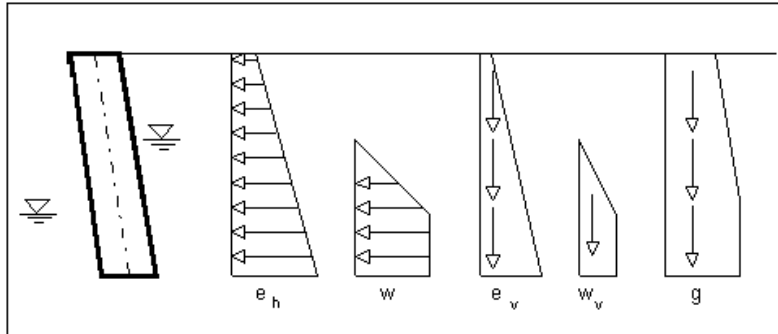
Die Auflast des Bodens $\sigma_z = \gamma * z$ wird über den Faktor $\tan \alpha$ von der waagerechten auf die senkrechte Bezugslänge umgerechnet. Es ergibt sich daher bei Erdrückdruck eine senkrechte Belastung

$$e_v = \gamma * z * \tan \alpha$$

Da die horizontale Belastung $e_h = K_0 \cdot \gamma \cdot z$ beträgt, kann die senkrechte Belastung e_v bestimmt werden zu

$$e_v = \frac{e_h}{K_0} \cdot \tan \alpha$$

Es kann damit auch bei [Böschungen](#) und Geländesprüngen der senkrechte Lastanteil e_v aus dem Erddruckverlauf e_h bestimmt werden.



Bei schräger Schwerachse wird die horizontale und vertikale Belastung umgerechnet in die Anteile quer und parallel zur Achse als

$$q = (e + w)_h \cdot \cos \alpha_s + ((e + w)_v + g) \cdot \sin \alpha_s$$

$$n = (e + w)_h \cdot \sin(-\alpha_s) + ((e + w)_v + g) \cdot \cos \alpha_s$$

mit $g = \gamma \cdot d$ = Eigengewicht des Wandkörpers.

Zur Berechnung der Schnittgrößen wird das Eigengewicht des Wandkörpers automatisch berücksichtigt. Die Wichte kann vorgegeben werden. Bei schräger Schwerlinie wird der Anteil des senkrecht wirkenden Eigengewichts auf die Normalkraft und die Querkraft angesetzt. Knicke in der Schwerlinie durch die veränderliche Geometrie werden im statischen System berücksichtigt.

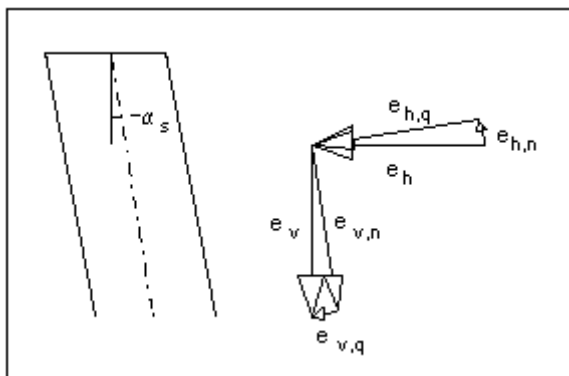


Abb.: Aufteilung der Belastung senkrecht und längs zur Schwerachse

Erddruckbeiwerte

Die Erddruckbeiwerte werden getrennt für jede Bodenschicht bestimmt.

Zu beachten ist, dass bei der Beschreibung der Bodenschichten im Ausdruck die Erddruckbeiwerte für die senkrechte Wand ($\alpha = 0$) und für waagerechtes Gelände ($\beta = 0$) angegeben werden. Die zur Berechnung des Erddrucks verwendeten Beiwerte können zusätzlich je nach Wandneigung und Einfluss von Böschungen innerhalb einer Bodenschicht variieren. Dies wird bei der Bestimmung des Erddrucks berücksichtigt.

Für die Berechnung der Erddrucklast aus Bodeneigengewicht werden je nach Art des angesetzten Erddrucks folgende Erddruckbeiwerte verwendet:

- Aktiver Erddruckbeiwert K_{agh}
- [Ruhedruckbeiwert](#) K_{0gh}
- [Erhöhter aktiver Erddruckbeiwert](#) K_{egh}
- [Passiver Erddruckbeiwert](#) K_{pgh}

Zur Berechnung der Erddruckbeiwerte nach Eurocode 7 (Anhang C.2) siehe Kapitel [Erddruck nach Eurocode 7](#).

Erddruckbeiwert aktiv

Der Erddruckbeiwert K_{agh} für eine Schicht mit dem Winkel der inneren Reibung φ und dem Wandreibungswinkel δ_a bei einer Wandneigung α und einer Geländeneigung β berechnet sich nach DIN 4085:2017 (analog DIN 4085:1987 mit geändertem Vorzeichen von α) zu

$$K_{agh} = \left(\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\cos \alpha * \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) * \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) * \cos(\alpha + \delta_a)}} \right)} \right)^2$$

Der Wandreibungswinkel δ_a ist positiv, wenn sich der Boden relativ zur Wand nach unten bewegt, d.h. die Resultierende der Erddrucklast zur Wand hin nach unten geneigt ist.

Wirkt in der Schicht eine Kohäsion c , so wird der aktive Erddruck dadurch vermindert. Es ist zusätzlich der Kohäsionsbeiwert anzusetzen. Dieser ist nach DIN 4085:2017:

$$K_{ach} = \frac{2 * \cos(\alpha - \beta) * \cos \varphi * \cos(\alpha + \delta_a)}{[1 + \sin(\varphi + \alpha + \delta_a - \beta)] * \cos \alpha}$$

und nach DIN 4085:1987 (mit der neuen Definition von α):

$$K_{ach} = \frac{2 * \cos \varphi * \cos \beta * (1 + \tan \alpha * \tan \beta) * \cos(\alpha + \delta_a)}{1 + \sin(\varphi + \alpha + \delta_a - \beta)}$$

Bei Berechnung nach SIA wird K_{ach} bestimmt zu

$$K_{ach} = 2 * \sqrt{K_{agh}}$$

Zur Bestimmung der Erddruck-Ordinaten aus den Erddruckbeiwerten siehe Kapitel [Erddruckberechnung](#).

Erddruckbeiwert Ruhedruck

Nach DIN 4085:1987 gilt für eine Schicht mit Winkel der inneren Reibung φ bei horizontalem Gelände (Geländeneigungswinkel $\beta = 0$) der Ruhedruckbeiwert

$$K_{0gh} = 1 - \sin \varphi$$

Für den Grenzfall eines Geländes mit dem Gefälle φ ($\delta_a = \beta = \varphi$) gilt

$$K_0 = \cos \varphi$$

In DC-Baugrube wird daher für allgemeine Neigungswerte β der Ruhedruckbeiwert wie folgt bestimmt (vgl. auch Grundbau-Taschenbuch, Teil 1, Kap. 1.10 (Gudehus: Erddruckermittlung), 4.2.1.2):

- Für $0 = \beta = \varphi$:

$$K_{0gh,\beta} = (1 - \sin \varphi) * \frac{\varphi - \beta}{\varphi} + \cos \varphi * \frac{\beta}{\varphi} * \cos(\min(\beta, \delta_a))$$

- Für $\beta > \varphi$:

$$K_{0gh,\beta} = \frac{\tan \beta}{\tan \varphi} * \cos \varphi * \cos(\min(\varphi, \delta_a))$$

- Für abfallendes Gelände ($\beta < 0$) wird der Ruhedruckbeiwert für horizontales Gelände im Verhältnis der entsprechenden Beiwerte für aktiven Erddruck umgerechnet:

$$K_{0gh,\beta} = (1 - \sin \varphi) * \frac{K_{agh,\beta}}{K_{agh}}$$

Nach DIN 4085:2017 werden die o.g. Formeln wieder verwendet, die anderen Formeln nach DIN 4085:2011 sind überholt.

Eine Wirkung aus Kohäsion ist bei Erdruhedruck nicht anzusetzen.

Erddruckbeiwert erhöht aktiv

Der Erddruckbeiwert für den erhöhten aktiven Erddruck wird anteilig aus den Beiwerten des aktiven Erddrucks und des Erdruhedrucks zusammengesetzt. Der Anteil k des Erdruhedrucks kann im Menü Projekt - Parameter in % angegeben werden.

Es wird angesetzt für horizontales Gelände:

$$K_{egh} = (1 - k) * K_{agh} + k * K_{0gh}$$

mit

$$0 \leq k \leq 1$$

und für geneigtes Gelände

$$K_{egh,\beta} = (1 - k) * K_{agh,\beta} + k * K_{0gh,\beta}$$

Der Kohäsionsbeiwert K_{ach} wird bei erhöhtem aktivem Erddruck ebenfalls mit dem Faktor $(1-k)$ multipliziert, da für den Ruhedruckanteil keine Kohäsionswirkung anzusetzen ist.

Erddruckbeiwert passiv

Der Erddruckbeiwert für den passiven Erddruck für eine Schicht mit dem Winkel der inneren Reibung φ und dem Wandreibungswinkel δ_p bei einer Wandneigung α und einer Böschungsneigung β im Aushub berechnet sich für ebene Gleitflächen bzw. nach DIN 4085:1987 (mit der neuen Definition für α) zu:

$$K_{pgh} = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha * \left(1 - \frac{\sin(\varphi - \delta_p) * \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha + \delta_p) * \cos(\alpha - \beta)} \right)^2}$$

Der Wandreibungswinkel δ_p hat ein negatives Vorzeichen. Wird δ_p nicht bei den Schichtparametern eigens vorgegeben (siehe unter „spezielle Vorgaben“), wird im Programm $\delta_p = -\delta_a$ angesetzt. Gemäß EAB, EB 19, Abs. 1b dürfen bis $\varphi = 35^\circ$ ebene Gleitflächen angesetzt werden. Darüber können die K_{pgh} -Werte für gekrümmte Gleitflächen maßgebend werden, die gemäß Abs. 1a mit $\delta_p = -\varphi$ bzw. für Schlitzwände mit $\delta_p = -\varphi/2$ anzusetzen sind.

Bei Berechnung des Erddrucks nach DIN 4085:1987 werden die gemäß obiger Gleichung bestimmten K_{pgh} -Werte verglichen mit den Werten nach Caquot/Kérisel mit den genannten δ_p -Werten und der kleinere Wert angesetzt (Werte für $\alpha = \beta = 0$ gemäß Simmer, Grundbau 1, Kap. 6.7.4.2):

$\varphi [^\circ]$	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45
$K_{pgh}(\delta = -\varphi)$	5,56	6,77	8,36	10,49	13,44	17,61	23,71
$K_{pgh}(\delta = -\varphi/2)$	4,63	5,48	6,56	7,94	9,76	12,2	15,5

Für Werte α oder β ungleich 0 werden die entsprechenden Tabellenwerte verwendet bzw. Zwischenwerte interpoliert.

Wirkt in der Schicht eine Kohäsion c , so wird der passive Erddruck dadurch erhöht. Es ist zusätzlich der Kohäsionsbeiwert anzusetzen:

$$K_{pch} = \frac{2 * \cos \varphi * \cos \beta * (1 - \tan \alpha * \tan \beta) * \cos(\alpha - \delta_p)}{1 - \sin(\varphi - \delta_p + \alpha + \beta)}$$

Bei Berechnung nach SIA wird K_{pch} bestimmt zu

$$K_{pch} = 2 * \sqrt{K_{pgh}}$$

Bei Berechnung nach DIN 4085:2017 ist der passive Erddruck mit gekrümmten Gleitflächen nach Pregl zu berechnen, gemäß der Formeln im Anhang C der Norm. Winkel als Faktoren sind hier im Bogenmaß einzusetzen.

$$K_{pgh} = K_{pg} * \cos \delta_p$$

$$K_{pph} = K_{pp} * \cos \delta_p$$

$$K_{pch} = K_{pc} * \cos \delta_p$$

Für $\varphi > 0$:

$$K_{pg} = K_{pg,0} * i_{pg} * g_{pg} * t_{pg}$$

$$K_{pp} = K_{pp,0} * i_{pp} * g_{pp} * t_{pp}$$

$$K_{pc} = K_{pc,0} * i_{pc} * g_{pc} * t_{pc}$$

$$K_{pg,0} = K_{pp,\beta} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

$$K_{pc,0} = (K_{pp,0} - 1) * \cot \varphi$$

$$i_{pg} = (1 - 0.53 * \delta_p)^{0.26 + 5.96 * \varphi}$$

$$i_{pp} = i_{pc} = (1 - 1.33 * \delta_p)^{0.08 + 2.37 * \varphi}$$

für $\delta_p \leq 0$

$$i_{pg} = (1 + 0.41 * \delta_p)^{-7.31}$$

$$i_{pp} = (1 - 0.72 * \delta_p)^{2.81}$$

$$i_{pc} = (1 + 4.46 * \delta_p * \tan \varphi)^{-1.14 + 0.57 * \varphi}$$

für $\delta_p > 0$

$$g_{pg} = (1 + 0.73 * \beta)^{2.89}$$

$$g_{pp} = (1 + 1.16 * \beta)^{1.57}$$

$$g_{pc} = (1 + 0.001 * \beta * \tan \varphi)^{205.4 + 2232 * \varphi}$$

für $\beta \leq 0$

$$g_{pg} = (1 + 0.35 * \beta)^{0.42 + 8.15 * \varphi}$$

$$g_{pp} = (1 + 3.84 * \beta)^{0.98 * \varphi}$$

$$g_{pc} = e^{2 * \beta * \tan \varphi}$$

für $\beta > 0$

$$t_{pg} = (1 + 0.72 * \alpha * \tan \varphi)^{-3.51 + 1.03 * \varphi}$$

für $\alpha \leq 0$

$$t_{pg} = (1 - 0.0012 * \alpha * \tan \varphi)^{2910 - 1958 * \varphi}$$

für $\alpha > 0$

$$t_{pp} = t_{pc} = \frac{e^{-2 * \alpha * \tan \varphi}}{\cos \alpha}$$

Für $\varphi = 0$:

$$K_{pg} = K_{pp} = 1$$

$$K_{pc} = K_{pc,0} * i_{pc} * g_{pc} * t_{pc}$$

$$K_{pc,0} = 2$$

$$i_{pc} = 1$$

$$g_{pc} = 1 + \beta$$

$$t_{pc} = \frac{1 - \alpha}{\cos \alpha}$$

Zur Bestimmung der Erddruck-Ordinaten aus den Erddruckbeiwerten siehe Kapitel [Erddruckberechnung](#).

Erddruckbeiwerte vorgeben

Abweichend von der automatischen Berechnung der Beiwerte für [aktiven Erddruck](#), [Erdruchedruck](#) und [passiven Erddruck](#) können wahlweise K_{agh} , K_{ogh} und K_{pgh} -Werte bei den Schichtparametern unter „spezielle Vorgaben“ vorgegeben werden. Die Werte des Erddrucks werden dann mit den vorgegebenen Beiwerten berechnet.

Für ansteigendes oder abfallendes Gelände werden die vorgegebenen Werte mit dem Faktor

$$\frac{K_{agh,\beta}}{K_{agh}}$$

umgerechnet, um die Wirkung der Geländeneigung β zu erfassen.

Die Wirkung der Kohäsion auf den Erddruck wird zusätzlich angesetzt, siehe im Kapitel [Erddruckberechnung](#).

Erddruck nach Eurocode 7

Die Berechnung des Erddrucks nach Eurocode 7 Anhang C.2 basiert auf:

Bent Hansen: Advanced theoretical soil mechanics, Danish Geotechnical Society 2001.

Bei Berechnung nach DIN EN 1997-1 in Verbindung mit DIN 1054:2010 ist für die Berechnung des Erddrucks nicht Eurocode 7 Anhang C.2 maßgebend, sondern als nationale Norm DIN 4085:2017.

In den Formeln nach Eurocode 7 Anhang C.2 werden folgende Symbole verwendet:

φ Reibungswinkel der Schicht

δ Wandreibungswinkel der Schicht

c Kohäsion der Schicht

β Neigungswinkel einer Böschung, positiv von der Wand aus ansteigend

θ Neigungswinkel der Wand (in DIN 4085: α), positiv für eine überhängende (in Richtung Aushubseite geneigte) Wand

Für passiven Erddruck wird der Erddruckbeiwert für Bodeneigengewicht bestimmt zu

$$K_y = K_x \cos \beta \cos(\beta - \theta)$$

(EC7, Formel C.9)

Der passive Erddruckbeiwert für Auflasten ist

$$K_q = K_x \cos^2 \beta$$

(EC7, Formel C.7)

Der Kohäsionsbeiwert ist

$$K_c = (K_x - 1) \cot \varphi$$

(EC7, Formel C.8)

mit folgenden Anteilen:

$$K_x = \frac{1 + \sin \varphi \sin(2m_w + \varphi)}{1 - \sin \varphi \sin(2m_t + \varphi)} * e^{2\nu \tan \varphi}$$

(EC7, Formel C.6)

$$\nu = m_t + \beta - m_w - \theta$$

(EC7, Formel C.5)

$$m_t = 0.5 * \left(\arccos \left(-\frac{\sin \beta}{\sin \varphi} \right) - \varphi - \beta \right)$$

(EC7, Formel C.3)

$$m_w = 0.5 * \left(\arccos \left(\frac{\sin \delta}{\sin \varphi} \right) - \varphi - \delta \right)$$

(EC7, Formel C.4)

Für die Parameter des aktiven Erddrucks sind die gleichen Formeln zu verwenden, aber die Scherparameter der Schichten φ , c und δ negativ einzusetzen.

Erddruckberechnung

Die Erddruck-Ordinaten e_h aus Bodeneigengewicht werden an der Ober- und Unterkante jeder Bodenschicht sowie an eventuellen Knickpunkten der Wand berechnet, wo ein geänderter Wandneigungswinkel α in die Erddruckbeiwerte eingeht.

Die Erddruckwerte setzen sich zusammen aus

- dem Produkt der Erddruckbeiwerte mit der Erdauflast
- einem Anteil aus Kohäsion (negativ bei aktivem oder erhöht aktivem Erddruck, positiv bei passivem Erddruck) als Produkt des Kohäsionsbeiwertes mit der Kohäsion c
- eventuellen Einflüssen aus begrenzten Böschungen, wenn also die Geländeneigung β nicht konstant ist, siehe Kapitel [Erddruckverlauf bei Böschungen](#)

$$e_h = K_{gh} * \sum \gamma * \Delta z \mp K_{ch} * c$$

Ab der Tiefe des Grundwassers hinter der Wand bzw. des Wasserstandes vor der Wand wird (falls nicht anders vorgegeben) für den aktiven, erhöht aktiven und Ruhedruck bzw. für den passiven Erddruck automatisch die Wichte γ des Bodens unter Auftrieb angesetzt.

Der aktive oder erhöht aktive Erddruck wird durch die Kohäsion vermindert (-), der passive Erddruck erhöht (+). Bei Erdruhedruck wird kein Einfluss der Kohäsion angesetzt.

Die Kohäsion c_p zur Berücksichtigung im passiven Erddruck wird standardmäßig gleich der Kohäsion c für den aktiven Erddruck angesetzt. Bei der [Schichtdefinition](#) kann jedoch unter „spezielle Vorgaben“ ein anderer Wert vorgegeben werden.

Wird der aktive Erddruck aus Bodeneigengewicht durch die Wirkung der Kohäsion vermindert, dann wird gemäß EB 4 Mindesterdruk geprüft. Näheres siehe im Kapitel Mindesterdruk (unten).

Bei hohem passivem Erddruck (wenn keine Bettung des Wandfußes angesetzt wird) ist eine Verschiebung des Wandfußes in Richtung des Geländes möglich. Damit würden sich negative Auflagerkräfte ergeben, so dass theoretisch ein passiver Erddruck hinter der Wand entsteht. Ob dieser Ansatz realistisch ist, ist vom Bearbeiter zu überprüfen.

Bitte beachten Sie folgende Vorgehensweise bei Umlagerung bis zum Lastnullpunkt bei erhöhtem aktivem Erddruck:

DC-Baugrube rechnet bei erhöhtem aktivem Erddruck die Aktiv- und Ruhedruckanteile vollständig getrennt und setzt die beiden Anteile erst zur Wandbelastung anteilig zusammen. Damit kann auch die unterschiedliche Belastung längs der Wand (Ruhedruck: kein Wandreibungswinkel!) richtig berücksichtigt werden.

Das hat zur Folge, dass die beiden Erddruck-Anteile auch getrennt umgelagert werden. Aktiver und Ruhedruck haben jedoch zwangsweise unterschiedliche Lastnullpunkte. Dadurch ist der Umlagerungsbereich bei Umlagerung bis zum Lastnullpunkt unterschiedlich. Der Aktivanteil und der Ruhedruckanteil besitzen also unterschiedliche Bereiche, in denen der Erddruck nach der Umlagerung konstant ist und unterschiedliche Tiefen, ab denen der Erdwiderstand beginnt. Deshalb ist der Gesamterddruck nach der Zusammensetzung zum erhöhten aktiven Erddruck nicht ganz einfach nachzuvollziehen.

Mindesterdruk

Wird der aktive Erddruck aus Bodeneigengewicht durch die Wirkung der Kohäsion vermindert, dann wird gemäß EB 4 Abs. 3 geprüft, ob der Mindesterdruk unterschritten wird.

Der Mindesterdruk kann entweder mit einem Erddruckbeiwert $\min. K_{agh} = 0.20$ (bis EAB 3. Auflage) oder mit einem Ersatzreibungswinkel φ_{Ers} (ab EAB 4. Auflage) und ohne Kohäsionsanteil berechnet werden. Bei Ansatz über Ersatzreibungswinkel werden Böschungen (Geländeneigung β) und Wandneigung α beim Mindesterdruk mit berücksichtigt.

Überschreitet der Mindesterdruk den Erddruck mit Kohäsionsanteil, dann wird der größere Wert verwendet. Zur Einstellung der gewählten Berechnungsart siehe [Projekt - Parameter](#).

In den Mindesterddruck gehen die Auflasten mit ein. Nur Erddruck aus Bodeneigengewicht ist für die Berechnung des Mindesterddrucks mit dem Ersatzreibungswinkel φ_{ErS} zu bestimmen, alle anderen Lasten mit dem Reibungswinkel der Schichten φ_k (siehe EAB, EB 6, Kap. 3.4.4). Das gilt sowohl für den Wert des Erddrucks als auch für die Lastausbreitung unter φ und 9 für Blocklasten (siehe Tabelle C.2 der DIN 4085:2017). Hierfür ist die Einstellung der Lastoption „behandeln als Bodeneigengewicht“ maßgebend.

Rechnerische Zugspannungen aus dem Kohäsionsanteil des Erddrucks von bindigen Schichten dürfen bei (wenig nachgiebig) gestützten Baugrubenwänden mit Druckspannungen aus Auflasten verrechnet werden (siehe EAB, EB 4, Kap. 3.2.5). Hierfür ist maßgebend, ob in einem Aushubzustand eine Kopffesthaltung oder Anker bzw. Steifen vorhanden sind.

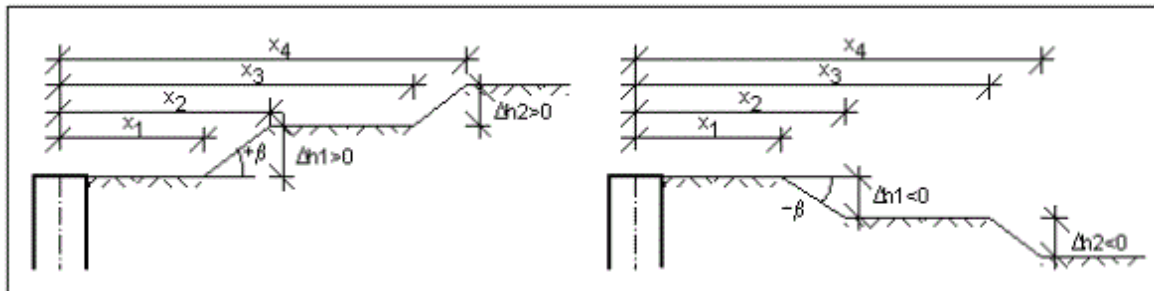
Hier werden zum Erddruck aus Bodeneigengewicht die Erddruckanteile aus (allen) großflächigen Auflasten sowie von nur den Blocklasten addiert, die „als Bodeneigengewicht“ gekennzeichnet sind. Der so berechnete Erddruck aus Bodeneigengewicht und Auflasten wird mit dem Mindesterddruck verglichen, der dieselben Auflasten, ggf. aber mit Ersatzreibungswinkel berechnet, enthält.

Blocklasten, die nicht aus Bodeneigengewicht stammen, werden erst nach dem Vergleich mit dem Mindesterddruck und ggf. Erddruckumlagerung addiert, weil der Erddruck aus diesen Lasten i.A. nicht mit umgelagert wird.

Ist die Verrechnung der Zugspannungen mit dem Erddruck aus Auflasten nicht zulässig (für nicht gestützte Wände), dann wird der Erddruck aus Bodeneigengewicht auf den Mindestwert 0 begrenzt und dann der Erddruck aus Auflasten addiert (siehe EAB, EB 71, Kap. 3.6, Bild EB 71-3).

Erddruckverlauf bei Böschungen

Für die Berechnung des Erddrucks werden bis zu zwei Böschungen hinter der Wand berücksichtigt. Zur Berechnung der Erdauflast oberhalb des Wandkopfes wird die Wichte γ der ersten Schicht angesetzt. Liegt für die Böschungen anderes Material vor, kann eine dünne (z.B. 1 cm dicke) erste Schicht mit den Kennwerten der Aufschüttung angesetzt werden.



Böschungsnegung $|\beta| \leq \varphi_1$ der ersten Schicht:

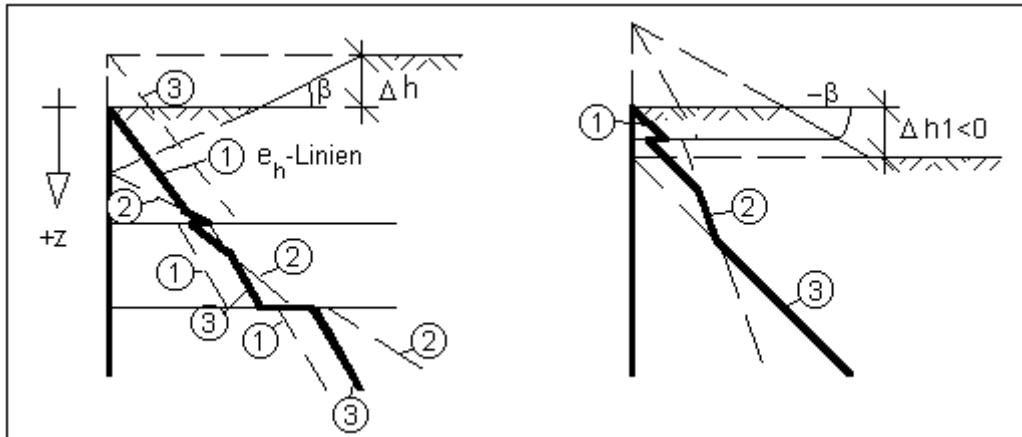
Ansteigende Böschungen (linker Bildteil Folgeseite):

Nach Jenne (Erddruck. Betonkalender 1987, Teil II) ist ab dem Wandkopf zunächst der Standard-Erddruck für waagerechtes Gelände (Linie 1) anzusetzen. Ab dem Schnittpunkt der Böschungsnegung mit der Wandhinterkante ist der erhöhte Erddruck $e_{h,\beta}$ für die Böschungsnegung anzutragen (Linie 2). Dieser Erddruck gilt ab dem Schnittpunkt mit Linie 1. Ab der Höhe der Böschungsoberkante wird schließlich wieder der Erddruck für waagerechtes Gelände (mit entsprechend höherer Auflast) angesetzt (Linie 3) und mit Linie 2 verschnitten. Ab diesem zweiten Schnittpunkt gilt Linie 3.

Für eine zweite Böschung ist analog weiter zu verfahren, so dass sich mit einer vierten und fünften Erddrucklinie zwei weitere Schnittpunkte ergeben.

Abfallende Böschungen (rechter Bildteil):

Das Vorgehen ist das gleiche wie bei einer ansteigenden Böschung, wobei die Böschungslinie die (gedachte) Wandhinterkante oberhalb des Wandkopfes schneidet und die Linie 3 für waagerechtes Gelände mit geringerer Auflast zu bestimmen ist.



(Ansteigende Böschung)

(Abfallende Böschung)

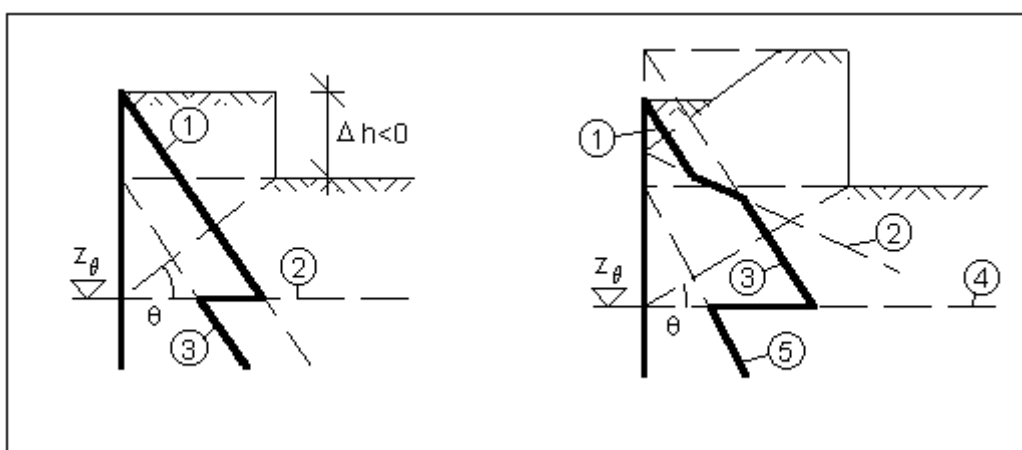
Senkrechte Böschung ($\beta = \pm 90^\circ$):

1. Fallende Böschung (Aushub) mit $\beta = -90^\circ$

Bei einem abfallenden Geländesprung mit senkrechter Böschung, d.h. $x_1 = x_2$ und $\Delta h < 0$, wird der Erddruck nach EB 29, Bild 1b angesetzt:

ab der Geländeoberkante wirkt der Standard-Erddruck für waagerechtes Gelände (Linie 1). Der Einflussbereich der senkrechten Böschung beginnt ab der Tiefe z_θ , in der eine Linie unter der Neigung $\theta = 45^\circ + \varphi/2$ ab dem Böschungsfuß die Wandhinterkante schneidet. Dort springt die Erddrucklinie (entlang Linie 2) auf diejenige, die sich bei Ansatz des Erddrucks für waagerechtes Gelände ab der Tiefe der Böschungsunterkante ergibt (Linie 3) (linkes Bild).

Ist zusätzlich eine Böschung unter einer Neigung β vorhanden, ist die Überlagerung wie im vorigen Absatz beschrieben vorzunehmen (rechtes Bild), so dass sich nach Überlagerung der Linien 1, 2 und 3 ein Sprung (Linie 4) auf die Erddrucklinie 5 ergibt.



(Senkrecht abfallendes Gelände)

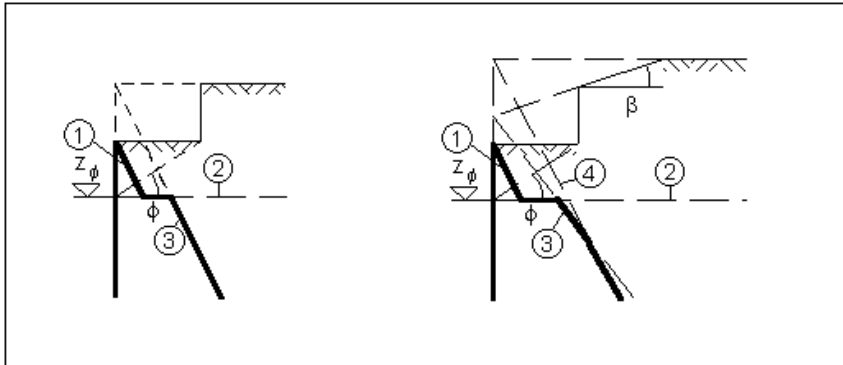
(Böschung und Geländesprung)

2. Steigende Böschung (Aufschüttung) mit $\beta = 90^\circ$

Ab der Geländeoberkante ist zunächst der Standard-Erddruck für waagerechtes Gelände anzusetzen (Linie 1). Der Einfluss des senkrechten Geländesprungs beginnt gemäß Darstellung im Spundwand-Handbuch der Fa. Klöckner ab einer Tiefe z_θ , in der eine Linie mit der Neigung φ vom Böschungsfuß ausgehend die Wandhinterkante schneidet (Linie 2).

In dieser Tiefe springt der Erddruck auf die Linie, die sich für waagerechtes Gelände ab der Oberkante der Böschung ergibt (Linie 3) (linkes Bild).

Ist oberhalb der Aufschüttung eine weitere Böschung vorhanden, ist ebenfalls die Überlagerung wie bei der Böschungsneigung $\beta < \varphi$ beschrieben vorzunehmen, so dass eine Linie 3 für $e_{h,\beta}$ ab dem Schnittpunkt der Böschungsneigung mit der (verlängerten) Wandhinterkante mit dem Erddruck für waagerechtes Gelände ab der Böschungsoberkante (Linie 4) zu verschneiden ist (rechter Bildteil).



(Senkrecht ansteigendes Gelände)

(Aufschüttung und Böschung)

Steile Böschung mit $|\beta| > \varphi_1$ und $|\beta| < 90^\circ$:

1. Fallende Böschung ($\beta < -\varphi$)

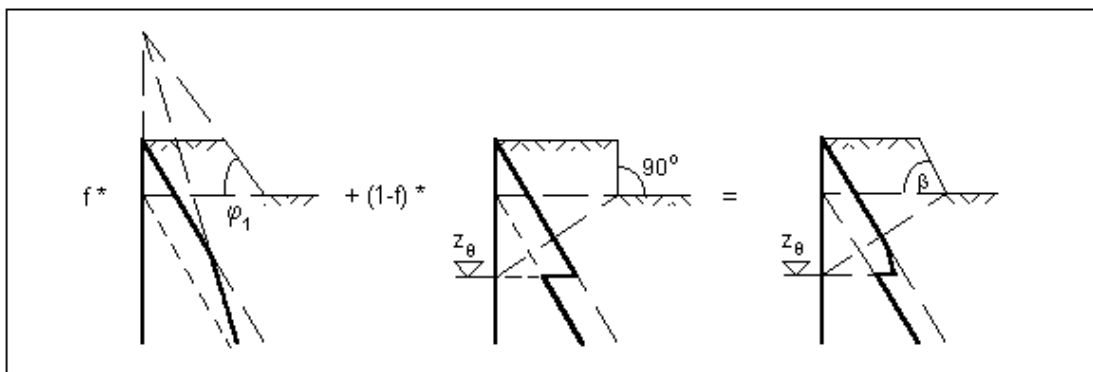
Die Formeln für die Erddruckbeiwerte sind für $\beta > \varphi$ nicht definiert. Daher werden für eine steiler abfallende Böschungen die beiden Verläufe für $\beta = \varphi_1$ und für eine senkrechte Böschung ($\beta = -90^\circ$) mit einem Faktor f kombiniert:

$$f = \frac{\tan(-\varphi)}{\tan \beta}$$

und bis zu der Tiefe angesetzt, bei der eine Linie unter $\theta = 45^\circ + \varphi/2$ die Baugrubenwand schneidet:

$$e_{h,\beta} = f * e_{h,-\varphi_1} + (1-f) * e_{h,-90^\circ}$$

In der Einflusstiefe z_θ springt der Erddruck auf den Verlauf, der sich für waagerechtes Gelände ab der Unterkante der Böschung ergibt:



(Böschung mit Neigung $< -\varphi_1$)

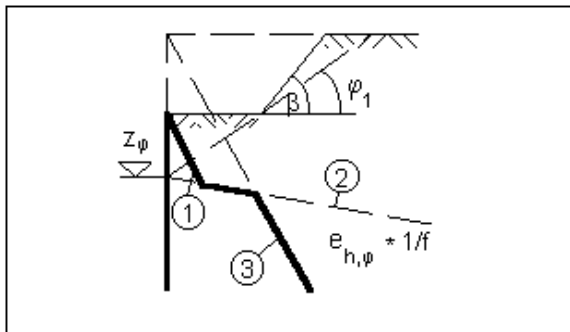
2. Steigende Böschung ($\beta > \varphi$)

Bei einem Böschungsanstieg mit Neigung β größer als der Winkel der inneren Reibung φ_1 wird der Erddruckverlauf $e_{h,\varphi}$ für die rechnerisch maximal mögliche Geländeneigung φ bestimmt und dann um den Faktor $1/f$ erhöht:

$$\frac{1}{f} = \frac{\tan \beta}{\tan \varphi}$$

$$e_{h,\beta} = \frac{1}{f} * e_{h,\varphi}$$

Die Kombination der Erddrucklinien 1, 2 und 3 geschieht wie bei ansteigenden Böschungen unter $\beta < \varphi$.



(Böschung mit Neigung $> \varphi$)

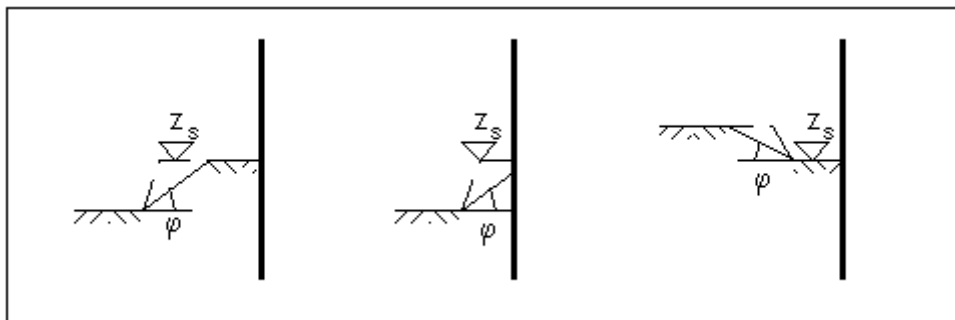
Böschung im Aushub

Eine Böschung vor dem Wandfuß kann zu einem [Aushub](#) eingegeben werden. Die Tiefe z_s der Aushubsohle ist immer die Tiefe in der Baugrube direkt an der Wand. Die Höhe der Böschung ist dann positiv, wenn das Gelände von der Baugrube zur Wand hin ansteigt.

Der Ansatz des passiven Erddrucks vor dem Wandfuß wird durch Überlagerung der drei Erddrucklinien erzeugt wie bei einer Böschung hinter der Wand. Zur Konstruktion der Erddrucklinie siehe Kapitel [Erddruckverlauf bei Böschungen](#).

Ein Ansatz einer Böschung mit steilerer Neigung als φ kann nicht angesetzt werden. In diesem Fall wird die Böschung automatisch vom Fußpunkt her auf $\beta = \varphi$ abgeflacht. Maßgebend ist hier der Reibungswinkel der Schicht, in der die Aushubsohle z_s liegt. In den Kohäsionsanteil K_{pch} geht der tatsächliche Winkel β ein.

Liegt die Böschung so nah an der Baugrubenwand, dass die abgeflachte Neigung unter φ die Wandvorderkante schneidet, dann ändert sich hierdurch auch die Tiefe der Aushubsohle z_s (siehe mittleres Bild).



Böschungen, die sehr weit von der Wand entfernt liegen, können den passiven Erddruck nicht mehr beeinflussen. Bei der Überlagerung der Erddruckverläufe nach Jenne (siehe Kapitel ["Erddruckverlauf bei Böschungen"](#)) würde aber oft auch eine weit entfernte Böschung den passiven Erddruck

abmindern. Es wird deshalb wie folgt entschieden, ob eine Böschung im Aushub gar nicht angesetzt werden muss:

- Liegt das Wandende oberhalb des tiefsten Aushubniveaus (Böschungsunterkante), dann wird die Böschung immer angesetzt. Hiermit sollen unsichere Fälle vermieden werden, bei denen sich eine ungünstigere Bruchfigur als der Erddruckkeil unter θ_p einstellen kann.
- Liegt das Wandende unterhalb des tiefsten Aushubniveaus, dann wird geprüft, ob eine unter θ_p geneigte Bruchlinie vom Wandfuß aus, mindestens jedoch ab einer Tiefe von 1.0 m unterhalb der Böschungsunterkante, die Böschung erreicht. Nur wenn die Böschung außerhalb der Reichweite dieser Bruchlinie liegt, wird sie zur Erddruckermittlung nicht angesetzt.

Erddruckvorgabe

In den einzelnen Aushubzuständen kann der Erddruck – anstatt der automatischen Bestimmung durch die Schichtparameter – auch explizit vorgegeben werden. Die Tiefen und Erddruckwerte werden bei der Aushubeingabe auf den Seiten „[Erddruckvorgabe](#)“ bzw. „[Vorgabe passiver Erddruck](#)“ eingegeben.

Die Werte für den passiven Erddruck sind dabei positiv einzugeben. Der negative Ansatz bei der Überlagerung wird vom Programm automatisch vorgenommen. Die Tiefen bei der Vorgabe des passiven Erddrucks gelten ab der Aushubsohle.

Zu beachten ist, dass die Erddruckvorgabe auch für folgende Aushubzustände so lange gilt, bis eine erneute Vorgabe definiert wird.

Ansatz des Erdwiderstandes

Der [passive Erddruck](#) wird dem aktiven, erhöht aktiven oder Erdruhedruck überlagert oder dem Wandfuß vorgelagert. Bei Überlagerung erfolgt die Division durch den Sicherheitsbeiwert η_p wahlweise vor oder nach der Überlagerung.

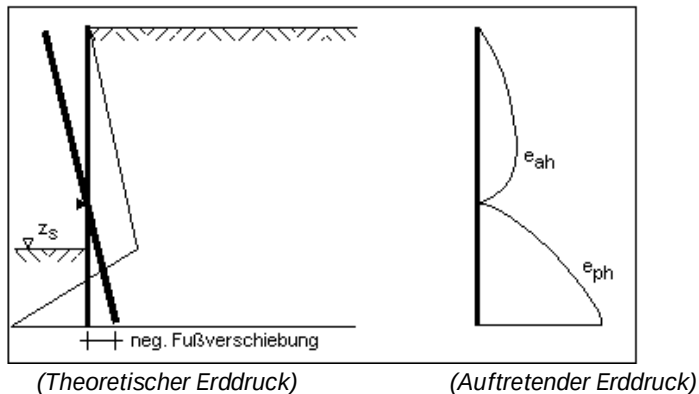
Bei Erdruhedruck wird i.A. der Erdwiderstand e_{ph}/η_p dem Wandfuß vorgelagert, ausser bei Einspannung nach Blum. Bei aktivem oder erhöhtem aktivem Erddruck wird der Erdwiderstand i.A. überlagert. Bei jedem [Aushub](#) kann jedoch bei Erdruhedruck eine andere Behandlung (horizontal verschieblich = vorgelagert, kontinuierlich gelagert = überlagert) angefordert werden.

Der Sicherheitsbeiwert η_p gilt nur bei Berechnung mit globaler Sicherheit (DIN 1054-1976). Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten (DIN 1054:2005, SIA) gilt der je nach Grenzzustand eingestellte Sicherheitsbeiwert für den Widerstand. Es wird entweder der Sicherheitsbeiwert in die Schichtparameter $\tan\phi$ und c eingerechnet und damit der passive Erddruck bestimmt (GZ 1C bzw. Typ 3) oder der Sicherheitsbeiwert direkt auf den passiven Erddruck angesetzt (GZ 1B bzw. Typ 2).

Sonderfälle für den passiven Erddruck

Für den Ansatz des Erdwiderstandes wird davon ausgegangen, dass sich der Wandfuß in Richtung der Baugrube bewegt. In manchen Fällen ergeben sich jedoch andere Ergebnisse, die deshalb nicht realistisch sind:

- Verformung des Wandfußes in Richtung der Erdseite (siehe folgendes Bild). Der passive Erddruck würde dann hinter der Wand auftreten, der aktive Erddruck hat nicht den erwarteten Wert. Bei diesen Fällen sind die Erddruckverläufe auf der Aktiv- und Passivseite einzeln zu bestimmen und der resultierende Erddruck vorzugeben. Der automatische (zusätzliche) Ansatz des passiven Erddrucks kann durch Vorgabe eines sehr geringen Wertes für den passiven Erddruckbeiwert bei den [Schichten](#) verhindert werden.



- Horizontale Festhaltung des Wandfußes und Ansatz eines passiven Erddruckes, der in diesem Fall nicht auftreten kann. Auch in diesem Fall sollte der passive Erddruck ausgeschaltet werden.

Wasserdruck

Wasserdruck bei durchlässigen Schichten

Die Tiefe des Grundwasserspiegels z_{GW} wird gemessen ab der Wandoberkante. Ein Wert $z_{GW} < 0$ ist zulässig, z.B. bei Grundwasser in einer Böschung. Es wird dann zwar nicht der Wasserdruck oberhalb des Wandkopfes angesetzt (da dort keine Wand vorhanden ist, auf die der Druck wirken könnte), der Wasserdruck ab Höhe des Wandkopfes hat jedoch die entsprechende Ordinate = $10 \cdot (-z_{GW})$. Eine senkrechte Auflast durch Wasser auf Gelände wird nicht berücksichtigt und muss als Last eingegeben werden.

Das Grundwasser hinter der Wand erzeugt in der Tiefe $z > z_{GW}$ einen Wasserdruck

$$w_{hinten} = 10 \cdot (z - z_{GW})$$

Bei einem Wasserstand vor der Wand (im Aushub) in der Tiefe z_W wirkt in Gegenrichtung

$$w_{vorne} = -10 \cdot (z - z_W)$$

Der resultierende Wasserdruck beträgt damit

$$w(z) = w_{hinten} + w_{vorne}$$

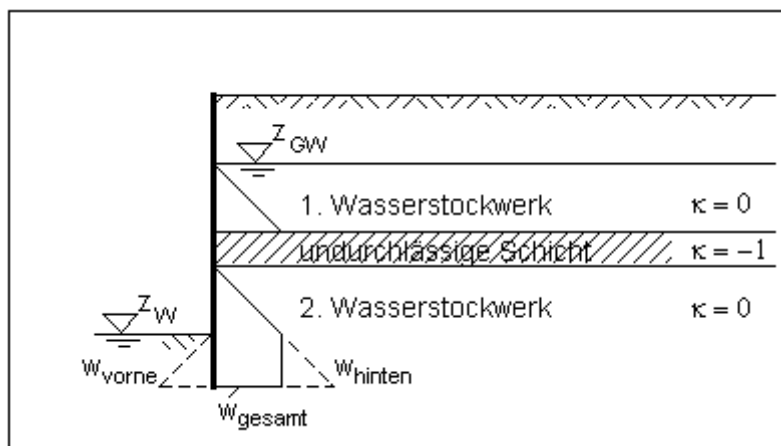
Die Wasserstände hinter und vor der Wand können unterschiedlich vorgegeben werden:

- Grundwasserstand z_{GW} im Gelände über [Projekt - Parameter](#)
- Wasserstand z_W im Aushub (standardmäßig $= z_{GW}$), siehe Kapitel [Aushub - Neu](#)
- Neuer Grundwasserstand in einem Aushubzustand im Aushub, siehe Kapitel [Aushub - Wasserdruckvorgabe](#)

Wasserdruck bei undurchlässigen Schichten (Berücksichtigung von Wasserstockwerken)

Bei einer undurchlässigen Schicht unterhalb des Grundwasserspiegels wirkt oberhalb dieser Schicht zunächst der normale Wasserdruck. In der undurchlässigen Schicht selbst (Eingabe eines Durchlässigkeitsbeiwertes $k = -1$) tritt kein Wasserdruck auf. Darunter beginnt der Wasserdruck wieder bei 0. Eine vertikale Auflast aus Wasser auf die undurchlässige Schicht wird nicht automatisch angesetzt. Bei Bedarf ist diese als unbegrenzte Flächenlast anzusetzen.

Alle Schichten unterhalb des Grundwasserspiegels (bzw. bei der Bestimmung des passiven Erddrucks unterhalb des Wasserstands im Aushub) werden automatisch mit ihrer Wichte unter Auftrieb γ' angesetzt. Nur für die undurchlässige Schicht, für die kein Auftrieb wirkt, wird γ in Ansatz gebracht.



(Ansatz des Wasserdrucks bei zwei Wasserstockwerken)

Strömungsdruck

Auf den Boden wirkt sein Gewicht und – falls unterhalb des Wasserstandes – ein Auftrieb. Ist durch einen Wasserdruck-Unterschied eine Strömung vorhanden, tritt zusätzlich ein Strömungsdruck w auf:

$$w = I * \gamma_W$$

wobei I das Druckgefälle und γ_W die Wichte des Wassers darstellt.

Wirkt der Strömungsdruck in senkrechter Richtung, wird die Wichte unter Auftrieb γ' des Bodens

- um einen Anteil $+ I * \gamma_W$ erhöht, wenn die Strömung nach unten wirkt,
- um einen Anteil $- I * \gamma_W$ vermindert, wenn die Strömung nach oben wirkt.

Gleichzeitig tritt für das Wasser ein Druckverlust auf. Dieser wird angesetzt durch

- eine Verminderung um $- I * \gamma_W$ bei Strömung nach unten,
- eine Erhöhung um $+ I * \gamma_W$ bei Strömung nach oben.

Zuschläge und Abschläge bei der Wichte des Bodens und beim Wasserdruck heben sich nicht gegenseitig auf, weil die Wichte zur Bestimmung des Erddrucks noch mit dem Erddruckbeiwert multipliziert wird. Daraus ergeben sich Unterschiede in der Belastung der Wand.

Zusätzlich ist wegen des veränderten Bodengewichts und der Strömungskräfte der Nachweis der Sicherheit gegen [hydraulischen Grundbruch](#) zu führen.

Bei Schichten mit wechselnden Durchlässigkeitsbeiwerten bestimmt sich das Druckgefälle in der Schicht Nr. n nach EAU E 114 zu

- für die Schichten hinter der Wand (Geländeseite)

$$I_n = \frac{0.7 * \Delta h}{k_n * \left(\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{k_i} + \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{k_i} * \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i}} \right)}$$

- für die Schichten vor der Wand (Baugrubenseite)

$$I_n = \frac{0.7 * \Delta h}{k_n * \left(\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i} + \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{k_i} * \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i}} \right)}$$

mit folgenden Werten:

Δh = Differenz der Wasserstände vor und hinter der Wand

d_i = Dicke der Schicht Nr. i vor der Wand

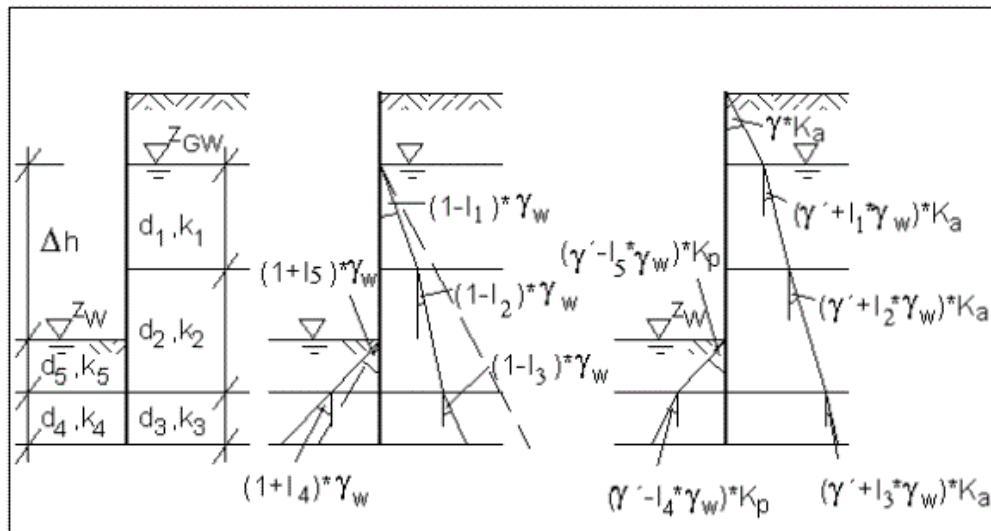
h_i = Dicke der Schicht Nr. i hinter der Wand längs des umströmten Weges

k_i = Durchlässigkeitsbeiwert der Schicht Nr. i .

In jedem Fall wird bei großen Werten von I_n der Wasserdruck und der Erddruck auf einen Mindestwert von 0 begrenzt, da sich sonst für das Wasser auf der Aktivseite und den Boden auf der Passivseite theoretisch Zug an der Wand ergeben könnte.

Für jede Schicht können die Durchlässigkeitsbeiwerte k bei den Schichtparametern eingegeben werden. Die Einheit ist i.A. m/s oder cm/s. Da jedoch für die Berechnung des Druckgefälles nur das Verhältnis der Durchlässigkeitsbeiwerte untereinander maßgebend ist, können Verhältnisswerte eingegeben werden, um zu geringe Zahlen zu vermeiden. Bei zwei Schichten mit Durchlässigkeiten von $1.0e-5$ und $1.0e-8$ kann z.B. 1 und 0.001 vorgegeben werden.

Eine konstante Umströmung mit gleichen Differenzwerten für Wichte Boden und Wasserdruck wird durch einen beliebigen k-Wert erreicht, der für alle Schichten gleich eingegeben wird.



(Verwendete Werte)

(Wasserdruck und Erddruck mit Strömungsdruck)

Bei anisotropen Böden, deren Durchlässigkeit in horizontaler Richtung wesentlich höher ist als in vertikaler Richtung, tritt hinter der Wand näherungsweise nur eine horizontale Strömung auf. Der Abbau der Druckdifferenz tritt also nur auf der Aushubseite zwischen Wandende und Aushubsohle statt.

In diesem Fall ist das Strömungsgefälle I hinter der Wand = 0, d.h. Wasser- und Erddruck bleiben auf der Erdseite unverändert. Das Strömungsgefälle für die Baugrubenseite bestimmt sich zu

$$I_n = \frac{0.7 * \Delta h}{k_n * \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i}}$$

Siehe hierzu auch SIA 261 Kap. 4.4.3 und Lang, Huder, Amann: Bodenmechanik und Grundbau, Kap. 7.7 (Näherungslösungen bei Schichten gleicher Durchlässigkeit).

Nach Schweizer Norm SIA ist anstatt des Faktors 0.7 im Zähler der Wert 1.0 zu verwenden. Dann ergibt sich am Wandfuß ein resultierender Wasserdruck bei Umströmung von 0.

Die Behandlung der Umströmung für isotrope oder anisotrope Böden sowie der gewünschte Faktor kann bei den Grundparametern (Projekt – [Parameter](#)) eingestellt werden.

Zusätzlich kann anstatt der berechneten Wandlänge für die Umströmung eine feste Wandlänge vorgegeben werden. Das gilt z.B. für Aushubzustände, bei denen rechnerisch noch eine kurze Wand erforderlich ist, aber bereits die volle Wandlänge mit Spundwandprofilen oder Bohrpfehlen eingebaut ist.

Wasserdruckvorgabe

Im Normalfall wird der Wasserdruck aus dem Grundwasserstand z_{GW} hinter der Wand und dem Wasserstand z_W vor der Wand automatisch bestimmt. Der Grundwasserstand wird unter [Projekt - Parameter](#) vorgegeben, der Wasserstand im Aushub (standardmäßig = Grundwasserstand) bei den Aushubparametern auf der Seite [Allgemeines](#). Falls erforderlich, kann der Grundwasserstand auch für jeden Aushubzustand verändert werden, siehe Seite [Aushub - Wasserdruckvorgabe](#). Die Wasserstände gelten in jedem Fall für die Verwendung der Wichte γ oder γ' unter Auftrieb.

Zusätzlich kann der gesamte resultierende Wasserdruck (hinter der Wand – vor der Wand) direkt vorgegeben werden (ebenfalls unter [Aushub - Wasserdruckvorgabe](#)). Dieser Wasserdruck wird dann zusätzlich zum Erddruck auf die Wand angesetzt.

Lasten auf Wand und Gelände

Zwei Arten von Lasten können eingegeben werden:

[Einzellasten](#) auf die Baugrubenwand:

Auf die Baugrubenwand können Horizontal- und Vertikalkräfte sowie Momente angesetzt werden. Der Lastangriffspunkt kann beliebig sein, muss jedoch innerhalb der Wand liegen. Die Lasten auf die Wand bewirken keinen Erddruck, sondern werden nur als Belastungen auf das statische System angesetzt.

Da die Wand mit ihrer Dicke berechnet wird und zusätzlich die Schwerachse schräg verlaufen kann, ist bei Kräften nicht nur die Tiefe, sondern auch der Angriffspunkt in x-Richtung (horizontal) von Bedeutung. Mit der Ausmitte der Last wird der Momenteneinfluss der Kräfte bezogen auf die Schwerlinie erfasst.

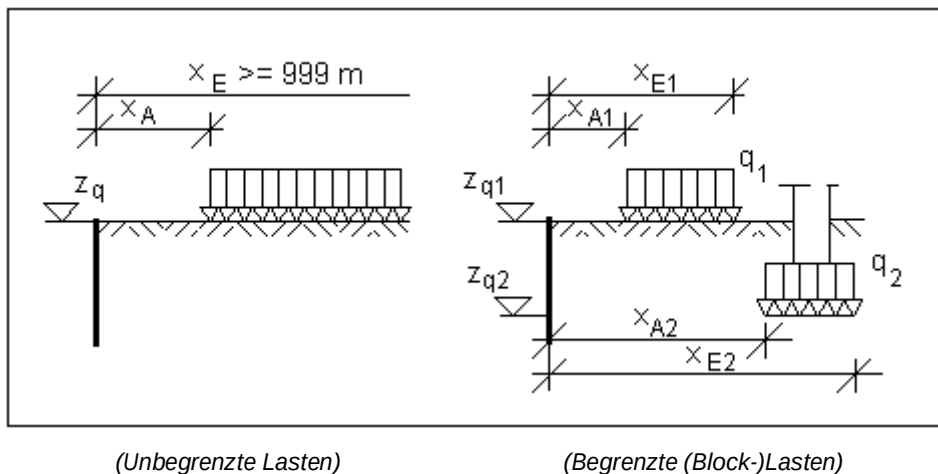
Das Koordinatensystem für die Kräfte an der Wand ist das gleiche wie bei der Definition der [Wandgeometrie](#).

Gleichlasten auf dem Gelände hinter der Wand:

Die Lasten auf dem Gelände werden mit ihrem Lastwert q , Anfang x_A und Ende x_E der Last sowie Höhe z_q der Lastfläche angegeben. Die Koordinaten der Last sind ebenfalls auf den gleichen Ursprung wie bei der Wanddefinition bezogen. Für die Wirkung auf den Erddruck ist jedoch der Abstand der Last von der Wandhinterkante maßgebend. Die Abstände werden automatisch entsprechend umgerechnet.

Der Einfluss der Gleichlasten auf den Erddruck ist unterschiedlich für großflächige, d.h. unbegrenzte Lasten und für Blocklasten, d.h. begrenzte Lasten. Unbegrenzte Lastflächen gelten intern für ein Lastende ab $x = 90$ m, können jedoch bei der [Eingabe](#) direkt als „unendlich ausgedehnt“ angegeben werden.

Als Blocklasten werden alle Gleichlasten betrachtet, bei denen nicht „unendlich ausgedehnt“ angegeben wird (siehe Menüpunkt Lasten - [Streckenlasten](#)) und deren Endkoordinate x_E kleiner als 90 m ist. Alle Lasten mit $x_E \geq 90$ m werden automatisch als unbegrenzt angesetzt.



Alle Lasten können aushubbezogen angesetzt werden, d.h. es kann bei jeder einzelnen Last angegeben werden, in welchem Bauzustand sie wirken oder nicht wirken soll. Damit können im Bauverlauf auftretende Lasten dem entsprechenden Aushubzustand zugeordnet werden.

Äußere Lasten auf die Baugrubenwand

Die Baugrubenwand kann durch Einzellasten (Horizontalkräfte H , Vertikalkräfte V und Momente M) belastet werden. Mit Hilfe dieser Lasten können z.B. Auflasten aus Gebäuden oder Einspannmomente anschließender Decken angesetzt werden. Durch die Lasten werden die Schnittkräfte im statischen System verändert, jedoch keine Veränderungen des Erddrucks bewirkt.

Den Ankernachweis in der tiefen Gleitfuge beeinflussen die Lasten dadurch, dass sich andere Ankerkräfte ergeben.

Verläuft die Schwerachse der Baugrubenwand schräg, dann werden die Horizontal- und Vertikallasten in Kräfte längs und quer zur Schwerachse (Normal- und Querkraftanteile) umgerechnet. Im Verlauf der Normalkraft und Querkraft tauchen dann die entsprechenden Anteile als Sprünge auf, die andere Werte als die Lasten selbst aufweisen.

Beispiel:

Vertikallast $V = 300 \text{ kN}$, Neigung der Schwerachse $\alpha = 7^\circ$

Umrechnung in N- und Q-Anteil:

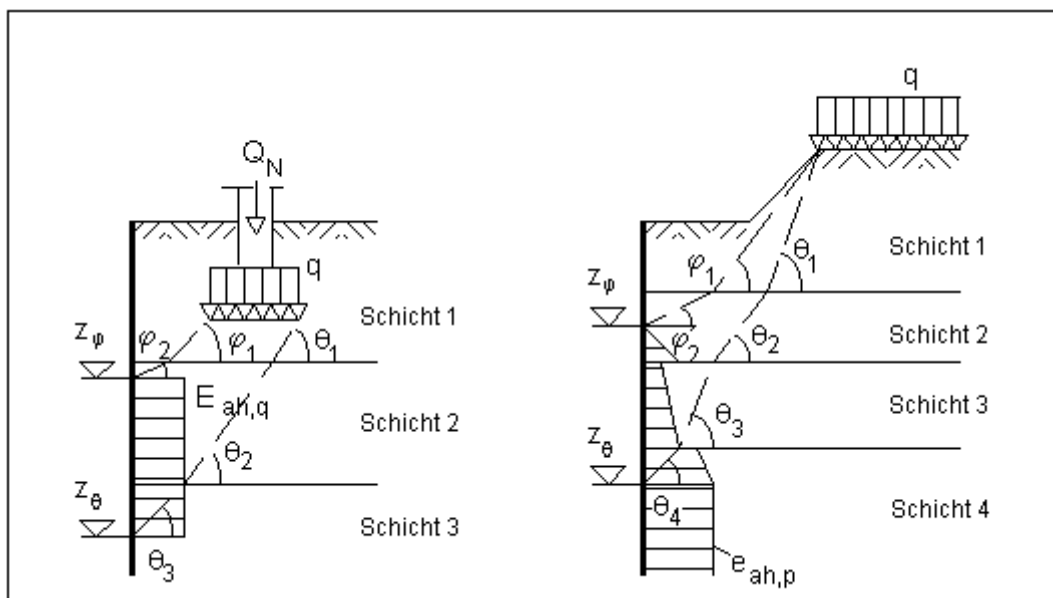
$$\Delta N = V \cdot \cos \alpha = 297.76 \text{ kN},$$

$$\Delta Q = V \cdot \sin \alpha = 36.56 \text{ kN}$$

Aktiver Erddruck aus Lasten

Die Auswirkung einer Auflast auf dem Gelände breitet sich unter dem Winkel φ der Bodenschichten aus. Von der Lastvorderkante wird eine Linie mit Neigung φ angesetzt. Deren Schnittpunkt mit der Wandhinterkante liegt in einer Tiefe z_φ . Zusätzlich wird von der Lasthinterkante bei begrenzten Auflasten bzw. von der Lastvorderkante bei unbegrenzten Auflasten eine Linie unter dem Winkel $\theta = 45^\circ + \varphi/2$ bis zu einer Tiefe z_θ gezogen.

Der Einfluss einer begrenzten Auflast läuft von z_φ bis z_θ . Der Einfluss einer unbegrenzten Auflast beginnt bei z_φ und erreicht bei z_θ seinen Maximalwert.



(Aktiver Erddruck aus begrenzter Flächenlast)

(Aktiver Erddruck oder Erdruchdruck aus unbegrenzter Flächenlast)

Für die Erddruckwirkung aus [begrenzten](#) und [unbegrenzten](#) Streifenlasten siehe die folgenden Kapitel.

Aktiver Erddruck aus begrenzten Streifenlasten

Der Gesamterddruck aus einer begrenzten Auflast mit Resultierender V bei homogenem Boden bestimmt sich nach Jenne: Erddruck (Betonkalender 1987, Teil II) und nach DIN 4085:2017 für aktiven Erddruck zu

$$V = q * (x_E - x_A)$$

$$E_{avh} = V * \frac{\sin(\vartheta_a - \varphi) * \cos(\alpha + \delta_a)}{\cos(\vartheta_a - \alpha - \delta_a - \varphi)}$$

Bei erhöhtem aktiven Erddruck K_{eh} werden die Erddruckanteile aus aktivem und aus Ruhedruck (siehe Kapitel [Erdruhedruck aus begrenzten Streifenlasten](#)) anteilig addiert.

Besteht der Baugrund aus unterschiedlichen Schichten, so werden zwischen den Einflusstiefen z_φ und z_ϑ die Schichtparameter φ , ϑ und δ nach Schichtdicke gemittelt. Die Höhe des Einflussbereichs ist

$$h_f = z_\vartheta - z_\varphi$$

Der Winkel ϑ wird unter Berücksichtigung von Wandneigung α und Wandreibungswinkel δ ermittelt. Dabei wird α auf $\alpha_{\max} = \vartheta_{ag} - \varphi$ nach DIN 4085:2017, 6.3.1.2, beschränkt mit ϑ_{ag} für α und $\delta = 0$.

Nach DIN 4085:1987 wird der Erddruck e_{aph} aus der Auflast als konstant über die Einflusstiefe angesetzt zu

$$e_{aph} = \frac{E_{vah}}{h_f}$$

Nach DIN 4085:2017, Tabelle C.2 sind verschiedene Verteilungen möglich.

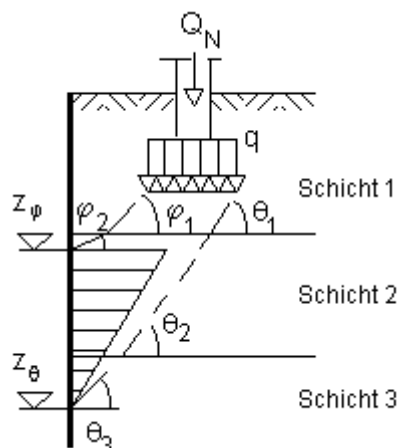
Bei einem Abstand x_A der Last von der Wandhinterkante und einem Lastende x_E ergibt sich eine Trapezverteilung mit den Werten oben/unten:

$$e_{o/u} = \frac{E_{avh}}{h_f} * \left(1 \pm \frac{x_A}{x_E + x_A} \right)$$

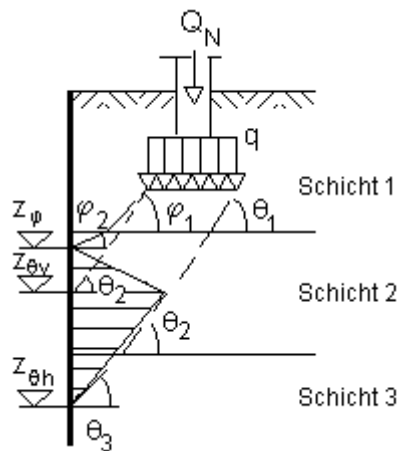
Bei einer Blocklast direkt ab Wandhinterkante ($x_A = 0$) ergibt sich daraus automatisch eine Rechteckverteilung.

Alternativ können andere Lastverteilungen gewählt werden:

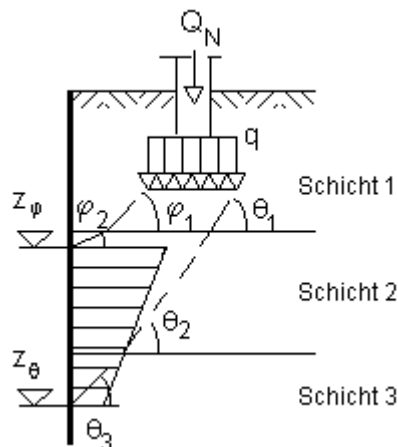
- Dreieck von z_φ bis z_ϑ mit Maximalwert oben:



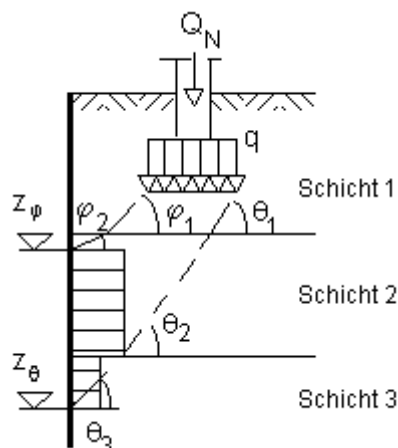
- Dreieck von z_φ bis z_θ mit Maximalwert bei z_θ ab Lastvorderkante:



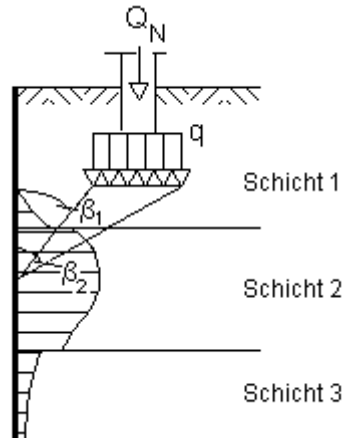
- Trapez von z_φ bis z_θ mit Wert oben : Wert unten = 3:1 :



- Rechtecke wie beim Standardansatz für den aktiven Erddruck, wobei die Gesamtlast $E_{ah,q}$ (siehe Beschreibung im Kapitel [Aktiver Erddruck aus Lasten](#)) für jede Schicht getrennt bestimmt wird:



- Ansatz nach Fröhlich wie beim Standardansatz für Erdruchdruck mit nachträglicher Multiplikation der Ordinaten um $K_{ah}/0.5$ für Konzentrationsfaktor $n=3$, $K_{ah}/0.25$ für $n=4$ oder $K_{ah}/0.1667$ für $n=5$ (bzw. K_0 anstatt K_{ah} bei Erdruchdruck). Damit ergibt sich für aneinandergereihte Blocklasten der gleiche Erddruck wie für unendlich ausgedehnte Lasten:



- Ansatz grundsätzlich nach Fröhlich wie bei Ruhedruck, auch wenn aktiver Erddruck angesetzt wurde (siehe Kapitel [Erdruchdruck aus begrenzten Streifenlasten](#)).

Als spezieller Lastansatz können auch Eisenbahnlasten nach RIL 836 angesetzt werden. Der Erddruck aus Eisenbahnlasten wird grundsätzlich in Rechteckform angesetzt. Hierbei kann zusätzlich zu der senkrechten Belastung eine Fliehkraft p_H in kN/m und ein Seitenstoß S in kN (i.A. 100 kN) vorgegeben werden. Der Seitenstoß wird auf eine Breite $l = 2a + 4.0\text{m}$ mit a = Abstand des Lastanfangs von der Wandhinterkante verteilt. Die Gesamt-Horizontallast $E_{ah,q}$ aus der Flächenlast wird dann um $p_H + S/l$ erhöht.

- Erhöht aktiver Erddruck aus Blocklasten
Da der Erdruchdruckanteil aus Blocklasten nach Fröhlich zu einer geringeren Gesamtlast führt als der aktive Erddruck aus Blocklasten, ist bei erhöht aktivem Erddruck gemäß EAB, EB 22 die aktive Erddrucklast aus den Blocklasten anzusetzen, wenn die Lasten einen kleinen Abstand zur Wand haben.
Das bedeutet, dass die Neigung von Lastvorderkante bis zur Hinterkante des Wandfußes steiler ist als der Winkel θ ($=45^\circ + \varphi/2$). In diesem Fall wird vom Programm automatisch die Lastfigur für den aktiven Erddruck angesetzt und ein entsprechender Hinweis ausgegeben.

Aktiver Erddruck aus unbegrenzten Streifenlasten

Der aktive Erddruck aus einer unbegrenzten Auflast p_v wirkt gemäß Jenne: Erddruck (Betonkalender 1987, Teil II), Bild 33, ab einer Tiefe z_0 voll mit dem Wert

$$e_{aph} = p_v * K_{agh}$$

Für K_{agh} gelten die aktiven Erddruckbeiwerte für waagerechtes Gelände der entsprechenden Schichten.

Nach DIN 4085:2017 gilt ein Beiwert K_{aph} für den Erddruck aus Auflasten:

$$K_{aph} = \frac{\cos \alpha * \cos \beta}{\cos(\alpha - \beta)} * K_{agh}$$

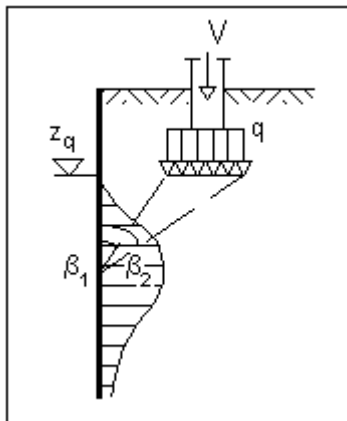
und damit:

$$e_{aph} = p_v * K_{aph}$$

Ab der Einflusstiefe z_ϕ bis zur Tiefe des vollen Wertes z_0 wird der Erddruck aus der Auflast von 0 ansteigend auf e_{aph} angesetzt mit den Werten der jeweilig betroffenen Schichten, siehe Bild im Kapitel

„[Aktiver Erddruck aus Lasten](#)“.

Erdruchdruck aus begrenzten Streifenlasten



(Erddruck aus begrenzter Auflast bei Ruhedruck)

Die Erddruckwirkung von Blocklasten wird nach der Theorie des elastischen Halbraumes ermittelt, siehe EB 23, Abs. 5, Bild 2 c. Die Berechnung erfolgt unterschiedlich je nach Bodenart und Vorbelastung bei verschiedenen Konzentrationsfaktoren n (Kollbrunner: Foundation und Konsolidation).

Bei nichtbindigem oder nicht vorbelastetem bindigem Boden gilt mit $n = 4$ (Kollbrunner, Gl. 142):

$$e_{0h,q} = \frac{q}{4} * (\sin^3 \beta_2 - \sin^3 \beta_1)$$

Bei vorbelastetem oder bindigem Boden gilt mit $n = 3$ (Kollbrunner, Gl. 292):

$$e_{0h,q} = \frac{q}{\pi} * (\beta_2 - \beta_1 + \sin \beta_1 * \cos \beta_1 - \sin \beta_2 * \cos \beta_2)$$

Bei Konzentrationsfaktor $n = 5$ gilt:

$$e_{0h,q} = \frac{q}{3\pi} * \left(\beta_2 - \beta_1 + \frac{1}{4} * \sin(4\beta_1) - \frac{1}{4} * \sin(4\beta_2) \right)$$

Der Einfluss der Auflasten auf den Erddruck beginnt in der Tiefe der Auflast, mindestens jedoch auf Höhe des Wandkopfes.

Für unendlich ausgedehnte Flächenlasten würden sich mit $\beta_2 = \pi/2$ und $\beta_1 = 0$ die folgenden Ruhedruckbeiwerte ergeben:

- $n = 3$: $K_0 = 1/2$
- $n = 4$: $K_0 = 1/4$
- $n = 5$: $K_0 = 1/6$

Soll der Ruhedruckbeiwert K_0 einer Bodenschicht angesetzt werden, z.B. bei begrenzten Verkehrslasten, kann die Last – je nach Konzentrationsfaktor – um die folgenden Faktoren erhöht werden:

- $n = 3$: Faktor $2 * K_0$
- $n = 4$: Faktor $4 * K_0$
- $n = 5$: Faktor $6 * K_0$

Dies kann automatisch über den alternativen Lastansatz „Ansatz nach Fröhlich wie beim Standardansatz für Erdruchdruck mit nachträglicher Multiplikation der Ordinaten“ geschehen.

Alternativ sind weitere Lastansätze möglich, die für aktiven Erddruck oder Erdruchdruck gleich angesetzt werden. Näheres siehe im Kapitel „[Aktiver Erddruck aus begrenzten Streifenlasten](#)“.

Die senkrechte Belastung der Wand aus begrenzten Auflasten ergibt sich für $n = 4$ zu

$$e_{0v,q} = \frac{q}{4} * (\cos^3 \beta_1 - \cos^3 \beta_2)$$

bei $n = 3$:

$$e_{0v,q} = \frac{q}{\pi} * (\sin^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_1)$$

und bei $n = 5$:

$$e_{0v,q} = \frac{2q}{3\pi} * (\cos^4 \beta_1 - \cos^4 \beta_2)$$

Erdruhedruck aus unbegrenzten Streifenlasten

Unendlich ausgedehnte Auflasten wirken in gleicher Weise wie das Eigengewicht des Bodens. Der Erddruck aus der Auflast bestimmt sich daher nach DIN 4085:1987 mit dem Erdruhedruckbeiwert K_{0h} :

$$e_{0ph} = p_v * K_{0gh}$$

Nach DIN 4085:2017 gilt ein Beiwert K_{0ph} für den Ruhedruck aus Auflasten:

$$K_{0ph} = K_{0gh} / \cos \beta$$

und damit

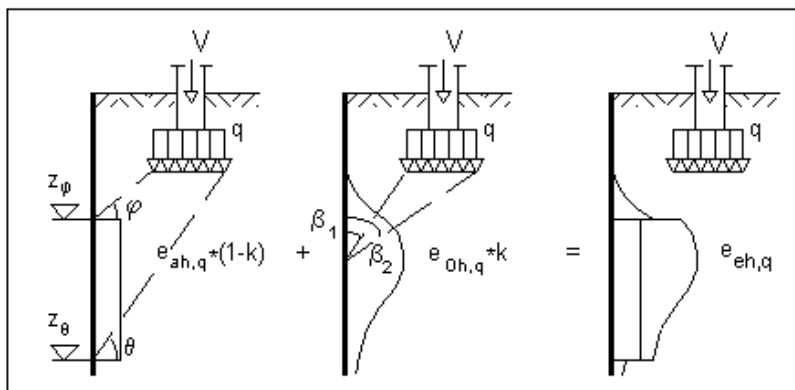
$$e_{0ph} = p_v * K_{0ph}$$

Zur Verteilung des Erddruckes (Beginn bei Abstand > 0 von der Wandhinterkante) siehe im Bild in Kapitel „[Aktiver Erddruck aus Lasten](#)“.

Erhöhter aktiver Erddruck aus Lasten

Bei erhöhtem aktivem Erddruck wird der Anteil k des Ruhedrucks vorgegeben, siehe [Projekt - Parameter](#). Im Programm werden die Erddruckverteilungen aus dem aktiven Erddruck und dem Erdruhedruck getrennt berechnet und dann anteilig zusammengesetzt:

$$e_{ph} = e_{aph} * (1 - k) + e_{0ph} * k$$



(Zusammensetzung des erhöhten aktiven Erddrucks aus Blocklasten)

Bitte beachten:

Der Erdruhedruckanteil, insbesondere bei begrenzten Auflasten, kann einen geringeren Gesamt-Erddruck als bei aktivem Erddruck ergeben, so dass die Summe des erhöhten aktiven Erddrucks nicht immer höher ist als die des aktiven Erddrucks.

Erddruck bei Rückbauzuständen

Rückbauzustände stellen Bauzustände dar, bei denen die Baugrube wieder aufgefüllt wird und sich damit die Aushubtiefe vermindert. Da die Reihenfolge der Aushubzustände im Normalfall durch Sortierung nach ihrer Tiefe bestimmt wird, sind Rückbauzustände eigens zu kennzeichnen. Das geschieht durch Anwahl von „Rückbauzustand“ bei den Eigenschaften des Aushubs (siehe Kapitel [Aushub - Allgemeines](#)). Intern wird dem Namen des Aushubs ein 'R' vorgestellt, wenn er nicht bereits mit 'R' bis 'Z' beginnt. Die Namen von Vorbauzuständen dürfen deshalb nicht mit 'R' bis 'Z' beginnen.

In Rückbauzuständen wird der Erddruck nicht neu berechnet. Der wirksame Erddruck des vorigen Aushubs (Vor- oder Rückbauzustand) wird für die Berechnung übernommen, allerdings in Höhe der Aushubsohle z_s des Rückbauzustandes abgeschnitten.

Ausnahme: eine Erddruckvorgabe im Rückbauzustand ist möglich (nur für Gesamterddruck) und überschreibt den Erddruckverlauf aus dem vorigen Aushub.

Lastnullpunkt

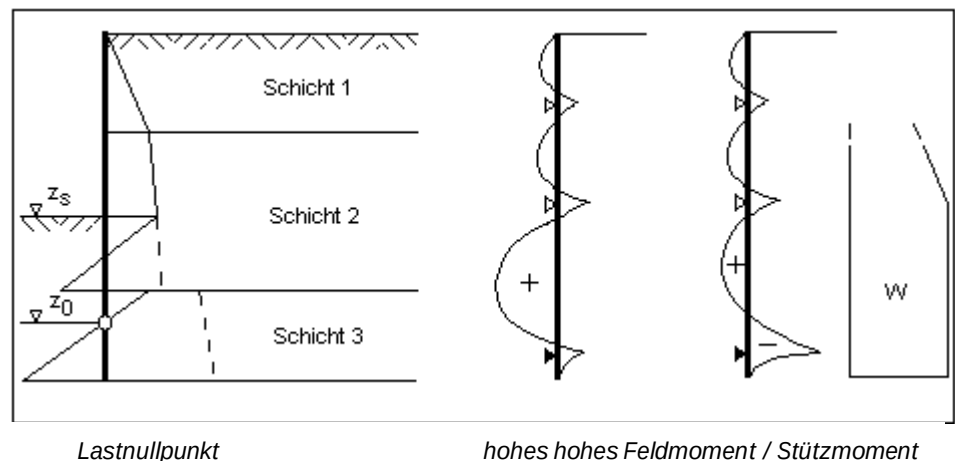
Als Lastnullpunkt wird die Tiefe bestimmt, ab der der Gesamterddruck auf die Wand (aktiver, erhöht aktiver Erddruck oder Ruhedruck aus Bodeneigengewicht und Auflasten abzüglich Erdwiderstand) nur noch negativ ist. Bei mehreren Nulldurchgängen bei geschichtetem Baugrund, z.B. bei hoher Kohäsion in einer Schicht, gilt der letzte Nulldurchgang.

Bei Trägerbohlwänden, bei denen der Gesamterddruck auf Höhe der Aushubsohle abgeschnitten wird, ist der Lastnullpunkt die Tiefe der Aushubsohle z_s .

Der Erdwiderstand ist (je nach Anforderung beim [Aushub](#)) entweder der passive Erddruck dividiert durch den Sicherheitsbeiwert e_{ph}/η_p oder der negative Erddruckanteil nach Überlagerung von e_{ah} , e_{oh} oder e_{eh} mit e_{ph} und Division durch η_p .

Bitte beachten:

Wird der Wandfuß horizontal verschieblich angesetzt (siehe Eingabe [Aushub - Allgemeines](#)) und keine elastische Bettung verwendet, entspricht dies einer punktförmigen Auflagerung auf der Resultierenden des Erdwiderstandes. Die Resultierende ergibt sich entweder aus Aufsummierung des Erdwiderstandes unterhalb des Lastnullpunktes oder als Summe des vorgelagerten Erdwiderstandes e_{ph}/η_p .



Durch die punktförmige Auflagerung können je nach Belastung zwei Effekte auftreten:

- Der Abstand (und damit die Feldlänge) zwischen dem untersten Anker und dem Auflagerpunkt wird so groß, dass das Feldmoment sehr hoch wird (siehe Bild, Mitte) oder
- z.B. bei hohem Wasserdruck ergibt sich am Auflager ein sehr hohes Stützmoment und dadurch ein kleineres Feldmoment.

Diese Fälle können durch folgende Maßnahmen vermieden werden:

- Berechnung des Aushubs mit elastischer Bettung des Wandfußes, siehe Kapitel [Aushub - Bettungszahlen](#) (empfohlen)
- Der Erdwiderstand wird als Belastung auf das System angesetzt, indem beim [Aushub](#) eine kontinuierlichen Lagerung angefordert wird.

Erddruckumlagerung

Gemäß EAB darf der Erddruck in verschiedenen Fällen auf unterschiedliche Weise umgelagert werden, da sich die Belastung der Wand bei gestützten Baugrubenwänden verändert. Eine Umlagerung des Erddrucks ist nicht zulässig, wenn keine Verankerung vorhanden ist, d.h. als statisches System ein Kragarm vorliegt. Dies gilt nicht für die Abminderung von Ruhedruck.

Der Erdruhedruck aus Bodeneigengewicht nimmt bei mindestens zwei Abstützungen ab einer bestimmten Tiefe nicht mehr zu. Bei Umlagerung des Erddrucks in ein Rechteck ist nach EAB in gewissen Fällen eine Erhöhung der Stützkkräfte vorgeschrieben. Das Programm nimmt diese Erhöhung für die Bemessung der Bauteile automatisch vor.

Das Programm bietet eine große Anzahl verschiedenster Umlagerungsfiguren, u.a. auch Abminderungen des Erddrucks, die teilweise lokal unterschiedlich gefordert sind (z.B. Münchener U-Bahn-Referat). Die Zulässigkeit des jeweiligen Ansatzes für die spezielle Anwendung ist vom Bearbeiter zu prüfen.

Wasserdruck wird grundsätzlich nicht umgelagert, sondern unverändert auf die Belastung der Wand durch Erddruck addiert.

In den folgenden Kapiteln wird beschrieben:

- Umlagerung von aktivem und erhöhtem aktivem Erddruck
- [Abminderung von Erdruhedruck](#)
- [Tabelle der Umlagerungsfiguren](#)

Umlagerung von aktivem und erhöhtem aktivem Erddruck

Für aktiven und erhöhten aktiven Erddruck stehen in DC-Baugrube folgende Möglichkeiten der Umlagerung zur Verfügung (siehe auch [Tabelle](#)):

1. Art der Umlagerung:

- Dreiecksumlagerung ($z_2 = z_1$):
Umlagerung des Erddrucks in ein flächengleiches Dreieck, wahlweise mit Abminderung des Endwertes um einen Faktor ε auf $e \cdot (1 - \varepsilon)$ anstatt Endwert 0
- Trapezumlagerung ($z_2 > z_1$):
Umlagerung des Erddrucks in ein flächengleiches Trapez, wahlweise mit Abminderung des Endwertes um einen Faktor ε auf $e \cdot (1 - \varepsilon)$ anstatt Endwert 0.
Wahlweise kann der Erddruck bei z_1 abgeschnitten anstatt umgelagert werden (wie sonst bei Erdruhedruck).
- Rechteckumlagerung:
Umlagerung des Erddrucks in ein flächengleiches Rechteck, bei Münchner Umlagerungsfigur zusätzlich Anhängen eines Erddruckkeils ab der Baugrubensohle mit Abminderung auf $e \cdot (1 - \varepsilon)$ bis zum Wandende
- Zwei Rechtecke:
Umlagerung des Erddrucks in zwei Rechtecke mit Sprung bei einer wählbaren Tiefe z_1 , wobei die Ordinate des zweiten Rechtecks um einen Faktor ε kleiner ist als die des ersten Rechtecks: $e_2 = e_1 \cdot (1 - \varepsilon)$.
- Drei Rechtecke:
Umlagerung des Erddrucks in drei Rechtecke mit Sprung bei wählbaren Tiefen z_1 und z_2 , wobei die Ordinaten des ersten und dritten Rechtecks um einen Faktor ε kleiner sind als die des zweiten Rechtecks:
 $e_1 = e_3 = e_2 \cdot (1 - \varepsilon)$.
- Trapez nach EAU:
Umlagerung des Erddrucks in ein Trapez mit unterschiedlichen Werten am Wandkopf und auf Höhe der Baugrubensohle. Der Erddruck unterhalb der Baugrubensohle bleibt unverändert. Es stehen die in EAU vorgegebenen Trapezformen (z.B. oben:unten = 0.75:1.25) sowie die freie Eingabe der Faktoren zur Verfügung.

- Affinfigur:

Vorgabe einer beliebigen Figur über dimensionslose Verhältniswerte (z.B. 0 ... 1), so dass eine beliebige Erddruckfigur angegeben werden kann. Die Erddruckordinaten werden nach den Verhältniswerten so umgerechnet, dass die Erddruckfigur flächengleich der nicht umgelagerten Figur ist.

Wahlweise kann zusätzlich ein Lastfaktor zur Erhöhung des umgelagerten Erddrucks vorgegeben werden.

2. Behandlung der begrenzten Auflasten:

- Umlagerung des Erddrucks einschl. des Anteils aus begrenzten Auflasten
- Umlagerung des Erddrucks ohne begrenzte Auflasten, Addition des Anteils aus begrenzten Auflasten auf den umgelagerten Erddruck.

3. Bereich der Umlagerung:

- Umlagerung des Erddrucks bis zur Baugrubensohle, Überlagerung mit dem Erdwiderstand (passiver Erddruck dividiert durch den Sicherheitsfaktor: e_{ph}/η_p)
- Umlagerung des überlagerten Erddrucks (aktiv + Erdwiderstand) bis zum Lastnullpunkt (nicht verfügbar bei Berechnung nach DIN 1054:2005, da hier nicht überlagert wird)
- Umlagerung des Erddrucks bis zum Wandfuß, Überlagerung mit dem Erdwiderstand
- Bei der Affinfigur kann über eine freie Tiefe gewählt werden, bis zu welcher Endtiefe der Erddruck aufsummiert und bis zu welcher Tiefe er umgelagert werden soll. Die vorgegebene Affinfigur wird dann evtl. bei der zweiten vorgegebenen Tiefe abgeschnitten, ansonsten mit Werten von 0 aufgefüllt
- Bei den Umlagerungsfiguren nach EAU wird immer bis zur Baugrubensohle umgelagert.

Umlagerung bei Trägerbohlwänden

Nach EB 5, EB 12 und EB 22 kann der Erddruck bis zur Tiefe der Aushubsohle in ein flächengleiches Rechteck, Trapez oder Dreieck umgelagert werden. Andere Bereiche sind wie oben beschrieben möglich.

Umlagerung bei Spundwänden, Bohrpfahlwänden und Schlitzwänden

Nach EB 16 und EB 22 wirkt unterhalb der Aushubsohle ein Erddruck, der sich aus dem (erhöht) aktiven abzüglich durch einen Sicherheitsfaktor dividierten passiven Erddruck ergibt:

$$e = e_{ah} - e_{ph}/\eta_p \text{ (bei Berechnung mit globaler Sicherheit).}$$

Dieser Gesamterddruck besitzt einen Nulldurchgang in der Tiefe z_0 . Der (erhöht) aktive Erddruck wird nun bis zum Lastnullpunkt in ein flächengleiches Rechteck oder Trapez umgelagert. Die Knickpunkte des Trapezes liegen i.A. auf der Höhe des ersten und letzten Ankers.

Eine Umlagerung bis zum Wandfuß ist zusätzlich möglich.

Der Erddruck aus begrenzten Auflasten (Blocklasten) kann entweder mit umgelagert werden oder auf den umgelagerten Erddruck aus Bodeneigengewicht und großflächigen Lasten addiert werden (siehe [Tabelle](#)).

Alternativ kann unter Projekt - [Parameter](#) gewählt werden, dass die Erddruckumlagerung nach EAB oder EAU automatisch eingestellt wird.

Abminderung von Erdruhedruck

Nach EB 18 und EB 23 bleibt bei mindestens zwei Ankern oder Steifen der Erdruhedruck aus Bodeneigenlast ab der Tiefe der untersten Abstützung bis zum Wandfuß konstant. Bei nur einer Abstützung wird der Erdruhedruck konstant gehalten ab einer Tiefe, die 1/3 der Höhe zwischen Anker und Aushubtiefe oberhalb der Baugrubensohle liegt. Auf diesen verminderten Erddruckverlauf wird der Erddruck aus begrenzten Auflasten wahlweise in voller Höhe addiert (siehe [Tabelle](#)). Es ist möglich, den Ruhedruck unterhalb der Aushubsohle abzuschneiden. Dieser Ansatz ist in der EAB jedoch nicht enthalten.

Damit ergeben sich für den Erdruhedruck folgende Abminderungen:

- Erdruhedruck konstant ab einer Tiefe z_1 , Addition des Erddrucks aus begrenzten Auflasten
- Erdruhedruck konstant ab einer Tiefe z_1 , einschließlich begrenzter Auflasten
- Erdruhedruck konstant ab einer Tiefe z_1 bis zur Baugrubensohle, Addition begrenzter Auflasten.

Wahlweise kann der Erddruck ab einer Tiefe z_2 um einen Faktor ε auf $e \cdot (1 - \varepsilon)$ abgemindert werden.

- Affinfigur:

Zusätzlich ist die Vorgabe einer beliebigen Figur über dimensionslose Verhältnisswerte (z.B. 0 ... 1) möglich, so dass eine beliebige Erddruckfigur angegeben werden kann. Die Erddruckordinaten werden nach den Verhältnisswerten so umgerechnet, dass die Erddruckfigur flächengleich der nicht umgelagerten Figur ist.

Trägerbohlwände

Bei Trägerbohlwänden ist aufgrund der größeren Verformungen der Ansatz von Erdruhedruck i.A. nicht sinnvoll. Wird der Ruhedruck in der Eingabe angefordert dann ist eine Abminderung wie bei Spund-, Bohrpfahl- und Schlitzwänden möglich.

Spundwände, Bohrpfahlwände und Schlitzwände

Bei Spundwänden, Bohrpfahlwänden und Schlitzwänden wird i.A. der Erddruck aus Bodeneigengewicht und unbegrenzten Auflasten wie oben beschrieben ab der untersten Ankerlage konstant gehalten und der Erddruck aus begrenzten Auflasten addiert.

Wahlweise ist wie beschrieben ein konstanter Erddruck einschl. begrenzte Auflasten, sowie Weglassen des Erddrucks unter der Baugrubensohle möglich. Diese Ansätze sind in der EAB jedoch nicht vorgesehen.

Tabelle der Umlagerungsfiguren

Tabelle 1: Umlagerungen einschließlich Erddruckanteil aus begrenzten Auflasten bzw. Abminderungen für Ruhedruck:

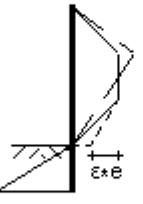
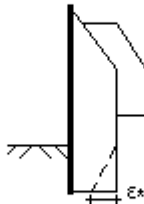
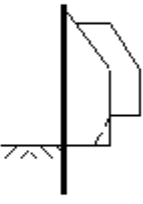
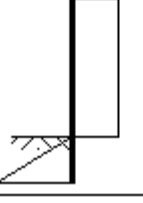
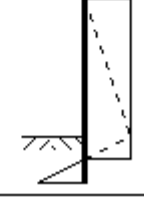
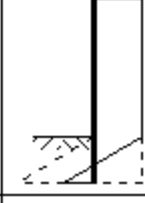
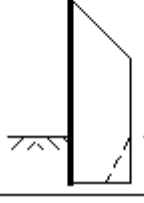
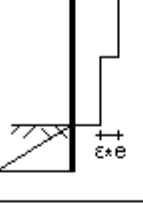
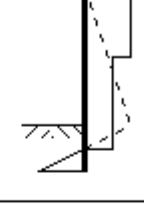
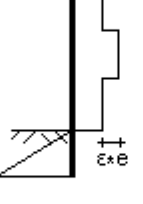
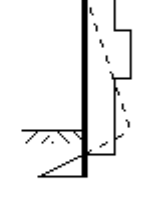
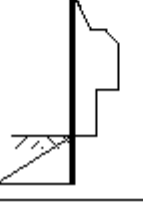
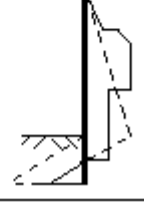
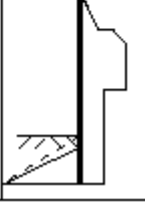
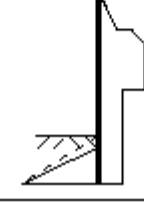
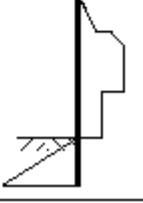
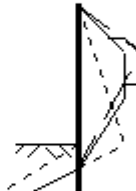
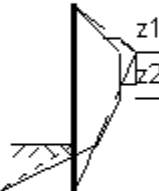
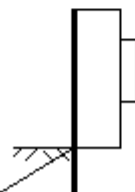
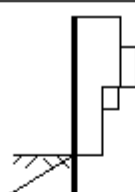
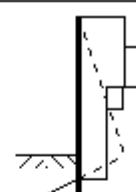
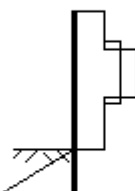
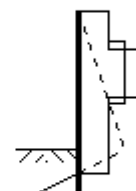
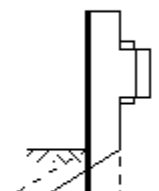
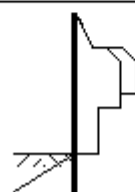
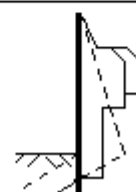
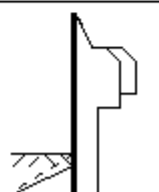
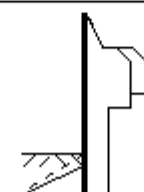
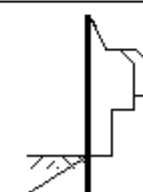
Umlagerungsfiguren 1						
	Aktiver / erhöhter aktiver Erddruck				Ruhedruck	
	Bis Baugrubensohle	Bis Lastnullpunkt	Bis Wandfuß		Konst. von z1 bis Wandfuß	Konst. von z1 bis Baugrubensohle
Trapez/ Dreieck einschl. begr. Auflasten, wahlweise abgeschn.				+begr. Auflasten		
Rechteck einschl. begr. Auflasten				einschl. begr. Auflasten		
Zwei Rechtecke einschl. begr. Auflasten						
Drei Rechtecke einschl. begr. Auflasten						
beliebige Affinfigur einschl. begr. Auflasten (freier Bereich)						

Tabelle 2: Umlagerungen zuzüglich Erddruckanteil aus begrenzten Auflasten:

Umlagerungsfiguren 2						
	Aktiver / erhöhter aktiver Erddruck			Ruhedruck		
	Bis Bau- grubensohle	Bis Last- nullpunkt	Bis Wandfuß			
Trapez/ Dreieck +begr. Auflasten						
Rechteck +begr. Auflasten						
Zwei Rechtecke +begr. Auflasten						
Drei Rechtecke +begr. Auflasten						
beliebige Affinfigur +begr. Auflasten (freier Bereich)						

Zusätzlich werden die Umlagerungsfiguren nach EAU (Trapeze mit verschiedenen Verhältniswerten oben/unten) und mit freien Werten angeboten.

Statisches System und Ankerkräfte

Zur Berechnung der Baugrubenwand wird ein (evtl. schräger und/oder geknickter) Durchlaufträger angesetzt, der auf Ankern oder Steifen in Richtung der Abstützung unverschieblich oder elastisch gelagert ist (siehe EB 11 Abs. 2). Bei geneigten Ankern ist das Auflager quer zur Ankerrichtung verschieblich, so dass in horizontaler Richtung geringe Verformungen auftreten können, da sich die schräge Verformung aus Horizontal- und Vertikalanteilen zusammensetzt. Die Wandverformung in der Tiefe, in der im nächsten Aushubzustand ein Anker eingebaut wird, kann als Vorverformung auf den nächsten Aushub übernommen werden (nur für einen Anker pro Aushub!).

Wahlweise können mit der Option "Zusätzliche Auflagerverformungen vorgeben" Zusatzverformungen für jedes Auflager definiert werden, siehe Dialog [Aushub - Allgemein](#). Die Zusatzverformung für einen Aushub wird zu den bereits in vorherigen Aushubzuständen definierten Verformungen addiert, d.h. die Zusatzverformungen summieren sich über die verschiedenen Aushubzustände. Hiermit können z.B. Stützensenkungen aus Schwinden von Betondecken simuliert werden

Die Belastung des Trägers erfolgt durch Erd- und Wasserdruck sowie eventuelle Einzellasten auf die Wand. Der Wandkopf kann frei verschieblich, drehbar gelagert, gegen Verdrehen eingespannt aber verschieblich oder fest eingespannt angesetzt werden. Für den [Wandfuß](#) können verschiedene Lagerungsbedingungen angesetzt werden, siehe folgendes Kapitel. An Knickstellen (Änderung der Neigung der Schwerachse) wird der Übergang zwischen Normalkraft- und Querkraft-Anteilen sowie zwischen den Verschiebungen u (längs der Schwerachse) und w (quer zur Schwerachse) berücksichtigt.

Anker und Steifen können

- als unverschiebliche Auflager angesetzt werden, wobei sich die Ankerkraft A_h als Auflagerkraft ergibt
- als elastische Auflager (Federn) angesetzt werden, wodurch sich eine Auflagerkraft und eine Verschiebung berechnet oder
- als vorgespannte Anker angesetzt werden, die bis zu ihrer Vorspannkraft als festes Auflager wirken, darüber als elastische Feder
- durch Vorgabe einer Ankerkraft A_h als Kraft auf die Wand wirken.

A_h bezeichnet hier den horizontalen Anteil der Ankerkraft, unabhängig von der Neigung der Anker, der jedoch bei schräger Schwerachse noch in Anteile längs und quer zur Achse umgerechnet wird.

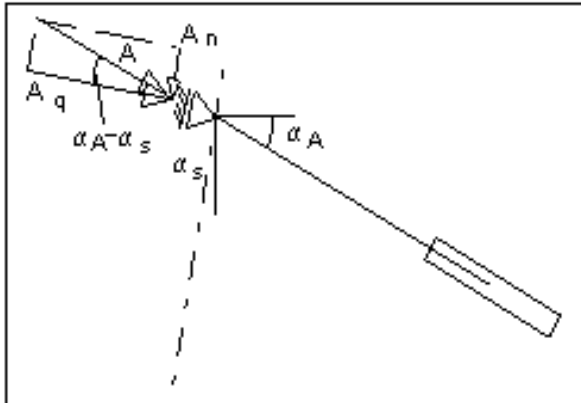
Je nach Ansatz der Ankerkräfte werden die Kraftwirkungen bezogen auf die schräge Schwerachse des Wandkörpers unterschiedlich bestimmt:

- Ansatz des Ankers als festes Auflager:
Bei der Berechnung der Wand als Durchlaufträger ergibt sich eine Auflagerkraft A_q quer (senkrecht) zur Schwerachse.
Besitzt der Anker eine Neigung $\alpha_A \neq \alpha_S$ (Neigung der Schwerachse), so ergibt sich aus der berechneten Ankerkraft A_q ein

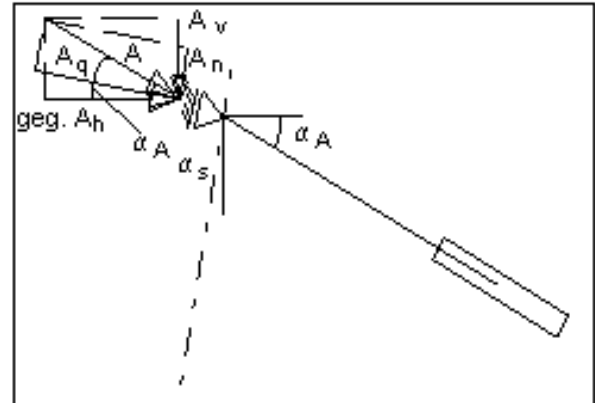
Anteil A_n längs der Schwerachse (der einen Normalkraft-Sprung bewirkt) von

$$A_n = A_q * \tan(\alpha_A - \alpha_S)$$

Das Auflager ist in Ankerrichtung unverschieblich, so dass sich je nach Neigung der Schwerachse ein Normalkraft- und ein Querkraftsprung ergibt.



Anteile der Ankerkraft bei Ansatz des Ankers als Kraft A_h



Anteile der Ankerkraft bei Ansatz des Ankers als Auflager

- Ansatz des Ankers als elastische Feder:
es können nur horizontale Federn angesetzt werden. Bei einer Horizontalbewegung der Wand um einen Wert w_h wird der Anker verlängert um $\Delta l = w_h \cdot \cos \alpha_A$. Daraus ergibt sich die Federsteifigkeit des Ankers durch eine Kraft P wie folgt:

$$c_A = \frac{P_h}{w_h} = \frac{P \cdot \cos \alpha_A}{\Delta l / \cos \alpha_A} = \frac{E \cdot A}{l \cdot a} \cdot \cos^2 \alpha_A$$

mit

P = Ankerkraft

Δl = Verlängerung des Ankers

α_A = Ankerneigung

E = E-Modul des Ankerstahls

A = Querschnittsfläche des Ankers

l = freie Länge des Ankers

a = horizontaler Ankerabstand zur Ermittlung einer Federkonstante je lfm Wand

- Ansatz des Ankers als vorgespannter Anker:
Wird eine Federkonstante und eine Vorspannkraft (als Horizontalkomponente je m Wand) vorgegeben, dann wirkt der Anker so lange als festes Auflager, so lange die Vorspannkraft nicht überschritten wird. Ist die Auflagerkraft höher als die Vorspannkraft, dann wirkt der Anker als elastische Feder. Hierfür wird zunächst die Auflagerkraft für ein unverschiebliches Auflager bestimmt. Überschreitet die Auflagerkraft die Vorspannkraft, dann wird der Anker als elastische Feder angesetzt und es erfolgt eine Neuberechnung. Durch die weichere Lagerung kann sich nun evtl. eine geringere Auflagerkraft ergeben, die die Vorspannkraft wieder unterschreitet. Es wird so lange iteriert, bis die korrekte Auflagerkraft mit der zugehörigen Auflagerbedingung gefunden ist. Vorverformungen aus elastischen Ankern von vorhergehenden Aushubzuständen werden hierbei berücksichtigt.
- Vorgabe der Ankerkraft als Einzelkraft auf den Wandkörper:
Es wird der horizontale Anteil A_h der Ankerkraft vorgegeben, also nicht die schräge Ankerkraft selbst oder der Anteil senkrecht zur Schwerachse. Damit kann bei Variation der Wand- oder der Ankerneigung der Eingabewert A_h beibehalten werden.

Durch die Neigung des Ankers α_A wirkt zusätzlich zu dem gegebenen Anteil A_h ein senkrechter Kraftanteil A_v , der vom Programm automatisch angesetzt wird:

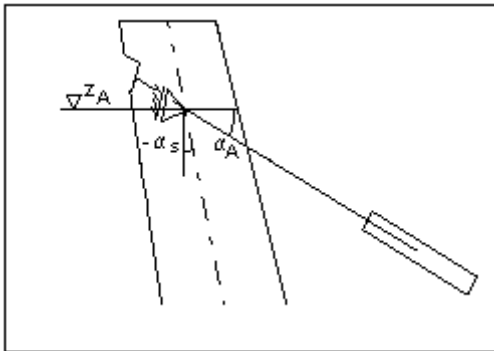
$$A_v = A_h * \tan \alpha_A$$

Die beiden Komponenten A_h und A_v werden für die Berechnung der Wand auf die Anteile A_q quer zur Schwerachse (Querkraft-Anteil) und A_n längs der Schwerachse (Normalkraft-Anteil) umgerechnet (siehe oben, rechtes Bild):

$$A_q = A_h * \cos \alpha_s + A_v * \sin \alpha_s$$

$$A_n = A_v * \cos \alpha_s - A_h * \sin \alpha_s$$

In der Eingabe wird die Tiefe des Ankeransatzpunktes an der Schwerachse vorgegeben, so dass diese Tiefe als Lage des Auflagerpunktes verwendet wird.



Die statische Berechnung der Wand erfolgt über das Reduktionsverfahren. Die Steifigkeit der Wand wird direkt aus der Wandgeometrie und dem gegebenen E-Modul ermittelt. Betrachtet wird in Längsrichtung 1 m Wand, so dass z.B. bei einer Schlitzwand

$$EI = E * \frac{b * h^3}{12} = E * \frac{(d * \cos \alpha_s)^3}{12}$$

wobei die Wanddicke (d = waagerechte Dicke der Wand) für jeden Abschnitt von max. 0.25 m gemittelt wird.

Bei Trägerbohlwänden und MIP wird die Steifigkeit des gewählten Profils auf 1 m Wandbreite umgerechnet, d.h. durch den Trägerabstand dividiert. Bei Spundwänden wird die Steifigkeit des Spundwandprofils je m Breite angesetzt. Bei aufgelösten Bohrpfehlwänden wird die Steifigkeit eines Kreisquerschnitts durch den Achsabstand dividiert, bei überschrittenen Bohrpfehlwänden die Steifigkeit der Kreisabschnitte pro m Wand näherungsweise bestimmt.

Durch die Beurteilung der erwarteten Schnittgrößen und Verformungen am Wandfuß (z.B. $M = Q = 0$ bei freiem Ende, $w = \varphi = 0$ bei Einspannung) mit den tatsächlich auftretenden Werten gibt einen Hinweis darauf, wie groß die numerische Genauigkeit der Berechnung ist. Je mehr Felder (Wandabschnitte) vorhanden sind, je geringer die Wandsteifigkeit und je steifer eine Bettung ist, desto geringer ist die numerische Stabilität des Verfahrens. Ebenso kann die Berechnung bei zu steifer Wand oder zu geringer Bettung instabil werden, insbesondere bei einem gebetteten Kragarm ist möglicherweise ein Gleichgewicht schwer zu erreichen.

Wahlweise kann die erforderliche Einbindelänge iterativ vom Programm ermittelt werden (in jedem Fall erforderlich bei Einspannung nach Blum). Die Einbindetiefe wird jedoch sinnvollerweise nicht geringer als mit einem Mindestwert von 0.50 m angesetzt.

Schnittgrößenberechnung und -darstellung

Bei Berechnung mit globaler Sicherheit (DIN 1054(1976)) werden die Schnittgrößen und Verformungen unter Belastungen ohne Sicherheit, mit einem durch η_p reduzierten passiven Erddruck, bestimmt und in dieser Form ausgegeben. Die Sicherheit ist also nur im Erdwiderstand enthalten.

Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten wird je nach Norm unterschieden:

DIN 1054:2005 schreibt vor, dass die Schnittgrößen charakteristisch zu bestimmen und auszugeben sind. Die Einwirkungen werden also charakteristisch, d.h. ohne Sicherheiten, aufgebracht, mit gleichen Werten wie bei globaler Sicherheit. Der volle charakteristische passive Erddruck wäre im Vergleich zur Berechnung mit globaler Sicherheit wesentlich zu groß. Es wird daher nur ein reduzierter („aktivierter“) passiver Erddruck aufgebracht. Der charakteristische passive Erddruck wird dafür so reduziert, dass seine Resultierende der Erdauflagerkraft E_{pk} unter charakteristischer Belastung entspricht:

$$e_{p,red}(z) = e_{p,k}(z) * E_{p,k} / \Sigma e_{p,k}$$

In der Ergebnisgrafik und in den Berechnungsergebnissen werden die Schnittgrößen charakteristisch (nach DIN 1054:2005) oder als Bemessungswerte (nach SIA 267) ausgegeben. Die Besonderheit bei Berechnung nach SIA 267 ist, dass die Einwirkungen nur bis zur Baugrubensohle mit den Sicherheitsfaktoren multipliziert werden, unterhalb der Baugrubensohle werden die Einwirkungen ohne Sicherheiten aufgebracht. Wahlweise können die Schnittgrößen in der Grafik als charakteristische und/oder Bemessungswerte angefordert werden, sowie eine Aufteilung der Schnittgrößen aus ständigen und veränderlichen Lasten sowie Wasserdruck.

Die Schnittgrößentabelle in den Textergebnissen wird standardmäßig nach DIN 1054:2005 mit charakteristischen, nach SIA 267 mit Bemessungswerten ausgegeben. Die gewünschten Ergebnisse können unter Projekt - [Ausgabe](#) ausgewählt werden. Die Tabelle Summe der H- und V-Kräfte wird standardmäßig mit Bemessungswerten ausgegeben, da die Iteration der erforderlichen Wandlänge mit Summe H = 0 mit Bemessungswerten geführt wird. Auch hier können die gewünschten Ergebnisse unter Projekt – Ausgabe angefordert werden. Bei Ausgabe charakteristischer Werte wird für den Erdwiderstand der mobilisierte passive Erddruck angegeben (siehe auch EAU, 8.2.4.3).

Reduzierte Sicherheitsbeiwerte nach EAU:

Gemäß EAU darf in bestimmten Fällen für die Bestimmung der Biegemomente ein reduzierter Sicherheitsfaktor für den passiven Erddruck angesetzt werden. Da die Schnittgrößen charakteristisch bestimmt werden, würde sich der veränderte Sicherheitsfaktor hier nicht auswirken. Es wird daher mit dem reduzierten Sicherheitsfaktor eine getrennte Berechnung der Wandlänge durchgeführt. Diese führt mit der Bedingung $E_d \leq R_d$ zu einer kürzeren Wand und damit zu geringeren Biegemomenten. Aus diesem Berechnungslauf wird nur das Biegemoment verwendet, alle anderen Nachweise erfolgen mit der Wandlänge, die mit den standardmäßigen Sicherheitsfaktoren bestimmt wurde.

Reduzierte Sicherheitsbeiwerte nach EAB:

Nach EAB dürfen ebenfalls in bestimmten Fällen reduzierte Sicherheitsbeiwerte für den passiven Erddruck (mit anderen Werten als nach EAU) angesetzt werden, im Unterschied zur EAU allerdings nicht nur für das Biegemoment, sondern für alle Schnittgrößen und Auflagerkräfte.

In die Bemessung werden die Schnittgrößen als „Designwerte“ (Bemessungswerte, Index d) übernommen. Wird mit globaler Sicherheit berechnet (DIN 1054(1976)), aber auf der Basis von Teilsicherheitsbeiwerten bemessen (z.B. DIN 1045-1), ist aus der Berechnung nicht bekannt, welcher Anteil an den Schnittgrößen aus ständigen und aus Verkehrslasten kommt. Es werden deshalb näherungsweise die charakteristischen Schnittgrößen mit dem Sicherheitsfaktor 1.35 multipliziert. Dieser Wert entspricht der Sicherheit für ständige Lasten sowie der Sicherheit für Verkehrslasten bei Vollast mit $\psi * \gamma = 0.9 * 1.50 = 1.35$.

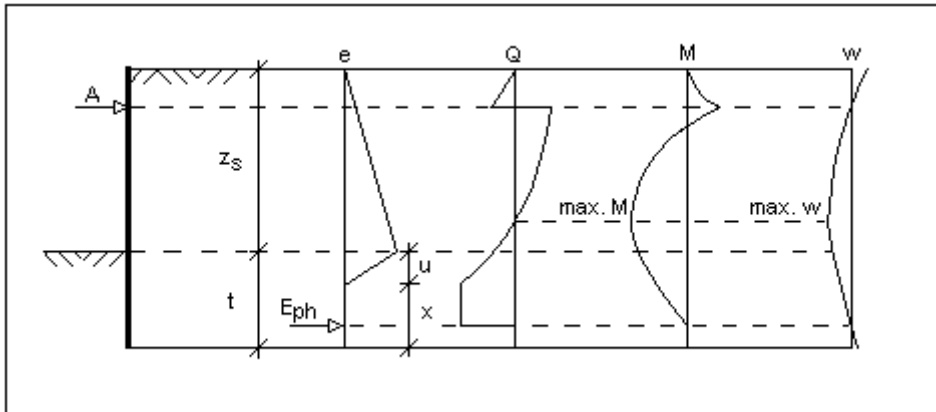
Auflagerung des Wandfußes

Für den Wandfuß können folgende Auflagerungen beim jeweiligen [Aushub](#) angesetzt werden:

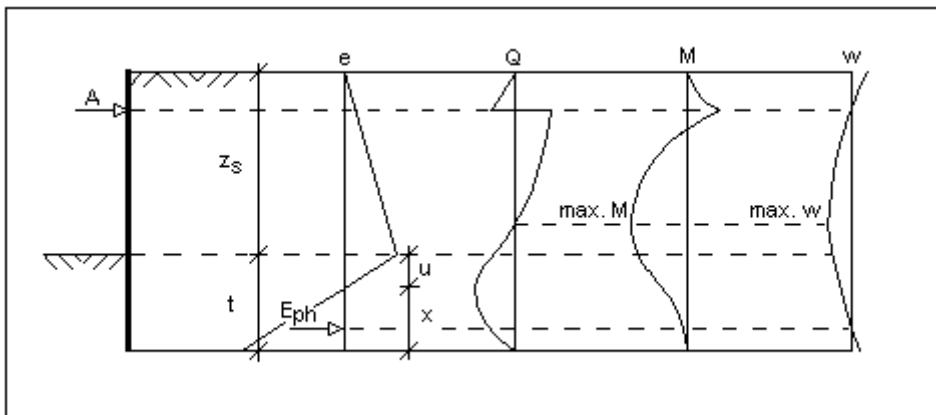
Horizontal verschiebliches Wandende

Das Wandende ist frei beweglich. Im statischen System wird der Fuß punktförmig auf der Erdwiderstandsresultierenden gelagert. Es wird damit ein horizontal unverschiebliches Auflager angesetzt, bei dem sich als Auflagerkraft die Resultierende des Erdwiderstandes E_{ph} ergibt.

Zusätzlich kann eine elastische Bettung vorgegeben werden, so dass der Wandfuß elastisch gelagert wird.



Wahlweise kann der Erdwiderstand auch als Belastung aufgebracht werden, so dass sich eine kontinuierliche Lagerung auf dem Erdwiderstandskeil ergibt:



Keine Fußfesthaltung

In einzelnen [Aushubzuständen](#) kann der Wandfuß als frei angesetzt werden. In diesem Fall ist das statische System nur dann stabil, wenn mindestens zwei Anker oder Steifen vorhanden sind. Rechnerisch wird hier für die Horizontalbelastung keine Einbindetiefe angesetzt. Die Wandlänge wird fest mit Aushubtiefe + 1 cm verwendet. Allerdings kann eine größere vorgegebene Wandtiefe für die Abtragung von Vertikalkräften angesetzt werden. Damit wird verhindert, dass wegen einer Einbindetiefe von 0 der Spitzendruck mit einem Faktor von 0 abgemindert werden muss.

Horizontal gehaltener Fuß

Das Wandende ist unverschieblich, frei drehbar gehalten, z.B. durch Einbindung in eine Felsschicht. Das Auflager wird am Ende der Wand angesetzt. Bei Eingabe einer elastischen Bettung wird der Wandfuß oberhalb des Auflagers zusätzlich elastisch gelagert.

Voll eingespannter Fuß (Einspannung nach Blum)

Nach EB 24 und EB 25 kann der Wandfuß nach Blum eingespannt berechnet werden.

Der Erdwiderstand wird als dreieckförmige Belastung unterhalb des Lastnullpunktes z_0 angesetzt. Der Belastungswert steigt von 0 auf einen Wert e^* bei einer Tiefe z^* am theoretischen Fußende.

Bei Spundwänden, Bohrpfahl- und Schlitzwänden unter aktivem oder erhöhtem aktivem Erddruck ist $e^* = e_{ah} - e_{ph}/\eta_p$ am theoretischen Fußende.

Bei Trägerbohlwänden wird der Erdwiderstand vor der schmalen Druckfläche berechnet (E_{wid}/η_p) und als Dreieck auf die Länge zwischen Aushubsohle (= Lastnullpunkt) und theoretischem Wandende angesetzt. Damit ergibt sich e^* zu

$$e^* = \frac{2 * \frac{E_{wid}}{\eta_p}}{z^* - z_s}$$

Bei Spundwänden, Bohrpfahl- und Schlitzwänden unter Ruhedruck wird dieser bis zur theoretischen Fußtiefe als Belastung aufgebracht. Unterhalb der Aushubsohle wirkt in entgegengesetzter Richtung der Erdwiderstand e_{ph}/η_p .

Mit dieser Belastung wird das statische System am theoretischen Fußpunkt eingespannt berechnet. Der Fußpunkt wird zunächst im Lastnullpunkt angesetzt. Danach wird die Einspannlänge so lange iteriert, bis das Einspannmoment ≈ 0 wird. Daraus ergibt sich der benötigte theoretische Fußpunkt für die Einspannwirkung. Für die Festlegung der tatsächlichen Fußtiefe wird ein Zuschlag von $\Delta x = 0.2 * x$ (20% der Wandlänge unter dem Lastnullpunkt) addiert (Ansatz nach EAB).

Nach EAU 1996 wird der Tiefenzuschlag bestimmt zu

$$\Delta x = \frac{C_h}{2 * \sigma_z * K_p * \cos \delta_p}$$

mit

C_h = Horizontalanteil der Ersatzkraft C (Querkraft am rechnerischen Wandfuß)

σ_z = Vertikalspannung im Boden in der Tiefe des rechnerischen Wandfußes

K_p = passiver Erddruckbeiwert, ermittelt mit den Parametern für die Aktivseite mit Neigungswinkel δ_C , da C hinter der Wand wirkt.

Bei Einstellung der Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten erfolgt die Berechnung des Tiefenzuschlags nach EAU mit

$$\Delta x = \frac{C_{h,d} * \gamma_{Ep}}{e_{phC,k}}$$

mit

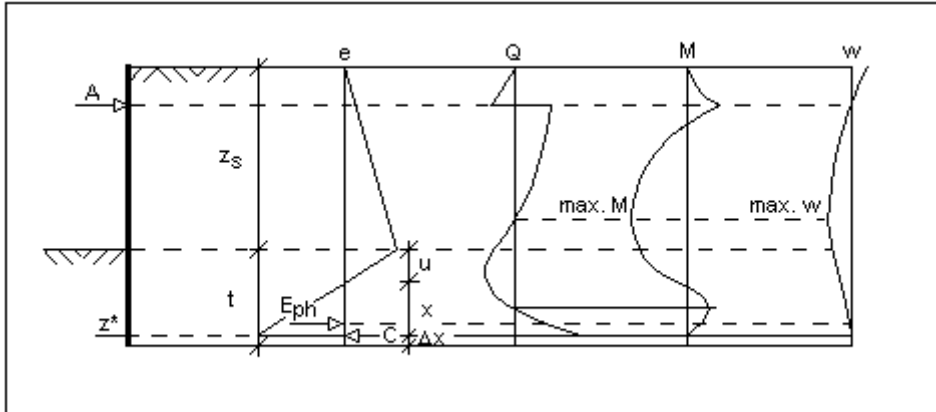
$C_{h,d}$ = Bemessungswert des Horizontalanteils der Ersatzkraft C
(halber Wert gemäß EAU 8.2.9 mit Hinweis auf Kap. 8.2.4.3(3)).

γ_{Ep} = Sicherheitsfaktor für Erdwiderstand

$e_{phC,k}$ = charakteristischer Wert des Erdwiderstands in Höhe von C, ermittelt mit den Parametern für die Aktivseite mit Neigungswinkel δ_C , da C hinter der Wand wirkt. Im Unterschied zu EAU 1996 enthält dieser Erddruckwert einen Anteil aus Kohäsion.

Ob der Rammtiefenzuschlag nach EAB und/oder nach EAU (letzterer nur bei Spundwänden) gewünscht wird, kann unter Projekt – [Parameter](#) eingestellt werden.

Bei Berechnung nach DIN 1054:2005 wird anstatt einer Einspannung (da der passive Erddruck nicht überlagert wird) ein Auflager am Wandende sowie ein Auflager in Höhe der Resultierenden des passiven Erddrucks angesetzt. Das Auflager am Wandende ergibt die Ersatzkraft C, das Erdauflager dient zum Nachweis mit $E_d \leq R_d$.



Teilweise eingespannter Fuß

Eine elastische Einspannung kann durch einen prozentualen Einspanngrad bei der Fußfesthaltung des [Aushubs](#) angefordert werden. Der Prozentsatz p kann sich zwischen 0 (frei drehbare Lagerung) und 100% (Volleinspannung nach Blum) bewegen. Das Programm interpoliert aus diesen beiden Grenzfällen die Einspanntiefe der elastischen (Teil-) Einspannung:

- t_0 = Tiefe ohne Einspannung
- t_1 = Tiefe mit Volleinspannung
- t aus elastischer Einspannung = $t_1 \cdot p/100 + t_0 \cdot (1-p/100)$

Die sich ergebende Fußtiefe t liegt damit zwischen t_0 und t_1 .

Zur Aufnahme der Ersatzkraft C nach Blum am Fußende wird bei der Volleinspannung die Wandlänge um $\Delta x = 0.2 \cdot x$ über die rechnerische Einspannlänge unterhalb des Lastnullpunktes hinaus vergrößert. Bei nur teilweiser Einspannung ist am Wandende eine geringere Kraft und daher nur eine geringere Vergrößerung der Fußtiefe um $\Delta x = 0.2 \cdot x \cdot p/100$ erforderlich. Die Lage des für den Ansatzpunkt der tiefen Gleitfuge verwendeten Drehpunktes wird entsprechend zwischen dem der frei drehbaren Auflagerung (Wandfuß) und dem der Volleinspannung (Querkraftnullpunkt) interpoliert:

$$z_0 = z_{0,\text{Einspannung}} \cdot \frac{p}{100} + z_{0,\text{drehbar}} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten kann die Bestimmung der Wandlänge für teilweise Einspannung nach EAU (Kap. 8.2.9) oder nach EAB angefordert werden, siehe Projekt - [Parameter](#). Nach EAU wird nicht die Wandlänge interpoliert, sondern die Verdrehung (Neigung) ε der Wand muss sich entsprechend dem Einspanngrad p (nach EAU: τ) einstellen:

$$p = 100 \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{\max.\varepsilon}\right)$$

Zunächst werden wie bei der herkömmlichen Methode die Berechnungen für gelenkige Lagerung am Wandende und Volleinspannung durchgeführt und die zugehörigen Einbindetiefen (gelenkig: t_0 , Volleinspannung: t_1) ermittelt. Die ermittelten Einbindetiefen t_0 und t_1 dienen im Gegensatz zur herkömmlichen Methode nur zur Orientierung.

Der Ausgangspunkt für die Ermittlung der Einbindetiefe nach EAU ist der Drehwinkel ε_{gel} am Wandfuß aus der Berechnung mit gelenkiger Lagerung. Der Soll-Drehwinkel für die teilweise Einspannung bestimmt sich zu:

$$\varepsilon_{\text{Soll}} = (1 - p/100) \cdot \varepsilon_{\text{gel}}$$

Die zutreffende Einbindetiefe für teilweise Einspannung wird iterativ bestimmt. Es wird dazu am System mit gelenkig gelagertem Wandfuß die Einbindetiefe solange variiert, bis sich unter den Bemessungswerten der

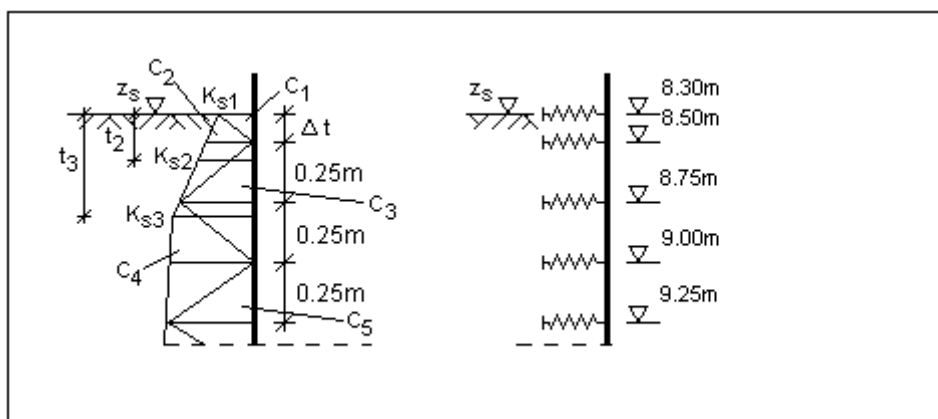
Einwirkungen (Lasten + Erddruck) und den Bemessungswerten der Widerstände (passiver Erddruck) ein Drehwinkel ε_d einstellt, der gleich dem Bemessungswert des oben genannten Drehwinkels $\varepsilon_{Soll, d}$ ist.

Nach EAU wird das bisherige Verfahren mit Interpolation der Einbindetiefe verwendet.

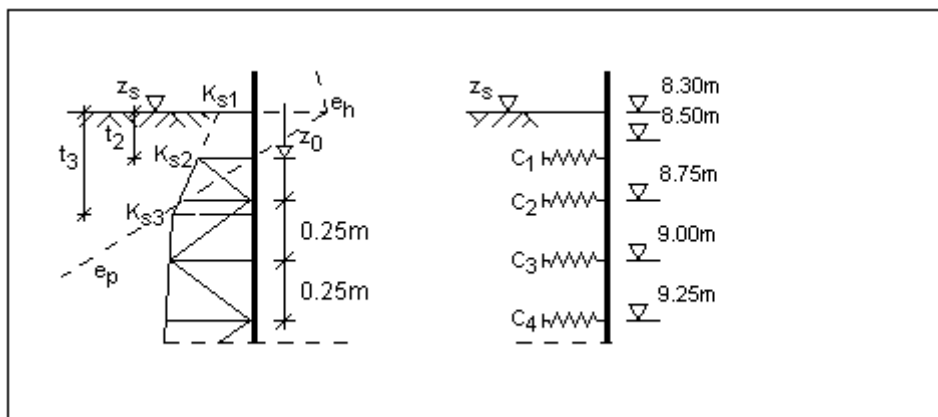
Elastisch gebetteter Wandfuß

Bei horizontal verschieblichem oder horizontal gehaltenem Wandfuß kann zusätzlich eine elastische [Bettung](#) angesetzt werden. Der Verlauf der Bettungszahlen im Boden wird durch Einzelfedern im Abstand von 0.25 m angesetzt. Die erste Feder liegt dabei auf der Tiefe der Aushubsohle bzw. des Lastnullpunktes, die folgenden auf Vielfachen von 0.25 m. Die Einflussflächen zur Bestimmung der Federn aus den Bettungszahlen werden dreieckförmig von der vorigen zur nächsten Federtiefe gewählt.

Bei Spundwänden, Bohrpfahl- und Schlitzwänden unter aktivem Erddruck wirkt die elastische Bettung ab dem Lastnullpunkt, bei Ruhedruck, bei vorgelagertem Erdwiderstand und grundsätzlich bei Trägerbohlwänden ab der Aushubsohle.



(Bettungsfedern ab Aushubsohle)



(Bettungsfedern ab Lastnullpunkt)

Bitte beachten:

Vor allem bei Berechnung von Kragarmen (Baugrubenwand ohne Anker) mit elastischer Bettung sind die Ergebnisse kritisch zu beurteilen. Zum einen kann das System numerisch instabil werden, so dass evtl. kein Gleichgewicht gefunden werden kann oder sich wegen schlechter Konvergenz sehr hohe Verformungen ergeben. Zum anderen ist die Verformung am Wandkopf direkt proportional den angesetzten, evtl. unsicheren, Bettungszahlen. Werden die Wandverformungen in den weiteren Aushubzuständen als Vorverformung angesetzt, werden die sich ergebenden Schnittgrößen dadurch stark beeinflusst.

Adaptive Anpassung der elastischen Bettung

Nach den Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben (EAB) sind für Spundwände, Bohrpfahlwände und Schlitzwände zwei Ansätze für die Aufnahme der Auflagerkraft im Boden möglich (siehe EB 19, Abschnitt 6.4, Absatz 2):

- Nachweis der Sicherheit der Aufnahme der Auflagerkraft durch den vorgelagerten Erdwiderstand mit $\eta_p = 1.5$
- Überlagerung des aktiven Erddrucks mit dem durch η_p dividierten passiven Erddruck.

Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten wird anstatt η_p der entsprechende Sicherheitsbeiwert für den Widerstand (Erddruck oder Schichtparameter) angesetzt.

Für Trägerbohlwände ist nach EB 15, Abschnitt 5.6, ein Nachweis für das Gleichgewicht der Horizontalkräfte erforderlich.

Da der volle passive Erddruck erst mit einer gewissen Verformung auftritt, ist der Ansatz nach DIN 4085 insbesondere bei großen Einbindelängen nicht immer realistisch. Eine elastische Fußeinspannung bildet die Realität am besten ab. Durch eine adaptive Anpassung der elastischen Bettung an den passiven Erddruck wird sichergestellt, dass dieser Grenzwert nicht überschritten wird.

Vergleich mit dem vorgelagerten Erdwiderstand:

bei zu steif vorgegebenen Bettungszahlen können die Bettungsspannungen den (maximal möglichen) passiven Erddruck teilweise überschreiten. Wird die adaptive Anpassung im Menü [Projekt - Parameter](#) angefordert, dann werden Bettungszahlen falls erforderlich so abgemindert, dass der passive Erddruck nicht überschritten wird. Zusätzlich kann ein Sicherheitsbeiwert η_a vorgegeben werden, so dass die Bettung innerhalb der e_{ph}/η_a -Linie bleibt.

Werden die Bettungszahlen im oberen Fußbereich abgemindert, wo der Grenzwert des passiven Erddrucks noch gering ist, bewirkt dies eine Verlagerung der Fußeinspannung bzw. -auflagerung nach unten. Die erforderliche Fußtiefe wird so ermittelt, dass die Summe der positiven Federkräfte unterhalb des Nullpunktes (gesamte Bettungskraft vorh. A) = zul. A/ η bleibt.

Vergleich mit dem überlagerten Erdwiderstand:

Der Erdwiderstand e_{ph}/η_p wird zunächst dem wirksamen Erddruck überlagert. Die Bettungskräfte dürfen dann den resultierenden negativen Erddruck unter dem Lastnullpunkt nicht überschreiten. Bei Anforderung einer adaptiven Anpassung werden die Bettungsfedern so vermindert, dass der Grenzwert nicht überschritten wird. Die Verwendung eines Sicherheitsbeiwertes η_a ist hier nicht sinnvoll, da der Erdwiderstand bereits durch η_p dividiert wurde.

Bitte beachten:

Da der passive Erddruck unabhängig von den Verformungen berechnet wird, der Erdwiderstand aber mit Bettungsspannungen verglichen wird, die sich abhängig von den Wandverschiebungen ergeben, sind Unverträglichkeiten im Modell und damit Probleme bei der Konvergenz möglich. Standardmäßig wird deshalb keine Bettungsanpassung angesetzt.

Vergleich bei Trägerbohlwänden:

Bei Trägerbohlwänden mit elastischer Bettung wird der Nachweis des Gleichgewichts der Horizontalkräfte am elastisch gebetteten Fuß analog dem Vergleich mit dem vorgelagerten Erdwiderstand bei Spundwänden, Bohrpfahl- und Schlitzwänden geführt. Der Nachweis nach Weißenbach für die Aufnahme der Fußstützkraft wird davon nicht berührt.

Hinweis: Bei aufgelösten Wänden (Trägerbohlwände, Bohrpfahlwände) tritt nicht der volle passive Erddruck, sondern nur der Erdwiderstand vor den schmalen Druckflächen auf. Bei der Anpassung der elastischen Bettung wird deshalb nicht mit dem vollen Erdwiderstand, sondern mit einem gemäß dem Erdwiderstand vor den schmalen Druckflächen abgeminderten Wert verglichen. Diese Abminderung kann bei der Eingabe der [Bettungszahlen](#) ausgeschaltet werden.

Aufnahme der Auflagerkraft im Boden

Für Baugrubenwände, deren Fuß sich im Boden bewegen kann, ist nachzuweisen, dass die berechnete Auflagerkraft mit ausreichender Sicherheit aufgenommen werden kann:

vorh. $A \leq \text{zul. } A$

Bei Berechnung nach DIN 1054:2005 lautet der Nachweis $E_d \leq R_d$

Die Auflagerkraft vorh. A ist bei Baugrubenwänden mit mindestens einer Festhaltung wie folgt definiert:

- ist der Wandfuß elastisch gebettet, ist vorh. A die Summe der positiven Federkräfte, bei Trägerbohlwänden zuzüglich des Erddrucks unterhalb der Aushubsohle
- bei Spundwänden, Bohrpfahl- und Schlitzwänden, die auf der Erdwiderstandsresultierenden aufgelagert sind, die Auflagerkraft im Boden, bei Trägerbohlwänden zuzüglich des Erddrucks unterhalb der Aushubsohle (siehe auch EB 15, Absatz 1)
- sind Spundwände, Bohrpfahl- und Schlitzwänden voll eingespannt, ist vorh. A die Querkraft in Höhe des Lastnullpunktes z_0 zuzüglich der Auflagerkraft am theoretischen Fußende und des Wasserdrucks zwischen z_0 und dem theoretischen Fußende z^* .
Unter Ruhedruck wird statt z_0 die Aushubtiefe z_s angesetzt zuzüglich des Erddrucks zwischen z_s und z^* .
- sind Trägerbohlwände voll eingespannt, ist vorh. A die Querkraft in Höhe der Aushubsohle zuzüglich des aktiven Erddrucks von der Aushubsohle bis zum theoretischen Fußende und der halben Auflagerkraft $C/2$ am theoretischen Fußende z^* (siehe EB 15, Absatz 3). Bei teilweise eingespanntem Fuß ($p < 100\%$) geht $C/2$ anteilig mit $C/2 \cdot p/100$ ein.

Der Vergleichswert zul. A wird wie folgt angesetzt:

- für Spundwände, Bohrpfahl- und Schlitzwänden unter Ruhedruck, die elastisch gebettet oder frei drehbar gelagert sind, und bei Trägerbohlwänden ist zul. A die Resultierende des am Wandfuß vorgelagerten passiven Erddruckkeils e_{ph}/η_p
- für Spundwände, Bohrpfahl- und Schlitzwände mit (erhöht) aktivem Erddruck, die elastisch gebettet oder frei drehbar gelagert sind, und für Spundwände, Bohrpfahl- und Schlitzwände mit voller Einspannung ist zul. A die Resultierende des sich ergebenden Erdwiderstands $e_{rh} = e_{ph}/\eta_p \cdot e_{ah}$.

Für die Iteration der erforderlichen Einbindetiefe gilt für Spundwände, Bohrpfahl- und Schlitzwände mit frei verschieblichem Wandfuß

vorh. $A \leq \text{zul. } A$

sowie bei Trägerbohlwänden zusätzlich

vorh. $E \leq \text{zul. } E = E_{wid}/(\eta_p + 0.5)$.

Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten wird für den Nachweis der schmalen Druckflächen der Sicherheitsfaktor γ_{EP} durch 0.8 dividiert.

Nachweis für schmale Druckflächen bei Trägerbohlwänden

Bei Trägerbohlwänden werden die Belastungen nicht über die gesamte Wandbreite in den Boden unterhalb der Aushubsohle übertragen. Über die Ausfachung wird die Belastung aus dem gestützten Gelände in die Bohlträger eingeleitet. Vor diesen treten über die Einbindelänge schmale Druckflächen auf.

Der passive Erddruck vor den schmalen Druckflächen (= räumlicher Erddruck) kann wahlweise bestimmt werden nach Weißenbach oder nach DIN 4085:2017, siehe Kapitel [Normdefinition](#).

Berechnung nach Weißenbach

Gemäß EAB, EB 14 kann der passive Erddruck vor den schmalen Druckflächen nach Weißenbach (Der Erdwiderstand vor schmalen Druckflächen; Bautechnik 1962 bzw. Baugruben, Teil II; Ernst & Sohn 1975) nachgewiesen werden.

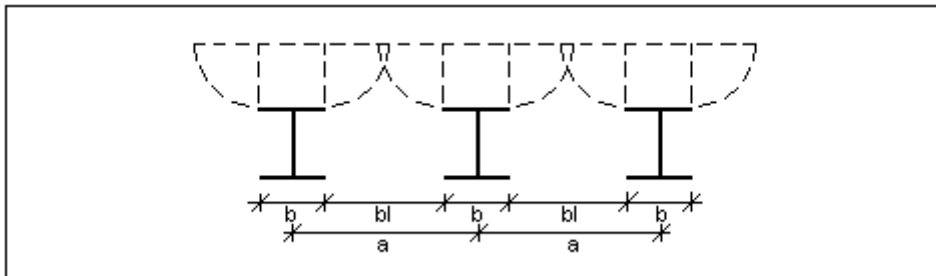
Es werden die K_R - und K_K -Werte nach Weißenbach verwendet

- für $|\delta| = 0$, wenn im Bereich des Wandfußes der Wandreibungswinkel $\delta = 0$ ist
- ansonsten für $|\delta| = \varphi - 2,5^\circ$, aber $\leq 27,5^\circ$.

Die K_R - und K_K -Werte werden zwischen den bei Weißenbach angegebenen Tabellenwerten quadratisch interpoliert.

Bei wechselnden Bodenschichten im Fußbereich werden für den Nachweis nach Weißenbach die Werte φ , δ , c und γ gemittelt.

Die Ergebnisausgabe für den Nachweis vor schmalen Druckflächen bezieht sich auf 1 lfm Wand. Alle Erdwiderstandskräfte werden also durch den Trägerabstand dividiert. Um die Werte für einen Träger zu erhalten, sind die angegebenen Werte mit dem Trägerabstand zu multiplizieren. Nach EB 14 ist ein erhöhter Sicherheitsfaktor $\eta_p + 0,5$ einzuhalten (bei Berechnung nach DIN 1054:2005 bzw. 2010: $\gamma_{Ep} / 0,8$ gemäß neuer EAB). Bei bindigen Böden (Einstellung siehe Grundparameter in [Projekt - Parameter](#)) wird für den Kohäsionsanteil des Erdwiderstandes die Kohäsion nach EB 14 zur Hälfte berücksichtigt. Nach Weißenbach wird der Erdwiderstand bestimmt, der sich aus der Druckwandbreite = Fußbreite des Trägers und der räumlichen Wirkung der beiden seitlichen Wandkörper ergibt:



Druckausbreitung vor Trägerbohlwänden im Boden:

a = Trägerabstand

b = Trägerbreite

bl = lichter Trägerabstand = $a - b$

Ersatzbreiten für den Seitenwiderstand

Für den Nachweis nach Weißenbach werden die Ersatzbreiten

$bsr = 0,6 \cdot \tan \varphi \cdot t$ (für den Reibungsanteil) und

$bsk = 0,9 \cdot (1 + \tan \varphi) \cdot t$ (für den Kohäsionsanteil) berechnet,

wobei t die Fußtiefe der Wand ist.

Diese Werte werden auf den lichten Trägerabstand $bl = a - b$ begrenzt.

Bestimmung des Erdwiderstandes

Der Gesamtwiderstand einer Druckfläche mit der rechnerischen Gesamtbreite $b + b_s$ (b_s zusammengesetzt aus b_{sr} für Reibung und b_{sk} für Kohäsion) ergibt sich zu

$$E = E_R + E_K = [0.5 \cdot \gamma \cdot K_R \cdot t^2 \cdot (b + b_{sr}) + 2 \cdot c \cdot g \cdot K_K \cdot t \cdot (b + b_{sk})] / a$$

[Reibungsanteil + Kohäsionsanteil]

Die wirksame Breite darf jedoch maximal gleich dem Trägerabstand a werden. Wird $(b+b_{sr})$ bzw. $(b+b_{sk})$ in der obigen Formel größer als der Trägerabstand, wird stattdessen jeweils a eingesetzt.

Kritische Druckwandbreite

Die kritische Druckwandbreite ist die Breite, bei deren Unterschreitung nicht mehr der volle Erdwiderstand auftritt. Sie ergibt sich zu

$$b_{kr} = 0.3 \cdot t$$

Wenn die Breite b der Druckfläche den Wert b_{kr} unterschreitet, dann wird in die obige Formel für den Erdwiderstand anstatt b der Wert b_{kr} eingesetzt. Daraus ergibt sich der kritische Erdwiderstand E_{kr} . Der Gesamtwiderstand der Druckfläche ergibt sich dann zu

$$E = E_{kr} \cdot \sqrt{\frac{b}{b_{kr}}}$$

Kritischer Druckwandabstand

Falls der lichte Trägerabstand bl größer ist als die Einbindetiefe t , dann wird der Erdwiderstand vor den einzelnen Druckflächen maßgebend. Ist der lichte Trägerabstand bl kleiner als t , dann kann der Erdwiderstand vor der durchgehenden Wand maßgebend werden, maximal jedoch mit der Summe der Einzelwiderstände.

Der Erdwiderstand vor der durchgehenden Wand setzt sich wieder aus einem Reibungsanteil (E_R) und einem Kohäsionsanteil (E_K) zusammen, wobei der Reibungsanteil aus einem Anteil „vor dem Träger“ (E_T) und einem Anteil „vor der Wand“ (E_W) besteht, es gilt also wiederum:

$$E = E_R + E_K$$

$$\text{mit: } E_R = E_T + E_W = (0.5 \cdot g \cdot K_R \cdot t^2 \cdot b) + (0.5 \cdot g \cdot K_{R0} \cdot t^2 \cdot bl)$$

wobei der Wert K_{R0} der nach Weißenbach ermittelte K_R -Wert für $\delta=0$ ist.

$$\text{und: } E_K = 2 \cdot c \cdot K_K \cdot t$$

Böschung in der Baugrube

Falls sich eine Böschung in der Baugrube befindet, wird der entsprechend den obigen Formeln ermittelte Erdwiderstand mit dem Verhältnis E_{ph} (mit Böschung) / E_{ph} (ohne Böschung) multipliziert, um den Effekt der Böschung zu berücksichtigen.

Berechnung nach DIN 4085:2017

Für den räumlichen Erddruck nach DIN 4085:2017 wird die Trägerbreite b und die Einbindetiefe h verwendet. Die räumliche Ausbreitung der Druckfläche wird durch bezogene Längen μ für den Erddruck aus Eigenlast des Bodens μ_{pgh} und aus Kohäsion des Bodens μ_{pch} erfasst. Die Berechnung ist abhängig vom Verhältnis Fußbreite b zu Einbindetiefe h mit einer Grenze $0.3h$ (nach Weißenbach als kritische Druckwandbreite $0.3t$ bezeichnet):

- für $b < 0.3h$:

$$\mu_{pgh} = 0.55 \cdot (1 + 2 \tan \varphi) \cdot \sqrt{\frac{h}{b}}$$

$$\mu_{pch} = 1.1 \cdot (1 + 0.75 \tan \varphi) \cdot \sqrt{\frac{h}{b}}$$

- für $b \geq 0.3h$:

$$\mu_{pgh} = 1 + 0.6 \frac{h}{b} \tan \varphi$$

$$\mu_{pch} = 1 + 0.30 \frac{h}{b} (1 + 1.5 \tan \varphi)$$

Der passive Erddruck in einer Tiefe z unter Aushubsohle beträgt dann:

$$e_{pgh} = \gamma * z * K_{pgh} * \mu_{pgh} + p * K_{pgh} * \mu_{pgh} + c * K_{pch} * \mu_{pch}$$

Berechnung nach ÖNORM B 4434

Bei Berechnung nach ÖNORM B 1997-1-1 (Eurocode 7 Österreich) wird der Erddruck standardmäßig nach ÖNORM B 4434 berechnet. Hier ergibt sich der räumliche passive Erddruck wie folgt:

$$e_p = \gamma' * h * K_{p\gamma} * s_{p\gamma} + p_v * K_{pv} * s_{pv} + c * K_{pc} * s_{pc}$$

Mit der Trägerbreite b und der Einbindetiefe h ergeben sich die Formbeiwerte

- für $h/b \leq 3.33$ zu:

$$s_{p\gamma} = 1 + 0.45 \frac{h}{b}$$

$$s_{pv} = 1 + 0.60 \frac{h}{b}$$

$$s_{pc} = 1 + 1.80 \frac{h}{b}$$

- für $h/b > 3.33$ zu:

$$s_{p\gamma} = 1.37 \sqrt{\frac{h}{b}}$$

$$s_{pv} = 1.64 \sqrt{\frac{h}{b}}$$

$$s_{pc} = 3.29 \sqrt{\frac{h}{b}}$$

Die letzten drei Formeln sind in ÖNORM B 4434 (1993) nicht richtig dargestellt, siehe auch in Otto Pregl: Handbuch der Geotechnik Seite 295.

Nachweis des Erdaufлагers

Bei Trägerbohlwänden, deren Ausfachung nur bis zur Baugrubensohle geht, wird als Belastung auf die Träger nur die Last bis zur Aushubsohle angesetzt und darunter abgeschnitten. Für diese Belastung wirkt als Widerstand der räumliche Erddruck vor den Trägern.

Zusätzlich ist der Nachweis des Erdaufлагers für die durchgehende Wand zu führen mit voller Belastung bis zum Wandfuß. Für nichtbindigen Boden (Definition siehe Projekt – [Parameter](#)) ist dabei der Erddruck zwischen den Trägern (Breite $a - l$ bei Achsabstand a der Träger) für einen Neigungswinkel $\delta_p = 0$ anzusetzen.

Zusätzlich zum Nachweis der Erdaufлагerkraft (vorh. $A \leq \text{zul. } A$, bzw. $E_d \leq R_d$) gemäß dem vorhergehenden Kapitel (Aufnahme der Auflagerkraft im Boden) ist zur Berücksichtigung der schmalen Druckflächen zusätzlich die Bedingung

vorh. $E \leq \text{zul. } E$ einzuhalten.

Nachdem E in Abhängigkeit der eingestellten Berechnungsmethode entweder als Erdwiderstand nach Weißenbach bzw. als räumlicher Erddruck entsprechend den obigen Formeln ermittelt ist, ergibt sich bei Berechnung nach DIN 1054:1976 zu

$$\text{zul. } E = E / (\eta_p + 0.5)$$

Bei Berechnung nach DIN 1054:2005 bzw. EC7 usw. wird $\text{zul. } E$ mit „ R_d “ bezeichnet und ergibt sich zu

$$\text{zul. } E = E / (\gamma_{EP} / 0.8).$$

Der Wert 0.8 ist der Abminderungsfaktor η für schmale Druckflächen nach EAB und kann beim Aushub auf der Seite [Allgemeines](#) abweichend eingestellt werden.

Der Wert vorh. E ist

- bei Trägerbohlwänden mit elastischer Bettung die Summe der positiven Federkräfte
- bei Trägerbohlwänden mit frei drehbarer Lagerung die Auflagerkraft im Boden
- werden Trägerbohlwände nach Blum eingespannt berechnet, wird E_{wid} gemäß dem Verlauf des passiven Erddrucks auf die theoretische Fußlänge verteilt und dem aktiven Erddruck überlagert (siehe auch EB 25).

Für die Iteration zur Bestimmung der erforderlichen Fußtiefe bei verschieblichem Fuß ist für Trägerbohlwände

vorh. $A \leq \text{zul. } A$ (für die durchgehende Wand) und

vorh. $E \leq \text{zul. } E$ (für die schmalen Druckflächen)

einzuhalten.

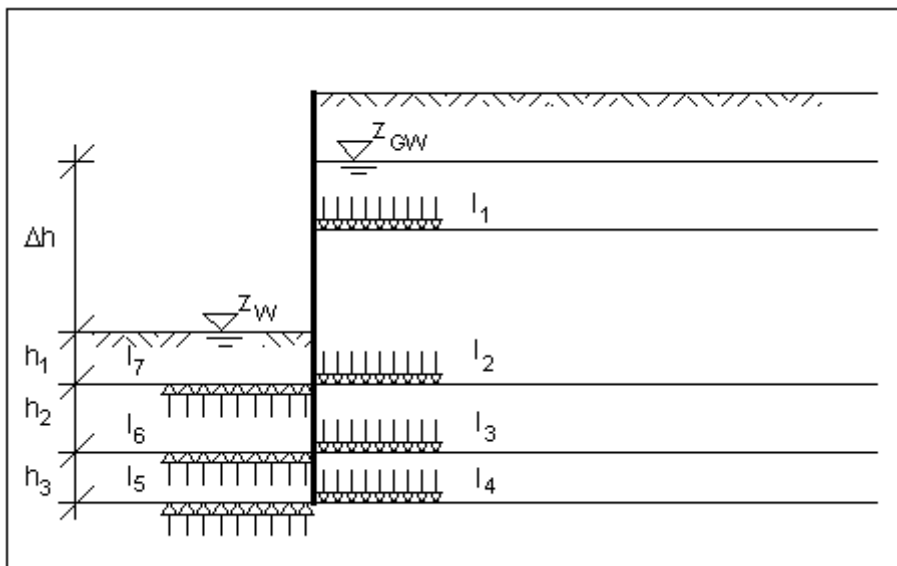
Nach DIN 4085:2017 Formel (50) ist für den passiven Erddruck vor der durchgehenden Wand der Anteil vor den Trägern und der Anteil zwischen den Trägern zu unterscheiden. Der Anteil zwischen den Trägern auf die Breite $a-b$ (a = Trägerabstand, b = Trägerbreite) ist für nichtbindigen Boden mit $\delta_p = 0$ zu rechnen, bei bindigem Boden - wie auch der Anteil vor den Trägern - mit dem eingegebenen Wandreibungswinkel δ_p . Ob der Boden insgesamt als bindig oder nichtbindig anzusehen ist (da hier nicht schichtweise unterschieden werden kann), wird unter Projekt - [Parameter](#) definiert.

Hydraulischer Grundbruch

Tritt durch unterschiedliche Wasserstände hinter und vor der Wand eine Umströmung der Baugrubenwand auf, so dass sich in der Baugrube ein Strömungsdruck von unten nach oben ausbildet, kann es sein, dass das Eigengewicht des Bodens durch den Strömungsdruck aufgehoben wird. Das Strömungsgefälle, bei dem Strömungsdruck und Bodengewicht gerade gleich sind, wird als das kritische Gefälle bezeichnet. In diesem Fall kann ein hydraulischer Grundbruch auftreten, bei dem der Boden in der Baugrube zunächst aufgelockert und dann ausgespült wird.

Es ist daher für jede Schichtgrenze vor dem Wandfuß die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nachzuweisen. Diese ist definiert als das Verhältnis des Bodengewichtes (Überlagerungskraft) zu der vertikalen Strömungskraft an der Schichtgrenze. Bei mehreren Schichtgrenzen wird die kleinste Sicherheit ausgegeben. Eine rückhaltende Wirkung von Kohäsion wird auf der sicheren Seite liegend nicht berücksichtigt.

Steht im Aushub eine Böschung an, wird diese gemäß der Definition des Aufbruchkörpers nach Terzaghi (siehe Simmer: Grundbau 1, Kap. 6.6.3, Bild 205.1 c) auf einer Breite der halben Einbindetiefe berücksichtigt.



(Strömungsgefälle für den hydraulischen Grundbruch)

An den einzelnen Schichtgrenzen wird die Sicherheit längs des umströmten Weges wie folgt bestimmt:

$$\eta_1 = \frac{h_1 * \gamma_1'}{h_1 * I_7 * \gamma_w}$$

$$\eta_2 = \frac{h_1 * \gamma_1' + h_2 * \gamma_2'}{(h_1 * I_7 + h_2 * I_6) * \gamma_w}$$

$$\eta_3 = \frac{h_1 * \gamma_1' + h_2 * \gamma_2' + h_3 * \gamma_3'}{(h_1 * I_7 + h_2 * I_6 + h_3 * I_5) * \gamma_w}$$

Die Bestimmung des Druckgefälles I ist im Kapitel [Strömungsdruck](#) näher beschrieben.

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch stellt eine Näherung dar, da nur eine Stromlinie entlang der Wand betrachtet wird. Ein eventueller Abstand zwischen dem Ende der Wand und einer undurchlässigen Schicht, der Voraussetzung für eine mögliche Umströmung ist, geht nicht in die Berechnung ein.

Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten werden nach Grenzzustand GZ 1A bzw. Typ 1 die Sicherheitsbeiwerte für die Strömungskraft und die Auflast als günstig wirkende Einwirkung angesetzt. Es ist dann nachzuweisen, dass $A_k * \gamma_H = G_k * \gamma_{G, \text{stb}}$.

Näherungslösung für den Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch

Liegen keine Durchlässigkeitsbeiwerte k vor, dann wird die Näherungslösung nach Baumgart-Davidenkoff und Brinch Hansen verwendet (siehe EAU, E 115):

$$\gamma_w * i * \gamma_H \leq \gamma' * \gamma_{G, stb}$$

mit

γ_w = Wichte des Wassers

i = mittleres Potential = h_r / t

γ_H = Sicherheitsbeiwert für Strömungskraft im Grenzzustand GZ 1A

γ' = mittlere Wichte des Bodens zwischen Aushubsohle und Wandfuß
(bei Wasserstand unterhalb der Baugrubensohle wird zwischen der Sohle und dem Wasserstand γ ohne Auftrieb verwendet)

$\gamma_{G, stb}$ = Sicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen im GZ 1A

h_r wird dabei mit der Potentialhöhe am Wandfuß h_F nach Brinch Hansen bestimmt zu:

$$h_r = h_F - h_{wu}$$

$$h_F = \frac{h_{wu} * \sqrt{h_{so}} + h_{wo} * \sqrt{t}}{\sqrt{h_{so}} + \sqrt{t}}$$

mit

h_F = Potentialhöhe am Wandfuß

h_{wu} = Wasserspiegelhöhe über dem Wandfuß auf der Baugrubenseite

h_{wo} = Wasserspiegelhöhe über dem Wandfuß auf der Erdseite

h_{so} = durchströmte Bodenhöhe auf der Erdseite = Minimum zwischen Wasserstand und Geländehöhe über dem Wandfuß

t = Einbindetiefe der Baugrubenwand

Wahlweise kann das Verfahren nach Aulbach und Ziegler verwendet werden.

Siehe folgendes Kapitel "[Hydraulischer Grundbruch nach Aulbach, Ziegler](#)".

Hydraulischer Grundbruch nach Aulbach, Ziegler

Das Verfahren für den Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch nach Aulbach und Ziegler wurde u.a. in Bautechnik 2013, Heft 10 veröffentlicht sowie als Beitrag zur Baugrundtagung 2014 (Änderung einer Klammer im Vergleich zur Bautechnik). Es wird die erforderliche Einbindetiefe über das Verhältnis zur Wasserspiegeldifferenz T/H ermittelt.

Das Verfahren zur Bemessung gilt ausschließlich für homogenen isotropen Boden. Die zusätzlich angegebenen Korrekturbeiwerte für Anisotropie und geschichteten Boden stellen lediglich Näherungen dar, mit denen Eingangswerte für genauere Untersuchungen erhalten werden. Weiterhin wird auch nur eine Schichtgrenze behandelt, die sich oberhalb der Aushubsohle befinden muss. Bei mehr als zwei Schichten ist eine zuverlässige Berechnung nach dem Verfahren von Aulbach und Ziegler nicht möglich.

Für das Verhältnis zwischen der erforderlichen Einbindetiefe und der Wasserspiegeldifferenz gilt folgende Formel:

$$\frac{T}{H} = Be * \left[0.32 * A + (1.244 - 0.32 * A) * e^{\left[\frac{\frac{B}{H}}{U * \left(0.541 + 0.395 * \left(1 - e^{\left(-\frac{S}{H} \right)} \right) \right) * \left(1 + \left(\frac{B}{L} - 0.3 \right) * (3.156 - 1.564 * U) \right)} \right]} \right] * \left(\frac{\gamma'_{ref}}{\gamma_1 * 0.902 + 1.078} * \frac{\eta_i}{\eta_{ref}} \right)^{\sqrt{2}}$$

mit

T = erforderliche Einbindetiefe

H = Wasserspiegeldifferenz

Be = Bemessungsbeiwert = 1.065

A = Faktor für die räumliche Anströmung:
für ebenen Fall, Längsseite einer Baugrube, Stirnseite einer Baugrube oder Ecke sind die Werte 1.00, 1.00, 1.04 und 2.08 anzusetzen

U = Faktor für den Einfluss des Umfeldes:
für ebenen Fall, Längsseite einer Baugrube, Stirnseite einer Baugrube oder Ecke sind die Werte 1.00, 1.32, 1.99 und 1.69 anzusetzen

L = Länge der Baugrube

B = Breite der Baugrube

S = Aquifermächtigkeit

γ'_{ref} = Referenzwichte unter Auftrieb

γ_1 = Wichte des Bodens unter Auftrieb

η_{ref} = Referenzglobalsicherheit = $1.30/0.95 = 1.368$

η_i = geforderte globale Sicherheit = $\gamma_{dst}/\gamma_{stb}$

Für den ebenen Fall wird eine vereinfachte Formel verwendet, in der der Faktor

$(1 + (B/L - 0.3) * (3.145 - 1.546 * U))$

entfällt. Das ergibt genauere Ergebnisse für den ebenen Fall.

Im Beitrag in Bautechnik 10/2013 werden zusätzlich Anpassungsbeiwerte für anisotropen und für geschichteten Baugrund angegeben, die jedoch lediglich eine Näherung darstellen. Je nach Baugrundsituation können auch Ergebnisse erhalten werden, die auf der unsicheren Seite liegen. Es wird daher dringend empfohlen, bei Anisotropie und Schichtung genauere Untersuchungen vorzunehmen und es sollte besonderer Sachverstand vorliegen.

Liegt Anisotropie oder geschichteter Boden vor, dann ist der Faktor A wie folgt anzupassen:

- für Anisotropie:

$$A_{\text{aniso}} = A + a = A + (x * (1.2 - 0.2 * x))$$

mit $x = 1/10 * (k_{fh}/k_{fv})$

Bei Isotropie mit $k_{fh}/k_{fv} = 1.0$ wird der Faktor $x = 1/10$ und damit a nicht = 0. Nach Angabe von Dr. Aulbach ist der Korrekturbeiwert für Verhältnisse k_{fh}/k_{fv} zwischen $\frac{1}{2}$ und $1/10$ ausgelegt. Bei Verhältnissen zwischen $\frac{1}{2}$ und 2 wird deshalb so interpoliert, dass sich bei einem Verhältnis von 1.0 der Wert $x = 0$ ergibt.

- für Schichtung:

$$A_{\text{layer}} = A + g = A + \left(0.3 - 0.3 * \frac{h}{H} \right)$$

mit h = Höhe der Schichtgrenze über der Aushubsohle. Es werden nur Fälle mit $h \geq 0$ betrachtet und mit $k_{\text{unten}} < k_{\text{oben}}$. Sind mehrere Schichtgrenzen mit Schichten unterschiedlicher Durchlässigkeit vorhanden, bestimmt das Programm die Schichtgrenze oberhalb der Aushubsohle und unterhalb des Grundwasserstandes mit dem größten Verhältnis der Durchlässigkeitsbeiwerte. Die beiden k -Werte oberhalb und unterhalb der Schichtgrenze werden zunächst informationshalber mit ihrer Schichtdicke gewichtet gemittelt. Nach Dr. Aulbach berücksichtigt das Bemessungsverfahren Verhältnisse zwischen den Durchlässigkeitsbeiwerten k_2/k_1 von mindestens 10. Für kleinere Verhältnisse interpolieren wir zwischen dem theoretischen Wert g und dem Wert 0 für $k_2 = k_1$.

Unter der kritischen Schichtgrenze rechnen wir bis zu einer undurchlässigen Schicht bzw. Stauer. Die Tiefe der Baugrubenwand ist an dieser Stelle unbekannt, wenn die Wandlänge iteriert wird. Da die k -Werte nicht in der Formel berücksichtigt sind, werden die Werte k_1 und k_2 nur verwendet, um zu prüfen, ob die in dem Verfahren vorausgesetzte Bedingung $k_1 < k_2$ erfüllt ist.

Es wird dann geschichteter Boden wie folgt behandelt:

- bei Schichtgrenzen oberhalb der Aushubsohle wird, wenn die gemittelte Durchlässigkeit oberhalb größer ist als die Durchlässigkeit unterhalb der Aushubsohle, die erforderliche Einbindetiefe ggf. als näherungsweise ausreichend angegeben
- Schichtgrenzen unterhalb der Aushubsohle, die um mehr als die doppelte Wasserspiegeldifferenz tiefer liegen als die Aushubsohle, werden nicht berücksichtigt, da sie nur noch geringen Einfluss haben.
- in allen anderen Fällen (Schichten oberhalb der Aushubsohle undurchlässiger als darunter oder mehrere Schichtgrenzen in geringer Tiefe unter der Aushubsohle) kann mit dem Verfahren nach Aulbach/Ziegler keine zuverlässige Berechnung durchgeführt werden.

Gemäß der Veröffentlichung von Aulbach und Ziegler gelten folgende Anwendungsgrenzen, außerhalb derer entsprechende Hinweise ausgegeben werden:

$$T/H < 0.75 * S/H$$

$$S/H \geq 1.0$$

$$B/L \geq 0.3$$

Ansätze nach EAU

Zur Anwendung nach den Empfehlungen des Arbeitskreises Ufereinfassungen (EAU) sind folgende speziellen Ansätze möglich:

- Reduzierte Sicherheiten unter bestimmten Voraussetzungen:
In der [Normdefinition](#) für DIN 1054:2005 sind reduzierte Sicherheitsbeiwerte für den Wasserdruck und für den passiven Erddruck nach EAU definiert. Unter Projekt – [Parameter](#) kann angegeben werden, ob diese reduzierten Sicherheiten zu verwenden sind (Bedingungen siehe EAU Kap. 8.2.0.2 und 8.2.0.3). Dabei dürfen die reduzierten Sicherheiten für den passiven Erddruck NUR für die Bestimmung der Biegemomente verwendet werden. Alle anderen Ergebnisse sind mit den nicht reduzierten Sicherheitsbeiwerten zu berechnen. Näheres siehe Kapitel „[Reduzierter Teilsicherheitsbeiwert für passiven Erddruck](#)“.
- Der Rammtiefenzuschlag bei Einspannung nach Blum wird nach einer neuen Formel bestimmt, siehe Kapitel 8.2.9.
- Der Einspanngrad bei teilweiser Einspannung wird nicht mehr durch Interpolation der Einbindetiefe zwischen Volleinspannung und gelenkiger Lagerung definiert, sondern durch die Wandverdrehung (Endtangentialwinkel) am Wandende, siehe Kapitel 8.2.9. Näheres siehe im Kapitel „[Auflagerung des Wandfußes](#)“.
- Es sind neue Umlagerungsfiguren in Trapezform anzusetzen, unterschieden für „abgegrabene Wand“ und „hinterfüllte Wand“ und unterschieden nach der Tiefenlage der Anker, siehe Kapitel 8.2.3.2.
- Beim Ankerlängennachweis in der tiefen Gleitfuge wird der Nachweis für ständige und für Gesamtlasten geführt. Der ungünstigere Fall ist maßgebend. Die Ankerkräfte werden getrennt für Gesamtlasten, ständige und veränderliche Lasten sowie Wasserdruck, als charakteristische und als Bemessungswerte ausgewiesen.

Ansätze nach EAB

Zur Anwendung nach den Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben (EAB) sind folgende speziellen Ansätze möglich:

- Reduzierte Sicherheiten unter bestimmten Voraussetzungen:
In der [Normdefinition](#) für DIN 1054:2005 sind reduzierte Sicherheitsbeiwerte für den passiven Erddruck nach EAB definiert. Unter Projekt – [Parameter](#) kann angegeben werden, ob diese reduzierten Sicherheiten zu verwenden sind (Bedingungen siehe EAB Kap. 5.3, 5.4, 6.3 und 6.4). Dabei werden die reduzierten Sicherheiten für den passiven Erddruck im Unterschied zur EAU für die Bestimmung aller Schnittgrößen und Auflagerkräfte verwendet. Näheres siehe Kapitel „[Reduzierter Teilsicherheitsbeiwert für passiven Erddruck](#)“.
- Der Einspanngrad für teilweise Einspannung ist im Unterschied zur EAU wie bisher durch Interpolation der Einbindetiefe zwischen Volleinspannung und gelenkiger Lagerung definiert.
- Zusätzlich zu Rechteck- und Trapezfiguren werden auch Umlagerungsfiguren aus zwei abgestuften Rechtecken verwendet.

Reduzierter Teilsicherheitsbeiwert für passiven Erddruck

Nach EAU und EAB darf unter bestimmten Voraussetzungen für den passiven Erddruck ein reduzierter Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{ep,red}$ angesetzt werden.

Ansatz nach EAB EB 82, Kap. 4.4, Abschn. 1.b

Unter den dort genannten Voraussetzungen

„...darf abweichend vom Nachweis der Einbindetiefe bei der Ermittlung der Biegemomente, der Querkräfte und der Auflagerkräfte an den Stützungen mit einer stärkeren Ausnutzung des möglichen Erdwiderstandes gerechnet werden“.

Für im Boden frei aufgelagerte Spund- und Ortbetonwände gilt EB19, Kap. 6.3, Abs. 5:

unter den genannten Voraussetzungen darf „...“

- entweder eine verringerte Einbindetiefe t_0 oder
- eine Teileinspannung mit der Tiefe t_1' ...

zugrunde gelegt werden. Diese verringerte Einbindetiefe t_0 bzw. die Tiefe t_1' darf ... mit dem reduzierten Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{ep,red} = 1,0$ ermittelt... werden.“

Für im Boden eingespannte Spund- und Ortbetonwände gilt EB26, Kap. 6.4, Abs. 10:

unter den genannten Voraussetzungen darf „...“

- entweder eine verringerte Einbindetiefe t_0 oder
- eine verstärkte Teileinspannung mit der vorgegebenen Tiefe t_1'

zugrunde gelegt werden. Diese verringerte Einbindetiefe t_0 bzw. die Tiefe t_1' darf ... mit dem reduzierten Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{ep,red} = 1,0$ ermittelt... werden.“

Für Trägerbohlwände gilt analog EB14, Kap. 5.3, Abs. 5 bzw. EB25, Kap. 5.4, Abs. 9.

In DC-Baugrube wird für alle Fußfesthaltungsarten mit Ausnahme der teilweisen Einspannung die Methode der verringerten Einbindetiefe t_0 angewandt:

D.h., zunächst wird (sofern die Wandlänge nicht fest vorgegeben wurde) die erforderliche Einbindetiefe t mit dem maßgebenden normalen Teilsicherheitsbeiwert für den passiven Erddruck γ_{ep} bestimmt. Diese ist maßgebend für die Gesamtlänge der Wand.

Danach wird für die Ermittlung der charakteristischen und Bemessungsschnittgrößen sowie der zugehörigen Anker-/Steifenkräfte unter Ansatz des reduzierten Teilsicherheitsbeiwerts $\gamma_{ep,red}$ eine reduzierte Einbindetiefe t_{red} ermittelt. Die Ausgabe aller Wandschnittgrößen erfolgt in diesem Fall für die reduzierte Einbindetiefe.

Für den Fall der teilweisen Einspannung wird die Methode der verstärkten Teileinspannung angewandt. D.h., die Bestimmung der Schnittgrößen und Auflagerkräfte erfolgt anhand der mit γ_{ep} bestimmten Wandlänge, jedoch wirkt auf der Passivseite ein mit $\gamma_{ep,red}$ bestimmter, höherer Erdwiderstand.

Ansatz nach EAU, E215, Kap. 8.2.0.2

Es gilt gemäß E 215, Abschnitt 8.2.0.2: „Bei Vorliegen bestimmter Randbedingungen darf bei der Ermittlung der Biegemomente ein reduzierter Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Ep,red}$ für den Erdwiderstand gemäß Tab. E215-1 angesetzt werden:"

LF1	LF2	LF3
1,20	1,15	1,10

D.h., im Gegensatz zur EAB darf der reduzierte Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{ep,red}$ nur für die Ermittlung der Biegemomente angewandt werden. Die restlichen Schnittgrößen sowie die Anker- und Steifenkräfte bleiben in diesem Fall also unverändert.

In DC-Baugrube kann bei Berücksichtigung von $\gamma_{ep,red}$ nach EAU zwischen zwei Methoden gewählt werden:

- verringerte Einbindetiefe t_{red} .
- verstärkte Teileinspannung unter Beibehaltung der Einbindetiefe t .

Die Methode der verringerten Einbindetiefe funktioniert im Prinzip wie oben (nach EAB) beschrieben für alle Fußfesthaltungen außer der teilweisen Einspannung. Da sie nach der EAU jedoch nur für die Biegemomente anzuwenden ist, erfolgt die Ausgabe der Wandergebnisse für die volle Wandlänge, nur die Biegemomente sind entsprechend reduziert. Bei teilweiser Einspannung ist das prinzipielle Vorgehen wie unter EAB beschrieben, nur dass hier wiederum nur die Biegemomente reduziert sind.

Bei der Methode der verstärkten Teileinspannung bleibt die Einbindetiefe t unverändert. Es wird jedoch, wie für den Fall der teilweisen Einspannung oben bereits beschrieben, für die Ermittlung der Biegemomente ein mit $\gamma_{ep,red}$ bestimmter, erhöhter Erdwiderstand angesetzt. Die Berechnung erfolgt hierbei an einem System wie bei Teileinspannung, d.h. der Wandfuß ist gelenkig gelagert.

Für den Fall einer nichtrückverankerten Wand mit Volleinspannung nach Blum ist diese Methode nicht geeignet, da ohne Anker das System mit gelenkiger Fußlagerung nicht stabil ist. In diesem Fall wird daher programmintern auf die Methode der verringerten Einbindetiefe umgeschaltet. Ist ein Anker vorhanden, dann kann mit Teileinspannung gerechnet werden. In diesem Fall kann sich jedoch ein kleineres Maximalmoment, aber ein größeres Minimalmoment ergeben, so dass diese Option keinen Vorteil bringt.

Hat der Benutzer als Fußfesthaltung eine elastische Bettung oder „horizontal verschieblich“ gewählt, so erfolgt die Ermittlung der Schnittgrößen von Haus aus ohne Ansatz des Erdwiderstands. In diesen Fällen führt die Methode der verstärkten Teileinspannung zu keinem Reduzierungseffekt. Dieser kann aber mit der Methode der „verringerten Einbindetiefe“ erreicht werden.

Bei Fußfesthaltungen „horizontal gehalten (Fels)“ und „frei“ ist die verstärkte Teileinspannung nicht möglich, da die Wandlänge in diesen Fällen fest vorgegeben ist (Fels) bzw. die Wand auf Höhe der Baugrubensohle abgeschnitten wird (frei).

Beim Vergleich der nach EAB bzw. EAU ermittelten Ergebnisse sind zwei Punkte zu beachten:

- nach EAB werden alle Schnittgrößen und Auflagerkräfte reduziert, nach EAU nur die Biegemomente
- die nach EAB bzw. EAU vorgegebenen und im Programm entsprechend voreingestellten Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{ep,red}$ und somit die Reduzierungseffekte sind unterschiedlich, können vom Benutzer jedoch abweichend gewählt werden.

Stand sicherheitsnachweis in der tiefen Gleitfuge

Der Standsicherheitsnachweis in der tiefen Gleitfuge ist für rückverankerte Baugrubenwände zu führen. Mit diesem Nachweis werden die erforderlichen Längen der Verpressanker bestimmt. Es wird für das Gesamtsystem Wand-Baugrund-Anker die Stabilität bestimmt, so dass für eine gewählte Ankerlänge die vorhandene Sicherheit bestimmt wird. Zur Bestimmung einer erforderlichen Ankerlänge ist daher die Länge der Anker so lange zu erhöhen, bis die erforderliche Sicherheit erreicht wird.

Von Kranz (Über die Verankerung von Spundwänden. 1953) wurde ein Verfahren entwickelt, das für einfach verankerte Baugrubenwände anzuwenden ist (siehe auch EAU, E 10). Hierbei wird davon ausgegangen, dass das Gesamtsystem bei Nachgeben der Anker um den Fuß der Baugrubenwand kippt. Dadurch entsteht eine tiefe Gleitfuge zwischen dem Wandfußpunkt und dem Ende der Verankerung. Im Nachweis wird die mögliche Ankerkraft mögl. Z_h bestimmt, die dafür erforderlich ist, diesen Bruchzustand zu erzeugen. Die Sicherheit η ist definiert als Verhältnis der möglichen Ankerkraft zur tatsächlich vorhandenen Ankerkraft vorh. Z_h . Diese Sicherheit muss bei Berechnung mit Globalsicherheit = 1.5 sein:

$$\eta = \frac{\text{mögl. } Z_h}{\text{vorh. } Z_h} \geq 1.5$$

Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten muss unter Einbeziehung der Sicherheiten

$Z_{d,vorh} = Z_{d,mögl}$ sein. Zur Wahl des Verfahrens siehe unten.

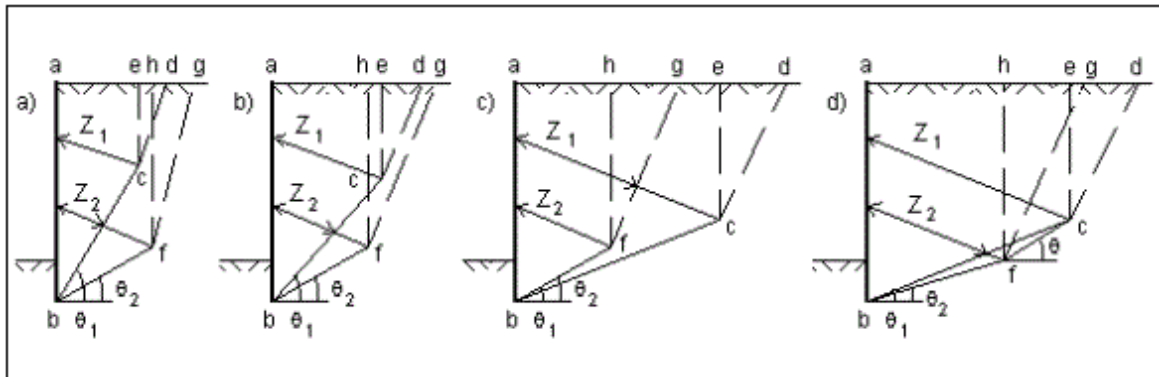
Die ursprüngliche Anwendung des Verfahrens war für einfach verankerte Spundwände gedacht, deren Zuganker an Ankerwänden befestigt sind. Um die heute üblichen Verpressanker zu berücksichtigen, deren Kräfte nicht über eine Ankerplatte, sondern über den Umfang langer Verpresskörper in den Baugrund übertragen werden, wird im Mittelpunkt der Verpresslänge eine Ersatzankerwand angesetzt (siehe EAU, E66). Die tiefe Gleitfuge läuft daher vom Wandfuß zum Mittelpunkt der Verpressstrecke. Wird die Baugrubenwand im Boden eingespannt berechnet oder mit horizontal verschieblicher Fußlagerung und Bettung, dann wird als rechnerischer Fußpunkt der tiefen Gleitfuge der Querkraftnullpunkt in der Wand angesetzt (siehe Larssen-Handbuch, Kapitel 1.241).

Gemäß EAB und EAU, Ausgabe 2012, wird der Nachweis in der tiefen Gleitfuge mit der Erddruckart berechnet, mit der auch die Wandberechnung erfolgt ist, also z.B. auch mit erhöht aktivem oder Ruhedruck. Eine Neuberechnung mit aktivem Erddruck wie früher üblich wird nicht mehr durchgeführt. Für diesen Fall sind dann im Nachweis der Tiefen Gleitfuge die Sicherheiten nach BS-P (LF 1) anzusetzen, auch wenn die Wand z.B. im BS-T oder BS-A berechnet wurde. Diese erhöhten Sicherheiten werden automatisch angesetzt, wenn nicht unter Projekt - [Parameter](#) bei "Ankerbemessung" der Ansatz von BS-P ausgeschaltet wurde.

Für mehrfach verankerte Baugrubenwände wurde das von Kranz entwickelte Verfahren durch Ranke/Ostermayer übertragen (siehe: Ranke/Ostermayer: Beitrag zur Stabilitätsuntersuchung mehrfach verankerter Baugrubenumschließungen. Bautechnik 1968).

Sind mehrere Anker vorhanden, müssen die Längen einer Ankerlage so festgelegt werden, dass der durch die tiefe Gleitfuge und die Ersatzankerwand bestimmte Erdkörper die Kräfte der aktuell untersuchten Ankerlage und aller darüber liegender Lagen aufnehmen kann. Die Ankerkräfte der höher liegenden Ankerlagen sind also auf den Erdkörper mit anzusetzen. Dies gilt zunächst nur unter der Voraussetzung, dass die oberen Anker vom Gleitkörper nur einmal geschnitten werden. Sind die darüber liegenden Anker so lang, dass dies nicht erfüllt ist, sind die Summen der Ankerkräfte nach Ranke/Ostermayer, Kapitel 4.1.4, zu korrigieren.

Abhängig von der Anordnung der Anker werden die Nachweise für eine oder mehrere tiefe Gleitfugen geführt. Die Abhängigkeiten für die Bestimmung der Sicherheit von Lage und Länge der Anker sind wie folgt (Beispiel für zwei Ankerlagen):



(Bruchkörper für unterschiedliche Ankerlängen)

Bei den Bildern a und b bestimmt sich die Sicherheit der oberen Ankerlage für die Gleitfläche b-c-d. Es wird das Gleichgewicht für den Bodenkörper a-b-c-e ermittelt. In dem Rundschnitt um den Bruchkörper wird der untere Anker zweimal geschnitten. Daher geht die Kraft Z_2 in das Kräftepolygon nicht ein. Die Sicherheit für den Anker 1 ist damit

$$\eta_{Z_1} = \frac{\text{mögl. } Z_h}{Z_{1h}}$$

Wird die untere tiefe Gleitfuge untersucht, so werden die beiden Anker nur einmal geschnitten. Daher sind beide Ankerkräfte als Summe für die äußere Kraft anzusetzen. Die Sicherheit für den Anker 2 ergibt sich deshalb zu

$$\eta_{Z_2} = \frac{\text{mögl. } Z_h}{Z_{1h} + Z_{2h}}$$

Im dritten Fall (Bild c) ist der obere Anker so lang, dass sich $\theta_1 = \theta_2$ ergibt. Damit wird der obere Anker im Rundschnitt nur einmal geschnitten, so dass beide Ankerkräfte in die Bestimmung der Sicherheit für den ersten Anker eingehen:

$$\eta_{Z_1} = \frac{\text{mögl. } Z_h}{Z_{1h} + Z_{2h}}$$

Beim Schnitt um den Gleitkörper für den zweiten Anker wird der obere Anker zweimal geschnitten, so dass nur die Kraft des zweiten Ankers in die Sicherheit eingeht:

$$\eta_{Z_2} = \frac{\text{mögl. } Z_h}{Z_{2h}}$$

Für den vierten Fall bestimmt sich die Sicherheit des ersten Ankers wie im Fall a, da die Gleitfuge den zweiten Anker schneidet. Die Gleitfläche von f nach g für den zweiten Anker schneidet den oberen Anker. Im Unterschied zu Fall c ist jedoch der Neigungswinkel der Gleitfuge $\theta_1 > \theta_2$. Für diesen Fall wird eine geknickte Gleitfläche angenommen, die von Anker 2 (Punkt f) über Anker 1 (Punkt c) nach Punkt d verläuft. Für diese Gleitfläche ist dann die Summe der beiden Ankerkräfte $Z_{1h} + Z_{2h}$ zu verwenden, so dass sich die Sicherheit nach der zweiten Gleichung bestimmt.

Wahl des Verfahrens für den Nachweis der tiefen Gleitfuge

Für den Nachweis der tiefen Gleitfuge zur Bestimmung der Ankerlängen existieren zwei verschiedene Verfahren:

- Nachweis nach Kranz (bisheriges Verfahren) mit Ansatz von Teilsicherheitsbeiwerten. Hier ist das Kriterium der Vergleich der erforderlichen mit der möglichen Ankerkraft aus dem Kräftepolygon am Gleitblock
- Neues Verfahren, wie es im Entwurf zur DIN 1054 (2000) in Anhang H beschrieben wurde, in die DIN 1054:2003 und 2005 sowie die EAB jedoch nicht eingegangen ist: hier werden die Reibungskräfte in der tiefen Gleitfuge verglichen.

Die jeweils betrachteten Kräfte sind unterschiedlich, so dass sich auch andere Ergebnisse ergeben. Damit die resultierenden Ankerlängen vergleichbar mit den bisherigen Ergebnissen sind, wurde von Weißenbach im Jahr 2003 vorgeschlagen, dass das Verfahren nach Kranz (mit Teilsicherheiten) für aktiven Erddruck anzuwenden ist (bis < 25% Ruhedruckanteil bei erhöht aktivem Erddruck), ab 25% Ruhedruckanteil oder bei reinem Ruhedruck das neue Verfahren nach EAB. Nach EAB sollte jedoch grundsätzlich wieder das bisherige Verfahren nach Kranz angesetzt werden. Unter Projekt – [Parameter](#) kann daher die Grenze, über der das neue Verfahren verwendet wird, eingestellt werden, wenn für den Ankerachweis die Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten eingestellt wurde. Standardmäßig wird hier 100% verwendet, d.h. grundsätzlich Ansatz des bisherigen Verfahrens.

Zur Ermittlung der Ankerlängen siehe das folgende Kapitel.

Zum [Stand sicherheitsnachweis](#) siehe das darauffolgende Kapitel.

Bestimmung der Ankerlängen

Wie bereits erläutert, ist die Sicherheit im Nachweis der tiefen Gleitfuge nur über einen festgelegten Bruchkörper zu ermitteln. Es ist also eine Ankerlänge zu wählen, die die Bruchfigur festlegt, und damit die vorhandene Sicherheit zu bestimmen. Zur Ermittlung der erforderlichen Ankerlänge wird von einer vorgegebenen Mindestlänge des Ankers ausgegangen. Anschließend wird der Anker zuerst schrittweise um jeweils 1 m verlängert und nach Überschreiten der erforderlichen Sicherheit um 0.10 m-Schritte verändert, bis die benötigte Standsicherheit eingehalten ist. Die rechnerische Ankerlänge ist damit von der Wandachse bis zur Mitte der Verpressstrecke gemessen. Die Gesamtlänge des Ankers einschl. Überstand und Verpresskörperlänge wird zusätzlich ausgegeben.

Die Mindestlänge des Ankers kann über die Eingabe vorgegeben werden. In jedem Fall wird zumindest die Länge angesetzt, die sich aus der maximal möglichen Neigung der Gleitfuge von

$$\vartheta = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$$

ergibt.

Bei mehreren Aushubzuständen werden die ermittelten Ankerlängen in den jeweils nächsten Aushub übertragen und ebenfalls als unterster Wert für die Mindestlänge verwendet.

Zum Standsicherheitsnachweis siehe das folgende Kapitel.

Standortsicherheitsnachweis

Erddruckansatz

Sowohl an der Baugrubenwand als auch an der Ersatzankerwand wird der Erddruck gemäß EAB und EAU 2012 mit der Erddruckart angesetzt, die bei der Wandberechnung verwendet wurde, wobei Böschungen und Auflasten sich an der Ersatzankerwand durch die unterschiedliche Position anders als an der Baugrubenwand auswirken.

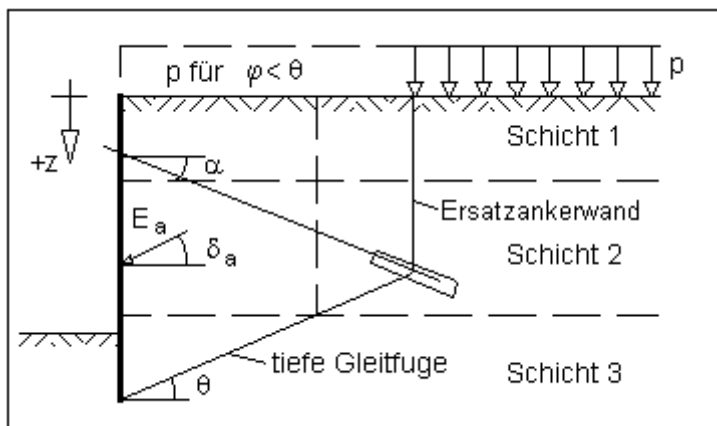
Nach EAB, EB 44 und EAU, E 10 ist bei Verankerung mit Verpressankern oder Zugpfählen der Wandreibungswinkel δ für den Erddruck auf die Ersatzankerwand gleich der Geländeneigung β anzusetzen (d.h. bei waagrechttem Gelände $\delta = 0$), bei einer Ankerwand oder Ankerplatte mit dem Wandreibungswinkel wie an der Baugrubenwand.

Welche Art der Verankerung gewählt ist, kann beim Aushub auf der Seite „Anker“ eingestellt werden.

Ebenfalls nach EAB, EB 44 sollten dann, wenn der Nachweis der tiefen Gleitfuge mit erhöht aktivem Erddruck oder Erdruhedruck geführt wird, in diesem Nachweis die Sicherheitsbeiwerte nach BS-P angesetzt werden. Das gilt nicht für die Belastung am Gurt. Es erscheint dann ein entsprechender Hinweis.

Angesetzte Kräfte in der tiefen Gleitfuge

Der untersuchte Gleitkörper wird durch die Baugrubenwand, die tiefe Gleitfuge und die Ersatzankerwand durch die Mitte der Verpressstrecke begrenzt. Dieser Block kann horizontal durch Schichtgrenzen unterteilt werden. An Schnittpunkten zwischen der tiefen Gleitfuge und Schichtgrenzen wird der Block zusätzlich senkrecht unterteilt:



(Unterteilung des Gleitkörpers)

Das Gewicht des Gleitkörpers wird schichtweise bestimmt. Schichtbereiche unterhalb des Grundwasserstandes werden automatisch mit der Wichte unter γ' angesetzt, unter Berücksichtigung von undurchlässigen Schichten.

Auflasten auf den Gleitkörper werden wie folgt berücksichtigt:

- Ständige Lasten q werden stets bis zur Blockgrenze auf das Eigengewicht des Blocks addiert
- Verkehrslasten p werden nur dann berücksichtigt, wenn sie ungünstig wirken, d.h. wenn der Reibungswinkel φ der Schicht, in der die Gleitfuge liegt, kleiner ist als der Neigungswinkel der Gleitfuge θ .

Zur Definition der Lastart siehe Kapitel [Lasten - Streckenlasten](#).

Gemäß Ranke, Ostermayer: Beitrag zur Stabilitätsuntersuchung mehrfach verankerter Baugrubenumschließungen. Bautechnik 1968 werden die horizontalen Erddrücke auf Baugruben- und Ersatzankerwand auch angesetzt, wenn $\varphi < \theta$ ist.

Nach DIN 1054:2005 und EAU wird der Nachweis der Ankerlängen zweimal geführt: nur für ständige Lasten und für Gesamtlasten.

Bei begrenzten Auflasten ist zu beachten, dass zur Bestimmung des Erddrucks auf die Ersatzankerwand oder auf eine Blockgrenze die Lasten ab dieser Grenze betrachtet werden. Es kann vorkommen, dass die Erddruckwirkung des Lastanteils vor der Grenze ("links") größer ist als der des Anteils hinter der Grenze

("rechts"). Es ist der Lastanteil anzusetzen, der die größere Erddruckwirkung erzeugt. Falls dies der Lastanteil vor der Ersatzankerwand oder Blockgrenze ist, wird ein entsprechender Hinweis ausgegeben.

Kräftepolygon und mögliche Ankerkraft

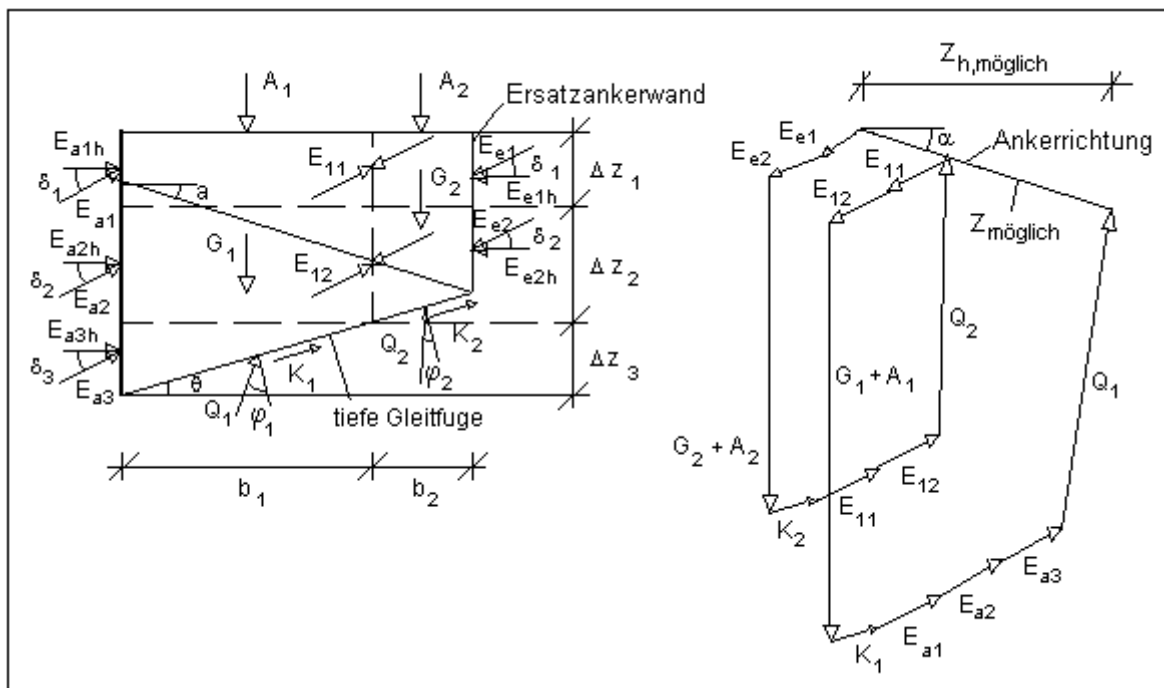
Im folgenden Bild sind die Kräfte dargestellt, die auf den Gleitkörper wirken und zur Bestimmung der möglichen horizontalen Ankerkraft mögl. Z_h für das Kräftepolygon verwendet werden. Die einzelnen Erdkörper von 1 bis m werden mit dem Index k bezeichnet, die Schichten von 1 bis n mit dem Index i.

- Resultierende Kräfte aus Auflasten A_k
- Gewichtskräfte der Blöcke G_k
- Erddruckkräfte $E_{a,i}$ auf die Baugrubenwand
- Erddruckkräfte $E_{k,i}$ an den Grenzen zwischen den Erdkörpern
- Erddruckkräfte $E_{e,i}$ auf die Ersatzankerwand
- Kohäsionskräfte K_k entlang der tiefen Gleitfuge
- Reaktionskräfte Q_k mit Neigung φ_k zur senkrechten auf die Gleitfuge

Die Kohäsionskräfte ergeben sich zu

$$K_k = \frac{b_k * c_{n+1-k}}{\cos \theta}$$

Von den Reaktionskräften Q_k ist zunächst nur die Richtung $\theta - \varphi_k$ zur Senkrechten bekannt.



(Kräfte auf die Erdblöcke)

(Zusammensetzung des Kräftepolygons)

Alle auf die Erdkörper wirkenden Kräfte werden zu einem Kräftepolygon zusammengesetzt (siehe auch Larssen-Handbuch, Dortmund 1960, S. 100). Die zunächst unbekannte Reaktionskraft Q_k ergibt sich geometrisch durch Verschneidung ihrer Richtung $\theta - \varphi_k$ mit der Ankerneigung α . Die beiden Kräfte Q_k und $Z_{k,möglich}$ schließen jeweils das Krafteck. Dieses Vorgehen wird blockweise durchgeführt:

Schritt 1: $E_{e,i} + G_m + A_m + K_m + E_{m-1,i}$ ergibt Q_m

Schritt 2: $+ E_{m-1,i} + G_{m-1} + A_{m-1} + K_{m-1} + E_{m-2,i}$ ergibt Q_{m-1}

·
·
·

Schritt m-1: $+ E_{2,i} + G_2 + A_2 + K_2 + E_{1,i}$ ergibt Q_2

Schritt m: $+ E_{1,i} + G_1 + A_1 + K_1 + E_{a,i}$ ergibt Q_1

Die Resultierende aus der geometrischen Addition aller Kräfte, d.h. $\Sigma Z_{k,möglich}$ in Richtung der Ankerneigung, ist die mögliche Ankerkraft $Z_{möglich}$. Ihre Horizontalkomponente

$$\text{mögl. } Z_h = \text{mögl. } Z * \cos \alpha$$

muss um einen Sicherheitsbeiwert η (standardmäßig $\eta = 1.50$) größer sein als die vorhandene Horizontalkraft $Z_{h,vorhanden}$ des jeweiligen Ankers. Bei Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten muss unter Einbeziehung der Sicherheiten $Z_{d,vorh} \leq Z_{d,mögl}$ sein.

Nach EB 44, 4 b) ist die mögliche Ankerkraft zu reduzieren, wenn der horizontale Ankerabstand größer ist als die halbe Verpressstreckenlänge. Wenn bei den [Ankern](#) sowohl der horizontale Ankerabstand $a-H$ als auch die Verpressstreckenlänge L_{VS} angegeben ist, dann wird die Abminderung um den Faktor $\frac{1}{2} * L_{VS} / a-H$ automatisch vorgenommen, wenn erforderlich.

Geländebruch-Nachweis

Der Nachweis der Sicherheit gegen Geländebruch wird nicht in DC-Baugrube automatisch durchgeführt.

Für diesen Nachweis können die Daten einer Projektdatei im Programm [DC-Böschung](#) (Menüpunkt Datei - Import - DC-Baugrube) importiert werden. Es werden die berechneten Ankerkräfte des ersten Lastfalles für den letzten Aushubzustand übernommen. Für den Nachweis mit anderen Ankerkräften können durch Doppelklick die Ankerparameter verändert werden.

Nachweis der Vertikalkräfte

In den Nachweis der Vertikalkräfte gehen folgende Bestandteile ein:

- bei vorgelagerter Erdwiderstand der Erddruck zwischen Wandkopf und Fußpunkt z_F oder bei Trägerbohlwänden zwischen Wandkopf und Aushubsohle z_S
- bei überlagerter Erdwiderstand der Erddruck zwischen dem Wandkopf und dem Lastnullpunkt bei Spundwänden, Bohrpfahl- und Schlitzwänden sowie bei Einspannung nach Blum:

$$E_{av} = \sum E_h * \tan \delta_a$$

über alle Erdschichten

E_h = Summe des umgelagerten Erddrucks einer Schicht

- der Vertikalanteil der Ankerkräfte

$$A_v = \sum A_i * \tan \alpha_i$$

für alle Anker

- die Ersatzkraft C:

$$C_v = C_h * \tan \delta_c$$

bzw. bei elastischer Bettung die negativen Federkräfte

$$C_v = \sum (-F_b) * \tan \delta_c$$

- der Erdwiderstand über alle Schichten aus e_{ph}/η_p (vorgelagerter Erdwiderstand) bzw. $e_{ph}/\eta_p - e_{ah}$ (überlagerter Erdwiderstand):

$$W_v = \left(\sum E_{wid} * \tan \delta_p \right) * \frac{vorh.A}{zul.A}$$

bzw. bei Trägerbohlwänden

$$W_v = \left(\sum E_{ph\delta} * \tan \delta_p \right) * \frac{vorh.E}{zul.E}$$

($E_{ph\delta}$ siehe unten).

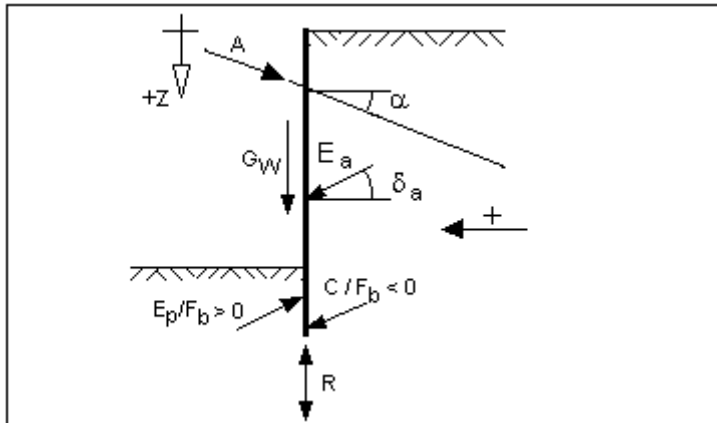
Ist der Wandfuß elastisch gebettet, dann wird für den Erdwiderstand die Summe der positiven Federkräfte angesetzt:

$$W_v = \sum F_b * \tan \delta_p$$

bei Spund-, Bohrpfahl- und Schlitzwänden

$$W_v = \sum F_b * \tan \delta_p * \frac{\sum E_{ph\delta}}{zul.E}$$

bei Trägerbohlwänden



(Kräfte zur Bestimmung des Gleichgewichts der Vertikalkräfte)

Anteil	Neigungswinkel	Vertikalanteil
E_a/E_0	Erddruck δ_a	E_{av}
C	Ersatzkraft δ_c	C_v
$F_b < 0$	neg. Bettungskräfte δ_c	C_v
E_p	Erdwiderstand δ_p	W_v
$F_b > 0$	pos. Bettungskräfte δ_p	W_v
A	Ankerkräfte α	A_v
G_W	Wandgewicht -	G_W
R	Restkraft -	R

Der Winkel δ_c für die Ersatzkraft C wird standardmäßig mit $1/3 \varphi$ angesetzt, kann aber bei den Schichtparametern verändert werden.

Erdwiderstand bei Trägerbohlwänden

Im Nachweis für schmale Druckflächen nach [Weißbach](#) wird der modifizierte Erdwiderstand $E_{ph\delta}$ aus einem Anteil aus Reibung $E_{pgh\delta}$ und einem Anteil aus Kohäsion $E_{pch\delta}$ zusammengesetzt:

$$E_{ph\delta} = E_{pgh\delta} + E_{pch\delta}$$

mit dem Reibungsanteil

$$E_{pgh\delta} = \frac{1}{2} * \gamma * K_R * t^2 * \frac{b}{a}$$

und dem Kohäsionsanteil

$$E_{pch\delta} = 2 * c * t * \frac{K_K}{\eta_p + 0.5}$$

wenn Erddruck vor der gesamten Wand maßgebend ist, bzw.

$$E_{pch\delta} = 2 * c * t * K_K * \frac{b + bsk}{a}$$

wenn Erddruck vor den Einzelträgern maßgebend ist ($b_l > t$).

Gleichgewicht der Vertikalkräfte

Gemäß EAB sind zwei Nachweise für die Vertikalkräfte zu führen:

a) Nachweis der Vertikalkräfte des mobilisierten Erdwiderstandes (EB 9)

Die Vertikalkomponente des passiven Erddrucks (als charakteristischer Wert) kann nicht größer sein als die Summe der vertikalen Einwirkungen. Zeigt die charakteristische Summe der Vertikalkräfte V_k nach oben, dann wird sich die Richtung des passiven Erddrucks flacher einstellen. Der Wandreibungswinkel $\delta_{p, \delta c}$ ist zu reduzieren. Das kann bei den Eigenschaften der [Schichten](#) durch Anwahl von „ $\delta p / \delta c$ reduzieren für alle Schichten“ angefordert werden.

Bei diesem Nachweis für den genaueren Nachweis nach EB 9, 3 b) auf beiden Seiten die Ersatzkraft C mit dem halben Wert angesetzt.

Zeigt bei Einspannung nach Blum die Summe der Vertikalkräfte nach unten, ist die Ersatzkraft C flacher anzusetzen. Es wird dann der Wandreibungswinkel der Ersatzkraft δc reduziert.

b) Nachweis der Abtragung von Vertikalkräften in den Untergrund (EB 84)

Gemäß EAB, E 84 ist nachzuweisen, dass die nach unten gerichtete Summe der Vertikalkräfte als Bemessungswerte in den Boden übertragen werden können. Die zulässigen Werte für Mantelreibung und Spitzendruck können als charakteristische Werte bei den Eigenschaften der [Schichten](#) angegeben werden. Für den vertikalen Widerstand unter der Aushubsohle wird gemäß EB 84, 2 d) der günstigere Wert von Vertikalanteil des passiven Erddrucks oder Mantelreibung über die Wandfläche angesetzt. Zusätzlich wird der Spitzendruck mit Fußflächen und ggf. Abminderungen gemäß EB 85 bestimmt. Reicht der Widerstand für die Aufnahme der Vertikalkräfte nicht aus, dann wird die Wand so weit verlängert, dass über die Mantelreibung der statisch nicht mehr erforderlichen Zusatzfläche die restliche Vertikalkraft aufgenommen werden kann. Gemäß EB 85, 4. dürfen hier die Abwicklungen der Mantelflächen auf Baugruben- und Erdseite angesetzt werden.

Für die Fußfläche zum Ansatz des Spitzendrucks kann bei der Eingabe von Spundwänden und Trägerbohlwänden gewählt werden, ob die rechteckige Fußfläche nach Weißenbach gemäß EAB bis Auflage 4 bei Spundwänden bzw. die volle rechteckige Fußfläche gemäß EAB bis Auflage 5 bei Trägerbohlwänden verwendet wird, oder die tatsächliche Stahl-Querschnittsfläche gemäß EAB ab Auflage 5 bei Spundwänden bzw. Auflage 6 bei Trägerbohlwänden. Im letzteren Fall dürfen höhere Werte für den Spitzendruck nach Anhang A 10 der EAB angesetzt werden.

Bei Trägerbohlwänden kann bei der Eingabe des Wandprofils die Breite des Fußauflagers zur Berechnung des passiven Erddrucks vor den schmalen Druckflächen eingegeben werden. Ist diese Breite größer als die reine Trägerbreite (bzw. bei 2*U-Profilen größer als 2*Trägerbreite + Spreizmaß), dann wird der Wandfuß als einbetoniert angesehen. Die Fußfläche für den Spitzendruck ist dann eine Kreisfläche mit der eingegebenen Breite als Durchmesser und die Wandfläche für die Mantelreibung wird über den Kreisumfang berechnet.

Werden bei einer Trägerbohlwand 2*U-Profile verwendet (ohne einbetonierten Fuß), dann wird die Fläche zwischen den U-Profilen (Breite = Spreizmaß) bei der Fußfläche mitgerechnet, solange das Spreizmaß nicht größer ist als die Trägerhöhe. Es wird angenommen, dass sich hier durch Pfropfenbildung oder durch Verwendung einer Fußplatte die gesamte Fußfläche ausbildet, wenn die Träger nicht zu weit auseinander stehen.

Die erforderliche Gesamtlänge der Wand wird auch in den Ergebnisgrafiken im Geometriebild dargestellt.

Die beiden Nachweise a) und b) können unter [Projekt – Ausgabe](#) angefordert oder ausgeschaltet werden.

Erdbebenberechnung

Unter dem Menüpunkt [Lasten - Erdbebenlast](#) können Beiwerte für Erdbebenlasten definiert werden. Ist ein horizontaler und/oder vertikaler Beiwert > 0 gegeben, dann wird eine Berechnung unter Erdbebenlasten in der Bemessungssituation BS-E durchgeführt.

Die eingegebenen Beiwerte für die horizontale und vertikale Erdbebenlast entsprechen nach Eurocode 8-5 den Werten $k_h/S = \alpha/r$ bzw. k_v/S , da die Bodenparameter S für die einzelnen Bodenschichten eingerechnet werden. Der alternativ positive oder negative Ansatz der vertikalen Beschleunigung nach unten oder oben wird automatisch berechnet und der maßgebende Fall verwendet.

Die Berechnung erfolgt nach Eurocode 8 Teil 5 (DIN EN 1998-5) für Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte gemäß dem Ansatz von Mononobe-Okabe.

In die Berechnung, z.B. schon im Erddruckbeiwert, geht der Sicherheitsbeiwert für die Schichtbeiwerte $\tan(\varphi)$ und c ein und damit bereits die Bemessungswerte φ_d und c_d . Deshalb sind bereits die ausgegebenen Erddruckbeiwerte und dann die Erddrücke und Schnittgrößen Bemessungswerte. Zur Einstellung der Sicherheitsbeiwerte siehe unter Projekt - Parameter - Norm Berechnung/Bemessung - Eurocode 7 - Eurocode 7-Einstellungen - Seite "Eurocode 8 Erdbeben". Siehe auch Kapitel "[Berechnung nach Eurocode 7](#)", letzter Abschnitt. Auch für die Nachweise der Gleitsicherheit, Grundbruchsicherheit und Geländebruchsicherheit werden die Bemessungswerte der Schichtparameter angesetzt.

Erd- und Wasserdruckberechnung

Aus den Erdbebenbeiwerten k_h und k_v (eingegebene Beiwerte * Bodenparameter S der jeweiligen Bodenschicht) wird zunächst der Winkel θ mit Unterscheidung von drei Fällen bestimmt:

- Schichten oberhalb des Grundwasserspiegels:

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

wobei die Wandneigung ψ in der Definition des EC 8 dem Wert $90^\circ - \alpha$ entspricht (θ ist ein Winkel zur Horizontalen, α ein Winkel zur Vertikalen).

- Dynamisch undurchlässiger Boden:

$$\tan \theta = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

- Dynamisch durchlässiger Boden:

$$\tan \theta = \frac{\gamma_d}{\gamma - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Der Erddruckbeiwert für aktiven Erddruck entspricht nach Mononobe-Okabe der Formel nach Coulomb, ergänzt um den Winkel θ :

$$K_{ah} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_d + \delta_d) \sin(\varphi_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

für die Horizontalkomponente. Für die Vertikalkomponente des aktiven Erddrucks wird diese multipliziert mit $\tan(\psi - \theta - \delta_d)$

Falls die Geländeneigung $\beta > \varphi_d - \theta$ beträgt, ist

$$K_{ah} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi}$$

Der passive Erddruckbeiwert ergibt sich zu

$$K_{ph} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \left[1 - \sqrt{\frac{\sin \varphi_d \sin(\varphi_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \theta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

(ohne Wandreibungswinkel δ_p , da der passive Erddruck nur horizontal angesetzt werden darf).

Gemäß Eurocode 8-5, Anhang E, E.3, Formel (E.1) ist der passive Erddruck ohne Kohäsionsanteil zu berechnen.

Zusätzlicher Erdruhedruck aus Erdbebenwirkung ergibt sich zu

$$\Delta e_0 = \alpha * S * \gamma * H$$

Der hydrodynamische Wasserdruck in dynamisch durchlässigem Boden beträgt

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H'^2$$

und hydrodynamischer Druck außerhalb des Bodens auf eine Wandfläche

$$q(z) = \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{h * z}$$

H ist die Höhe der Wand, H' die Höhe des Grundwasserspiegels über der Wandsohle und h' die freie Wasserhöhe.