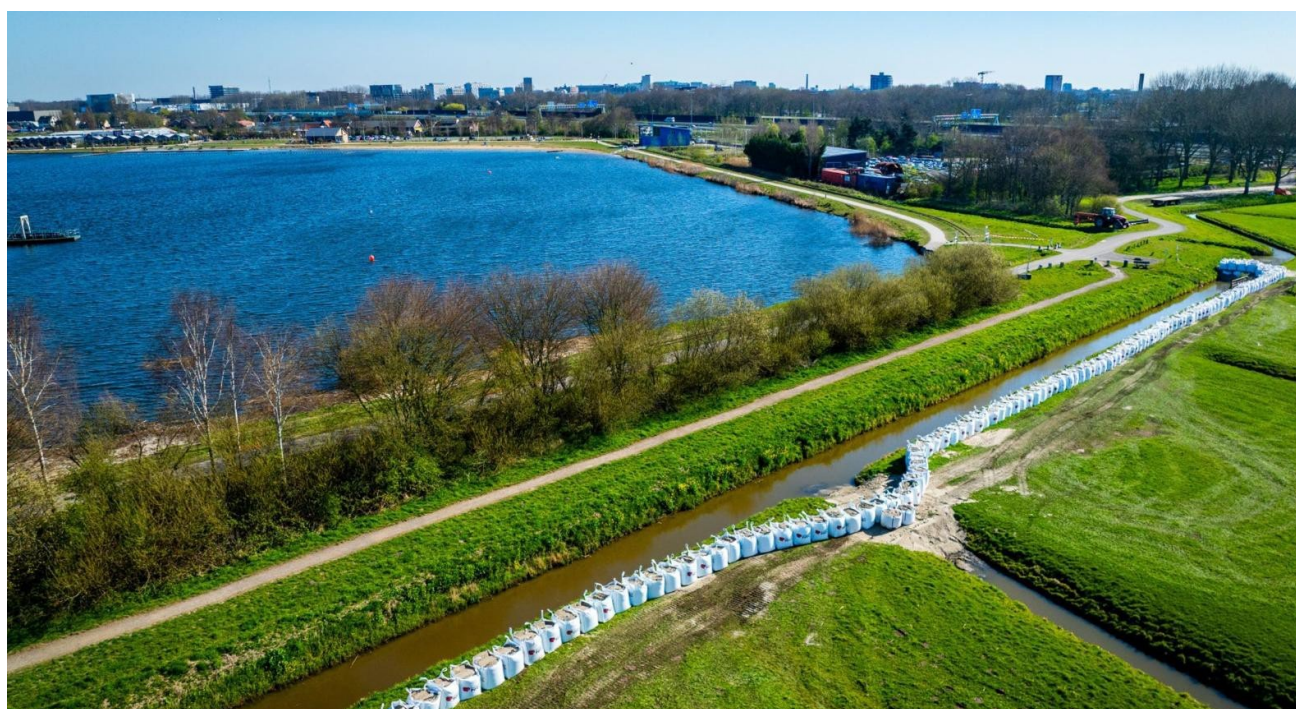


WATERVEILIGHEIDSBEOORDELING VALKENBURGSE MEER

Adviesrapport V2.1



INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	4
1 INLEIDING	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doelstelling	5
1.3 Leeswijzer	6
2 METHODIEK EN BEOORDELINGSKADER	7
2.1 Beoordelingsinstrumentarium	7
2.2 Inwinnen gegevens	7
2.3 Vakindeling maken op basis vergelijkbare geometrie	7
2.4 Maatgevende profielen opstellen	7
2.5 Beoordeling op basis van eenvoudige toets	7
2.5.1 Stap E.2	7
2.5.2 Stap E.3	7
2.6 Beoordeling op basis van toets op maat	9
3 BEOORDELING VEILIGHEID - EENVOUDIGE TOETS	10
3.1 Samenvoeging tot dekkend hoogtebestand	10
3.2 Vakindeling	12
3.3 Eenvoudige toets	14
3.3.1 Stap E.1 Zettingsvloeiing is schadelijk	14
3.3.2 Stap E.2 Zettingsvloeiing kan optreden op basis van criterium "steilste helling over 5 meter"	15
3.3.3 Stap E.3 De zettingsvloeiing kan optreden op basis van het totale profiel	15
3.3.4 Stap G.1 Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte	15
3.3.5 Conclusie eenvoudige toets	15
4 BEOORDELING VEILIGHEID - TOETS OP MAAT	18
4.1 Inleiding	18
4.2 Uitgangspunten Toets op Maat	18
4.2.1 Veiligheidseis	18
4.2.2 Rekenprofielen	18
4.2.3 Bodemopbouw per rekenprofiel	19
4.2.4 Grondparameters en partiële factoren	20
4.2.5 Waterstand	21
4.3 Resultaten	21
4.3.1 Statische stabiliteit	21
4.3.2 Zettingsvloeiing (D-Flow Slide)	21
5 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	23
6 REFERENTIES	24
BIJLAGE 1: AFLEIDING MAATGEVENDE PROFIELEN	25
BIJLAGE 2: GEBRUIKTE SONDERINGEN	35

BIJLAGE 3: D-STABILITY GLIJCIRKELS	46
BIJLAGE 4: D-FLOW SLIDE RESULTATEN.....	48

SAMENVATTING

In de voorliggende rapportage ligt een waterveiligheidsbeoordeling met betrekking tot het risico op zettingsvloeiing in het Valkenburgse Meer. Aanleiding voor deze studie is de afschuiving die op 1 april 2025 heeft plaatsgevonden waarbij een groot grondlichaam inclusief een deel van de waterkering het Valkenburgse Meer in is geschoven. Naar aanleiding van deze afschuiving heeft er een onderzoek plaatsgevonden door Fugro. Uit dit onderzoek bleek dat er hoogstwaarschijnlijk sprake is geweest van een bresvloeiing als gevolg van zandwinning.

Naar aanleiding van de afschuiving is de behoefte ontstaan om een uitspraak te doen over de stabiliteit van de overige oevers van het Valkenburgse Meer. Met behulp van dieptemetingen en een hoogtemeting van het omliggende maaiveld zijn dwarsprofielen gegenereerd rondom het meer. Op basis van deze profielen zijn 20 dijkvakken gedefinieerd. Voor ieder vak is een maatgevend profiel bepaald, die is getoetst conform de methodiek WBI2017. Hierbij is begonnen met een eenvoudige toets uitgevoerd op basis van geometrische kenmerken. Vervolgens zijn vakken die niet aan de eenvoudige toets voldeden beoordeeld met een toets op maat via een glijvlak analyse in D-Stability en D-Flow Slide. Voor de huidige situatie geldt dat voor alle vakken buiten inscharing aan de vereiste veiligheid wordt voldaan.

De conclusies in dit rapport zijn gebaseerd op de huidige situatie. Indien zandwinning wordt hervat zal op basis van een plan van aanpak en aanvullende analyses bekeken worden of dit van invloed kan zijn op de stabiliteit van de oevers.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Op 1 april 2025 is een groot stuk van de oever aan de zuidwestrand van de zandwinput in het Valkenburgse Meer afgeschoven. De afschuiving had een lengte van circa 185 m met een breedte van circa 15 tot 20 m. De oever is door een instabiliteit van het onderwatertalud van de diepe zandwinput afgeschoven. Door deze afschuiving is tevens een gedeelte van de regionale waterkering verloren gegaan. De oorspronkelijke kruinbreedte van de kering is van 35 tot 40 m gereduceerd tot circa 20 m breedte. Het Hoogheemraadschap Rijnland (HHR) heeft als noodmaatregel een noodwaterkering aangelegd ter borging van de waterveiligheid.

Op 15 april 2025 is een eerste advies opgesteld door Deltares over de stabiliteit van de zandwinput en de waterkering [Ref. 1]. De belangrijkste eerste bevindingen zijn dat de instabiliteit het gevolg is van een zettingsvloeiing die is opgetreden. Zettingsvloeiing kan optreden in de vorm van:

- Verwekingsvloeiing:
 - Treedt op in losgepakte zandlagen;
 - Treedt op als gevolg van een belasting, bijvoorbeeld trillingen;
 - Treedt vrijwel direct op.
- Bresvloeiing:
 - Treedt op in vastgepakte zandlagen;
 - Treedt op als gevolg van erosie of lokale instabiliteit, bijvoorbeeld als gevolg van zandwinning;
 - Treedt op over meerdere uren.

Op 27 juni 2025 een advies opgesteld door Fugro om de instabiliteit verder te onderzoeken [Ref. 2]. Op basis van aanvullend onderzoek ter plaatse van de afschuiving is geconcludeerd dat hoogstwaarschijnlijk sprake is geweest van een bresvloeiing veroorzaakt door de zandwinning. Het nieuwe evenwicht is marginaal omdat nieuwe triggers de situatie mogelijk kunnen verslechteren. Er is een veiligheidszone om het meer gedefinieerd waarin algemene activiteiten moeten worden vermeden. HHR monitort de oeverlijn middels visuele inspecties. Ondanks het marginale evenwicht van het onderwater-talud wordt wel erosie van de oeverlijn waargenomen als gevolg van golfslag en stroming.

De Provincie Zuid-Holland heeft WiR gevraagd de stabiliteit van de overige oevers rondom het Valkenburgse Meer te beoordelen. In de onderliggende rapportage is de stabiliteit van de huidige situatie beschouwd. De stabiliteit ter plaatse van de inscharing valt buiten de scope van deze rapportage.

1.2 Doelstelling

Het voorliggende adviesrapport heeft als doelstelling om het waterveiligheidsrisico met betrekking tot zettingsvloeiing voor het Valkenburgse Meer vast te stellen. Hierbij is de stabiliteit van de huidige oevers (m.u.v. van de locatie van de inscharing) beschouwd.

1.3 Leeswijzer

Het onderliggende document is op de volgende manier opgebouwd:

- H2: beschrijving van de methodiek en het beoordelingskader.
- H3: presentatie van de veiligheidsanalyse - eenvoudige toets.
- H4: presentatie van de veiligheidsanalyse - toets op maat.
- H5: conclusies en aanbevelingen.

2 METHODIEK EN BEOORDELINGSKADER

2.1 Beoordelingsinstrumentarium

De beoordeling op zettingsvloeiing is conform het WBI2017 [Ref. 3]. Ondanks dat het Valkenburgse Meer een regionale waterkering is sluit de methodiek WBI2017 het best aan bij laatste inzichten omtrent dit faalmechanisme. Omdat het faalmechanisme voor zowel regionale als primaire keringen onder vergelijkbare condities optreedt is de methodiek goed toepasbaar.

2.2 Inwinnen gegevens

Om de geometrische situatie rondom het meer zo goed mogelijk in kaart te brengen zijn de volgende gegevens gebruikt:

- Multibeammetingen van Xella ter bepaling van onderwatergeometrie.
- Hoogtemetingen ingewonnen met drone RPS ter bepaling van maaiveldgeometrie.

2.3 Vakindeling maken op basis vergelijkbare geometrie

Bij het opstellen van de vakindeling is uitgegaan van een stabiele oeverlijn als uitgangspunt. Afschuiving van de oever is onacceptabel vanwege de aanwezigheid van bestaande infrastructuur en de geplande gebiedsontwikkeling tussen de regionale waterkering en de oever. Om de 50 meter zijn geometrische dwarsprofielen loodrecht op de oeverlijn in de richting van het meer gegenereerd. Op basis van overeenkomsten in de geometrische kenmerken van de dwarsprofielen is een vakindeling gemaakt.

2.4 Maatgevende profielen opstellen

Voor elk vak is een maatgevend profiel afgeleid. Het maatgevende profiel is beoordeeld aan de hand van de criteria uit stap E.2 en stap E.3 van het WBI [Ref. 3]. Stap E.2 heeft betrekking tot de gemiddelde hellingen over 5 meter diepte verschil en stap E.3 richt zich op de gemiddelde en lokale hellingen.

2.5 Beoordeling op basis van eenvoudige toets

2.5.1 Stap E.2

Volgens stap E.2 is het risico op zettingsvloeiing aanzienlijk als de helling steiler of gelijk is aan 1:4 over een hoogteverschil van minimaal 5 meter. In dit geval is er geen beoordeling mogelijk op basis van rekenregels van de geometrische beoordeling. In dat geval is een toets op maat noodzakelijk en wordt stap E.3 overgeslagen.

2.5.2 Stap E.3

Vakken die voldoen aan stap E.2 worden verder getoetst in stap E.3. In deze stap geldt dat zettingsvloeiing uitsluitend kan optreden indien aan ten minste één van de volgende criteria wordt voldaan:

1. Een verwekingsvloeiing kan optreden als over de rekenhoogte H_R geldt dat $\cot(\alpha_R) \leq 7 \cdot \left(\frac{H_R}{24}\right)^{\frac{1}{3}}$,

waarbij de betekenis van H_R en α_R visueel is weergegeven in Figuur 2-1.

2. Een bresvloeiing kan optreden als in één of meerdere zand- en siltlagen in het onbestorte deel van het onderwatertalud de taludhelling te steil is. De maximaal toegestane lokale helling is weergegeven in tabel 2-1. Voor de tweede geometrische toets moet aan de volgende toepassingsvoorwaarden worden voldaan:

- De onbestorte hoogte van het onderwatertalud mag niet groter dan 40 m (verticaal) zijn.
- Voor de korrelgrootte van het onbestorte deel van het onderwatertalud moet gelden dat:
 $d_{50,gem} > 0,200$ mm en $d_{15,gem} > 0,100$ mm.

Waarin:

$d_{50,gem}$: de 50-percentielwaarde van de korrelverdeling

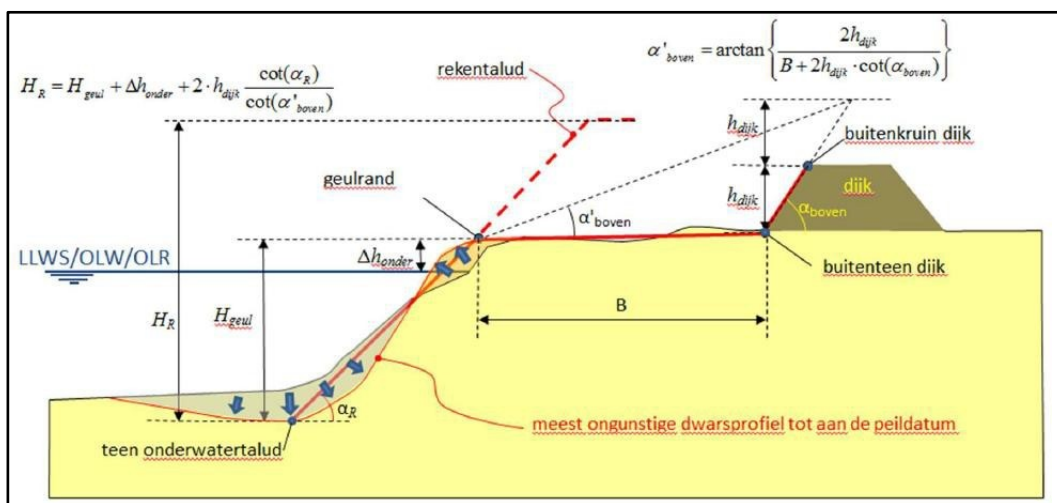
$d_{15,gem}$: de 15-percentielwaarde van de korrelverdeling

TABEL 2-1: MAXIMAAL TOELAATBARE LOKALE HELLINGEN ($d_{50,gem} > 0,200$ MM EN $d_{15,gem} > 0,100$ MM)

Diepte-interval van onbestort deel van het onderwatertalud [m]	Maximale helling (V:H)
0 – 5	1:2
5 – 10	1:2,5
10 – 15	1:3
15 – 20	1:3,5
20 – 25	1:4
25 – 30	1:4,7
30 – 35	1:5,4
35 – 40	1:6

Voor de situatie bij het Valkenburgse Meer geldt dat de er geen bestorting aanwezig is en dat de maximale geuldiepte van de zandwinput circa 40,0 m is. Hiermee is aan voorwaarde 2a voldaan.

Uit het onderzoek van Fugro [Ref. 2] volgt dat de zandlagen doorgaans aan criterium 2b voldoen. Uit het veldonderzoek van zowel Fugro als Wiertsema [Ref. 4] wordt wel opgemerkt dat er tussen circa NAP -5,0 m en circa NAP -25,0 m een zeer gelaagde bodemopbouw voorkomt waarin zand en kleilaagjes zich afwisselen. Deze afwisselende opbouw staat bekend als wadzand. Of deze ondergrond gevoelig is voor zettingsvloeiing wordt op het moment van schrijven van deze rapportage nader onderzocht. Voor deze studie is aangenomen dat zettingsvloeiing in wadzand kan optreden.



FIGUUR 2-1: GESCHETSEERDE GEOMETRIE MET BEPALING GEOMETRISCHE PARAMETERS CRITERIUM 1

2.6 Beoordeling op basis van toets op maat

Indien een beoordeling op basis van de eenvoudige toets niet mogelijk is, zijn overige strekkingen beoordeeld met behulp van een toets op maat. In de toets op maat is allereerst de statische stabiliteit beschouwd met behulp van een glijvlak analyse in D-Stability. De statische stabiliteit geeft inzicht in de stabiliteit van de oever zonder het meenemen van verwekingseffecten.

Vervolgens is ook de stabiliteit met betrekking tot verwekingsvloeiing beschouwd met behulp van het programma D-Flow Slide. Binnen deze analyse is beoordeeld of de stabiliteit is geborgd indien er verwekingseffecten kunnen optreden.

Als voor beide situaties geldt dat ze aan de gestelde veiligheidseis voldoen, dan geldt dat de huidige situatie van de oever stabiel is.

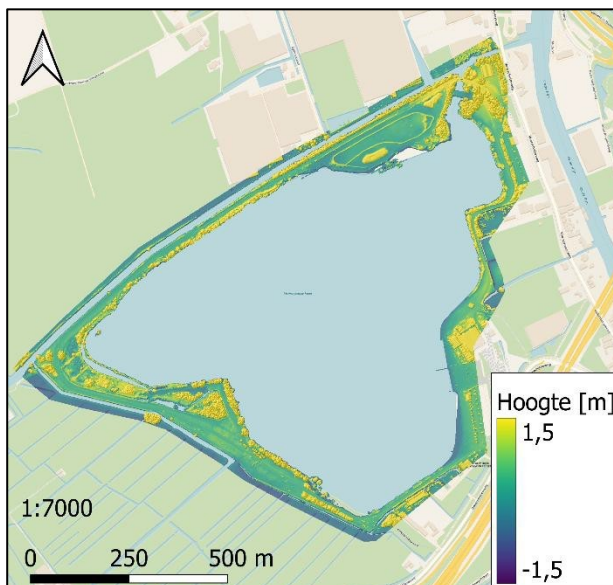
Bij eventuele hervatting van de zandwinning dienen aanvullende analyses aan te tonen dat het zandwinnen op een beheerste manier kan worden uitgevoerd.

3 BEOORDELING VEILIGHEID - EENVOUDIGE TOETS

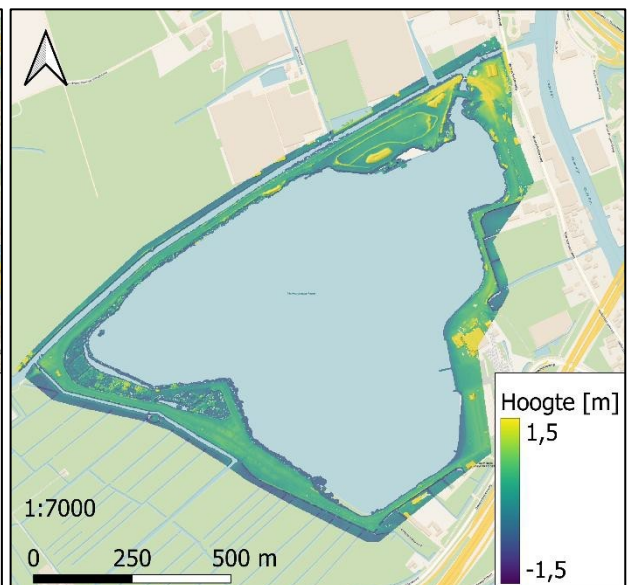
3.1 Samenvoeging tot dekkend hoogtebestand

Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogtes rondom het Valkenburgse Meer zijn verkregen met behulp van een drone uitgerust met LiDAR-technologie. De hoogtegegevens zijn als puntenwolk verzameld en vervolgens omgezet naar een raster met een resolutie van 1 m bij 1 m (zie Figuur 3-1). Om de maaiveldhoogtes te isoleren, is de vegetatie uit de hoogtemetingen verwijderd met behulp van een tool (zie Figuur 3-2).



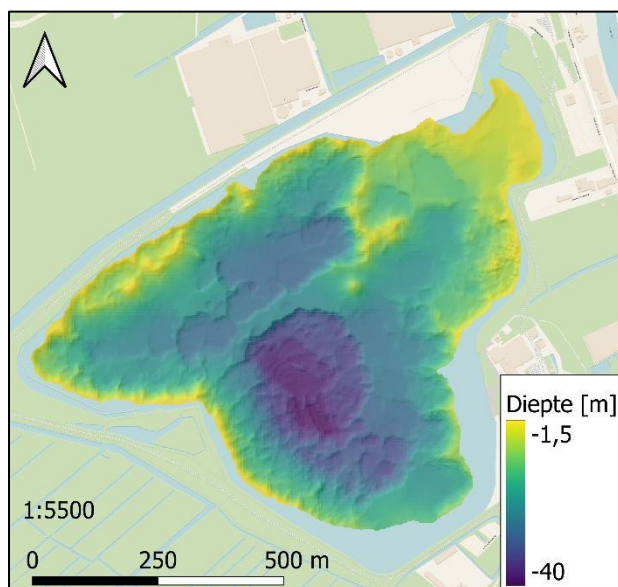
FIGUUR 3-1: LiDAR-HOOGTEMETINGEN



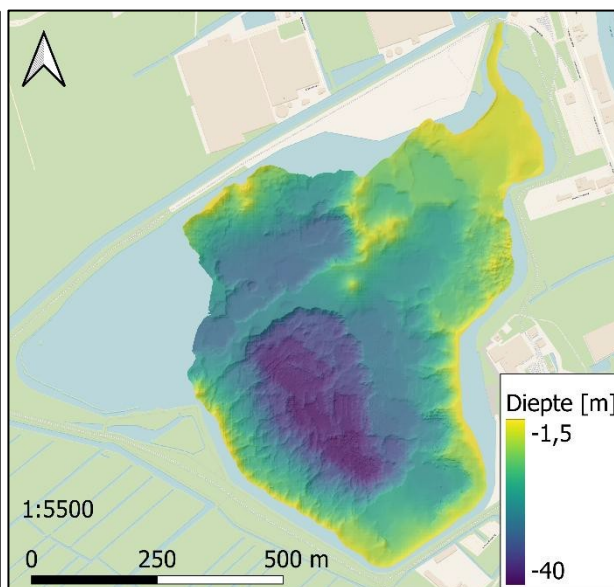
FIGUUR 3-2: GEHANTEERDE MAAVELDHOOGTES.

Onderwatergeometrie

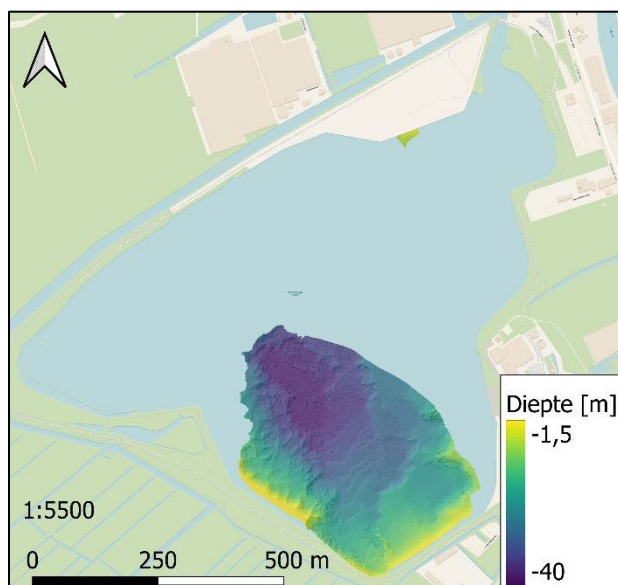
De onderwatergeometrie is ingemeten met multibeammetingen met een resolutie van 0,5 m bij 0,5 m. De gehanteerde onderwatergeometrie is samengesteld uit meerdere multibeammetingen. Bij het samenvoegen van deze datasets is voor elk punt in het meer de meest recente meting gebruikt (zie Figuur 3-3 t/m Figuur 3-6).



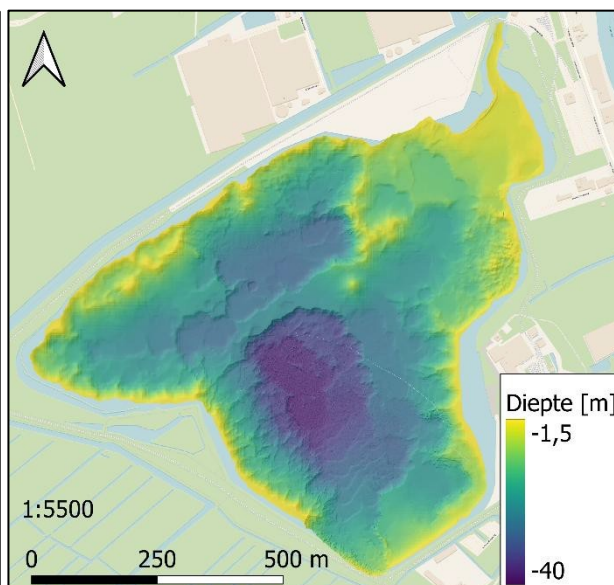
FIGUUR 3-3: MULTIBEAMMETING VALKENBURGSE MEER VAN 16 DECEMBER 2022



FIGUUR 3-4: MULTIBEAMMETING VALKENBURGSE MEER VAN 12 MAART 2024



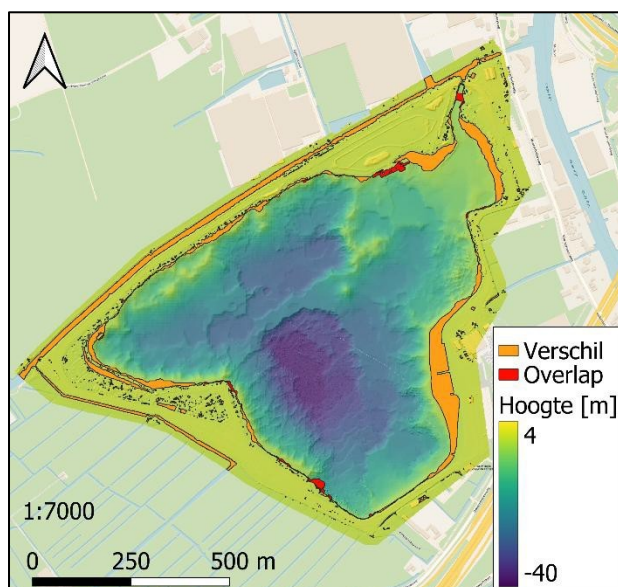
FIGUUR 3-5: MULTIBEAMMETING VALKENBURGSE MEER VAN 2 APRIL 2025



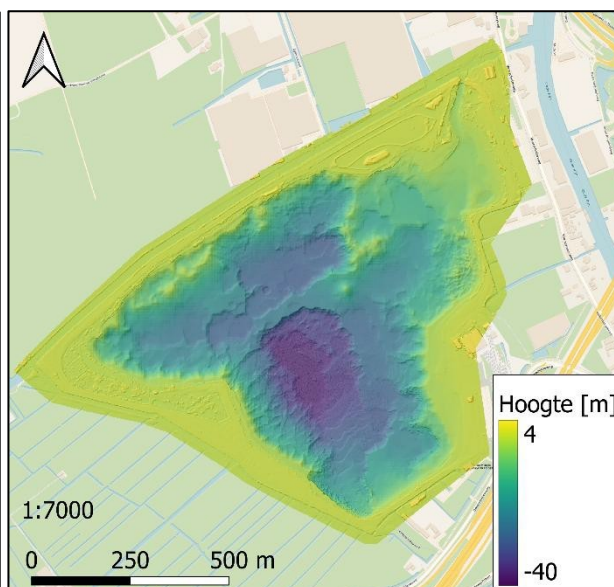
FIGUUR 3-6: GEHANTEERDE SAMENGEVOEGDE MULTIBEAMMETINGEN VAN HET VALKENBURGSE MEER

Samengevoegd hoogtebestand

De maaiveldhoogtes en multibeammetingen zijn geïntegreerd tot één hoogtebestand. Op enkele locaties langs het meer treedt beperkte overlap van de metingen op (zie Figuur 3-7), veroorzaakt door aanwezige objecten in het water, zoals een aanlegsteiger. In overlappende gebieden is prioriteit gegeven aan de multibeammetingen. Langs de randen van het meer bestaan gaten tussen de maaiveldhoogtes en multibeammetingen. Ook op plekken waar veel vegetatie is geëxtraheerd ontbreken maaiveldhoogtes. Deze gaten zijn geïnterpoleerd om een continu hoogtebestand te verkrijgen (zie Figuur 3-8). Bij enkele overgangen tussen de maaiveldhoogtes en multibeammetingen vindt een abrupte hoogteverandering plaats. Bij het beoordelen van de dwarsprofielen is rekening gehouden met dergelijke sprongen.



FIGUUR 3-7: OVERLAP EN VERSCHIL TUSSEN DE MAAVELDHOOGTES EN DE MULTIBEAMMETINGEN



FIGUUR 3-8: GEHANTEERD HOOGTEBESTAND VAN HET VALKENBURGSE MEER

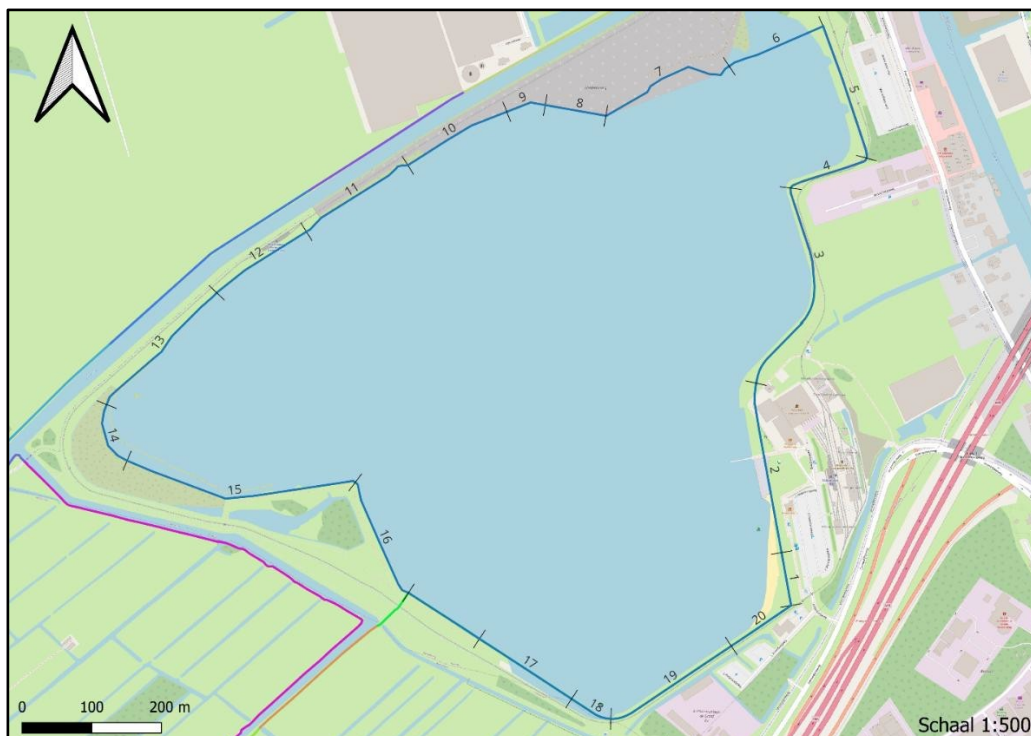
3.2 Vakindeling

Zoals vermeld in de methodiek zijn de dwarsprofielen uit het hoogtebestand gegenereerd. Deze dwarsprofielen zijn geanalyseerd en onderverdeeld in totaal twintig vakken op basis van geometrische karakteristieken. Voor elk vak is een maatgevend rekenprofiel gemaakt, wat een schematisatie van de daadwerkelijke geometrie is. Een overzicht van de profielen is te zien in Tabel 3-1 en is weergegeven op de kaart in Figuur 3-9. De gegenereerde en geschematiseerde maatgevende profielen per vak zijn toegevoegd in Bijlage 1.

Vak 17 en vak 18 bevinden zich op de locatie van de inscharing en zijn in deze rapportage niet verder behandeld. De stabiliteit op deze locatie is al beschouwd in de analyse van Fugro [Ref. 2].

TABEL 3-1: OVERZICHT VELDELING PROFIELN

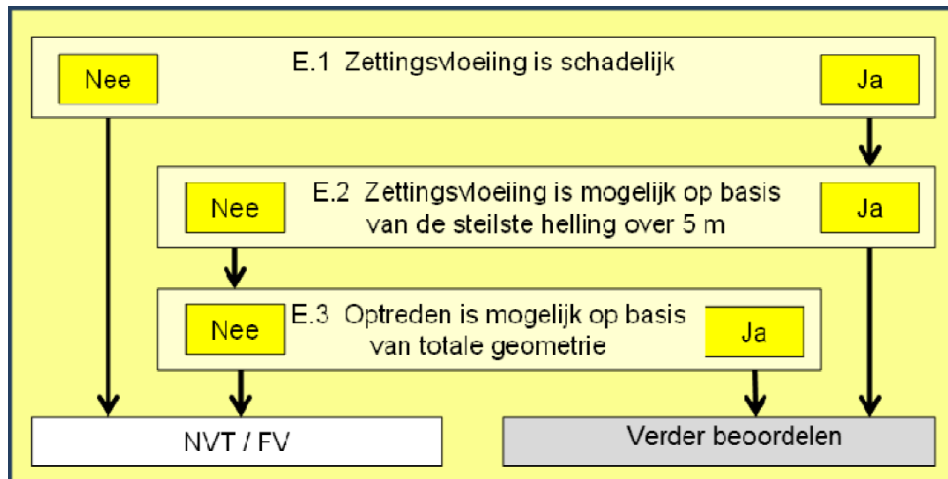
Vak	Lengte [m]	Maatgevend profiel	Opmerking
1	75	1-2	Berm op x=200-250m
2	250	2-4,2-5	
3	320	3-6	Berm op x=75m
4	120	4-2,4-1	
5	200	5-2,5-1	Berm op x=300-400m
6	150	6-2	
7	200	7-4	
8	90	8-2	Berm op x=250-350m
9	60	9-1	Berm op x=100-300m
10	160	10-2	Berm op x=200-400m
11	175	11-3	Berm op x=250-300m
12	155	12-3,12-1	Berm op x=50-100m
13	225	13-3,13-1	
14	100	14-1	
15	340	15-5	
16	300	16-2	
17	160	17-1	T.p.v. inscharing
18	65	18-1	T.p.v. inscharing
19	203	19-3	
20	103	20-1	Berm op x=150-200m



FIGUUR 3-9: VAKINDELING VALKENBURGSE MEER

3.3 Eenvoudige toets

Om de risicocontouren te bepalen is de eenvoudige toets Zettingsvloeiing voorland (VLZV) uitgevoerd conform [Ref. 3]. De toets bestaat uit drie stappen om profielen te beoordelen of de kans op falen verwaarloosbaar klein is. De stappen zijn weergegeven in Figuur 3-10.

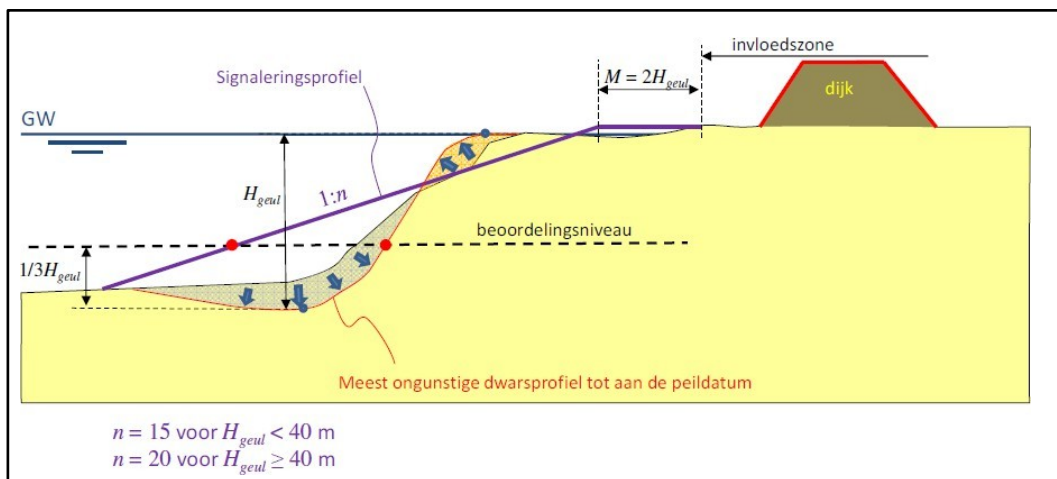


FIGUUR 3-10: TOETS STAPPEN EENVOUDIGE TOETS ZETTINGSVLOEIING [REF. 3]

3.3.1 Stap E.1 Zettingsvloeiing is schadelijk

In stap E.1 wordt beoordeeld of zettingsvloeiing schadelijk is voor het waterkerend vermogen van de kering. Dit gebeurt door het meest ongunstige profiel te toetsen aan het volgende criterium: indien het snijpunt van het beoordelingsniveau met het meest ongunstige profiel in de beoordelingsperiode buitenwaarts ligt ten opzichte van het snijpunt van het beoordelingsniveau met het signaleringsprofiel, dan is een zettingsvloeiing niet schadelijk. Het beoordelingsniveau en het signaleringsprofiel zijn schematisch weergegeven in Figuur 3-11.

Dit wordt bepaald door twee keer de geuldiepte vanaf de invloedzone als buffer te nemen en daar een helling te nemen van 1:n (met $n=15$ voor $H_{geul} < 40$ m en $n=20$ voor $H_{geul} \geq 40$ m). Geen van de profielen voldoet aan dit criterium, ook niet als het direct vanaf de invloedzone wordt genomen. Dus alle profielen gaan door naar stap E.2.



FIGUUR 3-11: SIGNALERINGSPROFIEL EN BEOORDELINGSNIVEAU STAP E.1 [REF. 3]

3.3.2 Stap E.2 Zettingsvloeiing kan optreden op basis van criterium “steilste helling over 5 meter”

Bij stap E.2 wordt gekeken of de helling van het profiel over een hoogteverschil van 5 meter steiler is dan 1:4. Indien dit het geval is, is het potentiële risico op een zettingsvloeiing aanzienlijk en kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Dit is het geval voor vak **2, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19 en 20**. De overige profielen worden verder beoordeeld bij stap E.3.

3.3.3 Stap E.3 De zettingsvloeiing kan optreden op basis van het totale profiel

Zoals beschreven in paragraaf 2.4, wordt het profiel in stap E.3 getoetst op verwekingsvloeiing (stap E.3A) en bresvloeiing (Stap E.3B). Voor de **vakken 1, 3, 4, 5, 6, 7** geldt dat het risico op zettingsvloeiing verwaarloosbaar is omdat ze voldoen aan alle eenvoudige toetsen.

3.3.4 Stap G.1 Voldoet aan toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte

In stap G.1 wordt gekeken of de vakken die niet door de eenvoudige toets komen aan de toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte voldoen. De profielen moeten voldoen aan de volgende twee criteria:

- G.1a. De geulrand ligt buiten de invloedszone.
- G.1b. Over elke willekeurige 5 meter hoogte van het onderwatertalud is de gemiddelde taludhelling flauwer dan 1:4.

Voor de overgebleven profielen geldt dat ze niet voldoen aan de toepassingsvoorwaarden van de gedetailleerde toets. Voor deze profielen wordt een Toets op Maat uitgevoerd.

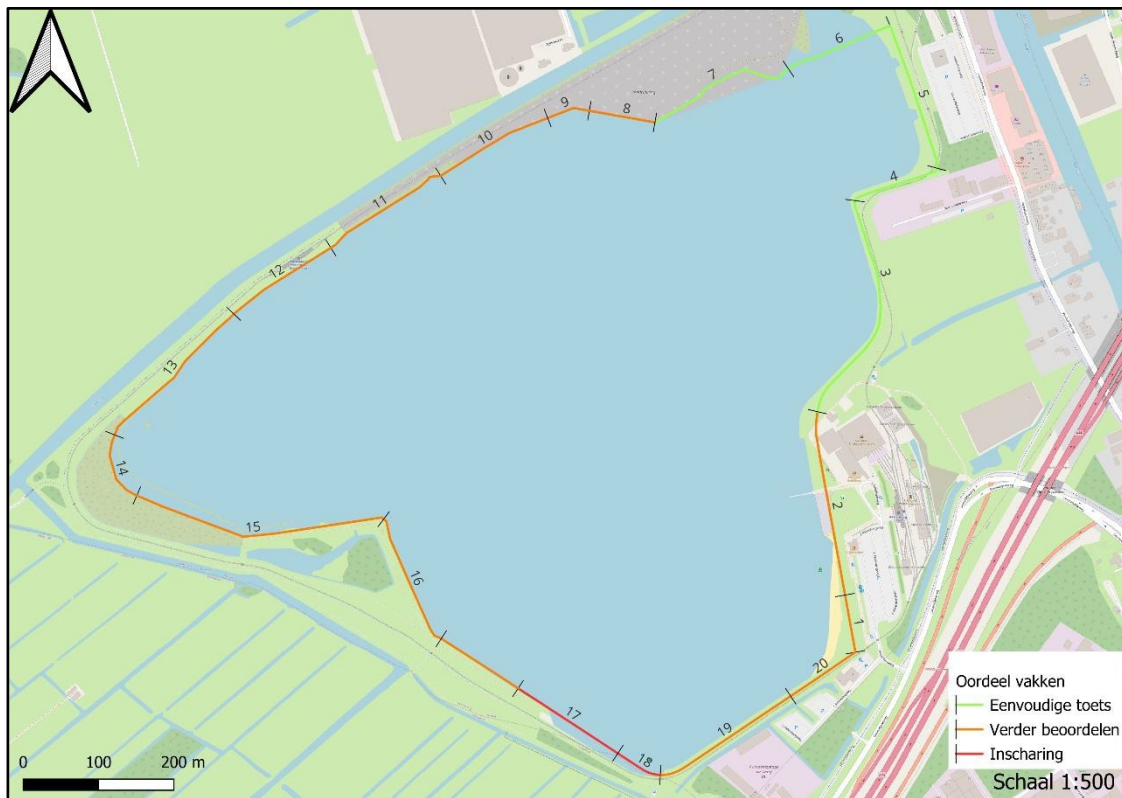
3.3.5 Conclusie eenvoudige toets

Uit de eenvoudige en gedetailleerde toets volgt per vak een oordeel. Het overzicht hiervan bevindt zich in Tabel 3-2. Daarnaast is een kaart met de oordelen per dijkvak te zien in Figuur 3-12. In aanvulling op de vakken die niet voldoen aan de eenvoudige toets wordt ook vak 1 afgekeurd voor de eenvoudige toets. Vak 1 is relatief klein en ligt in een binnenbocht tussen twee andere profielen die zijn afgekeurd (vak 2 en

20). Indien zettingsvloeiing optreedt bij een aangrenzend vak beïnvloedt dit door 3D-werking ook de geometrie van vak 1.

TABEL 3-2: OORDEEL PER VAK. VB= VERDER BEOORDELEN. FV= FAALKANS VERWAARLOOSBAAR. NVT=NIET VERDER TOETSEN.

Vak	Oordeel	Vervolgstep	Opmerking
1	VB	Toets op maat	Voldoet niet om dat aangrenzende vakken onvoldoende scoren
2	VB	Toets op maat	
3	NVT/FV		Voldoet aan eenvoudige toets
4	NVT/FV		Voldoet aan eenvoudige toets
5	NVT/FV		Voldoet aan eenvoudige toets
6	NVT/FV		Voldoet aan eenvoudige toets
7	NVT/FV		Voldoet aan eenvoudige toets
8	VB	Toets op maat	
9	VB	Toets op maat	
10	VB	Toets op maat	
11	VB	Toets op maat	
12	VB	Toets op maat	
13	VB	Toets op maat	
14	VB	Toets op maat	
15	VB	Toets op maat	
16	VB	Toets op maat	
17	Locatie inscharing		zie rapport Fugro [Ref. 2] voor meer details
18	Locatie inscharing		zie rapport Fugro [Ref. 2] voor meer details
19	VB	Toets op maat	
20	VB	Toets op maat	



FIGUUR 3-12: OVERZICHT VAN OORDEEL PER DIJKVAK

4 BEOORDELING VEILIGHEID - TOETS OP MAAT

4.1 Inleiding

Uit het vorige hoofdstuk bleek dat vijftien van de twintig vakken niet voldeden aan de eenvoudige toets. Om een scherper beeld te krijgen met betrekking tot de stabiliteit van de oevers is een toets op maat uitgevoerd. Een toets op maat bestaat uit:

- Een analyse van de statische stabiliteit in D-Stability.
- Een analyse voor het risico op zettingsvloeiing met D-FlowSlide.

4.2 Uitgangspunten Toets op Maat

4.2.1 Veiligheidseis

Beoordeling statische stabiliteit

Voor het beoordelen van de statische stabiliteit is de eis conform de Eurocode strenger dan voor de regionale waterkering. Voor de beoordeling van de statische stabiliteit is daarom uitgegaan van RC1.

Beoordeling zettingsvloeiing

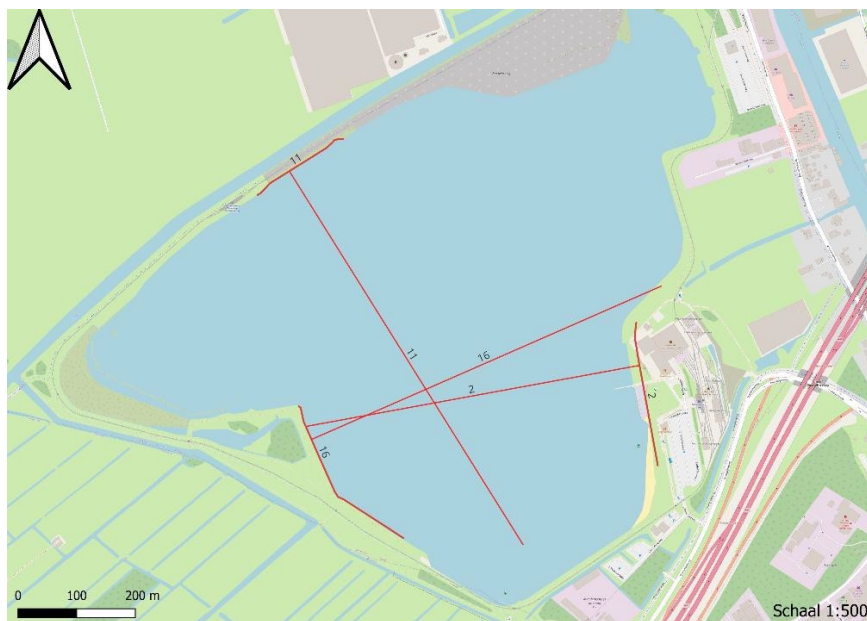
De toelaatbare faalkans voor zettingsvloeiing is bepaald aan de hand van de normering van de achterliggende waterkering. De waterkering heeft een IPO-klasse 3 normering wat overeenkomt met een toelaatbare faalkans van $2 \cdot 10^{-3}$ per jaar. Bij het toepassen van de standaardfaalkansbegroting is de toelaatbare faalkans voor het mechanisme zettingsvloeiing gelijk aan $2 \cdot 10^{-4}$ per jaar [Ref. 7].

4.2.2 Rekenprofielen

De toets op maat is uitgevoerd voor drie rekenprofielen om een dekkend beeld (m.u.v. de locatie van de inscharing) voor het meer te verkrijgen. De volgende vakken zijn hierbij beschouwd:

- Vak 2 (representatief voor noordoostzijde en zuidoostzijde).
- Vak 11 (representatief voor noordwestzijde).
- Vak 16. (representatief voor zuidwestzijde m.u.v. locatie inscharing).

De locatie van de rekenprofielen per vak zijn weergegeven in Figuur 4-1.



FIGUUR 4-1: BESCHOUWDE PROFIELEN TOETS OP MAAT

4.2.3 Bodemopbouw per rekenprofiel

In de onderstaande tabellen is de geschematiseerde bodemopbouw per rekenprofiel weergegeven. Naast de bodemopbouw zijn ook de relatieve dichtheden (RD) van de zandlagen gepresenteerd. Deze zijn bepaald aan de hand van de gemeten conusweertanden (q_c) in combinatie met correlatiemethode van Lunne. De sonderingen die zijn gehanteerd zijn toegevoegd in Bijlage 2.

TABEL 4-1: GESCHEMATISEERDE BODEMOPBOUW VAK 2 OP BASIS VAN SONDERING WIERTSEMA [REF. 4]

Grondsoort	Van [m NAP]	Tot [m NAP]	q_c [MPa]	RD [%]	Gepaktheid zand
Zand	0,63	0	7	-	-
Klei	0	-5	1,5	-	-
Zand	-5	-16	8	51	Matig
Klei	-16	-17	2	-	-
Zand	-17	-40	23	64	Matig

TABEL 4-2: GESCHEMATISEERDE BODEMOPBOUW VAK 11 OP BASIS VAN SONDERING GRONTMIJ [REF. 5]

Grondsoort	Van [m NAP]	Tot [m NAP]	q_c [MPa]	RD [%]	Gepaktheid zand
Zand	0,3	-0,7	1	-	-
Klei	-0,7	-1,7	0,5	-	-
Klei-zandig	-1,7	-5,2	1	-	-
Zand	-5,2	-6,7	7	70	Vast
Klei	-6,7	-8	1,5	-	-
Zand	-8	-9,2	6	56	Matig
Zand	-9,2	-10,2	10	53	Matig
Klei	-10,2	-11,2	1	-	-
Zand	-11,2	-14,2	10	64	Matig
Klei-zandig	-14,2	-16,7	1	-	-
Zand	-16,7	-20,2	6	38	Matig
Zand	-20,2	-25,2	30	86	Vast
Zand	-25,2	-54,7	20~30	70	-

TABEL 4-3: GESCHEMATISEERDE BODEMOPBOUW VAK 16 OP BASIS VAN SONDERING FUGRO [REF. 2]

Grondsoort	Van [m NAP]	Tot [m NAP]	q_c [MPa]	RD [%]	Gepaktheid zand
Klei	1	-6	1	-	-
Zand	-6	-25	10	50	Matig
Zand	-25	-60	31	65	Matig

4.2.4 Grondparameters en partiële factoren

De aangehouden grondparameters staan samengevat in de onderstaande tabel. Voor de partiële veiligheidsfactoren is het volgende aangehouden conform NEN 9997-1 [Ref. 8]:

- 1,2 voor hoek van inwendige wrijving (ϕ).
- 1,3 voor cohesie (c').

TABEL 4-4: GEHANTEERDE GRONDPARAMETERS

Grondsoort	γ_{dr} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]	ϕ_{kar} [°]	ϕ_{rek} [°]	c'_{kar} [kPa]	c'_{rek} [kPa]
Klei, zandig	17	17	22,5	19,0	5	3,85
Zand, los gepakt	17	19	30	25,7	0	0
Zand, matig gepakt	18	20	32,5	28,0	0	0
Zand, vast gepakt	19	21	35	30,6	0	0

De gehanteerde parameters voor de analyse in D-Flow Slide zijn gepresenteerd in Tabel 4-5 en Tabel 4-6. Voor parameters waar geen lokaal onderzoek beschikbaar is worden de standaardwaarden aangenomen zoals beschreven in [Ref. 6].

TABEL 4-5: BENODIGDE PARAMETERS VOOR D-FLOW SLIDE - GENERAL

Parameter	Symbool	Eenheid	Waarde vak 2	Vak 11	Vak 16
Waterniveau	H	m	-0,61	-0,61	-0,61
Volumegewicht water	γ_w	kN/m ³	9,81	9,81	9,81
State parameter Psi 5m	Ψ_{5m}	-	0,1	0,1	0,1
Zandsoort	-	-	Medium fine	Medium fine	Medium fine
Invloedszone	-	m	40	1	40

TABEL 4-6: BENODIGDE PARAMETERS VOOR D-FLOW SLIDE – GEDETAILLEERDE PARAMETERS

Parameter	Symbool	Eenheid	Waarde vak 2	Vak 11	Vak 16
Area ratio	c	-	1,4	1,4	1,4
Lengte vak	L	m	247	177	301
Migratie snelheid voorland	Ψ_{5m}	m/jr	0,00010	0,00010	0,00010
Samenhangende lagen factor	-	-	1	1	0,33

4.2.5 Waterstand

Voor de waterstand op het meer is uitgegaan van NAP -0,61 m op basis van het peilbesluit van Hoogheemraadschap van Rijnland.

4.3 Resultaten

4.3.1 Statische stabiliteit

De statische stabiliteit voor de drie gedefinieerde profielen is onderzocht met D-Stability. De resultaten zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Alle drie de profielen voldoen aan de veiligheidseis met betrekking tot statische stabiliteit. De bijhorende glijcirkels zijn te zien in Bijlage 3.

TABEL 4-7: RESULTATEN D-STABILITY

Vak	Berekende veiligheidsfactor	Veiligheidseis	Oordeel
2	1,18	1,0	Voldoet
11	1,68	1,0	Voldoet
16	1,51	1,0	Voldoet

4.3.2 Zettingsvloeiing (D-Flow Slide)

De gevoeligheid voor Zettingsvloeiing is bepaald door middel van D-Flow Slide. Binnen D-Flow Slide is het gedetailleerde model en Sliq2D gebruikt. Het gedetailleerde model bekijkt Zettingsvloeiing en Sliq2D bekijkt het specifieke subonderdeel verwekingsvloeiing. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4-8. Er is te zien dat er is voldaan aan de veiligheidseis met betrekking tot de verwekingsvloeiing. De bijhorende restprofielen en Sliq2D grid-resultaten zijn te zien in Bijlage 4.

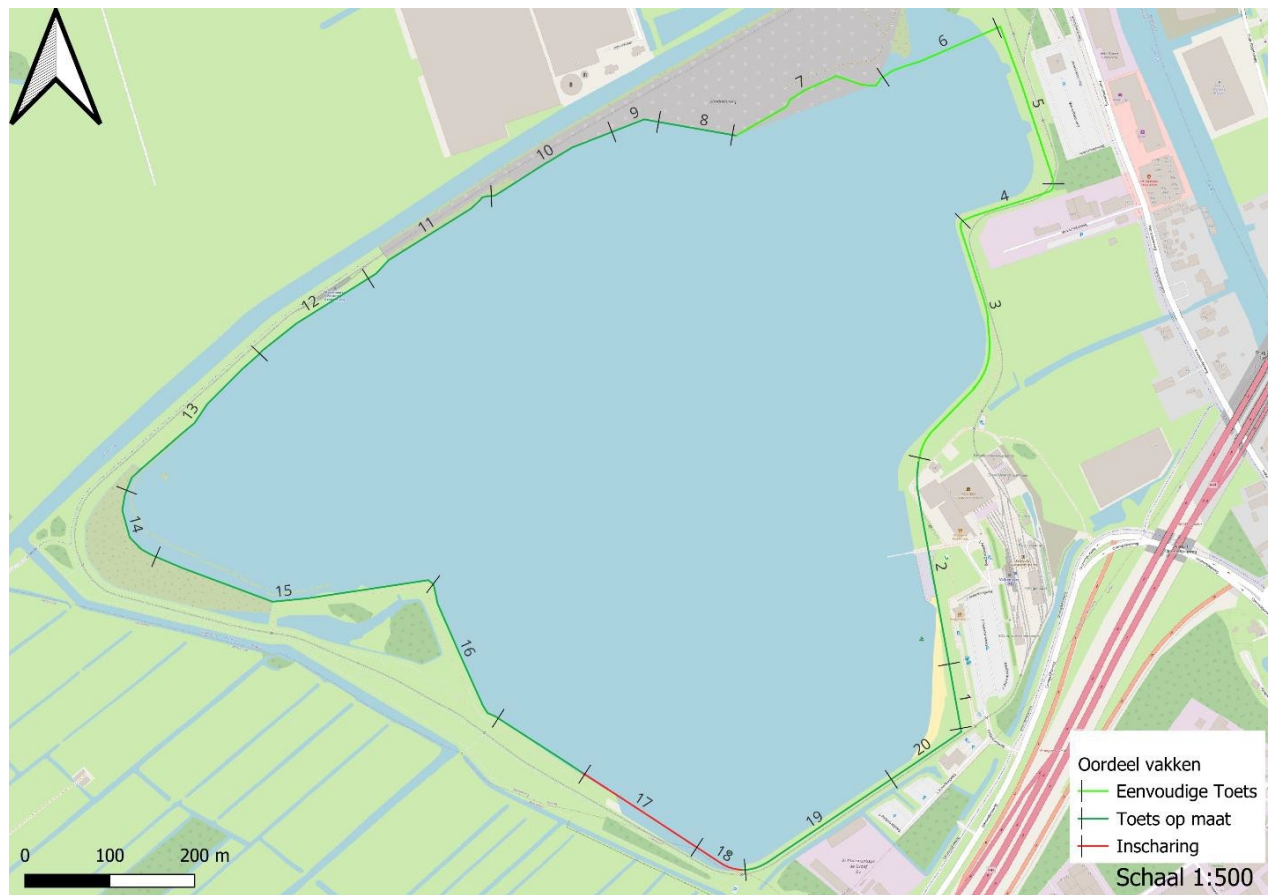
TABEL 4-8: RESULTATEN D-FLOW SLIDE

Vak	Berekende faalkans	Faalkanseis	Oordeel
2	1,12E-5	2,00E-4	Voldoet
11	2,06E-6	2,00E-4	Voldoet
16	1,08E-4	2,00E-4	Voldoet

5 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Naar aanleiding van zettingsvloeiing die heeft plaatsgevonden in het Valkenburgse Meer op 1 april 2025 is de stabiliteit van de overige oevers bepaald. Hierbij is gekeken naar de stabiliteit van de huidige situatie. Met behulp van de eenvoudige methodiek uit het WBI2017 en een toets op maat is geconcludeerd dat de overige oevers van het Valkenburgse Meer veilig zijn. Het resultaat van de beoordeling is weergegeven in Figuur 5-1.

Indien de zandwinning wordt hervat dienen, er aanvullende analyses te worden uitgevoerd. Hierbij dient nadrukkelijk de kans op bresvloeiing (wat de inscharing heeft getriggerd) te worden beschouwd.

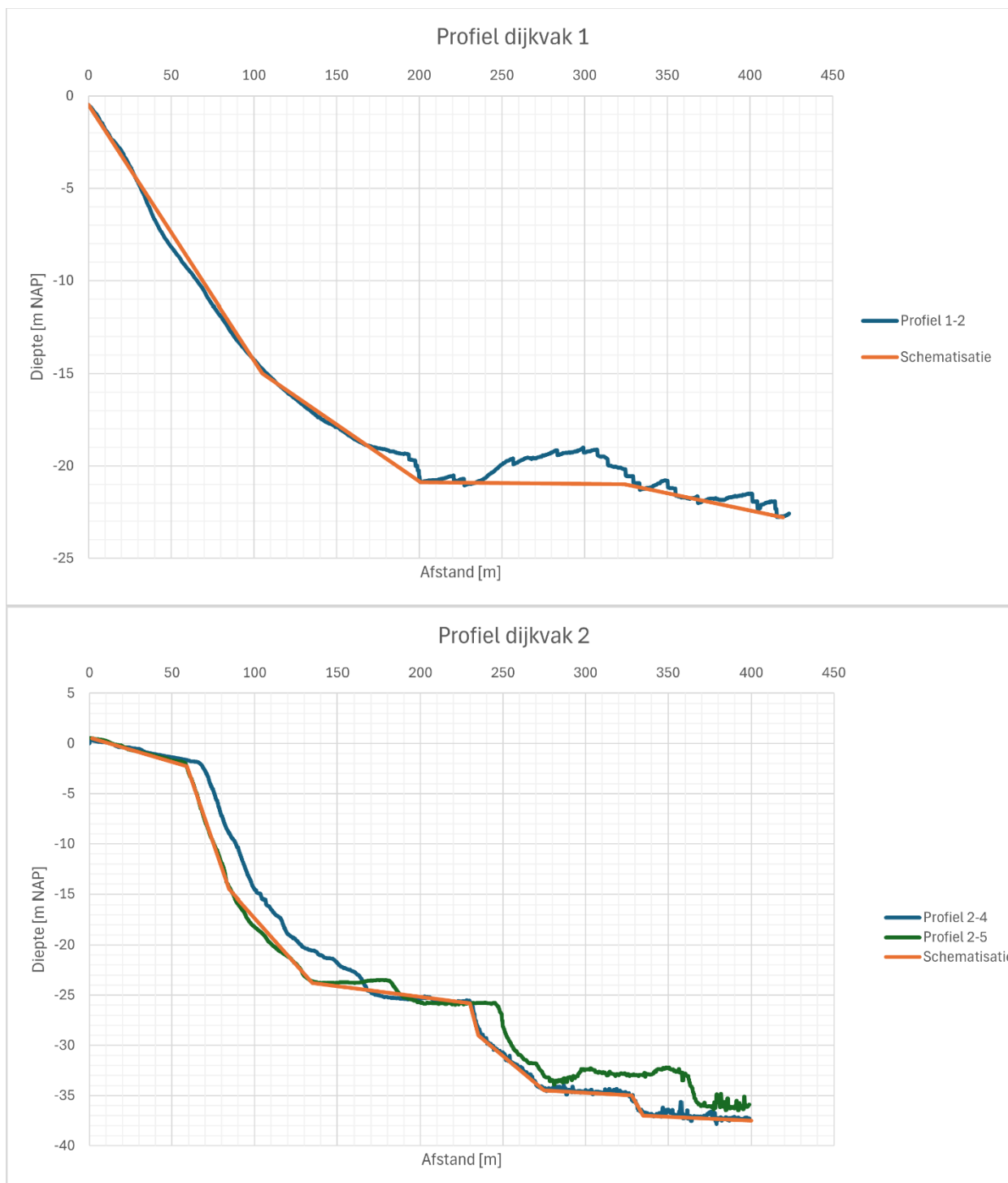


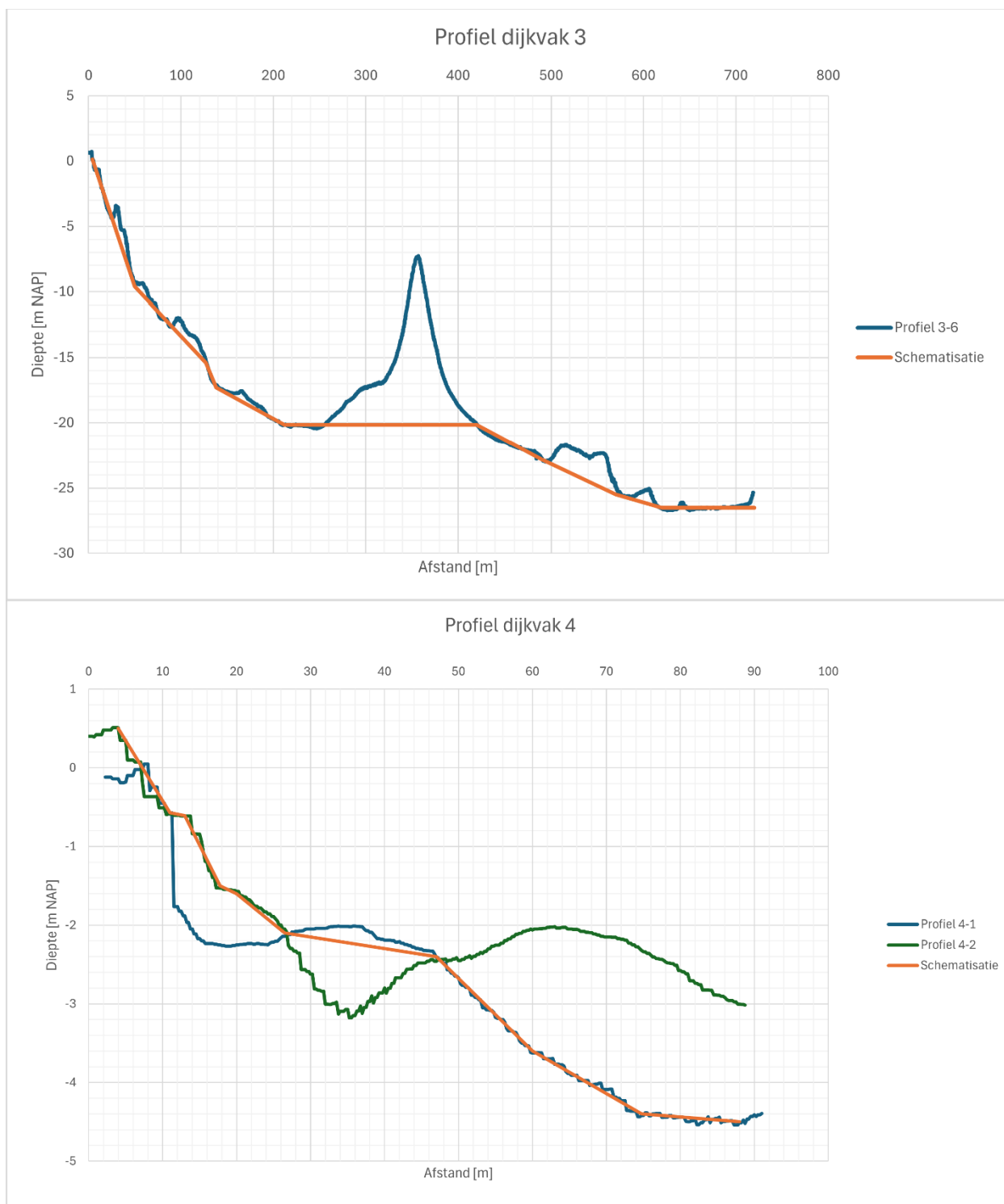
FIGUUR 5-1: BEOORDELING OEVERSTABILITEIT HUIDIGE SITUATIE VALKENBURGSE MEER

6 REFERENTIES

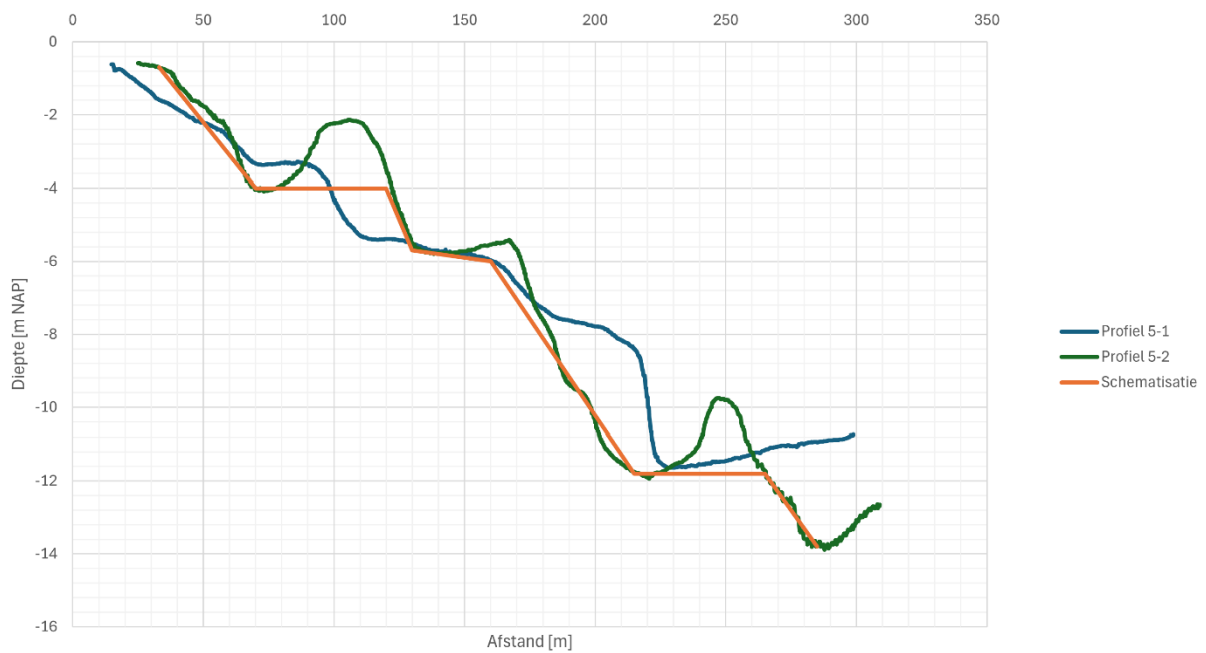
- [Ref. 1] Tussentijds advies instabiliteit zandwinput Valkenburgse Meer, Deltares, 15 april 2025
- [Ref. 2] Geotechnisch onderzoek inscharing Valkenburgse Meer, Fugro, 27 juni 2025
- [Ref. 3] Regelgeving veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III sterkte en veiligheid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 29 januari 2019
- [Ref. 4] Geotechnisch onderzoek, Zandwinput Valkenburgse Meer Katwijk, Wiertsema & Partners, 17 maart 2025
- [Ref. 5] Zandwinning Valkenburgse Meer, Geotechnisch onderzoek verdieping zandwinning en optimalisatie taluds 3 en 4, Grontmij, 15 november 1999
- [Ref. 6] D-Flow Slide User manual, Deltares, 22 november 2018
- [Ref. 7] Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen, STOWA, 2025
- [Ref. 8] NEN 9997-1 - Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1, algemene regels, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, november 2017

BIJLAGE 1: AFLEIDING MAATGEVENDE PROFIELEN

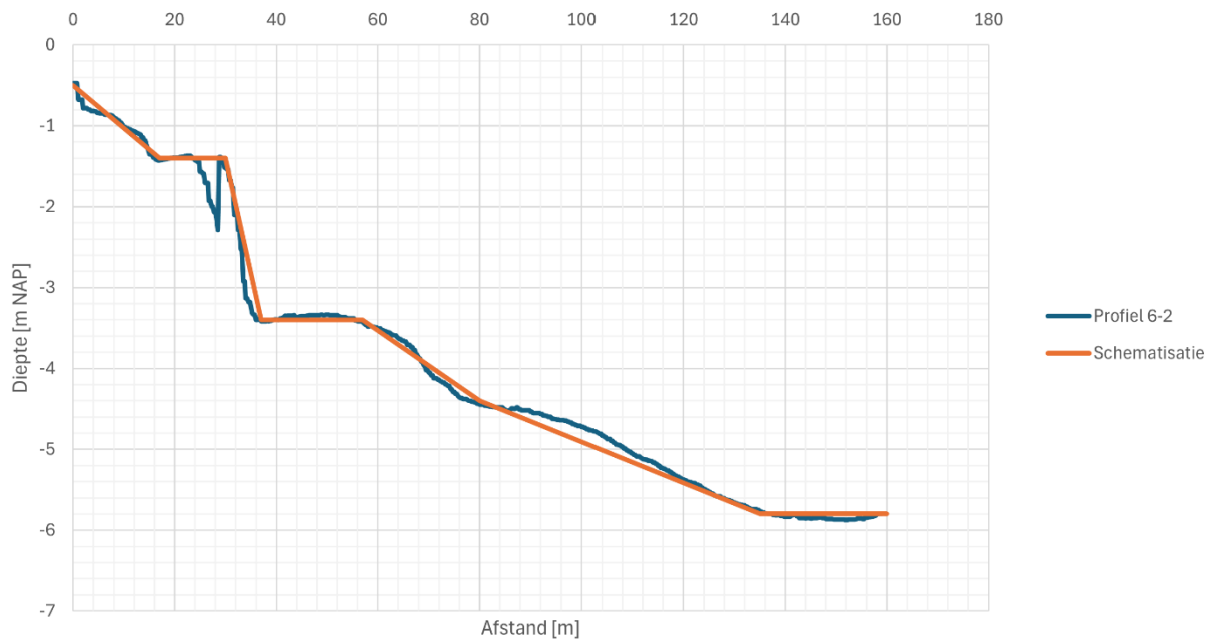


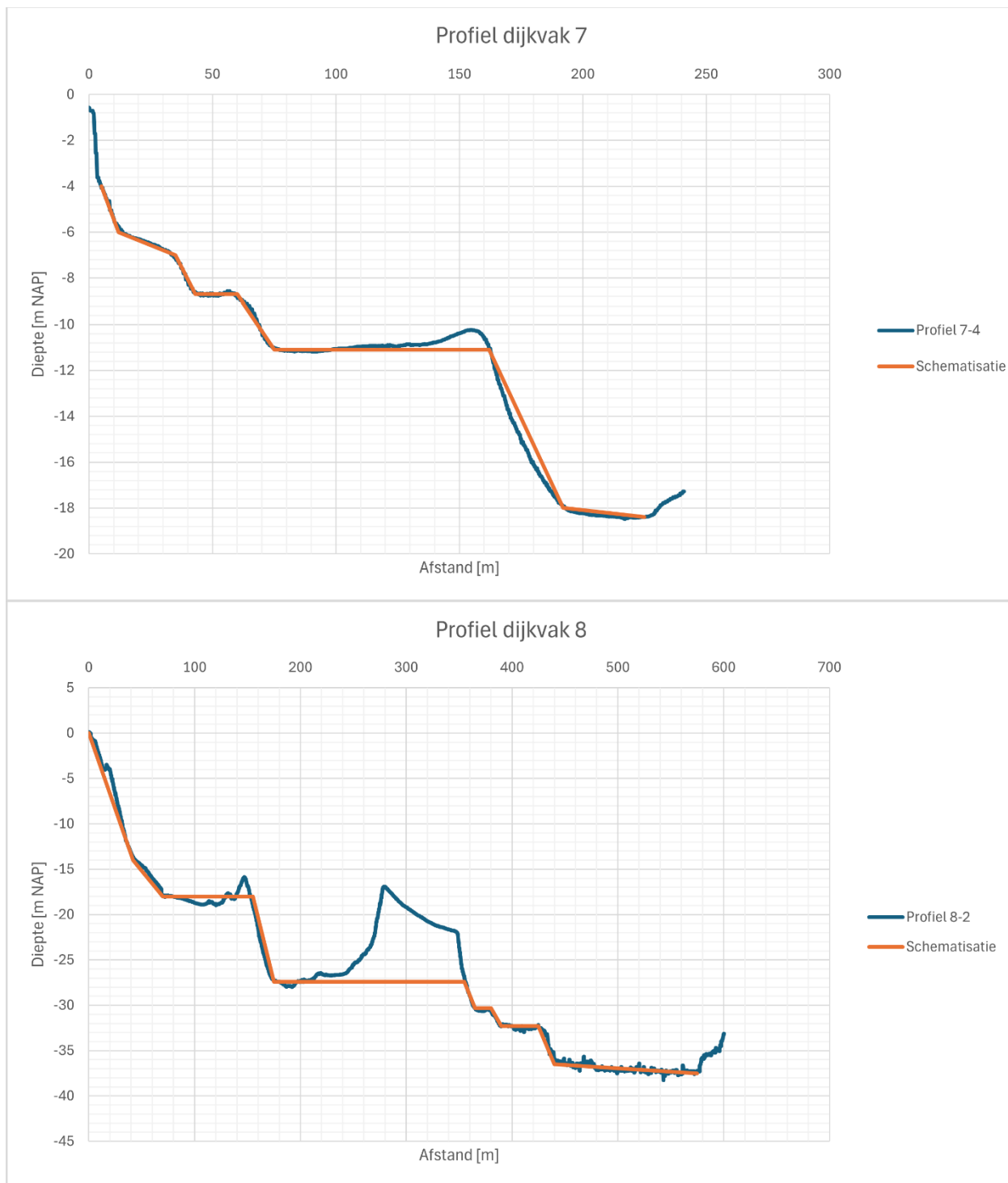


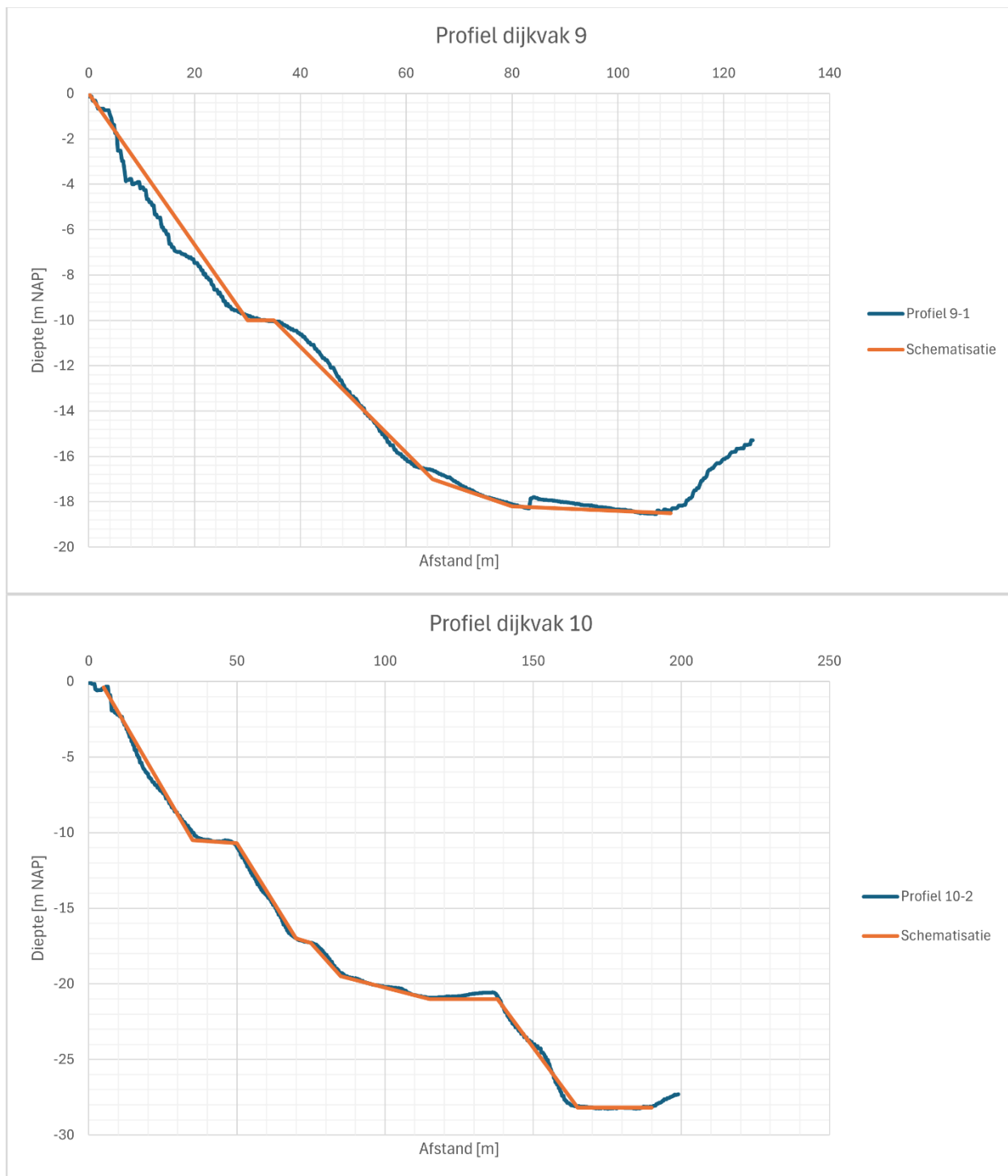
Profiel dijkvak 5



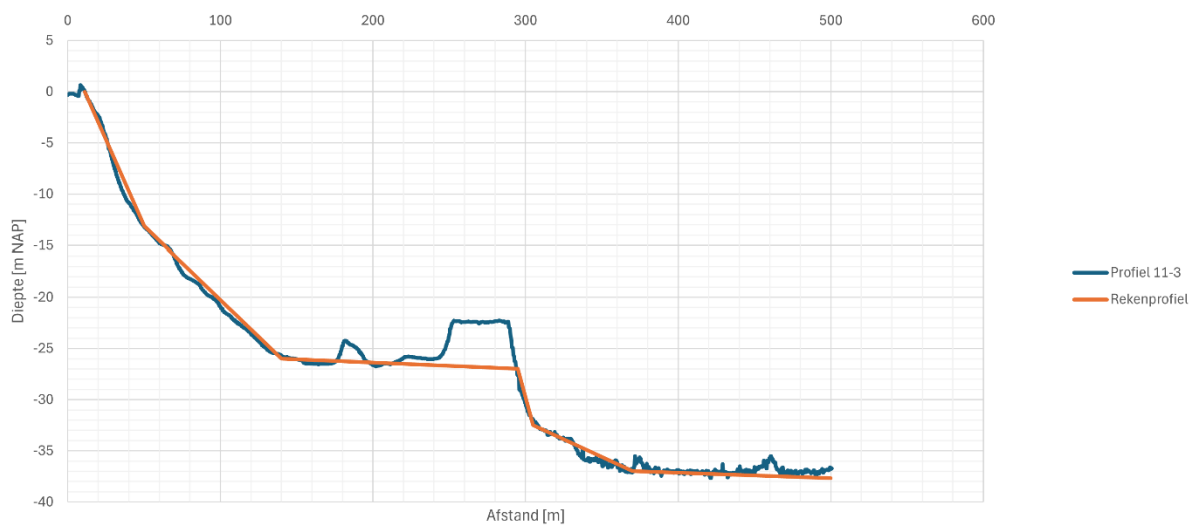
Profiel dijkvak 6



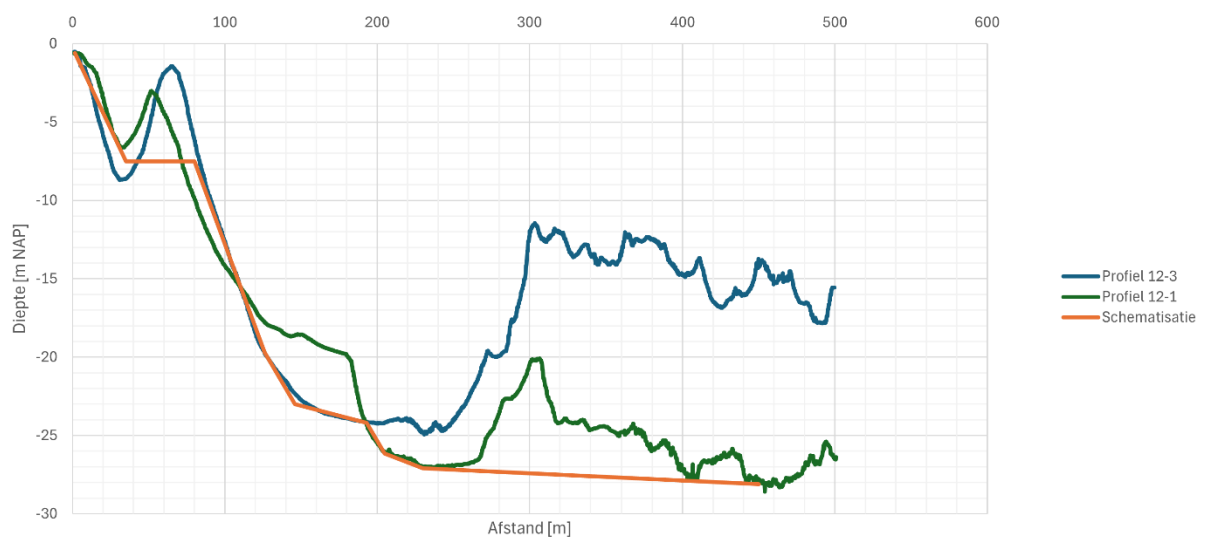




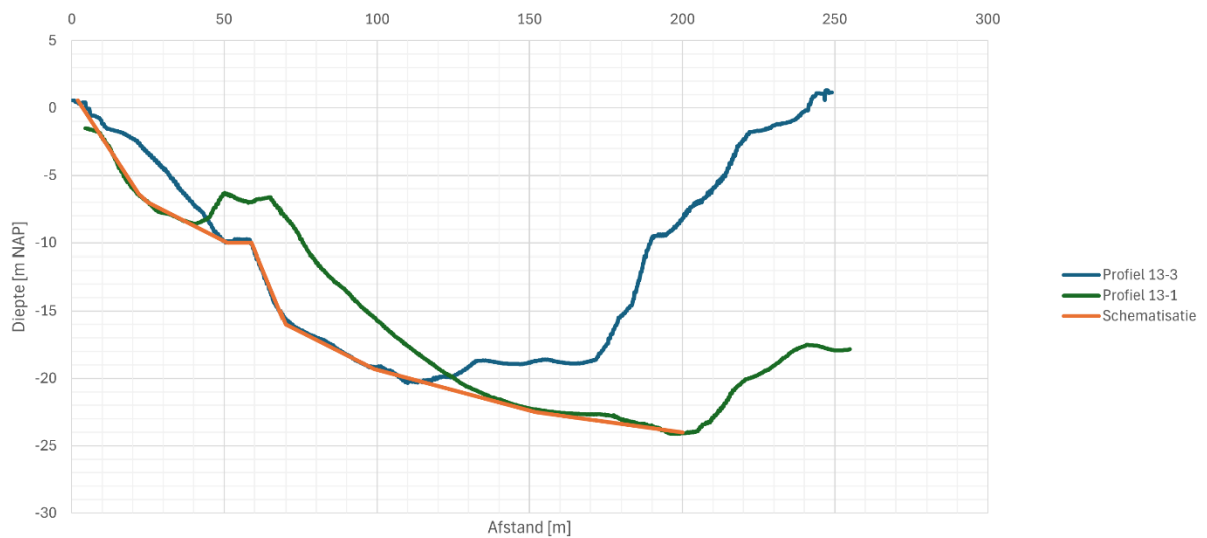
Profiel dijkvak 11



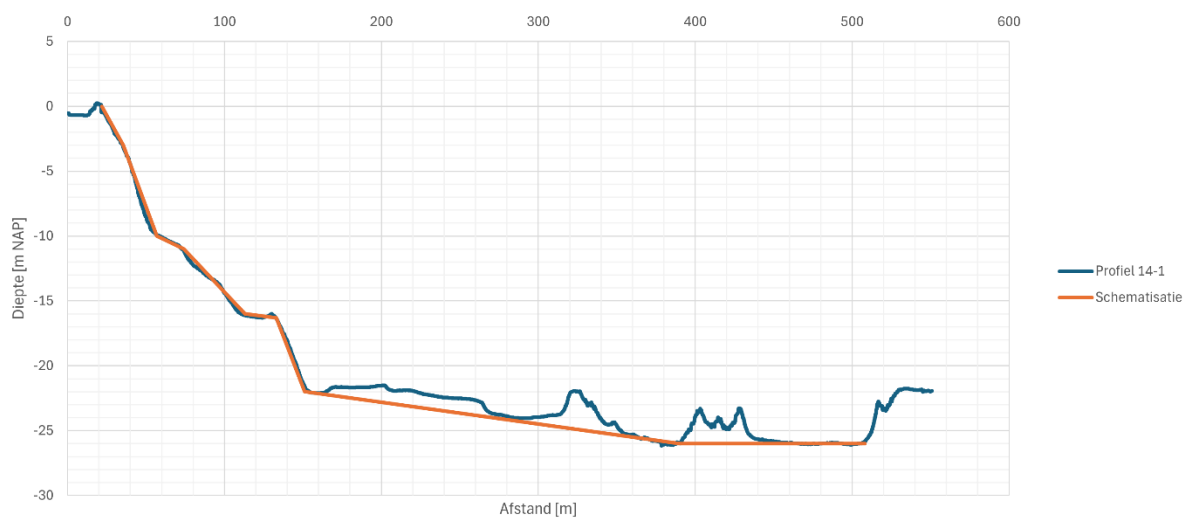
Profiel dijkvak 12

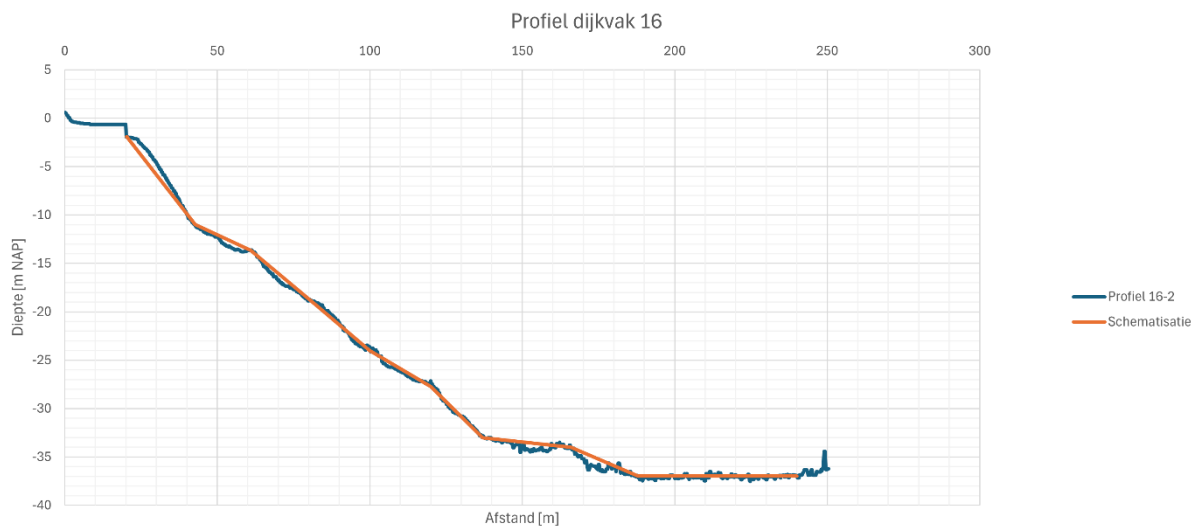
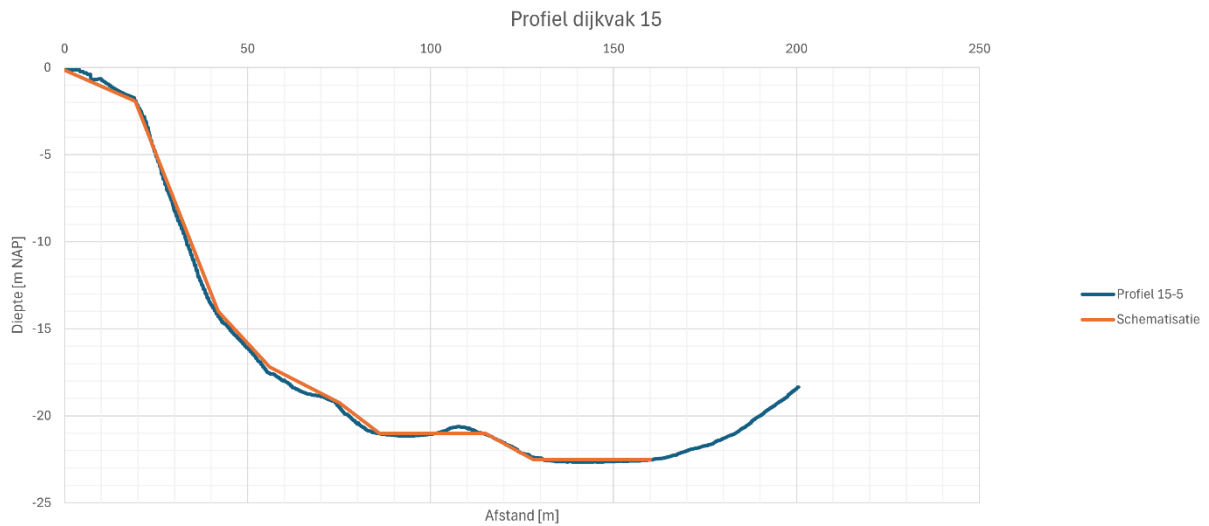


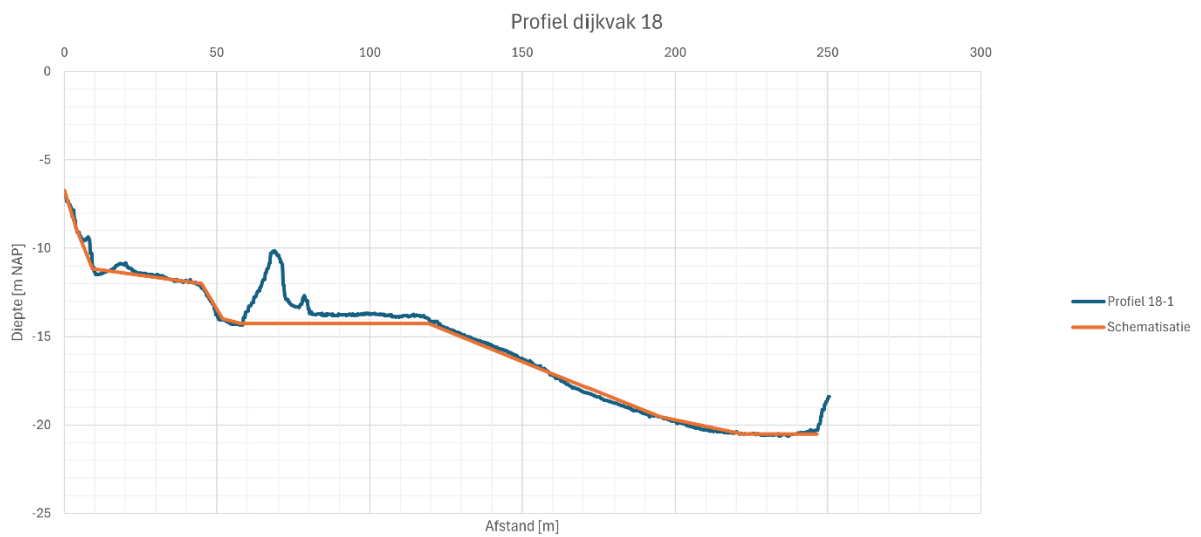
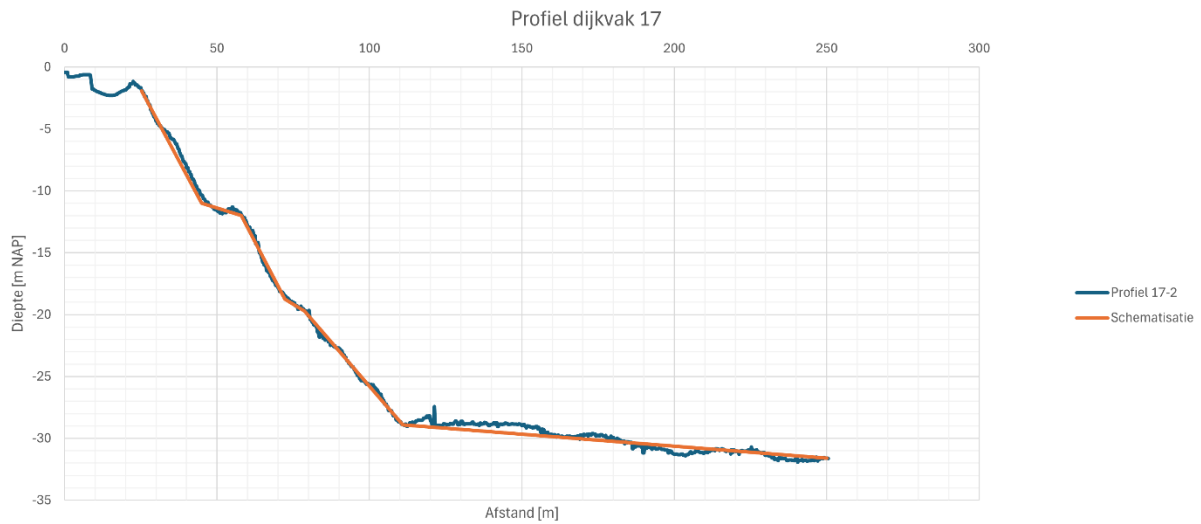
Profiel dijkvak 13



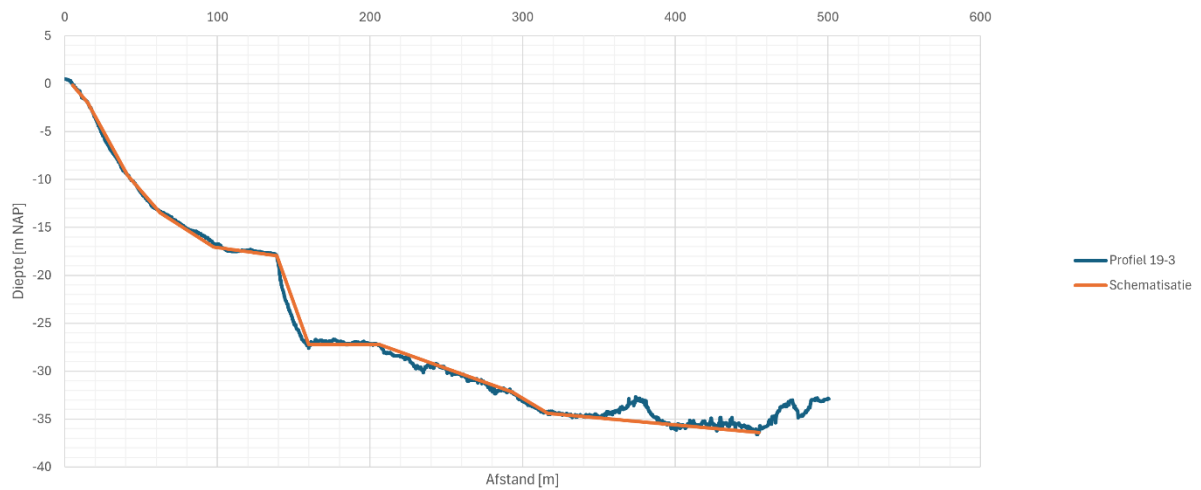
Profiel dijkvak 14



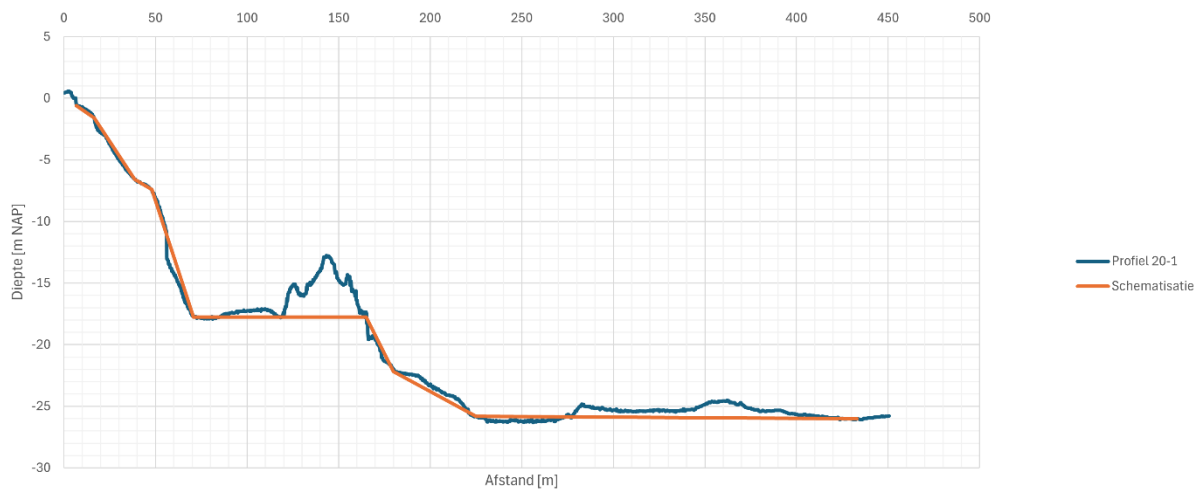




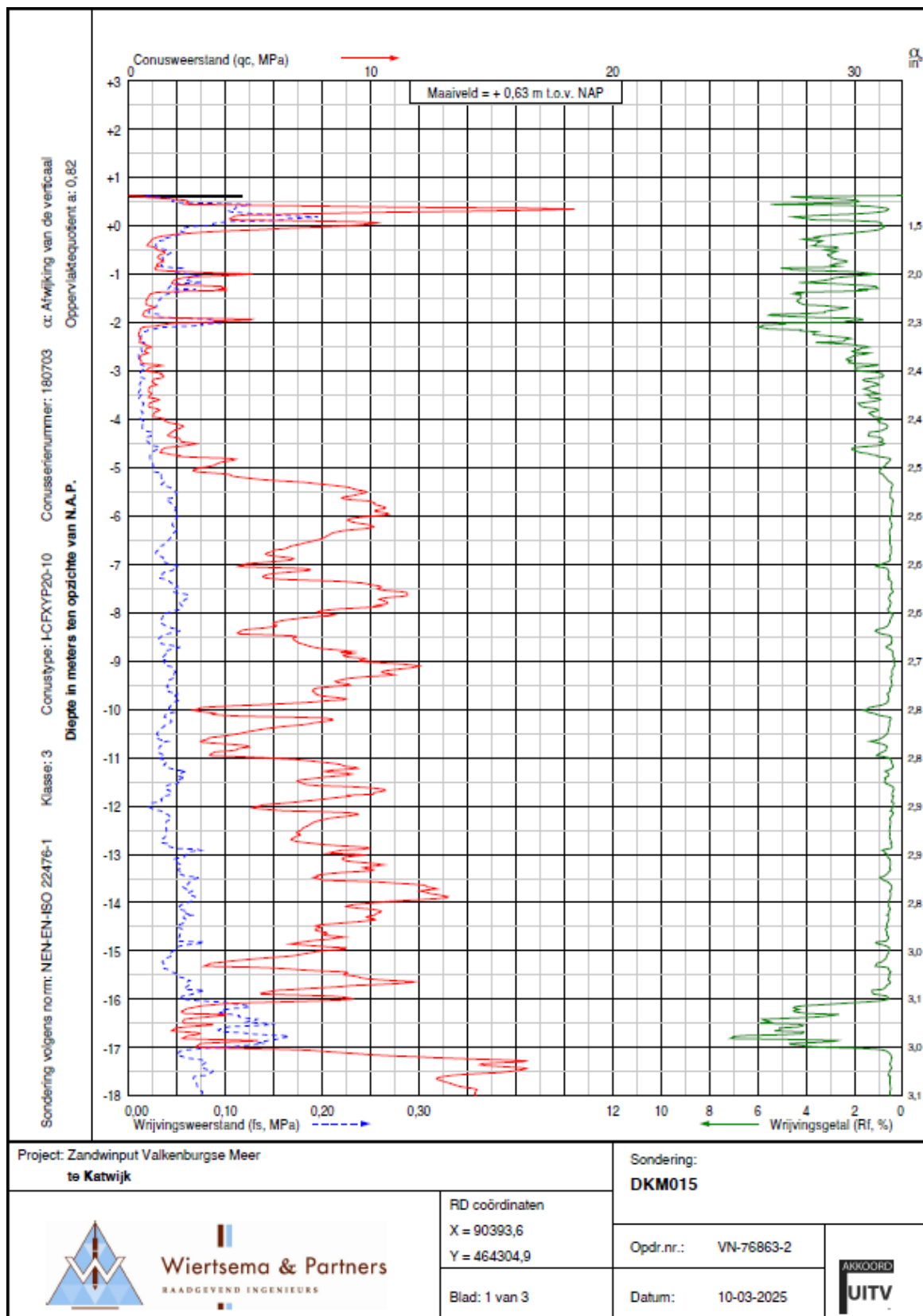
Profiel dijkvak 19

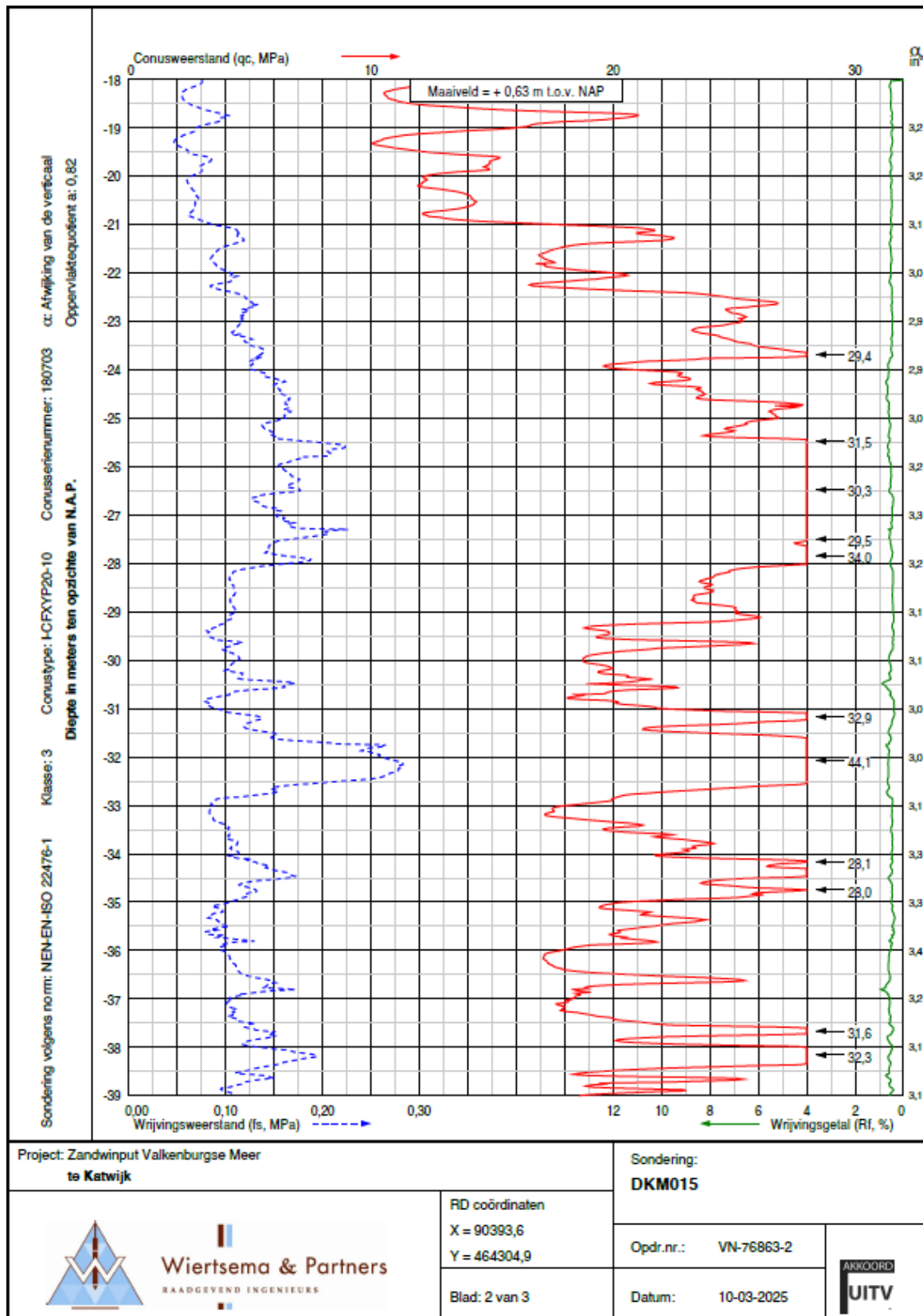


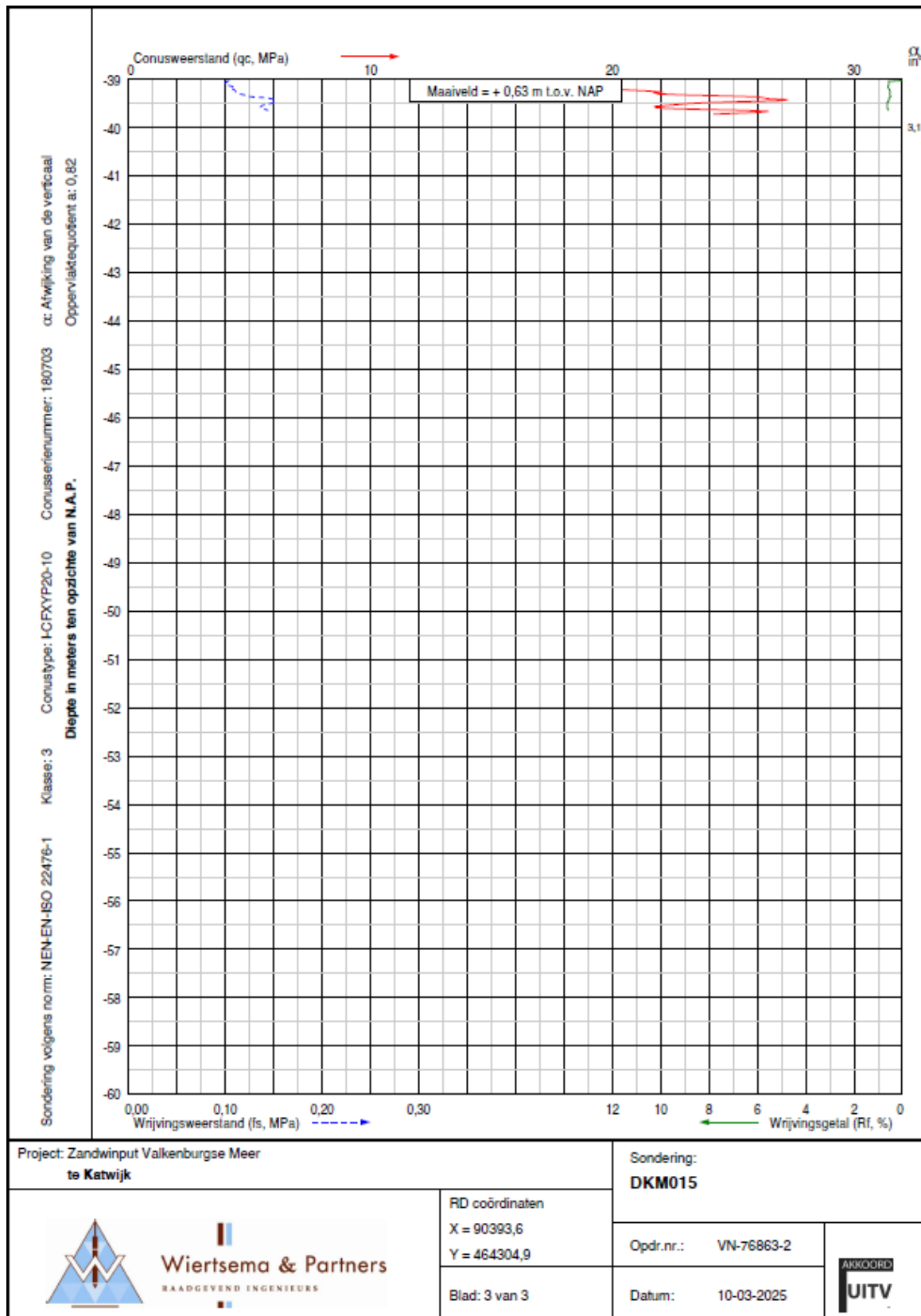
Profiel dijkvak 20

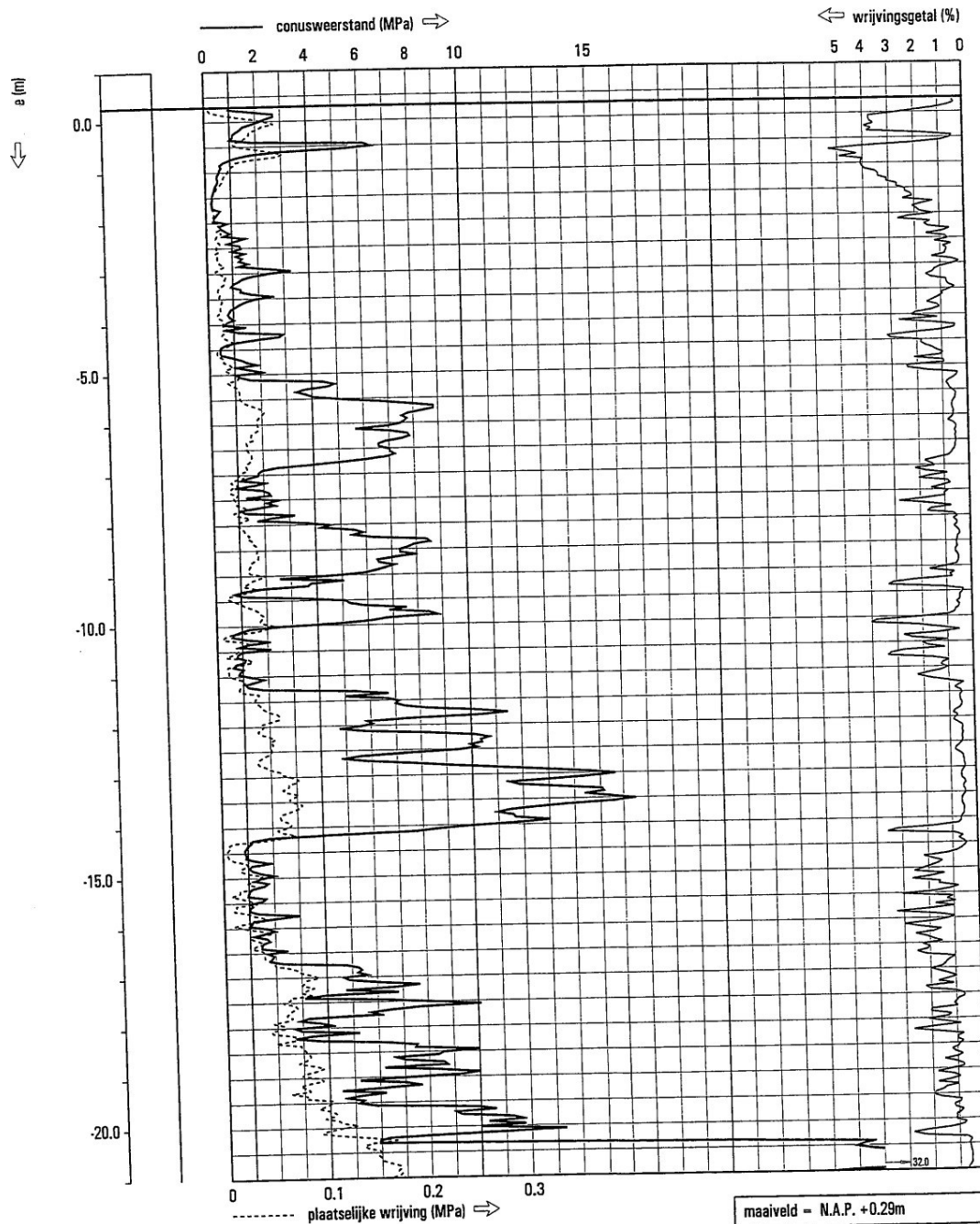


BIJLAGE 2: GEBRUIKTE SONDERINGEN





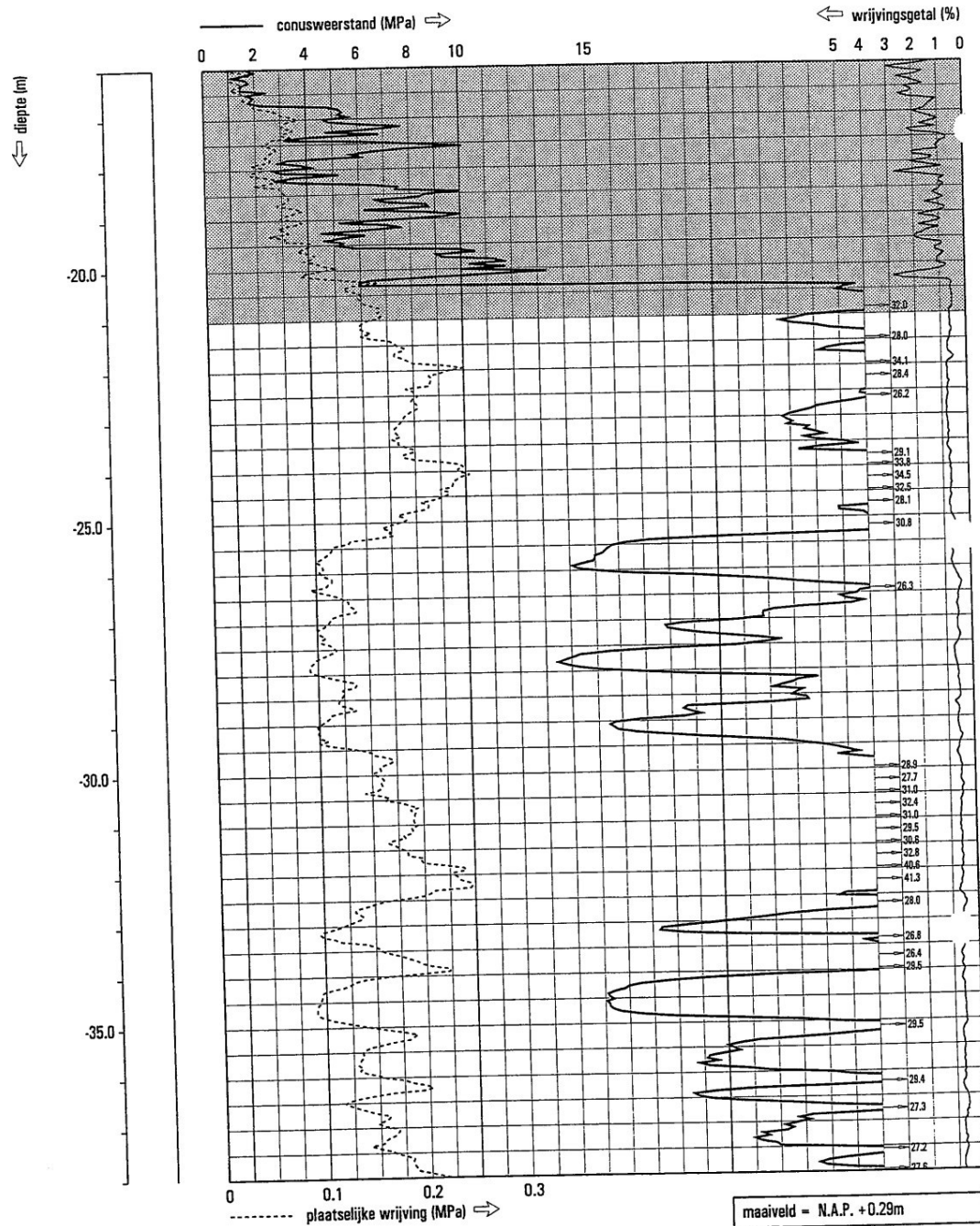




volgens NEN 5140
klasse: 1

systeem	electrisch	datum uitvoering	10-09-1999
type conus	cilindrisch kleefmantel	project	Valkenburg
hellingmeting	ja	Zandwinning	
meetbereik conus	50 MPa	ordernummer	1356921
meetbereik kleefmantel	50 MPa	sondering	nr. 2 (1/3)

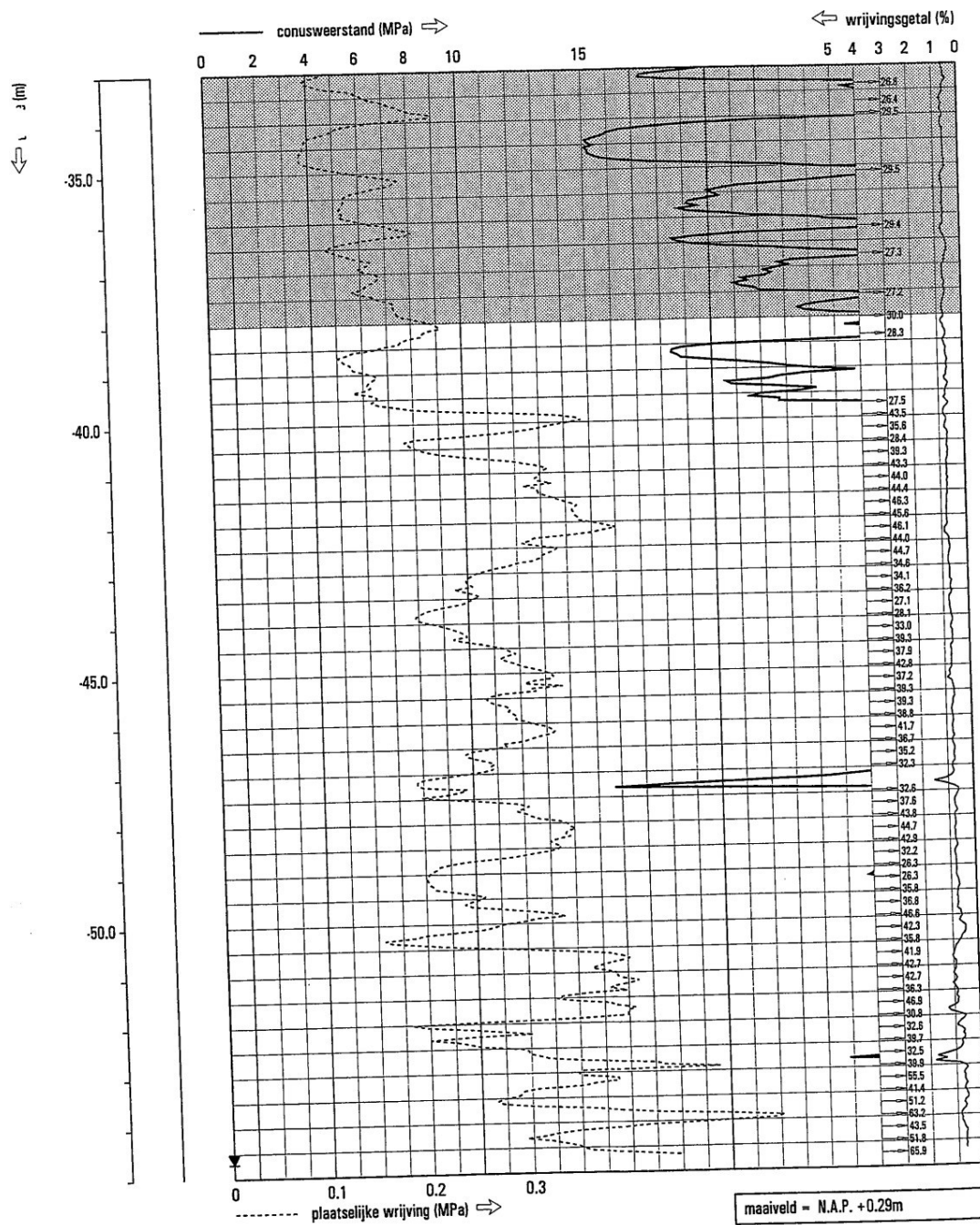




volgens NEN 5140
klasse: 1

systeem	electrisch	datum uitvoering	10-09-1999
type conus	cilindrisch kleefmantel	project	Valkenburg
hellingmeting	ja		Zandwinning
meetbereik conus	50 MPa	ordernummer	1356921
meetbereik kleefmantel	50 MPa	sondering	nr. 2 (2/3)

 Grontmij



volgens NEN 5140
klasse: 1

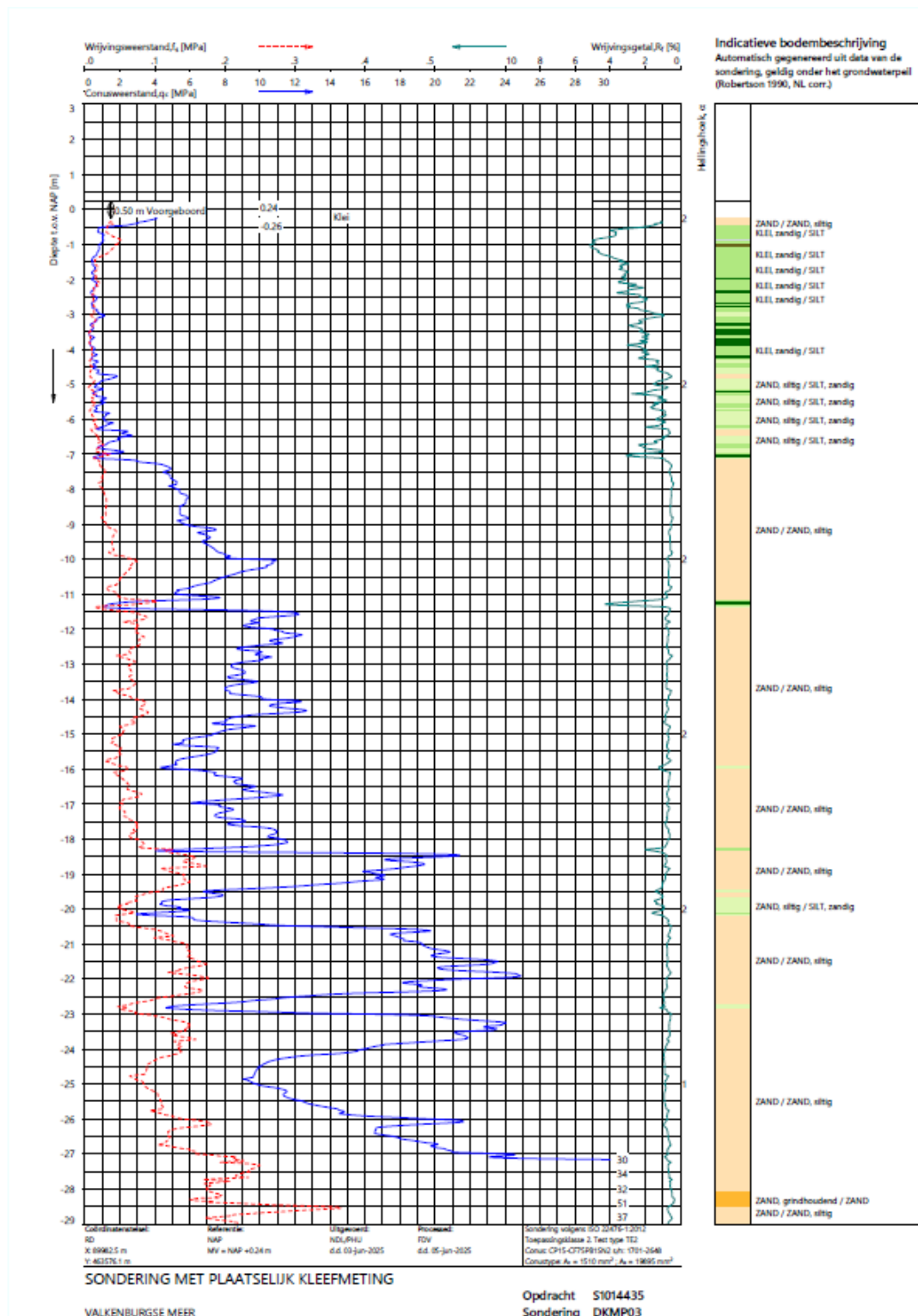
systeem	electrisch	datum uitvoering	10-09-1999
type conus	cilindrisch kleefmantel	project	Valkenburg
hellingmeting	ja		Zandwinning
meetbereik conus	50 MPa	ordernummer	1356921
meetbereik kleefmantel	50 MPa	sondering	nr. 2 (3/3)

 Grontmij

Geofaas 1.17 / R.009204w-01 / 2025-06-05 13:58:01

S1014435

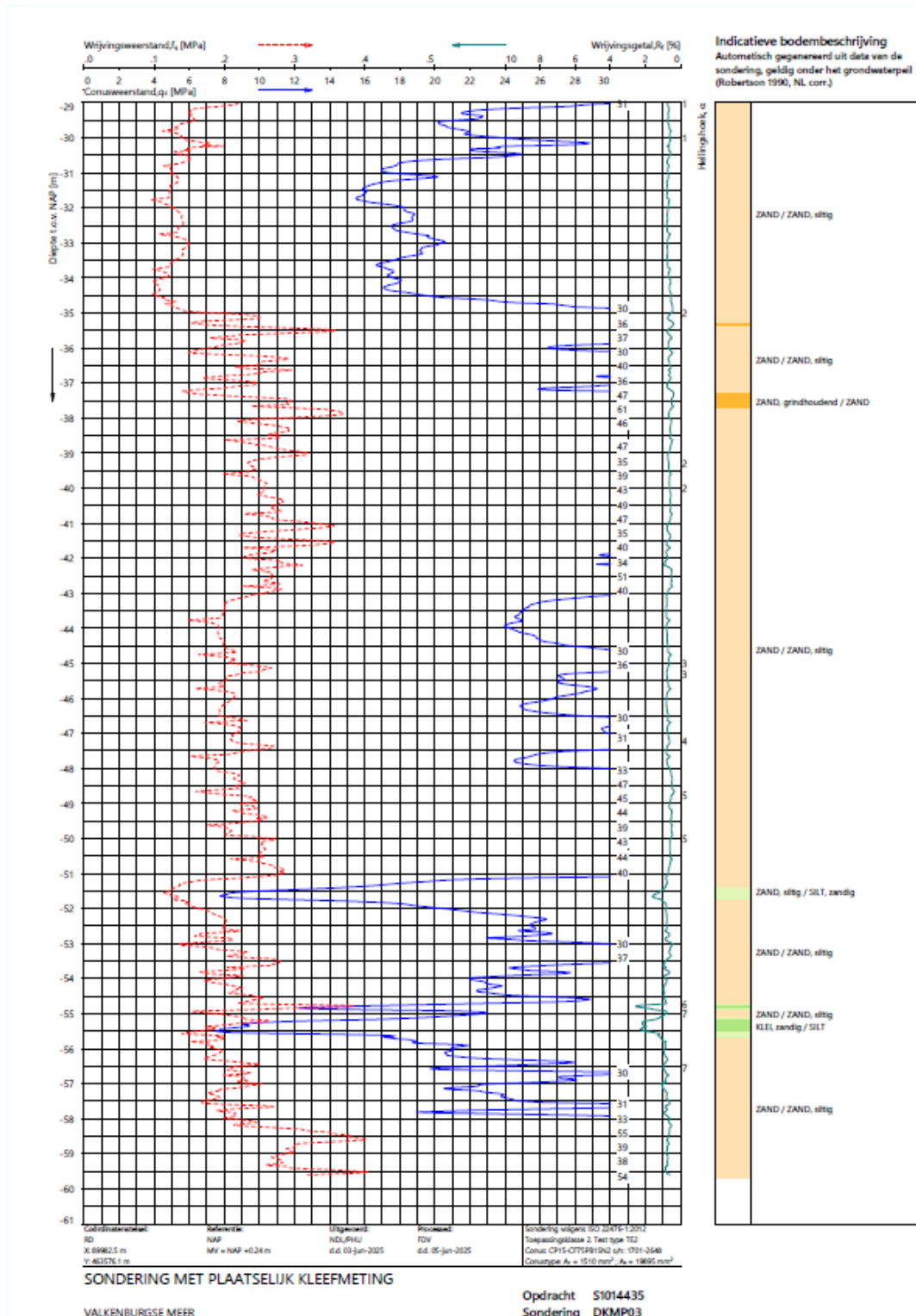
DKMP03 - 1



Geofaas 17 / R_MP54uac 63 / 2025-6605 0.96 m

S1014435

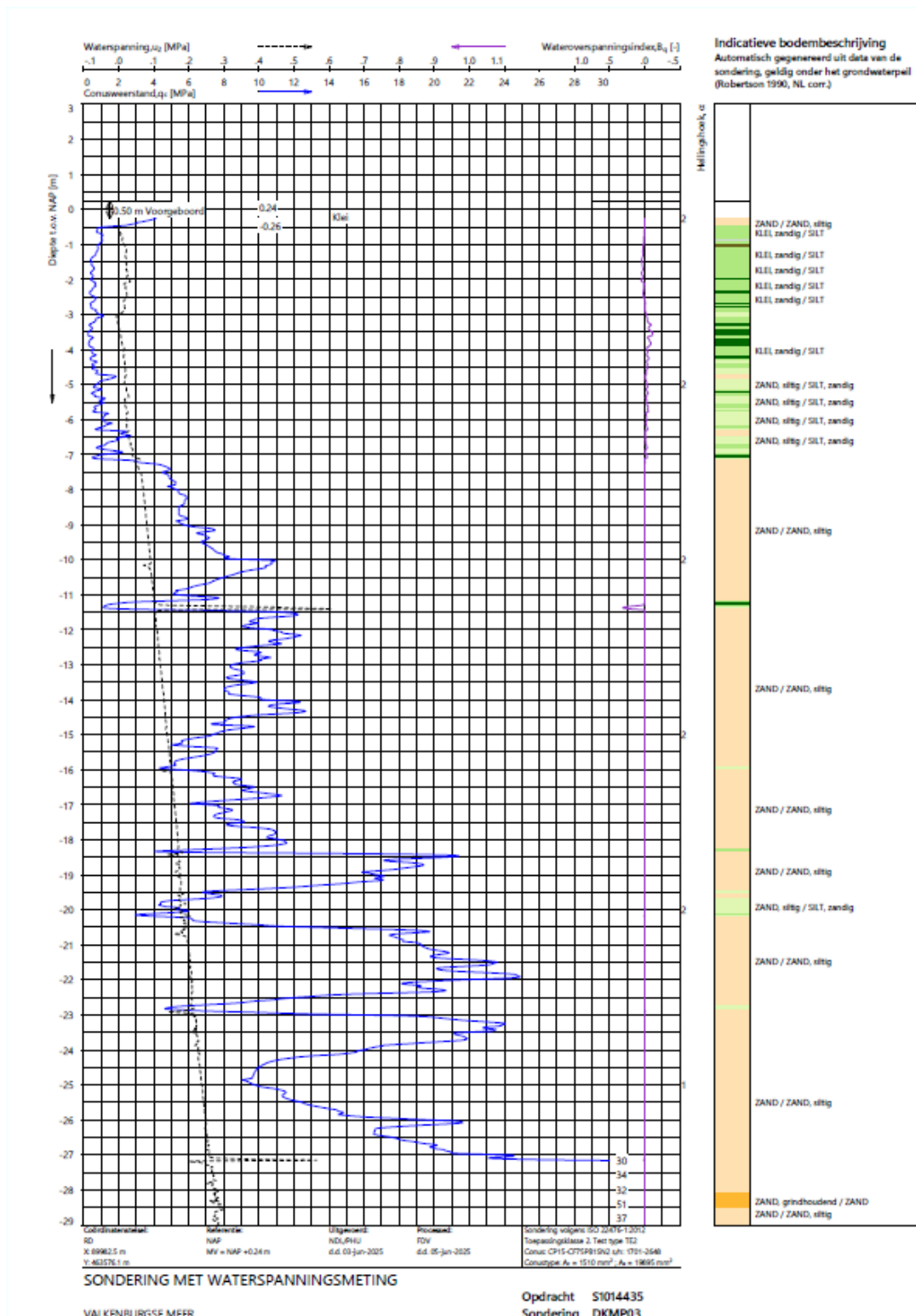
DKMP03 - 2

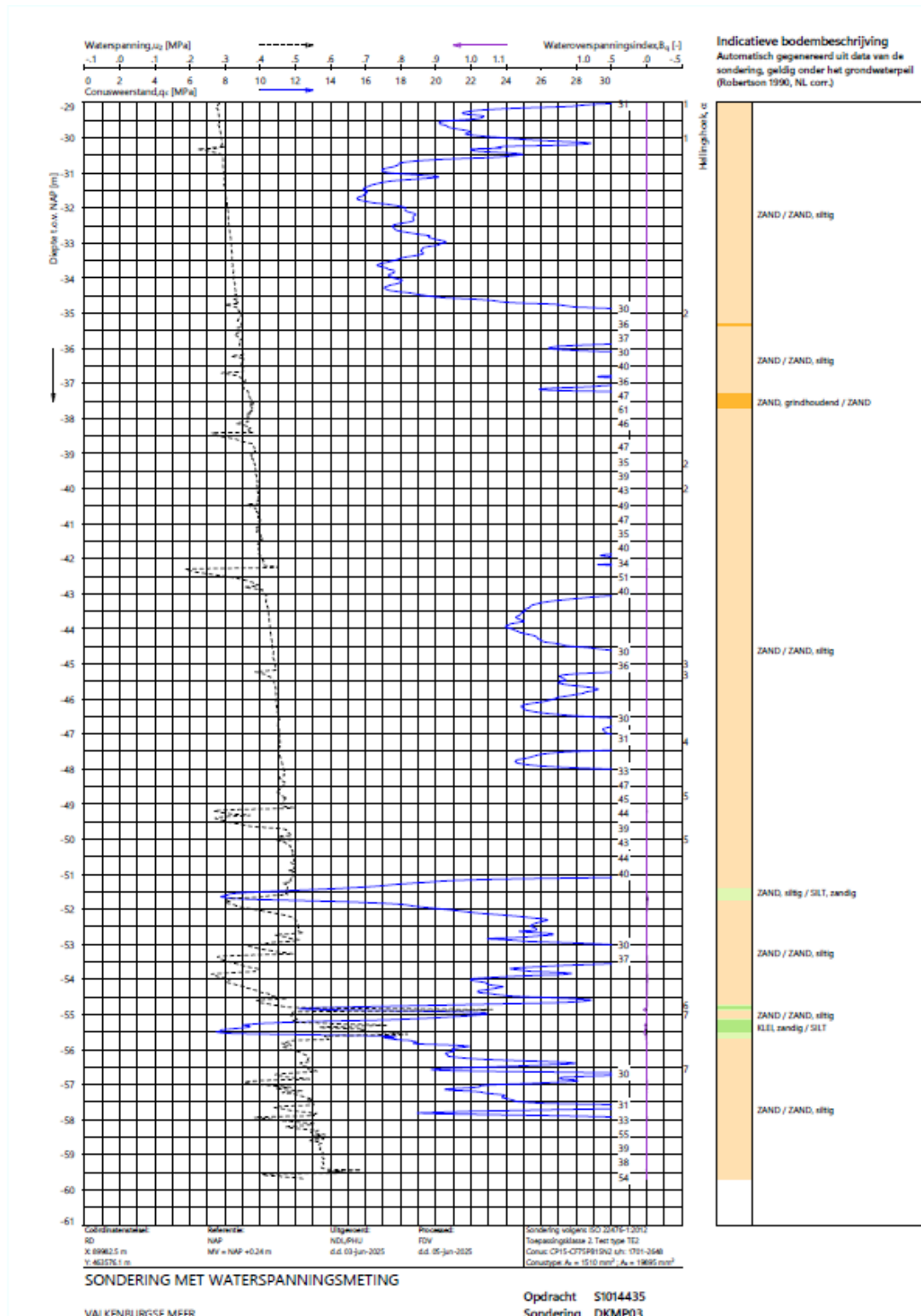


Gewijs S1.7 / 10.000dus R1 / 2015-06-05 0.0051

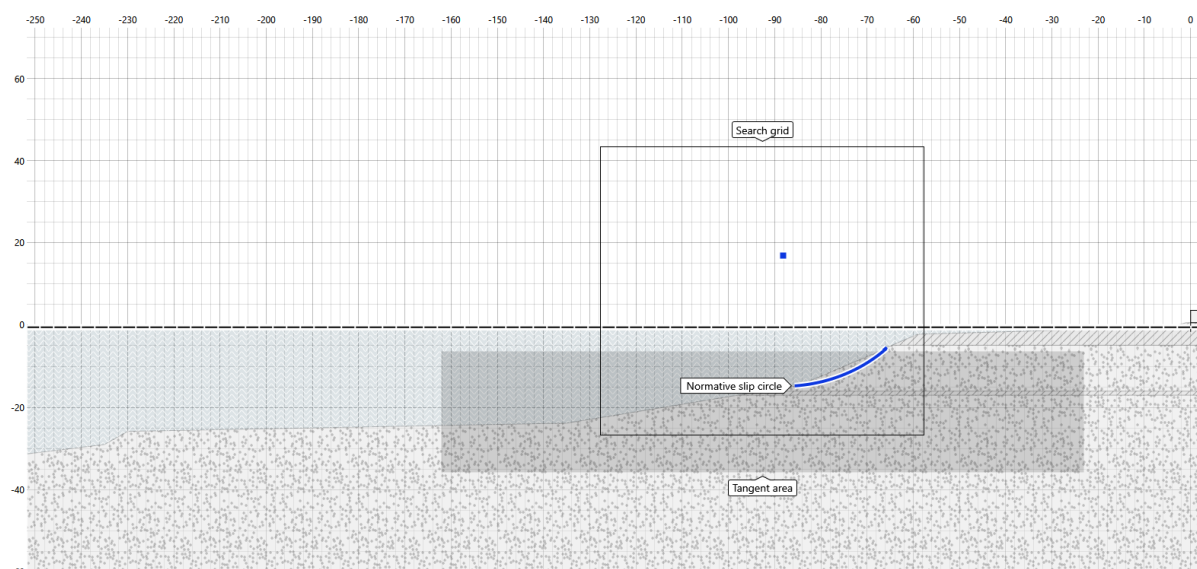
S1014435

DKMP03 - 1

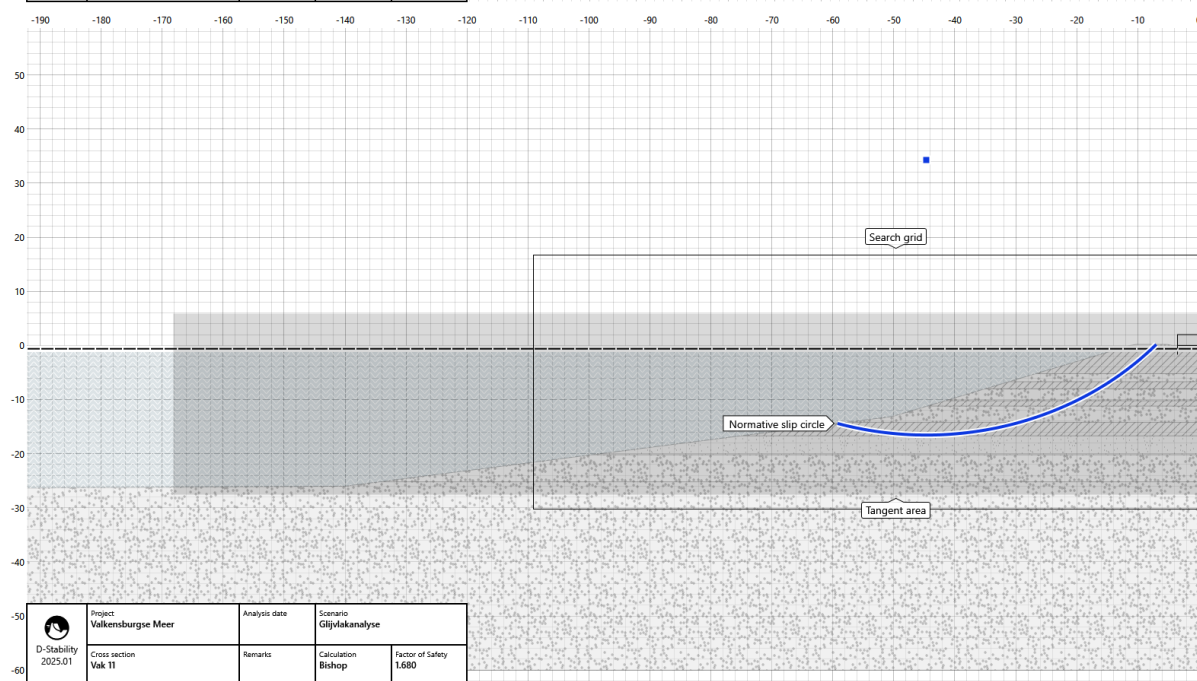




BIJLAGE 3: D-STABILITY GLIJCIRKELS



D-Stability 2025.01	Project Valkenburgse Meer	Analysis date	Scenario Glijvlakanalyse	
	Cross section Vak 2	Remarks	Calculation Bishop	Factor of Safety 1.179

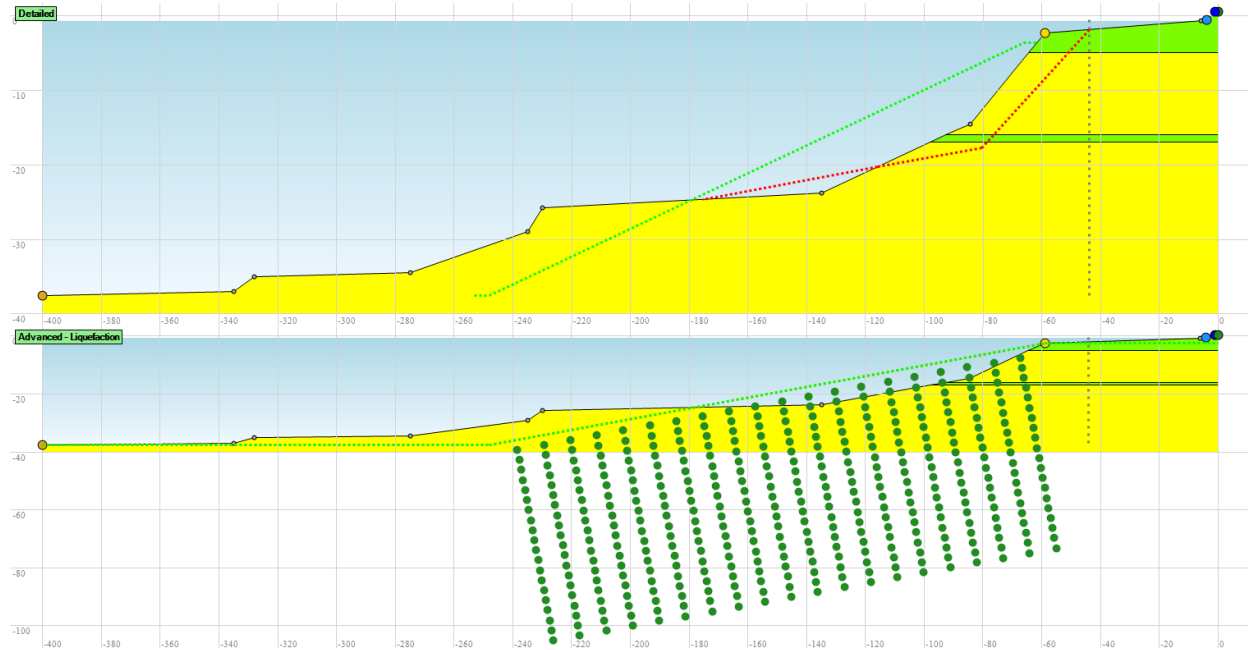


D-Stability 2025.01	Project Valkenburgse Meer	Analysis date	Scenario Glijvlakanalyse	
	Cross section Vak 11	Remarks	Calculation Bishop	Factor of Safety 1.680

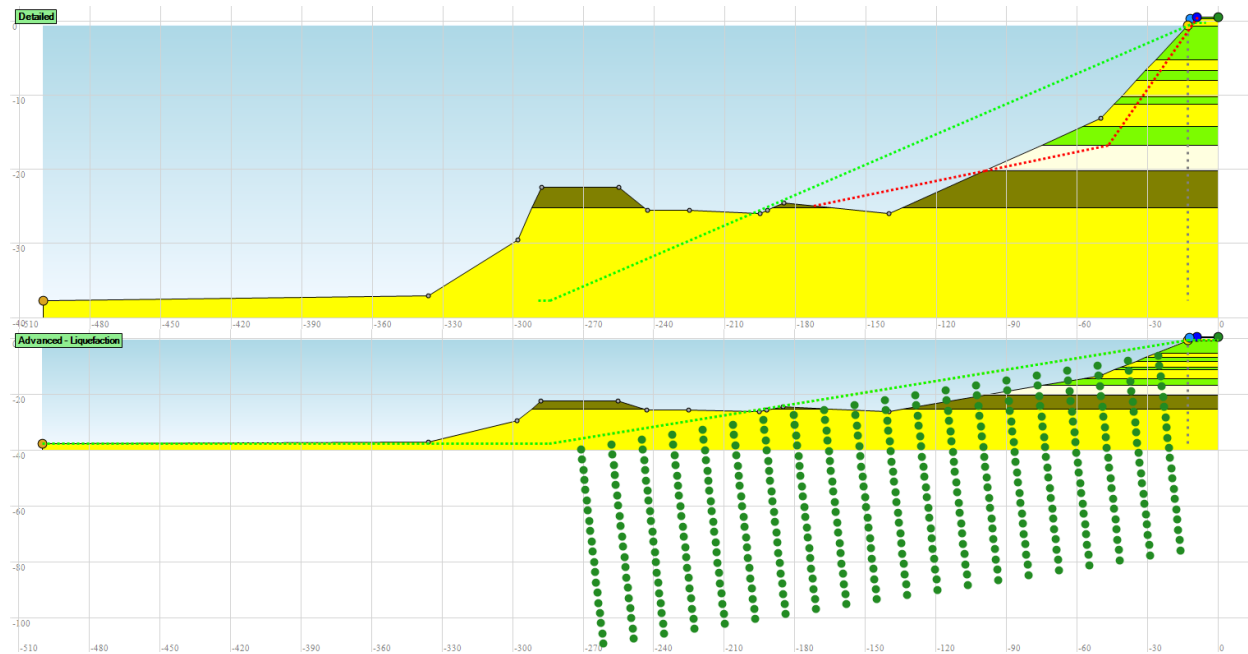


BIJLAGE 4: D-FLOW SLIDE RESULTATEN

Vak 2:



Vak11:



Vak 16:

