

23C Spundwand einfach

Leistungsumfang

Mit diesem Programm können unverankerte oder einfach verankerte Spundwände mit freier Auflagerung im Boden, teilweiser oder voller Einspannung berechnet werden. Grundlage der Programme sind die Empfehlungen der Arbeitskreise 'Baugruben' (EAB),(5) und 'Ufereinfassungen' (EAU), (4).

System und Belastung (23C)

Die Eingabe der Systemabmessungen erfolgt in der Kottenform $H=(NN)+/-x$. Dabei kann das Gelände durch Höhenangabe, Geländeneigung, Neigung und Höhe der Baugrubensohle sowie evtl. Bermeabmessungen beschrieben werden. Die Höhe des Spundwandkopfes kann unabhängig von den übrigen Systemdaten angegeben werden. Als Geländeoberkante GOK ist der Punkt definiert, von dem an die Geländeoberfläche einen stetigen Verlauf hat (s. Anl.). Nicht benötigte Eingabezeilen können mit der Eingabe '0' am Zeilenanfang gelöscht werden. Es ist auf die Vorzeichendefinition zu achten !

Es können max. 5 Bodenschichten angegeben werden. Mit der Vorgabe der letzten Schichtdicke wird festgelegt, bis zu welcher Tiefe unter GOK die Erddruckberechnung durchgeführt wird. Dabei ist zu beachten, daß der Boden bis zur geschätzten unverankerten Einbindetiefe der Wand beschrieben ist (ca. das 1.0-1.2-fache der Abfangungshöhe). Eine evtl. vorhandene Geländeneigung darf höchstens so groß wie der kleinste Reibungswinkel der Schichtung sein.

Als Raumgewichte werden γ feucht/wassergesättigt und γ' unter Auftrieb angegeben. Ein hydrostatischer Differenzwasserdruck kann durch die Angabe von gelände- und baugrubenseitigem Wasserstand erfaßt werden. Bei hohen Wasserdrücken sollte die Berücksichtigung des Strömungsdrucks durch die Modifizierung des effektiven Raumgewichts der betreffenden Schicht erfolgen.

Bei der Angabe der Wandreibungswinkel ist zu beachten, daß Δa i.a. positiv, Δp i.a. negativ ist.

Folgende Belastungen können angegeben werden:

- am Wandkopf wirkend: horizontale und vertikale Linienlast und Moment (zur Baugrubenseite drehend positiv)
 - durchgehende Flächenlast auf GOK
 - Flächenlast auf Berme
 - Ersatzlast, die, wenn Berme vorhanden, auf Berme steht, sonst auf GOK
 - Fundamentlast mit beliebiger Einbindetiefe t (von GOK aus)
- Dabei ist a_p bzw. a_p' = Abstand der Last von der Wand
 b_p bzw. b_p' = Belastungsbreite

Begrenzte Belastungen werden nach (1), der Einfluß der Berme nach (2) erfaßt.

Einschränkung bei der Eingabe: GW-Stand auf der Baugrubenseite darf nicht höher als auf der Geländeseite sein!

Erddruckbeiwerte und Belastungsfigur

Die Beiwerte für den aktiven und passiven Erddruck werden nach Krey/Ehrenberg, für $\Phi > 35$ Grad nach Caquot/Kerisel berechnet.

Für den Erdwiderstand ist ein Sicherheitsbeiwert η_p anzugeben ($K_{ph}' = K_{ph} / \eta_p$). Der Rechenwert der Kohäsion C kann für die Bestimmung des Erdwiderstands durch die Angabe von η_c reduziert werden.

Bei der Ermittlung der Belastungsfigur hat der Benutzer die Wahl zwischen der klassischen, hydrostatischen Erddruckverteilung und der Trapezverteilung nach Lehmann (gilt jedoch nur für Erddruck aus Bodeneigengewicht!).

Das Programm berechnet die Belastungsfigur aus Erddruck in Belastungsstreifen, innerhalb derer der Belastungsverlauf linear ist. Die Streifen werden intern in weitere Abschnitte unterteilt (max. 60). An diesen Stellen werden die Schnittgrößen ermittelt (auch eine teilweise Einspannung).

Schnittgrößenberechnung (23F)

Die Schnittkräfte der unverankerten Wand werden durch Mehrfachintegration der Belastungsmatrix $q(x)$ mit den Gleichungen für den elastischen Biegebalken ermittelt. Ausgegeben werden die Schnittstelle x unter Wandkopf, die Querkraft $Q(x)$, das Biegemoment $M(x)$ und die $E \cdot I$ -fache Durchbiegung $E \cdot I \cdot s(x)$. Diese Werte können bei Wahl einer Verankerung auf Wunsch gesondert ausgegeben werden. Bei Wahl einer Verankerung sollte zur Beschränkung des oberen Stützmoments die Ankerlage im oberen Drittel der freien Wandhöhe liegen. Die Ausgabe der Ergebnisse der verankerten Wand erfolgt in der vom Programm vorgenommenen Unterteilung mit dem jeweiligen Einspanngrad (0 bis 100%). Es werden jeweils Bohlenlänge, Einspanngrad, Ankerkraft, Lage und Größe von $\max.M_f$ und $\min.M_{st}$ ausgegeben. Für die Bemessung muß eine der ausgegebenen Bohlenlängen gewählt werden. Die zugehörigen Schnittgrößen werden im Bemessungsteil wieder ausgegeben.

Bemessung/Ankernachweise (23I)

Die in 23F ermittelten Schnittgrößen dienen zur Bemessung und können bei Bedarf korrigiert werden. Für die Profiltypen LARSEN, HOESCH und KRUPP sind Querschnittswerte gängiger Profile abgespeichert und abrufbar.

Bei verankerten Spundwänden können die wichtigsten Ankernachweise durchgeführt werden. Wird ein Verpreßanker gewählt, berechnet das Programm die wirksame Ankerlänge, die vom Benutzer modifiziert werden kann, falls nicht über die gesamte berechnete Länge verpreßt wird. Bei der Angabe der Grenzmantelreibung muß eine evtl. geforderte Sicherheit enthalten sein! Wählt der Benutzer eine Ankerplatte, überprüft das Programm die Ankerlänge auf die Überschneidung des aktiven Erdkeils hinter der Wand mit dem passiven des Erdkörpers vor der Ankerplatte. Die Berechnung des Erdwiderstands vor der Ankerplatte erfolgt für den ebenen Fall, so daß der kritische Ankerabstand nach (3) nicht überschritten werden sollte. Der Erdwiderstand vor der Platte wird mit $\Delta p = 0$ gerechnet (sichere Seite).

Die Sicherheit gegen Aufbruch des Verankerungsbodens wird mit $\eta \geq 1.50$ nachgewiesen.

Die Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge (Ermittlung der möglichen Ankerkraft) wird nach Kranz durchgeführt. Die Abmessungen des Gleitkeils werden berechnet und können gegebenenfalls korrigiert werden. Die mögliche Ankerkraft Z_a' ergibt sich aus dem Grenzgleichgewicht aller am Bruchkörper angreifenden Kräfte. Dabei werden Auflasten nur dann berücksichtigt, wenn sie zu einer Verkleinerung von Z_a' führen. Der Erddruck an der Wandseite wird ohne Wasserüberdruck berechnet, der Erddruck hinter der Ersatzwand kann mit einem gesondert angegebenen Wasserstand bestimmt werden, falls außerhalb des Gleitkeils ein höherer Wasserstand vorhanden ist.

Nachweis der Aufnahme der Vertikalkräfte:

Es wird zuerst das innere Gleichgewicht in vertikaler Richtung bestimmt:

$$\eta_v = (E_{av} + C_v + A_v + P_v + G) / U_v,$$

wobei im Zähler die 'Aktionskräfte' stehen, der Vertikalanteil des Erddrucks, der Ankerkraft, der Belastung am Wandkopf, der Ersatzkraft C sowie Eigengewicht der Wand, im Nenner als 'Reaktionskraft' die Vertikalkomponente des Erdwiderstands. Mindestsicherheiten sind $\eta_v = 1.0$ bei eingespannter, $\eta_v = 1.50$ bei frei aufgelagerter Wand. Der Vertikalanteil der Ersatzkraft C wird anfangs mit $\Delta p = +1/3 \Phi$ berechnet. Ist damit der Nachweis nicht gewährleistet, so kann Δp bis $-\Phi$ variiert werden.

Ist die vorhandene Sicherheit geringer als die erforderliche, so bedeutet das, daß die Resultierende nach oben gerichtet ist und die gesamte Berechnung mit geringerem Δp für E_p durchgeführt werden muß (Alternative: größere Ankerneigung). Bei sehr großen Sicherheiten, z.Zt. im Programm bei $\eta_v > 4$, muß der Nachweis des äußeren Gleichgewichts geführt werden:

$$\eta_v = (Q_r + Q_s) / (E_{av} + G + P_v + A_v) \geq 1.5,$$

(Q_r = Mantelreibung der Wand über die Einbindetiefe, Q_s = Spitzendruck)

Die im Programm vorgegebenen, aus (6) entnommenen Werte für Q_r und Q_s können vom Benutzer verändert werden. Ist die erforderliche Sicherheit nicht gegeben, so wird Q_r durch E_{pv} ersetzt (falls $E_{pv} > Q_r$) und der Nachweis wiederholt.

Nachweis der Ankergurtung:

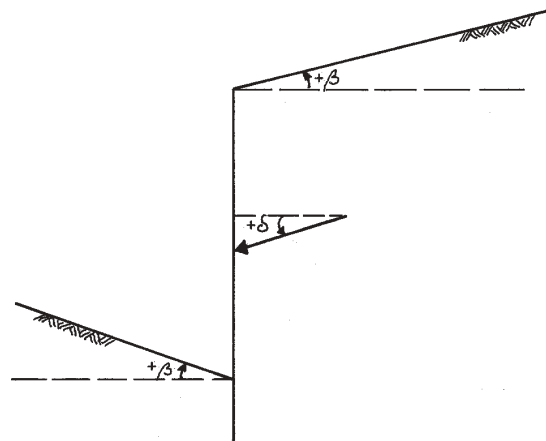
Der Nachweis des Ankergurts wird nach EAU, E30 (4) durchgeführt. Dabei wird als horizontale Belastung die vorhandene Ankerkraft angesetzt (veränderbar), als vertikale Belastung das Eigengewicht der Gurtung mit einem Zuschlag von 10% für Bolzen, Unterlagsplatten etc., anteilig Bodengewicht, Erddruck und Nutzlast über dem Gurt sowie die Vertikalkomponente der Ankerkraft.

Der Benutzer kann eigene Profile für den Gurt eingeben (wobei er jedoch auch das Moment aus vertikaler Belastung angeben muß) oder vom Programm zwei U-Profile mit liegendem Steg wählen lassen. Der Spannungsnachweis wird nach DIN 1050 geführt.

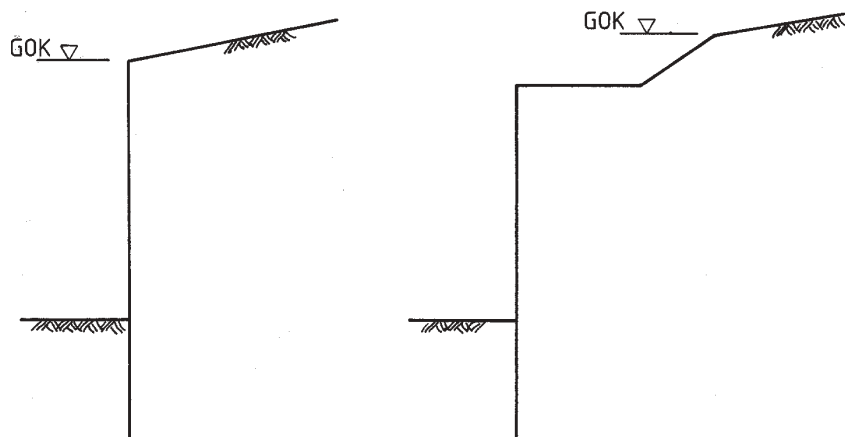
Literaturhinweise:

- (1) Spundwand-Handbuch Berechnung, Hoesch-Estel
- (2) Jenne, G.: Praktische Ermittlung des Erddrucklastbildes.
Die Bautechnik 6/1960
- (3) Buchholz, W.: Erdwiderstand vor Ankerplatten.
Jahrbuch der Hafentechnischen Gesellschaft e.V., Hamburg, 12. Band 1930
- (4) Empfehlungen des Arbeitsausschusses 'Ufereinfassungen' (EAU)
6. Auflage Berlin, 1980
- (5) Empfehlungen des Arbeitsausschusses 'Baugruben' (EAB)
Berlin, 1980
- (6) Weissenbach, A.: Baugrubensicherung.
Grundbau-Taschenbuch Bd. 2, 3. Aufl. 1982

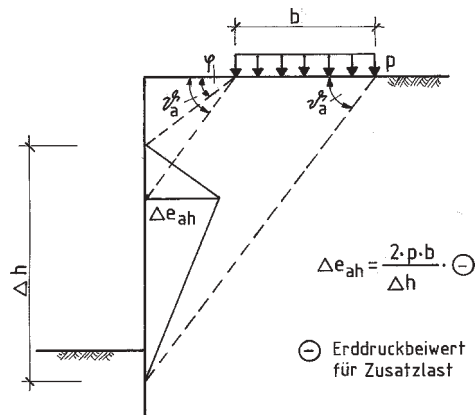
Vorzeichenregelung:



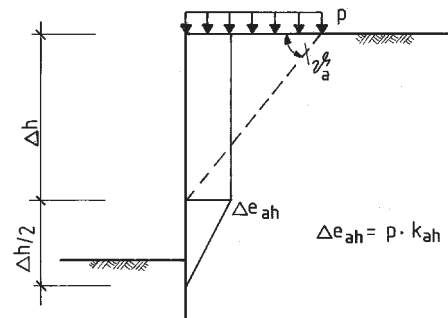
Definition des Geländeverlaufes:



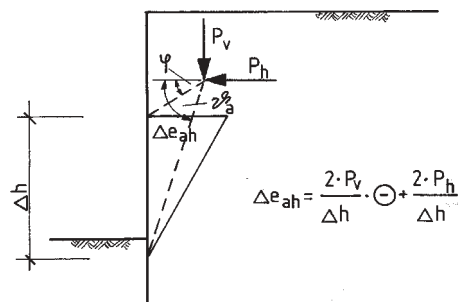
Erddruck aus Streifenlast:



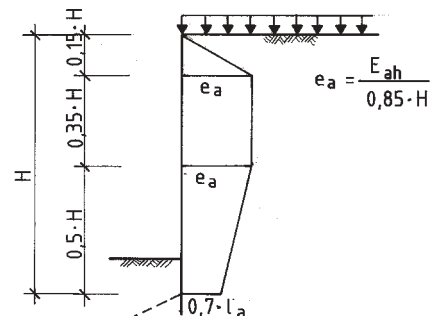
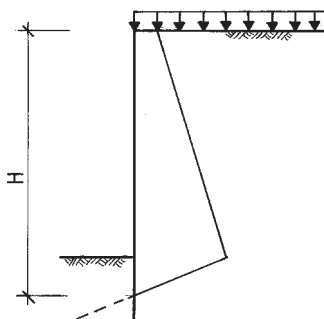
Erddruck aus Streifenlast 2:



Erddruck aus Linienlast:



Erddruckfigur nach Lehmann:

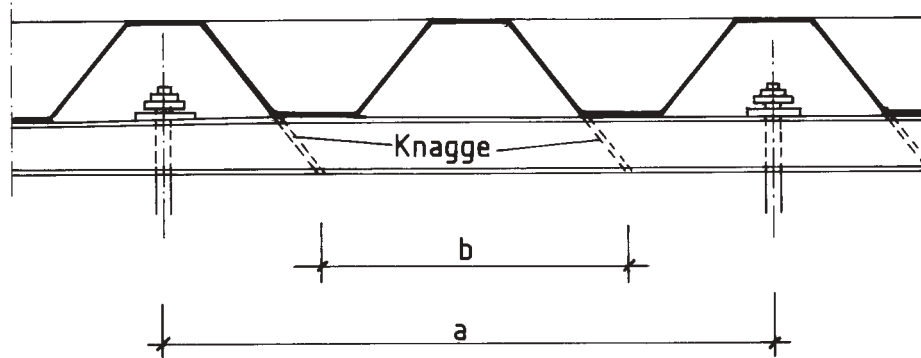


E_{ah} und Belastungsnulldruckpunkt aus der klassischen Erddruckfigur

Die Erddruckverteilung nach Lehmann wird nur für Erddruck aus Eigengewicht und durchgehende Flächenlast angesetzt. Alle anderen Belastungsarten, wie z.B. Differenzwasserdruck oder Linienlasten werden auf diese Figur in Ihrer "klassischen" Verteilung aufgesattelt.

Achtung! Erddruckumlagerung darf nur für verankerte Wände angesetzt werden!

Momentenverteilung für Ankergurtung:



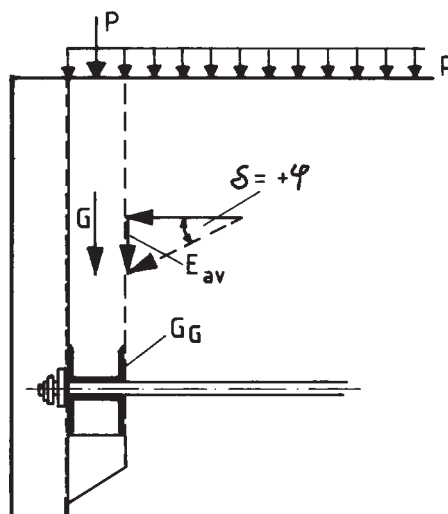
b = Stützweite für Vertikalbelastung der Gurtung

$$\max M_v = \frac{q \times b^2}{10} \quad q = \text{vertikale Belastung des Gurtes}$$

a = Stützweite für Horizontalbelastung der Gurtung

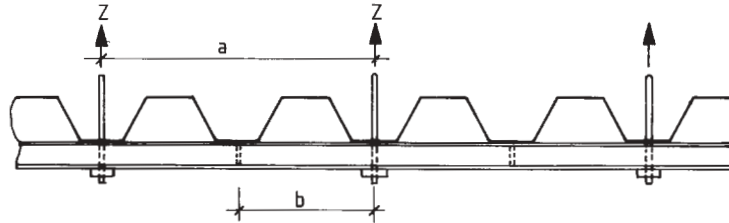
$$\max M_h = \frac{\text{zul. Ah} \times a^2}{10} \quad \text{Ah in [kN/m]}$$

Ermittlung von q:



Belastung der Gurtung aus vertikaler Ankerkraftkomponente:

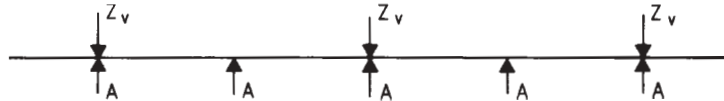
1. Ankerkopf mit Gurt und Wand verbunden



a = Ankerabstand

b = Gurtabstand

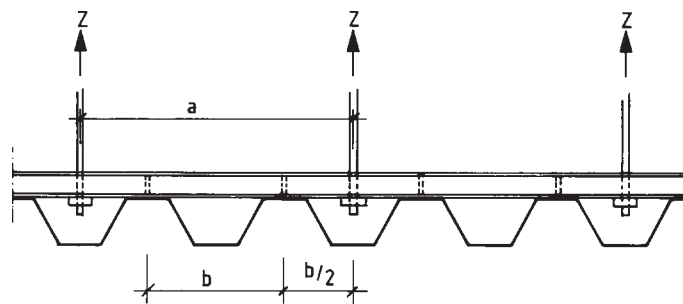
Statisches System:



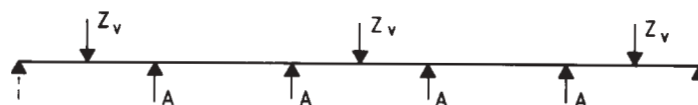
Da die Bohlenschlösser keine Längskräfte übertragen, erhalten alle Gurtstützen gleiche Auflagerkräfte.

- | | | | |
|-----|--------------|----------------------|---------------------------------|
| a.) | $a = b$ | $A = Z_v$ | $M = 0$ |
| b.) | $a = 2xb$ | $A = Z_v/2$ | $M = 0,125 \times Z_v \times b$ |
| c.) | $a \geq 3xb$ | $A = Z_v \times b/a$ | $M = 0,20 \times Z_v \times b$ |

2. Ankerkopf nur an Gurtung:



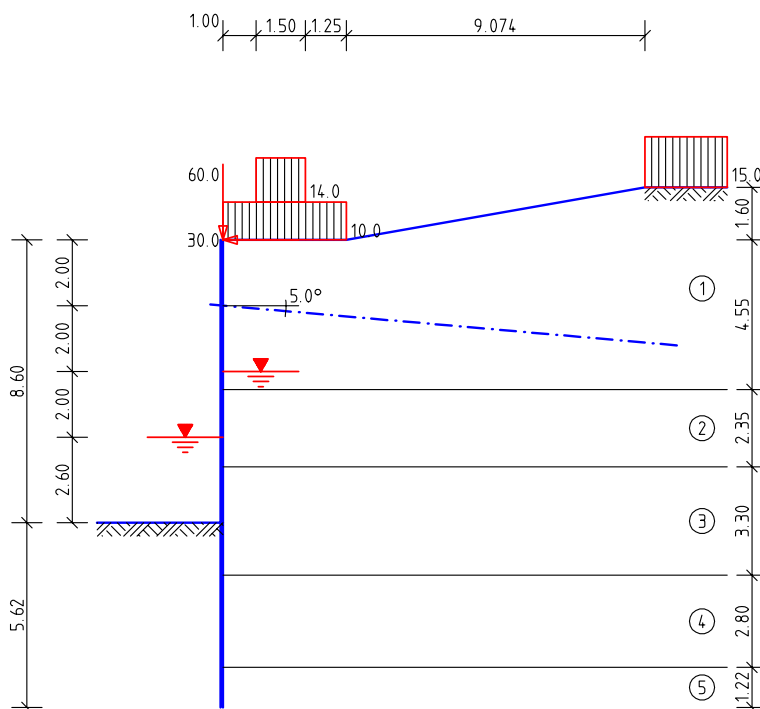
Statisches System:



- | | | | |
|-----|--------------|----------------------|-------------------------------|
| a.) | $a = b$ | $A = Z_v$ | $M = Z_v \times b/8$ |
| b.) | $a \geq 2xb$ | $A = Z_v \times b/a$ | $M = Z_v \times B \times 0.2$ |

POS . 7 BAUGRUBENSPUNDWAND ' 23 C '

S Y S T E M



Geländeoberkante	auf Kote H =	88.10 m
Geländeneigung	Beta 1 =	0.00 Grad
Berme: Länge L =	3.75 m	auf Kote H = 86.50 m
Böschungseigung:	Beta 2 =	10.00 Grad
Baugrubensohle:	auf Kote H =	77.90 m
Sohlneigung:	Beta 3 =	0.00 Grad
Grundwasser hangseitig:	auf Kote H =	82.50 m
Grundwasser baugrubenseitig	auf Kote H =	80.50 m

B O D E N K E N N W E R T E

Schicht Nr. (-)	Dicke (m)	Raumgewicht üb./unt.Wasser (kN/m ³)	Boden Phi (kN/m ³)	Boden Wandreibung (Altgrad)	wirks. Kohs. (kN/m ²)	
1	6.15	18.50	10.50	30.00	20.00 -20.00	0.00
2	2.35	16.00	6.00	17.50	11.67 -11.67	5.00
3	3.30	17.00	7.00	25.00	16.67 -16.67	0.00
4	2.80	18.00	10.00	34.99	23.33 -23.33	0.00
5	5.40	20.50	10.50	27.50	18.33 -18.33	15.00

EINZELLASTEN am Wandkopf:	vertikal	Pv =	60.0 kN/m
	horizontal	Ph =	30.0 kN/m

FLÄCHENLASTEN:

Geländeauflast (gleichm. verteilt)	p1 =	15.0 kN/m ²
Durchgehende Last auf Berme	p2 =	10.0 kN/m ²

Ersatzlast $p' = 14.0 \text{ kN/m}^2$, $a_p' = 1.00 \text{ m}$, $b_p' = 1.50 \text{ m}$

E R D D R U C K B E I W E R T E

	Schicht-Nr.	1	2	3	4	5
aktiv	Kah	0.279	0.473	0.346	0.225	0.311
passiv	Kph	0.00	0.00	3.91	9.14	4.70

Sicherheitsbeiwert f. Erdwiderstand E_p : $\text{Eta } p = 1.10$
 Zusätzliche Sicherheit für Kohs. bei E_p : $\text{Eta } c = 1.00$

B E L A S T U N G D E R W A N D

Belastungsfigur nach der klassischen Erddruckverteilung

Streifen Nr.	horiz. Dicke	Erddruck		Wasserdruck		vert. Erddruck	
		eh ob.	eh unt.	w ob.	w unt.	ev ob.	ev unt.
m		kN/m ²					
1	0.10	2.8	3.3	0.0	0.0	1.0	1.2
2	0.50	3.3	5.9	0.0	0.0	1.2	2.1
3	0.90	5.9	16.1	0.0	0.0	2.1	5.9
4	2.20	16.1	21.9	0.0	0.0	5.9	8.0
5	0.30	21.9	23.4	0.0	0.0	8.0	8.5
6	0.55	23.4	25.0	0.0	5.5	8.5	9.1
7	0.65	35.6	37.4	5.5	12.0	7.4	7.7
8	0.10	37.4	37.8	12.0	13.0	7.7	7.8
9	0.70	37.8	39.4	13.0	20.0	7.8	8.1
10	0.90	39.4	41.4	20.0	20.0	8.1	8.6
11	1.05	35.1	37.1	20.0	20.0	10.5	11.1
12	0.65	37.1	39.1	20.0	20.0	11.1	11.7
13	1.60	39.1	4.5	20.0	20.0	11.7	1.3
14	2.80	-64.9	-290.0	20.0	20.0	-28.0	-125.1
15	5.40	-193.3	-413.7	20.0	20.0	-64.0	-137.1

SCHNITTGRÖSSEN FÜR VERANKERTE WAND

Ankertiefe unter Wandkopf = 2.00 m

Bohlen Länge	Einsp. Grad	Anker Kraft	max.Feldmoment Schnitt	max.Einsp.Moment Wert	max.Einsp.Moment Schnitt	max.Einsp.Moment Wert
(m)	(%)	(kN/m)	(m)	(kNm/m)	(m)	(kNm/m)
11.76	0.00	229.38	6.84	465.97	2.00	-75.1
11.92	2.71	229.14	6.83	464.82	2.00	-75.1
12.14	7.46	228.09	6.82	459.77	2.00	-75.1
12.35	14.46	226.19	6.79	450.63	2.00	-75.1
12.57	23.94	223.40	6.74	437.37	2.00	-75.1
12.78	36.11	219.72	6.68	420.02	11.81	-94.4
13.00	51.23	215.12	6.61	398.63	11.84	-139.7
13.21	68.22	209.98	6.52	375.16	11.87	-190.3
13.42	87.11	204.34	6.43	349.92	11.90	-246.1
13.55	100.00	200.54	6.37	333.22	11.92	-283.7

B E M E S S U N G

Stahl-Spundbohlen in St Sp 37 , rechn.L = 13.55 m
 rechnerische Einbindetiefe : tg = u+t1 = 4.95 m
 Spundwand im Boden voll eingespannt

zulässige Stahlspannung zul.Sigma s = 160 N/mm²
 Bemessungsmoment : max.M = 333.2 kNm/m bei x = 6.37 m
 zugehörige Normalkraft zug.V = 134.3 kN/m

Gewählt:PROFIL Larssen 24 mit Wxv = 2500 cm³/m

b/d = 50 / 42 cm A = 223 cm²/m, Ix = 52500 cm⁴/m
 vorh. Sigma = 139 N/mm² < zul. Sigma

Erforderliche Bohlenlänge :
 erf.l = h+u+f*t1 = 8.60 + 1.60 + 1.20 * 3.35 = 14.22 m

ANKERNACHWEISE : Ankerneigung alpha = 5.00 Grad
 Horizontale Ankerlänge gewählt la = 22.00 m
 Ankerabstand a = 2.50 m
 Maßgebende Ankerkraft A = 501.35 kN
 Ankerplatte : Höhe h = 2.50 m Breite b = 2.00 m
 Kritischer Ankerabstand crit a = 6.10 m > vorh a
 NACHWEIS GEGEN AUFBRUCH DES VERANKERUNGSBODENS :
 Erddruck vor der Ankerplatte : Eah = 401.0 kN
 Erdwiderstand hinter der Ankerplatte: Eph = 3001.9 kN
 Vorhandene Sicherheit Eta = Eph/(Eah+A) = 3.33 > 1.5

STANDSICHERHEIT IN DER TIEFEN GLEITFUGE (nach KRANZ)

Maßgebende Ankerkraft : vorh. Zah = 200.54 kN/m
 Länge des Gleitkeiles : lk = 21.75 m
 Höhe der Ersatzwand : h2 = 6.83 m
 Wasserstand hinter der Ersatzwand H = 0.00 m
 Höhe des Gleitkeils an der Wand h1 = 11.92 m

Erddrücke:
 vordere Wand Eah = 347.15 kN/m Eav = 107.22 kN/m
 Ersatzwand E2h = 159.23 kN/m E2v = 52.28 kN/m

Kräfte auf die Bodenlamellen (kN/m) :

Lamelle	Gewicht	Zusatzlast	Kohäsion	Stützkraft
Nr. I	Gi	Delta Gi	Civ	Qih
1	710.10	0.00	0.00	178.57
2	1368.41	0.00	0.00	188.90
3	645.43	0.00	8.35	5.55

mögliche Ankerkraft: Za' = 588.19 kN/m
 Sicherheit: vorh.Eta p = Za'/vorh.Za = 2.93 > min = 1.5

NACHWEIS DER AUFNAHME DER VERTIKALKRÄFTE :

Vertikalkomponente des akt. Erddrucks $E_{av} = 129.4 \text{ kN/m}$
 Eigengewicht der Spundbohlen $G = 24.9 \text{ kN/m}$
 Vertikalkraft am Spundwandkopf $P_v = 60.0 \text{ kN/m}$
 Vertikalkomponente der Ankerkraft $A_v = 17.5 \text{ kN/m}$
 Vertikalkomponente der Ersatzkraft $C_v = 55.8 \text{ kN/m}$
 Vertikalkomponente des Erdwiderstands $E_{pv} = -305.9 \text{ kN/m}$
 Inneres Gleichgewicht :
 $E_{ta\ v} = (E_{av} + A_v + P_v + G + C_v) / E_{pv} = 0.94 < \min. E_{ta\ v} = 1.00$

NACHWEIS DER GURTUNG : Gurt vor der Wand

Knaggenabstand $b = 1.25 \text{ m}$ $\max M_v = 7.0 \text{ kNm}$
 $\max M_h = \text{zul. } A_h \cdot a^2 / 10 = 200.5 \cdot a^2 / 10 = 125.3 \text{ kNm}$
 gew: St-37 $\text{zul. } \sigma_s = 160 \text{ N/mm}^2$

2 Profile U 300 Stege waagrecht

$\text{vorh. } W_v = 136 \text{ cm}^3$, $\text{vorh. } \sigma_v = 52 < 0.8 \cdot 160 \text{ N/mm}^2$
 $\text{vorh. } W_h = 1071 \text{ cm}^3$, $\text{vorh. } \sigma_h = 117 < 0.8 \cdot 160 \text{ N/mm}^2$
 $\text{vorh. } \sigma_{hv} = 169 < 1.1 \cdot 160 = 176 \text{ N/mm}^2$