



Geotechnische analyse

Herinrichting Gouverneurspolder | Ochten

6424-255928.R01 2.0 | 6-6-2025

Definitief

Dekker Groep

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Herinrichting Gouverneurspolder
Documentnaam	Geotechnische analyse
Fugro-projectnr.	6424-255928
Fugro-documentnr	6424-255928.R01
Versienummer	2.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Blaeuwaan 60a, 3528 AD, Utrecht

Klantgegevens

Klant	Dekker Groep
Adres klant	Waalbandijk 1, 4053 JB, IJzendoorn
Contactpersoon klant	Toon van Mierlo
Documentnr. klant	

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	16-04-2025	Definitief	Definitief rapport	SWA	BMB/RMA	BMB
2.0	06-06-2025	Definitief	Verwerking review Dekker	SWA	BMB	BMB

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
BMB	Bas Berbee	Projectleider
SWA	Sietse Weistra	Adviseur Waterbouw
RMA	Reinder Meinsma	Senior Consultant Waterbouw

Inhoud

Documentbeheer	ii
Documentgegevens	ii
Klantgegevens	ii
Versiebeheer	ii
Projectteam	ii
Inhoud	1
1. Samenvatting	3
2. Inleiding	5
2.1 Projectbeschrijving	5
2.2 Doel en scope	5
2.3 Gebruikte informatie	6
3. Bodemgesteldheid	7
4. Uitgangspunten	9
4.1 Maatgevende profielen	9
4.2 Belendingen	10
4.3 Veiligheidsniveau	11
4.4 Waterstanden	11
4.4.1 Oppervlaktewater	11
4.4.2 Grondwaterstand	11
5. Analyse stabiliteit vergunningstalud	12
5.1 Stabiliteit tegen statisch afschuiven (macrostabiliteit)	12
5.1.1 Eenvoudige beoordeling	12
5.1.2 Gedetailleerde beoordeling	13
5.2 Verwekingsvloeiing	13
5.2.1 State parameter	13
5.2.2 Eenvoudige toets	14
5.2.3 Gedetailleerde toets	16
5.3 Conclusie	18
6. Stabiliteit bresproces tijdens het verdiepen	20
6.1 Beheerst bressen	20
6.2 Eenvoudige toets bresvloeiing	20
6.3 Toets op bresvloeiing: kleilaag	21
6.4 Gedetailleerde toets bresvloeiing	22
6.4.1 Voorwaarden buiten de oeverzone	24
6.4.2 Voorwaarden binnen de oeverzone	24

6.5	Randzone	24
6.6	Oeverzone	25
6.7	Risicobeschouwing	26
6.8	Conclusie	26
<hr/>		
7.	Analyse stabiliteit winterdijk	28
7.1	Macrostabiliteit buitenwaarts	28
7.2	Macrostabiliteit binnenwaarts	28
7.3	Piping	28
<hr/>		
8.	Conclusie en voorwaarden winplan	29
8.1	Conclusie	29
8.2	Voorwaarden winplan	31
8.2.1	Profiel vergunning en werktalud	31
8.2.2	Algemene voorwaarden	31
8.2.3	Voorwaarden omtrent kleilaag (ca. NAP -22 m)	32
8.2.4	Voorwaarden binnen oeverzone	32
<hr/>		
Appendix A	Risicobeschouwing	1
A.1	Inleiding	2
A.2	Kans op zettingsvloeiing	2
A.3	Van Rhee	3
A.4	Totale faalkans talud	3

1. Samenvatting

Dekker Groep is voornemens de zandwinning in de Gouverneurspolder bij Ochten uit te breiden in oostelijke en noordelijke richting. In dit rapport is een geotechnische analyse uitgevoerd ter onderbouwing van de milieueffectrapportage (MER) en de vergunningsaanvraag. De analyse richt zich op de stabiliteit van het talud van de zandwinput en de mogelijke effecten op de omgeving, waaronder de winterdijk langs de Waal.

Er zijn twee varianten onderzocht: een basisvariant met een maximale ontgraving tot NAP -20 m en een variant delfstofwinning tot NAP -38 m. Beide varianten hanteren als uitgangspunt een talud van 1:3. De stabiliteit van deze taluds is beoordeeld op basis van de faalmechanismen macrostabiliteit, verwekingsvloeiing en bresvloeiing. Daarnaast is de invloed van de zandwinning op de stabiliteit van de nabijgelegen winterdijk onderzocht, met aandacht voor macrostabiliteit en piping.

Uit de analyse blijkt dat het oorspronkelijke talud van 1:3 niet overal voldoet aan de gestelde veiligheidseisen. Met name de aanwezigheid van verwekingsgevoelige lagen in de ondergrond maakt dat flauwere taluds noodzakelijk zijn. Voor beide varianten wordt daarom een aangepast vergunningstalud voorgesteld. In het gebied rond sondering S03 is een 1:5 talud nodig tussen NAP + 0 m en NAP -7,5 m. Daarnaast is voor de variant delfstofwinning een talud van 1:5 vereist vanaf NAP -22 m. Deze aanpassingen zijn nodig om de kans op afschuiving en verweking tot een acceptabel niveau te beperken.

Voor de zandwinning geldt dat binnen de oeverzone, de zone waarin het talud zich natuurlijk ontwikkelt bij winning tot een bepaalde diepte, een aantal voorwaarden aangehouden dienen te worden. Dit dient ook opgenomen te worden in het winplan. Deze voorwaarden zijn weergegeven in hoofdstuk 8.2.

Tijdens de zandwinning ontstaan bressen in het talud. Om te voorkomen dat deze bressen ongecontroleerd groeien en de stabiliteit van het talud of de omgeving in gevaar brengen, is een werktalud ontworpen. Dit werktalud bestaat uit meerdere lagen met tussenliggende platbermen. De exacte ligging van deze kleilaag is nog onvoldoende bekend, waardoor aanvullend grondonderzoek wordt aanbevolen.

Een randzone van minimaal 50 meter tot alle belendingen is noodzakelijk om de veiligheid te waarborgen. Deze randzone is gebaseerd op probabilistische berekeningen en voldoet aan de eisen zoals gesteld in CUR 113.

De invloed van de zandwinning op de stabiliteit van de winterdijk is eveneens onderzocht. Voor de buitenwaartse macrostabiliteit geldt dat, mits de randzone wordt gerespecteerd, geen negatieve effecten worden verwacht. Voor de binnenwaartse stabiliteit en het faalmechanisme piping geldt dat deze ongunstiger worden wanneer er wijzigingen optreden in de grondwaterstanden onder de dijk. Op basis van geohydrologisch onderzoek door derden is geconcludeerd dat de zandwinning geen wezenlijke invloed heeft op de

stijghoogte in het achterland van de dijk. Daarmee zijn ook deze faalmechanismen afdoende beheerst.

Tot slot is een risicobeschouwing uitgevoerd waarin de kans op falen van het talud als gevolg van zettingsvloeiing en bresvloeiing is bepaald. De totale kans op falen blijft binnen de toegestane veiligheidsmarges ($\beta = 3,99$), waarmee wordt voldaan aan het vereiste veiligheidsniveau RC1. Een volledig winplan dient nog te worden opgesteld, waarin de in dit rapport beschreven uitgangspunten en voorwaarden worden verwerkt.

2. Inleiding

2.1 Projectbeschrijving

Dekker Groep is voornemens om de Gouverneurspolder bij Ochten her in te richten. Onderdeel van deze herinrichting is een uitbreiding van de eerdere zandwinning in oostelijke en noordelijke richting. De situering van de zandwinning rijkt tot aan de buitenbeschermingszone van de winterdijk in het noorden en oosten. Deze buitenbeschermingszone rijkt tot een afstand van 250 m ten opzichte van de buitenkruinlijn van de winterdijk.

In voorliggende rapport wordt ter onderbouwing van de variantenbeschouwing in het milieueffectrapport (MER) en de vergunningsaanvraag advies gegeven voor het ontwerptalud van de uitbreiding van de zandwinning.

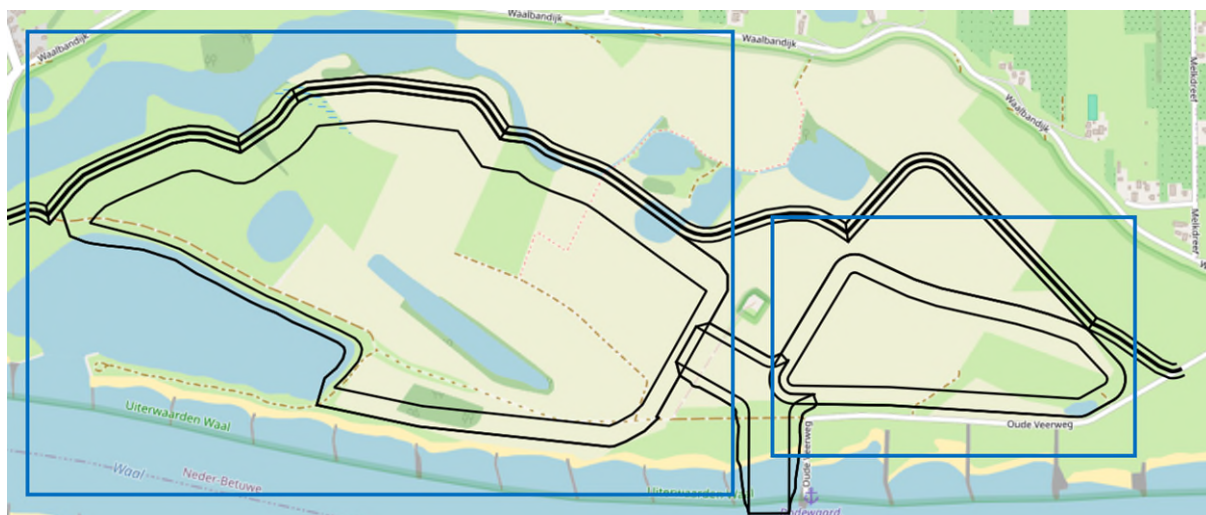
2.2 Doel en scope

Het doel van dit rapport is om het ontwerptalud van de zandwinning in de Gouverneurspolder te toetsen aan de eisen zoals voorgeschreven in CUR 113 [1]. Hierbij wordt gekeken naar de faalmechanismen taludafschuiving, verwekingsvloeiing en bresvloeiing. Daarnaast wordt de invloed van de zandwinning op de nabijgelegen winterdijk langs de Waal beoordeeld. Hierbij worden de faalmechanismes macrostabiliteit en piping beschouwd. In deze rapportage worden twee varianten beschouwd:

- Basisvariant. Tot NAP – 20 m, met een talud van 1:3.
- Variant delfstofwinning. Tot NAP - 40 m, met een talud van 1:3.

Een kaart van de basisvariant is weergegeven in Figuur 1.1.

In dit rapport wordt geen uitgebreid winplan beschreven. Wel wordt hiervoor een aanzet gegeven en worden enkele voorwaarden voor het winplan opgesteld.



Figuur 2.1: Kaart basisvariant. De twee afzonderlijke winputten zijn omlijnd.

2.3 Gebruikte informatie

- [1] CROW, „CUR 113 Overstabiliteit bij zandwinputten,” 2010.
- [2] Fugro, 2424-257996. Rapportage geotechnisch onderzoek, Herinrichting Gouverneurspolder, 2025.
- [3] Fugro, „Rapportage grondonderzoek. 1217-0079-230,” 2017.
- [4] NEN, „NEN 9997-1+C2, Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels,” 2017.
- [5] Fugro, 6424-255928.M01 "Waterremmende lagen Gouverneurspolder", 2024.
- [6] Sweco, Herinrichting Gouverneurspolder. Geohydrologisch onderzoek ontronding en herinrichting, 2025.
- [7] Rijkswaterstaat, „Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing,” 2019.
- [8] S. Olson en T. D. Stark, „Yield Strength Ratio and Liquefaction Analysis of Slopes and Embankments,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp. 727-737, Augustus 2003.
- [9] C. v. Rhee, „Slope failure by unstable breaching,” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 2015.
- [10] STOWA, „Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen,” 2015.

3. Bodemgesteldheid

Een overzicht van het grondonderzoek [2], [3] is weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 3.1: Overzicht beschikbaar grondonderzoek. S01, S04 en B01 zijn omcirkeld.

Het onderzoek geeft een vrij homogeen beeld van de ondergrond bestaande uit matige fijn tot grof zand over bijna de gehele diepte waarbij beneden ca. NAP -30 m relatief meer fijne fractie aanwezig is.

Een grote uitzondering zijn S04 en B04. Deze sondering en boringen tonen tussen de dieptes NAP -22 m en NAP -28 m een dikke kleilaag, die bij geen van het omliggend grondonderzoek is aangetroffen. Verder grondonderzoek wordt geadviseerd om de precieze locatie van deze kleilaag beter aan te tonen.

Bij S01 is een kleine kleilaag aangetroffen op een diepte van NAP -30 m.

Omdat er enkel een kleilaag bij de sondeerlocatie S04 is aangetroffen die qua dikte van belang is, worden in dit rapport waar nodig analyses uitgevoerd voor twee relevante bodemstructuren, waarbij de eerste op S04 is gebaseerd (Tabel 2.1) en de tweede op S03 (geen dikke kleilaag, Tabel 2.2). De schematisering en bepaling van de karakteristieke eigenschappen is gedaan op basis van NEN9997-1+C1:2017 [4].

Tabel 3.1: Maatgevende bodemopbouw 1, op basis van S04.

Grondlaag	Bovenkant laag [m NAP]	Droge en gesatureerde dichtheid γ/γ_{sat} [kN/m ³]	Cohesie c' [kPa]	Wrijvingshoek ϕ' [°]
<u>KLEI</u> , zandig	8,5	18/18	5	22,5
<u>ZAND</u> , matig vastgepakt	6	18/20	0	32,5
<u>ZAND</u> , vastgepakt	-7	19/21	0	35

Grondlaag	Bovenkant laag [m NAP]	Droge en gesatureerde dichtheid $\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	Cohesie c' [kPa]	Wrijvingshoek ϕ' [°]
<u>KLEI</u>	-22	18/18	5	22,5
<u>ZAND</u> , matig vastgepakt	-28	18/20	0	32,5
<u>ZAND</u> , vastgepakt	-33	19/21	0	35

Tabel 3.2: Maatgevende bodemopbouw 2, op basis van S03.

Grondlaag	Bovenkant laag [m NAP]	Droge en gesatureerde dichtheid $\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	Cohesie c' [kPa]	Wrijvingshoek ϕ' [°]
<u>KLEI</u> , zandig	7,5	18/18	5	22,5
<u>ZAND</u> , los gepakt	6	17/19	0	30
<u>ZAND</u> , vastgepakt	1	19/21	0	35
<u>ZAND</u> , siltig	-4	18/20	0	27
<u>ZAND</u> , vastgepakt	-6	19/21	0	35
<u>ZAND</u> , matig vastgepakt	-16,5	18/20	0	32,5
<u>ZAND</u> , vastgepakt	-19	19/21	0	35
<u>ZAND</u> , siltig	-26	18/20	0	27
<u>ZAND</u> , vastgepakt, siltig	-35	19/21	0	32,5

4. Uitgangspunten

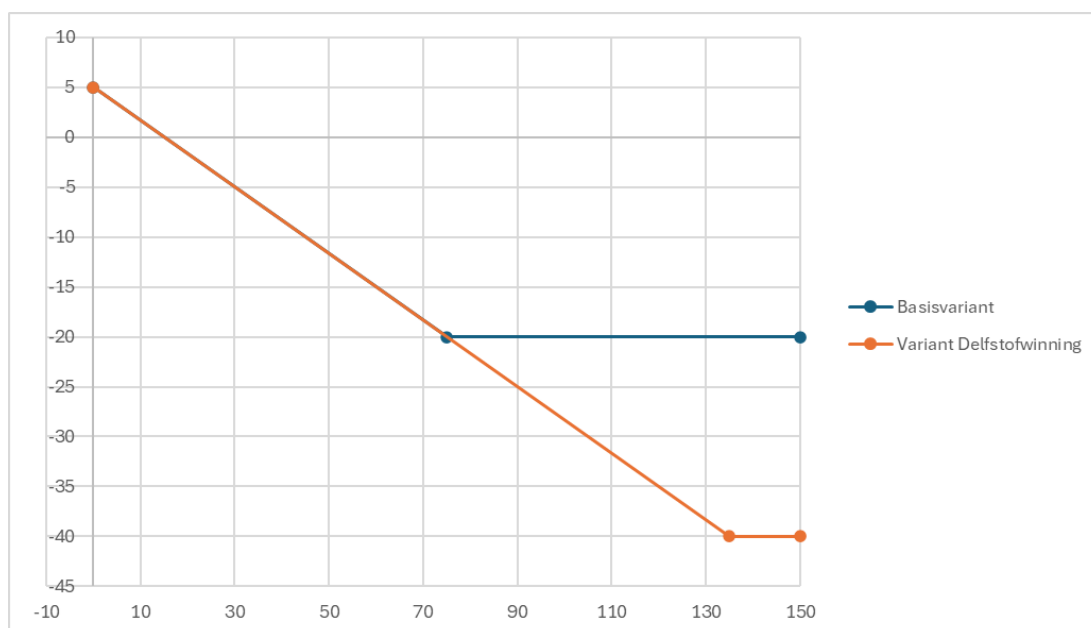
In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten beschreven die zijn aangehouden bij de stabiliteitsberekeningen.

4.1 Maatgevende profielen

Basis voor dit rapport is de ontwerpvariant zoals in zwart weergegeven in Figuur 1.1. Naar aanleiding van de conclusies in het rapport "Waterremmende lagen Gouverneurspolder" [5] is in overleg met de opdrachtgever besloten dat voor de geotechnische analyse twee profielen beschouwd worden:

- Basisvariant. Tot NAP – 20 m, met een talud van 1:3.
- Variant delfstofwinning. Tot NAP - 40 m, met een talud van 1:3.

Deze profielen zijn het uitgangspunt voor de geotechnische analyses. Op basis van deze analyses kan bijvoorbeeld besloten worden het profiel aan te passen om stabiliteit te garanderen. Hierbij wordt in dit rapport onderscheid gemaakt tussen het vergunningsprofiel, welke stabiel moet zijn in een statische situatie, en een werkprofiel. Het werkprofiel dient te worden aangehouden tijdens de winning om ook tijdens de winning stabiliteit van het profiel te garanderen. De profielen zijn weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 4.1: Beschouwde profielen.

4.2 Belendingen

Volgens de CUR 113 is conform de eenvoudige risicoanalyse het risico op schade klein genoeg wanneer er op een afstand (randzone) van 2 à 3 maal de winningsdiepte (gerekend vanaf de insteekdiepte van de diepe zandwinning) geen permanente belendingen aanwezig zijn van bijzondere waarde. Rondom de uitbreiding van de zandwinning in de Gouverneurspolder zijn de volgende belendingen aanwezig:

- Winterdijk langs de Waal;
- Bestaande zomerkade;
- Uiteinde kribben Waal;
- Veerweg

Voor het bepalen van de afstand tussen belendingen en de zandwininput wordt gerekend vanaf de lijn op NAP + 7 m in het ontwerp, omdat vanaf deze diepte zand wordt gewonnen middels winzuigen waar in potentie meer inscharingen kunnen plaatsvinden, indien bij de wijze van uitvoering geen rekening wordt gehouden met de bodemopbouw door middel van een winplan.

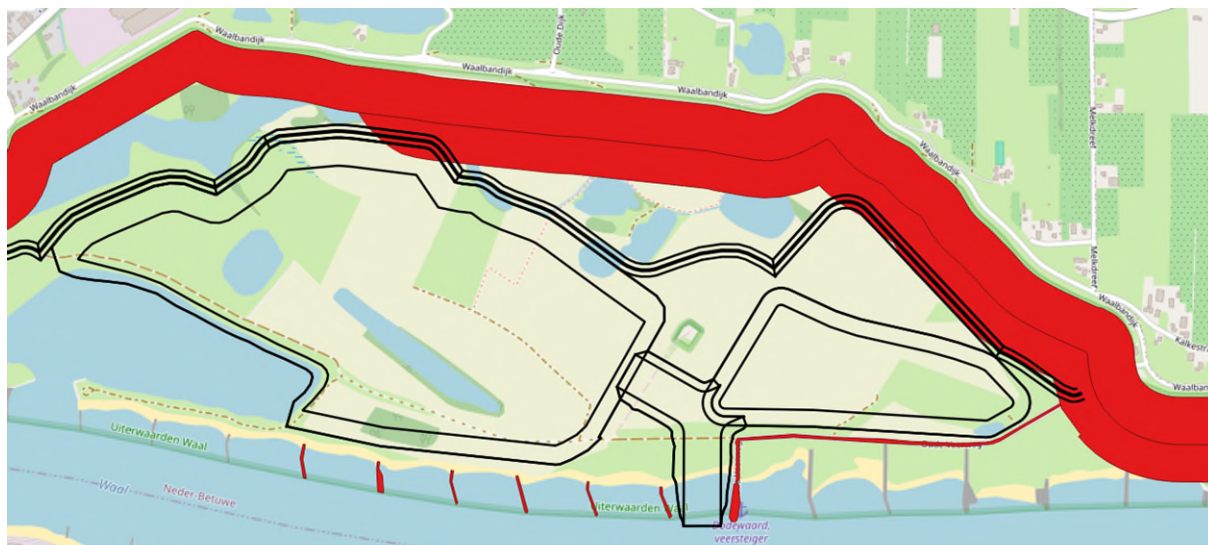
Voor de winterdijk wordt de buitenste rand van de buitenbeschermingszone als grens aangenomen. Dit betekent dat de toelaatbare inscharinglengte maximaal de afstand tussen de oever van de zandwininput en de rand van de beschermingszone van de dijk is. In de basisvariant is er sprake van overlap tussen deze twee gebieden, wat betekent dat de afstand op dit moment 0 m is. Om deze reden dient de basisvariant aangepast te worden, zodat zich een minimale afstand ter grootte van de randzone bevindt tussen de oever van de zandwininput en de buitenbeschermingszone van de winterdijk. De grootte van de benodigde randzone wordt in paragraaf 5.5 bepaald.

De zomerdijk wordt niet meegenomen als belending, omdat deze zijn functie verliest als onderdeel van het project. Deze heeft daardoor geen waterkerende functie meer en zal dan ook niet als zodanig beschouwd worden. Aan de oostkant heeft deze echter een dubbelfunctie als verbindingsweg met de veerpont. Deze weg, de Oude Veerweg, dient wel behouden te worden. De minimale afstand tussen de Oude Veerweg en de oostelijke wininput is 12 m. Indien dit minder is dan de bepaalde randzone, dient het ontwerp zo aangepast te worden dat de minimale randzone wordt aangehouden. Bij de oostelijke wininput bevinden de kribben zich achter de Oude Veerweg, hier dient daarom de randzone aangehouden te worden ten opzichte van de Oude Veerweg, niet ten opzichte van de kribben.

Bij de westelijke wininput is de minimale afstand tussen de kribben en de wininput in de basisvariant 35 m. Indien dit minder is dan de bepaalde randzone, dient het ontwerp zo aangepast te worden dat de minimale randzone ten opzichte van de kribben wordt aangehouden.

Een overzicht van deze belendingen ten opzichte van het ontwerp is weergegeven in Figuur 3.2. De rode lijn betreft de buitenbeschermingszone van de dijk, waar aanwezig, en de

beschermingszone waar deze niet aanwezig is. De afstand tussen de insteek diepe winning en de rode lijn wordt als randzone aangemerkt.



Figuur 4.2: Overzicht belendingen (rood) en de basisvariant tijdelijke situatie (zwart).

4.3 Veiligheidsniveau

Voor de zandwininput wordt uitgegaan van het veiligheidsniveau RC1. Dit correspondeert met een β van 3,3 [4] en een $P_{\text{feis}/50\text{jaar}}$ van $4,83 \cdot 10^{-4}$. Hierbij wordt als uitgangspunt genomen dat de buitenbeschermingszone van de winterdijk als grens aangenomen wordt, die niet overschreden dient te worden in geval van bressen. Daarbij wordt aangenomen dat bij bepaling van de buitenbeschermingszone van de winterdijk voldoende veiligheid is opgenomen. Van de overige belendingen, dat wil zeggen de kribben in de Waal en de Oude Veerweg, wordt een veiligheidsniveau RC1 als voldoende geacht.

4.4 Waterstanden

4.4.1 Oppervlaktewater

De aangehouden waterstanden in dit rapport zijn als volgt, gebaseerd op de gemeten waterstanden in de Waal bij Dodewaard in de periode 01-01-2017 tot en met 01-01-2025:

- Het gemiddelde waterpeil in de put is aangehouden op NAP + 5,38 m.
- Het lage waterpeil in de put is aangenomen op NAP + 2,79 m.

4.4.2 Grondwaterstand

Op basis van tabel 2-1 uit het geohydrologisch rapport van Sweco [6], is in de analyses een grondwaterstand aangenomen van NAP + 4,12 m, welke gelijk is aan het laagste GLG van de zeven beschikbare peilbuizen in de omgeving. Voor stabiliteitsanalyses is een laag waterpeil in dit geval conservatief.

5. Analyse stabiliteit vergunningstalud

In deze rapportage worden twee soorten taluds onderscheiden: het vergunningstalud en het werktalud. Het vergunningstalud geeft de maximale ontgronding aan, waarbij de stabiliteit van het talud wordt beschouwd in statische situatie, dus zonder dat er zand gewonnen wordt. Dit vergunningstalud wordt in dit hoofdstuk bepaald. Aanvullende eis aan het vergunningstalud is dat een winplan met werktalud wordt aangehouden, waarmee gegarandeerd wordt dat tijdens de zandwinning het vergunningstalud niet overschreden wordt. Dit werktalud en de aanzet tot dit winplan worden beschreven in hoofdstuk 5.

De macrostabiliteit en de verwekingsgevoeligheid van het talud worden beide getoetst aan het vergunningstalud. De eis is dat het vergunningstalud statisch stabiel is, wanneer er dus geen zand wordt gewonnen. Uitgangspunt voor deze analyses is het talud met een helling van 1:3, zoals beschreven in paragraaf 3.1.

5.1 Stabiliteit tegen statisch afschuiven (macrostabiliteit)

5.1.1 Eenvoudige beoordeling

Om te voldoen aan de eenvoudige toets op taludafschuiving dient voldaan te worden aan drie voorwaarden, conform CUR 113 [1]. Aan deze voorwaarden wordt het ontwerpprofiel getoetst.

1. Binnen 5 keer de hoogte van de kruin van het gronddepot boven de waterlijn bevindt zich geen gronddepot of andere bovenbelasting.
 - a. Dit is een voorwaarde voor de locatie van gronddepots tijdens de uitvoering.
2. In de grondopbouw dient geen slappe cohesieve laag aanwezig te zijn. Bij S04 is op de diepte van NAP – 22 m tot NAP – 30 m een kleilaag aangetroffen.
 - a. Aan deze voorwaarde wordt niet voldaan bij bodemopbouw 1. Bij bodemopbouw 2 zijn geen cohesieve lagen aanwezig, dus bij deze bodemopbouw wordt wel aan de voorwaarde voldaan.
3. Het talud heeft een helling van helling van 1:3 of flauwer.
 - a. Hier wordt aan voldaan.

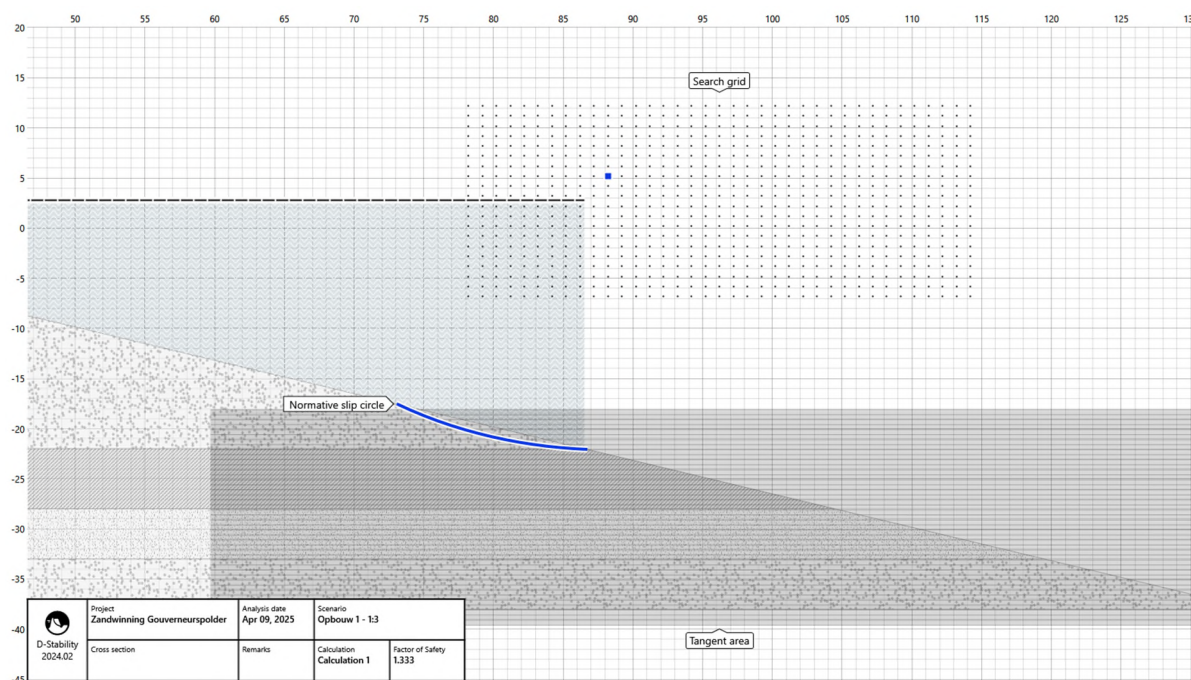
In de basisvariant wordt aan elk van deze voorwaarden voldaan, daarmee voldoet de basisvariant op statische stabiliteit.

Voor de variant delfstofwinning geldt dat voor bodemopbouw 2 aan alle voorwaarden wordt voldaan, gegeven dat een gronddepot op voldoende afstand van de waterlijn geplaatst wordt. Voor deze bodemopbouw voldoet de eenvoudige beoordeling dus. Voor bodemopbouw 1 wordt hier niet aan voldaan vanwege de aanwezige kleilagen.

5.1.2 Gedetailleerde beoordeling

Voor bodemopbouw 1 is een gedetailleerde beoordeling uitgevoerd van de statische stabiliteit. Hiervoor is een berekening uitgevoerd met het programma D-Stability.

Het maatgevende glijvlak zoals dat berekend is, is weergegeven in Figuur 4.1. Hieruit volgt een stabiliteitsfactor van 1,33 bij deze bodemopbouw. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het talud voldoet op macrostabiliteit.



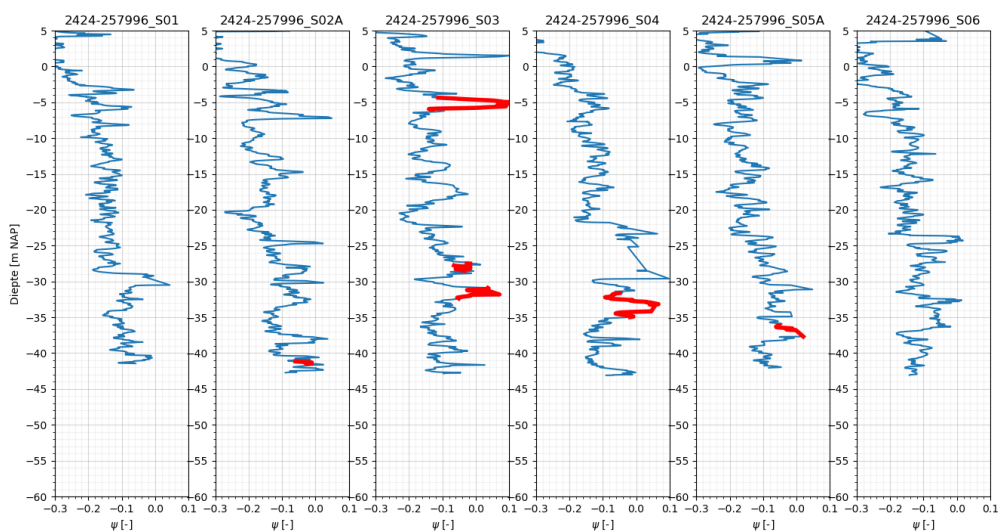
Figuur 5.1: Maatgevend glijvlak bodemopbouw 1

5.2 Verwekingsvloeiing

Waar in de CUR 113 met de standaardmethode de relatieve dichtheid wordt gebruikt om te bepalen of lagen verwekingsgevoelig zijn, wordt hiervoor tegenwoordig de state parameter gebruikt. Deze is voor dit project bepaald op basis van de methode uit de 'Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing' [7].

5.2.1 State parameter

Van de uitgevoerde sonderingen zijn de 6 sonderingen tot een diepte van NAP – 44 m meegenomen in deze analyse, omdat deze het meest relevant zijn voor de uitbreiding van de zandwininput. Dit zijn de sonderingen S01 tot en met S06. Van deze zes sonderingen is de state parameter berekend over de gehele diepte van de sondering. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 4.2. Hierin zijn de lagen die op basis van de state parameter verwekingsgevoelig zijn weergegeven in het rood. Alle lagen met een gemiddelde state parameter groter dan -0,05 over een dikte van minimaal 1m worden als potentieel verwekingsgevoelig beschouwd.



Figuur 5.2: State parameter van de 6 gebruikte sonderingen, met in het rood de verwekingsgevoelige lagen

Daarnaast worden alleen lagen als verwekingsgevoelig weergegeven wanneer geldt dat $I_{c,JD} < 2,54$. Dit houdt in dat alleen zand mengsels en zanden zettingsgevoelig kunnen zijn en cohesieve lagen zoals klei of veen niet.

5.2.2 Eenvoudige toets

De aanwezigheid van verwekingsgevoelige lagen wordt getoetst aan de voorwaarden uit de CUR 113 [1], waarbij het ontwerp voldoet aan het criterium op zettingsvloeiing indien aan ten minste een van drie voorwaarden voldoet:

1. Er wordt voldaan indien er geen verwekingsgevoelige lagen dikker dan 1 m aanwezig zijn.
2. Er wordt voldaan indien het rekentalud een helling α_R heeft flauwer dan $1:7 \cdot \left(\frac{H_R}{30}\right)^{\frac{1}{3}}$.
3. Er wordt voldaan indien er geen verwekingsgevoelige lagen aanwezig zijn met een dikte van meer dan 3 m én indien het rekentalud een helling α_R heeft flauwer dan $1:4 \cdot \left(\frac{H_R}{30}\right)^{\frac{1}{3}}$.

5.2.2.1 Basisvariant

De maximale putdiepte in het ontwerp is NAP – 20 m. Bij een maaiveld van ca. NAP + 7 m resulteert dit in een rekenputdiepte van 27 m. Er zijn op dit moment geen platbermen in het ontwerp meegenomen. Er wordt bepaald of het ontwerp aan ten minste een van de drie voorwaarden gesteld in de eenvoudige toets in de CUR 113 voldoet.

1. Bij S03 is een verwekingsgevoelige laag met een dikte van ten minste 1 m aangetroffen binnen de rekenputdiepte, zoals te zien is in Figuur 4.2. Aan de eerste voorwaarde wordt daarmee niet voldaan.
2. Bij een rekenputdiepte van 27 m dient het rekentalud een helling α_R te hebben dat flauwer is dan 1:6,8. Een talud van 1:3 is voorzien, waarmee niet aan de tweede voorwaarde wordt voldaan.
3. Bij een rekenputdiepte van 27 m dient het rekentalud een helling α_R te hebben dat flauwer is dan 1:3,9 om te voldoen aan deze voorwaarde. Een talud van 1:3 is voorzien, waarmee niet aan deze voorwaarde wordt voldaan.

Omdat aan geen van de drie voorwaarden wordt voldaan, dient voor deze variant een gedetailleerde toets uitgevoerd te worden.

5.2.2.2 Variant Delfstofwinning

De maximale putdiepte in het ontwerp is NAP – 40 m. Bij een maaiveld van ca. NAP + 7 m resulteert dit in een rekenputdiepte van 47 m. Er zijn op dit moment geen platbermen in het ontwerp meegenomen. Er wordt bepaald of het ontwerp aan ten minste een van de drie voorwaarden gesteld in de eenvoudige toets in de CUR 113 voldoet.

1. Bij zowel S03, S04 als S05 zijn verwekingsgevoelige lagen met een dikte van ten minste 1 m aangetroffen binnen de rekenputdiepte, zoals te zien is in Figuur 4.2. Aan de eerste voorwaarde wordt daarmee niet voldaan.
2. Bij een rekenputdiepte van 47 m dient het rekentalud een helling α_R te hebben dat flauwer is dan 1:8,1. Een talud van 1:3 is voorzien, waarmee niet aan de tweede voorwaarde wordt voldaan.
3. Bij een rekenputdiepte van 47 m dient het rekentalud een helling α_R te hebben dat flauwer is dan 1:4,6 om te voldoen aan deze voorwaarde. Een talud van 1:3 is voorzien, waarmee niet aan deze voorwaarde wordt voldaan.

Omdat in het ontwerp aan geen van de drie voorwaarden wordt voldaan, wordt een gedetailleerde toets uitgevoerd.

5.2.3 Gedetailleerde toets

De gedetailleerde toets is uitgevoerd conform de methode van Olson en Stark [8], waarnaar in de CUR113 wordt gerefereerd. Hiermee wordt de taludstabiliteit beoordeeld met behulp van het programma D-Stability. Hierbij wordt het grondmateriaal in het gedeelte van de put, dat niet verwekingsgevoelig is, gemodelleerd met de gebruikelijke sterkteparameters, zie Tabel 2.2

Voor het ontgraven van de winput is sondering S03 maatgevend voor het faalmechanisme verwekingsvloeiing. Er zijn in totaal drie verwekingsgevoelige lagen aangetroffen, op de dieptes:

- NAP -4,5 tot NAP -5,8 m;
- NAP -27,3 tot NAP -29,0 m;
- NAP -30,8 tot NAP -32,5 m.

Deze drie lagen zijn meegenomen in de gedetailleerde analyse.

De bovenste laag is alleen aangetroffen in S03, de andere twee zijn in meerdere sonderingen aangetroffen. Om deze reden worden er twee analyses uitgevoerd, waarbij voor het gebied rondom S03 een aparte analyse wordt uitgevoerd, om zo het putontwerp te optimaliseren.

Voor de verwekingsgevoelige lagen wordt de ongedraineerde 'yield' sterkte gehanteerd, welke bepaald wordt op basis van correlaties met de conusweerstand. Hierbij is de ondergrenswaarde uit de publicatie [8] gehanteerd als karakteristieke waarde. In D-Stability wordt deze laag gemodelleerd met het SHANSEP-model, waarbij voor de S ratio $S_{u(yield)}/\sigma'_{v0}$ wordt gehanteerd. Over deze waarde wordt de partiële factor voor tan ϕ toegepast. De toegepaste rekenwaardes die hieruit volgen zijn weergegeven in Tabel 4.1.

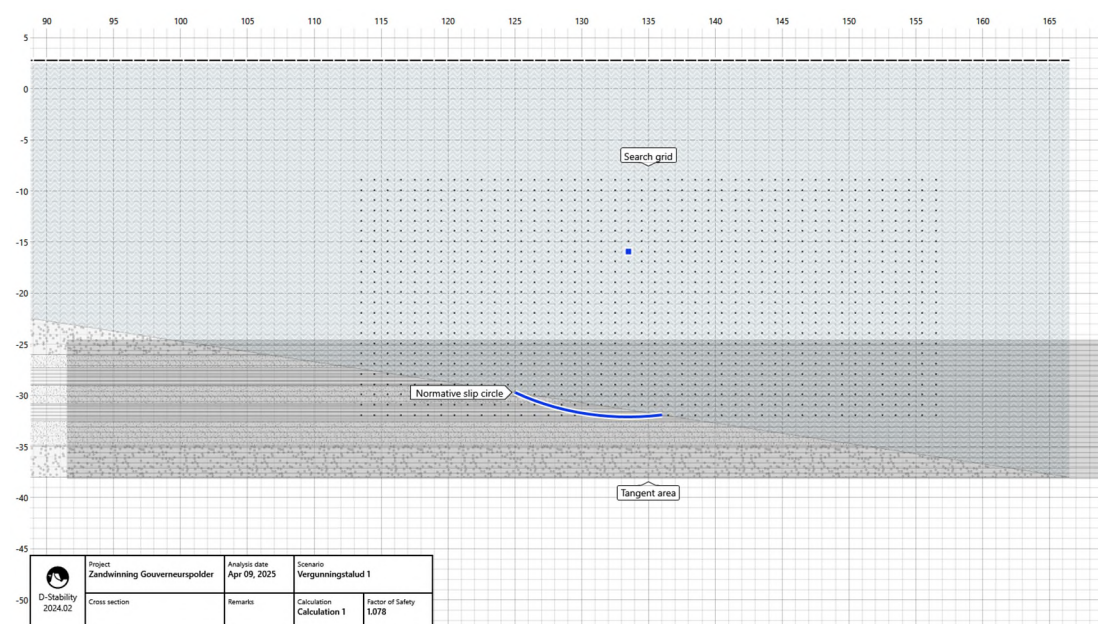
Tabel 5.1: Toegepaste rekenwaardes gedetailleerde toets

Grondlaag	γ/γ_{sat} [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	S [-]	POP [kPa]
<u>KLEI</u> , zandig	18/18	3,8	19,0	-	-
<u>ZAND</u> , matig vastgepakt	18/20	0	28,0	-	-
<u>ZAND</u> , vastgepakt	19/21	0	30,3	-	-
<u>KLEI</u>	18/18	3,9	19,0	-	-
<u>ZAND</u> , siltig	18/20	0	23,0	-	-
ZAND, sterk siltig/ leem (verweekt)	18/20	-	-	0,16 – 0,19	0

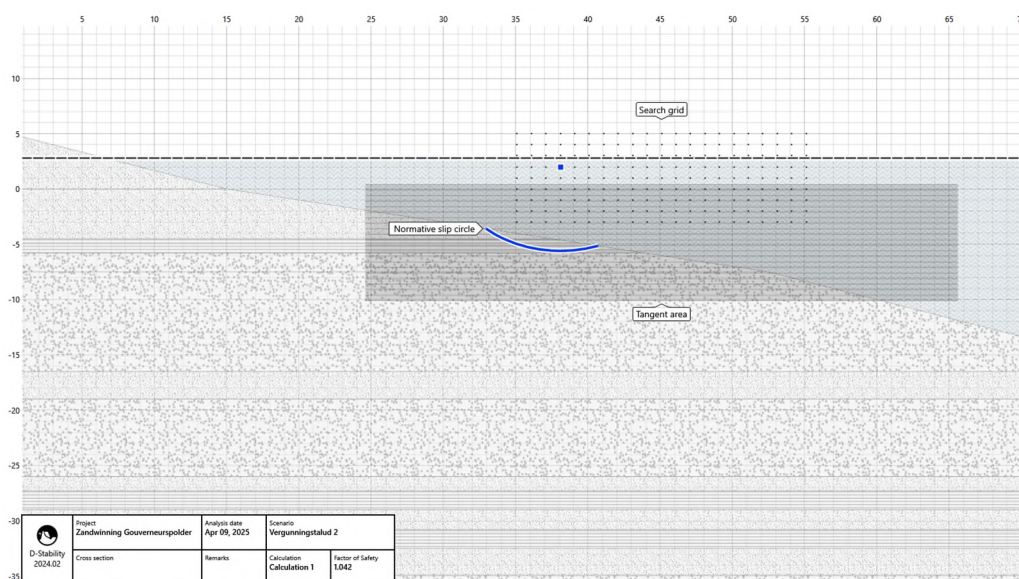
De beoordeling is uitgevoerd met de Bishop methode in het programma D-Stability. Hiermee is gezocht naar het maatgevend glijvlak binnen het talud waar de verwekingsgevoelige lagen zich bevinden. Hierbij is een minimale diepte van het glijvlak aangehouden van 1 m.

Voor beide lagen geldt dat het originele ontwerptalud van 1:3 niet voldoet op macrostabiliteit. Uit de analyse blijkt dat bij beide ontwerpen vanaf een diepte van NAP -22 m een talud van 1:5 aangehouden dient te worden. Daarnaast dient bij bodemprofiel 2, gebaseerd op S03, een talud van 1:5 aangehouden te worden tussen NAP = 0 m en NAP -7,5 m.

In Figuur 4.3 en Figuur 4.4 zijn de maatgevende glijvlakken van respectievelijk vergunningstalud 1 en 2 weergegeven bij een talud 1:5. De minimaalvereiste veiligheidsfactor (S.F.) is 1,0.



Figuur 5.3: Maatgevend glijvlak macrostabiliteit vergunningstalud 1.



Figuur 5.4: Maatvendend glijvlak macrostabiliteit vergunningstalud 2.

5.3 Conclusie

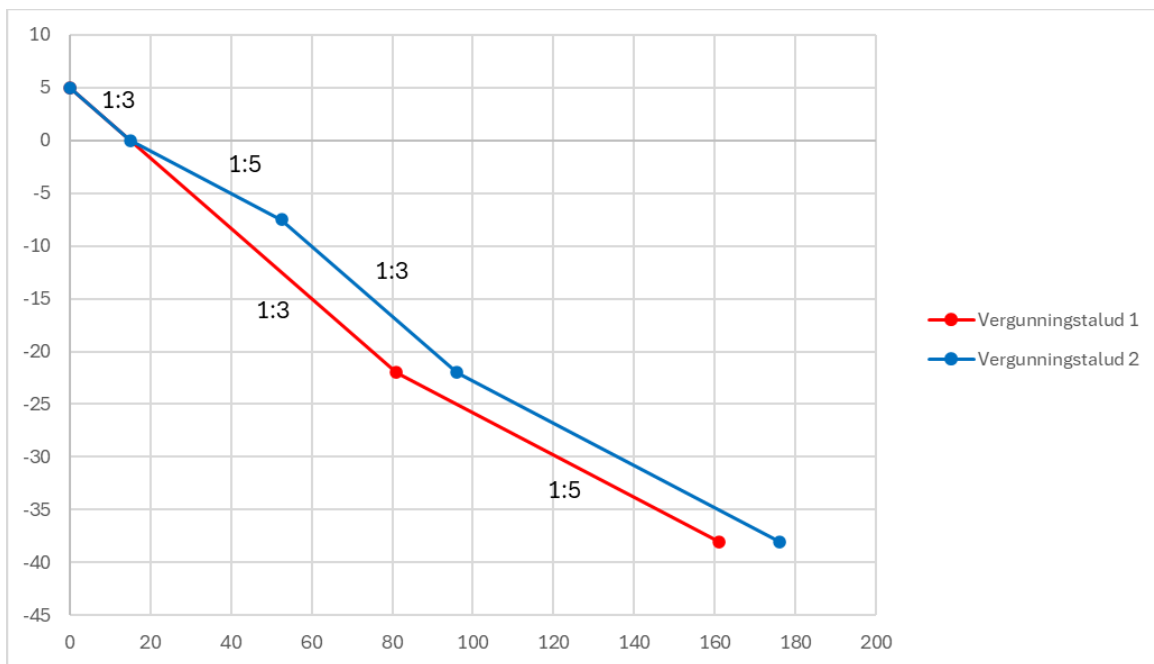
Het vergunningstalud dient statisch stabiel te zijn. Dit betekent dat voldaan moet worden aan de toets op statische stabiliteit en op de toets op verwekingsvloeiing. Er is een gedetailleerde toets uitgevoerd op zowel statische stabiliteit als op verwekingsvloeiing.

Op basis van deze toetsen wordt geadviseerd twee aparte vergunningsprofielen aan te houden:

- Vergunningsprofiel 1 is van toepassing op vrijwel de hele put, gebaseerd op maatgevende sonderingen S04 en S05A.
- Vergunningsprofiel 2 is van toepassing op het gebied rondom S03. Dit gebied is aangegeven in Figuur 4.6.
 - De verwekingsgevoelige laag komt alleen in deze sondering voor en in geen van de andere sonderingen. Daarnaast is het type geologische afzetting (formatie v. Echteld / meanderende rivieren & formatie v. Kreftenheye / vlechtende rivieren) niet bekend vanwege verwekingsgevoeligheid, om welke reden verwacht wordt dat dit een lokale afwijking betreft en geen gebiedsbrede trend.

Deze conclusies gelden voor zowel de basisvariant als voor de variant delfstofwinning.

De aan te houden vergunningsprofielen zijn weergegeven in Figuur 4.5.



Figuur 5.5: Aan te houden vergunningstaluds.



Figuur 5.6: Verdeling vergunningprofielen. Binnen het rood omlijnde vlak dient vergunningstalud 2 aangehouden te worden.

6. Stabiliteit bresproces tijdens het verdiepen

In voorgaand hoofdstuk is de stabiliteit van de put in statische situatie beschreven, dat wil zeggen: stabiliteit wanneer er geen zand wordt gewonnen. Tijdens de zandwinning worden continu bressen gecreëerd. Hierbij is het van belang dat deze bressen niet ongecontroleerd groeien en daardoor een gevaar voor de putstabiliteit kunnen veroorzaken. Hiervoor dient een winplan en een werktalud te worden opgesteld. Hiervoor wordt in dit hoofdstuk een aanzet gegeven. Dit hoofdstuk biedt niet een volledig winplan, slechts een aanzet daartoe. Een volledig winplan dient voor aanvang van het winnen opgesteld te worden.

Uitgangspunt bij dit hoofdstuk is dat het zand gewonnen wordt door middel van een initiële verstoring met behulp van een steekzuiger of winzuiger. Indien een andere manier van winnen wordt toegepast, zijn de in dit hoofdstuk gestelde voorwaarden niet geldig en dienen in het winplan nieuwe voorwaarden opgenomen te worden, die passend zijn bij de gekozen manier van winnen.

6.1 Beheerst bressen

Er wordt in de analyse van bresvloeiing uitgegaan van een beheerst bresproces. Voor een beheerst bresproces dient te worden voldaan aan de volgende algemene voorwaarden:

1. Er treedt geen afschuiving op;
2. Er zijn geen lagen die kunnen verweken;
3. De grond bestaat uit silt, zand of grind, ofwel uit niet-cohesief, bressend materiaal;
4. Er bestaat een horizontale laagopbouw van de grond;
5. De dikte van stoorlagen van klei of veen bedraagt ten hoogste 0,5 m.

Voorwaardes 1 en 2 zijn in respectievelijk paragrafen 4.1 en 4.2 besproken. Hierin is geconcludeerd dat er afdoende klein risico is op afschuiving en of verweking. Voor grondopbouw 1 geldt dat een aanzienlijke, cohesieve kleilaag aanwezig is. Hiermee wordt niet aan voorwaarden 3 en 5 voldaan. Ook geldt voor beide grond opbouwen dat de laagopbouw van de grond niet horizontaal is. Hiermee wordt ook niet aan voorwaarde 4 voldaan.

Er wordt niet voldaan aan de gestelde voorwaarden voor beheerst bressen. Om deze reden dient een toets op het risico van bresvloeiing uitgevoerd te worden.

6.2 Eenvoudige toets bresvloeiing

Voor het bepalen van een stabiel brestalud moet conform CUR 113 voldaan worden aan vier eisen voor een eenvoudige beoordeling:

1. De bodem bestaat uit zand met $D_{50} > 200 \mu\text{m}$ en $D_{15} > 130 \mu\text{m}$;
2. Er zijn geen stoorlagen aanwezig dikker dan 0,5 m;
3. Er zijn geen verwekingsgevoelige lagen aanwezig;

4. De taludhoogte bedraagt maximaal 40 m.

Indien aan deze vier voorwaarden voldaan wordt, kan het talud getoetst worden aan de hellingen voorgeschreven in tabel 6.3a van CUR 113. Wanneer aan deze voorwaarden wordt voldaan én het talud flauwer is dan de taluds voorgeschreven in deze tabel, voldoet het vergunningstalud aan de eenvoudige toets en is een gedetailleerde toets niet noodzakelijk.

1. Uit de zeefdata blijkt dat er enkele lagen zijn waarop de gemiddelde D_{15} van het zand kleiner is dan $130 \mu\text{m}$. Aan deze voorwaarde wordt dus niet voldaan.
2. Op basis van de grondschematisering in Tabel 2.1, zijn er veen- of kleilagen aanwezig. Aan deze voorwaarde wordt niet voldaan.
3. Zoals besproken in paragraaf 4.2, zijn er meerdere verwerkingsgevoelige lagen aanwezig. Aan deze voorwaarde wordt dus niet voldaan.
4. De taludhoogte in het ontwerp is 47 m. Aan deze voorwaarde wordt dus niet voldaan.

Omdat er aan verschillende voorwaarden voor verweken, stoorlagen en een horizontale gelaagde bodemstructuur niet kan worden voldaan, is een uitgebreide beoordeling van de bresvloeiing volgens CUR Aanbeveling 113 vereist.

6.3 Toets op bresvloeiing: kleilaag

Zoals besproken in hoofdstuk 2, is bij zowel sondering S04 als bij boring B04 een aanzienlijke kleilaag aangetroffen vanaf NAP -22 m. Deze kleilaag is in omliggend grondonderzoek niet aangetroffen. Hierdoor is onduidelijk waar deze kleilaag zich wel en niet bevindt en moet ervan uitgegaan worden dat deze op meerdere locaties in het wingebied aanwezig kan zijn op deze diepte. De aanwezigheid van deze kleilaag ondermijnt de stabiliteit van het talud, doordat deze als gevolg van de cohesie in de laag niet mee brest met het zand. In plaats daarvan zal het brestalud zonder gepaste maatregelen de kleilaag ondergraven, waarbij deze plotseling volledig in kan storten, wat een ongecontroleerde bres veroorzaakt.

Voor beide kleilagen geldt, op basis van de sonderingen boringen, dat deze naar verwachting relatief siltig/zandig is met een lage cohesie. Voorgesteld wordt daar waar deze laag bij het winnen wordt aangetroffen, deze in lagen van maximaal 2 m dik te verwijderen. Indien door monitoring aangetoond kan worden dat de kleilaag veilig verwijderd kan worden in lagen dikker dan 2 m, kunnen dikkere winlagen toegepast worden. Deze experimenten dienen uitgevoerd te worden buiten de oeverzone, zie paragraaf 6.6.

Dekker Groep heeft aangegeven dat de ontginning van de zandwininput in fasen zal worden uitgevoerd, waarvoor de zandwininput wordt opgedeeld in deelgebieden. Deze deelgebieden zijn nog niet bekend. Er wordt vanuit gegaan dat een deelgebied een dusdanige omvang heeft dat deze van noordelijke tot zuidelijke oeverlijn loopt. Dit is als uitgangspunt genomen voor het opstellen van winningsvoorwaarden, waarbij de voorwaarden per gebied worden toegepast.

- Per deelgebied wordt gestreefd naar een zorgvuldige en veilige werkwijze, waarbij de volgende uitgangspunten worden gehanteerd: Voor elk deelgebied wordt aanbevolen om eerst tot NAP – 22 m te winnen, zodat de aanwezigheid van de sterk zandige kleilaag binnen het betreffende deelgebied kan worden aangetoond.
- De huidige locatie van de sterk zandige kleilaag is niet voldoende in kaart gebracht. Aanvullend grondonderzoek is vereist om aan te tonen dat deze kleilaag geen horizontale spreiding heeft tot onder belendingen. Indien blijkt dat de kleilaag zich doorzet tot aan de randzone van belendingen, dient het ontwerp zo aangepast te worden dat de kleilaag niet wordt ontgraven. Voorgesteld wordt om de verspreiding van de kleilaag in het talud in kaart te brengen, zodat duidelijk is op welke locaties deze voorzichtig verwijderd moet worden.
- Bij het winnen van de sterk zandige kleilaag vanaf NAP – 22 m dient buiten de oeverzone begonnen te worden met ontginning. De reden van deze wijze van werken is dat inzicht verkregen dient te worden in het bresproces en de taludontwikkeling zonder dat belendingen bedreigd worden. Bij het verwijderen van de kleilaag dienen wekelijks peilingen uitgevoerd te worden om te kijken welke inscharingen optreden zodat hier bij de jaarlijkse winplanherziening rekening mee gehouden kan worden.

6.4 Gedetailleerde toets bresvloeiing

Voor de gedetailleerde toets wordt het winproces getoetst met behulp van het programma HMBreach. Met behulp van dit programma is bepaald vanaf welke dieptes het brestalud dient te worden onderbroken met een platberm. Vervolgens is aan de hand van de formule van Van Rhee [9] bepaald wat voor de tussenliggende laag het kritieke talud is tijdens het bressen, deze taluds worden uiteengezet in paragraaf 5.5.

Voor het uitvoeren van deze analyse is per meter diepte de D_{50} en de D_{15} van de laag gedefinieerd. Deze is bepaald aan de hand van de zeefdata van de boringen B01 tot en met B09 en de boringen G1 tot en met G6. Hierbij is voor elke laag het gemiddelde van de korrelgroottes genomen. Hier is gekozen voor de gemiddelden, omdat er per meter laagdikte slechts enkele zevingen beschikbaar zijn. Verder wordt in het programma de verhaalsnelheid van de zuigbuis standaard op 1 mm/s aangehouden. Per gedeelte van het talud is hiervoor een waarde bepaald die aangehouden dient te worden bij de uitvoering. Verder is voor alle taluds een insteekdiepte van 1 m aangehouden.

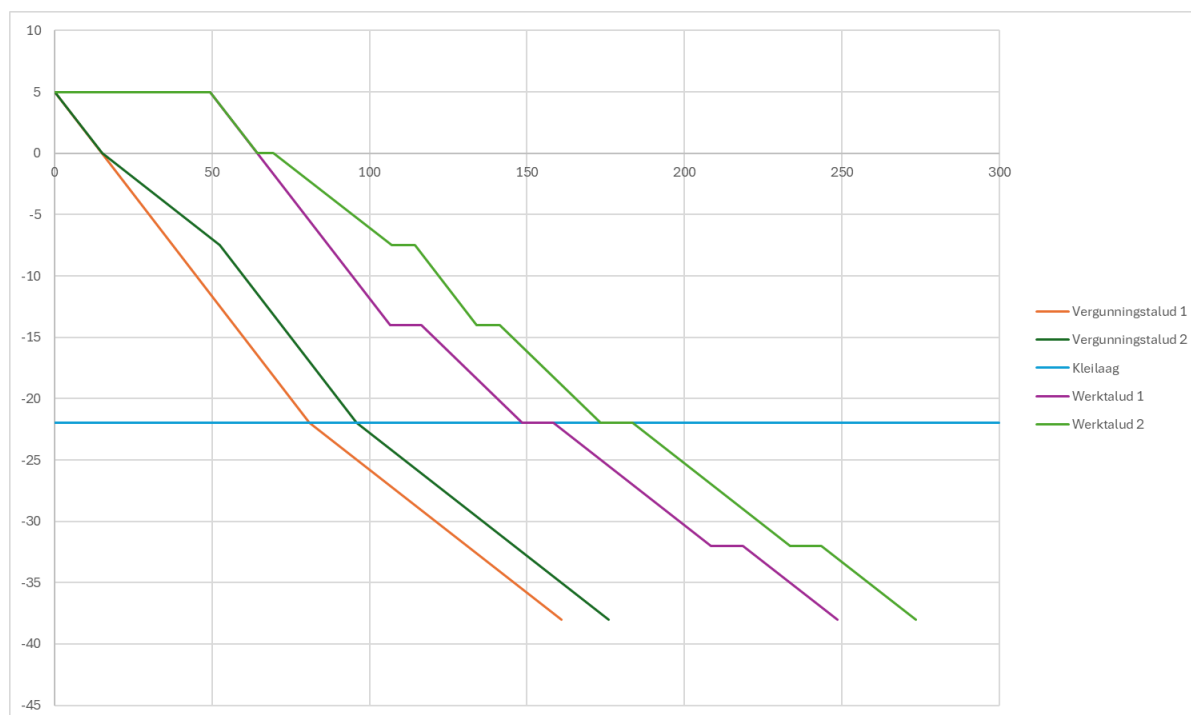
Op basis van de HMBreach sommen wordt voor het winnen van zand een werktalud voorgesteld met platbermen waarmee het winproces wordt gestuurd. Hierbij is als randvoorwaarde gesteld dat er een platberm wordt aangehouden bij aanvang van de grote kleilaag op NAP – 22 m (S04) en dat eerst tot deze diepte wordt ontgonnen, zoals eerder aangegeven in paragraaf 5.3. In Tabel 5.1 en Tabel 5.2 zijn de verschillende lagen weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de werktaluds die aangehouden dienen te worden in de gebieden corresponderend met vergunningstaluds 1 en 2, zoals weergegeven in Figuur 4.6.

Tabel 6.1: Aan te houden dieptes winlagen bij werktalud 1.

Talud	Bovenkant talud [m NAP]	Onderkant talud [m NAP]	Taludhoogte [m]	Taludhelling	Breedte platberm onderaan talud [m]
1	5	-14	19	1:3	10
2	-14	-22	8	1:4	10
3	-22	-32	10	1:5	10
4	-33	-38	5	1:5	

Tabel 6.2: Aan te houden dieptes winlagen bij werktalud 2.

Talud	Bovenkant talud [m NAP]	Onderkant talud [m NAP]	Taludhoogte [m]	Taludhelling	Breedte platberm onderaan talud [m]
1	5	0	5	1:3	5
2	0	-7,5	7,5	1:5	7,5
3	-7,5	-14	6,5	1:3	7,5
4	-14	-22	8	1:4	10
5	-22	-32	10	1:5	10
6	-33	-38	5	1:5	



Figuur 6.1: Overzicht vergunningstaluds en brestalud.

6.4.1 Voorwaarden buiten de oeverzone

Bij het winnen gelden de volgende voorwaarden buiten de oeverzone:

- Er dient gewonnen te worden in lagen en platbermen zoals gedefinieerd in Tabel 5.1 en Tabel 5.2.
- Wanneer aan een volgende laag begonnen wordt, dient er geen winning meer plaats te vinden in de bovenliggende laag. Ofwel: er wordt laagsgewijs gewonnen, waarbij meewerkend bressen van hogere lagen voorkomen dient te worden.

6.4.2 Voorwaarden binnen de oeverzone

- Binnen de oeverzone dient laagsgewijs gebaggerd te worden conform de gestelde voorwaarden, buiten de oeverzone kan ervaring worden opgedaan met grotere brestaludhoogten. Op basis hiervan kan mogelijk het ontwerp werktalud op basis van de lokale zandeigenschappen worden aangescherpt.
- Er dient een maximale insteekdiepte van 1 m aangehouden te worden.
- Er dient voldaan te worden aan de voorwaarden omtrent verwijderen van de kleilagen, zoals gesteld in paragraaf 5.3

6.5 Randzone

Conform de CUR 113 dient een randzone van twee keer de rekenputdiepte aangehouden te worden, wat zou betekenen dat een randzone van 90 m aangehouden dient te worden naar alle belendingen. Op basis van de probabilistische berekeningen kan een kleinere randzone worden aangehouden, omdat ook daarbij wordt voldaan aan de veiligheidseis.

De benodigde randzone wordt bepaald aan de hand van de 'Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing' [7]. De randzone is bepaald op basis van de eigenschappen van het talud. Hierbij geldt als verdere voorwaarde dat de som van de kansen op falen, waarbij de gecreëerde bres groter is dan de te plaatsen platberm, kleiner is dan de veiligheidseis.

Voor het bovenste talud geldt de volgende kans dat een bresvloeiing of verwekingsvloeiing optreedt:

$$P(V|ZV) = 5,21 \times 10^{-5}, \quad \beta = 3,88.$$

Op basis van formule C.5 uit [7] wordt de inscharingslengte bepaald:

$$L = 49,5 \text{ meter}$$

Hieruit volgt dat een randzone van 50 m aangehouden dient te worden.

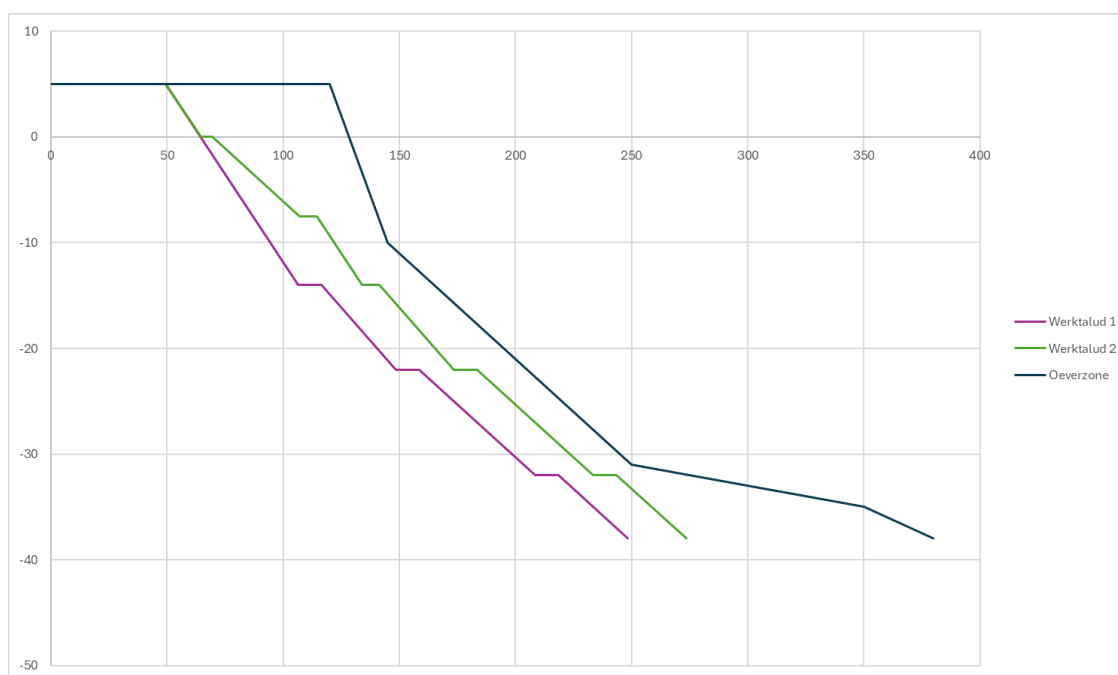
6.6 Oeverzone

Wanneer gewerkt wordt in de buurt van de oever dienen de voorwaarden te worden aangehouden die in paragraaf 6.4 zijn beschreven, naast het aanhouden van de randzone die in voorgaande paragraaf is beschreven. Dit is noodzakelijk om te voorkomen dat het vergunningstalud wordt overschreden. Buiten de oeverzone geldt dit echter niet en kan ervaring worden opgedaan met grotere brestaludhoogten, tot een maximale insteekdiepte van 5 m.

De oeverzone is de afstand vanaf de oever tot waar het talud zich natuurlijk ontwikkelt, wanneer direct tot een bepaalde diepte wordt ontgonnen. Hierbij geldt als voorwaarde dat deze zich altijd verder van de oever bevindt dan het werktalud, zodat naar het werktalud toegewerkt kan worden.

De oeverzone is diepte-afhankelijk. Buiten de oeverzone kan direct tot de betreffende diepte worden gewonnen, zonder platbermen aan te houden. Zodra binnen de oeverzone wordt gewonnen, dienen de voorwaarden uit het winplan gevolgd te worden. Figuur 6.2 geeft een grafische weergave van de oeverzone. In Tabel 6.3 is weergegeven wat de oeverzone is die minimaal aangehouden dient te worden wanneer direct tot de desbetreffende diepte wordt gewonnen.

Let wel: het oeverzone talud is geen stabiel talud. Dit mag dus niet worden aangehouden als acceptabel wintalud en dient te worden afgewerkt naar de taluds en platbermen volgens het voorgeschreven wintalud.



Figuur 6.2: Overzicht oeverzone ten opzichte van werktaluds.

Tabel 6.3: Oeverzone per diepte tot waar ontgonnen wordt.

Diepte [m NAP]	Aan te houden oeverzone [m]
5	120
0	128
-5	136
-10	145
-15	170
-22	205
-30	245
-38	380

6.7 Risicobeschouwing

Om te controleren of het ontworpen talud voldoet aan de veiligheidseis, is een risicobeschouwing uitgevoerd. Hierin is probabilistisch bepaald wat de kans van falen voor elk van de taluds is, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen zettingsvloeiing en bresvloeiing. Daarnaast wordt bepaald wat de kans is dat een optredende bres groter is dan de toelaatbare maximale bresgrootte, die gelijk is aan de randzone of de bermbreedte. Omdat overschrijding van een van deze taluds falen van het bovenste talud als gevolg heeft, is de totale kans op falen van het talud de som van de faalkansen van de individuele taluds. Een uitwerking van de risicobeschouwing is gegeven in Appendix A.

Hieruit volgt de totale kans op falen van het talud:

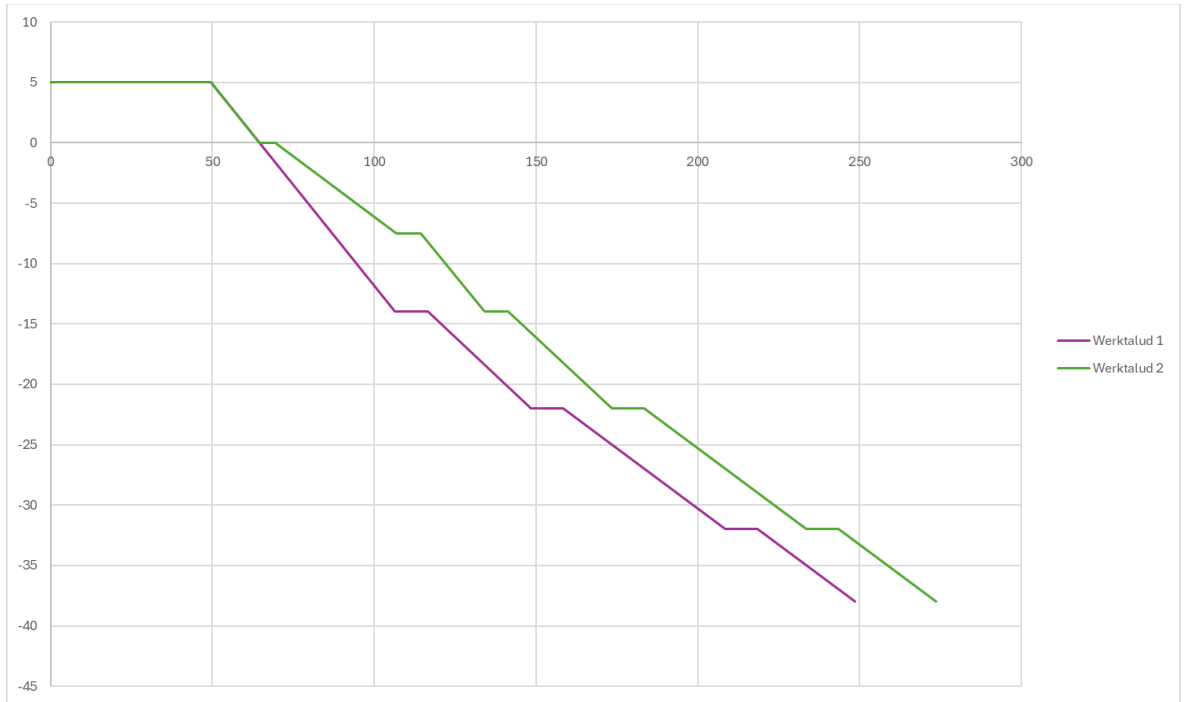
$$P_{f,put} = 3,33 \times 10^{-5}, \quad \beta = 3,99$$

In paragraaf 3.3 is besproken dat het veiligheidsniveau RC1 wordt aangehouden, wat correspondeert met een β van 3,3 en een $P_{feis/50jaar}$ van $4,83 \times 10^{-4}$. Berekend is een β van 3,99, waarmee wordt voldaan aan de veiligheidseis.

6.8 Conclusie

Bij werktalud 1, zoals weergegeven in Figuur 5.2, wordt voldaan wordt aan de veiligheidseis, onder de voorwaarde dat wordt voldaan aan de (uitvoerings-win) voorwaarden die in paragraaf 7.2 worden uiteengezet en bij aanhouden van een randzone van 50 m ten opzichte van alle belendingen.

Omdat werktalud 1 maatgevend is, betekent dit dat werktalud 2 ook voldoet aan de veiligheidseis.



Figuur 6.3: Aan te houden werktaluds

7. Analyse stabiliteit winterdijk

Als onderdeel van dit rapport wordt beschreven wat de mogelijke invloed is van de zandwinning op de stabiliteit van de naastgelegen winterdijk langs de Waal. Hierbij worden twee faalmechanismes beschouwd: macrostabiliteit en piping. De overige faalmechanismes zoals hoogte en bekleding worden niet noemenswaardig beïnvloed door de zandwinning en worden niet beschouwd in deze rapportage.

7.1 Macrostabiliteit buitenwaarts

Er dient een randzone van 50 m aangehouden te worden ten opzichte van de buitenbeschermingszone van de winterdijk waar aanwezig, en ten opzichte van de beschermingszone op de overige locaties. In paragraaf 5.6 is bepaald dat de kans op overschrijden van de randzone voldoende klein is, waarmee wordt voldaan aan de veiligheidseis gesteld in paragraaf 3.3. Verwacht mag worden dat de beschermingszone door het waterschap afdoende groot is gekozen om het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit het hoofd te bieden waarmee gesteld kan worden dat de winput geen negatief effect heeft op de buitenwaartse macrostabiliteit van de winterdijk.

7.2 Macrostabiliteit binnenwaarts

Wanneer er wordt ontgrond in het voorland door een winput kan de hydrologische weerstand afnemen. Dit kan leiden tot hogere waterdrukken in zandlagen wat kan leiden tot een lagere binnenwaartse macrostabiliteit van de waterkering. In het geohydrologisch rapport [6] wordt geconcludeerd dat in de maatgevende extreem hoogwatersituatie geen stijghoogteverschillen worden verwacht achter de winterdijk. Hieruit volgt dat de winput geen verhogend effect heeft op de waterdrukken in zandlagen, en daarmee op de binnenwaartse macrostabiliteit.

7.3 Piping

In het geohydrologisch rapport [6] wordt geconcludeerd dat in de maatgevende extreem hoogwatersituatie slechts kleine stijghoogteverschillen worden verwacht in het eerste watervoerende pakket ter plaatse van de put en dat geen stijghoogteverschillen worden verwacht achter de winterdijk. Hieruit volgt dat er geen effecten worden verwacht op de stijghoogte in het achterland van de winterdijk. Dit betekent dat de zandwinning geen negatieve effecten zal hebben op de uitgangspunten die zijn aangehouden bij het bepalen van de veiligheid van de winterdijk op het faalmechanisme piping. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de zandwinning geen negatieve effecten heeft op het faalmechanisme piping ten opzichte van de ontwerpsituatie.

8. Conclusie en voorwaarden winplan

8.1 Conclusie

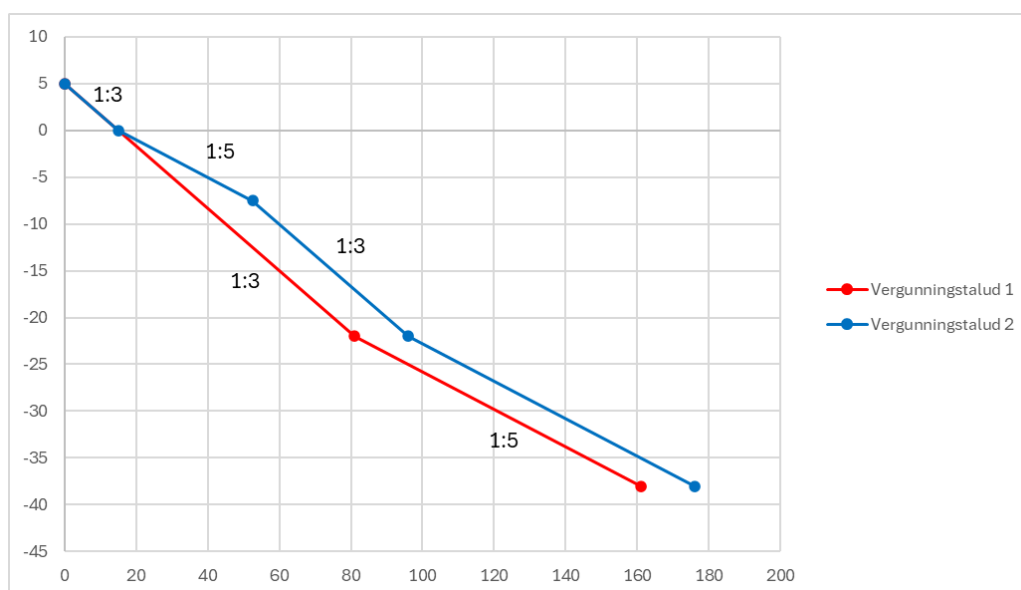
In deze rapportage is een geotechnische analyse uitgevoerd van de stabiliteit van de zandwinning in Gouverneurspolder. Hierbij zijn twee alternatieve ontwerpen beschouwd:

- De basisvariant, tot NAP -20 m, met een talud van 1:3;
- Variant delfstofwinning, tot NAP -38 m, met een talud van 1:3.

In het advies is onderscheid gemaakt tussen het vergunningstalud, wat statisch stabiel dient te zijn en niet overschreden dient te worden; en het werktalud, welke aangehouden dient te worden in het winplan om stabiele taluds die niet voorbij het vergunningstalud inscharen tijdens de zandwinning te benaderen. Het werktalud dient jaarlijks te worden geactualiseerd op basis van peilingen en ervaring opgedaan bij het winnen van zand. Het werktalud is dus een wezenlijk onderdeel van het winplan.

De resulterende vergunningstaluds zijn weergegeven in Figuur 7.1. Hierbij geldt dat voor beide alternatieven hetzelfde talud wordt geadviseerd, maar dat deze bij de basisvariant wordt begrensd op een diepte van NAP -20 m. De gebieden waar de verschillende vergunningstaluds dienen te worden toegepast zijn weergegeven in Figuur 8.2.

Ten opzichte van de initiële ontwerpen zijn taluds van 1:5 geïntroduceerd vanaf NAP -22 m bij beide taluds en tussen NAP + 0 m en NAP -7,5 m bij vergunningstalud 2. Deze taluds zijn noodzakelijk om voor een voldoende kleine kans op verweking. Daarnaast wordt geadviseerd de winning bij de variant delfstofwinning te beperken tot een diepte van NAP -38 m, omdat de laag hieronder zeer variabel is, met kleilagen en verwekingsgevoelige lagen.



Figuur 8.1: Geadviseerde vergunningstaluds.



Figuur 8.2: Verdeling vergunningsprofielen. Binnen het rood omlijnde vlak dient vergunningstalud 2 aangehouden te worden.

Aanvullend is de invloed van de zandwinning op de aanliggende winterdijk langs de Waal beschouwd. Als uitgangspunt is hierbij genomen dat de buitenbeschermingszone van de dijk niet wordt aangetast door de winput. Wanneer dit wordt aangehouden, is er geen gevaar voor de macrostabiliteit van de winterdijk. Hierbij geldt als voorwaarde dat een randzone van minimaal 50 m wordt aangehouden ten opzichte van de buitenbeschermingszone. Daarnaast dienen alle voorwaarden aan het winplan, zoals beschreven in paragraaf 8.2 aangehouden te worden.

Voor het faalmechanisme piping geldt dat in het geohydrologisch rapport van Sweco [6] is geconcludeerd dat de ontginning van de zandwinput geen gevolgen zal hebben voor de stijghoogte in het achterland van de winterdijk. Hieruit volgt dat er geen veranderingen zijn in de randvoorwaarden ten opzichte van die waarmee de dijk is ontworpen, en dat de ontginning van de zandwinput dus geen negatieve gevolgen heeft voor dit faalmechanisme.

8.2 Voorwaarden winplan

Voor de zandwinning in de Gouverneurspolder is in dit rapport geen volledig uitgewerkt winplan opgenomen, maar wel een aanzet daartoe. In deze paragraaf worden de uitgangspunten en voorwaarden voor het opstellen van het winplan beschreven, deze dienen in het winplan meegenomen te worden.

8.2.1 Profiel vergunning en werktalud

Bij de winning wordt onderscheid gemaakt tussen het gebied van de winput binnen de oeverzone en het gebied daarbuiten. De oeverzone is de afstand vanaf de oever tot waar het talud zich natuurlijk ontwikkelt, wanneer direct tot een bepaalde diepte wordt ontgonnen. Hierbij geldt als voorwaarde dat deze zich altijd verder van de oever bevindt dan het werktalud, zodat naar het werktalud toegewerkt kan worden. De aan te houden oeverzone is weergegeven in Figuur 8.3. De precieze afstand van de oeverzone op bepaalde dieptes is weergegeven in Tabel 6.3. Binnen deze oeverzone gelden strengere voorwaarden aan de zandwinning, omdat een vloeijing in deze zone kan leiden tot overschrijden van het vergunningstalud. Buiten deze zone kan ervaring worden opgedaan met grotere brestaludhoogten en kan kennis opgedaan worden over de taludontwikkeling bij bepaalde insteekdieptes. De lodingsgegevens en windata van het gebied dienen jaarlijks geanalyseerd te worden. Aan de hand van deze analyse kunnen de voorwaarden uit het winplan jaarlijks worden geëvalueerd en waar nodig aangepast worden. Op deze manier wordt een optimale ontwikkeling van de winput gerealiseerd.

In onderstaande paragrafen worden de aan de zandwinning gestelde voorwaarden weergegeven, hierbij is onderscheid gemaakt tussen algemene voorwaarden; voorwaarden omtrent de kleilaag op een diepte vanaf NAP – 22 m; en voorwaarden binnen de oeverzone. De algemene voorwaarden en de voorwaarden omtrent de kleilaag zijn van toepassing binnen de gehele winput, ook buiten de oeverzone.

8.2.2 Algemene voorwaarden

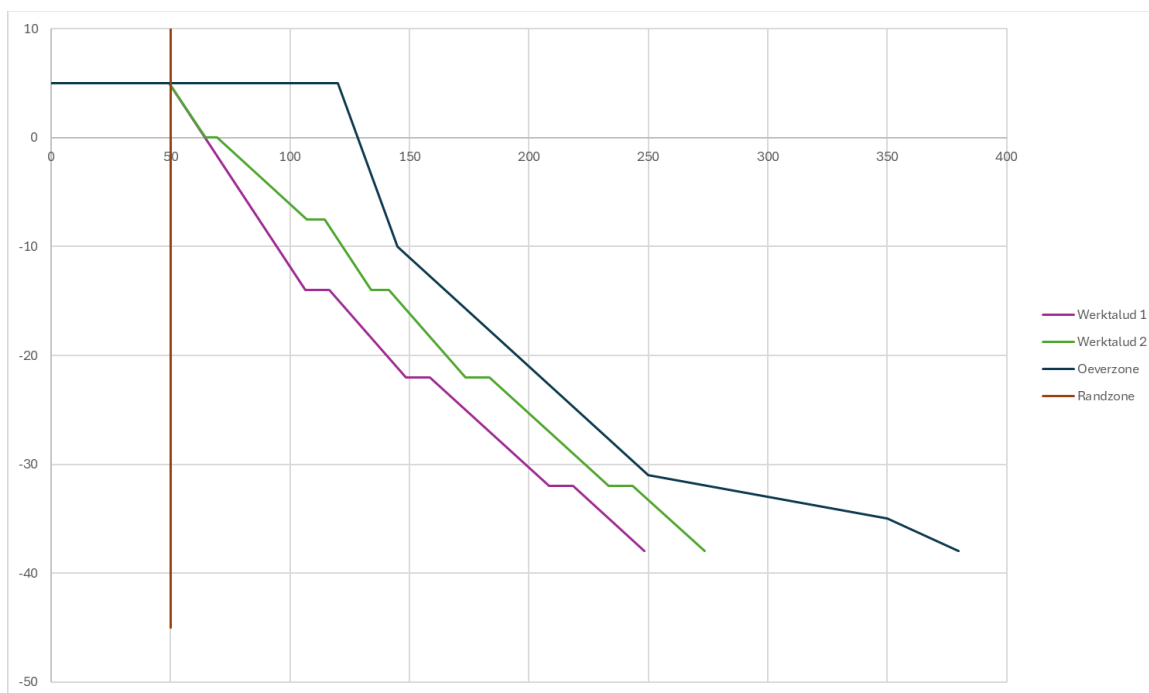
- Er wordt gewerkt in deelgebieden, welke duidelijk in het winplan zijn gedefinieerd. Gestelde voorwaarden zijn van toepassing per deelgebied. Er wordt vanuit gegaan dat een deelgebied een dusdanige omvang heeft dat deze van noordelijke tot zuidelijke oeverlijn loopt.
- Er dient een randzone van 50 m aangehouden te worden ten opzichte van alle belendingen.
- Het winplan dient jaarlijks herzien te worden op basis van lodinggegevens en windata.
- Gronddepots dienen geplaatst te worden op een afstand van ten minste 5 x de hoogte van de kruin van het gronddepot ten opzichte van het minimale waterniveau.

8.2.3 Voorwaarden omtrent kleilaag (ca. NAP -22 m)

- Voor elk deelgebied wordt aanbevolen om eerst tot NAP – 22 m te winnen, zodat de aanwezigheid van de sterk zandige kleilaag binnen het betreffende deelgebied kan worden aangetoond.
- Indien de sterk zandige kleilaag aanwezig is, dient deze volledig ontgraven te worden voordat de onderliggende zandlaag wordt ontgonnen.
- De huidige locatie van de sterk zandige kleilaag is niet voldoende in kaart gebracht. Aanvullend grondonderzoek is vereist om aan te tonen dat deze kleilaag geen horizontale spreiding heeft tot onder belendingen. Indien blijkt dat de kleilaag zich doorzet tot aan de randzone van belendingen, dient het ontwerp zo aangepast te worden dat de kleilaag niet wordt ontgraven.
- Bij het winnen van de sterk zandige kleilaag vanaf NAP –22 m dient in het midden van het deelgebied begonnen te worden en naar de oevers toegewerkt te worden, waarbij in lagen van 2 m gewerkt wordt. Indien door monitoring aangetoond kan worden dat de kleilaag veilig verwijderd kan worden in lagen dikker dan 2 m, kunnen dikkere winlagen toegepast worden.
- Bij het verwijderen van de kleilaag dienen wekelijks peilingen uitgevoerd te worden om te monitoren welke inscharingen optreden zodat hier bij de jaarlijkse winplanherziening rekening mee gehouden kan worden.

8.2.4 Voorwaarden binnen oeverzone

- Binnen de oeverzone dient laagsgewijs gebaggerd te worden conform de gestelde voorwaarden.
- De zandwinning dient plaats te vinden volgens het werktalud zoals weergegeven in Figuur 8.3. De bijbehorende hoogtes van de taluds zijn opgenomen in Tabel 8.1 (werktalud 1) en Tabel 8.2 (werktalud 2). In Figuur 8.2 is aangegeven waar werktalud 2 van toepassing is.
- Aan de onderkant van elk talud dient een platberm met een breedte zoals gedefinieerd in de tabellen aangebracht te worden.
- Per deelgebied geldt dat wanneer aan een volgende laag begonnen wordt, er geen winning meer plaatsvindt in de bovenliggende laag.
- Er dient een maximale insteekdiepte van 1 m aangehouden te worden.



Figuur 8.3: Aan te houden werktaluds ten opzichte van de randzone en oeverzone.

Tabel 8.1: Aan te houden dieptes winlagen bij werktalud 1.

Talud	Bovenkant talud [m NAP]	Onderkant talud [m NAP]	Taludhoogte [m]	Taludhelling	Breedte platberm onderaan talud [m]
1	5	-14	19	1:3	10
2	-14	-22	8	1:4	10
3	-22	-32	10	1:5	10
4	-33	-38	5	1:5	

Tabel 8.2: Aan te houden dieptes winlagen bij werktalud 2.

Talud	Bovenkant talud [m NAP]	Onderkant talud [m NAP]	Taludhoogte [m]	Taludhelling	Breedte platberm onderaan talud [m]
1	5	0	5	1:3	5
2	0	-7,5	7,5	1:5	7,5
3	-7,5	-14	6,5	1:3	7,5
4	-14	-22	8	1:4	10
5	-22	-32	10	1:5	10
6	-33	-38	5	1:5	

Appendix A

Risicobeschouwing

A.1 Inleiding

Een risicobeschouwing wordt uitgevoerd om te bepalen of tijdens de zandwinning wordt voldaan aan de veiligheidseis die is beschreven in paragraaf 3.3. Hiertoe wordt probabilistisch bepaald wat de kans op optreden is van de faalmechanismen zettingsvloeiing en bresvloeiing. Deze analyse wordt gedaan voor elk van de taludhoogtes die zijn weergegeven in Tabel 5.1, waarbij de uiteindelijke faalkans de som is van de individuele faalkansen per talud. Voor de risicobeschouwing is werktalud 1 maatgevend, daarom is alleen voor dit talud deze analyse uitgevoerd.

Om tot een veilig talud te komen, wordt de kritieke helling bepaald welke tot een acceptabel veiligheidsniveau komt. Deze taluds kunnen afwijken van het talud in het vergunningstalud. Dit komt doordat het talud in het vergunningstalud statisch stabiel is beoordeeld, dus in een situatie waarin geen zand wordt gewonnen. Tijdens het zandwinnen wordt per definitie instabiliteit geïntroduceerd in het proces, met als gevolg dat een kritisch talud in die situatie flauwer kan zijn dan dat in het vergunningstalud. In het winplan en tijdens de uitvoering dient gegarandeerd te worden dat het kritische werktalud zoals beschreven in deze paragraaf wordt aangehouden, dus niet het vergunningstalud. Het vergunningstalud mag immers onder geen beding overschreden worden.

Voor elk van de taluds is de kans bepaald dat een vloeiing plaatsvindt, waarbij deze een bres veroorzaakt die groter is dan de toelaatbare inscharingslengte. De bepaling van de verschillende kansen, die samen de totale kans op falen vormen, zijn in de volgende paragrafen weergegeven.

A.2 Kans op zettingsvloeiing

De kans op optreden van zettingsvloeiing is bepaald aan de hand van de 'Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing' [7]. Hierbij is voor het bepalen van de waarde van $\psi_{5m.kar}$ uitgegaan van de sonderingen S01-S06. Net als in paragraaf 5.4 is de gemiddelde D_{50} van de verschillende taluds bepaald uitgaande van een lognormale verdeling van een regionale proevenverzameling.

Aan de hand van de 'Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing' [7] wordt vervolgens de overschrijdingskans van een toelaatbare inscharingslengte bepaald en wordt de kans op overschrijding van de toelaatbare inscharingslengte als gevolg van zettingsvloeiing bepaald.

De aangehouden korrelgroottes en de hieruit volgende waardes voor $\psi_{5m.kar}$ en de kans op zettingsvloeiing zijn per talud weergegeven in Tabel A.1.

Tabel A.1: Kans op zettingsvloeiing per talud

Talud	$\psi_{5m.kar}$	Taludhelling [1:x]	D50_gem [μm]	VC_reg D50	D15_gem [μm]	VC_reg D15	P(ZV)
1	-0,0738	3	470,38	0,26	232,9	0,21	4,85E-05
2	-0,0902	4	424,55	0,23	227,89	0,11	1,6E-06
3	-0,0368	5	504,92	0,17	251,09	0,11	9,3E-07
4	-0,0493	5	399,57	0,23	154,79	0,32	1,17E-07

A.3 Van Rhee

Voor elk talud is op basis van de methode van Van Rhee [9] het kritieke talud bepaald dat minimaal aangehouden dient te worden tijdens de zandwinning. Door een Monte Carlo analyse toe te passen op deze methode, is probabilistisch de overschrijdingskans van een 1:x talud bepaald bij een insteekdiepte H_{init} . Voor alle taluds is een insteekdiepte van 1 m aangehouden in de berekeningen. Per talud zijn het kritieke, veilige talud en de kans op onbeheerst bressen bij het betreffende talud weergegeven in Tabel A.2.

Tabel A.2: Kans op onbeheerst bressen per talud

Talud	Kritieke helling [1:x]	P(Bres) (insteekdiepte 1 m)	β
1	3	4,00 E-6	4,47
2	4	1,36 E-5	4,20
3	4	0	
4	5	0	

A.4 Totale faalkans talud

Zoals gesteld geldt daarnaast de eis dat de som van de faalkansen van elk van de taluds moet voldoen aan de totale veiligheidseis. Deze kans op falen wordt bepaald door de som van de kans op falen, zoals bepaald in paragrafen A.2 en A.3, te vermenigvuldigen met de kans op overschrijden van de maximaal acceptabele bresgrootte, in dit geval gelijk aan de aangehouden bermbreedte. Het resultaat van deze berekeningen is weergegeven in Tabel A.3.

Tabel A.3: Kans op falen per talud.

Talud	P(F)	β
1	2,2525E-05	4,08
2	9,9593E-06	4,27
3	6,7954E-07	4,83
4	5,2168E-08	5,32

Hieruit volgt de totale kans op falen van het talud:

$$P_{f,put} = 3,33 \times 10^{-5}, \quad \beta = 3,99$$

In paragraaf 3.3 is besproken dat het veiligheidsniveau RC1 wordt aangehouden, wat correspondeert met een β van 3,3 en een $P_{\text{feis}/50\text{jaar}}$ van $4,83 * 10^{-4}$. Berekend is een β van 3,99.

Dit betekent dat bij werktalud 1, zoals weergegeven in Figuur 5.2, voldaan wordt aan de veiligheidseis ten opzichte van zowel de winterdijk als andere belendingen, onder de voorwaarde dat wordt voldaan aan de (uitvoerings-win) voorwaarden die in paragraaf 7.2 worden uiteengezet en bij aanhouden van een randzone van 50 m ten opzichte van alle belendingen.