

83D Bohrpfahlwand / Schlitzwand nach DIN EN 1997 / DIN 1054:2010

(Stand: Mai 2012)

Mit dem Programm 083D können Ortbetonwände (Schlitzwände / Bohrpfahlwände) mit bis zu 5 Ankern oder Steifen nach DIN EN 1997-1:2009 (EC7) / DIN 1054:2010 berechnet werden. Die Wand kann dabei eingespannt, frei gelagert oder auch ohne Erdauflager gerechnet werden. Das Gelände kann waagrecht, geneigt oder gebrochen sein. Es können Flächenlasten, Linienlasten und Lasten am Wandkopf berücksichtigt werden. Es sind bis zu 5 Bodenschichten möglich. Eine Wandbemessung wird nach DIN EN 1992-1:2010 durchgeführt.



Leistungsumfang

///> System

- Horizontales, geneigtes oder gebrochenes Gelände
- Erdauflager freigelagert, eingespannt oder ohne Auflager (Berechnung als Durchlaufträger)
- Bis zu 5 Anker bzw. Steifen
- Geneigte Sohle möglich
- Berücksichtigung von Grundwasserständen
- Bis zu 5 Schichten

///> Einwirkungen

- Lasten auf oder unter Gelände bzw. am Wandkopf möglich
- Bei Verwendung von Einwirkungsgruppen ist die Definition von Lastfällen möglich (max. 9).

///> Nachweise/Bemessung

- Nachweis der Einbindetiefe
- Wandbemessung nach DIN EN 1992 (Biegebemessung, Querkraftbemessung, Rissnachweise)
- Nachweis Vertikalkomponente des Erdwiderstands
- Nachweis Aufnahme der Vertikalkräfte im Untergrund
- Nachweis Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge für verankerte Wände

///> Grafiken / Ausgabe

- Darstellung des Systems
- Darstellung der Erddruckverteilung
- Schnittgrößen für maßgebende Kombinationen
- Komfortable Bestimmung des Ausgabeumfangs

///> Weitere Leistungen

- Weiterleitung der Geometrie- und Lastdaten für Geländebruchnachweis 83G

Eingaben

Geometrie

- Höhe H_o Geländebeginn als Höhenkote (s. Abb. 1)
- Differenzhöhe Δh zum Wandkopf
- Höhe H_u der Baugrubensohle als Höhenkote
- Neigung β_s der Baugrubensohle.
Die Neigung darf $-10^\circ \leq \beta_s \leq +10^\circ$ betragen.
(Hinweis: Eine ansteigende Sohle ist positiv definiert.)
- Wanddicke h bei Schlitzwand bzw. Pfahldurchmesser d_p und –abstand a_p bei Bohrpfahlwand (s. Abb. 2)
- Beschreibung des Geländes in bis zu 3 Abschnitten (jeweils Länge [m] und Neigung [°] des Abschnitts)
- Anzahl Anker /Steifen (max. 5) sowie deren Lage (unter OK Wandkopf) und Neigung (fallend = positiv!)
- Grundwasserstand GW_e erdseitig und GW_l luftseitig ($GW_l \leq GW_e$)

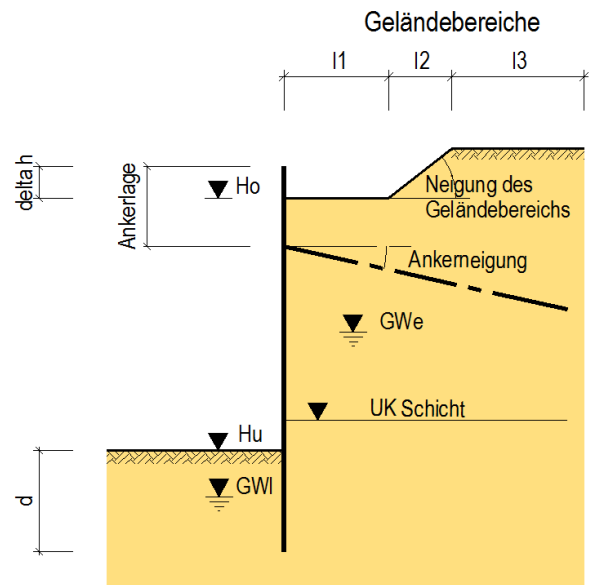


Abb. 1: Geometrie

Voreinstellungen für den Programmablauf

Nach Eingabe der Geometrie können die folgenden Optionen gewählt werden:

- Ermittlung der Einbindetiefe durch das Programm oder Eingabe einer festen Einbindetiefe
- Angabe der Kombination für die Ermittlung der Verformungen: Quasiständig ($G+\psi_2 \cdot Q$), häufig ($G+\psi_1 \cdot Q$) oder selten ($G+\psi_0 \cdot Q$)
- Wahl einer Stahlbetonbemessung (bei Schlitzwänden Wahl des Querkraftnachweises als Platte oder Balken)
- Wahl Nachweise der Aufnahme der Vertikalkräfte
- Wahl Nachweis in der tiefen Gleitfuge (bei verankerten Wänden)

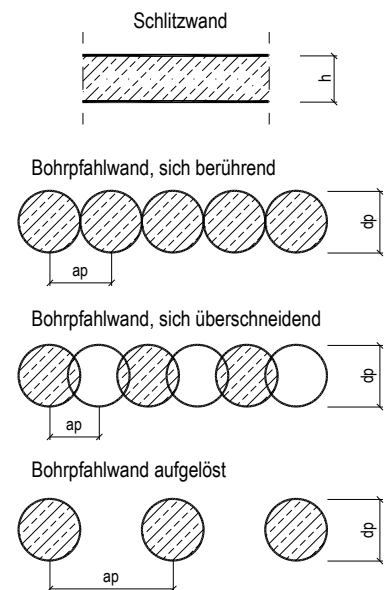


Abb. 2: Wandarten

Charakteristische Bodenkennwerte und Wasserstand

Für den Baugrund können bis zu 5 Schichten definiert werden, die ab Höhe Gelände H_0 definiert sind. Es werden Unterkante der Schichtdicke (Höhenkote), Wichte γ , Wichte γ' (unter Auftrieb), Reibungswinkel φ , Wandreibungswinkel aktiv δ_a , Wandreibungswinkel passiv δ_p und die Kohäsion c eingegeben. Der Wandreibungswinkel darf i. Allg. mit $\delta_a = 2/3 \cdot \varphi$ angesetzt werden, während der Wandreibungswinkel δ_p nur so groß angesetzt werden kann, dass der Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstands erfüllt ist (s.u.). Kann bei verankerten Wänden mit positiver Ankerneigung meist $\delta_p = -2/3 \cdot \varphi$ gewählt werden kann, ist er bei unverankerten Wänden betragsmäßig geringer anzusetzen (in vielen Fällen kann mit $\delta_p = -1/2 \cdot \varphi$ gerechnet werden).

Belastung

Sollen mehrere Oberflächenlasten gleichzeitig mit der vollen Größe angesetzt werden, so sind sie der selben Einwirkungskategorie zuzuordnen.

Im Allgemeinen ist es ausreichend, zwischen ständigen und veränderlichen Einwirkungen zu unterscheiden. Als Einwirkungskategorien stehen die üblichen Hochbau-Kategorien sowie die Kategorien Q,1 bis Q,9 zur Verfügung, der Erddruck aus Bodeneigenlast wird immer der Kategorie Q,E zugeordnet.

- *Durchgehende Flächenlast:*

Bei homogenem Gelände kann eine durchgehende Flächenlast angesetzt werden. Als Ersatzlast darf sie nach DIN 1054 bis zu einer Größe von $q=10 \text{ kN/m}^2$ als ständige Last betrachtet werden, was jedoch i. Allg. keine große Auswirkung hat.

- *Begrenzte Flächenlasten (Streifenlasten):*

Zur durchgehenden Flächenlast können bis zu 5 Streifenlasten auf oder unter dem Gelände definiert werden. Angaben über Lastgröße und Kategorie, Abstand vom Wandkopf x_a , Höhe des Lastbeginns H_a (Höhenkote), Breite und Neigung der Last sowie Art der Erddruckverteilung werden hier erwartet (s. Abb. 3 und Abb. 4). Bei Streifenlasten mit geringer Breite sind die Verteilungen 2 oder 3, sonst die Verteilungen 1 oder 4 geeignet.

- *Linienlasten:*

Maximal 3 Linienlasten können definiert werden. Lastgröße in vertikaler oder horizontaler Richtung, Kategorie, Lage und Verteilung der Last sind anzugeben. Die Last kann sich auf oder unter dem Gelände befinden (zur Verteilung s. Abb. 4).

- *Lasten am Wandkopf:*

Vertikallasten, Horizontallasten und Momente am Wandkopf können hier angegeben werden. Die oben angegebenen Lastsymbole zeigen die Positivrichtungen an. Es können ständige und nichtständige Lastanteile definiert werden.

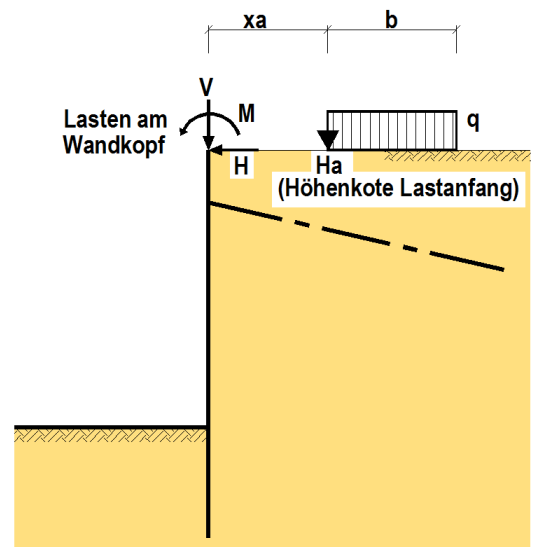


Abb. 3: Lastdefinition

Hinweis:

Die Angabe der Verteilung wird bei iterativer Erddruckermittlung (s.u.) nicht ausgewertet, da sie sich durch die Iteration selbst ergibt.

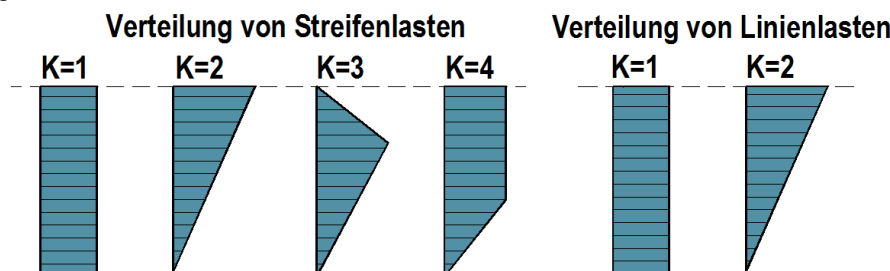


Abb. 4: Erddruckverteilung aus Zusatzlasten

Teilsicherheiten

In EC7, 2.2, werden die folgenden Bemessungssituationen definiert:

- BS-P: Ständige Bemessungssituation
- BS-T: Vorübergehende Bemessungssituation (z.B. Bauzustand)
- BS-A: Außergewöhnliche Bemessungssituation
- BS-E: Erdbeben

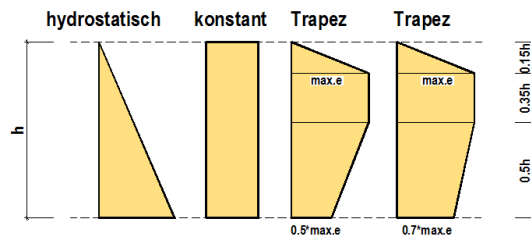
Aus der gewählten Bemessungssituation ergeben sich die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände nach [1]. Sind Einwirkungen der Kategorie A,1 (außergewöhnliche Einwirkungen) bzw. A,E (Erdbeben-Einwirkungen) vorhanden, werden die entsprechenden Kombinationen mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten automatisch untersucht, so dass der Benutzer nur noch entscheiden muss, ob die Situation BS-P oder BS-T ebenfalls untersucht werden muss.

Berechnungsoptionen

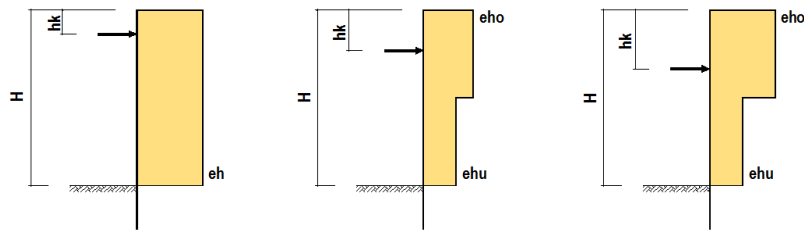
Für die Durchführung der Berechnung sind eventuell einige Optionen anzugeben:

- *Erhöhungsfaktor f_a für den aktiven Erddruck:*
I. Allg. ist der Erddruck als aktiver Erddruck anzusetzen ($f_a=1.0$), bei naher Nachbarbebauung sollte mit erhöhtem aktivem Erddruck bzw. Erdruhedruck gerechnet werden ($f_a>1.0$). Da der Ruhedruck nur für homogene Verhältnisse einfach zu ermitteln ist, ist er am einfachsten durch einen Erhöhungsfaktor zu beschreiben.
Beispiel:
Bei einem Reibungswinkel $\varphi = 30^\circ$ und waagerechtem Gelände beträgt der Beiwert für den aktiven Erddruck $K_{agh} = 0.33$, der Beiwert für den Ruhedruck $K_{oh} = 0.50$. Als Erhöhungsfaktor ergibt sich $f_a = 1.50$ bzw. $f_a = 1.25$, wenn mit dem Mittelwert aus aktivem Erddruck und Erdruhedruck zu rechnen ist.
- *Ansatz des Mindesterdruks für kohäsive Schichten:*
Bei Stützbauwerken darf ein Mindestwert für den Erddruck nicht unterschritten werden, der sich aus dem Reibungswinkel $\varphi = 40^\circ$ und der Kohäsion $c = 0$ ergibt (vgl. [3], 6.3.1.5).
- *Verteilung des aktiven Erddrucks aus Bodeneigenlast:*
Bei verankerten Wänden ergibt sich statt der hydrostatischen, dreieckförmigen Spannungsverteilung eine Umlagerung der Erddruckspannungen zu den Ankerlagen hin. Dies kann durch verschiedene Umlagerungsfiguren beschrieben werden (s. Abb. 5). Am einfachsten für den Benutzer ist die Umlagerung nach [4], EB 70, bei der das Programm in Abhängigkeit von Ankeranzahl und –lage die entsprechende Lastfigur bestimmt.
- *Verteilungshöhe der Erddruckumlagerung:*
Die Verteilung kann entweder bis Höhe Sohle oder bis UK Wand vorgenommen werden (letztere ergibt höhere Ankerkräfte).
- *Anpassungsfaktor f_p für den Erdwiderstand:*
I. Allg. darf der Erdwiderstand bei Ortbetonwänden voll angesetzt werden ($f_p=1.0$).
- *Anpassungsfaktor f_c der Kohäsion beim Erdwiderstand:*
Bei hoher Kohäsion ist u.U. eine Abminderung der Kohäsion bei der Ermittlung des Erdwiderstands sinnvoll.

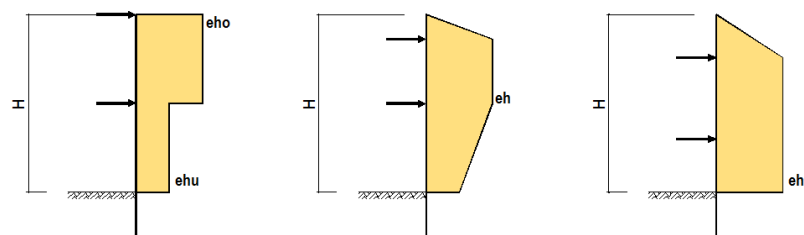
Lastumlagerung Erddruck aus Bodeneigenlast



Umlagerung nach EAB: Einfache Verankerung



Umlagerung nach EAB: Zweifache Verankerung



Umlagerung nach EAB: Drei- bis fünffache Verankerung

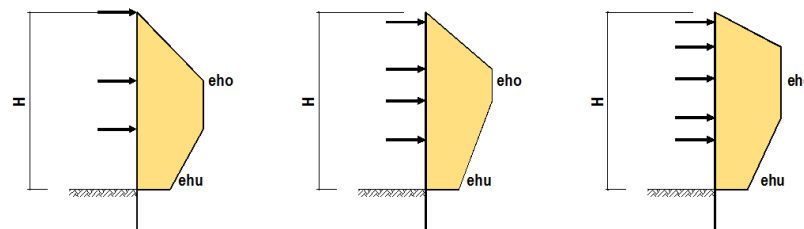


Abb. 5: Umlagerung des Erddrucks aus Boden-Eigenlast

Erddruckberechnung

Da eine Erddruckberechnung mit Hilfe von Formeln nach [3] für die Erddruckbeiwerte nur dann erfolgen kann, wenn gleichmäßige Verhältnisse vorliegen, wird die Erddruckberechnung wie folgt intern unterschieden: Ungleichmäßige Verhältnisse sind dann gegeben, wenn

- entweder gebrochenes Gelände vorhanden ist,
 - oder Grundwasser und zusätzlich geneigtes Gelände vorhanden sind,
 - oder eine hohe Zusatzlast (Zusatzlast größer als 10% der Eigenlast des Gleitkeils, der näherungsweise unter dem Gleitflächenwinkel $\theta=60^\circ$ angesetzt wird, oder außerhalb des Gleitkeils) wirkt, was eine Untersuchung von möglichen Zwangsgleitflächen zur Folge hat.
- In letzterem Fall kann der Benutzer entscheiden, ob er die Iteration möchte, da die Bestimmung der DIN 4085 sehr restriktiv ist.

In diesen Fällen wird iterativ gerechnet, so dass eine Ausgabe von Erddruckbeiwerten nicht möglich ist. Es wird hierbei für eine vorgegebene Gleitfuge aus dem Kräfteck der Erddruck bestimmt. Die Neigung der Gleitfuge wird variiert, um den größten Erddruck zu erhalten. Lasten außerhalb des Gleitkörpers werden nicht angesetzt! Da mit dieser Methode nur der Gesamterddruck ermittelt werden kann, wird der Erddruck über die Wandhöhe schrittweise ermittelt und dann durch numerische Differentiation die Spannungsverteilung bestimmt. Dadurch entsteht i. Allg. keine lineare Erddruckverteilung wie bei der Berechnung mit Erddruckbeiwerten.

Liegen ungleichmäßige Verhältnisse vor, wird automatisch die iterative Berechnung durchgeführt; bei gleichmäßigen Verhältnissen kann der Benutzer entscheiden, welche Art der Berechnung er bevorzugt.

Die Erddruckausgabe erfolgt für die ermittelte Einbindetiefe als charakteristische Werte für jeden Einzelerddruck (Bodeneigenlast und Zusatzlasten). Für die maßgebende Kombination werden die repräsentativen Werte der Erddruckverteilung ausgegeben (E_{ahG} , E_{ahQ} und E_{ph}).

Die Erddruckverteilung wird auch grafisch dargestellt.

Ermittlung von Einbindetiefe und Schnittgrößen

Die Berechnung geschieht in 2 Schritten:

- a. Im ersten Schritt werden Einbindetiefe und die charakteristischen Auflagerkräfte ermittelt. Hierbei wird statt des verteilten Erdwiderstands in dessen Schwerpunkt ein Auflager B_h angesetzt. Für eine ausreichende Einbindetiefe ist nachzuweisen (vgl. [4]):

$$B_{hd} \leq E_{phd}$$

$$\text{mit } B_{hd} = B_{hgk} \cdot \gamma_G + B_{hqk} \cdot \gamma_Q \quad \text{und} \quad E_{phd} = \frac{E_{phk}}{\gamma_{Ep}}$$

$$\text{Ausnutzungsgrad } \mu = \frac{B_{hd}}{E_{phd}}$$

Diese Berechnung wird iterativ durchgeführt (Mindesteinbindetiefe $d \geq 1.00$ m).

- b. In einem zweiten Schritt werden die Bemessungsschnittgrößen bestimmt. Dabei werden alle Erddrücke (aktiver Erddruck aus ständigen bzw. nichtständigen Lasten, Erdwiderstand) mit dem jeweiligen Teilsicherheitsbeiwert angesetzt. Der Erdwiderstand E_{phd} wird dabei nur mit dem oben ermittelten Ausnutzungsgrad als verteilte Spannung angesetzt. Da dies eine Näherung ist, kann es vorkommen, dass z.B. eine Momentenlinie sich am (freien) Erdaufleger nicht ganz schließt.

Diese Vorgehensweise entspricht dem des Tragfähigkeitsnachweises für den Grenzzustand GZ GEO-2. Die Berechnung erfolgt für alle ermittelten repräsentativen Kombinationen.

Die statischen Systeme für die Berechnung können der Abb.6 entnommen werden. Die Bemessungs-Schnittgrößen der maßgebenden Kombinationen werden auch grafisch dargestellt.

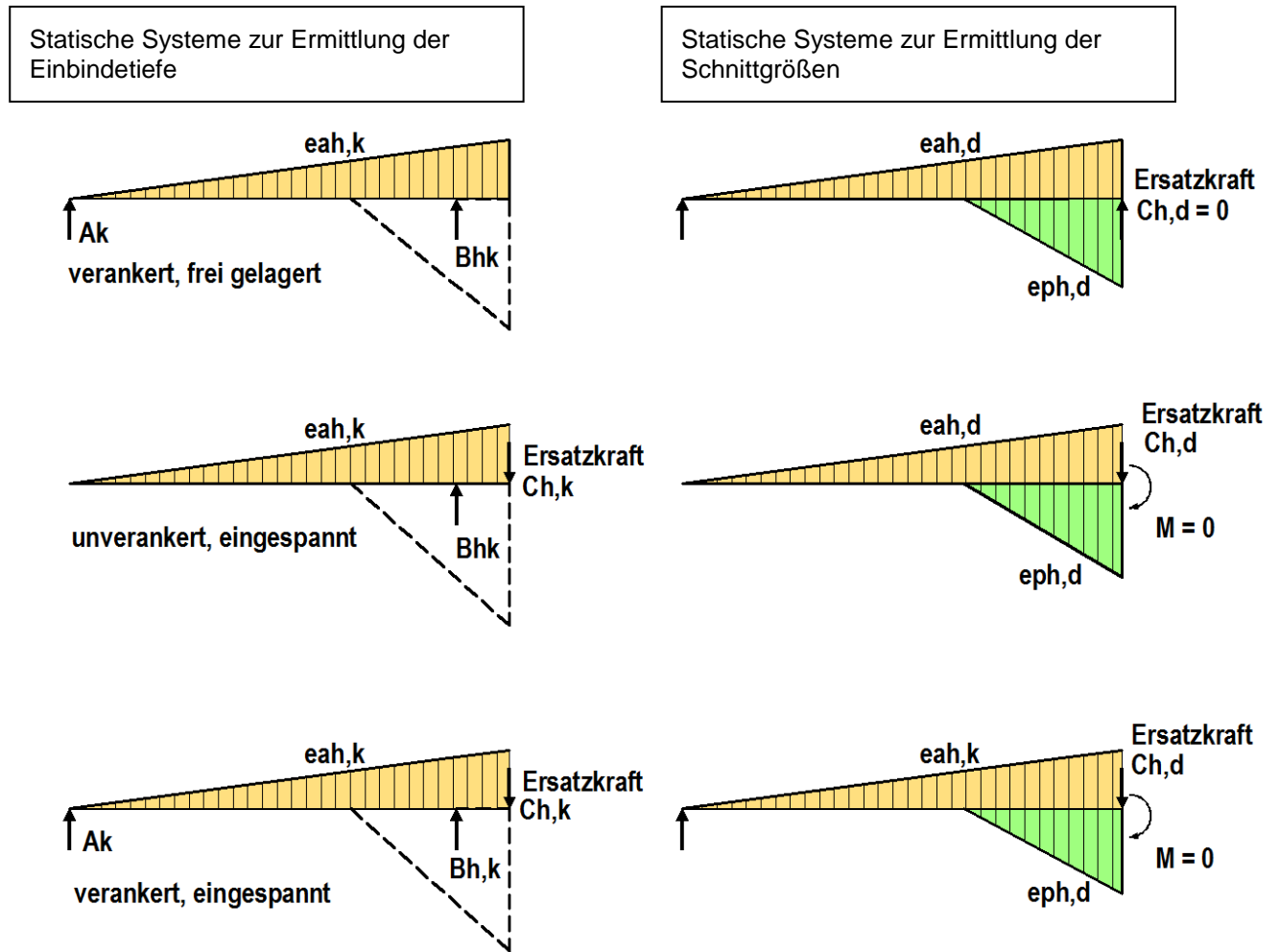


Abb. 6: Statische Systeme

Ausgaben für die ermittelte Einbindetiefe

- Erddruckbeiwerte
- Charakteristische Einzelerddrücke
- Repräsentative Erddrücke für die maßgebende Kombination
- Nachweistabelle der Einbindetiefe für alle repräsentativen Kombinationen
- Ausführlicher Nachweis der Einbindetiefe für die maßgebende Kombination
- Maximale Auflagerkräfte char./design. Hierbei werden die Bemessungsgrößen immer für die Bemessungssituation BS-P ausgegeben, da ein Nachweis der Ankerkraft immer hierfür geführt werden muss.
- El-fache elastische Verformungen für die gewählte Kombination.
- Extremale Bemessungsschnittgrößen für alle repräsentativen Kombinationen

Bemessung nach DIN EN 1992-1-1

Für die Stahlbetonbemessung sind Baustoffe, Expositionsklassen und Lage der Bewehrung anzugeben. Die Wahl der Expositionsklassen erfolgt dabei in dem folgenden Dialog:

Elementauswahl	Bauteilseiten	Expositionsklassen	AKR	gew c	nom c	c min	Δcdev	max w
1	außen	XC1	WO	25	25	10	15	0,4

Zur Änderung klicken Sie die oben durch einen roten Pfeil gekennzeichnete Schaltfläche, um die Auswahl der Expositionsklassen zu erhalten.

Bestätigen Sie Ihre Auswahl und kehren Sie in den vorigen Dialog zurück. Durch die Schaltfläche 'Übernehmen' tragen Sie die Auswahl dort ein:

Die Bemessung der Längsbewehrung erfolgt für das Schnittkraftpaar aus Moment und Normalkraft in den Zehntelpunkten des Systems. Bei der Eingabe der Betondeckung sind die Mindestwerte der DIN EN 1536 / 1538 zu beachten! Für Bohrpfähle gilt $c \geq 60$ mm ($c \geq 50$ mm bei $d_p \leq 0.60$ m), für Schlitzwände i. Allg. $c \geq 75$ mm.

Bei der Wahl der Bewehrung (durchgehend gleiche Bewehrung) wird die Mindestbewehrung nach DIN EN 1536 / 1538 berücksichtigt. Für die Bewehrung können auch Stabbündel mit bis zu drei Stäben je Bündel gewählt werden. Die Einhaltung des maximal zulässigen Bewehrungsgehaltes von 0,9% bzw. der erforderlichen Mindestabstände nach DIN EN 1536 / 1538 wird überprüft.

Der Querkraftnachweis wird ebenfalls in den Zehntelpunkten geführt. Dabei werden Bereiche, in denen die Mindestbewehrung ausreichend ist, zusammengefasst. Für Abschnitte, die über der Mindestbewehrung liegen, wird das dortige Maximum ausgegeben.

Ein Rissnachweis nach EC2, 7,3, kann für Lastbeanspruchung oder für Zwangsbeanspruchung geführt werden. Laut [4], 13.5, ist ein Nachweis jedoch nur bei bestimmten Expositionsklassen oder für Dauerbauwerke notwendig.

Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstands

Hierbei muss nachgewiesen werden, dass die Summe S_k der nach unten gerichteten *charakteristischen* Einwirkungen größer als der Vertikalanteil der Erdauflagerkraft B_{vk} ist (sog. 'inneres Gleichgewicht').

Nachweis: $B_{vk} \leq S_k = E_{avk} + F_{vk} + C_{vk} + A_{vk} + G_{wk}$

E_{avk} = aktiver Erddruck, F_{vk} = Lasten am Wandkopf, C_{vk} = Ersatzkraft Einspannung Erdauflager, A_{vk} = Ankerkräfte, G_{wk} = Eigengewicht der Wand, B_{vk} = Vertikalkomponente der Erdauflagerkraft

Der Nachweis wird für alle ermittelten repräsentativen Kombinationen geführt. Ist dieser Nachweis nicht erfüllt, muss eine Neuberechnung mit reduziertem Wandreibungswinkel δ_p durchgeführt werden!

Nachweis der Abtragung der Vertikalkräfte in den Untergrund

Dieser auch als 'äußeres Gleichgewicht' bekannte Nachweis ermittelt, ob die nach unten gerichteten Einwirkungen von Spitzendruck und Mantelreibung bzw. dem Vertikalanteil des Erdwiderstands als Widerständen aufgenommen werden können. Er wird für den *Grenzzustand GZ GEO-2* geführt.

Nachweis: $S_d \leq R_d$

mit: $S_d = E_{av,d} + A_{v,d} + F_{v,d}$

$R_d = \text{MAX}(B_{v,d}; F_{s,d}) + F_{b,d}$

$F_{s,d}$ Mantelreibung (einseitig über die Mantelfläche des Profils angesetzt).

Es darf auf der Innenseite (Luftseite) nur entweder der Erdwiderstand oder die Mantelreibung angesetzt werden. Der empfohlene Wert für die Mantelreibung beträgt nach [4], (Anhang A10)

$q_{sk} = 60 \text{ kN/m}^2$.

Es darf der größere Wert aus Mantelreibung und Vertikalanteil der Erdauflagerkraft B_d angesetzt werden.

F_{bd} Spitzendruck

Empfohlener Wert für den Spitzendruck nach [4] (Anhang A10) $q_{bk} = 600 + 120 \cdot (d - 0.50) \text{ kN/m}^2$
(d = Einbindetiefe)

Es ist darauf hinzuweisen, dass laut EAB [4], EB 85, die Mindest-Einbindetiefe $d \geq 3.00 \text{ m}$ betragen muss, wenn die Wand außer ihrem Eigengewicht und den Vertikalanteilen aus Bodeneigenlast weitere Vertikallasten aufzunehmen hat (z.B. aus Ankerkräften oder Lasten am Wandkopf)!

Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge (für Verpressanker)

Dieser Nachweis dient der Ermittlung der erforderliche Ankerlänge. Er wird nach [4], EB 44, bzw. [5], E 10 geführt. Für den Gleitkörper hinter der Wand wird über Gleichgewichtsbedingungen eine mögliche charakteristische Ankerkraft $A_{mögl,k}$ ermittelt (s. Abb. 7). Die mögliche Ankerkraft wird nach [5] reduziert, wenn der Ankerabstand größer als die halbe Länge der Verpressstrecke beträgt. Bei Schichtung bzw. mehrfacher Verankerung s. [5], E10.

Eingaben:

- Ankerabstand
- Gesamt-Ankerlänge(n)
- Lasteinleitungslänge(n) (=Verpressstrecke)

Nachweis: $A_{\text{vorh,d}} \leq A_{\text{mögl,d}}$
 $A_{\text{vorh,d}}$ = Bemessungswert der Ankerbeanspruchung
 $A_{\text{mögl,d}} = A_{\text{mögl,k}} / \gamma_{\text{Ep}}$ = Bemessungswert des Widerstands

Der Nachweis wird für alle repräsentativen Kombinationen geführt.

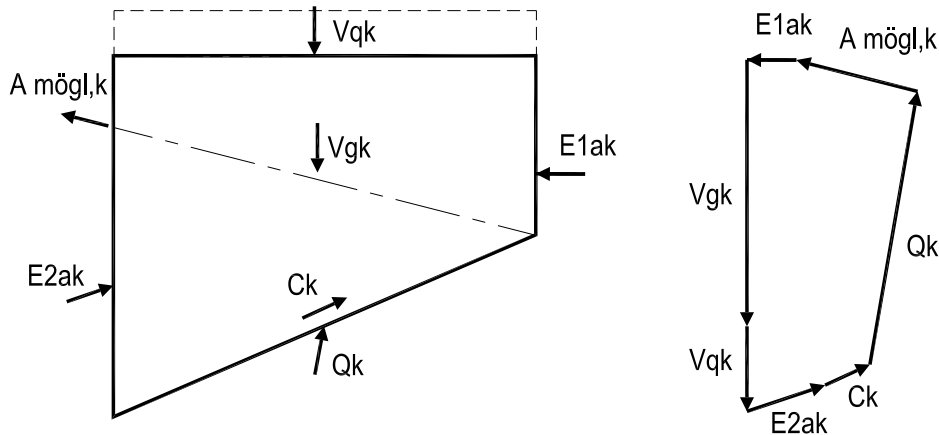


Abb. 7: Kräfteck beim Nachweis in der tiefen Gleitfuge

Zusätzlich erforderliche Nachweise

Es ist darauf hinzuweisen, dass unter Umständen noch der Nachweis gegen Aufbruch des Bodens in der Baugrubensohle und der Nachweis gegen Geländebruch zu führen sind. Die Bemessung einer Ankergurtung ist mit einem separaten Programm durchzuführen (z.B. 45J), ebenso wie eine Steifenbemessung (z.B. 32U oder 45B).

Im Übrigen sind die Empfehlungen von EAB [4] und EAU [5] zu beachten.

Weiterleitungsdaten und Nachlaufpositionen

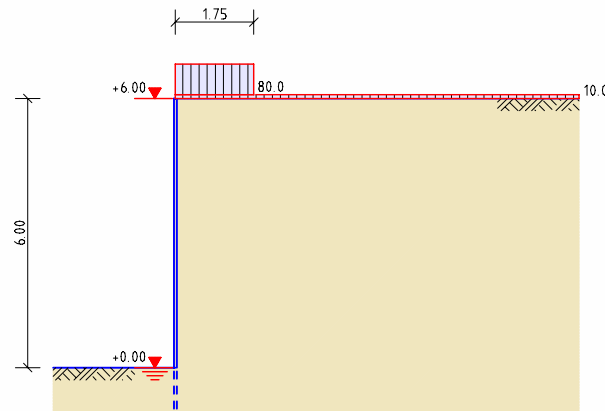
Bei verankerten Systemen werden die Ankerkräfte als charakteristische Größen zur Lastübernahme in anderen Positionen abgelegt. Für den Nachweis des Geländebruchs werden alle erforderlichen Daten abgelegt, das Programm 83G (Geländebruchnachweis) kann direkt als Nachlaufposition gewählt werden (83G ist nicht im Leistungsumfang von 83D enthalten).

Literatur

- [1] DIN 1054:2010-12 Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
- [2] DIN EN 1997-1:2009-09 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. Teil 1 Allgemeine Regeln
- [3] DIN 4085:2011-05 Berechnung des Erddrucks
- [4] Empfehlungen des Arbeitskreises 'Baugruben' (EAB), Ernst und Sohn, 2006.
- [5] Empfehlungen des Arbeitsausschusses 'Ufereinfassungen' (EAU), Ernst und Sohn, 2004.

POS. 101 Bohrpfahl wand

Programm: 083D, Vers: 01.00.000 05/2012



Geometrie und System Bohrpfahl wand, sich berührend

Höhenkote Beginn Gelände an Wand $H_o = 6.00 \text{ m}$
 Freie Wandhöhe über H_o $\Delta H = 0.00 \text{ m}$
 Höhe Baugrubensohle $H_u = 0.00 \text{ m}$

Pfahl abmessungen Pfahl durchmesser $d_p = 0.60 \text{ m}$, Pfahl abstand $a_p = 0.60 \text{ m}$
 Wandeinseitigkeit $\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3$, $g = 11.8 \text{ kN/m}^2$

Grundwasserstand erdseitig $G_{we} = 0.00 \text{ m}$, luftseitig $G_{wl} = 0.00 \text{ m}$

Geländedefinition	Bereich	1	2	3
Grundlänge l_i (m)		10.00	-	-
Geländeneigung β (Grad)		0.00	-	-

Charakteristische Bodenkennwerte

Nr.	Bodenart	Höhe UK [m]	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	ϕ [°]	δ [°]	δ_p [°]	Koh. c [kN/m ²]	Koh. cu [kN/m ²]
1	bindig	-10.00	20.00	10.00	27.50	18.30	-18.30	20.0	-

Charakteristische Einwirkungen

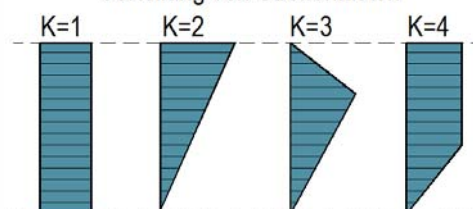
Zuordnung des Erddrucks aus Bodeneingewicht Kat. G, E, EWG -
 Durchgehende Flächenlast auf Gelände $q_0 = 10.00 \text{ kN/m}$, Kat. G, EWG -
 Verteilungsart des Erddrucks aus durchgehender Flächenlast: konstant ($K=1$)

Begrenzte Flächenlasten

Verteilungsart des Erddrucks: 1 = konstant, 2 = Dreieck (Maximum oben)
 3 = Dreieck (Maximum innen), 4 = Trapez

Last-Nr.	Lastgröße [kN/m ²]	Kategorie	EWG	Anfangspunkt x_a [m]	Lastbreite H_a [m]	Neigung b [m]	Neigung [°]	Verteilungsart Erddruck
q1	80.00	Q, 1	-	0.00	6.00	1.75	0.00	1

Verteilung von Streifenlasten



Kategorie	Bezeichnung	Komb. -Beiwerte			Gamma	
		Psi 0	Psi 1	Psi 2	sup.	inf.
G	Ständige Einwirkungen	-	-	-	1.35	1.00
G, E	Erddruck	-	-	-	1.35	1.35
Q, 1	Sonstige Nutz- u. Verkehrslasten	0.80	0.70	0.50	1.50	-

Repräsentative Kombinationen für geotechnische Nachweise

KNr.	Bem. -Sitz	Kombination
1	Rep, P/T	G
2	Rep, P/T	G+Q, 1
3	G, perm	G
4	G, perm	G+Q, i

Rep, P/T = Repräsentativ, ständig u. vorübergehend
 G, perm = Gebrauchstauglichkeit, quasi-ständig

Geotechnische Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054: 2010-12

Bemessungssituation	gamma, G	gamma, Q	gamma, Re	gamma, Rh	gamma, Rv	gamma, b
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.30	1.40

Berechnungsoptionen

- Erhöhungsfaktor für aktiven Erddruck $f_a = 1.00$
- Mindesterdru ck für kohäsive Schicht j_a
- Anpassungsfaktor für Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) $f_p = 1.00$
- Ansatz der Kohäsion beim Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) $f_c = 1.00$

Erddruckbeiwerte

Schicht	— G-Boden —		Flächenlast K _{ph}	Linienlast		Kohäsion K _{ch}	Erdwiderstand	
	K _{gh}	K _{gm}		K _{avh}	K _{ah}		K _{pgh}	K _{pch}
1	0.311	0.179	0.311	0.436	0.856	-0.981	4.200	4.815

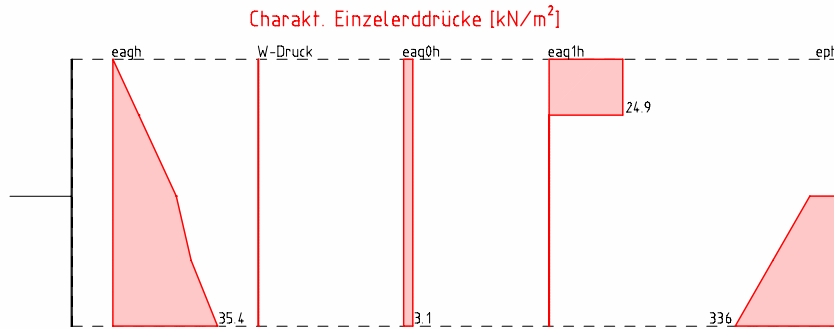
Horizontaler Erddruck [kN/m²] (Char. Einzel erddrücke)

e_{aqh} = Erddruck aus Flächenlasten q_i

Tiefe z [m]	Boden umgelagert		q ₀	q ₁
	e_{agh+w}	e_{agm+w}	e_{aq0h}	e_{aq1h}
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0	3.1	24.9
2.45	8.8	8.8	3.1	24.9
2.45	8.8	8.8	3.1	0.0
6.00	21.4	21.4	3.1	0.0
6.00	21.4	21.4	3.1	0.0
8.82	26.5	26.5	3.1	0.0
11.70	35.4	35.4	3.1	0.0

Erdwiderstand ab OK Sohle [kN/m²]

Tiefe z [m]	eph	
	eben [kN/m ²]	räumlich [kN/m ²]
6.00	0.0	0.0
6.00	96.3	96.3
8.82	214.8	214.8
11.70	335.7	335.7


Ermittlung der Einbindetiefe (d = 5.70 m)

C_k =Ersatzkraft $E_{i\text{ nsp.}}$ Erdauflager, B_{hd} =Erdauflagerkraft, E_{phd} =Eph eben, E_{phrd} =Eph räumlich, $E_{phd}' = \text{MIN}(E_{phd}, E_{phrd})$, Ausnutzung $A1 = B_{hd}/E_{phd}'$,
 H-Kräfte unter Sohle: $\Delta E_{ahd} = E_{ah}$ unter Sohle, $A2 = (B_{hd} + \Delta E_{ahd})/E_{phd}$

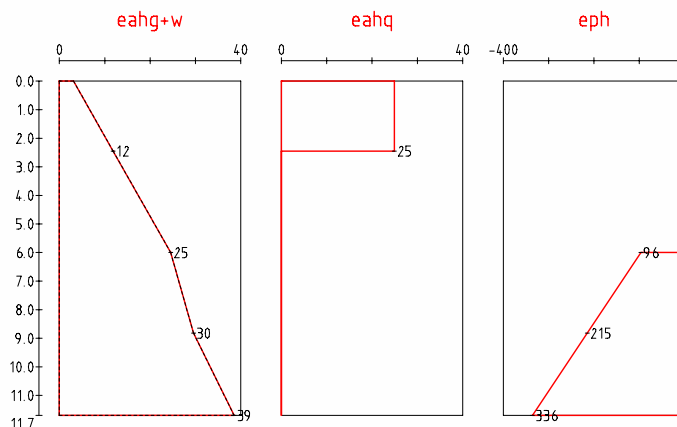
Komb. Nr	Ck	Bhd	Ephd	Ephrd	Delta Eahd	Ausnutzung	
						A1	A2
1	-223.2	576.7	947.2	947.2	-	0.61 < 1	-
2	-437.4	934.5	947.2	947.2	-	0.99 < 1	-

Charakteristische Erddruckverteilung [kN/m²]

Kombination 2

Einbindetiefe d = 5.70 m

Höhe u. Gel. [m]	Lamellen-Dicke [m]	Bodeneigenlast eagh	Wasserdruck w umgel.	Zusatzlast eah(g)	Zusatzlast gesamt eahg	Zusatzlast passiv eah(g)	eph(r)
0.00	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.00	-	0.0	0.0	0.0	3.1	24.9	0.0
2.45	2.45	8.8	8.8	0.0	11.9	24.9	0.0
2.45	-	8.8	8.8	0.0	11.9	0.0	0.0
6.00	3.55	21.4	21.4	0.0	24.6	0.0	0.0
6.00	-	21.4	21.4	0.0	24.6	0.0	96.3
8.82	2.82	26.5	26.5	0.0	29.6	0.0	214.8
11.70	2.88	35.4	35.4	0.0	38.5	0.0	335.7


Erdauflager für Kombination 2

Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_G = 1.20$, $\gamma_Q = 1.30$, $\gamma_{Re} = 1.30$
 Erdwiderstand $E_{phk} = 1231.3$, $E_{phd} = 947.2$ kN/m
 Erdauflagerkraft $B_{hgk} = 480.6$, $B_{hqk} = 275.2$, $B_{hk} = 755.9$ kN/m
 Ersatzkraft Wandfuß $Ch_{gk} = -223.2$, $Ch_{qk} = -214.2$, $Ch_k = -437.4$ kN/m

Nachweis der Einbindetiefe

 Bemessungsauflegerkraft $B_{hd} = 480.6 \cdot 1.20 + 275.2 \cdot 1.30 = 934.5 \text{ kN/m}$
 Bemessungswert des Erdwiderstands $E_{phd} = 947.2 \text{ kN/m}$
Ausnutzungsgrad $B_{hd}/E_{phd} = 934.5/947.2 = 0.99 < 1$
Erforderliche Wandlänge $l = 6.00 + 1.20 \cdot 5.70 = 12.84 \text{ m}$, gew. $l = 13.00 \text{ m}$
EI-fache elastische Verformungen aus Kombination 4

 max. Verformung ($z = 0.00 \text{ m u. Kopf}$) $EI \cdot f = 2123.234 \text{ cmMNm}^2$

 Verformung OK Sohle ($z = 6.00 \text{ m u. Kopf}$) $EI \cdot f = 540.687 \text{ cmMNm}^2$
Bemessungsschnittgrößen (Tiefe unter Wandkopf)

Komb	Tiefe	max. Mfd	Nd	Qd	Tiefe min. Msd	Nd	Qd	Tiefe	max. Qd	Md	Nd
Nr.	m	kNm/m	kN/m	kN/m	m	kNm/m	kN/m	m	kN/m	kNm/m	kN/m
1	8.55	376	-109	0	-	-	-	11.70	268	0	19
2	8.29	836	-117	0	-	-	-	11.70	546	0	19

 Ermittlung der Kombinationen der TGF aus den repräsentativen Kombinationen:
 Gamma Gsup f. Eg, Ansatz gamma Ginf f. Eigenlast Wand/ständige Lasten Wandkopf

Stahlbetonbemessung nach DIN EN 1992-1-1 (EC2)
Baustoffe: Normal beton C25/30 Betonstahl 500A
 Ort beton langsam härtend Nutzung <100 Jahre
 Größtkorn des Zuschlags $d_g = 32.0 \text{ mm}$ max. $d_s \leq 20.0 \text{ mm}$

 Expositionsklassenauswahl und Betondeckung cm in dcdev gew. c
 Ort Expositionsklassen FK [mm]
 allseitig XC4 WO 25 15 50
Grundparameter für die Bemessung

Bemessungsdiagramm: Parabel-Rechteck-Diagramm Bild 3.3 DIN EN 1992-1-1

Mindestbewehrung aus Rissmoment

 Mindestlastausmitte e_0 nach EC2

Berücksichtigung der konstruktiven Regeln der DIN EN 1536/1538

Erforderliche Bewehrung $h/d_1/d = 60.0/8.0/52.0 \text{ cm}$

 Jeder Pfahl wird bewehrt, Einflusbreite f. Schnittgrößenerm. $a = 0.60 \text{ m}$

Ort u. WK m	St. / Feld	max. Komb	Schnittgr.		min. Komb	Schnittgr.		-kreisförmig- erf. As min. As	
			Md kNm	Nd kN		Md kNm	Nd kN	cm ²	cm ²
0.00	FO	1	0.0	0.0	2	0.0	0.0	0.03	14.14
1.17	FO	1	-2.2	-8.3	2	-15.5	-8.3	1.07	14.14
2.34	FO	1	-11.6	-16.5	2	-64.8	-16.5	5.09	14.14
3.51	FO	1	-32.3	-24.8	2	-141.1	-24.8	11.90	14.14
4.68	FO	1	-68.5	-33.1	2	-233.0	-33.1	20.73	14.14
5.85	FO	1	-124.1	-41.4	2	-344.4	-41.4	32.08	14.14
7.02	FO	1	-187.1	-49.6	2	-453.0	-49.6	43.59	14.14
8.19	FO	1	-222.8	-57.9	2	-501.4	-57.9	48.83	14.14
9.36	FO	1	-214.1	-66.2	2	-460.4	-66.2	44.15	14.14
10.53	FO	1	-145.0	-74.4	2	-302.3	-74.4	27.06	14.14
11.70	FO	1	0.0	-82.7	2	0.0	-82.7	0.03	14.14

 Wahl Längsbewehrung: $10 \times 1 \text{ ds } 28 / 13.6 \text{ vorh. As} = 61.58 \text{ cm}^2$

Querkrachnachweis (Nachweis mit erf. Längsbewehrung)

 Druckstrebenwinkel : automatisch d/z = 52.0/ 42.0 cm

z [----- m -----]	cot(theta) [-]	VEd [----- kN -----]	VRd, cc [----- kN -----]	VRd, max [----- kN -----]	erf. asw, 90 [cm ² /m]
0.00 - 9.36	3.00	81.2	108.0	578.3	4.43
9.36 - 11.70	2.33	327.8	9.3	697.8	10.68

Elastische Verformungen aus Kombination 4: **EI = 333.73 MNm²**
 max. Verformung (z = 0.00 m u. Kopf) f = 6.4 cm
 Verformung OK Sohle (z = 6.00 m u. Kopf) f = 1.6 cm

Nachweis der Vertikal Komponente des Erdwiderstands nach DIN 1054:2010

Der Nachweis wird mit char. Lasten für die erforderl. Einbindtiefe geführt.
 Charakteristisches Bauteileigengewicht Gwk = 153.2 kN/m
 Neigungswinkel der Ersatzkraft C des Erdauftragers delta c = 9.2 °

Ansatz der Vertikallasten: Fvk = Lasten am Wandkopf, Avk = Ankerkräfte,
 Cvk = Ersatzkraft Einspannung Erdauftrager, Eavk = aktiver Erddruck
 Vk = Fvk+Gwk+Avk+Cvk+Eavk, Bvk = Vertikal Komponente der Erdauftragerkraft

Komb-Nr.	Fvk	Gwk	Avk	Cvk	Eavk	Vk	Bvk	Ausnutzung Bvk/Vk
	[----- kN/m -----]							
1	-	153.2	-	36.0	85.2	274.3	158.9	0.58 < 1
2	-	153.2	-	70.6	105.4	329.1	250.0	0.76 < 1

Nachweis der Abtragung der Vertikalkräfte in den Untergrund (EC7/DIN 1054)

Ansatz der Vertikallasten: Fvd = Lasten am Wandkopf, Gwd = Eigenlast Bauteil
 Avd = Ankerkräfte, Eavd = aktiver Erddruck, Einwirkungen Sd=Fvd+Gwd+Avd+Eavd
 Fbd = Spitzendruck, Fsd = Mantelreibung (einseitiger Ansatz nach EAB, EB85)
 Bvd = Vertikalanteil Erdauftragerkraft, Widerstände Rd = Fbd+MAX(Fsd, Bvd)

Teilsicherheitsbeiwert für Druckpfahlwiderstand gamma, b = 1.40
 Grundwert der Mantelreibung (s. EAB, A10) qsk = 60.0 kN/m²
 Mantelreibungsfläche As = 11.467 m²/m Mantelreibung Fsk = 688.0 kN/m
 Grundwert Spitzendruck (s. EAB, A10) qbk = 1380.0 kN/m²
 Spitzendruckfläche Ab = 0.471 m²/m Spitzendruck Fbk = 650.0 kN/m

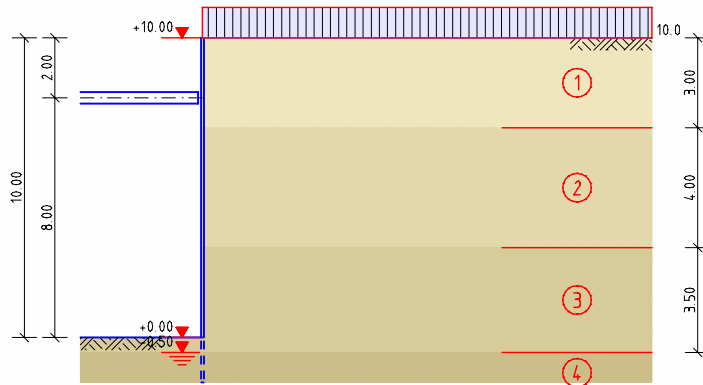
Komb-Nr.	Fvd	Gwd	Avd	Eavd	Sd	Fbd	Fsd	Bvd	Rd	Ausnutz Sd/Rd
	[----- kN/m -----]									
1	-	183.8	-	102.2	286.0	464.3	491.4	122.3	955.7	0.30 < 1
2	-	183.8	-	128.5	312.2	464.3	491.4	192.3	955.7	0.33 < 1

POS. 105 Schlitzwand ausgesteift

Programm: 083D, Vers: 01.00.000 05/2012

Beispiel aus Weißenbach/Hettler: Baugruben Berechnungsverfahren, 2. Aufl.

Grundlagen: DIN EN 1990, DIN EN 1991, DIN EN 1992, DIN EN 1997/DIN 1054



Geometrie und System Schlitzwand

Höhenkote Beginn Gelände an Wand	$H_o = 10.00 \text{ m}$
Freie Wandhöhe über H_o	$\Delta H = 0.00 \text{ m}$
Höhe Baugrubensohle	$H_u = 0.00 \text{ m}$
Wandabmessungen	Wanddicke $h = 0.64 \text{ m}$
Wandneigung	$\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3, g = 16.0 \text{ kN/m}^2$

Grundwasserstand	erdseitig $G_{we} = -0.50 \text{ m}$, luftseitig $G_{wl} = -0.50 \text{ m}$
------------------	--

Geländedefinition	Bereich	1	2	3
Grundlänge l_i (m)		10.00	-	-
Geländeneigung β (Grad)		0.00	-	-

Verankerung	Anzahl Steifen = 1, Erdauflager: freigelagert
-------------	---

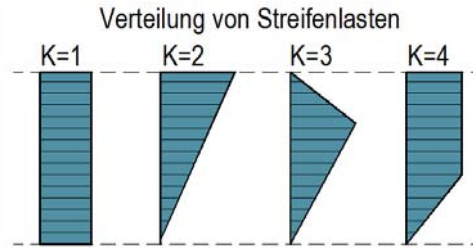
Steifen-Nr.	1	2	3	4	5
Lage unter OK Wandkopf (m)	2.00	-	-	-	-

Charakteristische Bodenkennwerte

Nr.	Bodenart	Höhe UK [m]	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	ϕ [°]	δ [°]	δ_p [°]	Koh. c [kN/m ²]	Koh. c_u [kN/m ²]
1	Lehm	7.00	19.00	11.00	22.50	11.30	-11.30	15.0	-
2	Sand	3.00	18.00	10.00	35.00	17.50	-17.50	0.0	-
3	Lehm 2	-0.50	21.00	11.00	27.50	13.80	-13.80	15.0	-
4	Kiessand	-10.00	20.00	12.00	37.50	18.80	-18.80	0.0	-

Charakteristische Einwirkungen

Zuordnung des Erddrucks aus Bodeneingewicht	Kat. G, E, EWG -
Durchgehende Flächenlast auf Gelände $q_0 = 10.00 \text{ kN/m}$	Kat. G, EWG -
Verteilungsart des Erddrucks aus durchgehender Flächenlast:	konstant ($K=1$)



Kategorie	Bezeichnung	Komb. -Beiwerte			Gamma	
		Psi 0	Psi 1	Psi 2	sup.	inf.
G	Ständige Einwirkungen	-	-	-	1.35	1.00
G, E	Erddruck	-	-	-	1.35	1.35

Repräsentative Kombinationsen für geotechnische Nachweise

KNr.	Bem.-Sitz	Kombination
1	Rep, P/T	G
2	G, perm	G

Rep, P/T = Repräsentativ, ständig u. vorübergehend
 G, perm = Gebrauchstauglichkeit, quasi-ständig

Geotechnische Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054: 2010-12

Bemessungssituation	gamma _G	gamma _Q	gamma _{Re}	gamma _{Rh}	gamma _{Rv}	gamma _b
BS-T	1.20	1.30	1.30	1.10	1.30	1.40

Berechnungsoptionen

- Erhöhungsfaktor für aktiven Erddruck $f_a = 1.00$
- Mindesterdru ck für kohäsive Schicht ja
- Verteilung des Erddrucks aus Bodeneigenlast Verteilung nach EAB (EB 69/70)
- Umlagerung des Erddrucks aus Bodeneigenlast bis Wandende (Einbindetiefe)
- Anpassungsfaktor für Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) $f_p = 1.00$
- Ansatz der Kohäsion beim Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) $f_c = 1.00$

Erddruckbeiwerte

Schicht	— G-Boden —		Flächenlast K _{ph}	Linienlast		Kohäsion K _{ch}	Erdwiderstand	
	K _{gh}	K _{ghmin}		K _{avh}	K _{ah}		K _{pgh}	K _{pch}
1	0.397	0.187	0.397	0.518	0.897	-1.164	2.844	3.714
2	0.235	0.000	0.235	0.402	0.873	0.000	6.319	6.168
3	0.323	0.187	0.323	0.469	0.885	-1.038	3.837	4.489
4	0.210	0.000	0.210	0.381	0.870	0.000	7.585	6.931

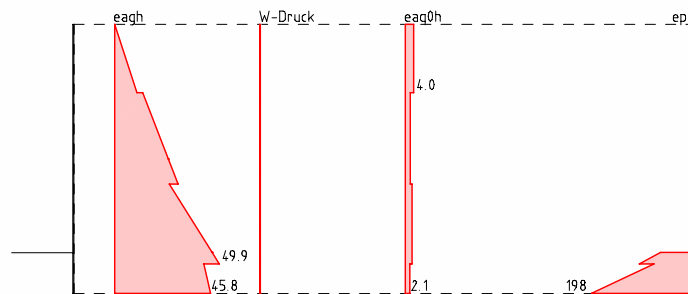
Horizontal er Erddruck [kN/m²] (Char. Einzel erddrücke)

e_{aqh} = Erddruck aus Flächenlasten q_i

Tiefe z [m]	Boden umgelagert		q ₀
	e_{agh+w}	e_{agh+w}	
0.00	0.0	27.2	0.0
0.00	0.0	27.2	4.0
3.00	10.7	27.2	4.0
3.00	13.4	27.2	2.4
5.90	25.6	27.2	2.4

Tiefe	Boden umgel	agert	q0
z [m]	eagh+w	eagh+w	eaq0h
5.90	25.6	22.6	2.4
7.00	30.3	22.6	2.4
7.00	26.1	22.6	3.2
10.00	46.5	22.6	3.2
10.00	46.5	22.6	3.2
10.50	49.9	22.6	3.2
10.50	42.5	22.6	2.1
11.80	45.8	22.6	2.1

Erdwiderstand ab OK Sohle [kN/m ²]		
Tiefe	eph eben	eph räumlich
z [m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
10.00	0.0	0.0
10.00	67.3	67.3
10.50	107.6	107.6
10.50	79.6	79.6
11.80	198.0	198.0

 Charakt. Einzelerddrücke [kN/m²]

Ermi t t l u n g d e r E i n b i n d e t i e f e (d = 1.80 m)

C_k =Ersatzkraft $E_{i\ nsp.}$ Erdauflager, B_{hd} =Erdauflagerkraft, E_{phd} =Eph eben, E_{phrd} =Eph räumlich, $E_{phd}' = \text{MIN}(E_{phd}, E_{phrd})$, Ausnutzung $A_1 = B_{hd}/E_{phd}'$,
 H-Kräfte unter Sohle: $\Delta E_{ahd} = E_{ah}$ unter Sohle, $A_2 = (B_{hd} + \Delta E_{ahd})/E_{phd}$

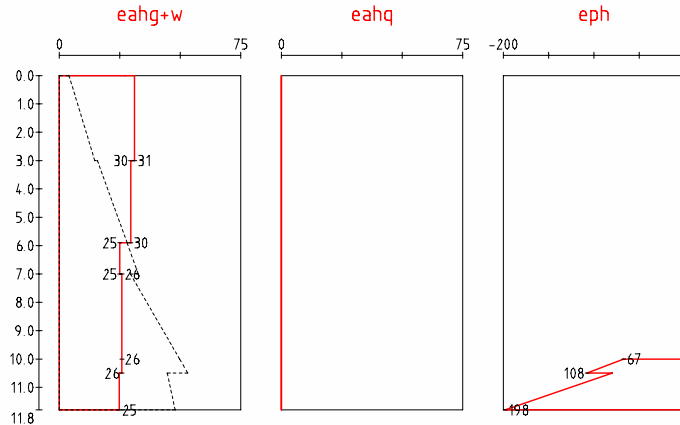
Komb. Nr	C_k	B_{hd}	E_{phd}	E_{phrd}	ΔE_{ahd}	Ausnutzung A_1	Ausnutzung A_2
1	0.0	157.8	172.5	172.5	-	0.91 < 1	-

Charakteri sti sche Erddruckverteil ung [kN/m²]

Kombi nati on 1

Ei n b i n d e t i e f e d = 1.80 m

Höhe u. Gel. [m]	Lamellen- Dicke [m]	Bodeneigenlast eagh	Wasser- umgel. druck w	Zusatzlast eah(g)	Zusatzlast gesamt eahg	Zusatzlast passiv eah(q)	eph(r)
0.00	-	0.0	27.2	0.0	27.2	0.0	0.0
0.00	-	0.0	27.2	0.0	31.1	0.0	0.0
3.00	3.00	10.7	27.2	0.0	31.1	0.0	0.0
3.00	-	13.4	27.2	0.0	29.5	0.0	0.0
5.90	2.90	25.6	27.2	0.0	29.5	0.0	0.0
5.90	-	25.6	22.6	0.0	25.0	0.0	0.0
7.00	1.10	30.3	22.6	0.0	25.0	0.0	0.0
7.00	-	26.1	22.6	0.0	25.9	0.0	0.0
10.00	3.00	46.5	22.6	0.0	25.9	0.0	0.0
10.00	-	46.5	22.6	0.0	25.9	0.0	67.3
10.50	0.50	49.9	22.6	0.0	25.9	0.0	107.6
10.50	-	42.5	22.6	0.0	24.7	0.0	79.6
11.80	1.30	45.8	22.6	0.0	24.7	0.0	198.0


Erdaufleger für Kombination 1

Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_G = 1.20$, $\gamma_Q = 1.30$, $\gamma_{Re} = 1.30$
 Erdwiderstand $E_{phk} = 224.2$, $E_{phd} = 172.5$ kN/m
 Erdauflegerkraft $B_{hgk} = 131.5$, $B_{hqk} = 0.0$, $B_{hk} = 131.5$ kN/m

Nachweis der Einbindetiefe

Bemessungsauflegerkraft $B_{hd} = 131.5 \cdot 1.20 + 0.0 \cdot 1.30 = 157.8$ kN/m
 Bemessungswert des Erdwiderstands $E_{phd} = 172.5$ kN/m

Ausnutzungsgrad $B_{hd}/E_{phd} = 157.8/172.5 = 0.91 < 1$

Erforderliche Wandlänge $l = 10.00 + 1.00 \cdot 1.80 = 11.80$ m, gew. $l = 12.00$ m

Horizontale Steifenkräfte char. / design [kN/m] (Bemessungssituation BS-P)

Steife	Komb-Nr.	A _{hgk}	A _{hqk}	A _{hk}	A _{hgd}	A _{hqd}	A _{hd}	A _d
1	1	197.6	0.0	197.6	266.8	0.0	266.8	266.8

EI-fache elastische Verformungen aus Kombination 2

max. Verformung ($z = 6.90$ m u. Kopf) $EI \cdot f = 228.308$ cmMNm²
 Verformung OK Wand ($z = 0.00$ m u. Kopf) $EI \cdot f = -134.904$ cmMNm²
 Verformung OK Sohle ($z = 10.00$ m u. Kopf) $EI \cdot f = 118.275$ cmMNm²

Bemessungsschnittgrößen (Tiefe unter Wandkopf)

Komb	Tiefe	max. M _{fd}	N _d	Q _d	Tiefe	min. M _{sd}	N _d	Q _d	Tiefe	max. Q _d	M _d	N _d
Nr.	m	kNm/m	kN/m	kN/m	m	kNm/m	kN/m	kN/m	m	kN/m	kNm/m	kN/m
1	6.65	291	-190	0	2.00	-75	-53	162	-	-	-	-

Ermittlung der Kombinationen der TGF aus den repräsentativen Kombinationen:
 Gamma_{Gsup} f. Eg, Ansatz gamma_G inf f. Eigenlast Wand/ständige Lasten Wandkopf

Stahlbetonbemessung nach DIN EN 1992-1-1 (EC2)

Baustoffe: Normal beton C25/30 Betonstahl 500B
 Ort beton langsam härtend
 Größtkorn des Zuschlags $d_g = 32.0$ mm Nutzung <100 Jahre
max. ds ≤ 20.0 mm

Expositionsklassenauswahl und Betondeckung cm in dcdev gew. c
 Ort Expositionsklassen FK [mm]
 bei design XC4 WO 25 15 75

Grundparameter für die Bemessung

Bemessungsdiagramm: Parabel-Rechteck-Diagramm Bild 3.3 DIN EN 1992-1-1

Ansatz der Stahlverfestigung

Abzug As-Fläche vom Betonquerschnitt

Mindestbewehrung aus Rissmoment

 Mindestlastausmitte e_0 nach EC2

Berücksichtigung der konstruktiven Regeln der DIN EN 1536/1538

Erforderliche Biegebewehrung

$$h/d_1/d = 64.0 / 9.5 / 54.5 \text{ cm}$$

Ort u. WK m	St./ Feld	max. Komb	Schnittgr.		min. Komb	Schnittgr.		Luftseitig erdseitig		
			Md kNm/m	Nd kN/m		Md kNm/m	Nd kN/m	erf. As	erf. As	min. As
							cm ² /m			
0.00	FO	1	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.06	0.06	6.59
0.20	FO	1	-0.7	-3.2	1	-0.7	-3.2	0.06	0.06	6.60
0.40	FO	1	-3.0	-6.4	1	-3.0	-6.4	0.06	0.04	6.62
0.60	FO	1	-6.7	-9.6	1	-6.7	-9.6	0.06	0.15	6.63
0.80	FO	1	-12.0	-12.8	1	-12.0	-12.8	0.06	0.32	6.64
1.00	FO	1	-18.7	-16.0	1	-18.7	-16.0	0.06	0.55	6.66
1.20	FO	1	-26.9	-19.2	1	-26.9	-19.2	0.06	0.85	6.67
1.40	FO	1	-36.6	-22.4	1	-36.6	-22.4	0.06	1.20	6.68
1.60	FO	1	-47.8	-25.6	1	-47.8	-25.6	0.06	1.62	6.69
1.80	FO	1	-60.5	-28.8	1	-60.5	-28.8	0.06	2.10	6.71
2.00	S1	1	-74.7	-32.0	1	-74.7	-32.0	0.06	2.64	6.72
2.00	S1	1	-74.7	-32.0	1	-74.7	-32.0	0.06	2.64	6.72
2.98	F1	1	66.5	-47.7	1	66.5	-47.7	2.11	0.06	6.79
3.96	F1	1	172.8	-63.4	1	172.8	-63.4	6.33	0.06	6.85
4.94	F1	1	245.0	-79.0	1	245.0	-79.0	9.21	0.06	6.91
5.92	F1	1	283.3	-94.7	1	283.3	-94.7	10.67	0.06	6.98
6.90	F1	1	290.2	-110.4	1	290.2	-110.4	10.78	0.06	7.04
7.88	F1	1	267.9	-126.1	1	267.9	-126.1	9.63	0.06	7.11
8.86	F1	1	215.9	-141.8	1	215.9	-141.8	7.19	0.06	7.17
9.84	F1	1	134.0	-157.4	1	134.0	-157.4	3.53	0.06	7.24
10.82	F1	1	42.6	-173.1	1	42.6	-173.1	0.06	0.06	7.30
11.80	F1	1	0.0	-188.8	1	0.0	-188.8	0.06	0.06	7.36

Wahl Längsbewehrung: Luftseitig 8 x 1 ds 16 / 12.5 vorh. As = 16.08 cm²/m
 erdseitig 8 x 1 ds 16 / 12.5 vorh. As = 16.08 cm²/m

Querkraftnachweis (Nachweis als Balken, mit erf. Längsbewehrung)

 Druckstrebenwinkel: automatisch $d/z = 54.5 / 39.5 \text{ cm}$

z [m]	cot(theta)	VEd	VRd, cc	VRd, max	erf. asw, 90
[m]	[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[cm ² /m ²]
0.00 - 11.80	3.00	162.4	197.3	1377.0	8.20

Rissnachweis für Lastbeanspruchung (nach 28 Tagen)

Nachweis der Mindestbewehrung min. As nach EC2, 7.3.2

Nachweis der vorh. Rissbreite vorh. wk nach EC2, 7.3.4

Bezeichnung	Md kNm/m	Nd kN/m	Dsm mm	min. As cm ² /m	vorh. As cm ² /m	vorh. wk [mm]	zul. wk [mm]
Luftseitig	203.1	-77.3	16.0	8.11	< 16.08	0.28	< 0.30
erdseitig	52.3	-22.4	16.0	8.13	< 16.08	0.02	< 0.30

(Näherung: Ansatz von 70% der Bemessungsschnittgrößen TGF)

Elastische Verformungen aus Kombination 2:		EI = 687.60 MNm²
max. Verformung	(z = 6.90 m u. Kopf)	f = 0.3 cm
Verformung OK Wand	(z = 0.00 m u. Kopf)	f = -0.2 cm
Verformung OK Sohle	(z = 10.00 m u. Kopf)	f = 0.2 cm

Nachweis der Vertikal Komponente des Erdwiderstands nach DIN 1054:2010

Der Nachweis wird mit char. Lasten für die erforderl. Einbindtiefe geführt.
 Charakteristisches Bauteileingewicht $G_{wk} = 192.0 \text{ kN/m}$
 Neigungswinkel der Ersatzkraft C des Erdauflegers $\delta_{ta c} = 0.0^\circ$

Ansatz der Vertikallasten: F_{vk} = Lasten am Wandkopf, A_{vk} = Ankerkräfte,
 C_{vk} = Ersatzkraft Einspannung Erdaufleger, E_{avk} = aktiver Erddruck
 $V_k = F_{vk} + G_{wk} + A_{vk} + C_{vk} + E_{avk}$, B_{vk} = Vertikal Komponente der Erdauflegerkraft

Komb-Nr.	F_{vk}	G_{wk}	A_{vk}	C_{vk}	E_{avk}	V_k	B_{vk}	Ausnutzung B_{vk}/V_k
1	-	192.0	-	-	87.5	279.5	42.3	0.15 < 1

Nachweis der Abtragung der Vertikalkräfte in den Untergrund (EC7/DIN 1054)

Ansatz der Vertikallasten: F_{vd} = Lasten am Wandkopf, G_{wd} = Eigenlast Bauteil
 A_{vd} = Ankerkräfte, E_{avd} = aktiver Erddruck, Einwirkungen $S_d = F_{vd} + G_{wd} + A_{vd} + E_{avd}$
 F_{bd} = Spitzendruck, F_{sd} = Mantelreibung (einseitiger Ansatz nach EAB, EB85)
 B_{vd} = Vertikalanteil Erdauflegerkraft, Widerstände $R_d = F_{bd} + \text{MAX}(F_{sd}, B_{vd})$

Teilsicherheitsbeiwert für Druckpfahlwiderstand $\gamma_{b} = 1.40$
 Grundwert der Mantelreibung (s. EAB, A10) $q_{sk} = 60.0 \text{ kN/m}^2$
 Mantelreibungsfläche $A_s = 2.000 \text{ m}^2/\text{m}$ Mantelreibung $F_{sk} = 120.0 \text{ kN/m}$
 Grundwert Spitzendruck (s. EAB, A10) $q_{bk} = 780.0 \text{ kN/m}^2$
 Spitzendruckfläche $A_b = 0.640 \text{ m}^2/\text{m}$ Spitzendruck $F_{bk} = 499.2 \text{ kN/m}$

Komb-Nr.	F_{vd}	G_{wd}	A_{vd}	E_{avd}	S_d	F_{bd}	F_{sd}	B_{vd}	R_d	Ausnutz S_d/R_d
1	-	230.4	-	104.9	335.3	356.6	85.7	32.6	442.3	0.76 < 1