



Beoordelen afschuifrisico zonnepanelen op stortplaats Wijster

Antea Group

Understanding today.
Improving tomorrow.

projectnummer 0484268.100
concept revisie 0A
7 april 2023

Beoordelen afschuifrisico zonnepanelen op stortplaats Wijster

projectnummer 0484268.100

documentnummer 20233003-0484268.100-rap-Geotechnisch advies stortplaats Wijster_R0.1

concept revisie 0A

7 april 2023

Auteurs

H.W. Wiltinge

Opdrachtgever

ATTERO B.V.

Postbus 40047

7300 AX Apeldoorn

Gecontroleerd

D. ter Haar



datum

7 april 2023

beschrijving

concept

vrijgave

A. Kant



Inhoudsopgave

1.	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Aan project gerelateerde documenten en tekeningen	5
2.	Uitgangspunten	6
2.1	Geometrie	6
2.2	Opbouw bovenafdichting	7
2.3	Verticale belasting vanuit zonnepanelen	7
2.4	Materiaaleigenschappen	7
3.	Theorie interne stabiliteit	9
3.1	Stabiliteitscriterium	9
3.2	Afschuifcriterium	9
3.3	Faalmechanisme stabiliteit	10
3.4	Gedefinieerde schuifvlakken	10
4.	Berekeningsresultaten stabiliteitsberekeningen bovenafdichting	11
4.1	Rekenvoorbeeld	11
5.	Conclusies	12
	Bijlage 1 Overzicht beschouwde doorsneden	13

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In opdracht van Attero is door Antea Group voor de stortplaats te Wijster beschouwd of er als gevolg van het aanbrengen van zonnepanelen er een verhoogd (ontoelaatbaar) risico is op afschuiven van het bestaande talud.



Figuur 1.1: Situering met overzicht deelgebieden

Op de in figuur 1.1 met blauw gekaderde delen zijn zonnepanelen voorzien. Deze locaties worden behandeld in voorliggend rapport. Voor de beschouwing zijn de volgende deelgebieden cq. taludvakken aangehouden:

Tabel 1-1: Overzicht taludvakken

Veld [nr]	Tijdstip stortbesluit niveau* [jaar]	Ligging taludvlak [t.o.v. de bult]	POT [nr]	Ankerlengte [cm]
C	2011	zuid west	2	119
D	2006	zuid oost	2	99
E	2006	zuid west	2	119
F	2006	noord west	1	119
G	2006	noord west	1	119
B	2016	zuid west	1	119
A	2014	noord west	1	119
A.1	2013	noord west	3	119

*conform tekening [D.17]

De scope bestaat uit beoordelen en toetsen van de interne afschuifstabiliteit waarbij rekening wordt gehouden met de bovenafdichting en de belasting vanuit de fundering van de zonnepanelen.

De volgende onderdelen vallen (vooralsnog) buiten de aangeboden scope:

- De macrostabiliteit diep glijvlak
- Erosie van talud
- Zettingen
- Funderingsontwerp zonnepanelen

1.2 Aan project gerelateerde documenten en tekeningen

Als basis voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende documenten (zie tabel 1-2).

Tabel 1-2: Overzicht documenten

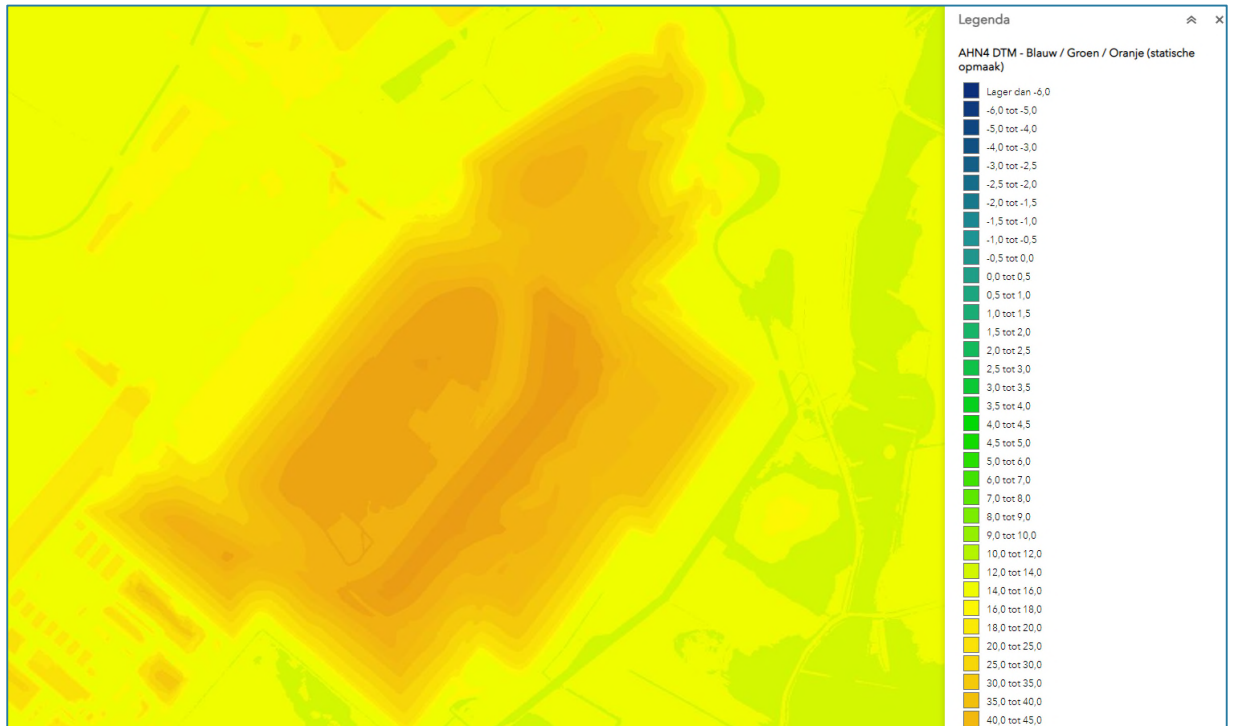
Document	Omschrijving	Ref
GL21-WER-PD-all areasv3 V6.	Ground Radar output incl POT-positie	[D.1]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 1	"Tree System" Anchoring 03/02/21	[D.2]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 2	Spacing between the frameworks 03/02/21	[D.3]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 3	Installation of telescopic pillars 03/02/21	[D.4]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 4	Installation in case of uneven terrain 03/02/21	[D.5]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 5	Insertion collars to fasten PV modules 03/02/21	[D.6]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 6	Fastening horizontal profiles to the frames 03/02/21	[D.7]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 7	Fastening horizontal profiles to the frames 03/02/21	[D.8]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 8	Fastening horizontal profiles to the frames 03/02/21	[D.9]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 9	Layout Racks 03/02/21	[D.10]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 10	Anchoring the structure to the ground 03/02/21	[D.11]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 11	Fastening for photovoltaic modules 03/02/21	[D.12]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 12	Fastening for photovoltaic modules 03/02/21	[D.13]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 13	Fastening for photovoltaic modules 03/02/21	[D.14]
Mounting_Groenleven_2258 DWG N 14	Final result 03/02/21	[D.15]
Foundation: static behavior analysis	Foundation: static behavior analysis 14/12/2022	[D.16]
R002-1212538NDI-ges-V01-NL-2013	Ontwerp en bestek bovenafdichting talud 5A, 18/02/2013	[D.17]
R002-1220378AJV-V02-2014	Opbouw engineering bestek aanleg bovenafdichting locaties taluds 2B/2C en DOP 1-3, 27/02/2014	[D.18]
R002-1236458AJV-avd-V01-NL-2016	Onderbouw engineering bestek aanleg bovenafdichting locatie taluds 2B (fase 2), 29/03/2016	[D.19]
20230222083850	Scan van tekening 0604018-E2017 Attero locatie Wijster Nazorgplan 2017, stort Dubbele bovenafdichting - Nieuwe indeling 10-04-2017	[D.20]

2. Uitgangspunten

Voor de berekening zijn de volgende uitgangspunten en aannames gehanteerd, zoals beschreven in de volgende sub-paragrafen.

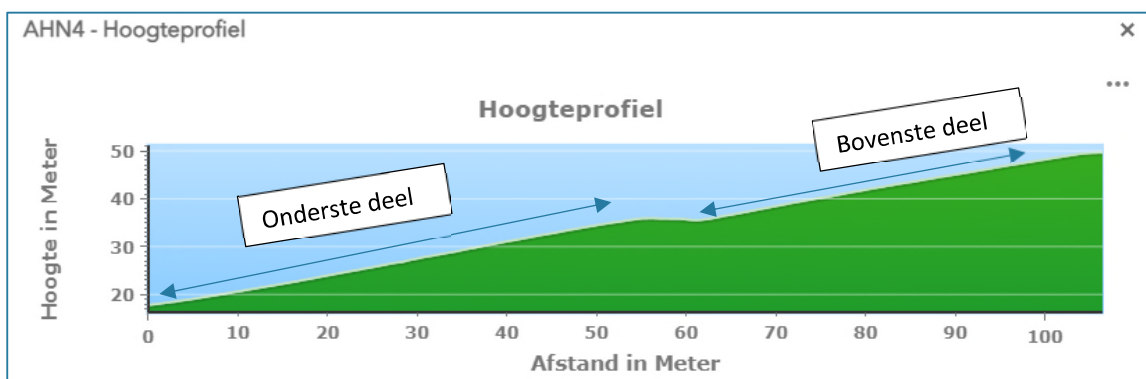
2.1 Geometrie

Per taludvlak is 1 doorsnede beschouwd, in totaal zijn dit 8 doorsneden. De geometrie van de doorsnede is afgeleid op basis van Algemene hoogte kaart Nederland 4 ([AHN-viewer \(arcgisonline.nl\)](https://arcgisonline.nl)).



Figuur 2-1: bovenaanzicht algemene hoogtekaart Nederland 4 (AHN-viewer (arcgisonline.nl))

De indicatieve locaties en de geometrie van de beschouwde doorsneden zijn weergegeven in bijlage 1. Voor een aantal doorsneden geldt dat het talud wordt onderbroken door een horizontaal deel. Voor die doorsneden is het talud ingedeeld in 2 delen (bovenste en onderste deel), zie voorbeeld in figuur 2-1.



Figuur 2-2: beschouwde doorsnede veld E

Per vlak is de gemiddelde helling van het betreffende taludvlak bepaald, hetgeen is samengevat in onderstaand tabel 2-1.

Tabel 2-1: Overzicht gemiddelde taludhelling per taludvlak

Veld [nr]	Tijdstip stortbesluit niveau* [jaar]	Ligging taludvlak t.o.v. de bult	Gemiddelde helling Onderste deel	Gemiddelde helling Bovenste deel
C	2011	zuid west	27%	29%
D	2006	zuid oost	19%	25%
E	2006	zuid west	33%	
F	2006	noord west	28%	
G	2006	noord west	29%	
B	2016	zuid west	20%	16%
A	2014	noord west	32%	25%
A2	2013	noord west	33%	23%

*conform tekening [D.17]

2.2 Opbouw bovenafdichting

Voor de analyse is conform opgave opdrachtgever en de verstrekte rapporten [D.18 t/m D.20] voor alle locaties uitgegaan van de volgende laagopbouw (van boven naar onder):

- Afdekgrond met laagdikte 0,80 m na verdichting
- Drainagemat (GSE Fabrinet B120, Schmitz Recytop RTN25 of RTN35)
- HDPE-folie 2 mm (geruwd)
- Trisoplast 70 mm
- Steunlaag van slakken / bodemas minimale laagdikte 0,30 m

2.3 Verticale belasting vanuit zonnepanelen

Door de leverancier van de zonnepalen is informatie verstrekt over de indeling van de zonnenvelden [D.1], de dimensies van de zonnepanelen [D.2 t/m D.15] en een algemene beschrijving van het ankersysteem "TreeSystem" [D.16]. In dit stadium is nog geen specifieke informatie verstrekt over de locaties van de ankerpalen en project specifieke funderingsbelastingen (druk & trek). Het paneel "type JA 540Wp (72cell)" [D.1] weegt exclusief montage frame ca. 11 kg/m². Rekening houdend met het montage frame en sneeuwbelasting is een verticale belasting van 2,5 kN/m² aangehouden. Deze belasting is in rekening gebracht op het aandrijvende deel (B, zie H3 voor de toelichting). Voor het weerstand biedende deel (S, zie H3 voor de toelichtingen (gunstig werkend) is conservatief gerekend met verticale belasting van 0 kN/m².

2.4 Materiaaleigenschappen

De eigenschappen van de afdekgrond zijn niet beproefd. Van de taludvlakken A en B zijn een 3-tal rapportages verstrekt D.18 t/m D.20 waarin de interne afschuifstabiliteit van het talud afgedekt met een bovenafdichting is beschouwd. In kader van deze analyses zijn destijds "direct shear test's", uitgevoerd op het contactoppervlak tussen de afdekgrond en de drainagemat. Een overzicht van de in de rapporten aangehouden sterkte-eigenschappen is gegeven in tabel 2-2.

Tabel 2-2: Overzicht aangehouden materiaaleigenschappen rapportages D18 t/m D20

bron	schuifvlak drainagemat – afdekgrond (waarde uit test)		schuifvlak drainagemat – afdekgrond (aangehouden)		schuifvlak HDPE-folie (GSE, type DRS) – drainagemat (Schmitz Recytop RTN25)		schuifvlak Trisoplast- HDPE folie		Interne stabiliteit drainagemat	
	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'
D.18	38.9	2.8	35.0	0	25.7	4.8	33.0	3.6	27	14
D.19	36.0	3.7	34.0	1	29.4	8.5	35.7	16.7	33	12
D.20	38.9	2.8	35.0	0	25.7	4.8	33.0	3.6	27	14

*conform tekening [D.17]

In het voorliggende rapport is op basis van voornoemde uitgangspunten, voor zowel de taludvlakken A en B (waar informatie van bekend is), alsmede de overige taludvlakken C t/m G (waar geen informatie van bekend is) uitgegaan van de maatgevende (vetgedrukte) waarden. Opgemerkt dient te worden dat dit een aanname betreft en derhalve dient te worden geverifieerd door de opdrachtgever.

In de analyse zijn tevens onderstaande uitgangspunten overgenomen van de rapporten [D.18 t/m D.20]:

- Drainagemat: Voor de opvang en afvoer van het geïnfiltreerde regenwater wordt een RecyTop drainagemat toegepast. De effectieve spanning op het glijvlak (contactvlak tussen de afdekgrond en de drainagemat) is afhankelijk van de waterspanning op het glijvlak. Voor de stabiliteitsanalyse is fundamenteel te weten hoe groot de werkelijke effectieve normaalspanning op het glijvlak is (hoe groot is de werkelijke waterspanning op het glijvlak wanneer langdurig infiltratie van regenwater optreedt bij toepassing van een drainagemat). De leverancier van de drainagemat kan niet aangeven hoe groot de werkelijke wateroverspanning op het glijvlak is. Dit is afhankelijk van de afvoercapaciteit van de drainagemat en van de hoeveelheid geïnfiltreerd regenwater. Op basis van voorgaande projecten in samenwerking met Attero is bij de berekening er van uitgegaan dat al het water door de mat wordt afgevoerd. Met andere woorden, er komt geen waterspanning tussen de drainagemat en de afdekgrond.
- Voor de berekening is aangehouden dat er geen waterspanning op het contactglijvlak aanwezig is. Dit betekent dat de effectieve normaalspanning σ_n is: $\sigma_n = \text{effectieve volume gewicht (= volume gewicht onverzadigd)} \times \text{afdekgrond dikte (d)} \times \cos(\beta)$, waarin β de hellinghoek van het talud is. Deze aanname is cruciaal voor de berekening. Indien de waterspanning maximaal (= $10 \text{ kN/m}^3 \times d \text{ [m]} \times \cos(\beta)$) is, kan de FS (veiligheidsfactor) tot een afname van circa 60% leiden. Dit resulteert dan dus in een verslechtering van de stabiliteit.

3. Theorie interne stabiliteit

Om enige achtergrond te geven van de uitwerking van de stabiliteitsberekening wordt kort ingegaan op het stabiliteitscriterium. Verder wordt een toelichting gegeven op hoe de stabiliteitsfactor bepaald kan worden met behulp van de beschikbare gegevens.

3.1 Stabiliteitscriterium

Om de interne afschuifstabiliteit van het talud te controleren wordt uitgegaan van een semi-probabilistische benadering. De kans op overschrijding van de grenstoestand moet voldoende klein zijn. Conform DIN 4084 wordt ervan uitgegaan dat de weerstandbiedende kracht 30% groter moet zijn dan de aandrijvende kracht. In formulevorm is dat als volgt samengevat:

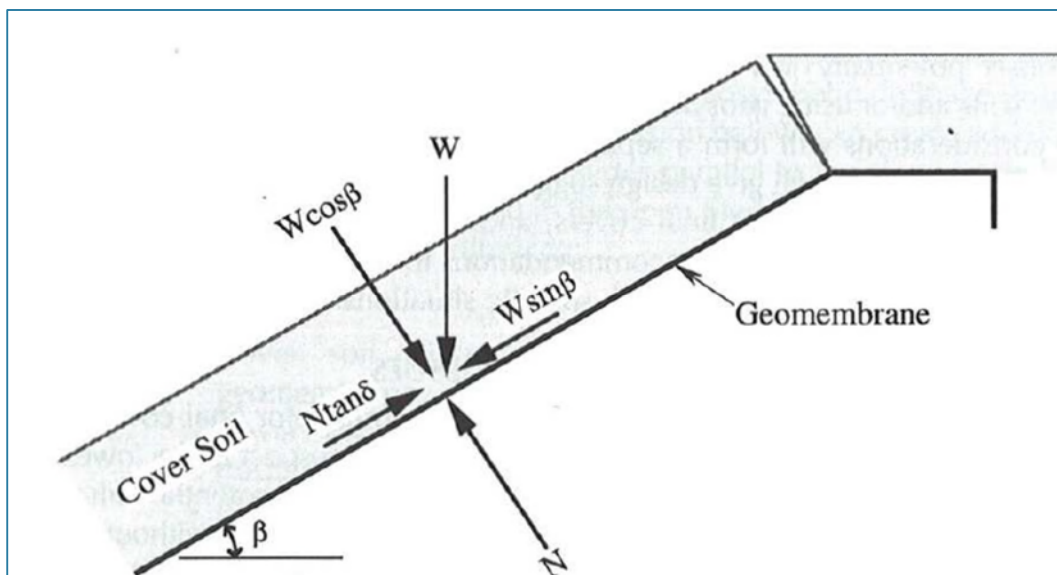
$$SF_{eis} = \frac{S}{B} \geq 1,3$$

Waarin:

SF_{eis}	= de vereiste stabiliteitsfactor van 1,3	[-]
S	= rekenwaarde van de sterkte	[kN/m ²]
B	= rekenwaarde van de belasting	[kN/m ²]

3.2 Afschuifcriterium

Uitgegaan wordt van een afschuiving op een oneindig talud, aangezien de verhouding tussen afdeklaag en lengte talud zeer groot is. Voor een afschuiving op een oneindig talud gelden de krachten zoals samengevat in figuur 3.1. De extra belasting vanuit de zonnepanelen is meegenomen door als belasting bij het eigen gewicht van de leeflaag mee te nemen.



Figuur 3.1: Gedefinieerde profielen en bijbehorende percentages

Waarin:

W	= eigen gewicht van de leeflaag & verticale belasting zonnepanelen	[kN/m ²]
N	= normaalkracht, is gelijk aan de zwaartekracht	[kN/m ²]
β	= taludhelling ondergrond	[°]
δ	= wrijvingshoek, afhankelijk van het materiaal	[°]

Door de criteria van paragraaf 2.2.1 en 2.2.2 te combineren, ontstaan er de volgende formules om de stabiliteit van de bovenafdichting te controleren. De rekenfactor voor de belasting en de sterkte kunnen met onderstaande formules worden bepaald:

$$S = C + N \times \tan \delta \quad = C + \rho \times g \times d \times \cos \beta \times \tan \delta$$

$$B = W \times \sin \beta \quad = (\sigma_{\max}; d + \rho \times g \times d) \times \sin \beta$$

Waarin:

C	= cohesie of adhesie	[kN/m ²]
ρ	= gewicht leeflaag	[kg/m ³]
g	= gravitatieconstante	[=9,81 m/s ²]
d	= dikte leeflaag	[= 0,8 m]
σ _{max;d}	= verticale belasting vanuit zonnepanelen	[=2,5 kN/m ²]

3.3 Faalmechanisme stabiliteit

In deze paragraaf wordt voor het faalmechanisme stabiliteit een aantal schuifvlakken gedefinieerd die gecontroleerd dienen te worden.

3.4 Gedefinieerde schuifvlakken

Op basis van de bovenafdichtingsconstructie zijn er een drietal schuifvlakken die op stabiliteit gecontroleerd moeten worden. Daarnaast is er nog de interne stabiliteit van de drainagemat en de leeflaag. Samengevat leidt dit tot de volgende 5 stabiliteitssituaties:

1. Schuifvlak drainagemat – leeflaag.
2. Schuifvlak HDPE folie glad – drainagemat.
3. Schuifvlak Trisoplast – HDPE folie glad.
4. Interne stabiliteit leeflaag.
5. Interne stabiliteit drainagemat.

De grondmechanische eigenschappen en materiaaleigenschappen zijn weergegeven in tabel 3-1.

Tabel 3-1: Grondmechanische parameters stabiliteitsberekening

Stabiliteitssituatie	Dikte [m]	Gewicht [kg/m ³]	φ'	c'
1 schuifvlak drainagemat - leeflaag	–	–	35,0	0,0
2 Schuifvlak HDPE folie – drainagemat	0,002	–	25,7	4,8
3 Schuifvlak Trisoplast – HDPE folie	0,07	–	33,0	3,6
4 interne stabiliteit leeflaag	0,80	1.800	35,0	0
5 interne stabiliteit drainagemat	–	–	27	14

4. Berekeningsresultaten stabiliteitsberekeningen bovenafdichting

De veiligheidsfactor SF_{eis} is berekend met de parameters zoals weergegeven in tabel 3-1.

De berekeningsresultaten van de drie contactglijvlakken tussen de verschillende materialen en de twee interne stabiliteitsmechanismen (drainagemat en afdeklaag) is voor de maatgevende taludhelling van 33% (Veld A) weergegeven in tabel 4-1 (zonder zonnepanelen) en tabel 4-2 (met zonnepanelen).

Tabel 4-1: Berekeningsresultaten huidige situatie

Stabiliteitssituatie	Bc	Sc	SF	uc > 1,3
1 schuifvlak drainagemat - leeflaag	3,97	7,81	1,97	voldoet
2 Schuifvlak HDPE folie – drainagemat	3,97	9,97	2,51	voldoet
3 Schuifvlak Trisoplast – HDPE folie	3,97	10,68	2,69	voldoet
4 interne stabiliteit leeflaag	3,97	7,81	1,97	voldoet
5 interne stabiliteit drainagemat	3,97	18,66	4,70	voldoet

Tabel 4-2: Berekeningsresultaten toekomstige situatie met zonnepanelen

Stabiliteitssituatie	Bc	Sc	SF	uc > 1,3
1 schuifvlak drainagemat - leeflaag	4,76	7,81	1,64	voldoet
2 Schuifvlak HDPE folie – drainagemat	4,76	9,97	2,09	voldoet
3 Schuifvlak Trisoplast – HDPE folie	4,76	10,68	2,24	voldoet
4 interne stabiliteit leeflaag	4,76	7,81	1,64	voldoet
5 interne stabiliteit drainagemat	4,76	18,66	3,92	voldoet

4.1 Rekenvoorbeeld

Ter controle van de stabiliteit is in deze paragraaf één afschuifvlak beschouwd als rekenvoorbeeld. Gekozen is voor het interne schuifvlak van de leeflaag bij een taludhelling van 33% (Veld A), hetgeen overeenkomt met 18,5°.

Huidige situatie

$$S = \frac{1600 \times 9,81}{1000} \times 0,8 \times \cos 18,43 \times \tan 33,25 = 3,97 \text{ kPa}$$

$$B = 0,0 + \frac{1600 \times 9,81}{1000} \times 0,8 \times \sin 18,43 = 7,81 \text{ kPa}$$

Hieruit volgt een veiligheidsfactor SF van $7,81 / 3,97 = 1,99$

Toekomstige situatie met 2,5 kPa belastingverhoging

$$S = \left(\frac{1600 \times 9,81}{1000} \times 0,8 + 2,5 \right) \times \cos 18,43 \times \tan 33,25 = 4,76 \text{ kPa}$$

$$B = 0,0 + \frac{1600 \times 9,81}{1000} \times 0,8 \times \sin 18,43 = 7,81 \text{ kPa}$$

Hieruit volgt een veiligheidsfactor SF van $7,81 / 4,76 = 1,64$

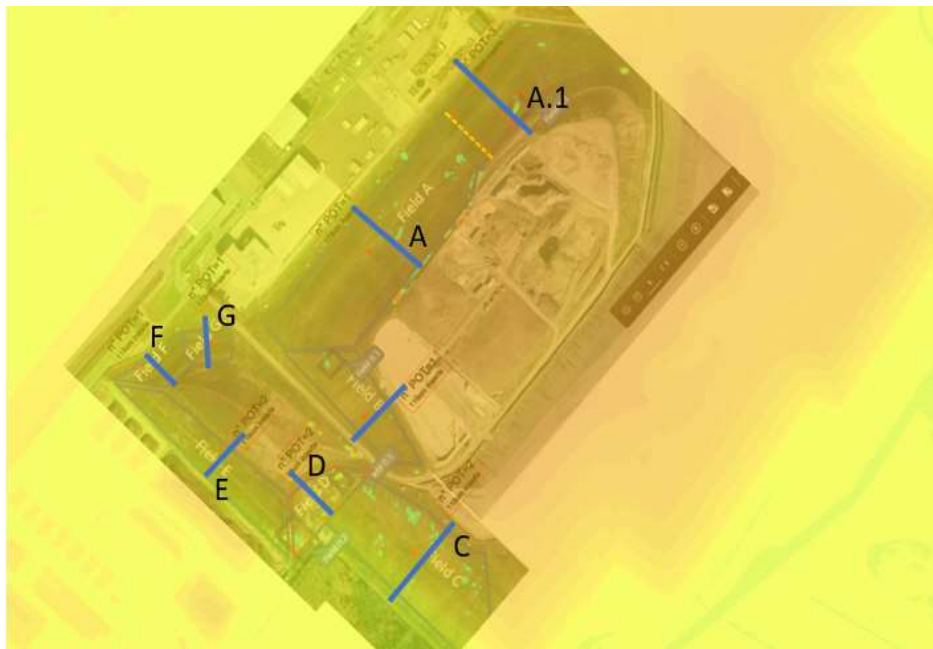
5. Conclusies

Uit de stabiliteitsanalyses volgt dat de afdichtingsconstructie met de in hoofdstuk 2 beschreven uitgangspunten en inclusief een belastingverhoging van $2,5 \text{ kN/m}^2$ (vanuit zonnepanelen) voldoende stabiliteitsreserve tegen afschuiven heeft.

Opgemerkt dient te worden dat voor een deel van de uitgangspunten aannames zijn gedaan. Dit dient door de opdrachtgever te worden geverifieerd.

Antea Group
Heerenveen, april 2023

Bijlage 1 Overzicht beschouwde doorsneden



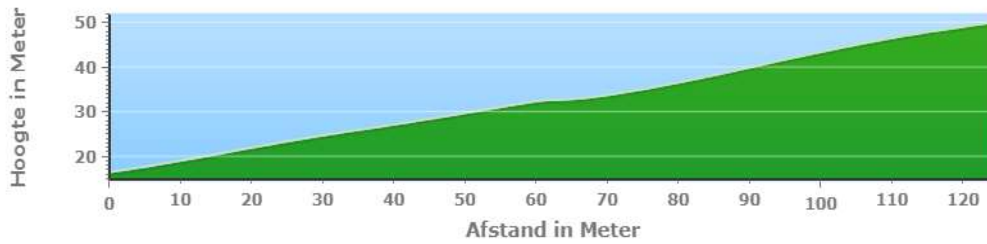
Veld

C

AHN4 - Hoogteprofiel

x

Hoogteprofiel



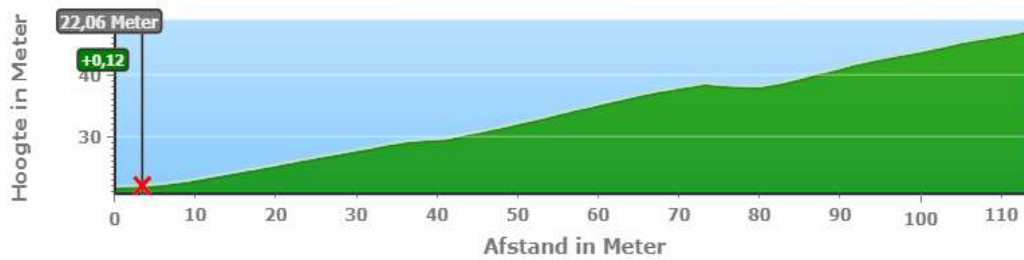
| Meter ▾

D

AHN4 - Hoogteprofiel

x

Hoogteprofiel

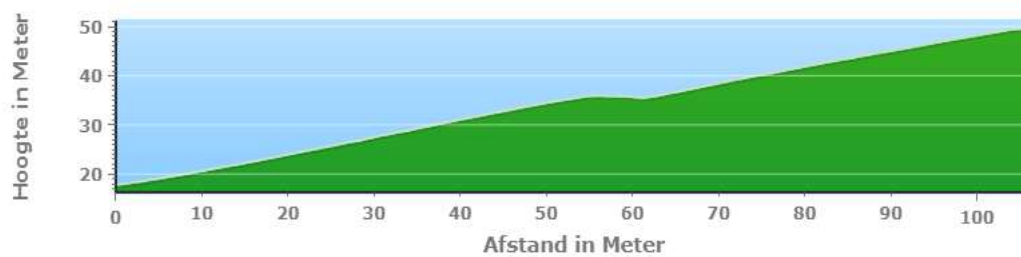


E

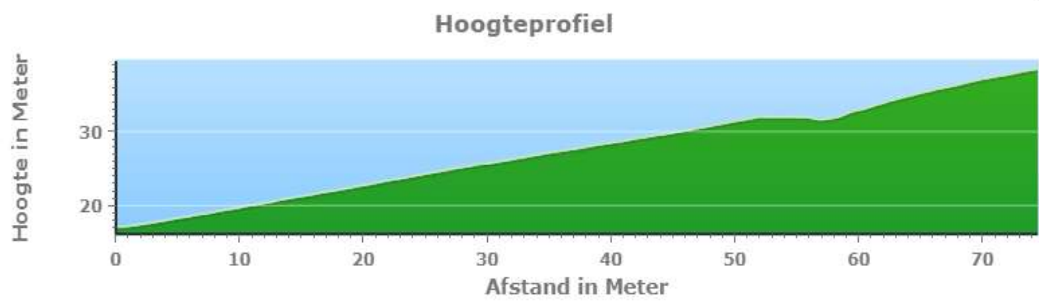
AHN4 - Hoogteprofiel

x

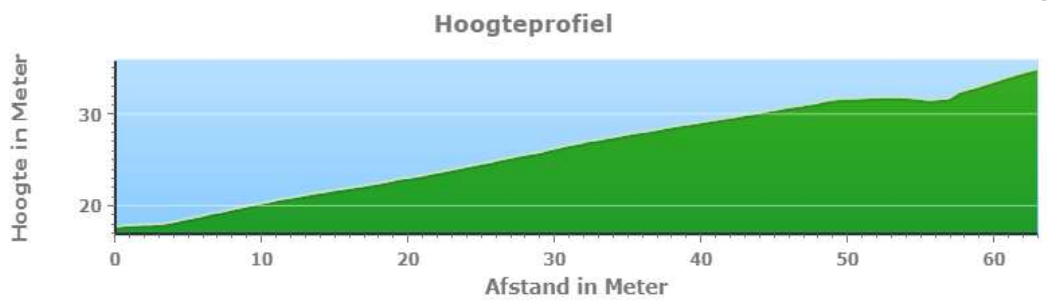
Hoogteprofiel



F AHN4 - Hoogteprofiel X



G AHN4 - Hoogteprofiel X



B AHN4 - Hoogteprofiel X



A AHN4 - Hoogteprofiel X





Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1500 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensing en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al 70 jaar.

Contactgegevens

Tolhuisweg 57
8443 DV Heerenveen
Postbus 24
8440 AA Heerenveen
T. +31 6 11 16 18 99
E. Harrie.Wiltinge@AnteaGroup.nl

Copyright © 2023

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor geadresseerde(n) en kan persoonlijke of vertrouwelijke informatie bevatten. Gebruik van deze informatie, door anderen dan de geadresseerde(n) en gebruik door hen die niet gerechtigd zijn van deze informatie kennis te nemen, is niet toegestaan. De informatie is uitsluitend bestemd om te worden gebruikt door de geadresseerde, voor het doel waarvoor dit rapport is vervaardigd. Indien u niet de geadresseerde bent of niet gerechtigd bent tot kennisneming, is openbaarmaking, vermenigvuldiging, verspreiding en/of verstrekking van deze informatie aan derden niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct een melding te maken bij security@antegroup.nl. Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontleen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

www.anteagroup.nl