
V. Rapport Variantenstudie

“Stabiliteitszone van primaire waterkering Aaldijk te Spijkenisse beschermen tegen uitspoeling ten gevolge van een waterleidingbreuk”



Aanmaakdatum

28-07-2016

Versie

3

Status

Definitief

Opdrachtgever

KEN engineering B.V.

Bedrijfsbegeleider

Dhr. E. Zaman

Opgesteld door

Ka-Way Shek

Bachelor-student

Inhoudsopgave

Begrippenlijst 5

Hoofdstuk 1 Inleiding	6
1.2 Leeswijzer	7
Hoofdstuk 2 Werkwijze	8
Hoofdstuk 3 Uitgangspunten	10
3.1 Oplossingsvarianten	10
Hoofdstuk 4 Oplossingsvarianten	13
4.1 Stalen damwand	13
4.2 Prefab keermuur	16
4.3 Diepwand	19
4.4 Folieconstructie	22
4.5 Groutzak	25
4.6 Palenwand	28
4.7 Combiwand	31
4.8 Gabion	34
4.9 Berlinerwand	38
4.10 Basaltstenenconstructie	42
4.11 Bigbag	45
4.12 Grindpalen	48
4.13 Groutinjectie	51
Hoofdstuk 5 Selectie	54
Hoofdstuk 6 Kosten oplossingsvarianten	55
Hoofdstuk 7 Criteria	56
7.1 Kosten	56
7.2 Impact stabiliteitszone	56
7.3 Uitvoeringsduur	56
7.4 Risico uitvoering	56
Hoofdstuk 8 Beoordeling oplossingsvarianten	57
8.1 Stalen damwand	57
8.2 Diepwand	58
8.3 Combiwand	59
8.4 Palenwand	60
Hoofdstuk 9 Multicriteria Matrix	61
9.1 Wegingsfactor matrix	61
9.2 Waarderingpunten criteria	66
9.3 Wegingsfactoren met waarderingpunten matrix	67
9.4 Multicriteria matrix (4 verschillende wegingsfactor)	69

Hoofdstuk 10	Samenvatting	75
Bibliografie		76
Bijlage		78

Begrippenlijst

De vaktermen die zijn gebruikt in dit rapport zijn hieronder gedefinieerd.

KEUR

Een keur is een verordening, waarin onder andere regels zijn opgenomen ter bescherming van dijken, de wegen en de wateren. Mensen die aan een dijk wonen, hoeven over het algemeen de dijk niet te onderhouden, maar ze mogen de dijk (ongewild) geen schade toebrengen. Ook moeten ze het de onderhoudsplichtige (meestal het waterschap) mogelijk maken het onderhoud uit te voeren. De keur geeft daarom aan wat wel en niet mag. [23]

PRIMAIRE WATERKERING

Waterkering die ons land beschermt tegen buitenwater uit de Noordzee, de Waddenzee, de grote rivieren en het IJssel- en Markermeer. [21]

STABILITEITSZONE

Terreinstrook naast het waterstaatswerk die wordt bepaald door het faalmechanisme macro-instabiliteit van het waterstaatswerk. [18]

VEILIGHEIDSZONE

Terreinstrook naast het waterstaatswerk waarbinnen een lekkage van de leiding de stabiliteit van het werk in gevaar kan brengen. [18]

VERSTORINGSZONE

Zone om de leiding waarbinnen de invloed van de aanwezigheid of bezwijken van de leiding merkbaar is. [18]

WATERSTAATSWERK

Civiltechnische constructie, zoals een weg, waterkering, of waterloop, inclusief kunstwerken. [18]

Hoofdstuk 1 Inleiding

De projectlocatie bevindt zich in Spijkenisse, ter plaatse van primaire waterkering Aaldijk, ligt een drinkwaterleiding met verstekbochten (hierna te noemen TL 21) van waterbedrijf Evides parallel aan de primaire waterkering Aaldijk. Zie figuur 1 voor een overzicht van de projectlocatie. Voor een gedetailleerd overzicht van de projectlocatie wordt verwezen naar bijlage A.



Figuur 1: Overzicht projectlocatie

In 2015 zijn er in de projectlocatie proefsleuven gegraven door De Bruyn & Nelisse. De proefsleuven waren bedoeld om de exacte ligging van TL21 te traceren. Uit de proefsleuven bleek dat TL21 verstekbochten bevat binnen de veiligheidszone van de Aaldijk. Door de exacte ligging te bepalen is ook gebleken dat de verstoringszone van TL21 de stabiliteitszone van de Aaldijk overlapt, of wel bij een breuk in TL21 kan er uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van de Aaldijk ontstaan.

Uit de Beleidsnota Waterkeringen WSHD-paragraaf 3.3 Locatie-eisen 9 is gebleken dat in de veiligheidszone van waterkeringen geen verstek bochten van leidingen zijn toegestaan. TL21 voldoet dus niet aan de Beleidsnota waterkering van WSHD. De TL21 moet dus van WSHD naar buiten de veiligheidszone van Aaldijk worden verlegd.

Vanwege de discussie tussen Evides en Waterschap Hollandse Delta over de ligging van de veiligheidszone, zijn beide partijen er niet over eens of TL21 wel of niet in de veiligheidszone van de Aaldijk ligt.

De discussie over de ligging van de veiligheidszone is de aanleiding van dit onderzoek. Gedurende de discussie periode kan een breuk in de TL21 tot mogelijk fatale gevolgen leiden voor de veiligheid van de primaire waterkering Aaldijk te Spijkenisse.

Het ingenieursbureau KEN engineering heeft een opdracht gegeven voor naar een tijdelijk oplossing (minimaal half jaar) totdat er duidelijk is over de ligging van de veiligheidszone en dus over de noodzaak voor het verleggen van de waterleiding. De tijdelijke oplossing moet uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van de Aaldijk door het water bij een eventuele waterleidingbreuk voorkomen. Zo kan de veiligheid van de dijk en de inwoners van Spijkenisse en de omgeving worden gewaarborgd totdat TL21 naar buiten de veiligheidszone is verlegd of als het is gebleken dat verlegging van TL21 onnodig is.

In dit rapport (Rapport Variantenstudie) wordt elke mogelijke oplossingsvariant beschreven die mogelijk van toepassing kan zijn om het water buiten de stabiliteitszone van waterkering Aaldijk te Spijkenisse te houden. Voor elke oplossingsvariant worden de volgende criteria beschreven: kosten, impact stabiliteitszone, uitvoeringsduur en risico uitvoering. De criteria is gebaseerd op de klanteneisen die zijn vastgesteld in het programma van eisen

In dit rapport wordt de multicriteria analyse toegepast om van de verschillende oplossingsvarianten de beste oplossingsvariant te kiezen. De beste oplossingsvariant wordt verder uitgewerkt in het 'Rapport Hoofdvariant'

1.2 Leeswijzer

Het rapport variantenstudie bestaat na de inleiding uit 9 hoofdstukken, een bibliografie en een bijlage. De hoofdstukken zijn: hoofdstuk 2 Werkwijze, hoofdstuk 3 Uitgangspunten, hoofdstuk 4 Oplossingsvarianten, hoofdstuk 5 Selectie, hoofdstuk 6 Kosten oplossingsvarianten, hoofdstuk 7 Criteria, hoofdstuk 8 Beoordeling oplossingsvarianten, hoofdstuk 9 Multicriteria Matrix en hoofdstuk 10 Samenvatting.

In hoofdstuk 'Werkwijze' wordt uitgelegd hoe er van verschillende oplossingsvariant 1 oplossingsvariant wordt gekozen die de tijdelijke oplossing wordt. In het hoofdstuk 'Uitgangspunten' worden verschillende oplossingsvarianten benoemd die tijdens de brainstormsessie zijn bedacht. Nadat de verschillende oplossingsvarianten zijn benoemd, wordt in het hoofdstuk 'Oplossingsvarianten' kort de eigenschappen van de verschillende oplossingsvarianten beschreven. Vervolgens wordt er in het hoofdstuk 'Selectie' bepaald welke oplossingsvarianten door gaan naar de multicriteria analyse. In het hoofdstuk 'Kosten oplossingsvarianten' worden de kosten bepaald van de oplossingsvarianten die door gaan naar de multicriteria analyse. In het hoofdstuk 'Criteria' worden de criteria bepaald die van toepassing zijn voor de multicriteria analyse en in het hoofdstuk 'Beoordeling oplossingsvarianten' worden de sub criteria toegekend aan de oplossingsvarianten. In het hoofdstuk 'Multicriteria Matrix' worden de waarderingspunten en wegingsfactoren van de criteria bepaald en wordt er met behulp van de multicriteria matrix hoofdvariant gekozen.

Ten slotte is in het hoofdstuk 'Samenvatting' te zien hoe de variantenstudie heeft geleid tot het kiezen van de hoofdvariant (Tijdelijke oplossing).

In de bibliografie zijn de bronnen weergegeven die gebruikt zijn voor dit rapport en in de bijlage zijn de calculatie kosten en de schetstekeningen van de oplossingsvarianten weergegeven.

Hoofdstuk 2 Werkwijze

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe het Rapport Variantenstudie is opgesteld.

Allereerst zijn verschillende varianten benoemd die mogelijk als een tijdelijke oplossing kunnen dienen, om uitspoeling in de stabiliteitszone van Aaldijk tegen te gaan bij een waterleidingbreuk. De verschillende varianten zijn bedacht tijdens de brainstormsessie.

In dit onderzoek is over 4 typen oplossingsvarianten gebrainstormd met de opdrachtgever. Het eerste type is een grond en waterkerende constructie, het tweede type is een grondkerende constructie, derde type is een filterende constructie en het laatste type is een waterremmende begrenzing.

Nadat alle mogelijke oplossing varianten zijn benoemd, worden de eigenschappen van de oplossingsvarianten beschreven. De eigenschappen zijn:

- Benodigdheden uitvoering
- Waterdoorlatendheid
- Levensduur
- Impact stabiliteitszone
- Onderhoud
- Uitvoeringsduur
- Risico

Vervolgens wordt er een tijdelijke keuze gemaakt. De tijdelijke keuze bepaald welke oplossingsvarianten door gaan de multicriteria analyse. De tijdelijke keuze wordt uitgevoerd op basis van de uitvoeringsduur.

De multicriteria analyse van dit onderzoek bestaat uit 4 criteria. De criteria zijn gebaseerd op de klanten eisen wat zijn vastgesteld in het programma van eisen. De 4 criteria zijn:

- Kosten
- Impact stabiliteitszone
- Uitvoeringsduur
- Risico uitvoering

In de multicriteria analyse worden de oplossingsvarianten met elkaar vergeleken aan de hand van de 4 criteria. Elke criteria heeft zijn eigen wegingsfactor en waarderingspunten. De wegingsfactoren worden bepaald met behulp van een wegingsfactor matrix. Er worden in totaal 4 verschillende wegingsfactor matrixen gemaakt, waarbij elke tabel een criteria het belangrijkste. Door het criterium met de andere criteria te vergelijken, wordt er gekeken welk criterium van meer belang is. Zo wordt de wegingsfactor bepaald. De waarderingspunten van de criteria worden bepaald door de 3 sub criterium van elke criteria punten toe te kennen op basis van welke sub criteria gunstig of ongunstig is.

Door de wegingsfactoren en waarderingspunten van de criteria te bepalen, kunnen de oplossingsvarianten van elkaar onderscheiden worden in de multicriteria matrix. Doordat er 4 verschillende wegingsfactor matrixen zijn, zijn er ook 4 verschillende multicriteria matrixen zijn. Uit elke multicriteria matrix wordt de totale score bepaald van de oplossingsvarianten die door gaan naar de multicriteria analyse.

Om de oplossingsvariant te kiezen die als tijdelijke oplossing wordt toegepast in de projectlocatie, worden de totale score van de 4 verschillende multicriteria matrixen van elke oplossingsvariant bij elkaar opgeteld en wordt het gemiddelde berekend.

De oplossingsvariant met de hoogste gemiddeld totale score zal als tijdelijk oplossing worden toegepast in de projectlocatie.

De door multicriteria analyse gekozen oplossingsvariant (tijdelijke oplossing) wordt verder uitgewerkt in het hoofdrapport.

Hoofdstuk 3 Uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden verschillende oplossingsvarianten benoemd die uit de brainstormsessie zijn bedacht. Tijdens de brainstormsessie is er naar 4 type oplossingsvarianten gekeken. Het eerste type oplossingsvariant is een water en grondkerend constructie, het tweede type oplossingsvariant is een grondkerend constructie, het derde type oplossingsvariant is een filterende constructie en laatste type constructie is een waterremmend begrenzing (bodeminjectie).

In dit hoofdstuk wordt ook de lengte van de tijdelijke oplossing bepaald die nodig is om de uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van Aaldijk door het water bij een waterleidingbreuk te voorkomen. De lengte van de tijdelijke oplossing is een belangrijk aspect voor het bepalen van het aantal materialen voor de uitvoering van de oplossingsvarianten.

3.1 Oplossingsvarianten

In deze paragraaf worden verschillende oplossingsvarianten benoemd die mogelijk de tijdelijke oplossing kan zijn waar KEN engineering erom heeft gevraagd.

3.1.1 Water- en Grondkerend constructies

De onderstaande oplossingsvarianten die zijn benoemd, hebben als functie om zowel grond als water te keren.

- Stalen damwand
- Prefab Keermuur
- Diepwand
- Folieconstructie
- Groutzak
- Palenwand
- Combiwand

3.1.2 Grondkerend constructies

De onderstaande oplossingsvarianten die zijn benoemd, hebben als functie om alleen grond te keren.

- Gabion
- Berlinerwand
- Bekleding basalt stenen constructie
- Bigbag

3.1.3 Filterende constructie

De onderstaande (oplossingsvariant heeft als functie om het water af te voeren naar grondlagen waar het water snel afgevoerd kan worden.

- Grindpalen

3.1.4 Waterremmende begrenzing

De onderstaande oplossingsvariant is geen constructieve oplossing. De grond kwaliteit wordt met behulp van Goudinjectie verbeterd.

- Groutinjectie (bodemkwaliteit verbeteren en de bodem waterremmend maken)

3.1.5 Traject tijdelijke oplossing

In deze paragraaf wordt bepaald wat de lengte moet zijn van de tijdelijke oplossing om de uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van Aaldijk door het water bij een waterleidingbreuk te voorkomen. De lengte van de oplossingsvariant is nodig om de kosten van de oplossingsvarianten te kunnen bepalen.

Het bepalen van het traject kan het best bepaald worden door een bovenaanzicht tekening te maken van de projectlocatie. In de tekening wordt weergegeven waar TL21 ligt en tot waar de verstoringszone komt bij een waterleidingbreuk. De verstoringszone mag niet de stabiliteitszone van de Aaldijk overlappen, wanneer dit wel het geval is, betekent het dat er uitspoeling ontstaat in de stabiliteitszone. In de tekening moet dus ook de stabiliteitszone te zien zijn.

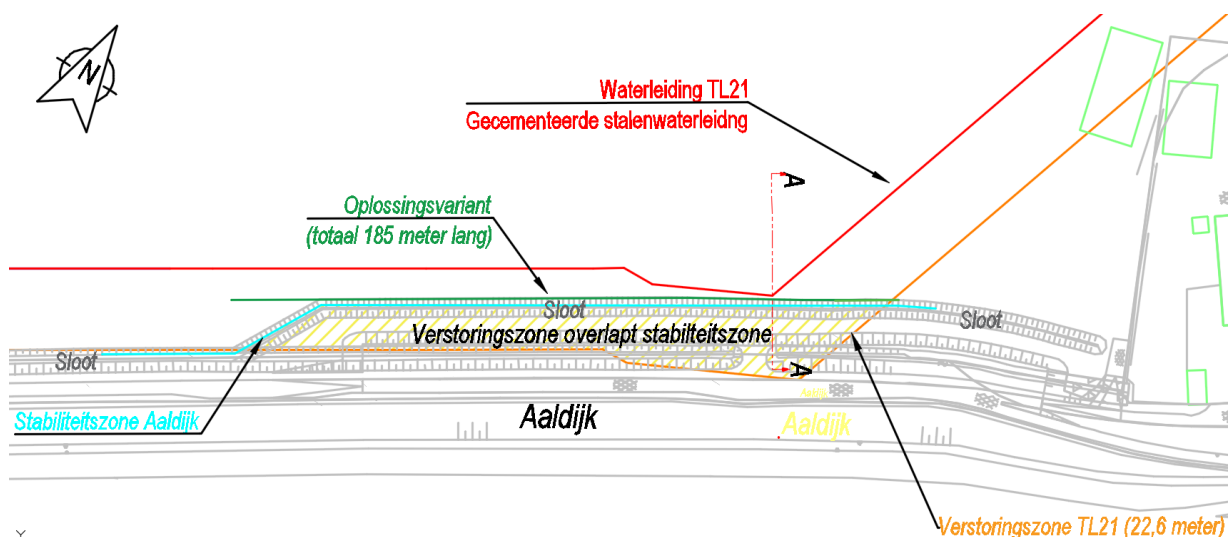
Waar de verstoringszone de stabiliteitszone overlapt, daar zal dus een tijdelijke oplossing moeten komen.

In figuur 2 is te zien hoe lang de oplossingsvariant moet zijn om te kunnen garanderen dat uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van Aaldijk door het water bij een waterleidingbreuk voorkomen kan worden.

Legenda

- De oranje lijn geeft de verstoringszone weer.
- De cyaan lijn geeft de stabiliteitszone weer
- De groene lijn geeft de ligging van tijdelijke oplossing weer.
- Rode lijn geeft de ligging van TL21 weer.

Het geel gemarkeerde deel geeft de zone weer waar de verstoringszone de stabiliteitszone overlapt.



Figuur 2: Traject Tijdelijke oplossing (Oplossingsvariant)

Uit figuur 2 kan er geconcludeerd worden dat de oplossingsvariant minimaal 185 meter moet zijn om te kunnen garanderen dat uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van Aaldijk door het water bij een waterleidingbreuk voorkomen kan worden.

Hoofdstuk 4 Oplossingsvarianten

In dit hoofdstuk worden de eigenschappen van de verschillende oplossingsvarianten benoemd. Het vooronderzoek van de verschillende oplossingsvarianten is nodig voor de multicriteria analyse.

4.1 Stalen damwand

4.1.1 Algemeen

Een stalen damwand is een grond en waterkerende constructie. Damwanden worden voornamelijk gebruikt voor kademuren, oeverbescherming, waterkering, bouwkuipen en grondscheidingen.

De damwand kan eventueel een gording en een anker beschikken om de krachten die de grond en water op de damwand uitoefent te compenseren.

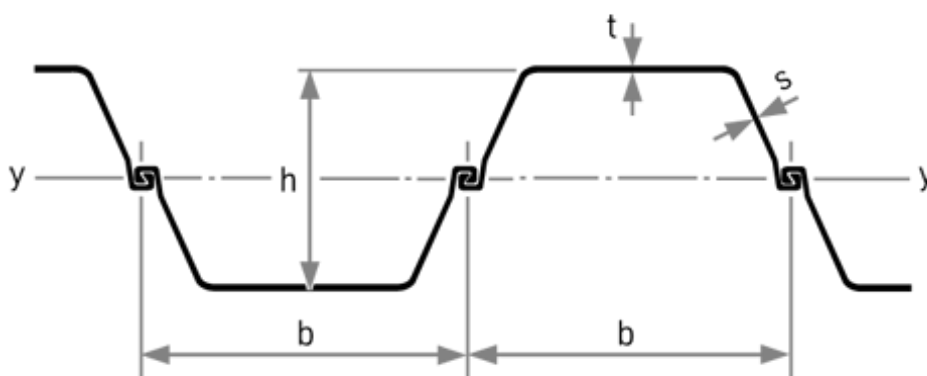
De damwand is in vergelijking met de vlakke plaat steviger, dit komt door de gebogen of hoekige profielen. De meeste bekende profielen zijn Z-profiel, U-profiel en Omegaprofiel.

De stalen damwanden kunnen op verschillende manieren worden aangebracht. De stalen damwand kan door heien, trillen of drukt aangebracht worden.

Doordat de stalen damwand de grond gescheiden houdt, kan de stalen damwand uitspoeling van grond voorkomen.

Voor de inheidiepte van de stalen damwand wordt de vuistregel aangenomen: bij verankering is de inheidiepte halve lengte van de damwand en bij zonder verankering is de inheidiepte twee derde lengte van de damwand. Met verankering zouden de damwanden een lengte hebben van $2 \times 3,83 = 7,66$ meter en damwanden zonder verankeringen zouden een lengte hebben van $3 \times 3,83 = 11,49$ meter.

Voor dit onderzoek wordt de stalen damwand van het Larssen 25 profiel aangenomen met een breedte van 0,5 meter. Het hart op hart afstand van de groutankers wordt aangenomen op 5 meter.



Figuur 3: Afmetingen Stalen damwand Larssen 607 (Bron: Gooimeer.nl)

4.1.2 Benodigheden uitvoering

Materiaal

- Stalen damwand Larssen 25 profiel (370 stuks)
- Eventueel Ankers (37 stuks)
- Eventueel Ankerstoel (37 stuks)
- Eventueel Grout

Materieel

- Kraan
- Trilblok
- Groutboormachine

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.1.3 Waterdoorlatendheid

De stalen damwand is een waterdichte constructie.

4.1.4 Levensduur

Bij normale omstandigheden van de stalen damwanden wordt uitgegaan dat de levensduur van de stalen damwand 50 jaar bedraagt. [7]

4.1.5 Impact stabiliteitszone

Het aanbrengen van stalen damwanden kan getrild of geheid worden. Bij het trillen van de stalen damwanden kunnen er zettingen in de ondergrond ontstaan, wat impact hebben op de stabiliteitszone van waterkering Aaldijk te Spijkenisse.

Bij het verwijderen van de wanden door ze trillend eruit te trekken kan voor zakking en horizontale grondverplaatsing zorgen, dit kan nadelige gevolgen hebben voor de stabiliteitszone van Aaldijk te Spijkenisse.

Bij het eventueel aanbrengen van het grout anker voor de stabiliteit van de stalen damwand, bevindt de ankerstang en het grout anker in de stabiliteitszone van Aaldijk.

De stalen damwand heeft dus veel impact op de stabiliteitszone van Aaldijk te Spijkenisse.

4.1.6 Onderhoud

De stalen damwand constructie vraagt weinig tot geen onderhoud.

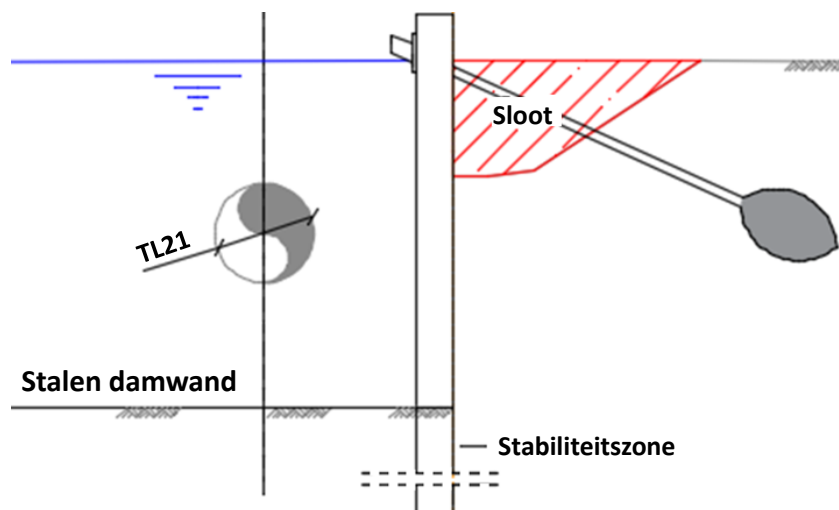
4.1.7 Uitvoeringsduur

Om de stalen damwandconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 5 weken geschat op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de stalen damwandconstructie te realiseren is 5 weken.

4.1.8 Risico

- Bij het aanbrengen van de damwanden kan er door trillingen zettingen in de ondergrond ontstaan die impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Het eventuele anker van de damwand zorgt ervoor dat een constructie onderdeel in de stabiliteitszone ligt (stabiliteitszone van Aaldijk wordt beïnvloed).
- Als de sloten van de damwanden niet goed met elkaar zijn bevestigd, kan het water van de waterleidingbreuk in de stabiliteitszone van Aaldijk komen, wat uitspoeling van de grond in de stabiliteitszone kan veroorzaken.



Figuur 4: Schetstekening Stalen damwand bij een waterleidingbreuk situatie

LET OP: Voor dit onderzoek wordt er gekozen voor een stalen damwand zonder verankering, want een stalen damwand zonder verankering heeft minder impact op de stabiliteitszone van Aaldijk en het risico is ook kleiner.

4.2 Prefab keermuur

4.2.1 Algemeen

Een keermuur is een grond en waterkerende constructie. De keermuur is een prefab element en is meestal in de vorm van een T of een L-model. Om de keermuur te plaatsen moet de locatie waar de keermuur geplaatst wordt, gegraven worden tot de gewenste diepte van -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringzonediepte). Wanneer het tot de gewenste diepte is gegraven, kan de keermuur op een vlakke ondergrond worden geplaatst. Nadat de keermuur is geplaatst, wordt de grond weer aangevuld tot aan de maaiveldhoogte. Doordat er een diepte van -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringzonediepte) moet worden ontgraven, moet er een bouwkuip worden gemaakt om het project uit te voeren, de bouwkuip moet voor een droge werkplek en een veilige werkplek zorgen.



Figuur 5: Keermuur (Bron: Betondelalomme.be)

4.2.2 Benodigheden uitvoering

Materiaal

- Prefab keermuur L-vorm

Materieel

- Rupskraan, lengte 40 m, hefvermogen 40 ton
- Rupsgraafmachine 3500 l

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.2.3 Waterdoorlatendheid

De keermuur is een waterdichte constructie.

4.2.4 Levensduur

Bij normale omstandigheden van de prefab keermuur wordt er uitgegaan dat de levensduur van de keermuur 100 jaar bedraagt.

4.2.5 Impact Stabiliteitszone

De keermuur zou impact hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk, want om de keermuur te plaatsen moet er in de stabiliteitszone van Aaldijk worden gegraven. De reden dat er in de stabiliteitszone gegraven moet worden is omdat de vloer van de keermuur in de stabiliteitszone bevindt.

De keermuur heeft 'veel impact' op de stabiliteitszone, want de vloer van de keermuur bevindt zich in de stabiliteitszone van Aaldijk.

4.2.6 Onderhoud

Een keermuur vraagt weinig tot geen onderhoud.

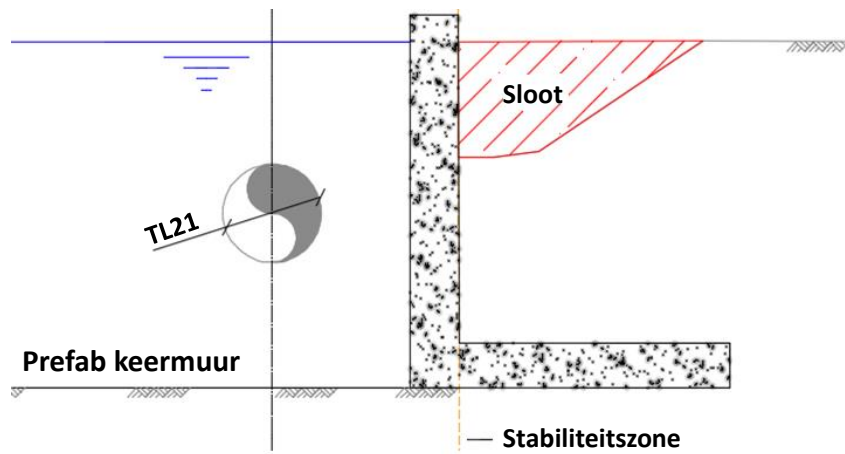
4.2.7 Uitvoeringsduur

Om de keermuur constructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 6 weken geschat en voor de bouwkuip wordt een uitvoeringsduur van 26 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de prefab keermuur constructie te realiseren is 32 weken.

4.2.8 Risico

- Gevaar voor stabiliteitszone van Aaldijk, omdat er gegraven wordt in de stabiliteitszone.
- Gevaar voor stabiliteitszone van Aaldijk, omdat een deel van de keermuur in de stabiliteitszone van Aaldijk bevindt.



Figuur 6: Schetstekening Prefab keermuur bij een waterleidingbreuk situatie

4.3 Diepwand

4.3.1 Algemeen

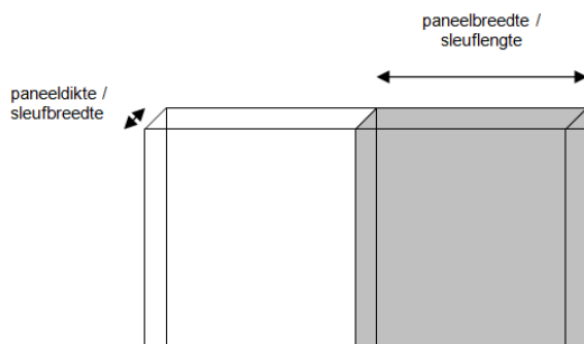
Diepwanden zijn gewapend betonnen wanden die in de grond zijn gevormd en worden geluidsarm en trillingvrij aangebracht. De diepwanden hebben een grond en waterkerende functie.

Het uitvoeren van een diepwand gaat als volgt. Eerst worden er geleidenbalken op het maaiveld aangebracht. De geleidenbalken zijn bedoeld om de draglines of speciale diepwandgrijpers te geleiden tijdens het graven. Tijdens het graven wordt de bentoniet-suspensie in de sleuf gegoten. De bentoniet-suspensie is een steunvloeistof wat moet zorgen voor de stabiliteit van de sleuf. Nadat de sleuf op diepte is gegraven wordt de wapeningskorf in de sleuf geplaatst met een kraan. Vervolgens wordt de sleuf onderaf met beton gevuld met behulp van een stortkoker. Door het dichtheidsverschil drijft de bentoniet-suspensie omhoog en kan het bentoniet weer hergebruikt worden voor de volgende diepwand. De voegen van de diepwanden worden met stalen voegprofielen waterdicht gemaakt.

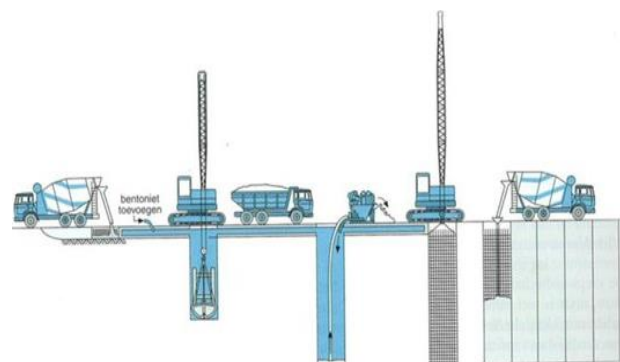
Een diepwand kan tot grote dieptes reiken en is toepasbaar in vrijwel elke grondsoort. Het paneel breedte van de diepwand varieert tussen de 3 en 7,5 meter en het paneel dikte varieert tussen de 0,6 en 2,0 meter

Voor de diepte van de diepwand wordt de vuistregel aangenomen: bij zonder verankering is de diepte twee derde lengte van de diepwand. Totale lengte paneel = $3 \times 3,83 = 11,49$ meter.

Voor dit onderzoek wordt paneelbreedte aangehouden op 3 meter, paneel dikte op 0,6 meter en paneel lengte is 11,49 meter.



Figuur 7: Afmeting paneel (Bron: cobprotaal.nl)



Figuur 8: Uitvoeringstekening Diepwand
(Bron: a2maastricht.nl)

4.3.2 Benodigheden uitvoering

Materiaal

- Beton (2455 m³)
- Bentoniet (80 m³)
- Wapeningskorf (62 panelen)

Materieel

- Rupskraan
- Diepwandgrijper
- Truckmixer
- Geleide balken

Personeel

- 5 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten
- Bentoniet centrale

4.3.3 Waterdoorlatendheid

De diepwand is een waterdichte constructie.

4.3.4 Levensduur

Bij normale omstandigheden van de diepwand wordt de levensduur van de diepwand uitgegaan van 50 tot 100 jaar. [5]

4.3.5 Impact Stabiliteitszone

De diepwand heeft geen impact op de stabiliteitszone van Aaldijk, door de geleidenbalken wordt de sleuf recht verticaal naar beneden gegraven. Wel wordt er gegraven in de veiligheidszone van Aaldijk.

4.3.6 Onderhoud

Diepwanden vereisen geen onderhoud. “Voor het functioneren van de diepwand is verder geen monitoring nodig. Tijdens de opleveringscontrole zal reeds zijn gebleken dat de wand zijn functie kan vervullen.” (Ir. M.A. Viergever, ir. D. Stamm, 1994, P.83)

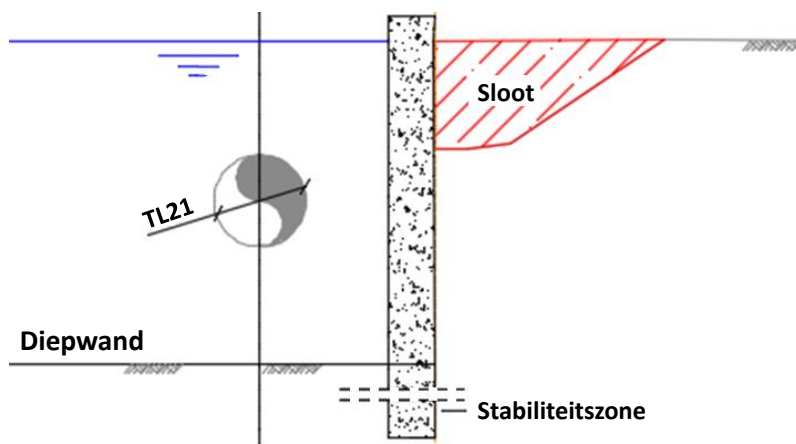
4.3.7 Uitvoeringsduur

Om de diepwandconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 7 weken geschat op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de diepwandconstructie te realiseren is 7 weken.

4.3.8 Risico

- Als de sluitende voegen van de diepwandpanelen niet goed uitgevoerd zijn, kan het water van de waterleidingbreuk in de stabiliteitszone van Aaldijk bevinden, wat mogelijk uitspoeling van de grond in de stabiliteitszone kan veroorzaken.



Figuur 9: Schetstekening Diepwand bij een waterleidingbreuk situatie

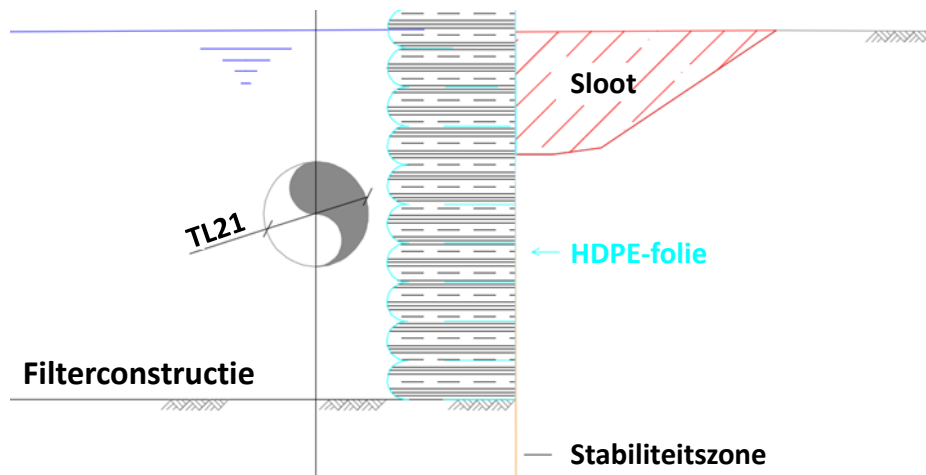
4.4 Folieconstructie

4.4.1 Algemeen

De folieconstructie bestaat uit een HDPE-folie (een dundoek dat geen vloeistof doorlaat) wat gecombineerd is met grond. De folie bevindt zich op de bodem -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringszonediepte). De folie is 1,5 meter breed en wordt om de hoogte van 20 centimeter omgeslagen over een grondlichaam. Het grondlichaam dient als verankering van de folie.

De folieconstructie is een grond en waterkerende constructie.

Doordat er een diepte van -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringszonediepte) moet worden ontgraven, moet er een bouwkuip worden gemaakt om het project uit te voeren, de bouwkuip moet voor een droge en een veilige werkplek zorgen.



Figuur 10: Schetstekening Folieconstructie bij een waterleidingbreuk haal

4.4.2 Benodigheden uitvoering

Materiaal

- HDPE-folie

Materieel

- Rupsgraafmachine 3500 l
- Kraan

Personeel

- 5 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.4.3 Waterdoorlatendheid

De folieconstructie is een waterdichte constructie.

4.4.4 Levensduur

De haalbare levensduur van de folieconstructie bedraagt 50 jaar. Dit is gebaseerd op de levensduur van de HDPE-folie.

4.4.5 Omgeving impact

Om de HDPE-folie te plaatsen moet er in de veiligheidszone van Aaldijk worden gegraven. Tijdens het graven kan het mogelijk zijn dat er ongewild in de stabiliteitszone wordt gegraven, maar er wordt hiervan niet uitgegaan.

De gabion heeft geen impact op de stabiliteitszone van Aaldijk

4.4.6 Onderhoud

De folieconstructie vereist weinig tot geen onderhoud.

4.4.7 Uitvoeringsduur

Om de folieconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 10 weken geschat en voor de bouwkuip wordt een uitvoeringsduur van 26 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de folieconstructie te realiseren is 36 weken.

4.4.8 Risico

- Tijdens het graven in de ondergrond kan er ongewild gegraven worden in de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Als de HDPE folie van de folieconstructie niet goed is bevestigd, stroomt het water van de waterleidingbreuk in de stabiliteitszone van Aaldijk. Het water van de waterleidingbreuk kan uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van Aaldijk veroorzaken.

4.5 Groutzak

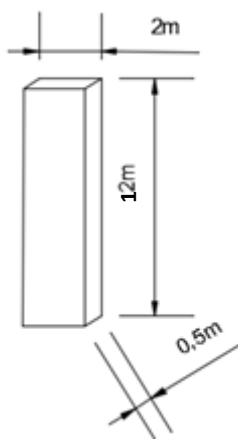
4.5.1 Algemeen

Groutzak constructie is een langwerpige zak in de grond wat met betonmortel is gevuld. De groutzak constructie is een grond en waterkerend constructie.

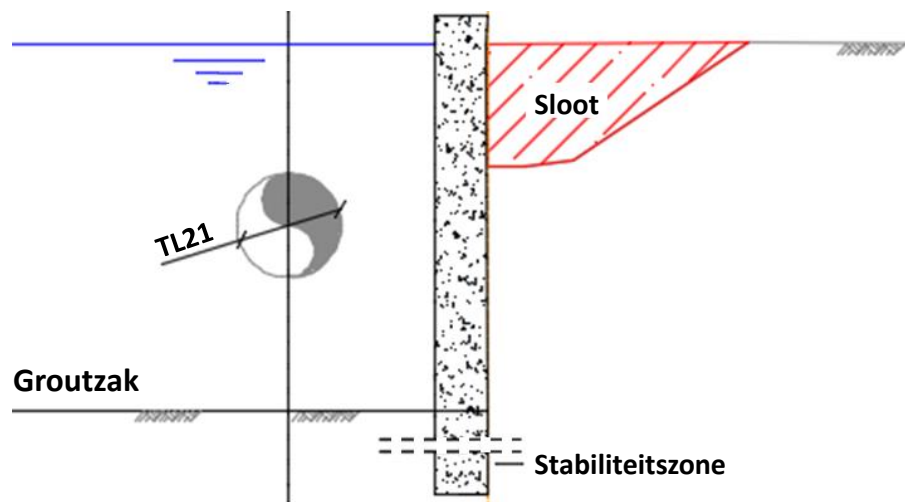
De groutzakken zijn opmaat gemaakte zakken van 2 meter breed, 12 meter lang en 0,5 meter dik.

Om de groutzak constructie te plaatsen moet de locatie waar de groutzakken komen, geboord worden met een schroefboor de gewenste diepte. Wanneer het tot de gewenste diepte is geboord, kunnen de groutzakken geplaatst worden. Vervolgens worden de groutzakken met grout gevuld.

Voor de diepte van de grout wordt de vuistregel aangenomen: zonder verankering is de diepte twee derde lengte van de groutzak. De totale lengte van de Groutzak is $3 \times 3,33 = 11,49$ meter.



Figuur 11: Afmeting groutzak



Figuur 12: Schetstekening grout bij een waterleidingbreuk situatie

4.5.2 Benodigdheden uitvoering

Materiaal

- Groutzak
- Betonmortel

Materieel

- Truckmixer 20 m³
- Schroefboor

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.5.3 Waterdoorlatendheid

De groutzak is een waterdichte constructie.

4.5.4 Levensduur

Bij normale omstandigheden van de grout wordt de levensduur van de grout uitgegaan van 50 jaar.

4.5.5 Impact stabiliteitszone

De groutzak heeft geen impact op de stabiliteitszone van Aaldijk te Spijkenisse. Om de groutzakken aan te brengen moet er wel in de veiligheidszone van Aaldijk worden geboord. Door in de grond te boren kan er wel mogelijk zettingen in de ondergrond ontstaan wat invloed kan hebben op de stabiliteitszone.

4.5.6 Onderhoud

De groutzakken vereisen weinig tot geen onderhoud.

4.5.7 Uitvoeringsduur

Om de groutzakconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 26 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en het aantal boorpalen.

De totale uitvoeringsduur om de groutzakconstructie te realiseren is 26 weken.

4.5.8 Risico

- Om de groutzakken in de ondergrond aan te brengen, moet in de ondergrond geboord worden met behulp van een schroefboor. Door het boren in de ondergrond kunnen er zettingen in de ondergrond ontstaan wat impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Als de groutzakken niet goed tegen elkaar zijn aangebracht, kan het water van de waterleidingbreuk tussen de twee groutzakken komen, waardoor er uitspoeling van de grond in de stabiliteitszone van Aaldijk kan ontstaan.

4.6 Palenwand

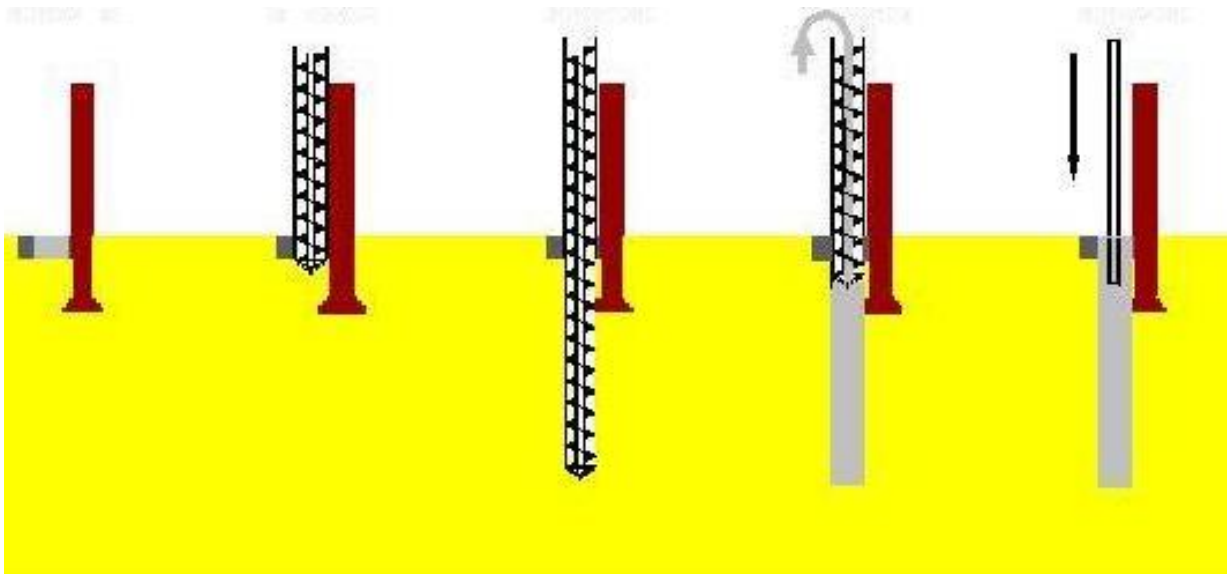
4.6.1 Algemeen

“De boorpalenwand is geschikt als grond- en als waterkering. Boorpalenwanden zijn opgebouwd uit een rij in de grond gevormde palen van beton, cementgrout, bentonietcement of geïnjecteerde grond. De palen zijn overlappend naast elkaar geplaatst. Om de buigmomenten te kunnen opnemen moeten de palen ook bestaan uit een wapeningskorf.

Voor dit type wand worden vooral avergaarpalen en buisschroefpalen toegepast. De gebruikelijke diameters van de palen variëren van 300 tot 800 millimeter. Een palenwand kan trillings- en geluidsarm worden aangebracht.” (Centrum ondergronds bouwen, P. 100 & 101) [9]

Voor de diepte van de palenwand wordt de vuistregel aangenomen: bij zonder verankering is de diepte twee derde lengte van de palenwand. De totale lengte van de palenwand is $3 \times 3,83 = 11,49$ meter.

Voor dit onderzoek wordt de diameter van de palenwand aangehouden op 500 millimeter.



Figuur 11: Uitvoeringstekening Palenwand (bron: cvr.be)

4.6.2 Benodigheden uitvoering

Materiaal

- Beton
- Wapeningskorf

Materieel

- Schroefboor 500 mm

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.6.3 Waterdoorlatendheid

De palenwandconstructie is een waterdichte constructie.

4.6.4 Levensduur

De haalbare levensduur van de palenwand is onbekend. De palenwand is in principe bijna hetzelfde als een diepwand, daarom wordt er aangehouden dat de levensduur van de palenwand hetzelfde is als de diepwand. De levensduur van de palenwand bedraagt 50 tot 100 jaar.

4.6.5 Impact stabiliteitszone

Bij het realiseren van de palenwand wordt er geboord in de veiligheidszone van Aaldijk te Spijkenisse. Het boren van de palen kan voor trillingen zorgen in de ondergrond, wat nadelig impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.

4.6.6 Onderhoud

De palenwand vereist weinig tot geen onderhoud.

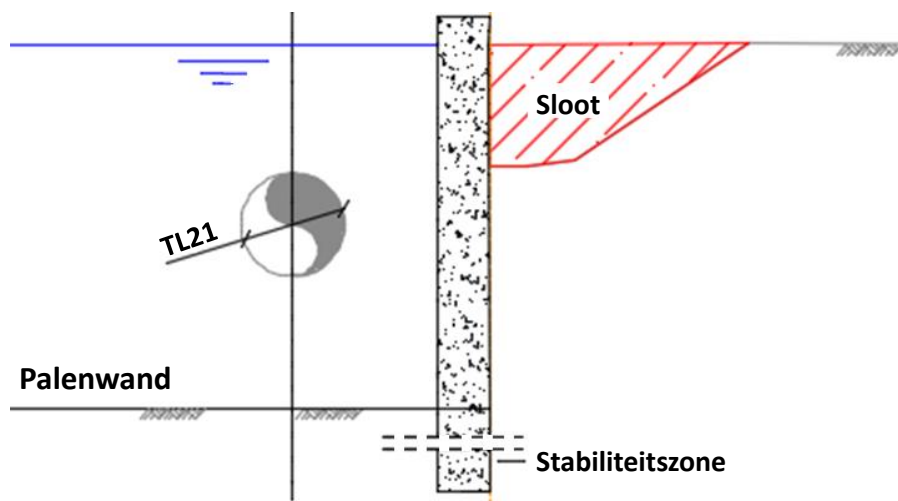
4.6.7 Uitvoeringsduur

Om de palenwandconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 9 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en het aantal boorpalen.

De totale uitvoeringsduur om de palenwandconstructie te realiseren is 9 weken.

4.6.8 Risico

- Bij het realiseren van de palenwand met behulp van een schroefboor in de ondergrond, kunnen er zettingen in de ondergrond ontstaan wat impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk
- Als de palen elkaar niet goed overlappen bij de uitvoering, kan het water van de waterleidingbreuk in de stabiliteitszone van Aaldijk komen, wat mogelijk uitspoeling van de grond kan veroorzaken.



Figuur 12: Schetstekening Palenwand bij een waterleidingbreuk situatie

4.7 Combiwand

4.7.1 Algemeen

De combiwandconstructie is een constructie wat bestaat uit een combinatie van buispalen en damwandprofielen. De combiwand constructie is een grond en waterkerend constructie.

De buispalen van de combiwand zorgen voor een hogere sterkte en stijfheid dan bij een traditionele damwand.

Allereerst worden de buispalen in de grond getrild of geheid. Deze buispalen zijn voor het plaatsen voorzien van sloten, zodat de damwanden met de buispalen verbonden kan worden. Nadat de buispalen zijn geplaatst, worden de tussen ruimtes met damwand profiel opgevuld.

Voor de inheidiepte van de stalen damwand en de buispalen wordt de vuistregel aangenomen: zonder verankering is de inheidiepte twee derde lengte van de damwand. De totale lengte van de buispalen en damwanden zijn 11,49 meter.

De buispalen hebben een diameter van 508 mm. Voor de combiwand constructie wordt aangenomen dat om 3 damwandplanken 1 combiwand komt.



Figuur 13: Combiwand (Bron: Joostdevree.nl)

4.7.2 Benodigheden uitvoering

Materiaal

- Buispalen (135 stuks)
- Stalen damwand Larssen 25 profiel (47 stuks)

Materieel

- Kraan
- Trilblok
- Vrachtauto met kraan

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.7.3 Waterdoorlatendheid

De combiwand is een waterdichte constructie.

4.7.4 Levensduur

Bij normale omstandigheden van de combiwallen wordt uitgegaan dat de levensduur van de stalen combiwallen 50 jaar bedraagt.

4.7.5 Impact stabiliteitszone

Het aanbrengen van stalen damwanden en buispalen kan getrild of geheid worden. Bij het trillen van de stalen damwanden en buispalen kunnen er zettingen in de ondergrond ontstaan, wat nadelige impact kan hebben op de stabiliteitszone van waterkering Aaldijk te Spijkenisse.

4.7.6 Onderhoud

De combiwand constructie vraagt weinig tot geen onderhoud.

4.7.7 Uitvoeringsduur

Om de combiwandconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 4 weken geschat op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de combiwandconstructie te realiseren is 4 weken.

4.7.8 Risico

- Bij het aanbrengen van de damwanden en de buispalen kunnen er trillingen ontstaan die impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Als de sloten van de damwanden en de buispalen niet goed met elkaar zijn bevestigd, kan het water van de waterleidingbreuk in de stabiliteitszone van Aaldijk komen, wat uitspoeling van grond in de stabiliteitszone kan veroorzaken.

4.8 Gabion

4.8.1 Algemeen

Gabions zijn korven die gevuld zijn met breukstenen. De gabions dienen als grondkerend constructie. Om de schanskorven te stabiliseren is er een fundering nodig van menggranulaat of beton. Een gabion is een waterdoorlatend constructie. Het kan dus geen uitspoeling van grond voorkomen, om toch uitspoeling te voorkomen moet er extra maatregelen worden genomen om de gabion waterdicht te maken. De gabion kan waterdicht worden gemaakt met behulp van HDPE-folie. Bij beschadiging van de korf, kan de korf over het algemeen niet hersteld worden. De korf moet meestal in zijn geheel worden vervangen.

Om de gabion constructie te realiseren moet er in de locatie waar de bigbags komen, gegraven worden tot de gewenste diepte van -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringzonediepte). Wanneer het tot de gewenste diepte is gegraven, kan de gabions op een vlakke ondergrond worden geplaatst en wordt de HDPE folie aangebracht om de bigbag constructie waterdicht te maken. Nadat de gabions zijn geplaatst, wordt de grond weer aangevuld tot aan de maaiveldhoogte.

Doordat er een diepte van -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringzonediepte) moet worden ontgraven, moet er een bouwkuip worden gemaakt om het project uit te voeren, de bouwkuip moet voor een droge en een veilige werkplek zorgen.



Figuur 14: Gabion (Bron: smithsbletchington.co.uk)

4.8.2 Benodigdheden uitvoering

Materiaal

- Schanskorven 1 x 1 x 0,97 m
- Basaltbreuksteen 90 -250 mm

Materieel

- Rupsgraafmachine
- Rupskraan

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.8.3 Waterdoorlatendheid

De gabion is een waterdoorlatende constructie. De gabion kan met een extra maatregel zoals een HDPE-folie een waterdichte constructie worden.

4.8.4 Levensduur

De haalbare levensduur van de gabionconstructie bedraagt 50 jaar. [11] Dit is gebaseerd op de levensduur van de HDPE-folie en de schanskorven wat wordt toegepast in deze oplossingsvariant.

4.8.5 Impact stabiliteitszone

Om de korven te plaatsen moet er in de veiligheidszone van Aaldijk worden gegraven. Tijdens het graven kan het mogelijk zijn dat er ongewild in de stabiliteitszone wordt gegraven, maar er wordt hiervan niet uitgegaan.

4.8.6 Onderhoud

“Gabion vereist weinig tot geen onderhoud. Wel zal regelmatig moeten worden geïnspecteerd om beschadiging van het gaas of de grid te signaleren.” (Ir. M.A. Viergever, ir. D. Stamm, 1994, P.80)

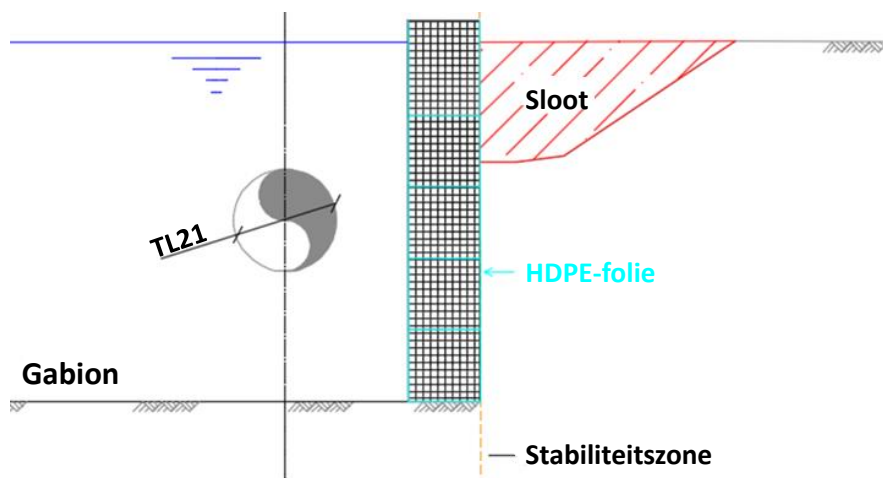
4.8.7 Uitvoeringsduur

Om de gabionconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 6 weken geschat en voor de bouwkuip wordt een uitvoeringsduur van 26 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de gabionconstructie te realiseren is 32 weken.

4.8.8 Risico

- Tijdens het graven in de ondergrond kan er ongewild gegraven worden in de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Als een Schanskorf beschadigd raakt, dan zou dit nadelige invloed hebben op de andere schanskorven en kan de gabion constructie falen.
- Bij beschadiging van de korf, kan de korf over het algemeen niet hersteld worden. De korf moet meestal in zijn geheel worden vervangen.
- Als de HDPE folie niet goed aan de gabion constructie is bevestigd, stroomt het water van de waterleidingbreuk door de gabion constructie in de stabiliteitszone van Aaldijk. Het water van de waterleidingbreuk kan uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van Aaldijk veroorzaken.



Figuur 15: Schetstekening Gabion bij een waterleidingbreuk situatie

4.9 Berlinerwand

4.9.1 Algemeen

Een berlinerwand is een grondkerend constructie dat bestaat uit I of H-vormige profielen waar tussen de flenzen houten, stalen of betonnen schotten zijn ingebracht.

Door heien of trillen worden de I of H-vormige profielen aangebracht. De gronddruk wordt via de schotten overgebracht naar de I of H vormige profielen, daarom moeten deze profielen voldoende diep worden aangebracht. De schotten worden tijdens de ontgraving aan de bovenkant van de profielen aangebracht, gedurende de ontgraving zakken de schotten naar beneden. De schotten ligt op de bodem van -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringazonediepte).

Doordat er een diepte van -4,3meter ten opzichte van NAP (verstoringazonediepte) moet worden ontgraven, moet er een bouwkuip worden gemaakt om het project uit te voeren, de bouwkuip moet voor een droge en een veilige werkplek zorgen.

De berlinerwand is waterdoorlatend. De uitspoeling van grond kan dus niet worden voorkomen, tenzij er extra maatregelen worden genomen om de berlinerwand waterdicht te maken. Om de berlinerwand waterdicht te maken, kan HDPE-folie gebruikt worden.

Voor de diepte van de HEA-profielen wordt de vuistregel aangenomen: bij zonder verankering is de diepte twee derde lengte van het HEA-profiel. De totale lengte van het HEA-profiel is $3 \times 3,83 = 11,49$ meter.

Voor dit onderzoek wordt voor de HEA-profielen een hart op hart afstand aangenomen van 1 meter.



Figuur 16: Berlinerwand (Bron: Funderenzonderoverlast.nl)

4.9.2 Benodigheden uitvoering

Materiaal

- HEA 240 profielen, 22 meter lang (186 stuks)
- Azobé houten schotten 100 cm x 145 cm x 50 mm (990 stuks)

Materieel

- Kraan
- Trilblok
- Rupskraan 3500 l

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.9.3 Waterdoorlatendheid

De berlinerwand is een waterdoorlatende constructie. De berlinerwand kan met extra maatregel zoals een HDPE-folie een waterdichte constructie worden.

4.9.4 Levensduur

Bij normale omstandigheden van de berlinerwand wordt de levensduur van de (houten) berlinerwand uitgegaan van 25 jaar. Hierbij dient het hout te voldoen aan duurzaamheidsklasse 1 (zeer duurzaam).[24]

4.9.5 Impact stabiliteitszone

Het aanbrengen van de I of H-profielen van de berlinerwand wordt net als bij de stalen damwanden getrild of geheid. De impact bij het aanbrengen van de I of H-profielen is kleiner dan het aanbrengen van stalen damwanden. De reden dat de impact van de stalen damwanden groter is, komt doordat de stalen damwanden over hele strook getrild en geheid moet worden, terwijl bij de I of H-profielen om 1 a 3 meter getrild hoeft te worden. De impact van heien of trillen van de berliner wand is dus kleiner dan het heien of trillen van een stalen damwand.

Om de schotten te plaatsen van de berlinerwand kan het mogelijk zijn dat er ongewild in de stabiliteitszone wordt gegraven. Het graafwerk wordt wel in de veiligheidszone van Aaldijk uitgevoerd.

4.9.6 Onderhoud

Een berlinerwand vraagt weinig tot geen onderhoud.

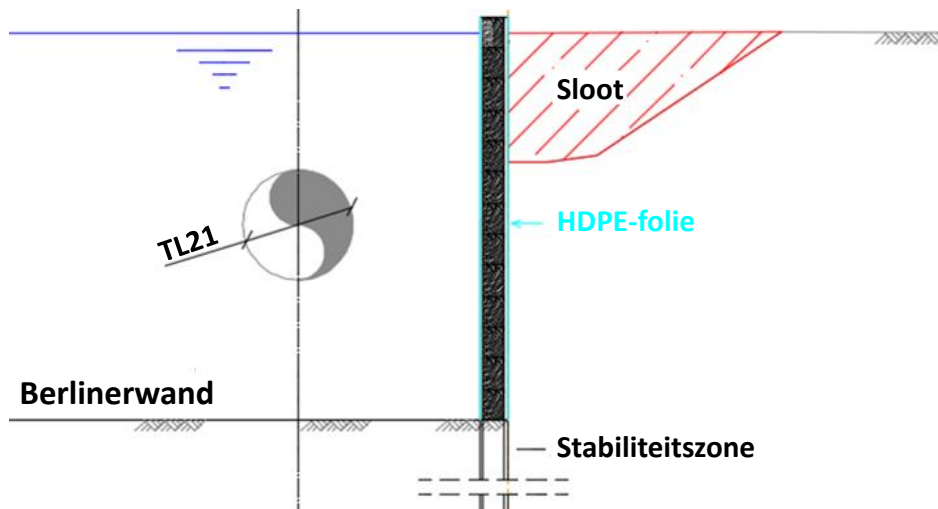
4.9.7 Uitvoeringsduur

Om de berlinerwandconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 8 weken geschat en voor de bouwkuip wordt een uitvoeringsduur van 26 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de berlinerwandconstructie te realiseren is 34 weken.

4.9.8 Risico

- Tijdens het graven in de ondergrond kan er ongewild gegraven worden in de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Bij het aanbrengen van de HEA-profielen kan er door trillingen zetting in de ondergrond ontstaan die impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.



Figuur 17: Schetstekening Berlinerwand bij een waterleidingbreuk situatie

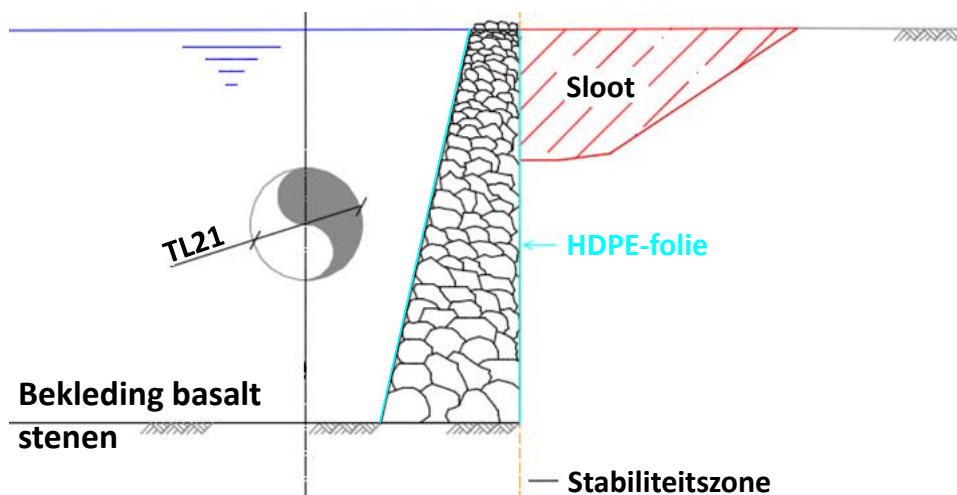
4.10 Basaltstenenconstructie

4.10.1 Algemeen

De basaltstenenconstructie is een constructie wat geïnspireerd is door de dijkbekleding. De basalt stenen constructie bevindt zich onder de grond en is een grondkerend constructie.

Om de bekleding basalt stenen constructie te realiseren moet er eerst in de locatie waar de constructie komt, gegraven worden tot de gewenste diepte van -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringzonediepte). Nadat het tot de gewenste diepte is gegraven, wordt de HDPE folie aangebracht op de vlakke bodem en aan de zijde waar de sloot ligt. Op HDPE folie worden de basaltstenen geplaatst in een hellingshoek aan de zijde waar de waterdruk optreedt bij een waterleidingbreuk, zodat de constructie stabiel blijft.

Vervolgens wordt de basaltstenenconstructie aan de hellingzijde met HDPE folie bekleedt, om de basaltstenenconstructie waterdicht te maken.



Figuur 18: Basaltstenenconstructie bij een waterleidingbreuk situatie

4.10.2 Benodigdheden uitvoering

Materiaal

- Basaltstenen

Materieel

- Rupsgraafmachine 3500 l

Personeel

- 5 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.10.3 Waterdoorlatendheid

De combiwand is een waterdichte constructie.

4.10.4 Levensduur

De basaltstenen hebben een zeer lang levensduur. De haalbare levensduur van de basalt stenen constructie bedraagt 50 jaar. Dit is gebaseerd op de levensduur van de HDPE-folie wat wordt toegepast in deze oplossingsvariant.

4.10.5 Onderhoud

Een combiwand vraagt weinig tot geen onderhoud.

4.10.6 Uitvoeringsduur

Om de basalt tenenconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 12 weken geschat en voor de bouwkuip wordt een uitvoeringsduur van 26 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de basaltstenenconstructie te realiseren is 38 weken.

4.10.7 Risico

- Tijdens het graven in de ondergrond kan er ongewild gegraven worden in de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Als de HDPE folie niet goed aan de basaltstenenconstructie is bevestigd, stroomt het water van de waterleidingbreuk door de basaltstenenconstructie in de stabiliteitszone van Aaldijk. Het water van de waterleidingbreuk kan uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van Aaldijk veroorzaken.

4.11 Bigbag

4.11.1 Algemeen

Een bigbag constructie zijn zakken die gevuld zijn met basaltsplit die op elkaar zijn gestapeld. De bigbag is een waterdicht zak, maar de bigbag constructie bevat open ruimtes waardoor de constructie niet waterkerend is. De bigbag constructie is een grondkerend constructie. Een bigbag heeft een volume van 1m^3 . Het te hanteren gewicht van deze zakken zijn 1600 kilogram per kubieke meter.

Om de bigbag constructie te plaatsen moet er in de locatie waar de bigbags komen, gegraven worden tot de gewenste diepte van -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringzonediepte). Wanneer het tot de gewenste diepte is gegraven, kan de bigbag op een vlakke ondergrond worden geplaatst en worden de bigbags op elkaar gestapeld. Nadat de bigbags zijn geplaatst, wordt de grond weer aangevuld tot aan de maaiveldhoogte. Doordat er een diepte van -4,3 meter ten opzichte van NAP (verstoringzonediepte) moet worden ontgraven, moet er een bouwkuip worden gemaakt om het project uit te voeren, de bouwkuip moet voor een droge en een veilige werkplek.



Figuur 19: Bigbags (Bron: wikimedia.org)

4.11.2 Benodigdheden uitvoering

Materiaal

- Bigbag 90x90x110 cm (stuks)
- Basaltsplit 8-16 mm (m³)

Materieel

- Rupsgraafmachine 3500 l

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.11.3 Waterdoorlatendheid

De bigbag is een waterdoorlatende constructie. De bigbags kan met extra maatregel zoals een HDPE-folie een waterdichte constructie worden.

4.11.4 Levensduur

Bij normale omstandigheden van de bigbag wordt de levensduur van de bigbag uitgegaan van 50 tot 100 jaar. [5]

4.11.5 Impact stabiliteitszone

Om de bigbags te plaatsen moet er in de veiligheidszone van Aaldijk worden gegraven. Tijdens het graven kan het mogelijk zijn dat er ongewild in de stabiliteitszone wordt gegraven.

4.11.6 Onderhoud

Een keermuur vraagt weinig tot geen onderhoud.

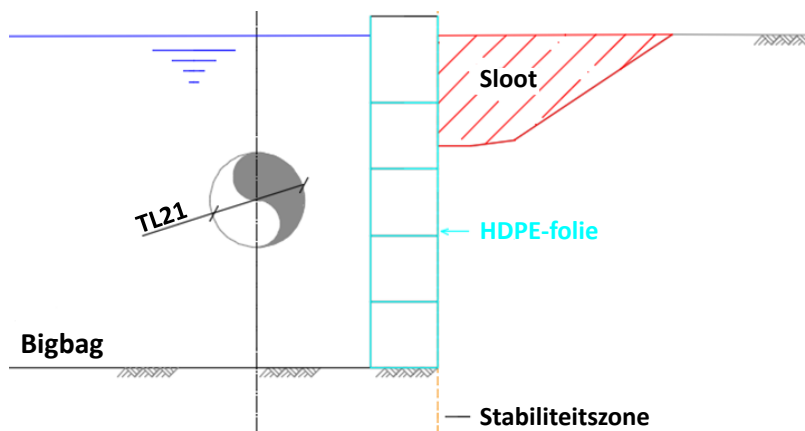
4.11.7 Uitvoeringsduur

Om de bigbagconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 6 weken geschat en voor de bouwkuip wordt een uitvoeringsduur van 26 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de bigbagconstructie te realiseren is 32 weken.

4.11.8 Risico

- Tijdens het graven in de ondergrond kan er ongewild gegraven worden in de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Als een bigbag beschadigd raakt, dan zou dit nadelige invloed hebben op de andere bigbags en kan de bigbag constructie falen.
- Als de HDPE folie niet goed aan de bigbag constructie is bevestigd, stroomt het water van de waterleidingbreuk door de bigbag constructie in de stabiliteitszone van Aaldijk. Het water van de waterleidingbreuk kan voor uitspoeling van de grond in de stabiliteitszone van Aaldijk veroorzaken.



Figuur 20: Schetstekening Bigbags bij een waterleidingbreuk situatie

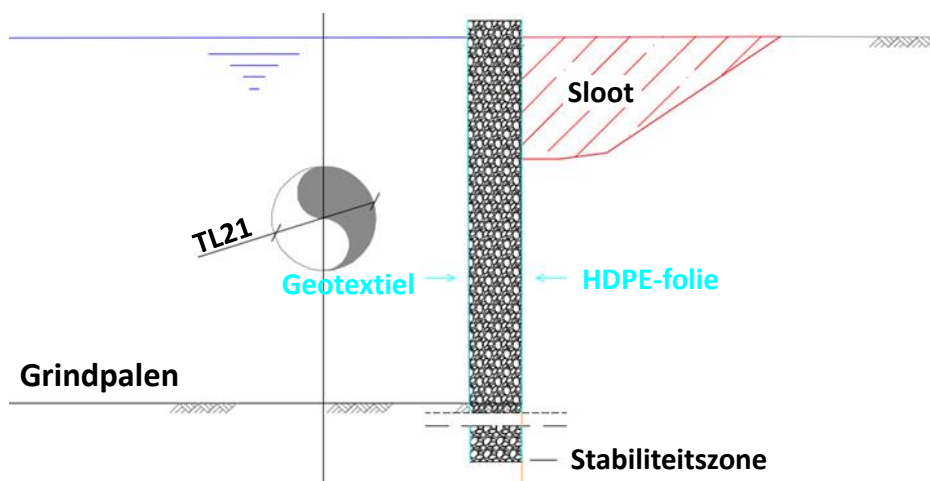
4.12 Grindpalen

4.12.1 Algemeen

“Grindpalen zijn palen opgebouwd uit grind of breuksteen die in een kei pakket zijn aangebracht. Bij de fabricage van grindpalen wordt vaak met behulp van een torpedo een verticaal gat in de grond getrild. Het gat wordt, al dan niet met behulp van vuilbuis, gevuld met grind, waarna het grind wordt verdicht en zijdelings in de omringende slappe bodem wordt geperst. Op die manier ontstaat een paal opgebouwd uit grind, die zijn samenhang ontleend aan de druk van de omringende grond.”(ir. M.A. Viergever, ir. D. Stamm, 1994, P.14 en 15)

Grindpalen zijn verticale drainages die overlappend naast elkaar geplaatst. De verticale drainages moet het grondwater wat moeilijk weg trekt bij ondoorlatende lagen naar diepere gelegen zandlagen infiltreren. Grindpalen hebben geen grond en waterkerende functie. Om de grindpalen grond en waterkerend te maken moet er geotextiel en HDPE-folie worden gebruikt.

Voor dit onderzoek wordt de diameter van de grindpalen aangehouden op 500 millimeter.



Figuur 21: Schetstekening Grindpalen bij een waterleidingbreuk situatie

4.12.2 Benodigdheden uitvoering

Materiaal

- Grind of breuksteen 90 -250 mm

Materieel

- Schroefboor 500 mm
- Kraan
- Kubel
- Kipper 4x4 6m³

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.12.3 Waterdoorlatendheid

Grindpalen is een waterdoorlatende constructie. De grindpalen kan met extra maatregel zoals een HDPE-folie een waterdichte constructie worden.

4.12.4 Levensduur

De levensduur van de grindpalen zijn niet bekend. Wel mag er verwacht worden dat als gevolg van verstopping het effect op lange levensduur zal afnemen. De haalbare levensduur van de bigbag constructie bedraagt 50 jaar. Dit is gebaseerd op de levensduur van de HDPE-folie wat wordt toegepast in deze oplossingsvariant.

4.12.5 Impact stabiliteitszone

De grindpalen heeft geen impact op de stabiliteitszone van Aaldijk te Spijkenisse. Om de grindpalen aan te brengen moet er wel in de veiligheidszone van Aaldijk worden geboord. Door in de grond te boren kan er wel mogelijk zettingen in de ondergrond ontstaan wat invloed kan hebben op de stabiliteitszone.

4.12.6 Onderhoud

De grindpalen vereisen weinig tot geen onderhoud.

4.12.7 Uitvoeringsduur

Om de grindpalenconstructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 26 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en het aantal boorpalen.

De totale uitvoeringsduur om de grindpalenconstructie te realiseren is 26 weken.

4.12.8 Risico

- Bij het realiseren van de grindpalen met behulp van een schroefboor in de ondergrond kunnen er zettingen in de ondergrond ontstaan wat impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Als de grindpaal verstopt raakt, dan kan het water niet meer afgevoerd worden en kan de grindpaal falen, omdat de grindpaal de waterdruk van het water bij een waterleidingbreuk niet kan weerstaan.
- Als de HDPE folie niet goed aan de grindpalen constructie is bevestigd, stroomt het water van de waterleidingbreuk door de grindpalen constructie in de stabiliteitszone van Aaldijk. Het water van de waterleidingbreuk kan voor uitspoeling van de grond in de stabiliteitszone van Aaldijk veroorzaken.

4.13 Groutinjectie

4.13.1 Algemeen

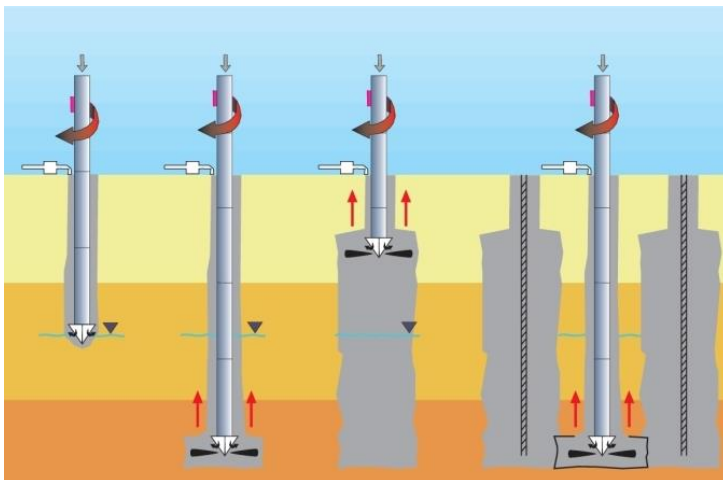
De Groutinjectie variant is een oplossing om in de grond grout te injecteren. De groutinjectie moet de sterkte-, doorlatendheid- en stijfeigenschappen van de ondergrond verbeteren.

De bodeminjectie wordt uitgevoerd met de methode jetgrouten. Bij deze methode wordt met hogedruk vloeistof of suspensie de ondergrond losgewoeld en wordt de grond vermengd met grout.

Jetgrouten is trillingvrij, geluidsarm en kan in een beperkte ruimte worden uitgevoerd.

“Het grout proces verloopt als volgt: vanaf het maaiveld wordt een boorlans volgens een ontworpen raster in de vereiste richting op diepte gebracht. Deze lans heeft gewoonlijk een diameter van 80 tot 100 millimeter en is opgebouwd uit meerder boorbuizen van 1, 2, 3 meter lang. Aan de onderzijde van de buis bevindt zich een boorkroon en grond dient om afvoer van de los gespoten grond mogelijk te maken. Wanneer er een spoelopening in de boorkroon, wordt deze afgedicht op het moment dat de juiste diepte is bereikt. Het jetgrouten wordt vervolgens opgestart door het in werking stellen van de jetgroutpomp op een vooraf bepaald pompdruk en het te leveren debiet. Het verpompte materiaal stroomt door de boorbuus om via spuitopening onder in de buis radiaal in de grond te worden geïnjecteerd. De snijstraal die via de opening vanuit de boorbuus naar buiten treedt is zo krachtig dat de gronddeeltjes uit hun structuur worden gespoten en de grout zeer intensief met de grond wordt vermengd omdat er een volumebalans moet bestaan, stroomt een deel van dit mengsel langs de boorbuus als retourspoeling naar het maaiveld omhoog. Na het instellen van de jetgroutpomp wordt de draaisnelheid van de boorbuus afgesteld op het gewenste toerental waarna de treksnelheid wordt opgevoerd naar de gewenste waarde. Door het traag optrekken van de langzaam draaiende boorbuus wordt er in de grond een kolom gevormd, die bestaat uit een mengsel van het oorspronkelijke bodemmateriaal en geïnjecteerd grout.”(Centrum ondergronds bouwen 2012, P.103)

De groutinjectie wordt uitgevoerd tot aan de verstoringzonediepte (-4,3 meter ten opzichte van NAP)



Figuur 22: Uitvoeringstekening Jetgrouten (Bron: Franki-grondtechniek.nl)

4.13.2 Benodigdheden uitvoering

Materiaal

- Grout

Materieel

- Jetgrout boor
- Truckmixer 20m³

Personeel

- 3 personeel

Locatie

- Depot voor opslag
- Rijplaten

4.13.3 Waterdoorlatendheid

Groutinjectie methode zorgt ervoor dat de grond waterdicht wordt.

4.13.4 Levensduur

Bij een normale omstandigheden van de grout wordt de levensduur van de grout uitgegaan van 50 jaar.

4.13.5 Impact stabiliteitszone

Bij de jet-grout methode wordt de grond losgewoeld met water of suspensie wat onder hogedruk staat. Door het loswoelen van de grond, kan dit impact hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.

4.13.6 Onderhoud

Een groutinjectie vraagt weinig tot geen onderhoud.

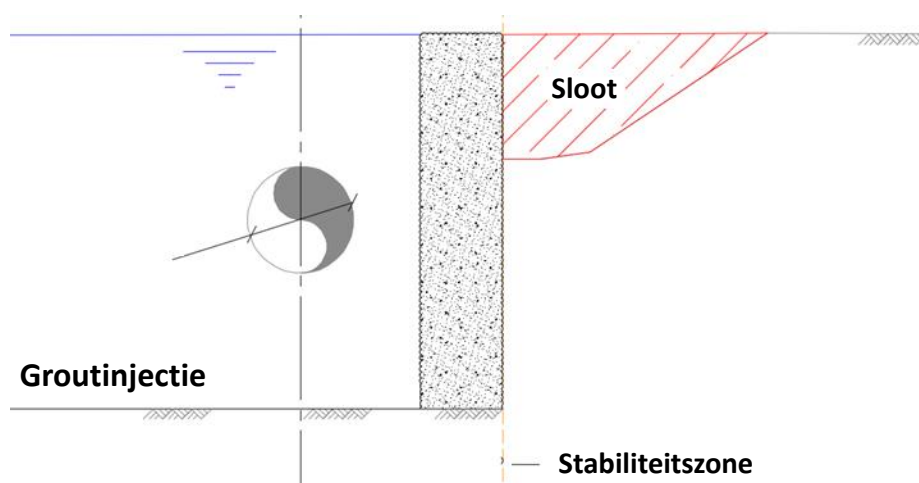
4.13.7 Uitvoeringsduur

Om de groutinjectie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 26 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de groutinjectie te realiseren is 26 weken.

4.13.8 Risico

- Door de grond los te woelen met hogedruk van water of suspensie kan dit een impact hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk
- De groutinjectie methode is niet volledig betrouwbaar om uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van de Aaldijk door het water bij een eventuele waterleidingbreuk te voorkomen. De reden dat het niet betrouwbaar is, is omdat bij deze methode niet met zekerheid gezegd worden of het grout goed in de grond is geïnjecteerd.



Figuur 23: Schetstekening Groutinjectie bij een waterleidingbreuk situatie

Hoofdstuk 5 Selectie

In dit hoofdstuk wordt bepaald welke oplossingsvarianten die in hoofdstuk 4 zijn benoemd door gaan naar de multicriteria analyse. De tijdelijke keuze wordt gemaakt op basis van de uitvoeringsduur van elke oplossingsvariant.

De reden dat de selectie is gebaseerd op de uitvoeringsduur is omdat de opdrachtgever heeft geëist dat de tijdelijke oplossing een oplossing moet zijn die snel uitgevoerd moet kunnen worden. Als de uitvoering van de tijdelijke oplossing langer dan 24 weken duurt, dan duurt de uitvoering van de tijdelijke oplossing net zo lang als dat de tijdelijke oplossing moet blijven staan in de projectlocatie. De oplossingsvarianten die een uitvoeringsduur hebben van meer dan 24 weken voldoen dus niet aan de eis van de opdrachtgever en worden dus niet meegenomen in de multicriteria analyse.

In tabel 11 is de uitvoeringsduur te zien van verschillende oplossingsvarianten. De uitvoeringsduur is ingeschat door deskundigen uit het bedrijfsleven te raadplegen. De reden dat de uitvoeringsduur van sommige oplossingsvarianten zo lang zijn, komt door de bouwkuip die gerealiseerd moet worden voor een veilige en droge werkplek.

Volgens Rotterdam Engineering zouden de vergunningen die door WSHD worden verstrekt voor het realiseren van de oplossingsvariant ook een bepalende factor zijn voor de selectie. De vergunning bepaald namelijk of de oplossingsvariant wel of niet gerealiseerd mag worden. Maar gezien het tijdsbestek van de (tijdelijke) oplossing en de groot gemeenschappelijke belang tussen beide partijen (WSHD en Evides) is de vergunning van de oplossingsvarianten in dit stadium niet meegenomen.

Uit tabel 9 kan dus geconcludeerd worden dat de oplossingsvarianten: de stalen damwand, de diepwand, de palenwand en de combiwand door gaan naar de multicriteria analyse. Deze vier oplossingsvarianten voldoen namelijk aan de uitvoeringduur eis die de opdrachtgever heeft vastgelegd.

Tabel 1: Uitvoeringsduur van elke oplossingsvariant

Oplossingsvarianten	Uitvoeringsduur [weken]
Stalen damwand	5
Prefab keermuur	32
Diepwand	7
Folieconstructie	36
Groutzak	26
Palenwand	9
Combiwand	4
Gabion	32
Berlinerwand	34
Basaltstenenconstructie	38
Bigbag	32
Grindpalen	26
Groutinjectie	26

Hoofdstuk 6 Kosten oplossingsvarianten

In dit hoofdstuk worden de kosten bepaald van de oplossingsvarianten die door gaan naar de multicriteria analyse. De kosten die bepaald voor zijn voor de multicriteria analyse zijn alleen kosten voor het aanbrengen van de oplossingsvarianten. De kosten voor het verwijderen van de oplossingsvarianten zijn niet meegenomen in de multicriteria analyse. Dit komt omdat de tijdsduur van de tijdelijke oplossing niet definitief is en de vraag is of de tijdelijke oplossing wel verwijderd moet worden?

Echter kan de kosten van de stalen damwand en combiwand constructie met verwijderen per strekkend meter goedkoper worden, vanwege het hergebruik van de materialen. De opbrengsten van de verkochte materialen wat hergebruikt kan worden, zijn hoger dan de kosten van het verwijderen van de constructie. Hierdoor kan de stalen damwand en combiwand constructie met verwijderen per strekkend meter goedkoper worden.

De diep- en palenwand constructie kunnen echter niet hergebruikt. De kosten van de diep- en palenwand constructie met verwijderen per strekkend meter kan alleen duurder worden doordat er geen opbrengsten zijn. Wel komen er kosten bij voor het verwijderen van de diep- en palenwand constructie

Om de kosten van de oplossingsvarianten te bepalen, zijn de prijzen van de materialen en materieel en de uitvoeringsduur van belang.

Voor het bepalen van de prijzen en de uitvoeringsduur zijn deskundigen uit het bedrijfsleven geraadpleegd.

3.1.6 Stalen damwand

Om de stalen damwand als oplossingsvariant in de projectlocatie aan te brengen, kost het € 1.400,- per strekkend meter.

3.1.7 Diepwand

Om de diepwand als oplossingsvariant in de projectlocatie aan te brengen, kost het € 3.100,- per strekkend meter.

3.1.8 Combiwand

Om de combiwand als oplossingsvariant in de projectlocatie aan te brengen, kost het € 2.170,- per strekkend meter.

3.1.9 Palenwand

Om de palenwand als oplossingsvariant in de projectlocatie aan te brengen, kost het € 2.220,- per strekkend meter.

Voor de calculatie van de kosten raadpleeg bijlage[B]

Hoofdstuk 7 Criteria

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke 4 criteria worden gebruikt voor de 4 oplossingsvarianten die verwerkt worden in de multicriteria analyse. De criteria zijn gebaseerd op de klanten eisen die zijn vastgesteld in het programma van eisen.

7.1 Kosten

In het criterium 'Kosten' wordt geschat hoeveel de oplossingsvarianten zouden kunnen gaan kosten. Het criterium kosten bestaat uit 3 beoordelingen:

- Hoge kosten ($\dots > \text{€ } 2.400,00$) per strekkende meter
- Gemiddelde kosten ($\text{€ } 2.400,00 < \dots < \text{€ } 1.800,00$) per strekkende meter
- Lage kosten ($\text{€ } 1.800,00 > \dots > \text{€ } 1.200,00$) per strekkende meter

7.2 Impact stabiliteitszone

In het criterium 'impact stabiliteitszone' wordt bepaald hoe groot de impact is op de stabiliteitszone van Aaldijk te Spijkenisse bij het aanbrengen van de oplossingsvariant. Het criterium impact stabiliteitszone bestaat uit 3 beoordelingen:

- Veel impact (Directe impact: een onderdeel van de constructie bevindt zich in de stabiliteitszone van Aaldijk)
- Weinig impact (Indirect impact: er bevindt geen onderdeel van de constructie in de stabiliteitszone van Aaldijk, maar de stabiliteitszone wordt beïnvloed tijdens de uitvoering van de constructie)
- Geen impact (Geen impact): De constructie heeft geen impact op de stabiliteitszone van Aaldijk

7.3 Uitvoeringsduur

In het criterium 'Uitvoeringsduur' wordt de duur van de uitvoering beoordeeld. Het criterium uitvoeringsduur bestaat uit 3 beoordelingen:

- Lange uitvoeringsduur ($\dots \geq 10$ weken)
- Gemiddelde uitvoeringsduur ($5 \text{ weken} < \dots < 10 \text{ weken}$)
- Korte uitvoeringsduur ($\dots \leq 5$ weken)

7.4 Risico uitvoering

In het criterium 'Risico' worden risico's van de stabiliteitszone beschreven die worden veroorzaakt tijdens de uitvoering van de oplossingsvarianten. Bij het criterium risico zijn 3 beoordelingen mogelijk:

- Groot risico (Om de oplossingsvariant te realiseren zijn er 3 of meer risico's)
- Risico (Om de oplossingsvariant te realiseren zijn er 2 risico's)
- Klein risico (De oplossingsvariant heeft 1 risico)

Hoofdstuk 8 Beoordeling oplossingsvarianten

In dit hoofdstuk worden de beoordelingen van elke criteria toegekend aan de oplossingsvarianten die in de multicriteria analyse verwerkt worden.

8.1 Stalen damwand

8.1.1 Kosten

Om de stalen damwand als oplossingsvariant in de projectlocatie aan te brengen, kost het € 1.400,00 per strekkend meter.

'Lage kosten' (€ 1.800,00 > ... > € 1.200,00)

8.1.2 Impact stabiliteitszone

Het aanbrengen van stalen damwanden kan getrild of geheid worden. Bij het trillen van de stalen damwanden kunnen er zettingen in de ondergrond ontstaan, wat impact hebben op de stabiliteitszone van waterkering Aaldijk te Spijkenisse.

'Weinig Impact' (er bevindt geen onderdeel van de constructie in de stabiliteitszone van Aaldijk, maar de stabiliteitszone wordt beïnvloed tijdens de uitvoering van de constructie)

8.1.3 Uitvoeringsduur

Om de stalen damwand constructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 5 weken geschat op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de stalen damwand constructie te realiseren is 5 weken.

'Korte uitvoeringsduur' (... ≤ 5 weken)

8.1.4 Risico uitvoering

- Bij het aanbrengen van de damwanden kan er door trillingen zettingen in de ondergrond ontstaan die impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Als de sloten van de damwanden niet goed met elkaar zijn bevestigd, kan het water van de waterleidingbreuk in de stabiliteitszone van Aaldijk komen, wat uitspoeling van de grond in de stabiliteitszone kan veroorzaken.

'Risico' (Om de oplossingsvariant te realiseren zijn er 2 risico's)

8.2 Diepwand

8.2.1 Kosten

Om de diepwand als oplossingsvariant in de projectlocatie aan te brengen, kost het € 3.100,- per strekkend meter.

‘Hoge kosten’ (... > € 2.400,00)

8.2.2 Impact stabiliteitszone

De diepwand heeft geen impact op de stabiliteitszone van Aaldijk, door de geleidenbalken wordt de sleuf recht verticaal naar beneden gegraven. Wel wordt er gegraven in de veiligheidszone van Aaldijk.

‘Geen impact’ (De constructie heeft geen impact op de stabiliteitszone van Aaldijk)

8.2.3 Uitvoeringsduur

Om de diepwand constructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 7 weken geschat op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de diepwand constructie te realiseren is 7 weken.

‘Gemiddelde uitvoeringsduur’ (5 weken < ... < 10 weken)

8.2.4 Risico uitvoering

- Als de sluitende voegen van de diepwandpanelen niet goed uitgevoerd zijn, kan het water van de waterleidingbreuk in de stabiliteitszone van Aaldijk bevinden, wat mogelijk uitspoeling van de grond in de stabiliteitszone kan veroorzaken.

‘Kleine Risico’ (De oplossingsvariant heeft 1 risico)

8.3 Combiwand

8.3.1 Kosten

Om de combiwand als oplossingsvariant in de projectlocatie aan te brengen, kost het € 2.170,- per strekkend meter.

'Gemiddelde kosten' (€ 2.400,00 <...< € 1.800,00)

8.3.2 Impact stabiliteitszone

Het aanbrengen van stalen damwanden en buispalen kan getrild of geheid worden. Bij het trillen en heien van de stalen damwanden en buispalen kunnen er zettingen in de ondergrond ontstaan, wat nadelige impact kan hebben op de stabiliteitszone van waterkering Aaldijk te Spijkenisse.

'Weinig impact' (er bevindt geen onderdeel van de constructie in de stabiliteitszone van Aaldijk, maar de stabiliteitszone wordt beïnvloed tijdens de uitvoering van de constructie)

8.3.3 Uitvoeringsduur

Om de combiwand constructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 4 weken geschat op basis van het materiaal, materieel en de lengte en diepte van de tijdelijke oplossing.

De totale uitvoeringsduur om de combiwand constructie te realiseren is 4 weken.

'Korte uitvoeringsduur' ($\dots \leq 5$ weken)

8.3.4 Risico uitvoering

- Bij het aanbrengen van de damwanden en de buispalen kunnen trillingen ontstaan die impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.
- Als de sloten van de damwanden en de buispalen niet goed met elkaar zijn bevestigd, kan het water van de waterleidingbreuk in de stabiliteitszone van Aaldijk komen, wat uitspoeling van grond in de stabiliteitszone kan veroorzaken.

'Risico' (Om de oplossingsvariant te realiseren zijn er 2 risico's)

8.4 Palenwand

8.4.1 Kosten

Om de palenwand als oplossingsvariant in de projectlocatie aan te brengen, kost het € 2.220,- per strekkend meter.

‘Gemiddelde kosten’ (€ 2.400,00 <...< € 1.800,00)

8.4.2 Impact stabiliteitszone

Bij het realiseren van de palenwand wordt er geboord in de veiligheidszone van Aaldijk te Spijkenisse. Het boren van de palen kan voor trillingen zorgen in de ondergrond, wat nadelig impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk.

‘Weinig impact’ (er bevindt geen onderdeel van de constructie in de stabiliteitszone van Aaldijk, maar de stabiliteitszone wordt beïnvloed tijdens de uitvoering van de constructie)

8.4.3 Uitvoeringsduur

Om de palenwand constructie te realiseren wordt er een uitvoeringsduur van 9 weken geschat. De uitvoeringsduur is gebaseerd op basis van het materiaal, materieel en het aantal boorpalen.

De totale uitvoeringsduur om de palenwand constructie te realiseren is 9 weken.

‘Gemiddelde uitvoeringsduur’ (5 weken < ... < 10 weken)

8.4.4 Risico uitvoering

- Bij het realiseren van de palenwand met behulp van een schroefboor in de ondergrond, kunnen er zettingen in de ondergrond ontstaan wat impact kan hebben op de stabiliteitszone van Aaldijk
- Als de palen elkaar niet goed overlappen bij de uitvoering, kan het water van de waterleidingbreuk in de stabiliteitszone van Aaldijk komen, wat mogelijk uitspoeling van de grond kan veroorzaken.
- **‘Risico’** (Om de oplossingsvariant te realiseren zijn er 2 risico’s)

Hoofdstuk 9 Multicriteria Matrix

In dit hoofdstuk wordt van de 4 oplossingsvarianten (stalen damwand, diepwand, combiwand en palenwand) de oplossingsvariant gekozen die als tijdelijke oplossing wordt toegepast in de projectlocatie.

In dit hoofdstuk worden de wegingsfactoren en waarderingspunten van elke criteria bepaald. Met behulp van de wegingsfactoren en waarderingspunten kan multicriteria matrix worden gemaakt. De multicriteria matrix beslist welke oplossingsvariant als tijdelijke oplossing in de projectlocatie wordt toegepast.

9.1 Wegingsfactor matrix

In deze paragraaf wordt bepaald welk criterium van meer belang is. Met behulp van de wegingsfactoren kan het belang grootte van elk criterium worden bepaald.

Voor dit onderzoek worden 4 verschillende wegingsfactor matrixen gemaakt. Elk criterium van de 4 criteria zal een keer het belangrijkste zijn in de matrix. De reden dat er 4 verschillende wegingsfactor matrixen wordt gemaakt, is omdat het belang van elk criterium moeilijk te bepalen is. Iedereen heeft zijn eigen mening over het belang van een criterium. Door 4 verschillende wegingsfactor matrixen te maken, zal 4 verschillende multicriteria matrixen worden gemaakt. Uit de multicriteria matrixen zal te zien dat de totale score van de oplossingsvarianten in elke multicriteria matrix van elkaar verschillen. Dit komt door de verschillende wegingsfactoren van elk criterium. Op deze manier wordt op een eerlijke manier de tijdelijke oplossing gekozen van de 4 oplossingsvarianten.

9.1.1 Wegingsfactor matrix (Impact stabiliteitszone)

In tabel 2 is een wegingsfactor matrix te zien waarbij het criterium impact stabiliteitszone het belangrijkste is. Het criterium impact stabiliteitszone heeft daarom ook 6 punten.

Door een overleg met de opdrachtgever is bepaald dat de criteria kosten en risico uitvoering belangrijker zijn dan het criterium uitvoeringsduur. Ook is bepaald dat de belangen van de criteria kosten en risico uitvoering even belangrijk zijn.

De wegingsfactor matrix werkt als volgt. De criteria die in de blauw cellen zijn weergegeven worden vergeleken met de criteria in de rode cellen. Als het criterium in de blauwe cel belangrijker is dan het criterium in de rode cel dan krijgt het criterium in de blauwe cel 2 wegingsfactor. Als het criterium in de blauwe cel minder belangrijk is dan het criterium in de rode cel, dan krijgt het criterium in de blauwe cel 1 wegingsfactor. Wanneer het criterium in de blauwe cel even belangrijk is als het criterium in de rode cel, dan krijgt het criterium in het blauwe cel 1,5 wegingsfactor. In de oranje cel is te zien hoeveel wegingsfactoren elk criterium uiteindelijk kan krijgen.

Tabel 2: Wegingsfactor matrix (Impact stabiliteitszone het belangrijkste)

Criteria	Kosten	Impact stabiliteitszone	Uitvoeringsduur	Risico uitvoering	Wegingsfactor Totaal
Kosten	X	1	2	1,5	4,5
Impact stabiliteitszone	2	X	2	2	6
Uitvoeringsduur	1	1	X	1	3
Risico uitvoering	1,5	1	2	X	4,5

9.1.2 Wegingsfactor matrix (Kosten)

In tabel 3 is een wegingsfactor matrix te zien waarbij het criterium kosten het belangrijkste is. Het criterium kosten heeft daarom ook 6 punten.

Door een overleg met de opdrachtgever is bepaald dat de criteria Impact stabiliteitszone en risico uitvoering belangrijker zijn dan het criterium uitvoeringsduur. Ook is bepaald dat de belangen van de criteria impact stabiliteitszone en risico uitvoering even belangrijk zijn.

De wegingsfactor matrix werkt als volgt. De criteria die in de blauw cellen zijn weergegeven worden vergeleken met de criteria in de rode cellen. Als het criterium in de blauwe cel belangrijker is dan het criterium in de rode cel dan krijgt het criterium in de blauwe cel 2 wegingsfactor. Als het criterium in de blauwe cel minder belangrijk is dan het criterium in de rode cel, dan krijgt het criterium in de blauwe cel 1 wegingsfactor. Wanneer het criterium in de blauwe cel even belangrijk is als het criterium in de rode cel, dan krijgt het criterium in het blauwe cel 1,5 wegingsfactor. In de oranje cel is te zien hoeveel wegingsfactoren elk criterium uiteindelijk heeft gekregen.

Tabel 3: Wegingsfactor matrix (Kosten het belangrijkste)

Criteria	Kosten	Impact stabiliteitszone	Uitvoeringsduur	Risico uitvoering	Wegingsfactor Totaal
Kosten	X	2	2	2	6
Impact stabiliteitszone	1	X	2	1,5	4,5
Uitvoeringsduur	1	1	X	1	3
Risico uitvoering	1	1,5	2	X	4,5

9.1.3 Wegingsfactor matrix (Risico uitvoering)

In tabel 4 is een wegingsfactor matrix te zien waarbij het criterium risico uitvoering het belangrijkste is. Het criterium risico uitvoering heeft daarom ook 6 punten.

Door een overleg met de opdrachtgever is bepaald dat de criteria kosten en impact stabiliteitszone belangrijker zijn dan het criterium uitvoeringsduur. Ook is bepaald dat de belangen van de kosten en impact stabiliteitszone even belangrijk zijn.

De wegingsfactor matrix werkt als volgt. De criteria die in de blauw cellen zijn weergegeven worden vergeleken met de criteria in de rode cellen. Als het criterium in de blauwe cel belangrijker is dan het criterium in de rode cel dan krijgt het criterium in de blauwe cel 2 wegingsfactor. Als het criterium in de blauwe cel minder belangrijk is dan het criterium in de rode cel, dan krijgt het criterium in de blauwe cel 1 wegingsfactor. Wanneer het criterium in de blauwe cel even belangrijk is als het criterium in de rode cel, dan krijgt het criterium in het blauwe cel 1,5 wegingsfactor. In de oranje cel is te zien hoeveel wegingsfactoren elk criterium uiteindelijk heeft gekregen.

Tabel 4: Wegingsfactor matrix (Risico uitvoering het belangrijkste)

Criteria	Kosten	Impact stabiliteitszone	Uitvoeringsduur	Risico uitvoering	Wegingsfactor Totaal
Kosten	X	1,5	2	1	4,5
Impact stabiliteitszone	1,5	X	2	1	4,5
Uitvoeringsduur	1	1	X	1	3
Risico uitvoering	2	2	2	X	6

9.1.4 Wegingsfactor matrix (Uitvoeringsduur)

In tabel 5 is een wegingsfactor matrix te zien waarbij het criterium uitvoeringsduur het belangrijkste is. Het criterium risico uitvoering heeft daarom ook 6 punten.

Door een overleg met de opdrachtgever is bepaald dat de belangen van de criteria kosten, impact stabiliteitszone en risico uitvoering even belangrijk zijn.

De wegingsfactor matrix werkt als volgt. De criteria die in de blauw cellen zijn weergegeven worden vergeleken met de criteria in de rode cellen. Als het criterium in de blauwe cel belangrijker is dan het criterium in de rode cel dan krijgt het criterium in de blauwe cel 2 wegingsfactor. Als het criterium in de blauwe cel minder belangrijk is dan het criterium in de rode cel, dan krijgt het criterium in de blauwe cel 1 wegingsfactor. Wanneer het criterium in de blauwe cel even belangrijk is als het criterium in de rode cel, dan krijgt het criterium in het blauwe cel 1,5 wegingsfactor. In de oranje cel is te zien hoeveel wegingsfactoren elk criterium uiteindelijk heeft gekregen.

Tabel 5: Wegingsfactor matrix (Uitvoeringsduur het belangrijkste)

Criteria	Kosten	Impact stabiliteitszone	Uitvoeringsduur	Risico uitvoering	Wegingsfactor Totaal
Kosten	X	1,5	1	1,5	4
Impact stabiliteitszone	1,5	X	1	1,5	4
Uitvoeringsduur	2	2	X	2	6
Risico uitvoering	1,5	1,5	1	X	4

9.2 Waarderingpunten criteria

In deze paragraaf worden de punten aan de 3 beoordelingen van elke criteria toegekend. De beoordeling die het meest gunstig is krijgt 3 punten en de ongunstige beoordeling krijgt 1 punt. De beoordeling die ertussen in zit krijgt 2 punten.

Hieronder is te zien hoe de punten zijn verdeeld over de 3 beoordelingen van elke criteria.

9.2.1 Impact stabiliteitszone

- Geen impact (3 punten)
- Weinig impact (2 punten)
- Veel impact (1 punt)

9.2.2 Kosten

- Lage kosten (3 punten)
- Gemiddelde kosten (2 punten)
- Hoge kosten (1 punt)

9.2.3 Risico uitvoering

- Kleine (3 punten)
- Risico (2 punten)
- Grote risico (1 punt)

9.2.4 Uitvoeringsduur

- Korte uitvoeringsduur (3 punten)
- Gemiddelde uitvoeringsduur (2 punten)
- Lange uitvoeringsduur (1 punt)

9.3 Wegingsfactoren met waarderingspunten matrix

In deze paragraaf worden 4 tabellen (tabellen 6, 7, 8 en 9) weergegeven van de 4 verschillende wegingsfactoren met de dezelfde waarderingspunten van de criteria. Met deze 4 tabellen kunnen de totale punten van elke criteria van de oplossingsvarianten worden bepaald voor de 4 multicriteria matrixen.

In tabellen zijn de wegingsfactoren en waarderingspunten weergegeven. De wegingsfactoren van de 4 criteria zijn bepaald in paragraaf 9.1 en in hoofdstuk 8 zijn de waarderingspunten toegekend aan de 4 oplossingsvarianten die doorgaan naar de multicriteria analyse.

Met behulp van de wegingsfactoren en waarderingspunten kan er een onderscheid gemaakt worden tussen de oplossingsvarianten.

Tabel 6: Wegingsfactor (Impact stabiliteitszone het belangrijkste) en Waarderingspunten matrix

Criteria	Wegingsfactor	Stalen damwand (Zonder anker)	Diepwand	Combiwand	Palenwand
Kosten	4,5	3	1	2	2
Impact stabiliteitszone	6	2	3	2	2
Uitvoeringsduur	3	3	2	3	2
Risico uitvoering	4,5	2	3	2	2

Tabel 7: Wegingsfactor (Kosten het belangrijkste) en Waarderingspunten matrix

Criteria	Wegingsfactor	Stalen damwand (Zonder anker)	Diepwand	Combiwand	Palenwand
Kosten	6	3	1	2	2
Impact stabiliteitszone	4,5	2	3	2	2
Uitvoeringsduur	3	3	2	3	2
Risico uitvoering	4,5	2	3	2	2

Tabel 8: Wegingsfactor (Risico Uitvoering het belangrijkste) en Waarderingspunten matrix

Criteria	Wegingsfactor	Stalen damwand (Zonder anker)	Diepwand	Combiwand	Palenwand
Kosten	4,5	3	1	2	2
Impact stabiliteitszone	4,5	2	3	2	2
Uitvoeringsduur	3	3	2	3	2
Risico uitvoering	6	2	3	2	2

Tabel 9: Wegingsfactor (Uitvoeringsduur) en Waarderingspunten matrix

Criteria	Wegingsfactor	Stalen damwand (Zonder anker)	Diepwand	Combiwand	Palenwand
Kosten	4	3	1	2	2
Impact stabiliteitszone	4	2	3	2	2
Uitvoeringsduur	6	3	2	3	2
Risico uitvoering	4	2	3	2	2

9.4 Multicriteria matrix (4 verschillende wegingsfactor)

In deze paragraaf wordt bepaald welke oplossingsvariant gekozen wordt als tijdelijk oplossing om de uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van de Aaldijk door het water bij een eventuele waterleidingbreuk te voorkomen.

In tabellen 10, 11, 12 en 13 zijn de multicriteria matrixen weergegeven. De scores van de multicriteria matrixen zijn berekend met behulp van tabellen 6,7, 8 en 9. In de tabellen 10, 11, 12 en 13 zijn de punten van de oplossingsvarianten per criterium weergegeven. De punten zijn berekend door de wegingsfactor van het criterium te vermenigvuldigen met het waarderingspunt van het criterium bij elke oplossingsvariant. Door de punten van elk criterium van elke oplossingsvariant bij elkaar op te tellen wordt de totale score bepaald van elke oplossingsvariant. In de multicriteria matrix zal 1 oplossingsvariant de hoogste score hebben. Deze oplossingsvariant met de hoogste score is de meest gunstig oplossingsvariant in de multicriteria matrix.

Doordat er 4 verschillende multicriteria matrixen zijn die gebaseerd zijn op de verschillende wegingsfactoren zal de oplossingsvariant 4 verschillende totale criteria score hebben. Deze 4 verschillende totale criteria score worden bij elkaar opgeteld en gedeeld door 4. Op deze manier wordt de gemiddelde totale criteria score van elke oplossingsvariant berekend.

De oplossingsvariant met de hoogste gemiddelde totale criteria score is de oplossingsvariant wat als tijdelijk oplossing wordt toegepast. Deze oplossingsvariant wordt verder uitgewerkt in het 'Rapport Hoofdvariant'

9.4.1 Multicriteria matrix (Impact stabiliteitszone belangrijk)

De uitkomsten van tabel 10 zijn berekend met behulp van wegingsfactoren en waarderingspunten uit tabel 6.

Uit tabel 10 kan er geconcludeerd worden dat de stalen damwand (zonder verankering) als oplossingsvariant de hoogste score (40,5) heeft van alle oplossingsvarianten.

Tabel 10: Multicriteria matrix (Wegingsfactor: Impact stabiliteitszone het belangrijkste)

Criteria	Stalen damwand (Zonder anker)	Diepwand	Combiwand	Paalenwand
Kosten	13,5	4,5	9	9
Impact stabiliteitszone	12	18	12	12
Uitvoeringsduur	9	6	9	6
Risico uitvoering	9	13,5	9	9
Totaal	43,5	42	39	36

9.4.2 Multicriteria matrix (Kosten belangrijk)

De uitkomsten van tabel 11 zijn berekend met behulp van wegingsfactoren en waarderingspunten uit tabel 7.

Uit tabel 11 kan er geconcludeerd worden dat de stalen damwand (zonder verankering) als oplossingsvariant de hoogste score (42) heeft van alle oplossingsvarianten.

Tabel 11: Multicriteria matrix (Wegingsfactor: Kosten het belangrijkste)

Criteria	Stalen damwand (Zonder anker)	Diepwand	Combiwand	Palenwand
Kosten	18	6	12	12
Impact stabiliteitszone	9	13,5	9	9
Uitvoeringsduur	9	6	9	6
Risico uitvoering	9	13,5	9	9
Totaal	45	39	39	36

9.4.3 Multicriteria matrix (Risico uitvoering belangrijk)

De uitkomsten van tabel 12 zijn berekend met behulp van wegingsfactoren en waarderingspunten uit tabel 8.

Uit tabel 12 kan er geconcludeerd worden dat de stalen damwand (zonder verankering) als oplossingsvariant de hoogste score (42) heeft van alle oplossingsvarianten.

Tabel 12: Multicriteria matrix (Wegingsfactor: Risico uitvoering het belangrijkste)

Criteria	Stalen damwand (Zonder anker)	Diepwand	Combiwand	Palenwand
Kosten	13,5	4,5	9	9
Impact stabiliteitszone	9	13,5	9	9
Uitvoeringsduur	9	6	9	6
Risico uitvoering	12	18	12	12
Totaal	43,5	42	39	36

9.4.4 Multicriteria matrix (Uitvoeringsduur belangrijk)

De uitkomsten van tabel 13 zijn berekend met behulp van wegingsfactoren en waarderingspunten uit tabel 9.

Uittabel 13 kan er geconcludeerd worden dat de combiwand als oplossingsvariant de hoogste score (42) heeft van alle oplossingsvarianten.

Tabel 13: Multicriteria matrix (Wegingsfactor: Uitvoeringsduur het belangrijkste)

Criteria	Stalen damwand (Zonder anker)	Diepwand	Combiwand	Palenwand
Kosten	12	4	8	8
Impact stabiliteitszone	8	12	8	8
Uitvoeringsduur	18	12	18	12
Risico uitvoering	8	12	8	8
Totaal	46	40	42	36

9.4.5 *Multicriteria matrix (totale score)*

In tabel 14 zijn de totale criteria score van de 4 multicriteria matrixen (gebaseerd op wegingsfactor) weergegeven van de oplossingsvarianten. De 4 verschillende totale criteria score van de oplossingsvarianten worden bij elkaar opgeteld en wordt door 4 gedeeld. Op de manier wordt het gemiddeld totale criteria score berekend van de 4 oplossingsvarianten. Uit de gemiddeld totale criteria score moet blijken welke oplossingsvariant als tijdelijke oplossing wordt toegepast in de projectlocatie. De oplossingsvariant met de hoogste gemiddeld totale criteria score wordt de tijdelijke oplossing.

Uit tabel 14 kan geconcludeerd worden dat de stalen damwand (zonder verankering) als oplossingsvariant de hoogste gemiddeld totale criteria score (44,5) heeft van alle oplossingsvarianten. De stalen damwand wordt de tijdelijke oplossing en wordt verder uitgewerkt in het 'Rapport Hoofdvariant'

Tabel 14: Multicriteria matrix totaal gemiddelde score

Multicriteria matrix (Wegingsfactor)	Stalen damwand (Zonder anker)	Diepwand	Combiwand	Palenwand
Totale score multicriteria matrix (Impact stabiliteitszone belangrijk)	43,5	42	39	36
Totale score multicriteria matrix (Kosten belangrijk)	45	39	39	36
Totale score multicriteria matrix (Risico uitvoering belangrijk)	43,5	42	39	36
Totale score multicriteria matrix (Uitvoeringsduur)	46	40	42	36
Totale score (Gemiddeld)	<u>44,5</u>	40,75	39,75	36

Hoofdstuk 10 Samenvatting

In dit hoofdstuk worden alle oplossingsvarianten benoemd en is te zien welke oplossingsvariant verder wordt onderzocht in het VI. Rapport Hoofdvariant

WATER- EN GRONDKEREND CONSTRUCTIE	CONSTRUCTIE	HULPMATERIAAL	MULTICRITERIA ANALYSE	HOOFDRAPPORT
	Stalen damwand	n.v.t.	Ja	Ja
	Prefab Keermuur L of T-vorm	n.v.t.	Nee	Nee
	Diepwand	n.v.t.	Ja	Nee
	Bigbag	HDPE-folie.	Nee	Nee
	Folieconstructie	n.v.t.	Nee	Nee
	Groutzak	n.v.t.	Nee	Nee
	Palenwand	n.v.t.	Ja	Nee
	Combiwand	n.v.t.	Ja	Nee

GRONDKEREND CONSTRUCTIE	CONSTRUCTIE	HULPMATERIAAL	MULTICRITERIA ANALYSE	HOOFDRAPPORT
	Gabion	HDPE-folie	Nee	Nee
	Berlinerwand	HDPE-folie	Nee	Nee
	Bekleding basalt stenen constructie	HDPE-folie	Nee	Nee

FILTRERENDE CONSTRUCTIE	CONSTRUCTIE	HULPMATERIAAL	MULTICRITERIA ANALYSE	HOOFDRAPPORT
	Grindpalen	HDPE-folie en Geotextiel	Nee	Nee

WATER- REMMENDE BEGRENZING	CONSTRUCTIE	HULPMATERIAAL	MULTICRITERIA ANALYSE	HOOFDRAPPORT
	Groutinjectie	n.v.t.	Nee	Nee

In de bovenstaande tabellen is het proces weergegeven om de beste oplossingsvariant te vinden. Met behulp van de multicriteria matrix wordt de beste oplossingsvariant gekozen aan de hand van de vastgestelde criteria.

Voor de schetstekeningen van de bovengenoemde constructies en berging raadpleeg bijlage [C]

Bibliografie

- [1] Allanblock. (2016, mei 2). *Allanblock*. Opgehaald van <http://www.allanblock.nl/faqs.aspx#2>
- [2] BAMCIVIEL. (2016, mei 2). *BAMCIVIEL*. Opgehaald van <http://www.bamciviel.nl/sites/default/files/domain-186/documents/bam-civiel-diepwanden-186-1367844501398242018.pdf>
- [3] Berg Handelsonderneming. (2016, mei 2). *Berg Handelsonderneming*. Opgehaald van <http://www.ho-berg.nl/assortiment/6-grote-partij-hardhouten-schotten>
- [4] Bodemrichtlijn . (2016, mei 2). *Bodemrichtlijn*. Opgehaald van <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/f-isolatie/f2-methode-bovenafdichting/isolatie-bovenafdichting-met-kunststoffolie-toepassingsgebied-sp9140>
- [5] Bodemrichtlijn. (2016, mei 2). *Bodemrichtlijn*. Opgehaald van <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/f-isolatie/f4-methode-verticale-afdichting/factsheet-verticale-afdichting-met-diepwand>
- [6] Bodemrichtlijn. (2016, mei 2). *Bodemrichtlijn*. Opgehaald van <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/geotextiel/materiaaleigenschappen-geo106744>
- [7] Bodemrichtlijn. (2016, mei 2). *Bodemrichtlijn*. Opgehaald van <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/f-isolatie/f4-methode-verticale-afdichting/isolatie-verticale-afdichting-toepassingsgebied-specifiek-voor-s9216>
- [8] Bouwkosten. (2016, mei 2). *Bouwkosten*. Opgehaald van <http://www.bouwkosten.nl.ezproxy.hro.nl/>
- [9] Centrum ondergronds bouwen. (2002). *Inleiding ondergronds bouwen*. Gouda: COB.
- [10] De Jong Wapeningsstaal. (2016, mei 2). *De Jong Wapeningsstaal*. Opgehaald van <http://www.dejonghandelsonderneming.nl/c-2607776/wapeningskorf-zelf-samenstellen/>
- [11] Gabion. (2016, mei 2). *Gabion*. Opgehaald van <http://www.gabion-schanskorven.nl/faq/>
- [12] Gemeente steenberg. (2016, mei 2). *Overheidspublicatie* . Opgehaald van <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2015-32264/1/bijlage/exb-2015-32264.pdf>
- [13] Gooimeer. (2016, mei 2). *Gooimeer* . Opgehaald van <http://www.gooimeer.nl/downloads/Larssen/L%2025.pdf>
- [14] Groenouwe, D. I. (26-05-2010). *Planstudie Spui West Resultaten Grondonderzoek Fase 1*. Nieuwegein: Fugro.

- [15] Ingenieursbureau Gemeente Rotterdam . (2016, mei 2). *Ingenieursbureau Gemeente Rotterdam* . Opgehaald van <http://lek-sloopwerken.nl/wp-content/uploads/2014/10/20141017080349294.pdf>
- [16] L.Mott, R. (2012). *Toegepaste stromingsleer*. Amsterdam: Pearson Benelux.
- [17] Limtrade . (2016, mei 2). *Limtrade*. Opgehaald van <http://www.limtrade.nl/hea-240>
- [18] Nederlandse Norm . (Juni 2012, mei 2). *NEN 3651 (NL) Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken*. Delft: Nederlandse Normalisatie Instituut. Opgehaald van <http://emis.vito.be/nl/techniekfiche/concept-grondkerende-verticale-afdichtingen>
- [19] Prosegeotechniek. (2016, mei 2). *Prosegeotechniek*. Opgehaald van <http://www.prosegeotechniek.nl/hdpe-folie/>
- [20] Rijksoverheid. (2016, April 25). *Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit*. Opgehaald van Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit: <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/f-isolatie/f4-methode-verticale-afdichting/isolatie-verticale-afdichting-toepassingsgebied-specifiek-voor-s9216>
- [21] Rijkswaterstaat. (2016). *Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu*. Opgeroepen op Maart 28, 2016, van <http://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/index.aspx>
- [22] van der stap Beton. (2016, mei 2). *van der stap Beton*. Opgehaald van <http://www.vanderstapbeton.nl/verkoop-materiaal/materiaal-voor-betonwerken/details/hdpe-folie.html>
- [23] Waterschap Hollandse Delta. (2016). *Waterschap Hollandse Delta*. Opgeroepen op maart 28, 2016, van <http://www.wshd.nl/common/organisatie-en-bestuur/keur.html>
- [24] Witteveen+Bos. (2016, mei 2). *Rotterdam*. Opgehaald van [http://www.rotterdam.nl/DSV/Document/Bestemmingsplannen%20in%20procedure/Overschie/bijlage%205_01_Definitief_Ontwerp_bochtafsnijding_Delftse_Schie\[1\].pdf](http://www.rotterdam.nl/DSV/Document/Bestemmingsplannen%20in%20procedure/Overschie/bijlage%205_01_Definitief_Ontwerp_bochtafsnijding_Delftse_Schie[1].pdf)

Bijlage

Bijlage [A]	Hulpmaterialen & Waterremmende begrenzing
Bijlage [B]	Kosten Calculatie
Bijlage [C]	Schets varianten

VI. Rapport Hoofdvariant

“Stabiliteitszone van primaire waterkering Aaldijk te Spijkenisse beschermen tegen uitspoeling ten gevolge van een waterleidingbreuk”



Aanmaakdatum

28-07-2016

Versie

4

Status

Definitief

Opdrachtgever

KEN engineering B.V.

Bedrijfsbegeleider

Dhr. E. Zaman

Opgesteld door

Ka-Way Shek

Bachelor-student

Inhoudsopgave

Begrippenlijst	5
Symbolenlijst	6
Hoofdstuk 1 Inleiding	7
1.2 Leeswijzer	8
Hoofdstuk 2 Werkwijze	9
Hoofdstuk 3 Blum methode	10
3.1 Uitgangspunten voor 'Blum methode'	10
3.1.1 Grondopbouw	10
3.1.2 Karakteristieke waarde van grond	10
3.1.3 Karakteristieke waarde van water	12
3.1.4 Grondwaterstand	12
3.1 Formule van de 'Blum methode'	13
3.2 Werkwijze onverankerde stalen damwand 'Blum methode'	14
3.3 (u) bepalen	14
3.3.1 Stap 1 en 2 verticale en horizontale korreldruk bepalen	15
3.3.2 Actieve en passieve korreldruk tegen elkaar op zetten om (u) te bepalen	16
3.4 (x) bepalen	17
3.4.1 Horizontale actieve kracht en zwaartepunt	17
3.4.2 Horizontale passieve kracht en zwaartepunt	19
3.4.3 Momentenevenwicht & derdegraads vergelijking	20
3.4.4 Maatgevende (x) bepalen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
3.5 (t) bepalen	22
Hoofdstuk 4 D-sheet piling	23
4.1 Uitgangspunten	23
4.1.1 Damwand gegevens	24
4.1.2 Grondopbouw	25
4.1.3 Grondwaterstand	25
4.1.4 Karakteristieke waarde van grond	26
4.1.5 Toestanden (D-sheet piling berekening)	27
4.1.6 Controle eisen damwandprofielen	28
4.1.7 Partiële veiligheidsfactor	31
4.2 Werkwijze D-sheet piling & Damwandprofiel controle	36
4.3 Bevindingen D – sheet piling	37
4.3.1 Bevindingen van Stap 1	37
4.3.2 Bevindingen van Stap 2	37
4.3.3 Bevindingen van Stap 3	38

4.3.4	Bevinding Stap 4	39
4.3.5	Bevinding Stap 5	39
Hoofdstuk 5	Bevindingen en Conclusie.....	40
Hoofdstuk 6	Ontwerp tijdelijke oplossing	41
Hoofdstuk 7	Totale kosten tijdelijke oplossing	42
Bibliografie		43
Bijlage		44

Begrippenlijst

De vaktermen die zijn gebruikt in dit rapport zijn hieronder gedefinieerd.

KEUR

Een keur is een verordening, waarin onder andere regels zijn opgenomen ter bescherming van dijken, de wegen en de wateren. Mensen die aan een dijk wonen, hoeven over het algemeen de dijk niet te onderhouden, maar ze mogen de dijk (ongewild) geen schade toebrengen. Ook moeten ze het de onderhoudsplichtige (meestal het waterschap) mogelijk maken het onderhoud uit te voeren. De keur geeft daarom aan wat wel en niet mag. [14]

LOKAAL INDIVIDUEEL RISICO (LIR)

De kans dat een persoon, die zich continu op een bepaalde plaats in het dijkringgebied bevindt, overlijdt ten gevolge van overstroming. In de berekening van het lokaal individueel risico worden de mogelijkheden voor preventieve evacuatie meegenomen. [5]

PRIMAIRE WATERKERING

Waterkering die ons land beschermt tegen buitenwater uit de Noordzee, de Waddenzee, de grote rivieren en het IJssel- en Markermeer. [11]

STABILITEITSZONE

Terreinstrook naast het waterstaatswerk die wordt bepaald door het faalmechanisme macro-instabiliteit van het waterstaatwerk. [10]

VEILIGHEIDSZONE

Terreinstrook naast het waterstaatwerk waarbinnen een lekkage van de leiding de stabiliteit van het werk in gevaar kan brengen. [10]

VERSTEKBOCHT

Een verstek bocht bestaat uit één of meerdere segmenten welke middels verstek lassen aan elkaar verbonden zijn.

VERSTORINGSZONE

Zone om de leiding waarbinnen de invloed van de aanwezigheid of bezwijken van de leiding merkbaar is. [10]

WATERSTAATSWERK

Civiltechnische constructie, zoals een weg, waterkering, of waterloop, inclusief kunstwerken. [10]

Symbolenlijst

<u>Symbolen</u>	<u>Grootheid</u>	<u>Eenheid</u>
f_y	Vloeigrens	N/mm ²
k_a	Actieve gronddrukcoëfficiënt	[-]
k_p	Passieve gronddrukcoëfficiënt	[-]
k_o	Neutrale gronddrukcoëfficiënt	[-]
M_{rd}	Maximaal opneembare moment	kNm
M_{sd}	Maximaal optredende moment	kNm
ρ	Soortelijk gewicht zoetwater	kg/m ³
U_{max}	Maximaal optredende verplaatsing	mm
U_{req}	Maximaal toelaatbare verplaatsing	mm
V_{Ed}	Maximaal optredende dwarskracht	kN
$V_{pl,Rd}$	Dwarskrachtcapaciteit	kN
W_{pl}	Plastisch weerstandsmoment	cm ³ /m
$\sigma_{grond (h)} of \sigma_{gh}$	Horizontale grondspanning	kN/m ²
$\sigma_{grond (v)} of \sigma_{gv}$	Verticale grondspanning	kN/m ²
$\sigma_{korrel (h)} of \sigma'_h$	Horizontale korrelspanning	kN/m ²
$\sigma_{korrel (v)} of \sigma'_v$	Verticale korrelspanning	kN/m ²
σ_{water}	Waterspanning	kN/m ²
γ_{droog}	Volumegewicht onverzadigd grond	kN/m ³
γ_{mo}	Partiële veiligheidsfactor	[-]
γ_{nat}	Volumegewicht verzadigd grond	kN/m ³
γ_w	Soortelijke gewicht zoetwater	kN/m ³
φ	Hoek van inwendige wrijving	°

Hoofdstuk 1 Inleiding

De projectlocatie bevindt zich in Spijkenisse, ter plaatse van primaire waterkering Aaldijk, ligt een drinkwaterleiding met verstekbochten (hierna te noemen TL 21) van waterbedrijf Evides parallel aan de primaire waterkering Aaldijk. Zie figuur 1 voor een overzicht van de projectlocatie.



Figuur 1: Overzicht projectlocatie

In 2015 zijn er in de projectlocatie proefsleuven gegraven door De Bruyn & Nelisse. De proefsleuven waren bedoeld om de exacte ligging van TL21 te traceren. Uit de proefsleuven bleek dat TL21 verstekbochten bevat binnen de veiligheidszone van de Aaldijk. Door de exacte ligging te bepalen is ook gebleken dat de verstoringszone van TL21 de stabiliteitszone van de Aaldijk overlapt, of wel bij een breuk in TL21 kan er uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van de Aaldijk ontstaan.

Uit de Beleidsnota Waterkeringen WSHD-paragraaf 3.3 Locatie-eisen 9 is gebleken dat in de veiligheidszone van waterkeringen geen verstek bochten van leidingen zijn toegestaan. TL21 voldoet dus niet aan de Beleidsnota waterkering van WSHD. De TL21 moet dus van WSHD naar buiten de veiligheidszone van Aaldijk worden verlegd.

Vanwege de discussie tussen Evides en Waterschap Hollandse Delta over de ligging van de veiligheidszone, zijn beide partijen er niet over eens of TL21 wel of niet in de veiligheidszone van de Aaldijk ligt.

De discussie over de ligging van de veiligheidszone is de aanleiding van dit onderzoek. Gedurende de discussie periode kan een breuk in de TL21 tot mogelijk fatale gevolgen leiden voor de veiligheid van de primaire waterkering Aaldijk te Spijkenisse.

Het ingenieursbureau KEN engineering heeft een opdracht gegeven voor naar een tijdelijk oplossing (minimaal half jaar) totdat er duidelijk is over de ligging van de veiligheidszone en dus over de noodzaak voor het verleggen van de waterleiding. De tijdelijke oplossing moet uitspoeling van grond in de stabiliteitszone van de Aaldijk door het water bij een eventuele waterleidingbreuk voorkomen. Zo kan de veiligheid van de dijk en de inwoners van Spijkenisse en de omgeving worden gewaarborgd totdat TL21 naar buiten de veiligheidszone is verlegd of als het is gebleken dat verlegging van TL21 onnodig is.

In dit rapport wordt de hoofdvariant de stalen damwand gespecificeerd, om de kosten en materiaal van de stalen damwand te besparen. Door het specificeren van de stalen damwand kan er aanbevolen worden welke type damwand het meest geschikt is voor dit project.

1.2 Leeswijzer

Het rapport Hoofdvariant bestaat na de inleiding uit 6 hoofdstukken, een bibliografie en een bijlage. De hoofdstukken zijn: hoofdstuk 2 Werkwijze, hoofdstuk 3 Blum methode, hoofdstuk 4 D – sheet piling, hoofdstuk 5 Bevindingen en Conclusie, Hoofdstuk 6 Ontwerp tijdelijke oplossing en hoofdstuk 7 Totale kosten tijdelijke oplossing.

In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd hoe dit rapport is opgesteld.

In hoofdstuk 3 wordt de Blum methode toegepast om een eerste indruk te krijgen van de damwand lengte zonder de vuistregel. In hoofdstuk 4 wordt met het softwareprogramma de kritische damwand lengte en de rekenwaardes bepaald voor controleren van de damwandprofielen. In hoofdstuk 5 worden de bevindingen en conclusies getrokken van de Blum methode en het softwareprogramma 'D-sheet piling'.

In hoofdstuk 6 wordt uitgelegd hoe de definitieve ligging van de tijdelijke oplossing in de projectlocatie is bepaald.

In hoofdstuk 7 zijn de totale kosten weergegeven van de tijdelijke oplossing.

In de Bibliografie zijn de bronnen weergegeven die voor dit rapport van toepassing zijn. Ten slotte bevindt er in de bijlage alle uitgebreide berekeningen van de Excel-sheets en de uitkomsten van D-sheet piling.

Hoofdstuk 2 Werkwijze

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe het rapport hoofdvariant is opgesteld. Om de stalen damwand te specificeren, wordt er eerst met behulp van de Blum methode een handberekening gemaakt om een eerste indruk te krijgen van wat de inheidiepte moet zijn van de stalen damwand. Om de kritische lengte van de stalen damwand te bepalen en om te controleren welke damwandprofiel voldoet aan dit project wordt het softwareprogramma 'D-sheet piling' van Deltares gebruikt. Om het softwareprogramma 'D-sheet piling' te gebruiken, zijn er verschillend input gegevens nodig. De input gegevens zijn:

- Damwand gegevens (Eigenschappen)
- Grondopbouw (Boring 5 van Mos grondmechanica (grondlagen van diepte -5 tot -25 meter NAP gebaseerd op Sondering C)
- Grondwaterstand
- Toestanden
- Karakteristieke waarde van grond (NEN 9997-1+C1)

Voordat de input gegevens in het softwareprogramma 'D-sheet piling' worden ingevuld, moet er eerst goed nagedacht worden hoe de situatie (waar ligt de stalen damwand) van de stalen damwandplank eruit ziet.

Wanneer de situatie van de damwandplank is bepaald, kan de gegevens van de grondopbouw, karakteristieke waarde van de grond en de gegevens van de damwand in het softwareprogramma worden ingevuld. Voordat er aan de stalen damwand gerekend kan worden met het softwareprogramma 'D-sheet piling' moet er eerst bepaald worden welke partiële veiligheidsfactoren van de veiligheidscategorie wordt gekozen. In het softwareprogramma 'D-sheet piling' zijn 5 veiligheid categorieën te kiezen.

Nadat een veiligheid categorie is gekozen, wordt de stalendamwand berekend. Uit de berekeningen kan de minimale damwand lengte worden bepaald.

Vervolgens moet de damwandplank gecontroleerd worden op weerstandmoment, moment, dwarskracht en verplaatsing. Met deze controllers kan er bepaald worden of er een lichter type damwandplank geadviseerd kan worden, om de prijs van de stalen damwand constructie te besparen.

Met de controller van de stalen damwand kan er dus een aanbeveling worden gemaakt welke type stalen damwand het meest geschikt is voor dit project.

Door het geschikte damwandprofiel te hebben gekozen, kan het definitieve ontwerp en de totale kosten van de tijdelijke oplossing worden bepaald.

Hoofdstuk 3 Blum methode

In deze paragraaf wordt de inheidiepte bepaald met behulp van de Blum methode. De Blum methode is een methode om in een korte tijd een eerste indruk te krijgen wat de inheidiepte is van de stalen damwand.

3.1 Uitgangspunten voor 'Blum methode'

Hieronder worden alle uitgangspunten weergegeven van de grondopbouw, karakteristieke waarde van de grond en grondwaterstand voor de Blum Methode.

3.1.1 Grondopbouw

Voor de grondopbouw wordt de grondopbouw gegevens gebruikt van (Boring 5 van Mos grondmechanica (grondlagen van diepte -5 tot -25 meter NAP gebaseerd op Boring B24.8Aa van Fugro).

Tabel 1: Grondopbouw

Grondlaag	Grondsoort	Diepte [meter t.o.v. NAP]		Verschil
Nr.	-	Van	Tot	[m]
1	Klei	-0,47	-1,14	0,67
2	Zand	-1,14	-1,39	0,25
3	Klei	-1,39	-3,19	1,8
6	Zand	-3,19	-3,89	0,7
7	Veen	-3,89	-5,39	1,5
9	Zand	-5,39	-9,41	4,02
10	Veen	-9,41	-9,81	0,4
11	Zand	-9,81	-10,31	0,5

3.1.2 Karakteristieke waarde van grond

De karakteristieke waarde van zand, klei en veen die bepaald zijn in het III. Uitwerkingsrapport wordt toegepast in de Blum methode. Voor de Blum methode zijn de actieve en passieve gronddruk coëfficiënt ook van belang. Om de actieve en passieve gronddruk coëfficiënt elke grondsoort te bepalen is de hoek van inwendige wrijving van elke grondsoort nodig.

Met behulp van de onderstaande formule kan de actieve en passieve gronddruk coëfficiënten worden bepaald.

$$- K_a = \frac{1 - \sin(\varphi)}{1 + \sin(\varphi)}$$

$$- K_p = \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}$$

Tabel 2: Karakteristieke waarde van Zand

Karakteristieke waarde van (Zand)	
Volumegewicht onverzadigd grond (droog)	18 kN/m ³
Volumegewicht verzadigd grond (nat)	20 kN/m ³
Hoek van inwendige wrijving	32,5°
Actieve gronddruk coëfficiënt	0,301 [-]
Passieve gronddruk coëfficiënt	3,322 [-]

Tabel 3: Karakteristieke waarde van Klei

Karakteristieke waarde van (Klei)	
Volumegewicht onverzadigd grond (droog)	17 kN/m ³
Volumegewicht verzadigd grond (nat)	17 kN/m ³
Hoek van inwendige wrijving	17,5°
Actieve gronddruk coëfficiënt	0,538 [-]
Passieve gronddruk coëfficiënt	1,860 [-]

Tabel 4: Karakteristieke waarde van Veen

Karakteristieke waarde van (Veen)	
Volumegewicht onverzadigd grond (droog)	12 kN/m ³
Volumegewicht verzadigd grond (nat)	13 kN/m ³
Hoek van inwendige wrijving	15°
Actieve gronddruk coëfficiënt	0,589 [-]
Passieve gronddruk coëfficiënt	1,698 [-]

Uitwerking actieve en passieve gronddruk coëfficiënten:

$$- K_a(zand) = \frac{1 - \sin(32,5)}{1 + \sin(32,5)} = 0,301$$

$$- K_p(zand) = \frac{1 + \sin(32,5)}{1 - \sin(32,5)} = 3,322$$

$$- K_a(klei) = \frac{1 - \sin(17,5)}{1 + \sin(17,5)} = 0,538$$

$$- K_p(klei) = \frac{1 + \sin(17,5)}{1 - \sin(17,5)} = 1,860$$

$$- K_a(veen) = \frac{1 - \sin(15)}{1 + \sin(15)} = 0,589$$

$$- K_p(veen) = \frac{1 + \sin(15)}{1 - \sin(15)} = 1,698$$

3.1.3 Karakteristieke waarde van water

De karakteristieke waarde van water is 10 kN/m^3 .

3.1.4 Grondwaterstand

Volgens het 'II. Analyserapport' is de hoogste grondwaterstand wat gemeten is $-0,35$ met ten opzichte van NAP. Voor het berekenen van de grondspanning wordt de grondwaterstand aangehouden op $-0,47$ meter ten opzichte van NAP (maaiveld) en het waterpeil wat tegen gehouden moet worden door de stalen damwand bevindt zich ook op dezelfde hoogte als het maaiveld.

3.1 Formule van de 'Blum methode'

In deze paragraaf is de formule te zien van de 'Blum methode' om de inheidiepte van de onverankerde stalen damwand te bepalen.

Formule inheidiepte (t)

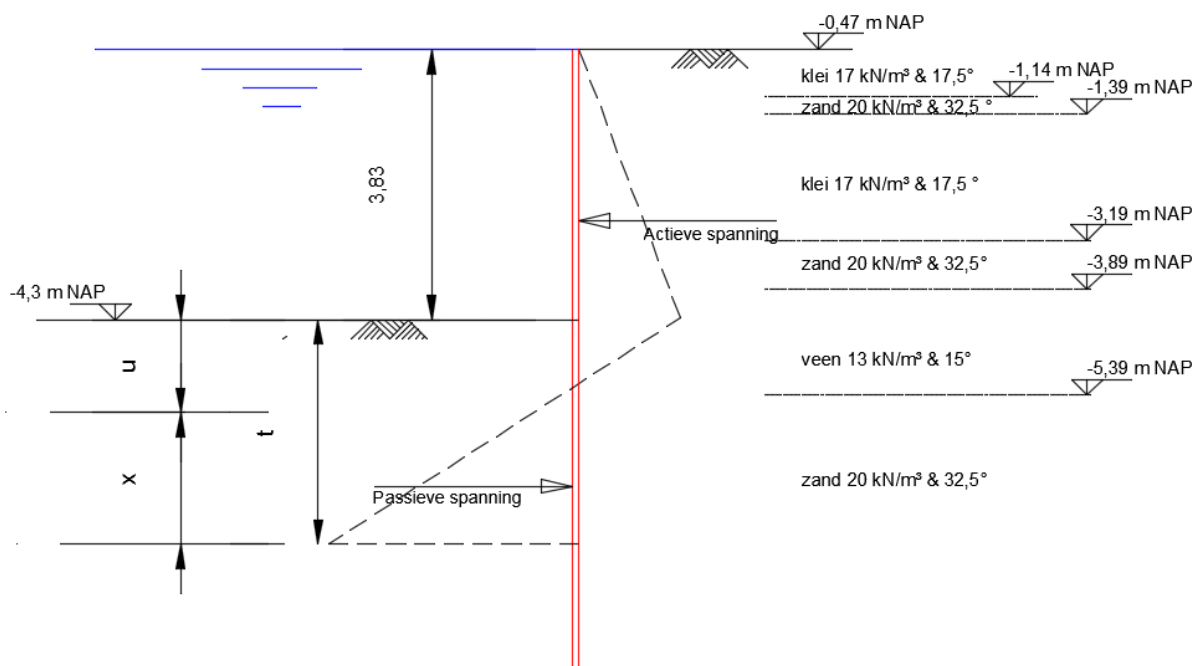
$$t = 1,2 x + u \quad [13]$$

Waarbij:

x = Afstand van belasting nul punt tot inheidiepte

u = Afstand van belasting nul punt tot ontgrondings niveau

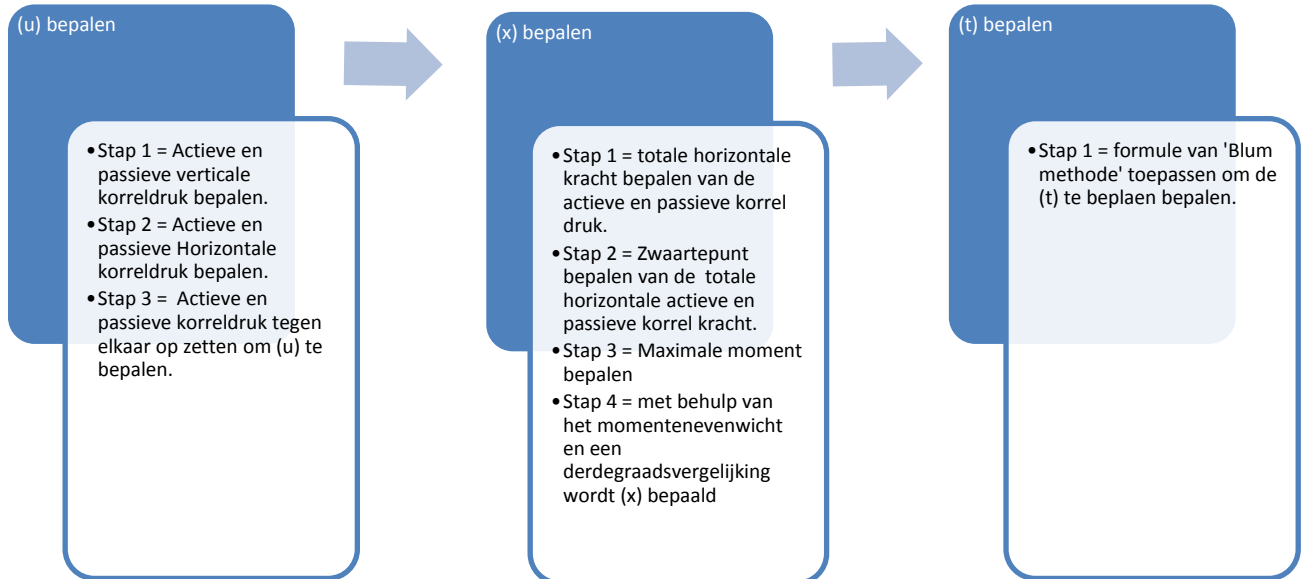
Om de totale inheidiepte te bepalen, moet eerst de x en u worden bepaald. In figuur 2 is een schematische weergave weergegeven voor het specificeren van de onverankerde stalen damwand. De grondlagen die weergegeven zijn, zijn gebaseerd op Boring 5 van Mos grondmechanica (gebaseerd op Sondering C). Voor het ontwerpen van de onverankerde stalen damwand is besloten dat sloot niet wordt meegenomen in de berekening.



Figuur 2: Schematische weergave van de stalen damwand

3.2 Werkwijze onverankerde stalen damwand 'Blum methode'

In de paragraaf wordt het proces weergegeven voor het specificeren van een onverankerde stalen damwand. Het proces bestaat uit: (u) bepalen, (x) bepalen, (t) bepalen en profiel controle.



3.3 (u) bepalen

Om (u) te bepalen moet de actieve en passieve horizontale korreldruk worden bepaald. De reden dat de korreldruk wordt bepaald in plaats van de gronddruk, komt omdat er is aangenomen dat het grondwaterstand aan de dijkzijde van de damwand net zo hoog staat als het waterpeil wat de stalendamwand moet kunnen weerstaan (maaielveldhoogte). Doordat beide waterpeilen op dezelfde hoogte bevinden, heffen de waterspanning elkaar op en is alleen de korrelspanning interessant. De reden dat het waterpeil van de grond op de maaiveldhoogte bevindt, is omdat bij deze situatie alle grondlagen verzadigd zijn, doordat alle grondlagen verzadigd zijn, is de horizontale actieve gronddruk het grootst. De actieve gronddruk is de kracht die het bezwijken van de stalendamwand veroorzaakt, of terwijl hoe groter de horizontale actieve gronddruk, hoe maatgevender het is voor het ontwerpen van de onverankerde stalen damwand.

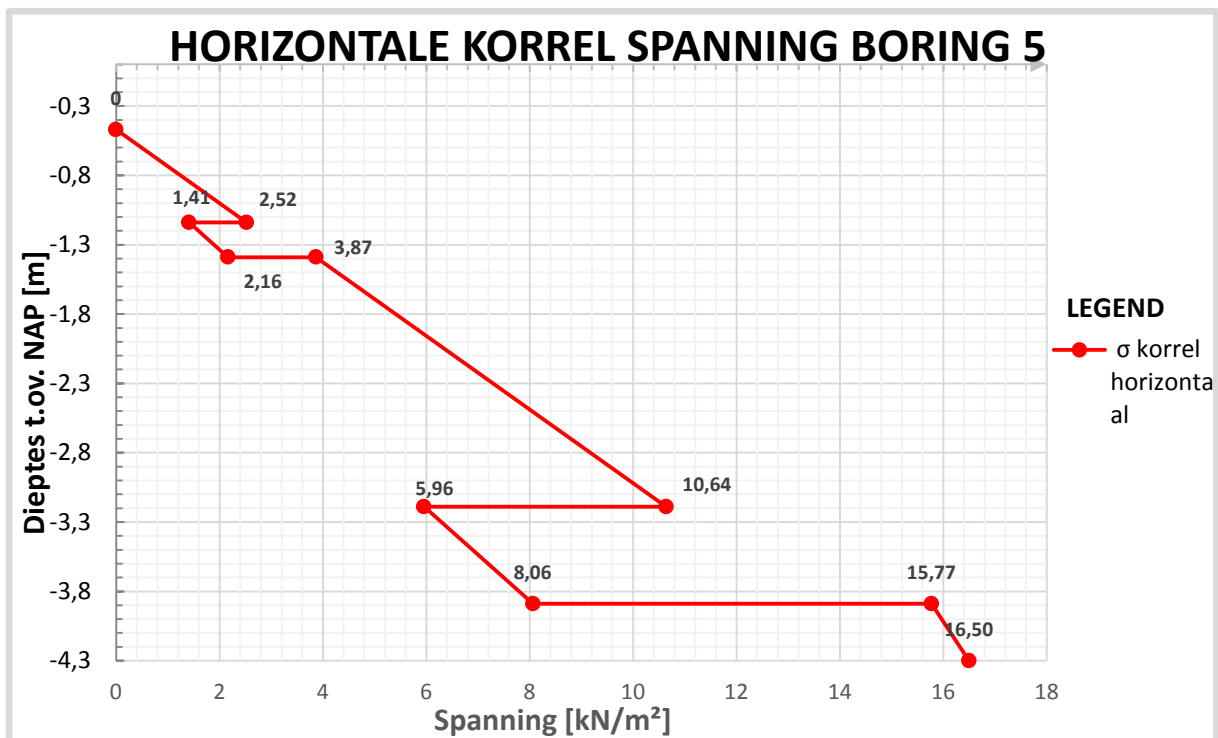
3.3.1 Stap 1 en 2 verticale en horizontale korreldruk bepalen

Formules voor het bepalen van de actieve en passieve verticale en horizontale korrelspanning:

- $\sigma_{grond}(v) = \sigma_{korrel}(v) + \sigma_{water}$
- $\sigma_{korrel}(h) = K_{a,o,p} \times \sigma_{korrel}(v)$
- $K_a = \frac{1 - \sin(\varphi)}{1 + \sin(\varphi)}$
- $K_p = \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}$

Voor de gedetailleerde berekening van de horizontale actieve en passieve korrelspanning raadpleeg Bijlage A

Uit de berekening blijkt dat de horizontale korrel spanning op een diepte van -3,84 meter ten opzichte van NAP 16,50 kN/m² bedraagt. Deze horizontale korrelspanning is nodig om de stap 3 uit te voeren van (u) bepalen. In figuur 3 is een grafiek te zien van de horizontale korrel spanning.



Figuur 3: Horizontale korrel spanning

3.3.2 Actieve en passieve korreldruk tegen elkaar op zetten om (u) te bepalen

In deze sub paragraaf wordt de u bepaald doormiddel van actieve en passieve korreldruk tegen elkaar op te zetten.

Formule:

$$\sigma \text{ korrel (h) passief} = \sigma \text{ korrel (h) actief}$$

Uitwerking passieve korrel spanning:

$$\sigma g \text{ passieve zijde} = \gamma_w \times 3,83 \text{ m} + \gamma_{nat,zand} \times u$$

$$\sigma g \text{ passieve zijde} = 10 \frac{kN}{m^3} \times 3,83m + 20 \frac{kN}{m^3} \times u$$

$$\sigma' \text{ passieve zijde} = \gamma_w \times 3,83 \text{ m} + \gamma_{nat,zand} \times u - (3,83 + u \times \gamma_w)$$

$$\sigma' \text{ passieve zijde} = (\gamma_{nat,zand} - \gamma_w) \times u$$

$$\sigma' \text{ passieve zijde} = (\gamma_{res}) \times u = (20 \frac{kN}{m^3} - 10 \frac{kN}{m^3}) \times u$$

$$\sigma' \text{ passieve zijde} = (10) \times u$$

$$\sigma' \text{ horizontaal passieve zijde} = k_{p,zand} \times (\gamma_{res}) \times u$$

Uitwerking actieve korrel spanning:

$$\sigma g \text{ actieve zijde} = 16,50 \text{ kN/m}^2 \times k_a \times (\gamma_{res}) \times u$$

Uitwerking (u):

$$\sigma \text{ korrel (h) passief} = \sigma \text{ korrel (h) actief}$$

$$k_{p,zand} \times (\gamma_{res}) \times u = 16,50 \times k_{a,zand} \times (\gamma_{res}) \times u$$

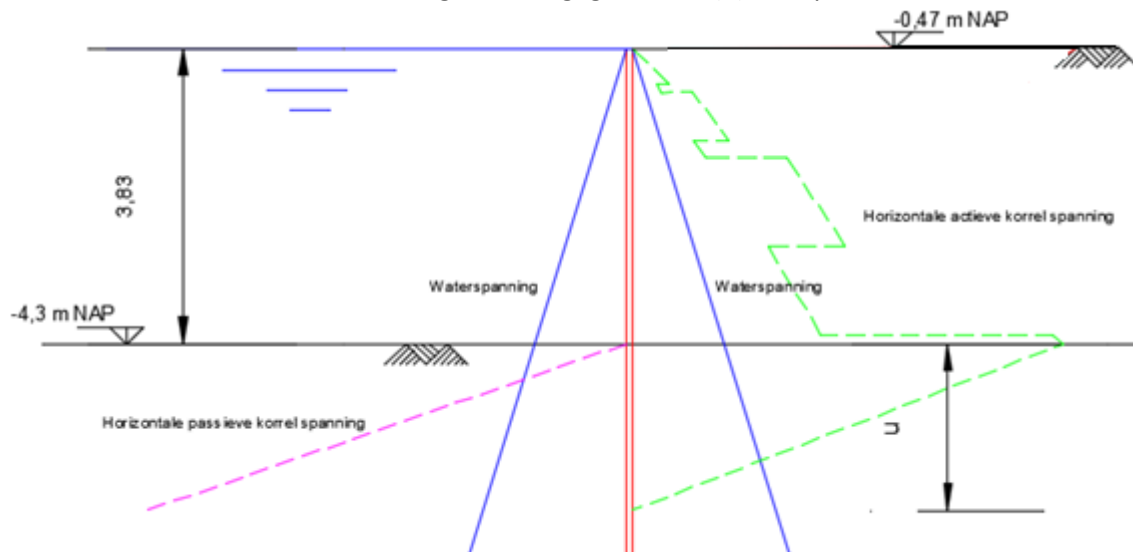
$$(\gamma_{res}) \times u \times (k_{p,zand} - k_{a,zand}) = 27,60 \text{ kN/m}^2$$

$$(20 \frac{kN}{m^3} - 10 \frac{kN}{m^3}) \times u \times (3,322 - 0,301) = 27,60 \text{ kN/m}^2$$

$$u = 0,91m$$

$$\underline{u = 0,9 \text{ m}}$$

Hieronder is een schematische weergave weergegeven om (u) te bepalen.



Figuur 4: Schematische weergave om (u) te bepalen

3.4 (x) bepalen

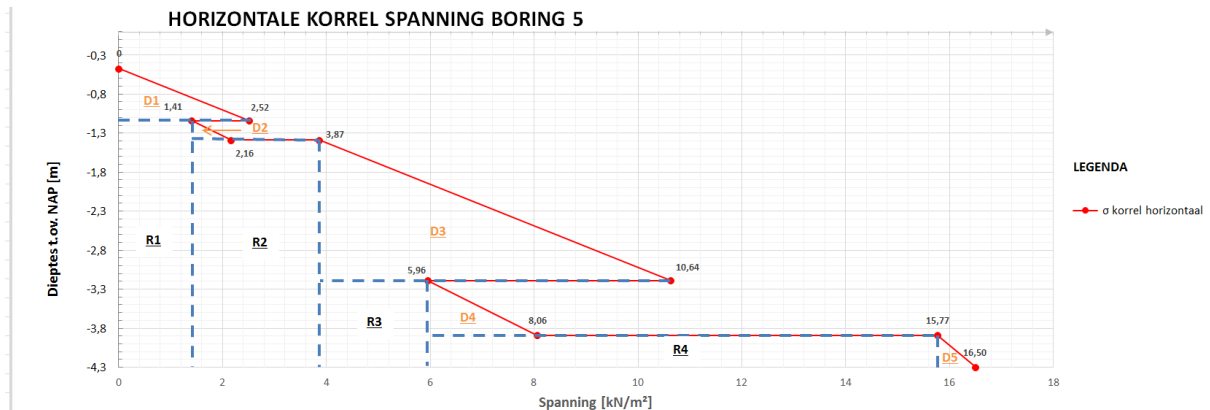
Voor het bepalen van (x) moet eerst de horizontale actieve en passieve krachten worden bepaald. Vervolgens is het van belang om de zwaartepunten te bepalen van de horizontale actieve en passieve krachten. Wanneer de horizontale actieve en passieve krachten en de zwaartepunten zijn bepaald, kan er met behulp van het moment evenwicht een derdegraadse vergelijking worden opgesteld. Met de derdegraadse vergelijking wordt (x) bepaald.

3.4.1 Horizontale actieve kracht en zwaartepunt

In deze sub paragraaf wordt de totale horizontale actieve kracht van de korrel en het zwaartepunt van de totale horizontale actieve kracht bepaald.

De horizontale krachten worden bepaald aan de hand van de grafiek wat is weergegeven in figuur 5. Om de horizontale krachten te bepalen uit een horizontale korrel spanning grafiek moet de grafiek in stukken worden verdeeld. In figuur 5 is de horizontale korrel spanning grafiek weergegeven wat in stukken is verdeeld. In totaal zijn er voor het bepalen van de horizontale krachten 8 driehoeken en 6 rechthoeken in de horizontale korrel spanning grafiek getekend.

Door de spanning van de driehoeken en rechthoeken te bepalen en deze spanning te vermenigvuldigen met de oppervlakte van de driehoeken en rechthoeken, kan de horizontale kracht worden bepaald.



Figuur 5: Horizontale korrelspanning grafiek met driehoeken en rechthoeken indeling

De zwaartepunten van de driehoeken en rechthoeken worden bepaald vanaf de bovenkant van de grafiek (-0,47 meter ten opzichte van NAP-maaiveld).

De zwaartepunten van de driehoeken bevinden zich op twee derde hoogte van de driehoeken en de zwaartepunten van de rechthoeken bevinden zich op de halve hoogte van de rechthoeken.

Op deze manier kunnen de zwaartepunten van de driehoeken en rechthoeken worden bepaald.

Door de krachten van elke driehoek en rechthoek te vermenigvuldigen met de arm die bepaald kan worden met behulp van de zwaartepunten, kan de momenten van elke driehoek en rechthoek worden bepaald.

Om de totale horizontale actieve kracht te bepalen, worden de horizontale krachten van elke driehoek en rechthoek bij elkaar op opgeteld. Uit de berekeningen blijkt dat de totale horizontale actieve kracht 33,29 kN bedraagt. Om het totale moment van de totale horizontale actieve kracht te bepalen, worden alle momenten die bepaald zijn voor elke driehoek en rechthoek bij elkaar opgeteld. Uit de berekeningen blijkt dat het totale moment 96,12 kNm bedraagt. Door het totaal moment te delen door de totale horizontale actieve kracht, wordt het zwaartepunt bepaald van de totale horizontale actieve kracht. Het zwaartepunt van deze horizontale kracht bevindt zich 2,89 meter ten opzichte van het maaiveld.

$$\frac{\text{Totale moment}}{\text{Totale horizontale actieve kracht}} = \text{Zwaartepunt totale horizontale actieve kracht}$$

$$\frac{96,12 \text{ kNm}}{33,29 \text{ kN}} = 2,89 \text{ meter ten opzichte van het maaiveld}$$

Voor de berekening van de horizontale actieve krachten en de zwaartepunten van de driehoeken en rechthoeken raadpleeg Bijlage A.

3.4.2 Horizontale passieve kracht en zwaartepunt

In deze sub paragraaf wordt de totale horizontale passieve kracht van de korrel en het zwaartepunt van de totale horizontale passieve kracht bepaald.

Formule totale horizontale passieve kracht:

$$(\gamma_{res}) \times (k_{p,zand} - k_{a,zand}) \times x$$

Uitwerking totale horizontale passieve kracht:

$$(\gamma_{res}) \times (k_{p,zand} - k_{a,zand}) \times x$$

$$\left(20 \frac{kN}{m^3} - 10 \frac{kN}{m^3}\right) \times (3,322 - 0,301) \times x =$$

$$Totale\ horizontale\ passieve\ kracht = 30,21\ x$$

Formule zwaartepunt totale horizontale passieve kracht:

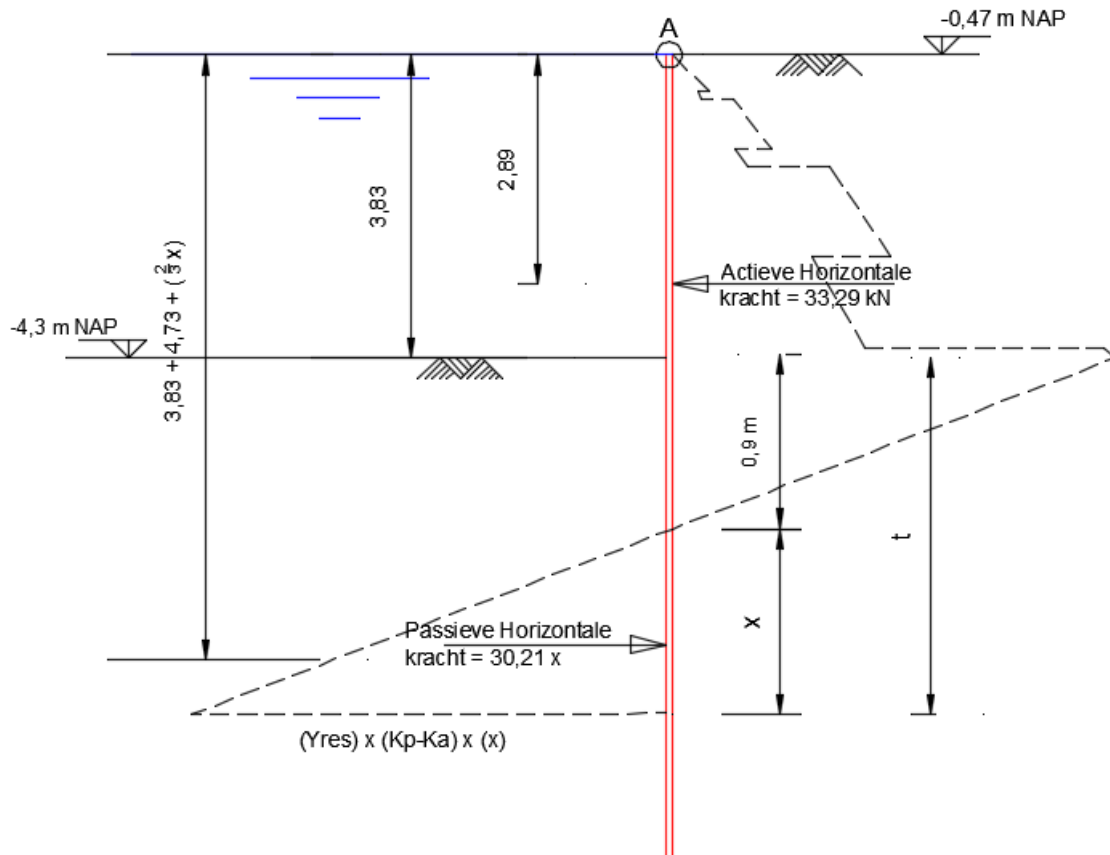
$$(ontgrondingskuil) + (u) + \left(\frac{2}{3}x\right)$$

Uitwerking zwaartepunt totale horizontale passieve kracht:

$$(3,83\ m) + (0,9\ m) + \left(\frac{2}{3}x\right)$$

$$Zwaartepunt\ totale\ horizontale\ passieve\ kracht = 4,73 + \frac{2}{3}x$$

In figuur 6 is een schematische weergave weergegeven van de totale horizontale actieve en passieve krachten die op de stalen damwand werken. Ook is de horizontale kracht van het water bij een waterleidingbreuk weergegeven die bepaald was uit het rapport 'III. Uitwerkingsrapport'.



Figuur 6: Schematische weergave van alle horizontale krachten op de stalen damwand

3.4.3 Momentenevenwicht & derdegraads vergelijking

In deze sub paragraaf wordt met behulp van figuur 6 een moment evenwicht opgesteld. Met behulp van het momentenevenwicht kan een derdegraadse vergelijking worden opgesteld. Met de derdegraadse vergelijking kan x worden bepaald.

Om de maatgevende (x) te bepalen, worden twee momentenevenwicht situaties bekeken. Het eerste momentenevenwicht situatie is een situatie waarbij de horizontale waterbelasting van TL21 niet wordt meegenomen in het momentenevenwicht. Bij de tweede situatie wordt de horizontale waterbelasting van TL21 wel meegenomen in het momentenevenwicht. Door de twee momenten evenwicht situaties worden dus twee (x) bepaald.

Op deze manier wordt de gekeken wel (x) van de tweede situaties het meest maatgevend is voor het ontwerpen van de stalen damwand.

Momentenevenwicht

Voor het opstellen van het momentenevenwicht (zonder waterbelasting TL21) draaien de horizontale actieve en passieve krachten om punt A wat weergegeven is in figuur 6.

$$\Sigma MA = 0$$

$$Totale\ horizontale\ passieve\ kracht \times arm - (Totale\ horizontale\ actieve\ kracht \times arm) = 0$$

$$(0,5 \times (30,21x) \times \left(4,73 + \frac{2}{3}x\right) - (33,28 \times 2,89) = 0$$

$$15,11x \times \left(4,73x + \frac{2}{3}x^2\right) - (96,18) = 0$$

$$10,07x^3 \times (71,45x^2) - (96,18) = 0$$

$$x = 1,1\ m$$

$$\underline{x = 1,1\ m}$$

3.5 (t) bepalen

In deze paragraaf wordt de inheidiepte bepaald van de stalen damwand met behulp van de 'Blum methode'.

Formule inheidiepte (t)

$$t = 1,2 x + u \quad [13]$$

Gegevens inheidiepte (t)

$$u = 0,9 \text{ meter}$$

$$x = 1,1 \text{ meter (maatgevende x waarde)}$$

Uitwerking inheidiepte (t)

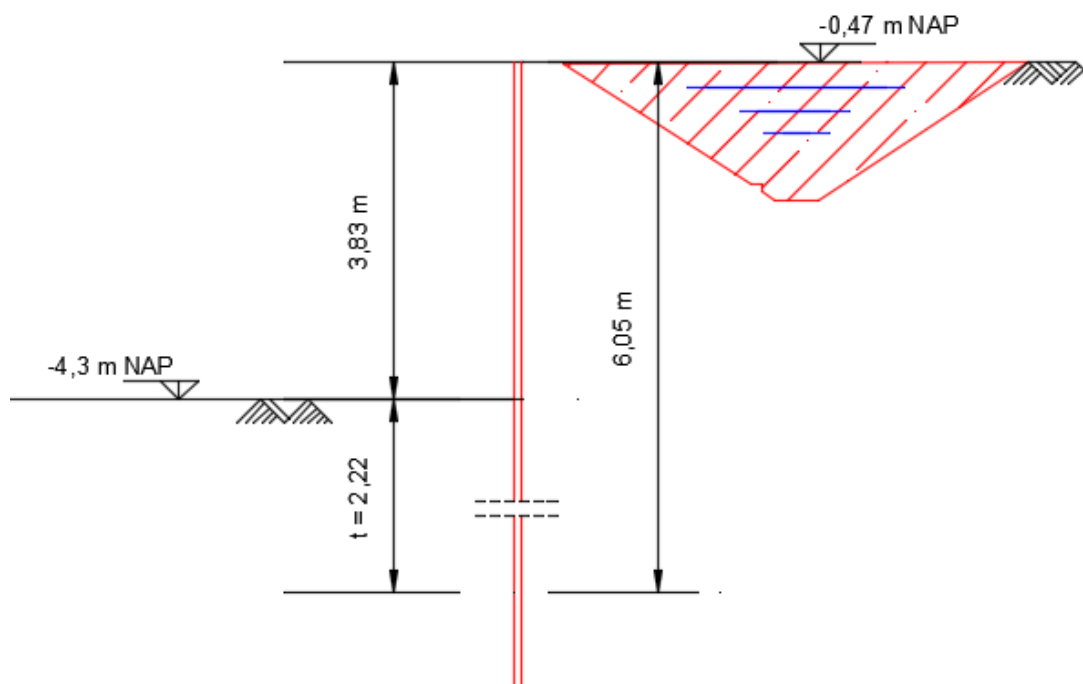
$$t = 1,2 x + u$$

$$t = 1,2 \times 1,1 + 3$$

$$t = 2,22 \text{ meter}$$

Uit de bovenstaande berekeningen kan er geconcludeerd worden dat de inheidiepte van de stalen damwand die bepaald is met de 'Blum methode' 2,22 meter bedraagt. Volgens de 'Blum methode' is de minimale lengte van de stalen damwand (3,83 meter + 2,22meter) 6,05 meter.

In het volgende hoofdstuk wordt de inheidiepte nog eens bepaald. Dit keer wordt de inheidiepte bepaald met het softwareprogramma 'D-sheet piling' van Deltares.



Figuur 7: Schematische weergave minimale inheidiepte 'Blum Methode'

Hoofdstuk 4 D-sheet piling

In dit hoofdstuk wordt de inheidiepte van de stalendamwand bepaald met behulp van het softwareprogramma 'D-sheet piling' van Deltares. Met behulp van het softwareprogramma kan de kritische lengte van de damwandplank worden bepaald. Uit de berekeningen van het softwareprogramma moet blijken of de stalendamwand korter is dan de lengte van de stalen damwand die met de vuistregel van een onverankerde stalen damwand is bepaald (21,87 meter). Bij een kortere lengte van de stalen damwand zal er materiaal bespaard kunnen worden en zijn de kosten van de stalen damwand ook minder duur. Door het damwandprofiel te controleren kan er bepaald worden of er misschien lichtere damwandprofiel gekozen kan worden.

Het doel van dit hoofdstuk is dus de onverankerde stalen damwand constructie van dit project te optimaliseren, zodat er misschien materialen en kosten van de onverankerde stalen damwand constructie kan worden bespaard.

4.1 Uitgangspunten

Het softwareprogramma 'D-sheet piling' is een programma om stalen damwanden te ontwerpen. Voordat het softwareprogramma aan een stalen damwand kan berekenen zijn verschillende input gegevens nodig.

In deze paragraaf worden de uitgangspunten weergegeven van de inputgegevens. Daarna worden de uitgangspunten van de controle eisen weergegeven waaraan het damwandprofiel moet voldoen en welke partiële veiligheidsfactoren er gebruikt moet worden voor het softwareprogramma 'D-sheet piling'.

De volgende input gegevens zijn nodig voor het softwareprogramma 'D-sheet piling':

- Damwand gegevens (Larssen profielen)
- Grondopbouw (Boring 5 van Mos grondmechanica (grondlagen van diepte -5 tot -25 meter NAP gebaseerd op Sondering C)
- Grondwaterstand
- Karakteristieke waarde van grond (NEN 9997-1+C1)
- Toestanden

4.1.1 Damwand gegevens

Eigenschappen Larssen profielen

Om de onverankerde stalen damwand te ontwerpen met het softwareprogramma 'D-sheet piling' zijn eigenschap gegevens nodig van de Larssen profielen. Het softwareprogramma 'D-sheet piling' een catalogus met alle eigenschap gegevens van de Larssen profielen.

Deze gegevens zijn gecontroleerd met de damwand handboek van Gooimeer B.V. [4]. Uit de controle is gebleken dat de gegevens met elkaar overeenkomen.

Gooimeer B.V. is een specialist op het gebied van damwand, balken, rijplaten en stalen buispalen.

Ligging onverankerde stalen damwand

Voor de berekening van de onverankerde stalen damwand worden twee situaties bekeken van de onverankerde stalen damwand. Bij de eerste situatie ligt de onverankerde stalen damwand in de sloot. Dit komt omdat bij de maatgevende doorsnede van TL21 de stalen damwand de leiding zou raken als de stalen damwand buiten de sloot wordt aangebracht. Bij de tweede situatie ligt de stalen damwand een 0,5 meter buiten de sloot, want in sommige delen waar de stalen damwand moet komen, is er genoeg ruimte om de stalen damwand buiten de sloot aan te brengen, zonder dat de stalen damwand de TL21 kan raken.

De reden om de stalen damwand buiten de sloot aan te brengen, is omdat de sloot een onderdeel is van de stabiliteitszone. Daarom wordt het liefst de stalen damwand buiten de sloot aangebracht zodat de sloot/ stabiliteitszone niet wordt aangetast door de tijdelijke oplossing.

Tijdens de berekening van de onverankerde stalen damwand worden beide situaties berekend en wordt er gekeken welk van de twee situaties de meest maatgevend rekenwaarde geeft voor de controle van de stalen damwandprofielen.

Voor extra veiligheidsmaatregelen wordt er aangenomen dat de stalen damwand minimaal 1 m van de TL21 moet liggen, zodat er gegarandeerd kan worden dat de stalen damwand bij de uitvoering de TL21 niet kan raken.

Voor de zekerheid wordt er ook aangenomen dat de stalen damwand minimaal een 0,5 meter van de stabiliteitszone van Aaldijk moet liggen om de veiligheid van de stabiliteitszone te waarborgen.

4.1.2 Grondopbouw

Uit het analyserapport is gebleken dat boring 4 en 5 van Mos Grondmechanica een grondopbouw weergeeft tot een diepte van -5,39 meter ten opzichte van NAP, tot deze diepte zijn de grondlagen bekend. De grondopbouw tot deze diepte is niet genoeg voor het berekenen van de stalen damwand met D-sheet piling.

Om toch de onbekende grondlagen te bepalen vanaf -5,39 meter voor de maatgevende boring 'boring 5 van Mos Grondmechanica', worden de grondlagen vanaf -5,39 meter ten opzichte van NAP bepaald met behulp van boring B24.8Aa van Fugro. De grondopbouw van boring B24.8Aa van Fugro is bekend tot -10,31 meter ten opzichte van NAP.

In tabel 16 is de grondopbouw weergegeven wat in het softwareprogramma D-sheet piling wordt ingevoerd.

Tabel 5: Grondopbouw van Boring 5 van Mos grondmechanica (grondlagen van diepte -5 tot -25 meter NAP gebaseerd op boring B24.8Aa)

Grondlaag	Grondsoort	Diepte [meter t.o.v. NAP]		Verschil
Nr.	-	Van	Tot	[m]
1	Klei	-0,47	-1,14	0,67
2	Zand	-1,14	-1,39	0,25
3	Klei	-1,39	-3,19	1,8
6	Zand	-3,19	-3,89	0,7
7	Veen	-3,89	-5,39	1,5
9	Zand	-5,39	-9,41	4,02
10	Klei	-9,41	-9,81	0,4
11	Zand	-9,81	-10,31	0,9

4.1.3 Grondwaterstand

Uit het analyserapport is gebleken dat de hoogste grondwaterstand op -0,35 meter ten opzichte van NAP de grootst horizontale grondspanning geeft. De actieve gronddruk is de kracht die het bezwijken van de stalendamwand veroorzaakt. Daarom wordt er voor het berekenen van de onverankerde stalen damwanden met het softwareprogramma 'D-sheet piling' de hoogste grondwaterstand toegepast.

4.1.4 Karakteristieke waarde van grond

In de sub paragraaf worden de karakteristieke waarde van zand, klei en veen weergegeven die nodig zijn voor het softwareprogramma 'D-sheet piling'. De karakteristieke waarde zijn bepaald uit NEN 9997-1+1C [9]. De actieve, passieve en neutrale gronddrukcoëfficiënten zijn bepaald volgens de gronddrukcoëfficiënt formules die bepaald zijn uit het analyserapport.

Zand

Volumegewicht verzadigd (nat) zand:	20 kN/m ³
Volumegewicht onverzadigd (droog) zand:	18 kN/m ³
Cohesie:	0 kN/m ²
Hoek verdraaiing:	32,5°
Actieve gronddrukcoëfficiënt (Ka):	0,301 [-]
Neutrale gronddrukcoëfficiënt (Ko):	0,463 [-]
Passieve gronddrukcoëfficiënt (Kp):	3,322 [-]

Klei

Volumegewicht verzadigd (nat) zand:	17 kN/m ³
Volumegewicht onverzadigd (droog) zand:	17 kN/m ³
Cohesie:	5 kN/m ²
Hoek verdraaiing:	17,5°
Actieve gronddrukcoëfficiënt (Ka):	0,538 [-]
Neutrale gronddrukcoëfficiënt (Ko):	0,699 [-]
Passieve gronddrukcoëfficiënt (Kp):	1,860 [-]

Veen

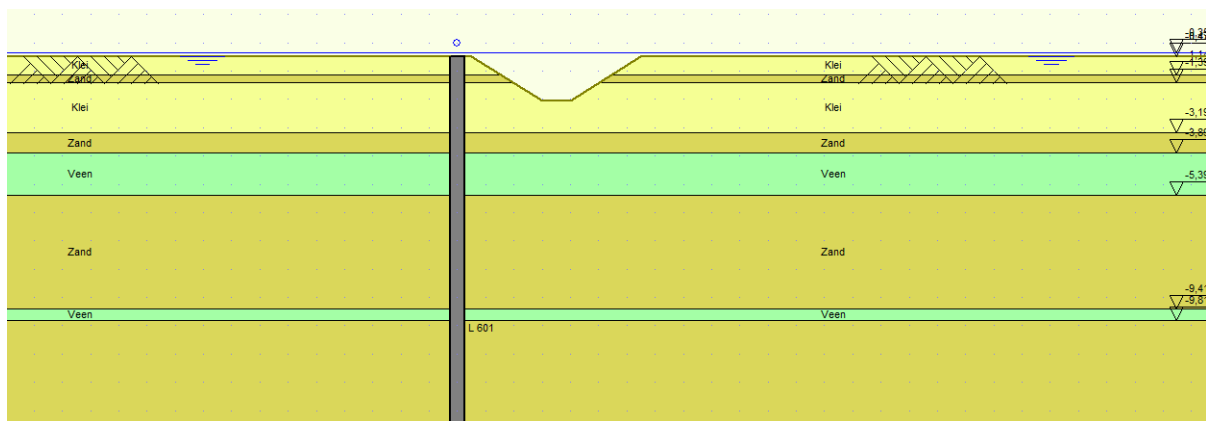
Volumegewicht verzadigd (nat) zand:	13 kN/m ³
Volumegewicht onverzadigd (droog) zand:	12 kN/m ³
Cohesie:	3,75 kN/m ²
Hoek verdraaiing:	15°
Actieve gronddrukcoëfficiënt (Ka):	0,589 [-]
Neutrale gronddrukcoëfficiënt (Ko):	0,741 [-]
Passieve gronddrukcoëfficiënt (Kp):	1,698 [-]

4.1.5 Toestanden (D-sheet piling berekening)

De stalen damwand wordt op 2 mogelijke toestanden berekend. Uit de uitkomsten van de 2 toestanden worden de maatgevend rekenwaardes gebruikt om het damwandprofiel te controleren. Hieronder zijn de 4 toestanden beschreven.

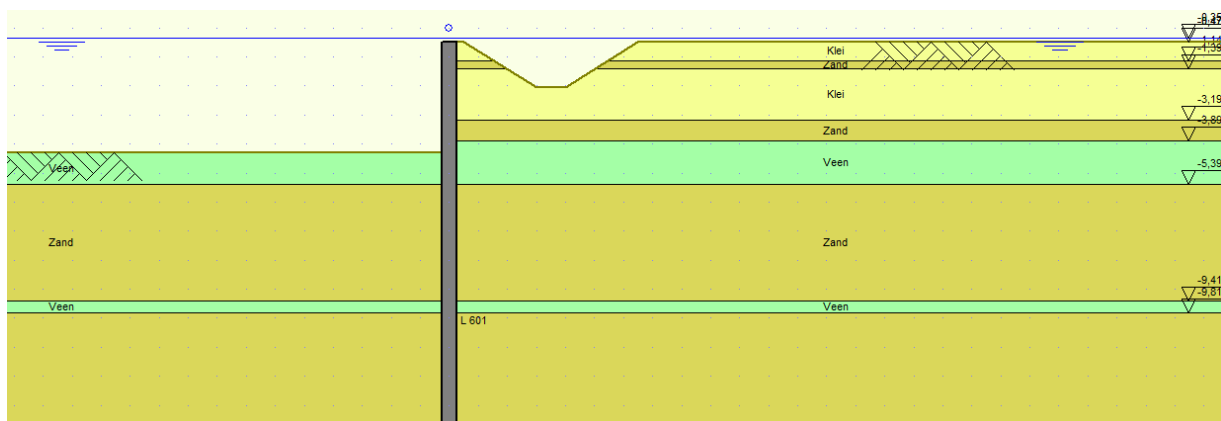
- Toestand 1: Aan beide kanten van de stalen damwand bevindt de grond op het maaiveld niveau (-0,47 meter ten opzichte van NAP) en de waterleidingbreuk in de TL21 is nog niet opgetreden.

we



Figuur 8: Toestand 1 stalen damwand ligt buiten de sloot

- Toestand 2: Aan de kant van de stalen damwand waar de TL21 ligt, bevindt het nieuwe maaiveld door uitspoeling van grond door de waterleidingbreuk op -4,3 meter ten opzichte van NAP. Aan de kant van de stalen damwand waar de primaire waterkering Aaldijk bevindt, ligt de grond op een maaiveld niveau van -0,47 meter ten opzichte van NAP.



Figuur 9: Toestand 2 stalen damwand ligt buiten de sloot.

4.1.6 Controle eisen damwandprofielen

Om het geschikte damwandprofiel te kiezen voor de onverankerde stalen damwand constructie wordt het weerstandsmoment, het moment, de dwarskracht en de verplaatsing van de Larssen profielen gecontroleerd.

Het doel is om een Larssen profiel te bepalen die zowel aan alle eisen voldoet en zo licht mogelijk is. De reden voor een lichtere damwandprofiel is om de kosten van de tijdelijke oplossing (onverankerde stalen damwand) te besparen, omdat de prijs van de stalen damwanden 0,82 cent per kilogram bedraagt.

Hieronder zijn de controle eisen weergegeven waaraan het Larssen profiel moet voldoen.

Controle Weerstandsmoment:

De rekenwaarde van het plastische weerstandsmoment dient getoetst te worden aan de rekenwaarde van optredende plastisch weerstandsmoment.

$$W_{pl} \geq \frac{M_{sd} \times \gamma_{mo}}{f_y} \quad [13]$$

- W_{pl} = *plastisch weerstandsmoment* [cm^3/m]
- $\frac{M_{sd} \times \gamma_{mo}}{f_y}$ = *optredend plastisch weerstandsmoment* [cm^3/m]
- M_{sd} = *Maximaal optredend moment* [Nm]
- $\gamma_{mo} = 1,00$; *conform 5.1.1 NEN EN 1993 – 5 ; Partiële veiligheidsfactor* [–]
- f_y = *vloeigrens* [N/m^2]

Als het plastisch weerstandsmoment groter is dan het optredende plastisch weerstandsmoment dan voldoet het damwandprofiel.

Controle op het moment:

Uit de berekening van het softwareprogramma 'D-sheet piling' volgt het maximaal optredende moment (M_{sd}). Dit maximaal optredende moment dient getoetst te worden aan het maximaal opneembare moment (M_{rd}) dan het damwandprofiel.

$$\left(\frac{M_{rd}}{M_{sd}}\right) < 1 \quad [6]$$

- $M_{rd} = \text{Maximaal opneembare moment [kNm]}$
- $M_{rd} = f_y \times W \times f_{50}$
- $f_y = \text{vloeigrens [N/m}^2 \text{]}$
- $W \text{ of } W_{pl} = \text{plastisch weerstandsmoment}$
- $f_{50} = \frac{t_{f50}}{t}$
- $t_{f50} = t - f_{landzijde} - f_{waterzijde}$
- $t = \text{wanddikte larssen profiel}$
- $f_{landzijde} = 0,60 \text{ mm (Undisturbed naturel soil, table 4 – 1 EN 1993 – 5: 2007)}$
- $f_{waterzijde} = 0,90 \text{ mm (Common fresh water, table 4 – 2 EN 1993 – 5: 2007)}$
- $M_{sd} = \text{Maximaal optredende moment [kNm]}$

Als (M_{rd}/M_{sd}) < 1 dan voldoet het damwandprofiel.

Controle op verplaatsing/ vervorming:

Uit de berekening van het softwareprogramma 'D-sheet piling' volgt de maximaal optredende verplaatsing (U_{max}). De rekenwaarde van de maximaal optredende verplaatsing dient getoetst te worden aan de toelaatbare verplaatsing.

Met de opdrachtgever (KEN engineering) is afgesproken dat de toelaatbare verplaatsing (U_{req}) 100 mm bedraagt.

$$\frac{U_{max}}{U_{req}} < 1 \quad [1]$$

- U_{max} = maximaal optredende verplaatsing [mm]
- U_{req} = maximaal toelaatbare verplaatsing [mm]

Als (U_{max}/U_{req}) < 1 dan voldoet het damwandprofiel.

Controle op dwarskracht:

Uit de berekening van het softwareprogramma 'D-sheet piling' volgt de maximaal optredende dwarskracht (U_{max}). De rekenwaarde van de dwarskrachtcapaciteit dient getoetst te worden aan de optredende dwarskracht. Deze controle is uitgevoerd conform NEN EN 1993-5 [8].

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{mo}} \quad [8]$$

- $V_{pl,Rd}$ = dwarskrachtcapaciteit [kN]
- V_{Ed} = maximaal optredende dwarskracht [kN]

Waarin:

- $A_v = t_w \times (h - t_f)$
- t_w = damwand dikte
- h = damwand hoogte
- t_f = damwand dikte

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

Als de optredende dwarskracht kleiner is dan de dwarskrachtcapaciteit, dan voldoet het damwandprofiel.

4.1.7 Partiële veiligheidsfactor

Nadat alle uitgangspunten van de input gegevens zijn bepaald, moet eerst de partiële veiligheidsfactor worden bepaald, voordat de stalen damwand berekend kan worden met het softwareprogramma 'D-sheet piling'.

In het softwareprogramma 'D-sheet piling' kan 5 verschillende veiligheid categorieën worden gekozen volgens:

- Representative
- EC7 general
- EC7 NL - NL Annex
- EC7 B
- CUR

Representative

Met de partiële veiligheidsfactoren volgens Representative wordt een standaard ontwerp calculatie gemaakt van de stalen damwand met representatieve input waardes. [2]

EC7 general

Met de partiële veiligheidsfactoren volgens EC7 general wordt een ontwerp calculatie gemaakt van de stalen damwand. Het ontwerp calculatie wordt berekend volgens de Eurocode 7 ontwerp code met gebruik van partiele factor die beschreven zijn in "Eurocode 7 – Deel 1 Algemene regels" (NEN-EN, maart 2005). [2]

EC7 NL

Met de partiële veiligheidsfactoren volgens EC7 NL wordt een ontwerp calculatie gemaakt van de stalen damwand. Het ontwerp calculatie wordt berekend volgens de Eurocode 7 ontwerp code met gebruik van partiele factor die beschreven zijn in "De Nederlandse annex NEN-EN 1997-1/NB en NEN 9097-1. [2]

EC7 B

Met de partiële veiligheidsfactoren volgens EC7 B wordt een ontwerp calculatie gemaakt van de stalen damwand. Het ontwerp calculatie wordt berekend volgens de Eurocode 7 ontwerp code met gebruik van partiele factor die beschreven zijn in "De Belgische annex NBN EN 1997-1 ANB. [2]

CUR

Met de partiële veiligheidsfactoren volgens CUR wordt een ontwerp calculatie gemaakt van de stalen damwand. Het ontwerp calculatie wordt berekend volgens CUR 166 Nederlandse ontwerp code (CUR, 2005). [2]

Partiële veiligheidsfactor bepalen

Voor het ontwerpen van de onverankerde stalen damwand met het softwareprogramma 'D-sheet piling' worden de partiële veiligheidsfactoren beschouwd volgens EC7 NL-ANNEX. De reden dat er gekozen is voor EC7 NL-ANNEX, is omdat dit project in Nederland wordt uitgevoerd. De partiële veiligheidsfactoren zijn volgens 'De Nederlandse annex NEN-EN 1997-1/NB en NEN 9097-1' beschreven. De partiële veiligheidsfactoren van de CUR zijn volgens de Nederlandse CUR ontworpen. De CUR is dus ook een optie voor het berekenen van de onverankerde stalen damwand, maar de voorschriften en richtlijnen van de 3 veiligheidsklassen van de CUR passen niet echt bij dit onderzoek. De voorschriften en richtlijnen van de veiligheidsklassen van de CUR zijn alleen gebaseerd op de persoonlijke veiligheidsrisico's en de grootte van de schade bij het falen van de constructie.

Integendeel passen de voorschriften en richtlijnen van de reliability classes (betrouwbaarheid/ veiligheidsklassen) van EC7 NL-ANNEX beter bij dit project. In totaal heeft Eurocode 7 NL-ANNEX 3 betrouwbaarheidsklasse. Elke klasse is gebaseerd op de consequenties van mensen levens, economische schade, sociaal schade en milieuschade. De schriften en richtlijnen van de veiligheidsklassen van EC7 NL-ANNEX zijn veel uitgebreider dan die van de CUR.

Daarom worden er voor de berekeningen van de stalen damwand met het softwareprogramma 'D-sheet piling' de partiële veiligheidsfactoren volgens EC7 NL-ANNEX beschouwd.

In figuur 12 zijn de voorschriften en richtlijnen van de 3 classes (veiligheidsklassen) weergegeven van de CUR.

<i>Class I</i>	Relatively simple constructions, no personal safety risks and relatively minor damage in the case of overall failure. $\beta = 2.5$
<i>Class II</i>	Considerable damage in the case of overall failure; minor personal safety risks. $\beta = 3.4$
<i>Class III</i>	Major damage in the case of overall failure and/or considerable personal safety risks. $\beta = 4.2$

Figuur 10: Veiligheidsklasse van CUR (Bron: User Manual D-sheet piling Deltares) [2]

In figuur 13 zijn de voorschriften en richtlijnen van de 3 reliability classes (betrouwbaarheid/veiligheidsklassen) weergegeven van EC7-NL ANNEX.

35.2.1 Dutch Annex EC 7 – Reliability Classes

The Dutch Annex of the Eurocode 7 distinguishes the following three reliability classes, with corresponding reliability indexes:

- ◇ **Reliability Class 1:** Low consequence for loss of human life, and economic, social or environmental consequences small or negligible. $\beta = 3.3$
- ◇ **Reliability Class 2:** Medium consequence for loss of human life, economic, social or environmental consequences considerable. $\beta = 3.8$
- ◇ **Reliability Class 3:** High consequence for loss of human life, or economic, social or environmental consequences very great. $\beta = 4.3$

Figuur 11: Reliability Classes of betrouwbaarheidsklasse van EC7 NL-ANNEX (Bron: User Manual D-sheet piling Deltares) [2]

Met behulp van NEN-EN 1990 wordt bepaald welke reliability class van EC7 NL-ANNEX het meest geschikt is voor het berekenen van de onverankerde stalen damwand.

In figuur 14 zijn de reliability classes (RC1, 2 of 3) weergegeven met voorschriften en richtlijnen om te bepalen welke reliability class geschikt is voor welke situatie

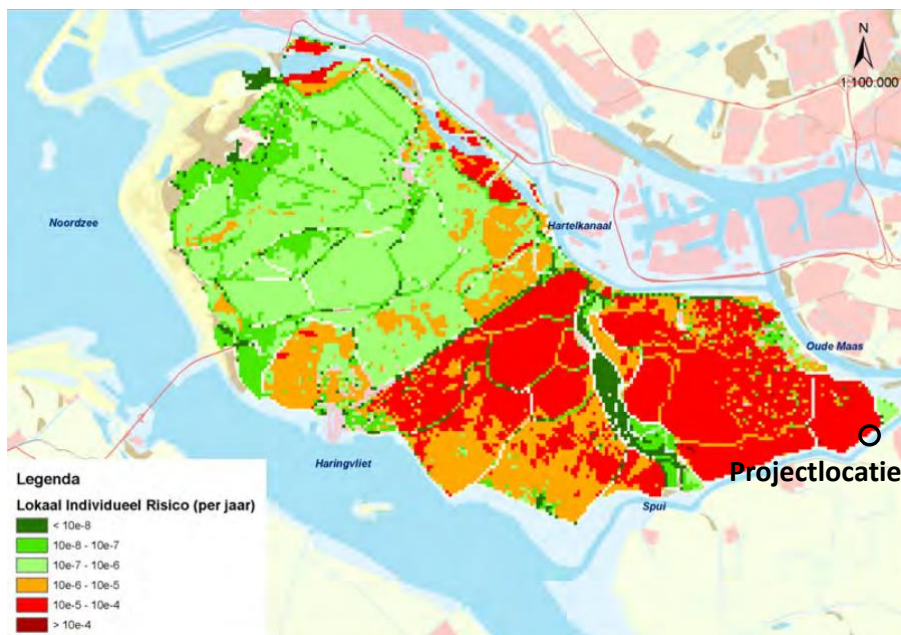
Conform NEN-EN 1990 worden ~~damwandconstructies ingedeeld in~~ de volgende 3 veiligheidsklassen beschouwd:

- CC1/RC1: geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving; bijvoorbeeld een ondiepe bouwput (een-laags kelder) en een kademuur met een beperkte kerende hoogte (max. 5 m);
- CC2/RC2: middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of aanzienlijke economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving; bijvoorbeeld een diepe bouwput (twee of meer bouwlagen) in binnenstedelijk gebied, een damwand langs een binnenwater en een kadewand van een zeehaven met een grote kerende hoogte (> 5 m);
- CC3/RC3: grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens (enkele tientallen) en/of zeer grote economische of sociale gevolgen voor de omgeving; bijvoorbeeld bij bijzondere constructies en (damwanden in) een primaire waterkering.

Figuur 12: Reliability Classes conform NEN-EN 1990 (Bron: SBRCUR) [12]

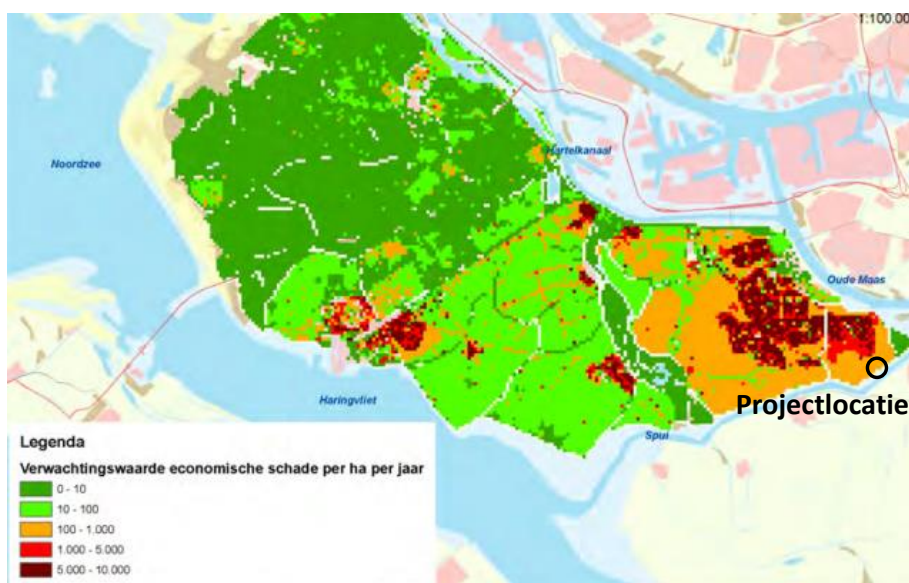
In de onderstaande figuren worden de gevolgen weergegeven als er een dijkdoorbraak plaatsvindt in het dijkringgebied Voorneputten. Deze twee figuren moeten helpen bij het keuze maken van de reliability class van EC7 NL-ANNEX

In figuur 15 worden de slachtoffers ten gevolge van een overstroming op basis van lokaal individueel risico (LIR) weergegeven. In figuur 15 is te zien dat de projectlocatie in het gebied ligt met een hele hoge slachtoffer risico als er een overstroming zou plaats vinden



Figuur 13: Het lokaal individueel risico (LIR) in dijkkring 20

(Bron: Veiligheid Nederland in kaart Overstromingsrisico Dijkkring 20 Voorne-Putten) [5]



Figuur 14: Ruimtelijke verdeling verwachtingswaarde van de economische schade per hectare per jaar

(Bron: Veiligheid Nederland in kaart Overstromingsrisico Dijkkring 20 Voorne-Putten) [5]

In figuur 16 zijn de verwachtingswaarde van de economische schade ten gevolge van een overstroming weergegeven. In figuur 16 is te zien dat de projectlocatie in het gebied ligt met een hoog risico op economische schade al er een overstroming zou plaats vinden.

Uit figuren 14, 15 en 16 kan geconcludeerd worden dat RC3 van EC7 NL-ANNEX het meest geschikte is voor het berekenen van de onverankerde stalen damwand met het softwareprogramma 'D-sheet piling'.

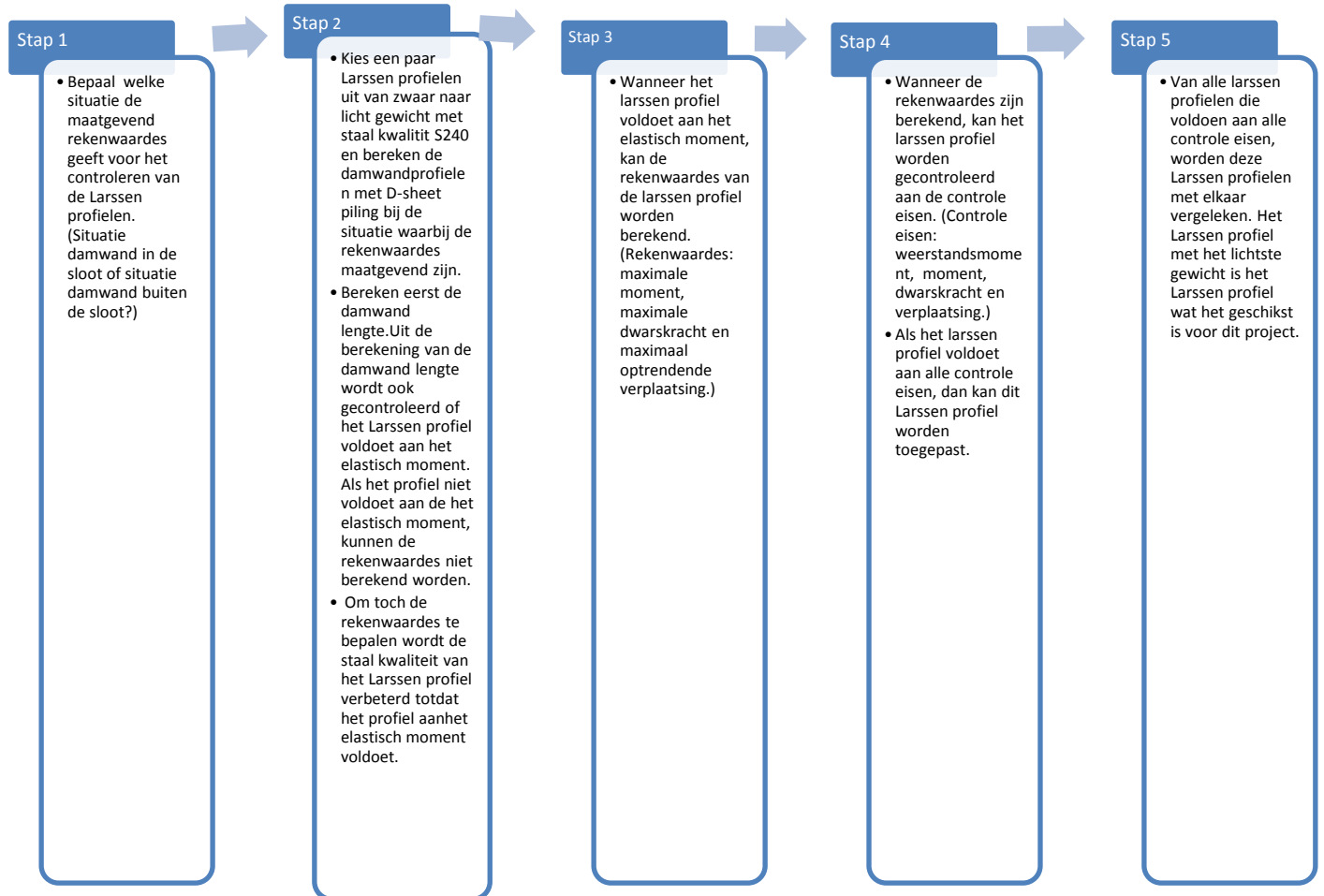
De reden dat er gekozen is voor RC3 is omdat het falen van de primaire waterkering Aaldijk te Spijkenisse grote gevolgen heeft voor het verlies van mensen levens en zeer grote economische gevolgen heeft voor de omgeving. Ook bevindt de onverankerde stalen damwand constructie (tijdelijke oplossing) in de veiligheidszone van de primaire waterkering Aaldijk.

Ter controle of deze veiligheidscategorie echt hoort bij dit onderzoek situatie, is er advies gevraagd aan een senior-adviseur van Deltares (Henri Havinga). Uit het advies is ook gebleken dat de partiële veiligheidsfactoren beschouwd moet worden volgens EC7 NL-ANNEX RC3.

Conclusie:

Voor het berekenen van de onverankerde stalen damwand met het softwareprogramma 'D-sheet piling' wordt de partiële veiligheidsfactoren beschouwd volgens EC7 NL-ANNEX (reliability class 3 of RC3)

4.2 Werkwijze D-sheet piling & Damwandprofiel controle



4.3 Bevindingen D – sheet piling

In deze paragraaf worden de bevindingen weergegeven van de 5 stappen die zijn genoemd in paragraaf 4.3 werkwijze.

4.3.1 Bevindingen van Stap 1

Om de situatie (damwand in de sloot of buiten de sloot) te bepalen die maatgevende rekenwaardes geeft, worden van de profielen Larssen 604 n, Larssen 703 en Larssen 601 de rekenwaardes bepaald. Uit de uitkomsten van de rekenwaardes van elke Larssen profiel, is gebleken dat de situatie (damwand buiten de sloot) maatgevende rekenwaardes geeft.

Tabel 6: Rekenwaardes van Larssen profielen binnen en buiten de sloot situatie

Larssen profiel	Damwand binnen de sloot			Damwand buiten de sloot		
	Max. optredend moment [kNm]	Max. optredend dwarskracht [kN]	Max. optredend verplaatsing [mm]	Max. optredend moment [kNm]	Max. optredend dwarskracht [kN]	Max. optredend verplaatsing [mm]
604 n	20,58	12,14	7,3	35,19	15,79	8,4
703	19,12	11,65	7,8	34,43	15,54	9,1
601	14,58	9,99	9,7	32,58	15,01	11,8

Uit tabel 6 kan er geconcludeerd worden dat de rekenwaardes van elke Larssen profiel wat buiten de sloot bevindt groter is dan dezelfde Larssen profiel wat in de sloot bevindt.

Voor het vervolg van stap 2 wordt dus de situatie toegepast waar het Larssen profiel buiten de sloot bevindt. Als het Larssen profiel aan de grootte rekenwaardes voldoet, dan voldoet het Larssen profiel ook aan de kleinere rekenwaardes.

4.3.2 Bevindingen van Stap 2

Uit bevindingen van stap 2 is gebleken dat alle lengtes van de Larssen profielen berekend kunnen worden. Dit betekent dat alle Larssen profielen voldoen aan het elastisch moment. D-sheet piling geeft aan dat de lengte van de Larssen profielen minimaal 7 meter moet zijn. Bij 6 meter is de damwand onstabiel.

4.3.3 Bevindingen van Stap 3

In de onderstaande tabel zijn de rekenwaardes weergegeven van de Larssen profielen die zijn bepaald met behulp van het softwareprogramma 'D-sheet piling'.

Tabel 7: Rekenwaardes van alle Larssen profielen

Larssen profielen	Gewicht [kg]	Minimale lengte damwand [m]	Maximaal optredend moment [kNm]	Maximaal optredend dwarskracht [kN]	Maximaal optredend verplaatsing [mm]
LARSEN 601	78	7	32,58	15,01	11,8
LARSEN 602	89	7	32,82	15,08	11,3
LARSEN 703	96,4	7	34,43	15,54	9,1
LARSEN 604 n	123	7	35,19	15,79	8,4

Voor de rapport resultaten van 'D-sheet piling' raadpleeg bijlage B

4.3.4 Bevinding Stap 4

In tabel 8 zijn de uitkomsten weergegeven de verschillende Larssen profielen die gecontroleerd zijn aan de control eisen die zijn vastgesteld.

Uit de steekproeven van de Larssen profielen van zwaar naar licht gewicht is gebleken dat de Larssen profielen Larssen 604 n, Larssen 703, Larssen 602 en Larssen 601 voldoen aan alle controle eisen.

4.3.5 Bevinding Stap 5

Uit tabel 8 kan geconcludeerd worden dat het Larssen profiel 'Larssen 601' de lichtste Larssen profiel is wat voldoet aan alle controle eisen.

Het Larssen profiel Larssen 601 wordt dus gebruikt om de onverankerde stalen damwand te realiseren.

Voor alle controle berekeningen van de Larssen damwandprofielen raadpleeg bijlage C

Tabel 8: Uitkomsten controle Larssen profielen

UITKOMSTEN CONTROLE LARSEN PROFIELEN			
LARSEN PROFIELEN	GEWICHT [kg/m ²]	CONTROLE PROFIEL	OPMERKINGEN
LARSEN 601	78	Voldoet	
LARSEN 602	89	Voldoet	
LARSEN 600	94		
LARSEN 703	96,4	Voldoet	
LARSEN 600K	99		
LARSEN 703 K	103		
LARSEN 703 10/10	108		
LARSEN 603	108		
LARSEN 603K	113,5		
LARSEN 716	114,2		
LARSEN 603 10/10	116		
LARSEN 604 n	123	Voldoet	
LARSEN 720	128,5		
LARSEN 22 10/10	129,8		
LARSEN 605	139,2		
LARSEN 605 K	144,5		
LARSEN 23	155		
LARSEN 606 N	157		
LARSEN 606 nK	162,1		
LARSEN 628	165,5		
LARSEN 43	166		
LARSEN 24	175		
LARSEN 24/12	185		
LARSEN 607 n	190	Voldoet	
CONCLUSIE: LARSEN 601 IS HET LICHTSTE DAMWAND PROFIEL EN VOLDOET AAN ALLE CONTROLE EISEN			

Hoofdstuk 5 Bevindingen en Conclusie

In dit hoofdstuk worden de bevindingen en conclusie weergegeven van de Blum methode en het softwareprogramma 'D-sheet piling'

Met behulp van de 'Blum Methode' is bepaald dat de lengte van de damwand minimaal 6 meter moet zijn. Deze methode is bedoeld om een eerste indruk te krijgen van de damwand lengte.

Uit het softwareprogramma 'D-sheet piling' is gebleken dat de lengte van de stalen damwand minimaal 7 meter moet zijn om een stabiele damwand te hebben.

De damwand lengte wat bepaald is met de 'Blum methode' is 1 meter korter dan de damwand lengte wat bepaald is met het softwareprogramma 'D-sheet piling'. Uit het softwareprogramma is gebleken dat de stalen damwand pas stabiel zal zijn als de stalen damwand een damwand lengte heeft van 7 meter. Dit betekent dat de stalen damwand lengte wat bepaald is met de Blum methode niet stabiel is.

Voor het realiseren van de tijdelijke oplossing (onverankerde stalen damwand) wordt het Larssen profiel Larssen 601 met een lengte van 7 meter geadviseerd. Dit profiel is van alle Larssen profielen het lichtste profiel die aan alle controle eisen voldoet. Het Larssen profiel Larssen 601 is het meest optimale Larssen profiel voor dit project om materiaal kosten te besparen.

Voor de veiligheid van de TL21 is er aangenomen dat de stalen damwand (Larssen 601) minimaal 1 meter van de TL21 af moet liggen en voor veiligheid van de stabiliteitszone is er aangenomen dat de stalen damwand minimaal 0,5 meter van de stabiliteitszone af moet liggen.

Hoofdstuk 6 Ontwerp tijdelijke oplossing

In het onderstaande figuur is de definitieve ligging van de tijdelijke oplossing (onverankerde stalen damwand Larssen 601) weergegeven.

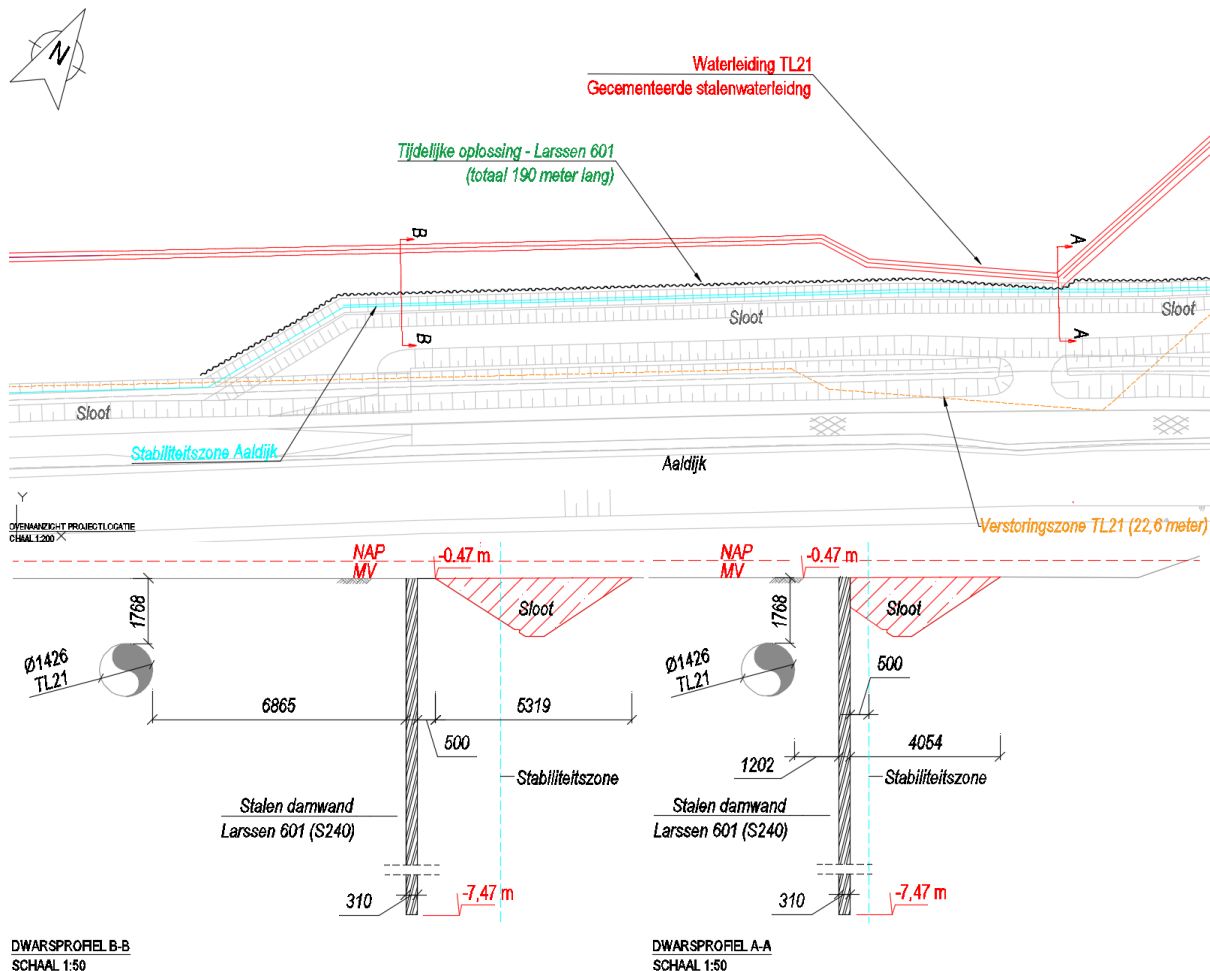
De lengte van de tijdelijke oplossing stopt waar de verstoringzone van de TL21 niet meer de stabiliteitszone van de Aaldijk overlapt.

De lengte van de tijdelijke oplossing is in plaats van 185 meter 190 meter geworden, dit komt omdat de stalen damwand parallel ligt aan de sloot.

De reden dat er gekozen is om de stalen damwand parallel te laten aanbrengen langs de sloot, is omdat er op deze manier het agrarische terrein zo min mogelijk wordt aangetast. Op deze manier heeft de landeigenaar van het agrarische terrein het minst last van de tijdelijke oplossing.

Door de hoogte (310 mm) van het Larssen profiel 601 en de veiligheidseisen die vastgesteld zijn aan de tijdelijke oplossing (De tijdelijke oplossing moet 1 meter van de TL21 en 0,5 meter van de stabiliteitszone af te liggen) ligt een deel van de tijdelijke oplossing in de sloot.

Doordat een deel van de tijdelijke oplossing in de sloot ligt, zou de inhoud van dat deel van de sloot kleiner zijn.



Figuur 15: Definitieve ontwerp tekening AFS-TL21-03

Hoofdstuk 7 Totale kosten tijdelijke oplossing

In dit hoofdstuk worden de totale kosten van de tijdelijke oplossing (onverankerde stalen damwand) bepaald.

Uit het vorige hoofdstuk is al gebleken dat de het stalen damwand profiel Larssen 601 het meest geschikte Larssen profiel is voor dit project, want het Larssen profiel Larssen 601 (78kg/m²) is het lichtste Larssen profiel wat voldoet aan alle controle eisen. De damwandplanken van het profiel Larssen 601 is 7 meter lang. Doordat de tijdelijke oplossing parallel loopt langs de sloot is de totale lengte van de tijdelijke oplossing 190 meter.

Met de bovenstaande gegevens worden de kosten van de tijdelijke oplossing (onverankerde stalen damwand) opnieuw berekend. Dit keer is er wel een extra kostenpost bij gekomen dan bij de kosten wat berekend zijn tijdens de variantenstudie.

In de kosten berekening van de oplossingsvarianten voor de variantenstudie waren er maar twee kostenposten. De twee kostenposten zijn:

- Personeel en materieel
- Materiaal

Voor de totale kosten van de tijdelijke oplossing is nog een kostenpost erbij gevoegd. De kostenpost is:

- Werkterrein en Arbovoorziening

Uit de berekeningen van de totale kosten voor de tijdelijke oplossing, is gebleken dat het project van de tijdelijke oplossing (onverankerde stalen damwand) ongeveer €138.550,- zou gaan kosten. Dit is circa €729,- per strekkend meter.

Als er rekening wordt gehouden dat de tijdelijke oplossing wordt verwijderd (damwanden worden verkocht), dan zou het project van de tijdelijke oplossing iets goedkoper zijn, doordat het verkopen van de stalen damwand meer opbrengt dan de kosten voor het verwijderen van de tijdelijke oplossing. De tijdelijke oplossing zou dan ongeveer €117.770,- gaan kosten. Dit is circa €620,- per strekkende meter.

Voor het verleggen van de TL21 zou het project ongeveer €200.000,- gaan kosten. Er kan dus geconcludeerd worden dat de kosten van de tijdelijke oplossing goedkoper is dan het verleggen van de TL21. De economische eis die vastgelegd is in de programma van eisen voldoet dus.

Voor de calculatie van de totale kosten van de tijdelijke oplossing (onverankerde stalen damwand) raadpleeg bijlage E.

Bibliografie

- [1] Beens Groep. (2015). *Hoofdberekening Damwand Trechterkuip - Loskade de Beijer Waalwaard*. Genemuiden: Beens .
- [2] Deltares. (2016). *Design of diaphragm and sheet pile walls User Manual*. Delft: Deltares .
- [3] DINOLoket. (2016). *DINOLoket*. Opgeroepen op maart 28, 2016, van <http://www2.dinoloket.nl/nl/about/help/glossary.html>
- [4] Gooimeer. (2016, mei 2). *Gooimeer* . Opgehaald van <http://www.gooimeer.nl/downloads/Larssen/L%2025.pdf>
- [5] Groot, B. d. (2014). *Veiligheid Nederland in Kaart 2 Overstromingsrisico dijkkringgebied 20, Voorne-Putten*. Rijkswaterstaat .
- [6] KWS Infra BV. (2015). *Herinrichting jachthaven en N257 te Steenberg* . Roosendaal: KWS.
- [7] L.Mott, R. (2012). *Toegepaste stromingsleer*. Amsterdam: Pearson Benelux.
- [8] Nederlandse Norm. (1993). *NEN EN 1993-5 Eurocode 3 Ontwerp en berkening van staalconstructies - Deel 5: Palen en damwanden*. Delft: Nederlandse Normalisatie Instituut .
- [9] Nederlandse Norm. (april 2012). *NEN 9997-1+1C (NL) Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemeen Regels*. Delft: Nederlandse Normalisatie-instituut.
- [10] Nederlandse Norm. (juni 2012). *NEN 3651 (NL) Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken*. Delft: Nederlandse Norm Instituut.
- [11] Rijkswaterstaat. (2016). *Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu*. Opgeroepen op Maart 28, 2016, van <http://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/index.aspx>
- [12] SBRCURnet. (2014). *Errata CUR 166 Damwandconstructies, 6e druk:2012*. SBRCURnet.
- [13] Verstrynge, B. V. (2007). *Ontwerpmethodes voor damwandconstructies* . KHBO.
- [14] Waterschap Hollandse Delta. (2016). *Waterschap Hollandse Delta*. Opgeroepen op maart 28, 2016, van <http://www.wshd.nl/common/organisatie-en-bestuur/keur.html>

Bijlage

Bijlage [A]	Berekening 'Blum Methode'
Bijlage [B]	Resultaten 'D-sheet piling'
Bijlage [C]	Controle Larssen damwandprofielen
Bijlage [D]	Uitkomsten controle Larssen profielen
Bijlage [E]	Calculatie totale kosten Tijdelijke oplossing