

Grundbaulabor Trier | Wolkerstraße 4 | 54296 Trier

Ether Energy Développement SAS
Frau Florence Posschelle
2, place de Rio de Janeiro
F-75008 Paris

DIPL.-ING. E. LEHMANN | Ingenieur GmbH

Wolkerstraße 4 | D-54296 Trier
T. +49 651 93881 - 0 | F. +49 651 93881 - 81
info@gbl-trier.de | www.gbl-trier.de

Sparkasse Trier | BIC: TRISDE55XXX
IBAN: DE32 5855 0130 0000 9079 15
UST-ID: DE 149 880 707 | St.-Nr. 42/662/0042/1

BIL | BIC: BILLULL
IBAN: LU06 0022 1607 0162 0000
UST-ID: LU 125 149 15 | Lux TVA 1983 3400 129

Bericht Nr.: 71501-4
Ref.: Me/Do
Datum: 18. April 2024

Geschäftsführer
E. Lehmann, Dipl.-Ing. (TU) | B. Mertes, Dipl.-Ing. (Univ.)
Amtsgericht Wittlich, HRB-Nr. 2202 | Gerichtsstand Trier

Geotechnische Stellungnahme: Beurteilung der großräumigen Böschungsstandsicherheit im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung

Projekt:	Neubau einer PV-Anlage auf dem nördlichen Teil der Deponie in Folkendange
----------	------------------------------------------------------------------------------

Auftraggeber:	Ether Energy Développement SAS
---------------	--------------------------------

Beauftragung vom:	Februar 2024
-------------------	--------------

B. Mertes, Dipl.-Ing. (Univ.)

B. Dost, M.Sc. (Univ.)

1 Vorbemerkung

Die Ether Energy Developpement SAS plant auf dem nördlichen Teil der Inertstoffdeponie in Folkendange den Neubau einer PV-Anlage. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung vorzunehmen, welche vom Ingenieurbüro B.E.S.T., Sennigerberg bearbeitet wird. Dabei ist u. a. zu prüfen, welchen Einfluss der Aufbau der PV-Anlage auf die Standsicherheit der Böschungen des Deponiekörpers hat.

Das Grundbaulabor Trier (GBL-T) wurde im Februar 2024 über das Ingenieurbüro B.E.S.T. im Namen des Bauherrn mit einer Beurteilung der Auswirkungen einer Freiflächen PV-Anlage auf die Standsicherheit der Böschungen des Deponiekörpers beauftragt. Im Rahmen unserer Beauftragung sollen die Effekte der zusätzlich auf die Böschungsfläche wirkenden Lasten aus der geplanten Anlagen mittels exemplarischer Geländebruchberechnungen nach DIN EN 1997 (EC 7) für den maßgebenden Geländeschnitte geführt werden.

Zum Zeitpunkt dieser Berechnungen sind die Auffüllungsarbeiten am Deponiekörper noch im Gange, sodass die genaue Zusammensetzung der oberen Zone der Auffüllungen noch nicht bekannt ist. Unter Berücksichtigung der an Inertstoffdeponien naturgemäß wechselnden Zusammensetzung der zum Einbau anfallenden Materialien werden in den nachfolgend beschriebenen Berechnungen konservativ gewählte Bodenkennwerte für eine ungünstige Materialzusammensetzung angenommen. Unter Beachtung der mit einer Neigung von max. 1 : 5 relativ flach gewählten Böschungsneigung ist diese Vorgehensweise unter geotechnischen Gesichtspunkten legitim.

Zur Beurteilung der Böschungsstandsicherheit standen uns die folgenden Informationen zur Verfügung:

- Plan: General Layout, Nr. SP9054-DR-03-SP-FOLKENDANGE-Layout North-D01, erhalten per E-Mail am 20. Februar 2024 von EtherEnergy, Planstand: 03-2023
- Pläne und statische Berechnungen des zum Einsatz kommenden Ständersystems vom Unternehmen SiguelSol, erhalten per E-Mail am 20. Februar 2024 von EtherEnergy,
- Geländeschnitt Nr. 161049-43-044001, erhalten per E-Mail am 01. März 2024 von B.E.S.T. Ingenieurs-Conseils, Planstand: 26.02.2024
- Geotechnische Berichte Nr. 70540-1 bis 70540-3 unseres Büros betreffend die Standsicherheit der Deponie Folkendange.

2 Methodik der Standsicherheitsanalysen und Lastannahmen

Standsicherheitsanalysen:

Nach Durchsicht der Planunterlagen ist als maßgebender Schnitt zur Beurteilung der Böschungsstandsicherheit der Geländeschnitt PT 3 zur detaillierten rechnerischen Untersuchung gewählt worden. In Schnitt PT 3 liegt mit einem Neigungsverhältnis von 1 : 5 die stärkste Neigung der zukünftigen Böschungsfläche vor.

Das in Schnitt PT 3 angegebene Relief der aktuellen Geländeoberkante (GOK) sowie der Verlauf der zukünftigen GOK wurden zur Berechnung übernommen und darauf basierend zwei Bodenschichten definiert. Als untere Bodenschicht wurden vereinfacht die mehr als 5 Jahre alten Altauffüllungen der ersten Auffüllphase des Deponiekörpers und der anstehende Untergrund zusammengefasst. Die neueren Auffüllungen bilden in den Berechnungen die obere Bodenschicht, welche als neue Auflast dem weitestgehend unter seiner Eigenlast bereits konsolidierten Deponiekörper aufgelagert werden. Die für beide Bodenschichten angesetzten charakteristischen Bodenkenngrößen sind in folgender Tabelle angegeben.

Tabelle 1: Charakteristische Bodenkenngrößen

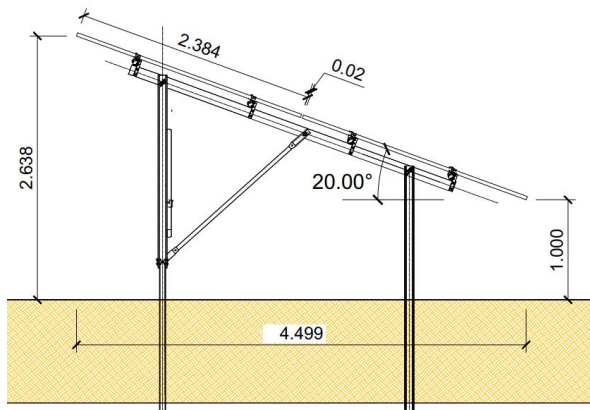
Schicht	ϕ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]
Bindiger Boden, mind. steife Konsistenz	20	5	20,0	10,0

Die in obiger Tabelle genannten Bodenkennwerte bilden bindige Bodenmassen von lediglich steifer Konsistenz ab, womit eine bzgl. der Stabilität eher ungünstigste Bodenart als Mittelwert für den gesamten Deponiekörper angesetzt wird. Da im Deponiekörper in großem Anteil auch gemischtkörnige und grobkörnige Erdmassen mit deutlich höherem Reibungswinkel enthalten sind, kann im Allgemeinen für die Realität mit einer höheren Standsicherheit der Deponie als hier berechnet ausgegangen werden.

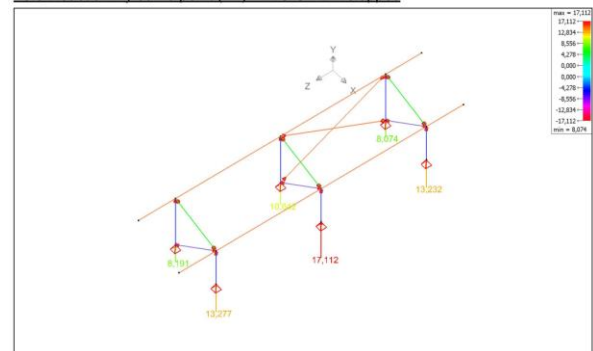
Ungeachtet der in Berechnungen zu treffenden Vereinfachungen einer homogenen Bodenschicht mit konservativen Kennwerten, kann von unserer Seite nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass im Deponiekörper punktuell und kleinräumig auch Bodenmassen schlechterer Konsistenz eingebaut wurden, als hier angenommen. Sofern es sich dabei um kleine Volumen handelt, wären diese für die hier betrachtete Gesamtstabilität nicht von maßgebender Bedeutung. Dem Deponiebetreiber muss dies bzgl. außerdem unterstellt werden, dass in seinem eigenen Interesse keine weichen und breiigen Böden in größerem Umfang eingebaut worden sind. Die von uns bzgl. der charakteristischen Bodenkenngrößen getroffenen Berechnungsannahmen können somit als auf der sicheren Seite liegend angesehen werden.

Lastannahmen für die PV-Anlage:

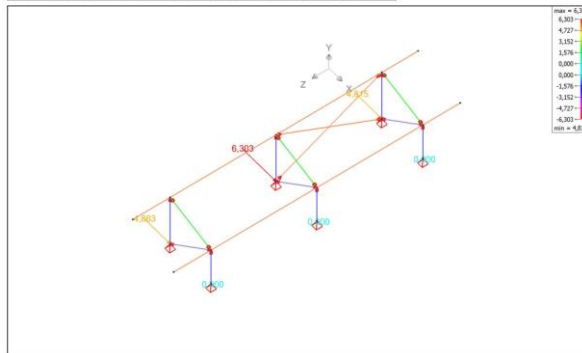
Zur Abschätzung der aus der PV-Anlage auf den Untergrund einwirkenden Belastungen hat uns das Unternehmen EtherEnergy per E-Mail eine beispielhafte statische Berechnung für eine vergleichbare Anlage zur Verfügung gestellt. Aus diesem Dokument ergeben sich die in folgenden Abbildungen sowie der Tabelle ersichtlichen maximalen Punktlasten an den einzelnen Ständern der Anlage. In diesen Lastangaben ist der ungünstigste Lastfall in Kombination der ständigen Lasten (Eigengewicht etc.) und veränderlichen Lasten (Windlasten etc.) berücksichtigt:



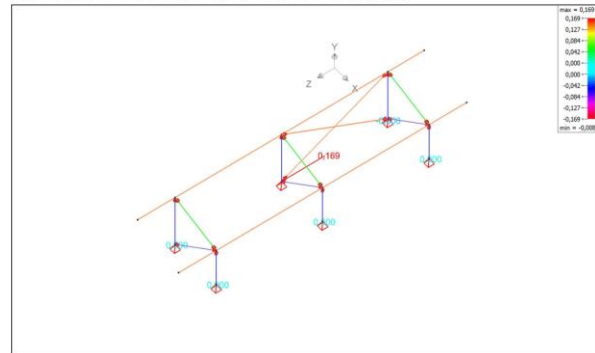
18.5 Réaction Ry sur le point (kN) - ELU CF Enveloppes



18.4 Réaction Rx sur le point (kN) - ELU CF Enveloppes



18.6 Réaction Rz sur le point (kN) - ELU CF Enveloppes



19.5 Réaction sur point - ELU CF Enveloppes

point numéro	réaction Fx (kN) (min)	réaction Fx (kN) (max)	réaction Fy (kN) (min)	réaction Fy (kN) (max)	réaction Fz (kN) (min)	réaction Fz (kN) (max)	réaction Mx (kNm) (min)	réaction Mx (kNm) (max)	réaction My (kNm) (min)	réaction My (kNm) (max)	réaction Mz (kNm) (min)	réaction Mz (kNm) (max)
1	-4,154	4,815	-1,306	8,074	-0,169	-0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	-5,438	6,303	-1,873	10,642	0,008	0,169	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	-4,196	4,863	-1,413	8,191	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	-10,305	13,232	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	0,000	0,000	-13,443	17,112	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,000	0,000	-10,357	13,277	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Für die von uns auftragsgemäß mittels Geländebruchberechnungen zu untersuchenden Auswirkungen der PV-Anlage auf die großräumige Gesamtstabilität der Böschung des Deponiekörpers ist es zutreffend die oben beschriebenen Einzellasten der Punktfundamente in eine auf die Böschung wirkende Flächenlast zu überführen.

Als Lotrechte Belastung ist in der oben genannten statischen Berechnung für den am höchsten belasteten Ständer eine Einzellast von $F_y = 17,112 \text{ kN}$ angegeben. Auf der sicheren Seite liegend gehen wir davon aus, dass diese Höchstlast an jedem Ständer des Systems angreift. Unter Berücksichtigung einer Breite der einzelnen Reihe von 4,50 m und einem Achsabstand der Ständer von je 4,0 m in Längsrichtung, ergibt sich auf einer Grundfläche von $4,5 \text{ m} \cdot 4,0 \text{ m} = 18,0 \text{ m}^2$ eine Belastung von 2 Ständern je $17,112 \text{ kN}$. Aus dieser Annahme errechnet sich eine mittlere Flächenlast von $(2 \cdot 17,112 \text{ kN}) / 18,0 \text{ m}^2 = 1,90 \text{ kN/m}^2$. Vereinfachend kann somit eine vertikale Flächenlast von rd. $2,0 \text{ kN/m}^2$ für die jeweils 4,5 m breiten Reihen der PV-Anlage angesetzt werden.

Der zwischen den Anlagenreihen verbleibende Freiraum von rd. 4,0 m Breite ist in der Regel unbelastet. Da zumindest zeitweise mit einer geringen Belastung des Zwischenraums durch Fahrzeuge o. ä. für Pflege- und Wartungsarbeiten unterstellt werden muss, haben wir auch für den Zwischenraum eine Flächenlast von $2,0 \text{ kN/m}^2$ berücksichtigt.

Als Lastansatz für die vertikalen Belastungen infolge der PV-Anlage inkl. Belastungen bei Pflege- bzw. Wartungsarbeiten wird in unserer Geländebruchberechnung eine Belastung des gesamten Baufelds mit einer vollflächigen charakteristischen Flächenlast in einer Größenordnung von $f_{y,k} = 2,0 \text{ kN/m}^2$ berücksichtigt.

Horizontale Lasten treten gemäß der vorgelegten statischen Berechnung konstruktionsbedingt nur jeweils an den bergseitigen Ständern der Anlagenreihen auf. Als ungünstige Horizontallast berücksichtigen wir auch hier den in der Statik angegebenen Maximalwert von $F_x = 6,303 \text{ kN}$ an jedem bergseitigen Ständer der einzelnen Reihen. Unter Berücksichtigung eines Ständerabstands in Längsrichtung von 4,0 m errechnet sich eine mittlere Linienlast von $6,303 \text{ kN} / 4,0 \text{ m} = 1,575 \text{ kN/m}$. Auf der sicheren Seite liegend wird die Horizontallast in unseren Berechnungen in hangabtreibender Richtung angesetzt, sodass sie als ungünstig Belastung auf den potenziellen Gleitkörper wirken.

Als Lastansatz für die horizontale Belastungen infolge der ständigen und veränderlichen Lasten der PV-Anlage wird in unserer Geländebruchberechnung an jeder bergseitigen Ständerreihe eine charakteristische Linienlast in einer Größenordnung von $f_{x,k} = 2,0 \text{ kN/m}^2$ als hangabtreibende Kraft berücksichtigt.

Die oben beschriebenen konservativen Lastansätze sind bzgl. der auftragsgemäß von uns nachzuweisenden großräumigen Gesamtstandsicherheit als auf der sicheren Seite liegend zu bewerten.

3 Ergebnisse der Berechnungen

Mittels Geländebruchberechnungen wurde zunächst der rechnerische **Ausnutzungsgrad des Deponiekörpers ohne die Auflast der PV-Anlage** rechnerisch bestimmt. In einer zweiten Berechnung wurde dann der **Ausnutzungsgrad des Deponiekörpers mit Auflast aus der geplanten PV-Anlage** berechnet. Die Berechnungen wurden mit einer kreisförmigen Gleitlinie unter mehrfacher Variation der Lage des Kreismittelpunkts sowie des Gleitkreisradius durchgeführt und sind als **Anlage 2** beigelegt.

In Anlage 2.1 ist die Berechnung für die noch unbelastete Böschung des noch fertigzustellenden Deponiekörpers enthalten. In der ausführlichen Geländebruchberechnung nach EC 7 bzw. EN 1997-1 errechnet sich mit dem maßgebenden Gleitkreis für die unbelastete Böschung ein **Ausnutzungsgrad von $\eta_{\text{vorh.}} = 0,58$** . Der Ausnutzungsgrad liegt damit deutlich unter dem nach Norm zulässigen Wert von $\eta_{\text{zul.}} \leq 1,0$.

In Anlage 2.2 ist die Berechnung unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 ausführlich beschriebenen Lastannahmen für die geplante PV-Anlage enthalten. Nach EC 7 errechnet sich mit dem maßgebenden Gleitkreis für die mit einer PV-Anlage belasteten Böschung ein **Ausnutzungsgrad von $\eta_{\text{vorh.}} = 0,61$** . Der Ausnutzungsgrad liegt damit auch unter Berücksichtigung der ständigen und veränderlichen Bauwerkslasten deutlich unter dem nach Norm zulässigen Wert von $\eta_{\text{zul.}} \leq 1,0$. Die Standsicherheit ist damit nachgewiesen.

Nach den vorliegenden Berechnungsergebnissen ist die generelle Standsicherheit der geplanten Böschungen des Deponiekörpers auch unter Berücksichtigung der ständigen und veränderlichen Lasten einer PV-Anlage mit einem Ausnutzungsgrad von $\eta_{\text{vorh.}} = 0,61$ gegeben. Aus geotechnischen Gesichtspunkten bestehen daher bzgl. der großräumigen Böschungsstabilität keine Bedenken gegen die Installation der geplanten PV-Anlage.

B. Mertes, Dipl.-Ing. (Univ.)

B. Dost, M.Sc. (Univ.)

Anlage 1: Lageplan mit Baufeld der PV-Anlage

Anlage 2: Böschungsbruchberechnungen

Anlage 1

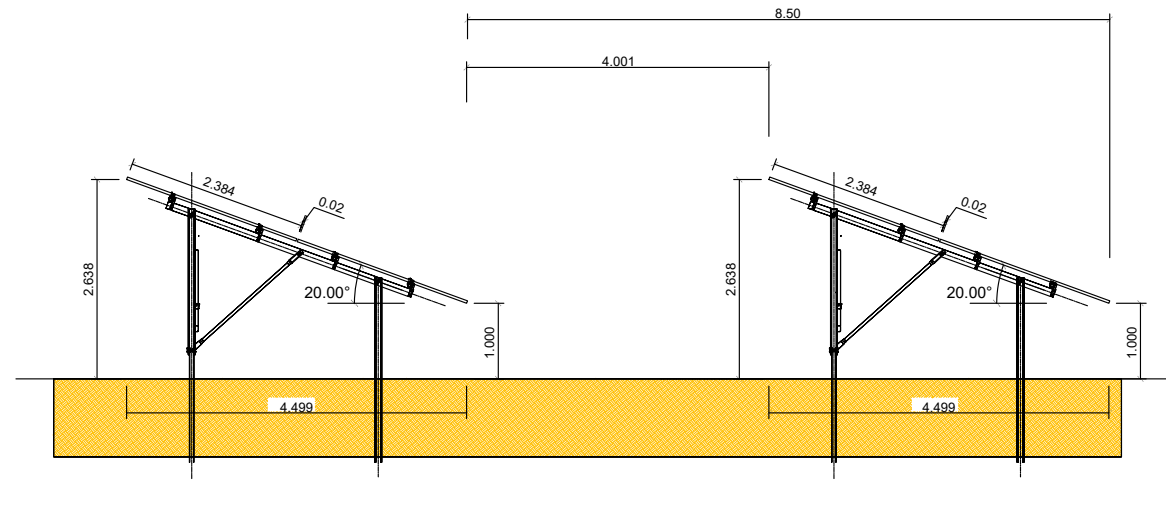
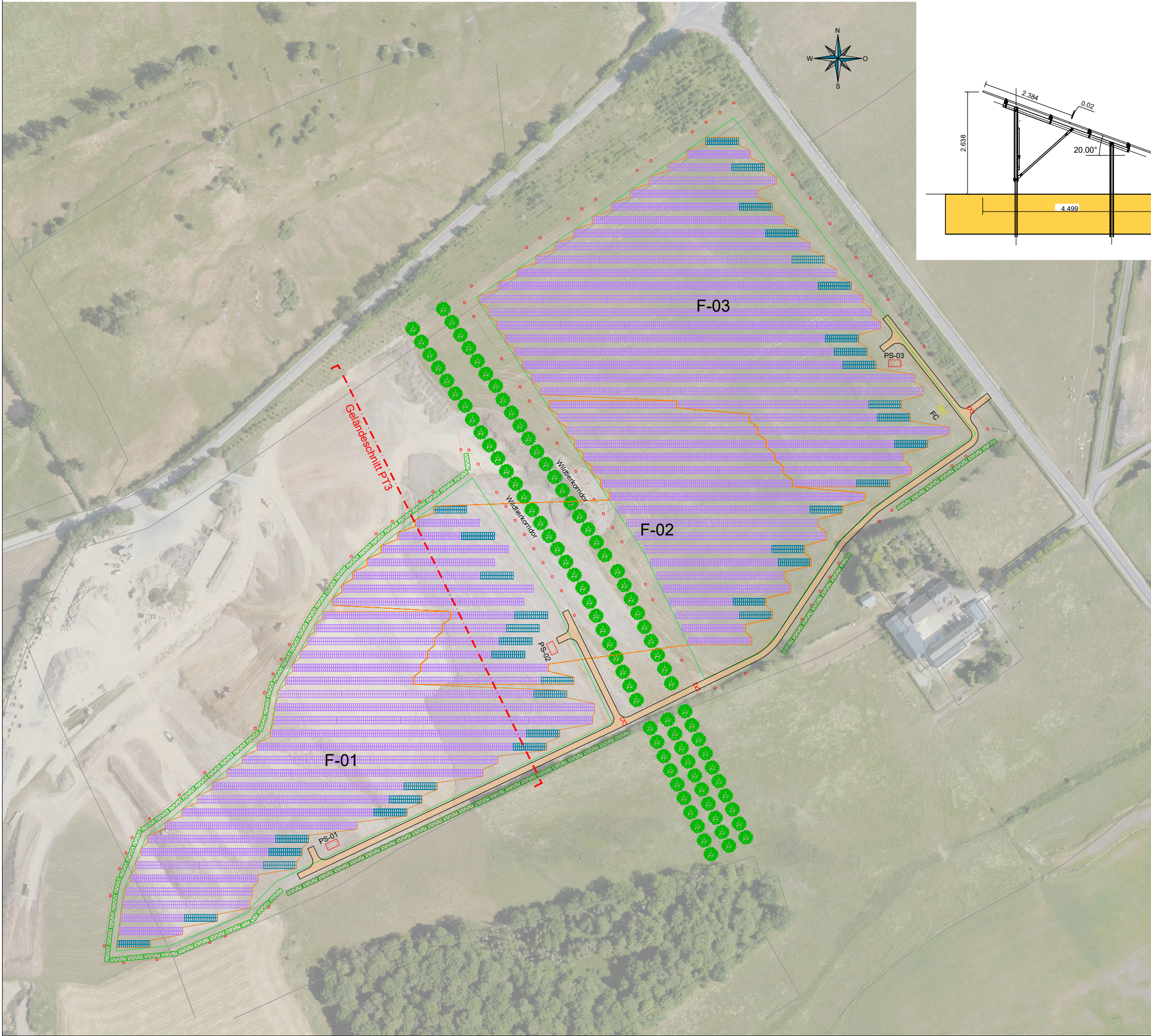
Lageplan

Projekt: Neubau einer PV-Anlage auf dem nördlichen Teil der
Deponie in Folkendange

Auftraggeber: Ether Energy Developpement SAS

Lageplan | Schnittführung M. 1:2.500

FIXED STRUCTURE DETAIL
Scale 1/100



LEGEND

- PERIMETER FENCE
- SETBACK
- MEDIUM VOLTAGE LINE
- ACCESS DOOR
- INTERNAL ROAD
- POWER STATION BUILDING
- FRONT CABIN
- HAIES- 3 m LARGE (inside the fence)
- HAIES- 3 m LARGE (outside the fence)
- BLOCK TYPE 1 (F-01)
- BLOCK TYPE 1 (F-02)
- BLOCK TYPE 2 (F-03)
- FIXED STRUCTURE 2P31
- FIXED STRUCTURE 2P16

GRUNDBAULABOR TRIER
Beratende Ingenieure für Geotechnik

DIPL.-ING. E. LEHMANN | Ingenieur GmbH
Volkerstraße 4 | D-54296 Trier
T. +49 651 93881 0 | F. +49 651 93881 81
info@gbt-trier.de | www.gbt-trier.de

Auftraggeber : Ether Energy Developpement SAS				
Projekt : Neubau einer PV-Anlage auf dem nördlichen Teil der Deponie in Folkendange				
Planinhalt : Lageplan und Prinzipschnitt				
Maßstab: 1:100 1:2.500	Gezeichnet: Sm	Bericht-Nr.: 71501-4	Anlage: 1	Trier, 18.04.2024

Anlage 2

Böschungsbruchberechnungen

Anlage 2.1: Berechnung der unbelasteten Böschung

Anlage 2.2: Berechnung inkl. Lasten der PV-Anlage

Projekt: Neubau einer PV-Anlage auf dem nördlichen Teil der
Deponie in Folkendange

Auftraggeber: Ether Energy Developpement SAS

Anlage 2.1

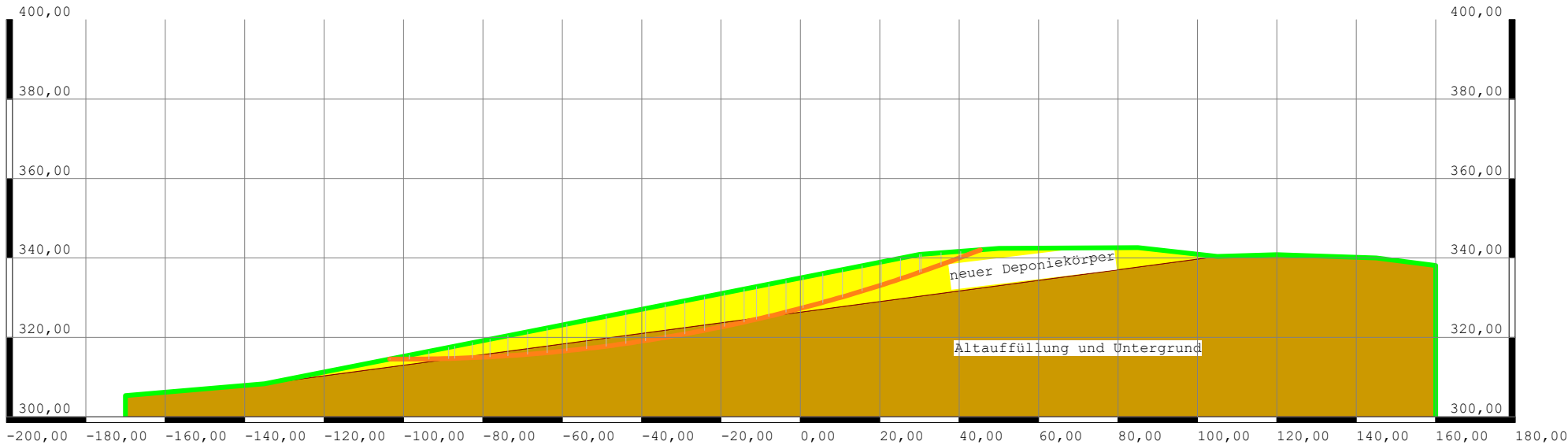
Berechnung der unbelasteten Böschung

Projekt:	Neubau einer PV-Anlage auf dem nördlichen Teil der Deponie in Folkendange
----------	------------------------------------------------------------------------------

Auftraggeber:	Ether Energy Developpement SAS
---------------	--------------------------------

Zusammenstellung der Schichtkennwerte:

Schicht	Wichte [kN/m³]	Wichte unter Auftrieb [kN/m³]	Reibungs- winkel [°]	Kohäsion [kN/m²]	Farbe
Untergrund	20,0	10,0	20,0	5,0	gelblichbraun
Deponiekörper	20,0	10,0	20,0	5,0	gelb



Norm: EC 7
Ausnutzungsgrad: 0,58
Kreismittelpunkt x, y: -99,63 m, 709,67 m
Kreisradius: 395,16 m

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
Böschung unbelastet
Geländeschnitt PT3
Endzustand
Gleitkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
Anlage: 2.1
Datum: 28.03.2024
Bearbeiter: Me
Maßstab: 1:1500

GRUNDBAULABOR
TRIER
Beratende Ingenieure für Geotechnik

Protokoll der Standsicherheitsberechnung
Standsicherheitsberechnung für eine kreisförmige Gleitfläche
nach Bishop.

Koordinaten der Geländeoberkante (GOK):

Geländepunkt	x [m]	y [m]
1	-170,00	300,00
2	-170,00	305,30
3	-135,00	308,30
4	30,00	340,90
5	50,00	342,40
6	85,00	342,60
7	105,00	340,40
8	120,00	340,80
9	145,00	340,00
10	160,00	338,10
11	160,00	300,00

Koordinaten der Schichtgrenzen:

Schichtpunkt	x [m]	y [m]
Untergrund		
1	-170,00	305,30
2	-135,00	308,30
3	105,00	340,40
4	120,00	340,80
5	145,00	340,00
6	160,00	338,10
7	160,00	300,00
8	-170,00	300,00
9	-170,00	305,30
Deponiekörper		
1	-135,00	308,30
2	30,00	340,90
3	50,00	342,40
4	85,00	342,60
5	105,00	340,40
6	-135,00	308,30

Zusammenstellung der Schichtkennwerte:

Schicht	Wichte [kN/m³]	Wichte unter Auftrieb [kN/m³]	Reibungs- winkel [°]	Kohäsion [kN/m²]	Neulast- faktor [-]	Konsoli- dierungs- verzug	Beschreibung
Untergrund	20,00	10,00	20,00	5,00	0,00	0,00	Altauffüllung und Untergrund
Deponiekörper	20,00	10,00	20,00	5,00	0,00	0,00	neuer Deponiekörper

BERECHNUNG NACH EC 7

Berechnung nach Eurocode 7: EN 1997-1 für den Grenzzustand der Tragfähigkeit STR/GEO

mit Berücksichtigung des Nation.Anhangs Deutschland: DIN EN 1997-1/NA

(Nachweisverfahren 3, Teilsicherheiten auf Einwirk. [nicht auf Beansp.], Bemessungssituation 1)

Bauvorhaben:	Deponie Folkendange	Bericht Nr.:	71501-4
	Böschung unbelastet	Anlage:	2.1
	Geländeschnitt PT3	Datum:	28.03.2024
	Endzustand	Bearbeiter:	Me
	Gleitkreis kritisch		

(A2 "+" M2 "+" R3)

- Teilsicherheitsbeiwerte:

Teilsicherheitsbeiwert für ungünstige ständige Einwirkungen = 1,00

Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen = 1,00

Teilsicherheit für ungünstige veränderliche Einwirkungen = 1,30

Teilsicherheitsbeiwert für günstige veränderliche Einwirkungen = 0,00

Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungswinkel ($\tan \Phi$) = 1,25

Teilsicherheitsbeiwert für Kohäsion (dräniertes Boden) = 1,25

Teilsicherheitsbeiwert für undrainede Scherfestigkeit = 1,25

Teilsicherheit für Wichte = 1,00

Teilsicherheitsbeiwert für den Herauszieh Widerstand der Anker = 1,10

Teilsicherheitsbeiwert für den Herauszieh Widerstand der Geotextilien = 1,40

Gleitflächendaten für eine kreisförmige Gleitfläche:

Gewählte Kreiseingabe:

ein Variationspunkt: -67,47 m; 318,83 m

Kreismittelpunkt: -92,63 m; 709,67 m

Kreisradius: $r = 391,65$ mVariation des Gleitkreises ausgehend vom Kreismittelpunkt: $x = -92,63$ m; $y = 709,67$ m3 Schritt(e) in x-Richtung mit einer Schrittweite von $dx = 1,00$ m und3 Schritt(e) in y-Richtung mit einer Schrittweite von $dy = 1,00$ m.

x [m]	y [m]	Kreisradius [m]	Ausnutzungsgrad [-]
-92,63	709,67	393,65	0,57
-93,63	710,67	394,71	0,57
-94,63	711,67	395,78	0,57
-95,63	712,67	396,85	0,57
-91,63	708,67	391,59	0,57
-90,63	707,67	390,53	0,57
-89,63	706,67	389,47	0,57
-91,63	710,67	393,58	0,57
-92,63	711,67	395,64	0,57
-93,63	712,67	396,71	0,57
-94,63	713,67	397,77	0,57
-90,63	709,67	392,53	0,57
-89,63	708,67	391,47	0,57
-88,63	707,67	390,42	0,57
-90,63	711,67	394,52	0,57
-91,63	712,67	395,58	0,57
-92,63	713,67	396,64	0,57
-93,63	714,67	398,70	0,57
-89,63	710,67	393,47	0,57
-88,63	709,67	392,41	0,56
-87,63	708,67	391,36	0,56
-89,63	712,67	395,46	0,57
-90,63	713,67	396,52	0,57
-91,63	714,67	397,58	0,57
-92,63	715,67	398,64	0,57
-88,63	711,67	394,41	0,56
-87,63	710,67	393,36	0,56
-86,63	709,67	392,31	0,56
-93,63	708,67	392,72	0,57

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
 Böschung unbelastet
 Geländeschnitt PT3
 Endzustand
 Gleitkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
 Anlage: 2.1
 Datum: 28.03.2024
 Bearbeiter: Me

GRUNDBAULABOR
TRIER
 Beratende Ingenieure für Geotechnik

x [m]	y [m]	Kreisradius [m]	Ausnutzungsgrad [-]
-94,63	709,67	393,78	0,57
-95,63	710,67	394,85	0,57
-96,63	711,67	395,92	0,57
-92,63	707,67	391,65	0,57
-91,63	706,67	389,59	0,57
-90,63	705,67	388,53	0,57
-94,63	707,67	391,79	0,57
-95,63	708,67	392,86	0,57
-96,63	709,67	393,93	0,57
-97,63	710,67	395,00	0,57
-93,63	706,67	390,72	0,57
-92,63	705,67	389,66	0,57
-91,63	704,67	388,60	0,57
-95,63	706,67	390,86	0,57
-96,63	707,67	391,93	0,57
-97,63	708,67	393,00	0,58
-98,63	709,67	395,08	0,58
-94,63	705,67	389,79	0,57
-93,63	704,67	388,73	0,57
-92,63	703,67	387,66	0,57

Der größte Ausnutzungsgrad der Tabelle 0,58 ergibt sich für den Kreismittelpunkt $x=-98,63$ m; $y=709,67$ m mit dem Radius von 395,08 m.

Die Suche nach dem maximalen Ausnutzungsgrad innerhalb eines Rasters um den Kreismittelpunkt ergibt ein maximalen Ausnutzungsgrad von 0,58 für den Gleitkreis mit dem Mittelpunkt $x = -99,63$ m; $y = 709,67$ m und dem Radius von 395,16 m.

Für diesen Gleitkreis:

Lamellenkennwerte:

Lamelle	x-Links	Breite [m]	Höhe [m]	Gewicht [kN/m]	Gleit- flächen- winkel [°]	Reibungs- winkel [°]	Kohäsion [kN/m²]	Poren- wasserdruck [kN/m²]	Porenwasser- überdruck [kN/m²]
1	40,35	4,96	0,78	77,57	21,13	16,23	4,00	0,00	0,00
2	35,39	4,96	2,29	227,01	20,36	16,23	4,00	0,00	0,00
3	30,43	4,96	3,72	368,96	19,60	16,23	4,00	0,00	0,00
4	30,00	0,43	4,47	38,09	19,18	16,23	4,00	0,00	0,00
5	25,18	4,82	4,88	469,74	18,78	16,23	4,00	0,00	0,00
6	20,37	4,82	5,53	532,55	18,04	16,23	4,00	0,00	0,00
7	15,55	4,82	6,11	588,78	17,31	16,23	4,00	0,00	0,00
8	10,59	4,96	6,63	658,05	16,57	16,23	4,00	0,00	0,00
9	5,63	4,96	7,09	703,73	15,82	16,23	4,00	0,00	0,00
10	0,67	4,96	7,49	742,49	15,08	16,23	4,00	0,00	0,00
11	-3,63	4,30	7,79	670,14	14,38	16,23	4,00	0,00	0,00
12	-7,94	4,30	8,02	689,71	13,74	16,23	4,00	0,00	0,00
13	-11,07	3,14	8,17	512,61	13,18	16,23	4,00	0,00	0,00
14	-14,21	3,14	8,27	518,98	12,72	16,23	4,00	0,00	0,00
15	-19,17	4,96	8,36	829,61	12,12	16,23	4,00	0,00	0,00
16	-24,13	4,96	8,42	834,73	11,38	16,23	4,00	0,00	0,00
17	-29,09	4,96	8,40	833,29	10,65	16,23	4,00	0,00	0,00
18	-34,05	4,96	8,32	825,35	9,92	16,23	4,00	0,00	0,00
19	-39,01	4,96	8,18	810,95	9,19	16,23	4,00	0,00	0,00

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
Böschung unbelastet
Geländeschnitt PT3
Endzustand
Gleitkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
Anlage: 2.1
Datum: 28.03.2024
Bearbeiter: Me

**GRUNDBAULABOR
TRIER**
Beratende Ingenieure für Geotechnik

Lamellenkennwerte:

Lamelle	x-Links	Breite [m]	Höhe [m]	Gewicht [kN/m]	Gleit- flächen- winkel [°]	Reibungs- winkel [°]	Kohäsion [kN/m²]	Poren- wasserdruck [kN/m²]	Porenwasser- überdruck [kN/m²]
20	-43,97	4,96	7,97	790,14	8,46	16,23	4,00	0,00	0,00
21	-48,92	4,96	7,69	762,94	7,73	16,23	4,00	0,00	0,00
22	-53,88	4,96	7,35	729,39	7,01	16,23	4,00	0,00	0,00
23	-58,84	4,96	6,95	689,54	6,29	16,23	4,00	0,00	0,00
24	-63,80	4,96	6,49	643,39	5,56	16,23	4,00	0,00	0,00
25	-68,76	4,96	5,96	590,98	4,84	16,23	4,00	0,00	0,00
26	-73,72	4,96	5,37	532,34	4,12	16,23	4,00	0,00	0,00
27	-78,18	4,46	4,75	423,05	3,44	16,23	4,00	0,00	0,00
28	-82,63	4,46	4,11	366,19	2,79	16,23	4,00	0,00	0,00
29	-87,09	4,46	3,42	304,85	2,14	16,23	4,00	0,00	0,00
30	-88,60	1,51	2,93	88,68	1,71	16,23	4,00	0,00	0,00
31	-93,56	4,96	2,38	235,66	1,24	16,23	4,00	0,00	0,00
32	-98,52	4,96	1,47	146,03	0,52	16,23	4,00	0,00	0,00
33	-103,48	4,96	0,51	50,22	-0,20	16,23	4,00	0,00	0,00

Ausnutzungsgrad nach Bishop = 0,58

Die Grenzzustandsbedingung ($E \leq R$) ist erfüllt.

Bemessungswert der Widerstände $R = 5574,02 \text{ kN/m}$

Bemessungswert der Einwirkungen $E = 3230,58 \text{ kN/m}$

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
Böschung unbelastet
Geländeschnitt PT3
Endzustand
Gleitkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
Anlage: 2.1
Datum: 28.03.2024
Bearbeiter: Me

GRUNDBAULABOR
TRIER
Beratende Ingenieure für Geotechnik

Anlage 2.2

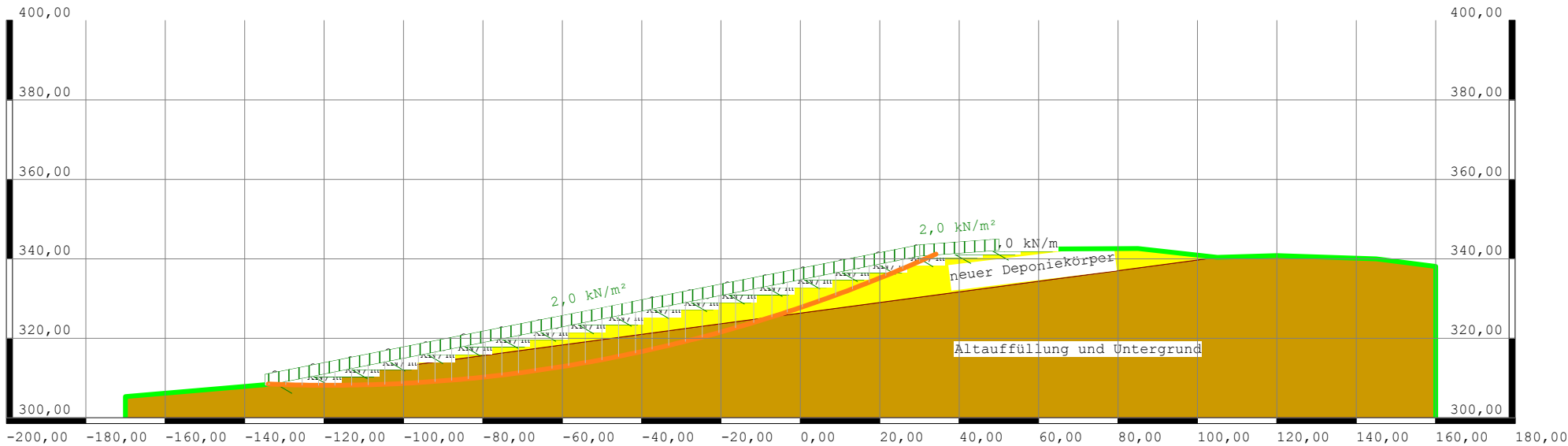
Berechnung inkl. Lasten der PV Anlage

Projekt: Neubau einer PV-Anlage auf dem nördlichen Teil der
Deponie in Folkendange

Auftraggeber: Ether Energy Developpement SAS

Zusammenstellung der Schichtkennwerte:

Schicht	Wichte [kN/m³]	Wichte unter Auftrieb [kN/m³]	Reibungs- winkel [°]	Kohäsion [kN/m²]	Farbe
Untergrund	20,0	10,0	20,0	5,0	gelblichbraun
Deponiekörper	20,0	10,0	20,0	5,0	gelb



Norm: EC 7
Ausnutzungsgrad: 0,61
Kreismittelpunkt x, y: -118,93 m, 679,17 m
Kreisradius: 371,00 m

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
PV-Anlage im Norden
Geländeschnitt PT3
Endzustand
Gleitzkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
Anlage: 2.2
Datum: 28.03.2024
Bearbeiter: Me
Maßstab: 1:1500

GRUNDBAULABOR
TRIER
Beratende Ingenieure für Geotechnik

Protokoll der Standsicherheitsberechnung
Standsicherheitsberechnung für eine kreisförmige Gleitfläche
nach Bishop.

Koordinaten der Geländeoberkante (GOK):

Geländepunkt	x [m]	y [m]
1	-170,00	300,00
2	-170,00	305,30
3	-135,00	308,30
4	30,00	340,90
5	50,00	342,40
6	85,00	342,60
7	105,00	340,40
8	120,00	340,80
9	145,00	340,00
10	160,00	338,10
11	160,00	300,00

Koordinaten der Schichtgrenzen:

Schichtpunkt	x [m]	y [m]
Untergrund		
1	-170,00	305,30
2	-135,00	308,30
3	105,00	340,40
4	120,00	340,80
5	145,00	340,00
6	160,00	338,10
7	160,00	300,00
8	-170,00	300,00
9	-170,00	305,30
Deponiekörper		
1	-135,00	308,30
2	30,00	340,90
3	50,00	342,40
4	85,00	342,60
5	105,00	340,40
6	-135,00	308,30

Zusammenstellung der Schichtkennwerte:

Schicht	Wichte [kN/m³]	Wichte unter Auftrieb [kN/m³]	Reibungs- winkel [°]	Kohäsion [kN/m²]	Neulast- faktor [-]	Konsoli- dierungs- verzug	Beschreibung
Untergrund	20,00	10,00	20,00	5,00	0,00	0,00	Altauffüllung und Untergrund
Deponiekörper	20,00	10,00	20,00	5,00	0,00	0,00	neuer Deponiekörper

Angreifende Lasten:

Horizontal- last	Angriffs- punkt x [m]	Angriffs- punkt y [m]	Betrag [kN/lfm]	Teilsicherheits- beiwert GEO-3
1	-132,00	308,40	2,00	1,30 (Q)

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
PV-Anlage im Norden
Geländeschnitt PT3
Endzustand
Gleitkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
Anlage: 2.2
Datum: 28.03.2024
Bearbeiter: Me

**GRUNDBAULABOR
TRIER**
Beratende Ingenieure für Geotechnik

Angreifende Lasten:

Horizontal- last	Angriffs- punkt x [m]	Angriffs- punkt y [m]	Betrag [kN/lfm]	Teilsicherheits- beiwert GEO-3
2	-122,50	310,30	2,00	1,30 (Q)
3	-113,00	312,10	2,00	1,30 (Q)
4	-103,50	314,00	2,00	1,30 (Q)
5	-94,00	315,90	2,00	1,30 (Q)
6	-84,50	317,80	2,00	1,30 (Q)
7	-75,00	319,70	2,00	1,30 (Q)
8	-65,50	321,50	2,00	1,30 (Q)
9	-56,00	323,40	2,00	1,30 (Q)
10	-46,50	325,30	2,00	1,30 (Q)
11	-37,00	327,20	2,00	1,30 (Q)
12	-27,50	329,00	2,00	1,30 (Q)
13	-18,00	330,90	2,00	1,30 (Q)
14	-8,50	332,80	2,00	1,30 (Q)
15	1,00	334,70	2,00	1,30 (Q)
16	10,50	336,50	2,00	1,30 (Q)
17	20,00	338,40	2,00	1,30 (Q)
18	29,50	340,30	2,00	1,30 (Q)
19	39,00	341,10	2,00	1,30 (Q)
20	48,50	341,90	2,00	1,30 (Q)

Flächenlast	min x [m]	y zu min x [m]	max x [m]	y zu max x [m]	Betrag [kN/m²]	Teilsicherheits- beiwert GEO-3
1	-135,00	308,00	30,00	340,60	2,00	1,30 (Q)
2	30,00	340,60	50,00	342,10	2,00	1,30 (Q)

BERECHNUNG NACH EC 7

Berechnung nach Eurocode 7: EN 1997-1 für den Grenzzustand der Tragfähigkeit STR/GEO

mit Berücksichtigung des Nation.Anhangs Deutschland: DIN EN 1997-1/NA

(Nachweisverfahren 3, Teilsicherheiten auf Einwirk. [nicht auf Beansp.], Bemessungssituation 1)

(A2 "+" M2 "+" R3)

- Teilsicherheitsbeiwerte:

Teilsicherheitsbeiwert für ungünstige ständige Einwirkungen = 1,00

Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen = 1,00

Teilsicherheit für ungünstige veränderliche Einwirkungen = 1,30

Teilsicherheitsbeiwert für günstige veränderliche Einwirkungen = 0,00

Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungswinkel ($\tan \Phi$) = 1,25

Teilsicherheitsbeiwert für Kohäsion (dräniertes Boden) = 1,25

Teilsicherheitsbeiwert für undränierte Scherfestigkeit = 1,25

Teilsicherheit für Wichte = 1,00

Teilsicherheitsbeiwert für den Herauszieh Widerstand der Anker = 1,10

Teilsicherheitsbeiwert für den Herauszieh Widerstand der Geotextilien = 1,40

Gleitflächendaten für eine kreisförmige Gleitfläche:

Gewählte Kreiseingabe:

ein Variationspunkt: -93,14 m; 311,07 m

Kreismittelpunkt: -119,93 m; 686,17 m

Kreisradius: $r = 376,06$ mVariation des Gleitkreises ausgehend vom Kreismittelpunkt: $x = -119,93$ m; $y = 686,17$ m5 Schritt(e) in x-Richtung mit einer Schrittweite von $dx = 1,00$ m und5 Schritt(e) in y-Richtung mit einer Schrittweite von $dy = 1,00$ m.

Bauvorhaben:	Deponie Folkendange	Bericht Nr.:	71501-4
	PV-Anlage im Norden	Anlage:	2.2
	Geländeschnitt PT3	Datum:	28.03.2024
	Endzustand	Bearbeiter:	Me
	Gleitkreis kritisch		

x [m]	y [m]	Kreisradius [m]	Ausnutzungsgrad [-]
-119,93	686,17	378,06	0,61
-120,93	687,17	379,13	0,61
-121,93	688,17	380,20	0,61
-122,93	689,17	379,27	0,60
-123,93	690,17	380,35	0,60
-124,93	691,17	381,43	0,60
-118,93	685,17	375,99	0,61
-117,93	684,17	374,92	0,61
-116,93	683,17	373,86	0,61
-115,93	682,17	372,80	0,61
-114,93	681,17	371,74	0,61
-118,93	687,17	377,98	0,61
-119,93	688,17	379,05	0,60
-120,93	689,17	381,12	0,61
-121,93	690,17	382,19	0,61
-122,93	691,17	383,27	0,61
-123,93	692,17	382,34	0,60
-117,93	686,17	376,92	0,61
-116,93	685,17	375,86	0,61
-115,93	684,17	374,80	0,61
-114,93	683,17	373,74	0,61
-113,93	682,17	372,68	0,61
-117,93	688,17	378,91	0,61
-118,93	689,17	379,98	0,61
-119,93	690,17	381,05	0,60
-120,93	691,17	383,11	0,61
-121,93	692,17	384,19	0,61
-122,93	693,17	385,26	0,61
-116,93	687,17	377,85	0,61
-115,93	686,17	376,79	0,61
-114,93	685,17	375,73	0,61
-113,93	684,17	374,68	0,61
-112,93	683,17	373,63	0,60
-116,93	689,17	379,85	0,61
-117,93	690,17	380,91	0,61
-118,93	691,17	381,97	0,61
-119,93	692,17	383,04	0,61
-120,93	693,17	384,11	0,60
-121,93	694,17	386,18	0,61
-115,93	688,17	378,79	0,61
-114,93	687,17	377,73	0,61
-113,93	686,17	376,68	0,61
-112,93	685,17	375,62	0,60
-111,93	684,17	374,57	0,60
-115,93	690,17	380,78	0,61
-116,93	691,17	381,84	0,61
-117,93	692,17	382,91	0,61
-118,93	693,17	383,97	0,61
-119,93	694,17	385,04	0,61
-120,93	695,17	386,10	0,60
-114,93	689,17	379,73	0,61
-113,93	688,17	378,67	0,60
-112,93	687,17	377,62	0,60
-111,93	686,17	376,57	0,60

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
 PV-Anlage im Norden
 Geländeschnitt PT3
 Endzustand
 Gleitkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
 Anlage: 2.2
 Datum: 28.03.2024
 Bearbeiter: Me

GRUNDBAULABOR
TRIER
 Beratende Ingenieure für Geotechnik

x [m]	y [m]	Kreisradius [m]	Ausnutzungsgrad [-]
-110,93	685,17	375,52	0,60
-114,93	691,17	381,72	0,60
-115,93	692,17	382,78	0,61
-116,93	693,17	383,84	0,61
-117,93	694,17	384,90	0,61
-118,93	695,17	385,96	0,61
-119,93	696,17	387,03	0,61
-113,93	690,17	380,67	0,60
-112,93	689,17	379,62	0,60
-111,93	688,17	378,57	0,60
-110,93	687,17	377,52	0,60
-109,93	686,17	376,48	0,60
-120,93	685,17	377,13	0,61
-121,93	686,17	376,20	0,60
-122,93	687,17	377,28	0,60
-123,93	688,17	378,35	0,60
-124,93	689,17	379,43	0,60
-125,93	690,17	380,52	0,60
-119,93	684,17	376,06	0,61
-118,93	683,17	373,99	0,60
-117,93	682,17	372,93	0,61
-116,93	681,17	371,86	0,61
-115,93	680,17	370,80	0,61
-121,93	684,17	374,21	0,60
-122,93	685,17	375,28	0,60
-123,93	686,17	376,36	0,60
-124,93	687,17	377,44	0,60
-125,93	688,17	378,52	0,60
-126,93	689,17	379,61	0,60
-120,93	683,17	375,14	0,61
-119,93	682,17	374,07	0,61
-118,93	681,17	372,00	0,60
-117,93	680,17	370,93	0,61
-116,93	679,17	369,87	0,61
-122,93	683,17	373,29	0,60
-123,93	684,17	374,37	0,60
-124,93	685,17	375,45	0,60
-125,93	686,17	376,53	0,60
-126,93	687,17	377,61	0,59
-127,93	688,17	378,70	0,59
-121,93	682,17	372,22	0,60
-120,93	681,17	371,14	0,60
-119,93	680,17	372,07	0,61
-118,93	679,17	371,00	0,61
-117,93	678,17	368,94	0,61
-123,93	682,17	372,38	0,60
-124,93	683,17	373,46	0,60
-125,93	684,17	374,54	0,60
-126,93	685,17	375,62	0,59
-127,93	686,17	376,71	0,59
-128,93	687,17	377,80	0,59
-122,93	681,17	371,30	0,60
-121,93	680,17	370,22	0,60
-120,93	679,17	369,15	0,60

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
 PV-Anlage im Norden
 Geländeschnitt PT3
 Endzustand
 Gleitkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
 Anlage: 2.2
 Datum: 28.03.2024
 Bearbeiter: Me

GRUNDBAULABOR
TRIER
 Beratende Ingenieure für Geotechnik

x [m]	y [m]	Kreisradius [m]	Ausnutzungsgrad [-]
-119,93	678,17	368,08	0,60
-118,93	677,17	369,01	0,61
-124,93	681,17	371,46	0,60
-125,93	682,17	372,55	0,59
-126,93	683,17	373,63	0,59
-127,93	684,17	374,72	0,59
-128,93	685,17	375,81	0,59
-129,93	686,17	376,90	0,59
-123,93	680,17	370,38	0,60
-122,93	679,17	369,30	0,60
-121,93	678,17	368,23	0,60
-120,93	677,17	367,15	0,60
-119,93	676,17	366,08	0,60

Der größte Ausnutzungsgrad der Tabelle 0,61 ergibt sich für den Kreismittelpunkt $x=-118,93$ m; $y=679,17$ m mit dem Radius von 371,00 m.

Die Suche nach dem maximalen Ausnutzungsgrad innerhalb eines Rasters um den Kreismittelpunkt ergibt ein maximalen Ausnutzungsgrad von 0,61 für den Gleitkreis mit dem Mittelpunkt $x = -118,93$ m; $y = 679,17$ m und dem Radius von 371,00 m.

Für diesen Gleitkreis:

Lamellenkennwerte:

Lamelle	x-Links	Breite [m]	Höhe [m]	Gewicht [kN/m]	Gleit- flächen- winkel [°]	Reibungs- winkel [°]	Kohäsion [kN/m²]	Poren- wasserdruck [kN/m²]	Porenwasser- überdruck [kN/m²]
1	30,00	4,12	0,77	72,26	24,02	16,23	4,00	0,00	0,00
2	25,77	4,23	2,03	182,83	23,31	16,23	4,00	0,00	0,00
3	21,53	4,23	2,99	263,82	22,60	16,23	4,00	0,00	0,00
4	17,30	4,23	3,88	339,61	21,89	16,23	4,00	0,00	0,00
5	13,10	4,21	4,71	407,40	21,19	16,23	4,00	0,00	0,00
6	8,89	4,21	5,48	472,21	20,50	16,23	4,00	0,00	0,00
7	4,68	4,21	6,20	532,14	19,81	16,23	4,00	0,00	0,00
8	0,48	4,21	6,85	587,26	19,12	16,23	4,00	0,00	0,00
9	-3,36	3,83	7,43	579,48	18,46	16,23	4,00	0,00	0,00
10	-7,19	3,83	7,93	617,79	17,84	16,23	4,00	0,00	0,00
11	-11,77	4,58	8,42	782,55	17,16	16,23	4,00	0,00	0,00
12	-16,34	4,58	8,90	826,17	16,42	16,23	4,00	0,00	0,00
13	-20,55	4,21	9,29	792,64	15,71	16,23	4,00	0,00	0,00
14	-24,75	4,21	9,62	820,04	15,04	16,23	4,00	0,00	0,00
15	-28,96	4,21	9,89	842,98	14,37	16,23	4,00	0,00	0,00
16	-33,17	4,21	10,11	861,52	13,70	16,23	4,00	0,00	0,00
17	-37,37	4,21	10,28	875,68	13,03	16,23	4,00	0,00	0,00
18	-41,58	4,21	10,40	885,50	12,37	16,23	4,00	0,00	0,00
19	-45,78	4,21	10,46	891,02	11,70	16,23	4,00	0,00	0,00
20	-49,99	4,21	10,48	892,27	11,04	16,23	4,00	0,00	0,00
21	-54,19	4,21	10,44	889,28	10,38	16,23	4,00	0,00	0,00
22	-58,40	4,21	10,36	882,08	9,72	16,23	4,00	0,00	0,00
23	-62,60	4,21	10,22	870,69	9,06	16,23	4,00	0,00	0,00
24	-66,81	4,21	10,04	855,13	8,40	16,23	4,00	0,00	0,00
25	-71,02	4,21	9,80	835,44	7,75	16,23	4,00	0,00	0,00
26	-75,22	4,21	9,52	811,62	7,09	16,23	4,00	0,00	0,00

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
PV-Anlage im Norden
Geländeschnitt PT3
Endzustand
Gleitkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
Anlage: 2.2
Datum: 28.03.2024
Bearbeiter: Me

**GRUNDBAULABOR
TRIER**
Beratende Ingenieure für Geotechnik

Lamellenkennwerte:

Lamelle	x-Links	Breite [m]	Höhe [m]	Gewicht [kN/m]	Gleit- flächen- winkel [°]	Reibungs- winkel [°]	Kohäsion [kN/m²]	Poren- wasserdruck [kN/m²]	Porenwasser- überdruck [kN/m²]
27	-79,43	4,21	9,19	783,70	6,44	16,23	4,00	0,00	0,00
28	-83,63	4,21	8,81	751,69	5,79	16,23	4,00	0,00	0,00
29	-87,84	4,21	8,38	715,61	5,13	16,23	4,00	0,00	0,00
30	-92,04	4,21	7,90	675,47	4,48	16,23	4,00	0,00	0,00
31	-96,25	4,21	7,38	631,28	3,83	16,23	4,00	0,00	0,00
32	-100,46	4,21	6,80	583,06	3,18	16,23	4,00	0,00	0,00
33	-104,66	4,21	6,18	530,80	2,53	16,23	4,00	0,00	0,00
34	-108,87	4,21	5,51	474,53	1,88	16,23	4,00	0,00	0,00
35	-113,07	4,21	4,79	414,24	1,23	16,23	4,00	0,00	0,00
36	-117,28	4,21	4,03	349,94	0,58	16,23	4,00	0,00	0,00
37	-121,40	4,12	3,23	276,78	-0,06	16,23	4,00	0,00	0,00
38	-125,52	4,12	2,38	207,34	-0,70	16,23	4,00	0,00	0,00
39	-129,65	4,12	1,50	134,11	-1,34	16,23	4,00	0,00	0,00
40	-133,77	4,12	0,56	54,67	-1,97	16,23	4,00	0,00	0,00
41	-134,10	0,33	0,04	0,26	-2,32	16,23	4,00	0,00	0,00

Ausnutzungsgrad nach Bishop = 0,61

Die Grenzzustandsbedingung ($E \leq R$) ist erfüllt.

Bemessungswert der Widerstände $R = 7662,54 \text{ kN/m}$

Bemessungswert der Einwirkungen $E = 4659,08 \text{ kN/m}$

Bauvorhaben: Deponie Folkendange
PV-Anlage im Norden
Geländeschnitt PT3
Endzustand
Gleitkreis kritisch

Bericht Nr.: 71501-4
Anlage: 2.2
Datum: 28.03.2024
Bearbeiter: Me

GRUNDBAULABOR
TRIER
Beratende Ingenieure für Geotechnik