

53C Spundwand nach Teilsicherheitskonzept

(Stand: 05.06.2009)

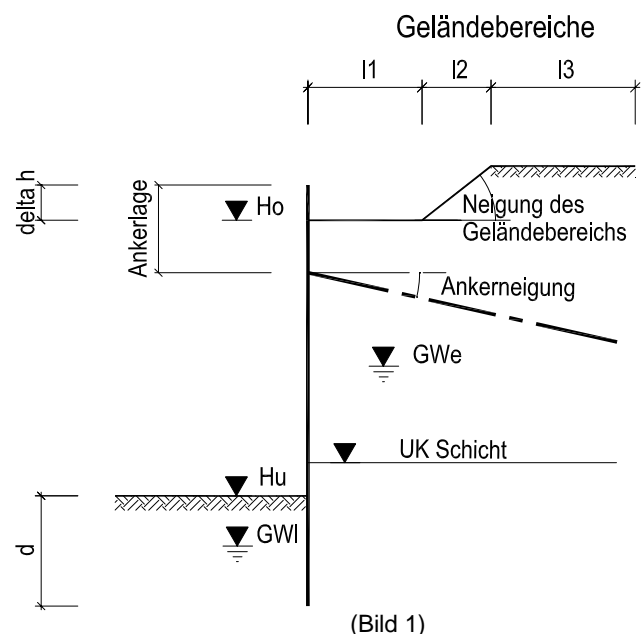
Leistungsumfang

Mit dem Programm 053C können Spundwände mit bis zu 5 Anker oder Steifen nach dem Teilsicherheitskonzept der DIN 1054:2005-01 berechnet werden. Die Wand kann dabei eingespannt, frei gelagert oder auch ohne Erdaufleger 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. Verschiedene Rechenoptionen erlauben es, die Berechnung für die jeweiligen Erfordernisse anzupassen. Alle wichtigen Ergebnisse werden auch grafisch dargestellt. Neben einer Bemessung werden auch die Nachweise der Aufnahme der Vertikalkräfte und der Nachweis in der tiefen Gleitfuge geführt.

Eingaben

Geometrie

- Höhe H_0 Geländebeginn als Höhenkote (s. Bild 1)
- Differenzhöhe Δh zum Wandkopf
- Höhe H_u der Baugrubensohle als Höhenkote
- Beschreibung des Geländes in bis zu 3 Abschnitten (jeweils Länge 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 ($GW_l \leq GW_e$)



Voreinstellungen: Wahl der Nachweise und Ausgabewahl

Nach Eingabe der Geometrie kann die Wahl der Nachweise getroffen werden:

- Bemessung der Bohlträger. Bei höheren Normalkräften (z.B. bei geneigter Verankerung oder hohen Lasten am Wandkopf) kann auch der Stabilitätsnachweis nach [7] notwendig werden, der hier gewählt werden kann.
- Nachweis der Aufnahme der Vertikalkräfte
- Wahl Nachweis in der tiefen Gleitfuge
- Wahl, ob die Biegelinie nur aus ständigen Lasten oder den gesamten Lasten bestimmt werden soll.

Zudem kann die Ausgabe im Formular durch eine alternative Ausgabe der Erddruckverteilung und der Schnittgrößen als Tabelle oder als Grafik beschränkt werden.

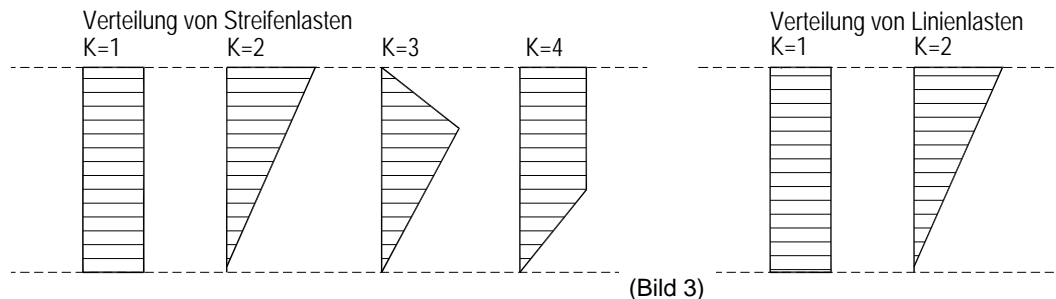
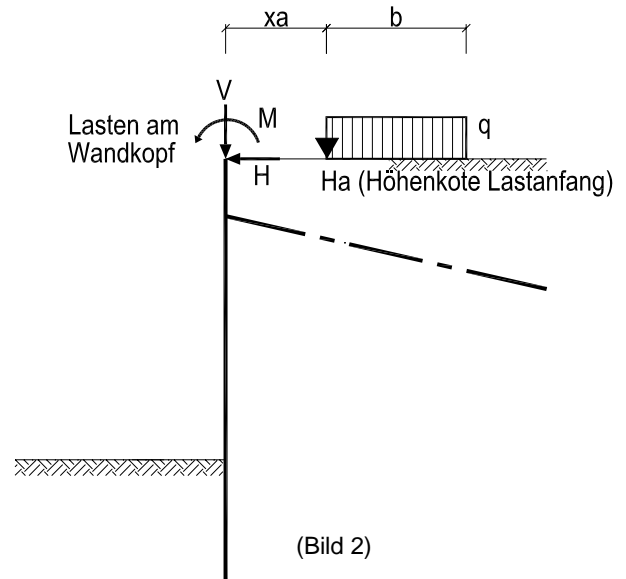
Charakteristische Bodenkennwerte und Wasserstand

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 δ_a 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 Aufnahme der Vertikalkräfte erfüllt ist (s.u.). Kann bei verankerten Wänden mit 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

Das Teilsicherheitskonzept im Grundbau kennt prinzipiell nur die Unterscheidung von ständigen und nichtständigen Lasten, daher werden bei der Eingabe nur die Kategorien 'G' sowie 'Q,1' angeboten.

- Durchgehende Flächenlast:
Bei homogenem Gelände kann eine durchgehende Flächenlast angesetzt werden. Diese darf bis zu einer Größe von $q=10 \text{ kN/m}^2$ als ständige Last betrachtet werden (s. [1], 10.3.1), was im Programm dann automatisch gesetzt wird.
- Begrenzte Flächenlasten (Streifenlasten):
Zur durchgehenden Flächenlast können bis zu 3 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. Bild 2 und Bild 3). 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 und/oder horizontaler Richtung, Kategorie, Lage und Verteilung der Last sind anzugeben. Die Last kann sich auf oder unter dem Gelände befinden (zur Verteilung s. Bild 3).



Hinweis:

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

- 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.

Teilsicherheiten

Aus den Einwirkungskombinationen (EK) und Sicherheitsklassen der DIN 1054 ergeben sich wieder die bisherigen Lastfälle:

- LF 1: Ständige Bemessungssituation
- LF 2: Vorübergehende Bemessungssituation (z.B. Bauzustand)
- LF 3: Außergewöhnliche Bemessungssituation

Aus dem gewählten Lastfall ergeben sich die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände nach [1], 6.4 bzw. [8].

Berechnungsoptionen

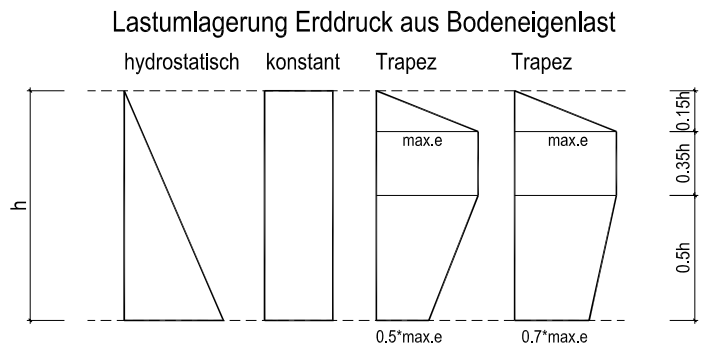
Für die Durchführung der Berechnung sind u.U. noch einige Optionen anzugeben:

- Erhöhungsfaktor f_a für den aktiven Erddruck:
 I. Allg. ist der Erddruck als aktiver Erddruck anzusetzen ($f_a=1$), bei naher Nachbarbebauung sollte mit erhöhtem aktivem Erddruck bzw. Erdruhedruck gerechnet werden ($f_a>1$). Da der Ruhedruck nur für homogene Verhältnisse einfach zu ermitteln ist, muss er ebenfalls durch einen Erhöhungsfaktor beschrieben werden.

Beispiel:

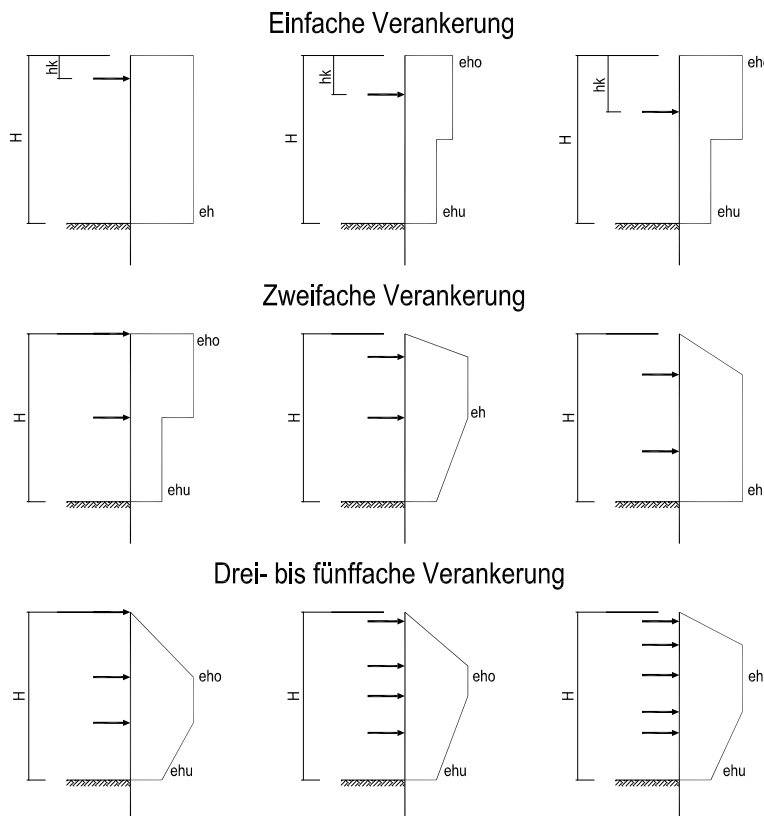
Bei einem Reibungswinkel $\varphi = 30^\circ$ und waagerechtem Gelände beträgt der Beiwert für den aktiven Erddruck $K_{agh} = 0.33$, der Beiwert für den Ruhedruck $K_{Oh} = 0.50$. Als Erhöhungsfaktor ergibt sich $f_a=1.5$.

- 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 (Bild 4, Bild 5). Am einfachsten für den Benutzer ist die Umlagerung nach [3], EB 70, bei der das Programm in Abhängigkeit von Ankeranzahl und -lage die entsprechende Lastfigur bestimmt.



(Bild 4)

- 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 Spundwänden voll angesetzt werden ($f_p=1$).
- 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 nach EAB, EB 70

(Bild 5)

Erddruckberechnung

Da eine Erddruckberechnung mit Hilfe von Formeln nach [2] bzw. [5] 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 ein geneigtes Gelände vorhanden sind,
- oder eine hohe Zusatzlast (Last größer als Eigenlast der Hinterfüllung) vorhanden ist, was eine Untersuchung von möglichen Zwangsgleitflächen zur Folge hat.

In diesen Fällen wird iterativ gerechnet, so dass eine Ausgabe von Erddruckbeiwerten nicht möglich ist. Es wird hierbei für eine vorgegebene Gleitfuge aus dem Krafteck 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 unterscheidet den Erddruck aus ständigen und nichtständigen Lasten, da diese später bei der Bemessung und den Standsicherheitsnachweisen mit unterschiedlichen Sicherheiten versehen werden. Die Erddruckverteilung wird auch grafisch dargestellt.

Ermittlung von Einbindetiefe und Schnittgrößen

Die Berechnung geschieht in 2 Schritten:

- a. Im ersten Schritt werden Einbindetiefe und charakteristischen Auflagerkräfte ermittelt. Hierbei wird statt des verteilten Erdwiderstands in dessen Schwerpunkt ein Auflager B_h angesetzt. Für eine ausreichende Einbindetiefe ist nachzuweisen (vgl. [6]):

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

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

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

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

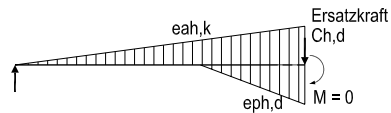
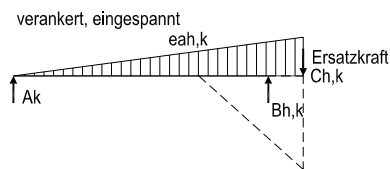
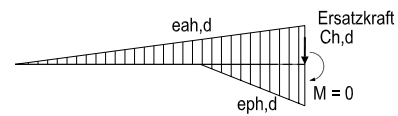
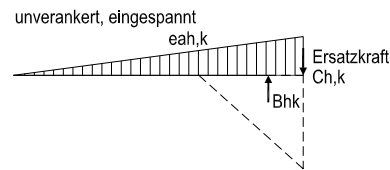
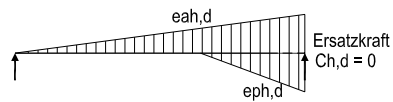
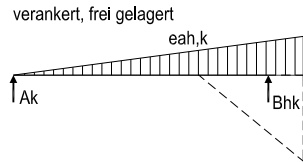
Mit den hier ermittelten Anteilen der Auflagerkraft aus ständigen und nichtständigen Lasten kann auch ein Reduktionsfaktor zur Bestimmung der Biegelinie errechnet werden.

- 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 wird dabei mit dem oben ermittelten Ausnutzungsgrad als verteilte Spannung angesetzt.

Die statischen Systeme für die Berechnung können Bild 6 entnommen werden. Die Schnittgrößen werden auch grafisch dargestellt.

System zur Ermittlung der Einbindetiefe und der charakteristischen Größen
Das Erdauflager wird im Schwerpunkt des Erdwiderstands als Reaktionskraft angesetzt.

System zur Ermittlung der Schnittgrößen (Design-Belastung)
Der Erdwiderstand wird wie in der Erddruckberechnung ermittelt als Einwirkung verteilt angesetzt.



(Bild 6)

Bemessung

Für die Bemessung der Spundwand steht eine Datenbank mit den aktuellen Spundwandprofilen (U-Profilen, Z-Profilen, Leichtprofilen, Kanaldielen) der Hersteller ARBED (ArcelorMittal) und HOESCH/LARSEN (Salzgitter AG) zur Verfügung. Nach Wahl des Herstellers und des Profiltyps (U-Form und/oder Z-Form) ermittelt das Programm das notwendige Profil. Falls der Benutzer ein größeres Profil verwenden möchte, kann er sich entweder die Liste der möglichen Profile anzeigen lassen und dort wählen, oder sich das nächstgrößere / nächstkleinere eintragen lassen. Das gewählte Profil wird als Grafik dargestellt. Als Nachweise werden die Spannungen aus Biegung und Normalkraft, aus Querkraft sowie die Vergleichsspannung ermittelt.

Ein Stabilitätsnachweis el-pl (einachsiges Biegeknicken nach [7]) wird optional geführt. Hierbei wird als Knicklänge der Abstand der Momentennullpunkte oberhalb und unterhalb des Momentenmaximums im Feld angesetzt. Dieser Ansatz wurde aus [4], E44, übernommen. Spundwandprofile werden der Knickspannungslinie d (vgl. [7], Tab. 5) zugeordnet.

Mit dem gewählten Profil kann auch die tatsächliche (elastische) Verformung ermittelt werden. Hierbei sind jedoch keine u.U. vorkommenden Wandbewegungen enthalten. Diese müssen abgeschätzt werden.

Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstands

Hierbei muss nachgewiesen werden, dass die Summe der nach unten gerichteten *charakteristischen* Einwirkungen (Eigenlast Wand G_k , Vertikalanteile des aktiven Erddrucks E_{avk} und der Ankerkräfte A_{vk} , Vertikallasten am Wandkopf F_{vk} , Ersatzkraft C_{vk} bei Einspannung) größer als der Vertikalanteil der Erdauflagerkraft B_{vk} ist (sog. 'inneres Gleichgewicht').

Nachweis: $S_k = E_{avk} + F_{vk} + C_{vk} + A_{vk} + G_k \geq B_{vk}$

Ist dieser Nachweis nicht erfüllt, muss eine Neub. (Bild 6) n_g 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 1B* geführt.

Nachweis: $S_d \leq R_d$

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

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

$F_{s,d}$ 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 [3], (Anhang A10) $q_{sk} = 60 \text{ kN/m}^2$. Der größere Wert aus Mantelreibung und Vertikalanteil des Erdwiderstands darf angesetzt werden.

F_{bd} Spitzendruck
Empfohlener Wert für den Spitzendruck nach [3] (Anhang A10) $q_{bk} = 600 + 120 \cdot (d - 0.50) \text{ kN/m}^2$
(d = Einbindetiefe)
Die Aufstandsfläche, in der der Spitzendruck wirkt, darf bei Spundwandprofilen nach der folgenden Formel ermittelt werden (s. [3], EB 85):

$$A_b = \chi \cdot h \quad \text{mit } \chi \text{ als Beiwert in Abhängigkeit der Stegneigung des Profils, } h = \text{Profilhöhe}$$

Es ist darauf hinzuweisen, dass laut EAB [3], 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)!

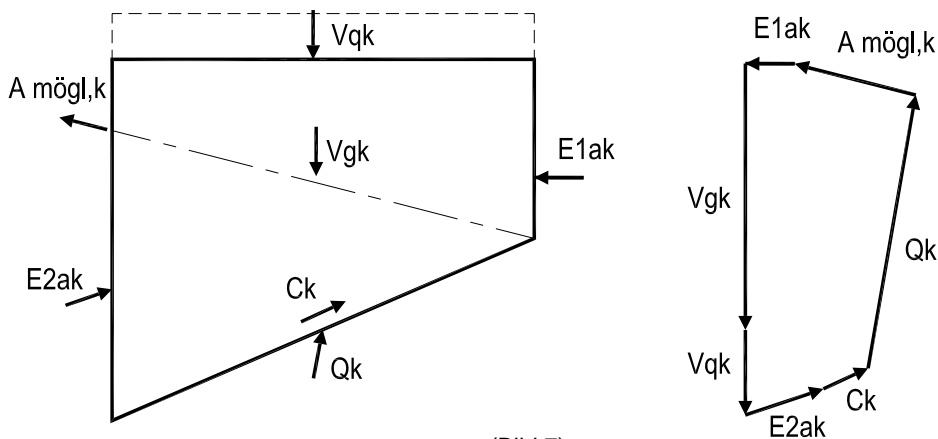
Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge (für Verpressanker)

Dieser Nachweis dient der Ermittlung der erforderliche Ankerlänge. Er wird nach [3], EB 44, bzw. [4], E 10 geführt. Für den Gleitkörper hinter der Wand wird über Gleichgewichtsbedingungen eine mögliche charakteristische Ankerkraft $A_{m\ddot{o}gl,k}$ ermittelt (s. Bild 7). Die mögliche Ankerkraft wird nach [4] reduziert, wenn der Ankerabstand größer als die halbe Länge der Verpressstrecke beträgt. Bei Schichtung bzw. mehrfacher Verankerung s. [4], E10.

Eingaben:

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

Nachweis: $A_{vorh,d} \leq A_{m\ddot{o}gl,d}$
 $A_{vorh,d}$ = Bemessungswert der Ankerbeanspruchung
 $A_{m\ddot{o}gl,d} = A_{m\ddot{o}gl,k} / \gamma_{Ep}$ = Bemessungswert des Widerstands



(Bild 7)

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 [3] und EAU [4] zu beachten.

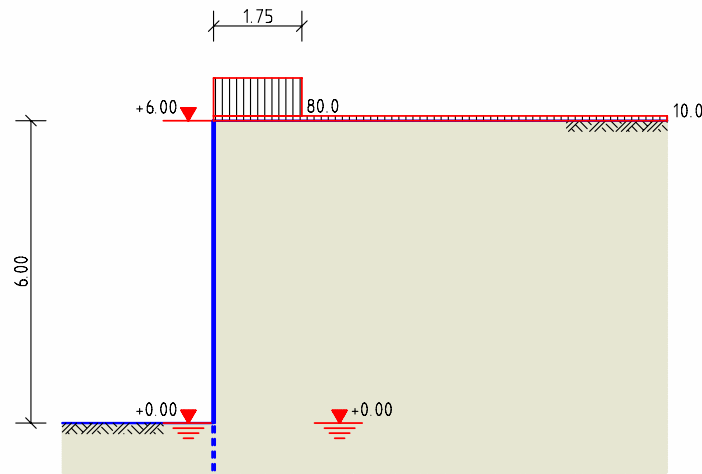
Weiterleitungsdaten und Nachlaufpositionen

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 53G (Geländebruchnachweis) kann direkt als Nachlaufposition gewählt werden (53G ist nicht im Leistungsumfang von 53C enthalten).

Literatur

- [1] DIN 1054:2005-01: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
- [2] DIN 4085:2007-10: Berechnung des Erddrucks
- [3] Empfehlungen des Arbeitskreises 'Baugruben' (EAB), Ernst und Sohn, 2006.
- [4] Empfehlungen des Arbeitsausschusses 'Ufereinfassungen' (EAU), Ernst und Sohn, 2004.
- [5] DIN V 4085-100:1996-04: Berechnung des Erddrucks
- [6] Weißenbach, A. und Hettler, A.: Berechnung von Baugrubenwänden nach der neuen DIN 1054. Die Bautechnik 80 (2003), Heft 12, S. 857-874.
- [7] DIN 18800-2:1990-11: Stahlbauten. Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
- [8] DIN 1054 Berichtigung 3:2008-01

POS. 011 SPUNDWAND UNVERANKERT



Geometrie

Höhenkote Beginn Gelände an Wand	Ho =	6.00 m
Freie Wandhöhe über Ho	Delta H =	0.00 m
Höhe Baugrubensohle bei	Hu =	0.00 m
Gelände	Bereich	1 2 3
Grundlänge li (m)		10.00 - -
Geländeneigung beta (Grad)		0.00 - -

Grundwasserstand

erdseitig Gwe = 0.00 m, luftseitig Gwl = 0.00 m

Charakteristische Bodenkenwerte

Schicht-Nr.	Unterkante H [m]	gamma [kN/m³]	gamma' [kN/m³]	phi [°]	delta a [°]	delta p [°]	Kohäsion c [kN/m²]
1	-10.00	20.00	10.00	27.50	18.30	-12.50	20.0

Charakteristische Belastung

Durchgehende Flächenlast auf Gelände q0 = 10.00 kN/m² Kategorie G

Begrenzte Flächenlasten

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

Last-Nr.	Lastgröße [kN/m²]	Kategorie	Anfangspunkt xa [m]	Ha [m]	Lastbreite b [m]	Neigung [°]	Verteilungsart Erddruck
q1	80.00	Q, 1	0.00	6.00	1.75	0.00	1

Teilsicherheiten für Lastfall 2, GZ 1B:

G, EA (g)	Q, EA (g)	Wasserdruck	Ep	Anker
1.25	1.30	1.25	1/1.30	1/1.10

Berechnungsoptionen

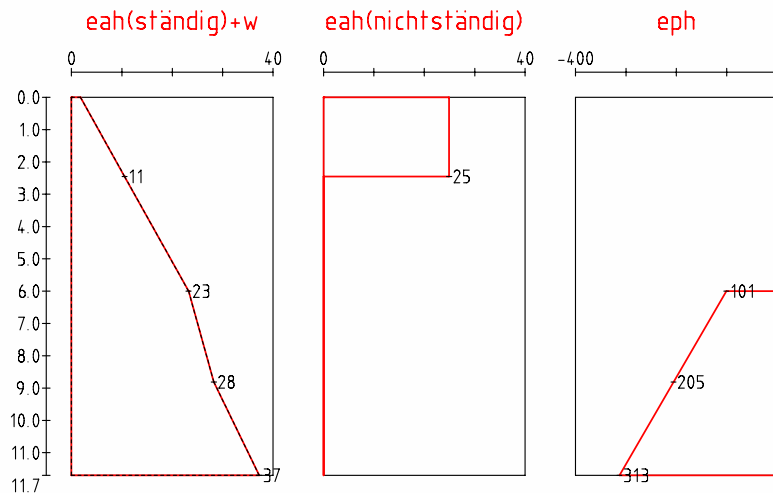
- Erhöhungsfaktor für aktiven Erddruck fa = 1.00
- Mindesterdruk für kohäsive Schicht ja
- Anpassungsfaktor für Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) fp = 1.00
- Ansatz der Kohäsion beim Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) fc = 1.00

Erddruckbelwerte

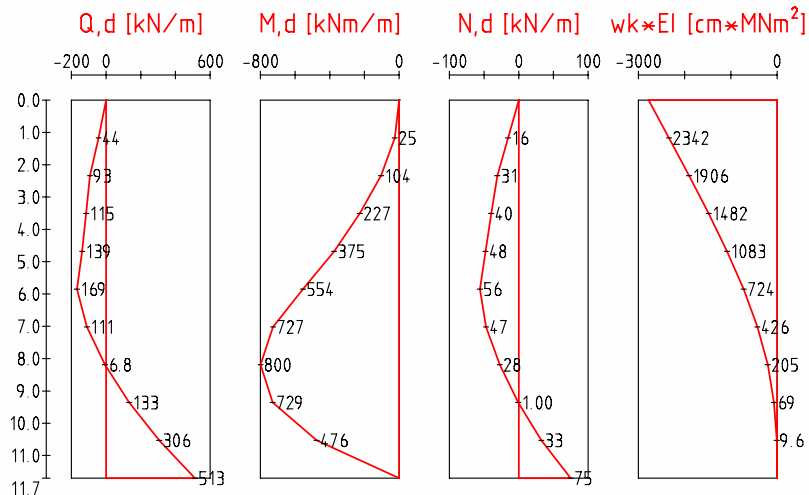
Schicht	Kagh	Kaghmin	Kaph	Kavh	Kahh	Kach	Kpgh	Kpch
1	0.311	0.179	0.311	0.436	0.856	-1.046	3.719	5.044

Charakteristische Erddruckverteilung [kN/m²] für Einbindeteife d = 5.70 m

Höhe unter Gelände [m]	Lam-Dicke [m]	Bodeneigenlast eagh	Wasserdruck umgel. w	Zusatzlasten eah(q)	Erdwiderst. eph
0.00	-	0.0	0.0	0.0	0.0
0.00	-	1.8	0.0	0.0	24.9
2.45	2.45	10.5	0.0	0.0	24.9
2.45	-	10.5	0.0	0.0	0.0
6.00	3.55	23.2	0.0	0.0	0.0
6.00	-	23.2	0.0	0.0	100.9
8.81	2.81	28.2	0.0	0.0	205.4
11.70	2.89	37.2	0.0	0.0	312.9


Schnittgrößen (design) und charakteristische Verformung (g+q)

Tiefe unter Wandkopf [m]	Q, d [kN/m]	M, d [kNm/m]	N, d [kN/m]	wk * E * I [cm * MN * m ²]
0.00	0.0	0.0	0.0	-2780.6
1.17	-43.6	-24.9	-15.5	-2341.7
2.34	-93.3	-104.3	-31.0	-1906.1
3.51	-114.7	-227.3	-39.9	-1482.1
4.68	-138.7	-375.0	-48.1	-1082.9
5.85	-168.9	-554.3	-56.2	-724.4
7.02	-111.2	-727.3	-47.3	-425.8
8.19	-6.8	-799.8	-27.7	-204.7
9.36	132.9	-729.5	-1.0	-68.6
10.53	306.2	-475.9	32.6	-9.6
11.70	512.8	0.0	74.8	0.0



Erdwiderstand: $E_{phk} = 1179.2$, $E_{phd} = 907.1$ kN/m
 Erdaulager: $B_{hgk} = 434.3$, $B_{hqk} = 270.6$, $B_{hk} = 704.9$, $B_{hd} = 894.6$ kN/m
 Nachweis Einbindeteile: $B_{hd} / E_{phd} = 894.6 / 907.1 = 0.99 < 1.00$

Ersatzkraft Wandfuß: $Ch_{gk} = -192.3$, $Ch_{qk} = -209.6$, $Ch_k = -401.9$ kN/m

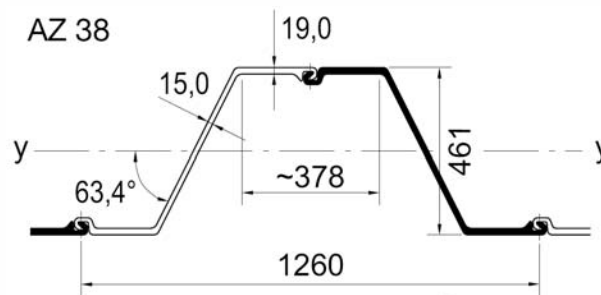
Erforderliche Trägerlänge $l = 6.00 + 1.20 * 5.70 = 12.84$ m, gew. $l = 13.00$ m

Bemessung

max. Md = -799.8 kNm/m, zug. Nd/Qd = -27.7 / -6.8 kN/m bei d = 8.19 m u. WK
 max. Qd = 512.8 kN/m bei d = 11.70 m u. WK

Stahlgüte S 240 GP mit $f_{y,k} = 240.0$ MN/m², $\gamma_m = 1.10$

gew. Profil ARBED AZ 38



$A = 261.0$ cm²/m, $W = 3780$ cm³/m, $I = 87080$ cm⁴/m, $S = 2210.0$ cm²/m
 Breite b = 630 mm, Höhe h = 461 mm, Stegdicke s = 15.0 mm, $G = 204.9$ kg/m²

Biegespannungen: $\sigma_{sd}/\sigma_{rd} = 212.7$ MN/m²/218.2 MN/m² = 0.97 < 1.0

Vergleichsspannungen: $\sigma_{gv, sd}/\sigma_{rd} = 212.7$ MN/m²/218.2 MN/m² = 0.97 < 1.0

Schubspannungen: $\tau_{sd}/\tau_{rd} = 48.9$ MN/m²/126.0 MN/m² = 0.39 < 1.0

Elastische Verformungen (g+q): E-Modul $E = 210000$ MN/m², $EI = 182.9$ MNm²

Verformung am Wandkopf $w_k = -15.2$ cm, Verformung auf Höhe Sohle $w_s = -2.3$ cm

Nachweis der Vertikal Komponente des Erdwiderstands (charakteristische Werte)

Eigenlast Wand	Gwk =	24.6 kN/m
Vertikalanteil Ersatzkraft Erdauflager ($\delta c = 9.2^\circ$)	Cvk =	64.8 kN/m
Vertikalanteil des aktiven Erddrucks	Eavk =	100.2 kN/m
	Summe: Vk =	189.7 kN/m

Vertikalanteil des Erdauflegers Bvk = 156.3 kN/m

Nachweis ($Vk \geq Bvk$): $Vk / Bvk = 189.7 / 156.3 = 1.21 > 1.00$

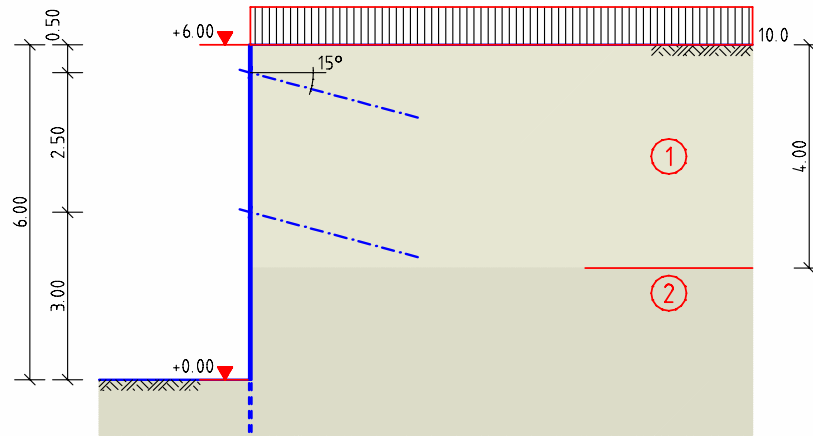
Nachweis der Abtragung der Vertikalkräfte in den Untergrund

Teilsicherheitsbeiwert für Druckpfahlwiderstand	$\gamma p =$	1.40
Grundwert der Mantelreibung	qsk =	60.0 kN/m ²
Grundwert Spitzendruck	qbk =	1344.0 kN/m ²

Eigenlast Wand	Gwd =	30.8 kN/m
Vertikalanteil aktiver Erddruck (g/q) Eavd = 100.0 + 26.3	=	126.3 kN/m
	Summe: Sd =	157.0 kN/m

Mantelreibungskraft ($A_s = 9.85 \text{ m}^2/\text{m}$)	Fsd =	422.1 kN/m
Spitzendruckkraft ($A_b = 0.276 \text{ m}^2/\text{m}$)	Fbd =	265.0 kN/m
	Summe: Rd =	687.1 kN/m

Nachweis ($Sd \leq Rd$): $Sd / Rd = 157.0 / 687.1 = 0.23 < 1.00$

POS. 012 SPUNDWAND 2-FACH VERANK.

Geometrie

	Höhenkote Beginn Gelände an Wand	Ho =	6.00	m
	Freie Wandhöhe über Ho	Delta H =	0.00	m
	Höhe Baugrubensohle bei	Hu =	0.00	m
Gelände	Bereich	1	2	3
	Grundlänge li (m)	10.00	-	-
	Geländeneigung beta (Grad)	0.00	-	-

Verankerung

Anzahl Anker = 2, Erdauflager: freigelagert

Anker-Nr.	1.	2.	3.	4.	5.
Lage unter OK Wandkopf (m)	0.50	3.00	-	-	-
Ankerneigung (Grad)	15.00	15.00	-	-	-

Charakteristische Bodenkennwerte

Schicht-Nr.	Unterkante H [m]	gamma [kN/m ³]	gamma' [kN/m ³]	phi [°]	delta a [°]	delta p [°]	Kohäsion c [kN/m ²]
1	2.00	20.00	12.00	30.00	20.00	-20.00	0.0
2	-10.00	18.00	10.00	35.00	23.30	-23.30	0.0

Charakteristische Belastung

 Durchgehende Flächenlast auf Gelände q0 = 10.00 kN/m² Kategorie G

Teilsicherheiten für Lastfall 2, GZ 1B:

G, EA (g)	Q, EA (g)	Wasserdruck	Ep	Anker
1.25	1.30	1.25	1/1.30	1/1.10

Berechnungsoptionen

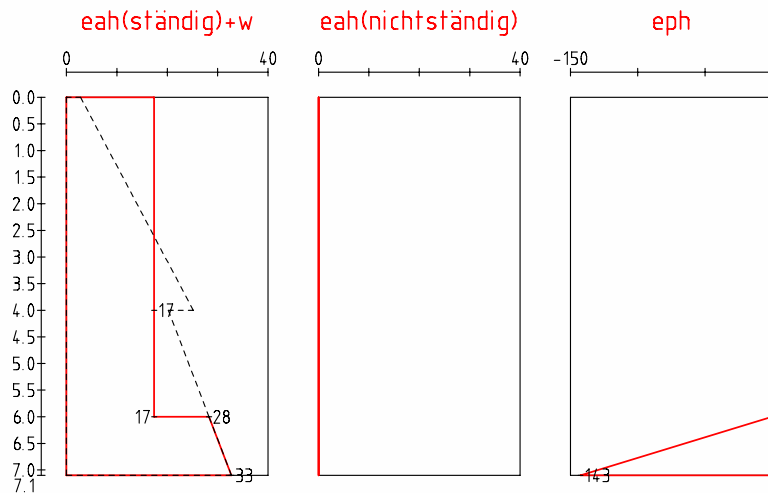
- Erhöhungsfaktor für aktiven Erddruck fa = 1.00
- Mindesterdru ck für kohäsive Schicht ja
- Verteilung des Erddrucks aus Bodenein gelast konstant
- Umlagerung des Erddrucks aus Bodenein gelast bis OK Sohle
- Anpassungsfaktor für Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) fp = 1.00
- Ansatz der Kohäsion beim Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) fc = 1.00

Erddruckbelwerte

Schicht	Kagh	Kaghmin	Kaph	Kavh	Kahh	Kach	Kpgh	Kpch
1	0.279	0.279	0.279	0.414	0.849	0.000	4.945	0.000
2	0.224	0.224	0.224	0.373	0.839	0.000	7.200	0.000

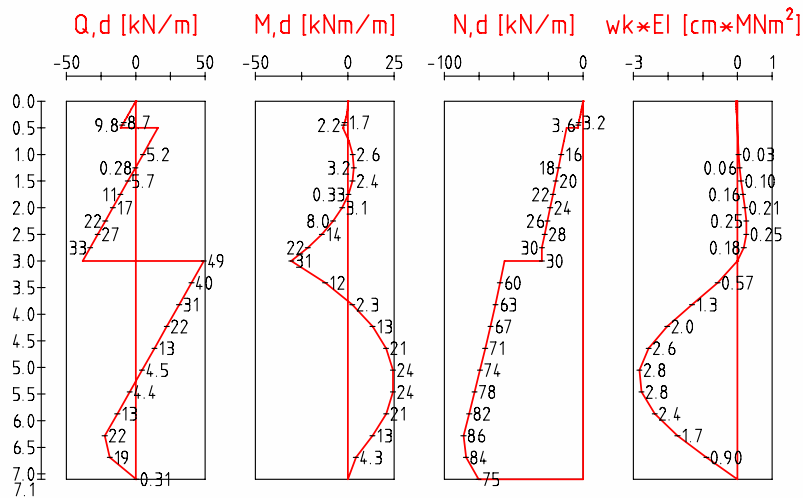
Charakteristische Erddruckverteilung [kN/m²] für Einbindetiefe d = 1.10 m

Höhe unter Gelände [m]	Lam-Dicke [m]	Bodeneigenlast eagh	Wasserdruck umgel. w	Zusatzlasten eah(g) eah(q)	Erdwiderst. eph
0.00	-	0.0	17.4	0.0	0.0
0.00	-	2.8	17.4	0.0	0.0
4.00	4.00	25.1	17.4	0.0	0.0
4.00	-	20.2	17.4	0.0	0.0
6.00	2.00	28.3	17.4	0.0	0.0
6.00	-	28.3	28.3	0.0	0.0
7.10	1.10	32.7	32.7	0.0	0.0
					142.6


Schnittgrößen (design) und charakteristische Verformung (g+q)

Tiefe unter Wandkopf [m]	Q, d [kN/m]	M, d [kNm/m]	N, d [kN/m]	wk*E*I [cm*MN*m ²]
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
0.05	-1.1	0.0	-0.4	0.0
0.10	-2.2	-0.1	-0.8	0.0
0.15	-3.3	-0.2	-1.2	0.0
0.20	-4.3	-0.4	-1.6	0.0
0.25	-5.4	-0.7	-2.0	0.0
0.30	-6.5	-1.0	-2.4	0.0
0.35	-7.6	-1.3	-2.8	0.0
0.40	-8.7	-1.7	-3.2	0.0
0.45	-9.8	-2.2	-3.6	0.0
0.50	-10.9	-2.7	-3.6	0.0
0.50	16.0	-2.7	-11.9	0.0
0.75	10.6	0.6	-13.9	0.0
1.00	5.2	2.6	-15.8	0.0
1.25	-0.3	3.2	-17.8	0.1
1.50	-5.7	2.4	-19.8	0.1
1.75	-11.2	0.3	-21.8	0.2
2.00	-16.6	-3.1	-23.8	0.2
2.25	-22.0	-8.0	-25.7	0.3
2.50	-27.5	-14.2	-27.7	0.3
2.75	-32.9	-21.7	-29.7	0.2
3.00	-38.3	-30.6	-29.7	0.0

Tiefe unter Wandkopf [m]	Q, d [kN/m]	M, d [kNm/m]	N, d [kN/m]	wk*E*I [cm*MN*m ²]
3.00	49.1	-30.6	-56.7	0.0
3.41	40.2	-12.3	-60.0	-0.6
3.82	31.3	2.3	-63.2	-1.3
4.23	22.4	13.3	-66.8	-2.0
4.64	13.4	20.7	-70.6	-2.6
5.05	4.5	24.4	-74.5	-2.8
5.46	-4.4	24.4	-78.3	-2.8
5.87	-13.3	20.8	-82.2	-2.4
6.28	-22.4	13.3	-86.3	-1.7
6.69	-18.8	4.3	-84.5	-0.9
7.10	0.3	0.0	-75.5	0.0


Hori zontale Ankerkräfte charakteristisch und design [kN/m] für LF1!

	Ah _{gk}	Ah _{qk}	Ah _k	Ah _{gd}	Ah _{qd}	Ah _d
Anker 1	21.9	0.0	21.9	29.6	0.0	29.6
Anker 2	69.3	0.0	69.3	93.5	0.0	93.5

Erdwiderstand: $E_{phk} = 78.4$, $E_{phd} = 60.3$ kN/m
 Erdaulager: $B_{h_{gk}} = 46.7$, $B_{h_{qk}} = 0.0$, $B_{hk} = 46.7$ $B_{hd} = 58.4$ kN/m
 Nachweis Einbindetiefe: $B_{hd} / E_{phd} = 58.4 / 60.3 = 0.97 < 1.00$

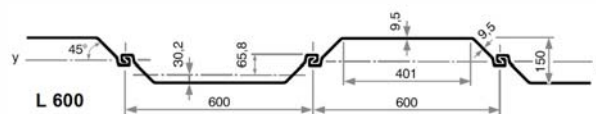
Erforderliche Trägerlänge $l = 6.00 + 1.00 * 1.10 = 7.10$ m, gew. $l = 9.00$ m

Bemessung

max. Md = -30.6 kNm/m, zug. Nd/Qd = -56.7 / 49.1 kN/m bei d = 3.00 m u. WK
 max. Qd = 49.1 kN/m bei d = 3.00 m u. WK

Stahlgüte S 240 GP mit $f_y, k = 240.0$ MN/m², $\gamma_m = 1.10$

gew. Profil HOESCH/LARSSEN LARSSEN 600



$A = 119.7$ cm²/m, $W = 510$ cm³/m, $I = 3840$ cm⁴/m, $S = 279.0$ cm²/m
 Breite b = 600 mm, Höhe h = 150 mm, Stegdicke s = 9.5 mm, G = 94.0 kg/m²

Biegespannungen: $\sigma_{sd}/\sigma_{rd} = 64.7$ MN/m²/218.2 MN/m² = 0.30 < 1.0
 Vergleichsspannungen: $\sigma_{gv, sd}/\sigma_{gv, rd} = 70.4$ MN/m²/218.2 MN/m² = 0.32 < 1.0
 Schubspannungen: $\tau_{sd}/\tau_{rd} = 15.9$ MN/m²/126.0 MN/m² = 0.13 < 1.0

Nachweis Biegeknicken: Knicklänge $s_k = 3.35 \text{ m}$, $\lambda_k = 0.636$
 Kennspannungslinie $\beta_d \alpha = 0.76$ Abminderungsfaktor $\kappa = 0.686$
 Momentenbeiwert $\beta_m = 1.000$, $\delta_n = 0.008$
 $N_d = 78.3 \text{ kN}$, $N_{pl,d} = 2611.6 \text{ kN}$, $M_d = 24.4 \text{ kNm}$, $M_{pl,d} = 121.7 \text{ kNm}$
 $N_d / (\kappa \cdot N_{pl,d}) + \beta_m \cdot M_d / M_{pl,d} + \delta_n = 0.25 < 1.00$

Elastische Verformungen (g+q): E-Modul $E = 210000 \text{ MN/m}^2$, $EI = 8.1 \text{ MNm}^2$

Verformung am Wandkopf $w_k = 0.0 \text{ cm}$, Verformung auf Höhe Sohle $w_s = -0.2 \text{ cm}$
 Größte Verformung $\max. w = -0.4 \text{ cm}$ bei $d = 5.05 \text{ m}$ unter Wandkopf

Nachweis der Vertikal Komponente des Erdwiderstands (charakteristische Werte)

Eigenlast Wand	$G_{wk} = 8.5 \text{ kN/m}$
Vertikale Anteile der Ankerkräfte	$A_{vk} = 24.4 \text{ kN/m}$
Vertikalanteil des aktiven Erddrucks	$E_{avk} = 55.7 \text{ kN/m}$
Summe: $V_k = 88.6 \text{ kN/m}$	

Vertikalanteil des Erdauftragers $B_{vk} = 20.1 \text{ kN/m}$

Nachweis ($V_k \geq B_{vk}$): $V_k / B_{vk} = 88.6 / 20.1 = 4.40 > 1.00$

Nachweis der Abtragung der Vertikalkräfte in den Untergrund

Teilsicherheitsbeiwert für Druckpfahlwiderstand	$\gamma_p = 1.40$
Grundwert der Mantelreibung	$q_{sk} = 60.0 \text{ kN/m}^2$
Grundwert Spitzendruck	$q_{bk} = 900.0 \text{ kN/m}^2$

Eigenlast Wand	$G_{wd} = 10.6 \text{ kN/m}$
Vertikalanteil Ankerkräfte (g/q)	$A_{vd} = 30.5 + 0.0 = 30.5 \text{ kN/m}$
Vertikalanteil aktiver Erddruck (g/q)	$E_{avd} = 69.6 + 0.0 = 69.6 \text{ kN/m}$
Summe: $S_d = 110.8 \text{ kN/m}$	

Mantelreibungskraft ($A_s = 3.39 \text{ m}^2/\text{m}$)	$F_{sd} = 145.3 \text{ kN/m}$
Spitzendruckkraft ($A_b = 0.049 \text{ m}^2/\text{m}$)	$F_{bd} = 31.5 \text{ kN/m}$
Summe: $R_d = 176.8 \text{ kN/m}$	

Nachweis ($S_d \leq R_d$): $S_d / R_d = 110.8 / 176.8 = 0.63 < 1.00$

Nachweis in der tiefen Gleitfuge nach EAB/EAU für Verpressanker

Nachweis für LF 2, $\gamma_p = 1.30$ ($A_{m\text{ögl,d}} = A_{m\text{ögl,k}} / \gamma_p$)
 Berechnung des Erddrucks an der Wand bis Einbindetiefe $t = 1.10 \text{ m}$

Ankerkräfte und -längen: Ankerneigung $\alpha = 15.0^\circ$, Ankerabstand $a = 1.80 \text{ m}$

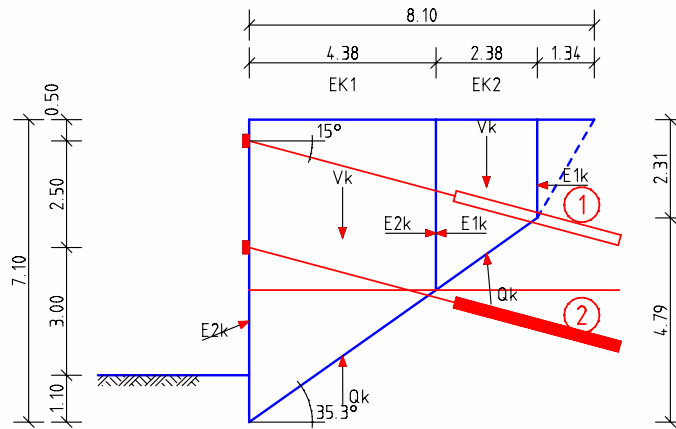
Nr.	A_{ghk}	A_{qhk}	A_d	Höhe unt. Gel.	Lasteinleitungs-länge l_k	$l_{ges.}$
-	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]
1	21.9	0.0	27.5	0.50	4.00	9.00
2	69.3	0.0	87.0	3.00	4.00	9.00

Krafteckkomponenten für Nachweis des Ankers 1 [kN/m]

Neigung Gleitfuge $\theta = 35.3^\circ$, Wandhöhe am Ankerschwerpunkt $h' = 2.31 \text{ m}$

Kraft / Erdkörper(EK)	EK 1	EK 2	EK 3	EK 4	EK 5
Erddruck E1gk 'hinten'	135.47	25.49	-	-	-
Erddruck E2gk 'vorne'	148.73	135.47	-	-	-
Erdkörper+Zusatzlasten Vgk	516.11	174.31	-	-	-
Ankerkraft A2gk anteilig	-	71.72	-	-	-
Reaktionskraft Qgk in Fuge	460.44	149.17	-	-	-
Breite des Erdkörpers [m]	4.38	2.38	-	-	-

G: Amögl , k = 171.3 kN/m, vorh. Ad/Amögl , d = 118.0/ 131.8 = 0.90 < 1.00



Krafteckkomponenten für Nachweis des Ankers 2 [kN/m]

Neigung Gleitfuge theta = 18.7 °, Wandhöhe am Ankerschwerpunkt h' = 4.81 m

Kraft / Erdkörper(EK)	EK 1	EK 2	EK 3	EK 4	EK 5
Erddruck E1gk 'hinten'	88.02	-	-	-	-
Erddruck E2gk 'vorne'	148.73	-	-	-	-
Erdkörper+Zusatzlasten Vgk	846.58	-	-	-	-
Ankerkraft A1gk anteilig	4.11	-	-	-	-
Reaktionskraft Qgk in Fuge	752.61	-	-	-	-
Breite des Erdkörpers [m]	6.76	-	-	-	-

G: Amögl , k = 208.5 kN/m, vorh. Ad/Amögl , d = 118.0/ 160.4 = 0.74 < 1.00

