



VAN DEN HERIK
SLIEDRECHT

ONDERZOEKSRAPPORT

Afstudeeronderzoek Dijkversterking Tiel-Waardenburg

Naam:	<i>Gerco Grootenboer</i>
Studentnummer:	<i>00076553</i>
Onderwijsinstelling:	<i>HZ University of Applied Sciences</i>
Opleiding:	<i>Civiele Techniek</i>
Email:	groo0059@hz.nl gerco2000@gmail.com
Datum:	<i>4 juni 2021</i>
Versie:	<i>1.0</i>
Status:	<i>Definitief</i>
Begeleidend docent:	<i>J. de Keijzer</i>
2 ^{de} examiner:	<i>P. Dekker</i>
Afstudeerbegeleider:	<i>R. van Duivenbode</i>
Stagebedrijf:	<i>Van den Herik Sliedrecht</i>



Voorwoord

Geachte lezer,

Hier voor u ligt het resultaat van het onderzoek naar “Dijkversterking Tiel-Waardenburg”. Het rapport is geschreven met het oog op het afstuderen aan de Hogeschool Zeeland te Middelburg voor de opleiding Civiele Techniek. Het onderzoek is uitgevoerd door mij in opdracht van Van den Herik Sliedrecht, te Sliedrecht, dit onderzoek heeft plaats gevonden in de laatste 5 maanden van mijn opleiding.

Het onderwerp van dit onderzoek is een dijkversterking, deze dijkversterking gaat plaats vinden tussen de plaatsen Tiel en Waardenburg. Het onderzoek is voortgekomen uit de aanbesteding door het waterschap Rivierenland. Bij Van den Herik is het project ‘Tiel-Waardenburg’(TiWa) nog in de tenderfase. Dit wil zeggen dat Van den Herik dit project probeert binnen te halen, om de aannemer te worden van dit project. Het onderzoek gaat in op de verschillende methodes voor het versterken van een dijklichaam. Vervolgens is er gekeken naar de beste ruimtebesparende oplossing voor het versterken van het dijktraject bij Neerijnen.

Tijdens het onderzoek zijn er verschillende overleggen geweest met collega’s via MsTeams. Deze collega’s wil ik bedanken. Zij stonden altijd open voor mijn vragen en hebben mij advies gegeven in het onderzoek. Hierbij wil ik een aantal collega’s in het bijzonder bedanken:

Ten eerste mijn stagebegeleider vanuit Van den Herik, Roger van Duivenbode. Hem wil ik bedanken voor de goede begeleiding tijdens het afstudeeronderzoek. Als aanspreekpunt wist hij mij altijd te helpen met de vragen die ik had. Hij gaf duidelijk advies en indien nodig wees hij mij door naar de juiste contactpersonen die mijn vragen konden beantwoorden.

Daarnaast wil ik Sjaak Verhelst en Lourens Francke bedanken voor het feit dat zij altijd open stonden voor vragen. Sjaak die mij vooral geholpen heeft in het begintraject van het onderzoek. Hij voorzag mij van relevante informatie waarvan ik veel heb geleerd. Deze informatie heb ik kunnen gebruiken in mijn onderzoek. Lourens heeft mij meer geholpen in het latere stadium van het onderzoek bij het uitvoeren van de variantenstudie en het ontwerpen van de oplossing.

Tenslotte wil ik mijn begeleider van de Hogeschool Zeeland, Joachim de Keijzer, bedanken. Hij stond altijd open voor vragen en voorzag mij van kritische feedback. Deze begeleiding heeft ervoor gezorgd dat ik mijn berekeningen op de juiste manier heb kunnen afronden.

Gerco Grootenboer, 04-06-2021 te Sliedrecht

Samenvatting

Het dijktraject bij Neerijnen is afgekeurd op verschillende faalmechanismen. De dijk tussen Tiel en Waardenburg is een primaire waterkering en moet voldoen aan een overstromingskans van 1 op 10.000 jaar. Momenteel is de dijk voornamelijk afgekeurd op stabiliteit, piping en in beperkte mate golfoverloop en -overslag. Door verscherping van de regelgeving en door de autonome ontwikkelingen voldoet de dijk niet meer aan de huidige veiligheidsnormen. Daarnaast heeft de locatie weinig ruimte voor dijkverbreding of -verlegging en zal er een ruimtebesparende oplossing moeten worden ontworpen. Om antwoord te geven op de hoofdvraag worden eerst een 7-tal deelvragen opgesteld, die uiteindelijk antwoord geven op de onderzoeksvraag:

Wat is de best mogelijke ruimtebesparende oplossing om de dijk bij Neerijnen, ter hoogte van dijkpaal TG182 t/m TG188, weer te laten voldoen aan de huidige veiligheidsnormen en bestand te maken tegen de autonome ontwikkelingen in de toekomst?

De eerste deelvragen gaan vooral in op alle informatie die betrekking heeft op het ontwerp, van huidige situatie tot en met het programma van eisen. Het tweede deel gaat in op de mogelijk ruimtebesparende oplossingen die er zijn, waarvan uiteindelijke één oplossing wordt gekozen door middel van een Multicriteria-analyse. Deze variant wordt verder uitgewerkt met een constructief ontwerp.

Gedurende het onderzoek is er stap voor stap gewerkt naar de uiteindelijke oplossing voor de dijkversterking bij Neerijnen. Het doel is om één variant volledig uit te werken tot op DO-niveau. Echter in de beginfase van het onderzoek zal de kijk op de mogelijk oplossingen breed gehouden worden. De reden hiervoor is dat er een groot aantal oplossingen zijn om een dijk te versterken.

Om te beginnen is er gestart met een literatuuronderzoek naar de huidige situatie. Hieruit volgt de basisinformatie voor het ontwerp. De faalmechanismen zijn uitgebreid onderzocht. Hieruit is veel informatie naar voren gekomen zoals principes en rekenmethodes voor de faalmechanismen. Daarnaast is de omgeving onderzocht, aan de hand van een stakeholdersanalyse zijn de wensen en eisen van de stakeholders uit de omgeving verzameld. Vanuit de projectlocatie, de stakeholders en alle andere normen en richtlijnen zijn de eisen en wensen verzameld in het programma van eisen (PvE). Het PvE is de basis voor het ontwerp van de ruimtebesparende dijkversterking.

Naar aanleiding van het literatuuronderzoek zijn een 20-tal oplossingen gevonden die gebruikt worden als dijkversterkingsmethodes. Door middel van selecties zijn er een 6-tal kansrijke oplossingen gevonden. Deze oplossingen zijn vervolgens beoordeeld in een variantenstudie. Uit de variantenstudie is gebleken dat de damwandconstructie de beste oplossing is voor dit dijktraject.

Op basis van de huidige eurocodes, CUR-richtlijnen, NEN-normen en het gebruik van lesmateriaal van de Hogeschool Zeeland is de damwandconstructie op DO-niveau uitgewerkt. De verschillende onderdelen van de damwandconstructie zijn getoetst aan de geldende normen en richtlijnen. Vervolgens is het ontwerp uitgewerkt in een tweetal tekeningen.

Tenslotte is het onderzoeksrapport opgesteld, waarin het gehele onderzoek is uitgewerkt in hoofdlijn. Daarbij wordt een aantal keer verwezen naar de bijgevoegde bijlagen waarin de volledige uitwerking van het ontwerp te vinden is.



Inhoudsopgave

Voorwoord	ii
Samenvatting.....	iii
1. Inleiding	1
1.1. Achtergrondinformatie.....	1
1.1.1. Algemeen.....	1
1.1.2. Projectlocatie.....	1
1.2. Probleemstelling.....	2
1.2.1. Autonome ontwikkelingen	2
1.2.2. Faalmechanismen.....	3
1.2.3. Ruimtegebrek	4
1.3. Doel en doelstellingen.....	4
1.4. Hoofd- en deelvragen.....	4
1.4.1. Hoofdvraag	5
1.4.2. Deelvragen.....	5
1.5. Leeswijzer	5
2. Theoretisch kader	6
2.1. Huidige situatie.....	6
2.1.1. De dijk.....	6
2.1.2. Omgeving.....	7
2.2. Indeling projectgebied.....	7
2.2.1. Clusters	7
2.2.2. Dijkvakken	8
2.3. Neerijnen	8
2.4. Faal- en bezwijkmechanismen	9
2.4.1. Macro-instabiliteit	9
2.4.2. Heave – Piping	10
2.4.3. Golfoverslag.....	10
2.4.4. Golfoverloop.....	11
2.5. Stakeholderanalyse	11
2.5.1. Belangen stakeholders	11
2.5.2. Mendelow's matrix.....	13
2.5.3. Conclusie stakeholderanalyse	13
2.6. Programma van Eisen.....	14
2.6.1. Functionele eisen	14
2.6.2. Technische eisen	15



2.7.	Ruimtebesparende oplossingen	15
2.8.	Afbakening	18
3.	Methode	19
3.1.	Onderzoeksmethode	19
3.2.	Onderzoeksactiviteiten	19
3.2.1.	Methode deelvraag 1	19
3.2.2.	Methode deelvraag 2	20
3.2.3.	Methode deelvraag 3	20
3.2.4.	Methode deelvraag 4	20
3.2.5.	Methode deelvraag 5	20
3.2.6.	Methode deelvraag 6	21
3.2.7.	Methode deelvraag 7	21
3.3.	Onderzoeksinstrumenten	21
4.	Selectie voorkeursalternatief	22
4.1.	Beoordeling alternatieven	22
4.2.	Kansrijke oplossingen	23
4.3.	Variantenstudie	23
4.3.1.	Wijziging kansrijke oplossingen	24
4.3.2.	Criteria	24
4.3.3.	Beoordeling	25
4.3.4.	Definitieve voorkeursvariant	26
5.	Ontwerp	27
5.1.	Ontwerpproces	27
5.1.1.	Faalmechanismen	27
5.1.2.	Damwandconstructie	28
5.2.	Samenvatting ontwerp	30
5.2.1.	Damwand	30
5.2.2.	Groutanker	31
5.2.3.	Gording	31
5.3.	Uitvoering ontwerp	32
5.3.1.	Damwandconstructie	32
5.3.2.	Grondwerk	33
5.4.	Tekenwerk	34
6.	Discussie	35
7.	Conclusie en aanbevelingen	37
7.1.	Conclusie	37



7.2. Aanbevelingen.....	38
8. Literatuurlijst	39
8.1. Literatuur.....	39
8.2. Bronnen.....	39
8.3. Figuren en tabellen.....	40
8.3.1. Bronnen.....	40
8.3.2. Figuren.....	41
8.3.3. Tabellen	42
Bijlagen	43

1. Inleiding

1.1. Achtergrondinformatie

1.1.1. Algemeen

In Nederland is waterveiligheid erg belangrijk. Het is een land dat voor ongeveer een derde onder de zeespiegel ligt. Wanneer Nederland niet beschermd zou worden tegen het water door dijken, duinen en (waterkerende) kunstwerken, dan had de helft van Nederland onder water gestaan. Dit geeft wel aan hoe belangrijk het is dat Nederland deze waterkeringen heeft.

Tijdens de periode van de winter tot het begin van de lente is de kans op hoogwater in de Nederlandse rivieren veel hoger dan normaal. Dit wordt veroorzaakt door dat in deze periode veel water wordt afgevoerd. Het gaat voornamelijk om twee soorten water, regenwater en smeltwater. Het regenwater komt via de rivier de Rijn Nederland binnen. De regen is afkomstig uit landen waardoor de rivier de Rijn heen stroomt, zoals Zwitserland, Liechtenstein, Oostenrijk, Duitsland en Frankrijk. Het smeltwater komt voornamelijk uit het gebergte De Alpen. Wanneer er dooi intreedt smelt de sneeuw en het ijs en wordt het smeltwater afgevoerd via de rivier de Rijn (Rijkswaterstaat, 2020). Daarnaast is in deze periode van het jaar de kans op een storm veel groter. Daarom moet een waterkering tijdens een extreme situatie van hoogwater in combinatie met een (super)storm bescherming bieden.

Het verbeteren van de waterveiligheid is nooit helemaal af, dit komt door de autonome ontwikkelingen en het veranderen van de veiligheidsnormen. In 1996 is er een wet van kracht gegaan die tegenwoordig de Waterwet heet. In deze wet staan veiligheidsnormen beschreven voor primaire waterkeringen. Daarnaast regelt deze wet dat de waterschappen de verantwoordelijkheid krijgen om deze waterkeringen aan te leggen en te onderhouden. De beheerders van de waterkeringen zijn verplicht hun waterkering periodiek te toetsen.

Door de klimaatverandering, de toename van de bevolking en de groeiende economie is ervan af 2006 kritischer gekeken naar de beschermingsmaatregelen tegen overstromingen. De nieuwe inzichten van de mogelijke kansen op en de gevolgen van een dijkdoorbraak spelen hierin een grote rol. Dit heeft ervoor gezorgd dat er in 2017 belangrijke wijzigingen zijn gedaan in de normering van primaire waterkeringen. Dit heeft effect gehad op alle waterkeringen, inclusief op de dijk van de projectlocatie Tiel-Waardenburg(TiWa).

1.1.2. Projectlocatie

Het projectgebied ligt tussen de plaatsen Tiel en Waardenburg onder in de provincie Gelderland (zie fig. 1.1). Gelderland is een provincie in het midden van Nederland. Het waterschap Rivierenland is verantwoordelijk in deze omgeving. Het waterschap beheert een groot gebied tussen de rivieren de Maas en de Neder-Rijn. In dit gebied ligt de rivier de Waal. Langs de noordzijde van de Waal tussen Tiel en Waardenburg ligt de Waaldijk. Een gedeelte van deze dijk is onderdeel van het project Tiel-Waardenburg. Dit gedeelte van de dijk, van dijkpaal TG 10 tot en met TG204+60, heeft een lengte van 19,5 kilometer en voldoet niet meer aan de huidige veiligheidsnormen. Er zal daarom een dijkversterking moeten plaats vinden over het gehele traject.



Figuur 1.1 De primaire waterkering dijkgebied 43, gedeelte Tiel-Waardenburg gemarkeerd (Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017)

1.2. Probleemstelling

Zoals eerder aangegeven voldoet de dijk bij Tiel-Waardenburg niet. Een korte samenvatting van de problemen is. Ten eerste de optredende autonome ontwikkelingen in de toekomst. Daarbij komt het tweede probleem, dat de dijk moet worden versterkt omdat deze is afgekeurd op meerdere faalmechanismen. Tenslotte het probleem dat er op meerdere locaties een uitdaging is voor de dijkversterking door ruimtegebrek. In deze probleemstelling wordt dieper ingegaan op wat de problemen precies zijn en waardoor ze worden veroorzaakt.

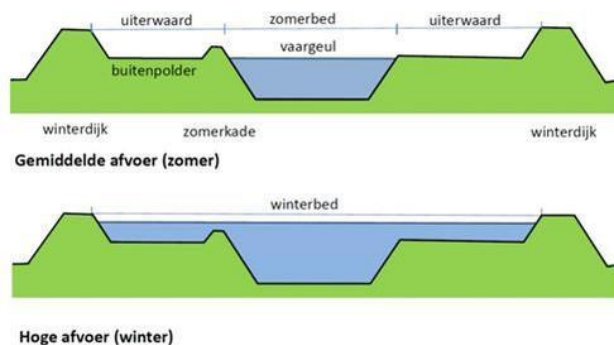
1.2.1. Autonome ontwikkelingen

De autonome ontwikkelingen, die momenteel spelen en in de toekomst een bedreiging vormen voor de dijken zijn natuurverschijnselen. De ontwikkelingen die een bedreiging vormen zijn, klimaatverandering, bodemdaling en absolute zeespiegelstijging. Deze fenomenen worden hieronder nader toegelicht.

Het veranderen van het klimaat wordt veroorzaakt door natuurlijke en menselijke invloed. De temperatuur op aarde stijgt en dit heeft grote gevolgen voor mens, natuur en milieu. Afgelopen honderd jaar steeg de temperatuur op aarde met ongeveer 1 graad en was de stijging van de zeespiegel 20 centimeter. De verandering van het klimaat zorgt voor stortregens, zwaardere stormen of juist lange drogere en hete perioden. Daarbij komt de relatieve zeespiegelstijging, bestaand uit de absolute zeespiegelstijging en de bodemdaling. De absolute zeespiegelstijging is de toename van het waterniveau van de zee. De bodemdaling is het inklinken van de bodem veroorzaakt door het na-ijleffect van de laatste ijstijd. (KNMI, z.d.) De som van de bodemdaling en de absolute zeespiegelstijging is de relatieve zeespiegelstijging. Door de stijging van de zeespiegel kunnen de piekafvoeren uit de rivieren lastiger worden afgevoerd naar de zee. De oorzaak hiervan is, het verval tussen de rivieren en de zee. Dit verval wordt steeds kleiner door de stijging van de zeespiegel. Hierdoor komt het water in de rivier meer onder druk te staan. Dit resulteert in grotere krachten op de rivierdijken bij piekafvoeren. Deze autonome ontwikkelingen vormen een serieuze bedreiging voor Nederland. Doordat Nederland onder de zeespiegel ligt is het land extra kwetsbaar voor overstromingen en zijn hoge en sterke waterkeringen nodig. Door de autonome ontwikkelingen dienen deze waterkeringen steeds hoger en sterker te worden.

1.2.2. Faalmechanismen

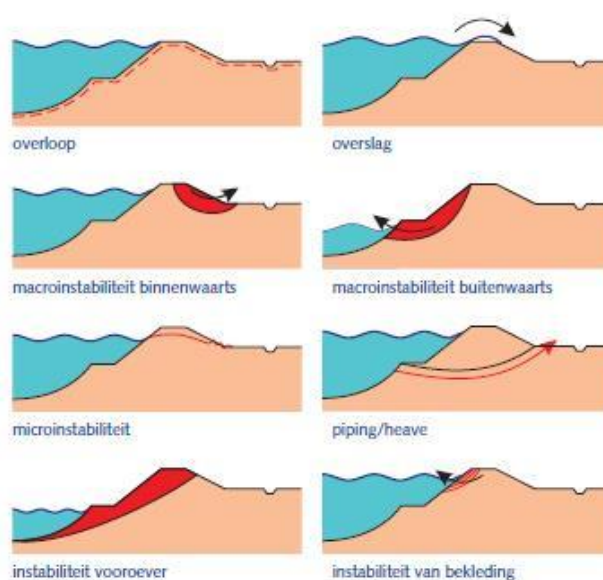
Voor de dijk bij Tiel-Waardenburg liggen op een aantal gedeeltes uiterwaarden voor de dijk. Dit zijn stukken grond die tussen de winterdijk en zomerdijk liggen. De functie van een uiterwaard is het tijdelijk opvangen van piekafvoeren van de rivier. De uiterwaarden kunnen daarom in de winter vollopen met water. In de zomer kunnen deze gronden gebruikt worden voor weide. De situatie is zoals geschetst in figuur 1.2. In de zomer staat het water tot aan de zomerdijk, de uiterwaarde staat droog en wordt gebruikt door dieren. In de winter wanneer de rivier een grote waterafvoer heeft kan dit water tijdelijk worden opgeslagen in de uiterwaarden. De Waaldijk is een winterdijk en daarom een primaire waterkering. De functie van de dijk is het achterland beschermen tegen buitenwater. De dijk voldoet niet meer aan de huidige veiligheidsnormen. Het dijktraject is afgekeurd tijdens een beoordeling op de waterstaatkundige toestand.



Figuur 1.2 De uiterwaarde in de zomer en de winter situatie ("Dijken, duinen en terpen", z.d.)

Tot 2017 waren zogenaamde toetsrondes verplicht. Vanaf 2017 zijn dit periodieke beoordelingen geworden ten opzichte van de nieuwe normen voor waterveiligheid. Met deze nieuwe beoordelingsmethode is de omslag gemaakt van een toetsing op overstromingsfrequenties naar de beoordeling op overstromingskansen. De dijk bij Tiel-Waardenburg is onderdeel van dijkkring 43 (zie fig. 1.1). Dit dijktraject was eerder al deels afgekeurd in de derde toetsronde. Dit heeft geleid tot het opstarten van het derde Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Het concept van het HWBP is dat de waterschappen samenwerken met Rijkswaterstaat en zodoende niet zelf alleen opdraaien voor de kosten van een dijkversterking.

In begin 2017 is de Waterwet veranderd. De Waterwet beschrijft de regelgeving voor het beheren van watersystemen. De verandering heeft mede ervoor gezorgd dat er een gedetailleerde veiligheidsanalyse is uitgevoerd voor het dijktraject Tiel-Waardenburg. Deze analyse is gedaan, omdat er eerder al delen van het dijktraject waren afgekeurd in eerdere toetsrondes. Uit de veiligheidsanalyse is naar voren gekomen dat het dijktraject tussen Tiel en Waardenburg volledig is afgekeurd. Dit gaat over een dijk van ongeveer 19,5 kilometer. De dijk is afgekeurd op één of meerdere faalmechanismen. Een faalmechanisme is een manier, waarop een systeem kan falen. De faalmechanismen voor een dijk zijn te zien in figuur 1.3. De faalmechanismen waardoor de dijk bij Tiel-Waardenburg niet meer voldoet zijn voornamelijk stabiliteit en piping en in beperkte mate overloop en overslag.



Figuur 1.3 Faalmechanismen van een dijklichaam (Rijksoverheid, z.d.-a)

1.2.3. Ruimtegebrek

Naast dat de dijk niet voldoet is er nog een probleem dat optreedt. De dijkversterking heeft verschillende locaties waar de dijk zijn uitdagingen met zich mee brengt. Zo liggen stukken van de dijk vlakbij Natura 2000 gebieden, monumentale gebouwen of dichtbij woonkernen. Om deze stukken van de dijk te versterken moet er gekeken worden naar ruimtebesparende oplossingen. Dit betekent dat er constructieve oplossingen moeten worden bedacht die ervoor zorgen dat de dijk weer sterk genoeg



Figuur 1.4 De molen bij de Waalbandijk ter hoogte van Waardenburg (eigen werk)

wordt. Een voorwaarde voor deze oplossing is dat deze niet te veel ruimte inneemt. Dit is een vereiste omdat er naast de dijken weinig ruimte is om de dijk te versterken. Het is op deze locaties niet mogelijk om de dijk te verbreden of te verleggen. Een voorbeeld voor zo'n oplossing is een damwandconstructie, deze constructie is erg compact en kan geplaatst worden in de dijk. Een voorbeeld van een dijk uit het traject bij het project Tiel-Waardenburg is te zien in figuur 1.4. In deze afbeelding is te zien dat aan de ene kant het water stroomt en aan de andere kant een molen staat, die nog eens een rijksmonument is. Hierdoor kan er geen dijkverbreding of -verhoging worden toegepast. Het is daarom de bedoeling om een ruimtebesparende oplossing te ontwerpen voor deze locatie.

Dit rapport zal verder ingaan op het falen van de dijk, de uitdagingen die de dijk met zich meebrengt en de mogelijke ruimtebesparende oplossingen voor deze problemen.

1.3. Doel en doelstellingen

Zoals in de probleemstelling beschreven is zijn er een aantal problemen bij de waterkering tussen Tiel en Waardenburg. De autonome ontwikkelingen, het afgekeurde dijktraject en daarbij komend het ruimtegebrek op verschillende locaties. Het doel van dit onderzoek is het vinden en het analyseren van de problemen die optreden bij het dijktraject van Tiel-Waardenburg. Als de problemen zijn gevonden en geanalyseerd zal het doel zijn om meerdere oplossingen te bedenken. Deze oplossingen worden daarna met elkaar vergeleken en de beste oplossing zal worden uitgewerkt. Wanneer deze problemen niet zullen verholpen worden, vormt het water een bedreiging voor het achterland. In het ergste geval kan het dijktraject mogelijk falen en dit heeft grote gevolgen voor het achterland.

1.4. Hoofd- en deelvragen

Naar aanleiding van de probleemstelling van het project Tiel-Waardenburg is een hoofdvraag geformuleerd. Deze hoofdvraag wordt beantwoord door de opgestelde deelvragen die in de verschillende hoofdstukken worden beantwoord. Het antwoord op elke deelvraag zal worden gevonden door middel van bronnenonderzoek en het interviewen van experts en stakeholders.

1.4.1. Hoofdvraag

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt als volgt:

Wat is de best mogelijke ruimtebesparende oplossing om de dijk bij Neerijnen, ter hoogte van dijkpaal TG182 t/m TG188, weer te laten voldoen aan de huidige veiligheidsnormen en bestand te maken tegen de autonome ontwikkelingen in de toekomst?

1.4.2. Deelvragen

1. Wat is de huidige situatie van dijk, ter hoogte van dijkpaal TG182 t/m TG188 en waarom voldoet deze niet?
2. Wie zijn de stakeholders van dit project en wat zijn hun belangen?
3. Wat is het Programma van Eisen (PvE) en welke normen gelden tijdens dit project?
4. Welke ruimtebesparende oplossingen zijn haalbaar en mogelijk op basis van het programma van eisen?
5. Welke criteria zijn van belang voor de stakeholders en wat zijn de wegingsfactoren?
6. Wat is op basis van de Multi criteria-analyse de best passende oplossing om de dijk te versterken?
7. Hoe ziet de best mogelijke ruimtebesparende oplossing eruit op DO-niveau en hoe wordt deze oplossing uitgevoerd in de praktijk?

1.5. Leeswijzer

Om het onderzoek structuur te geven en om de eerdergenoemde doelstellingen te behalen is er van tevoren gekeken op welke manier er onderzoek gedaan wordt. Dit komt naar voren in hoofdstuk 1 waar de achtergrond, de probleemstelling en hoofd- en deelvragen beschreven staan.

In hoofdstuk 2 wordt het theoretische kader beschreven. Hierin komen de volgende aspecten naar voren: 1. de huidige situatie van de projectlocatie, 2. de indeling van de projectlocatie en 3. het exacte dijktraject dat onderzocht zal worden. Daarnaast worden de optredende faalmechanismen uitgelegd zodat het probleem meer in detail wordt uitgelegd. Verder worden de wensen en eisen van de stakeholders geanalyseerd. Aan de hand van deze stakeholderanalyse zal het programma van eisen (PvE) worden opgesteld. Vervolgens wordt op basis van het PvE onderzoek gedaan naar de mogelijke ruimtebesparende oplossingen.

In hoofdstuk 3 beschrijft de methodologie, hierin worden de gebruikte methodes uitgelegd per deelvraag en de gebruikte (reken)programma's.

Hoofdstuk 4 vertelt de belangrijkste resultaten van de Multicriteria-analyse. Er wordt kort uitgelegd hoe de werkwijze is en welke variant uiteindelijk gekozen is.

Hoofdstuk 5 beschrijft het proces van het ontwerpen. De belangrijkste resultaten van het ontwerp worden getoond en nader toegelicht.

In hoofdstuk 6 wordt er kort ingegaan op de verwachtingen die er bij de start van het onderzoek waren. Daarna worden de beperkingen van het onderzoek beschreven.

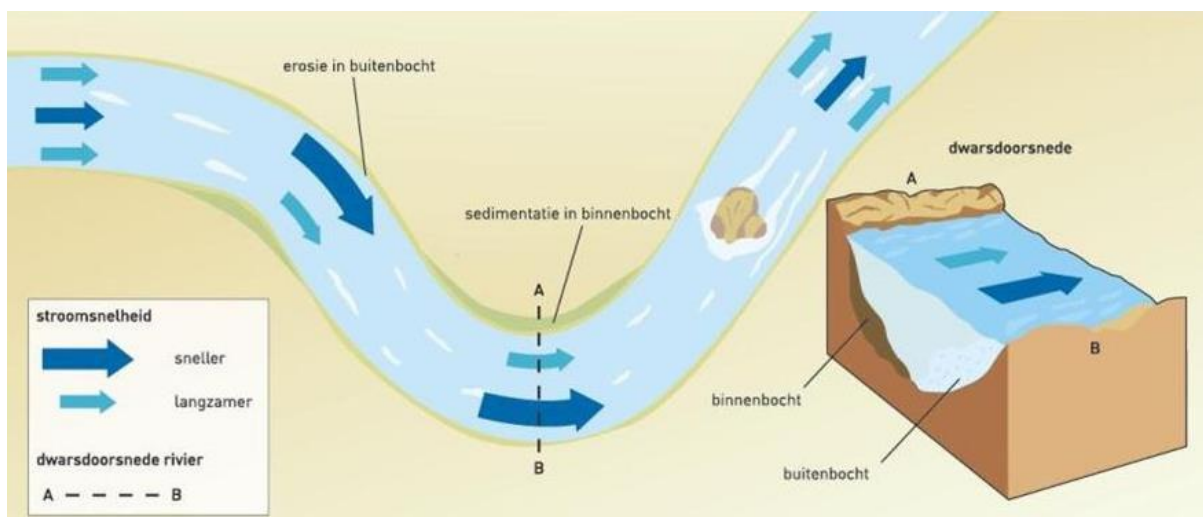
Gebaseerd op de voorgaande hoofdstukken wordt in hoofdstuk 7 uitgebreid antwoord gegeven op de onderzoeksvraag. Daarnaast zal een lijst met aanbevelingen worden gegeven wat betreft vervolgonderzoek of vervolgstappen op dit onderzoek.

2. Theoretisch kader

2.1. Huidige situatie

2.1.1. De dijk

De dijk tussen Tiel en Waardenburg ligt langs de rivier de Waal. De Waal is één van de drukst bevaren rivieren van Europa. De rivier is een belangrijke toegang voor de scheepvaart van en naar de havens, bijvoorbeeld de haven van Rotterdam of Gent. De rivier de Waal was vroeger een slingerende en bochtige rivier in tegenstelling tot nu. Dit is veroorzaakt doordat de bochten van de rivier grote lussen werden in de loop van de jaren. Dit fenomeen heet meanderen, dit vindt plaats wanneer het water in de buitenbocht veel sneller stroomt dan in de binnenbocht (zie fig. 2.1). De oever in de buitenbocht erodeert vervolgens en het materiaal wordt meegenomen door het water. Het water in de binnenbocht stroomt veel langzamer en daardoor kan er sedimentatie plaatsvinden in de binnenbocht. Hierdoor transformeert een bocht in een rivier in een grote lus. Doordat de lussen opgegeven moment elkaar kruisen snijdt de rivier zichzelf af. Als gevolg hiervan blijft de lus als een vervallen rivieraftakking over in het gebied (Overland, z.d.).



Figuur 2.1 Het fenomeen 'meanderen' (Dekker, 2017)

Doordat de Waal een meanderende rivier was, zoals op verschillende locaties tussen Tiel en Waardenburg, ligt de dijk niet overal op de oorspronkelijke oeverwallen. Oeverwallen zijn er gekomen doordat het water van de rivier vroeger buiten zijn oevers trad. Hierbij vond afzetting van zand plaats, daardoor werd een 'natuurlijke dijk' gevormd. De bodemopbouw van de dijk bestaat uit verschillende grondsoorten. Elke meter kan weer een andere grondopbouw hebben. Dit maakt het versterken van de dijk een zeer ingewikkelde opdracht, omdat de bodemopbouw steeds anders is.

De dijkversterking is noodzakelijk omdat de dijk niet meer voldoet aan de huidige veiligheidsnormen. De laatste keer dat het hoge water in de rivier de Waal een bedreiging vormde voor het achterland was in januari 1995. Begin 1995 was de afvoer van de Rijn bijna 12.000 m³/s en hierdoor dreigden dijken op enkele locaties bijna te bezwijken. Uit voorzorg zijn toen duizenden mensen tijdig geëvacueerd. Uiteindelijk heeft de dijk het hoge water kunnen weerstaan, maar situatie heeft er wel voor gezorgd dat de dijk destijds is versterkt. Het dijktraject Tiel-Waardenburg stond in 2014 al in de top 3 op de lijst van landelijke dijken die versterkt moesten worden. In 2017 zijn de normen weer aangescherpt waardoor er nu een uitvoerige dijkversterking moet worden toegepast.

2.1.2. Omgeving

Het rivierengebied Tiel-Waardenburg is een gevarieerd gebied met veel bebouwing langs de rivierdijk. De plaatsen die langs de Waal liggen vanaf Tiel gezien zijn: Tiel, Passewaaij, Zennewijnen, Ophemert, Varik, Heesselt, Opijnen, Neerijnen en Waardenburg. In het gebied zijn verschillende aspecten die kenmerkend zijn voor het landschap van het rivierengebied. Hieronder zijn deze aspecten kort uitgewerkt.

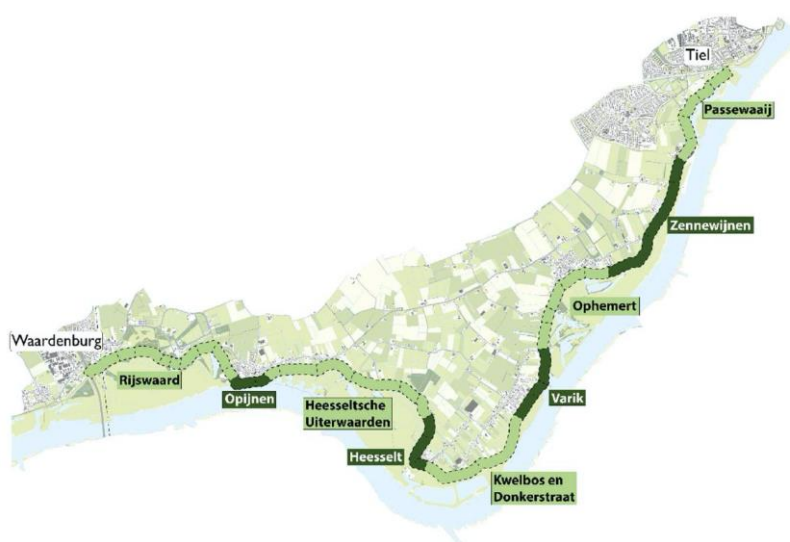
- **Natuur:** Langs de dijk zijn veel natuurgebieden te vinden. Eén van de natuurgebieden is zelfs een beschermd gebied, het landgoed Waardenburg-Neerijnen. In dit natuurgebied loopt een oude rivier 'de Kil'. Dit is een broedgebied voor veel vogelsoorten. Niet alleen vogels, maar daarnaast leven er nog andere soorten dieren in het landgoed, zoals reeën en vossen.
- **N2000 gebied:** Het buitendijkse gebied tussen de plaatsen Tiel en Waardenburg heeft hoge natuurwaarden. De uiterwaarden zijn vrijwel allemaal gekenmerkt als natura 2000 gebieden. Natura 2000 is een programma waar alle beschermde natuurgebieden bij horen, deze gebieden zijn beschermd, omdat de biodiversiteit in Europa erg onder druk staat.
- **Monumenten:** Langs het hele dijktraject zijn cultuurhistorische monumenten te vinden, in totaal 26 gemeentelijke en 28 rijksmonumenten. Deze monumenten moeten tijdens de realisatiefase gehandhaafd blijven of dienen later terug te worden geplaatst op hun oude locatie en in oude staat.
- **Archeologie:** De archeologische vindplaatsen zijn van grote waarde. Zo zijn er een aantal locaties in de omgeving van de dijk waar waardevolle ontdekkingen zijn gedaan. Bijvoorbeeld: een Romeinse villa bij Zennewijnen, een voormalige kerk bij Ophemert en een voormalig kasteel bij Varik.

De omgeving trekt hierdoor veel toerisme. Daarnaast is de dijk vooral in trek bij wandelaars en (motor)fietzers. Door het afwisselende landschap met veel natuur en de cultuurhistorische bezienswaardigheden is het riviergebied een drukbezocht toeristisch gebied.

2.2. Indeling projectgebied

2.2.1. Clusters

Doordat het dijktraject Tiel-Waardenburg erg lang is, is het traject opgedeeld in clusters. Deze clusters zijn vernoemd naar de plaats of het gebied dat aan de dijk grenst. De verdeling is gemaakt op basis van ruimtelijke kenmerken en zodoende op gedeeld in negen deelgebieden. De kenmerken zijn zoals eerder benoemd, de bebouwing langs de dijk, de natuurgebieden (N2000), de cultuurhistorische monumenten en de archeologische vindplaatsen.



Figuur 2.2 Clusterindeling project Tiel-Waardenburg (Sweco Nederland, z.d.)

2.2.2. Dijkvakken

Op basis van de karakteristieken van de huidige dijk en het bodemprofiel zijn de deelgebieden nog verder opgesplitst in dijkvakken. De dijkvakken zijn zo opgedeeld dat ze over het algemeen een redelijk eentonig geotechnisch profiel hebben. Bodemprofielen zijn vaak heel verschillend van aard, dit wil zeggen dat de opbouw van de grondlagen erg kan verschillen. Dit kan soms al heel verschillend zijn op korte afstand, in de constructieve berekeningen moet dit wel in het oog worden gehouden, zodat er geen verkeerde aannames worden gedaan. Voor de dijkvakken is de grondopbouw grotendeels hetzelfde, dat is erg belangrijk is voor de berekeningen en technische samenstelling van het dijklichaam.

2.3. Neerijnen

Neerijnen is de projectlocatie die verder wordt onderzocht in dit onderzoek. De plaats ligt in het cluster Rijswaard (zie fig. 2.2) tussen de plaatsen Waardenburg en Opijnen. De dijkpalen die bij deze locatie horen zijn TG182 t/m TG188 (zie fig. 2.3). Zoals in hoofdstuk 2.2.2. Dijkvakken beschreven staat zijn de clusters opgedeeld in dijkvakken. De dijkvakken die worden onderzocht tijdens dit onderzoek zijn de vakken 36 en 37. Vak 36 loopt van dijkpaal TG182+00 t/m TG184+80 en heeft een lengte van 280 m. Vak 37 loopt van dijkpaal TG184+80 t/m TG188+00 en heeft een lengte van 320 m.



Figuur 2.3 Dijktraject bij Neerijnen (Waterschap Rivierenland, z.d.)

De plaats Neerijnen heeft een beschermd dorpsgezicht en daarom wordt veel waarde gehecht aan dit gebied. Dit heeft te maken met de structuur van het dorp. Deze is langgerekt en dit is kenmerkend voor veel nederzettingen in het rivierengebied. De hoofdstructuur van het dorp Neerijnen ligt dwars op de dijk met de Voorstraat (dijkopgang) en Achterstraat (dijktrap), die zodoende aansluiten op de dijk. Deze plek wordt wel 'Poort van Neerijnen' genoemd.

Daarbij komt dat in Neerijnen meerdere historische gebouwen staan, in totaal 16 rijks- en 10 gemeentelijke monumenten. Eén historisch gebouw daarvan is het Huis Neerijnen, het staat tegenwoordig bekend als kasteel Neerijnen. Het Huis Neerijnen is gebouwd rond 1350, omstreeks 1600 is het gesloopt en herbouwd op de oude fundering, hierdoor heeft het gebouw een historisch belang gekregen. Daarnaast is de omgeving tussen Waardenburg en Neerijnen vroeger eigendom geweest van adellijke families. Deze families woonden in het Huis Neerijnen en in het kasteel bij Waardenburg. Hierdoor

heeft de omgeving hoge cultuurhistorische waarden. De omgeving tussen Waardenburg en Neerijnen is daarom gekenmerkt als rijksbeschermd dorpsgezicht. De bescherming is erop gericht deze omgeving zoveel mogelijk te bewaren (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 1987).

De omgeving wordt gekenmerkt door het gevarieerde landschap. De dijk langs de uiterwaard heeft net zoals het dorpsgezicht een hoge cultuurhistorische waarde. Dit komt doordat een deel van de dijk is inbegrepen in het beschermde dorpsgezicht. Onderaan de teen van de dijk stromen de killen door de uiterwaard met daar langs de knotwilgen en rabat-bossen. Door de vele natuur heeft het landschap een hoge natuurwaarde. In het natuurgebied komen veel diersoorten voor. De dieren gebruiken het natuurgebied als broedplek. De uiterwaard is daarom gekenmerkt als een N2000 gebied en daardoor een beschermd natuurgebied. Het gebied rondom de dijk is vrij open dit zorgt voor een ver uitzicht over de Waal. Het gebied is door het landschap en de natuur erg in trek bij wandelaars, toeristen en (motor)fietsen.

De dijk bij Neerijnen is een kronkelwaarddijk, de dijk wordt zo genoemd omdat de dijk ligt op de locatie van de vroegere oeverwallen die gevormd zijn door het meanderen. De bochtige dijk ligt langs het dorp en splitst daardoor het gebied op in, binnendijs het dorp Neerijnen en buitendijs de uiterwaarden. Bij de vorige dijkversterking is er veel aangedaan om de dijk en de waarden van de dijk zoveel mogelijk te behouden. Daardoor is de dijk op zich erg smal en heeft een erg steil talud.

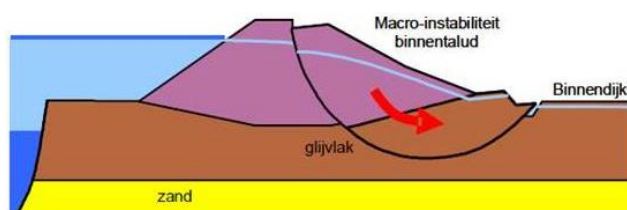
Door de structuur die het dorp heeft liggen veel percelen dicht bij de dijk. Hierdoor staan huizen dichtbij of zelfs op de dijk. De tuinen liggen rechtstreeks aan de dijk van de teen. Dit geeft dat de afstand tussen de kruin van de dijk en de percelen vrij klein is. Dit zorgt ervoor dat er een ruimtebesparende oplossing moet worden bedacht om de optredende problemen op te lossen.

2.4. Faal- en bezwijkmechanismen

De dijken in Nederland hebben een belangrijke functie, het achterland beschermen tegen het hoge water. Op verschillende manieren kan de waterkerende functie van de dijk verloren gaan. Dijken hebben verschillende faalmechanismen, dit zijn manieren waarop een dijk kan falen. De optredende faalmechanismen die zich voordoen op het dijktraject bij Neerijnen zijn de volgende: 1. macro-instabiliteit, 2. piping, 3. golfoverloop en -overslag. De faalmechanismen zullen in dit hoofdstuk nader worden uitgelegd, zodat het principe, de oorzaak en de gevolgen duidelijk worden. Een uitgebreide uitleg van de faalmechanismen is te vinden in bijlage 2: Literatuuronderzoek.

2.4.1. Macro-instabiliteit

Bij het faalmechanisme macrostabiliteit gaat het over het afschuiven van het dijklichaam. Voor dit faalmechanisme zijn er twee vormen, die zich voor kunnen doen. Het faalmechanisme kan aan de binnenzijde of aan de buitenzijde van de dijk optreden. Hierdoor zijn er twee verschillende benaming, macro-instabiliteit binnenwaarts(STBU) en macro-instabiliteit buitenwaarts(STBI).



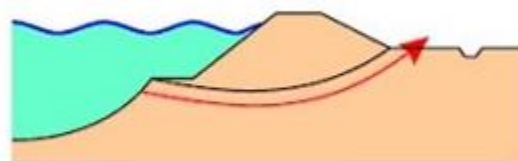
Figuur 2.4 Het faalmechanisme macro-instabiliteit (Rijksoverheid, z.d.-b)

Met macrostabiliteit van het dijklichaam wordt bedoeld, de weerstand die het dijklichaam kan bieden tegen het afschuiven van grote delen van de grondconstructie. De dijk is stabiel wanneer er een

krachtenevenwicht is, het dijklichaam kan de belastingen die uitgeoefend worden op de grondconstructie aan. Bij macro-instabiliteit (zie fig. 2.4) treedt er afschuiving op, dit gebeurt via rechte of gebogen glijvlakken of in plastische zones. Dit wordt veroorzaakt doordat er een hogere belasting optreedt dan dat het dijklichaam kan weerstaan. Er is op dat moment geen sprake meer van een krachtenevenwicht. De hogere belasting wordt veroorzaakt doordat het grondlichaam wordt verzadigd met water. De weerstand van de dijk is opgebouwd uit de sterkte-eigenschappen van de grondlagen en daarbij de optredende waterspanningen in en onder de grondconstructie. De macro-instabiliteit treedt op wanneer de schuifsterkte van het dijklichaam het aandrijvende moment van alle belastingen niet meer aan kan.

2.4.2. Heave – Piping

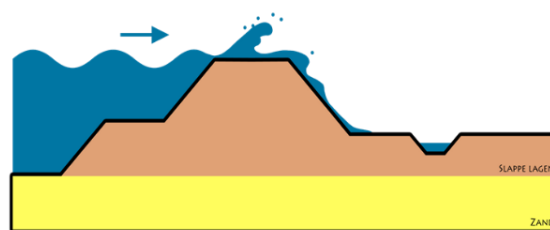
Bij het faalmechanisme piping wordt er een kleine waterstroom in de zandlagen onder het dijklichaam gecreëerd ten gevolge van de waterstandsverschillen (zie fig. 2.5). De rivierdijken zijn vaak opgebouwd uit een kleilaag met daaronder een zandlaag. Door langdurig hoog water is er lange tijd een hoge druk van het water aan de buitenzijde van de dijk. Aan de binnenzijde van de dijk is de druk veel lager, omdat hier geen waterdruk is. Doordat zand waterdoorlatend is, zijn deze grondlagen snel verzadigd met water. De hoge druk zorgt ervoor dat het water gaat stromen en een 'pipe' gaat vormen onder de dijk door. Er vindt nu interne erosie plaats, dit wil zeggen dat zand- en gronddeeltjes onder het dijklichaam eroderen en vervolgens meegenomen worden door het water. Aan de binnenzijde van de dijk gaat het water proberen een weg naar boven te creëren. Wanneer er voldoende waterdruk is, wordt het zand afgezet in de sloten of op het maaiveld, er is nu sprake van heave. Heave is het proces van omhoog stromend zand. Wanneer er geen maatregelen worden getroffen tegen piping, verliest het dijklichaam langzamerhand zijn stabiliteit. Dit kan leiden tot grote gevolgen, zoals het afschuiven van het dijklichaam of zelfs tot een dijkdoorbraak.



Figuur 2.5 Schematische weergave piping (Bodembouw, z.d.-b)

2.4.3. Golfroverslag

Golfroverslag treedt op, wanneer er hoge waterstanden in de rivier zijn in combinatie met hoge golven (zie fig. 2.6). Het water van de golf slaat onregelmatig over de dijk heen, dit kan een grote hoeveelheid water zijn. De waterstand hoeft voor dit faalmechanisme niet tot aan de kruin van de dijk te staan. Door harde wind en scheepvaart slaat het water van de golf over de dijk heen. Er is meestal sprake van lokale golfroverslag, dit komt doordat de dijk niet over zijn gehele lengte dezelfde hoogte heeft.



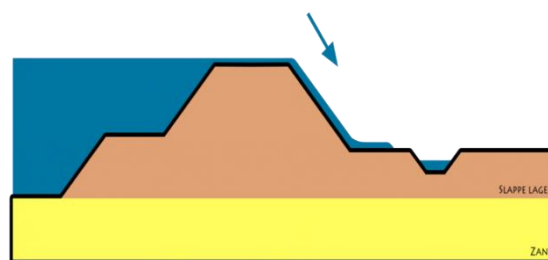
Figuur 2.6 Faalmechanisme golfroverslag (Deltares, z.d.-b)

Dijken zijn er op berekend dat er zo nu en dan golfroverslag kan plaats vinden. Wanneer er water over de dijk heen stroomt is dit niet gelijk een probleem. Wanneer de hoge golven aanhoudend over de dijk heen slaan kan dit wel voor problemen zorgen. Binnendijks zal het talud gaan eroderen wanneer de golfroverslag aanhoudt. Hierdoor zal er verweking van het talud ontstaan en erosie van de kruin en het binnentalud. Wanneer golfroverslag optreedt zijn noodmaatregelen meestal te laat, de dijk is

onbegaanbaar voor personen en voertuigen. In het ergste geval veroorzaakt de erosie een lokale verzwakking in de dijk, dat uiteindelijk kan resulteren in een dijkdoorbraak.

2.4.4. Golfoverloop

Bij golfoverloop staat het water zo hoog, dat het gelijk aan de kruin van de dijk staat (zie fig 2.7). De kruinhoogte is te laag en het water kan over de dijk heen stromen. Hoe groot het probleem van golfoverloop is, hangt af van de intensiteit van de golven. Wanneer het slechts een kleine hoeveelheid is kan de dijk dit nog weerstaan. Wanneer de hoeveelheid water groter wordt en de golfoverloop langer aanhoudt zal het binnentalud naar langere tijd eroderen en de dijk verzwakken. Een andere mogelijkheid is dat het dijklichaam verzadigd raakt met water en hierdoor sneller zal bezwijken. De aanhoudende golfoverloop kan daarom een dijkdoorbraak tot gevolg hebben.



Figuur 2.7 Golfoverloop bij een dijk (Deltares, z.d.-a)

2.5. Stakeholderanalyse

De belanghebbenden van een project worden wel stakeholders genoemd. Om een duidelijk beeld te hebben van de partijen en organisaties, die bij dit project betrokken zijn wordt er een stakeholderanalyse gemaakt. Het is belangrijk om alle stakeholders te verzamelen en zo iedereen te betrekken bij het project. De belanghebbenden worden vervolgens verdeeld in belangrijke en mindere belangrijke stakeholders. Dit onderscheid wordt gemaakt aan de hand van de volgende aspecten: de invloed van de stakeholder en de interesse van de stakeholder in dit project. De rol van een belanghebbende kan invloed hebben op het ontwerp van het project. Dit kan zowel positief als negatief zijn. Als bijvoorbeeld de beste totaaloplossing wordt gekozen, maar de belangrijkste stakeholder stemt hier niet mee in, dan moet op dat moment de oplossing worden herzien. Het is daarom belangrijk om de wensen en de eisen van de stakeholders mee te nemen in het vooronderzoek. Dit voorkomt problemen in een later stadium van het project.

2.5.1. Belangen stakeholders

Hieronder in tabel 2.1 worden alle stakeholders kort benoemd en uitgelegd welke belangen ze hebben en welke invloed zij kunnen uitoefenen. Middels het gebruik van deze analyse kunnen alle eisen en wensen van de stakeholders naar voren komen. Deze wensen en eisen worden verder in het onderzoek meegenomen om zo alle stakeholders tevreden te stellen.

Stakeholder	Belang van de stakeholder	Interesse (laag 1 – 5 hoog)	Invloed/macht (laag 1 – 5 hoog)
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW)	Het ministerie van IenW is verantwoordelijk voor alle veiligheidsnormen van de primaire waterkeringen in Nederland. Het ministerie van IenW wil dat dit beleid wordt nagevolgd bij project TiWa.	3	5
Rijkswaterstaat (RWS)	RWS beheert alle dijken en rivieren in Nederland. RWS heeft belang bij een kwalitatief goede oplossing waardoor de dijk	5	5

	weer versterkt is tot minimaal 2075. Dit moet gerealiseerd worden binnen het aangegeven budget.		
Hoogwaterbeschermingsprogramma(HWBP)	De alliantie heeft het doel om alle dijken in 2050 weer te laten voldoen aan de huidige veiligheidsnormen.	5	5
Provincie Gelderland	Provincie Gelderland is verantwoordelijk voor het waterbeleid van de regionale wateren en de uitvoering hiervan. De provincie toetst de plannen van de dijkversterking aan het waterbeleid.	3	4
Waterschap Rivierenland	Het waterschap is de beheerder van dijktraject TiWa. Het waterschap heeft belang bij een kwalitatief goede oplossing waardoor de dijk weer versterkt is tot minimaal 2075. Dit moet gerealiseerd worden binnen het aangegeven budget.	5	4
Gemeente West Betuwe	De omgeving van het dorp Neerijnen wordt weer veilig voor het hoge water. Weinig klachten tijdens uitvoering van het project.	3	4
Staatsbosbeheer	Versterking levert geen grote schade op aan natuur. Natuurcompensatie wordt gerealiseerd.	4	3
Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit	Versterking levert geen grote schade op aan natuur. Natura2000 gebieden worden niet bedreigd. Natuurcompensatie wordt gerealiseerd.	4	3
Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed	Monumenten worden tijdens uitvoering van het project niet beschadigd en blijven gehandhaafd.	5	2
Nutsbedrijven	Zaken rondom kabels en leidingen(K&L) is van belang voor deze partij. De nutsbedrijven moeten de K&L tijdens en na het project goed kunnen beheren.	4	3
Omwonenden	Een dijkversterking waarvan weinig overlast en hinder is. Daarbij moet in de eindsituatie weinig zichtbaar zijn van de 'harde' constructies.	5	2
Toeristen	Natuur en omgeving blijft grotendeels gehandhaafd.	3	1
Recreanten	Natuur en omgeving blijft grotendeels gehandhaafd.	4	1
Lokale bedrijven	De bedrijven willen goed bereikbaar blijven voor zowel werknemers als leveranciers.	4	2
Landeigenaren	Een juiste onderhandeling over het perceel. Indien er een deel moet worden opgekocht, willen zij een redelijke compensatie hiervoor ontvangen.	5	3

Tabel 2.1 Belangen van alle stakeholders met hun interesse en macht

2.5.2. Mendelow's matrix

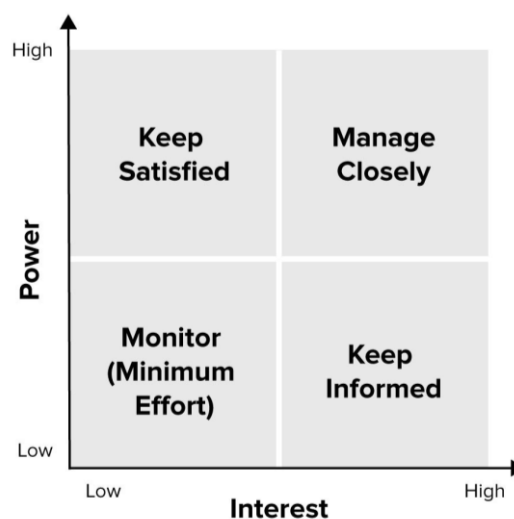
Bij het maken van een stakeholderanalyse hoort de Mendelow's matrix. Met deze matrix kan er een verdeling van alle stakeholders worden gemaakt. Zoals te zien in figuur 2.8, is de matrix verdeeld in 4 groepen. Elke stakeholder behoort tot één van deze categorieën. De categorie zijn gebaseerd op 'interest' en 'power', in het Nederlands wil dit zeggen, gebaseerd op interesse en macht. Omdat iedere categorie verschilt in de verhouding interesse en macht, heeft elke categorie een andere aanpak nodig. De aanpak is gebaseerd op het tevredenstellen van de stakeholders en zo aan hun verwachtingen te voldoen. Hieronder wordt per categorie een korte uitleg gegeven:

Keep Satisfied(A): De stakeholders in deze groep zijn minder geïnteresseerde mensen maar hebben wel veel macht. De strategie voor deze groep is, steek voldoende tijd in hun wensen en eisen. Daarnaast worden deze stakeholders graag op de hoogte gehouden van het project.

Manage Closely(B): Dit zijn de sleutelstakeholders van het project. Deze groep heeft veel interesse en macht bij dit project. Het is erg belangrijk om deze mensen volledig te betrekken bij het project en aan alle wensen en eisen van deze partijen te voldoen. Daarnaast is het belangrijk om goede communicatie te hebben met deze stakeholders, zodat belangrijke zaken kunnen worden afgestemd.

Monitor(C): Deze groep stakeholders hebben weinig interesse en kunnen weinig macht uitoefenen. De stakeholders behoeven daarom weinig aandacht. Het belangrijk deze mensen af en toe te informeren, maar pas op voor overmatige communicatie, dit kan als irriterend ervaren worden.

Keep informed(D): De stakeholders van deze categorie zijn erg geïnteresseerd in het project maar hebben weinig invloed. De groep moet regelmatig worden geïnformeerd, zo blijven deze mensen op de hoogte van het project. Wanneer er mensen problemen of zorgen hebben besteed hier voldoende aandacht aan, dit zal worden gewaardeerd.



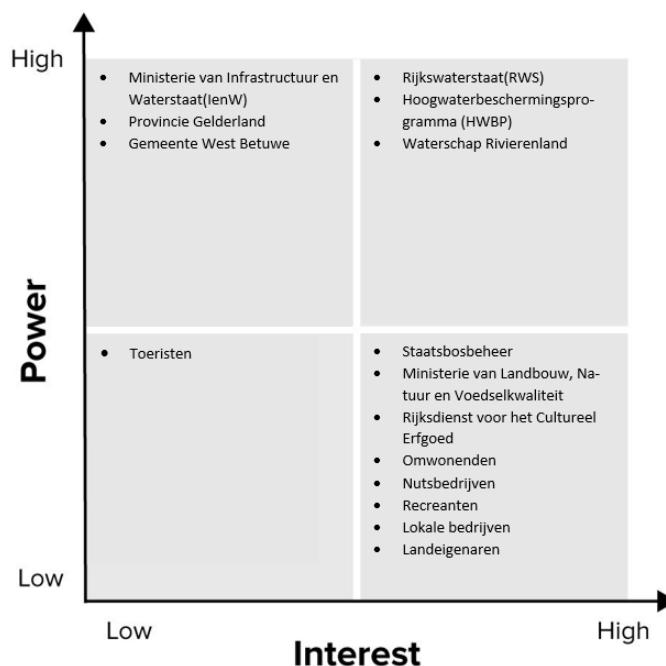
Figuur 2.8 Mendelow's matrix (MindTools, z.d.)

2.5.3. Conclusie stakeholderanalyse

In figuur 2.9 is de ingevulde Mendelow's matrix te zien voor dit project. Uit de matrix komt naar voren dat Rijkswaterstaat, HWBP en Waterschap Rivierenland de belangrijkste stakeholders zijn. Deze groep (B) wordt daarom nauw betrokken bij het project. Op voorhand wordt er in gesprek gegaan met deze stakeholders, zodat zij hun wensen en eisen kenbaar kunnen maken. Daarnaast zullen deze partijen op de hoogte gesteld worden, wanneer er belangrijke beslissingen worden genomen.

De stakeholders van categorie A zijn het Ministerie van IenW, Provincie Gelderland en de gemeente West Betuwe. Voor deze groep geldt dat zij wel degelijk belang hebben bij de realisatie van het project TiWa. Maar de stakeholders hebben minder interesse dan de sleutel stakeholders. De groep heeft daarentegen wel een aantal eisen en wensen waaraan voldaan moet worden. De stakeholders zullen daarom op de hoogte gehouden worden van het project.

Groep D bestaat uit een groot aantal stakeholders: Staatsbosbeheer, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, omwonenden, nutsbedrijven, recreanten, lokale bedrijven en landeigenaren. Deze groep is erg geïnteresseerd in het project maar heeft weinig macht. Het is wel belangrijk deze stakeholders regelmatig te informeren. Dit kan middels een nieuwsbrief, een website of 'de Bouwapp'. Wanneer deze mensen met klachten komen dienen deze serieus te worden behandeld, dit zorgt voor waardering van deze stakeholders.



Figuur 2.9 Mendelow's matrix voor project TiWa (MindTools, z.d.)

In categorie C zitten weinig stakeholders, de enige partij die weinig interesse heeft en weinig invloed zijn de toeristen. Zij hebben weinig tot geen belang bij het project. Wanneer de toeristen informatie willen hebben over het project, worden zij doorverwezen naar de website.

2.6. Programma van Eisen

In deze paragraaf wordt het programma van eisen beschreven. In deze paragraaf zullen de belangrijkste eisen worden benoemd, de uitwerking van alle eisen is te vinden in bijlage 1: Programma van Eisen. Deze eisen zijn bepaald aan de hand van het vooronderzoek van het waterschap Rivierenland. Daarnaast zijn er besprekingen geweest met collega's binnen Van den Herik. Als laatste is gebruik gemaakt van een stakeholderanalyse. Op basis van al deze bronnen is het PvE opgesteld. Er wordt onderscheidt gemaakt tussen twee soorten eisen, functionele eisen en technische eisen. De functionele eis beschrijft tot welke functie een systeem in staat moet zijn. De technische eis beschrijft op welke technische wijze deze functionele eis moet worden behaald.

In de bijlage 1 zijn de veiligheidsnormen voor het ontwerpen van primaire waterkeringen te vinden. Daarnaast zijn de gebruikte CUR-richtlijnen en NEN-normen toegelicht.

2.6.1. Functionele eisen

In totaal zijn er 15 functionele eisen opgesteld aan de hand van de stakeholderanalyse en de wensen en eisen van de opdrachtgever. De belangrijkste eisen worden hieronder kort benoemd(zie tabel 2.2). De volledige uitwerking van alle eisen staat beschreven in bijlage 1: Programma van Eisen.

Functionele eisen	
F.01	De dijk moet een waterkerende functie hebben tegen het hoge water van de Waal.
F.03	De dijk moet bestand zijn tegen het falen als gevolg van macro-instabiliteit, zowel binnenwaarts als buitenwaarts.
F.05	De dijk moet voldoende weerstand hebben tegen het falen als gevolg van piping en heave.

F.06	De hoogte van de dijk dient te voldoen tegen de faalmechanismen golfoverloop en -overslag.
F.07	De kruin en het binnentalud van de dijk moeten voldoende weerstand hebben tegen het overslagdebiet.
F.08	De stabiliteit van de dijk moet te allen tijde voldoen (realisatie-, gebruiks- en onderhoudsfase).
F.10	De constructie moet worden geplaatst in de aangewezen constructiezone.
F.12	De kosten van de dijkversterking TiWa dienen 'sober en doelmatig' te zijn.
F.13	Voor omwonenden dienen de huizen bereikbaar te blijven.
F.15	De waterveiligheid van de dijk moet tijdens de uitvoering voldoen conform de Keur.

Tabel 2.2 Functionele eisen project TiWa

2.6.2. Technische eisen

In totaal zijn er 11 technische eisen opgesteld. Deze eisen zijn vooral afkomstig vanuit de opdrachtgever, daarnaast komen deze eisen uit normen en richtlijnen. Deze normen zijn afkomstig van de Rijks-overheid, die deze normen heeft op laten stellen om de waterveiligheid te toetsen. De toetsing moet worden gedaan aan de hand van goedgekeurde normen en handleidingen. De belangrijkste technische eisen worden hieronder kort benoemd (zie tabel 2.3). De volledige uitwerking van alle eisen zie bijlage 1.

Technische eisen	
T.01	De uitgevoerde dijkversterking moet voldoen tot tenminste 2075, volgens de Waterwet
T.02	De dijkversterking moet zo versterkt worden, dat de dijk een overslagdebiet van 10 l/s/m aan kan
T.03	De dijk moet een levensduur van tenminste 50 jaar hebben (uitgangspunt 2025)
T.05 T.06	De constructie in de dijk dient minder dan 0,10 m horizontaal of verticaal te verplaatsen conform PPL
T.08	De schade die optreedt bij het aanbrengen van constructie dient geminimaliseerd te worden, kans op schade kleiner dan 5%
T.11	De dijkhoogte moet na realisatie voldoen aan het ontwerpprofiel, rekening houdend met zettingen en klink

Tabel 2.3 Technische eisen project TiWa

2.7. Ruimtebesparende oplossingen

Doordat de ruimte voor het versterken van de dijk beperkt is, zal de oplossing compact moeten zijn. Dit geldt niet alleen voor de constructie zelf maar daarnaast voor de wijze waarop de constructie wordt aangebracht. Het oppervlak waarop gewerkt kan worden is niet overal even ruim. De werkruimte is op sommige locaties erg beperkt. Er zijn gedeeltes van de dijk waarbij de constructie dichtbij huizen moet worden geplaatst of waarbij de constructie onder in het talud aangebracht moet worden. Deze complexiteit geeft een uitdaging. Dit zal later in de beoordeling en Multi criteria analyse worden meegenomen. In dit hoofdstuk worden de ruimtebesparende oplossingen kort uitgelegd. In bijlage 2: Literatuuronderzoek is er dieper ingegaan op alle methodes.

Om duidelijk te krijgen tegen welke faalmechanismen de ruimtebesparende oplossingen werken is er een overzicht gemaakt (zie tabel 2.4). Hierin is te zien tegen welke faalmechanisme de oplossing werkt en of dit een traditionele of innovatieve methode is. Onder de tabel worden alle varianten even kort uitgelegd.

Ruimtebesparende Oplossing (X=toepasbaar)	Macro- instabiliteit	Piping	Traditioneel/ Innovatief
Damwand	X	X	Traditioneel
Palenwand	X	X	Traditioneel
Diepwand	X	X	Traditioneel
Vernageling/ JLD-Dijkstabilisator	X		Innovatief
Dijkdeuvels	X		Innovatief
Piping Control		X	Innovatief
CSM-wand	X	X	Innovatief
Soilmixpalen	X		Innovatief
Waterontspanner	X	X	Innovatief
Combiwand	X	X	Traditioneel
Kistdam	X		Traditioneel
Vacuümconsolidatie	X		Innovatief
Massastabilisatie	X		Innovatief
Kwelscherm		X	Traditioneel
Granulaire kolommen	X	X	Innovatief
DMC-horizontale drain	X	X	Innovatief
Bio-injectietechnieken	X	X	Innovatief
Prolock		X	Innovatief
Grof zand barrière		X	Innovatief
Bentonietmatten		X	Innovatief

Tabel 2.4 Overzicht van alle varianten

Damwand: Een damwand is grond- en/of waterkerende constructie. De damwand is een stalen profiel dat verticaal in de grond geplaatst wordt. Damwandplanken op zich zijn losse elementen die door middel van messing-en-groefverbinding in elkaar worden geschoven. Door de elementen naast elkaar te plaatsen vormen de elementen een wand.

Palenwand: De palenwand is een constructie die opgebouwd is uit in de grond gevormde funderingspalen. De funderingspalen worden verticaal de grond in geboord of geschroefd. Door overlap van de palen vormt de constructie een wand. De functie van de palenwand kan zowel grond- als waterkerend zijn.

Diepwand: Een diepwand is een grond- en waterkerende constructie. De wand is gemaakt van beton en wordt in de grond gevormd. Hierdoor komt er een dikke betonnen constructie die de dijk versterkt.

Combiwand: De combiwand is een combinatiewand en wordt opgebouwd uit verschillende stalen profielen. In de meeste gevallen bestaat de combiwand uit stalen buispalen in combinatie met damwandprofielen. Andere mogelijke opties zijn, damwandplanken met stalen H- of I-profielen. De combiwand is een grond- en waterkerende constructie, die bekend staat om zijn hoge buigsterkte en stijfheid.

Kistdam: De kistdam is een constructie die bestaat uit twee wanden die een grondmassief opsluiten. De kistdam bestaat meestal uit damwanden. Bij de constructie wordt er gebruik gemaakt van twee stabiliteitsschermen die horizontaal aan elkaar verankerd worden. De ene wand werkt als anker voor de andere wand.

CSM-wand: De afkorting CSM-wand staat voor Cutter Soilmix wand. Dit is een systeem waarbij een cementmix wordt toegevoegd aan de bestaande ondergrond. Hierdoor wordt er in de grond een stevig wand gevormd van beton gemengd met grond.

Soilmixpalen: Soilmixpalen is een vernagelingsmethode die afgeleid is van het principe van de CSM-wand. In de grond worden ‘nagels’ gevormd die bestaan uit cement gemengd met de grond. De stabiliteit van de grond wordt hierdoor verhoogd.

Waterontspanner: De waterontspanner is een systeem dat zorgt ervoor dat waterdruk onder en in het dijklichaam geregeld wordt. Door dit toe te passen wordt de waterdruk verlaagd en treedt macro-instabiliteit en piping niet meer op.

Vernageling: Bij vernageling wordt de grond van de dijk gewapend. De grond op zichzelf is niet meer stevig genoeg. Door middel van betonnen ‘nagels’ wordt de grond van het dijklichaam verstevigd en is de dijk weer sterk genoeg.

JLD-Dijkstabilisator: De JLD-dijkstabilisator is een vorm van vernageling maar met een extra functie. Door toepassing van sensoren kan de vernageling anticiperen op de situatie van het hoge water. Daarnaast is alle data uit te lezen en kan gericht onderhoud worden toegepast.

Dijkdeuvels: Het principe van de dijkdeuvel is hetzelfde als bij de dijkvernageling. Alleen worden de dijkdeuvels anders gewapend en onder een andere hoek ingebracht.

Vacuümconsolidatie: Bij toepassing van vacuümconsolidatie wordt er water onttrokken uit een grondlichaam. Hierdoor treden de zettingen vooraf al op, waardoor een grondlichaam een sterker geheel wordt en in de gebruiksfase minder zettingen ondergaat.

Granulaire kolommen: Dit zijn kolommen die zijn gemaakt van zand of grind omhuld door een geotextiel. De kolommen worden geplaatst in de slappe lagen van een grondlichaam om het gewicht te verhogen, hierdoor wordt de stabiliteit hoger. Daarnaast kunnen de kolommen worden gebruikt als ontlastbron en hebben dezelfde functie als de waterontspanner.

DMC-horizontale drain: Het systeem bestaat uit een drain met sensoren die de waterspanningen in een grondlichaam kan reguleren. Bij hoog water wordt de waterspanning verlaagd en bij uitdroging van de grond er water toegevoegd aan de grond. Hierdoor kan de stabiliteit van de dijk op afstand worden gecontroleerd.

Bio-injectietechnieken: Door het toepassen van natuurlijke materialen wordt de grond meer stabiliteit gegeven. In de grond worden injecties geplaatst. Bij de injectie worden meerdere materialen in vloeibare vorm de grond in gespoten, vervolgens gaat het materiaal in de grond reageren met de injectie. Dit zorgt ervoor dat de materialen met elkaar gaan samenklonteren en een bijna ondoordringbare barrière in de grond vormt.

Massastabilisatie: Bij massastabilisatie wordt er grondverbetering toegepast. Door het toevoegen van organische bindmiddelen aan zachte ondergronden wordt de stabiliteit van de grond verhoogd. Door het verbeteren van de grond hoeft de grond niet afgegraven te worden en vervangen te worden door nieuwe grond. Dit kost minder transport en is daardoor duurzamer.

Kwelscherm: Een kwelscherm is een verticale constructie die het faalmechanisme piping tegen kan gaan. Het scherm wordt in een kleilaag geplaatst en zorgt daarmee voor dat de watervoerende laag wordt afgesneden. Het water achter de dijk stijgt nu ongeveer tot polderniveau en piping kan niet meer optreden.

‘Piping control’: Dit is een innovatieve methode om het faalmechanisme piping tegen te gaan. Dit wordt gerealiseerd door middel van een verticaal zanddicht geotextiel (VZG). Het geotextiel wordt in de teen aangebracht en kan hierdoor het falen als gevolg van piping tegengaan.

Prolock: Het systeem Prolock is gebaseerd op het traditionele kwelscherm maar is gemaakt van kunststof. Het idee achter de Prolock damwand is hetzelfde als de het kwelscherm. Een variant op het Prolock damwandprofiel is de Prolock met filtersysteem. Het filtersysteem heeft in de kokers van het scherm een filtermateriaal zitten. Dit zorgt ervoor dat het water door de gaten heen kan stromen en het zand wordt tegengehouden door het filter.

Grof zand barrière: Het toepassen van een grof zand barrière is het vervangen van het fijnere zand door een grovere fractie zand. Het grove zand is goed waterdoorlatend en kan juist niet wegspoelen in tegenstelling tot het fijnere zand. Het grof zand werkt nu als filter en heeft hierdoor dezelfde functie als een VZG maar met natuurlijk materiaal.

Bentonietmatten: Bentonietmatten worden aangebracht in het voorland van de dijk om zodoende piping tegen te gaan. De bentonietmatten zijn twee lagen geotextiel met daartussen een laagje natriumbentoniet. Wanneer dit in aanraking komt met water zwelt dit op. Hierdoor ontstaat er een waterremmende laag.

2.8. Afbakening

Om het onderzoek goed af te kaderen wordt in deze paragraaf de afbakening beschreven. In het bovenstaande literatuuronderzoek zijn de verschillende oplossingen tegen macrostabiliteit en/of piping beschreven. Door middel van een haalbaarheidsstudie en vervolgens een variantenstudie zullen de varianten beoordeeld worden zodat er tot slot één variant overblijft. Deze ene oplossing zal worden uitgewerkt met berekeningen en tekeningen tot op DO-niveau.

3. Methode

In dit hoofdstuk zullen de verschillende onderzoeksmethoden worden genoemd en kort worden toegelicht. Daarnaast wordt er ingegaan op alle activiteiten die worden uitgevoerd voor de verschillende deelvragen. Hierbij wordt per deelvraag beschreven welke onderzoeksmethode en -instrumenten er toegepast zijn.

3.1. Onderzoeksmethode

De algemene onderzoeksmethode voor dit project kan gezien worden als een adviserend onderzoek. Voor een specifieke locatie wordt er gekeken naar de mogelijkheden en tenslotte een advies uitgebracht. De hoofdvraag voor dit onderzoek luidt als volgt:

Wat is de best mogelijke ruimtebesparende oplossing om de dijk bij Neerijnen, ter hoogte van dijkpaal TG182 t/m TG188, weer te laten voldoen aan de huidige veiligheidsnormen en bestand te maken tegen de autonome ontwikkelingen in de toekomst?

Om te weten te komen welke variant het beste past voor de dijkversterking bij Neerijnen moet er eerst gedetailleerd onderzoek worden gedaan. Er wordt middels bronnenonderzoek en kennis van deskundigen gekeken welke varianten haalbaar zijn. Daarna zullen daar ongeveer zes varianten van overblijven die worden beoordeeld met behulp van een Multicriteria-analyse(MCA). Voor het MCA moeten eerst een aantal criteria worden opgesteld, waarop de varianten worden beoordeeld. Vervolgens zal de winnende variant verder worden uitgewerkt.

Na het verzamelen van alle informatie en het beantwoorden van alle hoofd- en deelvragen zal dit onderzoek een advies uitbrengen. Dit advies gaat in op welke methode volgens dit onderzoek het beste past op deze projectlocatie. Van deze methode wordt een ontwerp gemaakt en uiteindelijk een indicatie gegeven van hoe deze variant mogelijk kan worden uitgevoerd.

3.2. Onderzoeksactiviteiten

3.2.1. Methode deelvraag 1

De eerste deelvraag luidt als volgt:

- Wat is de huidige situatie van dijk, ter hoogte van dijkpaal TG182 t/m TG188 en waarom voldoet deze niet?

Het type onderzoek dat voor deze deel vraag nodig is, is het uitvoeren van een beschrijvende onderzoeksmethode. Er moet gekeken worden naar hoe de situatie eruitziet en welke oorzaken er optreden waarom deze specifieke dijk niet voldoet. Het onderzoek naar dit dijktraject is al uitgevoerd door deskundigen in een vooronderzoek, zij hebben deze dijk afgekeurd. Er moet daarom worden onderzocht welke redenen er zijn dat dit dijktraject is afgekeurd. Dit moet vervolgens gedetailleerd worden beschreven

3.2.2. Methode deelvraag 2

De tweede deelvraag luidt als volgt:

- Wie zijn de stakeholders van dit project en wat zijn hun belangen?

De onderzoeksmethode die voor deze vraag wordt gebruikt is een beschrijvend onderzoek aan de hand van bronnenonderzoek. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van de kennis van deskundigen binnen het bedrijf Van den Herik. Zij hebben in de tenderfase contact met de opdrachtgever en kunnen op deze manier informatie verzamelen. Daarnaast wordt er een stakeholderanalyse gemaakt hierin wordt duidelijk wie de belangrijke stakeholders zijn en welke wensen en eisen zij hebben. Op basis van deze informatie kan deelvraag 3 worden beantwoord.

3.2.3. Methode deelvraag 3

De derde deelvraag luidt als volgt:

- Wat is het Programma van Eisen (PvE) en welke normen gelden tijdens dit project?

Aan hand van de informatie van de voorgaande deelvragen is het mogelijk om een PvE op te stellen. Dit wordt gedaan met behulp van een beschrijvende onderzoeksmethode. Hierbij wordt gebruik gemaakt van kennis van deskundigen en deskresearch. Voor de functionele eisen wordt vooral gebruik gemaakt van deskundige kennis. Bij het specificeren van de technische eisen wordt gekeken in de geldende normen, die opgesteld zijn door de Rijksoverheid die betrekking hebben op de waterveiligheid. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van verschillende NEN-normen en CUR-richtlijnen voor het maken van het ontwerp.

3.2.4. Methode deelvraag 4

De vierde deelvraag luidt als volgt:

- Welke ruimtebesparende oplossingen zijn haalbaar en mogelijk op basis van het programma van eisen?

Door literatuuronderzoek uit te voeren kunnen de verschillende ruimtebesparende oplossingen gevonden worden. Hierbij wordt eerst een inventarisatie van alle mogelijke oplossingen gemaakt. Vervolgens zal door middel van het PvE en de kennis van deskundigen worden gekeken welke oplossingen haalbaar geacht worden.

3.2.5. Methode deelvraag 5

De vijfde deelvraag luidt als volgt:

- Welke criteria zijn van belang voor de stakeholders en wat zijn de wegingsfactoren?

De criteria die meegenomen wordt in de variantenstudie is gebaseerd op het PvE. In het PvE staan alle wensen en eisen van de opdrachtgever en andere stakeholders. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van deskundige kennis binnen Van den Herik. Zij kunnen de criteria en wegingsfactoren verifiëren, omdat ze namelijk direct contact hebben met de opdrachtgever en voor het gehele project TiWa een onderzoek doen. Door contractuele verplichtingen is het niet mogelijk om de opdrachtgever te contacteren. Tijdens de tenderfase wil de opdrachtgever belangenverstremgeling voorkomen.

3.2.6. Methode deelvraag 6

De zesde deelvraag luidt als volgt:

- Wat is op basis van de Multi criteria-analyse de best passende oplossing om de dijk te versterken?

Met behulp van kwantitatief onderzoek wordt er antwoord gegeven op deze deelvraag. Aan de hand van een Multicriteria-analyse worden alle kansrijke oplossingen beoordeeld. De criteria die is opgesteld aan de hand van deelvraag 5 worden gebruikt als maatstaf. De criteria worden onderverdeeld in subcriteria om zo een beter beeld te krijgen van de inhoud van de criteria. Via de variantenstudie zal uiteindelijk één variant of combinatie van varianten naar voren komen, die de problemen van piping-heave en macro-instabiliteit zal verhelpen. Deze oplossing zal verder worden uitgewerkt bij deelvraag 7.

3.2.7. Methode deelvraag 7

De zevende en laatste deelvraag luidt als volgt:

- Hoe ziet de best mogelijke ruimtebesparende oplossing eruit op DO-niveau en hoe wordt deze oplossing uitgevoerd in de praktijk?

De onderzoeksmethode die hiervoor wordt gebruikt is een toetsend onderzoek. Na het verkrijgen van de beste oplossing wordt eerst de rekenmethode van piping uitgevoerd. Aan de hand van deze berekening wordt duidelijk tot op welke diepte de constructie moet worden ingebracht. Middels het programma D-sheet Piling wordt de constructie getoetst op macrostabiliteit aan de hand van de methode van Bishop. In dit programma wordt de stabiliteitswand en het anker ontworpen. Vervolgens wordt met behulp de huidige normen een handberekening gemaakt van het anker en de gording. Daarnaast wordt het programma Technosoft Liggers gebruikt om de gording te toetsen op ankeruitval. Op deze manier worden alle onderdelen van de constructie getoetst op DO-niveau.

Als vertaling van de berekeningen wordt er uiteindelijk een aantal tekeningen gemaakt. Als eerst een overzichtstekening van de locatie, zodat duidelijk wordt waar de constructie komt. Daarnaast wordt er ingezoomd op de verschillende onderdelen van het ontwerp waarvan doorsneden en details worden getekend.

3.3. Onderzoeksinstrumenten

De onderzoeksinstrumenten die nodig zijn om alle deelvragen van dit onderzoek te kunnen beantwoorden, zijn als volgt:

- Microsoft Word; voor het opstellen van rapporten
- Microsoft Excel; voor het maken van spreadsheets
- Internet; voor het verzamelen van bronnen, informatie en onderzoeksrapporten
- Lesmateriaal van de HZ University of Applied Sciences, studie Civiele Techniek
- Literatuur, zoals NEN-normen en CUR-richtlijnen
- D-sheet Piling; ontwerpen en optimaliseren van de damwand
- Technosoft Liggers; toetsing van de gording
- AutoCAD; voor het uitwerken van het ontwerp

4. Selectie voorkeursalternatief

4.1. Beoordeling alternatieven

Om de hoeveelheid alternatieven terug te brengen tot een kleiner aantal is er een eerste beoordeling gemaakt. Deze selectie is toegepast omdat er anders te veel varianten moeten worden beoordeeld in de variantenstudie. De oplossingen worden beoordeeld op oplossend vermogen, technische haalbaarheid, onderhoud & beheerbaarheid en de eisen & wensen van de stakeholders.

Het resultaat van de beoordeling is hieronder te zien in tabel 4.1.

Ruimtebesparende oplossingen	Oplossend vermogen	Technische haalbaarheid		Onderhoud en beheerbaarheid	Eisen en wensen van de stakeholders
		Kruin TG187 + TG188	Talud TG182 t/m TG187		
Damwand	+	-	++	+	+
Palenwand	+	++	++	+	+
Diepwand	+	+	++	+	+
Combiwand	+	--	+	+	--
Kistdam	+	+	+	+	-
Mixed-In-Place (CSM)	+	+	++	+	+
Soilmixpalen	+	-	+	+	+
Waterontspanner	+	--	0	+	+
Vernageling/JLD-dijkstabilisator	+	--	++	+	+
Dijkdeuvels	+	-	++	+	+
Vacuümconsolidatie	0	--	--	-	-
Granulaire kolommen	+	-	-	+	-
DMC-horizontale drain	+	-	-	+	+
Bio-injectietechnieken (BioGrout, BioSeal, SoSeal)	+	0	+	+	-
Massastabilisatie	+	--	0	+	-
Kwelscherm	+	0	+	+	+
Piping Control	+	-	++	+	+
Prolock	+	-	+	+	+
Grof zand barrière	+	-	++	+	-
Bentonietmatten	0	--	--	+	-

Tabel 4.1 Eerste selectie ruimtebesparende oplossingen

Bij deze eerste beoordeling zijn de volgende varianten afgevallen: vacuümconsolidatie, granulaire kolommen, bentonietmatten, waterontspanner, DMC-horizontale drain, massastabilisatie, kistdam en de combiwand. In de bijlage 2: Literatuuronderzoek; paragraaf 5.2 wordt hier nader toelichting op gegeven waarom deze varianten niet kunnen worden toegepast op dit project.

4.2. Kansrijke oplossingen

De overgebleven varianten worden kansrijk geacht om een dijk te versterken. De overgebleven varianten zijn als volgt:

- Damwand
- Palenwand
- Diepwand
- Vernageling/JLD-dijkstabilisator
- Dijkdeuvels
- CSM-wand
- Soilmixpalen
- Bio-injectietechnieken
- Kwelscherm
- Piping Control (VZG)
- Prolock
- Grof zand barrière

Niet alle oplossingen kunnen op zichzelf staand de problematiek van de macrostabiliteit en piping oplossen. Daarom zullen de varianten moeten worden gecombineerd. Om tot een beperkt aantal mogelijkheden te blijven worden sommige varianten tijdelijk samengevoegd. Wanneer deze variant als beste uit de MCA komt zal worden uitgezocht welke methode de beste is.

De combinaties, die zijn gevormd voor de kansrijke oplossingsrichtingen zijn als volgt:

1. Damwand
2. Palenwand
3. Diepwand
4. CSM-wand
5. Vernagelingsmethode + bio-injectietechnieken
6. Vernagelingsmethode + kwelscherm
7. Vernagelingsmethode + VZG
8. Vernagelingsmethode + GZB

De volledige uitwerking en onderbouwing van de selectie is te vinden in bijlage 2: Literatuuronderzoek; paragraaf 5.2. Selectie alternatieven.

4.3. Variantenstudie

In het literatuuronderzoek zijn de verschillende varianten uitgebreid onderzocht. Hierbij is gekeken naar de werking, de impact, de kosten en de voor- en nadelen. Na een eerste beoordeling zijn er een aantal varianten afgevallen. De overgebleven varianten zijn onderverdeeld in combinaties van varianten om zodoende beide faalmechanismen op te lossen. Om een uitgebreide beoordeling te geven op

de verschillende varianten wordt er een Multicriteria-analyse opgesteld. In deze analyse worden de varianten beoordeeld aan de hand van de criteria die belangrijk zijn voor dit project. De uitwerking van de gehele variantenstudie is te vinden in bijlage 3: Variantenstudie.

4.3.1. Wijziging kansrijke oplossingen

Bij het uitvoeren van de variantenstudie worden de volgende twee varianten niet beschouwd; namelijk: vernagelingsmethode + bio-injectietechnieken en vernagelingsmethode + grof zand barrière (GZB). Deze variantencombinaties zijn bij nader inzien niet uitvoerbaar op dit project. Het ontwikkelingsniveau van de innovaties bio-injectietechnieken en GZB zijn te laag. De opdrachtgever wil daarom niet dat deze methodes worden toegepast bij de dijkversterking TiWa. Om deze reden worden deze twee variantencombinaties buiten beschouwing gelaten in deze variantenstudie.

De varianten die wel worden meegenomen in de variantenstudie zijn als volgt:

Variant V1: Damwand

Variant V2: Palenwand

Variant V3: Diepwand

Variant V4: CSM-wand

Variant V5: Vernagelingsmethode + kwelscherm

Variant V6: Vernagelingsmethode + verticaal zanddicht geotextiel (VZG)

4.3.2. Criteria

De criteria die zijn opgesteld zijn afgeleid uit het programma van eisen en afkomstig uit gesprekken met deskundigen. Door vergaderingen met collega's binnen Van den Herik zijn zo de criteria gecontroleerd en gekeken of deze relevant waren. In totaal zijn er zes criteria opgesteld die vervolgens onderverdeeld zijn in subcriteria. In bijlage 3 zijn deze subcriteria nader toegelicht en is de score uitgelegd. Omdat niet ieder criteria even zwaar meeweegt in deze analyse zijn er wegingsfactoren toegekend aan de criteria. Hoe hoger de wegingsfactor hoe belangrijker een criteria is en hoe zwaarder het onderdeel meetelt op de totaalscore. Een overzicht van alle criteria met subcriteria zijn hieronder te zien in tabel 4.2. In de laatste kolom is te zien welke wegingsfactor het criteria gekregen heeft, opgeteld is dit 100% voor alle criteria.

Nr.	Criteria	Subcriteria	Wegingsfactor(%)
1	Omgeving	Overlast en hinder tijdens realisatie	30%
		Veroorzaken van schade(s)	
		Ruimtelijke inpassing	
		Bereikbaarheid tijdens uitvoering	
		Ruimtebesparend (uitvoering)	
		Beheerbaarheid van constructie	25%
2	Veiligheid	Waterveiligheid	
		Uitvoeringsveiligheid	15%
3	Duurzaamheid	Uitbreidbaarheid	
		Hergebruik van materiaal	
		Uitvoeringsmethode	15%
4	Kosten	Ontwerp-/Uitvoeringskosten	
		Onderhoudskosten	5%
5	TRL-waarde	Ontwikkelingsniveau van de oplossing	
6	Planning	Tijdsduur	10%

Tabel 4.2 Overzicht van alle criteria

4.3.3. Beoordeling

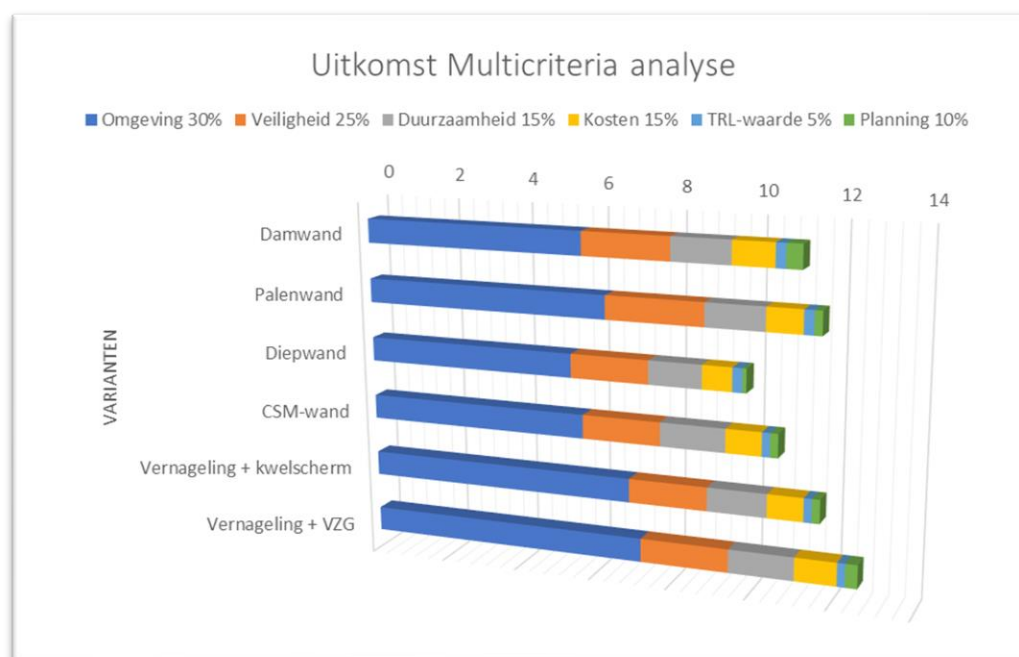
Criteria	Wegingsfactor	v1	v2	v3	v4	v5	v6
Omgeving	30%	5,70	6,30	5,40	5,70	6,90	7,20
Veiligheid	25%	2,25	2,50	2,00	2,00	2,00	2,25
Duurzaamheid	15%	1,50	1,50	1,35	1,65	1,50	1,65
Kosten	15%	1,05	0,90	0,75	0,90	0,90	1,05
TRL-waarde	5%	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20
Planning	10%	0,40	0,20	0,10	0,20	0,20	0,30
Totaal	100%	11,15	11,65	9,85	10,65	11,70	<u>12,65</u>

Tabel 4.3 Beoordeling variantenstudie

Hierboven is het resultaat van de beoordeling te zien (zie tabel 4.3). Per variant is er aan elke subcriteria een score toegekend. Door de scores van de subcriteria op te tellen en te vermenigvuldigen met de wegingsfactor is de score per criteria tot stand gekomen. De varianten zijn gescoord met een verdeling van 1 t/m 5, waarin 1 een slechte score betekende en 5 een goede score betekende. Uitleg van alle scores per variant is te vinden in bijlage 3. De scores van de verschillende criteria zijn vervolgens opgeteld en zodoende is de totaalscore per variant naar voren gekomen. De varianten zijn in de resultaten afgekort met v1 t/m v6, de varianten zijn hetzelfde zoals aangegeven in het lijst in subparagraaf 3.2.1.

Conclusie

Uit de totaalscores voor alle varianten blijkt dat het verschil tussen de totaalscores niet groot is. De variant met de hoogste score, vernageling + VZG, en de variant met de laagste score, diepwand, liggen 2,8 punten uit elkaar. Door het gebruiken van de verschillende criteria scoren de varianten verschillend. Hierdoor wordt het verschil tussen de varianten steeds kleiner. De varianten liggen hierdoor dicht op elkaar. Wanneer er ingezoomd wordt op de verschillende criteria wordt het duidelijk welke verschillen er zijn tussen de varianten. Zo scoort de ene variant hoger op duurzaamheid maar scoort een andere variant hoger op omgeving. Dit is duidelijk te zien in figuur 4.1.



Figuur 4.1 Grafiek met resultaten van variantenstudie

4.3.4. Definitieve voorkeursvariant

Na het uitvoeren van de variantenstudie kwam er informatie met betrekking tot de stabiliteitsopgave. De macrostabiliteitsfactor waaraan de dijk moet voldoen is erg hoog vergeleken met de stabiliteitsfactor die de dijk nu heeft. De stabiliteitsopgave is zelfs zo hoog dat de vernagelingsmethode niet kunnen worden toegepast, in bijlage 3 paragraaf 4.1, is dit uitgebreid uitgelegd. Dit heeft consequenties voor het resultaat van de variantenstudie. Hierdoor is het niet meer mogelijk om de varianten 5 en 6 te beschouwen. Hierdoor blijven de volgende varianten nog over:

Damwand (v1) / Palenwand (v2) / Diepwand (v3) / CSM-wand (v4).

De variant die hier het beste scoort is de palenwand. De damwand scoort net iets lager, maar hierbij moet wel een kanttekening worden gemaakt. Tijdens het MCA is ervan uitgegaan dat de damwand getrild wordt, hierdoor scoorde de damwand lager. Wanneer de damwand drukkend ingebracht wordt is de damwand niet de winnende variant. De varianten liggen zo dicht op elkaar, dat er nader onderzoek nodig was om de voor- en nadelen te vergelijken. Hieruit is gebleken dat de damwand de voorkeur kreeg omdat deze goedkoper en sneller te plaatsen is. Alleen kan de damwand in beperkte lengte worden uitgevoerd in verband met het indrukken van de damwand. Wanneer de damwandplank niet ingedrukt kan worden, wordt er gekozen voor een palenwand. Nader toelichting hierop is te vinden in bijlage 5: Constructief rapport; paragraaf 6.1. Het resultaat van de damwand wordt toegelicht in Hoofdstuk 5.

5. Ontwerp

In de voorgaande hoofdstukken is duidelijk geworden dat de damwand de beste ruimtebesparende oplossing is. Beginnend met de rekenregels en formules zijn vervolgens de uitgangspunten opgesteld voor de berekeningen. Uiteindelijk zijn voor de faalmechanismen handberekeningen gemaakt en is de damwand gemodelleerd met behulp van het programma D-sheet. Als laatste zijn de verschillende onderdelen van de constructie getoetst aan de hand van de geldende normen en richtlijnen. In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van het ontwerpproces en worden de belangrijkste resultaten samengevat. Daarna zal een korte beschrijving worden gegeven van de uitvoering van het ontwerp. In bijlage 4: Constructief rapport is de hele damwandconstructie volledig uitgewerkt met daarbij een onderbouwing van de verschillende ontwerpkeuzes.

5.1. Ontwerpproces

5.1.1. Faalmechanismen

Bij het ontwerpen is het belangrijk om te weten welke methodes gebruikt kunnen worden. De twee faalmechanismen, macro-instabiliteit en piping zijn de grootste oorzaken van deze dijkversterking. Het is daarom het belangrijkste om eerst uit te zoeken hoe deze twee faalmechanismen gecontroleerd kunnen worden. De eerste stap van het rekenen is het onderzoeken van de rekenmethodes van macrostabiliteit en piping. Hieronder wordt kort uitgelegd hoe deze rekenmethodes te werk gaan.

Macrostabiliteit

De macrostabiliteit kan berekend aan de hand van glijvlakmodellen. Er zijn verschillende modellen beschikbaar zoals, de methode van: Bishop, Spencer-Van der Meij en LiftVan. Deze methoden rekenen allemaal op een andere manier. De methoden verschillen van elkaar door andere vormen van de glijvlakken en een andere beschouwing van de verdeling van de schuifspanning langs het glijvlak. Een aantal glijvlakmethoden gaan uit van cirkelvormige glijvlakken. De methode van Bishop is zo'n methode, deze wordt toegepast door het programma D-sheet Piling om stabiliteit van damwandconstructies te berekenen. De macrostabiliteit van het dijklichaam met constructie kan gecontroleerd worden middels het D-sheet model.

Piping-Heave

Voor het rekenen aan piping-heave wordt een stappenplan gevolgd. Ten eerste wordt er gecontroleerd of de grond achter de dijk gaat opbarsten. Wanneer dit niet het geval is kan het proces van heave niet optreden. Ten tweede wordt er gecontroleerd bij welk verval, dit is het verschil tussen buiten- en binnenwaterstand, horizontale kwelweg instabiel wordt. Dit wordt gedaan aan de hand van het algemene beoordelingscriterium voor piping. In deze formule zit de rekenregel van Sellmeijer 2011 verwerkt, waarmee het kritieke verval kan worden berekend. Het resultaat van deze berekening geeft een kritieke waarde op waarbij piping zal optreden. Vervolgens wordt deze vergeleken met het optredende verval. Het kritieke verval zal naar alle waarschijnlijkheid ver overschreden worden, daarom moeten er vervolgstappen ondernomen worden.

Wanneer er blijkt dat piping daadwerkelijk optreedt, omdat het optredende verval veel groter is dan het kritieke verval, moet de horizontale kwelweg worden verlengd. De kwelweg kan op twee manieren worden verlengd; horizontaal en verticaal. Horizontale kwelwegverlenging is het verbreden van de

dijk. Verticale kwelverlenging is het toepassen van een kwelscherm. Op deze projectlocatie is het door de ruimtebeperking alleen mogelijk om een verticale kwelwegverlenging uit te voeren. De verlenging kan berekend worden met de empirische rekenregel van Lane. Het resultaat van deze berekening geeft een lengte aan van hoever het kwelscherm in de watervoerende zandlaag moet worden geplaatst. Dit resultaat wordt meegenomen in de damwand berekening. De damwand moet minimaal op de berekende lengte in de zandlaag staan om piping tegen te gaan.

De laatste stap is het controleren van het heave-criterium. Om de veiligheid van de verticale kwelweg tegen heave te kunnen waarborgen dient de volgende situatie op te treden. Achter de constructie, hetzij een kwelscherm of een andere oplossing tegen piping, moet bij een verticale kwelstroom een maximaal verhang optreden. Dit verhang moet kleiner zijn dan het kritieke verhang, waarbij heave kan optreden. Het berekende verhang wordt vergeleken met het maximale verhang want dit moet kleiner zijn zodat het voldoet aan het heave-criterium.

5.1.2. Damwandconstructie

Het ontwerpen van de damwand wordt gedaan met behulp van het programma D-sheet Piling. Met het programma kan de damwandconstructie worden berekend en geoptimaliseerd aan de hand van Eurocode 7. Naast dat er een model wordt gebruikt zullen de onderdelen van de damwandconstructie worden getoetst aan de NEN-normen en CUR-richtlijnen. Hoofdzakelijk wordt de CUR 166 gebruikt als ontwerprichtlijn voor damwanden. Daarnaast zijn een aantal berekeningen gedaan die gebaseerd zijn op NEN-normen. Hieronder wordt kort uitgelegd hoe deze methodes werken en welke gegevens hiervoor nodig zijn.

D-sheet model opstellen

In de vorige subparagraaf zijn de methodes uitgelegd voor het bepalen van aantal uitgangspunten voor de damwandconstructie. Naast deze uitgangspunten is het belangrijk om de overige uitgangspunten op te stellen, zodat het model in D-sheet kan worden gemaakt. De uitgangspunten die hiervoor nodig zijn, zijn als volgt:

- Het maatgevende dijkprofiel
- De bodemopbouw van het dijkprofiel
- De maatgevende sonderingen
- Waterstanden
- De kruinhoogte
- Freatische waterlijn
- Belastingen
- Maatgevende belastingsituatie
- Restprofiel of ontgrondingskuil
- Locatie van de damwand(talud of kruin)
- Veiligheidsklasse

D-sheet Piling rekent volgens de methode van Bishop. Hiermee wordt de algehele stabiliteit gecontroleerd van de damwandconstructie. Daarnaast controleert D-sheet aan de hand van de CUR 166 en Eurocode 7 de stabiliteit van de damwand en het anker.

Toetsing damwandconstructie

De damwandconstructie heeft verschillende onderdelen die mogelijk kunnen bezwijken. Om dit te controleren worden er middels richtlijnen en normen toetsingen uitgevoerd. De onderdelen die worden getoetst zijn als volgt: damwand, anker en gording. De onderdelen worden ieder voor zich op andere aspecten getoetst. Hieronder wordt voor elk onderdeel kort uitlegt welke aspecten getoetst worden. Voor alle onderdelen geldt dat er rekening gehouden wordt met corrosie omdat de materialen van de onderdelen van staal gemaakt zijn.

De damwand wordt ontworpen volgens de CUR 166 richtlijn. Hierin staan verschillende toetsen voor het ontwerpen van een damwand. De volgende toetsingen zijn uitgevoerd:

- **Verticale draagvermogen:** hierbij wordt gecontroleerd of de damwand voldoende draagvermogen heeft voor de belastingen, die op de damwand worden uitgeoefend. Aan de hand van een sondering is te bepalen hoe groot het draagvermogen is voor de damwand.
- **Sterkte controle damwand:** de damwand is onderhevig aan verschillende belastingen. De damwand moet daarom gecontroleerd worden op sterkte. Dit wil zeggen, kan de damwand de krachten opnemen en niet falen in de extreemste situatie.
- **Maximale verplaatsing:** de verplaatsing van de damwand moet voldoen aan de eisen die hiervoor gesteld worden.
- **Macrostabieliteit:** zoals al eerder aangegeven wordt de damwand getoetst op macrostabieliteit door het programma D-sheet. De damwand wordt gecontroleerd op afschuiven middels de methode van Bishop.
- **Haalbaarheid drukken:** om te controleren of de damwand middels drukken in de grond kan worden gebracht wordt de haalbaarheid hiervan berekend. De indrukkraft van de methodes moet groter zijn dan de weerstand van de grond ten opzichte van de damwand.

Een groutanker wordt toegepast als verankering. De verankering bestaat uit een stalen ankerstaaf met aan het uiteinde een cilinder van grout. Het groutanker zorgt ervoor dat de damwand meer krachten kan opnemen. Het groutanker dat wordt toegepast wordt eveneens ontworpen aan de hand van de CUR 166 richtlijn. Daarnaast zijn een aantal aanvullende berekeningen afkomstig uit de NEN-normen. De toetsingen die gedaan worden voor het groutanker zijn als volgt:

- **Houdkracht van het groutlichaam.** Aan het groutanker komt een lichaam van grout. Dit groutlichaam zorgt ervoor dat de damwand stevig verankerd zit in een draagkrachtige zandlaag. Bij deze toetsing wordt gecontroleerd of het groutlichaam voldoende houdkracht heeft om de ankerkrachten te weerstaan.
- **Ankerstaaf.** De ankerstaaf van het groutanker brengt de krachten vanuit de damwand over op het groutlichaam. De ankerstaaf kan gezien worden als verbinding tussen deze twee componenten. De toetsing controleert of de sterkte van de ankerstaaf voldoende is.

Door het uitvallen van een groutanker komt er ten gevolge van de resulterende ankerkrachten een grote puntlast op de damwand. Dit is niet gewenst en daarom zal met behulp van een gording dit probleem worden verholpen. De krachten worden door de gording herverdeeld over de damwand. Aan de hand van de CUR 166 richtlijn en NEN-normen is de gording getoetst als volgt:

- **Sterkte gording; met ankeruitval.** In een calamiteitsituatie kan het mogelijk zijn dat een groutanker faalt. De functie van de gording wordt in deze situatie belangrijk. De gording moet namelijk de krachten herverdelen over de damwand. Bij de toetsing volgens de norm, wordt gecontroleerd of de sterkte van de gording voldoet.

5.2. Samenvatting ontwerp

Het ontwerp is uitgebreid getoetst en berekend in bijlage 4: Constructief rapport. Uit het resultaat van de berekeningen komt de volgende damwandconstructie naar voren. In de volgende subparagrafen worden de verschillende onderdelen getoond en nader toegelicht.

5.2.1. Damwand

Het type damwandplank dat wordt toegepast in het ontwerp is het planktype AZ 36-700N. De damwand wordt halverwege in het binnentalud van de dijk geplaatst, dit is circa 8 meter uit de kruin van de dijk. De gegevens van de damwand zijn hieronder te vinden in tabel 5.1 en figuur 5.2. De bovenkant van de damwand komt op NAP +7,6 m en de diepte van de damwand wordt NAP -8,7 m. Dit is 2 meter lager dan de ontwerpdiepte voor piping (NAP -6,57m) omdat de stabiliteit bij deze diepte niet voldoet. De lengte van de damwand komt hierdoor uit op 16,3 meter. De damwand moet een langere lengte hebben omdat de macrostabiliteit eveneens moet voldoen.



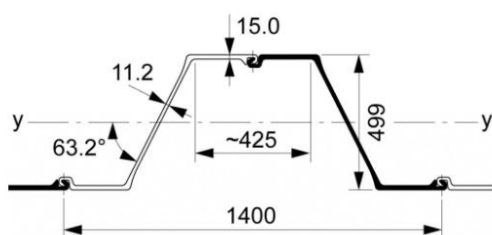
Figuur 5.1 Damwand drukken met silent piler (Gebr. De Koning, z.d.-a)

De damwand kan drukkend worden ingebracht met behulp van een silent piler (zie fig. 5.1). Hierbij moet indien nodig de maatregel fluïderen worden toegepast. In de maatgevende situatie kan de damwand anders niet op diepte worden gebracht. Mogelijk kan de damwand op sommige locatie zonder fluïderen worden ingebracht, dit kan worden gebaseerd op sonderingen. Daarnaast is gekeken of de damwand gestaffeld kon worden aangebracht, dit is niet mogelijk in verband met de stabiliteit.

Het ontwerp van de damwand is gebaseerd op het maatgevende dijkprofiel TG186 en voldoet daarom voor het dijktraject van dijkpaal TG182 t/m TG187. Voor het overige deel van de dijk t/m dijkpaal TG188 wordt later een advies gegeven. Verder toelichting op het resultaat, zie bijlage 4.

	A	G	I_y	$W_{el,y}$	A_L
	[cm ²]	[kg/m]	[cm ⁴]	[cm ³]	[m ² /m]
Enkele plank	151,1	118,6	62 730	2510	1,03
Dubbele plank	302,2	237,3	125 450	5030	2,05
Per strekkende meter	215,9	169,5	89 610	3590	1,47

Tabel 5.1 Specificatie van AZ 36-700N



Figuur 5.2 Afmetingen van de damwand AZ 36-700N (ArcelorMittal, 2020)

5.2.2. Groutanker

Alle onderdelen van het groutanker zijn getoetst en voldoen aan de CUR-richtlijnen en NEN-normen. Het ontwerp van het groutanker komt hierdoor uit op een zelfborend anker $\varnothing 76,1 \times 17,5$. Het anker wordt aangebracht onder hoek van 40 graden. Het groutanker wordt aangebracht op NAP +6,75 m hierdoor is er nog voldoende ruimte voor een ankerstoel (zie fig. 5.3) en een gording.

De specificatie van het zelfborende anker $\varnothing 76,1 \times 17,5$ zijn als volgt (zie tabel 5.2):

Zelfborend anker	Buiten diameter	Binnen diameter	Doorsnede	Vloei-kracht	Breuk-kracht	Vloei-spanning	Breuk-spanning
Waarde	76,1	41,1	3221,7	1610,9	2255,2	500	700
Eenheid	[mm]	[mm]	[mm ²]	[kN]	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]

Tabel 5.2 Definitieve groutanker specificaties

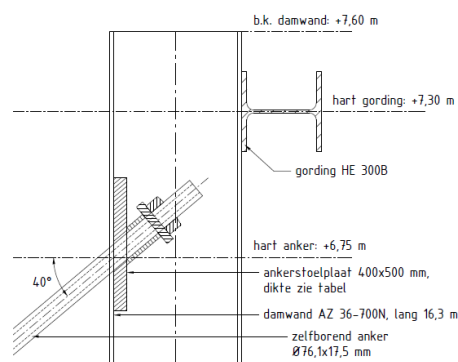
Ankerniveau van het groutanker	= NAP +6,75	[m]
Ankerhoek	= 40	[°]
Bovenkant groutlichaam	= NAP -9,0	[m]
Onderkant groutlichaam	= NAP -15,45	[m]
Lengte van het groutlichaam	= 10,0	[m]
Diameter van het groutlichaam	= 200	[mm]
Vrije ankerstaaf lengte	= 24,5	[m]
Totale ankerlengte	= 34,5	[m]
Hart op hart afstand ankers	= 1,4	[m]
Staalkwaliteit ankerstaaf	= BSt 500/700	[-]



Figuur 5.3 Groutanker met een gelaste ankerstoel op de damwand (eigen werk)

5.2.3. Gording

Voor de gording wordt een staalprofiel HEB toegepast. In de normale situatie met alle ankers, is er geen gording nodig. De krachten vanuit de ankers worden direct opgenomen door de damwand. De gording krijgt pas zijn functie wanneer een anker faalt. De ankerkrachten moeten worden verdeeld over de damwand. De gording wordt hiervoor aangebracht op NAP +7,30 m. Het staalprofiel komt aan de polderzijde van de damwand. De gording is hierdoor makkelijker te plaatsen en af te werken. De gegevens van het staalprofiel dat is toegepast zijn te zien in tabel 5.3. In figuur 5.4 is een doorsnede te zien van de gording.



Figuur 5.4 Doorsnede van groutanker met gording

Grootheid	Waarde	Eenheid	Toelichting
HEB	300	[-]	Staalprofiel type HE 300 B
f_y	355	[N/mm ²]	Staalkwaliteit van het staalprofiel
h	300	[mm]	Hoogte van het staalprofiel
t_f	19	[mm]	Dikte van de flens van het staalprofiel
t_w	11	[mm]	Dikte van het lijf van het staalprofiel

Tabel 5.3 Gegevens van het staalprofiel HE 300B

5.3. Uitvoering ontwerp

De uitvoering van het ontwerp kan in twee onderdelen worden opgesplitst, de damwandconstructie en het grondwerk. In deze paragraaf worden de twee onderdelen kort uitgelegd en nader toegelicht met afbeeldingen. Op deze manier wordt de uitvoeringsmethode duidelijker en wordt in hoofdlijnen een mogelijke uitvoeringsmethode uitgelegd. De complete uitwerking van het uitvoeringsplan is te vinden in bijlage 5: Uitvoeringsplan

5.3.1. Damwandconstructie

Het ontwerp van de damwandconstructie is opgebouwd uit verschillende onderdelen. De uitvoering van de onderdelen wordt in deze subparagraaf kort uitgelegd. De onderdelen die benoemd worden zijn als volgt: damwand, gording en de groutankers.

Damwand

De damwandplanken worden geplaatst met behulp van een silent piler en een hulpkraan (zie fig. 5.6). De silent piler is trillingsvrij systeem dat damwandplanken kan drukken. Het systeem is erg geschikt voor de locatie Neerijnen omdat de damwand dicht bij de bebouwing moet worden geplaatst. De damwandplanken worden in de silent piler gehesen met een draadkraan. Omdat de silent piler maar een beperkte drukkracht heeft moet er tijdens het drukken de maatregel fluïderen worden toegepast (zie fig. 5.5). Op de damwandplank worden over de gehele lengte een kleine buisjes gelast. Door deze buisjes kan water onder hoge druk aan de onderzijde van de damwand worden gespoten. Dit zorgt ervoor dat de grond soepeler wordt en de damwand makkelijker gedrukt kan worden.



Figuur 5.5 Damwandplanken plaatsen met fluïderen (Sterk BV, 2021)



Figuur 5.6 Damwand drukken met de silent piler (Gebr. De Koning, z.d.-b)

Gording

Na het plaatsen van de damwand kan de gording worden geplaatst. Voordat de gording kan worden geplaatst, moet er eerst gezorgd worden voor voldoende werkruimte. Met behulp van een graafmachine kan er ruimte vrij gemaakt worden langs de damwand. Na de graafwerkzaamheden kunnen de consoles op hoogte gesteld worden. Wanneer de consoles de juiste hoogte hebben kunnen de UNP-profielen aan de damwand worden gelast. De UNP-profielen zijn tijdelijke ondersteuningsconstructies voor de gording (zie fig. 5.7). De gording wordt met behulp van de draadkraan op de consoles gelegd. Vervolgens kunnen de lassers de gording aflassen aan de damwand.



Figuur 5.7 Het toepassen van UNP-profielen ter ondersteuning van een gording (Volker Staal en Funderingen, z.d.)

Nadat de laswerkzaamheden voor de gording zijn afgerond moet de lassen worden gekeurd. Deze lassen worden gecontroleerd door middel van een visuele inspectie. Daarnaast is het mogelijk dat een specialist het laswerk moet keuren aan de hand van een NDO. NDO staat voor niet-destructief onderzoek. De kwaliteit van het laswerk wordt tijdens dit onderzoek gecontroleerd maar de las wordt niet beschadigd. Naar aanleiding van de keuringen en beproevingen wordt er een beoordeling gegeven aan het laswerk. Indien de kwaliteit niet voldoende is, zal dit laswerk moeten worden hersteld.

Groutankers

De damwand wordt verankerd door middel van een zelfborend anker $\varnothing 76,1 \times 17,5$. Voor het groutanker moet eerst een gat worden gebrand in de damwandkas. Vervolgens kunnen de ankers worden geboord met behulp van een kraan met boorstelling. De ankers worden over de kop van de damwand aangebracht (zie fig. 5.8). De ankers worden zo geboord omdat in het talud geen ruimte is voor een boorstelling, het talud is hiervoor te steil. De groutankers worden tot op diepte geboord en bij de laatste 10 meter van het anker wordt een groutlichaam rondom de ankerstaaf gemaakt. Doordat de ankerstaaf hol is kan het grout door de staaf naar de onderzijde van de ankerstaaf worden gespoten.



Figuur 5.8 Het boren van groutankers over de kop (GWW, 2019)

Na het boren van de ankers en het aanbrengen van het groutlichaam kan de ankerstoel worden geplaatst. De ankerstoel is de verbinding tussen het groutanker en de damwand. De ankerstoel draagt zo de ankerkracht over op de damwand. Na het lassen van de ankerstoelen kunnen de groutankers worden afgespannen. Nadat het grout is uitgehard moeten de groutankers beproefd worden. Tijdens deze beproeving wordt gecontroleerd of het anker voldoet aan de gestelde eisen. Daarnaast moet net zoals bij de gording het laswerk worden gecontroleerd door een specialist.

5.3.2. Grondwerk

Het grondwerk bestaat uit type werkzaamheden, het voorbereiden van het werkterrein en het aanbrengen van het ontwerpprofiel. Beide werkzaamheden worden in deze subparagraaf kort uitgelegd.

Voorbereiding werkterrein

Voordat de werkzaamheden voor de damwandconstructie kunnen worden uitgevoerd moet de locatie van de damwand worden voorbereid. Het talud moet deels worden afgegraven zodat er gestart kan worden met het drukken van de damwand. Het werkterrein moet daarnaast verdicht worden om zo de stabiliteit van de ondergrond te verhogen. Hierdoor heeft de silent piler voldoende stabiliteit. Daarnaast moet na het plaatsen van de damwand grond worden ontgraven langs de damwand. Dit moet uitgevoerd worden ten behoeve van de gording en het aanbrengen van de groutankers.

Aanbrengen ontwerpprofiel

Voor de golfoverloop en -overslag moet de dijk worden opgehoogd (zie fig. 5.9). De dijk wordt opgehoogd tot NAP + 10,63 m. Verder wordt de dijk afgewerkt zoals aangegeven op tekening. Om de

stabiliteit van het buitentalud weer te laten voldoen moet het talud worden verflauwd naar een helling van 1: 2,5. Bij deze helling kan buitenwaartse macro-instabiliteit niet meer optreden. De aanvoer van de grond kan met behulp van trekker met kar en/of dumpers. De grond wordt aangebracht met een overhoogte en daarom zal het niveau van de dijk worden verhoogd met 0,30 m tot NAP +10,93 m.



Figuur 5.9 Grond aanbrengen bij dijkversterking (Ploegam, z.d.)

Om de grond meer stevigheid te geven en ervoor te zorgen dat er minder zettingen optreden, moet de grond worden verdicht. De verdichting kan worden uitgevoerd met een trilplaat of wals. Om te controleren of de grond op de juiste manier is verdicht kan er gebruik gemaakt worden van een penetrometer of een handsondeerapparaat.

5.4. Tekeningwerk

Het ontwerp is uitgewerkt in het programma AutoCAD. Hierin is de vertaling gemaakt van de berekeningen van het ontwerp naar tekening. Het tekeningwerk bestaat uit twee tekeningen, de ene tekening is een overzichtstekening en de andere een tekening met dwarsdoorsneden en details. Voor tekeningen zie bijlage 6: Tekeningen.

6. Discussie

De discussie van dit onderzoek gaat in op de resultaten van het onderzoek. De uitkomsten van de verschillende onderzoeken worden verklaard, de leermomenten worden benoemd en er wordt ingegaan op de beperkingen tijdens dit onderzoek.

In het onderzoek zijn verschillende methodes en bronnen toegepast. De methodes voor de berekeningen van het ontwerp zijn afkomstig uit CUR-richtlijnen en NEN-normen. Deze methodes worden al langer toegepast bij het ontwerpen van constructies. In deze documenten wordt voorgeschreven op welke wijze een constructie moet worden ontworpen. De uitkomst van het onderzoek is relevant voor het dijktraject tussen dijkpaal TG182 en TG188. Met het ontwerp kan de dijk op de locatie Neerijnen worden versterkt. Wanneer er gekeken wordt naar andere dijkvakken of locaties kan het ontwerp alleen worden toegepast wanneer de situatie, de bodemgesteldheid en de belastingen vrijwel hetzelfde zijn. Het ontwerp moet daarom voor andere locaties worden afgestemd op de gegevens die daar gelden. Op basis van die gegevens moet het ontwerp worden gecontroleerd en indien nodig veranderd worden. Voor het literatuuronderzoek zijn een aantal bronnen onderzocht, om zo verschillende inzichten samen te voegen tot één geheel.

De resultaten van het onderzoek komen overeen met de verwachtingen die voorafgaand aan het onderzoek zijn besproken. De verwachting was dat over het algemeen de innovatieve methodes slechter zouden scoren in de variantenstudie dan de traditionele methodes. Dit is te verklaren, omdat de traditionele methodes vaak zijn toegepast, geeft dit meer zekerheid voor de opdrachtgever. Het risico voor de opdrachtgever is veel lager dan bij innovatieve methodes. Bij traditionele methodes kan de opdrachtgever referentieprojecten bekijken waar deze methode al eerder is toegepast. De opdrachtgever moet daarom een risico durven nemen om de innovatieve methodes toe te passen bij de dijkversterking. Dit wil een waterschap vaak niet en zeker niet op een grote schaal en daarom valt de innovatieve methode al vaak af. Daarnaast moet een innovatieve methode in de gebruiksfase veel vaker worden gecontroleerd en gemonitord. Over het gedrag van de oplossing na realisatie is nog weinig bekend. De constructie moet daarom nauwlettend in de gaten gehouden worden. Hierbij wordt gecontroleerd of de constructie in praktijk doet zoals van tevoren bedacht was. Dit brengt veel meer werk met zich mee en daar zitten waterschappen meestal niet op te wachten. De keuze voor een traditionele methode heeft daarom vaker de voorkeur. Er is meer informatie van de methodes bekend en daarbij komt dat er na de realisatie minder controles moeten worden uitgevoerd.

Tijdens dit onderzoek zijn er een tweetal leermomenten geweest. In het begin van het onderzoek was er te weinig duidelijkheid bij het literatuuronderzoek. De omschakeling van literatuur naar berekeningen heeft daardoor meer tijd gekost dan van tevoren ingeschat was. Er was geen duidelijke lijn hoe de berekeningen voor piping en macrostabiliteit konden worden uitgevoerd. De schematiseringshandleidingen zijn erg uitgebreid en hierdoor raakte ik verstrikt in de grote hoeveelheid informatie. Ik heb geleerd om hiervoor eerder aan de bel te trekken om hulp te zoeken bij onduidelijkheden en samen een oplossing te zoeken.

Daarnaast heeft het ontwerpen veel meer tijd gekost, dan eerst gedacht werd. Het toetsen van de verschillende onderdelen van de damwand was erg uitgebreid. Hiervoor zijn verschillende aannames gemaakt, zodat de toetsingen wel konden worden uitgevoerd. Daarnaast is de input van berekeningen verschillende keren gewijzigd door onnauwkeurigheden of nieuwe inzichten, hierdoor is het ontwerp continu veranderd. Dit zorgde er uiteindelijk voor dat er geen tijd was om het gehele dijktraject uit te werken. Daarom is voor het dijktraject tussen dijkpalen TG187 en TG188 alleen een advies uitgebracht.



Deze leermomenten zal ik in de toekomst mee moeten nemen bij het uitvoeren van taken. Door een duidelijk plan kan ervoor gezorgd worden dat de onderzoekstijd wordt verkort. Daarnaast moeten de uitgangspunten voor de berekeningen goed opgesteld en gecontroleerd worden, voordat het rekenen opgestart wordt. Dit zorgt voor minder wijzigingen in de berekeningen en tekeningen. Hierdoor komen de andere taken niet in de knel en blijft het onderzoek op schema lopen.

Het vervolgonderzoek dat naar aanleiding van dit onderzoek nog kan worden uitgevoerd is het uitwerken van het ontwerp voor het dijktraject tussen dijkpaal TG187 en TG188. Tot nu toe is alleen voor het dijktraject tussen dijkpaal TG182 tot TG187 een ontwerp op DO-niveau gemaakt. Daarnaast kan er onderzoek gedaan worden naar de haalbaarheid van innovatieve dijkversterkingsmethodes op andere locaties. De methodes hebben veel potentie en zijn mogelijk wel toepasbaar op andere dijkversterkingsprojecten.

7. Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de conclusie en de aanbevelingen van het onderzoek beschreven. Aan de hand van de verkregen resultaten, wordt eerst een conclusie getrokken en antwoord gegeven op de onderzoeksvraag. Daarnaast wordt op basis van de conclusie een set van aanbevelingen gegeven, dit dient als advies voor de opdrachtgever.

7.1. Conclusie

Op de huidige projectlocatie bij het dorp Neerijnen, is een dijktraject van 600 meter lang. Dit dijktraject is afgekeurd op verschillende faalmechanismen. Deze faalmechanismen zijn macro-instabiliteit, piping en in beperkte mate golfoverloop en -overslag. De dijk voldoet niet meer door de aangescherpte veiligheidsnormen en de autonome ontwikkelingen. De dijkversterking op deze locatie is gecompliceerd door de woningen dicht bij de dijk. De dijkversterking moet daarom worden uitgevoerd met ruimtebesparende oplossingen.

De stakeholders zijn verdeeld in vier categorieën. Het waterschap Rivierenland, Rijkswaterstaat en het HWBP behoren tot de belangrijkste categorie B, met deze partijen moet nauw samengewerkt worden. Aan de hand van het vooronderzoek van het waterschap, de gesprekken met collega's en door het deskresearch zijn de eisen en wensen van de stakeholders bekend geworden. Deze eisen en wensen zijn opgenomen in het programma van eisen. Het PvE is de basis van het ontwerp. In de categorie A vallen vooral de overheidsinstantie IenW, de provincie Gelderland en de gemeente West-Betuwe. Voor deze categorie geldt dat hun eisen en wensen opgenomen worden in het PvE. In categorie C zitten weinig stakeholders. De toeristen zijn de enige partij die weinig interesse en invloed hebben. Omdat zij weinig tot geen belang hebben bij het project. De categorie D bevat veel stakeholders, zij hebben veel interesse maar geen inspraak in het project. Deze groep moet alleen goed geïnformeerd worden.

Het programma van eisen bestaat uit functionele en technische eisen. Deze eisen zijn opgesteld aan de hand van het vooronderzoek, de besprekingen met collega's en de stakeholderanalyse. Uit deze bronnen zijn alle wensen en eisen opgenomen in het PvE.

Op basis van het PvE zijn een 6-tal kansrijke oplossingen samengesteld. Een 4-tal varianten hiervan valt in de categorie stabiliteitsschermen. De andere twee varianten zijn een combinatie van een vernagelingsmethode met een kwelscherm of verticaal zanddicht geotextiel. Deze varianten zijn beoordeeld op basis van zes criteria, die weer onderverdeeld zijn in subcriteria. Vervolgens is aan alle criteria een wegingsfactor toegekend. De criteria met wegingsfactoren zijn als volgt: omgeving 30%, veiligheid 25%, duurzaamheid 15%, kosten 15%, TLR-waarde 5% en planning 10%. Uiteindelijk is de damwand de best scorende oplossing, dit gebaseerd op de variantenstudie.

De beste ruimtebesparende oplossing is uitgekomen op de damwandconstructie. Het ontwerp is berekend en getoetst middels de geldende normen en richtlijnen. Het ontwerp is uiteindelijk een damwand type AZ36-700N met een lengte van 16,3 meter. De damwand wordt drukkend ingebracht door middel van een silent piler. Deze damwand wordt verankerd met een zelfborend anker Ø76,1x17,5 onder een hoek van 40 graden. De hart op hart afstand tussen de ankers is 1,4 meter. De ankerstaaf heeft een lengte van 34,5 meter, waarvan de laatste 10 meter een groutlichaam rondom de ankerstaaf zit met een diameter van 20 cm. Aan de polderzijde van de damwand wordt een gording HE 300B gelast. De gording zorgt voor de herverdeling van de krachten wanneer een anker bezwijkt.

In dit onderzoek 'Dijkversterking Tiel-Waardenburg is antwoord gezocht op de volgende hoofdvraag:

Wat is de best mogelijke ruimtebesparende oplossing om de dijk bij Neerijnen, ter hoogte van dijkpaal TG182 t/m TG188, weer te laten voldoen aan de huidige veiligheidsnormen en bestand te maken tegen de autonome ontwikkelingen in de toekomst?

Gebaseerd op de deskresearch, het bronnenonderzoek en de berekeningen zijn in de vorige hoofdstukken de resultaten van het onderzoek beschreven. Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor de dijk bij Neerijnen ter hoogte van dijkpaal TG182 t/m TG187 de damwandconstructie de beste ruimtebesparende oplossing is. Voor het dijktraject tussen dijkpaal TG187 en TG188 kan alleen een advies worden uitgebracht omdat hiervoor geen uitgebreide berekeningen zijn uitgevoerd. De damwandplannen zijn hoogstwaarschijnlijk niet te drukken op deze locatie, waardoor een damwandconstructie niet uitvoerbaar is op dit dijktraject. Er wordt geadviseerd om het ontwerp van de damwand evenals de haalbaarheid voor het drukken van de damwand verder te onderzoeken. Wanneer de damwandconstructie niet kan worden toegepast, komt een palenwand in aanmerking als beste ruimtebesparende oplossing.

7.2. Aanbevelingen

In de berekeningen van het onderzoek zijn een aantal aannames gemaakt en daarnaast blijven er een aantal onzekerheden. Al deze aannames en onzekerheden moeten in de bestekfase gecontroleerd of verder uitgewerkt worden. Hieronder wordt een opsomming gemaakt van de aannames en onzekerheden met daarbij korte toelichting van de stappen die er genomen moeten worden voor het ontwerp in de bestekfase.

- **Sonderingen.** Het ontwerp is nu gebaseerd op een drietal sonderingen. In het definitieve ontwerp moet er meer sonderingen worden gebruikt tijdens het toetsen en ontwerpen.
- **Horizontale kwelweglengte.** In het DO is een gemiddelde genomen van de twee verschillende kwelweglengtes. In de bestekfase kan dit beter worden opgesplitst in twee ontwerpen voor elke kwelweglengte één ontwerp.
- **Zakkende grond op ankerstaaf.** In het ontwerp is een aanname gemaakt van 20% extra belasting op de ankerstaaf. Dit is gebaseerd op referentieberekeningen uit het vooronderzoek. In de bestekfase moet dit gecontroleerd worden volgens de CUR-richtlijnen.
- **Locatie van de damwand.** Een veilige aanname is gemaakt in het ontwerp. De damwand is halverwege in het talud geplaatst. Dit moet in de bestekfase gecontroleerd worden, daarbij is hoogstwaarschijnlijk ruimte voor optimalisatie.

Het ontwerp van de damwandconstructie is tijdens dit onderzoek uitgewerkt met D-sheet Piling. Dit programma kan alleen rekenen aan de algehele stabiliteit van de damwand met een grondconstructie er omheen. In het onderzoek was de keuze voor de damwandlocatie in de kruin of lager in het talud. De optimale locatie kon met het programma D-sheet Piling niet worden gevonden. Daarom is voor de locatie van de damwand een veilige aanname gemaakt. De damwand is daarom halverwege in het talud geplaatst. Het boventalud blijft hiermee stabiel en de kerende hoogte van de damwand wordt kleiner. Deze situatie kan mogelijk nog meer geoptimaliseerd worden. Hierin moet worden gekeken hoe laag de damwand in het talud kan staan waarbij het boventalud nog steeds zijn stabiliteit behoudt bij overslag. Er wordt daarom aanbevolen om het ontwerp in de bestekfase verder te optimaliseren met een geavanceerder programma zoals PLAXIS. Hiermee kan zowel de stabiliteit van het binnentalud als de algehele stabiliteit van de dijk met constructie worden berekend. Het gebruik van het programma PLAXIS zal daarom zorgen voor een geoptimaliseerd ontwerp.

8. Literatuurlijst

8.1. Literatuur

- Halter, W., Groenouwe, I., Tonneijck, M., & d'Angremond, K. (2018). *Handboek dijkenbouw: uitvoering versterking en nieuwbouw*. Geraadpleegd van <http://resolver.tudelft.nl/uuid:525b7997-4c3f-4092-ba8a-fdb32db1b98d>
- Larsen, H., van de Sman, R., Veenbergen, V., & Verbraken, H. (2020). *POVM Langsconstructies*. POV Macrostabieliteit. Geraadpleegd van <https://www.hwbp.nl/documenten/rapporten/2020/12/17/publicatie-povm-langsconstructies>
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. (1987). NEERIJNEN-WAARDENBURG EN HELLOUW. Auteur. Geraadpleegd van https://archisarchief.cultureelerfgoed.nl/Beschermde_Gezichten/BG1616/TOELICHTING_aanwijzing_1616.pdf
- 't Hart, R., de Vries, G., & De Bruijn, H. (2016). *Fenomenologische beschrijving*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM). Geraadpleegd van https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_148759_31/

8.2. Bronnen

- BAM Infra Nederland. (2020 augustus). *Combiwanden*. Geraadpleegd op 23 februari 2021, van <https://www.baminfra.nl/documenten/combiwanden>
- De Vries Titan BV. (2018, 3 mei). *Zelfborende Ankers*. Geraadpleegd op 19 mei 2021, van <https://devriestitan.nl/zelfborende-ankers/>
- KNMI. (z.d.). *KNMI - Zeespiegelstijging*. Geraadpleegd op 23 februari 2021, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/zeespiegelstijging>
- Natura 2000. (2020, 26 mei). *Natura 2000 | natura 2000*. Geraadpleegd op 8 februari 2021, van <https://www.natura2000.nl/>
- Overland. (z.d.). *Meanderende rivieren | Mijn Gelderland*. Geraadpleegd op 8 februari 2021, van <https://mijngelderland.nl/inhoud/specials/verbeelding-van-de-waal/meanderende-rivieren>
- Plaatsengids.nl. (z.d.). *Neerijnen | Plaatsengids.nl*. Geraadpleegd op 19 februari 2021, van <https://www.plaatsengids.nl/neerijnen>
- Provincie Gelderland. (2020). *Wat doet de provincie?* Auteur. Geraadpleegd van https://www.gelderland.nl/bestanden/Gelderland/Omgevingsvisie-en-ruimte/DOC_Factsheet_Water.pdf
- Rijkswaterstaat. (2020, 17 juli). *Hoogwater*. Geraadpleegd op 4 februari 2021, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/hoogwater/index.aspx>
- Sterk BV. (2021a, 22 februari). *Materieel | Innovatief en breed inzetbaar*. Geraadpleegd op 17 mei 2021, van <https://www.sterk.eu/nl/technieken/innovatietechnieken/materieel/>
- Sterk BV. (2021b, 23 februari). *Fluïderen | Reduceren grondweerstand, geluid en trillingen*. Geraadpleegd op 17 mei 2021, van <https://www.sterk.eu/nl/technieken/innovatietechnieken/fluide-ren/>

Van den Herik-Sliedrecht. (z.d.). *Piping Control* | van den Herik. Geraadpleegd op 17 februari 2021, van <https://www.herik.nl/nl/content/piping-control>

8.3. Figuren en tabellen

8.3.1. Bronnen

ArcelorMittal. (2020, 1 april). *AZ 36–700N*. Geraadpleegd op 6 mei 2021, van <https://sheetpiling.arcelormittal.com/products/az-36-700n/>

Bodembouw. (z.d.-b). *Bodembouw - Dijkversterking*. Geraadpleegd op 16 februari 2021, van <https://www.bodembouw.com/nl/toepassingen/dijkversterking>

Deltares. (z.d.-a). *Overloop - Delta Noodmaatregelen*. Geraadpleegd op 21 mei 2021, van <https://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Overloop>

Deltares. (z.d.-b). *Overslag - Delta Noodmaatregelen*. Geraadpleegd op 21 mei 2021, van <https://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Overslag>

Dekker, J. (2017, 5 juli). *P2.3: Verwering en erosie*. Geraadpleegd op 8 februari 2021, van <https://slideplayer.nl/slide/2101588/>

Dijken, duinen en terpen. (z.d.). Geraadpleegd op 4 februari 2021, van <https://waterrampen.weebly.com/dijken-duinen-en-terpen.html>

Gebr. De Koning. (z.d.-a). *Nieuwe Silent Piler F-301 in gebruik genomen*. Geraadpleegd op 27 mei 2021, van <https://gebrdekoning.nl/nieuwe-silent-piler-in-gebruik-genomen/>

Gebr. De Koning. (z.d.-b). *Vacature operator Silent Piler*. Geraadpleegd op 2 juni 2021, van <https://gebrdekoning.nl/vacature-operator-silent-piler/>

GWW. (2019, 23 april). *‘Ondergrondse expertise’ voor de juiste fundering*. Geraadpleegd op 2 juni 2021, van <https://www.gww-bouw.nl/artikel/ondergrondse-expertise-voor-de-juiste-fundering/>

MindTools. (z.d.). *Stakeholder Analysis: Winning Support for Your Projects*. Geraadpleegd op 22 februari 2021, van https://www.mindtools.com/pages/article/newPPM_07.htm

Ploegam. (z.d.). *Dijkversterking Spui-Oost*. Geraadpleegd op 2 juni 2021, van <https://www.ploegam.nl/project/dijkversterking-spui-oost>

Rijksoverheid. (2019, 12 december). *Schematiseringshandleiding Piping, WBI 2017*. Geraadpleegd op 3 maart 2021, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen/@205752/piping-wbi-2017/>

Rijksoverheid. (z.d.-a). *Faalmechanismen en de hydraulische belastingen - Faalmechanismen en de hydraulische belastingen*. Geraadpleegd op 1 februari 2021, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/technische-leidraden/zoeken-technische/@192764/faalmechanismen-hydraulische-belastingen/>

Rijksoverheid. (z.d.-b). *Wat gaat er veranderen in WBI voor wat betreft macrostabiliteit?* Geraadpleegd op 16 februari 2021, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen/vragen/macrostabiliteit/macrostabiliteit/gaat-veranderen-wbi/>

- Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017). *Waterveiligheid Begrippen begrijpen*. Rijkswaterstaat. Geraadpleegd op 4 februari 2021, van https://www.helpdeskwater.nl/public/pages/130413/waterveiligheid_begrippen_begrijpen_2017.pdf
- Sterk BV. (2021, 22 februari). *Innovatietechnieken | Vooruit blijven denken!* Geraadpleegd op 2 juni 2021, van <https://www.sterk.eu/nl/technieken/innovatietechnieken/>
- Sweco Nederland. (z.d.). *Dijkversterking Tiel - Waardenburg: Toelichting*. Geraadpleegd op 25 februari 2021, van https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.1960.WBTiWa-ONT1/t_NL.IMRO.1960.WBTiWa-ONT1.html
- 't Hart, R., de Vries, G., & De Bruijn, H. (2016). *Fenomenologische beschrijving*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM). Geraadpleegd van https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_148759_31/
- Volker Staal en Funderingen. (z.d.). *Gordingen en Stempelconstructies - Volker Staal en Funderingen*. Geraadpleegd op 17 mei 2021, van <https://www.vsf.nl/nl/staal/overig-staal/gordingen-en-stempelconstructies>
- Waterschap Rivierenland. (z.d.). *Leggers Waterschap Rivierenland*. Geraadpleegd op 23 februari 2021, van <https://www.waterschaprivierenland.nl/keur-en-leggers>

8.3.2. Figuren

Figuur 1.1 De primaire waterkering dijkkringgebied 43, gedeelte Tiel-Waardenburg gemarkeerd (Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017)	2
Figuur 1.2 De uiterwaarde in de zomer en de winter situatie ("Dijken, duinen en terpen", z.d.)	3
Figuur 1.3 Faalmechanismen van een dijklichaam (Rijksoverheid, z.d.-a)	3
Figuur 1.4 De molen bij de Waalbandijk ter hoogte van Waardenburg (eigen werk)	4
Figuur 2.1 Het fenomeen 'meanderen' (Dekker, 2017)	6
Figuur 2.2 Clusterindeling project Tiel-Waardenburg (Sweco Nederland, z.d.)	7
Figuur 2.3 Dijktraject bij Neerijnen (Waterschap Rivierenland, z.d.)	8
Figuur 2.4 Het faalmechanisme macro-instabiliteit (Rijksoverheid, z.d.-b)	9
Figuur 2.5 Schematische weergave piping (Bodembouw, z.d.-b)	10
Figuur 2.6 Faalmechanisme golfoverslag (Deltares, z.d.-b)	10
Figuur 2.7 Golfoverloop bij een dijk (Deltares, z.d.-a)	11
Figuur 2.8 Mendelow's matrix (MindTools, z.d.)	13
Figuur 2.9 Mendelow's matrix voor project TiWa (MindTools, z.d.)	14
Figuur 4.1 Grafiek met resultaten van variantenstudie	25
Figuur 5.1 Damwand drukken met silent piler (Gebr. De Koning, z.d.-a)	30
Figuur 5.2 Afmetingen van de damwand AZ 36-700N (ArcelorMittal, 2020)	30
Figuur 5.3 Groutanker met een gelaste ankerstoel op de damwand (eigen werk)	31
Figuur 5.4 Doorsnede van groutanker met gording	31
Figuur 5.5 Damwandplanken plaatsen met fluïderen (Sterk BV, 2021)	32
Figuur 5.6 Damwand drukken met de silent piler (Gebr. De Koning, z.d.-b)	32
Figuur 5.7 Het toepassen van UNP-profielen ter ondersteuning van een gording (Volker Staal en Funderingen, z.d.)	32
Figuur 5.8 Het boren van groutankers over de kop (GWW, 2019)	33
Figuur 5.9 Grond aanbrengen bij dijkversterking (Ploegam, z.d.)	34



8.3.3. Tabellen

Tabel 2.1 Belangen van alle stakeholders met hun interesse en macht	12
Tabel 2.2 Functionele eisen project TiWa	15
Tabel 2.3 Technische eisen project TiWa	15
Tabel 2.4 Overzicht van alle varianten	16
Tabel 4.1 Eerste selectie ruimtebesparende oplossingen.....	22
Tabel 4.2 Overzicht van alle criteria	24
Tabel 4.3 Beoordeling variantenstudie	25
Tabel 5.1 Specificatie van AZ 36-700N	30
Tabel 5.2 Definitieve groutanker specificaties	31
Tabel 5.3 Gegevens van het staalprofiel HE 300B.....	31



Bijlagen

Bijlage 1: Programma van Eisen

Bijlage 2: Literatuuronderzoek

Bijlage 3: Variantenstudie

Bijlage 4: Constructief rapport

Bijlage 5: Uitvoeringsplan

Bijlage 6: Tekeningen

Tekening 1: Overzichtstekening Neerijnen

Tekening 2: Dwarsprofielen en details