



Rapportage

Geotechnisch onderzoek inscharing Valkenburgse Meer

1013394.R01 1.0 | 20-5-2025

Definitief

LBP|SIGHT

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Geotechnisch onderzoek inscharing Valkenburgse Meer
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	1013394
Fugro-documentnr	1013394.R01
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land
Adres Fugro-kantoor	Blaeuilaan 60a, 3528 AD Utrecht

Klantgegevens

Klant	LBP SIGHT
Adres klant	Kelvinbaan 40, 3439 MT Nieuwegein
Contactpersoon klant	xxx
Documentnr. klant	n.v.t.

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	20-5-2025	Definitief		KHN	RMA	RMA

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
xxx	xxx	Senior adviseur waterbouw
xxx	xxx	Adviseur Waterbouw

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	1
2. Inleiding	3
3. Normen en uitgangspunten	5
3.1 Normen en richtlijnen	5
3.2 Veiligheidsfilosofie	5
3.3 Grondparameters en partiële factoren	6
3.4 Watersysteem en (grond)waterstanden	6
3.5 Verkeersbelasting	8
3.6 Aardbevingen	8
4. Beschrijving geometrie en ondergrond	9
4.1 Inleiding	9
4.2 Beschikbare Geometrie	9
4.3 Beschikbare data ondergrond	10
4.3.1 Geologische beschrijving	10
4.3.2 Beschikbaar Veld- en laboratoriumonderzoek	12
4.3.3 Beoordeling beschikbaar grondonderzoek	12
4.4 Analyse ondergrondgegevens	14
4.4.1 Verweking	14
4.4.2 Onbeheerst bressen (bresvloeiing)	17
4.5 Geometrie inscharing	18
5. Beschrijving inscharing	20
5.1 Beschrijving werkzaamheden	20
5.2 Beschrijving van inscharing	20
5.3 Analyse mechanisme	21
5.3.1 Tijdsduur	22
5.3.2 Ondergrondgegevens	22
5.4 Samenvatting opgetreden inscharing	24
6. Risico huidige situatie	26
6.1 Statische macrostabiliteit	26
6.1.1 Verkeersbelasting	28
6.1.2 Waterstandfluctuaties	29
6.2 Verwekingsvloeiing	29
6.3 Bresvloeiing	30
6.4 Veiligheid zandwinning	32
6.5 Samenvatting veiligheid huidige situatie	33
7. Veilige toekomstige exploitatie zandwinning	36

Bijlagen

Appendix A

Resultaten Stabiliteitsberekening

Managementsamenvatting

Bij een talud aan de zuidwestrand van de zandwinput het Valkenburgse Meer is in de ochtend van 1 april 2025 een inscharing opgetreden. In dit rapport zijn de mogelijke oorzaken van de inscharing onderzocht en is de veiligheid van de huidige situatie beoordeeld.

Oorzaken inscharing

Op basis van de geometrie van de waterbodem na de inscharing is duidelijk te herkennen dat er sprake is geweest van een zettingsvloeiing, dus een bresvloeiing of een verwekingsvloeiing. In de geometrie is ook te herkennen dat de zettingsvloeiing waarschijnlijk op de eerste helft van het wintraject is geïnitieerd. Dit betekent dat het 1 tot 2 uur heeft geduurd tot de zettingsvloeiing de oever heeft bereikt. Deze tijdsduur past niet bij een verwekingsvloeiing, waar de voortplantingssnelheid doorgaans in de orde van enkele m/s of tientallen m/minuut is. De korreldiameters van het zand wijzen er ook op dat het zand gevoelig kan zijn voor een bresvloeiing.

Op basis van de hellingenkaart (Figuur 4.2) is te zien dat er voorafgaand aan het winproces een zone was met relatief steile hellingen die konden oplopen tot 1v:1,4h. Tijdens het winnen van de betreffende zandlagen bedroeg de aangebracht verstoring (insteek zuigbuis) op basis van de log-data ruim 5 m. Indien er in deze zone naast een steile taludhelling ook sprake was van relatief vastgepakt zand en relatief fijne deeltjes, kan een situatie zijn ontstaan waar de verstoring in de bresvloeiing dusdanig groot is geworden, dat de bresvloeiing tot de oever is doorgedrongen.

Tijdens de zandwinning is er nauwkeurig gewerkt en is de vergunningslijn niet overschreden. Bij een flauw talud van 1v:4h zoals in de vergunning wordt voorgeschreven is de kans op een bresvloeiing relatief beheerst zolang de initiële verstoring beperkt blijft. Echter, omdat er in de onderwatergeometrie van de zandlagen die *boven* de vergunningslijn zaten, sprake was van een steiler talud, en, deze lagen hoogstwaarschijnlijk relatief vastgepakt waren en bestonden uit relatief fijn zand, kon de aangebrachte verstoring leiden tot een ongecontroleerde bres, of bresvloeiing, die pas na een inscharing van de oever is gedempt.

Veiligheid huidige situatie

Nadat de bresvloeiing op 1 april tot stilstand is gekomen is een nieuw evenwicht bereikt. Daardoor is er geen actueel risico op verdere 'spontane' afkalving van de oever. Pas wanneer het nieuwe evenwicht wordt verstoord neemt het risico op een afkalving weer toe. Daarom zijn in dit rapport de gevolgen voor het systeem door verstoringen zoals (verkeers)belasting, golfslag, fluctuaties in de waterstand en zware trillingen onderzocht.

Dit is in de volgende punten nader gekwantificeerd:

- Er moet met grote zorg omgegaan worden met activiteiten die zware trillingen veroorzaken, zoals bouwwerkzaamheden of zwaar verkeer. Indien dit soort activiteiten rondom het meer worden uitgevoerd wordt aanbevolen om met een analyse vast te stellen hoe groot de afstand tot de activiteiten moet zijn zodat de trillingen bij de inscharing verwaarloosbaar klein zijn. Middels monitoring met trilconussen kan dit vervolgens worden geverifieerd.
- Activiteiten op het land met belastingen die geen zware trillingen veroorzaken kunnen plaatsvinden rondom het meer, mits deze minimaal 3,5 meter uit de bres plaatsvinden. Veiligheidshalve wordt aanbevolen om een marge van minimaal 7 meter aan te houden.
- Waterstandfluctuaties die voldoen aan het peilbesluit hebben geen significante impact op de stabiliteit. Indien het meerpeil substantieel verlaagd wordt ten opzichte van het boezempeil kan dit mogelijk tot een afschuiving leiden. Bij een plotselinge verlaging van het meerpeil in de orde van 0,5 tot 1,0 meter is het daarom aan te raden om de directe omgeving bij de inscharing af te sluiten en grondvervormingen rondom de inscharing te monitoren.
- Activiteiten op het water die leiden tot zeer grote golven met golfhoogtes die ruim groter zijn dan 1,0 meter mogen niet uitgevoerd worden, of moeten dusdanig ver van de inscharing uitgevoerd worden dat de golven bij de inscharing kleiner zijn dan 1,0 meter.
- Bij overige activiteiten op het water die geen zware trillingen of grote golven veroorzaken wordt aanbevolen om een afstand van minimaal 25 meter aan te houden van de bres. Op deze afstand is de waterdiepte groter dan 10 meter en zal de impact op de waterbodem en de oever verwaarloosbaar zijn.

Er is ook gekeken hoe het risico op een inscharing beter beheerst kan worden in de zandwinning. De zandwinning dient opgestart te worden volgens een geotechnisch onderbouwt werkplan waarin de meest actuele kennis van zettingsvloeiingen is verwerkt. De uitvoering is daardoor fundamenteel anders is dan het werkplan wat volgde uit het geotechnisch advies uit 1999 toen het mechanisme van bresvloeiing nog nauwelijks onderzocht was. Belangrijke onderdelen van dit werkplan zijn (1) dat binnen het invloedsgebied van de inscharing geen werkzaamheden worden uitgevoerd, (2) de werkrichting zodanig wordt uitgevoerd dat een veilige geometrie gehandhaafd blijft, (3) een veilige insteekdiepte en laagdikte wordt afgeleid op basis van modelstudies en (4) de geometrie van de zandwinning periodiek wordt gecontroleerd door een geotechnisch adviseur om de veiligheid te beoordelen en risico's te identificeren.

2. Inleiding

Bij een talud aan de zuidwestrand van de zandwinput het Valkenburgse Meer is in de ochtend van 1 april 2025 een inscharing opgetreden. De inscharing is zichtbaar geworden, doordat de oeverlijn van de zandwinput over een lengte van ongeveer 185 m is ingestort. Tegen de avond is het afkalven van de oever gestopt. LPB Sight heeft in opdracht van Xella Kalkzandsteen Fugro gevraagd om de inscharing nader te onderzoeken. Doel van het voorliggende rapport is antwoord te geven op de volgende (onderzoeks)vragen:

- Wat zijn de oorzaken van de inscharing?
- Is er actueel risico op verdere schade?
- Hoe kunnen activiteiten veilig voortgezet worden terwijl het risico op een inscharing wordt beheerst?

Definities

Zettingsvloeiing	Een onderwater zandtalud kan soms schijnbaar spontaan instabiel worden, waarna het zand uitvloeit om pas bij een zeer flauwe helling te sedimenteren. Gewoonlijk wordt dit met 'zettingsvloeiing' betiteld. Twee verschillende processen kunnen leiden tot een dergelijke sterke taludverflauwing: verweken en bressen. Deze processen worden aangeduid met 'verwekingsvloeiing' respectievelijk 'bresvloeiing'. In het verleden is de term 'zettingsvloeiing' als synoniem gebruikt voor een 'verwekingsvloeiing', waardoor sommige bronnen alleen de beschrijving van een verwekingsvloeiing geven bij de term zettingsvloeiing. Hoewel dit feitelijk niet juist is, zorgt dit in de huidige praktijk vaak voor verwarring. Dit is ook te zien in de berichtgeving over het Valkenburgse Meer, waar verschillende nieuwsorganisaties een zettingsvloeiing hebben beschreven als (uitsluitend) een verwekingsvloeiing.
Verwekingsvloeiing	Een <i>verwekingsvloeiing</i> kan worden omschreven als een verschijnsel waarbij een pakket losgepakt zand onder water plotseling verweekt: er ontstaat een soort drijfzand. <i>Verweking</i> impliceert een dramatische vermindering van het onderlinge contact tussen de zandkorrels en daarmee van de schuifsterkte van het zandlichaam. Als het zandpakket oorspronkelijk in een helling aanwezig is, dan zal de verweekte massa naar beneden <i>vloeien</i> en pas weer onder een zeer flauwe helling tot rust komen. De mate van verweking waarbij de zandkorrels in het geheel geen onderling contact meer hebben (volledige verweking), treedt niet zo vaak op. Maar gedeeltelijke verweking kan het vermogen van het zand om schuifspanning op te nemen al zodanig doen verminderen dat het talud instabiel wordt en er een grote massa zand naar beneden vloeit.
Bresvloeiing	Een <i>bresvloeiing</i> in een onderwater talud is een gestaag terugschrijdend erosieproces dat zichzelf versterkt of althans zichzelf in stand houdt. Het proces kan in gang gezet worden door een lokale verstoring. Dit resulteert enerzijds in een zand-watmengsel dat als een dichtheidsstroom langs het talud naar beneden stroomt ("suspensiestroom") en daarbij verdere erosie veroorzaakt, waardoor de suspensiestroom steeds sterker wordt. Anderzijds resulteert de lokale taludinstabiliteit doorgaans in een zo steil taludgedeelte ("bres" of "walletje") dat het zand aan het oppervlak afregent, waardoor het steile taludgedeelte terugschrijdt en het afregende zand de suspensiestroom voedt.
Contractant/ dilatant grondgedrag	Als gevolg van belastingen gaan zandkorrels ten opzichte van elkaar schuiven. Door het verschuiven neemt het porievolume in het zand toe. Het korrelskelet eindigt in een losse pakking met veel porievolume. In het andere geval is de grond in een losse pakking en neemt als gevolg van de belasting het porievolume af. Het korrelskelet eindigt met een dichte pakking. De eerste situatie waarin het porievolume toeneemt wordt dilatant gedrag genoemd. De tweede situatie wordt contractant grond gedrag genoemd.
Cohesieve grond	In cohesieve grond hebben de gronddeeltjes een onderlinge samenhang, waardoor bijvoorbeeld verticale wanden tot een bepaalde hoogte kunnen blijven staan. Cohesieve grond is, in tegenstelling tot zandige grond, niet gevoelig voor bresvloeiing of verwekingsvloeiing. Cohesieve kunnen wel gevoelig zijn voor (statische) macrostabiliteit.

3. Normen en uitgangspunten

3.1 Normen en richtlijnen

Voor het opstellen van het stabiliteitsadvies zijn de volgende normen en richtlijnen in acht genomen:

1. [CUR 113] CUR-aanbeveling 113, Oeverstabiliteit bij zandwinputten, CUR, Gouda, 2008
2. [NEN 1998-1] Eurocode 8, Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen, april 2005
3. [NEN 9997-1] Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1, algemene regels, november 2017
4. [STOWA 2015] Leidraad Toetsen op veiligheid regionale waterkeringen

3.2 Veiligheidsfilosofie

Voor het faalmechanisme (statische) macrostabiliteit kan een veiligheidsniveau gedefinieerd worden om te bepalen of de faalkans van de oever acceptabel is. De CUR 113 (Oeverstabiliteit bij Zandwinputten) geeft aan dat voor een eenvoudige analyse een evenwichtsfactor van minimaal 1,3 moet worden gehanteerd, als gebruik wordt gemaakt van de karakteristieke waarden zoals aangegeven in de NEN 6740, waarbij de NEN 6740 echter is vervallen. Een actuelere norm is de NEN-9997-1 (NEN, 2017), waarbij de evenwichtsfactor tenminste 1,0 moet bedragen bij rekenwaarden van de grondparameters. De rekenwaarden zijn daarbij afhankelijk van de gekozen betrouwbaarheidsklasse waaraan een object (zandwinning) moet voldoen: RC1, RC2 of RC3. De betekenis van de betrouwbaarheidsklassen is nader toegelicht in Tabel 3.1.

Tabel 3.1: toelichting betrouwbaarheidsklassen (Reliability Classes) RC1, RC2 en RC3 conform NEN-EN 1990, tabel nb.20-B1.

	Mensenlevens	Economisch	Enkele voorbeelden
RC3	Grote gevolgen (>500)	Zeer grote gevolgen	■ Spoorbaan Utrecht-Amsterdam
RC2	Middelmatige gevolgen	Aanzienlijke	■ Flatgebouw met 6 woonlagen
RC1	Geringe gevolgen	Verwaarloosbaar	■ Eengezinswoning ■ Aardebaan Rijksweg A2

In de rapporten van Grontmij (Grontmij, 1999a, 1999b) is geen veiligheidsniveau gedefinieerd. Ook is het onduidelijk welk veiligheidsniveau het bevoegde gezag aan de zandwinning heeft toegekend of toekend. In de gangbare praktijk wordt voor vergelijkbare objecten uitgegaan een RC1 veiligheidsnorm. Dit betekent dat de toelaatbare faalkans per jaar (kans dat er schade mag ontstaan) $1,33 \times 10^{-5}$ ($\beta_{jr} = 4,2$) bedraagt. Dit is een waarde die de mate van "betrouwbaarheid" van een oever weergeeft.

Nu is de zandwinput normaliter verbonden met boezem van het Hoogheemraadschap van Rijnland. De kaden rondom de zandwinning (oever) betreft dus een regionale kering (traject 099-042-00006 en een gedeelte van traject 099-042-00007). De kering heeft een IPO-klasse 3 normering, met een toelaatbare faalkans per jaar van 2.0×10^{-3} ($\beta_{jr} = 2.88$). De vereiste sterkte en stabiliteit van de waterkering is dus substantieel lager dan het veiligheidsniveau RC1.

3.3 Grondparameters en partiële factoren

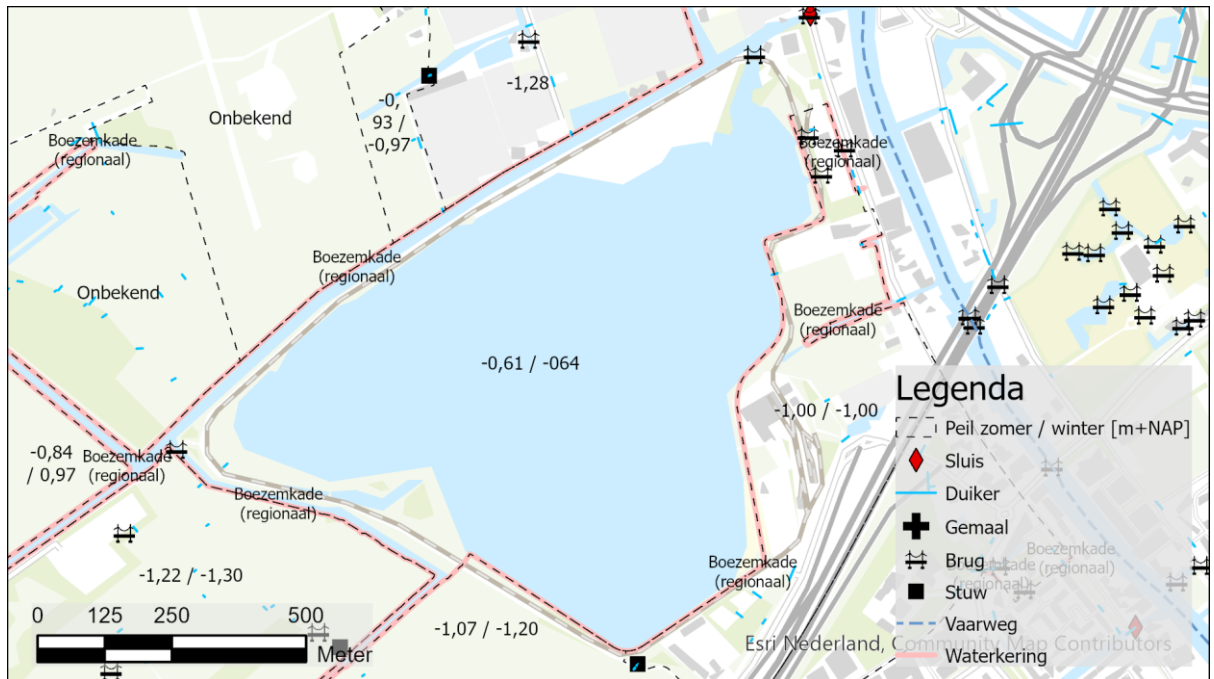
Voor berekeningen voor de (statische) macrostabiliteit zijn grondparameters nodig. Omdat er geen lokale proevenverzameling is afgeleid, worden waarden uit NEN9997 toegepast. Het volumiek gewicht en de hoek van inwendige wrijving van de grond is herleid uit tabel 2.b uit NEN9997. Voor de hoek van inwendige wrijving en cohesie wordt in de stabiliteitsberekening conform Tabel A.2 uit NEN9997 een partiële veiligheidsfactor van respectievelijk 1,2 en 1,3 toegepast voor een RC1 ($\beta_{jr} = 3.9$) veiligheidsbenadering. De resulterende karakteristieke- en rekenwaarden zijn weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Representatieve waarden sterkteparameters.

Bovenkant laag [m NAP]	Grondsoort	γ/γ_{sat} [kN/m ³]	c' karakteristieke waarde [kPa]	c' rekenwaarde [kPa]	ϕ' karakteristieke waarde [°]	ϕ' rekenwaarde ϕ' [°]
Maaiveld	ZAND, los	18/20	0	0	30,0	25,7
-5	Klei, zandig	18/18	5	3,85	22,5	19,0
Opmerkingen γ en γ_{sat} = volumiek gewicht; sat = verzadigd c' = effectieve cohesie ϕ' = effectieve hoek van inwendige wrijving						

3.4 Watersysteem en (grond)waterstanden

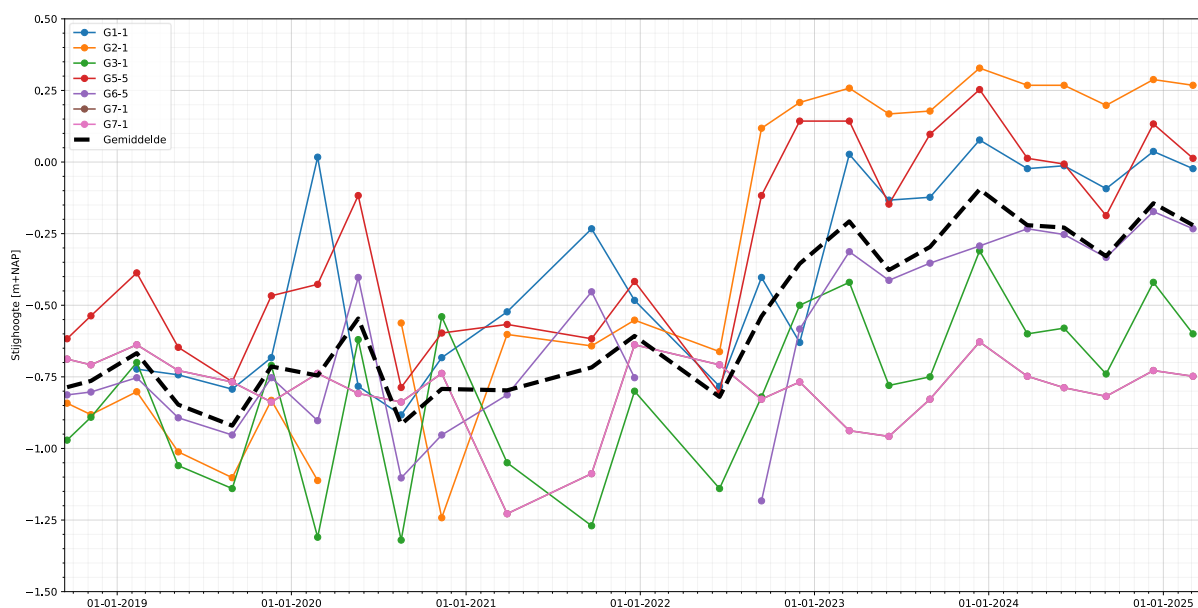
Enkele relevante onderdelen van het watersysteem bij het Valkenburgse Meer zijn weergegeven in Figuur 3.1. Het Valkenburgse Meer is een 'boezem', wat betekent dat er een vast peil wordt gecontroleerd door sluizen en gemalen. Het Valkenburgse Meer heeft een open verbinding met twee aangrenzende waterlichamen: 'Zijlwatering' en 'Korte Vlietkanaal', die onderdeel zijn van hetzelfde boezemsysteem. Het gemiddelde boezempeil in de winter is NAP -0,64. Dit is enkele centimeters lager dan in de zomer, dan is het NAP -0,61. In de winter wordt het peil opzettelijk lager gehouden om natte omstandigheden beter op te vangen. Rondom het Valkenburgse Meer liggen verschillende polders. In de polder nabij de inscharing (Ommedijksepolder) is het waterpeil 0,46 tot 0,56 meter lager dan in het Valkenburgse Meer. Daarom worden de randen van het meer als regionale kering (boezemkade) gedefinieerd.



Figuur 3.1: Peilbesluiten, kunstwerken en waterwegen nabij het Valkenburgse Meer.

De grondwaterstand is sinds september 1996 gemonitord door LBP|SIGHT. De stijghoogte in de peilbuizen met een filter op NAP-5 m is sinds 2018 weergegeven in Figuur 3.2. Deze peilbuizen geven het beste beeld van de freatische waterstand, die relevant is voor de mogelijke faalmechanismen van de oever van het Valkenburgse Meer. In Tabel 3.2 zijn de statistische parameters te zien van alle beschikbare peilbuizen.

De peilbuizen geven naar verwachting een goed beeld van de mogelijke grondwaterstandsfluctuaties rondom het Valkenburgse Meer. In 2018, 2019, 2020 en 2022 was er namelijk sprake van extreem droge jaren. Het jaar 2024 was daarentegen een extreem nat jaar.



Figuur 3.2: Peilbuisdata van alle gemonitorde peilbuizen met filterdiepte op NAP-5 m.

Tabel 3.2: Statistische parameters van verschillende (sub)verzamelingen van de beschikbare peilbuizen.

	Gemiddelde [m+NAP]	Minimum [m+NAP]	Maximum [m+NAP]	Standaarddeviatie [m]
Alle peilbuizen	-0,55	-1,36	0,79	0,42
Ondiepe peilbuizen [filter: NAP-5 m]	-0,54	-1,32	0,33	0,41
Diepte peilbuizen [filter: NAP-40 tot -45 m]	-0,55	-1,36	0,79	0,44

3.5 Verkeersbelasting

Voor berekeningen van de (statische) macrostabiliteit kan de invloed van een verkeersbelasting meegenomen worden. Bij het beschouwen van een verkeersbelasting wordt een uniforme bovenbelasting van 15 kPa beschouwd. Deze waarde is gebaseerd op de belasting van 4 maximaal beladen zandauto's met 1 m onderlinge afstand. Dit is een uiterst conservatieve waarde voor de situatie van het Valkenburgse Meer (waar slechts een fietspad ligt), maar dient als veilige waarde voor allerlei soorten belastingen die op de oever kunnen voorkomen. Verder wordt een aanpassingspercentage van 20% in rekening gebracht voor de cohesieve lagen en wordt een belastingsspreiding van 22,5° in rekening gebracht.

3.6 Aardbevingen

De omgeving van Valkeburgse Meer geldt niet als risicogebied voor aardbevingen. In dit gebied zijn geen historische aardbevingen geregistreerd (zie <https://www.knmi.nl/nederland-nu/seismologie/aardbevingen>). Daarnaast ligt het gebied niet in een zone waar een risico op aardbevingen aanwezig is conform de kaartlaag 'Aardbeving – mercallizone' (te vinden via atlasleefomgeving.nl).

4. Beschrijving geometrie en ondergrond

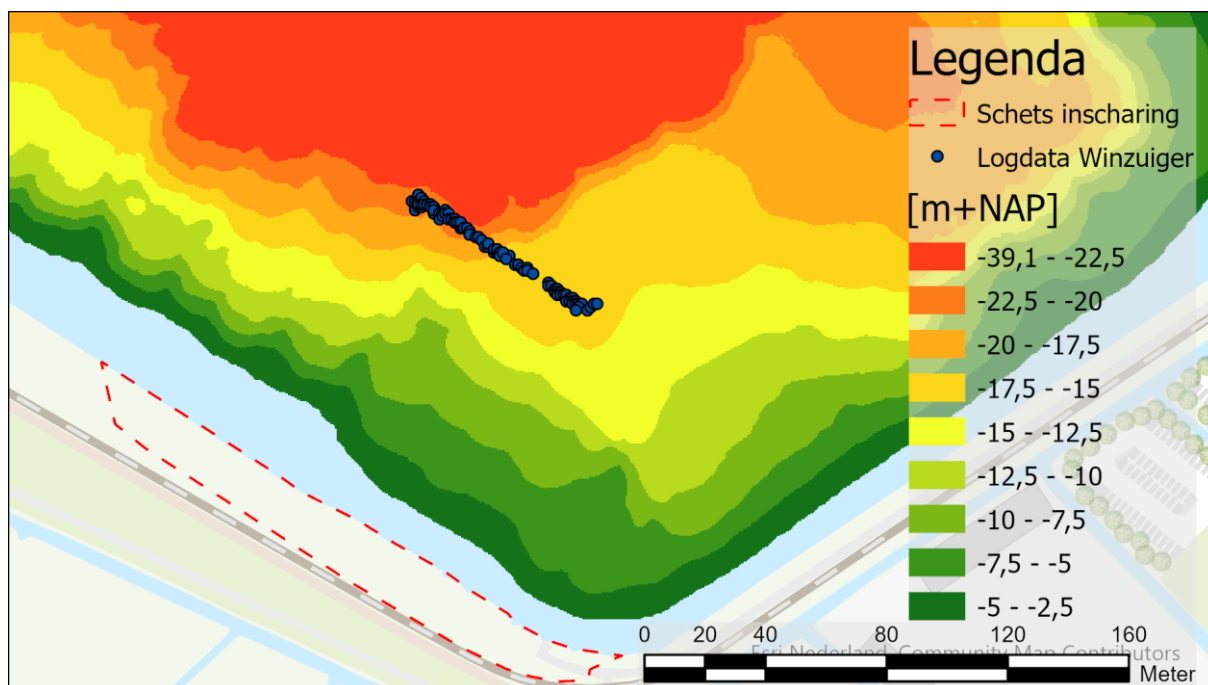
4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de aangeleverde beschikbare data een beschrijving gegeven van de lokale bodemopbouw en taludgeometrie voorafgaand aan de inscharing. Vervolgens wordt op basis van beschikbare data de mate van verweking en bresgevoeligheid ingeschat.

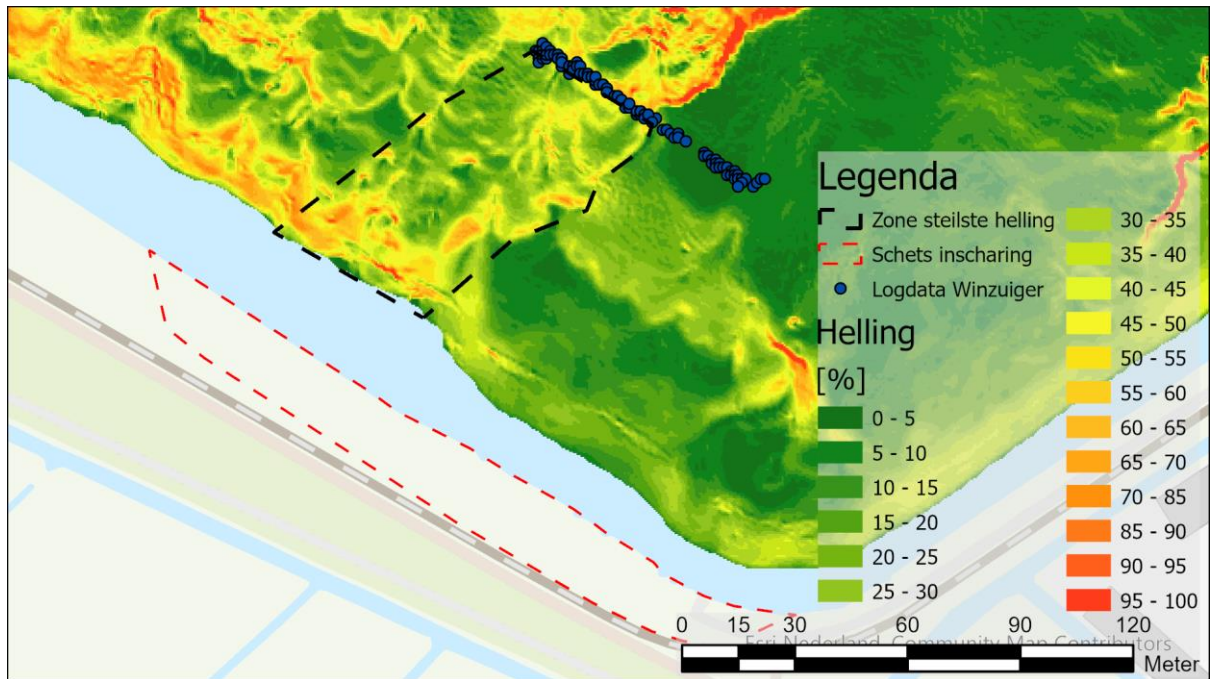
4.2 Beschikbare Geometrie

In Figuur 4.1 en Figuur 4.2 zijn de geometrie en de helling van de waterbodem voorafgaande aan de inscharing geïllustreerd. In de figuren is te zien dat de zuidoostelijke oeverhelling minder steil is dan de zuidwestelijke oever. In de figuren zijn ook de posities van de kop van de zuigbuis weergegeven die de route aangeeft welke de winzuiger heeft gevolgd. De winzuiger heeft van west naar oost gewerkt, waarbij de winzuiger parallel aan de oever (met de steilste brestaludhellingen) wordt voortbewogen, wat in lijn is met de aanbevelingen uit de CUR 113 (CUR, 2008). De diepste zone van met meer is ten noordwesten van de locatie waar op 1 april de zandwinning heeft plaatsgevonden.

Op basis van de peildata kan er een zone worden geïdentificeerd waar de helling nabij de zandwinning het steilste was. In deze zone was de helling direct naast de winzuiger circa 50% (1v:2h) en zijn er richting de oever ook zones waar de helling oploopt tot 70% (1v:1,4h).



Figuur 4.1: Geometrie waterbodem op basis van peiling 12-03-2024.

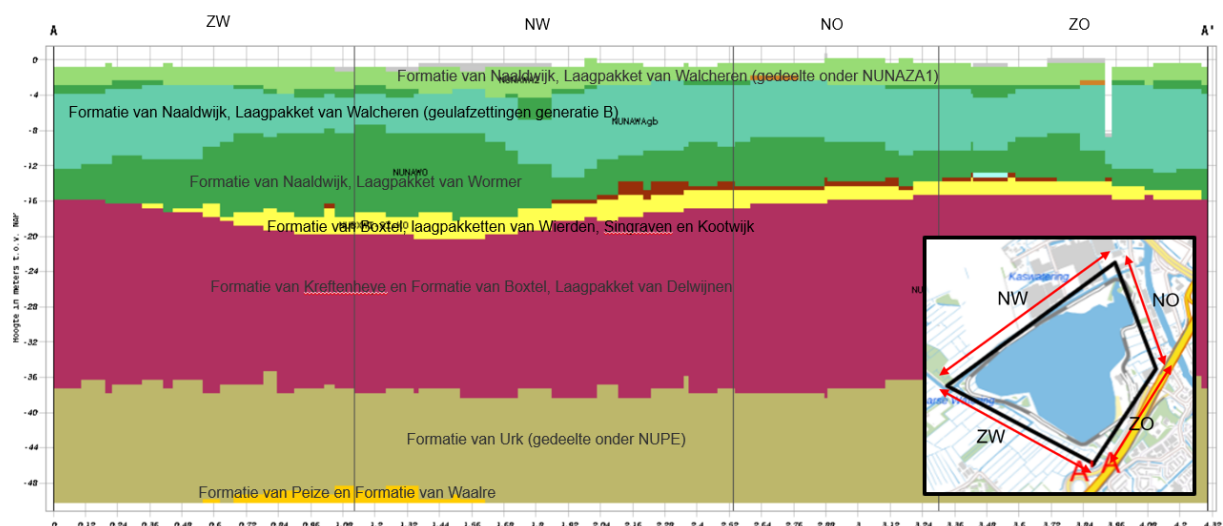


Figuur 4.2: Helling waterbodem [%] op basis van peiling 12-03-2024.

4.3 Beschikbare data ondergrond

4.3.1 Geologische beschrijving

In Figuur 4.3 is op basis van openbaar beschikbare data (Dinoloket) de geologische laagafzettingen weergegeven. Uit het figuur blijkt dat de ondergrond van het gebied gelaagd is. In de onderste helft van de zandwinning kunnen vanaf NAP-20 m de Pleistocene zandige afzettingen; Formatie van Kreftenheye en Formatie van Boxtel, Laagpakket van Delwijnen worden aangetroffen. De bovenste helft van de zandwinput vanaf maaiveld tot aan NAP-20 m bevinden zich de Holocene mariene afzettingen zoals de Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer en geulafzettingen van het Laagpakket van Walcheren.



Figuur 4.3: Geologie bij het Valkenburgse Meer volgens GeoTop model.

Tabel 4.1: Beschrijving van verschillende geologische formaties in de ondergrond bij het Valkenburgse Meer.

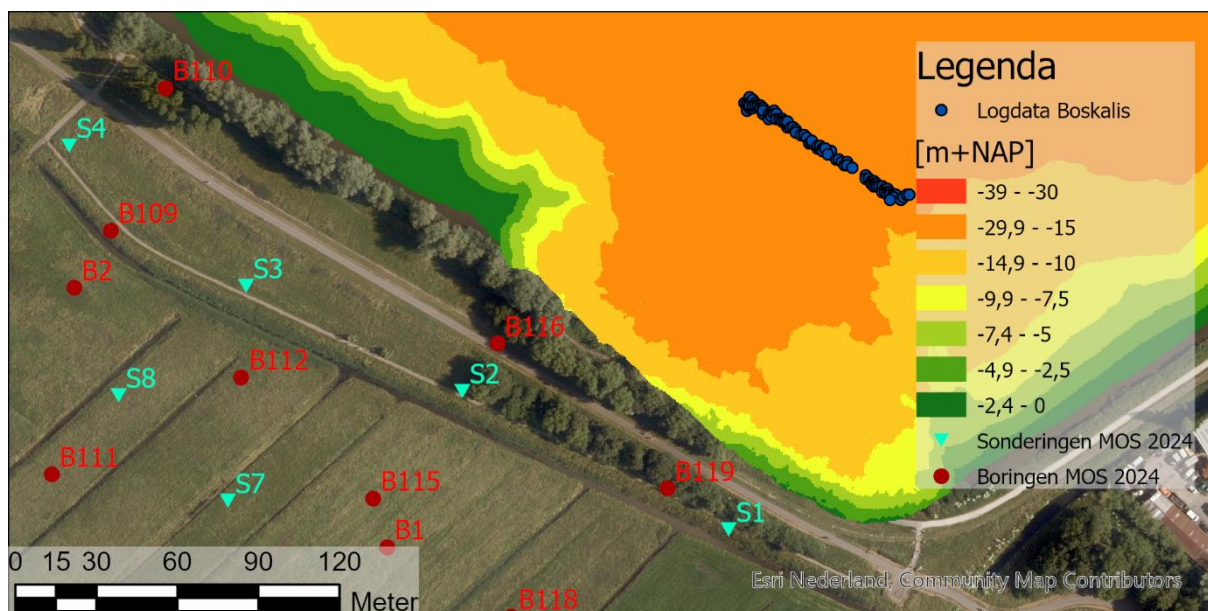
Diepte [m+NAP]	Naam	Eigenschappen
0 tot -14	Formatie van Naaldwijk Laagpakket van Walcheren	■ Zandafzettingen uit zeer tot matig fijn zand (105-210 μm). ■ Kleilig of siltig, kalkrijk, schelphoudend, gebioturbeerd. ■ Grijsklei, siltig of zandig, schelphoudend, deels humeus, gebioturbeerd. Zand-klei-afwisselingen.
-7 tot -18	Formatie van Naaldwijk Laagpakket van Wormer	■ Zandafzettingen uit zeer tot matig fijn zand (105-210 μm). Lokaal matig tot zeer grof zand (210-420 μm). ■ Siltig of kleilig, schelphoudend, kalkrijk. Ingeschakelde silt en kleilaagjes, gebioturbeerd. ■ Grijsklei, siltig of zandig, schelphoudend, deels humeus.
-14 tot -20	Formatie van Boxtel Laagpakketten van Wierden, Singraven en Kootwijk	■ Lichtbruin tot geelbruin zeer fijn tot matig grof zand (105-300 μm), goed gesorteerd en (matig) afgerond. ■ Grijs tot geel zeer fijn tot zeer grof zand (105-420 μm), lokaal siltig of grindig. Grijsklei en grijsklei humeuze klei, zandig. Dunne (dm) veenlagen en gyttja. ■ Lichtgrijs tot geel fijn tot matig grof zand (210-300 μm), kalkloos, sporadisch snoertje fijn grind en dun laagje organisch materiaal.
-16 tot -38	Formatie van Boxtel Laagpakket van Delwijnen	■ Grijs tot bruin, zeer fijn tot grof zand (105-420 μm) ■ Veelal kalkloos maar kalkhoudend aan basis, sporadisch dun leemlaagje of snoertje fijn grind.
-16 tot -38	Formatie van Kreftenheye	■ Geelgrijs tot grijsbruin matig tot uiterst grof zand (210-2000 μm). ■ Matig tot sterk grindhoudend. Plaatselijk, fijn tot zeer grof grind in lags. In mindere mate siltige kleilagen, sporadisch kleiige veenlaagjes.
Vanaf -36	Formatie van Urk	■ Grijs tot geelbruin matig fijn tot uiterst grof zand (150-2000 mm)

Diepte [m+NAP]	Naam	Eigenschappen
		■ Matig tot sterk grindig. Fijn tot zeer grof grind gekenmerkt door grijze, bruine, groene en rode zandsteen en witte kwarts. ■ Glimmerarm, kalkloos (in stuwwallen) tot kalkhoudend, met plantenresten (inclusief hout), met augiet en veel roze korrels. ■ In mindere mate sterk zandige of siltige kleilagen, plaatselijk humeus.

4.3.2 Beschikbaar Veld- en laboratoriumonderzoek

In dit project is het volgende grondonderzoek beschikbaar:

- Grondonderzoek Grontmij (Grontmij, 1999b, 1999a):
 - 6 sonderingen tot 60 meter. Hoogstwaarschijnlijk klasse 4.
 - 1 boring tot NAP-44 m.
 - 3x geconsolideerde, gedraineerde triaxiaalproef waarbij de gemiddelde hoofdspanning p' constant is gehouden om kritieke dichtheid (grens tussen dillatant en contractant gedrag) te bepalen.
- Grondonderzoek MOS (MOS Grondmechanica, 2024):
 - 9 sonderingen tot NAP-40 m.
 - 2 mechanische boringen tot NAP-40 m.
 - 20 handboringen tot ca. mv-4 m.



Figuur 4.4: Grondonderzoek nabij bres (MOS Grondmechanica, 2024).

4.3.3 Beoordeling beschikbaar grondonderzoek

Voor het interpreteren van het grondonderzoek zijn de volgende zaken van belang:

- De sonderingen zijn uitgevoerd als klasse 3 ($q_c \pm 200$ kPa en $f_s \pm 25$ kPa) of lager. Deze klasse sonderingen zijn geschikt om laagscheidingen te identificeren. De sonderingen

zijn echter niet geschikt voor correlaties voor de bepaling van geotechnische parameters. Hiervoor worden minimaal sonderingen klasse 2 aanbevolen voor klei of zand.

■ Zeefkromme:

- De intervallen van de zeven zijn erg groot. De karakteristieke diameters zijn bepaald op basis van logaritmische interpolatie, maar door de grootte van de intervallen geldt een ruime marge op deze intervallen.
- De korrelverdeling kent doorgaans een grote natuurlijke variatie. Zeker wanneer een sprake is van een sterke variatie in de geologische laagopbouw van de verschillende zandlagen. Van de boring uit 1999 zijn op 3 zandmonsters korrelverdelingen uitgevoerd (tabel 2.2 t/m 2.4). Voor het achterhalen van de bandbreedten en het inschatten van de taludontwikkeling zijn het aantal korrelverdelingen niet voldoende. Geadviseerd wordt om de op de bewaarde grondmonsters van de uitgevoerde boringen uit 2024 per meter zandlaag een korrelverdeling te laten bepalen.

Tabel 4.2: Zeefkromme van boring Valkenburgse Meer (Grontmij, 1999a, 1999b).

Diepte-interval [m+NAP]	Korrelfracties [μm]						
	4000	2000	1000	500	250	125	63
-9 tot -10	100	100	99,8	98,8	70	20,6	10,4
-15 tot -16	100	99,9	99,9	99,3	80,9	37,6	12,4
-43 tot -44	100	100	99,8	97,5	71,5	17,5	3,4

Tabel 4.3: Karakteristieke diameters korrelverdelingen op basis van lognormale interpolatie.

Diepte interval [m+NAP]	D ₆₀ [μm]	D ₅₀ [μm]	D ₁₅ [μm]	D ₁₀ [μm]
-9 tot -10	217	189	86	63
-15 tot -16	179	152	68	59
-43 tot -44	216	190	111	87

Tabel 4.4: Resultaten triaxiaalproeven ter bepaling kritieke dichtheid (Grontmij, 1999a, 1999b).

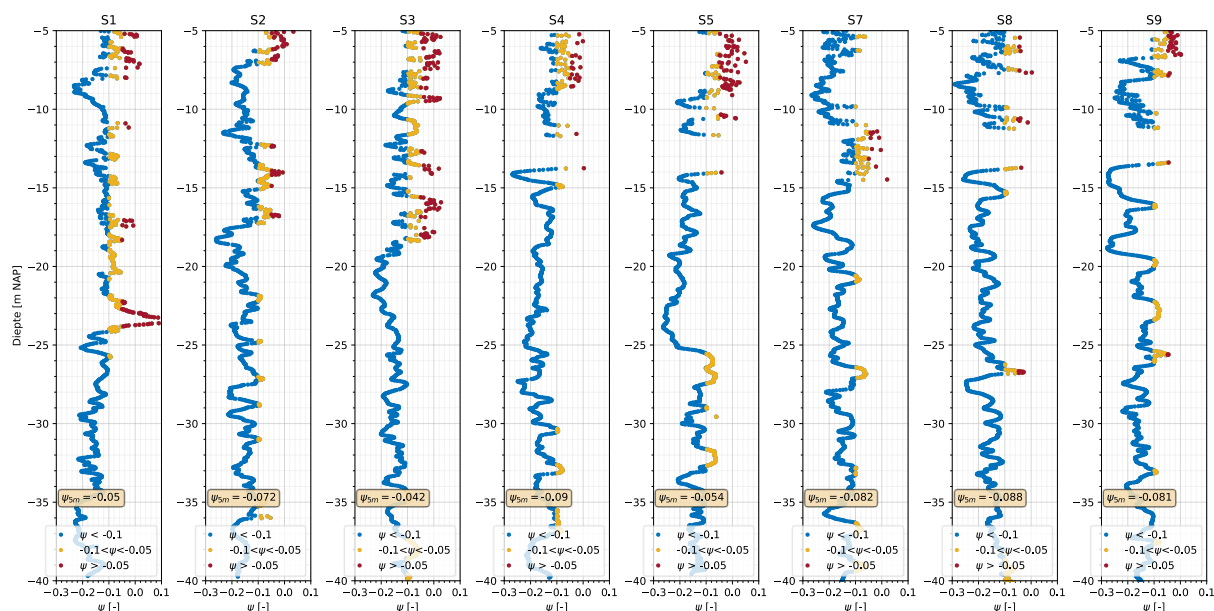
Monster	Diepte [m-mv]	$\gamma_{\text{droog-min}}$ [kN/m ³]	$\gamma_{\text{droog-max}}$ [kN/m ³]	p' [kPa]	Kritieke dichtheid		
					$\gamma_{\text{droog-kritiek}}$ [kN/m ³]	e _{kritiek} [-]	R _{e-kritiek} [%]
B5-12	-9,0	12,8	16,8	90	14,94	0,75	56
B5-18	-15,0	12,9	17,4	150	15,46	0,72	63
B5-46	-43,0	14,2	17,3	430	15,62	0,70	57

4.4 Analyse ondergrondgegevens

4.4.1 Verweking

De verwekingsgevoeligheid van de ondergrond is voor alle sonderingen geanalyseerd met de state parameter ψ . Hoewel de beschikbare sonderingen niet van voldoen aan de kwaliteitscriteria voor geotechnische correlaties zoals de state parameter, is deze analyse alsnog uitgevoerd om een eerste inschatting te krijgen van de verwekingsgevoeligheid van de ondergrond.

De state parameter geeft aan of zand contractant (verwekingsgevoelig) of dilatant (niet verwekingsgevoelig) is. De grens tussen contractant- en dilatant grondgedrag wordt in de Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing (Rijkswaterstaat, 2019) gesteld op $\psi < -0,05$, hoewel er ook conservatievere methoden zijn die de grens stellen op $\psi < -0,10$. In Figuur 4.5 is de state parameter van sondering S1 t/m S9 weergegeven.

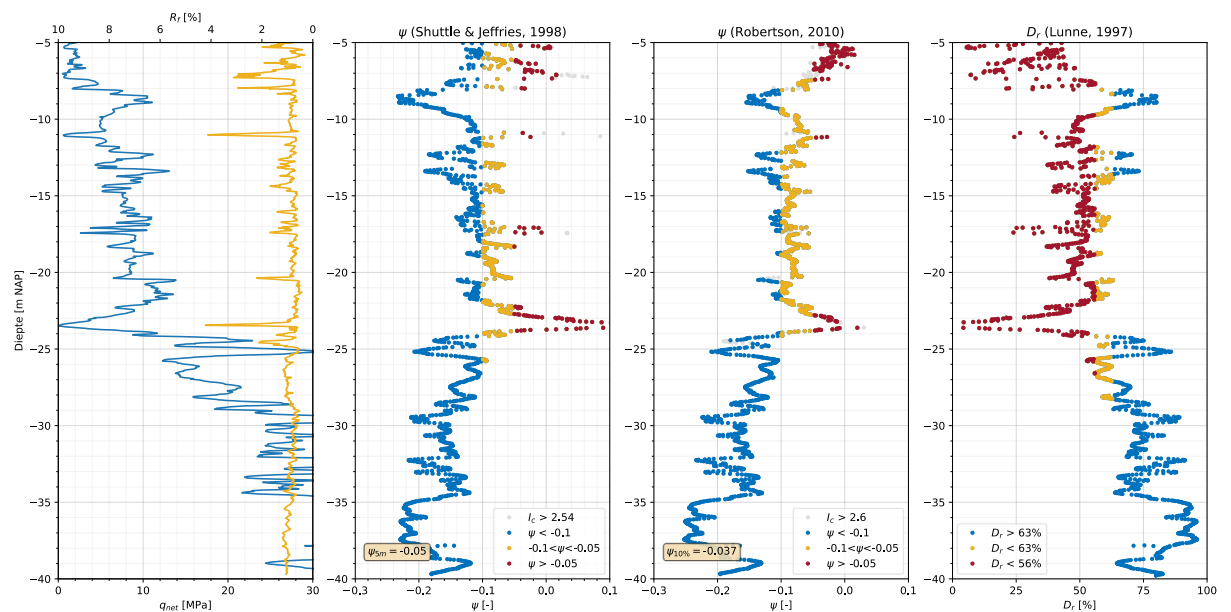


Figuur 4.5: State parameter van sondering S1 t/m S9. State parameter berekend volgens methode van (Shuttle & Jeffries, 1998).

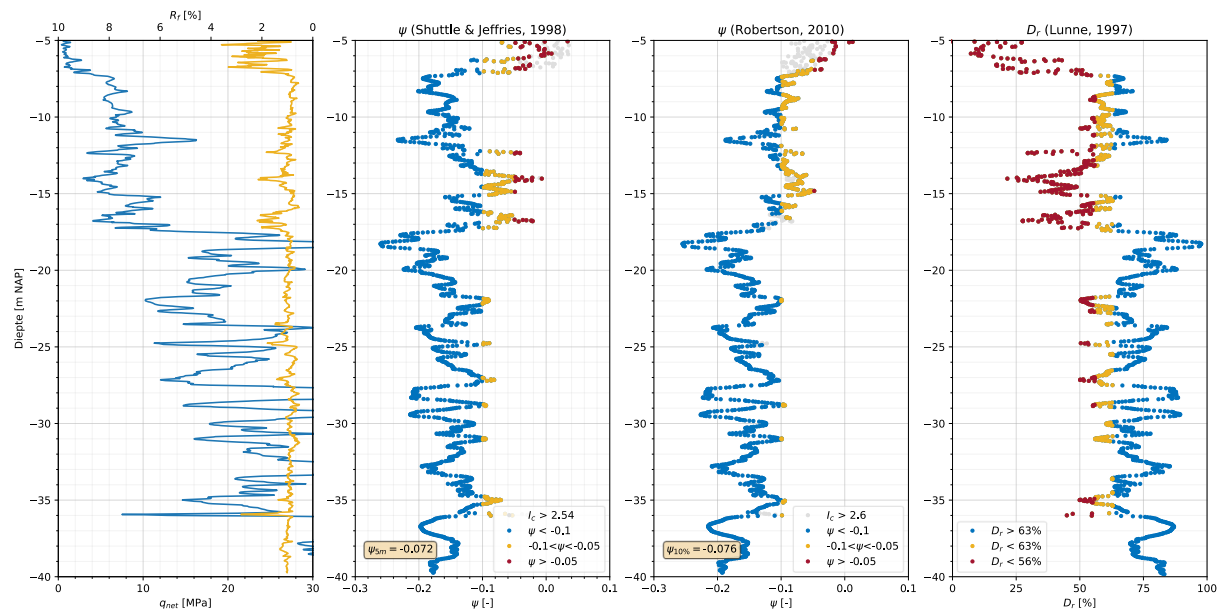
Uit figuur 2.5 volgt dat ter plaatse van de uitbreiding in de zandlagen tot een diepte van NAP-10 m zandlagen worden aangetroffen waarbij de state parameter $\psi > -0,05$ lijkt te zijn. Vanaf NAP-10 m tot NAP-15 m zijn in de sonderingen S1 t/m S3 en S7 zandlagen aangetroffen die in potentie gevoelig zijn voor verweken. De uitkomsten van de sonderingen S4, S5, S8 en S9 laten zien dat tussen NAP-10m en NAP-15m geen stateparameter is afgeleid vanwege het feit dat hier sprake is van cohesieve grondlagen. Vanaf NAP-15 m tot NAP-20 m zijn voornamelijk in de sonderingen S1 t/m S3 zandlagen aangetroffen die mogelijk gevoelig zijn voor verweking. Opmerkelijk is dat sondering S1 tot NAP-25 m overwegend losgepakte zandlagen heeft gedetecteerd. Echter kijkend naar de uitschieters van het wrijvingsgetal is het heel goed mogelijk dat hier eerder sprake is van sterk siltig (fijn) zand. Let wel de analyse

is uitgevoerd op Klasse 3 sonderingen die in qua nauwkeurigheid (foutmarge) niet geschikt zijn voor gedetailleerde interpretatie.

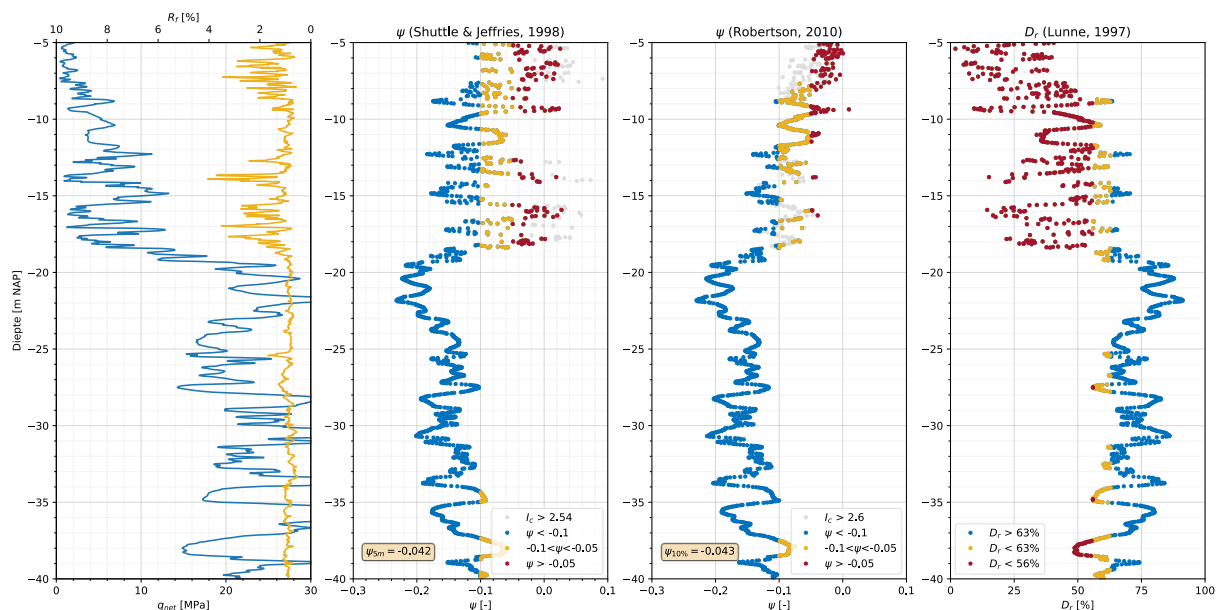
De sonderingen S1, S2 en S3, die het dichtste bij de inscharing liggen, zijn in meer detail weergegeven in respectievelijk Figuur 4.6 t/m Figuur 4.8. Hierin is ook een alternatieve correlatie voor de state parameter weergegeven (Robertson, 2010) en een correlatie voor de relatieve dichtheid (Lunne et al., 1997). Hoewel de relatieve dichtheid te relateren is aan de kritieke dichtheid uit de triaxiaalproeven uit 1999 (Grontmij, 1999a, 1999b), wordt deze methode in de huidige praktijk weinig meer gebruikt en geeft de state-parameter een betere inschatting voor de verwekingsgevoeligheid.



Figuur 4.6: Sondering S1.



Figuur 4.7: Sondering S2



Figuur 4.8: Sondering S3.

Uit de figuren blijkt dat:

- Op de locatie van sondering S1 overwegend tot een diepte van NAP-25 m losgepakte siltige zandlagen zijn gedetecteerd, die volgens de Lunne-correlatie in potentie gevoelig zijn voor verweken ($D_r < 56\%$). Echter volgens een analyse conform de stateparameter is er alleen echt sprake van een gevoelige zandlaag voor verweken op een diepte van NAP-17 m. De dikte van de zandlaag betreft circa 1m. Op NAP-22 m is ook een grondlaag aangemerkt als gevoelig voor verweken echter hier is sprake van een sterke cohesieve grondlaag waarvoor de state parameter correlatie minder betrouwbaar is.
- Zandlagen ter plaatse van sondering S2 iets minder siltig zijn en tot een diepte van NAP-15 m gevoelig voor verweken conform de Lunne-correlatie. Echter ook hier geldt dat de nauwkeurigere state parameter aangeeft dat een zandlaagje met een dikte van 0,5 m op en diepte van NAP-11 m en NAP-17 m mogelijk gevoelig is voor verweking.
- Sondering S3 geeft aan dat tot NAP-20 m sterk siltig (mogelijk cohesief houdende) zandlagen zijn gedetecteerd die in potentie zowel conform de stateparameter als de Lunne correlatie gevoelig is voor verweken. Echter zoals aangegeven geldt dat voor sterk cohesieve grondlagen de correlaties niet van toepassing zijn. En dat cohesieve grondlagen niet kunnen verweken.

Houd er rekening mee dat de uitgevoerde verwekinganalyse is gebaseerd op klasse 3 sonderingen en daarom alleen indicatief zijn. Klasse 3 is alleen geschikt voor het classificeren of schematiseren van de verschillende grondlagen, maar door de grote bandbreedte (foutmarge) is het minder geschikt om geotechnische parameters zoals de state-parameter en relatieve dichtheid af te leiden. Er wordt sterk aangeraden om de uitgevoerde analyse te controleren met klasse 2-sonderingen.

4.4.2 Onbeheerst bressen (bresvloeiing)

Op basis van het model van Rhee (Rhee, 2015) kan de kans op onbeheerst bressen beoordeeld worden. De kans op een onbeheerst bresproces (met als gevolg een bresvloeiing) is onder andere afhankelijk van de grofte en gepaktheid van het zand, het brestalud en de insteekdiepte van de zuigbuis. Door laboratoriumproeven is door Van Rhee (2015) een evenwichtsformule afgeleid waar het kantelpunt tussen een stabiele of een onstabiele bres kan worden bepaald. Hierin is de steilte van een gerealiseerd (bres) talud bepalend voor insteekdiepte van de zuigbuis.

Een eerste check op de kans van onbeheerst bressen kan aan de hand van het model van Van Rhee worden uitgevoerd. Dit wordt gedaan de kritische (bres)taludhelling te berekenen gegeven een insteekdiepte (H_{wall}) en korrelgrote, de kritische helling van het brestalud berekend voor verschillende insteekdiepten.

De maximale insteekdiepte van de zuigbuis (H_{wall}) kan bij een gegeven talud helling kan benaderd worden op basis van een experimenteel afgeleide benadering (Rhee, 2015):

$$i_{crit} = 0,0049[30\rho_s(1 - n_0)H_{wall}k_0]^{-0,39}D_{50}^{0,92}$$

met de dichtheid zandkorrel ρ_s , porositeit n_0 , doorlatendheid k_0 , mediaan korreldiameter D_{50} en de hoogte H_{wall} van de verstoring (wall in Figuur 5.4). In Tabel 4.5 is het kritieke talud voor verschillende verstoringshoogtes weergegeven.

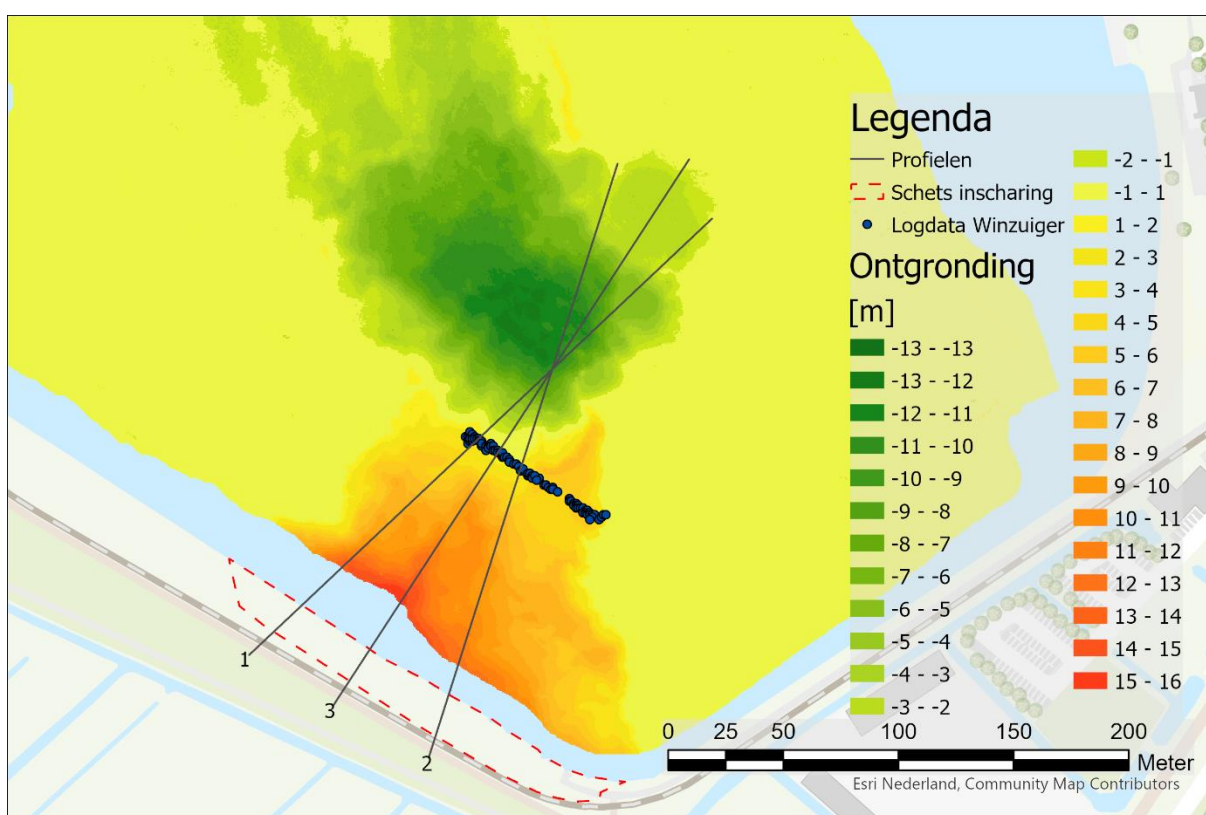
Uit de tabel blijkt dat als de insteekdiepte meer dan 3 m bedraagt het *brestalud* flauwer moet zijn dan 1v:4h wil de kans op een onbeheerst bresproces klein zijn. Met het *brestalud* wordt het daadwerkelijke onderwatertalud tijdens de zandwinning bedoeld.

Tabel 4.5: Kritiek talud i_{crit} afhankelijk van aangebrachte verstoring H_{wall} , uitgaande van $T=15^\circ\text{C}$, $\rho_s=26,5 \text{ kN/m}^3$, $n_0=0,40$ in evenwichtsformule volgens (Rhee, 2015). De **rode** rijen geven aan wanneer het in-situ talud (1v:4h) wordt overschreden.

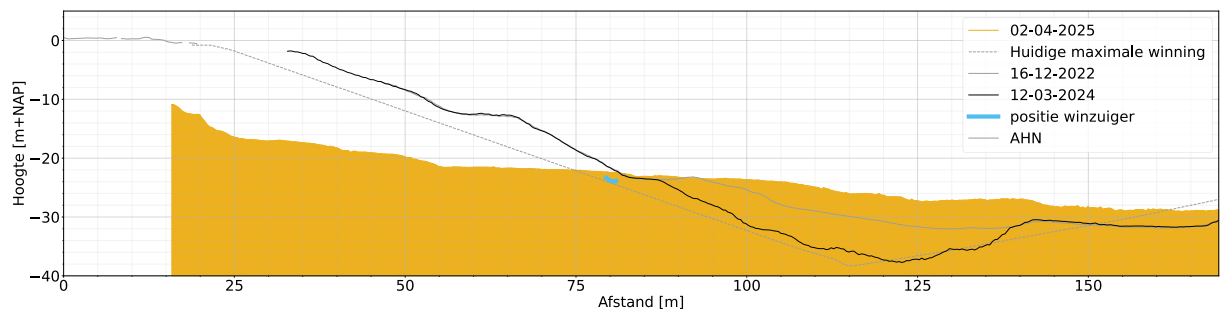
H_{wall}	D_{50}	D_{15}	k_0	i_{crit}
1	189	86	6	2,6
2	189	86	6	3,5
3	189	86	6	4,0
4	189	86	6	4,5
5	189	86	6	4,9
1	152	68	4	2,7
2	152	68	4	3,5
3	152	68	4	4,1
4	152	68	4	4,6
5	152	68	4	5,0

4.5 Geometrie inscharing

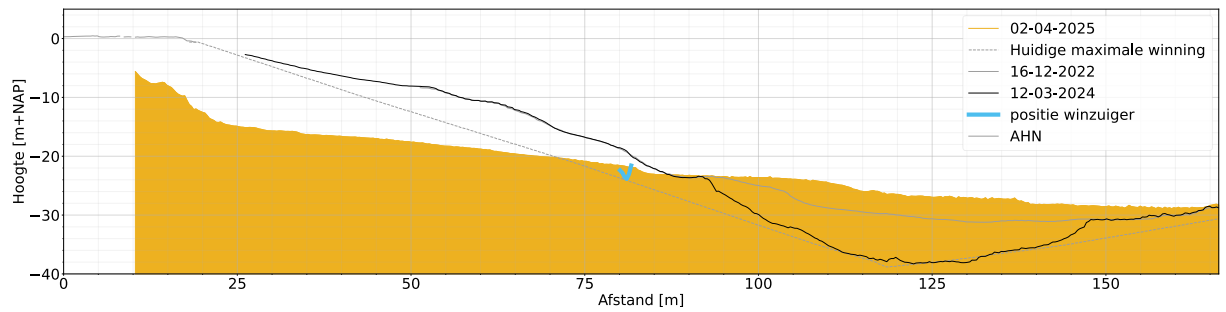
In Figuur 4.9 is het verschil tussen de peiling van 12-03-2024 en de peiling van 02-04-2025 weergegeven. Ook is voor 5 dwarsprofielen de hoogte van de waterbodem weergegeven in Figuur 4.10 t/m Figuur 4.12. De inscharing heeft ongeveer 200 m oever beïnvloed. De bodem is tot maximaal 120 meter uit de (nieuwe) oeverlijn geërodeerd (ontgronding). De grond uit de ontgronding is naar het midden van het meer gevloeid (sedimentatie). De ondergrond is tot ongeveer 350 meter uit de (nieuwe) oeverlijn gesedimenteerd. De sedimentatie heeft voornamelijk plaatsgevonden ten noordoosten van de locatie waar de winzuiger actief was. Dit is te verklaren doordat hier het diepste deel van het meer is (zie Figuur 4.1) en zanddeeltjes door de zwaartekracht in deze richting gaan. De helling van de waterbodem na de inscharing is weergegeven in Figuur 4.13.



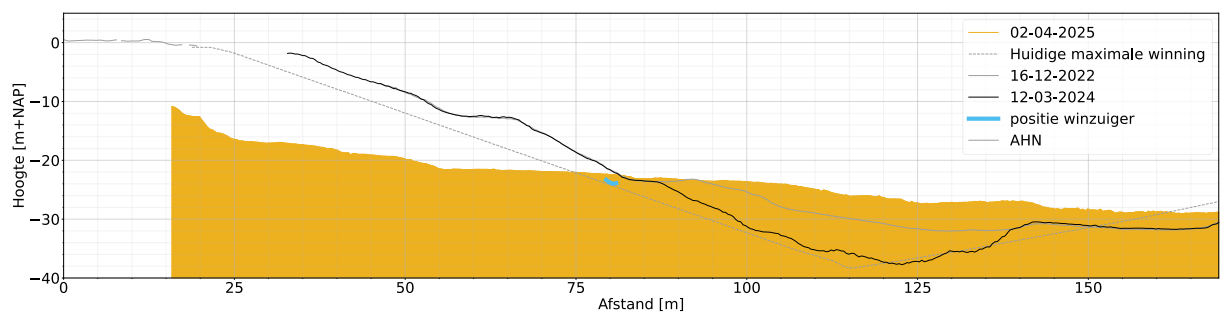
Figuur 4.9: Verschil in hoogte van de waterbodem tussen peiling 12-03-2024 en peiling 02-04-2025. Een positieve waarde betekent dat het maaiveld na de inscharing *lager* is dan voorheen.



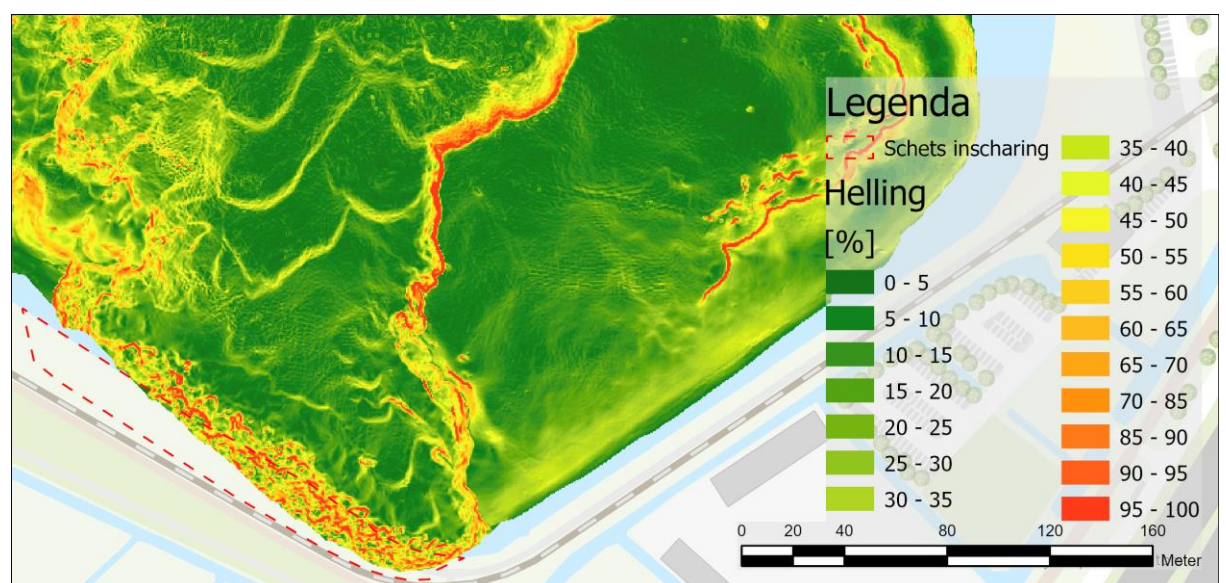
Figuur 4.10: Hoogtemetigen bij profiel 1 uit Figuur 4.9.



Figuur 4.11: Hoogtemetigen bij profiel 2 uit Figuur 4.9.



Figuur 4.12: Hoogtemetigen bij profiel 3 uit Figuur 4.9.



Figuur 4.13: Helling waterbodembodem [%] op basis van peiling 02-04-2025.

5. Beschrijving inscharing

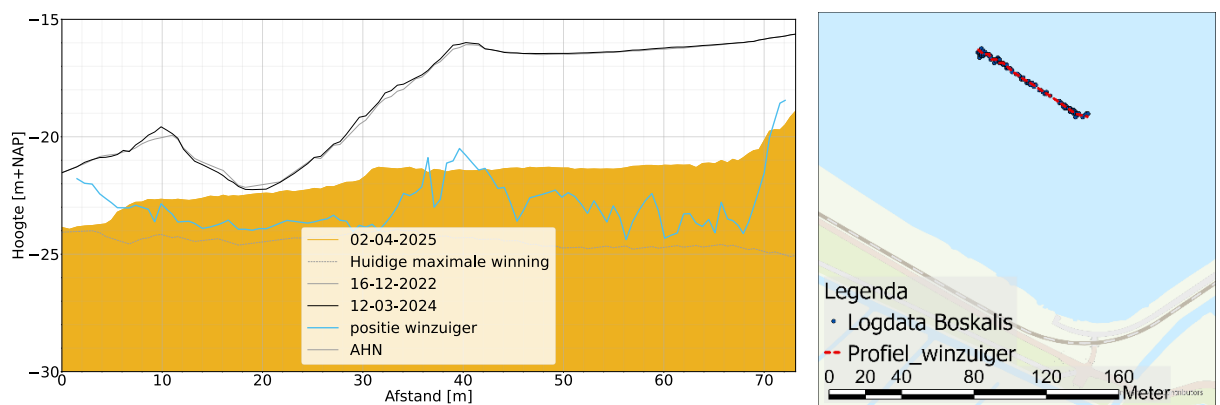
In dit hoofdstuk is beschreven welke werkzaamheden zijn uitgevoerd en hoe de inscharing verloopt. Op basis van deze gegevens en de data van het grondonderzoek wordt de vraag beantwoord: "Wat zijn de oorzaken van de inscharing?".

5.1 Beschrijving werkzaamheden

Het werk is om 7:15 opgestart. Er is eerst gekeken naar de juiste snelheid in de leiding om het proces in de trechters onder controle te hebben. De snelheid in de leiding bleek 5 m/s te zijn in een 300 mm leiding. Dus een volumestroom van ongeveer 1272 m³/uur.

Na deze test met juiste snelheid, is langzaam opgestart met produceren. Hierbij is de zandzuiger van west naar oost gegaan waarbij de zandzuiger geleidelijk dieper instak. Om 10:15 is de winning gestopt, vanwege de zichtbare bresval. Op dit moment was er 465 m³ aan solide zand gebaggerd. Effectief is er tussen 2-3 uur geproduceerd in verschillende laagdiktes. De precieze zandproductie [m³/uur] is lastig aan te geven in de korte productietijd, maar dit is gemiddeld ca. 185 m³/uur. De volumeconcentratie van het mengsel is bij een snelheid van 5 m/s en een volumestroom van 185 m³/uur zand, 15%.

De positie van de winzuiger op basis van de logdata is weergegeven in Figuur 5.1. In dit figuur is de *huidige maximale winning* de grens van de huidige vergunning. Uit de data blijkt dat dat het vergunningstalud niet is overschreden.

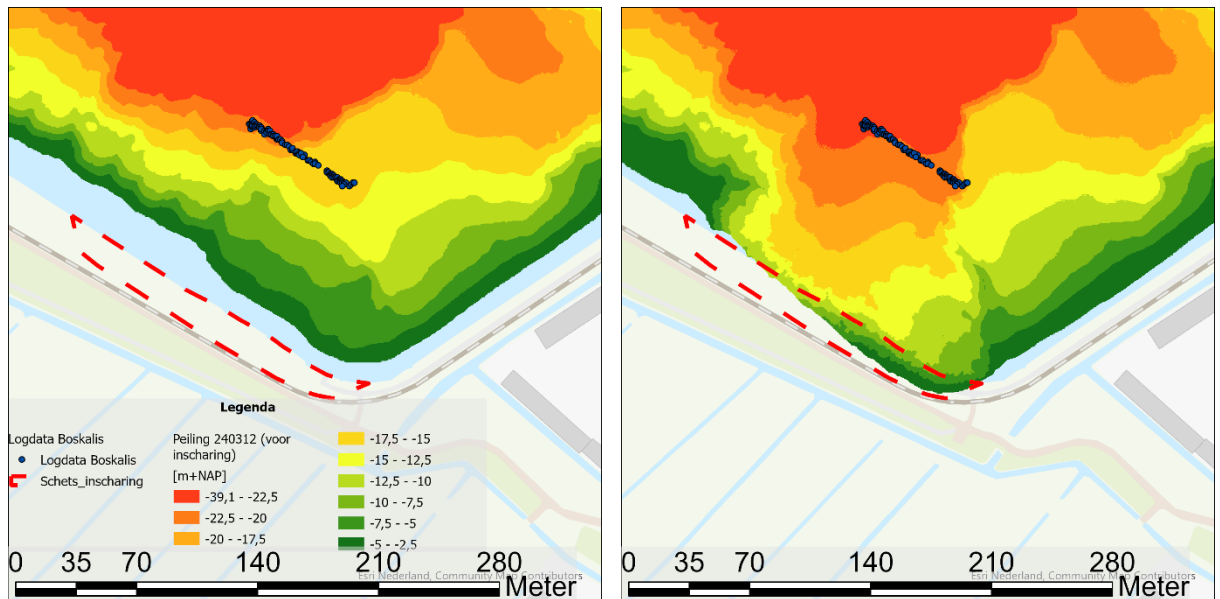


Figuur 5.1: Hoogteprofielen ter plaatse van traject van de winzuiger (links) en ruimtelijke positie van de data (rechts).

5.2 Beschrijving van inscharing

De werkzaamheden zijn uitgevoerd nabij de zuidoostenlijke hoek van het Valkenburgse Meer. Toen de werkzaamheden om 10:15 zijn stilgelegd, was een afkalving van de oever te zien. Het afkalven van de oever is nog tot in de avond doorgegaan. In Figuur 5.2 is de hoogte van de waterbodem voor- en na de inscharing weergegeven. Hierin is duidelijk te zien hoe de

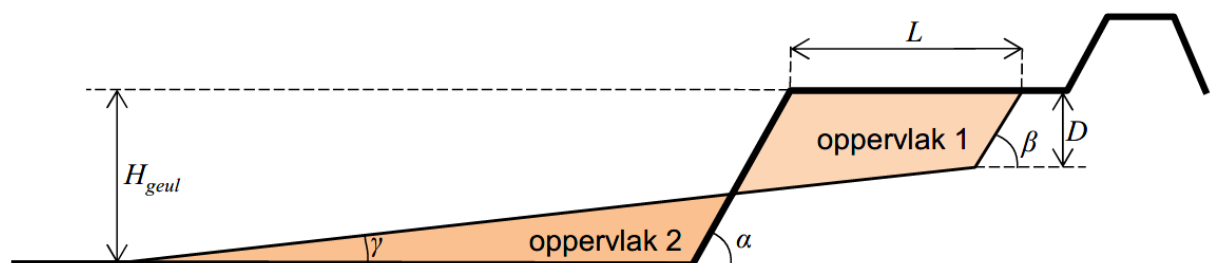
bres zich richting de zuidwestelijke oever heeft voortgeplant. De schets van de inscharing is geschat op basis van luchtfoto's.



Figuur 5.2: Hoogte waterbodem voor (links) en na (rechts) de inscharing.

5.3 Analyse mechanisme

Uit de vorm van de ontgronding en uit de dwarsprofielen is duidelijk te achterhalen dat er sprake is van een verwekingsvloeïing of een bresvloeïing. De vorm van de ontgronding in Figuur 4.9 laat de typische vorm van een schelp zien die doorgaans geobserveerd wordt bij bresvloeïingen of verwekingsvloeïingen. In de hoogteprofielen in Figuur 4.10 t/m Figuur 4.12 is ook duidelijk de vorm van een verwekingsvloeïing of een bresvloeïing te zien. Deze vorm is op basis van een grootschalig onderzoek in Zeeland vastgelegd in de Schematiseringshandleiding Zettingsvloeïing (Rijkswaterstaat, 2019), geïllustreerd in Figuur 5.3.



Figuur 5.3: Typische vorm van een verwekingsvloeïing en een bresvloeïing conform de Schematiseringshandleiding Zettingsvloeïing (Rijkswaterstaat, 2019).

Op basis van de geometrie kan dus geen onderscheid gemaakt worden tussen een bresvloeïing en een verwekingsvloeïing. Deze zien er in een statische eindsituatie namelijk

ongeveer gelijk uit. Om onderscheid te maken tussen een verwekingsvloeiing en een bresvloeiing is daarom gekeken naar de tijdsduur van de afkalving en de ondergrondgegevens.

5.3.1 Tijdsduur

Een belangrijke manier om onderscheid te maken tussen een verwekingsvloeiing en een bresvloeiing is de voortplantingssnelheid. Een bresvloeiing heeft een voortplantingssnelheid van 0,1 tot 1 m/minuut, terwijl een verwekingsvloeiing een voortplantingssnelheid in de orde van m/s tot tientallen m/minuut heeft. Zoals in paragraaf 5.1 is toegelicht begon de oever ongeveer 3 uur na het opstarten van de zandwinning af te kalven. Het is niet duidelijk wanneer de zettingsvloeiing precies op gang is gekomen en er is bij de winning geen plotselinge explosieve toename in zandconcentratie gemeten. De afstand van de oever tot de winzuiger is ongeveer 100 meter. De voortplantingssnelheid van de zettingsvloeiing (inscharing) wijst er daarom sterk op dat er sprake was van een bresvloeiing.

5.3.2 Ondergrondgegevens

In deze paragraaf zijn de ondergrondgegevens die relevant zijn voor een verwekingsvloeiing en voor een bresvloeiing, geanalyseerd.

Verwekingsvloeiing

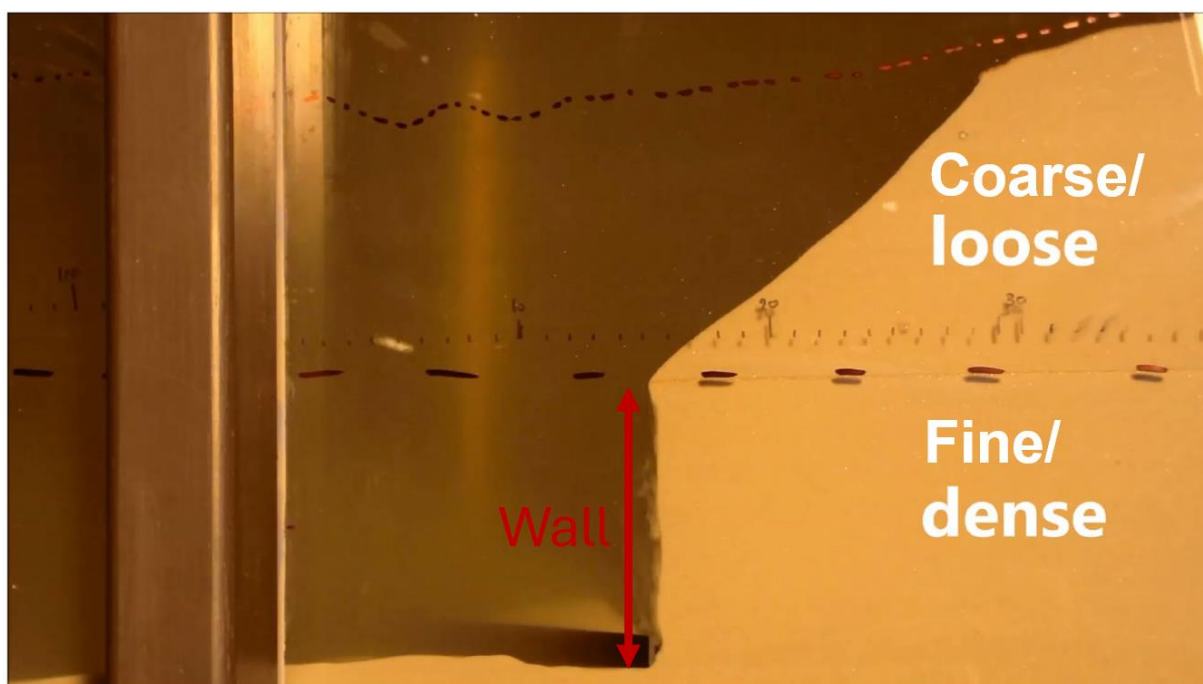
Een grondlaag is verwekingsgevoelig indien er sprake is van contractant (losgepakt) zand. Vastgepakt zand of cohesieve grond (klei) is niet gevoelig voor verweking.

De ontzanding heeft plaatsgevonden op een diepte van NAP-15 m tot NAP-25 m. Dit kan potentieel leiden tot een verwekingsvloeiing doordat de (tijdelijke) verstelling van het talud zorgt voor een grotere belasting op de diepere ondergrond. De meest voor de hand liggende plaats waar een verwekingsvloeiing kan optreden is daarom in de grondlaag onder de initiële waterbodem, op dieptes dieper dan NAP-15 m.

Het algemene beeld in Figuur 4.5 laat zien dat de ondergrond niet verwekingsgevoelig is, maar er zijn wel dunne lagen die mogelijk verwekingsgevoelig kunnen zijn. De sonderingen S1, S2 en S3 in respectievelijk Figuur 4.6, Figuur 4.7 en Figuur 4.8 laten zien dat vooral de ondiepe ondergrond (NAP-5 m tot NAP-18 m) verwekingsgevoelig ($\psi > -0,05$ of $D_r < 56\%$) kan zijn. De diepere lagen zijn met uitzondering van enkele uitschieters niet bijzonder verwekingsgevoelig.

Bresvloeiing

De kans op een instabiele bres, of bresvloeiing, is afhankelijk van de gepaktheid van het zand, de korrelgrootte en de winwijze. Een bresvloeiing kan ontstaan wanneer er een te grote verstoring (wall) ontstaat, geïllustreerd in Figuur 5.4. Een grote verstoring kan ontstaan bij fijn zand, dichtgepakt zand of bij een te diepe insteekdiepte van een zandzuiger.



Figuur 5.4: Voorbeeld van zand wat gevoelig is voor bressen (fine/dense) en zand wat ongevoelig is voor bressen (coarse/loose), bewerkt figuur uit (Mastbergen et al., 2019).

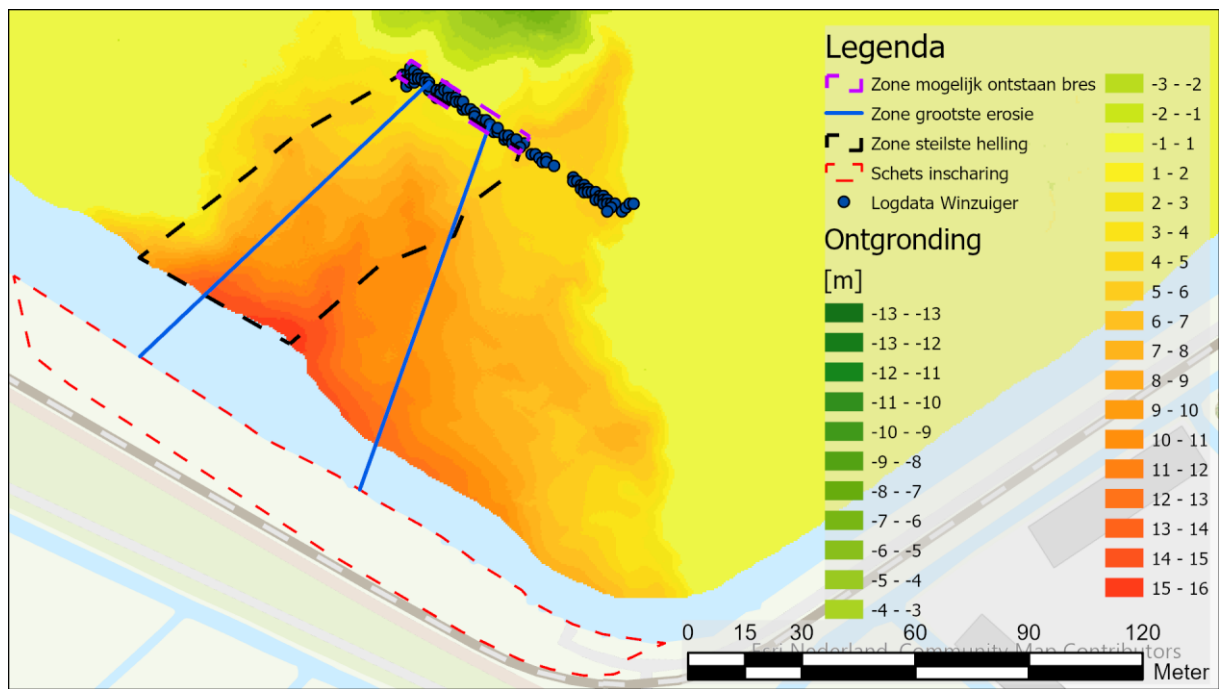
Voor de korrelgrootte geldt dat hoe fijner het materiaal is, hoe gevoeliger het is voor een bresvloeiing. Cohesief materiaal zoals klei is echter niet gevoelig voor bresvloeiingen. Een algemene vuistregel is dat zand met een $D_{50} < 200 \mu\text{m}$ en $D_{15} < 100 \mu\text{m}$ gevoelig kan zijn voor bresvloeiingen. Uit twee korrelverdelingen tussen NAP-9 m en NAP-16 m volgt dat de D_{50} 152 – 189 μm is en de D_{15} 86 – 68 μm is. Ook wanneer er rekening gehouden wordt met de bandbreedtes in de data (zie paragraaf 4.3.2) wijst de beschikbare data erop dat het zand in de ondergrond gevoelig kan zijn voor bresvloeiingen.

Uit de sonderingen nabij de bres in Figuur 4.6 t/m Figuur 4.8 blijkt dat er ook sprake kan zijn van vastgepakt zand, voornamelijk in lagen dieper dan NAP-18 m.

Indien er een bresvloeiing als gevolg van de zandwinning is ontstaan, kan de oorsprong van de bresvloeiing geschat worden op basis van de geometrische data van de waterbodembodem (zie paragraaf 4.2). De kans is groot dat een bresvloeiing is ontstaan op een locatie (1) in het verlengde van de plek waar de grootste ontgroning/erosie is opgetreden en (2) waar sprake was van een relatief steil talud. In Figuur 5.5 is op basis van de geometrie van de ontgroning/sedimentatie geschat waar een zettingsvloeiing geïnitieerd kan zijn.

Op basis van een experimenteel bepaald verband (Rhee, 2015) tussen de korrelgrootte en de hoogte van de verstoring (wall in Figuur 5.4) is in paragraaf 4.4.2 het evenwichtstalud bij een gegeven verstoring gegeven. Hieruit volgt dat er bij een verstoring van circa 3 meter geen bresvloeiing ontstaat bij het gegeven brestalud¹ van 1v:4h.

¹ Brestalud betreft het talud van het zandbanket voorafgaande aan de de winning een is dus niet hetzelfde als het vergunningstalud



Figuur 5.5: Mogelijke zone waar bres geïnitieerd kan zijn op basis van erosie- en sedimentatieprofiel.

5.4 Samenvatting opgetreden inscharing

In dit hoofdstuk wordt de deelvraag "Hoe heeft de inscharing kunnen gebeuren?" beantwoord.

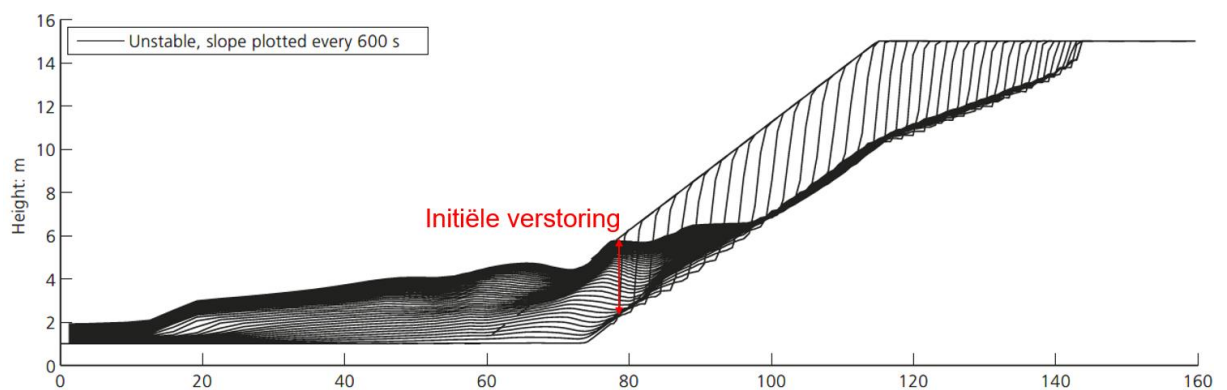
Op basis van de geometrie van de waterbodem na de inscharing is duidelijk te herkennen dat er sprake is geweest van een zettingsvloeiing, dus een bresvloeiing of een verwekingsvloeiing. In de geometrie is ook te herkennen dat de zettingsvloeiing waarschijnlijk op de eerste helft van het wintraject is geïnitieerd. Dit betekent dat het 1 tot 2 uur heeft geduurd tot de zettingsvloeiing de oever heeft bereikt. Deze tijdsduur past niet bij een verwekingsvloeiing, waar de voortplantingssnelheid doorgaans in de orde van enkele m/s of tientallen m/minuut is. De klasse 3 sonderingen wijzen er ook niet op dat de ondergrond zeer gevoelig is voor verwekingsvloeiingen, hoewel een betere kwaliteit sondering (klasse 2) nodig is om dit definitief vast te stellen. De voortplantingssnelheid past wel bij een bresvloeiing, en, de korreldiameters van het zand wijzen er ook op dat het zand gevoelig kan zijn voor een bresvloeiing.

Met een evenwichtsformule die op laboratoriumschaal is afgeleid (Rhee, 2015) is bepaald dat bij de aangebrachte verstoringen van 1 tot 5 meter een evenwichtstalud van respectievelijk 1v:2,5h tot 1v:5h hoort. In de praktijk zal een bresvloeiing doorgaans weer snel 'uitsterven' wanneer een zone met een vlak talud, een losse pakking of grof materiaal wordt bereikt of de helling in de sedimentatiezone voldoende vlak is.

Op basis van de hellingenkaart (Figuur 4.2) is te zien dat er voorafgaand aan het winproces een zone was met relatief steile hellingen die konden oplopen tot 1v:1,4h. Tijdens het winnen van de betreffende zandlagen bedroeg de aangebracht verstoring (insteek zuigbuis) op basis van de log-data ruim 5 m. Indien er in deze zone naast een steile taludhelling ook sprake was

van relatief vastgepakt zand en relatief fijne deeltjes, kan een situatie zijn ontstaan waar de verstoring in de bresvloeiing dusdanig groot is geworden, dat de bresvloeiing tot de oever is doorgedrongen. Dit concept is geschetst in Figuur 5.6.

Tijdens de zandwinning is er nauwkeurig gewerkt en is de vergunningslijn niet overschreden. Bij een flauw talud van 1v:4h zoals in de vergunning wordt voorgeschreven is de kans op een bresvloeiing relatief beheerst zolang de initiële verstoring beperkt blijft. Echter, omdat er in de onderwatergeometrie van de zandlagen die *boven* de vergunningslijn zaten, sprake was van een steiler talud, en, deze lagen hoogstwaarschijnlijk relatief vastgepakt waren en bestonden uit relatief fijn zand, kon de aangebrachte verstoring leiden tot een ongecontroleerde bres, of bresvloeiing, die pas na een inscharing van de oever is gedempt.



Figuur 5.6: Voortplanting van een bresvloeiing als gevolg van een initiële verstoring (Rhee, 2015).

6. Risico huidige situatie

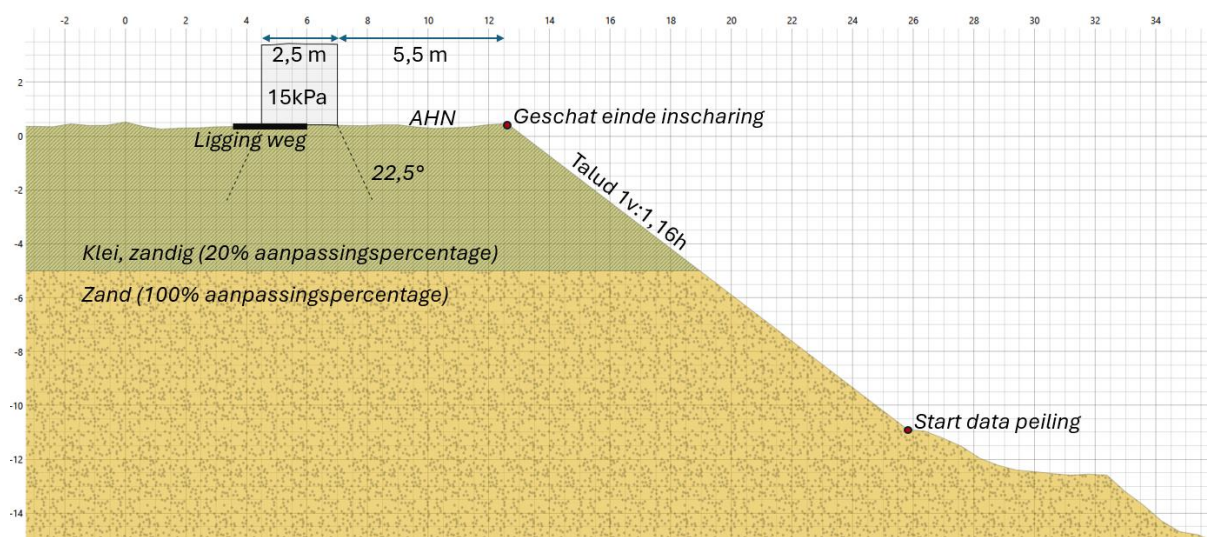
In dit hoofdstuk zijn de risico's in de huidige situatie beoordeeld. Hierbij wordt specifiek de vraag *"Is er actueel risico op verdere schade?"* beantwoord. Na de inscharing op 1 april is het Valkenburgse Meer volledig afgesloten om alle risico's uit te sluiten. In dit hoofdstuk is gekeken hoe verschillende belastingen mogelijk kunnen leiden tot een vermindering van de stabiliteit. Hierbij is specifiek gekeken naar golfbelasting, waterstandsverlagingen, verkeersbelasting en zware trillingen. De invloed van deze belastingen is beoordeeld door naar de 3 relevante faalmechanismen te kijken:

- statische stabiliteit;
- verwekingsvloeiing;
- bresvloeiing.

Vervolgens is ook gekeken naar de veiligheid van de zandwinning. Tot slot is een samenvatting met adviezen voor de veiligheid van de huidige situatie gegeven.

6.1 Statische macrostabiliteit

Om de statische stabiliteit te bepalen is dwarsprofiel 3 uit Figuur 4.9 geschematiseerd in de rekensoftware 'D-Stability', geïllustreerd in Figuur 6.1. Dit dwarsprofiel is naar verwachting maatgevend omdat het in het middelpunt van de inscharing ligt waar de grootste erosie is opgetreden, waardoor ook sprake is van het grootste verlies in het weerstandbiedend moment. Om de invloed van een verkeersbelasting in te schatten zijn drie scenario's berekend: (1) zonder verkeersbelasting, (2) verkeersbelasting op de weg (met 1 m uitwijking) en (3) een iteratief bepaalde afstand waar de verkeersbelasting geen invloed meer heeft op de taludstabiliteit. Daarnaast is ook de impact van waterstandsfluctuaties geanalyseerd door drie scenario's door te rekenen: (1) seizoensfluctuaties volgens het peilbesluit, (2) een lange termijn waterstandsverlaging van 0,8 m en (3) een plotselinge waterstandsverlaging van 0,8 m. Alle berekeningen zijn zowel met karakteristieke waarden als met rekenwaarden berekend.



Figuur 6.1: Schematische weergave stabiliteitsberekening Valkenburgse Meer.

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen zijn weergegeven in Tabel 6.1. Uit de stabiliteitsberekeningen volgen veiligheidsfactoren van 0,67 tot 0,91. Deze veiligheidsfactoren zijn bepaald op basis van de methode uit NEN9997 (NEN, 2017). Een veiligheidsfactor lager dan 1,0 betekent niet dat er gelijk een instabiliteit plaats vindt, maar dat het talud niet voldoet aan de gestelde faalkans (RC1). Ten tijde van schrijven van dit rapport worden er namelijk geen afschuivingen of grondvervormingen meer geobserveerd bij het Valkenburgse Meer. De praktijk laat dus zien dat de sterkte-eigenschappen van de grond gunstiger zijn dan wat er conform de norm in de berekeningen is aangenomen. Daarnaast speelt ook de geometrie een rol. De berekening is namelijk geschematiseerd met het meest ongunstige dwarsprofiel (steilste helling). In een 2D-berekening wordt impliciet aangenomen dat de ruimtelijke geometrie overall gelijk is. Sterkte ten gevolge van gewelfvorming wordt in de berekening niet meegenomen. In realiteit is er sprake van een semicirkel-vorm (3D-effect) waar het omliggende talud vlakker is, waardoor het weerstandsbiedend moment wordt vergroot.

Bij de methode uit NEN9997 betekent dat met een stabiliteitsfactor van 1,0 (met rekenwaarden) het veiligheidsniveau RC1 met een faalkans in de orde van $1,33 \times 10^{-5}$ per jaar is gewaarborgd. Omdat er in de huidige situatie sinds 1 april geen afschuivingen of grondvervormingen geobserveerd zijn, kan gesteld worden dat de huidige situatie stabiel is. Echter, omdat de taludstabiliteit niet voldoet aan een RC1 veiligheidsniveau, moet er met zorg omgegaan worden met het toevoegen van belastingen op de oever.

Hoewel de geschematiseerde stabiliteitsberekening geen nauwkeurige, maar een conservatieve vertegenwoordiging is van de werkelijkheid, is de berekening wel geschikt om de impact van variaties in omstandigheden te onderzoeken. In de volgende paragrafen zijn daarom de implicaties van de resultaten op de toegestane verkeersbelasting en de waterstandsfluctuaties toegelicht.

Tabel 6.1: Stabiliteitsfactoren dwarsprofiel 3 (zie Figuur 4.9) uit D-Stability berekeningen.

	Verkeersbelasting	Grondparameters	Waterstand	Bishop	Uplift-Van
1	Op de weg	Karakteristieke waarden	Winterpeil	0,89	0,91
2	Op de weg	Rekenwaarden	Winterpeil	0,73	0,75
3	Zonder	Karakteristieke waarden	Winterpeil	0,89	0,91
4	Zonder	Rekenwaarden	Winterpeil	0,73	0,75
5	3,5 m afstand van de oever	Karakteristieke waarden	Winterpeil	0,89	0,91
6	3,5 m afstand van de oever	Rekenwaarden	Winterpeil	0,73	0,75
7	Op de weg	Karakteristieke waarden	Zomerpeil	0,89	0,91
8	Op de weg	Rekenwaarden	Zomerpeil	0,73	0,75
9	Op de weg	Karakteristieke waarden	0,8 m verlaging	0,86	0,88
10	Op de weg	Rekenwaarden	0,8 m verlaging	0,70	0,73
11	Op de weg	Karakteristieke waarden	0,8 m verlaging (snelle val)	0,82	0,85
12	Op de weg	Rekenwaarden	0,8 m verlaging (snelle val)	0,67	0,70

6.1.1 Verkeersbelasting

Uit berekeningen met en zonder een belasting *op de weg* volgt dezelfde stabiliteitsfactor. Hieruit volgt dus dat een verkeersbelasting (of vergelijkbare statische belasting) op de weg geen invloed heeft op de stabiliteitsfactor. Het feit dat de verkeersbelasting op deze afstand geen invloed heeft komt door twee factoren:

- De verkeersbelasting staat niet op het *maatgevende glijvlak*. Dit betekent dat de verkeersbelasting niet bijdraagt aan het aandrijvende moment van het glijvlak. Indien een berekening gemaakt wordt van een glijvlak wat *wel* onder de verkeersbelasting door gaat, volgt hieruit een veel hogere stabiliteitsfactor doordat de positieve bijdrage van de schuifweerstand groter is dan de negatieve bijdrage van de verkeersbelasting. De invloed van de sterkteparameters van de grond is onderzocht door berekeningen uit te voeren met zowel karakteristieke waarden als met rekenwaarden. Het resultaat was hiervoor stabiel.
- Door de *belastingspreiding* worden de waterspanningen van het maatgevend glijvlak niet beïnvloed. De schuifsterkte van de ondergrond kan bij een tijdelijke belasting verminderen door wateroverspanningen. Hoewel het effect van wateroverspanningen direct onder de belasting relatief groot is, wordt dit effect dieper in de ondergrond steeds kleiner omdat de belasting zich zal spreiden. Op een bepaalde diepte wordt de invloed van een belasting verwaarloosbaar.

Er is iteratief bepaald dat de verkeersbelasting pas een significante invloed heeft op de stabiliteit wanneer deze zich dichterbij 3,5 meter van de oever bevindt. Daarom wordt ten behoeve van de statische stabiliteit geadviseerd geen verkeersbelasting dichterbij 3,5 meter

toe te laten bij de oever zonder aanvullende veiligheidsmaatregelen en de grondvervormingen nauwkeurig te monitoren.

6.1.2 Waterstandfluctuaties

Om de invloed van seizoensfluctuaties in de waterstand te bepalen is de stabiliteit voor zowel het zomer als het winterpeil in het meer doorgerekend. Hieruit volgt dat er geen significant verschil is in de stabiliteit.

Om de invloed van extremere effecten op de waterstand te bepalen zijn twee aanvullende scenario's doorgerekend. Opgemerkt wordt dat het boezempeil (zomer/winter = -0,61/-0,64 m+NAP) doorgaans altijd gehandhaafd wordt in een boezem en dat dit dus calamiteiten scenario's betreft. Ten eerste is een scenario met een algemene verlaging van de grondwaterstand (GWS) tot NAP-1,32 m (laagste gemeten GWS, zie §3.4) met een verlaging van het meerpeil tot NAP-1,46 m doorgerekend. Dit scenario zou een extreme droogte kunnen simuleren waarbij het niet mogelijk is om het boezempeil te handhaven. De stabiliteitsfactor wordt hierbij 0,03 lager dan bij normale seizoensfluctuaties. Hoewel deze beperkte vermindering in stabiliteit doorgaans niet zou leiden tot een afschuiving, is bij het Valkenburgse Meer mogelijk sprake van een marginaal evenwicht. Bij verlagingen van het meerpeil is het daarom aan te raden om de grond rondom de inscharing te monitoren op vervormingen.

Ten tweede is een scenario waar de waterstand in het meer in enkele uren zakt tot NAP-1,42 m terwijl de grondwaterstand gelijk blijft. Dit zou een plotselinge verlaging van het meerpeil kunnen simuleren. De stabiliteitsfactor wordt hierbij 0,06 lager dan bij normale seizoensfluctuaties. Bij een plotselinge verlaging van het meerpeil in de orde van 0,5 tot 1,0 meter is het daarom aan te raden om alleen de oever van de inscharing af te sluiten en grondvervormingen rondom de inscharing te monitoren.

6.2 Verwekingsvloeiing

Het risico op een verwekingsvloeiing in de huidige situatie is afhankelijk van de sterkte van de ondergrond en een mogelijke trigger.

Op basis van de beschikbare sonderingen is de verwekingsgevoeligheid van de ondergrond geanalyseerd in paragraaf 4.4.1. Omdat het grondonderzoek is uitgevoerd met klasse 3 (of lager) sonderingen zijn deze alleen bruikbaar voor een globale inschatting van het mechanisme. Uit de resultaten volgt dat er siltige lagen in de ondergrond kunnen zijn die gevoelig zijn voor verweking, maar nauwelijks sprake is van zeer losgepakt zand. Tot een diepte van NAP-20 m kan het risico op verweking daardoor niet uitgesloten worden, hoewel het risico niet extreem hoog lijkt te zijn. Op dieptes lager dan NAP-20 m bestaat de grond vrijwel uitsluitend uit (dilatant) vastgepakt zand met enkele (cohesieve) verstoringslaagjes, waardoor de ondergrond op deze diepte dus niet verwekingsgevoelig is.

Een trigger voor een verwekingsvloeiing kunnen trillingen, een waterstandsverlaging, waterbodemerrosie of een afschuiving zijn. De meest risicovolle trigger voor een

verwekingsvloeiing zijn zware trillingen. In Nederland zijn enkele gevallen bekend van trillingen die leiden tot verweking. Voorbeelden uit Nederland hiervan zijn de *treinramp bij Weesp* in 1918 of de *aardbeving bij Roermond* in 1992. Internationaal bestaan er diverse voorbeelden van verweking in losgepakt zand die doorgaans door aardbevingen getriggerd zijn. Er bestaan ook voorbeelden van verwekingen in nieuw aangebrachte gronddepots of afvaldepots bij mijnbouwactiviteiten die getriggerd worden door veel minder hevige trillingen, omdat de nieuw aangebrachte grond veel losser gepakt is dan natuurlijke grond. Echter worden bij een zandwinning geen nieuwe (losgepakte) depots aangelegd, maar wordt juist zand uit de ondergrond onttrokken, waardoor dit risico minder actueel is. In paragraaf 3.6 is toegelicht dat het risico op aardbevingen in deze zone verwaarloosbaar is. Verdere activiteiten die mogelijk zware trillingen veroorzaken zijn de 'Stoomtrein Katwijk Leiden' en de 'Autodemontage de Graaf BV'. Hoewel de trillingen van de Stoomtrein mogelijk niet dusdanig zwaar zijn dat deze kunnen leiden tot een verweking, wordt ook omwille de statische stabiliteit geadviseerd deze niet te laten rijden. De stoomtrein rijdt namelijk direct naast de bres. Het auto-demontagebedrijf ligt naar verwachting voldoende ver van de bres dat de trillingen in de ondergrond beperkt zijn. Indien de bedrijfsvoering hier nog niet is opgestart sinds de bres, kan het risico op zware trillingen beheerst worden door de activiteiten gefaseerd op te starten en de trillingen te monitoren met trilconussen in de ondergrond. Verder wordt geadviseerd om zonder aanvullende analyse en veiligheidsmaatregelen geen activiteiten op te starten die zware trillingen veroorzaken, zoals bouwactiviteiten met zwaar werkverkeer of het intrillen van damwanden. Voorafgaand aan een activiteit met zware trillingen wordt aanbevolen om een analyse uit te voeren om de risicocontouren van de trilsnelheid vast te stellen. Hiermee kan de vereiste afstand van de activiteit worden vastgesteld waarmee de trillingen in de ondergrond voldoende klein blijven nabij de bres. Vervolgens kan dit tijdens de uitvoering geverifieerd worden door trilconussen in de ondergrond te plaatsen nabij de bres, waarmee gemeten wordt of er een significante toename is in de trillingen in de ondergrond ten opzichte van de achtergrondtrillingen.

6.3 Bresvloeiing

Het risico op een verwekingsvloeiing in de huidige situatie is, net als een verwekingsvloeiing, afhankelijk van de sterkte van de ondergrond en een mogelijke trigger.

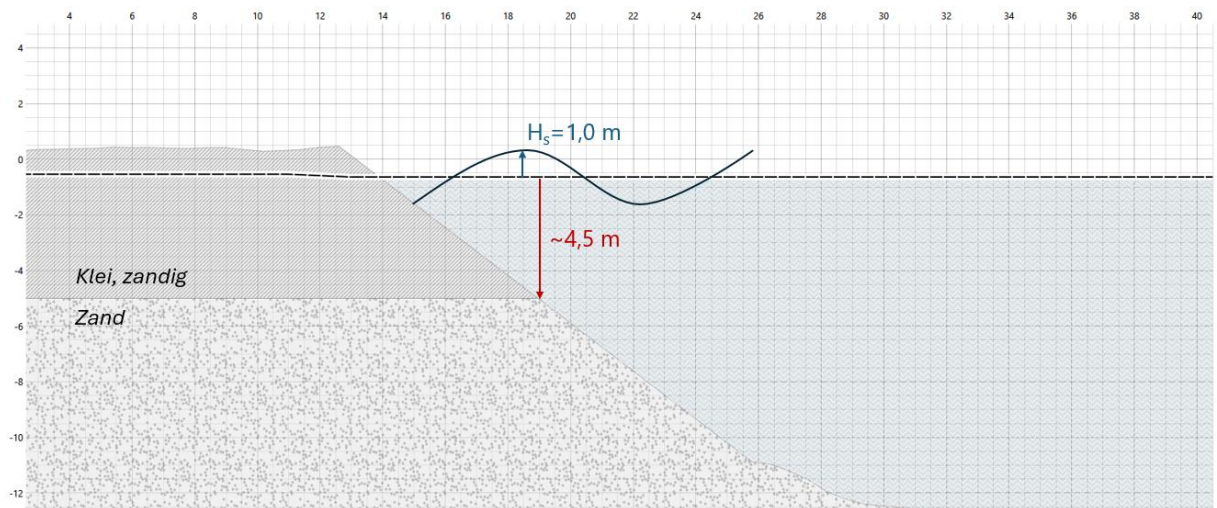
In paragraaf 4.4.2 en 5.3.2 is reeds beschreven dat de ondergrond gevoelig is voor bresvloeiingen. Daarom moet het risico op een bresvloeiing beheerst worden door mogelijke triggers te vermijden. Wanneer een bresvloeiing actief is zorgt de dichtheidsstroom van zand en silt langs de 'wal' ervoor dat deze bij de teen blijft eroderen waardoor de bresvloeiing in beweging blijft, geïllustreerd in Figuur 6.2. Wanneer de bresvloeiing volledig tot stilstand is gekomen, is de situatie stabiel tot dat de dichtheidsstroom opnieuw op gang gebracht worden door een trigger. De inscharing die op 1 april is opgetreden is inmiddels tot stilstand gekomen. Dit betekent dus dat er bij de situatie van het Valkenburgse Meer ook een nieuwe trigger moet zijn voordat er een bresvloeiing op gang kan komen. De meest risicovolle triggers die kunnen leiden tot een bresvloeiing zijn een afschuiving door een verweking of

statische stabiliteit, en, bodemerosie nabij de oever. Daarnaast kan een bres die door de zandwinning wordt geïnitieerd mogelijk ook leiden tot een bresvloeiing. Een trigger door een afschuiving door een verweking of statische stabiliteit is toegelicht in respectievelijk paragraaf 6.1 en 6.2. Het risico op een bresvloeiing als gevolg van één van deze triggers kan dus beheerst worden door de aanbevelingen uit de betreffende paragrafen op te volgen. Een trigger door bodemerosie zal in de volgende paragraaf nader toegelicht worden. Een trigger door de zandwinning is toegelicht in paragraaf 6.4.



Figuur 6.2: Zandtransport tijdens een actieve bres.

Bodemerosie nabij de oever zou er in theorie voor kunnen zorgen dat er opnieuw een steile wal ontstaat waardoor een bresvloeiing op gang komt. Bodemerosie kan ontstaan door hoge stroomsnelheden of grote golven. Er wordt uitgegaan dat er in het Valkenburgse Meer geen sprake is van significante stroomsnelheden, omdat het zich in een zijtak van een vaarweg in een boezemsysteem bevindt (zie Figuur 3.1). Daarnaast is de golfhoogte berekend bij extreme stormcondities, geïllustreerd in Figuur 6.3. Doordat de maximale strijklengte beperkt is tot de doorsnede van het meer (ca. 1 km), zal de golfhoogte ook bij extreme condities niet hoger oplopen dan 1 m. In dit geval zullen de golven voornamelijk invloed hebben op de cohesieve lagen, die doorgaans goede erosiebestendige eigenschappen hebben, en niet op de erosiegevoelige zandlagen, die circa 4,5 meter onder de waterlijn liggen. Daardoor is het risico op bodemerosie door windgolven beperkt. Activiteiten op het water die leiden tot zeer grote golven met golfhoogtes die ruim groter zijn dan 1,0 meter mogen moeten echter vermeden worden, of, moeten dusdanig ver van de inscharing uitgevoerd worden dat de golven bij de inscharing kleiner zijn dan 1,0 meter.

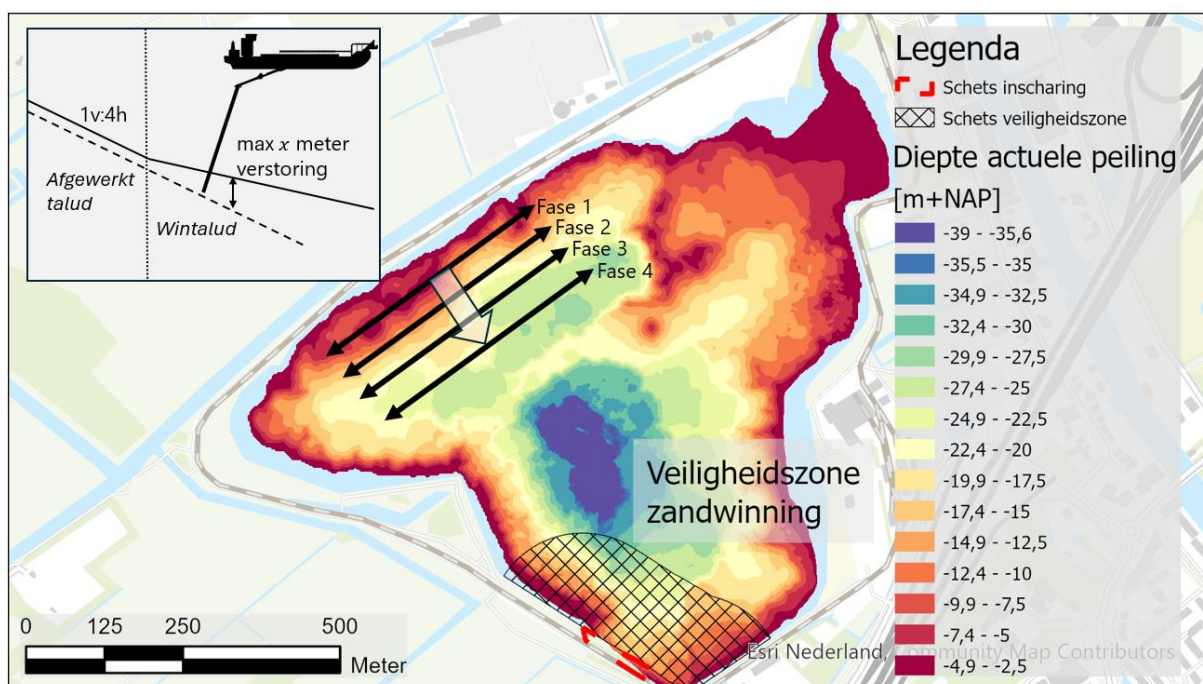


Figuur 6.3: Significante golfhoogte H_s conform formule van Brettschneider met waterdiepte = 40 m, strijklengte = 1 km en windsnelheid is 117 km/uur (windkracht 12 op de schaal van Beaufort).

6.4 Veiligheid zandwinning

Een zandwinning kan leiden tot een bresvloeiing. Het risico op een bresvloeiing kan goed worden beheerst door op basis van een geotechnische analyse een werkplan op te stellen waarmee een acceptabel (met het bevoegd gezag overeengekomen) veiligheidsniveau gedurende de exploitatiefase wordt geborgd. Dit is ook in lijn met de aanbevelingen uit de CUR 113 (CUR, 2008), waar een werkplan voor de uitvoering wordt aangeraden. Omdat veel actueel onderzoek over bresvloeiingen niet beschikbaar was bij de initiële vergunningsverlening in 1999, kan het risico op bresvloeiingen met een actueel werkplan veel beter beheerst worden dan initieel het geval was. In Figuur 6.4 is een illustratieve weergave van een werkplan weergegeven. In de geotechnische analyse en het voortkomende werkplan dienen de volgende zaken opgenomen te worden:

- Er wordt een veiligheidszone rondom de inscharing gedefinieerd waar geen zand gewonnen wordt tot dat de inscharing is hersteld. Op basis van de data die volgt uit korrelverdelingen kan deze zone bepaald worden met behulp van de rekensoftware HMBreach (Mastbergen, 2009).
- Buiten de veiligheidszone wordt de zandwinning onder de volgende voorwaarden voortgezet:
 - De oever wordt laagsgewijs ontzand. De maximale laagdikte wordt afgeleid op basis van een evenwichtsformule (Rhee, 2015) en de statistische data van de korrelverdelingen. De werkrichting van een laag is parallel aan de oever, waarbij eerst de lagen nabij de oever worden gewonnen en steeds verder naar het midden van de plas wordt gewerkt, om de vlakke van het talud (1v:4h) te garanderen.
 - De werkwijze wordt periodiek gecontroleerd door een geotechnisch adviseur aan de hand controle peilingen. Hierbij wordt de uitvoering gecontroleerd en wordt advies gegeven over eventuele risicobeheersing.



Figuur 6.4: Illustratieve weergave hoe toekomstige zandwinning vorm kan krijgen.

6.5 Samenvatting veiligheid huidige situatie

In de volgende paragrafen is de veiligheid van de huidige situatie van het Valkenburgse Meer samengevat voor algemene activiteiten die in- en rondom het meer kunnen plaatsvinden en de zandwinning.

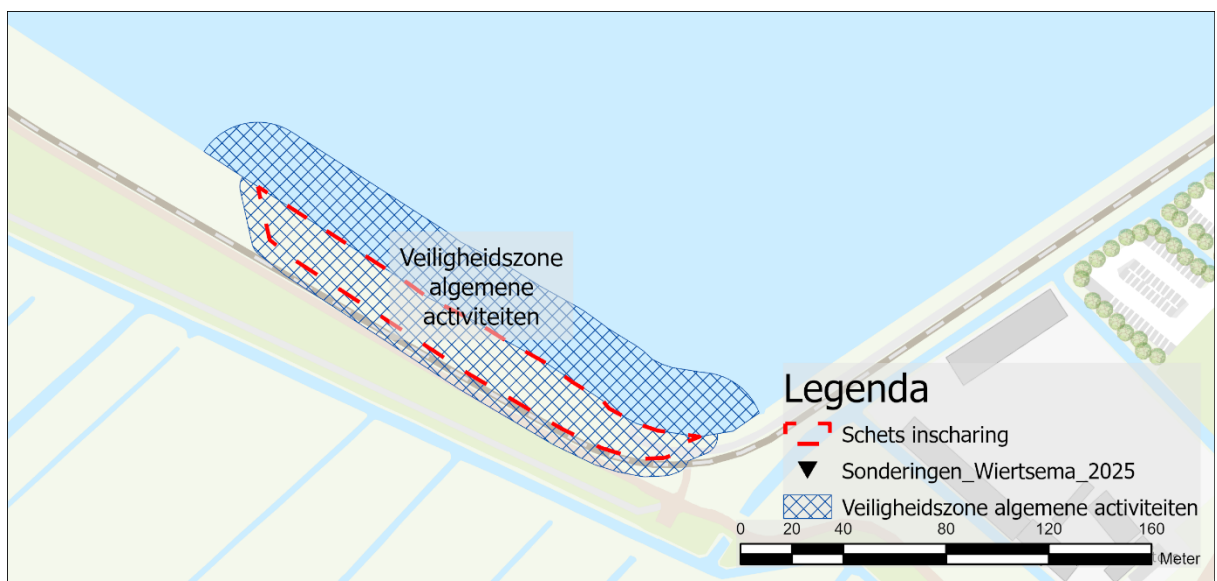
Algemene activiteiten

Nadat de bresvloeiing op 1 april tot stilstand is gekomen is een nieuw evenwicht bereikt. Daardoor is er geen actueel risico op verdere 'spontane' afkalving van de oever. Pas wanneer het nieuwe evenwicht wordt verstoord neemt het risico op een afkalving weer toe. Daarom zijn in dit hoofdstuk de gevolgen voor het systeem door verstoringen zoals (verkeers)belasting, zware trillingen of het uitvoeren van de zandwinning onderzocht. Uit de resultaten volgt dat het niet noodzakelijk is om het gehele Valkenburgse Meer af te sluiten, zoals direct na de inscharing op 1 april het geval was. Omdat er echter in de huidige situatie mogelijk maar sprake is van een marginaal evenwicht, dient er met zorg omgegaan te worden met het uitvoeren van activiteiten in de directe omgeving van de inscharing. Dit is in de volgende punten nader gekwantificeerd:

- Er moet met grote zorg omgegaan worden met activiteiten die zware trillingen veroorzaken, zoals bouwwerkzaamheden of zwaar verkeer. Indien dit soort activiteiten rondom het meer worden uitgevoerd wordt aanbevolen om met een analyse vast te stellen hoe groot de afstand tot de activiteiten moet zijn zodat de trillingen bij de

inscharing verwaarloosbaar klein zijn. Middels monitoring met trilconussen kan dit vervolgens worden geverifieerd.

- Activiteiten op het land met belastingen die geen zware trillingen veroorzaken kunnen plaatsvinden rondom het meer, mits deze minimaal 3,5 meter uit de bres plaatsvinden. Veiligheidshalve wordt aanbevolen om een marge van minimaal 7 meter aan te houden.
- Waterstandfluctuaties die voldoen aan het peilbesluit hebben geen significante impact op de stabiliteit. Indien het meerpeil door een calamiteit alsnog substantieel verlaagd wordt ten opzichte van het boezempeil kan dit mogelijk tot een afschuiving leiden. Bij een plotselinge verlaging van het meerpeil in de orde van 0,5 tot 1,0 meter is het daarom aan te raden om de directe omgeving bij de inscharing af te sluiten en grondvervormingen rondom de inscharing te monitoren.
- Activiteiten op het water die leiden tot zeer grote golven met golfhoogtes die ruim groter zijn dan 1,0 meter mogen niet uitgevoerd worden, of moeten dusdanig ver van de inscharing uitgevoerd worden dat de golven bij de inscharing kleiner zijn dan 1,0 meter.
- Bij overige activiteiten op het water die geen zware trillingen of grote golven veroorzaken wordt aanbevolen om een afstand van minimaal 25 meter aan te houden van de bres. Op deze afstand is de waterdiepte groter dan 10 meter en zal de impact op de waterbodem en de oever verwaarloosbaar zijn.



Figuur 6.5: Veiligheidszone van 25 m op het water en van 7 m op het land voor algemene activiteiten.

Zandwinning

De zandwinning dient opgestart te worden volgens een geotechnisch onderbouwt werkplan waarin de meest actuele kennis van zettingsvloeiingen is verwerkt. De uitvoering is daardoor fundamenteel anders is dan het werkplan wat volgde uit het geotechnisch advies uit 1999 toen het mechanisme van bresvloeiing nog nauwelijks onderzocht was. Belangrijke onderdelen van dit werkplan zijn (1) dat binnen het invloedsgebied van de inscharing geen

werkzaamheden worden uitgevoerd, (2) de werkrichting zodanig wordt uitgevoerd dat een veilige geometrie gehandhaafd blijft, (3) een veilige insteekdiepte en laagdikte wordt afgeleid op basis van modelstudies en (4) de geometrie van de zandwinning periodiek wordt gecontroleerd door een geotechnisch adviseur om de veiligheid te beoordelen en risico's te identificeren. Dit werkplan zal nader uitgewerkt worden in hoofdstuk 7.

7. Veilige toekomstige exploitatie zandwinning

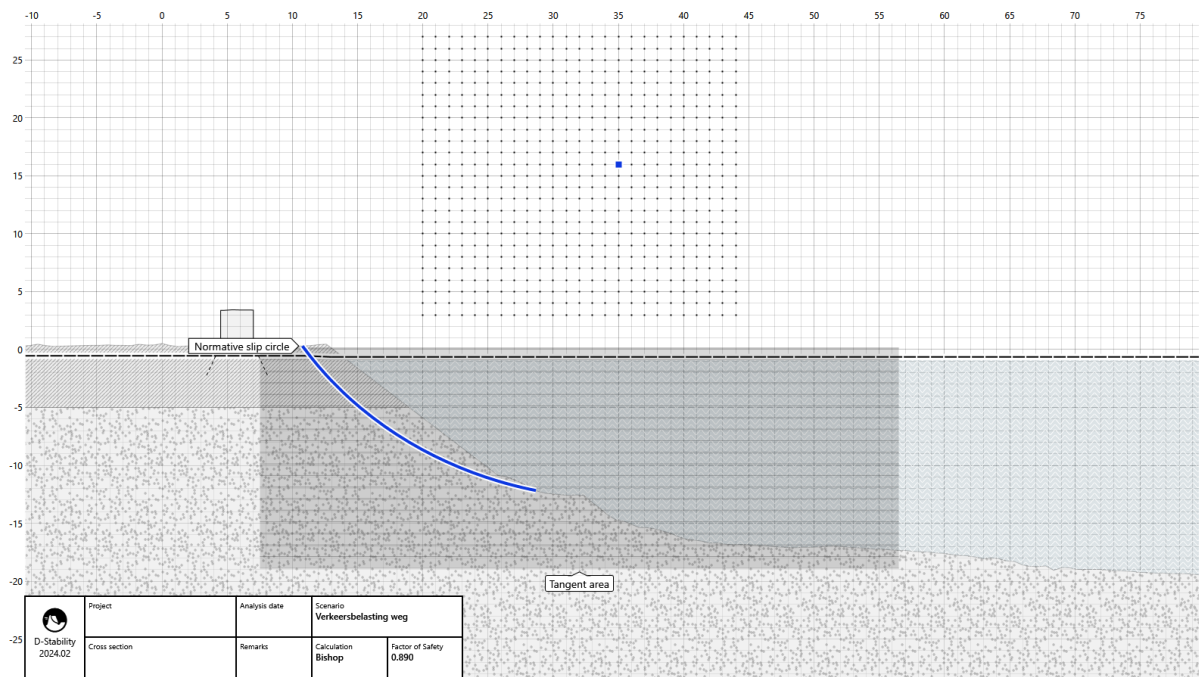
Dit onderdeel zal in een latere versie van het rapport uitgewerkt worden zodra het aanvullende grondonderzoek beschikbaar is.

8. Referenties

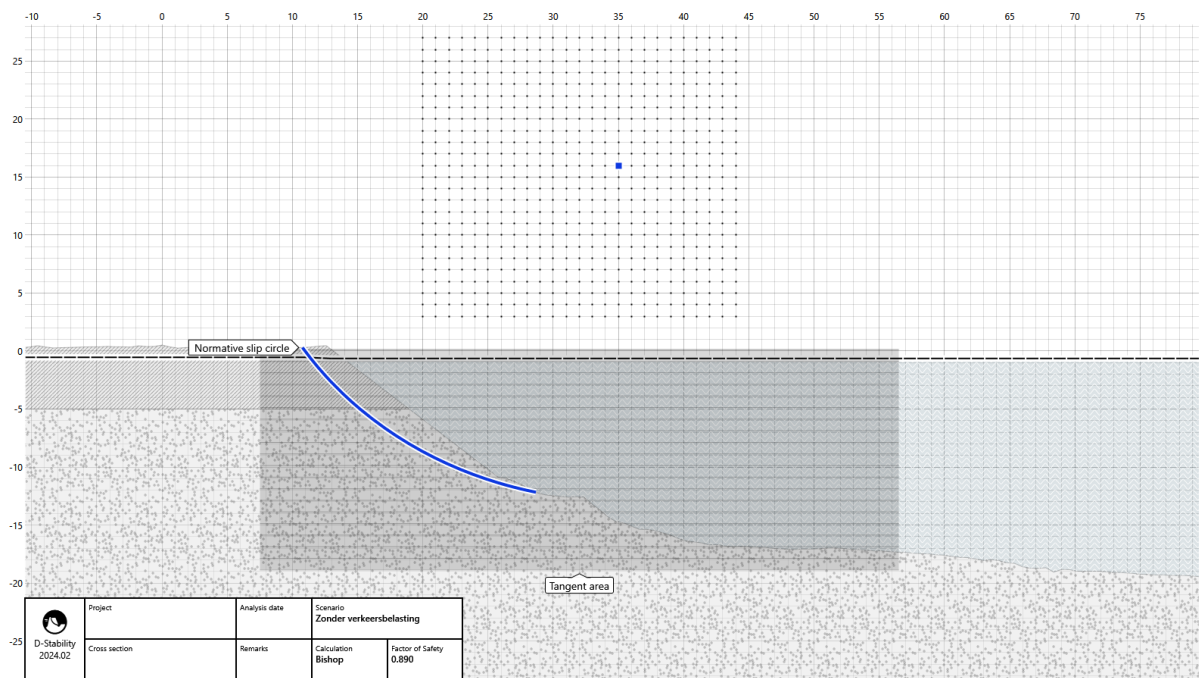
- CUR. (2008). *CUR-aanbevelingen 113, Oeverstabiliteit bij zandwinputten*.
- Grontmij. (1999a). *Zandwinning Valkenburgse Meer—Geotechnisch onderzoek uitbreiding zandwinning en optimalisatie talud 2* (No. 13/99007006.dm/Bru).
- Grontmij. (1999b). *Zandwinning Valkenburgse Meer—Geotechnisch onderzoek uitbreiding zandwinning en optimalisatie taluds 3 en 4* (No. 13/99007007.dm/Bru).
- Lunne, T., Robertson, P. K., & Powell, J. J. M. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Blackie Academic & Professional.
- Mastbergen, D. R. (2009). *Oeverstabiliteit bij verdieping waterbodems* (No. DC 04 43 11). Delft Cluster.
- Mastbergen, D. R., Beinssen, K., & Nedelec, Y. (2019). Watching the Beach Steadily Disappearing: The Evolution of Understanding of Retrogressive Breach Failures. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(368).
- MOS Grondmechanica. (2024). *Uitbreiding Valkenburgse Meer* (Nos. R2400963-02).
- NEN. (2017). *Geotechnisch ontwerp van constructies—Deel 1: Algemene regels* (No. NEN 9997-1+C2). NEN. (Definitief)
- Rhee, C. van. (2015). Slope failure by unstable breaching. *Maritime Engineering*, 168(MA2), 84-92. <http://dx.doi.org/10.1680/maen.14.00006>
- Rijkswaterstaat. (2019). *Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing (WBI 2017)*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Robertson, P. K. (2010). Estimating in-situ state parameter and friction angle in sandy soils from CPT. *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, USA*.
- Shuttle, D. A., & Jeffries, M. G. (1998). Dimensionless and unbiased CPT interpretation in sand. *International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 22, 351-391.

Appendix A

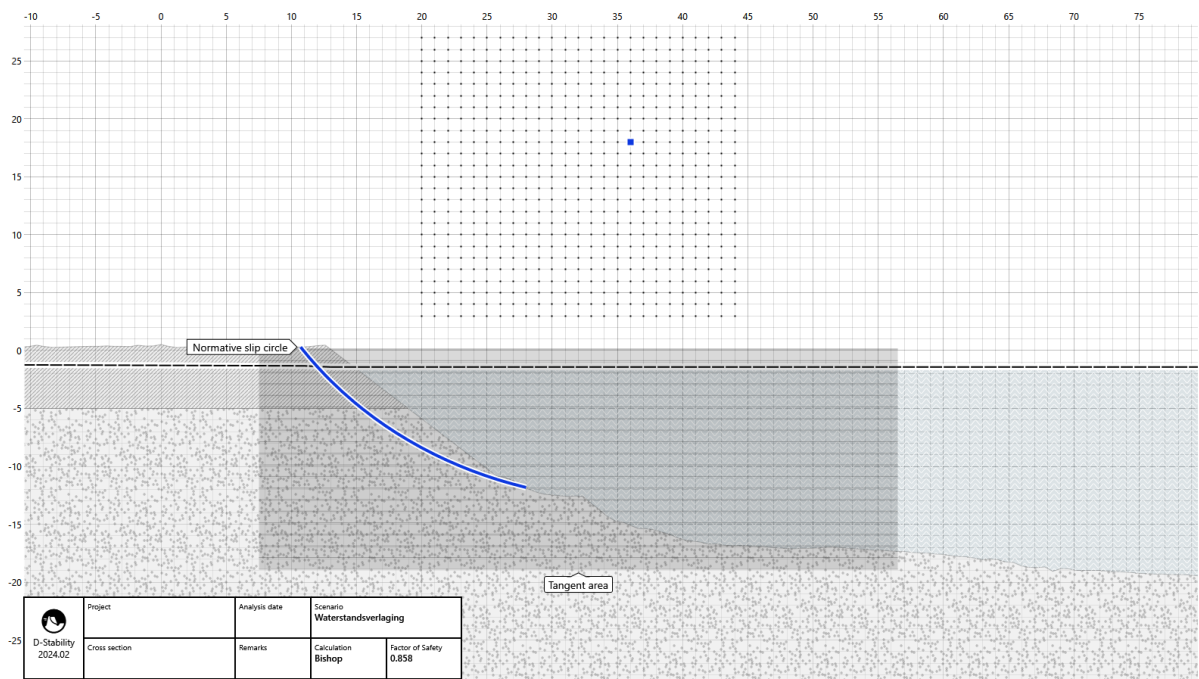
Resultaten Stabiliteitsberekening



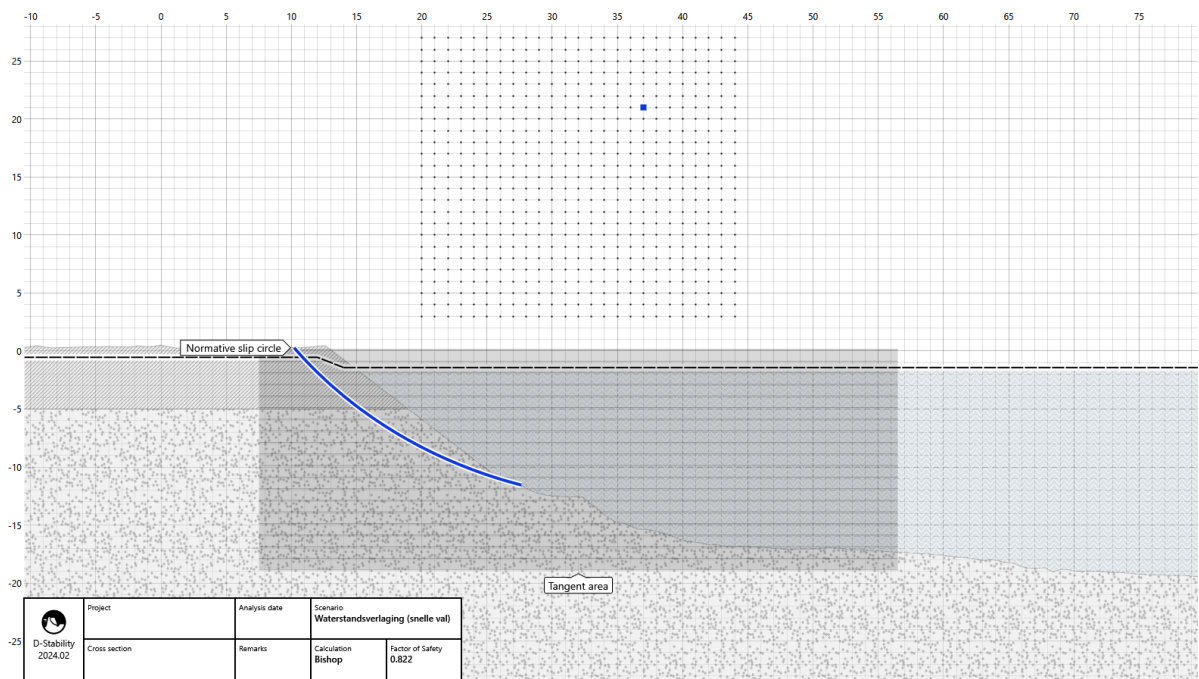
Figuur A.1: Stabiliteit volgens Bishop met verkeersbelasting op de weg.



Figuur A.2: Stabiliteit volgens Bishop zonder verkeersbelasting.



Figuur 8.3: Stabiliteit volgens Bishop met algemene waterstandsverlaging.



Figuur A.4: Stabiliteit volgens Bishop met snelle waterstandsverlaging in het meer.

