



ANLAGE 5.3-4

Bemessung der Lastverteilungsschicht

Bemessung der Geogitter nach EBGeo - Bemessung für Rechteckraster

1. Bauzustand: Einbau der Lastverteilungsschicht, geschätzte Zeit 1 Monat

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,6	1,6
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	0
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 1,4$	0
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit

inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 11200,0	J_y [kN/m] = 15200,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 11200,0	J_y [kN/m] = 15200,0

Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1400	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 1900
-----------------------	--	---------------------------------------

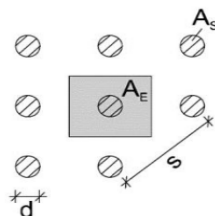
Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 33$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168

abgelesen: 0,7



$$\begin{aligned} s &= 2,26 \\ h/s &= 0,62 \\ d/s &= 0,18 \\ A_E &= 2,56 \\ A_S &= 0,13 \end{aligned}$$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 18,62$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 41,72$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 181,19$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 405,97$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,2	L_{wy} [m] = 1,2	
A_{Lx} [m] = 1,2	A_{Ly} [m] = 1,2	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 22,66	$F_{y,G,k}$ [kN] = 22,66	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 50,78	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 50,78	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	x ϵ [%] abgelesen		y ϵ [%] abgelesen	
inf. G	0,006	1,45	0,004	1,25
inf. G+Q	0,013	2,20	0,009	1,75

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		12,0		8,0
Belastungsgrad inf. G		17,5		14,2

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen l_w [m] = 1,246

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x$ [m] = 0,09	$\max f_y$ [m] = 0,09
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x$ [m] = 0,11	$\max f_y$ [m] = 0,10

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 162,40	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 190,00
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 246,40	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 266,00

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	γ [kN/m ³] = 19
Höhe der Einbindungsschicht	h [m] = 1,5
Erddruckbeiwert	k_{pgh} = 12,33
Passiver Erddruck	$E_{ph,k}$ = 263,55

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 5,60	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 19,51	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 162,40	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 190,00
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 246,40	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 266,00

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 219,24$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 256,50$
BS-T	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 194,88$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 228,00$
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 178,64$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 209,00$

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 345,24$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 370,50$
BS-T	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 304,08$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 326,80$
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 271,04$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 292,60$

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,37	1,37	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d} [\text{kN/m}] = 764,25$	$R_{y,B,d} [\text{kN/m}] = 1037,19$
BS-T	$R_{x,B,d} [\text{kN/m}] = 823,04$	$R_{y,B,d} [\text{kN/m}] = 1116,98$
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d} [\text{kN/m}] = 891,62$	$R_{y,B,d} [\text{kN/m}] = 1210,06$

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,452 erfüllt	0,357 erfüllt
BS-T	0,369 erfüllt	0,293 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,304 erfüllt	0,242 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	$A_E [\text{m}^2] = 2,56$	
Stützfläche	$A_S [\text{m}^2] = 0,13$	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,33$	Das bedeutet, 33 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k} [\text{kN}] = 68,10$	
$F_{s,G+Q,k} [\text{kN}] = 152,58$	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k} [\text{kN}] = 22,77$	
$F_{s,G+Q,k} [\text{kN}] = 51,02$	

Bemessung der Geogitter nach EBGeo - Bemessung für Rechteckraster

3. Endzustand, geschätzte Zeit 120 Jahre

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,6	1,6
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	23
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 7,8$	0,7
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit

inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 9520,0	J_y [kN/m] = 12920,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 9520,0	J_y [kN/m] = 12920,0

Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1400	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 1900
-----------------------	--	---------------------------------------

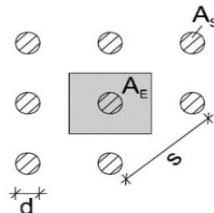
Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 26$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168

abgelesen: 0,53



$$\begin{aligned} s &= 2,26 \\ h/s &= 3,76 \\ d/s &= 0,18 \\ A_E &= 2,56 \\ A_S &= 0,13 \end{aligned}$$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 78,55$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 92,33$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 1497,53$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 1760,25$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,2	L_{wy} [m] = 1,2	
A_{Lx} [m] = 1,2	A_{Ly} [m] = 1,2	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 95,60	$F_{y,G,k}$ [kN] = 95,60	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 112,38	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 112,38	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	$x \in [\%]$ abgelesen	$y \in [\%]$ abgelesen
inf. G	0,028 3,80	0,021 3,15
inf. G+Q	0,033 4,40	0,025 3,55

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		27,0		21,5
Belastungsgrad inf. G		31,5		24,5

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen l_w [m] = 1,246

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x$ [m] = 0,15	$\max f_y$ [m] = 0,14
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x$ [m] = 0,16	$\max f_y$ [m] = 0,14

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 361,76	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 406,98
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 418,88	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 458,66

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	γ [kN/m ³] = 19
Höhe der Einbindungsschicht	h [m] = 1,5
Erddruckbeiwert	k_{pgh} = 12,33
Passiver Erddruck	$E_{ph,k}$ = 263,55

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 206,60	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 339,64	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 74,82	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 207,86	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 361,76	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 481,80
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 418,88	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 666,52

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 488,38	$E_{y,d}$ [kN/m] = 650,43
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 434,11	$E_{y,d}$ [kN/m] = 578,16
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 397,94	$E_{y,d}$ [kN/m] = 529,98

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 574,06	$E_{y,d}$ [kN/m] = 927,52
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 508,37	$E_{y,d}$ [kN/m] = 818,30
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 460,77	$E_{y,d}$ [kN/m] = 733,18

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,52	1,52	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 688,83	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 934,84
BS-T	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 741,82	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1006,75
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 803,63	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1090,65

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,833 erfüllt	0,992 erfüllt
BS-T	0,685 erfüllt	0,813 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,573 erfüllt	0,672 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	A_E [m²] = 2,56	
Stützfläche	A_S [m²] = 0,13	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,43$	Das bedeutet, 43 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 420,61	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 487,17	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 179,86	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 208,33	



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.400 kN/m, Verlegung längs zur Dammachse
Dammhöhe max. 8,5 m, Raster 1,6 m x 1,6 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht:	$\gamma_k = 19$ kN/m ³
- Reibungswinkel	$\rho'_k = 32,5$ °
- Produktspezifischer Verbundbeiwert	$\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung	$\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers	$h = 8,5$ m
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{x,B,d}$	$R_{x,B,d} = 688,83$ kN/m
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$	$29,83$ °

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge	$L_g = 5$
- Böschungsneigung	N 1 : 2
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags	

$d_{\text{Lastverteilungsschicht}} =$	1,4 m
$d_{\text{Feinplanum}} =$	0,45 m
$d_{\text{Schüttdicke}} =$	0,95 m
$h_{\text{üq,max}} = h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schüttdicke}})$	7,1 m

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schüttdicke}}) = 1,93 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel	$\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{x,\text{erf,q}} = R_{x,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha}$	113,72 kN/m

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_x = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 150,44 \text{ kN/m} \quad E_x \geq E_{x,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5 \text{ m}$$



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGeo

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.900 kN/m, Verlegung quer zur Dammachse
Dammhöhe max. 8,5 m, Raster 1,6 m x 1,6 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht: $\gamma_k = 19 \text{ kN/m}^3$
- Reibungswinkel $\rho'_k = 32,5^\circ$
- Produktspezifischer Verbundbeiwert $\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung $\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers $h = 8,5 \text{ m}$
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{y,B,d} = 934,84 \text{ kN/m}$
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$ $29,83^\circ$

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 11$
- Böschungsneigung $N 1 : 2$
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags

$$\begin{aligned} d_{\text{Lastverteilungsschicht}} &= 1,4 \text{ m} \\ d_{\text{Feinplanum}} &= 0,45 \text{ m} \\ d_{\text{Schütttdicke}} &= 0,95 \text{ m} \\ h_{\text{üq,max}} &= h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 7,1 \text{ m} \end{aligned}$$

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 5,93 \text{ m}$$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 1015,73 \text{ kN/m} \quad E_y \geq R_{y,B,d} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 11 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel $\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{y,\text{erf,q}} = R_{y,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha} = 154,33 \text{ kN/m}$
- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 5,5$
- $h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 2,27 \text{ m}$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 194,02 \text{ kN/m} \quad E_y \geq E_{y,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5,5 \text{ m}$$

ungefährer Abstand zwischen Lasteinwirkungsgrenze bis zum Dammfuß $10,6 \text{ m}$

Maßgebender Rückumschlag 11 m

Bemessung der Geogitter nach EBGeo - Bemessung für Rechteckraster

1. Bauzustand: Einbau der Lastverteilungsschicht, geschätzte Zeit 1 Monat

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,7	1,7
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	0
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 1,4$	0
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit

inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 12800,0	J_y [kN/m] = 16000,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 12800,0	J_y [kN/m] = 16000,0

Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1600	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 2000
-----------------------	--	---------------------------------------

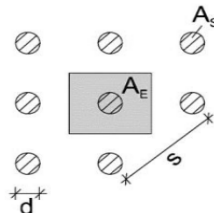
Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 33$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168

abgelesen: 0,74



$$\begin{aligned} s &= 2,40 \\ h/s &= 0,58 \\ d/s &= 0,17 \\ A_E &= 2,89 \\ A_S &= 0,13 \end{aligned}$$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 19,68$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 44,10$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 178,74$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 400,48$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,3	L_{wy} [m] = 1,3	
A_{Lx} [m] = 1,4	A_{Ly} [m] = 1,4	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 27,21	$F_{y,G,k}$ [kN] = 27,21	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 60,96	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 60,96	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	x ϵ [%] abgelesen		y ϵ [%] abgelesen	
inf. G	0,006	1,45	0,005	1,30
inf. G+Q	0,013	2,20	0,011	2,05

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		12		11,0
Belastungsgrad inf. G		17,5		16,5

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen l_w [m] = 1,346

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x$ [m] = 0,10	$\max f_y$ [m] = 0,09
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x$ [m] = 0,12	$\max f_y$ [m] = 0,12

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 185,60	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 208,00
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 281,60	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 328,00

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	γ [kN/m ³] = 19
Höhe der Einbindungsschicht	h [m] = 1,5
Erddruckbeiwert	k_{pgh} = 12,33
Passiver Erddruck	$E_{ph,k}$ = 263,55

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 5,60	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 19,51	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 185,60	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 208,00
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 281,60	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 328,00

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGeo (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 250,56$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 280,80$
BS-T	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 222,72$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 249,60$
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 204,16$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 228,80$

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 394,56$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 460,80$
BS-T	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 347,52$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 405,60$
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 309,76$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 360,80$

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGeo (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,37	1,37	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d} [\text{kN/m}] = 873,43$	$R_{y,B,d} [\text{kN/m}] = 1091,78$
BS-T	$R_{x,B,d} [\text{kN/m}] = 940,61$	$R_{y,B,d} [\text{kN/m}] = 1175,77$
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d} [\text{kN/m}] = 1019,00$	$R_{y,B,d} [\text{kN/m}] = 1273,75$

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,452 erfüllt	0,422 erfüllt
BS-T	0,369 erfüllt	0,345 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,304 erfüllt	0,283 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	$A_E [\text{m}^2] = 2,89$	
Stützfläche	$A_S [\text{m}^2] = 0,13$	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,29$	Das bedeutet, 29 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k} [\text{kN}] = 76,87$	
$F_{s,G+Q,k} [\text{kN}] = 172,24$	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k} [\text{kN}] = 22,46$	
$F_{s,G+Q,k} [\text{kN}] = 50,33$	

Bemessung der Geogitter nach EBGEO - Bemessung für Rechteckraster

3. Endzustand, geschätzte Zeit 120 Jahre

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,7	1,7
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	23
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 7,1$	0,7
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit

inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 10880,0	J_y [kN/m] = 13600,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 10880,0	J_y [kN/m] = 13600,0

Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1600	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 2000
-----------------------	--	---------------------------------------

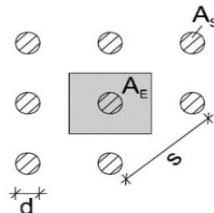
Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 28$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168

abgelesen: 0,58



$s = 2,40$
$h/s = 3,24$
$d/s = 0,17$
$A_E = 2,89$
$A_S = 0,13$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 78,24$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 94,48$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 1381,26$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 1667,95$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,3	L_{wy} [m] = 1,3	
A_{Lx} [m] = 1,4	A_{Ly} [m] = 1,4	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 108,14	$F_{y,G,k}$ [kN] = 108,14	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 130,59	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 130,59	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	$x \in [\%]$ abgelesen	$y \in [\%]$ abgelesen
inf. G	0,028 3,80	0,022 3,20
inf. G+Q	0,034 4,45	0,027 3,75

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		27,0		22,0
Belastungsgrad inf. G		32,0		26,3

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen

$$l_w \text{ [m]} = 1,346$$

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x \text{ [m]} = 0,16$	$\max f_y \text{ [m]} = 0,15$
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x \text{ [m]} = 0,17$	$\max f_y \text{ [m]} = 0,16$

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 413,44$	$E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 435,20$
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 484,16$	$E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 510,00$

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	$\gamma \text{ [kN/m}^3\text{]} = 19$
Höhe der Einbindungsschicht	$h \text{ [m]} = 1,5$
Erddruckbeiwert	$k_{pgh} = 12,33$
Passiver Erddruck	$E_{ph,k} = 263,55$

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 173,97$	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 296,06$	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 42,20$	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 164,28$	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 413,44$	$E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 477,40$
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 484,16$	$E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 674,28$

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 558,14	$E_{y,d}$ [kN/m] = 644,48
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 496,13	$E_{y,d}$ [kN/m] = 572,87
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 454,78	$E_{y,d}$ [kN/m] = 525,13

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 664,22	$E_{y,d}$ [kN/m] = 939,81
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 588,06	$E_{y,d}$ [kN/m] = 828,83
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 532,58	$E_{y,d}$ [kN/m] = 741,71

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,52	1,52	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 787,23	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 984,04
BS-T	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 847,79	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1059,74
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 918,44	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1148,05

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,844 erfüllt	0,955 erfüllt
BS-T	0,694 erfüllt	0,782 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,580 erfüllt	0,646 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	A_E [m²] = 2,89	
Stützfläche	A_S [m²] = 0,13	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,38$	Das bedeutet, 38 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 436,39	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 517,31	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 165,26	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 195,90	



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.600 kN/m, Verlegung längs zur Dammachse
Dammhöhe max. 7,8 m, Raster 1,7 m x 1,7 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht:	$\gamma_k = 19$ kN/m ³
- Reibungswinkel	$\rho'_k = 32,5$ °
- Produktspezifischer Verbundbeiwert	$\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung	$\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers	$h = 7,8$ m
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{x,B,d}$	$R_{x,B,d} = 787,23$ kN/m
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$	$29,83$ °

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge	$L_g = 5$
- Böschungsneigung	N 1 : 2
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags	

$d_{\text{Lastverteilungsschicht}} =$	1,4 m
$d_{\text{Feinplanum}} =$	0,45 m
$d_{\text{Schüttdicke}} =$	0,95 m
$h_{\text{üq,max}} = h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schüttdicke}})$	6,4 m

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schüttdicke}}) = 1,93 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel	$\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{x,\text{erf,q}} = R_{x,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha}$	129,96 kN/m

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_x = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 150,44 \text{ kN/m} \quad E_x \geq E_{x,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5 \text{ m}$$



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 2.000 kN/m, Verlegung quer zur Dammachse
Dammhöhe max. 7,8 m, Raster 1,7 m x 1,7 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht: $\gamma_k = 19 \text{ kN/m}^3$
- Reibungswinkel $\rho'_k = 32,5^\circ$
- Produktspezifischer Verbundbeiwert $\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung $\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers $h = 7,8 \text{ m}$
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{y,B,d} = 984,04 \text{ kN/m}$
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$ $29,83^\circ$

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 11$
- Böschungsneigung $N 1 : 2$
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags

$$\begin{aligned} d_{\text{Lastverteilungsschicht}} &= 1,4 \text{ m} \\ d_{\text{Feinplanum}} &= 0,45 \text{ m} \\ d_{\text{Schütttdicke}} &= 0,95 \text{ m} \\ h_{\text{üq,max}} &= h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 6,4 \text{ m} \end{aligned}$$

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 5,93 \text{ m}$$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 1015,73 \text{ kN/m} \quad E_y \geq R_{y,B,d} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 11 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel $\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{y,\text{erf,q}} = R_{y,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha} = 162,45 \text{ kN/m}$
- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 5,5$
- $h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 2,27 \text{ m}$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 194,02 \text{ kN/m} \quad E_y \geq E_{y,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5,5 \text{ m}$$

ungefährer Abstand zwischen Lasteinwirkungsgrenze bis zum Dammfuß $8,8 \text{ m}$

Maßgebender Rückumschlag 11 m

Bemessung der Geogitter nach EBGEO - Bemessung für Rechteckraster

1. Bauzustand: Einbau der Lastverteilungsschicht, geschätzte Zeit 1 Monat

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,8	1,8
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	0
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Dammes [m]	$h = 1,4$	0
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit		
inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 12000,0	J_y [kN/m] = 13600,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 12000,0	J_y [kN/m] = 13600,0

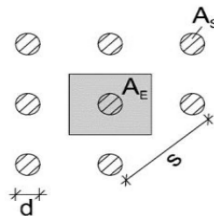
Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1500	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 1700
-----------------------	--	---------------------------------------

Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 33$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168
abgelesen: 0,77



$$\begin{aligned} s &= 2,55 \\ h/s &= 0,55 \\ d/s &= 0,16 \\ A_E &= 3,24 \\ A_S &= 0,13 \end{aligned}$$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 20,48$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 45,89$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 178,22$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 399,33$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,4	L_{wy} [m] = 1,4	
A_{Lx} [m] = 1,6	A_{Ly} [m] = 1,6	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 31,89	$F_{y,G,k}$ [kN] = 31,89	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 71,46	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 71,46	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	x ϵ [%] abgelesen	y ϵ [%] abgelesen
inf. G	0,007 1,50	0,007 1,50
inf. G+Q	0,017 2,70	0,015 2,50

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		12,5		12,5
Belastungsgrad inf. G		21,0		20,0

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen l_w [m] = 1,446

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x$ [m] = 0,11	$\max f_y$ [m] = 0,11
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x$ [m] = 0,15	$\max f_y$ [m] = 0,14

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 180,00	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 204,00
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 324,00	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 340,00

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	γ [kN/m ³] = 19
Höhe der Einbindungsschicht	h [m] = 1,5
Erddruckbeiwert	k_{pgh} = 12,33
Passiver Erddruck	$E_{ph,k}$ = 263,55

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 5,60	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 19,51	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 180,00	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 209,60
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 324,00	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 359,51

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 243,00	$E_{y,d}$ [kN/m] = 282,97
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 216,00	$E_{y,d}$ [kN/m] = 251,53
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 198,00	$E_{y,d}$ [kN/m] = 230,57

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 459,00	$E_{y,d}$ [kN/m] = 507,83
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 403,20	$E_{y,d}$ [kN/m] = 446,40
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 356,40	$E_{y,d}$ [kN/m] = 395,46

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,37	1,37	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 818,84	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 928,02
BS-T	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 881,83	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 999,40
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 955,31	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1082,69

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,561 erfüllt	0,547 erfüllt
BS-T	0,457 erfüllt	0,447 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,373 erfüllt	0,365 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	A_E [m²] = 3,24	
Stützfläche	A_S [m²] = 0,13	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,26$	Das bedeutet, 26 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 86,18	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 193,10	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 22,40	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 50,18	

Bemessung der Geogitter nach EBGEO - Bemessung für Rechteckraster

3. Endzustand, geschätzte Zeit 120 Jahre

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,8	1,8
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	23
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 5,7$	0,7
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit

inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 10200,0	J_y [kN/m] = 11560,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 10200,0	J_y [kN/m] = 11560,0

Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1500	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 1700
-----------------------	--	---------------------------------------

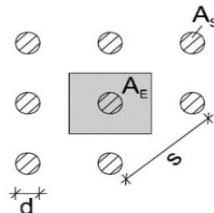
Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 31$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168

abgelesen: 0,6



$s = 2,55$
$h/s = 2,51$
$d/s = 0,16$
$A_E = 3,24$
$A_S = 0,13$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 64,98$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 83,58$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 1181,90$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 1520,21$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,4	L_{wy} [m] = 1,4	
A_{Lx} [m] = 1,6	A_{Ly} [m] = 1,6	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 101,18	$F_{y,G,k}$ [kN] = 101,18	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 130,15	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 130,15	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	x ϵ [%] abgelesen		y ϵ [%] abgelesen	
inf. G	0,028	3,80	0,025	3,55
inf. G+Q	0,036	4,60	0,032	4,20

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		27,0		24,5
Belastungsgrad inf. G		33,5		29,5

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen

$$l_w \text{ [m]} = 1,446$$

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x \text{ [m]} = 0,17$	$\max f_y \text{ [m]} = 0,17$
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x \text{ [m]} = 0,19$	$\max f_y \text{ [m]} = 0,18$

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 387,60$	$E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 410,38$
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 469,20$	$E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 485,52$

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	$\gamma \text{ [kN/m}^3\text{]} = 19$
Höhe der Einbindungsschicht	$h \text{ [m]} = 1,5$
Erddruckbeiwert	$k_{pgh} = 12,33$
Passiver Erddruck	$E_{ph,k} = 263,55$

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 117,13$	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 217,30$	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 0,00$	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 85,52$	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 387,60$	$E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 410,38$
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 469,20$	$E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 571,04$

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 523,26	$E_{y,d}$ [kN/m] = 554,01
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 465,12	$E_{y,d}$ [kN/m] = 492,46
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 426,36	$E_{y,d}$ [kN/m] = 451,42

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 645,66	$E_{y,d}$ [kN/m] = 795,00
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 571,20	$E_{y,d}$ [kN/m] = 701,32
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 516,12	$E_{y,d}$ [kN/m] = 628,15

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,52	1,52	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 738,03	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 836,44
BS-T	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 794,80	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 900,78
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 861,04	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 975,84

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,875 erfüllt	0,950 erfüllt
BS-T	0,719 erfüllt	0,779 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,599 erfüllt	0,644 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	A_E [m²] = 3,24	
Stützfläche	A_S [m²] = 0,13	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,35$	Das bedeutet, 35 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 403,06	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 503,50	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 139,97	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 174,85	



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.500 kN/m, Verlegung längs zur Dammachse
Dammhöhe max. 6,4 m, Raster 1,8 m x 1,8 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht:	$\gamma_k = 19$ kN/m ³
- Reibungswinkel	$\rho'_k = 32,5$ °
- Produktspezifischer Verbundbeiwert	$\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung	$\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers	$h = 6,4$ m
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{x,B,d}$	$R_{x,B,d} = 738,03$ kN/m
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$	$29,83$ °

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge	$L_g = 5$
- Böschungsneigung	N 1 : 2
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags	

$d_{\text{Lastverteilungsschicht}} =$	1,4 m
$d_{\text{Feinplanum}} =$	0,45 m
$d_{\text{Schütttdicke}} =$	0,95 m
$h_{\text{üq,max}} = h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}})$	5 m

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 1,93 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel	$\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{x,\text{erf,q}} = R_{x,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha}$	121,84 kN/m

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_x = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 150,44 \text{ kN/m} \quad E_x \geq E_{x,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5 \text{ m}$$



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.700 kN/m, Verlegung längs zur Dammachse
Dammhöhe max. 6,4 m, Raster 1,8 m x 1,8 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht: $\gamma_k = 19 \text{ kN/m}^3$
- Reibungswinkel $\rho'_k = 32,5^\circ$
- Produktspezifischer Verbundbeiwert $\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung $\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers $h = 6,4 \text{ m}$
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{y,B,d} = 836,44 \text{ kN/m}$
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$ $29,83^\circ$

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 10,5$
- Böschungsneigung $N 1 : 2$
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags

$$\begin{aligned} d_{\text{Lastverteilungsschicht}} &= 1,4 \text{ m} \\ d_{\text{Feinplanum}} &= 0,45 \text{ m} \\ d_{\text{Schütttdicke}} &= 0,95 \text{ m} \\ h_{\text{üq,max}} &= h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 5 \text{ m} \end{aligned}$$

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 5,60 \text{ m}$$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 915,088 \text{ kN/m} \quad E_y \geq R_{y,B,d} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 10,5 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel $\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{y,\text{erf,q}} = R_{y,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha} = 138,09 \text{ kN/m}$
- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 5$
- $h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 1,93 \text{ m}$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 150,44 \text{ kN/m} \quad E_y \geq E_{y,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5 \text{ m}$$

ungefährer Abstand zwischen Lasteinwirkungsgrenze bis zum Dammfuß $8,6 \text{ m}$

Maßgebender Rückumschlag $10,5 \text{ m}$

Bemessung der Geogitter nach EBGeo - Bemessung für Rechteckraster

1. Bauzustand: Einbau der Lastverteilungsschicht, geschätzte Zeit 1 Monat

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,7	1,7
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m^3]	$\gamma_k = 19$	0
Reibungswinkel [$^\circ$]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Dammes [m]	$h = 1,4$	0
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit		
inf. G [kN/m]	$J_x [\text{kN/m}] = 11200,0$	$J_y [\text{kN/m}] = 14400,0$
inf. G+Q [kN/m]	$J_x [\text{kN/m}] = 11200,0$	$J_y [\text{kN/m}] = 14400,0$

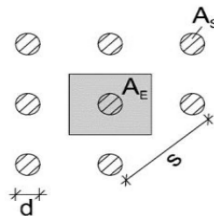
Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x} [\text{kN/m}] = 1400$	quer: $F_{k0,y} [\text{kN/m}] = 1800$
-----------------------	--	---------------------------------------

Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m^2]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m^2]	$p_{Q,k} = 33$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168
abgelesen: 0,76



$$\begin{aligned} s &= 2,40 \\ h/s &= 0,58 \\ d/s &= 0,17 \\ A_E &= 2,89 \\ A_S &= 0,13 \end{aligned}$$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m^2])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 20,22$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 45,30$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m^2])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 167,03$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 374,26$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,3	L_{wy} [m] = 1,3	
A_{Lx} [m] = 1,4	A_{Ly} [m] = 1,4	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 27,94	$F_{y,G,k}$ [kN] = 27,94	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 62,61	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 62,61	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	$x \text{ } \epsilon \text{ } [\%]$ abgelesen	$y \text{ } \epsilon \text{ } [\%]$ abgelesen
inf. G	0,007 1,50	0,005 1,30
inf. G+Q	0,016 2,65	0,012 2,15

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		12,5		11,0
Belastungsgrad inf. G		20,4		17,2

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen l_w [m] = 1,346

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x$ [m] = 0,10	$\max f_y$ [m] = 0,09
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x$ [m] = 0,13	$\max f_y$ [m] = 0,12

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 168,00	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 187,20
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 296,80	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 309,60

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	γ [kN/m ³] = 19
Höhe der Einbindungsschicht	h [m] = 1,5
Erddruckbeiwert	k_{pgh} = 12,33
Passiver Erddruck	$E_{ph,k}$ = 263,55

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 5,60	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 19,51	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 168,00	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 192,80
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 296,80	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 329,11

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 226,80	$E_{y,d}$ [kN/m] = 260,29
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 201,60	$E_{y,d}$ [kN/m] = 231,37
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 184,80	$E_{y,d}$ [kN/m] = 212,09

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 420,00	$E_{y,d}$ [kN/m] = 464,75
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 369,04	$E_{y,d}$ [kN/m] = 408,56
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 326,48	$E_{y,d}$ [kN/m] = 362,02

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,37	1,37	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 764,25	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 982,61
BS-T	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 823,04	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1058,19
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 891,62	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1146,37

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,550 erfüllt	0,473 erfüllt
BS-T	0,448 erfüllt	0,386 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,366 erfüllt	0,316 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	A_E [m²] = 2,89	
Stützfläche	A_S [m²] = 0,13	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,27$	Das bedeutet, 27 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 76,87	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 172,24	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 20,99	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 47,03	

Bemessung der Geogitter nach EBGEO - Bemessung für Rechteckraster

3. Endzustand, geschätzte Zeit 120 Jahre

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,7	1,7
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	23
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 6,7$	0,7
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit

inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 9520,0	J_y [kN/m] = 12240,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 9520,0	J_y [kN/m] = 12240,0

Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1400	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 1800
-----------------------	--	---------------------------------------

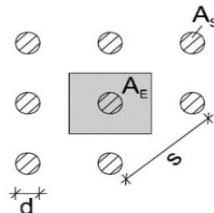
Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 28$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168

abgelesen: 0,57



$s = 2,40$
$h/s = 3,08$
$d/s = 0,17$
$A_E = 2,89$
$A_S = 0,13$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 72,56$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 88,52$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 1331,44$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 1624,30$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,3	L_{wy} [m] = 1,3	
A_{Lx} [m] = 1,4	A_{Ly} [m] = 1,4	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 100,29	$F_{y,G,k}$ [kN] = 100,29	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 122,35	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 122,35	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	x ϵ [%] abgelesen		y ϵ [%] abgelesen	
inf. G	0,030	4,05	0,023	3,30
inf. G+Q	0,036	4,60	0,028	3,80

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		28,5		22,3
Belastungsgrad inf. G		33,5		27,0

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen

$$l_w \text{ [m]} = 1,346$$

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x \text{ [m]} = 0,17$	$\max f_y \text{ [m]} = 0,15$
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x \text{ [m]} = 0,18$	$\max f_y \text{ [m]} = 0,16$

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 385,56$	$E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 403,92$
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 437,92$	$E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 465,12$

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	$\gamma \text{ [kN/m}^3\text{]} = 19$
Höhe der Einbindungsschicht	$h \text{ [m]} = 1,5$
Erddruckbeiwert	$k_{pgh} = 12,33$
Passiver Erddruck	$E_{ph,k} = 263,55$

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 156,59$	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 272,41$	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 24,81$	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 140,63$	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 385,56$	$E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 428,73$
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 437,92$	$E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 605,75$

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 520,51	$E_{y,d}$ [kN/m] = 578,78
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 462,67	$E_{y,d}$ [kN/m] = 514,48
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 424,12	$E_{y,d}$ [kN/m] = 471,60

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 599,05	$E_{y,d}$ [kN/m] = 844,32
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 530,74	$E_{y,d}$ [kN/m] = 744,61
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 481,71	$E_{y,d}$ [kN/m] = 666,33

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,52	1,52	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 688,83	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 885,64
BS-T	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 741,82	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 953,76
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 803,63	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1033,24

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,870 erfüllt	0,953 erfüllt
BS-T	0,715 erfüllt	0,781 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,599 erfüllt	0,645 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	A_E [m²] = 2,89	
Stützfläche	A_S [m²] = 0,13	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,38$	Das bedeutet, 38 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 414,43	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 495,35	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 158,89	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 189,92	



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.400 kN/m, Verlegung längs zur Dammachse
Dammhöhe max. 7,4 m, Raster 1,7 m x 1,7 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht:	$\gamma_k = 19$ kN/m ³
- Reibungswinkel	$\rho'_k = 32,5^\circ$
- Produktspezifischer Verbundbeiwert	$\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung	$\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers	$h = 7,4$ m
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{x,B,d}$	$R_{x,B,d} = 688,83$ kN/m
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$	$29,83^\circ$

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge	$L_g = 5$
- Böschungsneigung	N 1 : 2
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags	

$d_{\text{Lastverteilungsschicht}} =$	1,4 m
$d_{\text{Feinplanum}} =$	0,45 m
$d_{\text{Schüttdicke}} =$	0,95 m
$h_{\text{üq,max}} = h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schüttdicke}})$	6 m

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schüttdicke}}) = 1,93 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel	$\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{x,\text{erf,q}} = R_{x,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha}$	113,72 kN/m

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_x = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 150,44 \text{ kN/m} \quad E_x \geq E_{x,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5 \text{ m}$$



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.800 kN/m, Verlegung längs zur Dammachse
Dammhöhe max. 7,4 m, Raster 1,7 m x 1,7 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht: $\gamma_k = 19 \text{ kN/m}^3$
- Reibungswinkel $\rho'_k = 32,5^\circ$
- Produktspezifischer Verbundbeiwert $\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung $\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers $h = 7,4 \text{ m}$
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{y,B,d} = 885,64 \text{ kN/m}$
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$ $29,83^\circ$

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 10,5$
- Böschungsneigung $N 1 : 2$
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags

$$\begin{aligned} d_{\text{Lastverteilungsschicht}} &= 1,4 \text{ m} \\ d_{\text{Feinplanum}} &= 0,45 \text{ m} \\ d_{\text{Schütttdicke}} &= 0,95 \text{ m} \\ h_{\text{üq,max}} &= h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 6 \text{ m} \end{aligned}$$

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 5,60 \text{ m}$$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 915,088 \text{ kN/m} \quad E_y \geq R_{y,B,d} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 10,5 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel $\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{y,\text{erf,q}} = R_{y,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha} = 146,21 \text{ kN/m}$
- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 5$
- $h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 1,93 \text{ m}$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 150,44 \text{ kN/m} \quad E_y \geq E_{y,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5 \text{ m}$$

ungefährer Abstand zwischen Lasteinwirkungsgrenze bis zum Dammfuß $8,8 \text{ m}$

Maßgebender Rückumschlag $10,5 \text{ m}$

Bemessung der Geogitter nach EBGeo - Bemessung für Rechteckraster

1. Bauzustand: Einbau der Lastverteilungsschicht, geschätzte Zeit 1 Monat

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,6	1,6
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m^3]	$\gamma_k = 19$	0
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 1,4$	0
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit		
inf. G [kN/m]	$J_x [\text{kN/m}] = 11200,0$	$J_y [\text{kN/m}] = 15200,0$
inf. G+Q [kN/m]	$J_x [\text{kN/m}] = 11200,0$	$J_y [\text{kN/m}] = 15200,0$

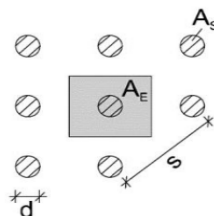
Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x} [\text{kN/m}] = 1400$	quer: $F_{k0,y} [\text{kN/m}] = 1900$
-----------------------	--	---------------------------------------

Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m^2]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m^2]	$p_{Q,k} = 33$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168
abgelesen: 0,73



$$\begin{aligned} s &= 2,26 \\ h/s &= 0,62 \\ d/s &= 0,18 \\ A_E &= 2,56 \\ A_S &= 0,13 \end{aligned}$$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m^2])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 19,42$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 43,51$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m^2])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 165,73$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 371,33$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,2	L_{wy} [m] = 1,2	
A_{Lx} [m] = 1,2	A_{Ly} [m] = 1,2	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 23,63	$F_{y,G,k}$ [kN] = 23,63	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 52,96	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 52,96	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	x ϵ [%] abgelesen		y ϵ [%] abgelesen	
inf. G	0,006	1,45	0,004	1,25
inf. G+Q	0,013	2,20	0,010	2,00

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		12,0		8,0
Belastungsgrad inf. G		17,5		16,0

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen l_w [m] = 1,246

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x$ [m] = 0,09	$\max f_y$ [m] = 0,09
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x$ [m] = 0,11	$\max f_y$ [m] = 0,11

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 162,40	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 190,00
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 246,40	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 304,00

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	γ [kN/m ³] = 19
Höhe der Einbindungsschicht	h [m] = 1,5
Erddruckbeiwert	k_{pgh} = 12,33
Passiver Erddruck	$E_{ph,k}$ = 263,55

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 5,60	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 19,51	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 0,00	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 162,40	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 195,60
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 246,40	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 323,51

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 219,24$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 264,07$
BS-T	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 194,88$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 234,73$
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 178,64$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 215,17$

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 345,24$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 455,93$
BS-T	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 304,08$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 401,00$
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d} [\text{kN/m}] = 271,04$	$E_{y,d} [\text{kN/m}] = 355,86$

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,37	1,37	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d} [\text{kN/m}] = 764,25$	$R_{y,B,d} [\text{kN/m}] = 1037,19$
BS-T	$R_{x,B,d} [\text{kN/m}] = 823,04$	$R_{y,B,d} [\text{kN/m}] = 1116,98$
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d} [\text{kN/m}] = 891,62$	$R_{y,B,d} [\text{kN/m}] = 1210,06$

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,452 erfüllt	0,440 erfüllt
BS-T	0,369 erfüllt	0,359 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,304 erfüllt	0,294 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	$A_E [\text{m}^2] = 2,56$	
Stützfläche	$A_S [\text{m}^2] = 0,13$	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,31$	Das bedeutet, 31 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k} [\text{kN}] = 68,10$	
$F_{s,G+Q,k} [\text{kN}] = 152,58$	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k} [\text{kN}] = 20,83$	
$F_{s,G+Q,k} [\text{kN}] = 46,66$	

Bemessung der Geogitter nach EBGEO - Bemessung für Rechteckraster

3. Endzustand, geschätzte Zeit 120 Jahre

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,6	1,6
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	

	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	23
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 7,7$	0,7
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit

inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 9520,0	J_y [kN/m] = 12920,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 9520,0	J_y [kN/m] = 12920,0

Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1400	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 1900
-----------------------	--	---------------------------------------

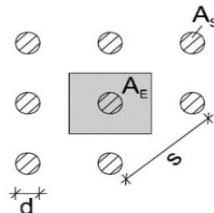
Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 26$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168

abgelesen: 0,55



$$\begin{aligned} s &= 2,26 \\ h/s &= 3,71 \\ d/s &= 0,18 \\ A_E &= 2,56 \\ A_S &= 0,13 \end{aligned}$$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 80,47$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 94,77$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 1421,64$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 1674,30$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,2	L_{wy} [m] = 1,2	
A_{Lx} [m] = 1,2	A_{Ly} [m] = 1,2	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 97,94	$F_{y,G,k}$ [kN] = 97,94	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 115,34	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 115,34	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	x ϵ [%] abgelesen		y ϵ [%] abgelesen	
inf. G	0,029	3,95	0,021	3,15
inf. G+Q	0,034	4,45	0,025	3,55

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		27,8		21,5
Belastungsgrad inf. G		32,0		24,5

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen l_w [m] = 1,246

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x$ [m] = 0,15	$\max f_y$ [m] = 0,14
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x$ [m] = 0,16	$\max f_y$ [m] = 0,14

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 376,04	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 406,98
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 423,64	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 458,66

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	γ [kN/m ³] = 19
Höhe der Einbindungsschicht	h [m] = 1,5
Erddruckbeiwert	k_{pgh} = 12,33
Passiver Erddruck	$E_{ph,k}$ = 263,55

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 201,77	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 333,24	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 69,99	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 201,47	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 376,04	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 476,97
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 423,64	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 660,13

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 507,65	$E_{y,d}$ [kN/m] = 643,91
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 451,25	$E_{y,d}$ [kN/m] = 572,36
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 413,64	$E_{y,d}$ [kN/m] = 524,67

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 579,05	$E_{y,d}$ [kN/m] = 918,64
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 513,13	$E_{y,d}$ [kN/m] = 810,47
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 466,00	$E_{y,d}$ [kN/m] = 726,14

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,52	1,52	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 688,83	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 934,84
BS-T	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 741,82	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1006,75
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 803,63	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1090,65

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,841 erfüllt	0,983 erfüllt
BS-T	0,692 erfüllt	0,805 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,580 erfüllt	0,666 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	A_E [m²] = 2,56	
Stützfläche	A_S [m²] = 0,13	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,41$	Das bedeutet, 41 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 415,74	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 482,30	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 170,66	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 197,99	



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.400 kN/m, Verlegung längs zur Dammachse
Dammhöhe max. 8,4 m, Raster 1,6 m x 1,6 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht:	$\gamma_k = 19$ kN/m ³
- Reibungswinkel	$\rho'_k = 32,5$ °
- Produktspezifischer Verbundbeiwert	$\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung	$\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers	$h = 8,4$ m
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{x,B,d}$	$R_{x,B,d} = 688,83$ kN/m
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$	$29,83$ °

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge	$L_g = 5$
- Böschungsneigung	N 1 : 2
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags	

$d_{\text{Lastverteilungsschicht}} =$	1,4 m
$d_{\text{Feinplanum}} =$	0,45 m
$d_{\text{Schütttdicke}} =$	0,95 m
$h_{\text{üq,max}} = h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}})$	7 m

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 1,93 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel	$\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{x,\text{erf,q}} = R_{x,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha}$	113,72 kN/m

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_x = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 150,44 \text{ kN/m} \quad E_x \geq E_{x,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5 \text{ m}$$



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.900 kN/m, Verlegung längs zur Dammachse
Dammhöhe max. 8,4 m, Raster 1,6 m x 1,6 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht: $\gamma_k = 19 \text{ kN/m}^3$
- Reibungswinkel $\rho'_k = 32,5^\circ$
- Produktspezifischer Verbundbeiwert $\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung $\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers $h = 8,4 \text{ m}$
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{y,B,d} = 934,84 \text{ kN/m}$
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$ $29,83^\circ$

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 11$
- Böschungsneigung $N 1 : 2$
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags

$$\begin{aligned} d_{\text{Lastverteilungsschicht}} &= 1,4 \text{ m} \\ d_{\text{Feinplanum}} &= 0,45 \text{ m} \\ d_{\text{Schütttdicke}} &= 0,95 \text{ m} \\ h_{\text{üq,max}} &= h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 7 \text{ m} \end{aligned}$$

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 5,93 \text{ m}$$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 1015,73 \text{ kN/m} \quad E_y \geq R_{y,B,d} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 11 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel $\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{y,\text{erf,q}} = R_{y,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha} = 154,33 \text{ kN/m}$
- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 5$
- $h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 1,93 \text{ m}$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 150,44 \text{ kN/m} \quad E_y \geq E_{y,\text{erf,q}} \quad \text{nicht erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5 \text{ m}$$

ungefährer Abstand zwischen Lasteinwirkungsgrenze bis zum Dammfuß $9,8 \text{ m}$

Maßgebender Rückumschlag 11 m

Bemessung der Geogitter nach EBGeo - Bemessung für Rechteckraster

1. Bauzustand: Einbau der Lastverteilungsschicht, geschätzte Zeit 1 Monat

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,5	1,5
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	
	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	0
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 1,4$	0
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit

inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 11200,0	J_y [kN/m] = 17600,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 11200,0	J_y [kN/m] = 17600,0

Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1400	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 2200
-----------------------	--	---------------------------------------

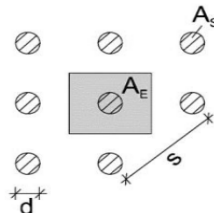
Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 33$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168

abgelesen: 0,69



$$\begin{aligned} s &= 2,12 \\ h/s &= 0,66 \\ d/s &= 0,19 \\ A_E &= 2,25 \\ A_S &= 0,13 \end{aligned}$$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 18,35$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 41,12$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 166,00$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 371,94$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,1	L_{wy} [m] = 1,1	
A_{Lx} [m] = 1,1	A_{Ly} [m] = 1,1	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 19,50	$F_{y,G,k}$ [kN] = 19,50	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 43,68	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 43,68	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	x ϵ [%] abgelesen		y ϵ [%] abgelesen	
inf. G	0,005	1,30	0,003	0,90
inf. G+Q	0,011	2,05	0,007	1,50

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		11		7,0
Belastungsgrad inf. G		16,5		12,5

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen

$$l_w \text{ [m]} = 1,146$$

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x \text{ [m]} = 0,08$	$\max f_y \text{ [m]} = 0,07$
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x \text{ [m]} = 0,10$	$\max f_y \text{ [m]} = 0,09$

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 145,60$	$E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 158,40$
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 229,60$	$E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 264,00$

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	$\gamma \text{ [kN/m}^3\text{]} = 19$
Höhe der Einbindungsschicht	$h \text{ [m]} = 1,5$
Erddruckbeiwert	$k_{pgh} = 12,33$
Passiver Erddruck	$E_{ph,k} = 263,55$

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 5,60$	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 19,51$	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 0,00$	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 0,00$	$\Delta E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 0,00$	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x} \text{ [kN/m]} = 145,60$	$E_{G,k,y} \text{ [kN/m]} = 158,40$
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x} \text{ [kN/m]} = 229,60$	$E_{G+Q,k,y} \text{ [kN/m]} = 264,00$

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 196,56	$E_{y,d}$ [kN/m] = 213,84
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 174,72	$E_{y,d}$ [kN/m] = 190,08
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 160,16	$E_{y,d}$ [kN/m] = 174,24

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 322,56	$E_{y,d}$ [kN/m] = 372,24
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 283,92	$E_{y,d}$ [kN/m] = 327,36
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 252,56	$E_{y,d}$ [kN/m] = 290,40

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,37	1,37	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 764,25	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1200,96
BS-T	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 823,04	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1293,34
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 891,62	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1401,12

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,422 erfüllt	0,310 erfüllt
BS-T	0,345 erfüllt	0,253 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,283 erfüllt	0,207 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	A_E [m²] = 2,25	
Stützfläche	A_S [m²] = 0,13	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,35$	Das bedeutet, 35 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 59,85	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 134,10	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 20,86	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 46,74	



Bemessung der Geogitter nach EBGEO - Bemessung für Rechteckraster

3. Endzustand, geschätzte Zeit 120 Jahre

1. Eingangsdaten

<u>Pfähle</u>	s_x [m]	s_y [m]
Achsabstand der Pfähle	1,5	1,5
	d [m]	d_{ers} [m]
Pfahldurchmesser, rund	0,4	0,4
	b_{ers} [m]	
rechteckig	0,354	
	<u>Erddamm</u>	<u>Oberbau</u>
Wichte [kN/m ³]	$\gamma_k = 19$	23
Reibungswinkel [°]	$\rho'_k = 32,5$	
Höhe des Damms [m]	$h = 9,3$	0,7
	$z = 0,15$	
Erddruckbeiwert [-]	$k_{agh} = 0,301$	nach DIN 4085

Geokunststoffbewehrung

Dehnsteifigkeit

inf. G [kN/m]	J_x [kN/m] = 9520,0	J_y [kN/m] = 14960,0
inf. G+Q [kN/m]	J_x [kN/m] = 9520,0	J_y [kN/m] = 14960,0

Kurzzeitzugfestigkeit	längs: $F_{k0,x}$ [kN/m] = 1400	quer: $F_{k0,y}$ [kN/m] = 2200
-----------------------	--	---------------------------------------

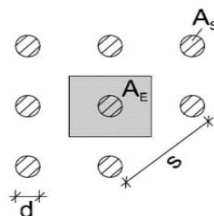
Einwirkung auf GOK

Eigengewicht (zusätzlich zum Dammmaterial) [kN/m ²]	$p_{G,k} = 0$
Verkehrslast (Lastausbreitung über Tiefe berücksichtigt) [kN/m ²]	$p_{Q,k} = 23$

2. Verteilung der vertikalen Spannungen

Grafik 9.8, S. 168

abgelesen: 0,51



$$\begin{aligned} s &= 2,12 \\ h/s &= 4,71 \\ d/s &= 0,19 \\ A_E &= 2,25 \\ A_S &= 0,13 \end{aligned}$$

2.1 Vertikale Spannungen auf den Untergrund (σ_{z0} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{z0,G,k} = 90,12$
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{z0,G+Q,k} = 101,85$

2.2 Vertikale Spannungen auf den Säulen (σ_{zs} [kN/m²])

Spannungen inf. G	$\sigma_{zs,G,k} = 1640,38$	Gl. 9.11/9.12 S. 171/172
Spannungen inf. G+Q	$\sigma_{zs,G+Q,k} = 1853,90$	

3. Ermittlung der Membranzugkräfte

3.1 Resultierende Einwirkung F_k

L_{wx} [m] = 1,1	L_{wy} [m] = 1,1	
A_{Lx} [m] = 1,1	A_{Ly} [m] = 1,1	Gl. 9.18/9.19 S. 173
$F_{x,G,k}$ [kN] = 95,72	$F_{y,G,k}$ [kN] = 95,72	Gl. 9.20-9.23, S173/174
$F_{x,G+Q,k}$ [kN] = 108,18	$F_{y,G+Q,k}$ [kN] = 108,18	

3.2 Dehnung

zu Diagramm S. 174

HINWEIS: ohne Bettung

$(F_k/b_{ers})/J_k =$	x ϵ [%] abgelesen		y ϵ [%] abgelesen	
inf. G	0,028	3,80	0,018	2,75
inf. G+Q	0,032	4,20	0,020	3,10

3.3 Belastungsgrad der Kurzzeitzugfestigkeit

abgelesen aus Isochronen des Produktes für das jeweilig ϵ

	Bereich x	[%]	Bereich y	[%]
Belastungsgrad inf. G		27,0		19,0
Belastungsgrad inf. G		29,5		21,0

3.4 Maximaler Durchhang des Geogitters

Lichte Weite zwischen den Stützen

$$l_w \text{ [m]} = 1,146$$

maximaler Durchhang inf. G	$\max f_x$ [m] = 0,14	$\max f_y$ [m] = 0,12
maximaler Durchhang inf. G+Q	$\max f_x$ [m] = 0,14	$\max f_y$ [m] = 0,12

3.5 Membrankräfte

Zugkraft inf. G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 361,76	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 411,40
Zugkraft inf. G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 399,84	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 463,76

3.6 Passiver Erddruck aus Einbindung

HINWEIS: Beachte Kriterien für den Ansatz auf S. 178 (EBGEO)

Wichte der Einbindungsschicht	γ [kN/m ³] = 19
Höhe der Einbindungsschicht	h [m] = 1,5
Erddruckbeiwert	k_{pgh} = 12,33
Passiver Erddruck	$E_{ph,k}$ = 263,55

3.7 Spreizkräfte im Böschungsbereich ohne Abminderung

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 285,95	Gl.9.28 S.178
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 442,47	Gl.9.29 S.178

3.8 Spreizkräfte im Böschungsbereich mit Abminderung

HINWEIS: Bedingungen zur Abminderung beachten (S.178)

Spreizkraft inf. G	$\Delta E_{G,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G,k,y}$ [kN/m] = 154,17	Gl.9.30 S.179
Spreizkraft inf. G+Q	$\Delta E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 0,00	$\Delta E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 310,69	Gl.9.31 S.179

3.9 nötige Gesamtzugkraft des Geogitters

Gesamtzugkraft inf.G	$E_{G,k,x}$ [kN/m] = 361,76	$E_{G,k,y}$ [kN/m] = 565,57
Gesamtzugkraft inf.G+Q	$E_{G+Q,k,x}$ [kN/m] = 399,84	$E_{G+Q,k,y}$ [kN/m] = 774,45

4. Nachweisführung $E_d < R_d$

Bemessung nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054:2010-2012 sowie EBGE0 (2010)

Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen (DIN 1054:2010-2012)			
GEO2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
ständige γ_G	1,35	1,20	1,10
veränderliche γ_Q	1,50	1,30	1,10

4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung in der Geokunststoffbewehrung

Ständige Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 488,38	$E_{y,d}$ [kN/m] = 763,52
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 434,11	$E_{y,d}$ [kN/m] = 678,69
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 397,94	$E_{y,d}$ [kN/m] = 622,13

Ständige und veränderliche Lasten:

BS-P	$E_{x,d}$ [kN/m] = 545,50	$E_{y,d}$ [kN/m] = 1076,84
BS-T	$E_{x,d}$ [kN/m] = 483,62	$E_{y,d}$ [kN/m] = 950,23
BS-A bzw. BS-E	$E_{x,d}$ [kN/m] = 439,82	$E_{y,d}$ [kN/m] = 851,90

Widerstände

Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände (DIN 1054:2010-2012)			
GEO 2	BS-P	BS-T	BS-A bzw. BS-E
Material γ_M	1,40	1,30	1,20
Anpassungsfaktor nach EBGE0 (2010)			
Anpassungsfaktor	1,10		

Abminderungsfaktoren für Geokunststoffe				Produktspezifische Werte variieren mit jeweiligem Geokunststoff
	x-Richtung	y-Richtung		
A1	1,52	1,52	Kriechen	
A2	1,02	1,02	Einbaubeschädigung	
A3	1,00	1,00	Überlappung	
A4	1,03	1,03	Chemische Beständigkeit	
A5	1,00	1,00	Dynamische Einwirkungen	

4.2 Bemessungswerte der Widerstände

BS-P	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 688,83	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1082,45
BS-T	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 741,82	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1165,71
BS-A bzw. BS-E	$R_{x,B,d}$ [kN/m] = 803,63	$R_{y,B,d}$ [kN/m] = 1262,85

4.3 Nachweis für ständige und veränderliche Lasten mit Auslastungsgraden

	$\mu_x = E_d/R_d < 1$	$\mu_y = E_d/R_d < 1$
BS-P	0,792 erfüllt	0,995 erfüllt
BS-T	0,652 erfüllt	0,815 erfüllt
BS-A bzw. BS-E	0,547 erfüllt	0,675 erfüllt

Säulenkräfte in Kopfebene

Einflussfläche	A_E [m²] = 2,25	
Stützfläche	A_S [m²] = 0,13	
Lastumlagerungsfaktor	$E_L = 0,46$	Das bedeutet, 46 % des Dammgewichtes werden direkt in die Pfähle eingeleitet

$$E_L = \frac{\sigma_{zs,G,k} * A_S}{\gamma_k * h * A_E}$$

ohne Bodenbettung

sichere Seite	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 433,80	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 485,55	

mit Bodenbettung

Exakt	
$F_{s,G,k}$ [kN] = 198,32	
$F_{s,G+Q,k}$ [kN] = 221,98	



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 1.400 kN/m, Verlegung längs zur Dammachse
Dammhöhe max. 10,0 m, Raster 1,5 m x 1,5 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht:	$\gamma_k = 19$ kN/m ³
- Reibungswinkel	$\rho'_k = 32,5$ °
- Produktspezifischer Verbundbeiwert	$\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung	$\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers	$h = 10$ m
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{x,B,d}$	$R_{x,B,d} = 688,83$ kN/m
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$	$29,83$ °

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge	$L_g = 5$
- Böschungsneigung	N 1 : 2
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags	

$d_{\text{Lastverteilungsschicht}} =$	1,4 m
$d_{\text{Feinplanum}} =$	0,45 m
$d_{\text{Schütttdicke}} =$	0,95 m
$h_{\text{üq,max}} = h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}})$	8,6 m

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schütttdicke}}) = 1,93 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel	$\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{x,\text{erf,q}} = R_{x,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha}$	113,72 kN/m

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_x = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 150,44 \text{ kN/m} \quad E_x \geq E_{x,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5 \text{ m}$$



Bemessung der Verankerungslänge nach EBGE0

Geogitter, Kurzzugfestigkeit 2.200 kN/m, Verlegung quer zur Dammachse
Dammhöhe max. 10,0 m, Raster 1,5 m x 1,5 m

Vorbemerkung:

Nachfolgende Bemessung der Verankerungslänge in Ergänzung zur Bemessung der Geokunststoffe

1. Eingangswerte

- Wichte des Dammmaterials im Bereich der Lastverteilungsschicht: $\gamma_k = 19 \text{ kN/m}^3$
- Reibungswinkel $\rho'_k = 32,5^\circ$
- Produktspezifischer Verbundbeiwert $\mu = 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert für Reibung $\gamma_\delta = 1,4$

2. Nachweis am Regelquerschnitt

2.1 Spezifische Eingangswerte

- Höhe des Erdkörpers $h = 10 \text{ m}$
- Bemessungswert des Widerstandes $R_{y,B,d} = 1082,45 \text{ kN/m}$
- Reibungswinkel Geogitter/Boden $\delta = \arctan(\mu \cdot \tan \rho')$ $29,83^\circ$

2.2 Überprüfung der gewählten Verankerungslänge

- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 11,5$
- Böschungsneigung $N 1 : 2$
- maximale Überdeckung auf Höhe des Rückumschlags

$$\begin{aligned} d_{\text{Lastverteilungsschicht}} &= 1,4 \text{ m} \\ d_{\text{Feinplanum}} &= 0,45 \text{ m} \\ d_{\text{Schüttdicke}} &= 0,95 \text{ m} \\ h_{\text{üq,max}} &= h - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schüttdicke}}) = 8,6 \text{ m} \end{aligned}$$

- tatsächlich größte Überdeckungshöhe (in Abhängigkeit der gewählten Verankerungslänge):

$$h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schüttdicke}}) = 6,27 \text{ m}$$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 1121,55 \text{ kN/m} \quad E_y \geq R_{y,B,d} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 11,5 \text{ m}$$

2.3 Abminderung der Ankerkraft durch Umlenkung nach Euler

- Umlenkwinkel $\alpha = 180 = 3,1416$
- $E_{y,\text{erf,q}} = R_{y,B,d} \cdot e^{-\tan(\delta) \cdot \alpha} = 178,70 \text{ kN/m}$
- Gewählte Verankerungslänge $L_g = 5,5$
- $h_{\text{üq}} = L_g / 1,5 - (d_{\text{Feinplanum}} + d_{\text{Schüttdicke}}) = 2,27 \text{ m}$

Mit der gewählten Verankerungslänge ergibt sich eine Verankerungskraft von:

$$E_y = (L_g \cdot h_{\text{üq}} \cdot \gamma) \cdot \tan(\delta) / \gamma_\delta \cdot 2 = 194,02 \text{ kN/m} \quad E_y \geq E_{y,\text{erf,q}} \quad \text{erfüllt}$$

Erbrachter Nachweis einer ausreichenden Verankerung bei einem gewählten Rückumschlaglänge von

$$L_g = 5,5 \text{ m}$$

ungefährer Abstand zwischen Lasteinwirkungsgrenze bis zum Dammfuß $11,4 \text{ m}$

Maßgebender Rückumschlag $11,5 \text{ m}$