

Veiligheidsanalyse Waterkeringen

Aanpassing Waterhuishouding Waalwijk



Veiligheidsanalyse
Ref.: 1604719A06-R19-100
Versie Definitief
15 mei 2019

Waterschap Brabantse Delta

Opdrachtgever Waterschap Brabantse Delta
Contactpersoon Jan-Willem Baaijens, Ron Nouws
Adres Bouvignelaan 5, Breda

RPS advies- en ingenieursbureau bv

Auteur Yoeri Jongerius
Projectleider Wiebe de Haan
Gecontroleerd door Jeroen van Mechelen
Projectreferentie 1604719A06-R19
Versie 2.0
Totaal aantal pagina's 19

Handtekening



Handtekening



Akkoord Jeroen van Mechelen
Adviseur Waterkeringen

Akkoord Wiebe de Haan
Projectleider

Versie	Omschrijving	Rapport datum
1.0	Concept 1.0 document	01-03-2019
1.1	Concept (smalle dam)	19-04-2019
2.0	Definitief	15-05-2019

Dit rapport is vertrouwelijk. Geen enkel deel van dit rapport mag aan derden openbaar worden gemaakt zonder schriftelijke toestemming van RPS advies- en ingenieursbureau bv of van de opdrachtgever. Alleen aan het originele complete rapport kunnen rechten worden ontleend. Dit rapport mag UITSLUITEND in zijn geheel worden gereproduceerd.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
1.1	Beschrijving huidige situatie	4
1.2	Beschrijving toekomstige situatie	4
1.3	Scope en leeswijzer	6
2	REGIONALE WATERKERING.....	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Uitgangspunten	7
2.2.1	Geotechnische uitgangspunten	7
2.2.2	Geometrie.....	9
2.2.3	Hydraulische randvoorwaarden	10
2.2.4	Uitgangspunten damwand	10
2.2.5	Overige uitgangspunten	12
2.3	Ontwerpaanpak	13
2.4	Analyse faalmechanismen	13
2.4.1	Hoogte	13
2.4.2	STBI	14
2.4.3	STBU	14
2.4.4	STPH	14
2.4.5	STMI	15
2.5	Analyse faalmechanismen bij leidingbreuk	15
2.5.1	Hoogte	15
2.5.2	STBI	15
2.5.3	STBU	15
2.5.4	STPH	16
2.5.5	STMI	16
2.6	Conclusie.....	16
2.6.1	Referentieontwerp	16
2.6.2	Aandachtspunten	16
2.6.3	Risico's ten aanzien van uitvoering.....	17
3	PRIMAIRE WATERKERING	18
3.1	Gemaal.....	18
3.2	Aanleg dam	18
4	REFERENTIES	19

BIJLAGEN

1. BEREKENINGEN MACROSTABILITEIT	I
2. BEREKENINGEN HOOGTE	II
3. BEREKENINGEN DAMWAND	III

1 INLEIDING

Het Waterschap Brabantse Delta (hierna: WSBD) is voornemens om de waterhuishouding rondom Waalwijk aan te passen. Ten gevolge van deze aanpassing wordt het Zuiderkanaal afgedamd en wordt het bij het watersysteem van het bedrijventerrein Haven 7 getrokken. Tevens wordt het waterpeil in dit deel van het Zuiderkanaal verlaagd. De voorliggende veiligheidsanalyse onderbouwt de veiligheid van de waterkeringen die betrekking hebben op het referentieontwerp (hierna: RO) van het project 'Aanpassing waterhuishouding Waalwijk'.

1.1 Beschrijving huidige situatie

Het huidige Zuiderkanaal staat via het Oude Maasje in verbinding met de Bergsche Maas. Het Oude Maasje wordt bij een waterstand van NAP +1,50 m afgesloten van de Bergsche Maas. De huidige regionale en primaire waterkering zijn weergegeven in figuur 1-1. De huidige regionale kering voorkomt bij verhoogde waterstanden op het Zuiderkanaal dat het achterland overstroomt. De regionale kering ten oosten van de aan te leggen dam voldoet op dit moment niet aan de norm [Ref. 16].



figuur 1-1: locatie gemaal en dam

1.2 Beschrijving toekomstige situatie

In het voorkeursalternatief (hierna: VKA) wordt het zuiderkanaal afgedamd en wordt het waterpeil achter de aan te leggen dam verlaagd. Ter plaatsen van de aan te leggen dam worden twee nieuwe gemalen

gerealiseerd welke de primaire waterkering zullen kruisen, derhalve dienen deze gemalen als waterkerend kunstwerk te worden ontworpen conform de meest recente versie van het Ontwerp Instrumentarium 2014 (OI2014) [Ref. 17]. In het VKA is gekozen voor een integrale oplossing met een dam en een gemaal (met twee pompen) op dezelfde locatie in huidige Zuiderkanaal. De belangrijkste dimensies van de dam zijn weergegeven in tabel 1-1 en tevens zijn twee impressies weergegeven in figuur 1-2. Voor meer informatie wordt verwezen naar het VO-gemalen [Ref. 20].

De gemalen staan binnen de beschermingszone van de regionale waterkering waardoor de gemalen tevens niet-waterkerende objecten (hierna: NWO) zijn ten aanzien van de nieuwe regionale waterkering (de dam). De verstoringszone van het gemaal en het bijbehorende leidingwerk zijn binnen het beoordelingsprofiel van de regionale waterkering gelegen. Derhalve is een vervangende waterkering (damwand en de gemaalconstructie) opgenomen in het referentie ontwerp, zodat in het geval dat de leiding faalt niet direct een waterveiligheidsprobleem ontstaat. Onderstaand zijn beide definities toegelicht:

Verstoringszone

Door de aanwezigheid van een NWO (in dit geval het gemaal en benodigde leidingen) of een calamiteit aan het NWO kan er sprake zijn van verslechtering van de waterkerende functie in een bepaalde gebied rondom de NWO, welke de verstoringszone wordt genoemd. De verstoringszone van de leidingen dient bepaald te worden conform bijlage A.2 van de NEN3651 [Ref. 13].

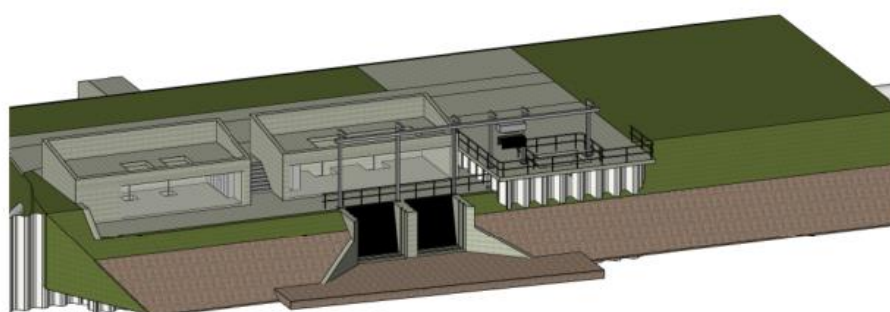
Beoordelingsprofiel

Het invloedsprofiel van de waterkering is de zone waarbinnen de invloed van een bepaald faalmechanisme aanwezig is. Het beoordelingsprofiel is de contourlijn van de verzameling van invloedsprofielen voor de relevante faalmechanisme.

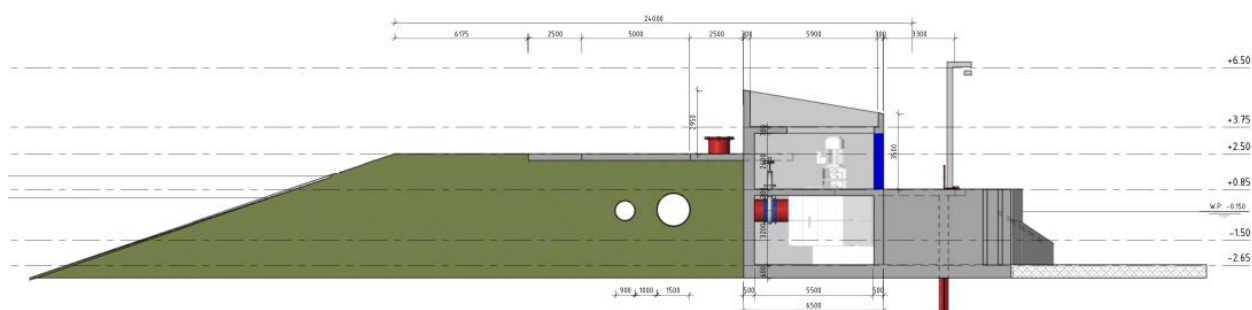
In voorliggende rapportage wordt de waterveiligheid van de dam aangetoond. In bovenstaand figuur 1-1 is de locatie van de dam en gemalen weergegeven. De regionale waterkering aan de oostzijde van de aan te leggen dam zal worden afgewaardeerd.

tabel 1-1: dimensies dam [Ref. 20]

	Afmeting [m]
Kruin van de dam	circa 29
Dijkbasis van de dam	circa 47



3D Weergave



figuur 1-2: impressie integraal ontwerp dam en gemaal [Ref. 20].

1.3 Scope en leeswijzer

Voorliggende rapportage beschrijft de uitgangspunten en resultaten van berekeningen die zijn uitgevoerd om de veiligheid van de waterkeringen te onderbouwen. Het detailniveau van de berekeningen is passend bij de status van een referentie ontwerp. Daarom zijn er nog ontwerpaspecten die in een vervolgfase van het ontwerp nader vastgesteld of uitgedetailleerd dienen te worden. Voor de regionale waterkering is in hoofdstuk 2 een analyse uitgevoerd op de volgende faalmechanismen: hoogte (HT), binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU), piping (STPH) en microstabiliteit (STMI). Overige relevante faalmechanismen en aansluitingen met de bestaande keringen dienen in een vervolgfase van het ontwerp uitgewerkt te worden. Voor het gemaal is in hoofdstuk 3 een kwalitatieve beschouwing opgenomen.

2 REGIONALE WATERKERING

2.1 Inleiding

Voor het project dient een dam aangelegd te worden in het Zuiderkanaal. Deze dam wordt als regionale waterkering genormeerd (IPO klasse III) en volgens de bijbehorende leidraden ontworpen. In voorliggend hoofdstuk zijn de ontwerpberekeningen gepresenteerd om de veiligheid van de aan te leggen dam aan te tonen.

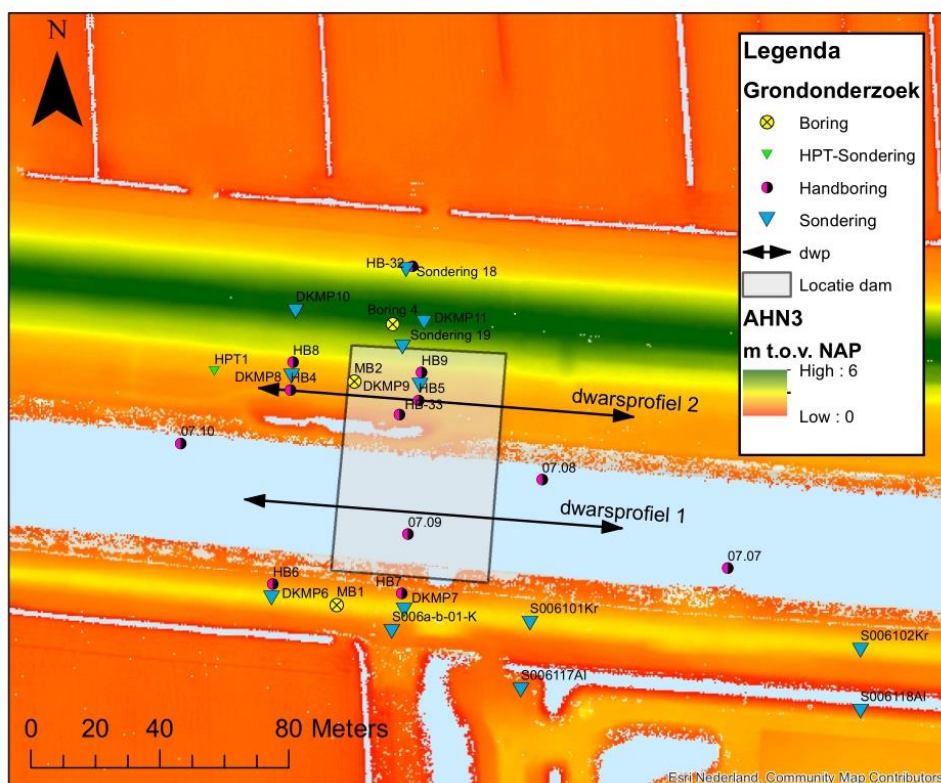
2.2 Uitgangspunten

In onderstaande paragrafen zijn de gehanteerde uitgangspunten vastgelegd. De uitgangspunten zijn in algemene zin gebaseerd op de 'Uitgangspuntennotitie Verbetering regionale keringen' [Ref. 5] zoals deze is vastgesteld door het bestuur van WSBD.

2.2.1 Geotechnische uitgangspunten

2.2.1.1 Grondonderzoek

Het beschikbare grondonderzoek is weergegeven in figuur 2-1. De resultaten van het onderzoek zijn door WSBD aangeleverd en vervolgens gehanteerd voor het opstellen van de ondergrondschematisatie. Specifiek voor dit project is grondonderzoek uitgevoerd door Fugro (DKMP 6 t/m 11, HB4 t/m 9, MB1 & MB2). Het overige onderzoek is afkomstig uit het geotechnisch archief van WSBD.



figuur 2-1: beschikbaar grondonderzoek en hoogteligging locatie dam

2.2.1.2 Bodemopbouw

De bodemhoogte van het Zuiderkanaal ligt op circa NAP -1,85 m (zie paragraaf 2.2.2.1). Uit het grondonderzoek volgt een zandpakket rond de NAP -2,0 m. Hierboven ligt een dunne laag veen (circa 0,50 m) en klei. In het referentieontwerp is ervan uitgegaan dat de slappe lagen ter plaatse van het gemaal en het zuiderkanaal (dwarsprofiel 1) worden afgegraven om een zanddijk op een zandondergrond te creëren. Hiermee wordt het risico op piping uitgesloten en is ook voorzien ten behoeve van de fundering van het gemaal. Ter plaatsen van dwarsprofiel 2 is dit niet voorzien. Daarnaast is een kleibekleding met een dikte van 1,0 m aangehouden in het RO. De ondergrondschematisatie is opgenomen in tabel 2-1 en tabel 2-2. Aan de buitenzijde van de dam is aanvullend een halve meter veen meegenomen, hetgeen uit het grondonderzoek volgt.

tabel 2-1: geschematiseerde bodemopbouw (t.p.v. dwarsprofiel 1)

Grondsoort	Dikte [m]	Bovenkant laag [NAP+m]	Onderkant laag [NAP+m]	Onderzoek
Dijksmateriaal klei (aan te brengen)		+2,50	-1,85	
Dijksmateriaal zand (aan te brengen)	1,00	+1,50	-2,40	
Zand	7,60	-2,40	-10,0	HB6

tabel 2-2: geschematiseerde bodemopbouw (t.p.v. dwarsprofiel 2)

Grondsoort	Dikte [m]	Bovenkant laag [NAP+m]	Onderkant laag [NAP+m]	Onderzoek
Dijksmateriaal klei (aan te brengen)	1,00	+2,50	-1,50	
Klei, zandig	3,00	+1,50	-1,50	MB2
Veen	0,80	-1,50	-2,30	MB2
Zand	7,70	-2,30	-10,0	MB2

2.2.1.3 Sterkteparameters

De benodigde geotechnische parameters voor de stabiliteitsanalyse zijn afkomstig uit de regionale proevenverzameling van WSBD [Ref 8]. Voor een aantal grondsoorten zijn binnen deze verzameling geen sterkteparameters afgeleid, maar zijn deze gebaseerd op de Eurocode [Ref. 2]. Een onvolkomenheid is geconstateerd bij de hoek van inwendige wrijving (ϕ) van het zand, deze is in de proevenverzameling niet toegepast op de tangens van ϕ maar direct op ϕ . Daarnaast is aan dijksmateriaal (klei) een hoek van inwendige wrijving van 25 graden en een cohesie van 1,0 kPa toegekend. Dit zijn realistische waarden die ook in lijn liggen met de proevenverzameling. In tabel 2-3 zijn de gehanteerde (aangepaste) parameters weergegeven.

tabel 2-3: gehanteerde sterkteparameters (rekenwaardes)

Grondsoort	Herkomst	γ_{verz} [kN/m ³]	γ_{verz} [kN/m ³]	ϕ'_d [°]	c'_d [kPa]
Dijksmateriaal klei	[Ref. 8]	17,6	17,6	25,0	1,0
Dijksmateriaal zand ¹	[Ref. 2]	18,0	20,0	26,7	0,0
Zand	[Ref. 2]	18,0	20,0	26,7	0,0
Veen, ondiep, binnenteen	[Ref. 8]	10,5	10,5	26,7	1,1
Veen, ondiep, kruin	[Ref. 8]	10,8	10,8	26,7	0,6
Klei, zandig	[Ref. 8]	18,1	18,1	25,0	0,0

1: Aan

dijksmateriaal (zand) zijn de sterkteparameters en gewichten toegekend van zand" zoals vastgesteld in [Ref. 8].

2.2.2 Geometrie

Voor een overzicht van de hoogteligging van de projectlocatie wordt verwezen naar figuur 2-1.

2.2.2.1 Kanaalbodem

Inmetingen van de waterbodem uit [Ref.12] zijn geanalyseerd, om de vaste bodem hoogte ter plaatse van de dam te bepalen. De locatie van dam ligt tussen de inmetingen 'DP103' en 'DP104'. De maximale hoogte van de vaste bodemhoogte die uit deze profielen volgt is NAP -1,88 m, deze hoogte is gehanteerd aan de buitenzijde (westzijde). Aan de binnenzijde (oostzijde) is een bodemhoogte gehanteerd van NAP -2,00 m.

2.2.2.2 Ontwerpprofiel

De veiligheidsanalyse is uitgevoerd met een ontwerpprofiel. Dit is het profiel dat na optreden van restzettingen aanwezig dient te zijn. Daarnaast dient het profiel aan leggerafmetingen (tabel 2-4) en aan de huidige hoogte van de regionale kering (NAP +2,50 m) te voldoen. De hoogte van het ontwerpprofiel is als volgt opgebouwd: ontwerppeil (zie paragraaf 2.2.3.1) + verwachte autonome bodemdaling + golfoverslaghoogte (zie paragraaf 2.4.1).

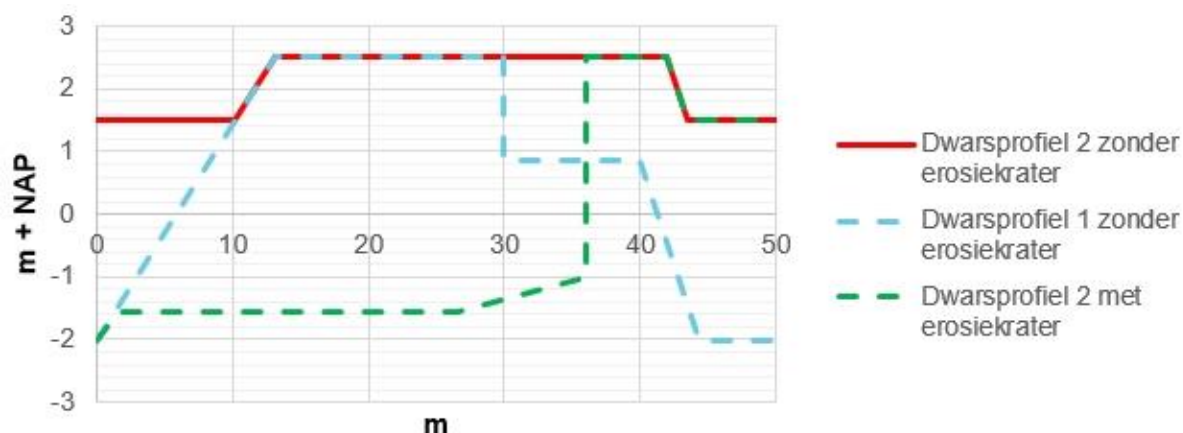
De levensduur van de te ontwerpen dam bedraagt 50 jaar conform [Ref. 5]. De vervangende waterkering dient ontworpen te worden voor een levensduur van 100 jaar, overeenkomstig met de levensduur van een kostbare constructie (een gemaal / damwand). Op het Zuiderkanaal is echter sprake van een gereguleerd peil, daarom is gezamenlijk met WSBD besloten om het ontwerppeil bij een levensduur van 50 jaar gelijk te stellen aan het ontwerppeil bij een levensduur van 100 jaar.

Volgens de klimaateffect atlas [Ref. 6] is de verwachte bodemdaling tot 2050 minder dan 0,03 m. Daarom wordt 0,05 m meegenomen ter compensatie van maximaal te verwachten autonome bodemdaling.

tabel 2-4: legger afmetingen

	Binnentalud	Buitentalud	Dijktafelhoogte	Kruinbreedte
Legger afmetingen	[V:H]	[V:H]	[m + NAP]	[m]
	1:3	1:3	2,15	3

Op basis van het VO gemalen zijn dwarsprofielen van de dam weergegeven in figuur 2-2 [Ref. 20]. De onderkant van de grootste persleiding (Ø 1500 mm) ligt op NAP -0,89 m. Op basis hiervan is de diepte van de erosiekrater bepaald aan de hand van de NEN-3651 [Ref. 13]. De diepte van de erosiekrater is hiermee vastgesteld op NAP -1,57 m. De erosiekrater ter hoogte van de damwand is geschematiseerd op een hoogte van NAP -1,00 m. De dwarsprofielen zijn weergegeven in figuur 2-2.



figuur 2-2: gehanteerde dwarsprofielen

2.2.3 Hydraulische randvoorwaarden

2.2.3.1 Ontwerppeil

Het ontwerppeil is toegepast bij de stabiliteitsanalyse. De hoogte van het ontwerppeil is als volgt opgebouwd:

- toetspeil (NAP +1,55 m);
- robuustheidstoets (0,30 m op basis van [Ref. 5]);
- lokale opwaaiing/scheefstand (0,13 m op basis van [Ref. 9], uitvoerpunt = OM3);
- ontwerppeil = NAP +1,98 m.

2.2.3.2 Polderpeilen

Het nieuwe peil achter de aan te leggen dam is vastgesteld op NAP -0,30 m. Deze waterstand wordt aan de binnendijkse zijde gehanteerd bij de ontwerpberoeeningen.

2.2.3.3 Schematisatie freatische lijn

Het verloop van de freatische lijn is lineair aangehouden tussen het snijpunt van het ontwerppeil met het buitentalud (dan wel de damwand in het geval van een erosiekrater ten gevolge van leidingbreuk) en maaiveld aan de polderzijde.

2.2.4 Uitgangspunten damwand

In de lengte van de dam in het Zuiderkanaal ligt een damwand. Deze damwand is een vervangende waterkering, die de waterkerende functie van de dam moet overnemen in het geval van een calamiteit in de vorm van een leidingbreuk. Bij een leidingbreuk kan het dijklichaam aan de buitenzijde van de damwand weg eroderen. Deze situatie, na een val van het waterpeil na een hoog water, is maatgevend voor de stabiliteit van de damwand.

Het maatgevende dwarsprofiel voor deze berekening is profiel 2, zie figuur 2-2. Dit profiel ligt naast de gemeelconstructie. Het profiel aan de buitenzijde van de kering in geval van een calamiteit bestaat uit een erosiekrater tussen de leiding en de damwand. Voor de gehanteerde profiel schematisatie wordt verwezen naar figuur 2-2.

De damwand valt in risicoklasse 1 (RC 1). Deze komt op basis van de betrouwbaarheidsindex (β) overeen met CUR Klasse II [Ref. 18]. Voor de damwand wordt een maximale verplaatsing van 100 mm gehanteerd. De technische levensduur van de damwand is vastgesteld op 100 jaar. De invloed van corrosie is bepaald op basis van de CUR [Ref. 18]. Hier wordt verder op ingegaan in paragraaf 2.2.4.2.

Het maatgevende waterpeil aan de binnenzijde is NAP + 2,50 m. Dit schematiseert een volledig verzadigde grond aan de binnenzijde van de damwand. De waterstand bij hoog water aan de buitenzijde is NAP + 1,98 m. Dit is het ontwerppeil. De waterstand na de val van het peil, tijdens de maatgevende situatie, is NAP + 0,67 m. Dit komt overeen met het gemiddelde hoog water in de Bergse Maas.

De bodemopbouw ter plaatse van het maatgevende profiel is geschematiseerd in tabel 2-2. De sterkteparameters zijn gebaseerd op [Ref. 8] en staan weergegeven in tabel 2-5. De wandwrijvingshoek is bepaald volgens de CUR [Ref. 18].

tabel 2-5: sterkteparameters t.b.v. stabiliteitsanalyse damwand

Grondsoort	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ'_{kar} [°]	c'_{kar} [kPa]	δ [°]
Dijksmateriaal klei	17,6	17,6	28,3	1,0	9,4
Klei, zandig	18,1	18,1	28,3	0,0	9,4
Veen	10,5	10,5	30,0	1,5	0,0
Zand	18,0	20,0	30,0	0,0	20,0

2.2.4.1 Belastingen

In de maatgevende situatie zijn er geen aanvullende belastingen die de stabiliteit van de damwand beïnvloeden. In dagelijkse omstandigheden is een verkeersbelasting wel mogelijk, maar tijdens maatgevende omstandigheden met een geërodeerde waterkering niet.

2.2.4.2 Eigenschappen oplossingsrichting

Corrosie gedurende de levensduur reduceert de sterkte eigenschappen van de damwand. Deze factor is bepaald volgens de CUR 166 [Ref. 18], zie bijlage 1. Volgens deze methode moet er tijdens de levensduur van de damwand rekening worden gehouden met 4,4 mm corrosie. De reductiefactor voor het maximum moment en de buigstijfheid is 0,70. De damwand is onverankerd.

2.2.4.3 Berekeningen

In de berekening van de stabiliteit van de damwand zijn de 4 opeenvolgende fases geschematiseerd, zie tabel 2-6. Fase 4 is de heersende fase tijdens de maatgevende situatie.

De UGT wordt berekend in *stap* 6.1, 6.2, 6.3 en 6.4 uit de CUR en de BGT in *stap* 6.5 uit de CUR [Ref. 18]. De UGT is maatgevend voor de optredende momenten en de BGT is maatgevend voor de optredende verplaatsing.

tabel 2-6: fasering stabiliteitsanalyse damwand

fase	toelichting
1. Initiële dam	Initiële situatie met kering intact en gemiddelde hoogwaterstand.
2. Hoog water initiële dam	Initiële situatie met kering intact en maatgevende hoogwaterstand.
3. Hoog water	Situatie bij calamiteit met geërodeerde kering en maatgevende hoogwaterstand.

4. Val na hoog water	Situatie bij calamiteit met geërodeerde kering, waterpeil na val buitenwaarts en volledig verzadigde grond binnenwaarts.
----------------------	--

Resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in paragraaf 2.5.3.

2.2.5 Overige uitgangspunten

2.2.5.1 Stabiliteitsfactor

Voor het faalmechanisme macrostabiliteit dient de berekende stabiliteitsfactor groter te zijn dan de vereiste stabiliteitsfactor. De vereiste stabiliteitsfactor wordt conform LTVRW [Ref. 1] berekend met:

$$\gamma_r = \gamma_b \cdot \gamma_d \cdot \gamma_n$$

Hierin is:

γ_b = schematiseringsfactor

γ_d = modelfactor

γ_n = schadefactor

De schematiseringsfactor verdisconteert onzekerheden in de toegepaste schematisering ten aanzien van de geometrie, bodemopbouw en waterspanningen. Een waarde tussen de 1,0 en 1,2 dient toegepast te worden afhankelijk van de onzekerheden die er bestaan omtrent een veilige schematisatie. Er is veel grondonderzoek beschikbaar ter plaatse van de aan te leggen dam, en daarnaast wordt binnen het referentieontwerp de ondiepe ondergrond afgegraven. Daarom wordt een schematiseringsfactor van 1,0 gehanteerd voor het referentieontwerp.

De modelfactor (γ_d) verdisconteert onzekerheden ten aanzien van het rekenmodel. Bij toepassing van het model Uplift-Van bedraagt de modelfactor 1,05 [Ref. 1].

De schadefactor (γ_n) is afhankelijk van de veiligheidsnorm van de kade. De regionale keringen van WSBD hebben een veiligheidsnorm van 1/100 per jaar. De status van deze waterkering is een IPO klasse III, de bijbehorende schadefactor is 0,90.

De materiaalfactoren (γ_m) zijn reeds verwerkt in de door WSBD aangeleverde sterkteparameters.

tabel 2-7: opbouw stabiliteitsfactor

IPO	Glijvlakmodel	Schematiseringsfactor	Modelfactor	Schadefactor	Eis stabiliteitsfactor
[-]	[-]	$[\gamma_b]$	$[\gamma_d]$	$[\gamma_n]$	[-]
III	Uplift-Van	1,00	1,05	0,90	0,95

2.2.5.2 Verkeersbelasting

De verkeersbelasting is conform LTVRW [Ref. 3] geschematiseerd waarbij rekening is gehouden met een lichte belasting behorend bij een inspectievoertuig.

tabel 2-8: opbouw stabiliteitsfactor

	Grootte verkeersbelasting	Spreiding verkeersbelasting	Breedte belasting	Consolidatie graad
Type kade	$[\text{kN/m}^2]$	$[\circ]$	$[\text{m}]$	$[\%]$
Groene kade	5	18	2,5	50

2.2.5.3 Uitgangspunten Piping

Beoordeling op de veiligheid tegen piping is bepaald met de rekenregel van Lane. De rekenregel van Lane [Ref. 19] is als volgt:

$$\Delta H \leq \Delta H_c = \frac{\left(\frac{1}{3}L_h + L_v\right)}{C_{w,creep}}$$

Hierin is ΔH het verval over de (grond)constructie, ΔH_c is het kritieke verval, L_h is de lengte van de horizontale delen van de kwelweg, L_v is de lengte van de verticale delen van de kwelweg en $C_{w,creep}$ is de gewogen creep-factor.

Voor de gewogen creep-factor is de waarde van 7 gehanteerd. Deze waarde correspondeert een ondergrond van matig fijn zand, waarin de pipe kan ontstaan. Dit is een conservatieve aanname.

Overige uitgangspunten en karakteristieken zijn specifiek per som. Deze staan nader toegelicht bij de toetsing, zie paragraaf 2.4.4 en 2.5.4.

2.3 Ontwerpaanpak

Om tot het referentieontwerp (RO) te komen is volgens onderstaande stappen te werk gegaan:

1. Op basis van de uitgangspunten is een ontwerpprofiel bepaald. Dit is het profiel dat gedurende de gehele planperiode minimaal aanwezig dient te zijn, tenminste aan de leggerafmetingen moet voldoen. Daarnaast is een vervangende waterkering in het ontwerp voorzien om in geval van een erosiekrater ten gevolge van leidingbreuk de waterkeringen functie te waarborgen.
2. Vaststellen vereiste hoogte van het ontwerpprofiel.
3. Voor de aan te leggen dam is het ontwerpprofiel getoetst aan de gestelde stabiliteitseisen voor de binnenwaartse (STBI) en de buitenwaartse stabiliteit (STBU). Daarnaast is het ontwerpprofiel beoordeeld ten aanzien van microstabiliteit (STMI) en is een beschouwing ten aanzien van piping (STPH) opgenomen.

2.4 Analyse faalmechanismen

In voorliggende paragraaf zijn de relevante faalmechanismen geanalyseerd en de ontwerpberekeningen gepresenteerd voor de situatie zonder erosiekrater door een leidingbreuk.

2.4.1 Hoogte

Om de ontwerphoogte van de dam te bepalen dient de golfoverslaghoogte bepaald te worden. Conform [Ref. 5] is dit gedaan met een windsnelheid die hoort bij een herhalingstijd van eens in de 10 jaar en een overslagdebiet van 1,0 l/s/m. Door WSBD zijn windsnelheden bij deze herhalingstijd aangeleverd waaruit volgt dat de maatgevende windsnelheid 21,6 m/s bedraagt. De effectieve strijklengte is vervolgens bepaald conform de methode uit [Ref. 10] en deze bedraagt 185 m. Met behulp van Bretschneider is vervolgens een significante golfhoogte van 0,29 m met een bijbehorende piekperiode van 1,87 s bepaald. Met Hydra-NL v. 2.3.5. is de golfoverslaghoogte berekend bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m, deze bedraagt 0,38 m. De ontwerphoogte is tenslotte bepaald:

- Ontwerppeil (NAP +1,98 m)
- Autonome bodemdaling (0,05 m)

- Golfoverslaghoogte (0,38 m)
- Ontwerphoogte (NAP +2,41 m)

Omdat de hoogte ook minimaal even hoog als de aansluitende regionale kering (NAP +2,50 m) dient te zijn is de ontwerphoogte bepaald op NAP +2,50 m. Deze hoogte is vastgesteld als de hoogte van het ontwerpprofiel.

Voor de berekeningen aan de effectieve strijklengte en golf(overslag)hoogte wordt verwezen naar bijlage 3.

2.4.2 STBI

De binnenwaartse stabiliteit van dwarsprofiel 1 is gegarandeerd door de aanwezigheid van de betonconstructie van het gemaal.

De resultaten van de ontwerpberekening voor dwarsprofiel 2 aan de binnenwaartse stabiliteit zijn weergegeven in tabel 2-7. De resultaten van de glijvlak berekeningen zijn bijgevoegd in bijlage 1.

tabel 2-9: resultaten beoordeling STBI

Berekening	IPO-Klasse	Eis S.F.	Upfift-Van	Oordeel
Dwarsprofiel 2 zonder erosiekrater	III	0,95	1,20	Voldoet

2.4.3 STBU

Voor de buitenwaartse stabiliteit is dwarsprofiel 1 maatgevend. De resultaten van de beoordeling van de buitenwaartse stabiliteit zijn weergegeven in tabel 2-8. De resultaten van de glijvlak berekeningen zijn bijgevoegd in bijlage 1.

tabel 2-10: resultaten beoordeling STBU

Berekening	IPO-Klasse	Eis S.F.	Uplift-Van	Oordeel
Dwarsprofiel 1 zonder erosiekrater	III	0,95	1,05	Voldoet

2.4.4 STPH

Bij het referentieontwerp is ervan uitgegaan dat de ondiepe cohesieve lagen, ter hoogte van dwarsprofiel 1, worden (tot circa NAP -2,5 m) afgegraven waarna een dijk met een zandkern wordt aangebracht. Hiermee wordt een zanddijk op een zandondergrond situatie gecreëerd waardoor het risico op piping is uitgesloten.

Ter plaatse van dwarsprofiel 2 is mogelijk geen zanddijk op zandondergrond. Daarom wordt hier aanvullend een analyse van de kwelweg uitgevoerd, volgens de rekenregel van Lane [Ref. 19]. Deze regel is toegelicht in paragraaf 2.2.5.3.

De maatgevende situatie is bij ontwerpwaterstand (NAP +1,98 m) aan de buitenzijde en de maaiveldhoogte (NAP +1,50 m) aan de binnenzijde van de kering. De kwelweg loopt over de breedte van de dam langs de onderzijde van de veenlaag (NAP -2,30 m) en onder de damwand door. Dit geeft een L_h van 33,4 m en een L_v van 17,4 m. Hiermee voldoet de het profiel volgens de rekenregel van Lane:

$$\Delta H = 1,68 \text{ m} \leq \Delta H_c = 4,07 \text{ m}$$

2.4.5 STMI

Microstabiliteit kan niet optreden door de aanwezigheid van de constructies (betonconstructies ten behoeve van het gemaal en de vervangende waterkering).

2.5 Analyse faalmechanismen bij leidingbreuk

In voorliggende paragraaf zijn de relevante faalmechanismen geanalyseerd en de ontwerpberekeningen gepresenteerd voor het scenario leidingbreuk.

2.5.1 Hoogte

In de situatie dat er een erosiekrater ontstaat ten gevolge van een leidingbreuk wordt de hoogte gewaarborgd door de vervangende waterkeringen (damwand). De hoogte van de damwand is gelijk aan de hoogte van het grondlichaam in de oorspronkelijke situatie. Hiermee is de hoogte gewaarborgd in de situatie bij leidingbreuk.

2.5.2 STBI

De binnenwaartse stabiliteit van dwarsprofiel 1 is gegarandeerd door de aanwezigheid van de betonconstructie van het gemaal.

De resultaten van de ontwerpberekening aan de binnenwaartse stabiliteit zijn weergegeven in tabel 2-7. De resultaten van de glijvlak berekeningen zijn bijgevoegd in bijlage 1.

tabel 2-11: resultaten beoordeling STBI

Berekening	IPO-Klasse	Eis S.F.	Upfitt-Van	Oordeel
Dwarsprofiel 2 met erosiekrater	III	0,95	1,14	Voldoet

2.5.3 STBU

2.5.3.1 Resultaten

De dimensies van het referentieontwerp zijn weergegeven in tabel 2-12. Met dit ontwerp is de stabiliteit van damwand geanalyseerd. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in tabel 2-13. Op basis van deze analyse voldoet de damwand aan de gestelde eisen. Uitgebreidere rekenresultaten zijn bijgevoegd in bijlage 3.

tabel 2-12: gegevens referentie ontwerp damwand

		eenheid
profiel	AZ26-700	-
Niveau bovenzijde damwand	2,50	m t.o.v. NAP
Niveau onderzijde damwand	-11,00	m t.o.v. NAP
Staal kwaliteit	S240	

tabel 2-13: Resultaten in de maatgevende situatie en de maximum eisen aan de damwand.

Maatgevend			Maximum eisen			SF	Oordeel
$M_{\max}$	415,7	[kNm]	$M_{r;d;el}$	436,8	[kNm]	1,05	Voldoet
$d_{\max}$	96,7	[mm]	d_d	100	[mm]	1,03	Voldoet

2.5.4 STPH

In geval van een calamiteit is dwarsprofiel 1, ter plaatse van de constructie van het pomphuis, maatgevend omdat het optredend verval het grootst is. Hier wordt een kwelweganalyse uitgevoerd, volgens de rekenregel van Lane [Ref. 19]. Deze regel is toegelicht in paragraaf 2.2.5.3.

De maatgevende situatie is bij ontwerpwaterstand (NAP +1,98 m) aan de buitenzijde en de polderwaterstand (NAP -0,30 m) aan de binnenzijde van de kering. De kwelweg loopt over de volledige breedte langs de onderzijde van de constructie (NAP -3,25 m) tot het uittredepunt bij de binnenteen van de dam en onder de damwand door. Dit geeft een L_h van 13,90 m en een L_v van 15,50 m. Hiermee voldoet het profiel volgens de rekenregel van Lane:

$$\Delta H = 2,28 \text{ m} \leq \Delta H_c = 2,87 \text{ m}$$

2.5.5 STMI

Microstabiliteit kan niet optreden door de aanwezigheid van de constructies (betonconstructies ten behoeve van het gemaal en de vervangende waterkering).

2.6 Conclusie

2.6.1 Referentieontwerp

Uit de ontwerpberekeningen volgen de dimensies van de aan te leggen dam. Deze zijn hieronder de belangrijkste eigenschappen gesommeerd:

- Helling van het buitentalud is gelijk aan 1v:3h;
- Helling van het binnentalud is gelijk aan 2v:3h;
- De ontwerphoogte van de dam is gelijk aan NAP +2,50 m.
- Er is een vervangende waterkering voorzien (AZ26-700, 13,5 m lang) om in geval van leidingbreuk de waterveiligheid te waarborgen.
- Een erosiebestendige kleibekleding van minimaal 1 m is vereist aan de buiten- en binnenzijde.

In onderstaande paragrafen staan daarnaast aandachtspunten en mogelijke risico's ten aanzien van de uitvoering waar in de nadere uitwerking van het ontwerp (UO/DO) rekening mee gehouden dient te worden.

2.6.2 Aandachtspunten

Onder andere onderstaande aandachtspunten dienen in een nadere ontwerpfase te worden uitgewerkt:

- Afkalving rond de waterlijn dient voorkomen te worden.
- Zettingen en daaruit volgende consequenties van de regionale en primaire waterkering bij de aansluitingen op de dam dienen beschouwd te worden.

- De waterveiligheid bij de aansluitingen op de primaire en regionale waterkering dienen beschouwd te worden.
- Het risico op onder- en achterloopsheid van constructieonderdelen van het gemaal dienen beschouwd te worden.
- Bij nadere uitwerking van het gemaal dient rekening gehouden te worden met de waterveiligheid van de primaire waterkering.
- De betonnen constructie dient in het geval van een leidingcalamiteit (erosiekrater) te voldoen als een vervangende waterkering. Bij de uitwerking van het ontwerp van het gemaal dient hier rekening mee gehouden te worden.

2.6.3 Risico's ten aanzien van uitvoering

Onder andere onderstaande risico's dienen ten aanzien van mogelijke uitvoeringsmethode bij realisatie beheerst te worden:

- Uitvoeringsstabiliteit van de dam.
- Eventueel risico op squeezing bij aansluitingen op de bestaande keringen.
- Waterveiligheid van de (aansluitende) primaire en regionale waterkeringen tijdens uitvoering dient aangetoond te worden.

3 PRIMAIRE WATERKERING

3.1 Gemaal

Ten behoeve van de aanleg van de twee nieuwe gemalen dienen persleidingen door de primaire waterkering aangelegd te worden. Hierbij dient de veiligheid tegen overstromen geborgd te worden zowel in de uitvoeringsfase als in de gebruiksfase. Hiertoe dienen de leidingen ontworpen te worden, zodat de gemalen als waterkerend kunstwerk voldoen aan het Ontwerp Instrumentarium 2014 (OI2014) [Ref. 17] (voor de primaire waterkering). Ten aanzien van het ontwerp van het gemaal dient hierbij rekening gehouden te worden met een zichtjaar van 2120. Voor een gemaal dienen de beoordelingssporen Betrouwbaarheid sluiting Kunstwerk (BSKW), Piping bij Kunstwerk (PKW) & Sterkte en Stabiliteit Kunstwerk (STKWp)¹ te worden geborgd. De belastingcombinatie waartegen de betonnen constructie van het gemaal bestand dient te zijn is de situatie waarin een erosiekrater aanwezig is (ten gevolge van leidingbreuk) in combinatie met maatgevend hoogwater en/of peil na val.

3.2 Aanleg dam

De nieuw aan te leggen dam wordt gerealiseerd in de invloedszone van de primaire waterkering. De dam zal een positieve invloed hebben op de faalmechanismen binnenwaartse stabiliteit (STBI) en piping (STPH) doordat deze functioneert als binnenberm. Hierdoor levert het aanleggen van de dam 'geen verslechtering' van de huidige situatie op en zijn er geen versterkingsmaatregelen van de primaire kering benodigd. Het huidige veiligheidsoordeel conform het WBI-2017 van de primaire waterkering ter plaatse van de dam is (nog) onbekend. De verwachting van het waterschap is echter dat de waterkering hier voldoet met het huidige beoordelingsinstrumentarium (WBI-2017). Daarom zijn geen maatregelen voorzien als meekoppelkansen.

¹ Falen door bezwijken waterkerende constructieonderdelen.

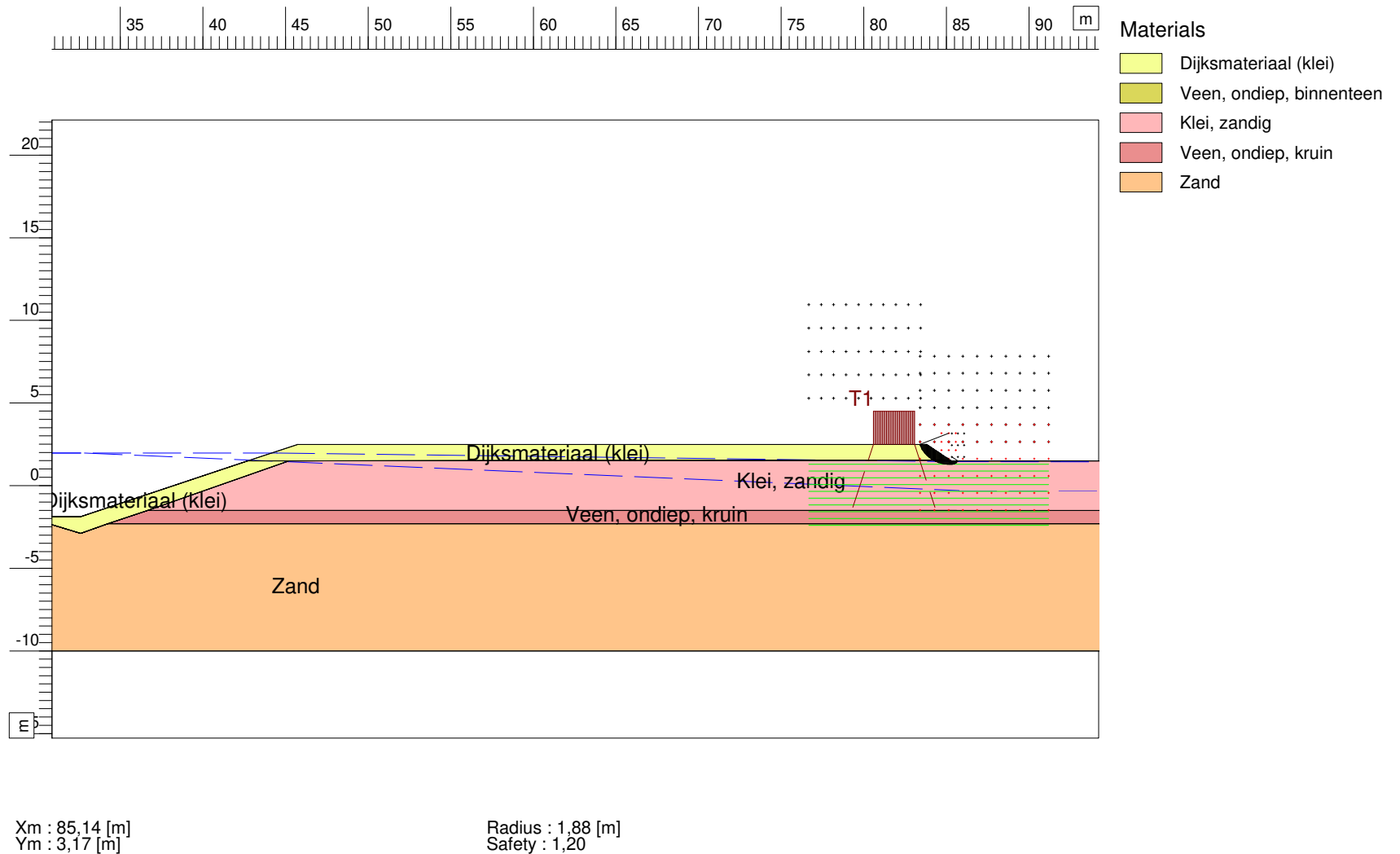
4 REFERENTIES

- [Ref. 1] Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen ('blauwe versie'), STOWA 2015.
- [Ref. 2] NEN-EN 1997-1+C1/NB, Nationale bijlage bij NEN-EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels, ICS 91.080.01; 93.020, 2012.
- [Ref. 3] Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, TAW, 2004.
- [Ref. 4] Gevoelighedsanalyse peilverlaging primaire waterkering, Gemeente Waalwijk, Arcadis, 2018
- [Ref. 5] Uitgangspuntennotitie Verbetering regionale keringen, 15IT012492, onder andere: Waterschap Brabantse Delta, 2015.
- [Ref. 6] <http://www.klimaat-effectatlas.nl>, 2018.
- [Ref. 7] <http://waterinfo.rws.nl/#!/nav/index/>
- [Ref. 8] bepaling sterkteparameters voor de regionale keringen van Waterschap Brabantse Delta, 319487, Grontmij, 2012.
- [Ref. 9] Scheefstand regionale watersystemen West-Brabant, PR3421.10, 2016.
- [Ref. 10] Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 – bovenrivierengebied, TAW, 1985.
- [Ref. 11] Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Primaire Waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007.
- [Ref. 12] Product 1.12 - Waterbodemonderzoek Zuiderkanaal versie 2.PDF, Verkennend waterbodemonderzoek, Zuiderkanaal te Waalwijk, 20180141/JLEU, Geofoxx, 2008.
- [Ref. 13] NEN3651, Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken ICS 23.040.10; 93.010, 2012.
- [Ref. 14] Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, WBI-2017.
- [Ref. 15] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, TAW, 2001.
- [Ref. 16] Veiligheidstoetsing regionale waterkeringen in het beheergebied van Waterschap Brabantse Delta, 319487, Grontmij, 2012.
- [Ref. 17] Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, OI2014v4, Rijkswaterstaat, Februari 2017
- [Ref. 18] Damwandconstructies, CUR 166, Juli 2012
- [Ref. 19] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, 1202123-003-GEO-0002, Rijkswaterstaat, Maart 2012
- [Ref. 20] Aanpassen waterhuishouding omgeving Waalwijk, Ontwerprapport VO gemalen, 109652/19-007.234, versie D2.0, 3 mei 2019

Bijlage

1. Berekeningen Macrostabiliteit

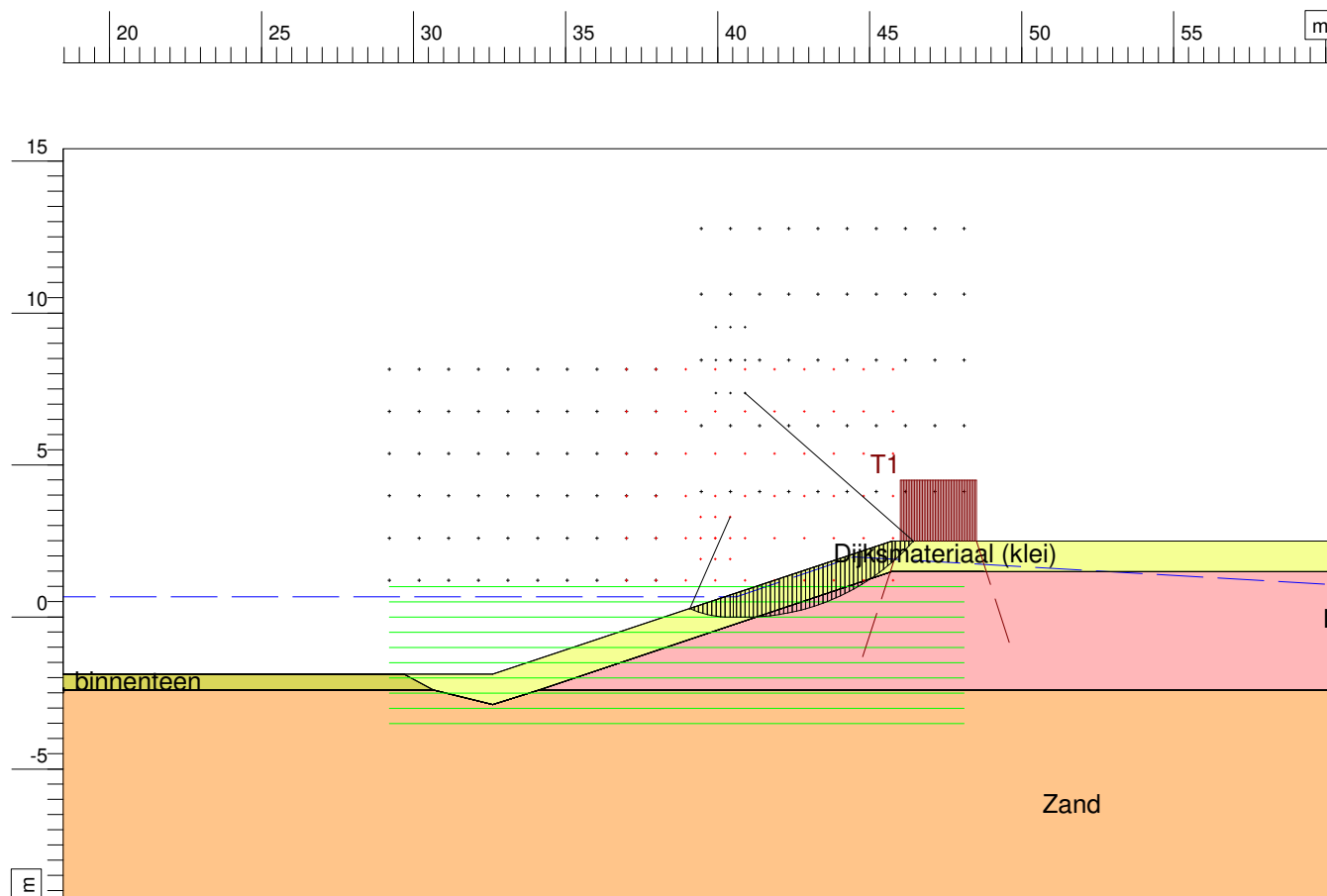
Slip Plane Uplift Van



Xm : 85,14 [m]
Ym : 3,17 [m]

Radius : 1,88 [m]
Safety : 1,20

Slip Plane Uplift Van



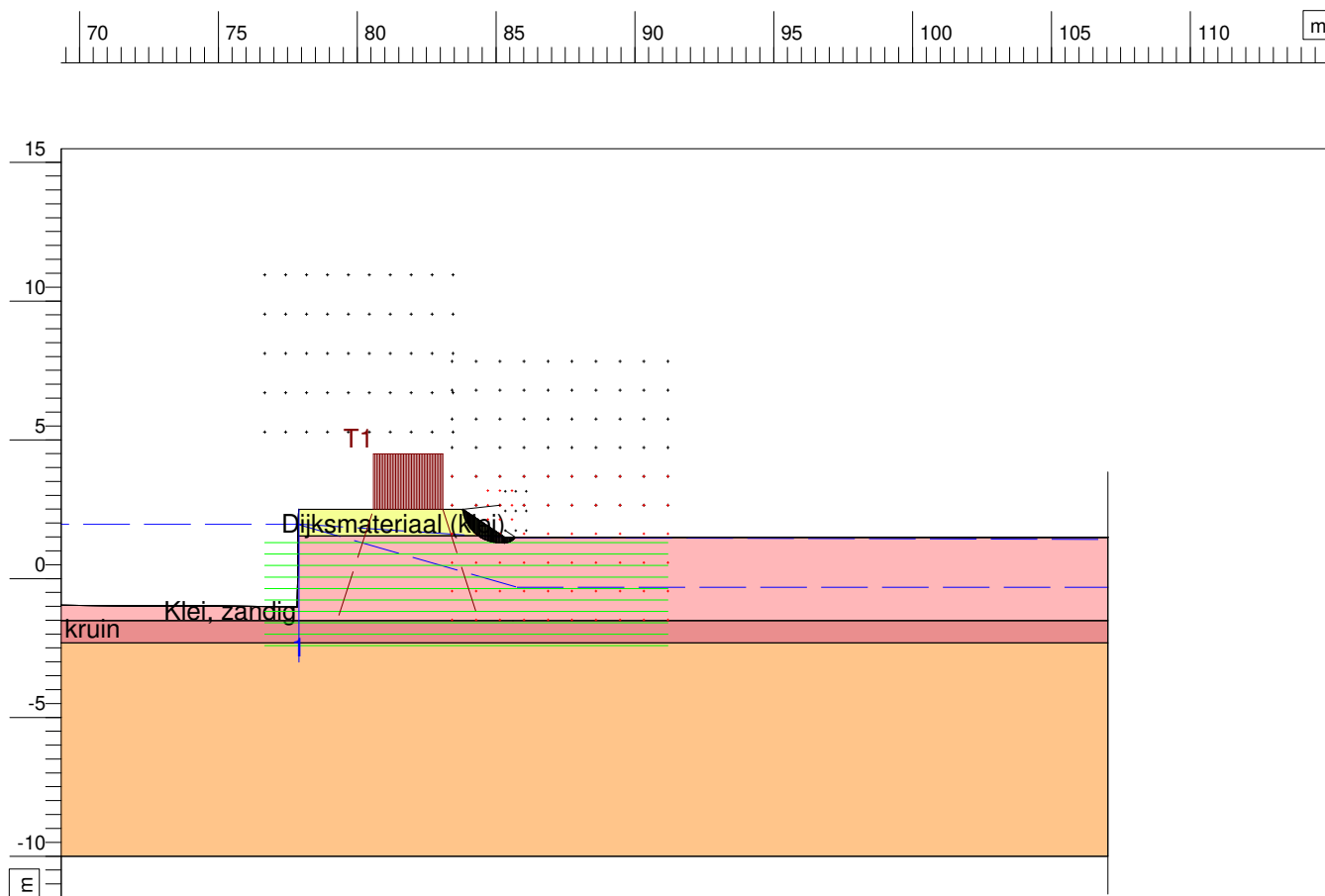
Materials

- Veenv, ondiep, binnenteen
- Dijkmateriaal (klei)
- Dijkmateriaal (zand)
- Zand

Xm : 40,41 [m]
Ym : 3,29 [m]

Radius : 3,29 [m]
Safety : 1,05

Slip Plane Uplift Van



Materials

- Dijksmateriaal (klei)
- Klei, zandig
- Veen, ondiep, kruin
- Zand

Xm : 85,14 [m]
Ym : 2,66 [m]

Radius : 1,36 [m]
Safety : 1,14

Bijlage

2. Berekeningen Hoogte

Berekening effectieve strijklengte
Op basis van "Bijlage I Gebruikershandleiding Hydra-NL" welke verwijst naar "Bijlage 9 LOR1 (TAW, 1985)"
Vak 2

teta	cos teta	cos2 teta	R teta	R teta cos 2 teta
-42	0.743	0.552	29	16
-36	0.809	0.655	33	22
-30	0.866	0.750	41	31
-24	0.914	0.835	54	45
-18	0.951	0.905	79	71
-12	0.978	0.957	153	146
-6	0.995	0.989	531	525
0	1.000	1.000	1260	1260
6	0.995	0.989	169	167
12	0.978	0.957	81	77
18	0.951	0.905	53	48
24	0.914	0.835	41	34
30	0.866	0.750	33	25
36	0.809	0.655	28	18
42	0.743	0.552	24	13
	13.511		185	2500

Toetspeil	1.55 [m + NAP]	
Lokale opwaaiing	0.13 [m]	OM3 locatie HKV rapport
Robuustheidstoeslag	0.30 [m]	
Ontwerppeil	1.98 [m + NAP]	
Verwachtte bodemdaling	0.05 [m]	
Hs	0.29 [m]	L=185 m, waterdiepte = 4m, windsnelheid =21.5 (T10 richting: West)
Piekperiode	1.87 [s]	
Spectrale golfperiode	1.70 [s]	piekperiode =1.1 * spectrale golfperiode
HBN (q = 1 l/s/m)	2.36 [m + NAP]	
golfoverslaghoogte HBN(q = 1 l/s/m)	0.38 [m + NAP]	
Ontwerphoogte (1,0 l/s/m)	2.41 [m + NAP]	

Hydra-NL - Narekenen illustratiepunt

Locatie: BM_1_35-1_dk_00035

Profiel: Profiel_dam

Dit profiel bestaat uit een dijschematisatie

Dit profiel heeft noch een dam noch een voorland

Type berekening

☒ Hydraulisch belastingniveau

☐ 2% Golfooploop

☒ Golfoverslag

☐ Overlagdebiet

Overlagdebiet: 1.0 l/s/m

Illustratiepunt

Waterstand: 1.98 m+NAP

Significante golfhoogte: 0.29 m

Spectrale golfperiode: 1.70 s

Golfrichting: 280 °

Uitvoer

Hydraulisch belastingniveau: 2.36 m+NAP

Invvoerparameters

Waterstand 1.98 m+NAP

Hm0 0.29 m

Tm-1,0 1.70 s

Dir 280.00 °

Hm0 = significante golfhoogte

Tm-1,0 = spectrale golfperiode

Dir = golfrichting t.o.v. Noord

Wegschrijven

Bereken

Sluiten

Bretschneider calculator

Bestand

Help

waterdiepte [m]: 4

strijklengte [m]: 185

windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]: 21.6

significante golfhoogte [m]: 0.29

piekperiode [s]: 1.87

Bijlage

3. Berekeningen damwand

Project	Gemaal Capelse Polde	Datum	vrijdag 10 mei 2019
projectnummer	1604719A06		
Onderdeel	Damwand		
Ontwerper	Bart van Langevelde	Bestandsnaam	Q:\GGI\1 Projecten\1604719A06\3 Werkdossier\07 Berekeningen\c. Waterkeringen\Smalle Dam\Damwand\DMW_Corr_plooi_Buiging_1.1.XLSX]Presentatieblad

Invoergegevens

Damwand type	AZ26-700
Type plank	Z-profiel
Staalkwaliteit	S 240 GP
A	187 cm ² /m
W _{el}	2600 cm ³ /m
I _{el}	59720 cm ⁴ /m
b _{flens}	361 mm
b	700 mm
h	460 mm
t _{flens}	12.2 mm
s	12.2 mm

Corrosie reductie op sterkte en stijfheid

Binnenkant	Onverdichte aanvullingsgrond (Klei zand)		
Buitenkant	Onverdichte aanvullingsgrond (Klei zand)		
Levensduur	100 jaar		
Totale corrosie	4.4 mm		
t flens corr	7.8 mm		
W el corr	1815 cm ³ /m	==> red factor	0.698

Plooi reductie op sterkte

Epsilon	0.99		
Kappa	46.8	==>	Class 3
gecorrigeerde vloeigrens	240.0 N/mm ²		
originele vloeigrens	240 N/mm ²	==> red factor	1.000

Resume en reductiefactoren

	Sterkte	Stijfheid
Corrosie	0.698	0.698
Plooi	1.000	1.000
	Reduction factor maximum moment	Reduction factor EI
Totaal	0.698	0.698

Report for D-Sheet Piling 19.1

Design of Diaphragm and Sheet Pile Walls
Developed by Deltares

Date of report: 5/14/2019
Time of report: 8:22:34 AM
Report with version: 19.1.1.23942

Date of calculation: 5/14/2019
Time of calculation: 8:14:18 AM
Calculated with version: 19.1.1.23942

File name: Q:\..\07 Berekeningen\c. Waterkeringen\Smalle Dam\Damwand\Damwand

Project identification: Aanpassen Waterhuishouding Waalwijk
Gemaal Capelse Polder

Verification according to National Annex of Eurocode 7 in the Netherlands (NEN 9997-1:2016)

1 Table of Contents

1 Table of Contents	2
2 Summary	3
2.1 Overview per Stage and Test	3
2.2 Warnings	3
2.3 CUR Verification Steps	4
3 Input Data for all Stages	5
3.1 General Input Data	5
3.2 Sheet Piling Properties	5
3.2.1 General Properties	5
3.2.2 Stiffness EI (elastic behaviour)	5
3.2.3 Maximum Allowable Moments	5
3.2.4 Properties for Vertical Balance	5
3.3 Calculation Options	5
4 Outline Stage 1: initiele dam	7
5 Outline Stage 2: hoog water initiele dam	8
6 Outline Stage 3: hoog water	9
7 Outline Stage 4: val na hoog water	10

2 Summary

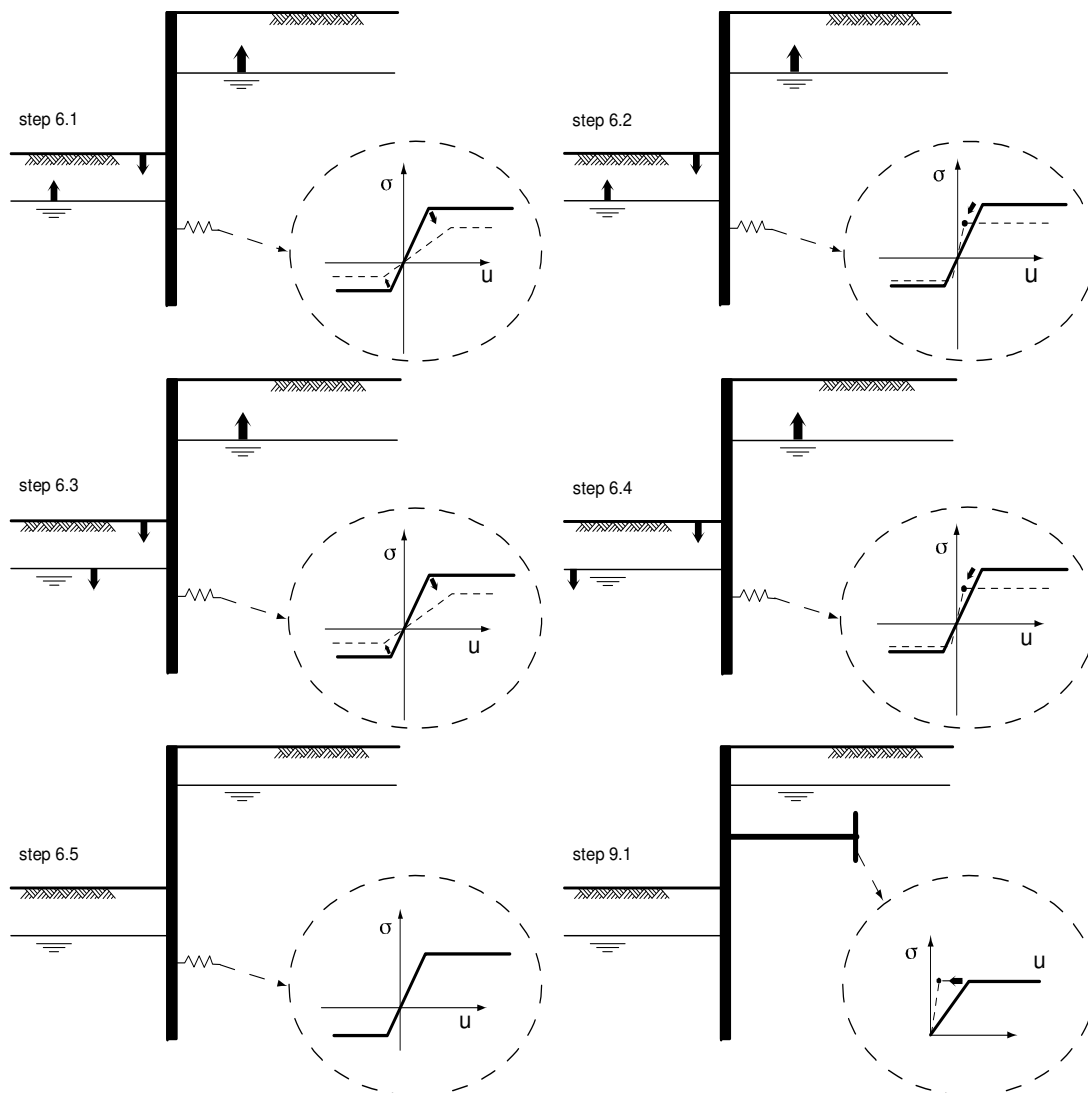
2.1 Overview per Stage and Test

Stage nr.	Verification type	Displacement [mm]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. resistance [%]	Vertical balance
1	EC7(NL)-Step 6.1		-1,38	1,40	0,0	11,4	Sufficient
1	EC7(NL)-Step 6.2		-0,90	1,21	0,0	11,4	Sufficient
1	EC7(NL)-Step 6.3		2,26	-2,09	0,0	11,5	Upwards
1	EC7(NL)-Step 6.4		1,49	-1,83	0,0	11,5	Upwards
1	EC7(NL)-Step 6.5	0,0	0,00	0,00	0,0	8,6	Sufficient
1	EC7(NL)-Step 6.5 * 1,20		0,00	0,01			
2	EC7(NL)-Step 6.1		7,83	-6,97	0,0	13,7	Upwards
2	EC7(NL)-Step 6.2		5,71	-6,42	0,0	13,7	Upwards
2	EC7(NL)-Step 6.3		12,08	-10,54	0,0	14,0	Upwards
2	EC7(NL)-Step 6.4		8,82	-9,82	0,0	14,0	Upwards
2	EC7(NL)-Step 6.5	0,8	8,41	-7,46	0,0	10,1	Upwards
2	EC7(NL)-Step 6.5 * 1,20		10,10	-8,95			
3	EC7(NL)-Step 6.1		11,13	5,79	0,0	12,4	Sufficient
3	EC7(NL)-Step 6.2		9,30	-4,99	0,0	12,3	Sufficient
3	EC7(NL)-Step 6.3		29,06	-10,93	0,0	13,2	Sufficient
3	EC7(NL)-Step 6.4		26,43	-12,70	0,0	13,2	Sufficient
3	EC7(NL)-Step 6.5	-0,5	5,78	3,45	0,0	8,4	Sufficient
3	EC7(NL)-Step 6.5 * 1,20		6,93	4,13			
4	EC7(NL)-Step 6.1		383,58	-111,18	0,0	30,4	Upwards
4	EC7(NL)-Step 6.2		382,30	-136,13	0,0	31,3	Upwards
4	EC7(NL)-Step 6.3		415,66	-121,10	0,0	31,7	Upwards
4	EC7(NL)-Step 6.4		414,62	-146,39	0,0	32,8	Upwards
4	EC7(NL)-Step 6.5	-96,7	266,92	-84,07	0,0	20,6	Upwards
4	EC7(NL)-Step 6.5 * 1,20		320,30	-100,88			
Max		-96,7	415,66	-146,39	0,0	32,8	Sufficient

2.2 Warnings

- * Vertical balance: The resultant vertical friction force is directed upward in stage 2, 4, 1, 2, 4, 2, 4, 1, 2, 4, 2 & 4 because the friction force on the passive side exceeds that on the active side.
This might be prevented by reducing the friction angle Delta on the passive side.

2.3 CUR Verification Steps



3 Input Data for all Stages

3.1 General Input Data

Verification according to National Annex of Eurocode 7 in the Netherlands (NEN 9997-1:2016)

Model	Sheet piling
Check vertical balance	Yes
Number of construction stages	4
Unit weight of water	9,81 kN/m ³
Number of curves for spring characteristics	3
Unloading curve on spring characteristic	No
Elastic calculation	Yes

3.2 Sheet Piling Properties

Length	13,50 m
Level top side	2,50 m
Number of sections	1
q _b ;max	14,00 MPa
Xi factor	1,39

3.2.1 General Properties

Section name	From [m]	To [m]	Material type	Acting width [m]
AZ 26 -700 (S2...	-11,00	2,50	Steel	1,00

3.2.2 Stiffness EI (elastic behaviour)

Section name	Elastic stiffness EI [kNm ² /m']	Red. factor on EI [-]	Corrected elas. stiffness EI [kNm ²]	Note to reduction factor
AZ 26 -700 (S2...	1,2541E+05	0,70	8,7788E+04	100 jr corrosie

3.2.3 Maximum Allowable Moments

Section name	Mr;char;el [kNm/m']	Modification factor [-]	Material factor [-]	Red. factor allow. moment [-]	Mr;d;el [kNm]
AZ 26 -700 (S2...	624,00	1,00	1,00	0,70	436,80

3.2.4 Properties for Vertical Balance

Section name	From [m]	To [m]	Height [mm]	Coating area [m ² /m ² wall]	Section area [cm ² /m']
AZ 26 -700 (S2...	-11,00	2,50	460,00	1,38	187,00

3.3 Calculation Options

First stage represents initial situation	Yes
Calculation refinement	Fine
Reduce delta(s) according to CUR	Yes
Verification	EC7 NA NL - method A: Partial factors (design values) in all stages. Eurocode 7 using the factors as described in the National Annex of the Netherlands. It is basically design approach III.
Used partial factor set	RC 1
Factors on loads	

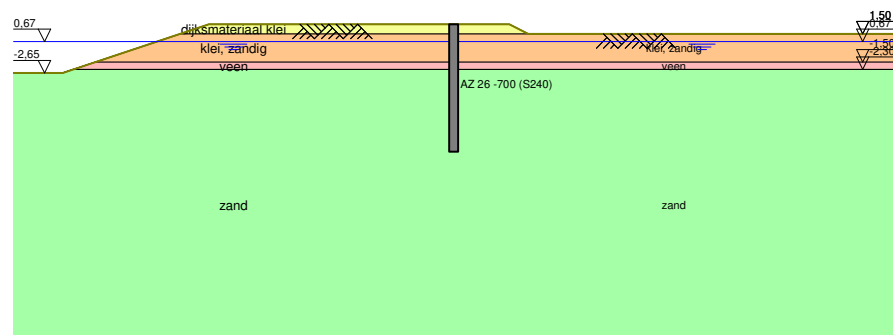
- Permanent load, unfavourable	1,00
- Permanent load, favourable	1,00
- Variable load, unfavourable	1,00
- Variable load, favourable	0,00
Material factors	
- Cohesion	1,00 User defined
- Tangent phi	1,150
- Delta (wall friction angle)*	1,150
- Modulus of low representative subgrade reaction	1,30
Geometry modification	
- Increase retaining height	10,00 %
- Maximum increase retaining height	0,30 m User defined
- Reduction in phreatic line on passive side **	0,20 m
- Raise in phreatic line on passive side **	0,20 m
- Raise in phreatic line on active side	0,05 m
Factors on representative values	
- Partial factor on M, D and Pmax	1,20
Vertical balance factors	
- Partial factor base resistance (gamma_b)	1,20

* For delta (wall friction angle), the input value of tangent phi is used

** This modification of the phreatic level does not apply when the sheet piling is completely submerged.

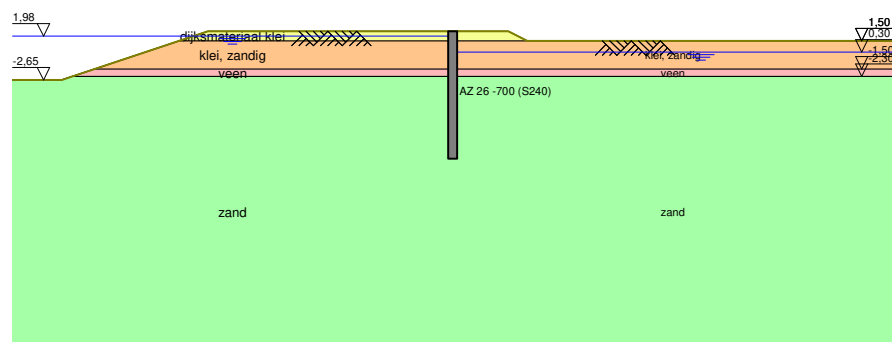
4 Outline Stage 1: initiele dam

Outline - Stage 1: initiele dam



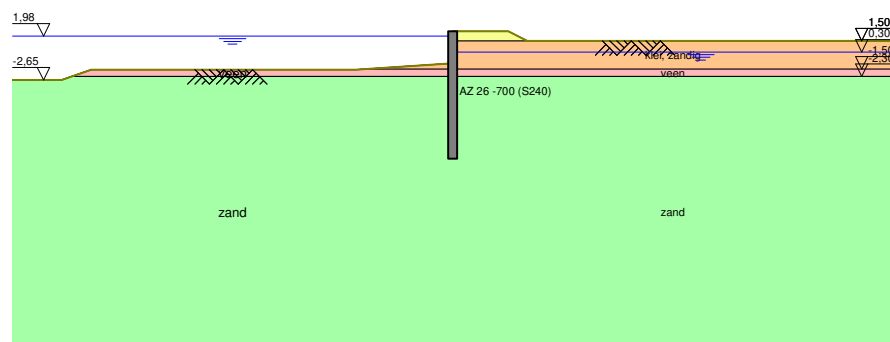
5 Outline Stage 2: hoog water initiele dam

Outline - Stage 2: hoog water initiele dam



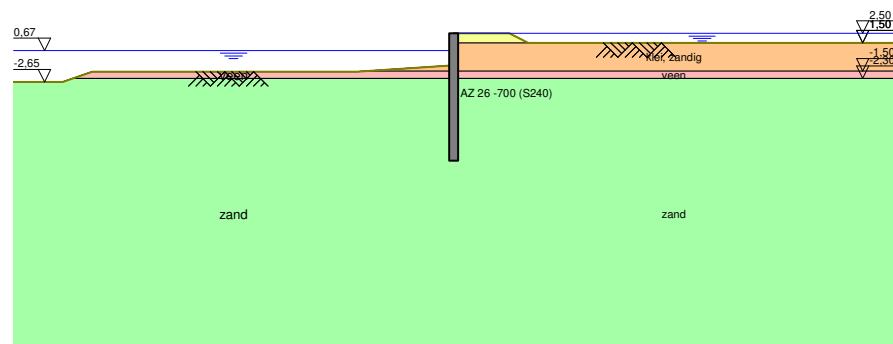
6 Outline Stage 3: hoog water

Outline - Stage 3: hoog water



7 Outline Stage 4: val na hoog water

Outline - Stage 4: val na hoog water



End of Report